

ای نوحه‌ی نامه‌الهی که تویی  
ای آنسه‌ی حال شاهی که تویی  
سیرون ز تونیست آنچه در عالم هست  
از خود بطلب هر آنچه خواهی که تویی





۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اصول

دستگاه‌های ارتباطات  
الکترونیکی

نویسنده:

Louis E. Frenzel Jr.

ترجمه

دکتر محمد صادق ابریشمیان  
استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## ۱۰. پیشگفتار (نویسنده)

این ویرایش چهارم جدید اصول سیستم‌های ارتباط الکترونیکی به‌طور کامل بازبینی و بهروز شده است تا آن را بهیکی از جدیدترین کتاب‌های درسی موجود در زمینه بی‌سیم، شبکه و سایر فناوری‌های ارتباطی تبدیل کند. از آنجایی که دنیای ارتباطات الکترونیکی بسیار سریع تغییر می‌کند، بهروز نگه داشتن یک کتاب درسی چالشی بی‌پایان است. در حالی که اصول تغییر نمی‌کنند، تاکید و ارتباط آنها با تکامل فناوری انجام می‌شود. علاوه بر این، دانشجویان نه تنها نیاز به پایه‌بندی اصولی دارند، بلکه به‌درک اساسی از اجزا، مدارها، تجهیزات و سیستم‌های دنیای واقعی در استفاده روزمره نیز نیاز دارند. این آخرین نسخه سعی دارد اصول را با مروری بر آخرین تکنیک‌ها متعادل کند.

هدف مستمر این آخرین ویرایش، افزایش تاکید بر درک سطح سیستم از فناوری‌های بی‌سیم، شبکه و دیگر ارتباطات است. به‌دلیل ادغام شدید مدارهای ارتباطی امروز، مهندس و تکنسین اکنون بیشتر با بردهای مدار چاپی، مازول‌ها، کارت‌های پلاگین و تجهیزات کار می‌کنند تا مدارهای سطح قطعه. در نتیجه مدارهای قدیمی منسخ از این متن حذف شده و با مدارهای مجتمع بیشتر و تجزیه و تحلیل سطح بلوک دیاگرام جایگزین شده است. مهندسان و تکنسین‌های ارتباطات مدرن با مشخصات و استانداردها کار می‌کنند و وقت خود را صرف آزمایش، اندازه‌گیری، نصب و عیوب‌یابی می‌کنند. این نسخه در آن جهت حرکت می‌کند. تجزیه و تحلیل مدار دقیق هنوز در مناطق انتخاب شده گنجانده شده است که در درک مفاهیم و مسائل موجود در تجهیزات فعلی مفید است.

در گذشته، در بسیاری از برنامه‌های الکترونیکی، یک دوره در ارتباطات به‌عنوان یک گزینه در نظر گرفته می‌شد. امروزه ارتباطات بزرگترین بخش حوزه الکترونیک با بیشترین کارمند و بیشترین فروش سالانه تجهیزات است. علاوه بر این، فناوری‌های بی‌سیم، شبکه یا سایر فناوری‌های ارتباطی تقریباً در هر محصول الکترونیک وجود دارد. این امر باعث می‌شود که دانش و درک ارتباط برای هر دانش آموزی به‌جای یک گزینه ضروری باشد. بدون حداقل یک دوره در زمینه ارتباطات، دانشجو ممکن است با دید ناقصی از محصولات و سیستم‌های رایج امروز فارغ التحصیل شود. این کتاب می‌تواند زمینه رفع نیازهای چنین دوره عمومی را فراهم کند.

من به‌عنوان سردبیر ارتباطات مجله طراحی الکترونیکی (پنتون)، تغییرات مداوم در اجزا، مدارها، تجهیزات، سیستم‌ها و کاربردهای ارتباطات مدرن را مشاهده کرده‌ام. همانطور که در مورد دیگران تحقیق می‌کنم، با مهندسان و مدیران اجرایی مصاحبه می‌کنم و در کنفرانس‌های بسیاری برای مقالات و سخن‌هایی که می‌نویسم شرکت می‌کنم، به‌اهتمام روزافروزن ارتباطات در زندگی همه ما پی‌برده‌ام. سعی کرده‌ام این دیدگاه را به‌این آخرین نسخه بیاورم که در آن جدیدترین تکنیک‌ها و فناوری‌ها توضیح داده شده است. این دیدگاه همراه با بازخورد و بینش برخی از شما که این موضوع را تدریس می‌کنید، منجر به یک کتاب درسی شده است که بهتر از همیشه است.

### پیشگفتار

خدلون متعال را شاکرم که بمن توفیق داد تا این کتاب را جهت مطالعه دانش پژوهان و دانشجویان رشته مخابرات تهیه کنم. این کتاب ساده، و روان و بدون روابط پیچیده ریاضی توسط استاد این فن نگاشته شده است و تقریباً تمام موضوعات فناوریهای ارتباطات را دربر میگیرد. این کتاب در اصل برای ارتباطات ایالات متحده آمریکا نوشته شده اما میتوان بدون توجه به برخی قراردادها آن کشور از آن استفاده کرد.

هدف از تهیه کتاب کمک به دانشجویان دوره هنرستان است که در این رشته تحصیل میکنند، اما مطالب آن نیز برای مهندسین مخابرات و دانشجویان برق نیز خالی از لطف نیست. با توجه به این که جای کتاب **اصول دستگاه‌های ارتباطات الکترونیکی** در میان کتب دانشگاهی ما خالی بود، اقدام به تهیه و ترجمه کتاب

## Principles of Electronic Communication Systems

Fourth Edition

Louis E. Frenzel Jr.

نمودیم. حجم کتاب بسیار زیاد و پراز اصطلاحات و تعاریف و اختصارات است. امیدوارم دانشجویان به پاورقی مراجعه و اختصارات را مطالعه و در خاطره خود برای ادامه مطالب بسیارند. علی‌رغم تلاشی که کرده‌ایم تا روابط درستی ارائه دهیم اما کتاب خالی از غلط و اشتباه نخواهد بود. از همه اساتید ارجمند و دانشجویان عزیز تقاضا داریم من را از طریق پست الکترونیکی مطلع کنند تا بتوانم آنها را اصلاح و در اختیار شما عزیزان قرار دهم.

محمد صادق ابریشمیان  
msabri@eetd.kntu.ac.ir  
۱۴۰۳ دی

فهرست مطالب

۱۰	پیشگفتار (نویسنده)
۶۴۱	آنtenها و انتشار امواج
۶۴۲	۱.۱۴ مبانی آنتنها
۶۵۲	۲.۱۴ انواع آنتنهای رایج
۶۸۳	۳.۱۴ انتشار امواج رادیوئی
۷۰۷	۱۵ فناوری‌های اینترنت
۷۰۸	۱.۱۵ کاربردهای اینترنت
۷۱۴	۲.۱۵ سیستم‌های انتقال اینترنت
۷۳۶	۳.۱۵ شبکه‌های فضای ذخیره سازی
۷۴۰	۴.۱۵ امنیت اینترنت
۷۵۳	۱۶ مایکروویو و ارتباطات میلی‌متری
۷۵۴	۱.۱۶ مبانی مایکروویو
۷۶۵	۲.۱۶ خطوط و دستگاه‌های مایکروویو
۷۷۷	۳.۱۶ موجبرها و محفوظه‌های تشدید
۷۹۱	۴.۱۶ دیودهای نیم‌هادی مایکروویو
۷۹۷	۵.۱۶ لامپ‌های مایکروویو
۸۰۳	۶.۱۶ آنتن‌های مایکروویو
۸۲۴	۷.۱۶ کاربردهای مایکروویو و امواج میلی‌متری
۸۴۱	۱۷ ارتباطات ماهواره‌ای
۸۴۲	۱.۱۷ مدارهای ماهواره
۸۵۱	۲.۱۷ سیستم‌های ارتباط ماهواره‌ای
۸۵۷	۳.۱۷ زیرسیستم‌های ماهواره‌ای
۸۶۳	۴.۱۷ ایستگاه‌های زمینی
۸۷۲	۵.۱۷ کاربردهای ماهواره
۸۷۸	۶.۱۷ سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی

<b>۸۹۱</b>	<b>۱۸</b>	<b>سیستم‌های مخابراتی</b>
۸۹۲ .....	۱.۱۸	تلفن
۹۰۷ .....	۲.۱۸	سیستم تلفن
۹۱۵ .....	۳.۱۸	فاکس
۹۲۴ .....	۴.۱۸	تلفن اینترنتی
۹۴۲ .....		نمایه

## فصل ۱۴

# آنتنها و انتشار امواج

در سیستم‌های ارتباطات بی‌سیم، سیگنال RF تولید شده توسط فرستنده به فضای آزاد فرستاده و در نهایت توسط گیرنده دریافت می‌شود. رابط بین فرستنده و فضای آزاد و بین فضای آزاد و گیرنده آنتن است.

تنوع باورنکردنی انواع آنتن مورد استفاده در ارتباطات رادیویی همه بر اساس چند مفهوم کلیدی است. این فصل بهمعرفی همه آنتن‌های معروف و پرکاربرد در کاربردهای UHF، HF، VHF و

می‌پردازد. آنتن‌های مایکروویو در فصل شانزدهم پوشش داده می‌شود.

همچنین ویژگی‌های فضای آزاد و توانایی آن در انتشار سیگنال‌ها در فواصل طولانی مورد بحث قرار گرفته است. مطالعه انتشار موج – اینکه چگونه حرکت سیگنال‌های رادیویی توسط زمین و فضا از آنتن فرستنده به آنتن گیرنده تحت تأثیر قرار می‌گیرند – برای درک چگونگی اطمینان از ارتباط قابل اعتماد در فاصله مورد نظر و در فرکانس‌های خاص بسیار مهم است.

### اهداف:

بعداز تکمیل این فصل، شما می‌توانید:

- ویژگی‌های یک موج رادیویی را شرح دهد.
- طول آنتن‌های یک چهارم طول موج (ربع موج) و یک دوم طول موج (نیم موج) را با توجه به فرکانس کار محاسبه کنید.
- انواع اصلی آنتن را نام ببرید و ویژگی‌های هر کدام را بیان کنید.
- نحوه استفاده از آرایه‌ها را برای تولید دایرکتیویتی (توجیهی)<sup>۱</sup> و بهره توضیح دهید.
- روش‌هایی را توضیح دهید که در آنها می‌توان طراحی آنتن را برای ایجاد تطبیق بهینه بین امپدانس‌های فرستنده و آنتن ایجاد کرد.
- ویژگی‌های امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی را شرح دهید.

<sup>۱</sup>Directive

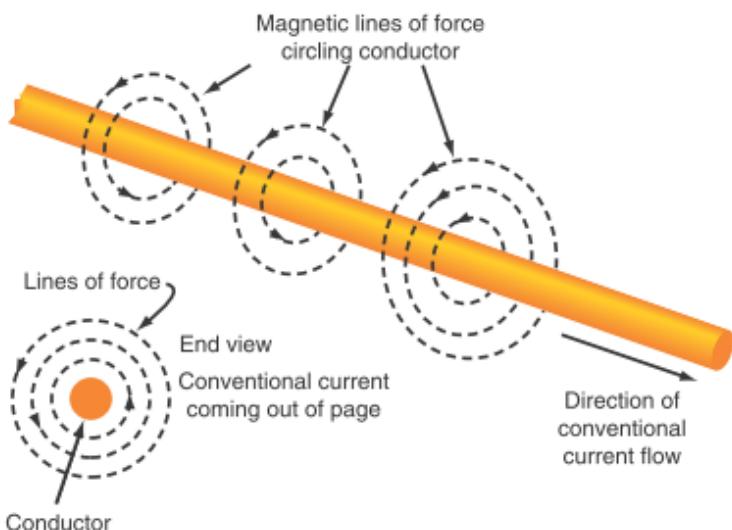
■ قدرت سیگنال را محاسبه کنید.

■ محوشده‌گی<sup>۲</sup> و تنوع<sup>۳</sup> را تعریف کنید.

## ۱.۱۴ مبانی آنتنها

### امواج رادیوئی

سیگنال رادیویی را موج الکترومغناطیسی می‌نامند زیرا از هر دو میدان الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده است. هر زمان که ولتاژ به آنتن اعمال شود، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود. در عین حال، این ولتاژ باعث می‌شود که جریان در آنتن عبور یابد و میدان مغناطیسی تولید کند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در عمود بر یکدیگر قرار دارند. این میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از آنتن ساطع و در فواصل بسیار طولانی با سرعت نور در فضا منتشر می‌شوند.



شکل ۱.۱۴: میدان مغناطیسی در اطراف یک هادی حامل جریان. شدت میدان مغناطیسی  $H$  بر حسب آمپر بر متر است.  $H = I/(2\pi d)$

**میدانهای مغناطیسی:** میدان مغناطیسی یک میدان نیروی نامرئی است که توسط آهنربا ایجاد می‌شود. آنتن نوعی آهنربای الکتریکی است. یک میدان مغناطیسی در اطراف یک هادی هنگامی که جریان از آن عبور می‌کند ایجاد می‌شود. شکل (۱.۱۴) میدان مغناطیسی یا شار را در اطراف سیم حامل جریان نشان می‌دهد. اگرچه میدان مغناطیسی یک میدان نیروی پیوسته است، اما برای اهداف محاسبه و اندازه‌گیری به عنوان خطوط مجازی نیرو نشان داده می‌شود. میدان مغناطیسی در اکثر آنتن‌ها به این صورت است. شدت و جهت میدان مغناطیسی به بزرگی و جهت جریان عبوری بستگی دارد.

<sup>۲</sup>Fading

<sup>۳</sup>Diversity

شدت میدان مغناطیسی  $H$  که توسط آنن سیمی تولید می‌شود با رابطه زیر بیان می‌شود:

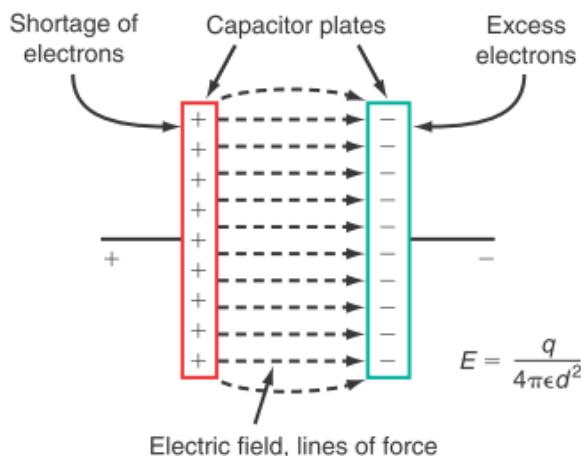
$$H = \frac{I}{2\pi d}$$

که در آن:

$I$  = جریان، بر حسب آمپر.

$d$  = فاصله، بر حسب متر.

در سیستم آحداد SI شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر است.



شکل ۲.۱۴: میدان الکتریکی در بین صفحات یک خازن.

**میدانهای الکتریکی:** میدان الکتریکی نیز یک میدان نیروی نامرئی است که از وجود اختلاف پتانسیل بین دو هادی ایجاد می‌شود. یک مثال رایج در الکترونیک، میدان الکتریکی تولید شده بین صفحات خازن باردار است (شکل ۲.۱۴). البته، بین هر دو نقطه‌ای که اختلاف پتانسیل در آنها وجود دارد، میدان الکتریکی وجود دارد.

شدت میدان الکتریکی  $E$  با این بیان می‌شود

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

که در آن:

$q$  = بار بین دو نقطه بر حسب کولمب C

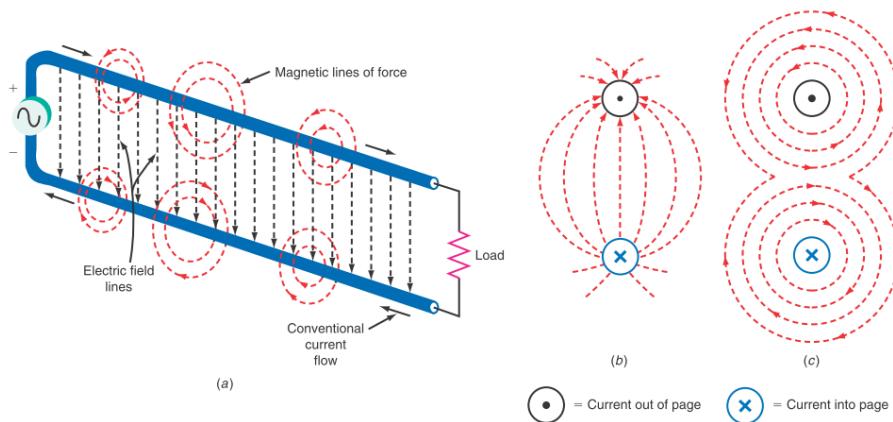
$\epsilon_0$  = گذردهی الکتریکی (پرمیتیویت)<sup>۴</sup>

$d$  = فاصله بین هادیها، بر حسب متر،

در سیستم آحداد SI شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر است. گذردهی ثابت دیالکتریک ماده بین دو رسانا است. دیالکتریک معمولاً هوا یا فضای آزاد است که دارای مقدار  $\epsilon_0$  تقریباً برابر  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C/V}$  است که  $\epsilon_r$  ثابت دیالکتریک محیط است.

**میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در یک خط انتقال:** شکل (۳.۱۴)(الف) میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را در اطراف یک خط انتقال دو سیم نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در هر زمان،

<sup>۴</sup>Permittivity



شکل ۳.۱۴: (الف) میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در اطراف یک خط انتقال. (ب) میدان الکتریکی. (ج) میدان مغناطیسی.

سیم‌ها دارای قطبیت مخالف هستند. در طول یک دوم چرخه (سیکل) ورودی  $ac$ ، یک سیم مثبت و دیگری منفی است. در طول نیم چرخه منفی، قطبیت معکوس می‌شود. این بدان معنی است که جهت میدان الکتریکی بین سیم‌ها یک بار در هر چرخه بر عکس می‌شود. شکل (۳.۱۴)(ب) جزیاتی از میدان الکتریکی در اطراف رساناها است.

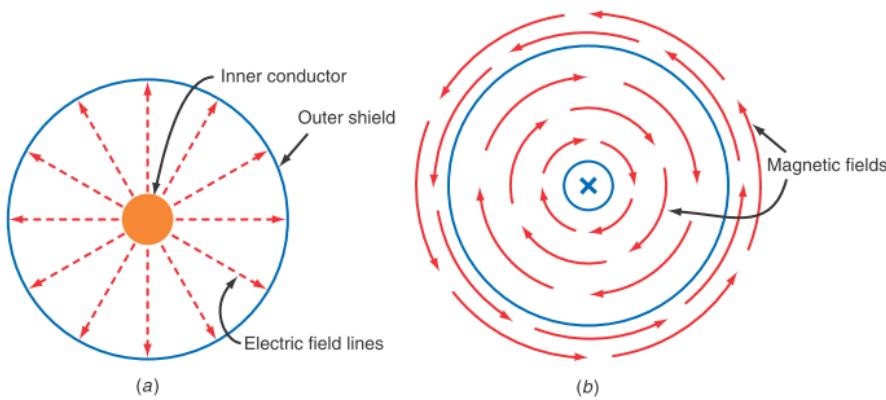
همچنین توجه داشته باشید که جهت جریان در یک سیم همیشه مخالف سیم دیگر است. بنابراین، همانطور که در شکل (۳.۱۴)(ج) نشان داده شده است، میدان‌های مغناطیسی ترکیب می‌شوند. خطوط میدان مغناطیسی مستقیماً بین رساناها به یکدیگر کمک می‌کنند، اما با گسترش خطوط نیرو، جهت میدان مغناطیسی یک هادی مخالف با هادی دیگر است، بنابراین میدان‌ها تمايل به خوشی کردن یکدیگر دارند. حذف کامل نیست، اما شدت میدان مغناطیسی حاصل بسیار کم است. اگرچه میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی به طور جداگانه در شکل (۳.۱۴)(ب) و (ج) برایوضوح نشان داده شده‌اند، به یاد داشته باشید که آنها به طور همزمان و عمود بر یکدیگر رخ می‌دهند.

یک خط انتقال مانند یک آنتن از یک هادی یا چند هادی تشکیل شده است. با این حال، خطوط انتقال، بر خلاف آنتن‌ها، سیگنال‌های رادیویی را به طور موثر منتشر نمی‌کنند. پیکربندی هادی‌ها در یک خط انتقال به گونه‌ای است که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را در بر می‌گیرد. نزدیکی هادی‌ها میدان الکتریکی را عمدتاً در دی الکتریک خط انتقال متتمرکز نگه می‌دارد. میدان‌های مغناطیسی بیشتر یکدیگر را خوشی می‌کنند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از خط انتقال به سمت بیرون گسترش می‌یابند، اما مقدار کمی تابش که رخ می‌دهد بسیار ناکارآمد است.

#### خوب است بدانید که:

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در یک هادی، به یاد داشته باشید که از قانون دست چپ استفاده کنید. انگشت شست چپ خود را در جهت جریان الکترون (به سمت مثبت) نگه دارید و انگشتان دست چپ خود را در جهت خطوط میدان مغناطیسی بگیرید.

شکل (۴.۱۴)(الف) میدان‌های الکتریکی و شکل (۴.۱۴)(ب) میدان‌های مغناطیسی مربوط به کابل



شکل ۴.۱۴: میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در یک کابل کواکسیال (نمای انتهایی مقطع). (الف) میدان الکتریکی (ب) میدان‌های مغناطیسی

کواکسیال را نشان می‌دهد. خطوط میدان الکتریکی به طور کامل توسط محافظت بیرونی کابل محصور شده‌اند، بنابراین هیچ کدام تابش نمی‌کنند. جهت خطوط میدان الکتریکی یک بار در هر سیکل معکوس می‌شود.

میدان مغناطیسی اطراف هادی مرکزی از شیلد بیرونی عبور می‌کند. با این حال، توجه داشته باشید که میدان مغناطیسی تولید شده توسط هادی خارجی در جهت مخالف میدان تولید شده توسط هادی داخلی است. از آنجایی که دامنه جریان در هر دو هادی یکسان است، شدت میدان مغناطیسی برابر است. میدان‌های مغناطیسی داخلی و خارجی یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین یک کابل کواکسیال هیچ گونه انرژی الکترومغناطیسی ساطع نمی‌کند. بهمین دلیل است که کابل کواکسیال برای اکثر کاربردها خط انتقال ارجح است.

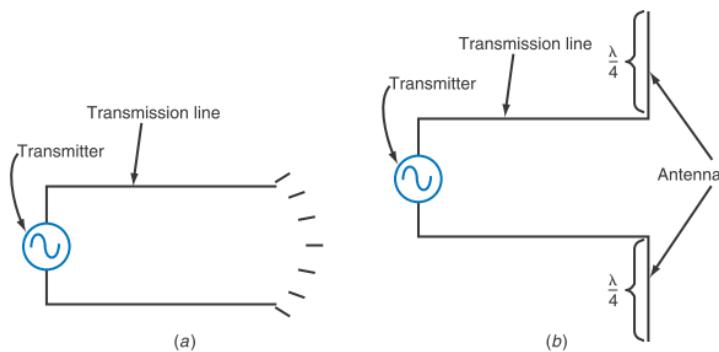
### عملکرد آنتن

همانطور که در بالا گفته شد، آنتن به عنوان رابط بین فرستنده یا گیرنده و فضای آزاد عمل می‌کند. آن یا تشعشع می‌کند یا میدان الکترومغناطیسی را دریافت و حس می‌کند. اما سوال اینجاست که آنتن دقیقاً چیست و چه رابطه‌ای بین آنتن و خط انتقال وجود دارد؟ علاوه بر این، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی چگونه تولید می‌شوند؟

**ماهیت آنتن:** اگر یک خط انتقال سیم موازی باز بماند، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از انتهای خط خارج شده و به فضا تابش می‌کنند [شکل ۴.۱۴(الف)]. با این حال، این تابش برای انتقال یا دریافت مطمئن ناکارآمد و نامناسب است.

تابش از یک خط انتقال را می‌توان با خم کردن هادی‌های خط انتقال به گونه‌ای که در زاویه قائمه با خط انتقال قرار گیرند، همانطور که در شکل ۴.۱۴(ب) نشان داده شده است، بهبود بخشد. میدان‌های مغناطیسی دیگر خنثی نمی‌شوند و در واقع به یکدیگر کمک می‌کنند. میدان الکتریکی از هادی به هادی دیگر گسترش می‌یابد (شکل ۴.۱۴). نتیجه یک آنتن است. تابش بهینه در صورتی رخ می‌دهد که قطعه سیم انتقال تبدیل شده به آنتن در فرکانس کاری یک چهارم طول موج داشته باشد. این باعث می‌شود آنتنی با طول یک دوم طول موج ساخته شود.

بنابراین یک آنتن یک هادی یا زوج هادی است که ولتاژ  $ac$  در فرکانس مورد نظر به آن اعمال



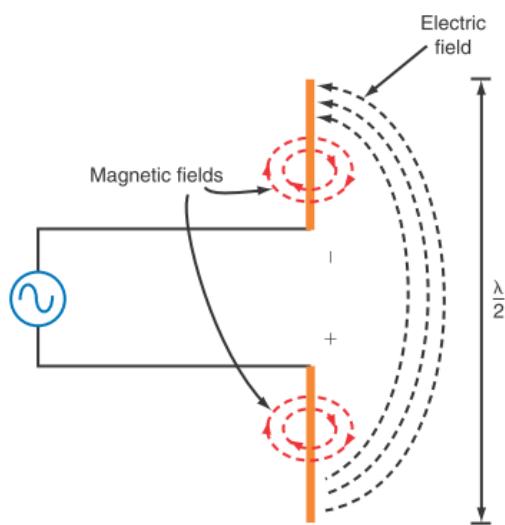
شکل ۵.۱۴: تبدیل خط انتقال به آتن (الف) یک خط انتقال باز کمی تابش می‌کند. (ب) خم کردن خط انتقال باز در زوایای قائمه یک الگوی تشعشع کارآمد ایجاد می‌کند.

می‌شود. در شکل (۵.۱۴)، آتن توسط خط انتقالی که برای تشکیل آتن استفاده شده است به فرستنده متصل می‌شود. در بیشتر کاربردهای عملی، آتن از فرستنده و گیرنده دور است و از یک خط انتقال برای انتقال انرژی بین آتن و فرستنده یا گیرنده استفاده می‌شود. با این حال، گاهی اوقات تجزیه و تحلیل یک آتن به گونه‌ای مفید است که گویی هادی‌ها مستقیماً به ژنراتور یا فرستنده، مانند شکل (۷.۱۴)، وصل شده‌اند. ولتاژ یک میدان الکتریکی و جریان یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند. شکل (۷.۱۴)(الف) میدان مغناطیسی یک قطبی ژنراتور را نشان می‌هد و شکل (۷.۱۴)(ب) میدان الکتریکی همراه را نشان می‌دهد. شکل (۷.۱۴)(ج) و (۵) میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی را به ترتیب برای قطب مخالف ژنراتور نشان می‌دهد.

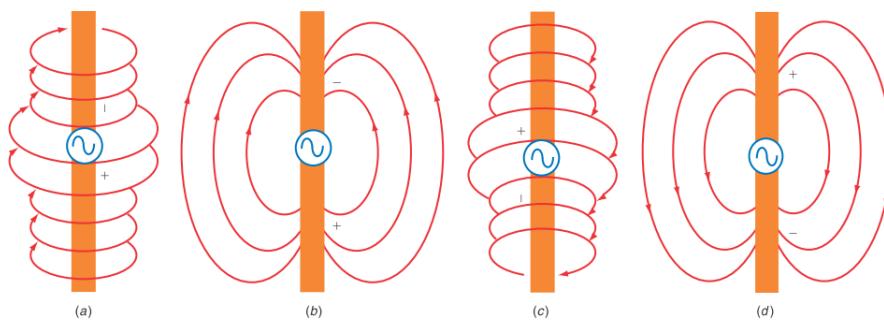
میدان‌های مغناطیسی مطابق با سیگنال اعمال شده از ژنراتور، که معمولاً سیگنال حامل سینوسی مدوله شده است، متفاوت است. تغییر میدان الکتریکی سینوسی در طول زمان مشابه جریانی است که باعث ایجاد میدان مغناطیسی سینوسی می‌شود. میدان مغناطیسی سینوسی متغیر میدان الکتریکی تولید می‌کند. بنابراین این دو میدان از یکدیگر حمایت و پشتیبانی می‌کنند. نسبت شدت میدان الکتریکی یک موج تابشی به شدت میدان مغناطیسی ثابت است. این امپدانس فضا یا امپدانس موج نامیده می‌شود و  $377 \Omega$  است. میدان‌های حاصل با سرعت نور ( $10^8 \text{ m/s}$ ) می‌باشد. میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی را به شکل گرما مایل بر ثانیه) به درون فضا تابش می‌کنند.

آنتنی که انرژی الکترومغناطیسی ساطع می‌کند به عنوان یک بار الکتریکی مقاومتی ایده‌آل در ژنراتور ظاهر می‌شود، به طوری که توان اعمال شده به صورت انرژی تابشی مصرف می‌شود. علاوه بر مولفه مقاومتی، یک آتن می‌تواند یک جزء واکنشی (راکتیو) نیز داشته باشد. جزء مقاومتی را مقاومت تشعشع آتن نامیده می‌نمایند. این مقاومت مانند مدارهای الکترونیکی، توان را به شکل گرما تلف نمی‌کند. در عوض، توان به صورت انرژی الکترومغناطیسی تابشی تلف می‌شود.

**میدان الکترومغناطیسی:** میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تولید شده توسط آتن عمود بر یکدیگر قرار دارند و هر دو عمود بر جهت انتشار موج هستند. این به چندین روش در شکل (۸.۱۴) نشان داده شده است. شکل (۸.۱۴)(الف) رابطه اصلی عمود برهم را نشان می‌دهد. حال، فرض کنید که به ناحیه کوچکی از فضای اطراف آتن نگاه می‌کنید و سیگنال یا میدان را در سمت شما یا دور از شما حرکت می‌کنند. شکل (۸.۱۴)(ب) نمایی از خطوط میدان در شکل (۸.۱۴)(الف) است،



شکل ۷.۱۴: میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف هادی‌های خط انتقال زمانی که آنتن تشکیل می‌شود.



شکل ۷.۱۴: میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف آنتن.

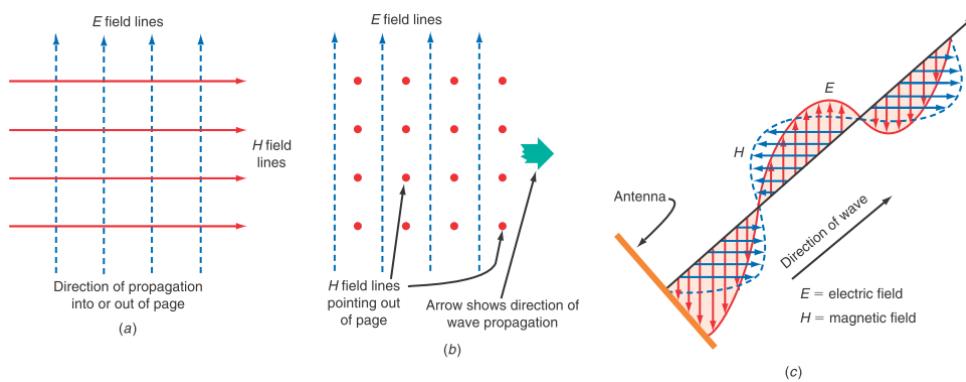
اما پرسپکتیو  $90^\circ$  درجه جابجا شده است تا نمای کناری را دریافت کنید. شکل (۷.۱۴)(ج) تغییرات شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را در حین حرکت به سمت بیرون از آنتن نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که دامنه و جهت میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی بسته به فرکانس سیگнал تابشی به صورت سینوسی تغییر می‌کند.

**میدان‌های نزدیک و میدان‌های دور:** آنتن‌ها در واقع دو مجموعه میدان، میدان نزدیک<sup>۵</sup> و میدان دور<sup>۶</sup> تولید می‌کنند. میدان نزدیک به طور مستقیم منطقه اطراف آنتن را توصیف می‌کند که در آن میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی متمایز هستند. این میدان‌ها موج رادیویی نیستند، اما در واقع حاوی هر گونه اطلاعات ارسال شده هستند. این میدان‌ها با فاصله گرفتن از آنتن، تقریباً با توان چهار نسبت به فاصله، ضعیف می‌شوند. میدان نزدیک به عنوان منطقه فرنل<sup>۷</sup> نیز شناخته می‌شود.

<sup>۵</sup>Near Field

<sup>۶</sup>Far Field

<sup>۷</sup>Fresnel zone



شکل ۸.۱۴: مشاهده موج الکترومغناطیسی ساطع شده از یک آنتن.

میدان دوری که تقریباً  $10^{\circ}$  برابر طول موج از آنتن فاصله دارد، موج رادیویی با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ترکیبی است. به عنوان مثال، در  $2/4$  گیگاهرتز، طول موج  $\lambda = 984/2400 = 0.41$  فوت است. میدان دور  $10^{\circ}$  برابر آن یا  $4/1$  فوت یا بیشتر است. در داخل آن  $4/1$  فوت میدان نزدیک قرار دارد. میدان‌های ترکیبی در واقع خود را از آنتن جدا می‌کنند و همانطور که قبلًا توضیح داده شد به فضای تابش می‌کنند. قدرت آن نیز با فاصله کاهش می‌یابد، اما فقط بصورت مجذور فاصله. میدان دور را منطقه فراونهوفر<sup>۸</sup> نیز می‌نامند.

اکثر کاربردهای بی‌سیم از موج میدان دور استفاده می‌کنند. و هر الگوی تشعشع آنتن فقط در صورتی معتبر است که اندازه‌گیری در میدان دور انجام شود. میدان نزدیک به ندرت استفاده می‌شود، اما کاربردهایی مانند شناسایی فرکانس رادیویی<sup>۹</sup> (RFID) و ارتباطات میدان نزدیک<sup>۱۰</sup> (NFC) از میدان نزدیک استفاده می‌کنند. برخی از تولیدکنندگان تلفن همراه نیز برای کاربردهایی مانند دسترسی به ساختمان بی‌سیم، خرید بلیط یا عملکردهای خودرو، رادیویی میدان نزدیک برد کوتاه می‌سازند.

**پلاریزاسیون (قطبش):** قطبش<sup>۱۱</sup> به جهت گیری میدان‌های الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی نسبت به زمین اشاره دارد. اگر میدان الکتریکی موازی با زمین باشد، موج الکترومغناطیسی به صورت افقی قطبی شده است. اگر میدان الکتریکی بزمین عمود باشد، موج به صورت عمودی قطبی می‌شود. آنتن‌های سیمی که به صورت افقی نسبت به زمین قرار دارند، قطبش افقی و آنتن‌هایی که به صورت عمودی نسبت به زمین هستند، قطبش عمودی ایجاد می‌کنند.

برخی از آنتن‌ها قطبش دایره‌ای ایجاد می‌کنند که در آن میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با خروج از آنتن می‌چرخد. قطبش دایره‌ای راستگرد<sup>۱۲</sup> (RHCP) و قطبش دایره‌ای چپگرد<sup>۱۳</sup> (LHCP) وجود دارد. نوع آن به جهت چرخش سیگنالی که از آنتن خارج می‌شود بستگی دارد. میدان الکتریکی را می‌توان به صورت چرخشی تجسم کرد که گویی آنتن به یک پره بزرگ فن متصل است. میدان

<sup>۸</sup>Fraunhofer zone

<sup>۹</sup>Radio Frequency Identification (RFID)

<sup>۱۰</sup>Near Field Communication (NFC)

<sup>۱۱</sup>Polarization

<sup>۱۲</sup>Right Hand Circular Polarization (RHCP)

<sup>۱۳</sup>Left Hand Circular Polarization (LHCP)

الکتریکی و میدان مغناطیسی همراه آن در فرکانس فرستنده می‌چرخند و یک چرخش کامل در یک سیکل موج رخ می‌دهد. با نگاه کردن از فرستنده به گیرنده دور، RHCP یک چرخش در جهت عقربه‌های ساعت بهمیان الکتریکی می‌دهد و LHCP یک چرخش خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌دهد.<sup>۱۴</sup>

### خوب است بدانید که:

هنگامی که از پلاریزاسیون دایره‌ای در فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود، فرستنده و گیرنده هر دو باید از قطبش چپگرد یا راستگرد استفاده کنند تا سیگنال دریافت شود.

برای انتقال و دریافت بهینه، آنتن‌های فرستنده و گیرنده باید هر دو قطبی یکسان باشند. از نظر تئوری، یک موج پلاریزه عمودی  $\circ$  ولت را در یک آنتن افقی تولید می‌کند و بالعکس. اما در حین انتقال در فواصل طولانی، قطبش امواج بهدلیل تأثیرات مختلف انتشار در فضای آزاد اندکی تغییر می‌کند. بنابراین حتی زمانی که قطبش آنتن‌های فرستنده و گیرنده مطابقت نداشته باشد، معمولاً سیگنال دریافت می‌شود.

یک آنتن عمودی یا افقی می‌تواند سیگنال‌های قطبی دایره‌ای را دریافت کند، اما قدرت سیگنال کاهش می‌یابد. هنگامی که از پلاریزاسیون دایره‌ای در فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود، اگر قرار است سیگنال دریافت شود، هر دو باید از قطبش چپگرد یا راستگرد استفاده کنند.

### همپاسخی آنتن

اصطلاح همپاسخی آنتن<sup>۱۵</sup> به این معنی است که ویژگی‌ها و عملکرد یک آنتن، چه آنتن در حال تابشی یا دریافت سیگنال الکترومغناطیسی باشد، یکسان است. آنتن فرستنده و لتاژی را از فرستنده می‌گیرد و آن را به سیگنال الکترومغناطیسی تبدیل می‌کند. آنتن گیرنده دارای و لتاژی است که توسط سیگنال الکترومغناطیسی که از آن عبور می‌کند به آن القا می‌شود. سپس و لتاژ به گیرنده متصل می‌شود. در هر دو مورد، خواص آنتن - بهره، دایرکتیویتی، فرکانس عملکرد، و غیره - یکسان است. با این حال، آنتنی که برای انتقال توان بالا استفاده می‌شود، مانند ایستگاه پخش رادیویی یا تلویزیونی، باید از موادی ساخته شود که بتواند در برابر و لتاژها و جریان‌های بالا مقاومت کند. یک آنتن گیرنده، بدون توجه به طراحی، می‌تواند از سیم ساخته شود. اما یک آنتن فرستنده برای کاربردهای پرقدرت ممکن است، به عنوان مثال، به همان روش طراحی شود، اما از مواد بزرگتر و سنگین‌تر، مانند لوله‌های فلزی ساخته شده باشد. در اکثر سیستم‌های ارتباطی، از یک آنتن هم برای ارسال و هم برای دریافت استفاده می‌شود و این رویدادها می‌توانند در زمان‌های مختلف رخ دهند یا می‌توانند همزمان باشند. یک آنتن می‌تواند همزمان ارسال و دریافت کند تا زمانی که وسایلی برای دور نگه داشتن انرژی فرستنده از قسمت جلویی گیرنده فراهم باشد. برای این منظور از دستگاهی به نام دیپلکسر<sup>۱۶</sup> استفاده می‌شود.

<sup>۱۴</sup> در برخی کتب نام ساعتگرد و خلاف ساعتگرد به آنها اطلاق می‌شود.

<sup>۱۵</sup> Antenna Reciprocity

<sup>۱۶</sup> Diplexer

## معادلات ماکسول:

موج رادیویی یک موج الکترومغناطیسی است، یعنی موجی که هم از میدان مغناطیسی تشکیل شده است. در مطالعات الکترونیکی قبلی، متوجه شدید که میدان مغناطیسی زمانی ایجاد می‌شود که الکترون‌ها از یک هادی عبور کنند. شما همچنین یاد گرفتید که یک میدان الکتریکی بین دو جسم با بار مخالف وجود دارد. سوال بزرگ این است که چگونه این دو میدان به هم می‌رسند و یک موج رادیویی را تشکیل می‌دهند و به طور خاص چگونه در فضا منتشر می‌شوند؟

در دهه ۱۸۷۰، فیزیکدان اسکاتلندي، جیمز کلرک ماکسول<sup>۱</sup>، کتابی نوشت که وجود امواج الکترومغناطیسی را پیش بینی کرد. او با استفاده از نظریه‌های الکتریکی پایه فارادی، اهم، آمپر و سایر محققان برق در آن زمان، فرض کرد که یک میدان به سرعت در حال تغییر از یک نوع، نوع دیگری از میدان را تولید می‌کند و بالعکس در طول زمان. از آنجایی که یک نوع میدان دیگری را تولید می‌کند، این دو در یک رابطه خودپایدار همزیستی دارند. معادلات ماکسول این رابطه را به صورت ریاضی بیان می‌کند.

بعداً، در دهه ۱۸۸۰، هاینریش هرتز<sup>۲</sup>، فیزیکدان آلماني، نظریه‌های ماکسول را با تولید امواج رادیویی، تابش و دستکاری آنها، و تشخیص آنها از فاصله دور ثابت کرد. بنابراین "بی سیم" یا رادیو کشف شد. ماکسول چهار رابطه ریاضی اساسی را بین شدت و چگالی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تعریف کرد زیرا در طول زمان تغییر می‌کنند. این روابط شامل معادلات دیفرانسیل جزئی است و بنابراین از حوصله این متن خارج است. با این حال، معادلات ماکسول به طور منظم به عنوان بخشی از اکثر برنامه‌های درسی رشته مهندسی برق تدریس می‌شود.

معادلات ماکسول به ما می‌گوید که یک میدان الکتریکی که با زمان تغییر می‌کند به عنوان بارهایی در حرکت یا جریان عمل می‌کند که بهنوبه خود یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. همانطور که میدان مغناطیسی در طول زمان تغییر می‌کند، یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با یکدیگر برهمنکش دارند و با انتشار در فضا با سرعت نور، یکدیگر را حفظ می‌کنند. این توضیح می‌دهد که چگونه موج الکترومغناطیسی می‌تواند وجود داشته باشد و پس از خروج از آن‌تن یا دیگر جزء یا دستگاهی که در ابتداء آن را تولید می‌کند، در فضا حرکت کند.

<sup>۱</sup>James Clerk Maxwell

<sup>۲</sup>Heinrich Hertz

## آنتن پایه

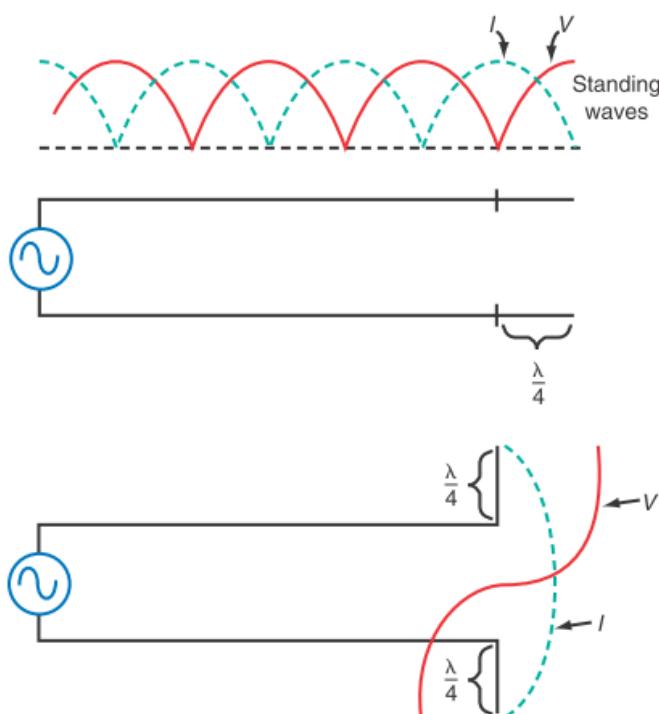
یک آنتن می‌تواند یک سیم، یک میله فلزی یا یک قطعه لوله باشد. اندازه‌ها و اشکال مختلف زیادی استفاده می‌شود. طول هادی به فرکانس کار بستگی دارد. آنتن‌ها زمانی که طول آنها مستقیماً با طول سیگنال ارسالی مرتبط باشد، به طور مؤثر تشعشع می‌کنند. بیشتر آنتن‌ها دارای طولی هستند که کسری از طول موج است. طول یک دوم (نیم موج) و یک چهارم (ربع موج) طول موج را بینهایتی هستند.

یک معیار مهم برای تشعشع این است که طول هادی تقریباً یک دوم یا یک چهارم طول موج سیگنال ac باشد. یک سیگنال موج سینوسی  $60\text{ هرتز} = \frac{1}{300,000,000}\text{ متر} = 1609/34\text{ m}$  است. چون یک مایل تقریباً  $1609/34 = 1\text{ متر}$  است، طول موج سیگنال  $60\text{ هرتز} = 3106/86 = 5000000/1609/34\text{ مایل}$  است. طول یک دوم طول موج  $1553/43\text{ مایل}$  است. اگر سیم‌های آنتن کمتر از این طول باشند، تشعشعات الکترومغناطیسی بسیار کمی رخ می‌دهد.

همین امر در مورد سیم‌های حامل سیگنال‌های صوتی نیز صادق است. یک سیگنال صوتی  $3 \text{ کیلوهرتز} = 3,000 \text{ هertz}$  طول موج  $100,000 \text{ متر} = 100,000 / 3,000 = 33,333 \text{ مایل} = 33,333 \text{ مایل}$  است. این طول موج در مقایسه با طول سیمی که معمولاً چنین سیگنال‌هایی را حمل می‌کند آنقدر طولانی است که تشعشع کمی رخ می‌دهد.

با این حال، با افزایش فرکانس، طول موج کاهش می‌یابد. در فرکانس‌های حدود یک مگاهرتز تا  $100 \text{ گیگاهرتز}$ ، طول موج در محدوده هادی‌ها و سیم‌های عملی است. در این محدوده است که تشعشعات مسافت طولانی رخ می‌دهد. به عنوان مثال، یک سیگنال UHF  $300 \text{ مگاهرتز}$  دارای طول موج یک متر است که طول بسیار عملی است.

عامل دیگری که تعیین می‌کند چقدر انرژی تابش می‌شود، آرایش هادی‌های حامل سیگنال است. همانطور که در شکل (۹.۱۴) نشان داده شده است، اگر آنها به‌شکل یک کابل مانند یک خط انتقال با یک ژراتور در یک سر و یک بار در سمت دیگر باشند، تابش بسیار کمی در هر فرکانس رخ می‌دهد.



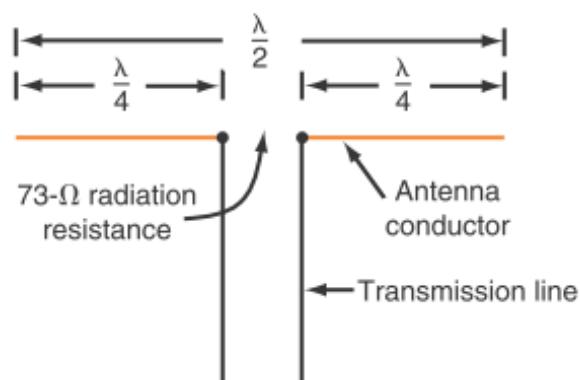
شکل ۹.۱۴: امواج ایستاده روی یک خط انتقال باز و یک آنتن.

همانطور که در شکل (۹.۱۴) و (۶.۱۴) مشاهده می‌شود، یک خط انتقال باز را می‌توان به‌سادگی با خم کردن هادی‌ها در یک زاویه قائم با خط انتقال به‌آنتن تبدیل کرد. این مفهوم دوباره در شکل (۹.۱۴) نشان داده شده است. چنین خطی دارای یک موج ایستاده است به طوری که ولتاژ در انتهای خط حداکثر و جریان حداقل است. همانطور که در شکل نشان داده شده است یک چهارم موج عقب از انتهای باز یک حداقل ولتاژ و حداکثر جریان است. با خم کردن هادی‌ها در زاویه قائم به خط انتقال در نقطه طول یک چهارم طول موج، یک آنتن تشکیل می‌شود. طول کل آنتن در فرکانس کار یک دوم طول موج است. به توزیع ولتاژ و جریان امواج ایستاده روی آنتن توجه کنید. در مرکز، ولتاژ حداقل و

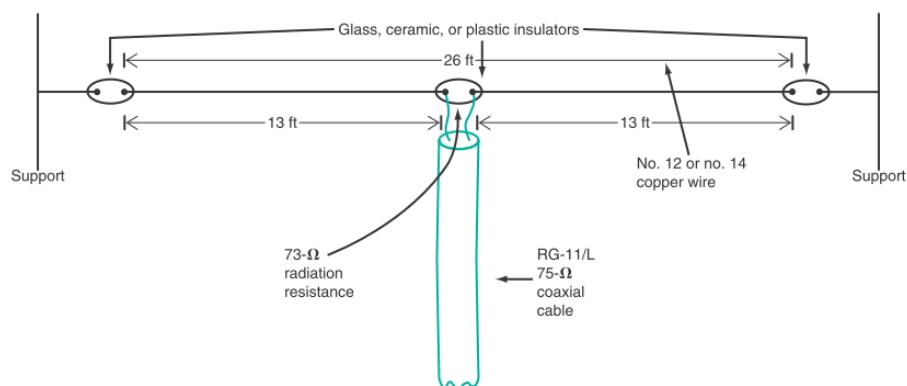
جریان حداکثر است.

## ۲.۱۴ انواع آنتنهای رایج

همه رایج‌ترین انواع آنتن‌های مورد استفاده در صنعت ارتباطات مبتنی بر دوقطبی پایه هستند و بیشتر آن‌ها نوعی اصلاح شده از دوقطبی یک دوم طول موج هستند که در بخش آخر مورد بحث قرار گرفت.



شکل ۱۰.۱۴: آنتن دیپل.



شکل ۱۱.۱۴: آنتن دیپل نیم‌موج در ۱۸ مگاهرتز.

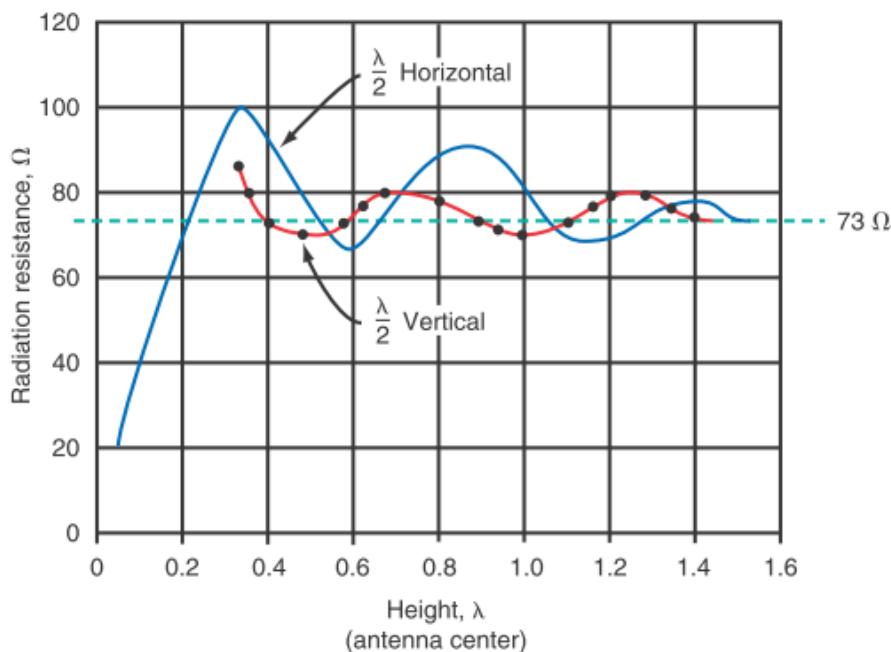
### آنتن دوقطبی (دیپل)

یکی از پرکاربردترین انواع آنتن دوقطبی نیم‌موج است که در شکل (۱۰.۱۴) نشان داده شده است. این آنتن با نام هاینریش هرتز که برای اولین بار وجود امواج الکترومغناطیسی را نشان داد، به طور رسمی به آنتن هرتز نیز معروف است. آنتن دوقطبی که آنتن دوقطبی نیز نامیده می‌شود، دو تکه سیم، میله یا لوله است که طول آنها یک چهارم طول موج در فرکانس تشدید کار است. دوقطبی‌های سیم

با عایق‌های شیشه‌ای، سرامیکی یا پلاستیکی در انتهای وسط، همانطور که در شکل (۱۱.۱۴) نشان داده شده است، پشتیبانی می‌شوند. دوقطبی‌های خود نگهدار از یک میله یا لوله فلزی سفت ساخته می‌شوند.

**مقاومت تشعشعی:** خط انتقال در مرکز متصل است. دوقطبی دارای امپدانس ۷۳ اهم در مرکز خود است که مقاومت در برابر تشعشع است. در فرکانس تشديد، آنتن مقاومت خالص ۷۳ اهم به نظر ميرسد. برای انتقال حداکثر توان، مهم است که امپدانس خط انتقال با بار تطبيق داشته باشد. یک کابل کواکسیال RG-59/U ۷۳ اهم مانند RG-11/U با امپدانس ۷۵ اهم نيز تطبيق بسيار خوبی را ارائه مي‌دهد. هنگامی که مقاومت تشعشعی آنتن با امپدانس مشخصه خط انتقال تطبيق داشته باشد، SWR حداقل است و حداکثر توان به آنتن می‌رسد.

مقاومت در برابر تشعشع دوقطبی در حالت ايده آل ۷۳ اهم است که هادي بنهایت نازک باشد و آنتن در فضای آزاد باشد. امپدانس واقعی آن بسته به ضخامت هادي، نسبت قطر به طول و نزدیکی دوقطبی به اجسام ديگر، به ويژه زمين، مختلف است.



شکل ۱۲.۱۴: تأثير ارتفاع دوقطبی از سطح زمین بر مقاومت در برابر تشعشع.

با افزایش ضخامت هادي نسبت به طول آنتن، مقاومت تابش کاهش می‌يابد. نسبت طول به قطر معمولی برای یک آنتن سیمی حدود ۱۰,۰۰۰ است، برای مقاومت تشعشعی حدود ۶۵ اهم به جای ۷۳ اهم . مقاومت به تدریج با افزایش قطر کاهش می‌يابد. با یک لوله بزرگ فلزی، مقاومت می‌تواند تا ۵۵ اهم کاهش يابد.

نمودار شکل (۱۲.۱۴) نشان می‌دهد که چگونه مقاومت در برابر تشعشع تحت تأثير ارتفاع یک دوقطبی از سطح زمین قرار می‌گیرد. منحنی‌هایی برای آنتن‌های نصب شده به صورت افقی و عمودی

ارائه شده است. بسته به ارتفاع نسبت به طول موج، مقاومت بالا و پایین به طور متوسط حدود ۷۳ اهم متغیر است. هر چه آنتن بالاتر باشد، زمین و اجسام اطراف آن تأثیر کمتری دارند و مقاومت تشعشعی بهایده‌آل نظری نزدیکتر است. با توجه به اینکه مقاومت در برابر تشعشع تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد، اغلب از ۷۳ اهم متغیر است.

**طول دیپل:** آنتن یک دستگاه حساس به فرکانس است. در فصل سیزدهم، شما آموختید که فرمول  $\lambda = \frac{c}{f}$  را می‌توان برای محاسبه یک طول موج در یک فرکانس خاص استفاده کرد، و بنابراین می‌توان از  $f = \frac{c}{\lambda}$  برای محاسبه یک دوم طول موج استفاده کرد. به عنوان مثال، یک دوم طول موج در ۱۲۲ مگاهرتز  $= \frac{3 \times 10^8}{122} = 2492$  فوت است.

همانطور که مشخص است، برای اینکه دوقطبی در فرکانس کار تشدید (رزونانس) کند، طول فیزیکی باید تا حدودی کوتاهتر از یک دوم طول موج محاسبه شده با عبارت بالا باشد، زیرا طول واقعی به نسبت طول به قطر مربوط می‌شود. شکل هادی،  $Q$ ، دیالکتریک (زمانی که ماده غیر از هوا باشد)، و شرایطی که به عنوان اثر انتهایی<sup>۱۷</sup> شناخته می‌شود. اثر انتهایی پدیده‌ای است که توسط هر عایق پشتیبانی که در انتهای آنتن سیم استفاده می‌شود ایجاد می‌شود و اثر افزودن ظرفیت به انتهای هر سیم دارد. در فرکانس‌های تا حدود ۳۰ مگاهرتز، اثر انتهایی آنتن را حدود ۵ درصد کوتاه می‌کند. بنابراین طول واقعی آنتن تنها حدود ۹۵ درصد طول محاسبه شده است. فرمول باید به صورت زیر اصلاح شود:

$$L = \frac{2492 \times 0.93}{f} = \frac{468}{f}$$

که در آن

$L$  = طول آنتن نیم موج

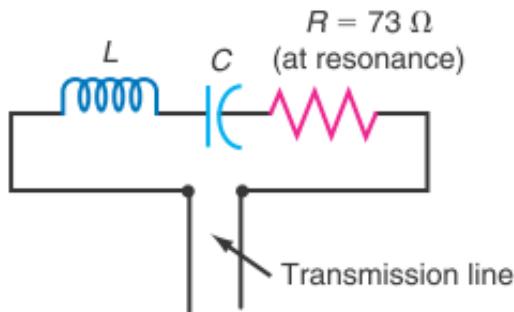
برای آنتن‌های سیم دوقطبی نیم موج که در فرکانس زیر ۳۰ مگاهرتز استفاده می‌شوند، فرمول  $f = \frac{c}{468}$ ، به اصطلاح، یک شکل توب را ارائه می‌دهد. سپس می‌توان تنظیمات جزئی در طول را برای تنظیم دقیق آنتن در مرکز محدوده فرکانس مورد نظر انجام داد.

به عنوان مثال، یک آنتن برای فرکانس ۲۷ مگاهرتز دارای طول  $\frac{17 \times 333}{468} = 27$  فوت است. برای ایجاد یک دوقطبی نیم موج، دو سیم به طول  $\frac{8 \times 66}{468} = 14$  یا ۱۲ برشیده می‌شود. سیم از نظر فیزیکی، آنتن بین دو نقطه تا حد امکان از سطح زمین معلق خواهد بود (شکل ۱۱.۱۴). خود هادی‌های سیم در هر انتهای شیشه‌ای یا سرامیکی متصل می‌شوند تا عایق خوبی بین آنتن و تکیه گاه‌های آن ایجاد کنند. خط انتقال بهدو هادی در مقره مرکزی متصل می‌شود. خط انتقال باید آنتن را در یک زاویه قائم ترک کند تا با تابش آنتن تداخل نداشته باشد.

در فرکانس‌های بالاتر از ۳۰ مگاهرتز، هادی معمولاً ضخیم‌تر است، زیرا از میله‌ها یا لوله‌های ضخیم‌تر به جای سیم استفاده می‌شود. استفاده از مواد ضخیم‌تر نیز طول را حدود ۲ یا ۳ درصد کوتاه می‌کند. با فرض ضریب کوتاه شدن ۳ درصد، یک دوم طول موج  $\frac{492 \times 0.97}{f}$  خواهد بود.

**رزونانس آنتن:** آنتن یک و نیم طول موج تنها در یک فرکانس است و به عنوان یک مدار تشدید عمل می‌کند. از نظر ژنراتور، آنتن مانند یک مدار تشدید سری به نظر می‌رسد (شکل ۱۲.۱۴). اندوکتانس نشان دهنده میدان مغناطیسی و ظرفیت خازن نشان دهنده میدان الکتریکی است. مقاومت همان مقاومت در برابر تشعشع است. مثل همیشه، این مقاومت بسته به ضخامت هادی آنتن و ارتفاع آن متفاوت است.

<sup>۱۷</sup>End effect



شکل ۱۳.۱۴: مدار معادل یک دیپل.

اگر سیگنال اعمال شده به آنتن به گونه‌ای باشد که طول آنتن دقیقاً یک دوام طول موج باشد، مدار معادل تشدید شده و راکتانس القایی راکتانس خازنی را خنثی می‌کند. فقط اثر مقاومت در برابر تشعشع وجود خواهد داشت و سیگنال تابش می‌کند.

اگر فرکانس کار و طول آنتن مطابقت نداشته باشند، مدار معادل تشدید خواهد شد. در عوض، مانند هر مدار رزونانسی، امپدانس مختلط خواهد بود که از اجزای مقاومتی و واکنشی تشکیل شده است. اگر فرکانس کار خیلی کم باشد، آنتن خیلی کوتاه و امپدانس معادل خازنی خواهد بود، زیرا راکتانس خازنی در فرکانس پایین‌تر بیشتر است. اگر فرکانس کار خیلی زیاد باشد، آنتن بیش از حد طولانی و امپدانس معادل القایی خواهد بود زیرا راکتانس القایی در فرکانس بالاتر بیشتر است.

اگر دوقطبی در فرکانس متفاوتی با فرکانس طراحی آن استفاده شود، امپدانس آنتن دیگر با امپدانس خط انتقال مطابقت ندارد، بنابراین SWR بالا می‌رود و توان از بین می‌رود. با این حال، اگر فرکانس کار به فرکانس کاری که آنتن برای آن طراحی شده نزدیک باشد، عدم تطبیق زیاد خواهد بود و آنتن با وجود SWR بالاتر، به طور رضایت‌بخشی کار می‌کند.

### خوب است بدانید که:

اگر یک دوقطبی در فرکانس متفاوت از فرکانس طراحی آن استفاده شود، افزایش می‌یابد و توان از بین می‌رود، زیرا امپدانس آنتن دیگر با امپدانس خط انتقال تطبیق ندارد.

**ضریب کیفیت Q و پهنه‌ی باند آنتن :** پهنه‌ی باند یک آنتن با فرکانس کار و Q آنتن با توجه به رابطه آشنا  $BW = f_r/Q$  تعیین می‌شود. اگرچه محاسبه دقیق Q برای یک آنتن دشوار است، همانطور که رابطه بالا نشان می‌دهد، هر چه Q بالاتر باشد، پهنه‌ی باند BW کمتر است. کاهش Q پهنه‌ی باند را افزایش می‌دهد. در مدارهای تشدید معمولاً Q بالا ( $> 10$ ) مطلوب است، زیرا مدار را انتخابی‌تر می‌کند. برای یک آنتن، Q کم، و در نتیجه پهنه‌ی باند وسیع‌تر، مطلوب است تا آنتن بتواند در محدوده وسیع‌تری از فرکانس‌ها با SWR مناسب کار کند. به عنوان یک قاعده کلی، هر زیرا ۲ در آنتن کاری عملی خوب در نظر گرفته می‌شود. فرستنده‌های ارتباطی مدرن بهندرت تنها در یک فرکانس کار می‌کنند. به طور معمول آنها در یک کانال انتخاب شده در یک باند وسیع‌تری از فرکانس‌ها کار می‌کنند. علاوه بر این، فرستنده مدوله شده است، بنابراین نوارهای جانبی وجود دارد.

اگر آنتن  $Q$  خیلی زیاد داشته باشد و پهنهای باند آن خیلی باریک باشد،  $SWR$  بالاتر از  $1 : 2$  خواهد بود و بُرش نوار کناری ممکن است رخ دهد.

مقدار ضریب کیفیت  $Q$  و در نتیجه پهنهای باند آنتن در درجه اول با نسبت طول هادی به قطر هادی تعیین می‌شود. هنگامی که از سیم نازک به عنوان رسانا استفاده می‌شود، این نسبت بسیار بالا است، معمولاً در محدوده  $10,000$  تا  $30,000$  در نتیجه  $Q$  بالا و پهنهای باند باریک است. نسبت طول به قطر  $25,000$  منجر به  $Q$  حدود ۱۴ می‌شود.

اگر هادی‌های آنتن از سیم یا لوله با قطر بزرگتر ساخته شده باشند، نسبت طول به قطر و  $Q$  کاهش می‌یابد و در نتیجه پهنهای باند بیشتر می‌شود. نسبت  $120^{\circ}$  منجر به  $Q$  حدود ۸ می‌شود. هنگامی که از هادی‌هایی با قطر بزرگتر برای ساخت آنتن استفاده می‌شود، سطح صفحه بزرگتر باعث کاهش اندوکتانس هادی و افزایش ظرفیت خازنی می‌شود. نسبت  $L/C$  برای فرکانس رزونанс معین کاهش می‌یابد. کاهش  $L$  راکتانس القایی را کاهش می‌دهد که مستقیماً بر  $Q$  تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که  $BW = f_r/Q$  و  $Q = X_L/R$  باعث کاهش  $Q$  و افزایش پهنهای باند می‌شود.

در فرکانس‌های UHF و مایکروویو، آنتن‌ها معمولاً از هادی‌های کوتاه و کپل(چاق) مانند لوله ساخته می‌شوند. دیدن هادی‌هایی با قطر  $5/5$  اینچ غیر معمول نیست. نتیجه پهنهای باند وسیع تر است.

پهنهای باند گاهی اوقات به صورت درصدی از فرکانس تشديد آنتن بیان می‌شود. درصد کوچک به معنای  $Q$  بالاتر و پهنهای باند باریکتر به معنای درصد کمتر است. یک آنتن سیمی معمولی دارای پهنهای باندی در محدوده  $3$  تا  $6$  درصد فرکانس تشديد است. اگر از هادی‌های ضخیم‌تر استفاده شود، این درصد می‌تواند به محدوده  $7$  تا  $10$  درصد افزایش یابد که  $Q$  کمتر و پهنهای باند وسیع تری می‌دهد. به عنوان مثال، اگر پهنهای باند یک آنتن دوقطبی  $24$  مگاهرتز در حدود  $4$  درصد داده شود، پهنهای باند را می‌توان  $0,96 \times 0,04 = 0,96$  مگاهرتز ( $960$  کیلوهرتز) محاسبه کرد. بنابراین، محدوده عملیاتی این آنتن، پهنهای باند  $960$  کیلوهرتز با محوریت  $24$  مگاهرتز است. این محدودیت فرکانس بالا و پایین  $24$  مگاهرتز  $6480$  کیلوهرتز یا نیمی از پهنهای باند را می‌دهد. محدوده عملیاتی  $23,52$  تا  $24,48$  مگاهرتز است، جایی که آنتن هنوز به رزونانس نزدیک است.

ضریب کیفیت  $Q$  و پهنهای باند آنتن نیز تحت تأثیر عوامل دیگری است. در آنتن‌های آرایه‌ای با رساناهای زیاد،  $Q$  تحت تأثیر تعداد هادی‌های مورد استفاده و فاصله آنها تا دوقطبی است. این آنتن‌ها معمولاً  $Q$  های بالا و بنابراین پهنهای باند باریکی دارند و بنابراین عملکرد خارج از فرکانس تغییرات بیشتری را در  $SWR$  نسبت به آنتن‌های  $Q$  پایین‌تر ایجاد می‌کند.

**آنتن‌های مخروطی**: یکی دیگر از راه‌های متداول برای افزایش پهنهای باند استفاده از نوعی از آنتن دوقطبی است که به آنتن مخروطی<sup>۱۸</sup> معروف است [شکل (۱۴.۱۴)(الف)]. شکل (۱۴.۱۴)(ب) یک آنتن مخروطی شکل را نشان می‌دهد. طول کلی آنتن  $738/0$  یا  $f/718,32 = 984/0$  است. این طول از یک دوم طول موج سنتی آنتن دوقطبی بیشتر است، اما شکل فیزیکی ابعاد لازم برای تشديد را تغییر می‌دهد. شکل مخروط‌ها به گونه‌ای است که ناحیه سایه‌دار با ناحیه بدون سایه برابر است. هنگامی که این کار انجام شد، فاصله بین مرزهای مشخص شده با  $A$  و  $B$  در شکل (۱۴.۱۴)(ب) یک دوم طول موج، کمتر از حدود  $5$  درصد، یا تقریباً  $468/f$  است، که در آن  $f$  بر حسب مگاهرتز است.

<sup>۱۸</sup>Conical Antenna

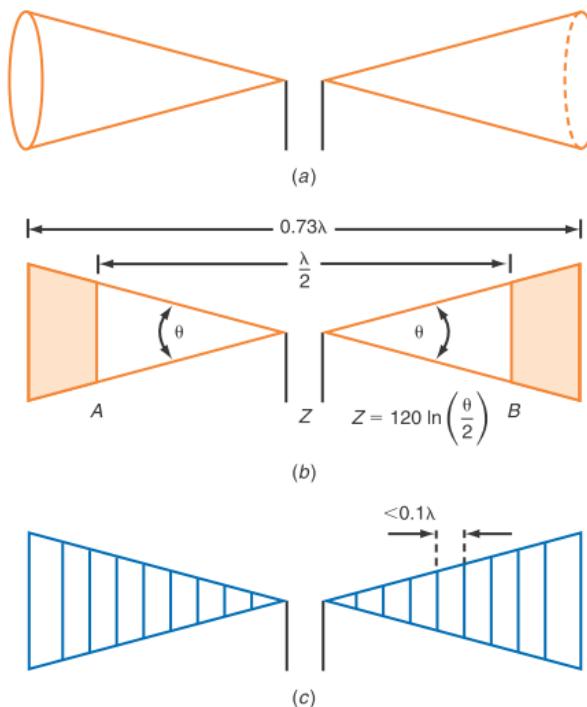
مقاومت تشعشعی در مرکز آتن مخروطی بسیار بالاتر از  $73\Omega$  است که معمولاً در هنگام استفاده از سیم مستقیم یا هادی لوله‌ای یافت می‌شود. این امپدانس مرکزی از رابطه  $Z = 120 \ln(\theta/2)$  به دست می‌آید، که در آن  $Z$  مقاومت تشعشعی در فرکانس تشديد و  $\theta$  زاویه مرتبط با مخروط است [شکل (۱۴.۱۴) (ب)]. بنابراین برای زاویه  $30^\circ$  درجه، امپدانس مرکزی  $= 120 \ln(30/2) = 325\Omega$  است. این تطبیق مناسب با دو سر هادی خط انتقال  $30^\circ$  اهم است.

برای استفاده از کابل کواکسیال، که معمولاً مطلوب است، به نوعی شبکه تطبیق امپدانس برای تبدیل امپدانس مرکزی بالا به مشخصه  $50\Omega$  یا  $75\Omega$  اکثر کابل‌های کواکسیال نیاز است.

### خوب است بدانید که:

اکثر آتن‌های دوقطبی نیموج به صورت افقی در فرکانس‌های پایین نصب می‌شوند زیرا ساخت فیزیکی، نصب و پشتیبانی آسان‌تر است.

ساخت مخروط‌ها دشوار و گران است و یکی از انواع محبوب و به همان اندازه موثر آتن مخروطی آتن



شکل ۱۴.۱۴: دوقطبی مخروطی و تغییرات آن (الف) آتن مخروطی. (ب) نمای گسترده آتن دوقطبی مخروطی (آتن پاپیونی) که ابعاد را نشان می‌دهد. (ج) آتن پاپیون مشبک باز.

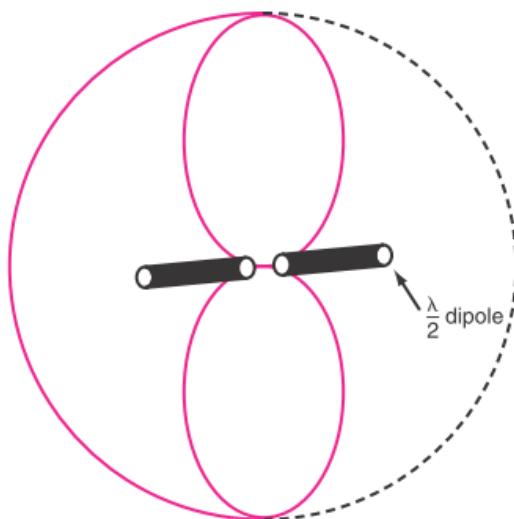
پاپیونی است. مخروط دو بعدی یک مثلث است. بنابراین، یک نسخه صاف از آتن مخروطی مانند دو مثلث یا یک پاپیون به نظر می‌رسد. یک نوع پاپیونی از آتن مخروطی شکل (۱۴.۱۴)(ب) شکل و ابعاد یکسانی دارد، اما از آلومینیوم تخت ساخته شده است. همانطور که در شکل (۱۴.۱۴)(ج) نشان

داده شده است، آنتن‌های پاپیونی نیز می‌توانند به جای صفحه تخت، از هادی توری (مشبک) ساخته شوند. این پیکربندی مقاومت باد را کاهش می‌دهد. اگر فاصله بین هادی‌ها کمتر از  $1/10$  طول موج در بالاترین فرکانس کاری باشد، به نظر می‌رسد که آنتن یک هادی جامد برای فرستنده یا گیرنده باشد. مزیت اصلی آنتن‌های مخروطی پهنه‌ای باند فوق العاده آنهاست: آنها می‌توانند امپدانس ثابتی و بهره را  $4 : 1$  افزایش دهند. محدوده فرکانس طول آنتن با استفاده از فرکانس مرکزی محدوده تحت پوشش محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، یک آنتن برای محدوده پوشش  $1 : 4$  در فرکانس  $250^{\circ}$  مگاهرتز تا یک گیگاهرتز ( $1000$  مگاهرتز) برای فرکانس مرکزی  $625 = \frac{1250}{2} = \frac{1000 + 250}{2}$  مگاهرتز قطع شود.

**قطبش دیپل:** بیشتر آنتن‌های دوقطبی نیم‌موج به صورت افقی روی زمین نصب می‌شوند. این باعث می‌شود که میدان الکتریکی موازی سطح زمین و افقی شود. بنابراین، آنتن به صورت افقی قطبی شده است. نصب افقی در فرکانس‌های پایین‌تر ( $30^{\circ}$  < مگاهرتز) ترجیح داده می‌شود زیرا ساخت فیزیکی، نصب و پشتیبانی آسان‌تر است. این نوع نصب همچنین اتصال خط انتقال و هدایت آن را به فرستنده یا گیرنده آسان می‌کند.

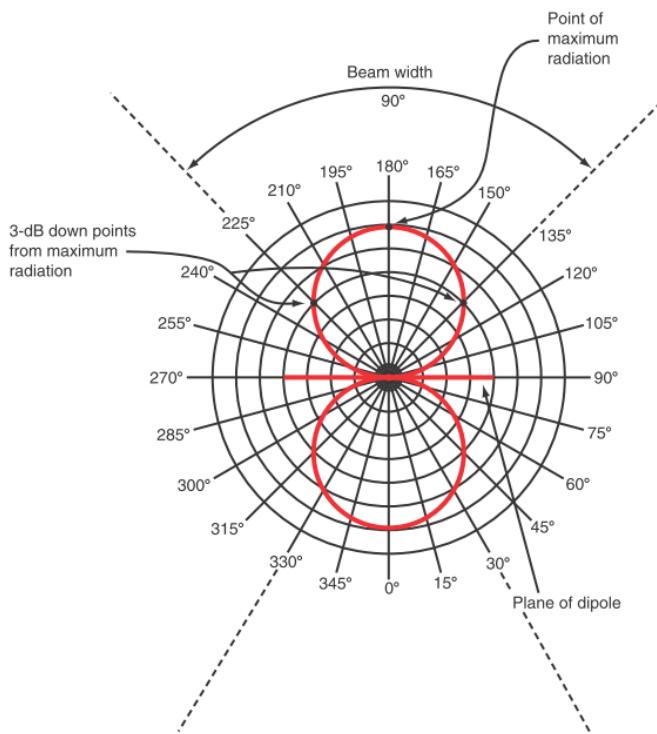
یک آنتن دوقطبی نیز می‌تواند به صورت عمودی نصب شود، در این صورت میدان الکتریکی عمود بر زمین خواهد بود و قطبش را عمودی می‌کند. نصب عمودی در فرکانس‌های بالاتر (UHF و VHF) رایج است، جایی که آنتن‌ها کوتاه‌تر هستند و از لوله‌های خود نگهدار ساخته می‌شوند.

**الگوی تابشی و دایرکتیوی:** <sup>۱۹</sup>الگوی تابشی هر آنتن، شکل انرژی الکترومغناطیسی است که از آن آنتن تابش یا دریافت می‌کند. بیشتر آنتن‌ها دارای ویژگی‌های توجیهی هستند که باعث تابش یا دریافت انرژی در جهت خاصی می‌شود. معمولاً این تابش در الگویی متمرکز می‌شود که شکل هندسی قابل تشخیصی دارد.



شکل ۱۵.۱۴: الگوی سه بعدی یک دوقطبی نیم‌موج.

<sup>۱۹</sup>Radiation Pattern



شکل ۱۶.۱۴: الگوی تابش افقی یک دوقطبی نیم‌موج.

الگوی تشعشعی یک دوقطبی نیم‌موج شکل یک دونات دارد. شکل (۱۵.۱۴) الگوی را نشان می‌دهد که نصف دونات بریده شده است. دوقطبی در سوراخ مرکزی دونات قرار دارد و خود دونات انرژی تابیده شده را نشان می‌دهد. برای ناظری که به بالای دوقطبی نگاه می‌کند، الگوی تشعشع مانند شکل ۸ به نظر می‌رسد، همانطور که در شکل (۱۶.۱۴) نشان داده شده است. این الگوی تابش افقی بر روی نمودار مختصات قطبی در شکل رسم شده است. مرکز آنتن در مرکز نمودار فرض می‌شود. فرض بر این است که دوقطبی با محور  $90^\circ$  تا  $270^\circ$  درجه تراز باشد. همانطور که نشان داده شده است، حداقل مقدار انرژی در زوایای قائم به دوقطبی، در  $0^\circ$  و  $180^\circ$  درجه تابش می‌شود. به همین دلیل، دوقطبی چیزی است که به عنوان آنتن جهت‌دار (توجیهی) شناخته می‌شود. برای انتقال و دریافت بهینه، آنتن باید به صورت گستردگی با مقصد یا منبع سیگنال همسو و تراز شود. برای انتقال بهینه سیگنال، آنتن‌های فرستنده و گیرنده باید موازی یکدیگر باشند.

هر گاه یک آنتن گیرنده دوقطبی به سمت فرستنده یا بالعکس باشد، باید در جهت فرستنده پهن باشد. اگر آنتن در زاویه دیگری باشد، حداقل سیگنال دریافت نخواهد شد. همانطور که از الگوی تابش در شکل (۱۶.۱۴) مشاهده می‌شود، اگر انتهای آنتن گیرنده مستقیماً در امتداد آنتن فرستنده باشد، هیچ سیگنالی دریافت نمی‌شود. همانطور که قبل اشاره شد، این شرایط سیگنال صفر در عمل نمی‌تواند رخ دهد، زیرا موج تابشی در طول انتشار دچار تغییراتی می‌شود و بنابراین، حداقل سیگنال از انتهای آنتن دریافت می‌شود.

اندازه‌گیری مقدار جهتدار بودن آنتن (دایرکتیویتی<sup>۲۰</sup> آنتن)، عرض پرتو، زاویه الگوی تابش است که انرژی فرستنده به‌آن هدایت یا دریافت می‌شود. عرض پرتو بر اساس الگوی تابش آنتن اندازه‌گیری می‌شود. دایره‌های متحدم‌المرکز که از الگوی شکل (۱۶.۱۴)<sup>۲۱</sup> به‌سمت بیرون امتداد می‌یابند، قدرت نسبی سیگنال را هنگام دور شدن از آنتن نشان می‌دهد. عرض پرتو بین نقاط منحنی تابش که ۳ دسی‌بل پایین‌تر از حداکثر دامنه منحنی هستند اندازه‌گیری می‌شود. همانطور که قبل گفته شد، حداکثر دامنه الگو در  $0^\circ$  درجه و  $180^\circ$  درجه رخ می‌دهد. نقاط نزولی ۳ دسی‌بل  $70^\circ/2$  درصد از حداکثر است. زاویه‌ای که با دو خط ایجاد شده از مرکز منحنی به‌این نقاط ۳ دسی‌بل گسترش می‌یابد، عرض پرتو نامیده می‌شود. در این مثال، عرض پرتو  $90^\circ$  درجه است. هرچه زاویه عرض پرتو کوچک‌تر باشد، دایرکتیویتی آنتن بیشتر است.

**بهره آنتن:** بهره قبل<sup>۲۲</sup> به‌عنوان خروجی مدار یا دستگاه الکترونیکی تقسیم بر ورودی تعریف می‌شد. بدیهی است که دستگاه‌های غیرفعال مانند آنتن‌ها نمی‌توانند به‌این معنا بهره‌(گین) داشته باشند. توان تابش شده توسط آنتن هرگز نمی‌تواند بیشتر از توان ورودی باشد. با این حال، یک آنتن جهتدار می‌تواند قدرت بیشتری را در یک جهت معین نسبت به یک آنتن غیر جهتدار تابش کند و در این جهت «مطلوب»، به‌گونه‌ای عمل می‌کند که گویی بهره دارد. بهره آنتن از این نوع به صورت نسبت توان خروجی تابشی موثر  $P$  به‌توان ورودی  $P_{in}$  بیان می‌شود. توان تابشی موثر، توان واقعی است که باید توسط یک آنتن مرجع (عموماً یک آنتن غیر جهتدار یا دوقطبی) تابش شود تا همان قدرت سیگنالی را در گیرنده تولید کند که آنتن واقعی تولید می‌کند. بهره آنتن عموماً<sup>۲۳</sup> با دسی‌بل بیان می‌شود:

$$dB = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

توان تابش شده توسط آنتن با جهتدهی (دایرکتیویتی) و در نتیجه بهره، توان تابشی موثر (ERP)<sup>۲۴</sup> نامیده می‌شود. ERP با ضرب توان فرستنده تغذیه شده به‌آنتن  $P_t$  در بهره قدرت  $A_p$  آنتن محاسبه می‌شود:

$$EPR = A_p P_t$$

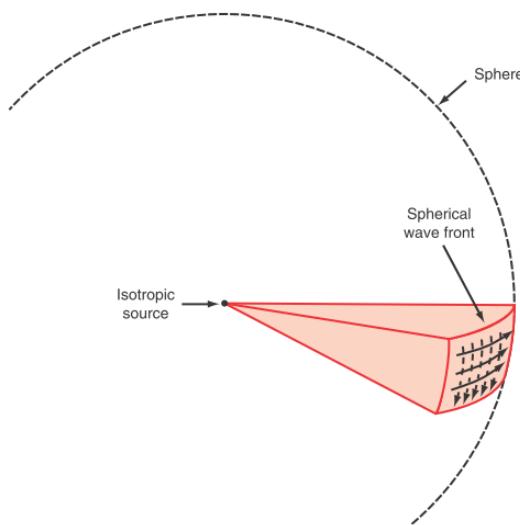
برای محاسبه ERP باید از دسی‌بل به‌نسبت توان یا بهره تبدیل کنید. بهره آنتن عموماً با اشاره به دو قطبی یا رادیاتور همسانگرد (تابشگر همه جهته)<sup>۲۵</sup> بیان می‌شود. تابشگر ایزوتروپیک منبع نقطه‌ای نظری انرژی الکترومغناطیسی است. میدان‌های E و H در همه جهات از منبع نقطه‌ای تابش می‌کنند و در هر فاصله معینی از منبع نقطه‌ای، میدان‌ها یک کره را تشکیل می‌دهند. برای تجسم این موضوع، یک لامپ در مرکز یک کره بزرگ جهانی و نوری که داخل کره را به‌عنوان انرژی الکترومغناطیسی روشن می‌کند، در نظر بگیرید.

در چیزی که به‌عنوان میدان نزدیک آنتن شناخته می‌شود، که به‌عنوان بخشی از میدان با فاصله کمتر از  $10^\circ$  طول موج از آنتن در فرکانس کاری تعریف می‌شود، بخشی از سطح کره به‌چیزی شبیه شکل (۱۷.۱۴)<sup>۲۶</sup> نشان داده شده است. در میدان دور،  $10^\circ$  برابر یا بیشتر طول موج دور از منبع، کره به‌قدری بزرگ است که ناحیه کوچکی به‌جای منحنی، مسطح به‌نظر می‌رسد، دقیقاً مانند ناحیه

<sup>۲۰</sup> Directive

<sup>۲۱</sup> Effective Radiated Power (ERP)

<sup>۲۲</sup> Isotropic Radiator



شکل ۱۷.۱۴: یک منبع همسانگرد و جبهه موج کروی آن.

کوچکی از زمین که صاف به نظر می‌رسد. بیشتر تجزیه و تحلیل میدان دور آنتن‌ها با فرض یک سطح مسطح تابش با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر یکدیگر انجام می‌شود.

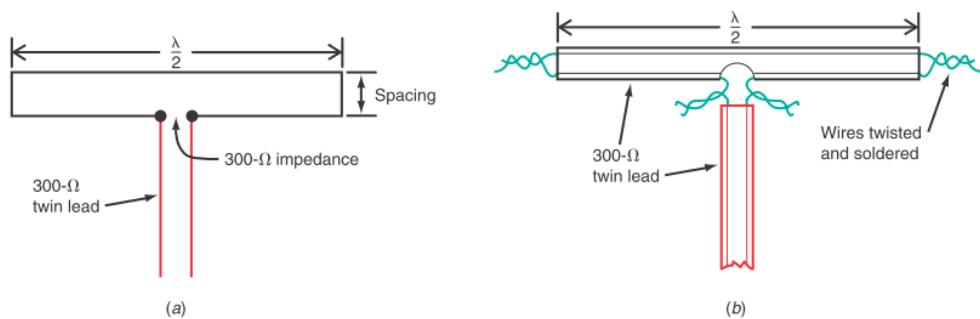
در واقع، هیچ آنتن عملی ایزوتروپیک تابش نمی‌کند. در عوض، تابش در یک الگوی خاص مرکز می‌شود، همانطور که در شکل (۱۵.۱۴) و (۱۶.۱۴) مشاهده می‌شود. این غلظت انرژی الکترومغناطیسی باعث افزایش قدرت تابش در سطحی با اندازه معین می‌شود. به عبارت دیگر، جهت‌دهی آنتن نسبت به رادیاتور همسانگرد افزایشی است. ریاضیات مربوط به تعیین قدرت یک دوقطبی بر روی یک منبع همسانگرد خارج از محدوده این کتاب است. همانطور که مشخص است، این بهره قدرت  $1/16^4$  است. بر حسب دسی‌بل،  $2/15 = 10 \log 1/16^4$  دسی‌بل می‌شود.

بیشتر روابط بهره آنتن بر حسب دسی‌بل نسبت به یک دوقطبی (dBd) بیان می‌شوند. اگر گفته شود بهره آنتن  $4/5$  دسی‌بل است، این به معنای بهره نسبت به دوقطبی است. برای محاسبه بهره آنتن با توجه به رادیاتور همسانگرد (dBi)، دسی‌بل بهره دوقطبی اضافه کنید  $2/15 = dBd + 2/15$ . به طور کلی، هر چه انرژی آنتن مرکزتر باشد، بهره آن بیشتر است. این اثر به این صورت است که گویی قدرت فرستنده در واقع با بهره آنتن افزایش یافته و به یک دوقطبی اعمال می‌شود.

**دوقطبی تا شده:** یک تغییر محبوب دوقطبی نیم‌موج، دوقطبی تا شده (dola)<sup>۳۳</sup> است که در شکل (۱۸.۱۴)(الف) نشان داده شده است. مانند دوقطبی استاندارد، طول آن یک دوم طول موج است. با این حال، از دو هادی موازی تشکیل شده است که در انتهای آن بهم متصل شده‌اند و یک طرف آن در مرکز برای اتصال به خط انتقال باز است. امپدانس این آنتن  $300$  اهم است که آن را بطور عالی با خط انتقال دو سیمه  $300$  اهم در دسترس تطبیق می‌دهد. فاصله بین دو هادی موازی حیاتی نیست، اگرچه معمولاً با فرکانس نسبت معکوس دارد. برای آنتن‌های با فرکانس بسیار بالا، فاصله کمتر از یک اینچ است. برای آنتن‌های فرکانس پایین، فاصله ممکن است  $2$  یا  $3$  اینچ باشد.

الگوی تابش و بهره یک دوقطبی تا شده مانند دوقطبی استاندارد است. با این حال، دوقطبی‌های

<sup>۳۳</sup>Folded Dipoles



شکل ۱۸.۱۴: دوقطبی تا شده. (الف) پیکربندی اولیه. (ب) ساختار با لوله هادی دوقطبی.

تا شده معمولاً پهنهای باند بیشتری را ارائه می‌دهند. امپدانس و مقاومت تابشی را می‌توان با تغییر اندازه هادی‌ها و فاصله تغییر داد.

یک راه آسان برای ساخت آنتن دوقطبی تا شده، ساخت آن به طور کامل از کابل دو سیمه  $300\Omega$  است. یک تکه کابل دو سیمه به طول یک دوم طول موج بریده می‌شود و دو سر آن به هم لحیم می‌شوند [شکل ۱۸.۱۴(ب)]. هنگامی که یک دوم طول موج محاسبه می‌شود، ضریب سرعت کابل دو سیمه ( $0.8/0$ ) باید در رابطه گنجانده شود. برای مثال، طول آنتن برای  $100\text{ MHz}$  مگاهرتز (مرکز تقریبی باند پخش FM)  $f = \frac{c}{2\lambda} = \frac{300,000,000}{2 \times 0.8} = 492,000 = 492\text{ MHz}$  است. با در نظر گرفتن ضریب سرعت کابل‌های دو سیمه، طول نهایی  $0.8 = \frac{300}{492} = 0.61\text{ m}$  است.

سپس مرکز یک هادی در کابل دو سیمه باز و یک خط انتقال  $300\Omega$  اهم به دو سیمه لحیم می‌شود. نتیجه یک آنتن موثر و کم هزینه است که می‌تواند هم برای مقاصد ارسال و هم برای دریافت استفاده شود. توجه: خطوط دو سیمه دیگر بطور گسترده در آنتن یا خطوط انتقال استفاده نمی‌شوند.

### آنتن عمودی مارکونی

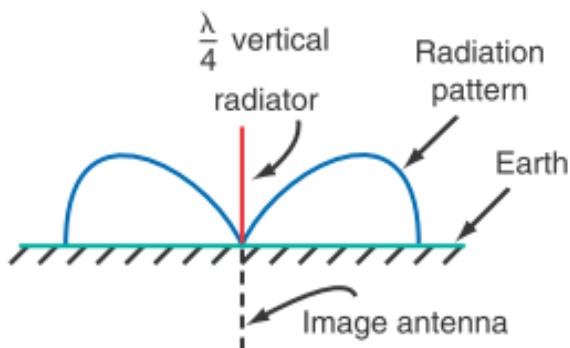
یکی دیگر از آنتن‌های پرکاربرد آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج است که آنتن مارکونی<sup>۲۴</sup> نیز نامیده می‌شود. از نظر عملکرد مشابه آنتن دوقطبی نصب شده به صورت عمودی است. با این حال، مزایای عمدتای را ارائه می‌دهد زیرا طول آن نصف آنتن دوقطبی است.

**الگوی تابشی:** اکثر آنتن‌های دوقطبی نیم موج به صورت افقی نصب می‌شوند، اما می‌توان آنها را به صورت عمودی نیز نصب کرد. الگوی تشعشعی آنتن دوقطبی با قطبش عمودی هنوز به شکل دونات است، اما الگوی تشعشع، همانطور که از بالای آنتن دیده می‌شود، یک دایره کامل است. این گونه آنتن‌ها که مقدار مساوی انرژی را در جهت افقی منتقل می‌کنند، آنتن‌های همه جهته نامیده می‌شوند. به دلیل شکل دونات، تابش عمودی صفر است و تابش در هر زاویه‌ای از افقی تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

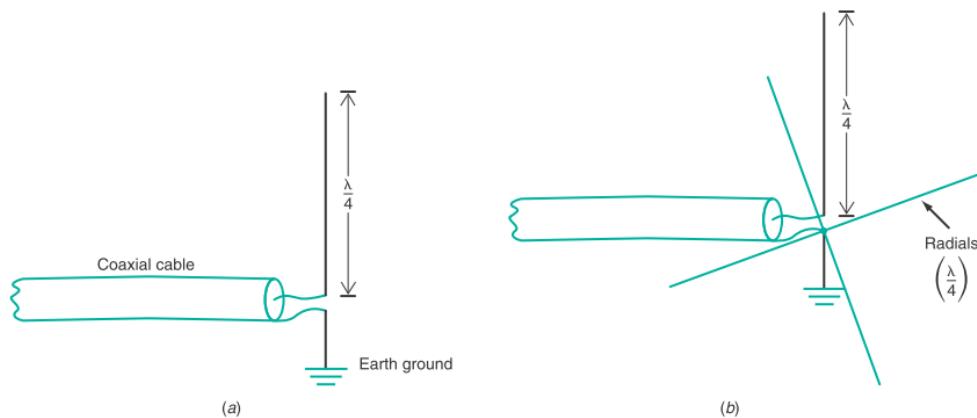
همین اثر را می‌توان با یک آنتن با طول یک چهارم طول موج به دست آورد. شکل ۱۹.۱۴) یک دوقطبی عمودی را با الگوی تابش دونات شکل نشان می‌دهد. نیمی از الگوی زیر سطح زمین است. به این الگوی تابش عمودی می‌گویند.

پلاریزاسیون عمودی و ویژگی‌های همه جهته را می‌توان با استفاده از یک رادیاتور عمودی با طول یک چهارم طول موج به دست آورد. به شکل ۲۰.۱۴(الف) مراجعه کنید. این آنتن به آنتن مارکونی

<sup>۲۴</sup>Marconi Antenna



شکل ۱۹.۱۴: نمای جانبی الگوی تابش یک دوقطبی عمودی.



شکل ۲۰.۱۴: صفحه زمین آتن (الف) آتن عمودی با طول یک چهارم طول موج. (ب) استفاده از سیم‌های شعاعی به عنوان صفحه زمین.

یا زمینی معروف است. معمولاً با کابل کواکسیال تغذیه می‌شود. هادی مرکزی به رادیاتور عمودی و شیلد به زمین متصل است. با این ترتیب، زمین به عنوان یک نوع "آینه" الکتریکی عمل می‌کند و به طور موثر یک چهارم طول موج دیگر آتن را فراهم می‌کند و آنرا معادل یک دوقطبی عمودی می‌کند. نتیجه یک آتن همه جهته با قطبش عمودی است.

**مقاومت تشعشعی:** امپدانس آتن که بر سطح زمین عمود است دقیقاً نصف امپدانس دوقطبی یا تقریباً  $5/36$  اهم می‌باشد. البته این امپدانس بسته به مارتفاع از سطح زمین، نسبت طول/قطر رسانا و وجود اشیاء اطراف آن متفاوت است. امپدانس واقعی می‌تواند برای یک هادی ضخیم بسیار نزدیک به زمین به کمتر از  $20$  اهم کاهش یابد.

از آنجایی که چیزی به نام کابل کواکسیال  $36/5$  اهمی وجود ندارد، کابل کواکسیال  $50$  اهم معمولاً برای تغذیه آتن زمینی استفاده می‌شود. این نشان دهنده عدم تطبیق است. با این حال، SWR برابر  $1/39 = 50/36$  نسبتاً کم است و باعث اتلاف توان قابل توجهی نمی‌شود.

همانطور که در شکل (۲۱.۱۴) نشان داده شده است، یکی از راه‌های تنظیم امپدانس آتن، استفاده

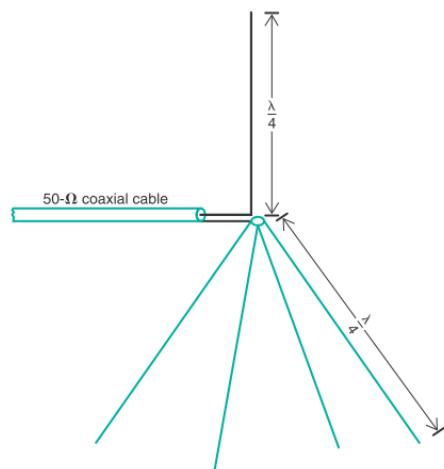


هر آنتن بشتابی مخابراتی انرژی الکترومغناطیسی را از ماهواره جمع آوری می کند.

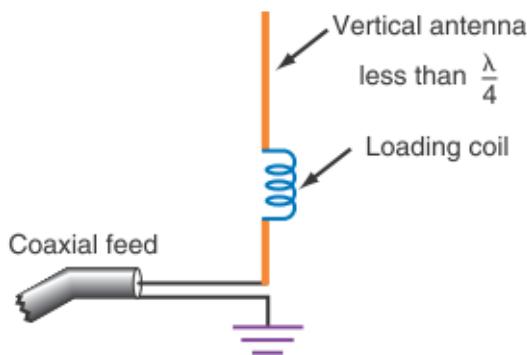
از سیمهای شعاعی "آویزان" است. در برخی از زاویه‌ها بسته به ارتفاع آنتن از سطح زمین، امپدانس آنتن نزدیک به  $50\text{ }\Omega$  خواهد بود که آن را تقریباً برای اکثر کابل‌های کواکسیال  $50\text{ }\Omega$  اهم مناسب می‌کند.

**طول آنتن:** علاوه بر پلاریزاسیون عمودی و ویژگی‌های همه جهته، یکی دیگر از مزایای عمدۀ آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج آن است. طول آن نصف طول دوقطبی استاندارد است که نشان دهنده صرفه جویی قابل توجهی در فرکانس‌های رادیویی پایین‌تر است. به عنوان مثال، یک آنتن با طول یک و نیم طول موج برای فرکانس  $2\text{ }\text{MHz}$  مگاهرتز باید  $234 = \frac{468}{2}$  فوت باشد. ساخت یک آنتن عمودی  $234$  فوتی یک مشکل ساختاری بزرگ ایجاد می‌کند، زیرا به پشتیبانی نیاز دارد. حداقل بهاین مدت یک گزینه جایگزین استفاده از یک آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج است که طول آن فقط باید  $117 = \frac{468}{4}$  فوت باشد. بیشتر آنتن‌های فرکانس پایین از طول یک چهارم طول موج مخروطی عمودی استفاده می‌کنند. ایستگاه‌های پخش AM در محدوده  $535$  تا  $1635$  کیلوهرتز از آنتن‌های عمودی با طول یک چهارم طول موج استفاده می‌کنند زیرا کوتاه، ارزان هستند و از نظر بصری مزاحم نیستند. علاوه بر این، آنها مقدار مساوی تشعشع را در همه جهات ارائه می‌دهند که معمولاً برای پخش ایده‌آل است.

برای بسیاری از کاربردها، به عنوان مثال، با تجهیزات قابل حمل یا سیار، نمی‌توان طول آنتن را یک چهارم طول موج کامل کرد. تلفن بی‌سیمی که در محدوده  $46$  تا  $49\text{ MHz}$  مگاهرتز کار می‌کند دارای یک چهارم طول موج  $5.1 = \frac{234}{46}$  فوت است. یک آنتن شلاقی  $5$  فوتی یا حتی یک آنتن تلسکوپی  $5$  فوتی برای دستگاهی که باید آن را تا گوش خود نگه دارید غیر عملی است. و یک آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج برای یک دستگاه واکی تاکی CB با فرکانس  $27\text{ MHz}$  مگاهرتز باید طول موج  $8.7 = \frac{234}{27}$  فوتی باشد!



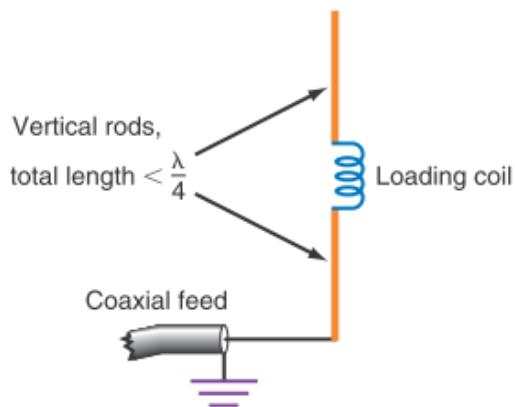
شکل ۲۱.۱۴: سیم‌های شعاعی آویزان امپدانس آنتن را نزدیک به  $50\ \Omega$  اهم تنظیم می‌کنند.



شکل ۲۲.۱۴: استفاده از سیم‌پیچ برای افزایش طول موثر آنتن.

برای غلبه بر این مشکل، از آنتن‌های بسیار کوتاهتری استفاده می‌شود و برای جبران کوتاهی، قطعات الکتریکی جمع شده به آن اضافه می‌شود. هنگامی که یک آنتن عمودی کمتر از یک چهارم طول موج ساخته می‌شود، اثر عملی آن کاهش اندوکتانس است. آنتن دیگر در فرکانس کاری مورد نظر تشدید نمی‌کند، و در فرکانس بالاتر تشدید می‌کند. برای جبران این امر، یک سلف سری، به نام سیم‌پیچ بارگذاری، به صورت سری به سیم آنتن متصل می‌کنیم (شکل ۲۲.۱۴). سیم‌پیچ بارگذاری آنتن را در فرکانس مورد نظر به رزونانس بازمی‌گرداند. سیم‌پیچ گاهی اوقات خارج از تجهیزات در پایه آنتن نصب می‌شود تا بتواند همراه با میله عمودی تابش کند. سیم‌پیچ همچنین می‌تواند در داخل یک دستگاه دستی قرار گیرد، مانند یک تلفن بی‌سیم.

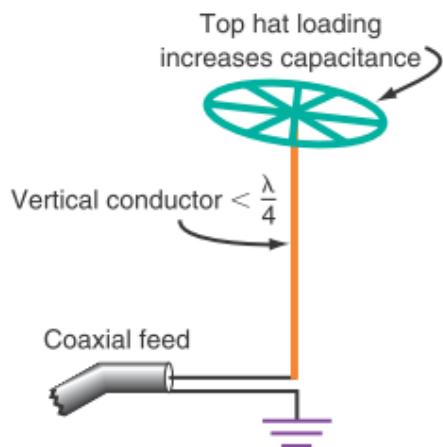
در برخی موارد، سیم‌پیچ بارگذاری در مرکز هادی قرار می‌گیرد (شکل ۲۳.۱۴). آنتن‌های CB و آنتن‌های تلفن همراه از این روش استفاده می‌کنند. آنتن‌های CB دارای یک سیم‌پیچ بزرگ هستند که معمولاً در داخل یک محفظه محافظ قرار می‌گیرند. آنتن‌های کوتاهتر تلفن همراه از یک سیم‌پیچ خود نگهدارنده داخلی استفاده می‌کنند که به نظر می‌رسد و هدف دوگانه یک فنر انعطاف‌پذیر



شکل ۲۳.۱۴: آنتن کوتاه شده عمودی با بارگذاری مرکزی.

را دارد.

در هر دو نوع آنتن عمودی القایی، سلف را می‌توان متغیر ساخت، به طوری که آنتن را می‌توان تنظیم کرد. یا می‌توان سلف را بزرگتر از حد مورد نیاز ساخت و یک خازن را به صورت سری وصل کرد تا ظرفیت کلی کاهش یابد و سیم پیچ در فرکانس رزونانس تنظیم شود.



شکل ۲۴.۱۴: استفاده از بار خازنی کلاه بالایی برای کاهش فرکانس تشدید یک آنتن عمودی کوتاه شده.

روش دیگر برای استفاده از یک آنتن کوتاه شده، افزایش ظرفیت موثر نشان داده شده توسط آنتن است. یکی از راههای انجام این کار اضافه کردن هادی‌هایی در بالای آنتن است، همانطور که در شکل ۲۴.۱۴ نشان داده شده است. این ساختار که گاهی اوقات به عنوان کلاه بالایی نیز نامیده می‌شود، ظرفیت خازنی را نسبت به اقلام اطراف افزایش می‌دهد و آنتن را به رزونانس باز می‌گرداند. بدیهی است که چنین ترتیبی برای آنتن‌های قابل حمل و موبایل بسیار سنگین و ناخوشایند است. با این حال، گاهی اوقات در آنتن‌های بزرگتر با فرکانس‌های پایین‌تر استفاده می‌شود.

یکی از محبوب‌ترین انواع آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج آنتن عمودی  $5\lambda/8$  یا  $5\lambda/8$  است. مانند یک آنتن زمینی با طول یک چهارم طول موج، آنتن عمودی با طول  $5\lambda/8$  طول موج در پایه با کابل کواکسیال تغذیه می‌شود و دارای چهار یا چند شعاعی طول یک چهارم طول موج یا معادل آن (یعنی بدنه ماشین) است.

آنتن عمودی  $5\lambda/8$ ، یک هشت‌تیر طول موج بیشتر از طول یک دوم طول موج است. این طول اضافی به چنین آنتنی حدود ۳ دسی‌بل بهره بیشتر نسبت به دوقطبی پایه و آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج می‌دهد. بهره حاصل از تمرکز تابش در یک الگوی تابش عمودی باریک‌تر در زاویه کمتر نسبت به افق است. بنابراین آنتن‌های عمودی  $5\lambda/8$  برای ارتباطات از راه دور ایده‌آل هستند.

از آنجایی که یک آنتن  $5\lambda/8$  مضرب صحیحی از طول یک چهارم طول موج نیست، برای خط انتقال بسیار طویل به نظر می‌رسد. یعنی شبیه مدار خازنی است. برای جبران این امر، یک سلف سری بین آنتن و خط انتقال متصل می‌شود که آنتن را بسیار نزدیک به یک خط انتقال کواکسیال  $5\lambda$  اهم می‌کند. آرایش مشابه در شکل (۲۲.۱۴) نشان داده شده است.

آنتن  $5\lambda/8$  به طور گسترده در باندهای VHF و UHF استفاده می‌شود که طول آن مشکلی ندارد. این در تاسیسات رادیویی سیار بسیار مفید است، جایی که آنتن‌های همه جهته ضروری هستند اما برای انتقال مطمئن در فواصل طولانی‌تر، بهره اضافی مورد نیاز است.

### مثال ۱-۱۴

طول آنتن‌های زیر را محاسبه کنید و مقاومت تابشی آنها را در  $31^\circ$  مگاهرتز بیان کنید: (الف) دوقطبی. (ب) دوقطبی تا شده (خط دوسیمه؛  $Z = 300\Omega$ ، ضریب سرعت  $0.85$ ). (ج) پاپیونی (صفخه زمین - عمودی). (د) مارکنی ( $\theta = 35^\circ$ ؛  $0.73\lambda$ ).

الف:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{492 \times 0.97}{f} = \frac{477.25}{31} = 15.4 \text{ ft}$$

مقاومت تشعشعی دوقطبی برابر ۷۳ اهم است.

ب:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{492}{f} = \frac{492}{31} = 15.87 \text{ ft}$$

با در نظر گرفتن ضریب سرعت خواهیم داشت:  $15.87 \times 0.8 = 12.7 \text{ ft}$

ج:

$$\lambda = \frac{984}{f} = \frac{984}{31} = 31.6 \text{ ft}$$

$$0.73\lambda = 31.6(0.73) = 23 \text{ ft}$$

$$Z = 120 \ln \frac{\theta}{4} = 120 \ln \frac{35}{4} = 120(2.862) = 343.5 \Omega$$

د:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{234}{f} = 0.755 \text{ ft}$$

$$Z = 36/5\Omega$$

امپدانس آنتن صفحه زمین(مارکنی) یک دوم امپدانس دوقطبی است  $\Omega = 36/5 \div 2 = 36/5$

### دایرکتیویتی (جهتدهی)

در بسیاری از انواع سیستم‌های ارتباطی، استفاده از آنتن‌هایی با ویژگی‌های همه جانبه، یعنی آنتن‌هایی که می‌توانند پیام‌ها را به هر جهت ارسال کنند و از هر جهت دریافت کنند، مطلوب است. در برخی دیگر، محدود کردن جهت ارسال یا دریافت سیگنال‌ها سودمندتر است. این نیاز به یک آنتن با جهتدهی دارد.

جهتدهی به توانایی آنتن برای ارسال یا دریافت سیگنال در یک محدوده جهت افقی باریک اشاره دارد. به عبارت دیگر، جهت‌گیری فیزیکی آنتن به آن پاسخ جهتدهی یا منحنی جهتدهی بالایی می‌دهد. یک آنتن جهت‌دار تداخل سیگنال‌های دریافتی از همه جهات غیر از جهت سیگنال مورد نظر را حذف می‌کند. یک آنتن بسیار جهت‌دار به عنوان یک نوع فیلتر عمل می‌کند تا بر اساس جهت سیگنال، گرینش پذیری را رائه دهد. آنتن گیرنده مستقیماً به سمت ایستگاهی که قرار است دریافت شود نشان داده می‌شود و در نتیجه سیگنال‌های فرستنده را در تمام جهات دیگر حذف می‌کند.

آنتن‌های جهت‌دار کارایی بیشتری در انتقال توان ایجاد می‌کنند. با آنتن‌های همه‌جهته، توان ارسالی در تمام جهات به بیرون تابش می‌شود. تنها بخش کوچکی از توان توسط ایستگاه مورد نظر دریافت می‌شود. بقیه در واقع تلف شده است. هنگامی که آنتن جهت‌دار می‌شود، توان فرستنده را می‌توان در یک پرتو باریک به سمت ایستگاه مورد نظر متتمرکز کرد.

### خوب است بدانید که:

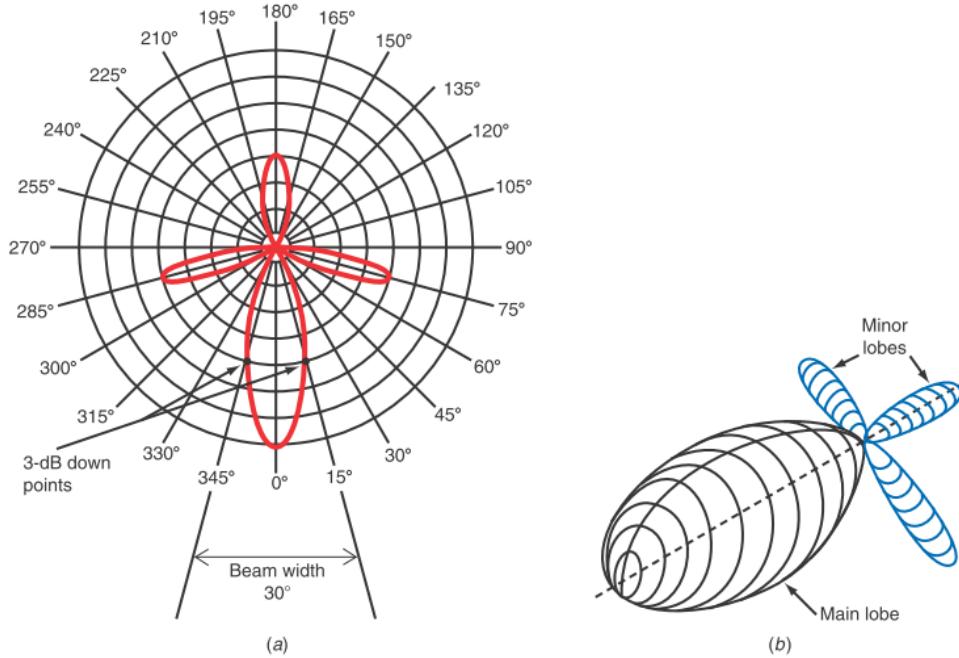
آنتن‌های جهت‌دار کارایی بالایی در انتقال توان دارند زیرا توان فرستنده را می‌توان در یک پرتو باریک به سمت ایستگاه مورد نظر متتمرکز کرد.

دوقطبی نیم‌موج معمولی دارای جهت‌گیری است که سیگنال‌ها را در جهت‌های عمود بر سیم آنتن می‌فرستد یا دریافت می‌کند. (این در شکل ۲۵.۱۴) نشان داده شده است، که منحنی پاسخ شکل ۸ یک دوقطبی نیم‌موج را نشان می‌دهد). آنتن دوقطبی نیم‌موج جهت‌دار است که هیچ سیگنالی از انتهای آن تابش یا از انتهای آن گرفته نمی‌شود. چنین آنتنی دوجهته ۲۵ نامیده می‌شود، زیرا سیگنال‌ها را در دو جهت بهترین دریافت می‌کند.

آنتن‌ها همچنین می‌توانند به صورت یک‌جهته ۲۶ طراحی شوند. آنتن‌های یک‌جهته سیگنال‌ها را فقط در یک جهت ارسال یا دریافت می‌کنند. شکل (الف) ۲۵.۱۴ (الف) الگوی جهتدهی یک آنتن بسیار جهت‌دار را نشان می‌دهد. حلقه بزرگتر نشان دهنده منحنی پاسخ اصلی برای آنتن است. حداکثر تابش یا دریافت در جهت ۰ درجه است. سه الگو یا حلقه کوچکتر که در جهات مختلف از الگوی بزرگتر اصلی جدا می‌شوند، لوب‌های (گلبرگهای) فرعی نامیده می‌شوند. یک نسخه سه بعدی از الگوی تابش افقی نشان داده شده در شکل (الف) ۲۵.۱۴ در شکل (ب) آورده شده است.

<sup>۲۵</sup>Bidirectional

<sup>۲۶</sup>Unidirectional



شکل ۲۵.۱۴: الگوی تابش یک آنتن بسیار جهت‌دار با بهره. (الف) الگوی تشعشع افقی. (ب) الگوی تابش سه بعدی.

تعداد کمی از آنتن‌ها کاملاً یک جهته هستند. به دلیل نقص‌های مختلف، مقداری توان در جهات دیگر (لوب‌های کوچک) تابش می‌شود (یا دریافت می‌شود). هدف از بین بردن یا حداقل به حداقل رساندن لوب‌های کوچک از طریق تنظیمات مختلف آنتن و بهبودهایی است که برای وارد کردن قدرت بیشتر به لوب اصلی طراحی شده‌اند.

عرض پرتو در یک دوقطبی نیم‌موج استاندارد تقریباً  $90^\circ$  درجه است. این یک آنتن بسیار جهت‌دار نیست. البته هرچه عرض پرتو باریکتر باشد، جهت‌دار بودن بهتر و سیگنال متمن‌کرتر است. آنتنی که الگوی آن در شکل ۲۵.۱۴ نشان داده شده است دارای عرض پرتو  $30^\circ$  درجه است. در فرکانس‌های مایکروویو، آنتن‌هایی با عرض پرتو کمتر از یک درجه ساخته شده است. اینها دقیق ارتباط دقیق را ارائه می‌دهند.

### بهره آنتن

هنگامی که از یک آنتن بسیار هدایت کننده استفاده می‌شود، تمام توان ارسالی در یک جهت متمن‌کر می‌شود. از آنجایی که توان در یک پرتو کوچک متمن‌کر می‌شود، این اثر به‌گونه‌ای است که گویی آنتن سیگنال ارسالی را تقویت کرده است. جهت‌دهی (دایرکتیویته)، به دلیل اینکه قدرت را متمن‌کر می‌کند، باعث می‌شود آنتن بهره را نشان دهد که یکی از صور تقویت است. البته یک آنتن نمی‌تواند سیگنال را تقویت کند. با این حال، از آنجایی که می‌تواند انرژی را در یک جهت متمن‌کر کند، این اثر به‌این صورت است که گویی مقدار توان تابشی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از توان خروجی فرستنده است. آنتن بهره قدرت دارد.

بهره توان یک آنتن را می‌توان به صورت نسبت توان ارسالی  $P_{trans}$  به توان ورودی آنتن  $P_{in}$  بیان کرد. با این حال، معمولاً افزایش توان با دسی‌بل بیان می‌شود:

$$dB = 10 \log \frac{P_{trans}}{P_{in}}$$

مقدار کل توان تابش شده توسط آنتن، ERP، همانطور که قبلاً گفته شد، توان اعمال شده به آنتن ضرب در بهره آنتن است. افزایش توان  $10^x$  یا بیشتر به راحتی بدست می‌آید، به خصوص در RF‌های بالاتر. این بدان معنی است که یک فرستنده  $100$  وات می‌تواند به عنوان یک فرستنده  $1000$  وات عمل کند وقتی که روی آنتن با بهره اعمال شود.

### رابطه بین دایرکتیویتی با بهره

رابطه بین بهره و جهت‌دهی آنتن به صورت ریاضی با رابطه زیر بیان می‌شود

$$B = \frac{20^3}{(\sqrt{10})^x}$$

که در آن  $B$  = عرض پرتو آنتن بر حسب درجه.

$x = dB/10$  = بهره توان آنتن بر حسب دسی‌بل تقسیم بر  $10$

عرض پرتو در نقاط پایین  $3dB$  در الگوی تابشی اندازه‌گیری می‌شود. یک لوب اصلی متقارن را در نظر می‌گیرد.

به عنوان مثال، عرض پرتو یک آنتن با بهره  $15$  دسی‌بل روی یک دوقطبی به صورت زیر محاسبه می‌شود ( $x = dB/10 = 15/10 = 1.5$ ):

$$B = \frac{20^3}{(\sqrt{10})^{1.5}} = \frac{20^3}{\sqrt[3]{100}} = 26.1^\circ$$

با توجه به عرض پرتو، می‌توان با تنظیم مجدد رابطه و با استفاده از لگاریتم، بهره را بدست آورد:

$$x = 2 \log \frac{20^3}{B}$$

عرض پرتو یک آنتن با بهره مجهول را می‌توان بر حسب میدان اندازه‌گیری و سپس بهره را محاسبه کرد. به عنوان مثال، عرض پرتو  $23$  دسی‌بل اندازه‌گیری شده را  $7$  درجه فرض کنید بهره برابر است با:

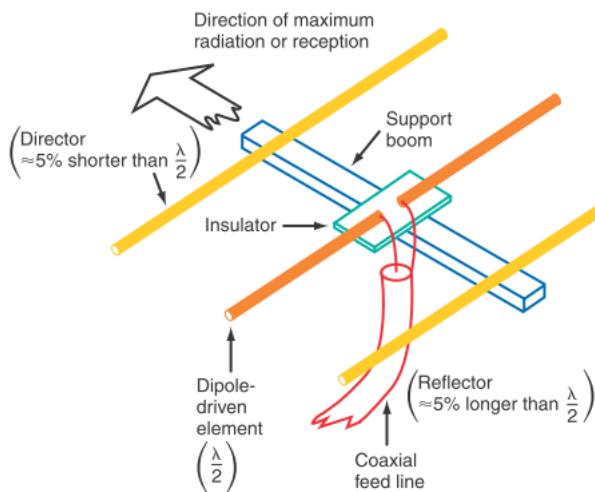
$$x = 2 \log \frac{20^3}{7} = 2.925$$

از آنجائی که  $x = dB/10$ ,  $dB = 10x$  بنابراین بهره بر حسب دسی‌بل خواهد بود  $= 10 \times 2.925 = 29.25dB$ .

برای ایجاد یک آنتن با جهت‌دهی و بهره، دو یا چند عنصر آنتن با هم ترکیب می‌شوند تا یک آرایه تشکیل دهند. دو نوع اصلی از آرایه‌های آنتن برای دستیابی به بهره و جهت‌دهی استفاده می‌شود: آرایه‌های پارازیتیک و آرایه‌های محرک (تغذیه شده).

### آرایه‌های پارازیتیک

یک آرایه پارازیتیک (انگلی) شامل یک آنتن پایه متصل به یک خط انتقال به اضافه یک یا چند هادی اضافی است که به خط انتقال متصل نیستند. این هادی‌های اضافی به عنوان عناصر پارازیتیک و خود آنتن به عنوان عنصر محرک شناخته می‌شوند. به طور معمول عنصر تغذیه شده یک دوقطبی نیم موج یا تغییراتی است. طول عناصر پارازیتیک کمی بلندتر و کمی کمتر از یک دوم طول موج است. این عناصر پارازیتیک به وازالت و نزدیک عناصر محرک قرار می‌گیرند. یک آرایش رایج در شکل (۲۶۱۴) نشان داده شده است. عناصر آنتن همه بر روی یک تیرک مشترک نصب شده‌اند. تیرک نباید عایق



شکل ۲۶.۱۴: یک آرایه پارازیتیک بنام آنتن یاگی

باشد. از آنجایی که یک ولتاژ تهی در مرکز یک رسانای یک دوم طول موج در فرکانس تشديد وجود دارد، هیچ اختلاف پتانسیلی بین عناصر وجود ندارد و بنابراین می‌توان همه آنها را به یک تیرک رسانا بدون اثر نامطلوب متصل کرد. به عبارت دیگر، عناصر "با هم اتصال کوتاه" نیستند.

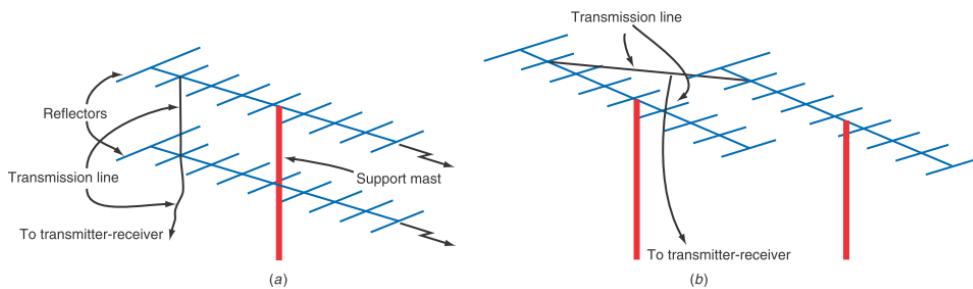
بازتابنده، یک عنصر پارازیتیک است که معمولاً حدود ۵ درصد بلندتر از عنصر دوقطبی نیم موج است، با فاصله  $15\lambda/0$  تا  $25\lambda/0$  از عنصر محرک (تجذیه شونده) فاصله دارد. هنگامی که سیگنال تابش شده از دوقطبی به بازتابنده (فلکتور) می‌رسد، ولتاژی را به بازتابنده القا و بازتابنده مقداری تابش خود را تولید می‌کند. به دلیل فاصله، تابش بازتابنده عمدتاً با تابش عنصر محرک هم فاز است. در نتیجه، سیگنال منعکس شده به سیگنال دوقطبی اضافه می‌شود و یک پرتو قوی‌تر و متتمرکزتر در جهت عنصر محرک ایجاد می‌کند. بازتابنده تابش سمت راست عنصر محرک را به حداقل می‌رساند و تابش سمت چپ عنصر محرک را تقویت می‌کند (شکل ۲۶.۱۴).

یکی دیگر از عناصر پارازیتیک هدایت کننده (دایرکتور)<sup>۲۷</sup> است. یک هدایت کننده تقریباً ۵ درصد کوتاه‌تر از عنصر دوقطبی نیمه موج است و در جلوی عنصر محرک نصب می‌شود. هدایت کننده‌ها در جلوی عنصر محرک قرار می‌گیرند و با فاصله‌ای بین تقریباً یک دهم و دو دهم طول موج از عنصر محرک فاصله دارند. سیگنال عنصر محرک باعث القای ولتاژی در دایرکتور می‌شود. سپس سیگنالی که توسط دایرکتور تابش می‌شود با سیگنالی که از عنصر محرک تابش می‌کند اضافه می‌شود. نتیجه افزایش تمرکز سیگنال، عرض پرتو باریکتر و افزایش آنتن در جهت دایرکتور است. الگوی تابش کلی آنتن در شکل (۲۶.۱۴) بسیار شبیه به آنچه در شکل (۲۵.۱۴) نشان داده شده است.

آننتی که از یک عنصر محرک و یک یا چند عنصر پارازیتیک تشکیل شده، به طور کلی به نام یکی از مخترعنان آن، آنتن یاگی<sup>۲۸</sup> نامیده می‌شود. المان‌های آنتن معمولاً از لوله آلومینیومی ساخته می‌شوند و بر روی یک عضو متقاطع یا دیرک آلومینیومی نصب می‌شوند. از آنجایی که مراکز عناصر پارازیتیک از نظر الکتریکی خنثی هستند، این عناصر می‌توانند مستقیماً به دیرک متصل شوند. برای بهترین

<sup>۲۷</sup> Director<sup>۲۸</sup> Yagi Antenna

محافظت در برابر صاعقه، دیرک را می‌توان به یک دکل فلزی و زمین الکتریکی متصل کرد. آنتنی که به‌این روش پیکربندی شده است، اغلب به عنوان آنتن پرتو شناخته می‌شود زیرا بسیار جهت‌دار است و بهره بسیار بالایی دارد. بهره ۳ تا ۱۵ دسی‌بل با زوایای پرتو ۲۰° تا ۴۰° امکان پذیر است. آنتن سه عنصری یاگی نشان داده شده در شکل (۲۷.۱۴) در مقایسه با دوقطبی نیم‌موج، بهره‌ای در حدود ۸ دسی‌بل دارد. ساده‌ترین یاگی یک عنصر محرک و یک بازتابنده با بهره حدود ۳ دسی‌بل نسبت به یک دوقطبی است. اکثر یاگی‌ها دارای یک عنصر محرک، یک بازتابنده و از ۱ تا ۲۰ دایرکتور هستند. هر چه تعداد دایرکتورها بیشتر باشد بهره بیشتر و زاویه پرتو باریکتر می‌شود.



شکل ۲۷.۱۴: آرایه یاگی‌ها (الف) انباشت (روی‌هم). (ب) در کنار هم.

با ترکیب دو یا چند یاگی برای تشکیل یک آرایه می‌توان بهره و جهت اضافی را به دست آورد. دو نمونه در شکل (۲۷.۱۴) نشان داده شده است. در شکل (۲۷.۱۴)(الف)، دو یاگی ۹ عنصری روی هم چیده شده‌اند. فاصله، بهره و جهت‌دهی کلی را تعیین می‌کند. در شکل (۲۷.۱۴) (ب)، دو یاگی ۹ عنصری در کنار هم در یک صفحه نصب شده‌اند. بهره و عرض پرتو به فاصله بین دو آرایه و نحوه اتصال خط انتقال بستگی دارد.

امپدانس عنصر محرک آنتن یاگی به طور گستردگی با تعداد عناصر و فاصله متفاوت است. عناصر پارازیتیک امپدانس عنصر محرک را تا حد زیادی کاهش می‌دهند و در برخی ترتیبات آن را کمتر از ۱۰Ω می‌کنند. به طور معمول، نوعی مدار یا مکانیزم تطبیق امپدانس باید برای دستیابی به تطبیق معقول با کابل کواکسیال ۵۰Ω، که رایج‌ترین خط تقدیم است، استفاده شود.

علیرغم تمرکز بازتابنده و هدایت کننده در یاگی، به طوری که بیشتر قدرت در جهت جلو تابش می‌شود، مقدار کمی به عقب از دست می‌رود و یاگی را به یک آنتن جهت‌دار کمتر از کامل تبدیل می‌کند. بنابراین، علاوه بر بهره و عرض پرتو، یکی دیگر از مشخصات یک یاگی نسبت توان تابش شده در جهت جلو (پیشران) به توان تابش شده در جهت عقب (پسran) یا نسبت توان پیشران به پسran<sup>۲۹</sup> است:

$$F/B = 10 \log \frac{P_f}{P_b}$$

که در آن  
توان پیشران =  $P_f$   
توان پسran =  $P_b$

<sup>۲۹</sup>Front to Back (F/B) Ratio

مقادیر نسبی توان پیشان به پسaran با تخمین اندازه حلقه‌ها در الگوی تابش برای آتن مورد نظر تعیین می‌شود. هنگامی که الگوهای تابش به جای قدرت بر حسب دسی بل رسم می‌شوند، نسبت F/B صرفاً تفاوت بین حداکثر مقدار پیشان و حداکثر مقدار پسaran، بر حسب دسی بل است.

با تغییر تعداد عناصر پارازیتیک و فاصله آنها، می‌توان نسبت F/B را به حداکثر رساند. البته تغییر تعداد المان‌ها و فاصله آنها نیز بر بهره پیشان تاثیر می‌گذارد. با این حال، حداکثر بهره با شرایط یکسان مورد نیاز برای دستیابی به حداکثر نسبت F/B رخ نمی‌دهد. بیشتر یاگیها برای به حداکثر رساندن نسبت F/B به جای بهره طراحی شده‌اند، بنابراین تشبع و دریافت از پشت آتن را به حداقل می‌رسانند.

یاگی‌ها به دلیل جهت دهی و بهره آتن‌های ارتباطی پر استفاده هستند. زمانی، آنها به طور گسترده برای دریافت تلویزیون مورد استفاده قرار می‌گرفتند، اما از آنجایی که آنها فقط روی یک فرکانس تنظیم می‌شوند، برای دریافت یا انتقال در یک محدوده فرکانس وسیع مناسب نیستند. اپراتورهای رادیویی آماتور از کاربران اصلی آتن‌های پرتو هستند. و بسیاری از خدمات ارتباطی دیگر به دلیل عملکرد عالی و هزینه کم از آنها استفاده می‌کنند.

آتن‌های پرتویی مانند یاگی عمدها در VHF و UHF استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، در فرکانس ۴۵° مگاهرتز، عناصر یاگی تنها حدود یک فوت طول دارند و آتن را نسبتاً کوچک و کارکردن با آن آسان می‌کند. هرچه فرکانس کمتر باشد، عناصر بزرگتر و دیرک طولانی‌تر است. به طور کلی، چنین آتن‌هایی فقط در فرکانس‌های بالای ۱۵ مگاهرتز کاربردی هستند. در ۱۵ مگاهرتز، طول عناصر بیش از ۳۵ فوت است. اگرچه کار با آتن‌هایی با این طول طویل دشوار است، اما همچنان در برخی از خدمات ارتباطی به طور گسترده استفاده می‌شود.

### تغذیه آرایه‌ها

نوع اصلی دیگر آتن جهت‌دار آرایه محرك است، آتنی که دارای دو یا چند عنصر محرك است. هر عنصر انرژی RF را از خط انتقال دریافت و آرایش‌های مختلف عناصر در جات مختلف جهت دهی و بهره را ایجاد می‌کند. سه نوع اصلی آرایه‌های تغذیه شده عبارتند از: همراس<sup>۲۰</sup>، پهلوان<sup>۲۱</sup> و عقربان<sup>۲۲</sup>.

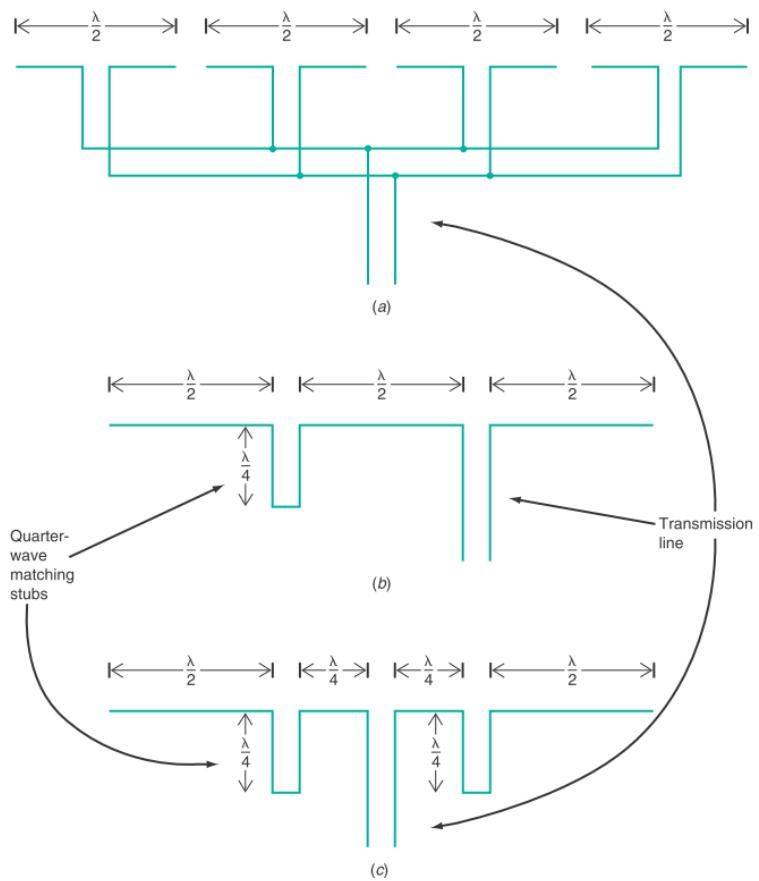
**آنتهای همراس** : آتن‌های همراس عموماً از دو یا چند دوقطبی نیم‌موج تشکیل شده‌اند که سر یکی به انتهای دیگری وصل شده‌اند. (شکل ۲۸.۱۴) طول خطوط انتقال که عناصر محرك مختلف را بههم وصل می‌کنند به دقت انتخاب شده‌اند تا انرژی رسیده به هر آتن با تمام آتن‌های دیگر هم فاز باشد. با این پیکربندی، سیگنال‌های هر آتن با هم ترکیب می‌شوند و پرتو متمنکزتری تولید می‌کنند. سه اتصال مختلف خط انتقال در شکل نشان داده شده است. مانند آتن‌های دوقطبی، آتن‌های همراس دارای الگوی تابش دو طرفه هستند، اما عرض دو پرتو بسیار باریک‌تر هستند و جهت دهی و بهره بیشتری را ارائه می‌دهند. با چهار یا چند عنصر نیم‌موج، لوب‌های کوچک شروع به ظاهر شدن می‌کنند. الگوی تشبعی آتن‌های همراس عمومی در شکل ۲۹.۱۴ نشان داده شده است.

<sup>۲۰</sup> Collinear Antennas

<sup>۲۱</sup> Broadside

<sup>۲۲</sup> End Fire

<sup>۲۳</sup> Log Periodic

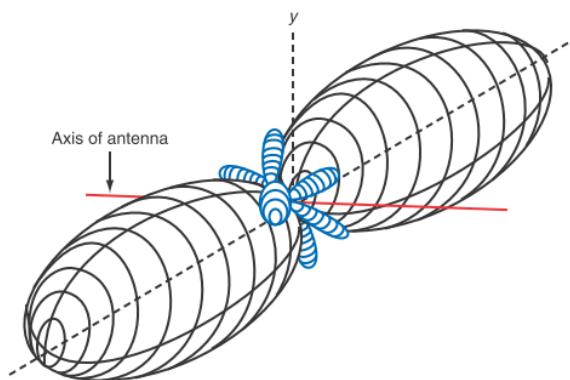


شکل ۲۸.۱۴: انواع آنتنهای همراس

آنтенهای همراس در شکل (۲۸.۱۴)(ب) و (ج) از بخش‌های نیم موج استفاده می‌کنند که توسط دنباله‌های تطبیق ربع موج با انتهای اتصال کوتاه از هم جدا شده‌اند، که اطمینان حاصل می‌شود که سیگنال‌های تابش شده توسط هر بخش نیم موج هم فاز هستند. هر چه تعداد بخش‌های نیم موج استفاده شده بیشتر باشد، بهره بیشتر و عرض پرتو باریکتر می‌شود.

آنتنهای همراس معمولاً فقط روی باندهای VHF و UHF استفاده می‌شوند، زیرا طول آنها در فرکانس‌های پایین‌تر بسیار زیاد است. در فرکانس‌های بالا، آنتن‌های همراس معمولاً به صورت عمودی نصب می‌شوند تا یک آنتن همه‌جهته با بهره ارائه کنند.

**آنتنهای پهلو ران:** آرایه پهلو ران اساساً یک آنتن همراس که از دوقطبی‌های نیم موج روی هم تشکیل شده و با یک دوم طول موج از یکدیگر فاصله دارند، (شکل ۳۰.۱۴). دو یا چند عنصر را می‌توان با هم ترکیب کرد. هر کدام به دیگری و به خط انتقال متصل است. خط انتقال متقطع، فازبندی صحیح سیگنال را تضمین می‌کند. آنتن به دست آمده یک الگوی تابشی بسیار جهت‌دار، نه در خط عناصر، مانند یاگی، بلکه عمود بر صفحه آرایه تولید می‌کند. مانند آنتن همراس، قسمت پهلو ران از نظر تابش دو طرفه است، اما الگوی تابش دارای عرض پرتو بسیار باریک و بهره زیاد است. الگوی تابش



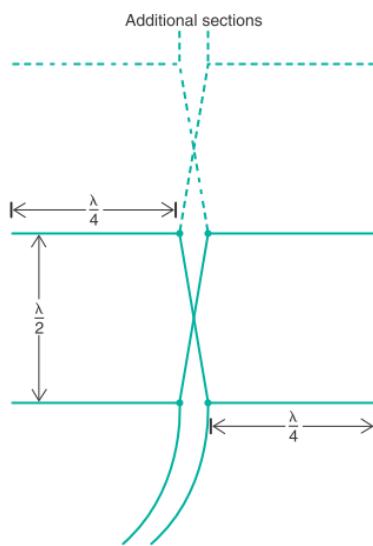
شکل ۲۹.۱۴: الگوی تشعشعی چهار آنتن همراس

آن نیز شبیه آنتن همراس است، (شکل ۲۹.۱۴). الگوی تابش عمود بر صفحه عناصر محرک (تغذیه شده) است.

**آنتهای عقب ران:** آرایه عقب ران نشان داده شده در شکل (۳۱.۱۴)(الف)، از دو دوقطبی نیم موج استفاده می‌کند که با فاصله یک دوم از طول موج از هم فاصله دارند. هر دو عنصر توسط خط انتقال تغذیه می‌شوند. آنتن دارای الگوی تابش دو طرفه است، اما با عرض پرتو باریکتر و بهره کمتر. تابش در صفحه عناصر محرک مانند یاگی است. آرایه عقب ران در شکل (۳۱.۱۴)(ب) از پنج عنصر محرک استفاده می‌کند که کسری از طول موج  $D$  از هم فاصله دارند. با انتخاب دقیق تعداد بهینه عناصر با فاصله مناسب مرتبط، یک آنتن بسیار یک طرفه ایجاد می‌شود. فاصله گذاری باعث می‌شود که لوب در یک جهت حذف شود بهطوری که به لوب دیگر اضافه شود و بهره و جهتدهی بالایی در یک جهت ایجاد کند.

**آنتهای تناوب لگاریتمی:** نوع خاصی از آرایه محرک، آنتن تناوبی با پهنای باند گسترده است (شکل ۳۲.۱۴). طول عناصر تغذیه شده از بلند تا کوتاه متفاوت است و از نظر لگاریتمی بهم مرتبط هستند. طولانی‌ترین عنصر دارای طول یک دوم طول موج در کمترین فرکانس قابل پوشش است و کوتاه‌ترین عنصر یک دوم طول موج در فرکانس بالاتر است. فاصله نیز متغیر است. هر عنصر با یک بخش خط انتقال کوتاه ویژه تغذیه می‌شود تا سیگنال را به درستی فاز بندی کند. خط انتقال در کوچکترین عنصر متصل است. امپدانس تغذیه از حدود  $200\Omega$  تا  $80\Omega$  اهم متغیر است و بهنسبت طول به قطر عنصر محرک بستگی دارد. نتیجه یک آنتن بسیار جهت دار با بهره عالی است.

مزیت بزرگ آنتن تناوب لگاریتمی نسبت به یاگی یا آرایه دیگر، پهنای باند بسیار وسیع آن است. بیشتر یاگی‌ها و دیگر آرایه‌های هدایت‌شده برای فرکانس خاص یا باند باریکی از فرکانس‌ها طراحی شده‌اند. طول عناصر فرکانس عملکرد را تعیین می‌کند. وقتی قرار است از بیش از یک فرکانس استفاده شود، البته می‌توان از چندین آنتن استفاده کرد. آنتن تناوب لگاریتمی می‌تواند به محدوده فرکانس ۱ : ۴ دست یابد و پهنای باند بسیار وسیعی به آن بدهد. امپدانس تغذیه در این محدوده ثابت می‌ماند. برخی از آنتن‌های تلویزیونی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند از انواع تناوب لگاریتمی هستند بهطوری که می‌توانند بهره و جهتدهی بالایی را در کانال‌های تلویزیونی VHF و UHF ارائه دهند. آنتن‌های تناوب لگاریتمی در سایر سیستم‌های ارتباطی دوطرفه که پهنای باند



شکل ۳۰.۱۴: آرایه پهلو ران

### وسيع و فركانس هاي متعدد باید پوشش داده شود نيز استفاده می شوند. تطبيق امپدانس آنتنها

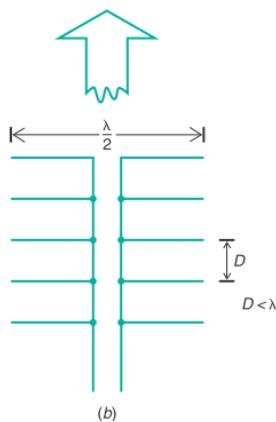
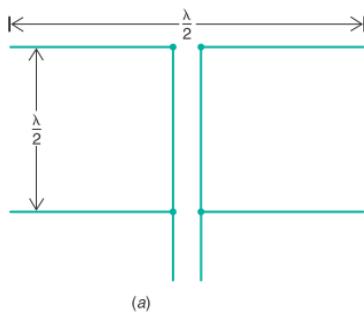
يکی از حیاتی ترین جنبه های هر سیستم آنتن، اطمینان از انتقال حداکثر توان از فرستنده به آنتن است. البته بخش مهمی از این موضوع خود خط انتقال است. هنگامی که امپدانس مشخصه خط انتقال با امپدانس خروجی فرستنده و امپدانس خود آنتن تطبيق داشته باشد،  $SWR$  برابر یک خواهد بود و حداکثر انتقال قدرت انجام خواهد شد.

بهترین راه برای جلوگیری از عدم تطبيق بین آنتن و خط انتقال، طراحی صحیح است. در عمل، زمانی که عدم تطبيق رخ می دهد، برخی اصلاحات ممکن است. یک راه حل این است که آنتن را تنظیم کنید، معمولاً با تنظیم طول آن برای به حداقل رساندن  $SWR$ . یکی دیگر این است که یک مدار تطبيق امپدانس یا تیونر آنتن بین فرستنده و خط انتقال، مانند شبکه های بالون یا  $T$ ،  $LC$  یا  $\pi$  که قبلًا توضیح داده شد، قرار دهید. این مدارها می توانند امپدانس ها را برابر کنند تا عدم تطبيق رخ ندهد یا حداقل عدم تطبيق به حداقل برسد. ایده آل  $SWR$  برابر یک است، اما هر مقدار  $SWR$  زیر ۲ معمولاً قابل قبول است.

### مثال ۲-۱۴

یک آنتن دارای بهره ۱۴ دسی بل است. این توسط یک خط انتقال RG-8/U به طول  $25^{\circ}$  فوت تغذیه می شود که تضعیف آن  $3/6$  دسی بل برای هر  $100^{\circ}$  فوت در  $22^{\circ}$  مگاهرتز است. خروجی فرستنده  $50^{\circ}$  وات است. (الف) تلفات خط انتقال و (ب) توان تابشی موثر را محاسبه کنید.

$$\bullet \text{ الف} \quad \text{کل تضعیف خط برابر با } \frac{25^{\circ}}{100^{\circ}} = \frac{25}{100} \text{ dB}$$



شکل ۳۱.۱۴: آننهای عقب ران (الف) دو جهته (ب) یک جهته

علامت منفی نمایشگر تلفات است.  $2/5 \times 3/5 = -9 \text{ dB}$

$$dB = 10 \log P$$

$$P = \log^{-1} \frac{dB}{10} = 0.126$$

$$P = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

که در آن

$P_{in}$  = توان ورودی خط انتقال.

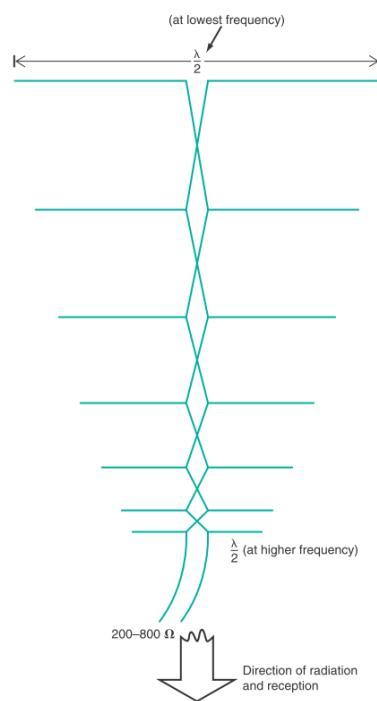
$P_{out}$  = توان خروجی خط انتقال

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = 0.126; \quad P_{in} = 50 \text{ W}, \quad P_{out} = 0.126(50) = 6.3 \text{ W}$$

• ب بهره برابر ۱۴ dB است،

$$\log^{-1} \frac{dB}{10} = \log^{-1} 14 = 25/1$$

$$ERP = \text{نسبت توان} \times \text{توان آنن} = 6.3(25/1) = 158.2 \text{ W}$$



شکل ۳۲.۱۴: آنتهای تناوب لگاریتمی.

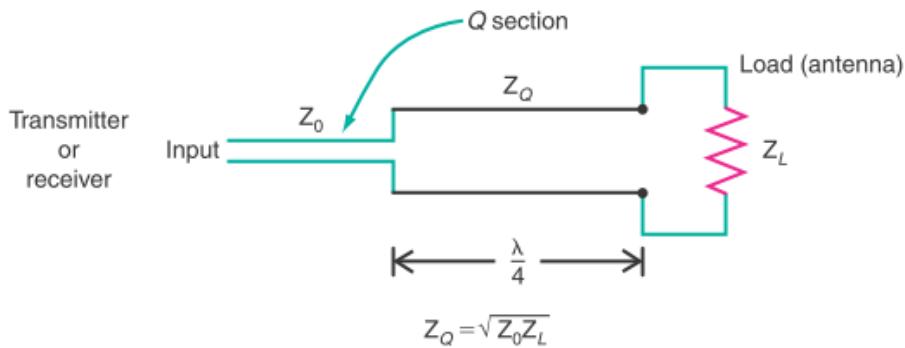
امروزه اکثر فرستنده‌ها و گیرنده‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که امپدانس آنتن  $50\ \Omega$  داشته باشند. گیرنده‌ها باید یک سیستم آنتن شامل خط انتقال را ببینند که شبیه یک ژنراتور با امپدانس مقاومتی  $50\ \Omega$  است. اگر قرار است SWR نزدیک به یک باشد و حداکثر توان به آنتن منتقل شود، فرستنده‌ها باید آنتنی شامل خط انتقال با امپدانس مقاومتی  $50\ \Omega$  را در محدوده فرکانس کاری مورد نظر ببینند.

### خوب است بدانید که:

هنگامی که عدم تطبیق امپدانس بین آنتن و خط انتقال رخ می‌دهد، ممکن است با تنظیم طول آنتن برای به حداقل رساندن SWR، یا با قرار دادن یک مدار تطبیق امپدانس یا یک تیونر آنتن بین فرستنده و خط انتقال، مشکل برطرف شود.

برای کاربردهای فرکانس پایین (کمتر از  $30\ \text{MHz}$ ) با استفاده از آنتن‌های سیمی در ارتفاع بالای زمین، کابل کواکسیال  $50\ \Omega$  اهم با آنتن تطبیق دارد و نیازی به اقدام بیشتر نیست. با این حال، اگر از طرح‌های دیگر آنتن استفاده می‌شود، یا اگر امپدانس نقطه تغذیه تفاوت زیادی با کابل کواکسیال  $50\ \Omega$  دارد، باید از ابزارهایی برای اطمینان از تطبیق امپدانس‌ها استفاده کرد. به عنوان مثال، بیشتر آنتن‌های یاگی و سایر آنتن‌های چند عنصری دارای امپدانسی هستند که حتی به  $50\ \Omega$  اهم نمی‌رسد. علاوه بر این، آنتنی که طول مناسبی برای فرکانس مورد نظر ندارد، دارای یک جزء راکتیو بزرگ است

که می‌تواند به شدت بر SWR و توان خروجی تأثیر بگذارد. در شرایطی که تطبیق کامل بین آنتن، خط انتقال و فرستنده امکان‌پذیر نیست، تکنیک‌های خاصی که در مجموع به عنوان تنظیم آنتن<sup>۳۴</sup> یا تطبیق آنتن<sup>۳۵</sup> نامیده می‌شوند، برای به حداقل رساندن توان خروجی و ورودی استفاده می‌شوند. بیشتر این تکنیک‌ها با هدف تطبیق امپدانس، یعنی ایجاد یک امپدانس شبیه به دیگری از طریق استفاده از مدارهای هماهنگی یا دستگاه‌های دیگر انجام می‌شوند. چندین مورد از معروف‌ترین روش‌ها در بخش‌های زیر توضیح داده شده است.



شکل ۳۳.۱۴: دنباله تطبیق ربع موج یا بخش Q.

**بخش‌های Q:** بخش Q یا دنباله تطبیق، یک خط انتقال کواکسیال با طول یک چهارم طول موج (ربع موج) یا متعادل از یک امپدانس خاص است که بین بار و منبع بهمنظور تطبیق امپدانس‌ها متصل می‌شود (شکل ۳۳.۱۴). از یک خط انتقال یک چهارم طول موج می‌توان برای شبیه سازی یک امپدانس بر اساس رابطه زیر استفاده کرد.

$$Z_Q = \sqrt{Z_0 Z_L}$$

که در آن

$Z_Q$  = امپدانس مشخصه دنباله تطبیق ربع موج یا بخش Q.

$Z_0$  = امپدانس مشخصه خط انتقال یا فرستنده در ورودی بخش Q.

$Z_L$  = امپدانس بار.

معمولًا  $Z_L$  امپدانس نقطه تغذیه آنتن است.

به عنوان مثال، فرض کنید می‌خواهید از یک بخش Q برای تطبیق یک خط انتقال کواکسیال استاندارد ۷۳ اهم با امپدانس ۳۶/۵ اهم آنتن عمودی یک چهارم طول موج استفاده کنید. با استفاده از معادله، داریم

$$Z_Q = \sqrt{36.5 \times 73} = 51.6 \Omega$$

این بهما می‌گوید که یک بخش طول یک چهارم طول موج کابل کواکسیال ۵۰ اهم، خط انتقال ۷۳ اهم را شبیه آنتن ۳۶/۵ اهم می‌کند یا برعکس. به این ترتیب حداقل توان منتقل می‌شود.

هنگامی که از خطوط انتقال متعادل دوسيمه استفاده می‌شود، می‌توان یک خط متعادل کننده ویژه برای دستیابی به امپدانس مورد نظر طراحی و ساخت. اگر استفاده از کابل کواکسیال استاندارد

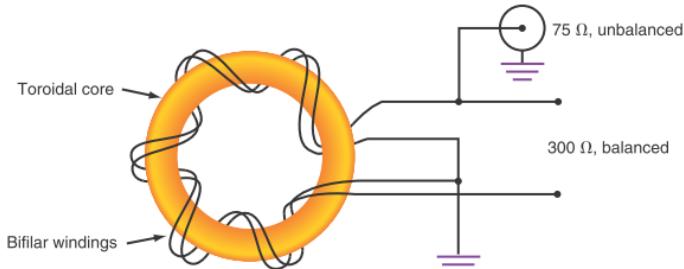
<sup>۳۴</sup>Antenna Tuning

<sup>۳۵</sup>Antenna Matching

مطلوب باشد، باید از امپدانس‌های استاندارد موجود استفاده کرد. این بدان معناست که بخش  $Q$  باید ۷۵ یا ۹۳ اهم باشد، زیرا اینها تنها سه مقدار استاندارد هستند که معمولاً در دسترس هستند. در استفاده از تکیک‌های بخش  $Q$ ، مهم است که ضریب سرعت کابل مورد استفاده برای ساخت بخش  $Q$  را در نظر بگیرید. به عنوان مثال، اگر یک بخش  $Q$  برابر ۹۳ اهم مورد نیاز باشد، می‌توان از کابل کواکسیال U/RG-62 استفاده کرد. اگر فرکانس کاری ۲۴ مگاهرتز باشد، طول یک چهارم طول موج  $10.25 = \frac{24}{24} = 246/f$  فوت است. ضریب سرعت برای این کابل  $86^{\circ}/86^{\circ}$  است و بنا بر این طول صحیح کابل  $8.815 = 86^{\circ} \times 10^{\circ}$  فوت است.

دو یا چند بخش  $Q$  را می‌توان به صورت سری برای دستیابی به تطبیق مورد نظر استفاده کرد که هر بخش یک تطبیق امپدانس بین امپدانس ورودی و خروجی خود را انجام می‌دهد.

**بالونها:** یکی دیگر از روش‌های رایج تطبیق امپدانس، استفاده از بالون است، نوعی ترانسفورماتور که برای تطبیق امپدانس‌ها استفاده می‌شود. اکثر بالون‌ها از یک هسته فریت، یا یک توروئید یا میله، و سیم پیچ‌هایی از سیم مسی ساخته شده‌اند. بالون‌ها پهنانی باند بسیار وسیعی دارند و بنابراین اساساً مستقل از فرکانس هستند. بالون‌ها را می‌توان برای تولید نسبت‌های تطبیق امپدانس  $1 : 1$ ،  $1 : 4$ ، و  $1 : 16$  ایجاد کرد. برخی از بالون‌ها دارای  $1 : 1$  نسبت امپدانس هستند؛ تنها کار این نوع بالون تبدیل بین وضعیت متعادل و نامتعادل بدون تغییر فاز است.



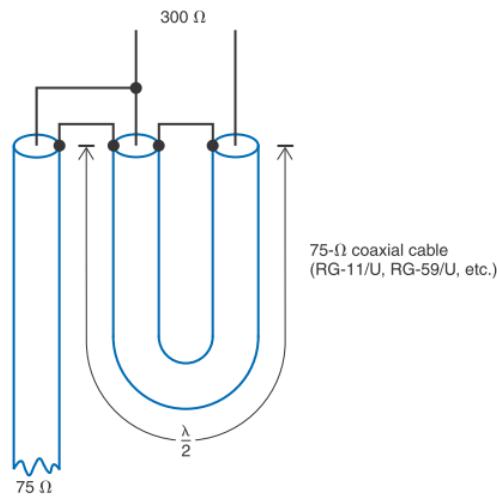
شکل ۳۴.۱۴: بالون دو رشته سیم تروئیدی برای تطبیق امپدانس.

شکل (۳۴.۱۴) بالون ۱ : ۴ ساخته شده با سیم پیچ دو رشتہای روی یک هسته حلقوی را نشان می‌دهد. سیم پیچ‌های دو رشتہای، که در آن دو سیم موازی به دور هسته بهم پیچیده شده‌اند، حداقل اتصال بین سیم و هسته را فراهم می‌کنند. اتصالات سیم‌ها به گونه‌ای است که تبدیل متعادل به نامتعادل ایجاد می‌کند. یک مثال رایج از چنین بالون‌ها، امپدانس نامتعادل ۷۵ اهم در یک سر و امپدانس متعادل ۳۰۰ اهم در طرف دیگر ارائه می‌کند. بالون‌ها کاملاً دو طرفه هستند. یعنی هر دو انتهای را می‌توان به عنوان ورودی یا خروجی استفاده کرد. چنین بالون‌هایی دارای قابلیت پهنه‌باند عالی هستند و در محدوده فرکانس پسیار و سیعی، کار می‌کنند.

خوب است بدانید که:

استفاده از تیونر آنتن در فرستنده تنها فرستنده را فریب می‌دهد تا  $SWR$  پایین را ببیند، در حالی که در  $SWR$  در خط بین تیونر و آنتن هنوز بالاست.

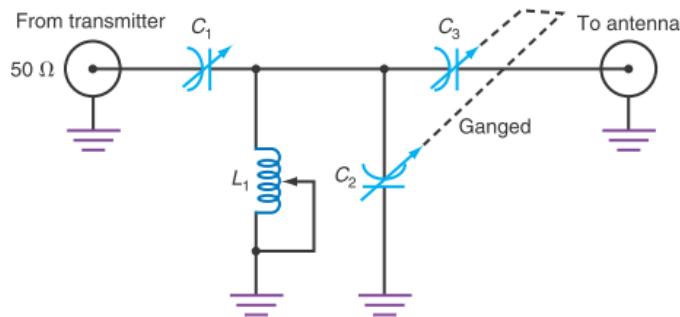
بالون‌ها را می‌توان از کایل کواکسیال نیز ساخت. یک کایل کواکسیال با طول یک دوم طول موج



شکل ۳۵.۱۴: بالون کواکسیال با نسبت امپدانس ۱ : ۴.

بین آنتن و خط تغذیه متصل است که در شکل (۳۵.۱۴) نشان داده شده است. هنگامی که طول بخش نیموج برای چنین پیکربندی محاسبه می‌شود، ضریب سرعت کابل کواکسیال باید در نظر گرفته شود. بالون‌های این نوع تبدیل امپدانس ۱ : ۴ را ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال، آنها می‌توانند به راحتی یک آنتن  $30^{\circ}$  اهم را به بار  $75\ \Omega$  اهمی تبدیل کنند و بالعکس.

**تنظیم کننده‌های آنتن:** هنگامی که بالون‌ها و بخش‌های تطبیق نمی‌توانند کار را انجام دهند، از تیونرهای آنتن استفاده می‌شود. یک تیونر آنتن یک سلف متغیر، یک یا چند خازن متغیر، یا ترکیبی از این اجزا به شکل پیکربندهای مختلف متصل می‌شود. شبکه‌های  $L$ ,  $T$  و  $\pi$  همگی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقادیر سلف و خازن تا زمانی تنظیم می‌شوند که SWR نشان دهد که امپدانس‌ها تطبیق شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که استفاده از تیونر آنتن در فرستنده فقط فرستنده را فریب می‌دهد تا SWR کم را ببیند. در واقعیت، SWR در خط بین تیونر و آنتن هنوز بالاست.



شکل ۳۶.۱۴: تنظیم کننده آنتن.

یکی از انواع رایج تیونر آنتن، مدار ترانس تطبیق است که از یک سیم پیچ و سه خازن برای تنظیم آنتن برای SWR بهینه استفاده می‌کند (شکل ۳۶.۱۴). خازن‌های  $C_2$  و  $C_3$  به طور همزمان به هم متصل شده و تنظیم می‌شوند. مدارهای ترانس تطبیق را می‌توان طوری ساخت که در محدوده فرکانس وسیعی، معمولاً بین ۲ تا ۳۰ مگاهرتز، کار کنند. مدار مشابهی را می‌توان با استفاده از مقادیر کمتر اندوکتانس و خازن برای تطبیق آنتن‌های VHF ایجاد کرد. در فرکانس‌های UHF و مایکروویو، صور دیگر تطبیق امپدانس استفاده می‌شود.

برای استفاده از این مدار، یک SWR سنج معمولاً به صورت سری به خط انتقال آنتن در خروجی ترانس تطبیق متصل می‌شود. سپس  $L_1$  برای حداقل SWR، با قدرت تغذیه فرستنده به آنتن، تنظیم می‌شود. سپس  $C_1$  و  $C_2$  برای حداقل SWR تنظیم می‌شوند. این روش چندین بار تکرار می‌شود و به طور متناوب سیم پیچ و خازن‌ها را تنظیم می‌کند تا به کمترین SWR برسد.

یک پیشرفت عمدۀ در تیونرهای آنتن، تیونر خودکار است. این ممکن است یک  $L$ ,  $T$  یا پیکربندی دیگری باشد که خود تنظیم می‌شود. به عنوان مثال، سلف در شکل (۳۶.۱۴) با چندین سر در طول آن ارائه می‌شود. با انتخاب سر مورد نظر می‌توان اندوکتانس را تغییر داد. به جای هر خازن، بانک‌هایی از خازن‌های موازی متصل وجود دارد که می‌توان آنها را داخل یا خارج کرد. تمام سرهای سلف و خازن‌ها توسط کنتاکت‌های رله داخل یا خارج می‌شوند. رله‌ها به‌نوبه خود توسط یک میکروکنترلر تعییه شده کار می‌کنند.

میکروکنترلر ورودی‌های خود را از بازخورد(فیدبک) ارائه شده توسط خروجی‌های یک قدرت سنج RF دریافت می‌کند. قدرت سنج‌های امروزی هم توان پیش‌ران و هم توان بازتابی را اندازه‌گیری می‌کنند و یک خروجی dc متناسب با این مقادیر ارائه می‌دهند. این مقادیر dc توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال به‌باینری تبدیل شده و به میکروکنترلر ارسال می‌شود. در میکروکنترلر برنامه‌ای وجود دارد که الگوریتمی را پیاده‌سازی می‌کند که به طور خودکار سلف و خازن‌ها را تنظیم می‌کند تا قدرت بازتابی به صفر یا به حداقل برسد. تیونر آنتن مدرن می‌تواند در چند ثانیه یا کمتر یک تطبیق عالی ایجاد کند.

### ۳-۱۴ مثال

طول بخش تطبیق امپدانس مورد نیاز برای یک بخش  $Q$  را محاسبه کنید تا یک خروجی فرستنده ۵۰ اهمی را با یک یا گی با امپدانس تغذیه ۱۷۲ اهمی تطبیق دهد. فرکانس کاری ۴۶۰ مگاهرتز است.

$$Z_Q = \sqrt{Z_o Z_L} = \sqrt{50 \times 172} = 92.74 \Omega$$

مقدار  $92.74 \Omega$  تطبیق نزدیکی با کابل کواکسیال RG-62 A/U با امپدانس  $93\Omega$  (شکل ۱۳.۱۴) دارد. ضریب سرعت  $0.86$  است.

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{246}{f} \times VF = \frac{246}{460} \times 0.86 = 0.46 \text{ ft (} 5/5 \text{ in)}$$

## مثال ۴-۱۴

طول بخش تطبیق امپدانس مورد نیاز برای یک بالون  $\lambda/4$  برای تبدیل  $75\Omega$  به  $300\Omega$  را محاسبه کنید. فرکانس کاری  $460$  مگاهرتز است. کابل کواکسیال A/U RG-59 خط انتخابی است. ضریب سرعت کابل A/U RG-59 برابر  $66\%$  است.

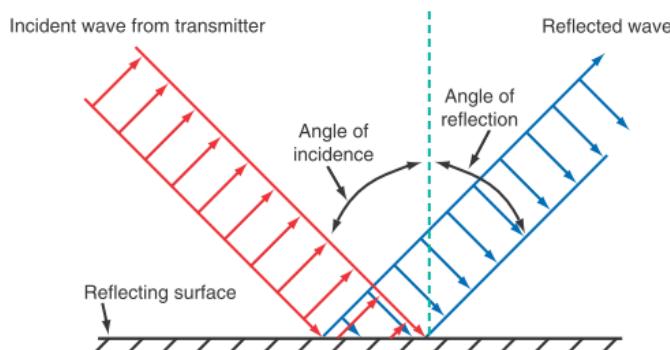
$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{v} \times \frac{1}{f} = \frac{300,000,000}{66\%} \times \frac{1}{460,000,000} = 0,353 \text{ ft} (4,23 \text{ in})$$

### ۳.۱۴ انتشار امواج رادیوئی

هنگامی که یک سیگنال رادیوئی توسط یک آنتن تابش می‌شود، در فضا حرکت و منتشر می‌شود و در نهایت به آنتن گیرنده می‌رسد. سطح انرژی سیگنال با فاصله گرفتن از آنتن فرستنده به سرعت کاهش می‌یابد. موج الکترومغناطیسی نیز تحت تأثیر اشیایی است که در طول مسیر با آنها مواجه می‌شود مانند درختان، ساختمان‌ها و سایر سازه‌های بزرگ. علاوه بر این، مسیری که سیگنال الکترومغناطیسی به آنتن گیرنده طی می‌کند به عوامل زیادی از جمله فرکانس سیگنال، شرایط جوی و زمان روز بستگی دارد. همه این عوامل را می‌توان برای پیش‌بینی انتشار امواج رادیوئی از فرستنده به گیرنده در نظر گرفت.

#### ویژگی‌های نوری امواج رادیوئی

امواج رادیوئی مانند امواج نور عمل می‌کنند. امواج نور می‌توانند توسط اجسام دیگر منعکس، شکست، پراش و متمرکز شوند. کانونی شدن امواج توسط آنتن‌ها برای تمرکز بیشتر در جهت دلخواه با عدسی قابل مقایسه است که امواج نور را در یک پرتو باریک‌تر متمرکز می‌کند. درک ماهیت نوری امواج رادیوئی احساس بهتری نسبت به نحوه انتشار آنها در فواصل طولانی می‌دهد.



شکل ۳۷.۱۴: نحوه بازتاب امواج رادیوئی از سطح هادی.

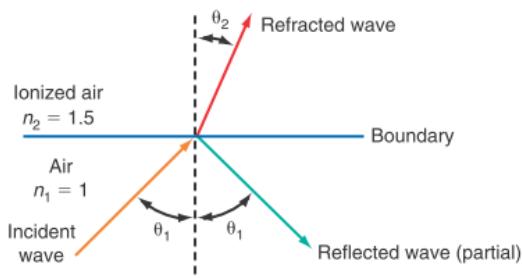
**بازتاب(انعکاس)**: امواج نور توسط توسیع آینه بازتاب می‌شوند. هر سطح رسانا شبیه یک آینه برای موج رادیوئی است و بنابراین امواج رادیوئی با هر سطح رسانایی که در طول مسیر انتشار با آن مواجه می‌شوند منعکس می‌شوند. تمام اجسام فلزی امواج رادیوئی را منعکس می‌کنند، به خصوص اگر جسم فلزی حداقل یک دوم طول موج در فرکانس عملکرد طول داشته باشد. هر جسم فلزی در مسیر انتقال،

مانند قطعات ساختمان، برج‌های آب، خودروها، هواپیماها و حتی خطوط برق، باعث ایجاد انعکاس می‌شود. انعکاس توسط سایر سطوح نیمه رسانا مانند زمین و توده‌های آب نیز ایجاد می‌شود. بازتاب امواج رادیویی از اصول بازتاب امواج نور پیروی می‌کند. یعنی زاویه انعکاس برابر با زاویه تابش است که در شکل (۳۷.۱۴) نشان داده شده است. موج رادیویی به صورت یک جبهه موج نشان داده می‌شود. برای ساده‌تر کردن نقشه، فقط خطوط نیروی الکتریکی که با فلش‌ها مشخص شده‌اند نشان داده می‌شوند. زاویه تابش زاویه بین خط ورودی موج و یک خط عمود بر سطح بازتابنده است. زاویه بازتاب زاویه بین موج بازتاب شده و خط عمود است.

یک هادی کامل باعث بازتاب کامل می‌شود: تمام انرژی موجی که به سطح برخورد می‌کند منعکس می‌شود. از آنجایی که هیچ هادی کاملی در دنیای واقعی وجود ندارد، بازتاب هرگز کامل نیست. اما اگر سطح بازتاب دهنده رسانای خوبی مانند مس یا آلومینیوم باشد و به اندازه کافی بزرگ باشد، بیشتر موج منعکس می‌شود. هادی‌های ضعیف به سادگی مقداری از انرژی موج را جذب می‌کنند. در برخی موارد، موج به طور کامل به سطح بازتابنده نفوذ می‌کند.

همانطور که شکل (۳۷.۱۴) نشان می‌دهد، جهت میدان الکتریکی که به سطح بازتابنده نزدیک شده و در جهت معکوس از سطح خارج می‌شود. فرآیند بازتاب قطبیش موج را معکوس می‌کند. این معادل تغییر فاز  $180^\circ$  درجه است.

**شکست(انکسار):** انکسار عبارت است از خمش موج به دلیل ساختار فیزیکی محیطی که موج از آن عبور می‌کند. سرعت موج رادیویی، مانند سرعت نور، تقریباً  $300000000$  متر بر ثانیه ( $186400$  مایل بر ثانیه) در فضای آزاد، یعنی در خلاء یا هوا است. هنگامی که نور از محیط دیگری مانند آب یا شیشه عبور می‌کند، سرعت آن کاهش می‌یابد. کاهش سرعت با ورود یا خروج نور به یک محیط دیگر باعث خم شدن امواج نور می‌شود.



شکل ۳۸.۱۴: چگونه تغییر در ضریب شکست باعث خمش یک موج رادیویی می‌شود.

همین اتفاق برای یک موج رادیویی می‌افتد. هنگامی که یک موج رادیویی در فضای آزاد حرکت می‌کند، با هوای با چگالی متفاوت مواجه می‌شود که چگالی آن به درجه یونیزاسیون (ناشی از افزایش یا از دست دادن کلی الکترون‌ها) بستگی دارد. این تغییر چگالی هوا باعث خم شدن موج می‌شود.

درجه خمش بستگی به ضریب شکست  $n$  محیط دارد که از تقسیم سرعت موج نور (یا رادیویی) در خلاء و سرعت موج نور (یا رادیویی) در محیطی که باعث ایجاد شکست موج می‌شود، به دست می‌آید. از آنجایی که سرعت موج در خلاء تقریباً برابر با سرعت موج در هوا است، ضریب شکست برای هوا بسیار نزدیک به یک است. ضریب شکست برای هر محیط دیگری بزرگ‌تر از یک خواهد بود، که بسته به میزان کاهش سرعت موج است.

شکل (۳۸.۱۴) نحوه شکست یک موج را نشان می‌دهد. موج تابشی از یک فرستنده در هوا حرکت می‌کند، جایی که با ناحیه‌ای از هوا یونیزه برخورد می‌کند که باعث کاهش سرعت انتشار می‌شود. موج تابشی دارای زاویه  $\theta_1$  نسبت به خط عمود بر مرز بین هوا و هوا یونیزه شده است. موج خم شده (شکسته) از هوا یونیزه شده عبور می‌کند. با این حال، اکنون جهت متغیری می‌گیرد، که دارای زاویه  $\theta_2$  نسبت به خط عمود است.

رابطه بین زاویه‌ها و ضرایب شکست با فرمولی بهنام قانون اسنل<sup>۳۶</sup> ارائه می‌شود:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

که در آن

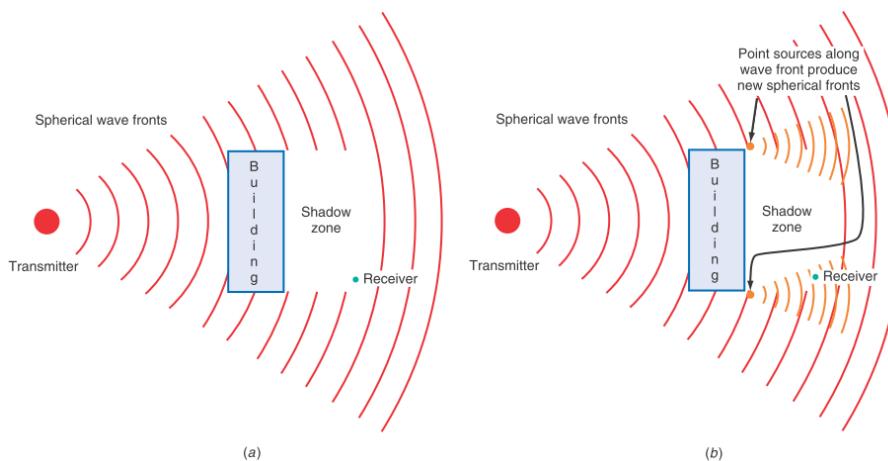
$n_1$  = ضریب شکست محیط اول

$n_2$  = ضریب شکست محیطی موج وارد آن می‌شود

$\theta_1$  = زاویه تابشی

$\theta_2$  = زاویه شکست.

توجه داشته باشید که مقداری انعکاس از مرز بین دو محیط نیز وجود خواهد داشت زیرا یونیزاسیون باعث می‌شود هوا یک رسانای جزئی باشد. با این حال، این بازتاب کامل نیست. مقدار زیادی از انرژی وارد منطقه یونیزه می‌شود.



شکل ۳۹.۱۴: پراش باعث خم شدن امواج در اطراف موانع می‌شود.

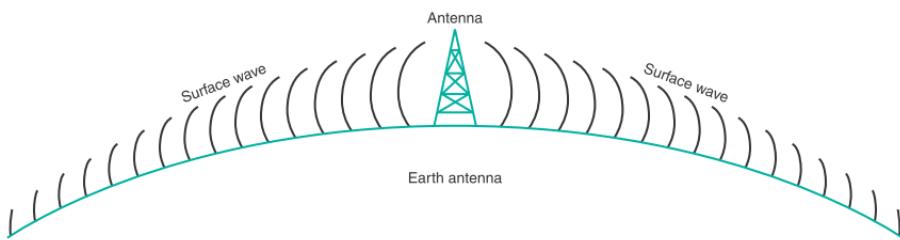
**پراش (تفرق):** به یاد داشته باشید که نور و امواج رادیویی در یک خط مستقیم حرکت می‌کنند. اگر مانعی بین فرستنده و گیرنده ظاهر شود، مقداری از سیگنال مسدود شده و پدیده‌ای را ایجاد می‌کند که به عنوان منطقه سایه شناخته می‌شود [شکل (۳۹.۱۴)(الف)]. گیرنده‌ای که در ناحیه سایه قرار دارد نمی‌تواند سیگنال کامل را دریافت کند. با این حال، برخی از سیگنال‌ها معمولاً بهدلیل پدیده پراش<sup>۳۷</sup>، خم شدن امواج به دور یک جسم، عبور می‌کند. پراش با آنچه بهنام اصل هویگنس<sup>۳۸</sup> شناخته می‌شود

<sup>۳۶</sup>Snell's law

<sup>۳۷</sup>Diffraction

<sup>۳۸</sup>Huygens' principle

توضیح داده می‌شود. اصل هویگنس بر این فرض استوار است که همه امواج الکترومغناطیسی، نور و همچنین امواج رادیویی، به صورت جبهه‌های موج کروی از منبع تابش می‌کنند. هر نقطه در جبهه موج در هر زمان معین می‌تواند به صورت منبع نقطه‌ای برای امواج کروی اضافی در نظر گرفته شود. هنگامی که امواج به مانعی برخورد می‌کنند، از اطراف آن، از بالای آن و از دو طرف عبور می‌کنند. همانطور که جبهه موج از جسم عبور می‌کند، منابع نقطه‌ای امواج در لبه مانع، امواج کروی اضافی ایجاد می‌کنند که نفوذ کرده و در ناحیه سایه پر می‌شود. این پدیده، که گاهی اوقات پراش لبه چاقو<sup>۳۹</sup> نامیده می‌شود، در شکل (۴۰.۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۰.۱۴: تشعشع امواج زمینی یا سطحی از یک آنتن.

### انتشار امواج رادیوئی در فضا

سه مسیر اصلی که یک سیگنال رادیویی می‌تواند در فضا طی کند عبارتند از: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی.

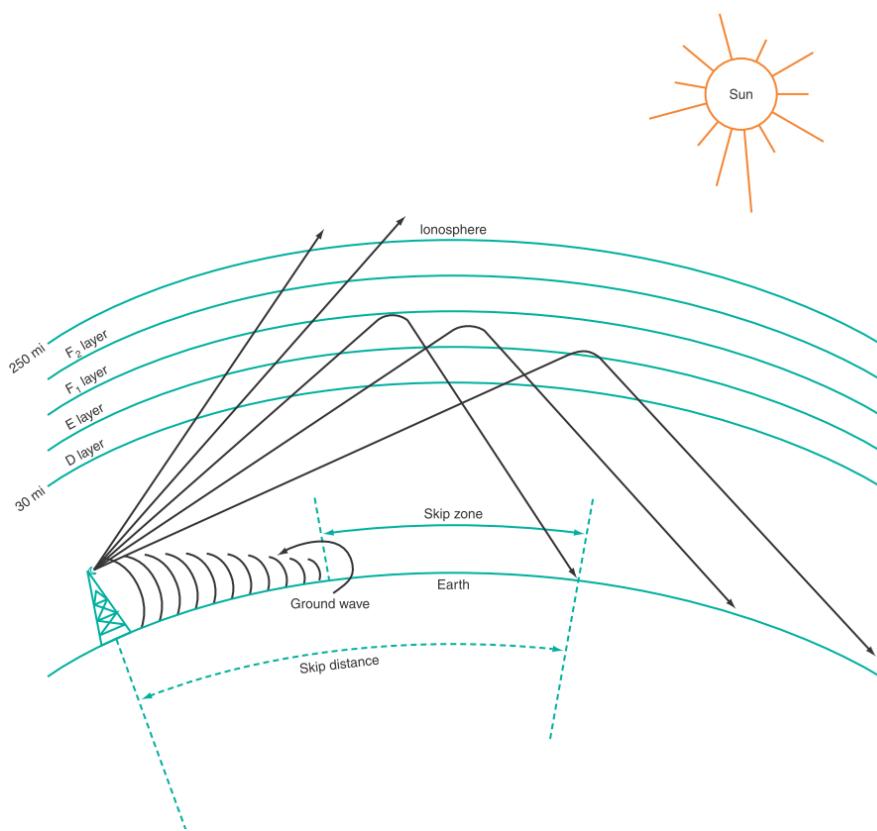
**امواج زمینی:** امواج سطحی یا زمینی آنتن را ترک و نزدیک به زمین (شکل ۴۰.۱۴) منتشر می‌شوند. امواج زمینی در واقع انحنای زمین را دنبال می‌کنند و بنابراین می‌توانند در فواصل فراتر از افق حرکت کنند. امواج زمینی برای انتشار از آنتن باید دارای پلاریزاسیون عمودی باشند. امواج پلاریزه افقی توسط زمین جذب یا اتصال کوتاه می‌شوند.

انتشار امواج زمینی در محدوده‌های فرکانس پایین و متوسط قوی‌ترین است. یعنی امواج زمینی مسیر اصلی سیگنال برای سیگنال‌های رادیویی در محدوده ۳۰ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز هستند. سیگنال‌ها می‌توانند صدها و گاهی هزاران مایل در این فرکانس‌های پایین منتشر شوند. سیگنال‌های پخش AM عمدهاً توسط امواج زمینی در روز و توسط امواج آسمانی در شب منتشر می‌شوند. رسانایی زمین تعیین می‌کند که امواج زمینی چقدر خوب منتشر می‌شوند. هر چه رسانایی بهتر باشد، میرایی کمتر و مسافت بیشتری را امواج می‌توانند طی کنند. بهترین انتشار امواج زمینی بر روی آب نمک اتفاق می‌افتد زیرا آب یک رسانای عالی است. رسانایی معمولاً در مناطق کم رطوبت مانند بیابان‌ها کمترین میزان است.

در فرکانس‌های فراتر از ۳ مگاهرتز، زمین شروع به تضعیف سیگنال‌های رادیویی می‌کند. اجسام روی زمین و ویژگی‌های زمین از نظر اندازه به اندازه طول موج سیگنال می‌شوند و بنابراین سیگنال را جذب یا بر آن تأثیر منفی می‌گذارند. بهمین دلیل، انتشار امواج زمینی سیگنال‌های بالاتر از ۳ مگاهرتز، جز در چند مایلی آنتن فرستنده، ناممکن است.

**امواج آسمانی:** سیگنال‌های امواج آسمانی توسط آنتن به اتمسفر فوقانی تابش می‌شوند و در آنجا

<sup>۳۹</sup>Knife Edge Diffraction



شکل ۴۱.۱۴: انتشار امواج آسمانی.

به سمت زمین خم می‌شوند. این خمیدگی سیگنال در اثر شکست در ناحیه‌ای از جو فوقانی به نام یونوسفر<sup>۴۰</sup> ایجاد می‌شود (شکل ۴۱.۱۴). تشعشعات فرابینفس خورشید باعث یونیزه شدن جو فوقانی، یعنی از نظر انتکتریکی باردار می‌شود. اتم‌ها الکترون می‌گیرند یا از دست می‌دهند و به یون‌های مثبت یا منفی تبدیل می‌شوند. الکترون‌های آزاد نیز وجود دارند. در پایین‌ترین نقطه، یونوسفر تقریباً ۳۰ مایل (۵۰ کیلومتر) بالاتر از زمین قرار دارد و تا ۲۵۰ مایل (۴۰۰ کیلومتر) از زمین امتداد دارد. یونوسفر به طور کلی به سه لایه تقسیم می‌شود، لایه D، لایه E و لایه F؛ لایه F به دو لایه F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub> تقسیم می‌شود.

لایه‌های D و E که دورترین لایه‌ها از خورشید هستند، ضعیف یونیزه می‌شوند. آنها فقط در ساعت نور روز وجود دارند و در طی آن تمایل به جذب سیگنال‌های رادیویی در محدوده فرکانس متوسط از ۳۰۰ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز دارند.

لایه‌های F<sub>1</sub> و F<sub>2</sub> که نزدیک‌ترین لایه‌ها به خورشید هستند، دارای بیشترین یونیزه بوده و بیشترین تأثیر را روی سیگنال‌های رادیویی دارند. لایه‌های F هم در روز و هم در شب وجود دارند. اثر اولیه لایه F ایجاد شکست سیگنال‌های رادیویی زمانی است که از مرزهای بین لایه‌های یونوسفر با سطوح مختلف یونیزاسیون عبور می‌کنند.

<sup>۴۰</sup> Ionosphere

هنگامی که یک سیگنال رادیویی وارد یونوسفر می‌شود، سطوح مختلف یونیزاسیون باعث می‌شود که امواج رادیویی به تدریج خم شوند. جهت خمش بستگی به زاویه ورود موج رادیویی به یونوسفر و میزان مختلف یونیزاسیون لایه‌ها دارد که توسط قانون اسنل تعیین می‌شود.

شکل (۴۱.۱۴) اثرات شکست را با زوایای مختلف سیگنال‌های رادیویی وارد شده به یونوسفر نشان می‌دهد. وقتی زاویه نسبت به زمین زیاد باشد، سیگنال‌های رادیویی کمی خم می‌شوند، از یونوسفر عبور می‌کنند و در فضای گم می‌شوند. تابش مستقیماً عمودی از آنتن یا ۹۰ درجه نسبت به زمین، از یونوسفر عبور می‌کند. با کاهش زاویه تابش از عمودی، برخی از سیگنال‌ها همچنان از یونوسفر عبور می‌کنند. اما در برخی از زاویه‌های بحرانی، که با فرکانس سیگنال متفاوت است، امواج شروع به شکستن به سوی زمین می‌کنند. هر چه زاویه نسبت به زمین کوچکتر باشد، احتمال شکست امواج و ارسال مجدد به زمین بیشتر می‌شود. این اثر به قدری بر جسته است که در واقع به نظر می‌رسد که گویی موج رادیویی توسط یونوسفر بازتاب داده شده است.

### خوب است بدانید که:

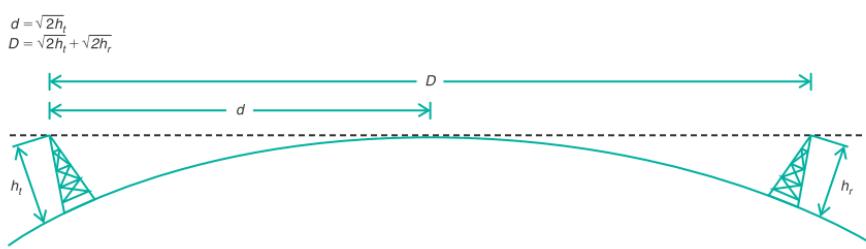
سیگنال‌های پخش *AM* عمده‌تاً توسط امواج زمینی در روز و توسط امواج آسمانی در شب منتشر می‌شوند.

به طور کلی، هر چه فرکانس بیشتر باشد، زاویه تابش کمتری برای وقوع شکست لازم است. در فرکانس‌های بسیار بالا، اساساً در فرکانس‌های بالای ۵۰ مگاهرتز، شکست بهندرت بدون توجه به زاویه رخ می‌دهد. سیگنال‌های VHF، UHF و مایکروویو معمولاً بدون خم شدن از یونوسفر عبور می‌کنند. با این حال، در طول دوره‌ای از فعالیت لکه‌های خورشیدی، یا سایر پدیده‌های الکترومغناطیسی غیر معمول، امواج VHF و حتی UHF ممکن است توسط یونوسفر شکسته شوند. امواج رادیویی منعکس شده با حداقل تلفات سیگنال به زمین ارسال می‌شوند. نتیجه این است که سیگنال در فاصله بسیار طولانی منتشر می‌شود. این اثر در محدوده ۳ تا ۳۰ مگاهرتز یا موج کوتاه، که امکان برقراری ارتباط از راه دور بسیار زیاد را فراهم می‌کند، بیشتر آشکار می‌شود.

در برخی موارد، سیگنال منعکس شده از یونوسفر به زمین برخورد می‌کند، به یونوسفر منعکس می‌شود و به زمین بازتاب می‌شود. این پدیده به عنوان انتقال چند پرش یا چند جهش شناخته می‌شود. برای سیگنال‌های قوی و شرایط یونوسفر ایده‌آل، تا ۲۰ پرش امکان پذیر است. انتقال چند جهشی می‌تواند برد ارتباطی را تا هزاران مایل افزایش دهد. حداکثر فاصله یک تک پرش حدود ۲۰۰۰ مایل است، اما با پرش‌های متعدد، انتقال در سراسر جهان امکان پذیر است.

فاصله آنتن فرستنده تا نقطه روی زمین که اولین سیگنال شکسته شده به زمین برخورد می‌کند تا منعکس شود، به عنوان فاصله پرش گفته می‌شود (شکل ۴۱.۱۴). اگر یک گیرنده در آن ناحیه بین محلی که موج زمین کاملاً ضعیف شده و اولین نقطه انعکاس از زمین قرار گیرد، هیچ سیگنالی دریافت نخواهد شد. به این ناحیه منطقه پرش می‌گویند.

**امواج فضائی:** سومین روش انتشار سیگنال رادیویی توسط امواج مستقیم یا امواج فضایی است. یک موج مستقیم در یک خط مستقیم به طور مستقیم از آنتن فرستنده به آنتن گیرنده حرکت می‌کند. سیگنال‌های رادیویی موج مستقیم اغلب به عنوان ارتباط خط دید نامیده می‌شوند. امواج مستقیم یا فضایی شکسته نمی‌شوند و از انحنای زمین پیروی نمی‌کنند. سیگنال‌های موج مستقیم به دلیل ماهیت خط مستقیم خود به صورت افقی از آنتن فرستنده



شکل ۴۲.۱۴: ارتباط دید مستقیم توسط امواج مستقیم یا فضایی.

حرکت می‌کنند تا به افق برسند و در این نقطه مسدود می‌شوند، همانطور که در شکل (۴۲.۱۴) نشان داده شده است. اگر قرار است سیگنال موج مستقیم فراتر از افق دریافت شود، دریافت کننده باید آنقدر بالا باشد که بتواند آن را رهگیری کند.

### خوب است بدانید که:

تکرار کننده‌ها به طور گسترهای برای افزایش برد ارتباطی برای واحدهای رادیویی موبایل و دستی استفاده می‌شوند.

بدیهی است که فاصله عملی انتقال با امواج مستقیم تابعی از ارتفاع آتن‌های فرستنده و گیرنده است. فرمول محاسبه فاصله بین آتن فرستنده و افق به قرار زیر است

$$d = \sqrt{2h_t}$$

که در آن

$h_t$  = ارتفاع آتن فرستنده بر حسب فوت

$d$  = فاصله فرستنده تا افق بر حسب مایل.

این را افق رادیوئی<sup>۴۱</sup> می‌نامند.

برای یافتن فاصله انتقال عملی  $D$  برای انتقال موج مستقیم، ارتفاع آتن گیرنده باید در محاسبات لحاظ شود:

$$D = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r}$$

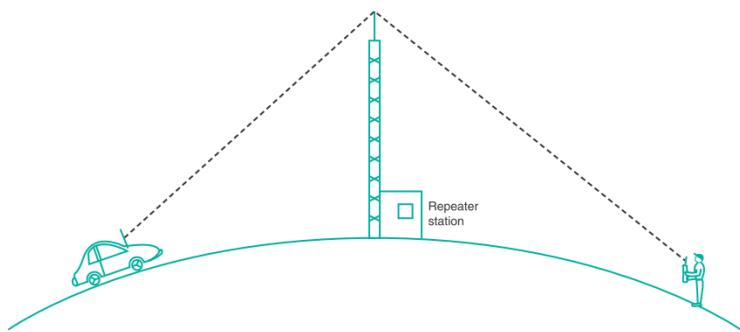
که در آن  $h_r$  برابر ارتفاع آتن گیرنده، فوت. برای مثال، اگر آتن فرستنده ۳۵۰ فوت ارتفاع و آتن گیرنده ۲۵ فوت ارتفاع داشته باشد، طولانی‌ترین فاصله انتقال عملی است.

$$D = \sqrt{2(350)} + \sqrt{2(25)} = 33.53 \text{ mi}$$

ارتباط دید مستقیم مشخصه اکثر سیگنال‌های رادیویی با فرکانس بالای ۳۰ مگاهرتز، به‌ویژه سیگنال‌های UHF، VHF و مایکروویو است. چنین سیگنال‌هایی از یونوسفر عبور کرده و خم نمی‌شوند. فواصل انتقال در آن فرکانس‌ها بسیار محدود است و واضح است که چرا باید از آتن‌های فرستنده بسیار بالا برای پخش FM و تلویزیون استفاده شود. آتن‌های فرستنده و گیرنده‌هایی که در

<sup>۴۱</sup> Radio Horizon

فرکانس‌های بسیار بالا کار می‌کنند معمولاً در بالای ساختمان‌های بلند یا روی کوه‌ها قرار می‌گیرند که دامنه انتقال و دریافت را بسیار افزایش می‌دهد.



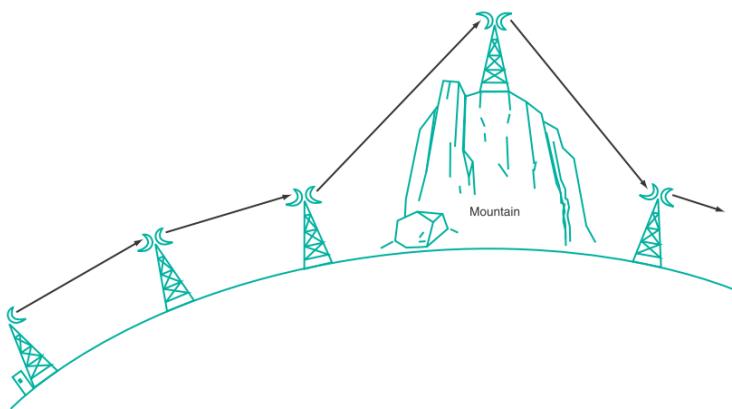
شکل ۴۳.۱۴: چگونه یک تکرار کننده فاصله ارتباطی واحدهای رادیویی سیار را در VHF و UHF گسترش می‌دهد.

برای گسترش فاصله ارتباطی در فرکانس‌های UHF، VHF و مایکروویو، تکنیک‌های ویژه‌ای اتخاذ شده است. مهمترین آنها استفاده از ایستگاه‌های تکرار کننده است (شکل ۴۳.۱۴). یک تکرار کننده ترکیبی از یک گیرنده و یک فرستنده که در فرکانس‌های جداگانه کار می‌کند. گیرنده سیگنالی را از یک فرستنده از راه دور دریافت، آن را تقویت و مجدد (در فرکانس دیگری) به یک گیرنده از راه دور ارسال می‌کند. معمولاً تکرار کننده بین ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده قرار دارد و بنابراین فاصله ارتباطی را افزایش می‌دهد. تکرار کننده‌ها دارای گیرنده‌های فوق العاده حساس و فرستنده‌های پرقدرت هستند و آنها در نقاط مرتفع قرار دارند.

تکرار کننده‌ها به طور گستردگی برای افزایش برد ارتباطی برای واحدهای رادیویی موبایل و دستی استفاده می‌شوند، که آنها به طور طبیعی از سطح زمین زیاد نیستند. برد محدود ارسال و دریافت چنین واحدهایی را می‌توان با کارکردن آنها از طریق یک تکرار کننده واقع در نقطه‌ای مرتفع به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

در مناطق پر فعالیت، تکرار کننده‌ای که برای واحدهای تلفن همراه استفاده می‌شود، زمانی که کاربران زیادی سعی می‌کنند به طور همزمان به آن دسترسی داشته باشند، بیش از حد بارگذاری می‌شود. وقتی این اتفاق می‌افتد، برخی از کاربران باید منتظر بمانند تا زمان آزاد در دسترس قرار گیرد و به تماس ادامه دهند تا زمانی که به پایان برسد. چنین تأخیرهای دسترسی تنها در برخی موارد آزاردهنده هستند، اما هنگامی که خدمات اضطراری قادر به عبور از آن نباشند، بهوضوح قابل قبول نیستند.

اگرچه تکرار کننده‌های متعدد را می‌توان برای کاهش ازدحام استفاده کرد، اما آنها اغلب ناکافی هستند زیرا فعالیت‌های ارتباطی به طور مساوی بین آنها توزیع نشده است. این مشکل با استفاده از سیستم‌های تکرار کننده ترانک که در آن دو یا چند تکرار کننده تحت کنترل یک سیستم کامپیوتی هستند که می‌توانند کاربر را از یک تکرار کننده اختصاص داده شده اما مشغول به تکرار کننده دیگر و در دسترس انتقال دهنده، حل می‌شود. بنابراین بار ارتباطی بین چندین تکرار کننده پخش می‌شود. همانطور که در شکل (۴۴.۱۴) نشان داده شده است می‌توان از تکرار کننده‌ها به صورت سری نیز استفاده کرد. هر تکرار کننده شامل یک گیرنده و یک فرستنده است. سیگنال اصلی گرفته، تقویت و



شکل ۴۴.۱۴: استفاده از ایستگاه‌های تکرار کننده برای افزایش فواصل ارتباطی در فرکانس‌های مایکروویو.

در فرکانس متفاوتی به تکرار کننده دوم ارسال می‌شود که این فرآیند را تکرار می‌کند. به طور معمول، چنین ایستگاه‌های رله‌ای در فاصله ۲۰ تا ۶۰ مایلی، عمدتاً در ارتفاعات بالا برای اطمینان از ارتباط قابل اعتماد در فواصل بسیار طولانی، از هم قرار دارند. ایستگاه‌های رله مایکروویو توسط بسیاری از شرکت‌های تلفن برای ارتباطات از راه دور استفاده می‌شود.

تکرار کننده "نهایی" البته یک ماهواره ارتباطی است. بیشتر ماهواره‌های ارتباطی در مداری ۲۲۵۰۰ مایلی بالای خط استوا قرار دارند. از آنجایی که در آن فاصله دقیقاً ۲۴ ساعت طول می‌کشد تا به دور زمین بچرخدن، ماهواره‌های ارتباطی ثابت به نظر می‌رسند. آنها به عنوان ایستگاه‌های تکرار کننده عمل می‌کنند. سیگنال‌های ارسال شده به ماهواره تقویت شده و مجدداً به زمین ارسال می‌شوند. ترکیب گیرنده و فرستنده در ماهواره به عنوان فرستنده شناخته می‌شود. بیشتر ماهواره‌ها دارای فرستنده‌های زیادی هستند، به طوری که سیگنال‌های متعددی را می‌توان رله کرد و ارتباط جهانی را در فرکانس‌های مایکروویو ممکن می‌کند. (به فصل هفدهم مراجعه کنید.)

### محاسبه توان دریافتی

یک سیگنال ارسالی در یک سطح توان خاص تابش می‌شود. توان خروجی فرستنده را می‌توان با محاسبه یا اندازه‌گیری دقیق تعیین کرد. در صورتی که آتن بهدلیل جهت دهی بهتر بهره یافته باشد، این سطح توان افزایش می‌یابد. هنگامی که سیگنال از آتن خارج می‌شود، بلا فاصله شروع به ضعیف شدن می‌کند. اساساً میزان تضعیف متناسب با محدود فاصله بین فرستنده و گیرنده است. همانطور که قبل گفته شد، عوامل دیگری نیز بر تضعیف تأثیر می‌گذارند. سیگنال‌های امواج زمینی به شدت توسط اجسام روی زمین ضعیف می‌شوند که سیگنال‌ها را مسدود کرده و سطح آنها را در گیرنده کاهش می‌دهد. در انتشار امواج آسمانی، شرایط یونوسفر و تعداد جهش‌ها، سطح سیگنال را در گیرنده تعیین می‌کنند و هر جهش سطح سیگنال را بیشتر کاهش می‌دهد. سیگنال‌های امواج فضایی به سادگی توسط اجسامی که در مسیرشان قرار دارند مانند درختان یا دیوارها جذب و ضعیف می‌شوند.

با وجود این عوامل، می‌توان سطح تقریبی توان را در یک گیرنده پیش بینی کرد و چنین محاسباتی برای فواصل کوتاه مشخصه انتقال موج مستقیم یا فضایی کاملاً دقیق است. در تجزیه و تحلیل انتقال امواج رادیویی، اغلب مفید است که با مفهوم رادیاتور همسانگرد یا

منبع نقطه‌ای امواج رادیویی شروع کنیم. یعنی سیگنال به صورت کروی در همه جهات تابش می‌کند. چگالی توان در یک فاصله معین از یک رادیاتور همسانگرد (آنتن ایزوتروپیک) با رابطه زیر پیش‌بینی می‌شود

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

که در آن

$= P_d$  چگالی توان سیگنال بر حسب وات بر متر مربع.

$= d$  فاصله از منبع نقطه‌ای بر حسب متر.

$= P_t$  کل توان فرستنده بر حسب وات.

فاصله واقع‌شاعر یک کره خیالی است که منبع را محصور کرده است، و  $4\pi d^2$  مساحت آن کره در هر فاصله معین است. با این حال، از آنجایی که آنتن‌های عملی منابع کاملاً همسانگرد نیستند، این رابطه باید تا حدودی اصلاح شود. به عنوان مثال، اگر آنتن فرستنده یک دوقطبی باشد، دوقطبی نسبت به یک منبع همسانگرد دارای بهره  $1/16^4$  (یا  $2/15$  دسی‌بل) است، بنابراین نتیجه باید در  $1/16^4$  ضرب شود.

فرض کنید یک فرستنده یک سیگنال  $50$  وات را به یک آنتن دوقطبی تغذیه می‌کند. چگالی توان سیگنال در فاصله  $30$  مایلی ( $48,300$  کیلومتر یا  $48,300$  متر) برابر است با:

$$P_d = \frac{1/16^4 P_t}{4\pi d^2} = \frac{1/16^4 (50)}{4(3/1416)(48,300)^2} = 3 \times 10^{-9} = 3nW/m^2$$

دانستن چگالی توان در یک فاصله معین چیز مفیدی نیست. با این حال، رابطه برای توان در یک فاصله معین را می‌توان گسترش داد تا یک رابطه کلی برای محاسبه مقدار توان واقعی یک سیگنال در یک آنتن گیرنده بدست آورد:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{16\pi^2 d^2}$$

که در آن

$\lambda$  طول موج بر حسب متر

$= d$  فاصله از فرستنده بر حسب متر

$= P_r, P_t$  بهترین، توان گیرنده و فرستنده

$G_r, G_t$  بهره‌های آنتن گیرنده و فرستنده که نسبت به آنتن همسانگرد بیان می‌شود.

اگر بهره‌ها مربوط به یک دوقطبی باشند، هر کدام باید قبل از استفاده در رابطه به نسبت توان تبدیل شده و در  $1/16^4$  ضرب شوند.

این رابطه عموماً فقط برای محاسبات موج زمینی، موج مستقیم یا موج فضائی استفاده می‌شود. برای پیش‌بینی سیگنال امواج آسمانی استفاده نمی‌شود زیرا شکست و بازتابی که رخ می‌دهد پیش‌بینی‌ها را بسیار نادرست می‌کند.

به عنوان مثال، فرض کنید یک فرستنده در فرکانس  $150$  مگاهرتز با توان  $3$  وات در یک آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج کار می‌کند. گیرنده که در فاصله  $20$  مایلی ( $32,200$  کیلومتر یا  $32,200$  متری) قرار دارد، دارای آنتنی با بهره  $8$  دسی‌بل است. توان دریافتی چقدر است؟

طول موج در فرکانس  $150$  مگاهرتز  $2m = 300/f = 300/150 = 2m = 300\lambda$  است. بهره آنتن فرستنده عمودی ربع موج برابر با دوقطبی است. با بهره دوقطبی  $1$ ، باید آن را در  $1/16^4$  ضرب کنیم تا به بهره یک منبع همسانگرد برسیم.



استفاده گسترده از شبکه‌های تلفن منجر به طراحی یکپارچه انتقال تلفن و ارتباطات داده شده است. آنتن‌ها با مواد فایبر‌گلاس پوشانده شده‌اند تا از آنها در برابر آب و هوا محافظت کنند. مواد پوشش دهنده سیگنال‌های RF را مختل نمی‌کند.

بهره آنتن گیرنده ۸ دسی‌بل است. بهذه معمولاً بهصورت بهره بیش از یک دوقطبی بیان می‌شود. برای تبدیل بهبهره با توجه به یک منبع همسانگرد،  $2/15$  دسی‌بل اضافه می‌کنیم. این برابر با ضرب نسبت توان نشان داده شده توسط افزایش بر حسب دسی‌بل در  $1/64$  است. نتیجه  $8+2/15 = 10/15 = 10/15$  دسی‌بل است.

اکنون باید بهنسبت توان واقعی تبدیل شود. از آنجا که  $P_{in} = 10 \log(P_{out}/P_{in})$ ، که  $P_{out}$  بهترتب قدرت ورودی و خروجی آنتن هستند.

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \log^{-1}\left(\frac{dB}{10}\right) = \log^{-1}\left(\frac{10/15}{10}\right) = 10/35$$

توان دریافتی را می‌توان محاسبه کرد.

$$P_r = \frac{3(1/64)(10/35)(2)^2}{16(9/87)(32,200)^2} = 1/24 \times 10^{-9} W = 1/24 nW$$

اگر آنتن گیرنده، خط انتقال و امپدانس ورودی  $50$  اهم باشد، با توجه به این توان ورودی، می‌توانیم ولتاژ ورودی را محاسبه کنیم. از آنجایی که  $V = \sqrt{PR}$ ،  $P = V^2/R$ . با جایگزینی در رابطه

$$V = \sqrt{PR} \text{ می دهد}$$

$$V = \sqrt{(1.24 \times 10^{-9})(50)} = 2.5 \times 10^{-4} V = 250 \mu V$$

این یک سیگنال نسبتاً قوی است. اکثر گیرندهای باند باریک خوب می‌توانند خروجی کامل قابل فهم با یک میکروولت یا کمتر تولید کنند.

**تضعیف مسیر:** روش دیگر برای پیش‌بینی توان دریافتی، تخمین میرایی کل توان در مسیر انتقال است. این تضعیف بر حسب دسی‌بل توسط

$$dB_{loss} = 37dB + 20 \log f + 20 \log d$$

گه در آن

$f$  = فرکانس کار بر حسب مگا هرتز

$d$  = فاصله طی شده بر حسب مایل

مسافت را می‌توان بر حسب کیلومتر نیز بیان کرد، در این صورت باید ۳۷ دسی‌بل را به  $\frac{3}{4}$  دسی‌بل تغییر داد. آنتن‌های ایزوتروپیک فرض می‌شوند

تضعیف در یک مسیر ۲۰ مایلی در فرکانس  $150^{\circ}$  مگاهرتز برابر است با:

$$dB_{loss} = 37dB + 20 \log 150 + 20 \log 20 = 37 + 43.52 + 26 = 106.52$$

در این صورت رابطه افت دسی‌بل  $dB_{loss}$  بهما می‌گوید که به‌ازای هر دو برابر شدن فاصله بین فرستنده و گیرنده، تضعیف حدود ۶ دسی‌بل افزایش می‌باید.

### مسئل رایج انتشار

اگرچه امواج رادیویی در مسیر خود از فرستنده تا گیرنده مستقیماً از بیشتر اجسام عبور می‌کنند، اما به‌طور منفی تحت تأثیر این اشیاء قرار می‌گیرند. نتیجه یک مشکل رایج به‌نام محوشدگی<sup>۴۲</sup> است. طراحی خوب یک سیستم ارتباطی می‌تواند محوشدگی را به‌حداقل برساند اما به‌طور کامل حذف نمی‌کند. یکی از راه‌های غلبه بر محوشدگی، استفاده از سیستم تنوع<sup>۴۳</sup> است.

**محوشدگی (فیدینگ):** یکی از اثرات اولیه انتشار امواج رادیویی محوشدگی<sup>۴۴</sup> نام دارد. محوشدگی تغییر در دامنه سیگنال در گیرنده است که به‌دلیل ویژگی‌های مسیر سیگنال و تغییرات در آن ایجاد می‌شود. محوشدگی باعث می‌شود سیگنال دریافتی در دامنه متفاوت باشد و عموماً آن را کوچکتر می‌کند. تحت برخی شرایط، سیگنال دریافتی ممکن است در واقع بزرگتر از سیگنال مسیر مستقیم بسته به موقعیت ارتباطی خاص باشد. محوشدگی توسط چهار عامل ایجاد می‌شود: تغییر در فاصله بین فرستنده و گیرنده، تغییر در ویژگی‌های محیط مسیر سیگنال، وجود مسیرهای سیگنال متعدد، و حرکت نسبی بین فرستنده و گیرنده.

وقتی گیرنده از فرستنده دورتر می‌شود، سیگنال ضعیف‌تر می‌شود فقط به‌این دلیل که طول مسیر در حال افزایش است. اگر گیرنده به‌فرستنده نزدیک‌تر شود، قدرت سیگنال افزایش می‌باید. هر دو نوع موقعیت زمانی رخ می‌دهند که یکی یا شاید هر دو فرستنده گیرنده نسبت به‌دیگری در حال حرکت هستند. به‌خصوص در هواپیماها و اتومبیل‌ها قابل توجه است. این نوع محوشدگی عموماً تدریجی است و منجر به‌نوسانات شدید یا سریع در دامنه سیگنال نمی‌شود.

<sup>۴۲</sup>Fading

<sup>۴۳</sup>Diversity System

<sup>۴۴</sup>Fading

محوشدگی نیز بهدلیل قرار گرفتن اجسام بین فرستنده و گیرنده ایجاد می‌شود. بهنام محوشدگی سایه<sup>۴۵</sup> موقعي اتفاق می‌افتد که وسیله نقلیه حاوی یک فرستنده گیرنده به‌گونه‌ای حرکت کند که یک ساختمان بزرگ یا یک کوه بین آن و یک فرستنده گیرنده ایستگاه پایه قرار گیرد. مانع باعث می‌شود سیگنال ضعیف شود و در نتیجه محو شود. هنگامی که یک خودرو وارد تونل می‌شود، سیگنال ممکن است تا حد زیادی ضعیف شود به‌طوری که محوشدگی اتفاق می‌افتد. حتی حرکت یک طوفان باران یا کولاک برف بین فرستنده و گیرنده می‌تواند باعث محو شدن شود. اثرات مربوط به‌آب و هوا به‌ویژه در فرکانس‌های مایکروویو بالاتر، که در آن طول موج سیگنال در محدوده اندازه قطرات باران یا دانه‌های برف است که پراکندگی سیگنال عظیمی را با انعکاس ایجاد می‌کند، مشخص است.

**چند مسیره:** یکی از بدترین منابع محوشدگی تداخل چند مسیره<sup>۴۶</sup> است. گاهی اوقات محوشدگی ریلی<sup>۴۷</sup> نامیده می‌شود، این نوع محوشدگی زمانی اتفاق می‌افتد که سیگنال ارسالی بهدلیل بازتاب مسیرهای متعددی را به‌گیرنده طی کند. اصطلاح ریلی به نوع خاصی از منحنی پاسخ آماری اشاره دارد که به‌طور ریاضی تغییرات سیگنال دریافتی را توصیف می‌کند. همانطور که قبل از این فصل دیدید، سیگنال‌های رادیویی به‌راحتی توسط اجسام رساناً منعکس می‌شوند. سیگنال معمولاً توسط یک آنتن غیر جهت‌دار در یک محدوده افقی گسترده تابش می‌شود به‌گونه‌ای که مستقیماً از طریق موج فضایی خط دید مستقیم به آنتن گیرنده برخورد می‌کند، اما ممکن است در طول مسیر به‌موانع زیادی نیز برخورد کند. ساختمان‌ها، برج‌ها، آبی، تپه‌ها و کوه‌ها و حتی وسائل نقلیه متحرک، همگی سطوح بازتابی دارند که سیگنال را در مسیری جداگانه به آنتن گیرنده هدایت می‌کنند. سیگنال ممکن است از زمین یا آب نیز منعکس شود. نتیجه این است که چندین سیگنال در زمان‌های مختلف به آنتن گیرنده می‌رسد.

سیگنال‌های منعکس شده مسیر طولانی‌تری نسبت به سیگنال مستقیم طی می‌کنند، بنابراین تاخیر دارند و دیرتر از سیگنال مستقیم به آنتن می‌رسند. این تاخیر زمانی به‌عنوان یک تغییر فاز در نظر گرفته می‌شود که بزرگی آن تابعی از فاصله مسیر سیگنال و طول موج (فرکانس) سیگنال است. به‌خاطر داشته باشید که همانطور که قبل از این فصل دیدید، بازتاب‌ها یک تغییر فاز ۱۸۰ درجه ایجاد می‌کنند که مشکل را بدتر می‌کند. گیرنده ترکیبی از تمام سیگنال‌های دریافتی را می‌بیند. تغییر فاز معمولاً به‌گونه‌ای است که سیگنال مسیر مستقیم را خنثی می‌کند و در نتیجه سیگنال کلی ضعیف‌تر می‌شود. اما تأخیرها همچنین می‌تواند به‌گونه‌ای باشد که سیگنال‌های منعکس شده در فاز سیگنال مستقیم می‌رسند و در نتیجه باعث می‌شوند سیگنال‌ها در فاز اضافه شوند و در واقع سیگنال سطح بالاتری تولید کنند.

نوع دیگری از محوشدگی در اثر حرکت فرستنده یا گیرنده ایجاد می‌شود. هنگامی که فرستنده در خودرو، هواپیما یا وسیله نقلیه دیگری قرار دارد، حرکت سریع به‌سمت یا دور از گیرنده باعث تغییر فرکانس سیگنال به‌نام انتقال داپلر<sup>۴۸</sup> می‌شود (که در فصل شانزدهم توضیح داده خواهد شد). حرکتی که باعث نزدیک شدن فرستنده و گیرنده به یکدیگر می‌شود باعث افزایش فرکانس سیگنال می‌شود. حرکتی که فاصله را افزایش می‌دهد باعث کاهش فرکانس می‌شود. تغییرات بزرگ فرکانس سیگنال سیگنال‌های سطح پایین‌تری تولید می‌کنند زیرا سیگنال‌ها تا حدی از باند عبور فیلترهای انتخابی

<sup>۴۵</sup>Shadow Fading

<sup>۴۶</sup>Multipath

<sup>۴۷</sup>Rayleigh fading

<sup>۴۸</sup>Doppler shift

گیرنده خارج می‌شوند. در سیستم‌های دیجیتالی که عمدتاً از نوعی مدولاسیون تغییر فاز استفاده می‌کنند، شیفت داپلر دمودولاتور را گیج می‌کند و خطای بیتی ایجاد می‌کند.

### مثال ۵-۱۴

یک آنتن فرستنده با ارتفاع ۲۷۵ فوت دارای بهره ۱۲ دسی‌بل نسبت به یک دوقطبی است. آنتن گیرنده که ۶۰ فوت ارتفاع دارد، بهره ۳ دسی‌بل دارد. قدرت فرستنده ۱۰۰ وات در ۲۲۴ مگاهرتز است. (الف) حداکثر فاصله ارسال و (ب) توان دریافتی در فاصله محاسبه شده در قسمت (الف) را محاسبه کنید. (هر مایل ۱,۶۱ کیلومتر است).

#### الف

$$D = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r} = \sqrt{2(275)} + \sqrt{2(6)} = 34.4 \text{ mi}$$

$$34.4 \text{ mi} \times 1,61 \text{ km/mi} = 55.4 \text{ km}$$

$$55.4 \text{ km} \times 1000 = 55,400 \text{ m}$$

#### ب

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^4}{16\pi^2 d^4} = 100$$

$$G_t = 12 \text{ dB} + 2/15 \text{ dB} = 14.15 \text{ dB}$$

$$dB = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \log^{-1} \left( \frac{dB}{10} \right) = \log^{-1} \left( \frac{14.15}{10} \right) = 26$$

$$G_t = 26, \quad G_r = 3 \text{ dB} + 2/15 \text{ dB} = 5.15 \text{ dB}$$

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \log^{-1} \left( \frac{5.15}{10} \right) = 3.27$$

$$G_r = 3.27$$

$$\lambda = \frac{300}{f} = \frac{300}{224} = 1.34 \text{ m} \quad \lambda^4 = (1.34)^4 = 1.8$$

$$P_r = \frac{100(26)(3.27)(1.8)}{16(2/14)^2 (55,400)^2} = 3/16 \times 10^{-8} \text{ W} = 31.6 \text{ nW}$$

در بیشتر موارد، چندین نوع محوشدنگی به طور همزمان رخ می‌دهد. محوشدنگی چند مسیره و محوشدنگی سایه بدترین متخلفان هستند. اگر تا به حال از یک تلفن همراه از یک ماشین در حال حرکت در یک محیط در حال تغییر استفاده کرده‌اید، می‌دانید که محوشدنگی می‌تواند باعث تغییرات قابل توجه سیگنال، از جمله عدم سرویس دهی شود. استفاده از تلفن همراه یا رادیو در یک شهر بزرگ با ساختمان‌های بلند زیاد تداخل چند مسیری شدید و محوشدنگی سایه ایجاد می‌کند. استفاده از تلفن‌های همراه یا سایر تجهیزات بی‌سیم در داخل ساختمان اساساً همین کار را انجام می‌دهد.

هنگامی که ارتباط دیجیتال در کار است، محوشده‌گی چند مسیری می‌تواند باعث تداخل بین نمادی<sup>۴۹</sup> شود. اگر از انتقال داده با سرعت بالا استفاده شود، نمادها کوتاه هستند و تاخیرهای چند مسیری ممکن است به همان مرتبه بزرگ باشند. نمادی که مستقیماً دریافت می‌شود ممکن است با نماد دریافت شده از منبع بازتابی متفاوت باشد. نتیجه خطاهای بیتی شدید است.

اگرچه محوشده‌گی می‌تواند در سیگنال‌های هر فرکانسی رخ دهد، اما در ارتباطات UHF و مایکروویو، که در آن طول موج سیگنال در مقایسه با فواصل مسیر و اندازه سطوح بازتابنده بسیار کوتاه است، آشکارتر است. محوشده‌گی یک مشکل مهم در تلفن‌های همراه و سایر تجهیزات رادیویی است، بهویژه زمانی که یک یا چند فرستنده گیرنده در حال حرکت هستند. محوشده‌گی نیز یک مشکل در ارتباطات امواج کوتاه از راه دور است، زمانی که سیگنال می‌تواند چندین بار از یونوسفر و زمین پوش کند، سیگنال حاصل می‌تواند حذف شونده یا تقویت شده باشد. تغییرات سیگنال محوشده‌گی می‌تواند تنها چند دسی‌بل یا تا ۳۰ دسی‌بل باشد. مقدار قابل توجهی از محوشده‌گی می‌تواند ارتباط را غیر قابل اعتماد کند.

برای غلبه بر محوشده‌گی، اکثر سیستم‌های ارتباطی دارای حاشیه محوشده‌گی داخلی هستند. یعنی قدرت فرستنده به اندازه کافی بالا و حساسیت گیرنده کافی برای اطمینان از اینکه سیگنال‌های بازتابی ضعیفتر سیگنال مستقیم را به همان اندازه کاهش نمی‌دهند، دارند. یک حاشیه محوشده‌گی حداقل ۵ دسی‌بل در اکثر سیستم‌ها تعییه شده است.

محوشده‌گی چند مسیری را می‌توان با استفاده از آنتن‌های بسیار جهتدار، چه در فرستنده یا گیرنده یا در هر دو، تا حد زیادی به حداقل رساند. پرتوهای ارسال و دریافت باریک عملأ چندین مسیر و محوشده‌گی مربوطه را حذف می‌کند. با این حال، در اکثر سیستم‌های ارتباطی، آنتن‌های غیر جهتی (یعنی همه جهته) معمول هستند. تلفن‌های همراه، رادیوهای دو طرفه و حتی ایستگاه‌های پایه باید دارای پوشش آزیموت (سمت) وسیعی برای دریافت یا ارسال سیگنال در یک منطقه وسیع باشند.

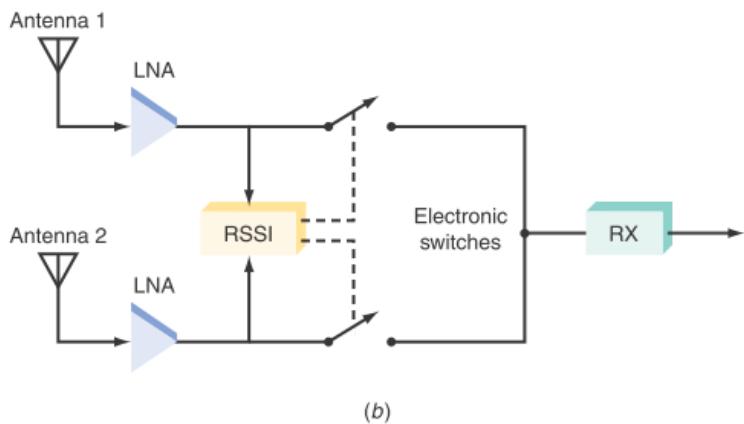
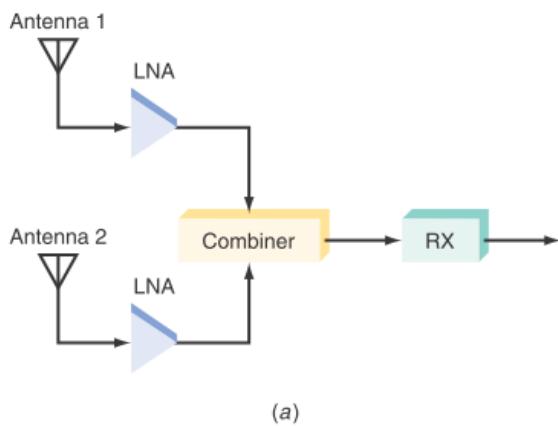
سیگنال‌های باند پهن نسبت به سیگنال‌های باند باریک نسبت به محوشده‌گی چند مسیره حساسیت کمتری دارند. اگر از روش‌های پهنای باند مانند طیف گسترده (CDMA) یا OFDM استفاده شود، سیگنال‌ها در محدوده فرکانسی بسیار وسیعی پخش می‌شوند. ارتباط چندگانه سیگنال‌ها در طیف وسیعی از فرکانس‌ها به گونه‌ای دریافت می‌شود که حذف یا تداخل بین نمادی کمتری رخ می‌دهد. این یک عامل اصلی در طراحی سیستم‌های ارتباطی جدید است که در آن محوشده‌گی انتظار می‌رود. **سیستم تنوع:** محوشده‌گی را می‌توان با استفاده از آنچه که سیستم تنوع<sup>۵۰</sup> نامیده می‌شود به حداقل رساند. یک سیستم تنوع از چندین فرستنده، گیرنده یا آنتن برای کاهش مشکلات ناشی از سیگنال‌های چند مسیره استفاده می‌کند. دو نوع متدائل تنوع عبارتند از فرکانس و فضایی. با تنوع فرکانس، دو مجموعه مجزا از فرستنده‌ها و گیرنده‌ها که بر روی فرکانس‌های مختلف کار می‌کنند برای انتقال اطلاعات یکسان به طور همزمان استفاده می‌شود. تئوری این است که سیگنال‌ها در فرکانس‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی به مکانیسم‌های محوشده‌گی مختلف نشان می‌دهند و در نتیجه حداقل یک سیگنال دریافتی قابل اطمینان را به همراه خواهند داشت. برای موثر بودن، فرکانس‌ها باید به طور گستردگی از یکدیگر فاصله داشته باشند. البته، چنین سیستم‌هایی بسیار گران هستند زیرا به دو فرستنده، گیرنده و آنتن نیاز دارند که همگی در فرکانس‌های مختلف هستند. کمبود طیف فرکانس

<sup>۴۹</sup> Intersymbol Interference

<sup>۵۰</sup> Diversity System

نیز این نوع سیستم را غیرعملی می‌کند. بهندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد مگر در مواردی که قابلیت اطمینان بسیار ضروری است.

یکی دیگر از انواع پرکاربردتر تنوع، فضا یا تنوع فضایی<sup>۵۱</sup> نامیده می‌شود. برای دریافت سیگنال‌ها از دو آنتن گیرنده استفاده می‌کند که تا حد امکان از هم فاصله دارند. سیستم‌های تنوع عمدهاً در ایستگاه‌های پایه بهجای واحدهای قابل حمل یا دستی استفاده می‌شوند. ایده اصلی این است که آنتن‌ها در مکان‌های کمی متفاوت، تغییرات متفاوتی از سیگنال‌ها را دریافت می‌کنند که یکی بهتر از دیگری است. فاصله ممکن است افقی یا عمودی باشد، هر کدام راحت‌تر است. با این حال، در برخی موارد، یک ترتیب بر دیگری برتری خواهد داشت.



شکل ۴۵.۱۴: سیستم‌های دریافت با تنوع رایج (الف) سیگنال‌ها برای حداکثر خروجی ترکیب می‌شوند. (ب) فقط قوی‌ترین سیگنال به گیرنده سوئیچ می‌شود.

دریافت تنوع به‌ویژه در فرکانس‌های موج کوتاه دشوار است، جایی که فاصله معمولاً صدها یا حتی هزاران پا (فوت) خواهد بود. فقط از فاصله افقی استفاده می‌شود. در فرکانس‌های UHF و مایکروویو، فاصله آنتن‌ها نسبتاً ساده است زیرا طول موج‌ها کوتاه هستند. بهطور کلی، هرچه فاصله بیشتر باشد

<sup>۵۱</sup> Space or Spatial Diversity

(۱۰) یا  $20^{\circ}$  طول موج یا بیشتر، بهتر است. بسیاری از سیستم‌ها از رابطه  $h/d = 11$  برای تعیین حداقل و، همانطور که مشخص است، فاصله بهینه برای آنتن‌ها استفاده می‌کنند. در این رابطه  $h$  ارتفاع آنتن و  $d$  فاصله مکانی است. برای آنتن‌هایی که  $100^{\circ}$  فوت ارتفاع دارند، حداقل فاصله خواهد بود:

$$\frac{100}{d} = 11 \quad d = \frac{100}{11} = 9.09 \text{ ft}$$

شکل (۴۵.۱۴)(الف) یک سیستم تنوع فضایی معمولی را نشان می‌دهد. دو آنتن یک شبکه ترکیبی را تغذیه می‌کنند که در آن دو سیگنال به صورت خطی اضافه می‌شوند. نتیجه یک سیگنال بزرگتر و به حداقل رساندن اثرات محوشده است. سیگنال‌ها ممکن است در آنتن یا تقریباً در هر نقطه از گیرنده ترکیب شوند. برخی از سیستم‌ها پس از LNA ترکیب می‌شوند. بقیه بعد از IF ترکیب می‌شوند. در سیستم‌های دیگر، از دو گیرنده کاملاً مجزا استفاده می‌شود و سیگنال‌ها پس از دمودولاسیون با هم ترکیب می‌شوند. برای تعیین بهترین نتایج، آزمایش لازم است.

شکل دیگری از تنوع فضایی، تنوع انتخابی یا سوئیچ شده است. در این سیستم، [شکل (۴۵.۱۴)(ب)]، دو آنتن LNA‌های جداگانه‌ای را تغذیه می‌کنند که خروجی آنها توسط مدارهایی که قدرت سیگنال دریافتی را اندازه‌گیری می‌کنند، نظارت می‌شوند. در سیستم‌های تلفن همراه، این مدارها را نشانگر قدرت سیگنال دریافتی<sup>۵۲</sup> (RSSI) می‌نامند. آنها سیگنالی را با بیشترین قدرت تعیین می‌کنند و آن سیگنال را به بقیه مدارهای گیرنده سوئیچ می‌کنند. همه اینها به طور خودکار با سرعت بالا انجام می‌شود و اطمینان حاصل می‌شود که گیرنده همیشه قوی‌ترین سیگنال را دارد.

سیستم‌های تنوع به طور گسترده در سیستم‌های تلفن همراه جدیدتر و در شبکه‌های محلی بی‌سیم که در داخل خانه کار می‌کنند و در برخی موارد با واحدهای بی‌سیم سیار (کامپیوتراهای لپ تاپ، PDA و غیره) که اغلب در حال حرکت هستند، استفاده می‌شود. تکنیک‌های جدیدی مانند آنتن‌های چند ورودی، چند خروجی (MIMO) و آنتن‌های هوشمند (تطبیقی) اکنون برای بهبود بیشتر انتقال در محیط‌های چند مسیره استفاده می‌شوند. این تکنیک‌ها در فصل شانزدهم پوشش داده خواهند شد.

## سوالات:

۱. ساختار اصلی یک موج رادیویی چیست؟
۲. نام عبارات ریاضی که رفتار امواج الکترومغناطیسی را توصیف می‌کنند چیست؟ در مورد آنچه این عبارات بیان می‌کنند، با بیان کلی ارائه دهید.
۳. رابطه بین انواع میدان‌هایی که یک موج رادیویی را تشکیل می‌دهند را شرح دهید. جهت‌گیری این میدان‌ها نسبت به جهت انتقال موج چگونه است؟
۴. کدام قسمت از یک موج رادیویی قطبش آن را نسبت به سطح زمین تعیین می‌کند؟
۵. قطبش یک موج رادیویی که میدان مغناطیسی آن به صورت افقی با زمین است چگونه است؟
۶. منظور از هم‌پاسخی بودن آنتن را تعریف کنید.

<sup>۵۲</sup> Received Signal Strength Indicator (RSSI).

۷. نام نوع آنتنی که اکثر آنتن‌های دیگر بر اساس آن ساخته شده‌اند چیست؟ طول این آنتن از نظر طول موج در فرکانس کاری چقدر است؟
۸. پرکاربردترین محیط برای اتصال آنتن به فرستنده یا گیرنده چیست؟
۹. طول دوقطبی چقدر است؟
۱۰. مقاومت تابشی نظری یا امپدانس محرکه یک دوقطبی را بیان کنید.
۱۱. چه عواملی بر امپدانس دوقطبی تأثیر می‌گذارد و چگونه؟
۱۲. مدار معادل یک دوقطبی در تشديد، بالاتر از تشديد و زیر تشديد چیست؟
۱۳. چه عواملی بر پهنای باند آنتن تأثیر می‌گذارد؟
۱۴. الگوی تابش افقی یک دوقطبی را شرح دهید. شکل سه بعدی یک الگوی تابشی دوقطبی چگونه است؟
۱۵. منظور از جهتدهی در آنتن را تعریف کنید.
۱۶. برای بیان و اندازه‌گیری جهت آنتن از چه واحدی استفاده می‌شود؟
۱۷. بهره آنتن را تعریف کنید. چه چیزی باعث بهره آنتن می‌شود؟
۱۸. رادیاتور همسانگرد چیست؟
۱۹. یک دوقطبی چه بهره‌ای نسبت به رادیاتور همسانگرد دارد؟
۲۰. دو راه برای بیان بهره آنتن بیان کنید.
۲۱. ERP را تعریف کنید.
۲۲. دوقطبی تا شده چیست؟ مزایای آن نسبت به دوقطبی استاندارد چیست؟
۲۳. دو نامی که برای آنتن عمودی به‌طول یک چهارم طول موج استفاده می‌شود چیست؟
۲۴. الگوی تابش افقی آنتن عمودی به‌طول یک چهارم طول موج چگونه است؟
۲۵. چه اصطلاحی آنتنی را توصیف می‌کند که در تمام جهات افقی به‌خوبی تابش می‌کند؟
۲۶. یک آنتن عمودی به‌طول یک چهارم طول موج برای عملکرد صحیح، علاوه بر رادیاتور هادی عمودی، چه باید داشته باشد؟
۲۷. نام گروهی از هادی‌های متصل به خط انتقال در پایه برخی از آنتن‌های عمودی چیست؟
۲۸. پرکاربردترین نوع خط انتقال آنتن‌های عمودی به طول یک چهارم طول موج را نام ببرید.
۲۹. چه اصطلاحی جهتدهی آنتنی را که در دو جهت مخالف به‌خوبی ارسال یا دریافت می‌کند، توصیف می‌کند؟

۳۰. آنتن یک جهته چیست؟
۳۱. چرا آنتن جهت دار سیگنال را تقویت می کند؟
۳۲. یک آنتن باید چه ویژگی های فیزیکی داشته باشد تا بهره و جهت را نشان دهد؟
۳۳. دو کلاس اصلی آرایه های آنتن را نام ببرید.
۳۴. سه عنصر اساسی در آنتن یاگی را نام ببرید.
۳۵. دو عنصر پارازیتیک آنتن پرتو یاگی را نام ببرید.
۳۶. حد بالایی در تعداد دایرکتورها که یک یاگی می تواند داشته باشد چقدر است؟
۳۷. محدوده عرض پرتو معمولی آنتن یاگی چقدر است؟
۳۸. دو عامل را که بر عرض پرتو یک یاگی تأثیر می گذارد بیان کنید.
۳۹. اصطلاح نسبت پیشران به پسران را همانطور که در یاگی به کار می رود تعریف کنید.
۴۰. درست یا غلط؟ یاگی را می توان با پلاریزاسیون افقی یا عمودی کار کرد.
۴۱. کدام قطبش برای یاگی رایج تر است؟
۴۲. سه نوع آرایه تغذیه شده را فهرست کنید.
۴۳. الگوی تابش سه نوع متداول آرایه تغذیه شده را شرح دهید.
۴۴. آیا آرایه های تغذیه شده نسبت به دو قطبی بهره دارند؟
۴۵. نام یک آرایه پر طرفدار باند پهن با الگوی تابش یک طرفه چیست؟
۴۶. یک مزیت عمدی آنتن تناوب لگاریتمی نسبت به انواع دیگر آرایه های تغذیه شده را بیان کنید.
۴۷. رایج ترین مقدار امپدانس ورودی / خروجی آنتن برای فرستنده ها و گیرنده های مدرن چیست؟
۴۸. چرا تطبیق امپدانس در برخی از تاسیسات آنتن ضروری است؟
۴۹. نام یک نوع ترانسفورماتور برای تطبیق امپدانس در تاسیسات آنتن چیست؟
۵۰. به بخش یک چهارم طول موج خط انتقال که برای تطبیق امپدانس بین آنتن و خط انتقال استفاده می شود چه می گویند؟
۵۱. نسبت تطبیق امپدانس یک بالون کواکسیال چقدر است؟
۵۲. نحوه عملکرد تیونر آنتن را شرح دهید.
۵۳. روش معمول برای تنظیم تیونر آنتن چیست؟
۵۴. الزامات مربوط به ارتباط یک سیگنال رادیویی چیست؟

۵۵. آیا یک موج رادیویی پلاریزه عمودی توسط یک آنتن پلاریزه افقی دریافت می‌شود؟
۵۶. قطبش دایره‌ای چیست؟ دو نوع قطبش دایره‌ای را بیان کنید.
۵۷. آیا آنتن‌های با قطبش افقی و عمودی سیگنال‌های قطبش دایره‌ای را دریافت می‌کنند؟
۵۸. انکسار که به امواج رادیویی اشاره دارد چیست؟ علت شکست امواج رادیویی چیست؟
۵۹. پراش که به امواج رادیویی اشاره دارد چیست؟ آیا پراش در ارتباطات رادیویی مضر است یا سودمند؟
۶۰. سه مسیری که سیگنال رادیویی می‌تواند در فضای کند را نام ببرید.
۶۱. برای موج رادیویی که در نزدیکی سطح زمین منتشر می‌شود از چه دو نامی استفاده می‌شود؟ آیا آنها به صورت عمودی یا افقی قطبی شده‌اند؟
۶۲. دامنه فرکانس سیگنال‌هایی که بهترین شکل در سطح زمین منتشر می‌شوند چقدر است؟
۶۳. نام موج رادیویی که توسط یونوسفر دچار شکست می‌شود را بیان کنید.
۶۴. دامنه فرکانس سیگنال‌هایی که بهترین نحو توسط شکست یونوسفر منتشر می‌شوند چقدر است؟
۶۵. یونوسفر چیست؟ تفاوت آن با لایه‌های جوی که به زمین نزدیکتر هستند چیست؟ چرا فرق می‌کند؟
۶۶. کدام لایه از یونوسفر بیشترین تأثیر را روی سیگنال رادیویی دارد؟
۶۷. درست یا غلط؟ یونوسفر مانند یک آینه عمل می‌کند و امواج رادیویی را به زمین منعکس می‌کند.
۶۸. چه پدیده‌ای از انتشار، ارتباط رادیویی را در سراسر جهان ممکن می‌سازد؟
۶۹. چه عواملی تعیین می‌کند که آیا یک موج رادیویی توسط یونوسفر شکسته می‌شود یا از طریق آن به فضای بیرونی می‌گذرد؟
۷۰. به موج رادیویی که فقط در فواصل دید مستقیم منتشر می‌شود چه می‌گویید؟
۷۱. تنها روش انتشار در چه فرکانس‌هایی ارسال دید مستقیم است؟
۷۲. چگونه می‌توان فاصله انتقال سیگنال UHF را افزایش داد؟
۷۳. چه تکنیکی برای افزایش فواصل انتقال فراتر از حد خط دید در VHF و بالاتر استفاده می‌شود؟
۷۴. ایستگاه تکرار کننده چیست و چگونه کار می‌کند؟
۷۵. کدام شرایط باعث بدترین نوع محoshدگی می‌شود؟
۷۶. نام محoshدگی چند مسیری چیست؟
۷۷. چرا تنوع فرکانس نامطلوب است؟
۷۸. چگونه تنوع فضایی محoshدگی را به حداقل می‌رساند؟

۷۹. کدامیک کمترین اثرات محوشده‌گی را ایجاد می‌کند، سیگنال‌های باند باریک یا پهن؟

### مسائل:

۱. امپدانس تقریبی یک دوقطبی که  $18\%$  بالای زمین است چقدر است؟  $38\%$  بالای زمین چقدر است؟

۲. طول آنتن دوقطبی سیمی در  $16$  مگاهرتز چقدر است؟

۳. آنتن دوقطبی سیمی  $27$  فوت طول دارد. فرکانس کارکرد آن چقدر است؟ پهنهای باند تقریبی آن چقدر است؟

۴. در فرکانس‌های پایین (کمتر از  $30$  مگاهرتز)، قطبش طبیعی یک دوقطبی چگونه است؟

۵. رایج‌ترین خط انتقال مورد استفاده با دوقطبی فرکانس پایین کدام است؟

۶. توان اعمال شده به آنتن با بهره  $4$  دسی‌بل  $5$  وات است. ERP چقدر است؟

۷. طول دوقطبی تا شده (دولای) ساخته شده با خط دوسیمه  $300$  اهم برای فرکانس  $216$  مگاهرتز چقدر است؟

۸. طول آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج در فرکانس  $45^\circ$  مگاهرتز را محاسبه کنید.

۹. طول عنصر تعذیه در آنتن یاگی در  $290$  مگاهرتز چقدر است؟

۱۰. طول حلقه کواکسیال مورد استفاده در بالون کواکسیال را برای فرکانس  $227$  مگاهرتز محاسبه کنید. ضریب سرعت را  $8/0$  فرض کنید.

۱۱. طول یک چهارم طول موج برای تطبیق با امپدانس کابل کواکسیال با ضریب سرعت  $0/66$  در  $162$  مگاهرتز چقدر است؟

۱۲. افق رادیویی یک آنتن به ارتفاع  $100$  فوت چقدر است؟

۱۳. حداکثر فاصله دید مستقیم بین آنتن پیجینگ با ارتفاع  $25^\circ$  فوت و گیرنده پیجر در فاصله  $3/5$  فوتی از زمین چقدر است؟

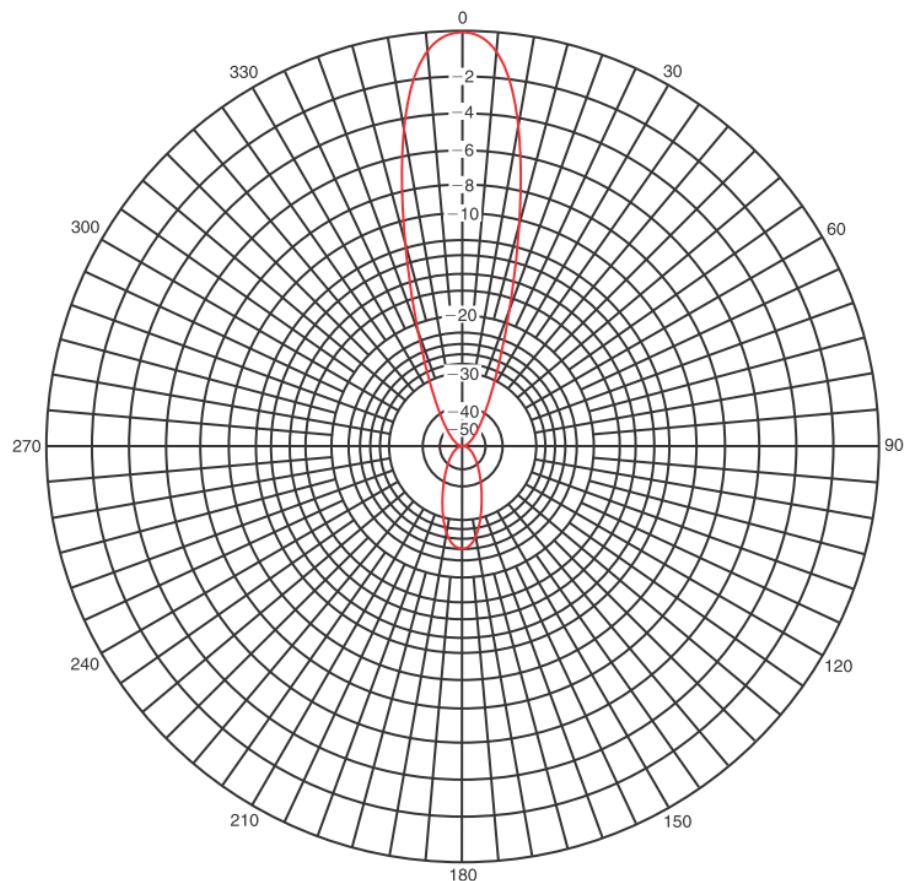
۱۴. تضعیف مسیر بین فرستنده و گیرنده در فرکانس  $1/2$  گیگاهرتز و فاصله  $11000$  مایل چیست؟

۱۵. بهره آنتن  $dBd$  برابر  $6$  است. بهره آن نسبت به رادیاتور همسانگرد چقدر است؟

۱۶. یک برج آنتن تلفن همراه با ارتفاع  $240$  فوت از تنوع فضایی استفاده می‌کند. حداقل جداسازی آنتن مطلوب چقدر است؟

### مسائل چالش برانگیز:

۱. از دو دوقطبی یکی از هادی‌های سیمی و دیگری با استفاده از هادی‌های لوله نازک است. کدام یک پهنهای باند بیشتری دارد؟
۲. خورشید در زاویه  $30^\circ$  درجه نسبت بهافق قرار دارد و باعث می‌شود یک آنتن عمودی بلند یک چهارم طول موج سایه‌ای به طول  $400\text{ cm}$  فوت ایجاد کند. آنتن با چه فرکانسی تشديد (روزانس) می‌کند؟
۳. دو هادی یک خط انتقال کابل کواکسیال در نصب آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج به کجا متصل هستند؟
۴. عملکرد یک آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج را با دوقطبی یک دوم طول موج مقایسه کنید.
۵. امپدانس تغذیه یک آنتن عمودی با طول یک چهارم طول موج چقدر است؟ چه عواملی بر این امپدانس تأثیر می‌گذارد؟
۶. اگر یک آنتن عمودی خیلی کوتاه باشد، برای روزانس آن چه باید کرد؟
۷. اگر یک آنتن عمودی برای فرکانس کاری مورد نظر بیش از حد طویل باشد، برای تشديد آن چه باید کرد؟
۸. به شکل (۴۶.۱۴) مراجعه کنید. عرض پرتو این آنتن چقدر است؟ بهره آن را محاسبه کنید. نسبت پیشان پسران این آنتن را بر حسب دسی بل محاسبه کنید. نکته: این الگوی تابشی از مقیاس لگاریتمی استفاده می‌کند و بر حسب دسی بل کالیبره می‌شود. حداکثر نقطه تابش در لوب اصلی در صفر درجه برابر  $dB$  داده می‌شود. نقاط پایین  $-3dB$  - بهوضوح مشخص شده‌اند تا بتوان عرض پرتو را تعیین کرد. مرکز نمودار  $-100dB$  - است.
۹. فرستنده دارای آنتن جهت دار با بهره  $4$  دسی بل و فرکانس  $72$  مگاهرتز است. توان ورودی آنتن  $2$  وات است. گیرنده از صفحه زمین با طول یک چهارم طول موج استفاده می‌کند. فاصله بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده  $3$  مایل است. قدرت گیرنده چقدر است؟ ولتاژ ورودی گیرنده با امپدانس ورودی  $50\text{ }\Omega$  اهم چقدر است؟
۱۰. فرستنده  $915$  مگاهرتز سیگنالی را به گیرنده می‌فرستد. توان خروجی فرستنده یک وات است. فرستنده و گیرنده هر دو از آنتن‌های عمودی با طول یک چهارم طول موج استفاده می‌کنند. امپدانس ورودی گیرنده  $50\text{ }\Omega$  اهم است. حداکثر فاصله‌ای که می‌توان به دست آورد و هنوز یک میکروولت را به گیرنده تحويل دهد چقدر است؟
۱۱. طول آنتن عمودی  $5/8\lambda$  در  $902$  مگاهرتز چقدر است؟
۱۲. یک فرستنده با باتری بسیار کم مصرف در مکانی غیرقابل دسترس برای ارسال داده‌های تله‌متري به مرکز جمع آوری داده‌ها است. سیگنال اغلب برای بازیابی اطلاعات قابل اعتماد بسیار ضعیف است. برخی از اقدامات عملی را که می‌توان برای بهبود انتقال انجام داد، فهرست کنید.



شکل ۴۶.۱۴: الگوی تابشی برای مسئله شماره ۸.



## فصل ۱۵

# فناوری‌های اینترنت

اینترنت یک اتصال جهانی کامپیوترها به‌وسیله بسیاری از شبکه‌های پیچیده است. اینترنت در اوخر دهه ۱۹۶۰ تحت حمایت وزارت دفاع و بعداً از طریق بنیاد ملی علوم تأسیس شد. این روشی را برای دانشگاه‌ها و شرکت‌هایی که تحقیقات نظامی و دولتی انجام می‌دهند برای برقاری ارتباط و به اشتراک گذاری فایل‌ها و نرم افزارهای کامپیوتري فراهم کرد. در اوایل دهه ۱۹۹۰، اینترنت خصوصی شد و بهروی همه باز شد. امروزه سیستمی با میلیاردها کاربر در سراسر جهان است.

در این فصل، فناوری مورد استفاده در انتقال داده‌ها در بسته‌ها از طریق تعداد زیادی کامپیوت به نام سرورها<sup>۱</sup> و وسایل اینترننتی به نام روترا<sup>۲</sup> و ستون فقرات اینترنت فیبر نوری گستره مورد بحث قرار می‌گیرد. فن آوری‌هایی مانند رله فریم<sup>۳</sup>، مود انتقال ناهمzman<sup>۴</sup> (ATM)، SONET، و شبکه انتقال نوری<sup>۵</sup> (OTN) مورد بحث قرار می‌گیرند. پروتکل انتقال TCP/IP مورد بحث قرار گرفته و عملکرد یک روترا توضیح داده شده است. این فصل همچنین شامل مقدمه‌ای بر شبکه‌های فضای ذخیره‌سازی<sup>۶</sup> (SAN) است. در نهایت، موضوع امنیت داده‌های اینترنتی تعریف شده و روش‌های رمزگذاری و احراز هویت در نظر گرفته شده است.

### اهداف:

بعداز تکمیل این فصل، شما می‌توانید:

- اینترنت و رایانش ابری را تعریف کنید.
- برنامه‌های اصلی اینترنت را فهرست کنید.
- نحوه انتقال داده‌ها از طریق اینترنت را توضیح دهید.

<sup>۱</sup>Servers

<sup>۲</sup>Routers

<sup>۳</sup>Frame Relay

<sup>۴</sup>Asynchronous Transfer Mode (ATM)

<sup>۵</sup>Optical Transport Network (OTN)

<sup>۶</sup>Storage Area Networks (SANs)

- چهار نوع اصلی سیستم انتقال مورد استفاده در اینترنت شامل ATM، SONET و OTN را نام ببرید و توضیح دهید.
- جزئیات پروتکل TCP/IP را توضیح دهید.
- عملکرد یک روتور را توضیح دهید.
- انواع عمدۀ شبکه‌های ذخیره سازی و فن‌آوری‌های انتقال آنها، از جمله کانال فیبر و iSCSI را شناسایی و توضیح دهید.
- انواع اصلی سیستم‌های امنیتی مورد استفاده در اینترنت را نام ببرید.
- سیستم‌های رمزگذاری که بیشتر در اینترنت استفاده می‌شود را نام ببرید.

## ۱.۱۵ کاربردهای اینترنت

اینترنت یک سیستم ارتباطی است که یکی از سه کاربرد گسترده را انجام می‌دهد: (۱) اشتراک منابع، (۲) اشتراک گذاری داده‌ها و (۳) ارتباطات. کاربردهای اصلی اینترنت عبارتند از: ایمیل، انتقال، شبکه جهانی وب، تجارت الکترونیک، جستجوها، پروتکل صوتی از طریق اینترنت و ویدئو.

### خوب است بدانید که:

شرکتی به نام *Newman (BBN) & Bolt, Baranek* به نام یک شرکت مشاوره آکوستیک شروع به کار کرد اما در نهایت به نوشتن پروتکل‌ها برای *ARPANet*، نسل قبلی اینترنت، پایان داد.

**ایمیل E-Mail :** ایمیل تبادل یادداشت‌ها، نامه‌ها، یادآوری‌ها<sup>۴</sup> و سایر ارتباطات شخصی از طریق شرکت‌های خدماتی و نرم افزاری ایمیل است. شما پیامی را برای شخصی می‌نویسید و آن را روی اینترنت از طریق ارائه دهنده ایمیل خود ارسال می‌کنید، که بهنوبه خود آن را بهارائه دهنده ایمیل شخص دریافت کننده منتقل می‌کند. آن شخص پیام را به راحتی بازیابی می‌کند. ایمیل یکی از رایج‌ترین روش‌های ارتباطی است که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربرد شماره یک اینترنت است.

**انتقال فایل** انتقال فایل به نوانی ای انتقال فایل‌های داده یا نرم افزار از یک کامپیوتر به کامپیوتر دیگر اشاره دارد. فایل ممکن است متنی، داده‌های هاتوگرافی دیجیتالی، یک برنامه کامپیوترا و غیره باشد. یک برنامه انتقال فایل<sup>۵</sup> (FTP) به شما امکان می‌دهد به فایل‌ها در کامپیوتراهای راه دور دسترسی داشته باشید و آنها را در کامپیوتر خود بارگیری کنید، جایی که ممکن است از آنها استفاده شود. فایل‌ها را می‌توان به پیام‌های ایمیل «ضمیمه (پیوست)<sup>۶</sup>» کرد. انتقال فایل یک ابزار تحقیقاتی عالی است زیرا به شما امکان می‌دهد به حجم عظیمی از داده‌ها در قالب کتاب، مقاله، روزنامه، بروشور، برگه داده و صدها منبع دیگر دسترسی داشته باشید. آیتونز کامپیوتر اپل امکان خرید و دانلود موسیقی

<sup>۴</sup>Memos

<sup>۵</sup>File Transfer Program (FTP)

<sup>۶</sup>Attached

را می‌دهد.

**شبکه جهانی وب** : هر زمان که بیشتر مردم به اینترنت مراجعه می‌کنند، واقعاً در مورد وب جهانی<sup>۱۰</sup> (WWW) یا به اختصار وب صحبت می‌کنند. وب بخشی تخصصی از اینترنت است که در آن شرکت‌ها، سازمان‌ها، دولت یا حتی افراد می‌توانند اطلاعاتی را برای دسترسی و استفاده دیگران پست کنند. برای انجام این کار، یک وب سایت ایجاد می‌کنید که کامپیوتری است که اطلاعاتی را که می‌خواهید منتشر کنید ذخیره می‌کند. اطلاعات می‌تواند در کامپیوتر شخصی شما یا در کامپیوتر یک ارائه دهنده خدمات وب باشد. اطلاعات در قالب صفحات ارائه می‌شود، یک زیر واحد منطقی که ممکن است حاوی متن، گرافیک، انیمیشن، صدا و حتی ویدئو باشد.

شما از طریق یک نرم افزار خاص که به عنوان مرورگر<sup>۱۱</sup> شناخته می‌شود، از طریق اینترنت به این وب سایت‌ها دسترسی دارید. مرورگر به شما امکان می‌دهد تا یک وب سایت مورد نظر را با نام فراخوانی کنید یا در وب سایت‌های اینترنتی حاوی اطلاعات مورد علاقه خود جستجو کنید. مرورگر نرم افزاری است که به شما امکان می‌دهد وب را جستجو کرده و به آن دسترسی داشته باشید و اطلاعات را نمایش دهید. دو مرورگر پرکاربرد Microsoft Internet Explorer و Netscape Navigator هستند.

یکی از ویژگی‌های کلیدی وب، فرمان<sup>۱۲</sup> است. فرمان تن روشنی است که به صفحات یا وب سایت‌های مختلف اجازه می‌دهد تا پیوند داده شوند. هنگامی که صفحات وب ایجاد می‌شوند، معمولاً با زبانی به نام زبان نشانه گذاری فرمان<sup>۱۳</sup> (HTML)، برنامه نویسان می‌توانند پیوندهایی را به صفحات دیگر در وب سایت، به قسمت‌های دیگر همان صفحه یا حتی به وب سایت‌های مختلف وارد کنند. به عنوان مثال، یک صفحه ممکن است حاوی یک کلمه برجسته (معمولًا با حروف آبی) باشد، به این معنی که پیوندی است به یک موضوع مرتبط در یک صفحه یا سایت دیگر. با کلیک بر روی آن کلمه به طور خودکار شما را به اطلاعات مرتبط می‌برد. این توانایی پیوند دادن به اطلاعات مرتبط یا مرتبط یکی از قدرتمندترین و مفیدترین ویژگی‌های وب است.

**تجارت الکترونیک** : تجارت الکترونیک<sup>۱۴</sup> به انجام تجارت از طریق اینترنت، معمولاً خرید و فروش کالاهای خدمت‌هایی را راه‌اندازی می‌کنند که کالاهای خود را توصیف می‌کنند و آنها را برای فروش عرضه می‌کنند. افراد می‌توانند این اقلام را با دادن شماره کارت اعتباری یا انجام سایر روش‌های پرداخت خریداری کنند. سپس محصول از طریق پست یا حامل یک شبه ارسال می‌شود. انتظار می‌رود خرید آنلاین در آینده رشد چشمگیری داشته باشد. دو تا از خردۀ فروشان بزرگ‌تر تجارت الکترونیک آمازون، فروشنده کتاب، و eBay، سایتی که برخی از اقلام در آن به صورت حراج فروخته می‌شوند، هستند.

**جستجو** : جستجوی اینترنتی به فرد اجازه می‌دهد تا در مورد هر موضوعی اطلاعاتی را جستجو کند. چندین شرکت استفاده از موتورهای جستجوی رایگان را ارائه می‌دهند که نرم افزارهای تخصصی هستند که می‌توانند وب سایت‌های مرتبط با موضوع جستجوی مورد نظر را جستجو کنند.

<sup>۱۰</sup> World Wide Web (WWW)

<sup>۱۱</sup> Browser

<sup>۱۲</sup> Hypertext

<sup>۱۳</sup> Hypertext Markup Language (HTML)

<sup>۱۴</sup> E-commerce or Electronic Commerce

متداول ترین سایتها جستجوی گوگل<sup>۱۵</sup>، یاهو<sup>۱۶</sup> و مایکروسافت بینگ<sup>۱۷</sup> هستند. شما به سادگی از طریق مرورگر خود به وب سایت دسترسی پیدا می کنید و یک یا چند کلمه کلیدی را تایپ می کنید که موتور جستجو را هدایت می کند. در عرض چند ثانیه، موتور جستجو فهرستی از تمام سایتهايی که حاوی کلمات کلیدی هستند را بر می گرداند. اکثر جستجوها صدها و حتی هزاران مرجع مانند وب سایتها، تبلیغات، بیانیه‌های مطبوعاتی، مقالات مجلات و روزنامه‌ها و بسیاری از منابع دیگر را بر می گرداند.

**پروتکل صدا از طریق اینترنت :** پروتکل صدا از طریق اینترنت<sup>۱۸</sup> (VoIP) تکنیک جایگزینی سرویس تلفن استاندارد با نسخه صوتی دیجیتال با تماس‌هایی است که از طریق اینترنت انجام می‌شود. صدا دیجیتالی شده، فشرده و از طریق اینترنت در بسته‌هایی به مکان فراخوانی ارسال می‌شود. در آنجا باز شده و دوباره به آنالوگ تبدیل می‌شود. VoIP تا حد زیادی جایگزین خدمات تلفن استاندارد در شرکت‌ها و دولتها شده است و نفوذ زیادی به خانه‌ها در سراسر ایالات متحده و سایر کشورها داشته است. رشد آن ادامه دارد.

**پروتکل تصویر از طریق اینترنت :** ویدئو یا تلویزیون از طریق اینترنت<sup>۱۹</sup> (IPTV) نیز راجح‌تر می‌شود. ویدئو (و همراه آن صدای) دیجیتالی، فشرده شده و از طریق اینترنت ارسال می‌شود. به این ویدیویی خدمات رسانه‌ای بر فراز اینترنت<sup>۲۰</sup> (OTT) گفته می‌شود. این به تدریج جایگزین برخی از ویدئوهای ارسال شده از طریق هوا و سیستم‌های تلویزیون کابلی می‌شود. هر دو IPTV و VoIP از اتصالات اینترنت استاندارد استفاده شده برای داده استفاده می‌کنند.

### اینترنت چگونه کار می‌کند

اینترنت آخرین شبکه ارتباطی داده است. این تقریباً از هر نوع قابل تصوری از تجهیزات و تکنیک‌های ارتباط داده استفاده می‌کند. تمام مفاهیمی که قبل ایاد گرفتید در اینترنت کاربرد دارند. فقط به خاطر داشته باشید که اطلاعات به صورت پالس‌های باینری سریالی، معمولاً به صورت بایت (تکه‌های ۸ بیتی) داده در گروههای بزرگتر به نام بسته‌ها گروه بندی می‌شوند. همه انواع مختلف محیط‌های ارتباط از جمله کابل زوج تابیده، کابل کواکسیال، کابل فیبر نوری، ماهواره و سایر اتصالات بی‌سیم استفاده می‌شود.

**آدرس‌های اینترنتی :** هر فرد یا کامپیوتری در اینترنت باید نوعی شناسه یا آدرس داشته باشد. یک سیستم آدرس دهی برای اینترنت از یک طرح نام آدرس ساده شده استفاده می‌کند که سلسله مراتب خاصی را تعریف می‌کند. سطح بالای سلسله مراتب، فضای سطح بالا<sup>۲۱</sup> (TLD) نامیده می‌شود. محیط نوعی سازمان خاص است که از اینترنت استفاده می‌کند. به چنین محیط‌هایی بخشی از آدرس اینترنتی اختصاص داده شده است. رایج‌ترین محیط‌ها و بخش‌های آدرس آنها به شرح زیر است:

<sup>۱۵</sup>Google

<sup>۱۶</sup>Yahoo

<sup>۱۷</sup>Microsoft Bing

<sup>۱۸</sup>Voice over Internet Protocol (VoIP)

<sup>۱۹</sup>Video or TV over the Internet (IPTV)

<sup>۲۰</sup>Over The Top (OTT)

<sup>۲۱</sup>Top Level Domain (TLD)

بخش آدرس	محیط
.com	شرکت‌های تجاری
.edu	مؤسسات آموزشی
.org	سازمان‌ای غیردولتی
.mil	نظامی
.gov	دولت
.net	ارائه دهنده خدمات اینترنتی
.aero	حمل و نقل هوایی
.biz	کسب و کار
.coop	تعاونی‌ها
.info	سایت‌های اطلاع رسانی
.info	سازمان‌های بین‌المللی
.mobi	موبایل
.museum	موزه‌ها
.name	خانواده‌ها و افراد
.pro	حرف‌ها
.travel	شرکت‌های مرتبط با سفر
.xxx	سایت‌های بزرگسالان
.us .uk .fr .jp .de	کشور (ایالات متحده، بریتانیا، فرانسه، ژاپن، آلمان)

قسمت دیگری از آدرس، نام میزبان است. میزبان به کامپیوتر خاصی که به اینترنت متصل است اشاره دارد. میزبان یک کامپیوتر، دستگاه یا کاربر در شبکه است. سرور خدماتی مانند ایمیل، صفحات وب و DNS را ارائه می‌دهد. نام میزبان اغلب نام شرکت، سازمان یا بخش حامی کامپیوتر است. به عنوان مثال، نام میزبان ibm IBM است.

**آدرس ایمیل :** اولین قسمت آدرس، نام کاربر یا برخی از مخفف‌ها، الحالات یا نام مستعار است. شما ممکن است از نام خود برای یک آدرس ایمیل یا برخی از نام‌های ساختگی که می‌شناسید استفاده کنید. آدرس کامل ممکن است به شکل زیر باشد:

< billbob@xyz.net >

نام کاربری با علامت @ از میزبان جدا می‌شود. میزبان، در این مورد xyz، ارائه دهنده خدمات ایمیل است. به نقطه بین نام میزبان و نام محیط توجه کنید. این آدرس به یک آدرس به سری اعداد تبدیل می‌شود که توسط کامپیوترهای موجود در اینترنت برای شناسایی و مکان‌یابی یکدیگر استفاده می‌شود.

**آدرس‌های WWW :** برای مکان‌یابی سایت‌ها در وب، از آدرس خاصی به نام منبع یا ب یکنواخت <sup>۲۲</sup> (URL) استفاده می‌کنید. یک URL معمولی < http : //www.abs.com/newinfo > است.

قسمت اول URL پروتکل ارتباطی مورد استفاده را مشخص می‌کند، در این مورد پروتکل انتقال ابرمن <sup>۲۳</sup> (http) است. www، البته، وب جهانی را مشخص می‌کند. بخش abs.com دامنه یا

<sup>۲۲</sup>Uniform Resource Locator (URL)

<sup>۲۳</sup>Hypertext Transfer Protocol (http)

کامپیوتری است که وب سایت در آن وجود دارد. مورد بعد از اسلش (/) نشان دهنده یک دایرکتوری در نرم افزار وب سایت است. اکثر وب سایتها دارای دایرکتوری‌های متعددی هستند که معمولاً به صفحات دیگری نیز تقسیم می‌شوند.

**اتصالات اولیه:** کامپیوترهای شخصی به روش‌های مختلفی به اینترنت متصل می‌شود. رایج‌ترین روش از طریق مودم است که به سیستم تلفن متصل می‌شود. مودم‌های سنتی شماره‌گیری مانند مودم‌هایی که قبلاً توضیح داده شد و خط مشترک دیجیتال ناهمزمان<sup>۲۴</sup> (ADSL) جدیدتر و مودم‌های تلویزیون کابلی وجود دارند. مودم‌های بی‌سیم نیز موجود است.

یک راه متداول برای اتصال به اینترنت استفاده از شبکه محلی است که کامپیوتر شما ممکن است به آن متصل باشد. اکثر کامپیوترهای شخصی شرکت‌ها و سازمان‌ها تقریباً همیشه به یک شبکه LAN متصل هستند. LAN دارای سرویس است که اتصال اینترنت را مدیریت می‌کند، که ممکن است از طریق یک خط T1 به سیستم تلفن یا یک اتصال فیبر نوری باشد.

**نقش سیستم تلفن:** سیستم تلفن آشنا اغلب اولین پیوند به اینترنت است. از آنجایی که بسیار بزرگ و راحت است، روشی منطقی برای برقراری ارتباط با کامپیوترهای از راه دور است. یک خط تلفن استاندارد برای مودم‌های شماره‌گیری و مودم‌های DSL استفاده می‌شود. در بسیاری از برنامه‌ها، سیستم تلفن تنها ارتباط بین کامپیوترها است. بسیاری از کامپیوترهای شرکتی به‌این روش متصل می‌شوند و شما می‌توانید از این طریق مستقیماً به‌ارائه دهنده خدمات آنلاین متصل شوید. عملکرد اصلی آن اتصال شما به یک مرکز شناخته شده به‌عنوان ارائه دهنده خدمات اینترنت<sup>۲۵</sup> (ISP) است.

**اتصالات پهن‌باند:** اگرچه بیشتر اتصالات به اینترنت با مودم از طریق خطوط تلفن انجام می‌شود، افراد بیشتری به اتصالات پهن‌باند دست می‌یابند. اتصال پهن‌باند یک اتصال اینترنتی سریع است که توسط یک شرکت تلفن یا یک شرکت تلویزیون کابلی ارائه می‌شود. اصطلاح سریع در اینجا به معنای سرعت انتقال داده بیشتر از سرعتی است که می‌توان با مودم تلفن به‌دست آورد، معمولاً ۵۳ کیلوبیت بر ثانیه است. اتصال پهن‌باند می‌تواند سرعتی تا چندین مگابیت در ثانیه ایجاد کند.

پرکاربردترین اتصال پهن‌باند، مودم تلویزیون کابلی است. شرکت‌های تلویزیون کابلی اغلب به‌عنوان ارائه دهنده خدمات اینترنتی عمل می‌کنند. سیستم تلویزیون کابلی برای پشتیبانی از انتقال سریع داده ایده‌آل است. مودم کابلی ویژه ارائه شده از طریق یک رابط اترنت به کامپیوتر شخصی متصل می‌شود. نرخ انتقال داده بسته به میزان ترافیک روی خط متفاوت است، اما می‌تواند به ۵۰ مگابیت در ثانیه برسد.

دومین اتصال پهن‌باند پرکاربرد، خط مشترک دیجیتالی<sup>۲۶</sup> (DSL) است. اغلب توسط یک شرکت تلفن محلی ارائه می‌شود، اما ممکن است توسط یک تامین کننده مستقل تحویل داده شود. سرعت داده از ۱/۵ تا ۵۰ مگابیت در ثانیه را ارائه می‌دهد. دسترسی به اینترنت از طریق تلفن همراه نیز امکان پذیر است.

**ارائه دهنده خدمات اینترنت:** یک ISP شرکتی است که مخصوصاً برای دسترسی به شبکه‌ای به نام اینترنت راه اندازی شده است. این می‌تواند یک شرکت مستقل یا یک شرکت تلفن محلی یا یک شرکت تلویزیون کابلی باشد. ISP یک یا چند سرور دارد که دهها، صدها یا حتی هزاران مودم، DSL یا اتصالات کابلی مشترکین به‌آنها متصل هستند. معمولاً این ISP است که نرم افزاری را که در ارتباطات

<sup>۲۴</sup> Asynchronous Digital Subscriber Line (ADSL)

<sup>۲۵</sup> Internet Service Provider (ISP)

<sup>۲۶</sup> Digital Subscriber Line (DSL)

از طریق اینترنت استفاده می‌کنید ارائه می‌کند. ISP همچنین معمولاً خدمات پست الکترونیکی را ارائه می‌دهد.

هزاران ISP در سراسر ایالات متحده وجود دارد. اکثر آنها در شهرهای متعدد تا بزرگ راه اندازی می‌شوند. برخی از ISP‌ها خدمات بی‌سیم هستند. ISP از طریق یک رابط دیجیتالی سریع مانند از طریق یک MAN فیبر نوری بهستون فقرات اینترنت متصل می‌شود.

**رایانش ابری** : ابر یک اصطلاح کلی برای اینترنت است. در نمودارهای سیستم، اینترنت گاهی اوقات با یک ابر کومولونیمبوس پف کرده سفید بزرگ نشان داده می‌شود. ابر یک زیرساخت شبکه عظیم غیرقابل مشاهده است که دائماً در حال تغییر است و هرگز نقشه برداری نشده است.

رایانش ابری<sup>۲۷</sup> فرآیند ذخیره سازی و دسترسی به برنامه‌ها یا داده‌ها از طریق اینترنت است. به جای اینکه برنامه‌ها و داده‌های خود را در هارد دیسک کامپیوتر خود ذخیره کنید، از طریق اتصال اینترنت به نرم افزار و قابلیت ذخیره سازی سرورهای راه دور دسترسی دارید. تنها چیزی که نیاز دارید یک کامپیوتر حداقلی با یک مرورگر وب و احتمالاً یک برنامه رابط کاربری است که به شما امکان می‌دهد از منابع خارجی در هر کجا که هستند استفاده کنید. ایمیل نمونه‌ای از محاسبات ابری است که احتمالاً از آن استفاده کرده‌اید. برنامه‌های ایمیل مانند Google gmail و Yahoo mail در فضای ابری قرار دارند و روی کامپیوتر شما نیستند.

رایانش ابری مفهوم جدیدی است که به تدریج جایگزین شکل اصلی قدیمی‌تر محاسبات محلی می‌شود. تنها چیزی که محاسبات ابری را ممکن، عملی و قابل قبول می‌کند، اتصالات اینترنت پهن باند بسیار پرسرعت است.

اشکال مختلفی از محاسبات ابری وجود دارد. یکی از آنها نرم افزار به عنوان سرویس<sup>۲۸</sup> (SaaS) است. این فرآیند اشتراک در یک برنامه نرم افزاری است. ممکن است یک بازی، یک پایگاه داده یا برخی نرم افزارهای کاربردی باشد. مایکروسافت چنین نرم افزاری را ارائه می‌دهد.

دیگری پلتفرم به عنوان سرویس<sup>۲۹</sup> (PaaS) است. به عنوان مثال یک پلتفرم توسعه است که تمام ابزارهایی را که برای ساختن اپلیکیشن ابری خود نیاز دارید را ارائه می‌دهد. این ممکن است یک برنامه نرم افزاری سفارشی باشد که برای استفاده خودتان ایجاد شده اما در فضای ابری پیاده سازی شده است.

سپس زیرساخت به عنوان یک سرویس<sup>۳۰</sup> (IaaS) وجود دارد. زیرساخت شرکتی است که سخت افزارهایی مانند سرورها یا کامپیوتراهای مجازی و واحدهای ذخیره سازی را تامین می‌کند. کاربران تجهیزات، امکانات و خدمات از راه دور را برای رسیدگی به نیازهای خود اجاره می‌کنند. آمازون و گوگل نمونه‌هایی هستند.

سوال بزرگ این است که چرا کنترل محلی داده‌ها و نرم افزار ذخیره شده خود را کنار می‌گذارید؟ چندین مزیت وجود دارد. اول هزینه کمتر است. کامپیوتر دسترسی می‌تواند یک کامپیوتر کوچکتر و کم قدرت با CPU کنترل، رم کمتر و هارد دیسک کوچکتر باشد که همه آنها هزینه کمتری دارند. ممکن است مجبور نباشید سرور یا واحدهای ذخیره سازی بزرگ بخرید. دوم اینکه نرم افزار هزینه کمتری دارد. به جای داشتن نرم افزار، آن را اجاره می‌کنید. سوم، اگر به لپ‌تاپ، تبلت یا گوشی

<sup>۲۷</sup>Cloud Computing.

<sup>۲۸</sup>Software as a Service (SaaS)

<sup>۲۹</sup>Platform as a Service (PaaS)

<sup>۳۰</sup>Infrastructure as a service (IaaS)

هوشمند و اتصال اینترنت دسترسی دارید، می‌توانید از هر مکانی و در هر زمان به نرم‌افزار و داده‌های خود دسترسی داشته باشید. مزایای دیگر، از منظر شرکت یا کسب و کار، هزینه‌های کمتر برای پشتیبانی کارکنان فناوری اطلاعات و نیاز کمتر به فضای فیزیکی و خدماتی است که به سرورها اختصاص داده شده است.

برخی نامنی‌ها در ارتباط با محاسبات ابری وجود دارد. به عنوان مثال، آیا داده‌های شما از دست رفتن یا هک شدن در امان هستند؟ آیا می‌توانید هر زمان که بخواهید به آن دسترسی داشته باشید؟ پشتیبان وجود دارد؟ آیا داده‌های شما واقعاً خصوصی است؟ با توجه به اینکه داده‌ها از راه دور ذخیره می‌شوند، آیا واقعاً مالک داده‌ها هستید؟ آیا قطع شدن ISP مانع از دسترسی شما به داده‌های خود یا نرم افزاری می‌شود که مشترک آن هستید؟

شرکت‌ها و افراد باید بسته به نیاز و منابع خود در مورد مزایا و معایب رایانش ابری تصمیم‌گیری کنند. در هر صورت، رایانش ابری یک پدیده رو به رشد است و در سال‌های آینده به شدت گسترش خواهد یافت.

## ۲.۱۵ سیستم‌های انتقال اینترنت

اینترنت از تعداد زیادی عنصر منفرد تشکیل شده است. این عناصر شامل سرورها، روتراها و محیط‌های انتقال است که سیگنال‌ها را حمل می‌کنند. تعداد زیادی از اجزا و اتصالات در گیر هستند. این بخش عملکرد کلی اینترنت، پروتکل‌های انتقال استفاده شده و همچنین پرکاربردترین محیط‌های انتقال را نشان می‌دهد.

### فریم رله (بازپخش قاب)

فریم رله (بازپخش قاب)<sup>۳۱</sup> یک پروتکل سوئیچینگ بسته است که توسط ITU-T استاندارد شده است. این داده‌ها را برای انتقال به فریم‌های FR که ساختار نشان داده شده در شکل (۱.۱۵) را دارند، بسته بندی می‌کند. پرچم‌های ۸ بیتی شروع و پایان یک بسته را نشان می‌دهند. یک میدان آدرس دو اکتتی (بایتی) حاوی تمام جزئیات مربوط به مقصد دقیق بسته از طریق شبکه است. میدان داده‌های متغیر است و ممکن است تا ۴۰۹۶ اکتت داشته باشد. یک دنباله بررسی قاب<sup>۳۲</sup> اکتت‌ای یک کد تشخیص خطأ است که با FCS محاسبه شده از داده‌های دریافتی مقایسه می‌شود. اگر هر گونه خطای انتقال رخ دهد، واحد دریافت کننده درخواست ارسال مجدد می‌کند.

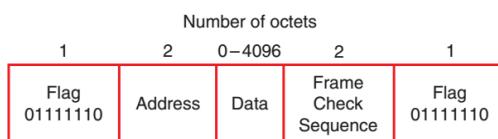
فریم رله مستقل از پروتکل است زیرا می‌تواند داده‌ها را از هر روش انتقال دیگری مانند اترنت حمل کند. بسته‌های اترنت در قسمت داده قرار می‌گیرند و بدون تغییر به مقصد منتقل می‌شوند. فریم رله از مدارهای دیجیتالی اختصاصی موجود اجاره شده توسط شرکت‌های مخابراتی استفاده می‌کند. هر دو خط T1 و T3 به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تجهیزات مورد استفاده در مدیریت FR سوئیچ‌های رله فریم هستند که آدرس مقصد را بررسی کرده و بسته‌ها را از طریق سوئیچ‌ها یکی پس از دیگری تا رسیدن به مقصد ارسال می‌کنند. رایج‌ترین استفاده از FR در اتصالات LAN به LAN است که در آن شبکه‌های LAN به طور گسترده‌ای از هم جدا هستند، مانند مکان مختلف دو شرکت. سرویس FR معمولاً توسط اپراتورهای مخابراتی محلی ارائه می‌شود، اما دیگر یک سرویس قابل دوام نیست.

<sup>۳۱</sup>Frame Relay (FR)

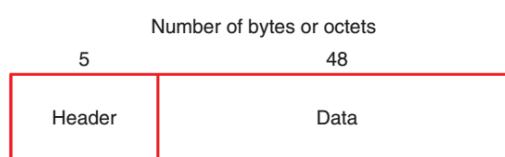
<sup>۳۲</sup>Frame Check Sequence (FCS)

### حالات انتقال ناهمزمان

حالات انتقال ناهمزمان (ATM)<sup>۳۳</sup> نیز یک سیستم سوئیچینگ بسته برای انتقال داده است. از بسته‌های بسیار کوتاه ۵۳ بایتی با محموله داده ۴۸ بایتی و هدر (سرآیند) ۵ بایتی استفاده می‌کند که مقصد و همچنین نوع داده‌ای را که باید مدیریت شود، مشخص می‌کند. هر نوع داده‌ای ممکن است از این طریق منتقل شود، از جمله داده‌های صوتی، تصویری و کامپیوتری. قالب بسته در شکل (۲.۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱.۱۵: یک قاب یا بسته فریم رله (FR).



شکل ۲.۱۵: یک بسته ATM

از طریق سوئیچهایی که بسته‌ها را از یکی به دیگری از طریق شبکه منتقل می‌کنند، منتقل می‌شود. یک شبکه ATM یک مدار مجازی راه اندازی می‌کند که ظاهر یک مسیر پیوسته واحد را برای داده‌ها از مبدأ تا مقصد می‌دهد. در واقعیت، بسته‌ها به احتمال زیاد چندین مسیر مختلف را از طریق شبکه طی می‌کنند و حتی ممکن است از نظم خارج شوند. سیستم ATM این انفاقات را به گونه‌ای مدیریت می‌کند که همه داده‌ها به ترتیب دلخواه می‌رسند.

شبکه‌های ATM می‌توانند تقریباً از هر لایه فیزیکی استفاده کند، اما اغلب این یک سیستم فیبر نوری است. شبکه‌های ATM اولیه با سرعت ۱۵۵ و ۶۲۲ مگابیت بر ثانیه کار می‌کردند. امروزه ATM از شبکه‌های نوری ۲/۵ و ۱۰ گیگابیت بر ثانیه استفاده می‌کند.

فریم رله و ATM به تدریج به نفع شبکه انتقال نوری جدید<sup>۳۴</sup> (OTN) و اترنوت حذف می‌شوند.

### سونت (SONET)

شبکه نوری سنکرون<sup>۳۵</sup> (SONET) برای انتقال تماس‌های تلفنی دیجیتالی در قالب T1 از طریق کابل فیبر نوری با سرعت بالا توسعه داده شد. کاربرد اصلی آن ارسال صدا یا چندگانه زمانی بر روی شبکه‌های سوئیچ شده است. SONET بین دفاتر مرکزی تلفن، بین دفاتر مرکزی و امکانات مخابراتی راه دور و برای انتقال از راه دور استفاده می‌شود. تا همین اواخر، اکثر ستون فقرات اینترنت، اتصالات یا حلقه‌های نقطه به نقطه SONET بودند. امروزه این روند از SONET دور شده است. اکثر

<sup>۳۳</sup> Asynchronous Transfer Mode (ATM)

<sup>۳۴</sup> Optical Transport Network (OTN)

<sup>۳۵</sup> Synchronous Optical Network (SONET)

شبکه‌های جدید مسافت طولانی از شبکه انتقال نوری<sup>۳۶</sup> (OTN) و اترنت استفاده می‌کنند. سونت پرکاربردترین شبکه انتقال داده نوری در ایالات متحده است. این یک استاندارد مؤسسه استانداردهای ملی آمریکا<sup>۳۷</sup> (ANSI) و همچنین زیر مجموعه‌ای از استاندارد بین‌المللی گستردگر است که به عنوان سلسله مراتب دیجیتال همزمان<sup>۳۸</sup> (SDH) شناخته می‌شود. دومی توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات<sup>۳۹</sup> (ITU) توسعه و تصویب شد و سپس در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفت.

Sonet level	STM level	Data rate
STS-1/OC-1	—	51.84 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155.52 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622.08 Mbps
STS-48/OC-48	STM-16	2.488 Gbps*
STS-192/OC-192	STM-64	9.953 Gbps*
STS-768/OC-768	STM-256	39.812 Gbps*

\*Note that when referencing these data rates, they are typically rounded to 2.5, 10, and 40 Gbps, respectively.

شکل ۳.۱۵: نرخهای داده سونت

سونت یک استاندارد لایه فیزیکی<sup>۴۰</sup> (PHY) است که روشی را برای قالب‌بندی و انتقال داده‌ها به صورت همگام با یک سیستم زمان‌بندی اصلی کلید زده شده روی ساعت اتمی تعریف می‌کند. این استاندارد سرعت‌های حامل نوری<sup>۴۱</sup> (OC) متفاوتی را از ۵۱/۸۴ مگابیت بر ثانیه تا ۳۹/۸۱۲ گیگابیت بر ثانیه تعریف می‌کند. سیگنال الکتریکی که باید ارسال شود، سیگنال انتقال همزمان<sup>۴۲</sup> (STS) نامیده می‌شود و می‌تواند در چندین سطح یا سرعت وجود داشته باشد، اگرچه سرعت پایه (1/۵۱۸۴ (STS-1) مگابیت در ثانیه است. در سیستم SDH، سیگنال را حالت انتقال سنکرون یا STM نیز می‌گویند. شکل (۳.۱۵) رایج‌ترین سرعت‌های کانال را فهرست می‌کند.

سیستم‌های قبلی از سطوح OC-3 و OC-12 استفاده می‌کردند، اما امروزه اکثر سیستم‌های SONET برای کار در OC-48 ارتقا یافته‌اند. سطوح OC-192 و OC-768 به تدریج به عنوان اجزه فناوری و اقتصاد مستقر می‌شوند.

سونت یک طرح انتقال مالتی‌پلکسینگ تقسیم زمانی<sup>۴۳</sup> (TDM) است که داده‌های در هم تنیده زمانی را در فریم‌هایی با طول ثابت ۸۱۰ بایت ارسال می‌کند. قالب فریم از نه ردیف ۹۰ بایتی تشکیل شده است. بایتها به طور متواالی از چپ به راست و از بالا به پایین منتقل می‌شوند. [شکل (۴.۱۵)]. در هر ردیف ۴ بایت برای سربار و ۸۶ بایت در هر ردیف برای بار داده است. بایتها سربار حاوی اطلاعات قاب‌بندی، کنترل، برابری و اشاره‌گر برای مدیریت بار است.

<sup>۳۶</sup> Optical Transport Network (OTN)

<sup>۳۷</sup> American National Standards Institute (ANSI)

<sup>۳۸</sup> Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

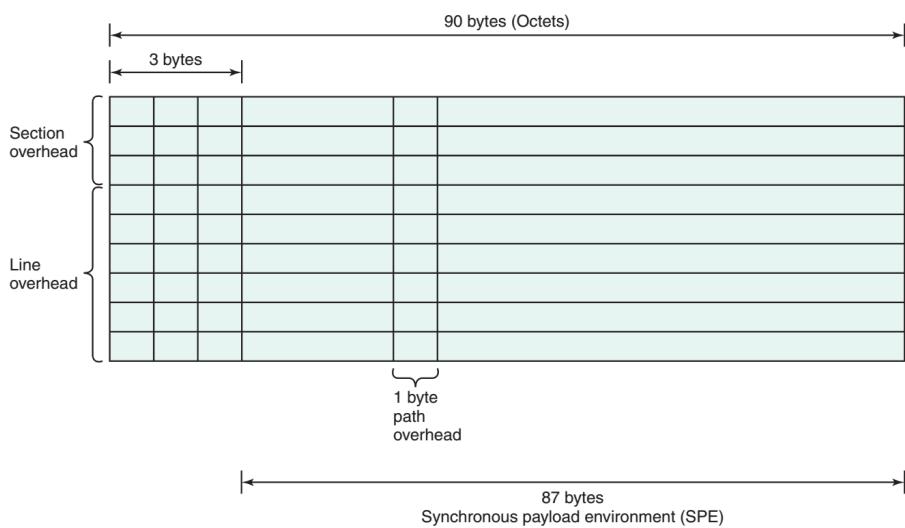
<sup>۳۹</sup> International Telecommunications Union (ITU)

<sup>۴۰</sup> Physical (PHY)

<sup>۴۱</sup> Optical Carrier (OC)

<sup>۴۲</sup> Synchronous Transport Signal (STS)

<sup>۴۳</sup> Time Division Multiplexing (TDM)



شکل ۴.۱۵: نرخ قاب سونت

اگرچه SONET می‌تواند در یک پیوند نقطه به نقطه عمل کند، رایج‌ترین توبولوژی یک حلقه است. گره‌های متعدد حلقه را تشکیل می‌دهند و در هر گره یک مالتی پلکسor افزودن قطره (ATM) وجود دارد. یکی از ویژگی‌ها و مزایای کلیدی سیستم SONET این است که ATM اجزاه می‌دهد تا داده‌ها از چندین منبع به جریان داده‌ها در صورت لزوم اضافه یا استخراج شوند. توبولوژی حلقه همچنین افزونگی انتقال داده را ارائه می‌دهد که بقای آن را هنگام قطع کابل تضمین می‌کند. سرعت انتقال اولیه OC-1 یا ۵۱.۸۴ مگابیت بر ثانیه است. این نرخ زمانی است که یک فریم SONET در ۱۲۵ میکروثانیه ارسال می‌شود. اگر انتقال با سرعت بالاتر مورد نظر باشد، همانطور که معمولاً اتفاق می‌افتد، فریم‌های متعددی در این بازه زمانی توسط سیستمی از بایت‌ها منتقل می‌شوند.

بسیاری از خدمات تلفن راه دور امروزی، و همچنین ستون فقرات اینترنت، از سلسله مراتبی از حلقه‌های بزرگ و کوچک SONET تشکیل شده است. حتی اگر SONET برای حمل ترافیک صوتی همزمان در یک محیط سوئیچ مدار طراحی شده است، وظیفه اصلی آن انتقال داده بدون توجه به محتوای آن است. در نتیجه، SONET می‌تواند داده‌های ناهمzman و سوئیچ بسته را از تجهیزات حالت انتقال ناهمzman (ATM)، رله فریم، اترنت یا پروتکل کنترل حمل و نقل/پروتکل اینترنت (TCP/IP) حمل کند.

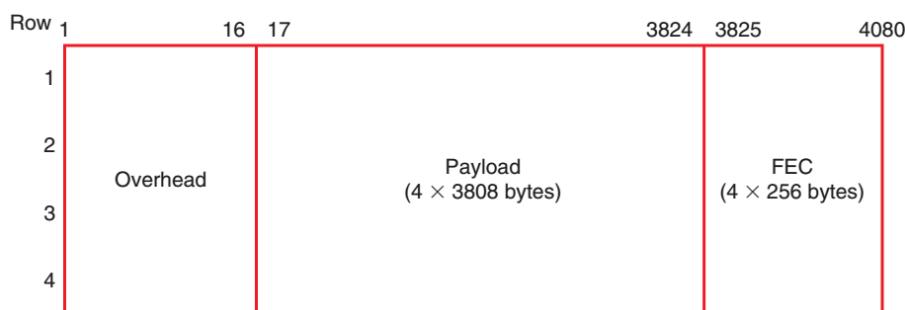
### خوب است بدانید که:

محققان پارتا میترا (Partha Mitra) و جیسون استارک (Jason Stark) به این نتیجه رسیدند که حداقل ظرفیت نظری یک فیبر نوری منفرد  $10^0$  ترا بیت ( $T$ ) معادل  $20$  میلیارد ایمیل یک صفحه‌ای همزمان است.

## شبکه انتقال نوری

شبکه نوری سنکرون (SONET) در طول چندین دهه گذشته برای شبکه‌های مترو و مسافت طولانی کافی بوده است، اما با نیازهای اینترنت و سایر تلاش‌های شبکه همگام نشده است. دسترسی گسترده به اینترنت در سال‌های اخیر منفجر شده است. افزایش تماسای تلویزیون و دانلود ویدیوها، اینترنت را بیشتر تحت فشار قرار داده است. استرس اضافی از تلفن‌های هوشمند جدید، سریعتر و نسل چهارم ( $4G$ ) و نیاز همراه به شبکه‌های بک‌هال<sup>۴۴</sup> (برگشت باربر) سریعتر ناشی شده است. علاوه بر این، حرکت محاسبات ابری نیازمند شبکه‌های سریع‌تر است.

راه حل شبکه انتقال نوری است. اکثر شبکه‌های مترو و دوربرد در اواخر دهه ۱۹۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ از فناوری SONET (OC-48) ۲/۴۸۸ گیگابیت بر ثانیه استفاده می‌کردند. از آن زمان، بسیاری از سیستم‌ها به ۱۰ گیگابیت بر ثانیه (OC-192 یا 9.95328-Gbit/s SONET) و تعداد کمی بالارزش به حد اکثر سرعت سونت نزدیک به ۴۰ گیگابیت بر ثانیه (OC-768 یا 39.81312-Gbit/s SONET) ارتقا یافته‌اند.



شکل ۵.۱۵: ساده شده قاب شبکه انتقال نوری

این سیستم‌های سنکرون به شبکه‌های اترن特 ناهمزمان متصل می‌شوند و نیاز به راه حل‌های رابط مانند پروتکل‌های Ethernet-over-SONET را ایجاد می‌کنند. با افزایش تعداد سیستم‌های اترن特 و پروتکل اینترنت (IP) سریع‌تر و ظهور شبکه‌های بی‌سیم تمام IP 4G، SONET برای حفظ سرعت خود تلاش کرده است.

به این موارد نیاز به سرعت بیش از ۴۰ گیگابیت بر ثانیه را اضافه کنید و ناگهان سیستم مبتنی بر IP سریع‌تر دیگر یک لوکس نیست، بلکه یک ضرورت است. سیستم جدیدی که برای مقابله با این مشکل تعیین شده است، شبکه انتقال نوری (OTN) نام دارد. در حال حاضر در برخی از مکان‌ها وجود دارد و شروع به گسترش می‌کند.

شبکه انتقال نوری را "پوشش دیجیتالی" یا "پوشش کانال نوری"<sup>۴۵</sup> می‌نامند. آن توسط استانداردهای G.709 ITU-T و G.872 تعریف شده است. OTN می‌تواند ترافیک IP را به راحتی حمل کند، مانند SDH و SONET (سلسله مراتب دیجیتال همزمان). OTN دارای نرخ خط ۲/۶۶ گیگابیت بر ثانیه (OTU3) برای حمل اترن特 ۱۰.7/11.09 OC-48 SONET یا ۴۳/۰۱ OC-192 SONET و ۱۰ گیگابیتی بر ثانیه (OTU2/2e) برای حمل اترن特 ۴۰ گیگابیتی یا OC-768 SONET یا ۴۰ گیگابیتی. نرخ خط ۱۱۲ گیگابیتی بر ثانیه (OTU4) نیز برای حمل اترن特

<sup>۴۴</sup>Backhaul Networks

<sup>۴۵</sup>Optical Channel Wrapper

۱۰۰ گیگابیتی تعریف شده است. به طور کلی، OTN به تدریج در حال جایگزینی SONET/SDH در اکثر شبکه‌های مترو و مسافت طولانی است. انتظار می‌رود که OTN بیشتر ستون فقرات اینترنت را تشکیل دهد، در حالی که نسخه‌های نوری اترنت ۴۰ و ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه به شبکه‌های LAN مراکز داده و برخی مناطق مترو خدمت خواهند کرد.

شبکه انتقال نوری (OTN) یک فناوری مبتنی بر بسته است و برای حمل اترنت و همچنین SONET بهینه شده است. این شامل پشتیبانی از عملکرد، مدیریت، نگهداری و تامین (P&OAM) ویژگی SONET است که به حامل شبکه اجازه می‌دهد تا شبکه را با برنامه نویسی نظارت و کنترل کند. علاوه بر این، برخلاف SONET، OTN برای عملکرد بیش از یک یا چند طول موج نور بر روی یک فیبر طراحی شده است. این مالتی پلکسی تقسیم طول موج (WDM) بعداً در فصل نوزدهم توضیح داده شده است.

شکل ۵.۱۵) فرمت فریم OTN را نشان می‌دهد. چهار ردیف ۴۰۸۰ بایتی (اکت) وجود دارد که یکی پس از دیگری از چپ به راست و از بالا به پایین منتقل می‌شوند. فریم به فیلدهای سربار، محموله و تصحیح خطای پیشرو<sup>۴۶</sup> (FEC) تقسیم می‌شود. فریمهای اترنت، SONET و سایر پروتکل‌ها در بخش محموله<sup>۴۷</sup> نگاشت می‌شوند. بایتهای سربار برای تعیین آدرس‌ها، انواع داده‌ها، تعداد بایتهای داده، داده‌های P&OAM و اطلاعات مرتبط اضافه می‌شوند.

در نهایت یک FEC اضافه می‌شود. OTN از فرم پیشرفتی Reed-Solomon FEC (با نام 255 RS 239) استفاده می‌کند. بازای هر ۲۳۹ بایت داده، ۱۶ بایت اضافی بیت تصحیح برابر اضافه می‌شود. این FEC می‌تواند خطاهای ۸ بیتی را تصحیح کند یا خطاهای ۱۶ بیتی را در هر ردیف داده تشخیص دهد. مزیت کلیدی این FEC این است که تا  $6/2$  دسی‌بل افزایش کدگذاری را اضافه می‌کند و به ۱۰-۱۲ BER اجازه می‌دهد. علاوه بر این، با این بهره کدگذاری، OTN را می‌توان در بازه‌های طولانی تر فیبر بدون بازسازی سیگنال منتقل کرد. در حالی که SONET بحدود ۲۰۰ کیلومتر محدود بود، OTN تا ۲۰۰۰ کیلومتر دسترسی دارد.

## روترها

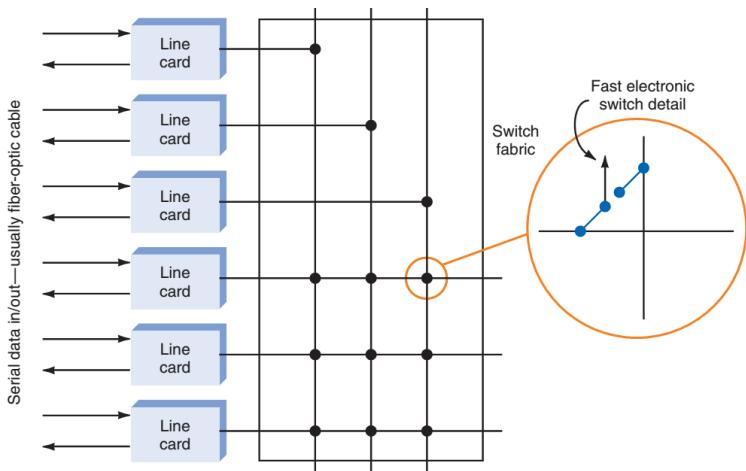
روتر مهمترین قطعه از تجهیزات اینترنت است. احتمالاً نام سیسکو، بزرگترین سازنده روتر در جهان را شنیده‌اید. روترها بخش‌های مختلف ستون فقرات WAN را بهم متصل می‌کنند. روترها همچنین برای اتصال MAN به WAN، LAN به سایر LAN و MAN به LAN می‌توانند. روترها به یکدیگر و به سرورهای مختلف متصل می‌شوند تا یک شبکه مش بزرگ را تشکیل دهند که معمولاً با کابل فیبر نوری متصل می‌شود.

روتر یک دستگاه کامپیوتر مانند هوشمند است که به تمام بسته‌های ارسال شده به آن نگاه می‌کند و آدرس‌های مقصد پروتکل اینترنت (IP) آنها را بررسی می‌کند. سپس بهترین مسیر بعدی را برای داده‌ها برای رسیدن به مقصد تعیین می‌کند. روتر اطلاعاتی در مورد سایر روترها و شبکه‌هایی که به آنها متصل است و هر شبکه مجاور را ذخیره می‌کند. این اطلاعات در یک جدول مسیریابی ذخیره می‌شود که با آدرس مقصد در تمام بسته‌های ورودی مقایسه می‌شود. الگوریتم‌های مسیریابی بهترین (نزدیک‌ترین، سریع‌ترین) اتصال را تعیین می‌کنند و سپس بسته را دوباره ارسال می‌کنند. در هر انتقال اینترنتی معین، بیشتر بسته‌ها قبل از رسیدن به کامپیوتر هدف خود از چندین روتر عبور می‌کنند. از نظر فیزیکی، یک روتر می‌تواند چندین پیکربندی داشته باشد. می‌توان از هر دستگاه پرسرعیتی

<sup>۴۶</sup>Forward Error Correction (FEC)

<sup>۴۷</sup>Payload

استفاده کرد که دارای ورودی و خروجی سریالی و راهی برای بررسی آدرس‌های بسته و تصمیم‌گیری در مورد مسیریابی و سوئیچینگ باشد. به عنوان مثال، کامپیوترا با پردازندۀ سریع، حافظه کافی، ورودی/خروجی سریالی و نرم افزار مناسب می‌تواند به عنوان روتر عمل کند. امروزه اکثر روترها قطعات تخصصی تجهیزاتی هستند که برای عملکرد مسیریابی بهینه شده‌اند.



شکل ۱۵.۶: نمودار کلی یک روتر

پیکربندی اولیه یک روتر مدرن در شکل (۱۵.۶) نشان داده شده است. این شامل گروهی از کارت‌های خط است که به کانکتورهایی در صفحه پشتی برد مدار چاپی متصل می‌شوند. صفحه پشتی شامل خطوط مسی است که به کارت‌های خط اجازه می‌دهد تا داده‌ها را از یکدیگر ارسال و دریافت کنند. سرعت انتقال معمولاً گیگابیت در ثانیه است. کارت‌های خط از طریق سوئیچ فابریک<sup>۴۸</sup> با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. سوئیچ فابریک معادل دیجیتال بزرگ سوئیچ میله‌ای است. سوئیچ میله متقطع ماتریسی از سوئیچ‌ها در قالب ردیف-ستون است که به‌هر یک از خطوط ورودی چندگانه اجازه می‌دهد تا به هر یک از خطوط خروجی متعدد متصل شود. سوئیچ‌های الکترونیکی فوق سریع کارت‌های خط را بهم متصل می‌کنند، شکل (۱۵.۶).

هر کارت خط دارای یک پورت (پایانه-درگاه) ورودی سریالی و یک پورت خروجی سریالی است. اینها معمولاً خطوط فیبر نوری هستند، اما می‌توانند پورت‌های اترنت RJ-45 نیز باشند. در ورودی دریافت، داده‌های نوری به سیگنال‌های الکتریکی سریالی تبدیل می‌شوند که سپس توسط مداری به‌نام سریال‌ساز/درسیال‌ایزر (SERDES) که تبدیل داده‌های سریالی به موازی به سریالی را انجام می‌دهد، سریال‌سازی می‌شوند. سپس داده‌های موازی در یک حافظه با دسترسی تصادفی (RAM)<sup>۴۹</sup> ذخیره می‌شود. سپس این داده‌ها توسط یک پردازنده ویژه برای تعیین آدرس مقصد مورد بررسی قرار می‌گیرند. پردازنده از جدول جستجوی مسیریابی و الگوریتم‌هایی استفاده می‌کند که تصمیم می‌گیرد از کدام خط خروجی استفاده شود. هر ورودی ممکن است از این طریق به‌هر خروجی هدایت شود. سپس پردازنده بسته را به فابریک سوئیچ می‌فرستد و در آنجا به پورت خروجی ارسال می‌شود.

<sup>۴۸</sup>Switch Fabric

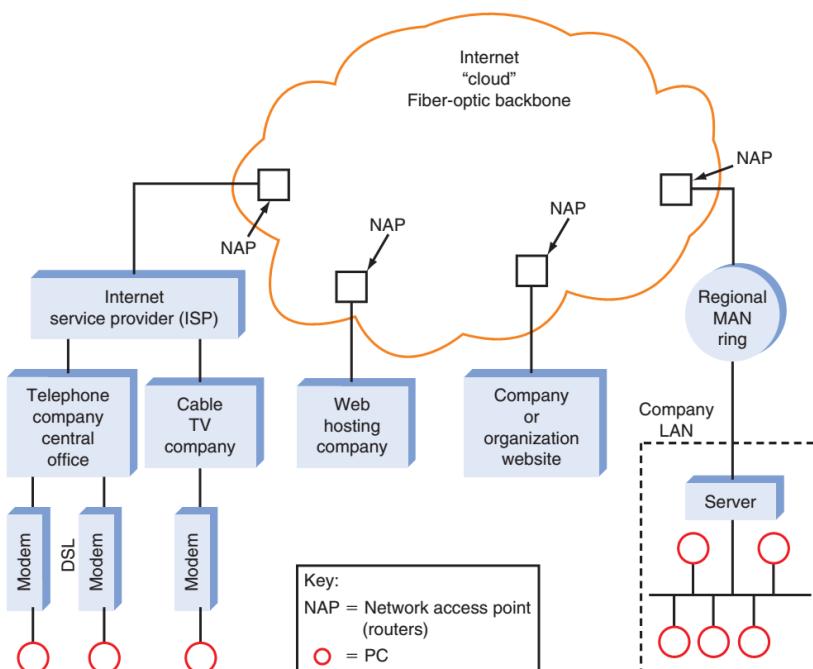
<sup>۴۹</sup>Random Access Memory (RAM)

Ethernet، ATM، SONET سریالی می‌شود و سپس با استفاده از OTN به درگاه خروجی ارسال می‌شود.

### ستون فقرات اینترنت

ستون فقرات اینترنت مجموعه‌ای از شرکت‌های بزرگ کابل فیبر نوری پرسرعت در سراسر کشور و حتی در سراسر جهان را نصب، سرویس و نگهداری می‌کنند. این شرکت‌ها مالک این تجهیزات هستند و از آن برای دسترسی همگانی به اینترنت استفاده می‌کنند. از بسیاری جهات، این شرکت‌ها اینترنت هستند، زیرا محیط‌های ارتباطی، تجهیزات و نرم‌افزاری را فراهم می‌کنند که به هر کامپیوتری اجازه دسترسی به کامپیوترهای دیگر را می‌دهد.

اگرچه هر یک از ارائه دهندهای ستون فقرات شبکه سراسری خود را دارند، ارائه دهندهای معمولاً به یکدیگر متصل هستند تا مسیرهای مختلفی را از یک کامپیوتر به کامپیوتر دیگر ارائه دهند. بیش از ۵۰ مورد از این نقاط اتصال در ایالات متحده وجود دارد. این امکانات که به عنوان نقاط دسترسی شبکه<sup>۵۰</sup> (NAP) شناخته می‌شوند، پیوندهای بین ستون فقرات را فراهم می‌کنند.



شکل ۷.۱۵: نمودار ساده شده اینترنت

شکل (۷.۱۵) نموداری از اجزای اصلی اینترنت را نشان می‌دهد. در سمت چپ سه راه وجود دارد که از طریق آنها کامپیوتر شخصی برای دسترسی به اینترنت، به دفتر تلفن محلی از طریق یک مودم معمولی یا DSL یا از طریق یک مودم کابلی و شرکت تلویزیون کابلی متصل می‌شود. دفتر مرکزی شرکت تلفن و شرکت تلویزیون کابلی از طریق یک MAN فیبر نوری محلی به یک ارائه دهنده خدمات اینترنتی متصل می‌شود. (توجه: شرکت تلفن یا شرکت تلویزیون کابلی نیز ممکن است ISP باشد.)

<sup>۵۰</sup> Network Access Points (NAP)

ISP شامل چندین سرور است که ترافیک را مدیریت می‌کنند. هر کدام از طریق یک روتر به اینترنت متصل می‌شوند که در یکی از نقاط دسترسی شبکه به ستون فقرات اینترنت متصل می‌شود. تجهیزات اولیه در نقاط دسترسی شبکه روترهایی هستند که مقصد بسته‌ها را تعیین می‌کنند. "ابر" در شکل (۷.۱۵) نشان دهنده ستون فقرات اینترنت است. این یکی از چندین شبکه بزرگ فیبر نوری، نقطه به نقطه یا حلقه است که داده‌های اینترنت را حمل می‌کند و برای تبادل داده با یکدیگر متصل می‌شوند. در سمت راست در شکل (۷.۱۵) اتصالات اضافی وجود دارد. در اینجا یک شرکت LAN از طریق یک MAN منطقه‌ای به ستون فقرات دسترسی پیدا می‌کند. یک سرور شرکت شامل وب سایتی است که دیگران به طور منظم به آن دسترسی دارند. همچنین یک شرکت میزبان وب نشان داده شده است که وب سایتها و صفحات وب دیگران را ذخیره می‌کند.

### خوب است بدانید که:

هر بسته شامل اطلاعاتی در مورد منبع، مقصد، ترتیب نحوه جمع‌آوری مجدد آن پس از رسیدن به مقصد، و برخی نشانه‌هایی از بزرگی بسته است.

## سیستم انتقال بسته سوئیچینگ

اینترنت یک سیستم سوئیچینگ بسته است. داده‌هایی که قرار است ارسال شوند به تکه‌های کوتاهی به نام بسته‌ها<sup>۵۱</sup> تقسیم و یک به یک منتقل می‌شوند. اصطلاح دیتاگرام نیز برای توصیف یک بسته استفاده می‌شود. بسته‌ها معمولاً کمتر از ۱۵۰۰ اکتت طول دارند. (توجه: در ارتباطات داده، یک بایت را بیشتر اکتت، یک کلمه ۸ بیتی می‌نامند). هر بسته با استفاده از آدرس دهی اطلاعات ذخیره شده در بسته، راه خود را از طریق پیج و خم پیچیده که اینترنت است پیدا می‌کند. همه بسته‌ها مسیر یکسانی را از طریق سیستم طی نمی‌کنند و در واقع بسته‌ها ممکن است خارج از ترتیبی که ارسال شده‌اند به انتهای گیرنده برسند.

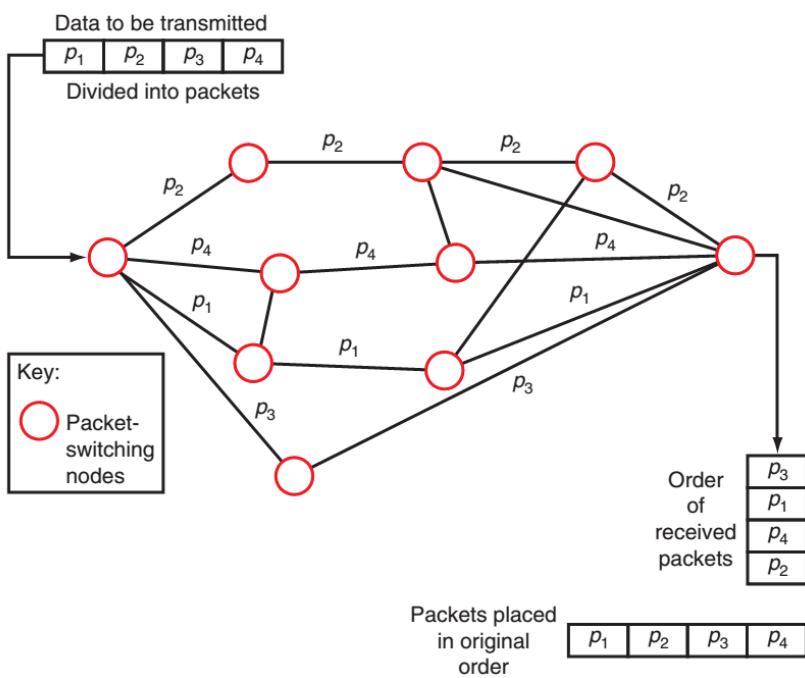
شکل (۸.۱۵) یک نسخه ساده از مفهوم سوئیچینگ بسته را نشان می‌دهد. شبکه سوئیچینگ بسته مشکل از مبادلات متعدد با سوئیچ‌های بسته پرسرعت است که به چندین ورودی و خروجی متصل می‌شوند. پیوندهای چندگانه مبادله‌ای بسیاری از مسیرهای ممکن را از طریق شبکه ایجاد می‌کنند.

چندین سیستم محبوب سوئیچینگ بسته در ستون فقرات اینترنت استفاده می‌شود. اینها عبارتند از فریم رله، حالت انتقال ناهمزن (ATM) و سیستم‌های OTN. سیستم‌های خودپرداز سریع‌ترین و پرکاربردترین هستند. آنها تمام داده‌ها را به بسته‌های ۵۳ بایتی تقسیم می‌کنند و آنها را از طریق شبکه‌های فیبر نوری با سرعت ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه انتقال می‌دهند. ATM همچنین برای انتقال صدا و تصویر استفاده می‌شود. در برخی موارد، بسته‌ها در جریان‌های داده‌های همزمان پیوسته طولانی بسته‌بندی می‌شوند و از طریق سونت منتقل می‌شوند. به چنین انتقال‌هایی بسته از طریق سونت PoS (PoS) می‌گویند. بخش‌های جدیدتر ستون فقرات از OTN استفاده می‌کنند. اکثر شبکه‌های ستون فقرات مدرن با سرعت ۴۰ گیگابیت بر ثانیه یا ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه کار می‌کنند.

سوئیچینگ بسته به مجموعه‌ای از پروتکل‌های نرم‌افزاری نیاز دارد که اطمینان حاصل کند که داده‌ها به درستی پارسیشن بندی، ارسال، دریافت و جمع‌آوری شده‌اند. در اینترنت به این پروتکل‌ها TCP/IP ها

<sup>۵۱</sup>Packet

<sup>۵۲</sup>Packet over SONET (PoS)



شکل ۸.۱۵: مفهوم سوئیچینگ بسته که گره‌ها را در ستون فقرات نشان می‌دهد.

می‌گویند. TCP به معنای پروتکل کنترل انتقال<sup>۵۳</sup> و IP به معنای پروتکل اینترنت است. هر دو پروتکل برای ارسال و دریافت داده‌ها از طریق اینترنت استفاده می‌شوند. TCP در دهه ۱۹۶۰ اختراع شد، زمانی که آژانس پژوهه تحقیقاتی پیشرفته<sup>۵۴</sup> (ARPA) وزارت دفاع<sup>۵۵</sup> (DoD) اولین شبکه بسته را آزمایش و تأسیس کرد. اولین بار بر روی کامپیوترهای بزرگی که سیستم عامل یونیکس را اجرا می‌کنند، اجرا شد. امروزه TCP/IP به طور گسترده‌ترین پروتکل ارتباط داده‌ای است که در قلب اینترنت قرار دارد.

پروتکل کنترل انتقال و پروتکل اینترنت (TCP/IP) یک پروتکل لایه‌ای شبیه به مدل هفت لایه OSI است که در فصل یازدهم مورد بحث قرار گرفت. TCP/IP تمام هفت لایه را پیاده سازی نمی‌کند، اگرچه اثر یکسان است. همانطور که در شکل (۹.۱۵) نشان داده شده است، برخی از عملیات هفت لایه مجزا برای تشکیل چهار لایه ترکیب می‌شوند. لایه بالایی یا برنامه‌ها با پروتکلهای دیگری کار می‌کند که برنامه مورد نظر را پیاده سازی می‌کنند. پرکاربردترین پروتکل انتقال فایل<sup>۵۶</sup> (FTP) است که انتقال فایل‌های طولانی داده را تسهیل می‌کند. پروتکل ساده انتقال نامه<sup>۵۷</sup> (SMTP) که ایمیل را پیاده سازی می‌کند. و پروتکل انتقال ابرمن<sup>۵۸</sup> (http) که دسترسی به شبکه جهانی وب را فراهم

<sup>۵۳</sup>Transmission Control Protocol

<sup>۵۴</sup>Advanced Research Project Agency (ARPA)

<sup>۵۵</sup>Department of Defense (DoD)

<sup>۵۶</sup>File Transfer Protocol (FTP)

<sup>۵۷</sup>Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)

<sup>۵۸</sup>hypertext transfer protocol (http)

OSI layers	TCP/IP layers
7: Application	
6: Presentation	Application
5: Session	
4: Transport	Host-to-host (TCP)
3: Network	IP
2: Data link	
1: Physical	Network access

شکل ۹.۱۵: مقایسه لایه‌های TCP/IP و OSI

می‌کند.

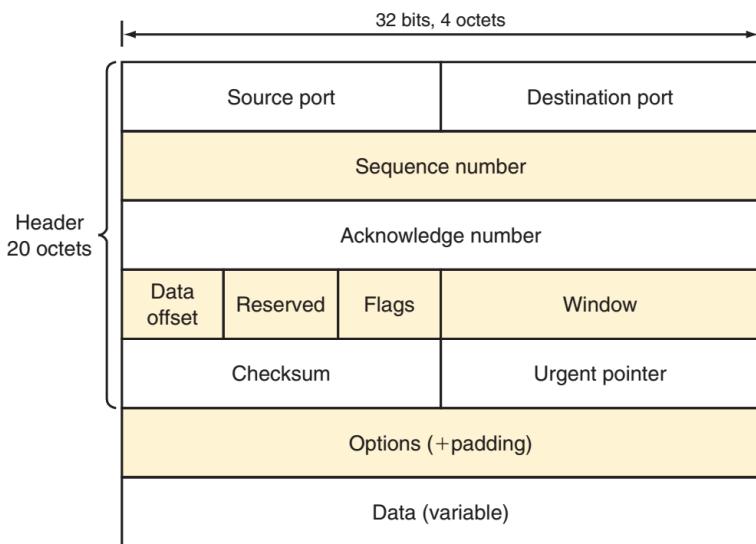
**پروتکل کنترل انتقال (TCP)**: لایه میزبان به میزبان واقعاً پروتکل کنترل انتقال<sup>۵۹</sup> (TCP) است. داده‌ها را به بسته‌هایی که باید ارسال شوند تقسیم می‌کند. بهر بسته یک هدر (سرآیند) جامع شامل آدرس‌های مبدأ و مقصد، یک شماره ترتیبی، یک شماره تصدیق، یک جمع بررسی<sup>۶۰</sup> برای تشخیص و تصحیح خطا و سایر اطلاعات پیوست شده است. هدر TCP در شکل ۱۰.۱۵ نشان داده شده است. بسته به گزینه‌هایی که اضافه می‌شوند، حداقل از ۲۰ بایت یا هشت بایت تشکیل شده است. در انتهای دریافت، TCP بسته‌ها را به ترتیب مناسب دوباره مونتاژ می‌کند و آنها را به برنامه می‌فرستد. همچنین اگر بسته‌ای باشتابه دریافت شد، ارسال مجدد را درخواست می‌کند.

پروتکل کنترل انتقال فقط برای آماده سازی بسته‌ها برای انتقال و مونتاژ مجدد بسته‌ها هنگام دریافت استفاده می‌شود. انتقال بسته واقعی از طریق اینترنت را اجرا نمی‌کند. همانطور که خواهد دید، این کار IP است. وظیفه TCP این است که با ارائه خطاهای شناسایی و تصحیح جمع بررسی (چکسام)، اعداد ترتیبی و سایر ویژگی‌ها، اطمینان دهد که بسته‌ها به شکلی قابل اعتماد و با کیفیت می‌رسند.

سرآیند TCP یک جریان بیت سریالی است که در آن هر یک از فیلدها (میدانها) یکی پس از

<sup>۵۹</sup>Transmission Control Protocol (TCP)

<sup>۶۰</sup>Checksum



شکل ۱۰.۱۵: هدر TCP

دیگری منتقل می‌شود. ترسیم و چاپ این هدر (سرآیند) به صورت یک خط تک طولانی دشوار است، بنابراین از قالب ارائه در شکل (۱۰.۱۵) استفاده می‌شود. این نمایش به طور گسترده برای نشان دادن سایر پروتکل‌ها و هدرها استفاده می‌شود. در واقعیت، داده‌ها به صورت سریالی از چپ به راست و از بالا به پایین، ردیف به ردیف، با ۴ اکتت در هر ردیف، منتقل می‌شوند.

### خوب است بدانید که:

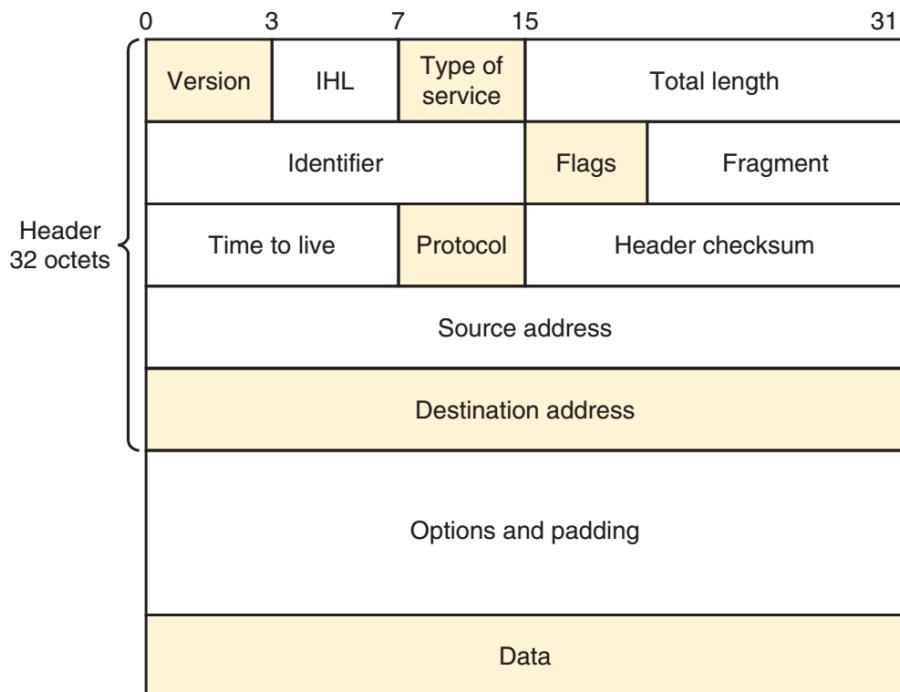
هنگامی که یک بسته از طریق اینترنت از یک میزبان به میزبان دیگر ارسال می‌شود، ابتدا در بسته‌هایی با فرمت TCP مونتاژ می‌شود. سپس لایه IP یک هدر (سرآیند) جدید برای ارسال بسته از طریق اینترنت اضافه می‌کند.

**پروتکل اینترنت:** سپس بسته TCP به لایه IP، جایی که پروتکل IP است، ارسال و استفاده می‌شود.

لایه IP تضمین می‌کند که بسته از طریق اینترنت به مقصد می‌رسد. در شکل (۱۱.۱۵)، یک هدر IP قبل از ارسال بسته جدید به دست آمده متصل شده است.

در شکل (۱۱.۱۵) توجه داشته باشید که آدرس مقصود دارای ۳۲ بیت است. هر کامپیوتر یکی از این آدرس‌ها را دارد. آدرس‌ها معمولاً به شکل اعشاری نقطه چین بیان می‌شوند. آدرس ۳۲ بیتی به چهار بخش ۸ بیتی تقسیم می‌شود. هر بخش می‌تواند ۲۵۶ عدد از ۰ تا ۲۵۵ را نشان دهد. یک آدرس معمولی به این صورت است: ۱۲۵.۶۳.۲۰۸.۷. نقطه‌ها چهار قسمت اعشاری را از هم جدا می‌کنند. این آدرس‌ها توسط سازمانی موسوم به مرجع شماره‌های اختصاصی اینترنت<sup>۶۱</sup> اختصاص داده می‌شود. آدرس‌ها به کلاس‌های (A تا E) تقسیم می‌شوند تا انواع و اندازه‌های مختلف شبکه‌ها، سازمان‌ها و کاربران فردی را نشان دهند.

<sup>۶۱</sup> Internet Assigned Numbers Authority (IANA)



شکل ۱۱.۱۵: هدر IP (IPv4)

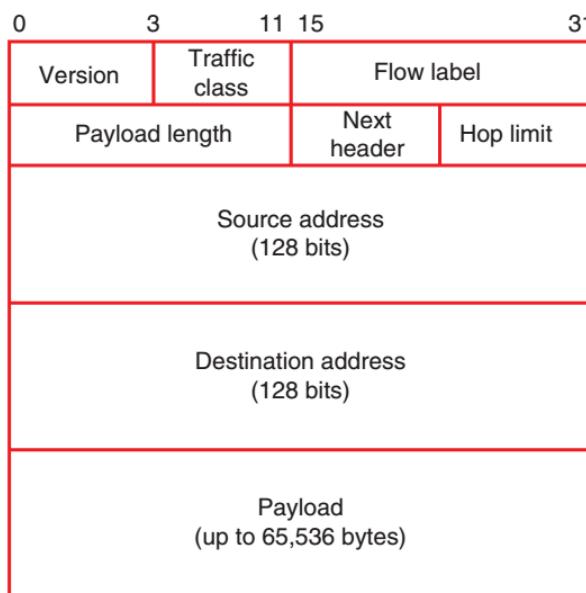
پر کاربردترین پروتکل IP IPv4 یا پروتکل اینترنت نسخه ۴ نام دارد. محدودیت اصلی آن این است که اندازه آدرس مقصد آن فقط ۳۲ بیت است. یعنی به ۲<sup>۳۲</sup> یا ۴۲۹۴۹۶۷۲۹۶ مکان یا کاربر محدود شده است. اگرچه بیش از ۴ میلیارد آدرس کافی به نظر می‌رسد، اما با رشد اینترنت، این به یک محدودیت جدی تبدیل شده است. نسخه جدیدتر IPv6 است که دارای یک فیلد آدرس ۱۲۸ بیتی است که باید بیش از حد کافی مقاصد (۲<sup>۱۲۸</sup>) را برای گسترش گستردگی در آینده فراهم کند. همچنین IPv6 احراز هویت و پخش چندگانه را فراهم می‌کند. پخش چندگانه IP توانایی ۶۲ برای انتقال سریع داده‌های صوتی و تصویری از طریق اینترنت از یک منبع واحد به مقصد های متعدد است. بر روی بسیاری از کامپیوترها پیاده سازی شده است، اما نه همه. با بهروزرسانی نرم‌افزار و سخت‌افزار در سیستم‌های جدید، به تدریج وارد مرحله اجرا می‌شود.

بسته IPv6 با هدر در شکل (۱۲.۱۵) نشان داده شده است. هدر نسخه ساده‌تری از بسته IPv4 است. فقط اطلاعات اولیه گنجانده شده است، تا حمل و نقل کارآمدتر شود. در صورت نیاز به دستورالعمل‌های اضافی، از پسوند هدر استفاده می‌شود.

تغییرات کلیدی در هدر این است که هیچ چکسام(کنترل جمع)<sup>۶۳</sup> هدر وجود ندارد و زمان تا فیلد زنده را حد پوش می‌نامند. این حداکثر تعداد مجاز پرش بین روترهای است که یک بسته می‌تواند قبل از دور انداختن انجام دهد.

به آدرس‌های منبع و مقصد ۱۲۸ بیتی توجه کنید. هر آدرس ۱۶ بایت طول دارد و می‌تواند تا

<sup>۶۲</sup>Multicasting  
<sup>۶۳</sup>



شکل ۱۲.۱۵: بسته IPv6

$10^38 \times 3/4$  آدرس ارائه دهد. بهجای نمایش آدرس اعشاری نقطه چین IPv4، آدرس‌های IPv6 با یک آدرس هگزادسیمال ۳۲ رقمی نشان داده می‌شوند. هشت گروه چهار رقمی هگزا با دو نقطه وجود دارد. یک مثال ۰:۰۰۰۰:۲۳۹C:۴۷۰D:۳C۰۹:۰۰۰۰:۱۹۷۴:۰۰۰۰:۵۶۵E:FFFF است. در مورد بارگذاری، فیلد طول بار در هدر ۱۶ بیت است که نشان می‌دهد حجم داده‌ها ممکن است تا ۶۵۵۳۵ بایت باشد. این همان چیزی است که در بسته IPv4 وجود دارد.

در نهایت، لایه دسترسی به شبکه که شامل اتصال لایه فیزیکی است، داده‌ها را منتقل می‌کند. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، چندین روش مختلف برای انتقال اطلاعات TCP/IP وجود دارد. به عنوان مثال، بسته‌ها ممکن است در بسته‌های اترن特 در یک LAN بسته بندی شوند و سپس برای اتصال نهایی به ستون فقرات WAN سوئیچ شده بسته به یک MAN تحويل داده شوند. یا بسته‌های TCP/IP ممکن است از طریق یک مودم تلویزیون کابلی به یک ISP که از طریق یک خط فیبر نوری به یک MAN و سپس به WAN متصل می‌شود، حرکت کند. WAN ممکن است داده‌ها را از طریق ATM، SONET یا OTN از طریق ستون فقرات حمل کند.

### TCP/IP

چندین پروتکل یا مجموعه‌ای از قوانین برای برقراری ارتباط از طریق یک شبکه کامپیووتری استفاده می‌شود. هر پروتکل باید چندین کار مانند کپسولاسیون، تکه تکه شدن و مومنتاز مجدد، کنترل اتصال، تحويل سفارش داده شده، کنترل عبور، کنترل خطا، آدرس دهی، چندگانه سازی و خدمات انتقال را انجام دهد. شاید رایج‌ترین پروتکل مورد استفاده برای انجام این وظایف، پروتکل کنترل انتقال/پروتکل اینترنت یا TCP/IP باشد. TCP/IP پروتکل ارتباطی است که میزبان‌ها از آن برای برقراری ارتباط از طریق اینترنت استفاده می‌کنند و یک ارتباط مجازی بین مقصد و میزبان منبع برقرار می‌کند. TCP/IP از دو پروتکل TCP و IP برای انجام این کار استفاده می‌کند.

پروتکل کنترل حمل و نقل (TCP) دو میزبان را قادر می‌سازد تا ارتباط برقرار کرده و داده‌ها را مبادله کند. TCP هم تحويل داده‌ها را تضمین می‌کند و هم اینکه بسته‌ها به همان ترتیبی که ارسال شده‌اند تحويل داده می‌شوند. به‌یاد داشته باشید که بسته‌ها از طریق یک شبکه بر اساس بهترین مسیر ارسال می‌شوند. این انتخاب «بهترین مسیر» تضمین نمی‌کند که همه بسته‌ها مسیر یکسانی را طی می‌کند و همچنین به همان ترتیبی که ارسال شده‌اند نمی‌رسند. وظیفه TCP این است که اطمینان حاصل کند که همه بسته‌ها قبل از ارسال به انبار پروتکل، دریافت شده و به‌ترتیب صحیح بازگردانده می‌شوند.

پروتکل اینترنت (IP) فرمت بسته‌ها را تعیین می‌کند. قالب بسته IP به‌طور مفصل مورد بحث قرار نگرفته است، اما در بسته‌های IP نسخه ۴ در مجموع ۲۰ اکتت وجود دارد. این بیت‌ها برای انتخاب نوع سرویس، طول دیتابرام، شماره شناسایی، پرچم‌ها، زمان حیات، پروتکل بعدی بالاتر، چکسام سرآیند و آدرس‌های مختلف استفاده می‌شوند. IP بسته عملکردی مشابه آدرس موجود در نامه پستی ارائه می‌دهد. شما آدرس را روی نامه می‌نویسید و در صندوق پست می‌گذارید. شما و گیرنده می‌دانید که از کجا و برای چه کسی ارسال می‌شود، اما مسیر را شخص دیگری تعیین می‌کند. اینکه شخص دیگری روترهای شبکه بین مقصد و مبدأ باشد. TCP است که ارتباط بین مقصد و منبع را برقرار می‌کند. TCP وارد می‌شود و نامه را به قطعات یا بسته‌های کوچک‌تر برش می‌دهد و سپس آنها را ارسال می‌کند و مطمئن می‌شود که همه بسته‌ها دریافت شده و به‌ترتیب مناسب بازگردانده می‌شوند.

### UDP

پروتکل UDP (User Datagram Protocol) یک سرویس بدون اتصال برای برنامه‌ها ارائه می‌دهد. UDP بر خلاف TCP خدمات بازیابی خطای کمی را ارائه می‌دهد. با این حال، مانند TCP از IP برای مسیریابی بسته‌های خود در سراسر اینترنت استفاده می‌کند. UDP زمانی استفاده می‌شود که رسیدن یک پیام کاملاً حیاتی نباشد. ممکن است به‌خاطر بیاورید که هر از چند گاهی نامه‌هایی برای ساکن فعلی در صندوق پستی خود دریافت می‌کنید. فرستنده‌گان این «یمیل ناخواسته» نگران این نیستند که همه بسته‌ای را که ارسال می‌کنند دریافت کنند. UDP مشابه ایمیل ساکن فعلی است و اغلب برای ارسال پیام‌های پخش از طریق شبکه استفاده می‌شود. پیام پخش پیامی است که به‌صورت دوره‌ای برای همه میزبان‌های شبکه ارسال می‌شود تا مکان‌یابی کاربران و جمع‌آوری داده‌های دیگر در شبکه باشد. پیام‌های UDP همچنین برای درخواست پاسخ از گره‌ها یا انتشار اطلاعات استفاده می‌شود. یکی دیگر از کاربردهای UDP در استفاده از برنامه‌های بلادرنگ است. با برنامه‌های بلادرنگ، ارسال مجدد و انتظار برای رسیدن بسته‌ها امکان پذیر نیست، بنابراین از TCP برای این برنامه‌ها استفاده نمی‌شود. هنگامی که داده‌های بلادرنگ (صدا یا ویدئو) مسیریابی می‌شوند، یک پروتکل UDP بدون اتصال استفاده می‌شود. اگر بسته‌ها رها شوند یا نرسند، پیام کلی معمولاً بیش از تشخیص خراب نمی‌شود.

### اینترنت و آدرس دهی

شما اجزای تشکیل دهنده یک شبکه و نحوه انتقال اطلاعات در یک شبکه را دیده‌اید، اما چگونه یک بسته مقصد مورد نظر خود را پیدا می‌کند؟ اینترنت در یک ساختار سلسله مراتبی سازماندهی شده است. کل شبکه اغلب به عنوان اینترنت یا شبکه جهانی وب شناخته می‌شود. اینترنت به‌چندین شبکه کوچک‌تر تقسیم می‌شود که همگی توسط روتراها به‌هم متصل هستند.

اینترنت چندین بخش یا شبکه جداگانه را با استفاده از روتراها به‌یکدیگر متصل می‌کند. روتراها به روشی برای شناسایی شبکه مقصدی که بسته به‌آن متصل است نیاز دارند. روتراها این کار را با

استفاده از آدرس IP شبکه انجام می‌دهند. همه دستگاه‌های موجود در آن شبکه یک آدرس شبکه مشترک دارند، اما دارای آدرس‌های میزبان منحصر به فرد هستند. بسته‌ها از شبکه‌ای به شبکه دیگر هدایت می‌شوند تا زمانی که به شبکه‌ای برسند که حاوی میزبانی است که بسته برای آن ارسال شده است.

یک مثال خوب از ساختار سلسله مراتبی نحوه سازماندهی واحدهای نظامی بزرگ است. بزرگ‌ترین سازه تیپ است. این تیپ به دو هنگ با سه گردان در هر هنگ تقسیم می‌شود. هر گردان پنج گروهان دارد. سپس هر گروه دارای جوخه و هر دسته دارای جوخه است. یک سرباز یا ملوان انفرادی در گروهان، دسته، گروهان، گردان و غیره حضور دارد. اگر می‌خواهید با تمام سربازان یا ملوانان یک شرکت خاص تماس بگیرید، می‌توانید فقط به آن شرکت پیام دهید. در مورد یک گردان یا دسته هم همینطور است. در یک شبکه کامپیوتری، توانایی ارسال پیام به یک میزبان در یک شبکه خاص نیز مهم است. سپس هر شبکه به کل اینترنت یا به اصطلاح اینترنت ابری<sup>۶۴</sup> متصل می‌شود.

می‌توانیم هر اتصال به‌ابر را به شبکه خودش تبدیل کنیم و هر شبکه با استفاده از یک روتربابر متصل می‌شود. هر کامپیوتری که از روتربابر متصل است به عنوان یک شبکه در نظر گرفته می‌شود. این ترتیب شبیه به یک خانواده است. روتربابر یک خانواده واحد است، مثلاً خانواده جونز. و همه بخش‌ها نشان دهنده کودکان خانواده جونز هستند. با نگاه کردن به نام خانوادگی به راحتی می‌توانیم تشخیص دهیم که چه کسانی در خانواده جونز هستند. یک روتربابر می‌تواند با استفاده از مجموعه‌ای از اعداد به نام آدرس IP تشخیص دهد که چه کسی در شبکه خود است.

هنگامی که یک کامپیوتر بسته‌ای را از روتربابریافت می‌کند، کامپیوتر ابتدا آدرس MAC مقصود بسته را در لایه پیوند داده بررسی می‌کند. اگر مطابقت داشته باشد، سپس به لایه شبکه منتقل می‌شود. در لایه شبکه، بسته را بررسی می‌کند تا ببیند آیا آدرس IP مقصود با آدرس IP کامپیوتر مطابقت دارد یا خیر. از آنجا، بسته طبق نیاز لایه‌های بالایی پردازش می‌شود. از سوی دیگر، کامپیوتر ممکن است در حال تولید بسته‌ای برای ارسال به روتربابر باشد. سپس همانطور که بسته در مدل OSI حرکت می‌کند و به لایه شبکه می‌رسد، آدرس IP مقصود و مبدأ این بسته در هدر IP اضافه می‌شود. فرمت آدرس IPv4 اعشاری نقطه‌دار نامیده می‌شود و شامل چهار عدد از ۰ تا ۲۵۵ است که با نقطه یا تناوب از هم جدا شده‌اند. هر عدد بین دوره‌ها یک اکتت در نظر گرفته می‌شود زیرا ۸ بیت باینری را نشان می‌دهد.

### برای مثال : 35.75.123.250

فرمت اعشاری نقطه‌دار برای استفاده افراد راحت است، اما در واقع روتربابر این عدد را به باینری تبدیل می‌کند و عدد اعشاری نقطه‌چین بالا را به عنوان یک رشتہ پیوسته ۳۲ بیتی می‌بیند. مثال زیر یک آدرس IP را با نماد اعشاری نشان می‌دهد. این آدرس IP (۳۵.۷۵.۱۲۳.۲۵۰) سپس به باینری تبدیل می‌شود، چیزی که کامپیوتر درک می‌کند. به خاطر سپردن چهار عدد مختلف برای ما آسان‌تر از سی و دو عدد ۰ یا ۱ است.

35 . 75 . 123 . 250

00100011.01001011.01111011.11111010

آدرس IP بالا برای کامپیوتر شبیه 00100011010011011111010 خواهد بود. نسخه هگزادسیمال است. 234B7BFA

برای ارائه انعطاف‌پذیری، طراحان اولیه استاندارد آدرس IP نشستند تا محدوده اعدادی را که قرار

<sup>۶۴</sup>Internet cloud

بود توسط همه کامپیوترها استفاده می‌شد مرتب کنند. آنها آدرس IP را به پنج کلاس سازماندهی کردند و ما معمولاً از سه تا از این کلاس‌ها استفاده می‌کنیم. هنگامی که افراد برای آدرس‌های IP درخواست می‌کنند، بسته به اندازه شبکه، محدوده مشخصی در یک کلاس خاص به آنها داده می‌شود.

جدول ۱.۱۵: پنج نوع مختلف آدرس ذهنی پروتکل اینترنت

Table 15-1	Five Different Classes of IP Addresses		
Class	Range of IP Addresses		
A	1.0.0.0	to	127.255.255.255
B	128.0.0.0	to	191.255.255.255
C	192.0.0.0	to	223.255.255.255
D	224.0.0.0	to	239.255.255.255
E	240.0.0.0	to	255.255.255.255

در جدول (۱.۱۵) می‌توانید پنج کلاس را مشاهده کنید. سه کلاس اول (A B C) برای شناسایی ایستگاه‌های کاری، روترهای سوئیچ‌ها و سایر دستگاه‌ها استفاده می‌شوند، در حالی که دو کلاس آخر (D E) برای استفاده خاص در نظر گرفته شده‌اند. آدرس‌های IP ذکر شده در بالا همه توسط میزبان‌ها قابل استفاده نیستند!

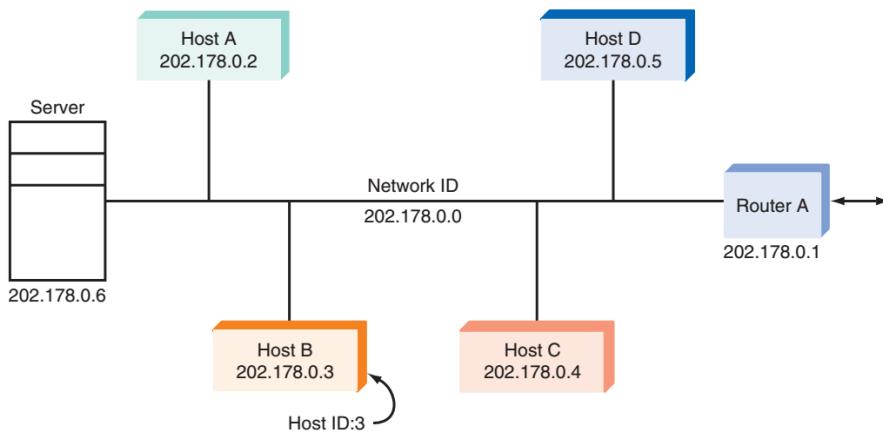
یک آدرس IPv4 از ۳۲ بیت تشکیل شده است، به این معنی که طول آن ۴ بایت است. اولین اکتت (۸ بیت اول یا اولین بایت) یک آدرس IP برای تعیین کلاسی که به آن تعلق دارد کافی است. و بسته به کلاسی که آدرس IP به آن تعلق دارد، می‌توانیم تعیین کنیم که کدام قسمت از آدرس IP شناسه شبکه و کدام قسمت شناسه میزبان است. به عنوان مثال، اگر به شما گفته شود که اولین اکتت یک آدرس IP ۱۶۸ است، با استفاده از جدول بالا، متوجه می‌شوید که در محدوده ۱۲۸ تا ۱۹۱ قرار می‌گیرد که آن را به یک آدرس IP کلاس B تبدیل می‌کند.

### خوب است بدانید که:

آدرس‌های IP کلاس A برای شبکه‌های بزرگ، کلاس B برای شبکه‌های متوسط و کلاس C برای شبکه‌های کوچکتر طراحی شده‌اند.

قبل‌اگفتیم که شرکت‌ها بسته به اندازه شبکه‌هایشان، محدوده‌های IP مختلفی را در این کلاس‌ها اختصاص می‌دهند. به عنوان مثال، اگر یک شرکت به ۱۰۰۰ آدرس IP نیاز داشته باشد، احتمالاً محدوده‌ای به آن اختصاص داده می‌شود که در یک شبکه کلاس B قرار می‌گیرد تا کلاس A یا C برای دریافت اطلاعات به میزبان صحیح، آدرس IP به دو قسمت شناسه شبکه و شناسه میزبان تقسیم می‌شود. این دو بخش حاوی دو اطلاعات ارزشمند است:

۱. بهما می‌گوید که دستگاه بخشی از کدام شبکه است (شناسه شبکه).
  ۲. آن دستگاه منحصر به فرد را در شبکه شناسایی می‌کند (شناسه میزبان)
- شکل (۱۳.۱۵) مثالی را برای کمک به درک مفهوم به شما ارائه می‌دهد.



شکل ۱۳.۱۵: نمونه‌ای نشان دادن شناسه شبکه و میزبان.

### خوب است بدانید که:

شناسه شبکه را به عنوان حومه‌ای که در آن زندگی می‌کنید و شناسه میزبان را به عنوان خیابان خود در آن حومه در نظر بگیرید. اگر نام حومه و خیابان یک نفر را داشته باشید، می‌توانید دقیقاً بگویید کجاست. به همین ترتیب، شناسه شبکه بهما می‌گوید که یک کامپیوتر خاص به کدام شبکه تعلق دارد، و شناسه میزبان آن کامپیوتر را از بقیه کامپیوترهای موجود در همان شبکه شناسایی می‌کند.

روترها برای تعیین کلاس آدرس IP به اولین عدد یا اکتت نگاه می‌کنند. کلاس نشان می‌دهد که چند بیت برای نشان دادن شناسه شبکه و چند بیت برای نشان دادن شناسه میزبان استفاده می‌شود. در تصویر بالا یک شبکه کوچک را مشاهده می‌کنید. ما یک محدوده IP کلاس C را برای این شبکه اختصاص داده‌ایم. بی‌یاد داشته باشید که آدرس‌های IP کلاس C برای شبکه‌های کوچک هستند. اکنون با نگاهی به میزبان B، می‌بینید که آدرس IP آن 202.178.0.3 است. شناسه شبکه 202.178.0.3 و شناسه میزبان 0.3 است.

جدول (۲.۱۵) شامل محدوده اعداد مورد استفاده برای تعیین کلاس شبکه و تعداد بیت‌های موجود برای تخصیص به یک شبکه و میزبان‌های آن شبکه است. برای مثال، یک 140.179.220.200 آدرس کلاس B است. 140.179.220.128 تا 140.179.220.191 قرار می‌گیرد که آن را به یک آدرس IP کلاس B تبدیل می‌کند. بنابراین، به طور پیش‌فرض، بخش شبکه آدرس (همچنین به عنوان آدرس شبکه شناخته می‌شود) با ۲ اکتت اول (140.179.x.x) و قسمت گره با ۲ اکتت آخر (x.x.220.200) تعریف می‌شود.

اکنون می‌توانیم ببینیم که چگونه کلاس به طور پیش فرض تعیین می‌کند که کدام قسمت از آدرس IP متعلق به شبکه (N) و کدام قسمت متعلق به میزبان (h) است.

جدول ۲.۱۵: شناسایی شبکه و شناسه میزبان.

Table 15-2 Identifying Network and Host IDs			
Class	Range of First Octet	Number of Network ID Bits	Number of Host ID Bits
A	1–127	8	24
B	128–191	16	16
C	192–223	24	8

- کلاس A—0NNNNNNN.hhhhhh.ffffhhhh.ffffhhh
- کلاس B—10NNNNNN.NNNNNNNN.hhhhhh.ffffhhh
- کلاس C—110NNNNN.NNNNNNNN.NNNNNNNN.ffffhhh

یک آدرس IP کلاس A را به عنوان مثال در نظر بگیرید تا متوجه شوید دقیقاً چه اتفاقی می‌افتد. هر شبکه کلاس A در مجموع ۷ بیت برای شناسه شبکه (بیت ۸ همیشه روی ۰ تنظیم می‌شود) و ۲۴ بیت برای شناسه میزبان دارد. اکنون تنها کاری که باید انجام دهیم این است که محاسبه کنیم ۷ بیت چقدر است:  $128 = 2^7$  شبکه، در حالی که  $16, 777, 216 = 2^{24}$  میزبان در هر شبکه. از ۱۶, ۷۷۷, ۲۱۶ میزبان در هر شبکه، ۲ میزبان قابل استفاده نیستند. یکی آدرس شبکه و دیگری آدرس پخش شبکه است (جدول ۳.۱۵). بنابراین وقتی میزبان‌های معتبر را در یک شبکه محاسبه می‌کنیم، همیشه ۲ را کم می‌کنیم.

اگر از شما پرسیده شود که چند میزبان معتبر می‌توانید در یک شبکه کلاس A داشته باشید، باید به  $16,777,216$  پاسخ دهید نه  $16,777,214$ . همین داستان برای دو کلاس دیگر که استفاده می‌کنیم، کلاس B و کلاس C نیز صدق می‌کند. تنها تفاوت این است که تعداد شبکه‌ها و میزبان‌ها تغییر می‌کند زیرا بیت‌های اختصاص داده شده به آنها برای هر کلاس متفاوت است. بنابراین اگر از شما پرسیده شود که چند میزبان معتبر می‌توانید در یک شبکه کلاس B داشته باشید، باید به  $65534$  پاسخ دهید نه  $65536$ . و اگر از شما پرسیده شود که چند میزبان معتبر می‌توانید در یک شبکه کلاس C داشته باشید، باید به  $254$  پاسخ دهید نه  $256$ .

حالا شما یاد گرفتید که با وجود اینکه ما سه دسته از آدرس‌های IP داریم که می‌توانیم از آنها استفاده کنیم، برخی از آدرس‌های IP برای استفاده خاص رزرو شده‌اند. این بدان معنا نیست که نمی‌توانید آنها را به یک ایستگاه کاری اختصاص دهید. اما اگر این کار را انجام دهید، مشکلات جدی در شبکه شما ایجاد می‌کند. به همین دلیل، بهتر است از استفاده از این آدرس‌های IP خودداری کنید. جدول (۳.۱۵) آدرس‌های IP را نشان می‌دهد که باید از استفاده از آنها اجتناب کنید.

ضروری است که هر شبکه، صرف نظر از کلاس و اندازه، یک آدرس شبکه (آدرس IP اول، به عنوان مثال، ۲۰۲.۱۷۸.۰.۰ برای شبکه کلاس C) و یک آدرس پخش (آخرین آدرس IP، به عنوان مثال، ۲۰۲.۱۷۸.۰.۲۵۵ برای شبکه کلاس C داشته باشد، همانطور که در جدول (۳.۱۵) و نمودارهای بالا ذکر شده است که قابل استفاده نیستند. بنابراین وقتی آدرس‌های IP موجود در یک شبکه را

جدول ۱۵.۱۵: آدرس‌های IP غیر قابل استفاده توسط میزبان.

Table 15-3   IP Addresses Unusable by Hosts	
IP Address	Function
<b>Default</b> —Network 0.0.0.0	Refers to the default route. This route simplifies routing tables used by IP.
<b>Loopback</b> —Network 127.0.0.1	Reserved for loopback. The address 127.0.0.1 is often used to refer to the local host. Using this address, applications can address a local host as if it were a remote host.
<b>Network address</b> —IP address with all host bits set to 0 (for e.g., 192.168.0.0)	Refers to the actual network itself. For example, network 202.178.0.0 can be used to identify network 202.178. This type of notation is often used within routing tables.
<b>Subnet/network broadcast</b> —IP address with all node bits set to 1 (for e.g., 202.178.255.255)	IP addresses with all node bits set to 1 are local network broadcast addresses and must <i>not</i> be used. Some examples: 125.255.255.255 (class A), 190.30.255.255 (class B), 203.31.218.255 (class C).
<b>Network broadcast</b> —IP address with all bits set to 1 (for e.g., 255.255.255.255)	The IP address with all bits set to 1 is a broadcast address and must <i>not</i> be used. These are destined for all nodes on a network, no matter what IP address they might have.

محاسبه می‌کنید، همیشه به یاد داشته باشید که ۲ را از تعداد آدرس‌های IP موجود در آن شبکه کم کنید.

### شماره شناسه میزبان رزرو شده

هنگامی که یک شبکه را طراحی می‌کنید، یک شناسه شبکه از یک مرجع کنترل کننده به شما داده می‌شود. بخش شناسه شبکه آدرس اینترنتی شمانمی‌تواند تغییر کند، اما بخش شناسه میزبان آدرس IP بیت‌هایی است که متعلق به شماست، و می‌توانید هر IP را در بخش شناسه میزبان به کامپیوترهای شبکه خود اختصاص دهید، به غیر از تمام ها یا شناسه میزبان تمام ۱ها که در بالا ذکر شد. به طور معمول طراحان اولین IP قابل تخصیص را به اولین میزبان اختصاص می‌دهند، اما هیچ محدودیتی وجود ندارد و هر شماره‌ای را می‌توان اختصاص داد.

همانطور که نام جونز اعضاً خانواده را مشخص می‌کند، شناسه شبکه نیز شبکه شما را مشخص می‌کند، اما روتور چگونه متوجه می‌شود که شناسه شبکه مطابقت دارد؟ اطلاعات در بسته‌ها جابجا

می‌شوند و هر بسته دارای یک هدر است. هدر حاوی آدرس IP کامپیووتری است که بسته به‌آن ارسال می‌شود. روتور از دنباله خاصی از بیت‌ها به نام ماسک شبکه برای تعیین اینکه آیا بسته به‌شبکه خود ارسال می‌شود استفاده می‌کند. ماسک شبکه همه آها را در شناسه شبکه و همه ها را در شناسه میزبان دارد. سپس این ماسک به صورت منطقی به بسته AND داده می‌شود و روتور می‌بیند که آیا میزبان مقصد در شبکه خود است یا خیر. در شبکه 35.0.0.0 ما، ماسک شبکه 255.0.0.0 خواهد بود. اگر شبکه یک کلاس B بود، ماسک شبکه 255.255.0.0 و برای کلاس C ماسک شبکه 255.255.255.0 خواهد بود.

ماں کے شیکھ

جدول (۴.۱۵) سه کلاس شبکه ما را با ماسک‌های شبکه مربوطه نشان می‌دهد. یک آدرس IP از

#### جدول ۴.۱۵: کلاس‌های شبکه با ماسک‌های شبکه

<b>Table 15-4</b> Network Classes with Network Masks		
<b>Class Type</b>	<b>Network Range</b>	<b>Network Masks</b>
A	1.0.0.0 to 127.255.255.255	255.0.0.0
B	128.0.0.0 to 191.255.255.255	255.255.0.0
C	192.0.0.0 to 223.255.255.255	255.255.255.0

دو بخش، شناسه شبکه و شناسه میزبان تشکیل شده است. می‌توانیم این را یک بار دیگر در زیر مشاهده کنیم، جایی که آدرس IP به صورت باینری تجزیه و تحلیل می‌شود، زیرا این روشی است که هنگام پرخورد با ماسک‌های شبکه باید کار کنید؛ این شبکه کلاس C از ۲۱ بیت برای شناسه شبکه

Class C IP Address				
IP address:	192.	178.	0.	4
Network mask:	255.	255.	255.	0

استفاده می‌کند (به یاد داشته باشید که ۳ بیت اول در octet اول تنظیم شده است) و ۸ بیت برای شناسه میزبان. ماسک شبکه چیزی است که شناسه شبکه و شناسه میزبان را تقسیم می‌کند. ما برای اولین بار به یک آدرس IP با ماسک شبکه آن نگاه می‌کنیم. کاری که ما انجام دادیم این است که ماسک شبکه اعشاری را گرفته و آن را به همراه آدرس IP بهاینرو تبدیل می‌کنیم. کار به صورت باینری ضروری است زیرا همه چیز را واضح‌تر می‌کند و می‌توانیم از اشتباه جلوگیری کنیم. ۱ها در ماسک شبکه با آدرس IP AND می‌شوند و نتیجه شناسه شبکه را مشخص می‌کند. اگر هر بیتی را در شناسه شبکه آدرس IP تغییر دهیم، بلافاصله به شبکه دیگری منتقل می‌شویم. بنابراین در این مثال، ما یک ماسک شبکه ۲۴ بیتی داریم (بیست و چهار ۱ها، شمارش از چیز به راست).

Conversion to Binary				
IP address:	11001010.	1011 0010	0000 0000.	0000 0100
Network mask:	1111 1111.	1111 1111.	1111 1111.	0000 0000
ANDed result	11001010	1011 0010		0000 0000
		Network ID		Host ID

### خوب است بدانید که:

همه آدرس‌های IP کلاس C دارای ماسک شبکه ۲۴ بیتی (255.255.255.0) هستند. همه آدرس‌های کلاس B دارای یک ماسک شبکه ۱۶ بیتی (255.255.0.0) هستند. همه آدرس‌های IP کلاس A دارای یک ماسک شبکه ۸ بیتی (255.0.0.0) هستند.

### ماسک زیر شبکه

همانطور که شبکه رشد می‌کند، مسیریابی کارآمد تمام ترافیک به طور فرایندهای دشوار می‌شود، زیرا روتر باید همه میزبان‌های شبکه خود را پیگیری کند. بیایید بگوییم که ما یک MAN ساده از دو روتر داریم. هر زمان که بسته‌ای از یک میزبان به میزبان دیگر در شبکه ما ارسال می‌شود، روتر بسته را به میزبان مناسب هدایت می‌کند. هنگامی که بسته به میزبانی که به روتر دیگر متصل است ارسال می‌شود، از ماسک شبکه برای تعیین اینکه بسته برای شبکه ما نیست استفاده می‌شود و روتر بسته را از طریق پیوند ارتباطی به شبکه دیگر ارسال می‌کند. اگر هر روتر فقط چند میزبان متصل به خود داشته باشد، تعداد بسته‌هایی که روتر باید مسیریابی کند نسبتاً کم است. با رشد شبکه، این تعداد میزبان‌ها بسیار زیاد می‌شود. برای یک شبکه کلاس A، ممکن است ۲۴ کم بازدید که ۱۷ میلیون میزبان وجود داشته باشد. به عنوان وسیله‌ای برای کمک به روترهای برای مسیریابی کارآمدتر بسته‌ها و مدیریت اندازه جداول روتر خود، از تکنیکی به نام زیر شبکه استفاده می‌شود.

وقتی یک شبکه را زیر شبکه می‌کنیم، اساساً آن را به شبکه‌های کوچکتر تقسیم می‌کنیم. با زیرشبکه کردن شبکه، می‌توانیم آن را به هر تعداد که نیاز داریم به شبکه‌های کوچکتر تقسیم کنیم. به طور پیش‌فرض، همه انواع کلاس‌ها (A، B و C) دارای یک ماسک شبکه هستند. با این حال، می‌توان از یک ماسک شبکه غیر از حالت پیش‌فرض استفاده کرد. به این ماسک زیر شبکه می‌گویند. استفاده از یک آدرس IP با ماسک زیر شبکه غیر از پیش‌فرض شبکه باعث می‌شود که بیت‌های میزبان استاندارد (بیت‌هایی که برای شناسایی شناسه میزبان استفاده می‌شوند) بهدو بخش تقسیم شوند: شناسه زیر شبکه و شناسه میزبان. همان آدرس IP فوق را بگیرید و آن را به یک شناسه زیرشبکه و شناسه میزبان تقسیم کنید، بنابراین ماسک شبکه پیش‌فرض را تغییر دهید. سپس با استفاده از تکنیک ANDing که قبلاً توضیح داده شد، می‌توان زیرشبکه‌های کوچکتری را ایجاد و در صورت نیاز شناسایی کرد.

### آدرس MAC در مقابل آدرس IP

آدرس کنترل دسترسی محیط (MAC) را که قبلاً بحث شد، بهیاد بیاورید. آدرس MAC یک آدرس منحصر به فرد است که به دستگاه فیزیکی اختصاص داده شده است. آدرس IP یک آدرس منطقی است که برای تعیین محل قرارگیری میزبان در شبکه استفاده می‌شود. همانطور که در مثال پستی، ایالت را می‌توان شبکه در نظر گرفت، شهر زیرشبکه، و فرد فردی به عنوان میزبان در شبکه. آدرس MAC مانند شماره تامین اجتماعی (SSN)<sup>۶۶</sup> است که هر فرد دارد. هیچ اطلاعاتی در مورد MAC جایی که شخص در آن قرار دارد نمی‌دهد، اما به طور منحصر به فرد آن شخص را شناسایی می‌کند. MAC سازنده را شناسایی می‌کند و یک شماره منحصر به فرد مرتبط با آن دارد. آدرس IP برای پیدا کردن مکان MAC استفاده می‌شود تا بسته‌ها به میزبان هدایت شوند.

### یک نمونه انتقال

فرض کنید یک برنامه ایمیل که در آن یک پیام بسته بندی شده توسط SMTP برای قالب بندی به لایه TCP ارسال می‌شود. سپس TCP به لایه IP فرستاده می‌شود که پیام را برای انتقال بسته بندی می‌کند. همچنین فرض کنید بسته‌های IP در بسته‌های LAN اترنت کپسوله شده و به یک شبکه WAN ارسال می‌شوند. در اولین گره WAN، روتر بسته‌های اترنت را حذف می‌کند، هدر IP را بازیابی می‌کند و مقصد را نشان می‌دهد. روتر تضمیم مسیریابی خود را می‌گیرد و سپس بسته‌های را در پروتکل WAN برای این برنامه OTN کپسوله می‌کند. بسته‌های OTN سپس از روتر به روتر می‌روند، جایی که همان اتفاق می‌افتد. بسته‌ها در نهایت به مقصد نهایی، جایی که روتر دوباره بسته‌های IP را بازیابی می‌کند، می‌رسند.

در انتهای دریافت، لایه IP بررسی می‌کند که بسته به جای مناسب آمده است و سپس هدر را جدا می‌کند و آن را به لایه TCP ارسال می‌کند. در اینجا هر گونه خطا شناسایی و در صورت لزوم ارسال مجدد درخواست می‌شود. سپس تمام بسته‌ها به ترتیب صحیح دوباره مونتاژ، هدر حذف و داده‌های نهایی به لایه برنامه‌ها، جایی که به پروتکل SMTP که ایمیل را تحويل می‌دهد ارسال می‌شود، فرستاده می‌شوند.

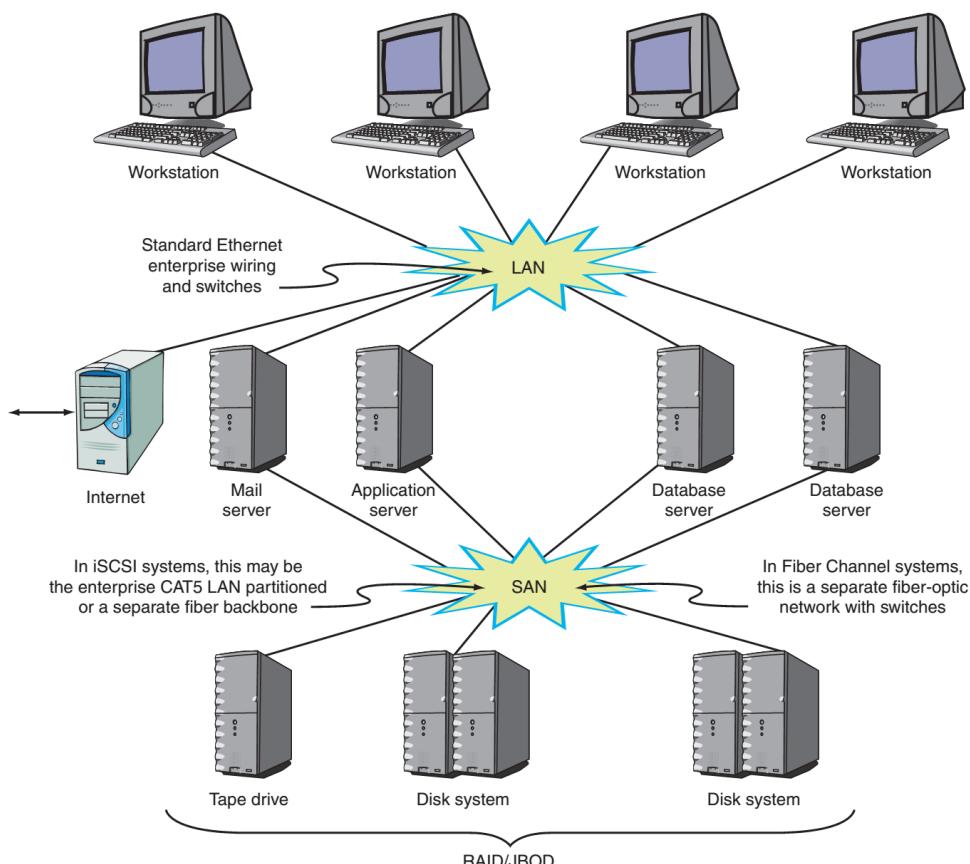
## ۳.۱۵ شبکه‌های فضای ذخیره سازی

شبکه‌های فضای ذخیره سازی (SAN) یکی از بخش‌های ارتباطات داده‌ای هستند که خیلی سریع در حال رشد هستند. SAN و سیستم‌های ذخیره سازی مشابه راهی برای برآوردن نیاز تقریباً سیری ناپذیر اینترنت به ذخیره سازی داده‌ها فراهم می‌کنند. علاوه بر نیاز به ذخیره سازی ابیوه داده‌ها برای وب سایتها و ایمیل، تقاضای فرایندهای برای ذخیره سازی در شرکت‌های بزرگ وجود دارد. همچنین دولت به ذخیره سازی برای ذخیره سازی پشتیبان، بازیابی فاجعه، و نگهداری فایل‌ها برای مقررات دولتی مانند Sarbanes-Oxley نیاز دارد. استفاده روزافزون از پایگاه‌های داده برای هر نیاز قابل تصور را به آن اضافه کنید، و نتیجه نیازی به‌وضوح فراتر از درایوهای دیسک بسیار بزرگ در سرورها است. سیستم‌های ذخیره سازی ویژه‌ای برای نگهداری این منابع عظیم داده ایجاد شده‌اند و شبکه‌ها و سیستم‌های ارتباطی ویژه‌ای برای اطمینان از دسترسی سریع به‌این داده‌ها توسعه یافته‌اند. سیستم‌های ذخیره سازی اولیه از درایوهای دیسک خارجی تشکیل می‌شند که داخل کامپیوترهای شخصی یا سرورها نبودند. این درایوهای خارجی از طریق یک گذرگاه انتقال موازی سریع که به نام

<sup>۶۵</sup>Media Access Control (MAC)

<sup>۶۶</sup>Social Security number (SSN)

رابط ذخیره سازی کامپیوتر کوچک (SCSI)<sup>۶۷</sup> شناخته می‌شود، به کامپیوتر شخصی یا سرور متصل می‌شدند که با نام مستعار رابط «skuzzy» شناخته می‌شد. مجموعه‌ای رسمی از دستورات باینری به کامپیوتر اجازه می‌دهد تا درایوهای دیسک را برای ذخیره یا دسترسی به داده‌ها کنترل کند. در طول سال‌ها، گذرگاه موازی سریع‌تر و سریع‌تر شد، اما فاصله‌ای که می‌توان داده‌ها را در قالب موازی منتقل کرد، با افزایش سرعت به چند فوت کاهش یافت. این شکل از ذخیره سازی آبوه به عنوان ذخیره سازی اتصال مستقیم (DAS)<sup>۶۸</sup> نامیده می‌شد. در حالی که امروزه از DAS هنوز استفاده می‌شود، سیستم‌های بزرگ‌تر و قابل انعطاف بیشتر با استفاده از انتقال سریع سریالی داده در دسترس هستند.



شکل ۱۴.۱۵: معماری پایه یک SAN

یکی از این سیستم‌های جدید ذخیره سازی اتصال به شبکه (NAS)<sup>۶۹</sup> نام دارد. این سیستم‌ها از یک آرایه اضافی از دیسک‌های مستقل<sup>۷۰</sup> (RAID) یا فقط یک دسته از دیسک‌ها<sup>۷۱</sup> (JBOD) تشکیل

<sup>۶۷</sup> Small Computer Storage Interface (SCSI)

<sup>۶۸</sup> Direct Attached Storage (DAS)

<sup>۶۹</sup> Network Attached Storage (NAS)

<sup>۷۰</sup> Redundant Array of Independent Disks (RAID)

<sup>۷۱</sup> Just a Bunch Of Disks (JBOD)

شده‌اند. این جعبه‌های بزرگ از درایوهای دیسک معمولاً از طریق شبکه اترنت نصب شده به کامپیوتر شخصی یا سرور متصل می‌شوند. به آنها یک آدرس IP اختصاص داده می‌شود تا داده‌ها در قالب فایل قابل دسترسی باشند. هر کسی که به شبکه LAN متصل است، در صورت ارائه مجوز می‌تواند به داده‌های روی دیسک‌ها دسترسی داشته باشد.

نیازهای ذخیره سازی بسیار زیاد توسط شبکه‌های فضای ذخیره سازی برآورده می‌شود. اینها از RAID و JBOD راهای استفاده می‌کنند که از طریق SAN به سرورهای مختلف شبکه، سرورهای پایگاه داده یا سایر کامپیوتراهایی که برای دسترسی به داده‌ها طراحی شده‌اند، متصل می‌شوند. شکل (۱۴.۱۵) یک آرایش معمولی را نشان می‌دهد. همه کامپیوتراهای شخصی کاربر یا ایستگاه‌های کاری مختلف با استفاده از اترنت ۱۰۰ مگاهرتز یا یک گیگاهرتز از طریق کابل زوج سیم تابیده به یک شبکه محلی LAN مرکزی متصل می‌شوند که همه سرورهای تخصصی (پست، داده، نوع برنامه کاربردی و غیره) به آن متصل هستند. سرورها همچنین به SAN متصل هستند که به نوبه خود به هر واحد ذخیره سازی دیسک متصل می‌شود. اتصالات فیبر نوری معمولاً در اتصال SAN به سرورها استفاده می‌شود، اما در برخی موارد ممکن است از اتصال اترنت زوج سیم تابیده یک گیگاهرتز استفاده شود. با این ترتیب، هر کامپیوترا شخصی یا ایستگاه کاری ممکن است به داده‌ها در هر سیستم دیسکی دسترسی داشته باشد یا فایل‌های پشتیبان را از طریق LAN و SAN ایجاد کند. این دسترسی ممکن است در واقع از طریق اینترنت باشد. SAN‌ها از انتقال بلوك داده به جای انتقال فایل استفاده می‌کنند، جایی که بلوك‌های داده با اندازه ثابت به جای فایل‌های کامل منتقل می‌شوند.

ارتباط بین سرورها و SAN معمولاً توسط یک شبکه فیبر نوری به نام کanal فیبر<sup>۷۴</sup> (FC) ایجاد می‌شود. یک سیستم اتصال جدیدتر به نام ("I skuzzy") iSCSIor Internet SCSI از سوئیچ‌های اترنت LAN و اترنت اتصال می‌کند.

### کanal فیبر

کanal فیبر یک استاندارد انتقال فیبر نوری است که توسط موسسه استاندارد ملی آمریکا در اواخر دهه ۱۹۸۰ ایجاد شد. این استاندارد یک پروتکل و یک لایه فیزیکی فیبر نوری (PHY) را تعریف می‌کند که می‌تواند برای اتصال کامپیوتراها و سیستم‌های ذخیره سازی در یک حلقه یا حلقة، نقطه به نقطه یا از طریق سوئیچ‌ها استفاده شود. سیستم‌های FC اولیه تنها با سرعت چند صد مگابیت در ثانیه ارسال می‌کردند، اما امروزه سیستم‌ها با سرعت‌های ۱، ۲، ۴ یا ۱۰ گیگابیت بر ثانیه ارسال می‌کنند. اگر قرار است کاربر در یک زمان معقول به بلوك داده بزرگ دسترسی پیدا کند، سرعت داده بسیار بالا در SAN ضروری است.

کanal فیبر فیزیکی (FC PHY) استفاده از یک زوج کابل فیبر نوری را تعریف می‌کند، یکی برای انتقال و دیگری برای دریافت. اکثر سیستم‌ها از فیبر چند حالت (چند مودی) با قطر ۵۰ یا ۶۲/۵ میکرومتر (به بخش نوزدهم مراجعه کنید) برای فواصل اتصال نسبتاً کوتاه تا چند صد متر استفاده می‌کنند. فیبر تک مودی همچنین می‌تواند برای اتصالات با برد بلندتر از ۱۰ تا ۴۰ کیلومتر استفاده شود. سیستم‌های برد کوتاه از فرستنده‌های لیزری ۸۵۰ میکرومتری مادون قرمز (IR)، در حالی که سیستم‌های برد بلندتر از فرستنده‌های لیزری مادون قرمز ۱۳۱۰ یا ۱۵۵۰ میکرومتر استفاده می‌کنند. این پروتکل یک بسته یا فریم ۲۱۴۸ بایتی را تعریف می‌کند که با کدگذاری 8B/10B ارسال می‌شود. یک CRC ۴ بایتی (۳۲ بیتی) برای تشخیص خطأ استفاده می‌شود. سرعت انتقال واقعی ۱،۰۶۲۵، ۲،۱۲۵، ۴،۲۵، ۸/۵، ۱۰/۵ و ۱۴۰۲۵ گیگابیت بر ثانیه است. نرخ‌های آینده ۲۸،۰۵ و

<sup>۷۴</sup> Fibre Channel (FC)

۴ × ۲۸/۰۵ گیگابیت بر ثانیه است. اتصال به کابل فیبر نوری از طریق یک کارت رابط معروف به آدپتور اتوبوس میزبان<sup>۷۳</sup> (HBA) انجام می‌شود. هر HBA به گذرگاه سرور یا واحد کنترل ذخیره سازی RAID یا JBOD متصل می‌شود. اتصالات ممکن است یک پیوند مستقیم، نقطه به نقطه یا یک حلقه باشد. امروزه بیشتر اتصالات از طریق یک چیدمان سوئیچینگ نقطه‌ای الکترونیکی با سرعت بسیار بالا که به عنوان پارچه سوئیچ<sup>۷۴</sup> شناخته می‌شود، انجام می‌گردد. پارچه سوئیچ در جعبه‌ای با اتصالات کابل فیبر نوری بسته بندی می‌شود و کل واحد سوئیچ FC نامیده می‌شود. در داخل SAN "ابر" نشان داده شده در شکل (۱۴.۱۵) ظاهر می‌شود. این ترتیب اساساً به هر سرور یا گره درایو دیسک در شبکه اجازه می‌دهد تا به هر گره دیگری متصل شود. اکثر سوئیچ‌های FC اجازه می‌دهند تا ۲۴ دستگاه متصل شوند.

یکی از مزایای اصلی FC SAN این است که ذاتاً ایمن است. از آنجایی که به شبکه LAN یا اینترنت متصل نیست، اساساً از هک، ویروس، هرزنامه یا سایر حملاتی که معمولاً با اینترنت مرتبط هستند مصون است. FC SAN کاملاً جدا از سایر اتصالات شبکه است.

سیستم‌های FC همچنین می‌توانند با استفاده از پروتکل جدیدی به نام کانال فیبر روی پروتکل اینترنت<sup>۷۵</sup> (FCIP) که توسط گروه ویژه مهندسی اینترنت<sup>۷۶</sup> (IETF) توسعه یافته است، از طریق اینترنت در فواصل طولانی تر ارتباط برقرار کنند. این پروتکل فریم‌های FC را در بسته‌ها کپسوله می‌کند و آنها را از طریق TCP/IP منتقل می‌کند. با این ترتیب، چندین FC SAN را می‌توان از طریق یک شبکه IP به هم متصل و مدیریت کرد. ترتیب دیگری به نام پروتکل کانال فیبر اینترنت<sup>۷۷</sup> (iFCP) به FC SAN اجازه می‌دهد تا با استفاده از TCP/IP با سوئیچ‌ها یا روترهای اترنت استاندارد پیوند داده شوند. سوئیچ یا روتر تبدیل به دروازه‌ای می‌شود که جای سوئیچ FC را می‌گیرد.

## SCSI اینترنت

در حالی که FC در بیش از ۹۰ درصد همه SAN‌ها به دلیل سرعت، انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان آن استفاده می‌شود، نقطه ضعف اصلی آن هزینه بالا است. اخیراً یک سیستم اتصال SAN کم‌هزینه به نام اینترنت SCSI (iSCSI) توسعه یافته است. از اجزای استاندارد اترنت خارج از قفسه و نرم افزار TCP/IP استفاده می‌کند که بسیار در دسترس است. این سیستم نیز استاندارد IETF است. این پروتکل از همان پروتکل فرمان و کنترل توسعه یافته برای سیستم‌های SCSI DAS باس موازی، به جز اینکه از انتقال داده سریالی از طریق اترنت، استفاده می‌کند.

شکل (۱۵.۱۵) جریان داده را در عملیات دسترسی به داده در SAN iSCSI نشان می‌دهد. کامپیوتر درخواست کننده داده به سرور اطلاع می‌دهد و سپس سیستم عامل سرور دستور SCSI مناسب را تولید می‌کند. پروتکل iSCSI که در کارت رابط شبکه اترنت<sup>۷۸</sup> (NIC) پیاده‌سازی می‌شود، دستور SCSI را در TCP، سپس به بسته‌های IP که با استفاده از اترنت در اتصالات LAN موجود منتقل می‌شوند، کپسوله می‌کند. در شکل (۱۴.۱۵)، «ابر» SAN معمولاً فقط سیم‌کشی LAN نصب شده با روترهای اینترنت است. اتصال همچنین ممکن است از طریق MAN یا WAN با استفاده از اینترنت باشد. همانطور که شکل (۱۵.۱۵) نشان می‌دهد، در انتهای دریافت، که JBOD یا RAID

<sup>۷۳</sup>Host Bus Adapter (HBA)

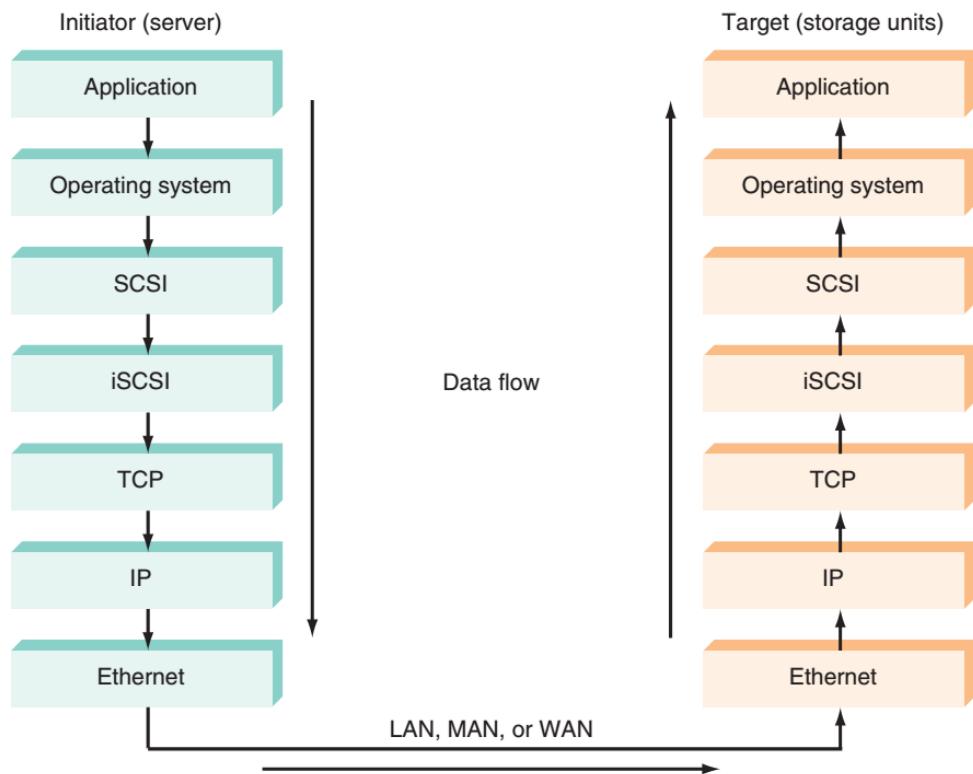
<sup>۷۴</sup>Switch Fabric

<sup>۷۵</sup>Fibre Channel over Internet Protocol (FCIP)

<sup>۷۶</sup>Internet Engineering Task Force (IETF)

<sup>۷۷</sup>Internet Fibre Channel Protocol (iFCP)

<sup>۷۸</sup>Network Interface Card (NIC)



شکل ۱۵.۱۵: تداوم عملیات برای دسترسی بهدادهها با استفاده از پروتکل iSCSI

هدف است، روند معکوس می‌شود.

کارت رابط شبکه اترنیت(NIC)های مورد استفاده در سرورها و سیستم‌های RAID/JBOD رابطه‌های استاندارد اترنیت هستند اما دارای iSCSI هستند. آنها حتی ممکن است چیزی را که به‌نام موتور تخلیه بار TCP/IP نامیده می‌شود، ترکیب کنند. این یک پردازنده ویژه است که برای مدیریت عملیات TCP/IP در سخت افزار به جای نرم افزار روی سرور به طور معمول طراحی شده است. این امر سرعت تمام عملیات را تا حد زیادی افزایش می‌دهد.

مزیت اصلی iSCSI هزینه کمتر و استفاده از سیم کشی LAN یا اینترنت موجود است. نقطه ضعف اصلی این است که چنین سیستم‌هایی در معرض خطر هک، ویروس‌ها و سایر مشکلات امنیتی از این قبیل هستند. با استفاده از نرم‌افزارهای امنیتی و روش‌های رمزگذاری داده‌ها می‌توان از این موضوع مراقبت کرد، اما این روش‌ها هزینه را افزایش می‌دهند و تمام عملیات انتقال داده را تا حد زیادی گند می‌کنند.

## ۴.۱۵ امنیت اینترنت

یکی از مهمترین جنبه‌های اینترنت امنیت داده‌های در حال انتقال است. امنیت به محافظت از داده‌ها در برابر رهگیری و محافظت از طرفهای ارسال کننده و دریافت کننده در برابر تهدیدات ناخواسته

مانند ویروس‌ها و هرزنامه‌ها<sup>۷۹</sup> اشاره دارد. و به معنای حفاظت از تجهیزات و نرم افزارهای مورد استفاده در شبکه‌ها است. اینترنت یا هر کامپیوتر متصل به شبکه در معرض تهدید هکرها قرار دارد، افرادی که عمداً سعی می‌کنند داده‌ها را بذند یا به سیستم‌ها و نرم‌افزارهای کامپیوتر آسیب بزنند.

قبل از اینترنت، امنیت کامپیوتر در درجه اول به انتقال داده‌های حساس دولتی و نظامی محدود می‌شد. برخی از شرکت‌های بزرگ نیز از تدبیر امنیتی برای انتقال داده‌های حیاتی استفاده کردند. امروزه اینترنت همه کاربران و سازمان‌ها را مجبور کرده است تا برای محافظت از کامپیوتر و داده‌های خود از تدبیر امنیتی استفاده کنند. اینترنت توسعه در اقدامات امنیتی را بسیار گسترش داد. سیستم‌های بی‌سیم نیز در برابر حملات هکرها بسیار آسیب‌پذیر هستند، زیرا امواج رادیویی به راحتی توسط هر کسی که گیرنده مناسبی دارد، دریافت و استفاده می‌شود. در طول سال‌های گذشته، امنیت برای سیستم‌های بی‌سیم توسعه یافته و به طور گستردگی گسترش یافته است. اکثر اقدامات امنیتی در نرم افزار پیاده سازی می‌شوند. برخی از تکنیک‌های امنیتی را می‌توان در سخت افزار مانند تراشه‌های رمزگذاری داده‌ها نیز پیاده سازی کرد.

### أنواع تهديدات امنيتي

raig ترین شکل تهدید، توانایی یک هکر برای پیوند دادن به یک شبکه موجود و خواندن داده‌های در حال انتقال است. برخی از انواع اتصالات امکان دسترسی به فایل‌های دیسک، خواندن فایل‌های ایمیل، تغییر داده‌ها و افزودن داده‌های ناخواسته جدید را فراهم می‌کنند. تعداد زیادی روش خاص وجود دارد که از طریق آنها می‌توان داده‌ها را خواند، به سرقت برد، به خطر انداخت یا خراب کرد. سایر اشکالraig تهدیدات امنیتی در زیر توضیح داده است.

**ویروسها :** ویروس یک برنامه کوچک است که برای اجرای برخی اقدامات شرورانه در کامپیوتر طراحی شده است. یک ویروس معمولاً همراه با برخی از اطلاعات یا برنامه‌های دیگر سوار می‌شود تا به طور مخفیانه در هارد دیسک یا رم کامپیوتر وارد شود. سپس برنامه ویروس توسط پردازنده اجرا می‌شود تا آسیب خود را جبران کند. هر تعداد ویروس در طول سال‌ها ایجاد شده و از طریق ایمیل به کامپیوترهای ناآگاه منتقل شده است. گاهی اوقات ویروس‌ها از طریق اسب تروا<sup>۸۰</sup> وارد می‌شوند، برنامه‌ای به‌ظاهر مفید و بی‌گناه که ویروس را پنهان می‌کند. ویروس‌ها معمولاً با سیستم عامل تداخل می‌کنند و باعث می‌شوند که کارهای ناخواسته انجام دهد یا عملکردهای خاصی را انجام ندهد. ویروس‌ها می‌توانند برنامه‌های اجرایی کامپیوتر، فهرست فایل‌ها، خود فایل‌های داده و برنامه‌های بوت را تحت تأثیر قرار دهند. علاوه بر غیرقابل استفاده کردن کامپیوتر، یک ویروس می‌تواند فایل‌ها را پاک یا خراب کند، باعث ارسال ایمیل‌های ناشناخته شود یا اقدامات مخرب دیگری انجام دهد. مانند یک ویروس واقعی، ویروس‌های کامپیوتري به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که خود را در کامپیوتر پخش کنند یا از طریق ایمیل به‌دیگران منتقل شوند. این ویروس‌ها کرم نامیده می‌شوند زیرا به طور خود کار کپی شده و خود را از شبکه‌ای به شبکه و کامپیوتري به کامپیوتري دیگر منتقل می‌کنند.

**هرزنامه‌ها :** یک تهدید جدیدتر، اگرچه واقعاً آسیب رسان نیست، تبلیغات و درخواست‌های ناخواسته از طریق ایمیل به‌نام هرزنامه<sup>۸۱</sup> است. هرزنامه سیستم ایمیل را با مقادیر زیادی از داده‌های ناخواسته مسدود می‌کند و از زمان انتقال و پهنه‌ای باند استفاده می‌کند که می‌تواند به روشی سازنده‌تر استفاده شود. هرزنامه غیرقانونی نیست، اما شما باید هرزنامه را خودتان حذف کنید و در نتیجه از زمان

<sup>۷۹</sup>Spam

<sup>۸۰</sup>Trojan horse

<sup>۸۱</sup>Spam

ارزشمند خود استفاده کنید، نه اینکه از فضای حافظه در سیستم ایمیل خود استفاده کنید.

**نرم افزارهای جاسوسی** : نرم افزار جاسوسی نوعی نرم افزار است که کامپیوتر و کاربر آن را در حین دسترسی به اینترنت یا ایمیل زیر نظر دارد. سپس داده‌هایی را در مورد نحوه استفاده آن کاربر از اینترنت مانند دسترسی به وب سایت اینترنتی، خرید و غیره جمع آوری می‌کند. از این اطلاعات برای ارسال تبلیغات ناخواسته و هرزname استفاده می‌کند. برخی از نمونه‌هایی از اقدامات خطرناک عبارتند از: گرفتن شماره کارت اعتباری، تحويل تبلیغات بالا آمده (پاپ آپ) ناخواسته، و ضبط فعالیت‌های مرور وب و انتقال به یک شخص یا شرکت برای استفاده در تبلیغات غیرمجاز.

**حملات انکار سرویس (DoS)** : این فرآیندی است که خطاهای موجود در پروتکل ارتباطی را منتقل می‌کند و باعث از کار افتادن یا قطع کردن کامپیوتر می‌شود. این نوع خرابکاری اطلاعات را سرفت نمی‌کند، اما از دسترسی کاربر به سیستم عامل، برنامه‌ها، فایل‌های داده، برنامه‌های کاربردی یا لینک‌های ارتباطی جلوگیری می‌کند. این ساده‌ترین شکل حمله است که هیچ هدف مفیدی جز آسیب رساندن به دیگران ندارد.

یک نوع خاص از حملات DoS بنام اسمرفینگ معروف است. حمله اسمرف<sup>۸۳</sup> معمولاً سرورهای ISP را با تعداد زیادی بسته بی‌ارزش غرق می‌کند و در نتیجه دیگر مشترکان ISP را از استفاده از سیستم باز می‌دارد. اسمرفینگ از تکنیکی به نام پینک‌زدن pinging استفاده می‌کند. پینگ عبارت است از انتقال یک درخواست از طریق پروتکل پیام کنترل اینترنت (ICMP) که بخشی از TCP/IP است تا ببیند آیا یک کامپیوتر خاص به اینترنت متصل و فعال است یا خیر. در پاسخ به پینگ، کامپیوتر پیغامی مبنی بر اتصال آن را تأیید می‌کند. هکرها آدرس خود ISP را به جای پیام برگشتی جایگزین می‌کنند تا به طور مکرر مخابره شود و در نتیجه سیستم را محدود می‌کند.

### تمهیدات امنیتی

برای محافظت از داده‌ها و جلوگیری از انواع هک‌های مخرب شرح داده شده، از نرم افزار یا سخت افزار خاصی استفاده می‌شود. در اینجا خلاصه‌ای از برخی از تکنیک‌های مورد استفاده برای ایمن سازی سیستم یا شبکه کامپیوتری آورده شده است.

**رمزگذاری و رمزگشایی** : رمزگذاری<sup>۸۴</sup> فرآیند پنهان کردن اطلاعات است به‌طوری که توسط شخص دیگر قابل خواندن نباشد. این شامل تبدیل یک پیام به‌شکل دیگری است که آن را برای خواننده بی‌فایده می‌کند. رمزگشایی<sup>۸۵</sup> فرآیند معکوس است که پیام رمزگذاری شده را به‌شکل قابل خواندن بر می‌گرداند.

رمزگذاری قرن‌ها توسط دولتها و ارتش، عمدتاً برای محافظت از مواد حساس در برابر دشمنان مورد استفاده قرار گرفته است. امروزه همچنان توسط دولت و ارتش و همچنین شرکت‌ها و افراد به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا آنها در تلاش برای محافظت از اطلاعات خصوصی خود هستند. اینترنت رمزگذاری را مهم‌تر از همیشه کرده است زیرا افراد و سازمان‌ها اطلاعاتی را برای یکدیگر ارسال می‌کنند. به عنوان مثال، رمزگذاری تضمین می‌کند که شماره کارت اعتباری مشتری در معاملات تجارت الکترونیک (خرید اقلام از طریق اینترنت) محافظت می‌شود. نمونه‌های دیگر،

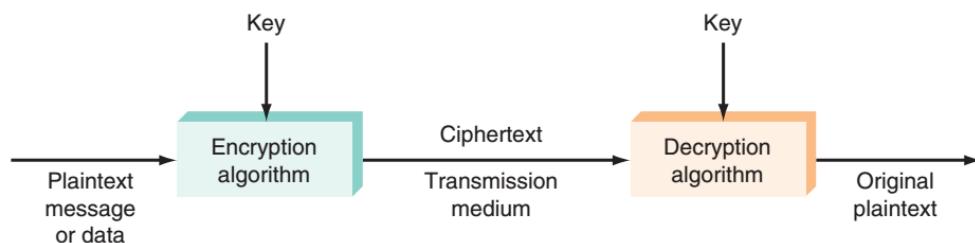
<sup>۸۳</sup>Denial-of-Service (DoS)

<sup>۸۴</sup>Smurf

<sup>۸۵</sup>Encryption

<sup>۸۶</sup>Decryption

دسترسی‌های دستگاه باجه خودکار<sup>۱۶</sup> (ATM) و ارسال اطلاعات مالی خصوصی است. حتی صدای دیجیتالی شده در شبکه تلفن همراه را می‌توان با رمزگذاری محافظت کرد.



شکل ۱۶.۱۵: فرآیند اصلی رمزگذاری/رمزگشایی

شکل (۱۶.۱۵) فرآیند رمزگذاری اساسی را نشان می‌دهد. اطلاعات یا پیامی که قرار است منتقل شود، متن ساده نامیده می‌شود. در فرم باینری، متن ساده با استفاده از برخی از الگوریتم‌های کامپیوتری از پیش تعیین شده رمزگذاری می‌شود. خروجی الگوریتم متن رمز نامیده می‌شود. متن رمزی کد مخفی است که منتقل می‌شود. در انتهای دریافت، الگوریتم معکوس بر روی متن رمزی انجام می‌شود تا متن اصلی اصلی تولید شود.

اکثر فرآیندهای رمزگذاری متن ساده را با یک عدد باینری دیگر به نام کلید مخفی ترکیب می‌کنند. کلید به عنوان بخشی از فرآیند محاسبات الگوریتمی استفاده می‌شود. برای برگرداندن متن رمز شده به متن ساده، کامپیوتر گیرنده باید کلید مخفی را نیز بداند. قدرت رمزگذاری (به این معنی که داده‌ها تا چه حد از تلاش‌های عمده برای رمزگشایی توسط نیروی محاسباتی بی‌رحم این‌ها هستند) با تعداد بیت‌های موجود در کلید تعیین می‌شود. هرچه تعداد بیت‌ها بیشتر باشد، کشف کلید دشوارتر است.

دو نوع اساسی رمزگذاری وجود دارد: رمزگذاری کلید مخفی<sup>۱۷</sup> (SKE) که رمزگذاری کلید خصوصی نیز نامیده می‌شود و رمزگذاری کلید عمومی<sup>۱۸</sup> (PKE). گفته می‌شود SKE متقاضان است زیرا هر دو طرف فرستنده و گیرنده باید کلید یکسانی داشته باشند. مشکل این روش در اشتراک گذاری کلید است. چگونه کلید مخفی را به شیوه‌ای امن منتقل یا توزیع می‌کنید؟ این مشکل منجر به توسعه PKE شد.

رمزگذاری کلید عمومی (PKE) به عنوان رمزگذاری نامتقارن شناخته می‌شود. در فرآیند رمزگذاری از دو کلید، یک کلید عمومی و یک کلید خصوصی استفاده می‌کند. کلید عمومی را می‌توان به طور آشکار در عموم به اشتراک گذاشت. در واقع کلید عمومی توسط گیرنده برای طرف فرستنده ارسال می‌شود و در فرآیند رمزگذاری استفاده می‌شود. یک کلید مخفی نیز در فرآیند رمزگشایی مورد نیاز است. روش اصلی PKE از دو عامل یک عدد اول بزرگ برای کلیدهای عمومی و خصوصی استفاده می‌کرد. امروزه از روش‌های دیگری استفاده می‌شود.

به معنای واقعی کلمه ده‌ها نوع مختلف روش رمزگذاری وجود دارد. دو مورد از رایج‌ترین SKE‌ها

<sup>۱۶</sup>Automated Teller Machine (ATM)

<sup>۱۷</sup>Secret Key Encryption (SKE)

<sup>۱۸</sup>Public Key Encryption (PKE)

استاندارد رمزگذاری داده‌ها<sup>۸۹</sup> (DES) و استاندارد رمزگذاری پیشرفته<sup>۹۰</sup> (AES) هستند که توسط موسسه ملی استانداردها و فناوری (NIST) برای دولت ایالات متحده توسعه یافته است. DES از یک کلید ۵۶ بیتی برای رمزگذاری استفاده می‌کند. کلید در واقع ۶۴ بیت یا ۸ بایت است که یک بیت از هر بایت یک بیت برابری است. هشت بایت ۷ بیتی باقیمانده کلید را تشکیل می‌دهند. متن ساده در بلوک‌های ۶۴ بیتی کدگذاری یا رمزگذاری شده است.

مشخص شد که DES به اندازه کافی ایمن نیست، زیرا کلید را می‌توان در واقع توسط یک کامپیوتر بسیار سریع و به سادگی با آزمایش تمام ترکیبات کلیدی مرتبط کشف کرد. این منجر به توسعه ۳DES (تلفظ سه‌دز) شد، که متن ساده را از طریق سه رمزگذاری متوالی DES جداگانه قرار می‌دهد و یک کد عملاً نشکن ایجاد می‌کند.

الگوریتم AES توسط NIST برای جایگزینی DES با روشهی که برای استفاده از شبکه و سخت افزار و همچنین پیاده سازی نرم افزار مناسب‌تر است، توسعه داده شد. رمز به دست آمده با نام الگوریتم Rijndael شناخته می‌شود که به نام یکی از سازندگان آن نامگذاری شده است. از کلیدهای ۱۹۲، ۱۲۸ یا ۲۵۶ بیتی استفاده می‌کند که باعث می‌شود بسیار امن و اساساً شکستن آن غیرممکن باشد.

روش‌های کلید خصوصی متعددی وجود دارد. یکی دیگر از مواردی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد (RC4) #4 Rivest Cipher در موسسه فناوری ماساچوست توسعه یافته است. طول کلید می‌تواند از حدود ۴۰ تا ۱۲۸ بیت متغیر باشد.

مفهوم اصلی رمزگذاری کلید عمومی به عنوان مبادله کلید Diffie-Hellman شناخته می‌شود که به نام مخترعان آن Whitfield Diffie و Martin Hellman نامگذاری شده است. الگوریتم Diffie-Hellman از تولید اعداد تصادفی و لگاریتم برای ایجاد کلیدها استفاده می‌کند. یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده، روش RSA است که توسط Rivest، Shamir و Adleman توسعه یافته است. از اعداد اول بزرگ برای تولید کلیدهای ۵۱۲، ۱۰۲۴ یا ۲۰۴۸ بیتی برای اطمینان از حداکثر حفاظت استفاده می‌کند.

یک الگوریتم جدیدتر PKE، سیستم رمزنگاری منحنی بیضوی<sup>۹۱</sup> (ECC) است. مزیت اصلی آن این است که از یک کلید ۱۶۰ بیتی کوچکتر استفاده می‌کند که حفاظتی معادل یک کلید RSA ۱۰۲۴ بیتی را فراهم می‌کند، اما محاسبات به طور قابل توجهی سریعتر است. کلیدهای بزرگ باعث امنیت بیشتر آن می‌شوند.

در اینجا یک دنباله قدم به قدم برای نشان دادن نحوه استفاده از PKE وجود دارد.

۱. دو طرف X و Y مایل به ارتباط هستند. طرف X اطلاعات را به Y منتقل می‌کند.

۲. هر دو X و Y دارای نرم افزار رمزگذاری هستند که کلیدهای عمومی و خصوصی را تولید می‌کند.

۳. طرف دریافت کننده Y ابتدا کلید عمومی را به X ارسال می‌کند. این کار را می‌توان با استفاده از روش‌های غیر ایمن یا رمزگذاری نشده انجام داد.

۴. سپس طرف فرستنده X از کلید عمومی برای رمزگذاری پیامی که به Y ارسال می‌شود استفاده می‌کند.

<sup>۸۹</sup>Data Encryption Standard (DES)

<sup>۹۰</sup>Advanced Encryption Standard (AES)

<sup>۹۱</sup>Elliptic Curve Cryptosystem (ECC)

۵. سپس Z پیام را با اعمال کلید خصوصی که با کلید عمومی مطابقت دارد رمزگشایی می‌کند.

حتی اگر یک پیام با هر روشی رمزگذاری شده است، هیچ راهی برای اطمینان از دریافت آن بدون تغییر وجود ندارد. می‌توان آن را در حین انتقال بهدلیل نوعی رهگیری و حمله تغییر داد یا فقط با سر و صدا مختلف شد. برای جلوگیری از این مشکل، روش‌هایی برای اطمینان از یکپارچگی داده‌ها ایجاد شده است. به‌این روش‌ها توابع هش<sup>۹۲</sup> می‌گویند. توابع هش نوعی رمزگذاری یک طرفه هستند. آنها به‌شما اجازه می‌دهند تعیین کنید که آیا پیام اصلی در حین انتقال به‌هر طریقی تغییر کرده است یا خیر.

کاری که یک تابع یا الگوریتم هش انجام می‌دهد این است که متن ساده با هر طولی را به‌یک عدد دودویی با طول ثابت فشرده می‌کند. فرآیند هش ممکن است مانند یک چکسوم باشد که در آن بایت‌های پیام اضافه یا XOR می‌شوند تا یک بایت یا کلمه طولانی‌تر ایجاد شود. تولید CRC نمونه مشابه دیگری است. توابع هش مدرن برای امنیت بیشتر پیچیده‌تر هستند. تابع هش متن ساده با طول دلخواه را می‌گیرد و آن را به‌بلوک‌های با طول ثابت نگاشت می‌کند. الگوریتم بر روی بلوک‌های داده انجام می‌شود. نتیجه خلاصه‌ای از پیام است. دو تابع هش که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند Secure Hash Message Digest 5 (MD5) هستند که یک مقدار هش ۱۲۸ بیتی تولید می‌کند و Algorithm-1 (SHA-1) که یک مقدار هش ۱۶۰ بیتی ایجاد می‌کند. SHA-1 به‌طور کلی امن‌تر است، اما هر دو تقریباً در همه نرم افزارهای امنیتی موجود هستند. SHA-2 جدیدتر امنیت را بیشتر می‌کند.

**احراز هویت:** احراز هویت فرآیند تأیید اینکه شما همان کسی هستید که می‌گویید هستید. این راهی است که شما یا شخصی که با او در ارتباط هستید واقعاً می‌توانید هویت واقعی خود را تأیید کنید. احراز هویت تضمین می‌کند که طرفهای ارسال کننده و گیرنده واقعاً همان چیزی هستند که می‌گویند هستند و هویت آنها به‌سرقت رفته یا شبیه‌سازی نشده است. احراز هویت دیجیتالی به کاربران کامپیوتر این امکان را می‌دهد که با اطمینان به‌اینترنت، سایر شبکه‌ها، کامپیوتراها، نرم افزارها یا منابع دیگر مانند حساب‌های بانکی دسترسی داشته باشند، در صورتی که بتوانند هویت خود را تأیید کنند. احراز هویت به‌طور گسترده‌ای در بیشتر تراکنش‌های اینترنتی مانند تجارت الکترونیک استفاده می‌شود زیرا راهی برای کنترل دسترسی، دور نگه داشتن کاربران غیرمجاز و پیگیری افرادی که از منابع استفاده می‌کنند را فراهم می‌کند.

raig ترین روش‌های احراز هویت استفاده از رمز عبور یا شماره شناسایی شخصی (PIN) است. کارت شناسایی کد شده راه دیگری است. اخیراً، روش‌های بیومتریک شناسایی به‌عنوان تشدید امنیت با تراکنش‌های بیشتر و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از روش‌های متداول شناسه بیومتریک عبارتند از اسکن اثر انگشت، اسکن شبکه چشم، اثر صوتی یا تشخیص چهره ویدیویی. گفروژه‌ها و پین‌ها اغلب قبل از ارسال رمزگذاری می‌شوند تا دزدیده نشوند. این کار با روش رمزگذاری یک طرفه معروف به‌هش کردن انجام می‌شود. هنگامی که رمز عبور خود را وارد می‌کنید، یک الگوریتم هش آن را رمزگذاری می‌کند و آن را به کامپیوتر مجاز ارسال و آن را رمزگشایی کرده و سپس آن را با رمز عبوری که در ابتدا ایجاد کرداید مقایسه می‌کند. روند را نمی‌توان معکوس کرد و بنابراین امن است.

raig ترین فرآیند احراز هویت در ارتباطات شبکه استفاده از گواهی‌های دیجیتالی است. این روش

<sup>۹۲</sup>Hash Functions

که به عنوان احراز هویت مبتنی بر گواهی نیز شناخته می‌شود، از هش و رمزگذاری کلید عمومی برای تأیید هویت در تراکنش‌های مختلف استفاده می‌کند. گواهی دیجیتالی پیام یا سندی است که توسط یک کامپیوتر ایجاد شده و توسط یک مقام قابل اعتماد یا شخص ثالث "امضا" شده است. چندین شرکت برای ارائه کلیدهای عمومی و خصوصی برای این منظور تأسیس شده‌اند. این سازمان‌ها که به عنوان مرجع صدور گواهینامه (CA) شناخته می‌شوند، کلیدهای عمومی را برای آن افراد یا سازمان‌ها صادر می‌کنند و هویت آنها را تضمین می‌کنند. امضا دیجیتالی شخص یا شرکت را به آن کلید عمومی متصل می‌کند.

در اینجا روند کلی برای ایجاد یک امضا دیجیتالی است.

۱. پیامی که قرار است ارسال شود ابتدا از طریق فرآیند هش برای تولید خلاصه قرار می‌گیرد.
۲. سپس خلاصه با استفاده از کلید خصوصی فرستنده رمزگذاری می‌شود. هش رمزگذاری شده امضا است.
۳. آن امضا به عنوان یک سرصفحه (یا تریلر) به پیامی که قرار است ارسال شود اضافه شده و ترکیب منتقل می‌شود.
۴. در انتهای دریافت، امضا با استفاده از کلید عمومی فرستنده رمزگشایی می‌شود. نتیجه هش اصلی پیام است.
۵. سپس خود پیام از طریق همان تابع هش قرار می‌گیرد. هش رمزگشایی شده و هش دوباره ایجاد شده با هم مقایسه می‌شوند. اگر این دو یکسان باشند، احراز هویت تضمین می‌شود.

**لایه سوکت امن (SSL)** : فرآیندهای رمزگذاری از میان احراز هویت با هم برای اطمینان از تراکنش‌های امن در اینترنت استفاده می‌شوند. همه این فرآیندها در یک پروتکل بهنام لایه سوکت امن<sup>۹۳</sup> (SSL) ترکیب می‌شوند. فرآیند حاصل، تبادل اطلاعات خصوصی مانند شماره کارت اعتباری را ایمن و امن می‌کند. بدون چنین سیستمی، استفاده از اینترنت محدودتر خواهد بود. تجارت الکترونیکی به سادگی بدون حفاظت SSL وجود نخواهد داشت. SSL یا نسخه پیشرفته‌تر به نام SSL امنیت لایه حمل و نقل<sup>۹۴</sup> (TLS) معمولاً در لایه‌های ۵، ۶ یا ۷ مدل OSI قرار دارد. پروتکل TLS در نرم افزار مرورگر مانند (IE) Microsoft Internet Explorer یا Netscape پیاده سازی می‌شود. از رمزگذاری کلید عمومی و کلید خصوصی و احراز هویت از طریق هش استفاده می‌کند.

SSL در ابتداء توسعه داده شد که مرورگر را اختراع کرد. برای نشان دادن نحوه استفاده از تمام این تکنیک‌ها، در اینجا یک نمونه از یک معامله تجارت الکترونیکی آورده شده است. این تراکنش از طریق نرم‌افزار مرورگر انجام می‌شود، زیرا شخصی که مشتری X می‌نامیم، از طریق اینترنت به سرور Y طراحی شده توسط وبسایت مورد نظر دسترسی پیدا می‌کند.

۱. سرور X کلید عمومی خود را به مشتری X ارسال می‌کند. همانطور که قبلًا توضیح داده شد توسط یک امضا دیجیتالی امضا می‌شود.

<sup>۹۳</sup>Secure Socket Layer (SSL)

<sup>۹۴</sup>Transport Layer Security (TLS)

۲. سپس مشتری یک کلید مخفی تولید می‌کند.
۳. مشتری X از کلید عمومی برای رمزگذاری کلید مخفی استفاده می‌کند که به سرور Y ارسال می‌شود.
۴. مشتری X پیام را با استفاده از روش‌های رمزگذاری کلید خصوصی رمزگذاری و پیام را به سرور Y ارسال می‌کند.
۵. سرور Y کلید خصوصی را که قبلاً ارسال شده بود رمزگشایی و سپس از آن برای رمزگشایی پیام استفاده می‌کند.
۶. هش و امضا دیجیتالی در طول فرآیند برای اطمینان از هویت استفاده می‌شود.

فرآیندهای رمزگذاری، رمزگشایی و احراز هویت از نظر محاسباتی شدید هستند. حتی با کامپیوترهای بسیار پر سرعت، اجرای الگوریتم‌های رمزگذاری، رمزگشایی و هش زمان قابل توجهی را می‌طلبد. به عنوان مثال، هر چه کلید طولانی‌تر باشد، زمان محاسبه طولانی‌تر است. این به زمان انتقال از طریق اینترنت می‌افزاید. نتیجه می‌تواند یک تاخیر قابل توجه باشد. این بهایی است که برای انتقال امن باید پرداخت شود. از آنجایی که بیشتر این فرآیندها نرم افزاری هستند، استفاده از کامپیوتر سریعتر باعث سرعت بخشیدن به فرآیند می‌شود. در سیستم‌های جدیدتر، از سخت‌افزار برای سرعت بخشیدن به فرآیند استفاده می‌شود. اکثر الگوریتم‌های امنیتی را می‌توان در سخت افزار پیاده سازی کرد. این سخت افزار می‌تواند پردازندۀ‌های ویژه یا تراشه‌های منطقی باشد که به‌این هدف اختصاص داده شده‌اند. همه به‌طور قابل توجهی تدبیر امنیتی را سرعت می‌بخشند.

**دیوارهای آتش** : فایروال (دیوارهای آتش<sup>۹۵</sup>) قطعه‌ای از نرم‌افزار است که انتقال‌ها را در شبکه نظارت می‌کند و اطلاعات دریافتی را بررسی می‌کند تا ببیند آیا با مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های تعیین شده توسط نرم‌افزار یا سازمان یا شخص صاحب شبکه مطابقت دارد یا خیر. فایروال جریان ترافیک از اینترنت به LAN یا PC یا بین شبکه‌های LAN یا شبکه‌های دیگر را کنترل می‌کند.

raig ترین نوع فایروال در لایه شبکه در مدل OSI عمل می‌کند. بسته‌های TCP/IP را بررسی می‌کند و به عنوان یک فیلتر برای مسدود کردن دسترسی از ورودی‌هایی که با مجموعه‌ای از قوانین تنظیم شده در فایروال مطابقت ندارند، عمل می‌کند. فایروال بسته‌ها را برای منابع یا مقصد های IP خاص، ویژگی‌های بسته<sup>۹۶</sup>، نام حوزه<sup>۹۷</sup> یا عوامل دیگر نمایش می‌دهد. فایروال‌ها اولین خط دفاعی در برابر نفوذ منابع ناخواسته هستند. امروزه هر کامپیوتری که به‌اینترنت متصل است باید فایروال داشته باشد. اینها به عنوان یک برنامه نرم‌افزار بارگذاری شده در کامپیوتر شخصی موجود هستند که طبق دستورالعمل‌های تنظیم شده توسط سازنده نرم‌افزار نمایش داده می‌شوند. برخی از سیستم عامل‌ها مانند ویندوز مایکروسافت اکنون دارای فایروال داخلی هستند. فایروال‌های پیچیده‌تری برای شبکه‌های محلی و شبکه‌های دیگر در دسترس هستند. اینها معمولاً می‌توانند توسط مدیر شبکه پیکربندی شوند تا در صورت نیاز سازمان، قوانین خاصی را فیلتر کنند.

**نرم افزار ضد ویروس، ضد هرزنامه و نرم افزار ضد جاسوسی** : برنامه‌های تجاری برای نصب بر روی کامپیوتر برای یافتن و حذف این مشکلات امنیتی طراحی شده‌اند. برنامه‌های آنتی ویروس و

<sup>۹۵</sup>Firewall

<sup>۹۶</sup>Packet attributes

<sup>۹۷</sup>Domain name

آنچه جاسوس افزار تمام فایل‌های روی هارد دیسک را به صورت خودکار یا با دستور اسکن می‌کند تا به دنبال ویروس باشند. نرم افزار آنتی ویروس به دنبال الگوی کد منحصر به فرد برای هر ویروس می‌گردد و هنگامی که شناسایی شد، نرم افزار می‌تواند ویروس را حذف کند یا در برخی موارد فایل آلوده را قرنطینه و ایزوله کند تا آسیبی به آن وارد نشود. نرم افزار ضد جاسوسی با اسکن همه فایل‌ها، جستجوی الگوهایی که یک برنامه نرم افزار جاسوس را مشخص می‌کند، به همین شکل عمل می‌کند. سپس برنامه را حذف می‌کند.

نرم افزار آنتی اسپم معمولاً برای نظارت بر ترافیک ایمیل‌های دریافتی و جستجوی سرنخ‌هایی برای مشروع بودن یا هرزنامه بودن آن تنظیم می‌شود. سپس اسپم را از صندوق ورودی ایمیل مسدود می‌کند و آن را در یک فایل ایمیل انبوه خاص قرار می‌دهد. شما هرگز هرزنامه را نخواهید دید مگر اینکه سیستم ایمیل شما به شما اجازه دهد در یک فایل انبوه خاص که معمولاً توسط ارائه دهنده ایمیل ارائه می‌شود نگاه کنید. نرم افزار آنتی اسپم کامل نیست و به دلیل قوانینی که برای مسدود کردن هرزنامه‌ها دارد، می‌تواند بر ایمیل مورد نظر نیز تأثیر بگذارد. شایان ذکر است که گاهی اوقات فایل‌های انبوه را بررسی کنید تا مطمئن شوید که ایمیل‌های قانونی در حال ارسال هستند. اکثر برنامه‌های ضد هرزنامه به شما این امکان را می‌دهند که قوانین فیلتر را تغییر دهید تا اطمینان حاصل کنید که در حالی که هرزنامه واقعی رد می‌شود، همه نامه‌های مورد نظر را دریافت می‌کنید.

**شبکه خصوصی مجازی (VPN)<sup>۹۸</sup>** : یکی از راه‌های دستیابی به امنیت در شبکه محلی استفاده از اقدامات نرم افزاری برای مسدود کردن بخش‌های شبکه یا ایجاد یک زیرشبکه با استفاده از نرم افزار برای اختصاص دسترسی فقط به کاربران مجاز است. به این LAN مجازی یا VLAN گفته می‌شود. هنگامی که دو شبکه محلی راه دور را با استفاده از یک خط اجاره‌ای وصل می‌کنند، می‌توان امنیت را نیز به دست آورد. خط اجاره، مانند اتصال T1 یا T3، کاملاً به اتصال بین شبکه‌های محلی اختصاص داده شده است. هیچ کس دیگری دسترسی ندارد. در حالی که این به خوبی کار می‌کند، بسیار گران است. یک جایگزین محبوب ایجاد یک اتصال امن از طریق اینترنت با استفاده از یک شبکه خصوصی مجازی (VPN) است. در یک VPN، داده‌هایی که قرار است منتقل شوند، رمزگذاری می‌شوند، در یک بسته خاص کپسوله می‌شوند و سپس از طریق اینترنت ارسال می‌شوند.

شبکه‌های خصوصی مجازی از یکی از دو پروتکل ویژه برای فرآیند کپسوله سازی و رمزگذاری استفاده می‌کنند. یکی از اینها IPsec (امنیت پروتکل اینترنت) است، پروتکلی که توسط گروه وظیفه مهندسی اینترنت ایجاد و پشتیبانی می‌شود. IPsec داده‌ها را همراه با هدر TCP رمزگذاری می‌کند و سپس هدر دیگری را اضافه می‌کند که نوع رمزگذاری استفاده شده به اضافه یک تریلر حاوی احراز هویت را مشخص می‌کند. یک هدر IP برای تشکیل دیتاگرام یا بسته‌ای که قرار است ارسال شود اضافه می‌شود.

در مرحله بعد، این دیتاگرام رمزگذاری شده و در یک دیتاگرام IP اضافی کپسوله می‌شود که آن نیز رمزگذاری شده است. بسته ترکیبی منتقل می‌شود. این فرآیند به عنوان تونل زنی شناخته می‌شود. بسته حاوی پیام رمزگذاری شده است، که بهنوبه خود در یک بسته IP دوم پیچیده شده و دوباره رمزگذاری می‌شود. این در واقع یک تونل امن را از طریق اینترنت نامن تشکیل می‌دهد. روترهای انتهای ارسال و دریافت VPN همه آدرس‌های مبدأ و مقصد را برای تحويل مناسب داده‌ها مرتب می‌کنند.

در حالی که IPsec به طور گسترده برای VPN‌ها استفاده می‌شود، به تدریج با SSL جایگزین

<sup>۹۸</sup>Virtual Private Network (VPN)

می‌شود که همچنین یک استاندارد IETF است. هر دو SSL و IPsec معمولاً در نرم‌افزار پیاده‌سازی می‌شوند، اما نسخه‌های سخت‌افزاری موجود است که سرعت تراکنش‌ها را بسیار افزایش می‌دهد.

**امنیت بی‌سیم:** امنیت در سیستم‌های بی‌سیم مهم است زیرا گرفتن سیگنال رادیویی حاوی اطلاعات مهم نسبتاً آسان است. یک آنتن جهت دار و گیرنده حساس طراحی شده برای سرویس بی‌سیم خاص، مانند یک شبکه محلی بی‌سیم و یک کامپیوتر، تمام چیزی است که شما نیاز دارید. داده‌های بی‌سیم را می‌توان با رمزگذاری محافظت کرد و تعدادی روش خاص به‌ویژه برای سیستم‌های بی‌سیم توسعه داده شده است. اینها بعداً در فصل‌های بی‌سیم، فصل‌ها بیست و بیست و یکم مورد بحث قرار می‌گیرند. امنیت اینترنت موضوعی بسیار گسترده و پیچیده است که از حوصله این فصل خارج است. این یکی از حیاتی‌ترین و سریع‌ترین بخش‌های صنعت شبکه است.

### سؤالات:

۱. برنامه‌های کاربردی رایج اینترنت را فهرست کنید.
۲. در آدرس اینترنتی www.qxrj.net نوع حوزه و میزبان چیست؟
۳. کدام نماد یا کاراکتر نشان دهنده یک آدرس ایمیل است؟
۴. سه راه متداول که افراد از خانه به اینترنت دسترسی دارند را نام ببرید.
۵. به شرکتی که به مشترکین اتصال اینترنتی می‌دهد چه می‌گویید؟
۶. برای دسترسی به شبکه جهانی وب به چه نرم افزاری نیاز است؟
۷. چه فناوری شبکه‌ای به تدریج جایگزین ATM و SONET در ستون فقرات می‌شود؟
۸. اندازه بسته مورد استفاده در سیستم‌های خودپرداز چقدر است؟
۹. در انتقال بسته‌های خودپرداز از چه تجهیزاتی استفاده می‌شود؟
۱۰. مزایای اصلی OTN نسبت به SONET چیست؟
۱۱. چه تopolوژی‌های شبکه با SONET مشترک است؟
۱۲. نامگذاری و سرعت سریع‌ترین اتصال SONET چیست؟
۱۳. تجهیزات مورد استفاده برای دریافت داده‌ها به داخل و خارج از سیستم SONET را نام ببرید.
۱۴. تعداد کل بایت‌ها یا اکتت‌ها در یک فریم SONET چقدر است؟
۱۵. درست یا غلط؟ SONET می‌تواند برای حمل داده‌های بسته بندی شده استفاده شود.
۱۶. سریع‌ترین نرخ داده OTN فعلی چیست؟
۱۷. حداکثر بار یک قاب OTN چقدر است؟
۱۸. چه FEC در OTN استفاده می‌شود؟

۱۹. روتر به طور خاص در حین انتقال بسته به دنبال چه چیزی می‌گردد؟
۲۰. چگونه روتر می‌داند که یک بسته را به کجا ارسال کند؟
۲۱. نام رابطه‌ای اصلی ورودی/خروجی مورد استفاده در روترهای چیست؟
۲۲. نام مداری که اجازه می‌دهد هر ورودی به هر خروجی روتر متصل شود چیست؟
۲۳. چرا نرخ خط یک بسته OTN از نرخ واقعی داده بیشتر است؟
۲۴. نام مدار مورد استفاده برای تبدیل سریال به موازی چیست؟
۲۵. نام شبکه فیبر نوری که اینترنت را تشکیل می‌دهد چیست؟
۲۶. از چه محیط‌ها و پروتکل‌های انتقال WAN در اینترنت استفاده می‌شود؟
۲۷. فرآیند سوئیچینگ بسته را توضیح دهید.
۲۸. نام تجهیزات مورد استفاده برای بازرسی هر بسته ارسال شده از طریق اینترنت چیست؟
۲۹. چه پروتکل نرم افزاری بسته‌ها را برای انتقال از طریق اینترنت آماده می‌کند؟
۳۰. کدام پروتکل نرم افزاری واقعاً بسته‌ها را منتقل می‌کند؟
۳۱. چه نرم افزاری اطمینان حاصل می‌کند که هر بسته‌ای که خارج از ترتیب ارسال می‌شود به درستی جمع می‌شود؟
۳۲. آیا واقعاً TCP در طول انتقال بسته از مبدأ به مقصد وارد بازی می‌شود؟ توضیح دهید.
۳۳. دو سرعت اصلی ستون فقرات اینترنت را نام ببرید.
۳۴. فرمت یک آدرس IP چه نامی داده می‌شود؟
۳۵. چند کلاس مختلف آدرس IP وجود دارد؟
۳۶. چه دستگاه‌ای با آدرس‌های IP در کلاس‌های A، B و C شناسایی می‌شوند؟
۳۷. در آدرس IP، 133.46.182.9 کلاس، شناسه شبکه و شناسه میزبان را شناسایی کنید.
۳۸. ماسک چیست؟
۳۹. چه فرآیند منطقی با ماسک و آدرس IP استفاده می‌شود؟
۴۰. زیر شبکه چیست؟
۴۱. دو نام برای خوشه‌های درایوهای دیسک که برای ذخیره سازی عظیم استفاده می‌شوند چیست؟
۴۲. نام درایوهای دیسک خارجی که از طریق SCSI به کامپیوتر شخصی یا سرور متصل می‌شوند چیست؟

۴۳. SCSI چیست؟ نام مستعار آن چیست؟
۴۴. دو نوع سیستم ذخیره سازی در مقیاس بزرگ را که به کامپیوترهای شخصی متصل شده‌اند نام ببرید. تفاوت اصلی آنها چیست؟
۴۵. در SAN، نام رابط و پروتکل مورد استفاده در اتصال سیستم‌های درایو دیسک به سرورها چیست؟
۴۶. محیط فیزیکی مورد استفاده در سیستم FC چیست؟
۴۷. سرعت‌های انتقال سیستم FC چقدر است؟
۴۸. رابط مورد استفاده برای اتصال سرور یا سیستم دیسک به SAN را نام ببرید.
۴۹. سرورها و سیستم‌های دیسک چگونه در SAN به یکدیگر متصل می‌شوند؟
۵۰. نام رابط SAN که به جای FC استفاده می‌شود چیست؟
۵۱. مزایا و معایب رابط SAN در سوال ۴۳ نسبت به FC چیست؟
۵۲. معمولاً چه پروتکل و محیطی با SCSI استفاده می‌شود؟
۵۳. چهار تهدید رایج امنیتی اینترنتی را فهرست کنید.
۵۴. نام ویروسی که خودش را تکثیر می‌کند چیست؟
۵۵. درست یا غلط؟ هرزنامه و نرم افزارهای جاسوسی غیرقانونی هستند.
۵۶. نرم افزارهای جاسوسی چیست؟
۵۷. چگونه می‌توان اسپیمهای جاسوس افزارها و ویروس‌ها را شناسایی و از شر آنها خلاص کرد؟
۵۸. دو نوع گسترده رمزگذاری و رمزگشایی را نام ببرید.
۵۹. نام‌های ورودی و خروجی یک الگوریتم رمزگذاری چیست؟
۶۰. کلید چیست؟
۶۱. مشکل اصلی رمزگذاری کلید مخفی چیست؟
۶۲. رمزگذاری کلید عمومی چگونه کار می‌کند؟
۶۳. چهار روش خاص رمزگذاری کلید مخفی را نام ببرید.
۶۴. دو روش خاص رمزگذاری کلید عمومی را نام ببرید.
۶۵. چه رویکردی برای قوی‌تر کردن رمزگذاری و مقاومت بیشتر در برابر تلاش‌های محاسباتی رحمنه brute-force برای شکستن آن استفاده می‌شود؟
- ۶۶.تابع هش چیست؟ دو نوع متدائل را نام ببرید.

۶۷. هدف از امضای دیجیتالی چیست؟

۶۸. برای احراز هویت و رمزگذاری در معاملات تجارت الکترونیک از چه پروتکلی استفاده می‌شود؟

۶۹. فایروال چیست؟

۷۰. نحوه عملکرد VPN را توضیح دهید.

۷۱. برای ایجاد VPN از چه دو پروتکل استفاده می‌شود؟

۷۲. درست یا غلط؟ رویه‌های امنیتی ممکن است در سخت افزار نیز اجرا شوند.

### مسائل:

۱. کوتاهترین زمان برای ارسال ۵۰ بسته ATM با سرعت ۲/۵ گیگابیت بر ثانیه چقدر است؟

۲. برای نمایش آدرس IPv4 124.76.190.38 چند بیت است؟

۳. آدرس IPv4 222.155.8.17 را به‌باینری و هگزادسیمال تبدیل کنید.

۴. AND منطقی عدد ۱۲۵ با ۱۲۸، ۱۵، ۰ و ۲۴۰ چیست. نتیجه را به صورت اعشاری بیان کنید.

۵. چند بیت و اکتت در آدرس 0123:2456:789A:BCDE:F987:6543:210A:EF75:IPv6 وجود دارد؟

### مسائل چالش برانگیز:

۱. در کجای دیگری می‌توان از کانال فیبر (Fiber Channel)، علاوه بر استفاده از آن در SAN، استفاده کرد؟

۲. در رمزگذاری کلید مخفی به چند کلید نیاز است؟ رمزگذاری کلید عمومی؟

۳. آیا RAID می‌تواند توسط کامپیوتر از طریق اینترنت قابل دسترسی باشد؟ توضیح دهید.

۴. راههایی برای جلوگیری از مشکلات امنیتی بی‌سیم بدون رمزگذاری پیشنهاد کنید.

## فصل ۱۶

# مايكروويو و ارتباطات ميلى مترى

همانطور که استفاده از ارتباطات الکترونیکی در طول سال‌ها افزایش یافته است، طیف فرکانسی که معمولاً برای سیگنال‌های رادیویی استفاده می‌شود بسیار شلوغ شده است. علاوه بر این، نیاز روزافزونی به فضای طیف بیشتر برای انتقال ویدئو با پهنه‌ای باند بیشتر و اطلاعات دیجیتالی سریعتر وجود داشته است. یکی از راه حل‌های اولیه برای این مشکل، انتقال بیشتر ارتباطات رادیویی در طیف بالاتر، به ویژه در محدوده امواج مايكروويو و ميلى مترى، محدوده ۱ تا ۳۰۰ گیگاهرتز بوده است.

در گذشته، به دلیل دشواری تولید، ارسال و دریافت سیگنال‌های مايكروويو، تنها کسانی که واقعاً به تجهیزات ویژه نیاز داشتند و توانایی تهیه آن را داشتند، از این بخش از طیف استفاده می‌کردند. امروزه، به لطف پیشرفت در فناوری نیمه‌هادی‌ها، امواج مايكروويو و امواج ميلى مترى امروزه به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این امر طیف مايكروويو را به روی انواع خدمات جدید باز کرده است که شامل شبکه‌های محلی بی‌سیم، تلفن‌های همراه و بی‌سیم، بی‌سیم کوتاه برد، پشتیبانی حمل و نقل بی‌سیم، رادیو ماهواره دیجیتالی و بی‌سیم باند عریض می‌شود. در این فصل، نگاهی به برخی از اجزا و تکنیک‌های مورد استفاده در رادیوهای مايكروويو مدرن می‌اندازیم.

### اهداف:

بعد از تکمیل این فصل، شما می‌توانید:

- دلایل رشد روزافزون استفاده از امواج مايكروويو و امواج ميليمترى در ارتباطات را توضیح دهید.
- بخش‌های باند امواج مايكروويو و ميلى مترى را شناسایی کنید.
- مدارهایی را که نیاز به استفاده از اجزای ویژه مايكروويو دارند شناسایی کنید.
- اصطلاح موجبر را تعریف کنید، نحوه عملکرد یک موجبر را توضیح دهید و فرکانس قطع یک موجبر را محاسبه کنید.
- هدف و عملکرد کوپلهای جهتی، سیرکولاتورها، ایزولاتورها، مقاطع T، محفظه‌های تشديد کننده و لامپ‌های خلاء مايكروويو را توضیح دهید.
- عملکرد انواع عمدۀ دیودهای مايكروويو را شرح دهید.

■ پنج نوع متدالو آنتن مایکروویو را نام ببرید و بهره و عرض پرتو آنتن‌های شیپوری و سهموی را محاسبه کنید.

■ مفاهیم اساسی و عملکرد رادار پالسی و داپلر را توضیح دهید.

## ۱.۱۶ مبانی مایکروویو

مایکروویوها فرکانس‌های فوق العاده، فوق العاده و فوق العاده بالا هستند که مستقیماً بالای محدوده‌های فرکانس پایین‌تر، جایی که اکثر ارتباطات رادیویی در حال حاضر و در زیر فرکانس‌های نوری که نور مادون قرمز، مرئی و فرابنفش را پوشش می‌دهند، انجام می‌شود. مزایای برجسته برای ارتباطات رادیویی این فرکانس‌های بسیار بالا و همراه با طول موج‌های کوتاه بیش از هر گونه مشکل مرتبط با استفاده از آنها را جبران می‌کند. امروزه اکثر خدمات و تجهیزات ارتباطی جدید از امواج مایکروویو یا باندهای میلیمتری استفاده می‌کنند.

### فرکانس‌ها و باندهای مایکروویو

منطقه عملی مایکروویو معمولاً از ۱ تا ۳۰ گیگاهرتز گسترش می‌یابد، اگرچه برخی از تعاریف فرکانس‌هایی تا ۳۰۰ گیگاهرتز را شامل می‌شوند. سیگنال‌های مایکروویو ۱ تا ۳۰ گیگاهرتز دارای طول موج ۳۰ سانتی‌متر (حدود یک فوت) تا ۱ سانتی‌متر (یا حدود ۰/۴ اینچ) هستند.

همانطور که در شکل (۱.۱۶) نشان داده شده است، طیف فرکانس مایکروویو به گروه‌هایی از فرکانس‌ها یا باندها تقسیم می‌شود. فرکانس‌های بالاتر از ۳۰ گیگاهرتز به عنوان امواج میلی‌متری شناخته می‌شوند زیرا طول موج آنها تنها میلی‌متر (میلی‌متر) است. توجه داشته باشید که قسمت‌هایی از باندهای L و S روی قسمتی از باند UHF که ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز است همپوشانی دارند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری نیمه‌هادی‌ها، مانند سیلیکون با هندسه کوچکتر و GaN، امواج میلی‌متری را کاربردی و مفید کرده است. فرکانس‌های بالای ۳۰۰ گیگاهرتز در باند زیر میلی‌متری هستند. در حال حاضر تنها ارتباط در محدوده‌های زیر میلی‌متری برای فعالیت‌های تحقیقاتی و تجربی است

### فواید مایکروویو

هر سیگنال الکترونیکی مورد استفاده در ارتباطات دارای پهنای باند محدودی است. هنگامی که سیگنال حامل توسط سیگنال اطلاعات مدوله می‌شود، باندهای جانبی تولید می‌شوند. سیگنال حاصل مقدار مشخصی از پهنای باند را که کanal نامیده می‌شود، در طیف فرکانس رادیویی (RF) اشغال می‌کند. فرکانس‌های مرکز کanal به گونه‌ای تخصیص داده می‌شوند که سیگنال‌هایی که از هر کanal استفاده می‌کنند با یکدیگر همپوشانی و با سیگنال‌های کanal‌های مجاور تداخل نداشته باشند. با افزایش تعداد سیگنال‌ها و کanal‌های ارتباطی، فضای طیف بیشتر و بیشتری مصرف می‌شود. در طول سال‌ها با افزایش نیاز به ارتباطات الکترونیکی، تعداد ایستگاه‌های ارتباط رادیویی به طور چشمگیری افزایش یافته است. در نتیجه، طیف رادیویی بهشدت شلوغ شده است.

استفاده از طیف فرکانس رادیویی توسط دولت فدرال تنظیم می‌شود. در ایالات متحده، این شغل به کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC) واگذار می‌شود. FCC کلاس‌های مختلفی از ارتباطات رادیویی را ایجاد و تخصیص فضای طیف را تنظیم می‌کند. به عنوان مثال، در پخش رادیو و تلویزیون، مناطق خاصی از طیف کنار گذاشته و تخصیص فرکانس به ایستگاه‌ها داده می‌شود. برای ارتباط رادیویی

<sup>۱</sup>Federal Communications Commission (FCC)

Band designation	Frequency range
L band	1 to 2 GHz
S band	2 to 4 GHz
C band	4 to 8 GHz
X band	8 to 12 GHz
K <sub>u</sub> band	12 to 18 GHz
K band	18 to 26.5 GHz
K <sub>a</sub> band	26.5 to 40 GHz
Q band	30 to 50 GHz
U band	40 to 60 GHz
V band	50 to 75 GHz
E band	60 to 90 GHz
W band	75 to 110 GHz
F band	90 to 140 GHz
D band	110 to 170 GHz
Submillimeter	>300 GHz

Millimeter waves

شکل ۱.۱۶: باندهای فرکانسی مایکروویو و موج میلیمتری.

دو طرفه، از بخش‌های دیگر طیف استفاده می‌شود. طبقات مختلف ارتباطات رادیویی در طیفی که می‌توانند در آن فعالیت کنند، مناطق خاصی را اختصاص می‌دهند. در طول سال‌ها، فضای طیف موجود، به‌ویژه زیر ۳۰۰ مگاهرتز، اساساً مصرف شده است. در بسیاری از موارد، خدمات ارتباطی باید تخصیص فرکانس را باشترانگ بگذارند. در برخی مناطق، مجوزهای جدید دیگر اعطای نمی‌شود زیرا فضای طیف برای آن سرویس کاملاً پُر است. با وجود این، تقاضا برای کانال‌های ارتباط الکترونیکی جدید همچنان ادامه دارد. FCC باید بهطور مستمر، نیازها و خواسته‌های کاربران را ارزیابی کند و در صورت لزوم فرکانس‌ها را تغییر دهد. مصالحه‌های زیادی لازم بوده است.

### خوب است بدانید که:

اکثر خدمات و تجهیزات ارتباطات جدید از امواج مایکروویو استفاده می‌کنند.

پیشرفتهای فناوری به حل برخی از مشکلات مرتبط با ازدحام بیش از حد کمک کرده است. به عنوان مثال، گزینش پذیری گیرندها بهبود یافته است به طوری که تداخل کانال مجاور آنقدر زیاد نیست. این بهایستگاهها اجازه می‌دهد تا در فرکانس‌های نزدیکتری کار کنند.

در سمت ارسال، تکنیک‌های جدید به فشرده کردن سیگنال‌های بیشتر در یک طیف فرکانس مشابه کمک کرده‌اند. یک مثال کلاسیک استفاده از SSB است، که در آن تنها از یک باند جانبی به جای دو باند استفاده می‌شود، در نتیجه استفاده از طیف را به نصف کاهش می‌دهد. محدود کردن انحراف سیگنال‌های FM نیز به کاهش پهنای باند کمک می‌کند. در ارتباطات داده، تکنیک‌های مدولاسیون جدید مانند QAM و PSK برای محدود کردن پهنای باند مورد نیاز اطلاعات ارسالی یا انتقال با سرعت‌های بالاتر در پهنای باند باریک‌تر استفاده شده‌اند. روش‌های فشرده سازی دیجیتال نیز اطلاعات بیشتری را از طریق یک کانال باریک انتقال می‌دهند. تکنیک‌های ماتی پلکسینگ به قرار دادن سیگنال‌ها یا اطلاعات بیشتر در پهنای باند معین کمک می‌کند. طرح‌های باند پهن مانند طیف گسترده و تقسیم فرکانس متعدد (OFDM) به‌سیاری از رادیوهای اجازه می‌دهد تا یک پهنای باند واحد را به‌اشتراک بگذارند.

رویکرد اصلی دیگر برای حل مشکل ازدحام طیف، حرکت به محدوده فرکانس بالاتر بوده است. در ابتدا از باندهای VHF و UHF استفاده شد. امروزه بیشتر خدمات ارتباطات جدید به‌نواحی امواج مایکروویو و میلی‌متری اختصاص داده می‌شود.

برای اینکه بفهمید چرا پهنای باند بیشتر در فرکانس‌های بالاتر در دسترس است، اجازه دهید مثالی بزنیم. یک ایستگاه پخش استاندارد AM را در نظر بگیرید که روی ۱۰۰۰ کیلوهرتز کار می‌کند. ایستگاه مجاز به استفاده از فرکانس‌های مدوله کننده تا ۵ کیلوهرتز است، بنابراین باندهای جانبی بالا و پایین ۵ کیلوهرتز بالا و پایین فرکانس حامل یا ۹۹۵ و ۱۰۰۵ کیلوهرتز تولید می‌کند. این حداکثر پهنای باند کانال  $10 = 1005 - 995$  کیلوهرتز را می‌دهد. این پهنای باند نشان دهنده  $10/1000 = 1\%$  یا یک درصد از فضای طیف در آن فرکانس است.

اکنون فرکانس سیگنال حامل مایکروویو ۴ گیگاهرتز را در نظر بگیرید. یک درصد از ۴ گیگاهرتز  $= 40,000,000 \times 4,000,000 = 40,000,000,000$  یا  $40$  مگاهرتز است. پهنای باند  $40$  مگاهرتز بسیار گسترده است. در واقع، تمام بخش‌های فرکانس پایین، فرکانس متوسط و فرکانس بالا از طیف به‌اضافه  $10$  مگاهرتز را نشان می‌دهد. این فضایی است که ممکن است توسط یک حامل ۴ گیگاهرتزی که توسط یک سیگنال اطلاعاتی  $20$  مگاهرتز مدوله شده است، اشغال شود. بدیهی است که بیشتر سیگنال‌های اطلاعاتی به‌این نوع پهنای باند نیاز ندارند. یک سیگنال صوتی، به عنوان مثال، تنها بخش کوچکی از آن را می‌گیرد. یک سیگنال AM  $10$  کیلوهرتز تنها  $25 / 10000 / 400000000 = 0,000025$  درصد از ۴ گیگاهرتز را نشان می‌دهد. بنابراین تا  $4000$  ایستگاه پخش AM با پهنای باند  $10$  کیلوهرتز را می‌توان در پهنای باند  $40$  مگاهرتز (یک درصد) جای داد.

پس بدیهی است که هر چه فرکانس بیشتر باشد، پهنای باند موجود برای انتقال اطلاعات بیشتر خواهد بود. این نه تنها فضای بیشتری را برای ایستگاه‌های فردی فراهم می‌کند، بلکه به سیگنال‌های اطلاعاتی پهنای باند مانند ویدئو و داده‌های دیجیتالی پرسرعت نیز اجازه می‌دهد. متوسط سیگنال تلویزیون دارای پهنای باند تقریباً  $6$  مگاهرتز است. انتقال سیگنال‌های ویدئویی در فرکانس‌های پایین غیرعملی است، زیرا آنها فضای بسیار زیادی از طیف را مصرف می‌کنند. به همین دلیل است که بیشتر انتقال تلویزیون در محدوده VHF و UHF است. حتی فضای بیشتری برای ویدئو در منطقه مایکروویو وجود دارد.

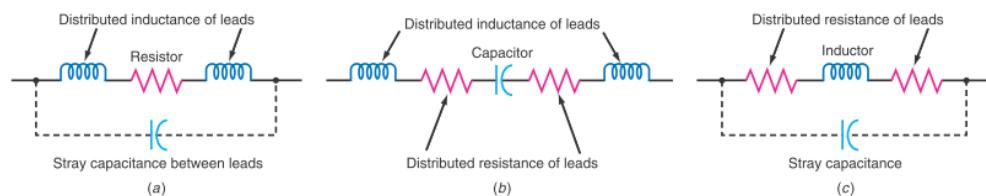
پهنانی باند وسیع همچنین استفاده از تکنیک‌های مختلف مالتی‌پلکسینگ را برای انتقال اطلاعات بیشتر ممکن می‌سازد. سیگنال‌های مالتی‌پلکس معمولاً دارای پهنانی باند وسیعی هستند، اما می‌توان آنها را به راحتی در ناحیه مایکروویو کنترل کرد. در نهایت، انتقال اطلاعات باینری با سرعت بالا معمولاً به پهنانی باند وسیع نیاز دارد و اینها نیز به راحتی در فرکانس‌های مایکروویو منتقل می‌شوند.

### خوب است بدانید که:

مقدار زیادی از فضای طیف موجود در ناحیه مایکروویو باعث می‌شود که مالتی‌پلکس و انتقال اطلاعات باینری که هر دو به پهنانی باند وسیع نیاز دارند، به راحتی قابل دستیابی باشد.

### معایب امواج مایکروویو و میلیمتری

هرچه فرکانس بالاتر باشد، تجزیه و تحلیل مدارهای الکترونیکی دشوارتر می‌شود. تحلیل مدارهای الکترونیکی در فرکانس‌های پایین‌تر، مثلاً مدارهای زیر  $30^{\circ}$  مگاهرتز، بر اساس روابط جریان-ولتاژ (تحلیل مدار) است. چنین روابطی به سادگی در فرکانس‌های مایکروویو قابل استفاده نیستند. در عوض، بیشتر اجزا و مدارها بر حسب میدانهای الکتریکی و مغناطیسی (تحلیل موج) تحلیل می‌شوند. بنابراین تکنیک‌هایی که معمولاً برای آنالیز آتن‌ها و خطوط انتقال استفاده می‌شوند، می‌توانند در طراحی مدارهای مایکروویو نیز مورد استفاده قرار گیرند. البته تکنیک‌های اندازه‌گیری نیز متفاوت است. در الکترونیک فرکانس پایین، جریان و ولتاژ محاسبه می‌شود. در مدارهای مایکروویو، اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است. اندازه‌گیری توان رایج‌تر از اندازه‌گیری ولتاژ و جریان است.



شکل ۲.۱۶: مدارهای معادل قطعات در فرکانس‌های مایکروویو. (الف) مقاومت (ب) خازن (ج) سلف.

مشکل دیگر این است که در فرکانس‌های مایکروویو، اجرای اجزای معمولی دشوار می‌شود. برای مثال، یک مقاومت معمولی که در فرکانس‌های پایین مانند مقاومت خالص به نظر می‌رسد، در فرکانس‌های مایکروویو همان ویژگی‌ها را نشان نمی‌دهد. سیم‌های کوتاه یک مقاومت، اگرچه ممکن است کمتر از یک اینچ باشند، مقدار قابل توجهی از راکتانس القایی را در فرکانس‌های بسیار بالا نشان می‌دهند. یک ظرفیت کوچک نیز بین سیم‌ها وجود دارد. این راکتانس‌های کوچک سرگردان و پراکنده گاهی اوقات باقیمانده نامیده می‌شوند. بدلیل این اثرات، در فرکانس‌های مایکروویو یک مقاومت ساده شبیه یک مدار RLC پیچیده به نظر می‌رسد. این موضوع در مورد سلف‌ها و خازن‌ها نیز صادق است. شکل (۲.۱۶) مدارهای معادل اجزا را در فرکانس‌های مایکروویو نشان می‌دهد.

برای تحقیق فیزیکی مدارهای تشدید در فرکانس‌های مایکروویو، مقادیر اندوکتانس و ظرفیت باید کوچکتر و کوچکتر باشند. محدودیت‌های فیزیکی به یک مشکل تبدیل می‌شود. حتی یک قطعه سیم  $5^{\circ}$  اینچی مقدار قابل توجهی از اندوکتانس را در فرکانس‌های مایکروویو نشان می‌دهد. مقاومت‌های تراشه‌ای کوچک روی سطح، خازن‌ها و سلف‌ها تا حدی این مشکل را حل کرده‌اند. علاوه بر این،

با ادامه کاهش ابعاد مدار مجتمع، سلف‌ها و خازن‌های کوچک‌تر و کوچک‌تر روی تراشه با موفقیت ساخته شده‌اند.

راه حل دیگر استفاده از عناصر مدار توزیع شده، مانند خطوط انتقال، به جای اجزای فشرده<sup>۲</sup> در فرکانس‌های مایکروویو است. هنگامی که خطوط انتقال به طول مناسب بریده می‌شوند، به عنوان سلف، خازن و مدارهای تشید کننده عمل می‌کنند. انواع ویژه خطوط انتقال که به عنوان خطوط نواری، میکرو نوارها، موجبرها و محفظه‌های تشید کننده شناخته می‌شوند، به طور گسترده‌ای برای اجرای مدارهای هماهنگی و راکتانس‌ها استفاده می‌شوند.

علاوه بر این، به دلیل خازن‌ها و اندوکتانس‌های ذاتی، دستگاه‌های نیمه‌هادی معمولی مانند دیودها و ترانزیستورها به صورت تقویت کننده، نوسان ساز یا سوئیچ در فرکانس‌های مایکروویو عمل نمی‌کنند.

مشکل جدی دیگر، زمان گذرا<sup>۳</sup> ترانزیستور است - مدت زمانی که طول می‌کشد تا حامل‌های جریان (حفره‌ها یا الکترون‌ها) در یک دستگاه حرکت کنند. در فرکانس‌های پایین، زمان‌های گذرا را می‌توان نادیده گرفت. اما در فرکانس‌های مایکروویو، درصد بالایی از دوره سیگنال واقعی هستند. این مشکل با طراحی کوچک‌تر و کوچک‌تر دیودها، ترانزیستورها و آی‌سی‌های مایکروویو و استفاده از مواد خاصی مانند گالیم آرسناید<sup>۴</sup> (GaAs)، ایندیم فسفاید<sup>۵</sup> (InP) و سیلیکون ژرمانیوم (SiGe) که زمان عبور در آنها به طور قابل توجهی کمتر از سیلیکون است، حل شده است. علاوه بر این، قطعات تخصصی برای کاربردهای مایکروویو طراحی شده است. این امر به ویژه برای تقویت توان صادق است، جایی که لامپ‌های خلاء ویژه معروف به کلایسترون<sup>۶</sup>، مگنترون<sup>۷</sup> و لامپ موج متحرک<sup>۸</sup>، اجزای اصلی مورد استفاده برای تقویت توان هستند. با این حال، ترانزیستورهای نیمه‌هادی GaN جدیدتر اکنون در محدوده موج میلی‌متری مفید هستند.

مشکل دیگر این است که سیگنال‌های مایکروویو، مانند امواج نور، در خطوط کاملاً مستقیم حرکت می‌کنند. این بدان معنی است که فاصله ارتباطات معمولاً به بازه دید محدود می‌شود. آنتن‌ها برای انتقال در مسافت‌های طولانی باید بسیار بالا باشند. سیگنال‌های مایکروویو در یونوسفر نفوذ می‌کنند، بنابراین ارتباط چند جهشی امکان پذیر نیست. فیزیک امواج الکترومغناطیسی نشان می‌دهد که هر چه طول موج کوتاه‌تر و فرکانس بالاتر باشد، بازه انتقال برای یک توان یا بهره آنتن معین کوتاه‌تر است.

### سیستم‌های ارتباطی مایکروویو

مانند هر سیستم ارتباطی دیگری، یک سیستم ارتباطی مایکروویو از فرستنده، گیرنده و آنتن استفاده می‌کند. همان تکنیک‌های مدولاسیون و مالتی‌پلکسینگ که در فرکانس‌های پایین تر استفاده می‌شود در محدوده مایکروویو نیز استفاده می‌شود. اما قسمت RF تجهیزات از نظر فیزیکی به دلیل مدارها و قطعات خاصی که برای پیاده سازی قطعات استفاده می‌شود متفاوت است.

**فرستنده‌ها** : مانند هر فرستنده دیگری، فرستنده مایکروویو با یک مولد سیگنال حامل و یک سری

<sup>۲</sup>Lumped Components

<sup>۳</sup>Transit Time

<sup>۴</sup>Gallium Arsenide (GaAs)

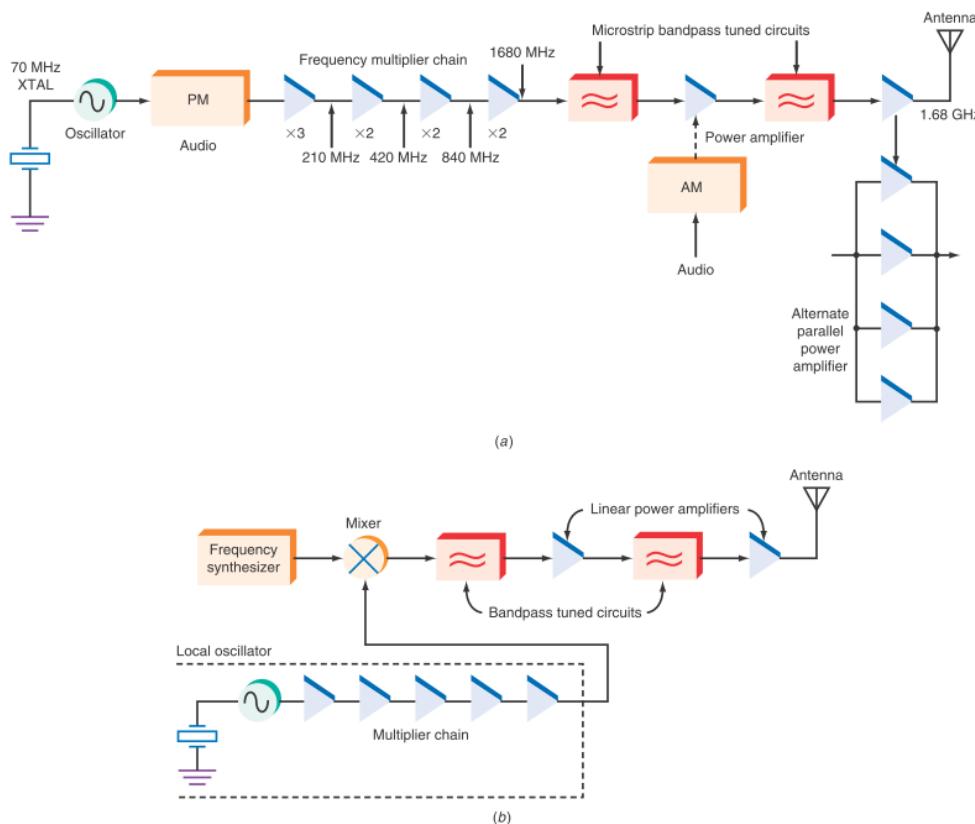
<sup>۵</sup>Indium Phosphide (InP)

<sup>۶</sup>Klystron

<sup>۷</sup>Magnetron

<sup>۸</sup>Traveling Wave Tubes (TWT)

تقویت کننده شروع می‌شود. همچنین شامل مدولاتور و بهدنال آن مراحل بیشتری از تقویت قدرت است. تقویت کننده نهایی قدرت سیگنال را به خط انتقال و آنتن اعمال می‌کند. مراحل تولید سیگنال حامل و مدولاسیون در یک کاربرد مایکروویو مشابه فرستنده‌های فرکانس پایین‌تر است. فقط در مراحل بعدی تقویت توان از اجزای خاصی استفاده می‌شود.



شکل ۳.۱۶: فرستنده‌های مایکروویو. (الف) فرستنده مایکروویو با استفاده از ضرب کننده فرکانس برای رسیدن به فرکانس مایکروویو. مراحل سایه‌دار در ناحیه مایکروویو عمل می‌کنند. (ب) فرستنده مایکروویو از مبدل بالا برنده با میکسر برای دستیابی به خروجی در محدوده مایکروویو استفاده می‌کند.

شکل (۳.۱۶) راههای مختلفی را نشان می‌دهد که فرستنده‌های مایکروویو اجرا می‌شوند. مراحل و اجزای ویژه مایکروویو سایه‌دار هستند. در مدار فرستنده نشان داده شده در شکل (۳.۱۶) (الف) فرکانس مایکروویو برای اولین بار در آخرین طبقه چندبرابر کننده ایجاد می‌شود. فرکانس کاری  $1680^{\circ}$  مگاهرتز است که باید از اجزا و تکنیک‌های ویژه مایکروویو استفاده شود. به جای مدارهای هماهنگی ساخته شده از حلقه‌های سیم برای سلف‌ها و خازن‌های گستته، از خطوط انتقال میکرواستریپ به عنوان مدارهای هماهنگی<sup>۹</sup> و به عنوان مدارهای تطبیق امپدانس استفاده می‌شود. فیلترهای SAW رایج‌ترین فیلترهای مورد استفاده در مدارهای کم مصرف هستند. سپس از یک یا چند تقویت کننده قدرت اضافی برای تقویت سیگنال به سطح توان مورد نظر استفاده می‌شود. ترانزیستورهای مایکروویو

<sup>۹</sup>Tuned Circuits

دوقطبی و ماسفت هر دو در دسترس هستند که سطوح توانی تا چند صد وات را می‌دهند. هنگامی که از FM استفاده می‌شود، تقویت کننده‌های قدرت باقی مانده نیز می‌تواند از کلاس C باشد که حداکثر بازده را ارائه می‌دهد. برای مدولاسیون فاز و QAM، تقویت کننده‌های خطی مورد نیاز است. اگر قدرت بیشتری موردنظر باشد، می‌توان چندین تقویت کننده قدرت ترانزیستور را موازی کرد، مانند شکل (۳.۱۶) (الف).

اگر AM در مداری مانند شکل (۳.۱۶) (الف) استفاده شود، یک مدولاتور دامنه می‌تواند برای مدوله کردن یکی از مراحل تقویت کننده با توان پایین بعد از زنجیره ضرب کننده استفاده شود. هنگامی که این کار انجام می‌شود، مراحل تقویت کننده قدرت باقیمانده باید تقویت کننده‌های خطی باشند تا مدولاسیون سیگنال حفظ شود.

برای سطوح خروجی با توان بسیار بالا - فراتر از چند صد وات - باید از یک تقویت کننده ویژه، به عنوان مثال کلایسترون، استفاده شود.

شکل (۳.۱۶) (ب) آرایش فرستنده احتمالی دیگری را نشان می‌دهد که در آن یک میکسر (مخلوط کننده) برای تبدیل سیگنال حامل اولیه با یا بدون مدولاسیون به فرکانس مایکروویو نهایی استفاده می‌شود.

خروجی سینتی‌سایزر و سیگنال نوسانگر محلی مایکروویو به میکسر اعمال می‌شود. سپس میکسر سیگنال را تا فرکانس نهایی مایکروویو مورد نظر انتقال می‌دهد. یک نوسان ساز کریستالی معمولی با استفاده از کریستال‌های VHF با هارمونیک پنجم و بهنبال آن زنجیره‌ای از ضرب کننده‌های فرکانس می‌تواند برای توسعه فرکانس نوسان ساز محلی استفاده شود. روش دیگر، یکی از چندین نوسان ساز مایکروویو ویژه می‌تواند استفاده شود، به عنوان مثال، یک دیود گان<sup>۱۰</sup>، یک نیمه‌هادی مایکروویو در محفظه تشدید کننده، یا یک نوسان ساز تشدید کننده دی‌الکتریک باشد.

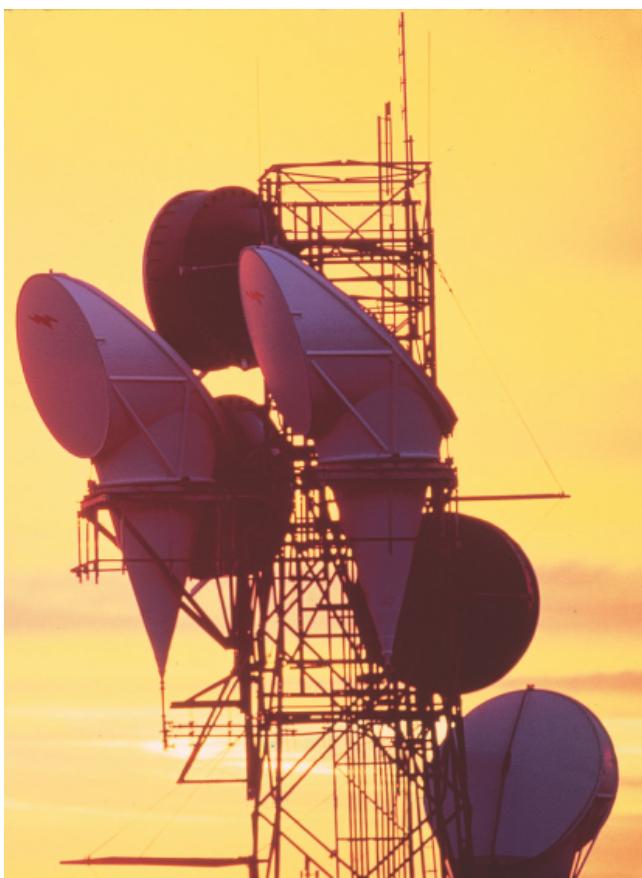
خروجی میکسر فرکانس نهایی مورد نظر در سطح توان نسبتاً کم، معمولاً دهها یا حداکثر صدها میلی وات است. تقویت کننده‌های توان خطی برای تقویت سیگنال به سطح توان نهایی آن استفاده می‌شود. در فرکانس‌های کمتر از حدود ۱۰ گیگاهرتز، می‌توان از ترانزیستور مایکروویو استفاده کرد. در فرکانس‌های بالاتر از لامپ‌های مخصوص مایکروویو استفاده می‌شود.

مدارهای میان گذر هماهنگی نشان داده شده در شکل (۳.۱۶) (ب) می‌توانند خطوط انتقال میکرو نواری در هنگام استفاده از مدارهای ترانزیستوری، یا محفظه‌های تشدید کننده در هنگام استفاده از لامپ‌های مایکروویو ویژه باشند. مدولاسیون می‌تواند در چندین مکان در شکل (۳.۱۶) (ب) رخ دهد. یک مدولاتور فاز FM غیر مستقیم ممکن است در خروجی سینتی‌سایزر فرکانس استفاده شود. برای برخی از کاربردها، یک مدولاتور PSK مناسب است.

**گیرنده‌ها :** گیرنده‌های مایکروویو مانند گیرنده‌های فرکانس پایین از نوع سوپرهترووداین هستند. قسمت جلویی آنها از اجزای مایکروویو تشکیل شده است. اکثر گیرنده‌ها از تبدیل مضاعف استفاده می‌کنند. اولین تبدیل پایین سیگنال را به محدوده UHF یا VHF جایی که می‌توان آن را با روش‌های استاندارد آسان‌تر پردازش کرد، می‌برد. تبدیل دوم فرکانس را به IF مناسب برای انتخاب موردنظر کاهش می‌دهد.

شکل (۴.۱۶) یک بلوک دیاگرام کلی از گیرنده مایکروویو با تبدیل دوگانه است. آتن به یک مدار هماهنگی متصل است، که می‌تواند یک محفظه تشدید کننده یا یک مدار هماهنگی میکرواستریپ

<sup>۱۰</sup> Gunn diode



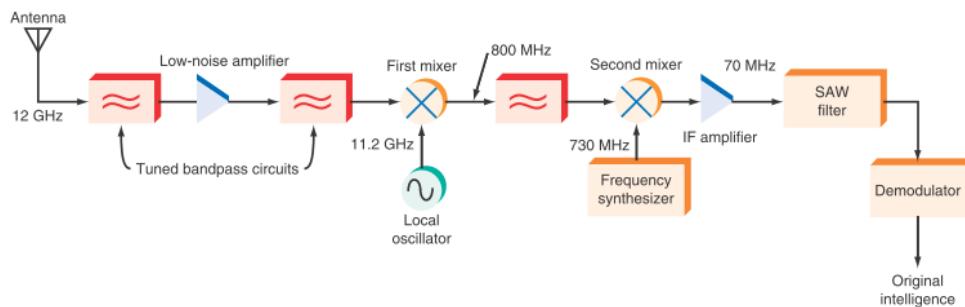
هر یک از این آنتن‌های مایکروویو واقع در استفان بوت، واشنگتن، به طور خاص برای انتقال سیگنال تلفن از راه دور طراحی شده‌اند. آنها برای کاهش مسائل نگهداری مربوط به آب و هوا پوشش داده شده‌اند.

یا نواری باشد. سپس سیگنال به یک تقویت کننده RF خاص که به عنوان تقویت کننده کم نویز<sup>۱۱</sup> (LNA) معروف است اعمال می‌شود. ترانزیستورهای ویژه کم نویز، معمولاً تقویت کننده‌های گالیم آرسناید، باید برای تأمین بخشی از تقویت اولیه استفاده شوند. مدار هماهنگی دیگری سیگنال ورودی تقویت شده را به میکسر متصل می‌کند. اکثر میکسرها از نوع دیود متعادل دوبل هستند، اگرچه از چند میکسر ساده تک دیودی نیز استفاده می‌شود.

سیگنال نوسان ساز محلی به میکسر اعمال می‌شود. خروجی میکسر معمولاً در محدوده UHF یا VHF است. محدوده ۷۰۰ تا ۸۰۰ مگاهرتز معمولی است. یک فیلتر SAW سیگنال تفاوت را انتخاب می‌کند که در شکل (۴.۱۶)  $11.2\text{GHz} - 11.8\text{GHz} = 0.4\text{GHz}$  است.

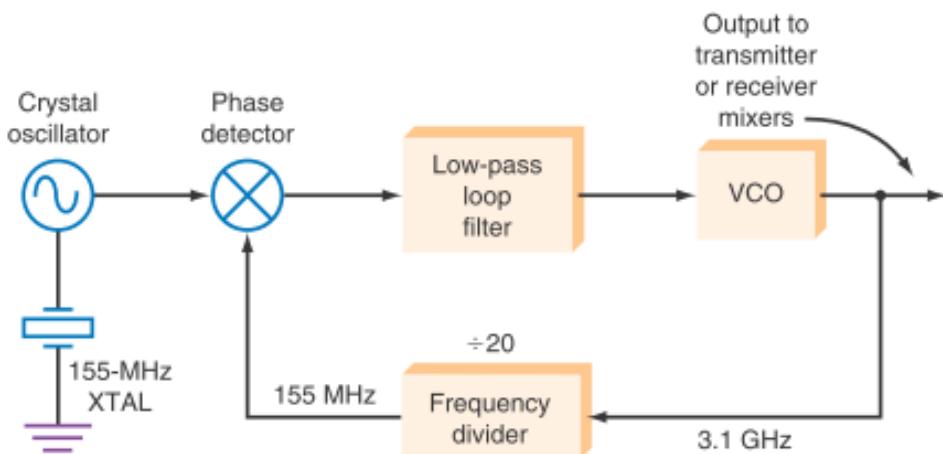
با قیمانده گیرنده نمونه‌ای از دیگر سوپرہتروداین‌ها است. توجه داشته باشید که گزینش پذیری مورد نظر با یک فیلتر SAW به دست می‌آید که گاهی اوقات برای ارائه یک پاسخ IF با شکل خاص استفاده می‌شود. بسیاری از گیرنده‌های تلفن همراه مایکروویو جدیدتر و گیرنده‌های LAN از نوع

<sup>۱۱</sup> Low Noise Amplifier (LNA)



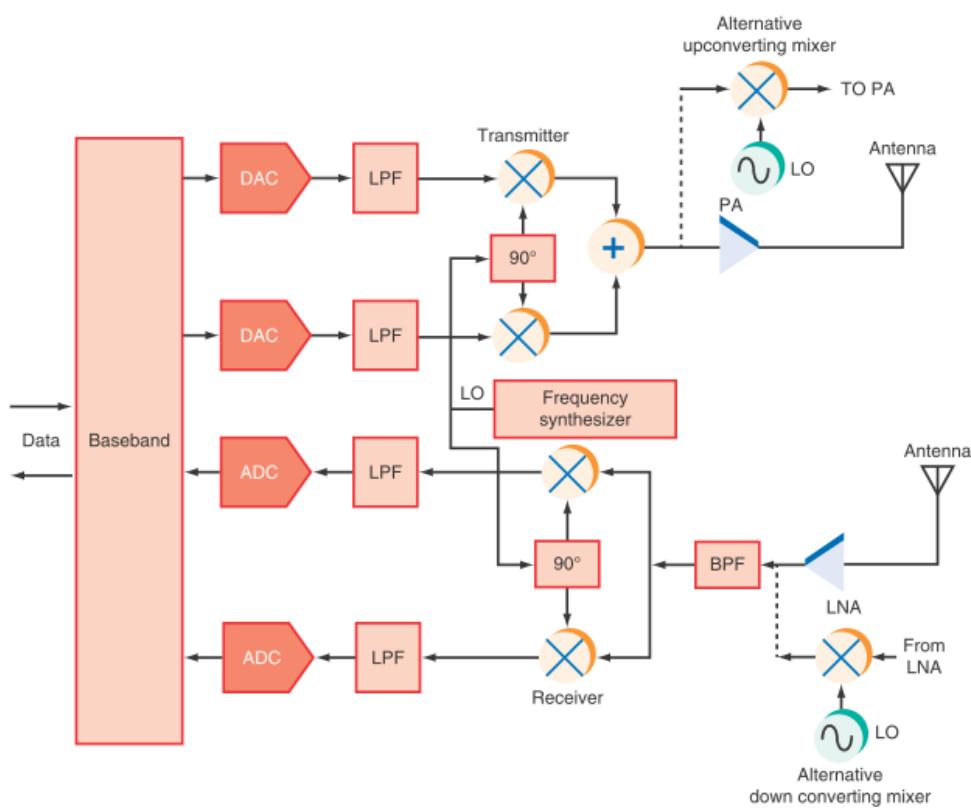
شکل ۴.۱۶: گیرنده مایکروویو مناطق سایه دار نشان دهنده مدارهای مایکروویو هستند.

تبدیل مستقیم هستند و قابلیت انتخاب با فیلترهای RC و DSP به دست می‌آید.



شکل ۵.۱۶: چند برابر کننده حلقه قفل فاز (PLL) منبع سیگنال اولیه در فرستنده‌های مایکروویو مدرن است.

در تجهیزات جدید مایکروویو مانند تلفن‌های همرا و رابطهای شبکه بی‌سیم، فرکانس‌های مایکروویو توسط یک حلقه قفل فاز (PLL) تولید می‌شوند که به عنوان یک ضرب‌کننده عمل [شکل ۵.۱۶] می‌کند. VCO اسیلاتور محلی مورد نظر (LO) یا فرکانس ارسال نهایی را مستقیماً تولید می‌کند. فرکانس VCO توسط آشکارساز فاز و فیلتر حلقه پایین‌گذر آن کنترل می‌شود. تقسیم کننده فرکانس و کریستال ورودی فرکانس خروجی را تعیین می‌کنند. پیشرفت‌های اخیر در طراحی کریستال کوارتز اجازه فرکانس‌های نوسان ساز ورودی تا  $200\text{ MHz}$  را می‌دهد. در شکل ۵.۱۶، کریستال  $155\text{ MHz}$  کوارتز همراه با یک تقسیم کننده فرکانس  $20$  خروجی  $VCO$  در  $155 \times 20 = 3100$  مگاهرتز می‌باشد که این فرکانس را  $3100/20 = 155\text{ MHz}$  می‌دهد. تقسیم کننده فرکانس  $20$  خروجی  $VCO$  را به  $155\text{ MHz}$  کاهش می‌دهد تا با سیگنال کریستالی ورودی در آشکارساز فاز مطابقت داشته باشد، همانطور که برای کنترل حلقه بسته لازم است. البته، تقسیم کننده همچنین می‌تواند بخشی از یک سینتی‌سایزر فرکانس مبتنی بر میکروکنترلر باشد که برای اجازه تنظیم خروجی بر روی فرکانس‌های چند کاناله مطابق با نیاز کاربرد طراحی شده است.



شکل ۶.۱۶: فرستنده مایکروویو تبدیل مستقیم.

معماری رایج‌تر امروزه فرستنده‌ها و گیرنده‌های تبدیل مستقیم با استفاده از تبدیل کننده‌ها و دمودولاتورهای Q/I هستند، که در شکل ۶.۱۶ نشان داده شده است. بیشتر دمودلاتوریون، مانند QAM، QPSK یا DSP در یک پردازنده باند پایه انجام می‌شود. پردازنده باند پایه سیگنال‌های دیجیتالی هم فاز (Q) و تربيعی (I) را تولید و دمودلاتوریون را از ورودی داده تعریف می‌کند. در فرستنده، سیگنال‌های Q/I به DAC‌ها فرستاده و در آنجا به سیگنال‌های آنالوگ تبدیل و در فیلتر پایین گذر (LPF) را از یک انتقال فاز دهنده ۹۰ درجه دریافت و توسط سینتی‌سایزر فرکانس که فرکانس ارسال را تنظیم می‌کند هدایت می‌شود. خروجی‌های میکسر برای ایجاد سیگنال نهایی اضافه و قبل از ارسال به آن تنظیم در یک تقویت کننده قدرت (PA) تقویت می‌شود.

مدولاتور Q/I به شکل آی‌اسی است و معمولاً می‌تواند سیگنال‌هایی را در محدوده ۲۰۰ مگاهرتز تا ۶ گیگاهرتز مدیریت کند. اگر فرکانس نهایی بالاتری مورد نیاز باشد، خروجی مدولاتور به یک میکسر تبدیل کننده بالا با نوسانگر محلی خود ارسال می‌شود. فرکانس بالاتر حاصل سپس به PA ارسال می‌شود.

در گیرنده، سیگنال آنتن به یک تقویت کننده کم نویز (LNA) و یک فیلتر میان‌گذر (BPF) برای تعیین پهنه‌ای باند تغذیه می‌شود. سپس سیگنال به میکسرهای دمودلاتور Q/I ارسال می‌شود. اگر

فرکانس‌های بالاتر را شامل شود، سیگنال LNA ممکن است ابتدا به یک میکسر با تبدیل پایین و سپس به میکسرهای دمدولاتور Q/I برود. سپس سیگنال با سیگنال LO از سینتی‌سایزر در فرکانس سیگنال مخلوط می‌شود. سپس خروجی‌های میکسر فیلتر شده و به ADC‌ها، جایی که سیگنال‌های دیجیتالی Q/I تولید می‌شوند، فرستاده می‌شوند. این سیگنال‌های Q/I سپس در مدارهای باند پایه پردازش می‌شوند تا داده‌های اصلی را بازیابی کنند.



یک آشکارساز فاز و فرکانس خطی سه حالته (DC تا  $100 MHz$ ) است که برای استفاده در کاربرد قفل شده فاز Delta-Sigma fractional-N Loo(PLL) در نظر گرفته شده است.

**خطوط انتقال :** خط انتقال که بیشتر در ارتباطات رادیویی با فرکانس پایین استفاده می‌شود کابل کواکسیال است. با این حال، کابل کواکسیال تضعیف بسیار بالای در فرکانس‌های مایکروویو دارد و کابل معمولی برای حمل سیگنال‌های مایکروویو مناسب نیست، به‌جز برای مسیرهای بسیار کوتاه، معمولاً چند فوت یا کمتر. انواع جدیدتر کابل‌های کواکسیال طول تا  $100$  فوت در فرکانس‌های  $10$  گیگاهرتز را می‌دهند.

کابل کواکسیال مایکروویو ویژه‌ای که می‌تواند در باندهای مایکروویو پایین (L، S و C) استفاده شود، به‌جای سیم با یک پوشش عایق و یک محافظ بافته انعطاف‌پذیر، از لوله سخت ساخته شده است. هادی داخلی سفت از لوله بیرونی با فاصله دهنده<sup>۱۲</sup> یا واشر جدا می‌شود و کابل کواکسیال کم تلفات معروف به کابل خط سخت<sup>۱۳</sup> را تشکیل می‌دهد. عایق بین هادی داخلی و لوله بیرونی می‌تواند هوا باشد. در برخی موارد، گازی مانند نیتروژن به داخل کابل پمپ می‌شود تا تجمع رطوبت را به‌حداقل برساند که باعث از دست دادن بیش از حد توان می‌شود. این نوع کابل برای مسیرهای طولانی خطوط انتقال به‌آتن روى دکل استفاده می‌شود. در فرکانس‌های مایکروویو بالاتر، باند C و به‌سمت بالا، یک لوله مستطیلی یا دایره‌ای توخالی مخصوص به نام موجبر برای خط انتقال استفاده می‌شود (به‌بخش ۱۶-۳ مراجعه کنید).

<sup>۱۲</sup>Spacer

<sup>۱۳</sup>Hard Line

**آنتن‌ها**: در فرکانس‌های مايكرويو پاين، انواع آنتن‌های استاندارد، از جمله دوقطبی ساده و آنتن عمودی با طول موج يك چهارم، هنوز استفاده می‌شود. در اين فرکانس‌ها، اندازه آنتن‌ها بسيار کوچک است. به عنوان مثال، طول يك دوقطبی نيم موج در ۲ گيگاهرتز تنها حدود ۳ اينچ است. يك آنتن عمودی با طول موج يك چهارم برای مرکز باند C تنها حدود ۰/۶ اينچ است. در فرکانس‌های بالاتر، عموماً از آنتن‌های ويژه استفاده می‌شود (به بخش ۱۶-۶ مراجعه کنيد).

## ۲.۱۶ خطوط و دستگاه‌های مايكرويو

امروزه، اگرچه لامپ‌های خلاء و لامپ‌های مايكرويو مانند کلیسترون و مگنترون هنوز استفاده می‌شوند، مخصوصاً برای کاربردهای با توان بالاتر، اکثر سیستم‌های مايكرويو از تقویت کننده‌های ترانزیستوری استفاده می‌کنند. در طول سال‌ها، سازندگان نیمه‌هادی‌ها ياد گرفته‌اند که ترانزیستورها را در اين فرکانس‌های بالاتر کار کنند. هندسه‌های خاصی برای ساخت ترانزیستورهای دوقطبی استفاده می‌شود که هم ولتاژ و هم افزایش توان را در فرکانس‌های تا ۱۰۰ گيگاهرتز فراهم می‌کند. ترانزیستورهای FET مايكرويو نيز مانند MESFET که در فصل نهم توضیح داده شد، ساخته شده‌اند. استفاده از گالیوم آرسناید (GaAs) و سیلیکون ژرمانیوم (SiGe) به جای سیلیکون خالص، قابلیت‌های فرکانس ماسفت‌ها و دوقطبی‌ها را بيشتر افزایش داده است. ماسفت‌های کوچک سیگال و قدرت برای کار در فرکانس‌های تا حدود ۵۰ گيگاهرتز در دسترس هستند. FET های قدرت N GaN اکنون عموماً در فرکانس‌های تا ۵۰ گيگاهرتز استفاده می‌شوند. از آنجایی که بيشتر فعالیت‌های ارتباطات مايكرويوی در محدوده‌های فرکانس پاين (باندهای L, S و C) انجام می‌شود، ترانزیستورها اجزای فعال اولیه مورد استفاده هستند.

### خوب است بدانيد که:

کابل کواکسیال مخصوص مايكرويو بهنام هارد لاین که به جای سیم با پوشش عایق از لوله سخت ساخته شده است، می‌تواند در باندهای مايكرويو پاينی استفاده شود.

در بخش‌های بعدی، هر دو نوع ترانزیستور گستته را با مدارهای هماهنگی میکرواستریپ و مدارهای مجتمع مايكرويو یکپارچه<sup>۱۴</sup> (MMIC) مورد بحث قرار می‌دهیم.

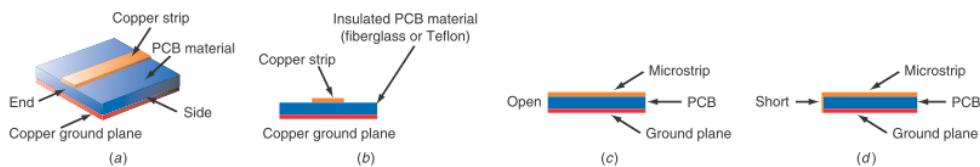
### مدارهای هماهنگی میکرواستریپ

قبل از معرفی انواع تقویت کننده خاص، برسی روشهای مدارهای هماهنگی توسط آن در تقویت کننده‌های مايكرويو پیاده سازی می‌شوند، مهم است. اجزای فشرده مانند سیم پیچ‌ها و خازن‌ها هنوز در برخی موارد در فرکانس‌های UHF بالا و مايكرويو پاين (زير حدود ۲ گيگاهرتز) برای ایجاد مدارهای تشدید، فیلترها یا مدارهای تطبیق امپدانس استفاده می‌شوند. با این حال، در فرکانس‌های بالاتر، پیاده‌سازی تکنیک‌های استاندارد برای تحقق چنین اجزایی به‌طور فزاینده‌ای سخت‌تر می‌شود. در عوض، خطوط انتقال، به‌ويژه میکرواستریپ، استفاده می‌شود.

در فصل سیزدهم توضیح دادیم که چگونه خطوط انتقال می‌توانند به عنوان سلف و خازن و همچنین مدارهای تشدید سری و موازی استفاده شوند. اینها به‌آسانی در فرکانس‌های مايكرويو اجرا می‌شوند زیرا خطوط انتقال يك دوم یا يك چهارم طول موج تنها اينچ یا بخشي از آن در اين

<sup>۱۴</sup>Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMIC)

فرکانس‌ها هستند. میکرواستریپ برای مدارهای راکتیو در فرکانس‌های بالاتر ترجیح داده می‌شود، زیرا ساده‌تر و ارزان‌تر از استریپلاین است، اما نوار استریپ در جایی استفاده می‌شود که محافظت برای به حداقل رساندن نویز و هم‌شنوائی ضروری است. مدارهای هماهنگی با استفاده از یک برد مدار چاپی<sup>۱۵</sup> (PCB) با الگوی مسی ایجاد می‌شوند که ترانزیستورها، آی‌سی‌ها و سایر اجزای مدار بر روی آن نصب شده‌اند.



شکل ۷.۱۶: خط انتقال میکرواستریپ که برای مدارهای راکتیو استفاده می‌شود. (الف) دیدگاه پرسپکتیو. (ب) نمای لبه یا انتهایی. (ج) نمای جانبی (خط باز). (د) نمای جانبی (خط اتصال کوتاه).

شکل (۷.۱۶) چندین نما از خط انتقال میکرواستریپ مورد استفاده برای یک مدار راکتیو را نشان می‌دهد. PCB معمولاً از فایبرگلاس ۱۰-G-۴ یا FR-4 یا ترکیبی از فایبرگلاس و تفلون ساخته می‌شود. پایین PCB یک ورق مس جامد نازک است که به عنوان صفحه زمین و یک طرف خط انتقال عمل می‌کند. نوار مسی هادی دیگر خط انتقال است.

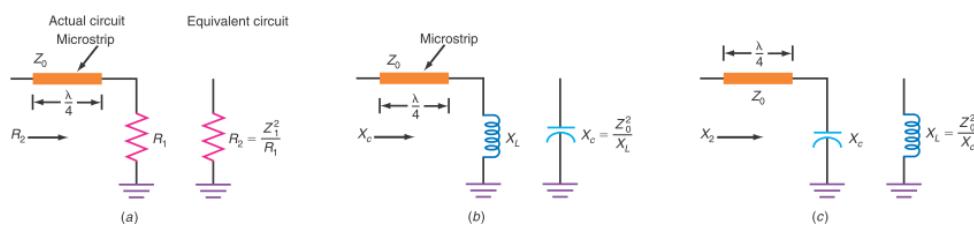
Length	Shorted Lines	Open Lines
Less than $\lambda/4$	Inductor	Capacitor
$\lambda/4$	Parallel resonant or open circuit	Series resonant or short circuit
$>\lambda/4, <\lambda/2$	Capacitor	Inductor
$\lambda/2$	Series resonant circuit or short repeater	Parallel resonant circuit or open repeater

شکل ۸.۱۶: مدارهای معادل خطوط میکرواستریپ باز و اتصال کوتاه.

شکل (۷.۱۶)(الف) نمای پرسپکتیو یک خط ریز نوار، شکل (۷.۱۶)(ب) نمای انتهایی است و شکل (۷.۱۶)(ج) و (۷.۱۶)(د) نمای جانبی هستند. هر دو بخش باز و اتصال کوتاه شده از خط را می‌توان استفاده کرد، اگرچه قطعات اتصال کوتاه شده ترجیح داده می‌شوند زیرا آنها به اندازه قطعات باز تابش نمی‌کنند. مقاطع با طول موج یک چهارم ترجیح داده می‌شوند زیرا کوتاهتر هستند و فضای کمتری را روی PCB اشغال می‌کنند. شکل (۸.۱۶) امکان خط باز و اتصال کوتاه برای میکرواستریپ را خلاصه می‌کند.

ویژگی مهم میکرواستریپ امپدانس آن است. همانطور که در فصل سیزدهم بحث شد، امپدانس مشخصه یک خط انتقال به ویژگی‌های فیزیکی آن بستگی دارد، در این مورد، به عنوان مثال، به عرض نوار و فاصله بین نوار و صفحه زمین مسی، که ضخامت ماده PCB است. ثابت دیالکتریک مواد عایق

<sup>۱۵</sup>Printed Circuit Board (PCB)



شکل ٩.١٦: چگونه یک میکرو نوار با طول موج یک چهارم می تواند امپدانس ها و راکتانس ها را تغییر دهد.

نیز یک عامل است. اکثر امپدانس های مشخصه کمتر از  $100\text{ }\Omega$  هستند.  $50\text{ }\Omega$  اهم متدالوبل ترین است و بدنبال آن  $75\text{ }\Omega$  اهم است. مقادیر بالاتر از  $100\text{ }\Omega$  اهم برای مواردی استفاده می شود که الزامات تطبیق امپدانس آن را ایجاب می کند.

خط انتقال یک چهارم طول موج می تواند برای شبیه سازی یک نوع قطعه مانند دیگری استفاده شود. به عنوان مثال، در شکل (٩.١٦)(الف)، خط میکرو نوار  $\frac{1}{4}\lambda$  می تواند مقاومتی را در یک انتهای شبیه به مقاومتی با مقدار دیگر جلوه دهد. یعنی بطور دقیق،

$$R_2 = \frac{Z_0^2}{R_1}$$

در اینجا  $R_1$  مقدار مقاومت عنصر مقاومت متصل به انتهای خط و  $Z_0$  امپدانس مشخصه میکرو نوار مثلاً  $50\text{ }\Omega$  است. اگر  $R_1$  امپدانس مشخصه میکرو نوار، مثلاً  $50\text{ }\Omega$  اهم باشد، خط تطبیق و ژنراتور  $50\text{ }\Omega$  اهم را می بیند. اگر  $R_1$  برابر  $150\text{ }\Omega$  اهم باشد، انتهای دیگر خط مقدار  $R_2$  خواهد داشت، یا

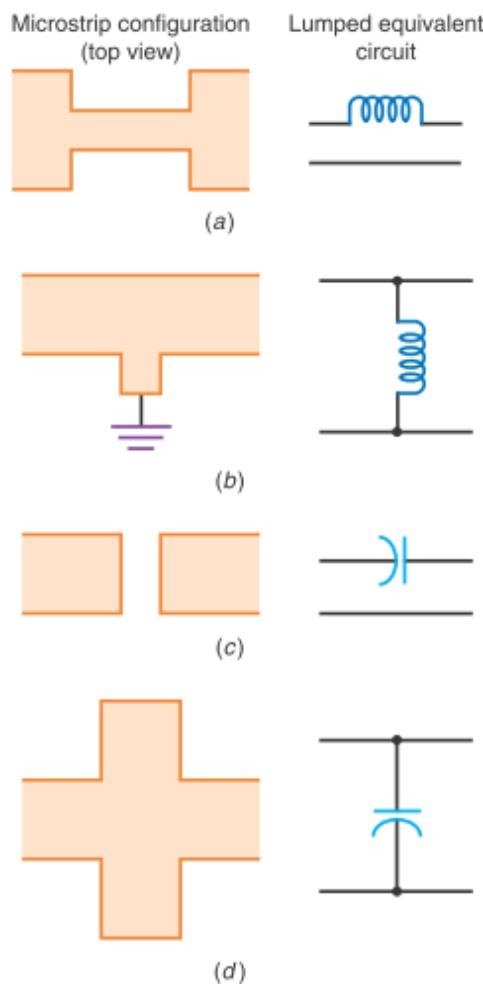
$$\frac{50^2}{150} = \frac{2500}{150} = 16.67\Omega$$

این کاربرد همان ترانسفورماتور تطبیق طول ربع موج یا بخش  $Q$  است که در فصل چهاردهم بحث شد. به یاد آورید که دو امپدانس را می توان با استفاده از یک خط به طول  $\lambda/4$  مطابق با رابطه  $Z_0 = \sqrt{R_1 R_2}$  تطبیق داد، که در آن  $Z_0$  امپدانس مشخصه خط یک چهارم طول موج (ربع موج) و  $R_1$  امپدانس ورودی و خروجی هستند که باید تطبیق داده شود.

یک خط یک چهارم طول موج همچنین می تواند خازن را شبیه یک سلف یا اندوکتانس را شبیه به یک خازن کند [شکل (٩.١٦)(ب) و (ج)]. به عنوان مثال، یک میکرو نوار  $75\text{ }\Omega$  طول راکتانس القایی  $30\text{ }\Omega$  را شبیه راکتانس خازنی می کند.

$$X_x = \frac{Z_0^2}{X_L} = \frac{75^2}{30} = 187.5\Omega$$

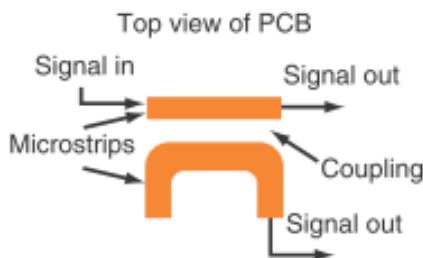
شکل (١٠.١٦) پیکربندی فیزیکی سیم پیچها و خازن های معادل را به شکل میکرو نوار نشان می دهد. بخش نازک میکرو نوار نشان داده شده در شکل (١٠.١٦)(الف) مانند یک سلف سری عمل می کند. شکل (١٠.١٦)(ب) یک قطعه قائم الزاویه اتصال کوتاه را نشان می دهد که انتهای آن به زمین متصل است. این میکرو نوار به عنوان یک سلف موازی عمل می کند. هنگامی که به خازن سری یا کوپلینگ خازنی نیاز است، می توان با استفاده از انتهای خطوط میکرو نواری به عنوان صفحات خازن ریز که توسط یک دی الکتریک هوا از هم جدا شده اند، یک خازن کوچک ایجاد کرد. (١٠.١٦)(ج). یک خازن موازی را می توان با استفاده از یک قطعه ریز و کوچک اتصال کوتاه مانند شکل (١٠.١٦)(د) ایجاد کرد. همانطور که این اشکال کلی نشان می دهند، اغلب می توان مدار معادل یک تقویت کننده میکرواستریپ را با مشاهده الگوی روی PCB تجسم کرد یا حتی ترسیم کرد.



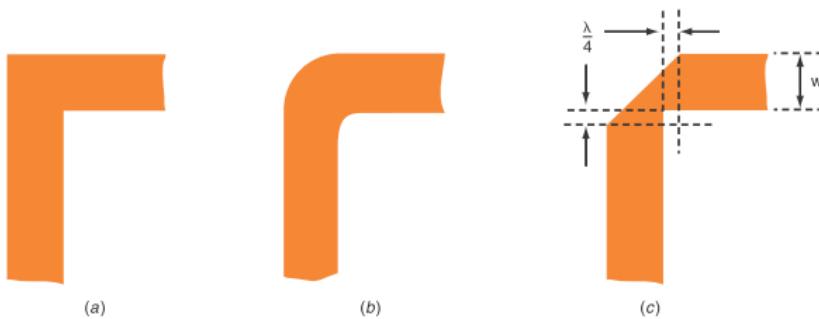
شکل ۱۰.۱۶: شکل‌های معمولی مایکرواستریپ و مدار معادل آنها.

همانطور که در شکل (۱۱.۱۶) نشان داده شده است، می‌توان از مایکرواستریپ نیز برای تحقق کوپلینگ از یک مدار استفاده کرد. یک خط مایکرواستریپ به سادگی موازی با بخش دیگری از مایکرواستریپ قرار می‌گیرد. درجه تزویج بین این دو به فاصله جدایی و طول قطعه موازی بستگی دارد. هرچه فاصله نزدیکتر و طول موازی طولانی‌تر باشد، تزویج بیشتر است. همیشه از دست دادن سیگنال با چنین روش تزویجی وجود دارد، اما می‌توان آن را به دقت کنترل کرد.

اگرچه مایکرواستریپ زمانی که یک خط مستقیم باشد بهترین عملکرد را دارد، چرخش‌های ۹۰ درجه اغلب روی PCB ضروری است. هنگامی که باید از چرخش استفاده شود، چرخش مستقیم با زاویه قائم، مانند آنچه در شکل (۱۲.۱۶)(الف) نشان داده شده است، ممنوع است زیرا به عنوان یک فیلتر پایین گذر در سراسر خط عمل می‌کند. یک خط منحنی تدریجی، مانند آنچه در شکل (۱۲.۱۶)(ب) یا شکل (۱۱.۱۶) نشان داده شده است، زمانی ترجیح داده می‌شود که شعاع چرخش بسیار بیشتر از عرض خط باشد. یک روش جایگزین قابل قبول در شکل (۱۲.۱۶)(ج) نشان داده شده



شکل ۱۱.۱۶: تزویج بین میکرواستریپ‌ها.



شکل ۱۲.۱۶: میکرو نوار چرخش ۹۰ درجه. (الف) از زوایای قائمه مانند این باید اجتناب شود. (ب) منحنی‌ها یا چرخش‌های تدریجی ترجیح داده می‌شوند. (ج) این ترتیب نیز قابل قبول است.

است. برش در گوشه بسیار مهم است. توجه داشته باشید که ابعاد باید  $\lambda/4$  باشد که یک چهارم عرض میکرواستریپ است.

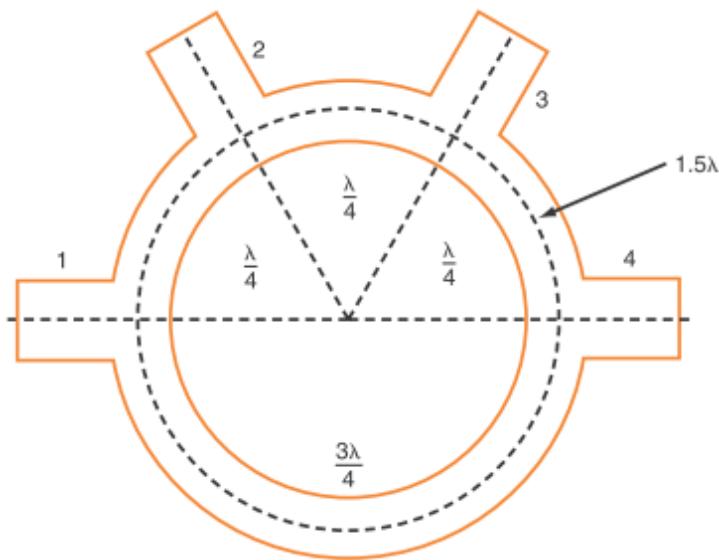
### خوب است بدانید که:

طرح‌های میکرواستریپ مستقیماً روی تخته‌های مدار چاپی ساخته می‌شوند.

شکل خاصی از میکرو نوار حلقه هیبریدی است که در شکل (۱۳.۱۶) نشان داده شده است. طول کل حلقه میکرواستریپ  $1/5\lambda$  است. چهار سر یا پورت روی خط وجود دارد که در فواصل یک چهارم طول موج ( $\lambda/4$ ) فاصله دارند که می‌توانند به عنوان ورودی یا خروجی استفاده شوند.

حالا یک سیگنال به پورت ۱ اعمال می‌شود و اتفاقات جالبی می‌افتد. سیگنال‌های خروجی در پورت‌های ۲ و ۴ ظاهر می‌شوند، اما سطح آنها نصف قدرت ورودی است. بنابراین مدار به عنوان یک تقسیم کننده قدرت عمل می‌کند تا دو سیگنال در سطح یکسان را به مدارهای دیگر برساند. هیچ خروجی در پورت ۳ وجود ندارد. اثر اعمال سیگنال در پورت ۴ مشابه است. خروجی‌های نیمه توان برابر در پورت‌های ۱ و ۳ ظاهر می‌شود، اما هیچ سیگنالی در پورت ۲ ظاهر نمی‌شود.

اگر سیگنال‌های جداگانه به طور همزمان به پورت‌های ۱ و ۳ اعمال شوند، خروجی در پورت ۲ مجموع آنها و خروجی در پورت ۴ تفاوت آنها خواهد بود.



شکل ۱۳.۱۶: یک حلقه هایبرید ماکرواستریپ.

عملکرد منحصر بهفرد حلقه هایبریدی آن را برای تقسیم سیگنال‌ها یا ترکیب آنها بسیار مفید می‌کند.

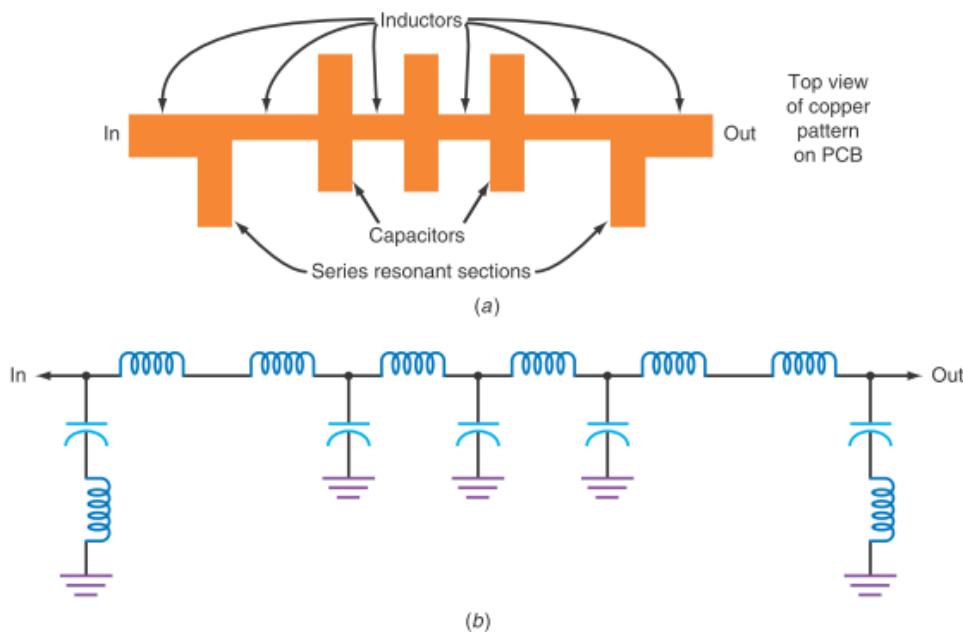
میکرواستریپ را می‌توان برای ایجاد تقریباً هر مدار هماهنگی که در یک تقویت کننده لازم است، از جمله مدارهای تشیدی کننده، فیلترها و شبکه‌های تطبیق امپدانس استفاده کرد. شکل (۱۴.۱۶)(الف) نشان می‌دهد که چگونه یک فیلتر پایین گذر با بخش‌های میکرواستریپ اجرا می‌شود. قطعه نشان داده شده یک فیلتر پایین گذر بسیار انتخابی برای استفاده بازه فرکانسی ۱ تا ۳ گیگاهرتز بسته به ابعاد دقیق است. مدار معادل مدار فشرده در شکل (۱۴.۱۶)(ب) نشان داده شده است. بخش‌های خط انتقال بر روی خود PCB شکل می‌گیرند و در صورت لزوم از سر بهانتها متصل می‌شوند. سپس ترانزیستورها یا آی‌سی‌ها به همراه هر مقاومت یا قطعات گستته بزرگتر که ممکن است مورد نیاز باشد به PCB لحیم می‌شوند.

### ۱-۱۶ مثال

یک قطعه تطبیق  $Q$  ربع موج ساخته شده از میکرواستریپ برای تطبیق منبع  $۵^\circ$  اهم با بار  $۱۳۶$  اهم در  $۵/۸$  گیگاهرتز طراحی شده است. ثابت دیکتریک  $\epsilon_r = ۲/۴$  PCB است. (الف) امپدانس مورد نیاز میکرو نوار و (ب) طول آن را محاسبه کنید.

#### • الف

$$Z_Q = \sqrt{Z_{source} \times Z_{load}} = \sqrt{۵^\circ(۱۳۶)} = ۸۲/۴۶\Omega$$



شکل ۱۴.۱۶: یک فیلتر میکرواستریپ (الف) فیلتر پایین گذر میکرواستریپ. (ب) مدار معادل اجزاء فشرده.

• ب

$$\lambda = \frac{300}{f}, \quad f \text{ in MHz}$$

$$\lambda = \frac{300}{5.8 \times 10^3} = 0.0517m$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.0517}{4} = 0.012931m, \quad 1m = 39.37 \text{ in}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 0.012931 \times 39.37 = 0.51 \text{ in}$$

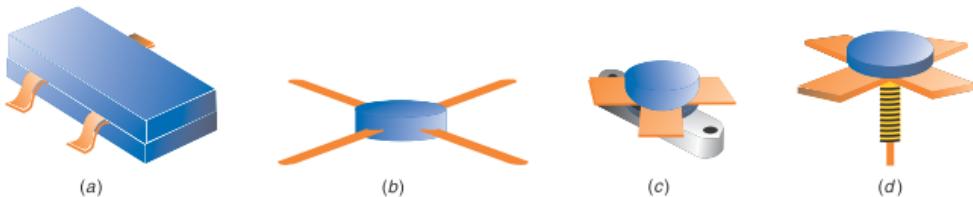
این طول ربع موج در فضای آزاد است اما در دیالکتریک باید در ضریب  $\sqrt{\epsilon_r} = \sqrt{2.4} = 1.5645$  ضرب شود

$$\frac{\lambda}{4} = (0.51 \text{ in})(1.5645) = 0.7986 \text{ in}$$

### ترانزیستورهای مایکروویو:

ترانزیستورهای مایکروویو، چه دوقطبی باشند و چه از نوع FET، درست مانند سایر ترانزیستورها عمل می‌کنند. تفاوت اصلی بین ترانزیستورهای فرکانس پایین استاندارد و انواع مایکروویو، هندسه داخلی و بسته بندی است.

برای کاهش اندوکتانس‌ها و ظرفیت‌های داخلی عناصر ترانزیستور، از پیکربندی‌های تراشه‌ای خاص بهنام هندسی استفاده می‌شود که به ترانزیستورها اجازه می‌دهد در سطوح توان بالاتر کار کنند و در عین حال سلف‌ها و خازن‌های توزیع شده و سرگردان را به حداقل می‌رسانند.



شکل ۱۵.۱۶: ترانزیستورهای مایکروویو (الف) و (ب) سیگنال کوچک کم مصرف. (ج) قدرت FET. (د) قدرت NPN دوقطبی

شکل (۱۵.۱۶) چندین نوع ترانزیستور مایکروویو را نشان می‌دهد. شکل (۱۵.۱۶)(الف) و (ب) ترانزیستورهای مایکروویو سیگنال کوچک کم مصرف هستند. این نوع سیلیکون NPN یا گالیم آرسناید است. به‌سیم پایه بسیار کوتاه توجه کنید. هر دو بسته برای نصب مستقیم روی سطح PCB طراحی شده‌اند. ترانزیستور در شکل (۱۵.۱۶)(ب) دارای چهار فلز، معمولاً دو سیم امیتر (یا منبع) به‌اضافه پایه (یا گیت) و کلکتور (یا تخلیه) است. دو سیم امیتر به صورت موازی از اندوکتانس پایین اطمینان می‌دهند. برخی از ترانزیستورهای این نوع به جای دو سیم امیتر دارای دو پایه یا دو سیم جمع کننده هستند.

شکل (۱۵.۱۶)(ج) یک ماسفت قدرت حالت (مود) افزایشی را نشان می‌دهد. سرهای کوتاه و ضخیم، نوارهای ضخیمی از مس هستند که مستقیماً به مدار میکرو نوار روی PCB لحیم می‌شوند. این بارهای گسترده همچنین به انتقال گرما از ترانزیستور کمک می‌کند. شکل (۱۵.۱۶)(د) یک ترانزیستور قدرت NPN با دو سیم امیتر است. سرهای کوتاه و ضخیم، اندوکتانس کم را تضمین می‌کنند و همچنین اجرازه می‌دهند تا جریان‌های بالا را در خود جای دهد. نوارهای مسی ضخیم به‌دفع گرما کمک می‌کنند. دستگاه‌های موجود در شکل (۱۵.۱۶)(ج) و (د) می‌توانند سطوح توان تا چند صد وات را تحمل کنند. ترانزیستورها برای تقویت سیگنال کوچک و نوسانگرها برای فرکانس تا حدود ۱۰۰ گیگاهرتز در دسترس هستند. برای تقویت توان، ترانزیستورها برای فرکانس‌های تا ۵۰ گیگاهرتز در دسترس هستند.

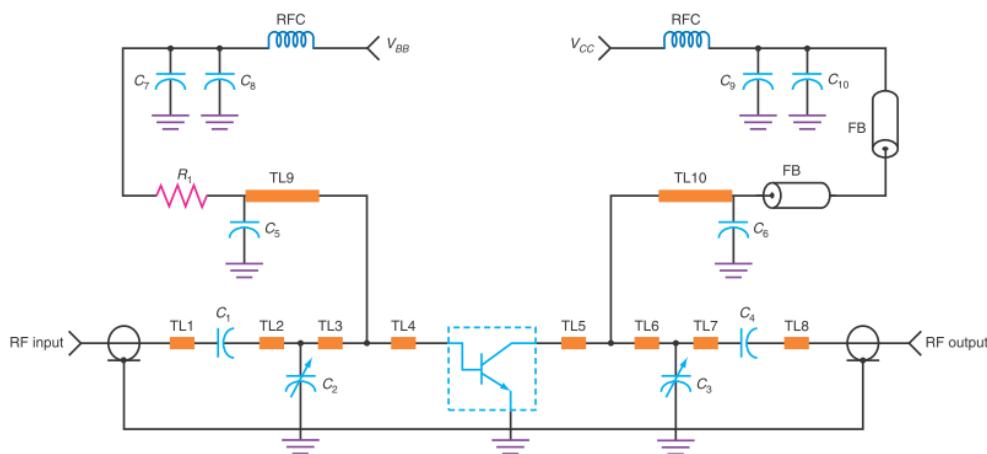
بیشتر ترانزیستورهای مایکروویو همچنان از سیلیکون ساخته می‌شوند. همانطور که اندازه هندسه ترانزیستور به زیر  $40\text{ }\mu\text{متر}$  (۴۰ نانومتر) کاهش یافته است، سرعت سوئیچینگ و فرکانس‌های تقویت به خوبی در ناحیه مایکروویو افزایش یافته است. مدارهای مجتمع دیجیتال CMOS که با ماسفت ساخته می‌شوند، می‌توانند تا ۱۰ گیگاهرتز کار کنند. مدارهای RF و خطی/آنالوگ ساخته شده با CMOS و استفاده در رادیوهای مایکروویو کم مصرف و همچنین در مدارهای انتقال فیبر نوری می‌توانند تا ۱۰ گیگاهرتز کار کنند. اما فراتر از ۱۰ گیگاهرتز، دستگاه‌های خاصی لازم است.

قبل‌آمدیدهاید که چگونه GaAs MESFET، نوعی از JFET که از یک اتصال سد شاتکی استفاده می‌کند، می‌تواند در فرکانس‌های بیش از ۵ گیگاهرتز کار کند. گونه‌ای از MESFET به نام ترانزیستور با تحرک الکترون بالا<sup>۱۶</sup> (HEMT) با افزودن یک لایه اضافی از مواد نیمه‌هادی مانند AlGaAs محدوده فرکانس را فراتر از ۲۰ گیگاهرتز افزایش می‌دهد.

<sup>۱۶</sup> High Electron Mobility Transistor (HEMT)

یک دستگاه بسیار معروف که به عنوان ترانزیستور دوقطبی ناهمگون<sup>۱۷</sup> (HBT) شناخته می‌شود، تقویت فرکانس بالاتر را هم در شکل مجزا و هم در مدارهای مجتمع ممکن می‌کند. یک پیوند ناهمگون با دو نوع مختلف از مواد نیمه‌هادی تشکیل می‌شود. برخی از ترکیبات محبوب ایندیم فسفید (InP) و سیلیکون ژرمانیوم (SiGe) هستند. ترکیبات دیگر عبارتند از AlGaAs/GaAs و InP های InP در فرکانس‌های تا ۵۰ گیگاهرتز کار می‌کنند و HBT های SiGe برای کار تا ۲۰۰ گیگاهرتز توسعه یافته‌اند. هر دو نسخه با سیگنال کوچک و تقویت کننده قدرت در دسترس هستند.

برای تقویت کننده‌های قدرت، TWT‌های مود افزایشی LDMOS در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز معمول هستند. چنین ترانزیستورهایی می‌توانند سطوح توان چند صد وات را تحمل کنند. در فرکانس‌های ۵۰ گیگاهرتز، ترانزیستورهای pHEMET جدید نیترید گالیوم (GaN) می‌توانند سطوح توان تا حدود ۱۰۰ وات را تامین کنند.



شکل ۱۶.۱۶: تقویت کننده مایکروویو ۱۰ تک مرحله‌ای کلاس  $\text{AB}$ .

### تقویت کننده‌های سیگنال کوچک :

یک تقویت کننده مایکروویو با سیگنال کوچک می‌تواند از یک ترانزیستور منفرد یا چند ترانزیستور همراه با یک مدار بایاس و هر مدار یا اجزای میکرو نواری در صورت لزوم ساخته شود. اکثر تقویت کننده‌های مایکروویو از انواع هماهنگی هستند. یعنی پهنهای باند آنها توسط کاربرد تنظیم شده و توسط مدارهای هماهنگی موازی یا سری میکرواستریپ پیاده سازی می‌شود و سپس از خطوط میکرواستریپ برای انجام وظایف مختلف تطبیق امپدانس مورد نیاز برای به کار اندختن تقویت کننده استفاده می‌شود.

نوع دیگری از تقویت کننده مایکروویو با سیگنال کوچک، مدار مجتمع چند مرحله‌ای، انواع MMIC است. علاوه بر تقویت کننده‌ها، سایر MMIC‌های موجود شامل میکسرها، سوئیچها و شیفتراهای فاز هستند.

**تقویت کننده‌های ترانزیستوری :** شکل (۱۶.۱۶) یک تقویت کننده مایکروویو برای سیگنال‌های کوچک را نشان می‌دهد. این نوع تقویت کننده معمولاً در قسمت جلویی گیرنده مایکروویو برای ایجاد

<sup>۱۷</sup>Heterojunction Bipolar Transistor (HBT)

تقویت اولیه برای میکسر از ترانزیستور کم نویز استفاده می‌شود. محدوده بهره معمولی ۱۰ تا ۲۵ دسیبل است.

بیشتر تقویت کننده‌های مایکروویو طوری طراحی شده‌اند که دارای امپدانس ورودی و خروجی ۵۰ اهم باشند. در مدار نشان داده شده در شکل (۱۶.۱۶)، ورودی می‌تواند از یک آنتن یا مدار مایکروویو دیگری باشد. بلوک‌هایی که TL برچسب گذاری شده‌اند، بخش‌های میکرو نواری هستند که به عنوان مدارهای هماهنگی، سلفها یا خازن‌ها عمل می‌کنند. یک میکرو نوار ورودی TL1 به عنوان یک بخش تطبیق امپدانس عمل می‌کند و TL2 و TL3 یک مدار هماهنگی را تشکیل می‌دهند. TL4 یکی دیگر از بخش‌های تطبیق امپدانس است که مدار هماهنگی را با امپدانس مختلط ورودی بیس تطبیق می‌دهد. مدارهای هماهنگی پهنانی باند ورودی تقویت کننده را تنظیم می‌کنند.

ترتیب مشابهی از بخش‌های تطبیق امپدانس و مدارهای هماهنگی در کلکتور برای تنظیم پهنانی باند و تطبیق امپدانس کلکتور ترانزیستور با خروجی استفاده می‌شود. و  $C_۲$  و  $C_۳$  خازن‌های متغیری هستند که امکان تنظیم پهنانی باند را فراهم می‌کنند.

تمام اجزای دیگر از نوع تراشه‌های روی سطح هستند تا اندوکتانس‌های سیم‌های رابط را کوتاه نگه دارند. بخش‌های میکرواستریپ TL9 و TL10 به عنوان القاگر عمل می‌کنند و بخشی از شبکه‌های جداسازی قابل توجهی را تشکیل می‌دهند که در منبع بایاس پایه (بیس)  $V_{BB}$  و  $V_{CC}$  تامین کننده کلکتور استفاده می‌شود. ولتاژ منبع تغذیه بیس و مقدار  $R_1$  بایاس بیس را تنظیم می‌کند، بنابراین ترانزیستور را به ناحیه خطی برای تقویت کلاس A هدایت می‌کند. از RFC‌ها در سرهای منبع تغذیه استفاده می‌شود تا RF را از منبع تغذیه دور نگه دارد و از مسیرهای بازخوردی (فیدبک) که می‌تواند باعث نوسان و بی ثباتی در مدارهای چند مرحله‌ای شود جلوگیری کند. دانه‌های فریت <sup>۱۸</sup> (FB) در سیم رابط تامین کننده کلکتور برای جداسازی (عدم تزویج) بیشتر استفاده می‌شود.

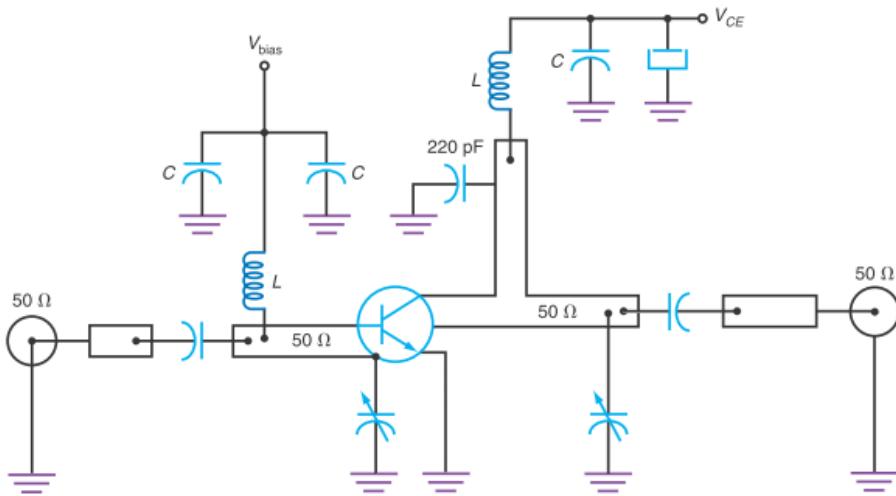
**تقویت کننده‌های MMIC:** تقویت کننده‌های مدار مجتمع مایکروویو یکپارچه (MMIC) تقویت کننده‌ای است که دو یا چند مرحله از ترانزیستورهای FET یا دوقطبی ساخته شده بر روی یک تراشه مشترک را برای تشکیل یک تقویت کننده چند مرحله‌ای ترکیب می‌کند. این تراشه همچنین دارای مقاومت‌هایی برای بایاسینگ و خازن‌های بای پس کوچک است. از نظر فیزیکی، این دستگاه‌ها شبیه ترانزیستورهای شکل (۱۶.۱۶) (الف) و (ب) هستند. آنها برای تطبیق و تنظیم امپدانس به یک PCB حاوی مدارهای میکرواستریپ لحیم می‌شوند.

یک دیگر از شکل‌های مطلوب MMIC، مدار هیبریدی است که ترکیبی از یک آی‌سی تقویت کننده متصل به مدارهای میکرواستریپ و اجزای گستته از انواع مختلف است. همه اجزا بر روی یک بستر آلومینا کوچک تشکیل شده‌اند که هم به عنوان پایه و هم مکانی برای تشکیل خطوط میکرواستریپ عمل می‌کند. مقاومت‌های چیپ (تراشه) نصب شده روی سطح، خازن‌ها، ترانزیستورها و تقویت کننده‌های MMIC متصل می‌شوند. کل واحد در یک محفظه، معمولاً فلزی برای محافظت، بسته بندی و به مدارهای اضافی روی PCB متصل می‌شود.

**تقویت کننده‌های قدرت:** یک تقویت کننده توان مایکروویو کلاس A معمولی در شکل (۱۷.۱۶) نشان داده شده است. خطوط میکرواستریپ برای تطبیق و تنظیم امپدانس استفاده می‌شود. اکثر مدارهای میکرواستریپ شبکه‌های تطبیق نوع L را با یک پیکربندی پایین گذر شبیه سازی می‌کنند. سلف‌ها و خازن‌های حلقه سیم کوچک برای تشکیل شبکه‌های جداسازی برای جلوگیری از بازخورد

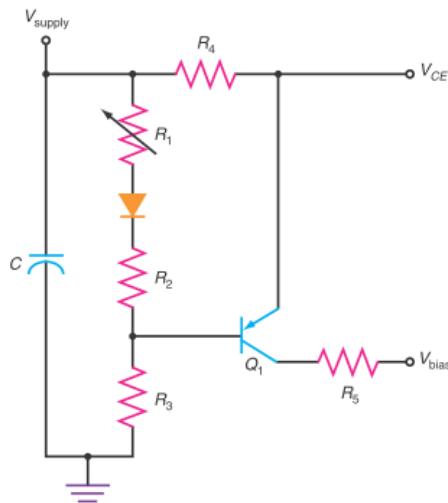
<sup>۱۸</sup>Ferrite Beads (FB)

<sup>۱۹</sup>Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC)



شکل ۱۷.۱۶: تقویت کننده قدرت مايكروويو کلاس A

از طریق منبع تغذیه استفاده می‌شوند که باعث نوسان می‌شود. امپدانس‌های ورودی و خروجی  $50\ \Omega$  هستند. این مرحله خاص با فرکانس  $1/2$  گیگاهرتز کار می‌کند و توان خروجی  $1/5$  وات را ارائه می‌دهد. ولتاژ‌های منبع تغذیه معمولی  $24, 12$  و  $28$  ولت هستند، اما می‌توانند به  $36$  یا  $48$  ولت برای کاربرد توان بالا بروند.

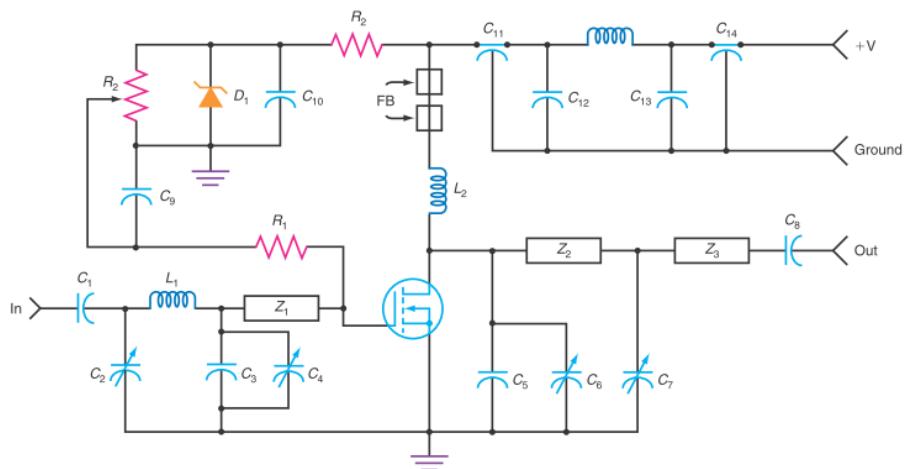


شکل ۱۸.۱۶: منبع بایاس جریان ثابت برای تقویت کننده توان خطی.

توجه داشته باشید که بایاس توسط یک تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی تامین نمی‌شود. در عوض، معمولاً از یک مدار جریان بایاس جداگانه مانند آنچه در شکل (۱۸.۱۶) نشان داده شده است، که یک منبع جریان ثابت معمولی است، می‌آید. مقاومت‌های  $R_1, R_2$  و  $R_3$  یک تقسیم کننده ولتاژ تشکیل

می‌دهند تا ولتاژ بیس را روی  $Q_1$  تنظیم کنند. یک ولتاژ در مقاومت امیتر  $R_4$  ایجاد می‌شود. این ولتاژ تقسیم بر  $R_4$  مقدار جریان عرضه شده توسعه  $Q_1$  را به ترانزیستور در تقویت کننده مایکروویو می‌دهد. یک دیود به صورت سری با تقسیم کننده ولتاژ مقداری جریان دما را برای تغییرات در ولتاژ بیس امیتر که در  $Q_1$  رخ می‌دهد فراهم می‌کند. مقاومت  $R_1$  برای تنظیم جریان بایاس به مقادیر دقیق برای توان بهینه و حداقل اعوجاج قابل تنظیم است. اکثر تقویت کننده‌های قدرت با بایاس خود را از منابع جریان ثابت بدست می‌آورند. این یک جریان بایاس را فراهم می‌کند که نسبتاً مستقل از دما است و بنابراین محافظت عالی در برابر آسیب ایجاد می‌کند.

بایاس از طریق یک سلف کوچک به بیس تقویت کننده در شکل (۱۹.۱۶) اعمال می‌شود. این و خازن ای با پس انرژی مایکروویو را خارج از مدار بایاس نگه می‌دارند.



شکل ۱۹.۱۶: تقویت کننده توان با FET

تقویت کننده قدرت تک مرحله‌ای FET نشان داده شده در شکل (۱۹.۱۶) می‌تواند به توان خروجی ۱۰۰ وات در ناحیه بالای UHF و پائین مایکروویو دست یابد. ترانزیستور یک FET با مود افزایشی<sup>۲۰</sup> است. این بدان معناست که FET با ولتاژ تخلیه اعمال شده هدایت نمی‌شود. یک سیگنال گیت مثبت ۳ ولت یا بیشتر برای رسیدن به رسانایی باید اعمال شود. سیگنال گیت توسط یک طبقه راهانداز کم توان و بایاس گیت توسط یک دیود زنر تامین می‌شود. ولتاژ گیت با پتانسیومتر  $R_4$  قابل تنظیم است. این اجزا می‌دهند تا بایاس برای عملیات کلاس B یا کلاس C خطی تنظیم شود. برای عملیات کلاس A خطی، مقدار ساکن (خاموش) جریان تخلیه با بایاس تنظیم می‌شود. این مدار بایاس همچنین می‌تواند برای تنظیم توان خروجی در یک محدوده کوچک استفاده شود.

در مدار نشان داده شده در شکل (۱۹.۱۶)، ترکیبی از مدارهای هماهنگی LC و میکرو نوارها برای تنظیم و تطبیق امپدانس استفاده شده است. در اینجا  $L_1$  یک حلقه گیره موی کوچک از سیم سنگین است، و  $L_2$  یک سلف بزرگتر است که از چندین دور سیم ساخته شده است تا یک امپدانس بالا برای جداسازی (عدم تزویج) ایجاد کند.

<sup>۲۰</sup> Enhancement Mode

اکثر تقویت کننده‌های قدرت مدرن GaN مدارهای کامل در یک بسته واحد هستند. هر یک محدوده فرکانس و کاربرد خاصی مانند سلولی یا رادار را هدف قرار می‌دهد.

### ۳.۱۶ موجبرها و محفظه‌های تشید

خطوط انتقال موازی طولانی مانند خطوط دوسیمه ۳۰° اهم، انرژی الکترومغناطیسی را در حین انتقال آن از یک مکان به مکان دیگر ساطع می‌کنند. با افزایش فرکانس کار، میزان تابش از خط افزایش می‌یابد. در فرکانس‌های مايكرويو، تقریباً تمام انرژی تابش می‌شود. تقریباً هیچ انرژی به‌انتهای خط انتقال نمی‌رسد. علیرغم تضعیف زیاد آنها، کابل‌های کواکس به‌طور گستره‌های برای انتقال سیگنال‌های امواج مايكرويو و حتی برخی از امواج میلی‌متری در فواصل کوتاه استفاده می‌شوند. برای فرکانس‌های مايكرويو پایین‌تر، کابل‌های کواکسیال مخصوصی ساخته شده‌اند که در صورت کوتاه نگه داشتن طول (کمتر از ۱۰۰ فوت) تا حدود ۶ گیگاهرتز قابل استفاده هستند. بالاتر از این فرکانس، تلفات کابل کواکسیال بسیار زیاد است به جز طول‌های چند فوت یا کمتر، می‌تواند برای اتصال قطعاتی از تجهیزات نزدیک به‌هم استفاده شود، اما برای کارهای طولانی تر باید از روش‌های دیگر انتقال استفاده شود. برای به‌حداقل رساندن تلفات، انواع خاصی از کابل‌های کواکسیال با هادی‌ها و شیلددهای داخلی بزرگ ایجاد شده است. با این حال، در بیشتر موارد این کابل‌ها به‌جای انعطاف پذیری سفت و سخت هستند، که باعث گرانی و دشواری استفاده از آنها می‌شود.

مشکل دیگر محدودیت توان تحمل کابل‌های کواکسیال است. کابل‌های بزرگتر می‌توانند سطوح توان را تا حدود ۱ کیلو وات حمل کنند. سطوح توان بالاتر مورد نیاز در کاربردهای رادار و ماهواره‌ای راه حل دیگری را می‌طلبد.

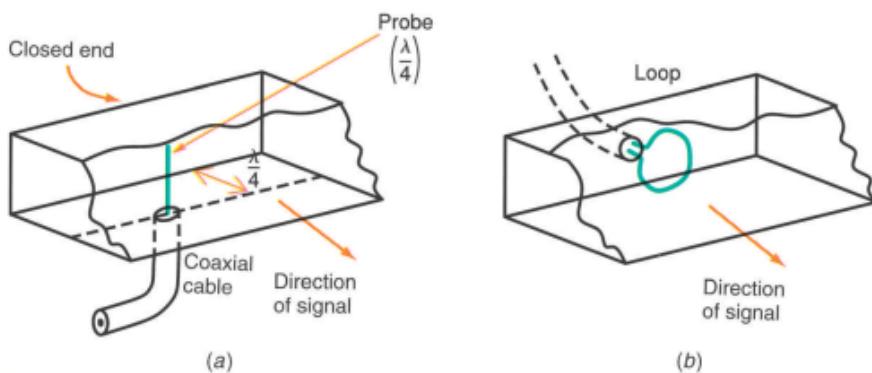
#### موجبرها :

بیشتر انتقال انرژی مايكرويو پرقدرت بالای حدود ۶ گیگاهرتز توسط موجبرها انجام می‌شود که لوله‌های رسانای فلزی توخالی هستند که برای حمل و محدود کردن امواج الکترومغناطیسی سیگنال مايكرويو طراحی شده‌اند. بیشتر موجبرها مستطیل شکل هستند. موجبرها را می‌توان برای انتقال انرژی بین قطعات تجهیزات یا در فواصل طولانی‌تر برای انتقال توان فرستنده به‌آتنن یا سیگنال‌های مايكرويو از آتنن به‌گیرنده استفاده کرد.

موجبرها از مس، آلومینیوم یا برنج ساخته می‌شوند. این فلزات بصورت لوله‌های با مقطع مستطیلی یا دایره‌ای ریخته و ساخته می‌شوند. اغلب قسمت داخلی موجبرها با نقره اندود می‌شود تا مقاومت را کاهش دهد و تلفات انتقال را در سطح بسیار پایین نگه دارد.

**تزریق و استخراج سیگنال :** یک سیگنال مايكرويو که باید توسط یک موجبر حمل شود، با یک کاوشگر آتنن مانند به یک انتهای موجبر وارد می‌شود که یک موج الکترومغناطیسی ایجاد می‌کند و از طریق موجبر منتشر می‌شود. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مرتبط با سیگنال از دیواره‌های داخلی به‌عقب و جلو پرتاب می‌شوند، زیرا سیگنال به‌سمت پایین موجبر حرکت می‌کند. موجبر به طور کامل حاوی سیگنال است به‌طوری که هیچ یک توسط تابش فرار نمی‌کند.

پروب (پویشگر-کاوشگر) نشان داده شده در شکل (۲۰.۱۶)(الف) یک آتنن عمودی با طول یک چهارم طول موج در فرکانس سیگنال بوده و در یک چهارم طول موج از انتهای که بسته است به‌موجبر وارد می‌شود. سیگنال معمولاً از طریق یک کابل کواکسیال کوتاه و یک کانکتور به‌پروب کوپل می‌شود. کاوشگر یک موج الکترومغناطیسی پلاریزه عمودی را در موجبر ایجاد می‌کند که سپس



شکل ۲۰.۱۶: تزریق موج سینوسی بهموجر و استخراج سیگنال.

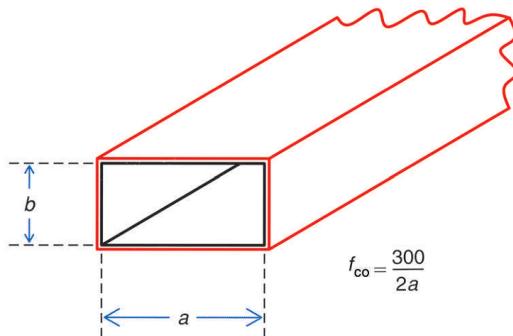
در خط منتشر می‌شود. از آنجایی که پروب در یک چهارم طول موج از انتهای بسته موجبر قرار دارد، سیگنال از کاوشگر از انتهای بسته خط به سمت انتهای باز منعکس می‌شود. در فاصله یک چهارم طول موج، سیگنال منعکس شده در پروب هم فاز ظاهر می‌شود تا با سیگنال در جهت مخالف کمک کند. به یاد داشته باشید که یک سیگنال رادیویی از هر دو میدان الکتریکی و مغناطیسی در زاویه قائمه با یکدیگر تشکیل شده است. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ایجاد شده توسط کاوشگر در موجبر با زاویه قائم نسبت به دو میدان سیگنال رادیویی منتشر می‌شوند. موقعیت کاوشگر مشخص می‌کند که سیگنال به صورت افقی یا عمودی قطبی شده است. در شکل ۲۰.۱۶(الف)، میدان الکتریکی عمودی است، بنابراین قطبش عمودی است. میدان الکتریکی شروع به انتشار در خط می‌کند و بارهایی را روی خط ایجاد می‌کند که باعث جریان یافتن جریان سطحی می‌شود. این به نوبه خود یک میدان مغناطیسی همراه در زوایای قائم با میدان الکتریکی و جهت انتشار ایجاد می‌کند.

همچنین می‌توان از یک حلقه برای وارد کردن یک میدان مغناطیسی به یک موجبر استفاده کرد. حلقه در شکل ۲۰.۱۶(ب) در انتهای بسته موجبر نصب شده است. انرژی مایکروویو اعمال شده از طریق یک قطعه کوتاه کابل کواکسیال باعث ایجاد میدان مغناطیسی در حلقه می‌شود. میدان مغناطیسی همچنین یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کند که سپس در موجبر پخش می‌شود. از پروب‌ها و حلقه‌ها نیز می‌توان برای استخراج سیگنال از یک موجبر استفاده کرد. هنگامی که سیگنال به یک پروب یا یک حلقه برخورد می‌کند، سیگنالی القا می‌شود که سپس می‌تواند از طریق یک کابل کواکسیال کوتاه به مدارهای دیگر تغذیه شود.

**اندازه و فرکانس موجبر :** شکل ۲۱.۱۶ (۲۱.۱۶) مهمترین ابعاد یک موجبر مستطیلی را نشان می‌دهد: عرض  $a$  و ارتفاع  $b$ . توجه داشته باشید که اینها ابعاد داخلی موجبر هستند. فرکانس عملکرد یک موجبر با اندازه  $a$  تعیین می‌شود. این بعد معمولاً برابر با یک دوم طول موج، کمی کمتر از کمترین فرکانس کار است. این فرکانس به فرکانس قطع موجبر معروف است. در فرکانس قطع و پایین‌تر، موجبر انرژی را منتقل نمی‌کند. در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس قطع، موجبر انرژی الکترومغناطیسی را منتشر می‌کند. موجبر در اصل یک فیلتر بالاگذر با فرکانس قطعی برابر با

$$f_{co} = \frac{300}{2a}$$

که در آن  $f_{co}$  فرکانس بر حسب مگاهرتز و  $a$  بر حسب متر است.



شکل ۲۱.۱۶: ابعاد یک موجبر محدوده فرکانس کاری آن را تعیین می‌کند.

به عنوان مثال، فرض کنید می‌خواهید فرکانس قطع یک موجبر را با ابعاد  $7\text{ cm}$  اینچ تعیین کنید. برای تبدیل  $7\text{ in}$  به متر، در  $2/54$  ضرب کنید تا سانتی‌متر به دست آید و بر  $100$  تقسیم کنید تا متر به دست آید:  $0.01778\text{ m} = 0.01778\text{ in}$ . بدین ترتیب،

$$f_{co} = \frac{300}{2(0.01778)} = 8436 \text{ MHz} = 8.436 \text{ GHz}$$

به طور معمول، ارتفاع یک موجبر برابر با نصف بعد  $a$  یا  $35\text{ mm}$  اینچ است. اندازه واقعی ممکن است  $40\text{ mm}$  باشد.

### خوب است بدانید که:

در فرکانس‌های مایکروویو بالاتر، تقریباً بالای  $6$  تا  $10$  گیگاهرتز، از یک لوله مستطیلی یا دایره‌ای توخالی مخصوص بـنام موجبر برای خط انتقال استفاده می‌شود.

### مثال ۲-۱۶

یک موجبر مستطیلی دارای عرض  $65\text{ mm}$  و ارتفاع  $38\text{ mm}$  اینچ است. (الف) فرکانس قطع چقدر است؟ (ب) فرکانس کاری معمولی برای این موجبر چیست؟

$$\bullet \text{ الف } 0.65 \text{ in} \times 2.54 = 1.651 \text{ cm}$$

$$\frac{1.651}{100} = 0.01651 \text{ m}$$

$$f_{co} = \frac{300}{2a} = \frac{300}{2(0.01651)} = 9085 \text{ MHz} = 9.085 \text{ GHz}$$

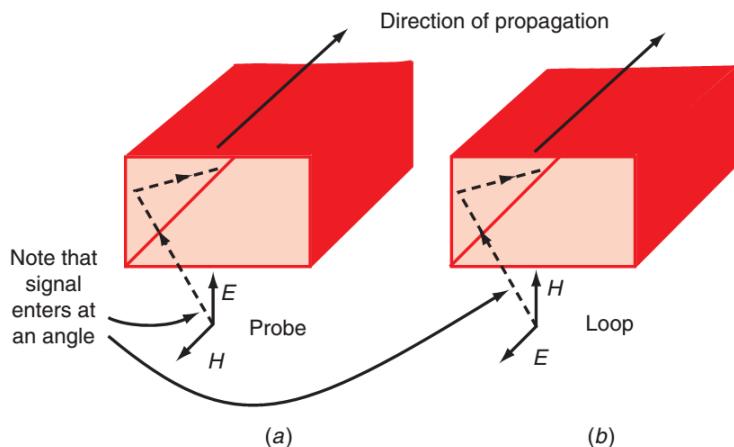
$$\bullet \text{ ب } f_{co} = 0.7f$$

$$f = \frac{f_{co}}{0.7} = 1.42f_{co} = 1.42(9.085) = 12.98 \text{ GHz}$$

و بالاتر از آن.

## مثال ۳-۱۶

آیا موجبر مستطیلی در مثال ۲-۱۶ در باند C عمل می‌کند؟  
باند C تقریباً ۴ تا ۶ گیگاهرتز است. از آنجایی که یک موجبر به عنوان یک فیلتر بالاگذر با قطع ۹۰٪ ۸۵ گیگاهرتز عمل می‌کند، سیگنال باند C را عبور نمی‌دهد.



شکل ۲۲.۱۶: (الف) میدان الکتریکی عرضی. (ب) میدان مغناطیسی عرضی.

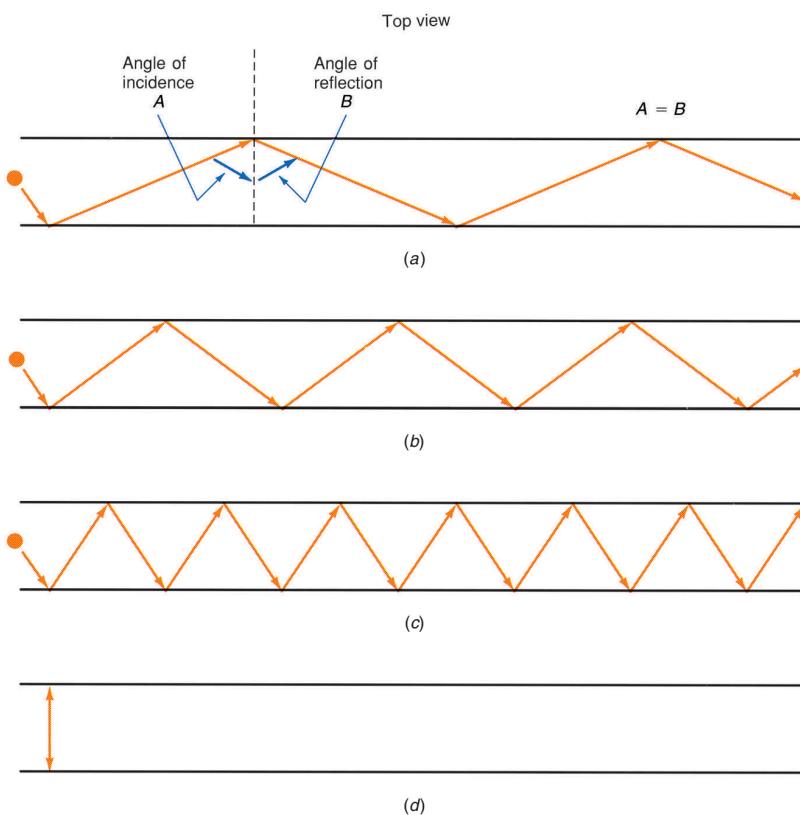
**انتشار سیگنال:** هنگامی که یک کاوشگر یا حلقه انرژی را به یک موجبر انتقال می‌دهد، سیگنال با زاویه‌ای وارد موجبر می‌شود که میدان‌های الکترومغناطیسی از دیوارهای جانبی موجبرها با انتشار سیگنال در طول خط منعکس می‌شوند. در شکل (۲۲.۱۶)(الف)، یک کاوشگر عمودی در حال تولید موج قطبش عمودی با میدان الکتریکی عمودی و یک میدان مغناطیسی در زاویه قائم با میدان الکتریکی است. میدان الکتریکی نسبت به جهت انتشار موج دارای زاویه قائم است، بنابراین میدان الکتریکی عرضی<sup>۲۱</sup> (TE) نامیده می‌شود. شکل (۲۲.۱۶)(ب) نشان می‌دهد که چگونه یک حلقه سیگنال را تولید می‌کند. در این حالت، میدان مغناطیسی عرضی نسبت به جهت انتشار است، بنابراین به آن میدان مغناطیسی عرضی<sup>۲۲</sup> (TM) می‌گویند.

زوایای تابش و بازتاب به فرکانس کارستگی دارد (شکل ۲۳.۱۶). در فرکانس‌های بالا، زاویه بزرگ است و بنابراین مسیر بین دیوارهای مقابل نسبتاً طولانی است، همانطور که در شکل (۲۳.۱۶)(الف) نشان داده شده است. با کاهش فرکانس کاری، زاویه نیز کاهش می‌یابد و مسیر بین دو طرف کوتاه می‌شود. هنگامی که فرکانس کار به فرکانس قطع موجبر می‌رسد، سیگنال به سادگی بین دیوارهای جانی موجبر به عقب و جلو باز می‌گردد. هیچ انرژی منتشر نمی‌شود.

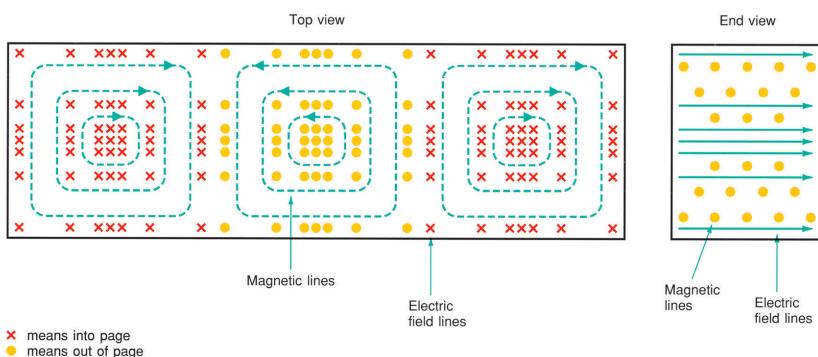
هر زمان که سیگنال مایکروویو توسط یک کاوشگر یا حلقه به یک موجبر تغذیه می‌کند، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در الگوهای مختلف بسته به روش تزویج انرژی، فرکانس عملکرد و اندازه موجبر ایجاد می‌شود. شکل (۲۴.۱۶) میدان‌های معمولی را در یک موجبر نشان می‌دهد. در نمای پایانی، خطوط نشان دهنده خطوط E میدان الکتریکی هستند. نقاط نشان دهنده خطوط H میدان

<sup>۲۱</sup>Transverse Electric (TE) field

<sup>۲۲</sup>Transverse Magnetic (TM) Field

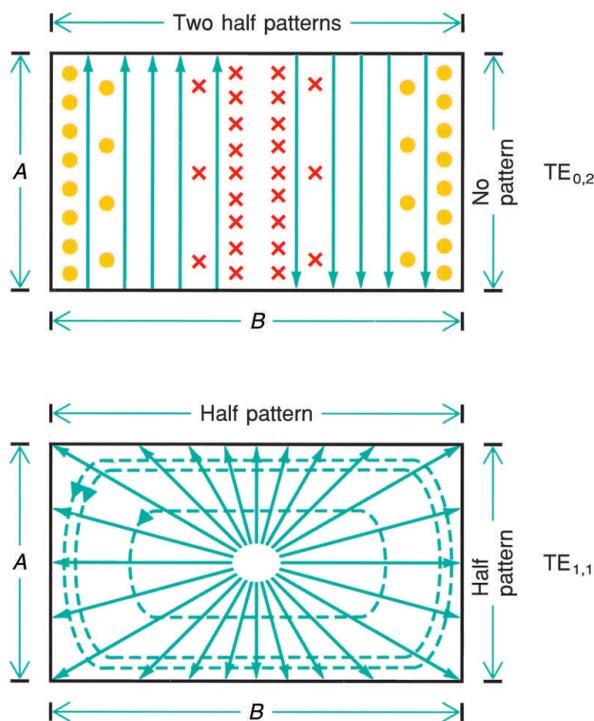


شکل ۲۳.۱۶: مسیرهای موج در یک موجبر در فرکانس‌های مختلف. (الف) فرکانس بالا (ب) فرکانس متوسط. (ج) فرکانس پایین (د) فرکانس قطع.



شکل ۲۴.۱۶: میدان‌های الکتریکی (E) و مغناطیسی (H) در یک موجبر مستطیلی شکل.

مغناطیسی هستند. در نمای بالا، خطوط چین نشان دهنده میدن  $H \times$ ها و نقطه‌ها نشان دهنده میدان E هستند.  $\times$  به این معنی است که خط وارد صفحه می‌شود.  $\bullet$  به این معنی است که خط از صفحه خارج می‌شود.



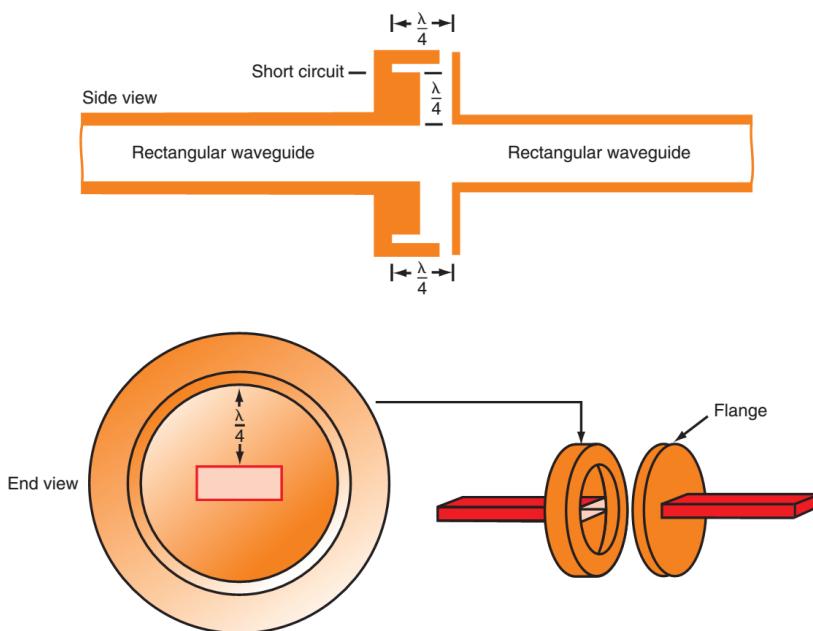
شکل ۲۵.۱۶: سایر حالت‌های عملکرد موجبر.

الگوی میدان‌های الکترومغناطیسی در یک موجبر اشکال مختلفی دارد. هر فرم مود(حال) عملیاتی<sup>۲۳</sup> نامیده می‌شود. همانطور که قبلاً اشاره شد، میدان مغناطیسی یا الکتریکی باید عمود بر جهت انتشار موج باشد. در حالت TE، میدان الکتریکی در مقطع موجبر وجود دارد و هیچ مولفه E در طول انتشار گسترش نمی‌یابد. در حالت TM، خطوط H حلقه‌هایی را در صفحات عمود بر دیواره‌های موجبر تشکیل می‌دهند و هیچ بخشی از یک مولفه H در طول موجبر وجود ندارد.

برای توصیف بیشتر الگوهای میدان E و H از اعداد بطور اندیس همراه با نامگذاری TE و TM استفاده می‌شود. یک نام معمولی TE<sub>1</sub> است. عدد اول تعداد الگوهای نیم طول موج خطوط طولی را نشان می‌دهد که در امتداد بعد کوتاه موجبر از مرکز مقطع وجود دارد. خطوط عرضی خطوط عمود بر دیواره‌های موجبر هستند. عدد دوم تعداد الگوهای عرضی نیم طول موج را نشان می‌دهد که در امتداد بعد عرضی موجبر از مرکز مقطع وجود دارد. در صورت عدم تغییر در شدت میدان یک بعد، از صفر استفاده می‌شود.

موجبر در شکل (۲۴.۱۶) TE است زیرا خطوط E بر دو طرف موجبر عمود (عرضی) هستند. با نگاهی به نمای انتهایی در شکل (۲۴.۱۶) در امتداد بُعد بلند نمای انتهایی، خطوط E در بالا و پایین پخش می‌شوند اما در مرکز بهم نزدیک هستند. شدت میدان واقعی سینوسی است - صفر در انتهای، حداقل در مرکز. این نیمی از تغییرات موج سینوسی است، و بنابراین زیرنویس اول ۱ است. در طول کوتاه، هیچ تغییری در شدت میدان مشاهده نمی‌کنیم، بنابراین دومین زیرمجموعه ۰ است.

<sup>۲۳</sup> Operating Mode



شکل ۲۶.۱۶: بست اتصال اجازه می‌دهد تا بخش‌هایی از موج‌بر با حداقل تلفات و تشعشع بهم متصل شوند.

بنابراین حالت خط در شکل (۲۴.۱۶)  $TE_{1,0}$  است. به هر حال، این حالت (مود) اصلی یا غالب بیشتر موج‌برهای مستطیلی است. بسیاری از الگوهای دیگر ممکن است، مانند دو تصویر نشان داده شده در شکل (۲۵.۱۶).

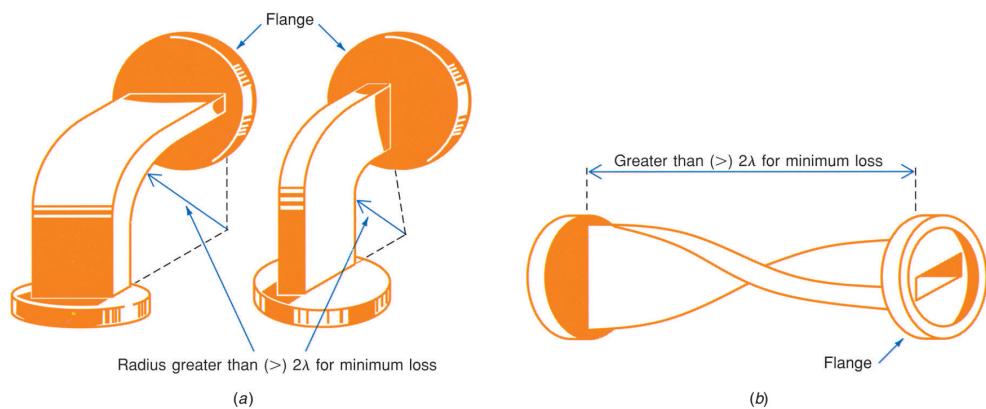
### سخت افزار و لوازم جانبی موج‌برها :

از برخی جهات، موج‌برها با تجهیزات لوله کشی بیشتر از خطوط انتقال استاندارد مورد استفاده در ارتباطات رادیویی مشترک هستند. و مانند لوله کشی، موج‌برها دارای انواع قطعات خاص مانند تزویج، چرخش، اتصالات، اتصالات چرخشی و پایانه‌ها هستند. بیشتر موج‌برها و اتصالات آنها دقیق ساخته شده‌اند تا ابعاد کاملاً مطابقت داشته باشند. هر گونه عدم تطابق در ابعاد یا ناهماهنگی قطعاتی که در کنار هم قرار می‌گیرند باعث تلفات و انعکاس قابل توجهی می‌شود. موج‌برها در انواع طول‌های استاندارد موجود هستند که بهم متصل می‌شوند تا مسیری بین مولد مایکروویو و مقصد نهایی آن ایجاد کنند.

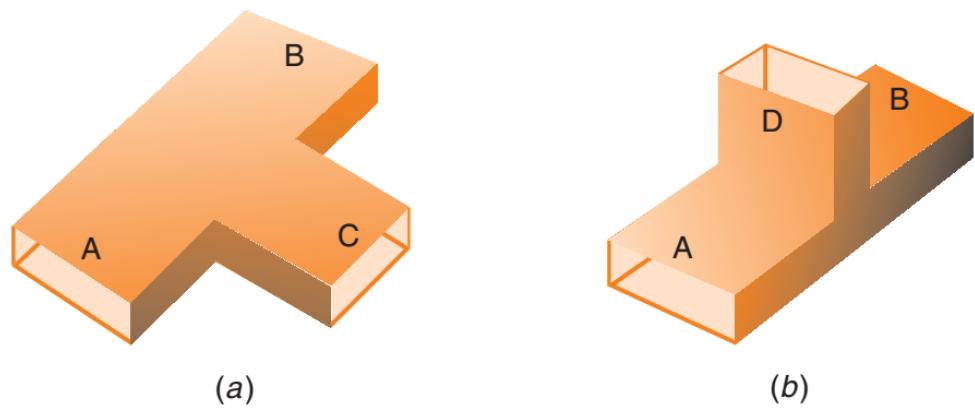
**اتصالات :** شکل (۲۶.۱۶) بست اتصال <sup>۲۴</sup> را نشان می‌دهد که برای اتصال دو بخش موج‌بر بهم استفاده می‌شود. از دو فلنچ <sup>۲۵</sup> متصل به موج‌بر در مرکز تشکیل شده است. فلنچ سمت راست مسطح است و فلنچ سمت چپ به عمق یک چهارم طول موج در فاصله یک چهارم طول موج از نقطه‌ای که دیواره‌های موج‌بر در آن بهم متصل می‌شوند، شکاف دارد. امواج یک چهارم با هم تبدیل به یک نیم موج می‌شوند و یک اتصال کوتاه را در محل اتصال دیوارها منعکس می‌کنند. از نظر الکتریکی، این یک اتصال کوتاه در محل اتصال دو موج‌بر ایجاد می‌کند. این دو بخش در واقع می‌توانند به اندازه

<sup>۲۴</sup>Choke Joint

<sup>۲۵</sup>Flange



شکل ۲۷.۱۶: قطعه‌های موجبر خمیده. (الف) خمیدگی با زاویه قائمه. (ب) بخش پیچ خورده.

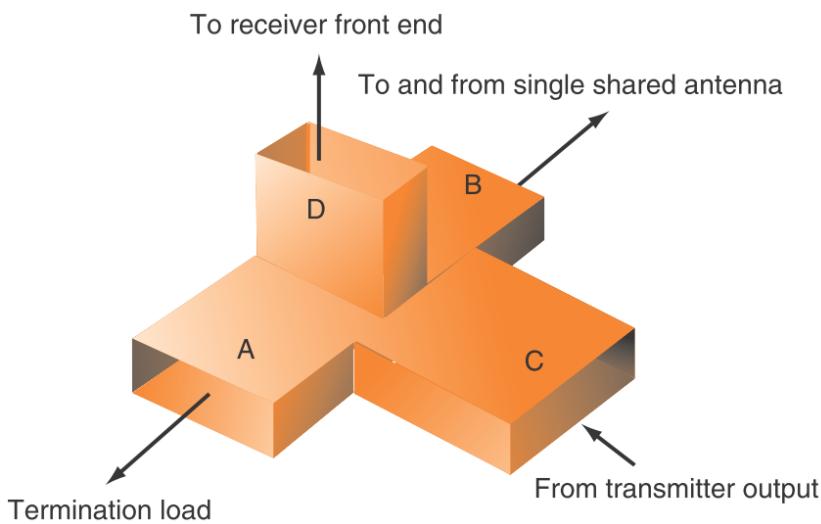


شکل ۲۸.۱۶: بخش T موجبر. (الف) T موازی (ب) T سری.

یک دهم طول موج بدون از دست دادن انرژی بیش از حد در مفصل از هم جدا شوند. این جداسازی به محفظه اجزه می‌دهد تا فضای داخلی موجبر را با یک واشر لاستیکی برای تحت فشار قرار دهد. برخی از موجبرهای بلند با گاز نیتروژن تحت فشار قرار می‌گیرند تا تجمع رطوبت را کاهش دهند. بست اتصال به طور موثر RF را در داخل موجبر نگه می‌دارد. و حداقل تلفات، ۰٪۰۳ دسی‌بل یا کمتر را معرفی می‌کند.

**قطعه‌های خمیده:** قطعه‌های موجبر خمیده خاص برای ایجاد خمیدگی  $90^\circ$  درجه در دسترس است. قطعات موجبر خمیده بازتابها و کاهش توان را نشان می‌دهند، اما این بخش‌ها با طراحی مناسب کوچک نگه داشته می‌شوند. هنگامی که شعاع قطعه خمیده بیشتر از  $2\lambda$  در فرکانس سیگنال باشد، تلفات به حداقل می‌رسد. شکل (۲۷.۱۶) چندین پیکربندی مختلف را نشان می‌دهد. فلنچ‌ها برای اتصال بخش‌های خمیده با مسیرهای مستقیم استفاده می‌شوند.

**قطعات T:** گاهی اوقات لازم است دو یا چند منبع توان مایکروویو را تقسیم یا ترکیب کنیم. این کار با قطعه T یا اتصالات T انجام می‌شود (شکل ۲۸-۲۸). T را می‌توان در ضلع کوتاه یا بلند موجبر



شکل ۲۹.۱۶: T ترکیبی یا جادویی که به عنوان دوبلکسر استفاده می‌شود.

تشکیل داد. اگر محل اتصال در ضلع کوتاه باشد به آن T موازی می‌گویند و اگر اتصال در ضلع بلند باشد به آن سری T می‌گویند. هر بخش T دارای سه پورت (پایانه-دهانه) است که می‌توان از آن‌ها به عنوان ورودی یا خروجی استفاده کرد.

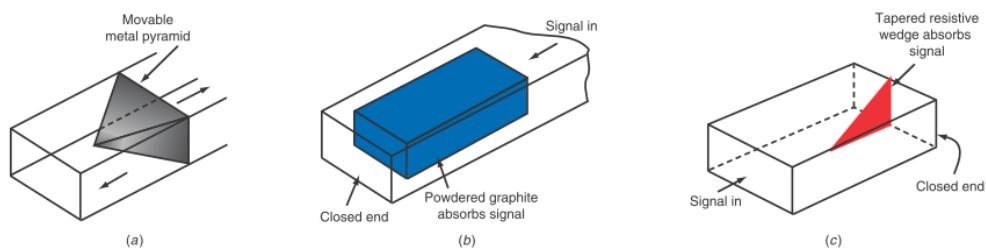
اگر سیگنالی در امتداد یک موجبر متصل به پورت C یک T موازی مانند شکل (۲۸.۱۶)(الف) منتشر شود، مقادیر مساوی از سیگنال در فاز در پورت‌های خروجی A و B ظاهر می‌شود. سطح توان سیگنال‌های A و B نصف توان ورودی است. به چنین وسیله‌ای تقسیم کننده قدرت می‌گویند. اگر سیگنال T موازی همچنین می‌تواند سیگنال‌ها را ترکیب کند. اگر سیگنال ورودی به A از همان فاز سیگنال ورودی به B باشد، آنها در پورت خروجی C با هم ترکیب می‌شوند. توان خروجی مجموع توان‌های جداگانه است. به این ترکیب کننده قدرت می‌گویند.

در T سری که در شکل (۲۸.۱۶)(ب) نشان داده شده است، یک سیگنال ورودی به پورت D به دو سیگنال نیم توان تقسیم می‌شود که در پورت‌های A و B ظاهر می‌شوند اما  $180^\circ$  درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند.

**T های ترکیبی:** یک دستگاه خاص به نام T ترکیبی را می‌توان با ترکیب قطعه‌های T سری و موازی تشکیل داد (شکل ۲۹.۱۶). گاهی اوقات به نام T جادویی<sup>۴۶</sup> نامیده می‌شود، این دستگاه به عنوان یک دوبلکسر برای استفاده همزمان از یک آنتن توسط فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. آنتن به پورت B متصل است. هر سیگنال دریافتی به پورت D ارسال می‌شود که به قسمت جلویی گیرنده متصل است. پورت A بسته شده و استفاده نمی‌شود. سیگنال دریافتی وارد پورت C نمی‌شود که به فرستنده متصل است.

سیگنال ارسالی در پورت B به آنتن می‌رسد، اما وارد پورت D به گیرنده نمی‌شود. اگر فرستنده و گیرنده بر روی یک فرکانس یا نزدیک به فرکانس‌های مشابه کار می‌کنند و سیگنال خروجی فرستنده در سطح توان بالایی قرار دارد، باید از وسایلی برای جلوگیری از ورود توان به گیرنده و ایجاد آسیب

<sup>۴۶</sup>Magic T



شکل ۳۰.۱۶: پایانه‌های برای تطبیقی برای موجبرها.

استفاده کرد. برای این منظور می‌توان از T ترکیبی استفاده کرد.

**ترمینال‌ها (پایانه‌ها)** : در بسیاری از موارد، پایان دادن بهیک درگاه استفاده نشده از یک موجبر ضروری است. به عنوان مثال، پورت A در شکل ۲۹.۱۶ بهاری با امپدانس صحیح متصل می‌شود تا از انعکاس زیاد، SWR نامطلوب و تلفات جلوگیری کند. اگر طول خط مضرب یک چهارم یا یک دوم طول موج باشد، ممکن است بتوان موج را باز کرد یا کوتاه کرد. در بیشتر موارد، این امکان پذیر نیست و از روش‌های دیگر ترمینال استفاده می‌شود.

یکی از روش‌های ترمینال این است که یک بخش فلزی هرمی شکل را در انتهای خط، همانطور که در شکل ۳۰.۱۶(الف) نشان داده شده است، وارد می‌کنند. قطعه مورب تطبیق صحیح را فراهم می‌کند. معمولاً بخش مورب متحرک است به طوری که پایانه (ترمینال) می‌تواند برای حداقل تنظیم شود.

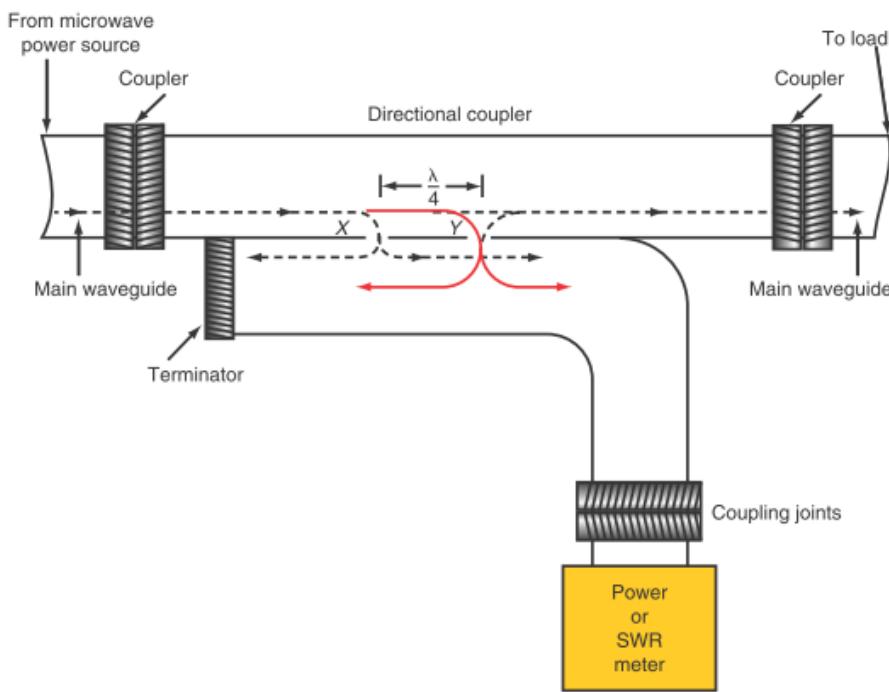
همانطور که در شکل ۳۰.۱۶(ب) نشان داده شده است، می‌توان به سادگی انتهای خط را با یک ماده مقاوم گرافیت پودری پر کرد. این سیگنال را جذب و آن را به صورت گرما تلف می‌کند تا هیچ انعکاسی رخ ندهد.

ترمینال را می‌توان با استفاده از یک ماده مقاومتی به شکل مثلث یا گوه در انتهای یک خط بسته انجام داد [شکل ۳۰.۱۶(ج)]. عنصر مقاومتی مورب برای تطبیق با جهت میدان الکتریکی در موجبر جهت‌گیری شده است. مولفه مغناطیسی موج، ولتاژی را به ماده مقاومتی مورب الفا می‌کند و جریان عبور می‌یابد. بنابراین سیگنال به صورت گرما جذب و تلف می‌شود.

**تزویج کننده‌های جهتی (کوپلر جهتی)** : یکی از پرکاربردترین اجزای موجبر، کوپلر جهتی<sup>۲۷</sup> است. کوپلرهای جهتی برای تسهیل اندازه‌گیری توان مایکروویو در یک موجبر و SWR استفاده می‌شوند. همچنین می‌توان از آنها برای دریافت به بخش کوچکی از سیگنال مایکروویو پرقدرت برای ارسال به مدار یا قطعه‌ای از تجهیزات دیگر استفاده کرد.

کوپلر جهتی در شکل ۳۱.۱۶ صرفاً بخش کوتاهی از موجبر با اتصالات تزویجی است که به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در مسیر طولانی‌تری از موجبر بین فرستنده و آنتن یا بین منبع و بار قرار می‌گیرند. بخش مشابهی از موجبر به صورت فیزیکی به این بخش کوتاه از خط متصل است. در یک انتهای به پایانه می‌رسد و انتهای دیگر با زاویه  $90^\circ$  درجه خم می‌شود. بخش خم شده برای اتصال به یک میتر (سنجهش کننده) مایکروویو یا یک میتر SWR طراحی شده است. بخش خم شده توسط دو سوراخ (X و Y) که در فرکانس کار یک چهارم طول موج از هم فاصله دارند به بخش مستقیم کوپل می‌شود. مقداری از انرژی مایکروویو از سوراخ‌های قسمت مستقیم به قسمت خم شده عبور می‌کند. میزان اتصال بین

<sup>۲۷</sup>Directional coupler



شکل ۳۱.۱۶: کوپلر جهتی.

دو بخش به اندازه سوراخ‌ها بستگی دارد.

اگر انرژی منبع در سمت چپ از طریق موجبر از چپ به راست حرکت کند، انرژی مایکروویو از سوراخ X به بخش خم شده عبور می‌کند. انرژی به نصف تقسیم می‌شود. بخشی از انرژی به سمت چپ می‌رود، جایی که توسط ترمینال جذب می‌شود. نیمه دیگر به سمت راست به سمت سوراخ Y حرکت می‌کند. این با خطوط قیم نشان داده می‌شود.

انرژی اضافی از بخش مستقیم وارد سوراخ Y می‌شود. آن نیز به دو جزء مساوی تقسیم می‌شود، یکی به سمت چپ و دیگری به سمت راست می‌رود. این اجزا با خطوط ثابت نشان داده می‌شوند. انرژی حرکت از سوراخ Y به سمت چپ به سمت سوراخ X در بخش منحنی، انرژی حرکت از سوراخ X به Y را خنثی می‌کند. سیگنالی که از سوراخ Y به حفره X حرکت می‌کند، مجموعاً یک دوم طول موج یا  $180^\circ$  درجه را طی می‌کند. با سیگنال در سوراخ X خارج از فاز است. اما بین Y و X، سیگنال‌ها دقیقاً خارج از فاز و از نظر دامنه برابر هستند، بنابراین آنها حذف می‌شوند. هر سیگنال باقیمانده کوچکی که به سمت چپ حرکت کند توسط ترمینال جذب می‌شود. سیگنال باقیمانده به توان یا SWR سنج منتقل می‌شود.

اصطلاح کوپلر جهتی از عملکرد دستگاه گرفته شده است. بخشی از انرژی سیگنال‌هایی که از چپ به راست حرکت می‌کنند نمونه برداری و اندازه‌گیری می‌شود. هر سیگنالی که از سمت راست وارد شود و به سمت چپ حرکت کند به سادگی توسط ترمینال جذب می‌شود. هیچ کدام به میتر منتقل نمی‌شود.

مقدار انرژی سیگنال تزویجی در بخش خم به اندازه سوراخ‌ها بستگی دارد. معمولاً تنها بخش

بسیار کوچکی از سیگنال، کمتر از یک درصد، استخراج یا نمونه برداری می‌شود. بنابراین سیگنال اولیه از نظر مادی ضعیف نمی‌شود. با این حال، مقدار کافی سیگنال برای اندازه‌گیری وجود دارد. مقدار دقیق سیگنال استخراج شده توسط ضریب تزویج  $C$  تعیین می‌شود که با رابطه معروف زیر برای نسبت توان تعیین می‌شود:

$$C = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}} \text{ ضریب تزویج } dB$$

که در آن

$= P_{in}$  = مقدار توان اعمالی به بخش مستقیم

$= P_{out}$  = مقدار توانی که به میتر توان میرود.

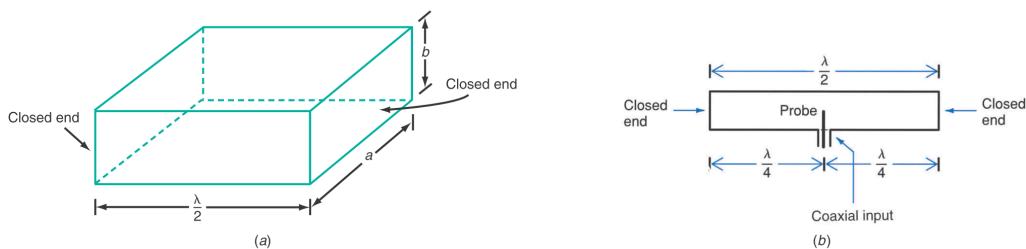
اکثر کوپلهای جهتی با ضریب تزویج ثابت، معمولاً  $10^\circ$ ،  $20^\circ$  یا  $30^\circ$  دسی‌بل در دسترس هستند. مقدار توانی که در واقع اندازه‌گیری می‌شود را می‌توان با تنظیم مجدد رابطه نسبت توان محاسبه کرد:

$$P_{out} = \frac{P_{in}}{\log^{-1}(C/10)} = \frac{P_{in}}{10^{C/10}}$$

به عنوان مثال، اگر توان ورودی  $2000$  وات به یک کوپلر جهتی با ضریب تزویج  $30^\circ$  باشد، توان واقعی به میتر  $= 2W = 2000/10^3 = 2000$  است.

یکی از انواع تزویج کننده جهتی، کوپلر دو طرفه است. استفاده از دو بخش خط برای نمونه‌برداری از انرژی در هر دو جهت امکان تعیین SWR را فراهم می‌کند. یک بخش از خط از توان تابشی یا رو به جلو نمونه‌برداری می‌کند و دیگری برای نمونه‌برداری از انرژی منعکس شده در جهت مخالف تنظیم می‌شود.

یکی از پرکاربردترین اشکال کوپلر جهتی امروزه آنهایی است که با خط انتقال میکرواستریپ، مانند شکل (۱۱.۱۶)، ساخته شده است. کوپلهای جهتی را می‌توان درست روی برد مدار چاپی که مدار دیگر را نگه می‌دارد ساخته شود. کوپلهای جهتی نیز به صورت واحدهای مجزا با کانکتورهای کواکسیال برای ورودی و خروجی موجود هستند.



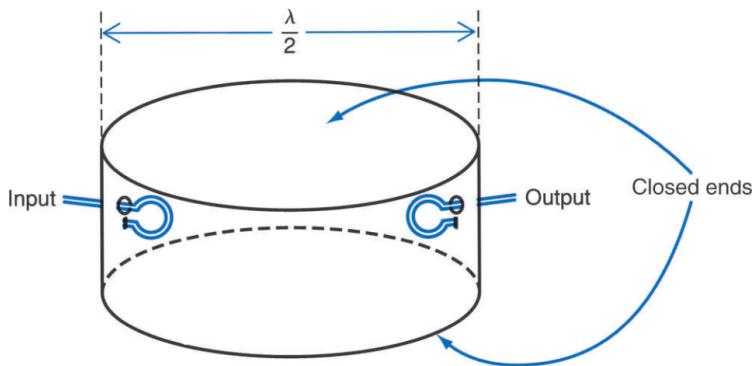
شکل ۳۲.۱۶: محفظه تشدید ساخته شده با موجبر. (الف) بخش  $\lambda/2$  از موجبر مستطیلی که به عنوان محفظه تشدید استفاده می‌شود. (ب) نمای جانبی محفظه تشدید که تزویج انرژی توسط یک پروب را نشان می‌دهد.

### محفظه‌های تشدید (رزونانس) :

تشدید کننده حفره یک وسیله موجبر مانند است که به عنوان یک مدار تشدید موازی با  $Q$  بالا عمل می‌کند. همانطور که در شکل (۳۲.۱۶)(الف) نشان داده شده است، می‌توان یک محفظه رزونانسی ساده با یک قطعه اتصال کوتاه موجبر به طول یک و نیم طول موج تشکیل داد. انتهای آن بسته است. همانطور که در نمای جانبی در شکل (۳۲.۱۶)(ب) نشان داده شده است، انرژی با یک پروب

کواکسیال در مرکز به داخل محفظه تزویج می‌شود. هنگامی که انرژی مايكرويو به داخل محفظه تزریق می‌شود، سیگنال از انتهای اتصال کوتاه شده موجبر منعکس و به‌سمت پروب باز می‌گردد. از آنجایی که پروب در یک چهارم طول موج از هر انتهای اتصال کوتاه قرار دارد، سیگنال مربوطه سیگنال را در پروب تقویت می‌کند. نتیجه این است که سیگنال از انتهای اتصال کوتاه شده به جلو و عقب باز می‌گردد. اگر سیگنال حذف شود، موج به عقب و جلو جهش می‌کند تا زمانی که تلفات باعث خاموش شدن آن شود.

این اثر در فرکانسی اجرا می‌شود که طول موجبر دقیقاً یک دوم طول موج باشد. در آن فرکانس، گفته می‌شود که محفظه تشدید کرده و به عنوان یک مدار تشدید موازی عمل می‌کند. یک پالس کوتاه انرژی که به کاوشگر (پروب) اعمال می‌شود، محفظه را به نوسان و امیدارد. نوسان تا زمانی که تلفات باعث از بین رفتن آن شود، ادامه می‌یابد. محفظه‌هایی از این نوع Q بسیار بالایی تا ۳۰۰۰۰ دارند. به همین دلیل معمولاً از آنها برای ایجاد مدارهای تشدید و فیلتر در فرکانس‌های مايكرويو استفاده می‌شود.



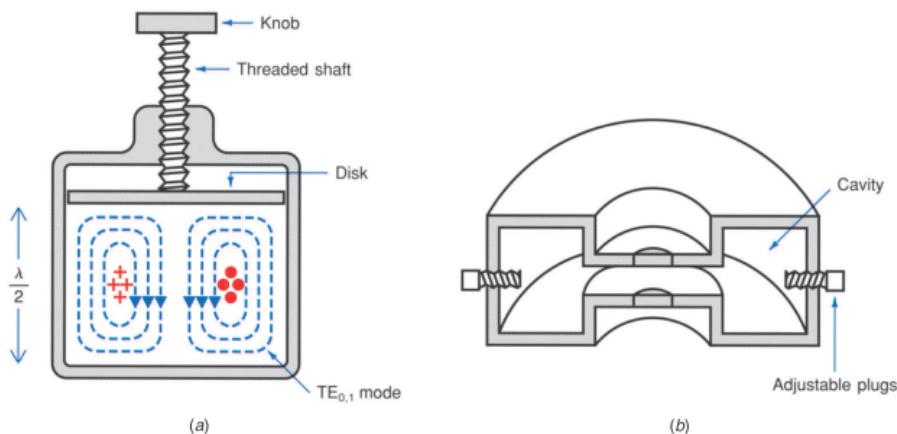
شکل ۳۳.۱۶: محفظه تشدید دایره‌ای با حلقه‌های ورودی-خروجی.

همچنین می‌توان با استفاده از یک بخش اتصال کوتاه از موجبر دایره‌ای مانند آنچه در شکل (۳۳.۱۶) نشان داده شده است، یک محفظه رزونانسی ایجاد کرد. با این شکل، قطر باید یک دوم طول موج در فرکانس کاری باشد. سایر اشکال محفظه رزونانسی نیز امکان‌پذیر است.

به طور معمول، محفظه‌ها اجزایی هستند که به‌طور خاص طراحی شده‌اند. اغلب، آنها بخش‌هایی را در یک بلوك فلزی خالی می‌کنند که در ابعاد بسیار دقیق ایجاد شده‌اند. دیوارهای فرکانس‌های خاص ماشین کاری شده‌اند. دیوارهای داخلی محفظه اغلب با نقره یا سایر مواد کم تلفات پوشش داده می‌شوند تا از حداقل تلفات و حداکثر Q اطمینان حاصل شود.

برخی از محفظه‌ها نیز قابل تنظیم هستند. همانطور که در شکل (۳۴.۱۶)(الف) نشان داده شده است، یک دیواره محفظه متحرک ساخته شده است. یک پیچ تنظیم دیوار انتهایی را به داخل و خارج می‌برد تا فرکانس تشدید را تنظیم کند. هرچه محفظه کوچکتر باشد، فرکانس کاری بالاتر است. محفظه‌ها را نیز می‌توان با شاخک‌های قابل تنظیم<sup>۲۸</sup>، مانند شکل (۳۴.۱۶)(ب)، در کنار محفظه تنظیم کرد. همانطور که دو شاخک پیچ داده می‌شود، مقدار بیشتری از آن به داخل محفظه نفوذ می‌کند و فرکانس کار بالا می‌رود.

<sup>۲۸</sup>Adjustable plugs



شکل ۳۴.۱۶: محفظه هماهنگی قابل تنظیم. (الف) محفظه استوانه‌ای با دیسک قابل تنظیم. (ب) محفظه با شاخک‌های قابل تنظیم.

### سیرکولاتورها :

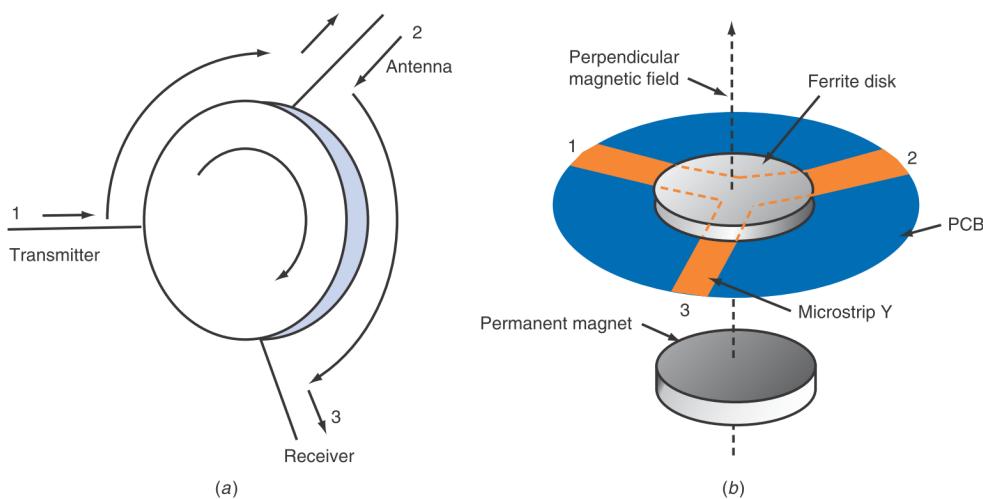
سیرکولاتور<sup>۲۹</sup> یک دستگاه مایکروویو سه دهانه است که برای تزویج انرژی تنها در یک جهت در اطراف یک حلقه بسته استفاده می‌شود. نمودار شماتیک از یک سیرکولاتور در شکل (۳۵.۱۶)(الف) نشان داده شده است. انرژی مایکروویو اعمال شده به پورت (پایانه) ۱ تنها با تضعیف جزئی به پورت ۲ منتقل می‌شود. با این حال، سیگنال در مسیر خود به پورت ۳ بسیار ضعیف می‌شود. تلفات از پورت ۱ به پورت ۳ معمولاً ۲۰ دسی‌بل یا بیشتر است. سیگنال اعمال شده به پورت ۲ با تضعیف کمی به پورت ۳ ارسال می‌شود، اما مقدار کمی یا هیچی به پورت ۱ نمی‌رسد.

کاربرد اصلی یک سیرکولاتور به عنوان یک دیپلکسر است که به آنتن اجازه می‌دهد با فرستنده و گیرنده به اشتراک گذاشته شود. همانطور که در شکل (۳۵.۱۶)(الف) نشان داده شده است، سیگنال فرستنده که به پورت ۱ اعمال می‌شود به آنتنی که به پورت ۲ متصل است، ارسال می‌شود. سیگنال ارسالی به گیرنده متصل به پورت ۳ نمی‌رسد. سیگنالی که از آنتن به پورت ۲ می‌آید به پورت ۳ ارسال می‌شود، اما به فرستنده در پورت ۱ نمی‌رسد.

همانطور که در شکل (۳۵.۱۶)(ب) نشان داده شده است، یک راه متدائل برای ساخت یک سیرکولاتور، ایجاد یک الگوی میکرو نواری است که شبیه Y باشد. سه پورت ۱۲۰ درجه از هم فاصله دارند. این پورت‌ها که روی PCB شکل می‌گیرند، می‌توانند به کانکتورهای کواکسیال متصل شوند. در بالای محل اتصال Y و گاهی اوقات در پایین، یک دیسک فریت قرار دارد. فریت‌ها سرامیک‌های هستند که از ترکیباتی مانند  $BaFe_7O_3$  ساخته می‌شوند. آنها خواص مغناطیسی مشابه آهن یا فولاد دارند، بنابراین میدان‌های مغناطیسی را پشتیبانی می‌کنند، اما باعث القای جریان‌های گردابی نمی‌شوند. آهن اغلب با روی یا منگنز مخلوط می‌شود. یک نوع فریت که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، ایتریم-آهن-گارنت<sup>۳۰</sup> (YIG) است. سپس یک آهربای دائمی به گونه‌ای قرار می‌گیرد که خطوط مغناطیسی نیرو عمود بر دستگاه را از طریق فریت وارد می‌کند. این میدان مغناطیسی

<sup>۲۹</sup>Circulator

<sup>۳۰</sup>Yttrium Iron Garnet (YIG)



شکل ۳۵.۱۶: سیرکولاتور. (الف) استفاده از سیرکولاتور به عنوان دیپلکسر. (ب) ساخت یک سیرکولاتور.

قوی با میدان‌های مغناطیسی تولید شده توسط هر سیگنال ورودی تعامل و عمل مشخصه گردشگر را ایجاد می‌کند.

نوع سیرکولاتور توضیح داده شده در اینجا برای سطوح توان کم و متوسط است. برای کاربردهای پرقدرت، از یک سیرکولاتور ساخته شده با ساختار موجبر مانند حاوی مواد فریت استفاده می‌شود.

#### ایزولاتورها :

ایزولاتورها<sup>۳۱</sup> انواعی از سیرکولاتورها هستند، اما یک ورودی و یک خروجی دارند. به این معنی که آنها مانند دیاگرام سیرکولاتور در شکل (۳۵.۱۶)<sup>۳۲</sup> پیکربندی شده‌اند، اما فقط از پورت‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود. یک ورودی به پورت ۱ با تضعیف کمی به پورت ۲ ارسال می‌شود. هر گونه انرژی منعکس شده، همانطور که در یک SWR بالاتر از ۱ رخ می‌دهد، به درگاه ۱ کوپل نمی‌شود. جداسازها اغلب در شرایطی استفاده می‌شوند که عدم تطبیق یا عدم وجود بار مناسب می‌تواند باعث انعکاس آنقدر بزرگ شود که به منبع آسیب برساند.

## ۴.۱۶ دیودهای نیمه‌هادی مایکروویو

#### دیودهای سیگنال کوچک :

دیودهایی که برای آشکارسازی و مخلوط کردن سیگنال استفاده می‌شوند، رایج‌ترین دستگاه‌های نیمه‌هادی مایکروویو هستند. دو نوع موجود است: دیود اتصال نقطه‌ای<sup>۳۳</sup> و دیود مانع شاتکی<sup>۳۴</sup> یا حامل گرم.

دیود نیمه‌هادی معمولی اتصالی است که از مواد نیمه‌هادی نوع P و N تشکیل شده است. به

<sup>۳۱</sup>Isolators

<sup>۳۲</sup>Point contact diode

<sup>۳۳</sup>Schottky barrier diode.

<sup>۳۴</sup>Hot carrier diode.

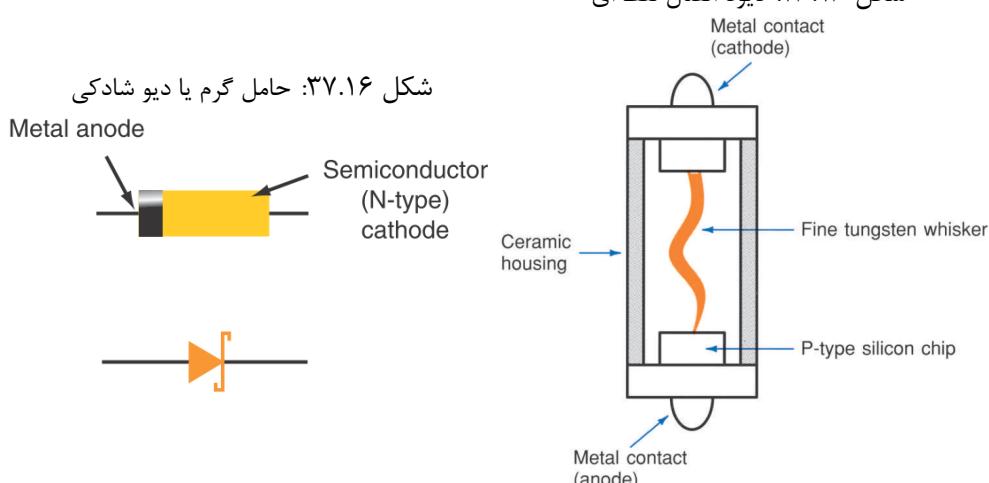
دلیل سطح نسبتاً بزرگ محل اتصال، دیودها ظرفیت بالایی از خود نشان می‌دهند که از عملکرد عادی در فرکانس‌های مایکروویو جلوگیری می‌کند. بهمین دلیل از دیودهای اتصال PN استاندارد در ناحیه مایکروویو استفاده نمی‌شود.

**دیود اتصال نقطه‌ای** : شاید قدیمی ترین دستگاه نیمه‌هادی مایکروویو دیود اتصال نقطه‌ای باشد که دیود کریستال نیز نامیده می‌شود. یک دیود اتصال نقطه‌ای شامل یک قطعه مواد نیمه‌هادی و یک سیم ظریف است که با مواد نیمه‌هادی تماس برقرار می‌کند. از آنجایی که سیم در سطح بسیار کوچکی با نیمه هادی تماس پیدا می‌کند، ظرفیت خازنی بسیار کم است. جریان به راحتی از کاتد، سیم ریز، به آنده، ماده نیمه‌هادی جریان می‌یابد. با این حال، جریان به راحتی در جهت مخالف جریان نمی‌یابد.

### خوب است بدانید که:

اگرچه از آنها به طور گسترده در میکسرها و آشکارسازهای مایکروویو و در تجهیزات اندازه‌گیری توان مایکروویو استفاده می‌شود، دیودهای اتصال نقطه‌ای بسیار ظریف هستند و نمی‌توانند قدرت بالا را تحمل کنند.

شکل ۳۶.۱۶: دیود اتصال نقطه‌ای



شکل ۳۷.۱۶: حامل گرم یا دیو شادکی  
Metal anode

اکثر دیودهای اولیه اتصال نقطه‌ای از ژرمانیوم به عنوان ماده نیمه‌هادی استفاده می‌کردند، اما امروزه این دستگاهها از سیلیکون نوع P با سیم تنگستن ظریف به عنوان کاتد ساخته می‌شوند. (شکل ۳۶.۱۶). ولتاژ آستانه را به جلو بسیار کم است.

دیودهای اتصال نقطه‌ای برای کاربردهای سیگنال کوچک ایده‌آل هستند. آنها هنوز هم در میکسرها و آشکارسازهای مایکروویو و تجهیزات اندازه‌گیری توان مایکروویو استفاده می‌شوند. آنها بسیار ظریف هستند و نمی‌توانند قدرت بالا را تحمل کنند. آنها همچنانین به راحتی آسیب می‌بینند و بنابراین باید به گونه‌ای استفاده شوند تا شوک و لرزش به حداقل برسد.

**دیودهای حامل گرم** : در بیشتر موارد، دیودهای اتصال نقطه‌ای با دیودهای شاتکی جایگزین شده‌اند،

که گاهی اوقات به آنها ديودهای حامل گرم می‌گویند. اکثر ديودهای شاتکی با سيلیكون نوع N ساخته می‌شوند که يك لایه فلزی نازک روی آن قرار گرفته است گالیم آرسناید نیز استفاده می‌شود. نیمه‌هادی کاتد و فلز آند را تشکیل می‌دهد. ساختار و نماد شماتیک ديود شاتکی در شکل (۳۷.۱۶) نشان داده شده است. مواد آند معمولی نیکل کروم و آلومینیوم هستند، اگرچه فلزات دیگری مانند طلا و پلاتین نیز استفاده می‌شوند.

مانند ديود اتصال نقطه‌ای، ديود شاتکی بسیار کوچک است و بنابراین ظرفیت اتصال کوچکی دارد. همچنین دارای ولتاژ آستانه بایاس کم است. با بایاس مستقیم  $0/2$  تا  $0/3$  ولت هدايت می‌کند، در حالی که ديود اتصال سيلیكونی با  $0/6$  ولت هدايت می‌کند. افت ولتاژ بالاتر در ديودهای سيلیكونی PN ناشی از اثرات مقاومت توده‌ای است. ديودهای شاتکی برای مخلوط کردن، تشخیص سیگنال و سایر عملیات سیگنال سطح پایین ایده‌آل هستند. آنها به طور گسترده در مدولاتورها و میکسرهای متعادل استفاده می‌شوند. به دلیل پاسخ فرکانس بسیار بالا، ديودهای شاتکی به عنوان سوئیچ‌های سریع در فرکانس‌های مايكرويو استفاده می‌شوند.

مهمترین کاربرد ديودهای مايكرويو به عنوان میکسر است. ديودهای مايكرويو معمولاً به عنوان بخشی از يك موجب یا محفظه رزونانسی که با فرکانس سیگنال ورودی تنظیم شده است نصب می‌شوند. سیگنال نوسان‌ساز محلی با پربوپ یا حلقه تزریق می‌شود. ديود دو سیگنال را مخلوط و مجموع و اختلاف فرکانس‌های خروجی را تولید می‌کند. فرکانس اختلاف معمولاً با محفظه رزونانسی دیگر یا با يك مدار هماهنگی LC با فرکانس پایین انتخاب می‌شود. در مدار مايكرويو، میکسر معمولاً مدار ورودی است. این به این دلیل است که مطلوب است که سیگنال مايكرويو را هر چه زودتر به يك سطح فرکانس پایین تر تبدیل کنیم، در نقطه‌ای که تقویت و دمدولاسیون می‌تواند با مدارهای الکترونیکی ساده‌تر و معمولی تر انجام شود.

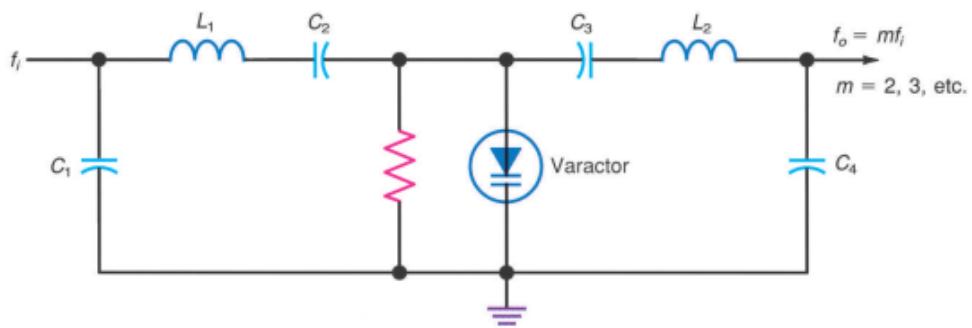
### ديودهای چند برابر کننده فرکانس :

ديودهای مايكرويو که عمدتاً برای خدمات چند برابر کننده فرکانس طراحی شده‌اند شامل ديودهای وارکتور و ديودهای بازیابی مرحله‌ای هستند.

**ديودهای وراكتور :** ديود وارکتور<sup>۳۵</sup> اساساً يك خازن متغیر ولتاژ است. هنگامی که يك بایاس معکوس به ديود اعمال می‌شود، به عنوان يك خازن عمل می‌کند. ظرفیت آن به مقدار بایاس معکوس بستگی دارد. ديودهای وراكتور ساخته شده با گالیم آرسناید برای استفاده در فرکانس‌های مايكرويو بهینه شده‌اند. کاربرد اصلی آنها در مدارهای مايكرويو به عنوان چند برابر کننده فرکانس است.

شکل (۳۸.۱۶) يك مدار چند برابر کننده فرکانس وراكتور را نشان می‌دهد. هنگامی که يك سیگنال ورودی در دوسر ديود اعمال می‌شود، به طور متناسب هدايت و قطع می‌شود. نتيجه يك خروجی غيرخطی یا معوج شده حاوی هارمونیک‌های زیادی است. هنگامی که يك مدار هماهنگی در خروجی استفاده شود، هارمونیک مورد نظر انتخاب شده و از سایر مدارها رد می‌شوند. از آنجایی که هارمونیک‌های پایین تر بیشترین مقدار انرژی را تولید می‌کنند، چند برابر کننده‌های وراكتوری معمولاً فقط برای عملیات دو و سه برابر کردن استفاده می‌شوند. در شکل (۳۸.۱۶)، مدار هماهنگی ورودی  $L_1 - C_1$  در فرکانس ورودی  $f_{in}$  تشدید می‌شود، و مدار هماهنگی خروجی  $C_2 - L_2$  به صورت دلخواه در دو یا سه برابر فرکانس ورودی تشدید می‌شود. در عمل، مدارهای هماهنگی در واقع از سلف یا خازن منفرد تشکیل نشده‌اند. در عوض، آنها تشدید کننده‌های میکرو نواری، نواری یا محفظه رزونانسی هستند. خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  برای تطبیق امپدانس استفاده می‌شوند.

<sup>۳۵</sup>Varactor Diode



شکل ۳۸.۱۶: وراکتور چند برابر کننده فرکانس

یک چند برابر کننده فرکانس وراکتور بهره‌ای مانند تقویت کننده کلاس C که به عنوان چند برابر کننده استفاده می‌شود ندارد. در واقع، یک وراکتور یک افت قدرت سیگنال را معرفی می‌کند. با این حال، مدار نسبتاً کارآمدی است و خروجی می‌تواند تا  $80^{\circ}$  درصد ورودی باشد. راندمان معمولی در محدوده  $50^{\circ}$  تا  $80^{\circ}$  درصد است. برای این مدار به هیچ منبع توان خارجی نیاز نیست. فقط توان ورودی RF برای عملکرد صحیح مورد نیاز است. خروجی‌های تا  $50$  وات با وراکتورهای ویژه با توان بالا قابل دستیابی هستند.

وراکتورها در کاربردهای استفاده می‌شوند که در آنها تولید سیگنال‌های مایکروویو دشوار است. معمولاً تولید سیگنال VHF یا UHF و سپس استفاده از یک سری چند برابر کننده فرکانس برای قرار دادن آن در ناحیه مایکروویو مورد نظر بسیار ساده‌تر است. دیودهای وراکتور برای تولید خروجی‌های با توان نسبتاً بالا در فرکانس‌های تا  $100\text{ GHz}$  در دسترس هستند.

**دیودهای بازیابی مرحله‌ای :** دیود دیگری که در مدارهای چند برابر کننده فرکانس مایکروویو مانند شکل (۳۸.۱۶) استفاده می‌شود، دیود بازیابی مرحله‌ای<sup>۳۶</sup> یا وراکتور قطع می‌باشد. این یک دیود اتصال PN است که با گالیم آرسناید یا سیلیکون ساخته شده است. هنگامی که بایاس مستقیم باشد، مانند هر دیودی هدایت می‌کند، اما باری در لایه تخلیه ذخیره می‌شود. هنگامی که بایاس معکوس اعمال می‌شود، شارژ دیود را به صورت لحظه‌ای روش نگه می‌دارد. سپس دیود ناگهان خاموش می‌شود. این ضربه ناگهانی یک پالس جریان معکوس با شدت بالا با مدت زمان حدود  $10\text{ ps}$  (۱۰<sup>-۱۲</sup> s) یا کمتر تولید می‌کند. از نظر هارمونیک بسیار غنی است. حتی هارمونیک‌های بالاتر نیز دامنه نسبتاً بالایی دارند.

از دیودهای بازیابی مرحله‌ای نیز می‌توان از مدارهایی مانند شکل (۳۸.۱۶) برای تولید چند برابر کننده فرکانس با توانی تا  $5$  و  $10$  وات استفاده کرد. توان  $50$  وات را می‌توان بدست آورد. فرکانس‌های کاری تا  $100\text{ GHz}$  بازده  $80^{\circ}$  درصد یا بهتر امکان پذیر است.

### دیودهای نوسان‌ساز :

سه نوع دیود غیر از دیود تونلی که به دلیل ویژگی‌های مقاومت منفی می‌توانند نوسان داشته باشند، دیودهای Gunn و دیودهای IMPATT و TRAPATT هستند.

**دیودهای گان :** دیودهای گان<sup>۳۷</sup> که به آن‌ها دستگاه‌های الکترون انتقال یافته (TED) نیز گفته

<sup>۳۶</sup>Step-Recovery Diodes.

<sup>۳۷</sup>Gunn Diode

مي شود، به معنای معمولی ديويد نيستند زیرا اتصالات ندارند. ديويد گان قطعه نازکی از نيمه هادي گالیم آرسناید نوع N (InP) یا فسفید آينديم (GaAs) است که هنگام اعمال ولتاژ به آن مقاومت ويزهای تشکيل می دهد. اين دستگاه داراي ويزگی مقاومت منفی است. يعني در محدودهای از ولتاژ، افزایش ولتاژ منجر به کاهش جريان می شود و بالعكس، درست برعکس قانون اهم. هنگامی که آنقدر باياس است، مدت زمانی که طول می کشد تا الکترونها در دوسر ماده جريان پيدا کنند به گونه ای است که جريان  $180^\circ$  درجه با ولتاژ اعمال شده خارج از فاز باشد. اگر يك ديويد گان با اين باياس به يك محفظه رزونانسي نزديك به فرکانس تعبيين شده توسيط زمان انتقال الکترون متصل شود، ترکيب حاصل نوسان خواهد كرد. بنابراین، ديويد گان عمدتاً به عنوان نوسانگر مايكرويو استفاده می شود. ديودهای گان که در دسترس هستند در فرکانس های تا حدود  $150^\circ$  گیگاهرتز نوسان می کنند. در محدوده مايكرويو پايان تر، توان خروجی از ميلی وات تا چندين وات امكان پذير است. ضخامت نيمه هادي فرکانس نوسان را تعبيين می کند. با اين حال، اگر محفظه متغير باشد، فرکانس نوسانگر گان را می توان در يك محدوده باريک تنظيم کرد.

### خوب است بدانيد که:

اسلحة راداری پليس از نوسانگرهای ديويد گان برای توليد سيگナル های مايكرويو استفاده می کنند و گيرندهای آشکارساز رادار از ديودهای گان به عنوان نوسانگرهای محلی استفاده می کنند.

**ديودهای ايمپت و تراپت :** دو ديويد مايكرويو ديجر که به طور گسترده به عنوان نوسانگر استفاده ميشوند، ديودهای TRAPATT و IMPATT هستند. هر دو ديودهای اتصال PN هستند که از سيليكون، GaAs یا InP ساخته شده‌اند. آنها طوري طراحی شده اند که با يك سوگيري معکوس بالا کار کنند که باعث سقوط بهمن يا خراب شدن آنها می شود. جريان بالايي جريان دارد. در يك محدوده باريک، يك مشخصه مقاومت منفی توليد می شود که وقتی ديويد در يك حفره نصب شده و به درستی باياس و باعث نوسان می شود. ديودهای IMPATT با توانی تا حدود  $25^\circ$  وات تا فرکانس های تا حدود  $30^\circ$  گیگاهرتز در دسترس هستند. توان پالسى چند صد وات امكان پذير است. در صورت نياز به توان بالاتر، ديودهای IMPATT بر ديودهای Gunn ترجيح داده می شوند. معایب اصلی آنها سطح نويز بالاتر و ولتاژ کاري بالاتر آنهاست.

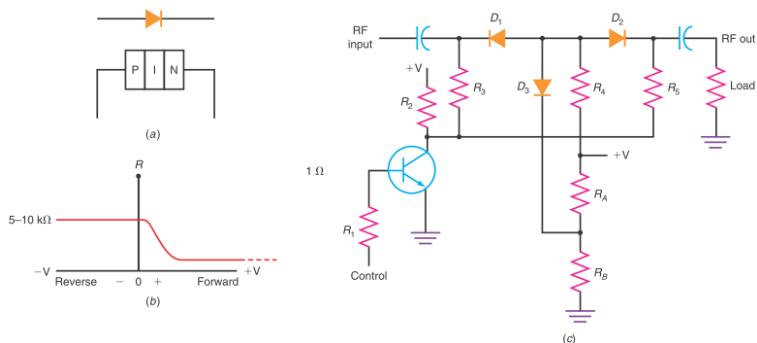
### ديودهای پین :

ديويد پين <sup>۳۹</sup> PIN يك ديويد اتصال PN ويزه با يك لايه I (ذاتي) بين بخشهاي P و N است، همانطور که در شكل <sup>(۳۹.۱۶)</sup> (الف) نشان داده شده است. لاييهای P و N معمولاً سيليكونی هستند، اگرچه گاهی اوقات از GaAs استفاده می شود. در عمل، لايه I يك نيمه هادي از نوع N است که بسيار کم دوپ (ناخالص) شده است.

در فرکانس های كمتر از  $100^\circ$  مگاهرتز، ديويد پين درست مانند هر ديويد اتصال PN ديجر عمل می کند. در فرکانس های بالاتر، مانند يك مقاومت متغير يا مانند يك سوئيچ عمل می کند. هنگامی که باياس صفر يا معکوس باشد، ديويد مانند يك مقدار مقاومت بالا،  $5k\Omega$  و بالاتر عمل می کند. اگر يك باياس مستقيمه اعمال شود، مقاومت ديويد به سطح بسيار پايان، معمولاً چند اهم يا كمتر کاهش

<sup>۳۸</sup>Transferred Electron Device (TED)

<sup>۳۹</sup>PIN Diode



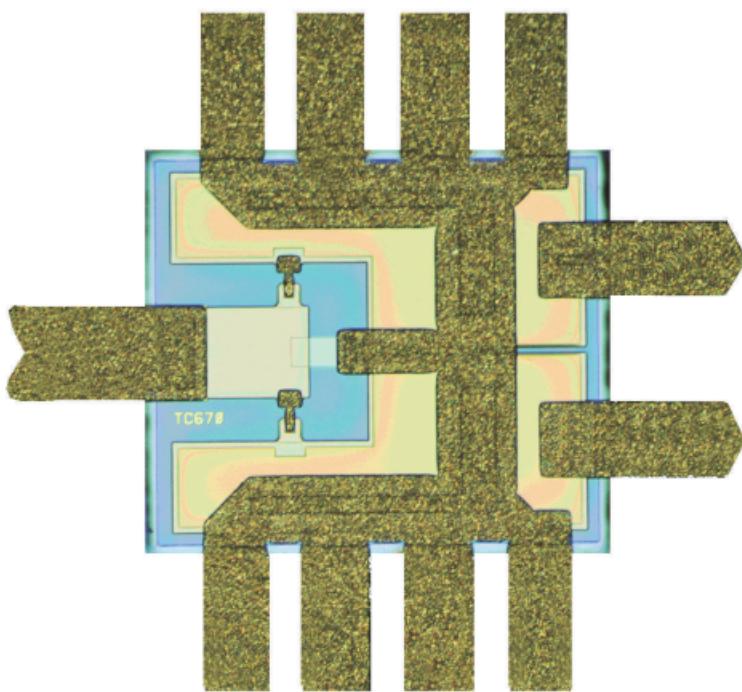
شکل ۳۹.۱۶: یک دیود پین (الف) ساخت و ساز، (ب) منحنی مشخصه، (ج) سوئیچ سه راهی.

می‌یابد. هنگامی که مقدار بایاس مستقیم متغیر است، مقدار مقاومت را می‌توان در یک محدوده خطی تغییر داد. منحنی مشخصه برای یک دیود PIN در شکل (۳۹.۱۶)(ب) نشان داده است. دیودهای پین به عنوان کلید در مدارهای مایکروویو استفاده می‌شوند. یک کاربرد معمولی اتصال یک دیود پین در خروجی یک خط انتقال مایکروویو مانند میکرواستریپ یا نوار استریپ است. هنگامی که دیود بایاس معکوس است، به عنوان یک مقاومت بسیار بالا عمل می‌کند و تأثیر کمی بر امپدانس مشخصه معمولی بسیار پایین تر خط انتقال دارد. هنگامی که دیود مستقیم بایاس می‌شود، خط را کوتاه کرده و تقریباً ارتباط کامل ایجاد می‌کند. دیودهای پین به طور گستردگی برای سوئیچ کردن بخش‌های خطوط انتقال یک چهارم یا نیم‌طول موج برای ارائه تغییرات فاز متفاوت در مدار استفاده می‌شود.

یک مدار کلیدزنی محبوب، شکل سه راهی است که در شکل (۳۹.۱۶)(ج) نشان داده شده است، که ترکیبی از دو کلید سری و یک کلید شنت است. ایزولاسیون عالی بین ورودی و خروجی دارد. یک سوئیچ ترانزیستور اشباع ساده برای کنترل استفاده می‌شود. هنگامی که ورودی کنترل باینری ۰ باشد، ترانزیستور خاموش است، بنابراین ولتاژ مثبت به کاتدهای دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  اعمال می‌شود. دیود  $D_3$  هدایت می‌کند. به دلیل تقسیم کننده ولتاژ که از  $R_A$  و  $R_B$  تشکیل شده است، کاتد  $D_3$  در سطح ولتاژ مثبت کمتری نسبت به آند خود قرار دارد. در این شرایط، سوئیچ خاموش است، بنابراین هیچ سیگنالی به بار نمی‌رسد.

هنگامی که ورودی کنترل مثبت یا باینری ۱ است، ترانزیستور هدایت می‌کند و کاتدهای  $D_1$  و  $D_2$  را از طریق مقاومت‌های  $R_3$  و  $R_5$  به زمین می‌کشد. آندهای  $D_1$  و  $D_2$  از طریق مقاومت  $R_4$  در ولتاژ مثبت قرار دارند، بنابراین این دیودها هدایت می‌شوند. دیود  $D_3$  قطع شده است. بنابراین سیگنال به بار منتقل می‌شود.

دیودهای پین نیز گاهی اوقات برای ویژگی‌های مقاومت متغیرشان استفاده می‌شوند. تغییر بایاس آنها برای تغییر مقاومت، امکان ایجاد مدارهای تضعیف کننده ولتاژ متغیر را فراهم می‌کند. از دیودهای پین می‌توان به عنوان مدوله کننده دامنه نیز استفاده کرد.



دارای دیودها، خازن‌ها و یک مقاومت است که روی یک تراشه یکپارچه شده است و برای کاربردهای حسگر قدرت با سد کم و بایاس صفر مفید است.

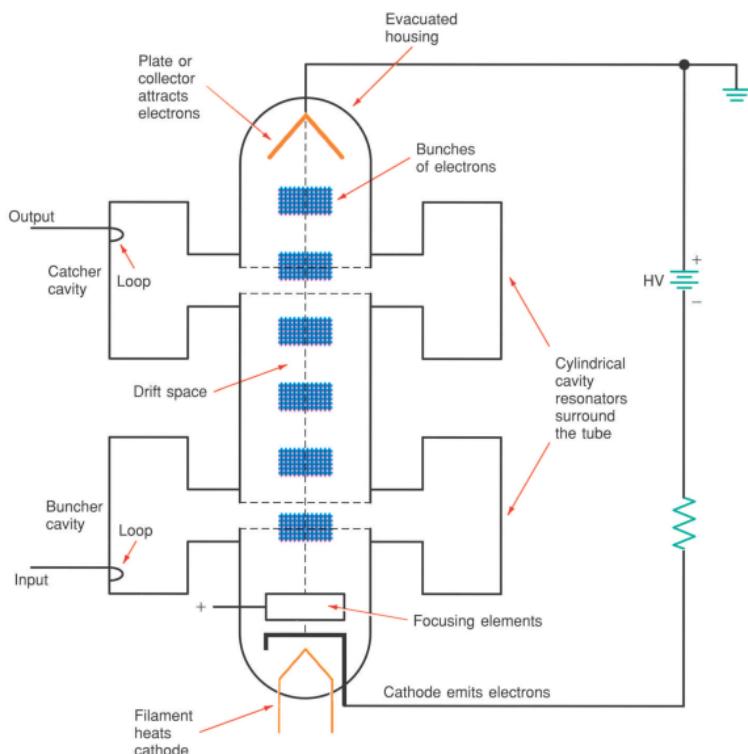
## ۵.۱۶ لامپ‌های مایکروویو

قبل از اختراع ترانزیستورها، تمام مدارهای الکترونیکی با لامپ‌های خلاء اجرا می‌شدند. لامپ‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای کنترل جریان زیاد با ولتاژ کم برای تولید تقویت، نوسان، سوئیچینگ و سایر عملیات استفاده می‌شوند. امروزه از لامپ‌های خلاء فقط برای کاربردهای خاص استفاده می‌شود. لامپ پرتو کاتدی<sup>۴۰</sup> (CRT) که زمانی در تلویزیون‌ها، نمایشگرهای کامپیوترا، اسیلوسکوپ‌ها، آنالایزرهای طیف و سایر دستگاه‌های نمایشگر استفاده می‌شد، شکل خاصی از لامپ خلاء است که با نمایشگرهای LED، LCD و سایر صفحه‌های تخت جایگزین شده است.

لامپ‌ای خلاء هنوز در تجهیزات مایکروویو یافت می‌شوند. این امر به ویژه در فرستنده‌های مایکروویو مورد استفاده برای تولید توان خروجی بالا صادق است. ترانزیستورهای اثر میدان دوقطبی می‌توانند در ناحیه مایکروویو تا حدود چند صد وات توان تولید کنند، اما بسیاری از کاربردها به توان بیشتری نیاز دارند. فرستنده‌های رادیویی در باندهای UHF و باند پائین مایکروویو از لامپ‌های خلاء استاندارد طراحی شده برای تقویت توان استفاده می‌کنند. اینها می‌توانند سطوح توانی تا چند هزار وات تولید کنند. در فرکانس‌های مایکروویو بالاتر (بالاتر از ۲ گیگاهرتز) از لامپ‌های مخصوص استفاده می‌شود. در ماهواره‌ها و ایستگاه‌های زمینی آنها، ایستگاه‌های تلویزیونی و در برخی تجهیزات نظامی مانند رادار، توان خروجی بسیار بالایی نیاز است. ترانزیستورهای قدرت GaN جدیدتر می‌توانند

<sup>۴۰</sup>. Cathode Ray Tube (CRT)

سطوح توان را تا حدود ۵۰ وات تولید کنند، اما می‌توانند با موازی سازی توان صدها و حتی هزاران وات را ارائه دهند. با این حال، لامپ‌های مایکروویو ویژه‌ای که در طول جنگ جهانی دوم توسعه یافته‌ند-کلایسترون، مگنترون و لامپ موج متحرک-هنوز در برخی تجهیزات قدیمی‌تر برای تقویت توان مایکروویو استفاده می‌شوند.



شکل ۴۰.۱۶: تقویت کننده کلایسترون دو حفره‌ای (محفظه‌ای).

### کلایسترون:

کلایسترون<sup>۴۱</sup> یک لامپ خلاء مایکروویو است که از تشدیدگرهای حفره‌ای (محفظه رزونانسی) برای تولید مدولاسیون سرعت پرتو الکترونی جهت تقویت توان است. شکل (۴۰.۱۶) یک نمودار شماتیک از تقویت کننده کلایسترون دو محفظه‌ای است. خود لامپ خلاء از یک کاتد تشکیل شده است که توسط یک رشته گرم می‌شود. در دمای بسیار بالا، کاتد الکترون ساطع می‌کند. این الکترون‌های منفی توسط یک صفحه یا کلکتور جذب می‌شوند که با ولتاژ مثبت بالا بایاس می‌شود. بنابراین عبور جریان بین کاتد و کلکتور در داخل لامپ تخلیه برقرار می‌شود.

الکترون‌های ساطع شده توسط کاتد با استفاده از تکنیک‌های تمرکز الکترواستاتیک و الکترومغناطیسی به یک جریان بسیار باریک متمرکز می‌شوند. در کانونی کردن الکترواستاتیکی<sup>۴۲</sup>، عناصر خاصی به نام صفحات کانونی کردن که ولتاژ بالایی بر روی آنها اعمال شده است، الکترون‌ها را وارد یک پرتو باریک

<sup>۴۱</sup>Klystron

<sup>۴۲</sup>Electrostatic Focusing

مي کنند. کانوني کردن الکترومغناطيسی از سيم پیچ های در اطراف لامپ استفاده می کند که جريان از آن عبور می کند تا میدان مغناطيسی ايجاد شود. اين میدان مغناطيسی به مرکز الکترون ها در يك پرتو باريک کمک می کند.

سپس پرتهای مرکز الکترون ها مجبور می شوند از مراکز دو تشدیدگر حفره ای که حفره مرکز باز را احاطه کرده اند، عبور کند. سیگنال مايكرويو که باید تقویت شود از طریق يک حلقة کوپلینگ به حفره پایینی اعمال می شود. این باعث ايجاد میدان های الکتریکی و مغناطیسی در حفره (محفظه) شده و باعث می شود الکترون ها با عبور از حفره سرعت خود را کاهش يا افزایش دهند. در يك نیم چرخه (نیم سیگل)، سرعت الکترون ها افزایش می یابد. در نیم چرخه بعدی ورودی، سرعت آنها کاهش می یابد. اثر این است که دسته های از الکترون ها ايجاد می کنند که در فضای رانتش بین حفره ها يك دوم طول موج از هم فاصله دارند. اين افزایش و کاهش سرعت پرتو الکتروني به عنوان مدولاسیون سرعت<sup>۴۳</sup> شناخته می شود. از آنجایی که حفره ورودی دسته های از الکترون تولید می کند، معمولاً به عنوان محفظه دسته بندی<sup>۴۴</sup> نامیده می شود.

از آنجایی که الکترون های دسته بندی شده توسط جمع کننده مثبت جذب می شوند، از طریق لامپ حرکت و در نهایت از مرکز حفره دیگری به نام محفظه بدست آورنده<sup>۴۵</sup> عبور می کنند. از آنجایی که الکترون های دسته های در ابرهایی با نواحی متناوب متراکم و پراکنده به سمت کلکتور حرکت می کنند، پرتو الکتروني را می توان به عنوان يك پرتو با چگالی مدوله شده<sup>۴۶</sup> نامید.

با عبور دسته های الکترون از حفره بدست آورنده، حفره به نوسان در فرکانس تشدید تحريك می شود. بنابراین انرژی dc در پرتو الکتروني به انرژی RF در فرکانس محفظه تبدیل و توان تقویت می شود. خروجی از حفره بدست آورنده با يک حلقة استخراج می شود.

کلایسترون ها همچنین با محفظه های اضافی بین حفره های دسته بندی و بدست آورنده ساخته می شوند. این حفره های میانی، دسته بندی بیشتری ايجاد می کنند که باعث افزایش تقویت سیگنال می شود. اگر حفره های دسته بندی خارج از فرکانس مرکزی از حفره های ورودی و خروجی تنظیم شوند، تأثیر آن افزایش پهنانی باند لامپ است. فرکانس عملکرد يك کلایسترون با اندازه حفره های ورودی و خروجی تنظیم می شود. از آنجایی که حفره ها معمولاً Q های بالایی دارند، پهنانی باند آنها محدود است. با کاهش Q های حفره ها و با معرفی حفره های میانی می توان به عملیات پهنانی باند وسیع تری دست یافت.

کلایسترون دیگر به طور گسترده در اکثر تجهیزات مايكرويو استفاده نمی شود. دیودهای گان و مدارهای دیگر جایگزین رفلکس کلایسترون های کوچک در کاربردهای تولید سیگنال شده اند، زیرا آنها کوچکتر و هزینه کمتری دارند و نیازی به ولتاژ تغذیه dc بالا ندارند. کلایسترون های چند حفره ای بزرگتر با لوله های موج متحرک در کاربردهای پرقدرت جایگزین می شوند.

### مگنترون:

يکی دیگر از لامپ های مايكرويو پر کاربرد، مگنترون<sup>۴۷</sup> است که ترکیبی از يك لامپ خلاء دیود ساده با تشدید کننده های حفره داخلی و يك آهنربای دائمی بسیار قدرتمند است. مجموعه مگنترون

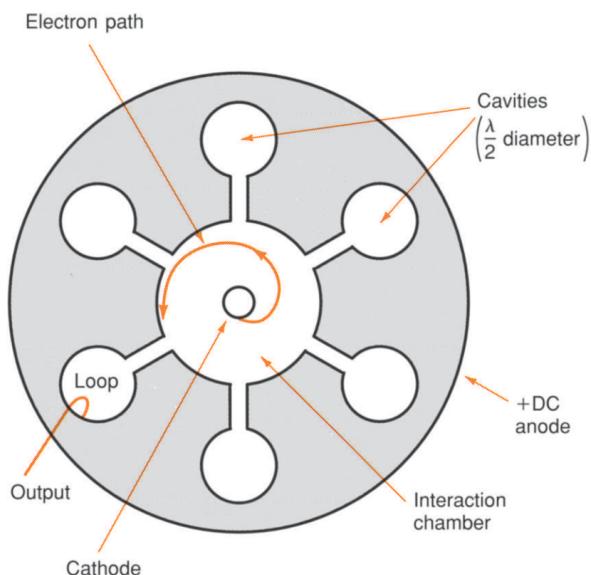
<sup>۴۳</sup>Velocity Modulation

<sup>۴۴</sup>Buncher Cavity

<sup>۴۵</sup>Catcher cavity

<sup>۴۶</sup>Density Modulated Beam.

<sup>۴۷</sup>Magnetron



شکل ۴۱.۱۶: لامپ مگنترون به عنوان نوسان‌ساز بکار می‌رود.

معمولی نشان داده شده در شکل (۴۱.۱۶) از یک آند دایره‌ای تشکیل شده است که با تعداد زوج حفره رزونانسی در آن ماشین کاری شده است. قطر هر حفره برابر با یک دوم طول موج در فرکانس کاری مورد نظر است. آند معمولاً از مس ساخته شده است و به یک جریان مستقیم مثبت ولتاژ بالا متصل است.

در مرکز آند که محفظه برهمکنش<sup>۴۸</sup> نامیده می‌شود، یک کاتد دایره‌ای شکل قرار دارد که هنگام گرم شدن، الکترون از خود ساطع می‌کند. در یک لامپ خلاء دیود معمولی، الکترون‌ها مستقیماً از کاتد مستقیماً به آند می‌آیند و باعث می‌شوند جریان زیادی عبور یابد. با این حال، در یک لامپ مگنترون، جهت الکترون‌ها تغییر می‌کند، زیرا لوله توسط یک میدان مغناطیسی قوی احاطه شده است. میدان معمولاً توسط یک آهنربای دائمی C شکل که در مرکز محفظه برهمکنش قرار دارد تأمین می‌شود. در شکل، میدان عمود بر صفحه مشخص شده است. این بدان معنی است که خطوط نیرو بسته به ساختار لامپ می‌توانند از صفحه خارج یا وارد صفحه شوند.

میدان‌های مغناطیسی الکترون‌های متحرک با میدان قوی تأمین شده توسط آهنربای برهم کنش دارند. نتیجه این است که عبور مسیر الکترون از کاتد مستقیماً به آند نیست، بلکه منحنی است. با تنظیم صحیح ولتاژ آند و قدرت میدان مغناطیسی، الکترون‌ها را می‌توان طوری خم کرد که بهندرت به آند رسیده و باعث ایجاد جریان می‌شوند. همانطور که در شکل (۴۱.۱۶) نشان داده شده است، مسیر به حلقه‌های دایره‌ای تبدیل می‌شود. در نهایت، الکترون‌ها به آند می‌رسند و باعث ایجاد جریان می‌شوند. با تنظیم ولتاژ آند dc و شدت میدان مغناطیسی، مسیر الکترون دایره‌ای می‌شود. الکترون‌ها با ایجاد گذرهای دایره‌ای خود در محفظه برهم کنش، حفره‌های تشدید را به نوسان تحریک می‌کنند.

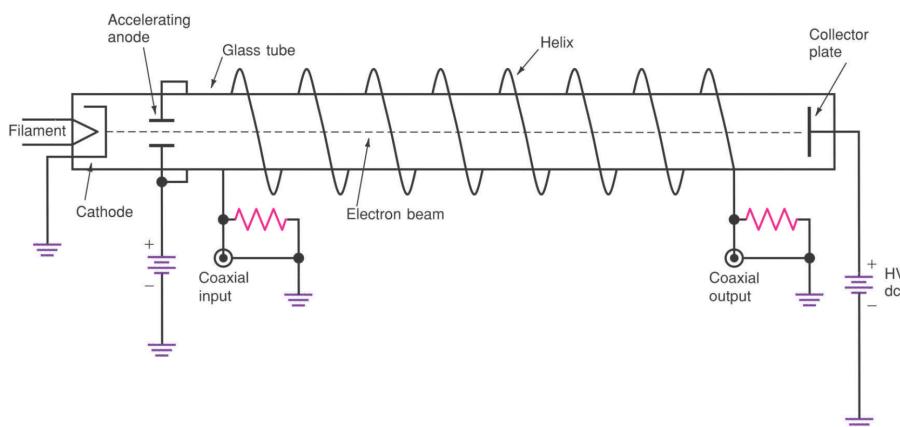
<sup>۴۸</sup>Interaction Chamber

بنابراین، مگنترون یک نوسان ساز است، نه یک تقویت کننده. یک حلقه تیک آف در یک حفره خروجی را فراهم می کند.

مگنترون ها قادر به ایجاد سطوح بسیار بالایی از قدرت مايكرويو هستند. هزاران و حتی میلیون ها وات توان توسط مگنترون تولید می شود. وقتی مگنترون ها در حالت پالسی کار می کنند، می توانند چندین مگاوات نیرو در ناحیه مايكرويو تولید کنند. مگنترون های پالسی معمولاً در سیستم های رادار استفاده می شوند. مگنترون های موج پیوسته نیز استفاده می شوند و می توانند صد ها و حتی هزاران وات توان تولید کنند. یک کاربرد معمولی برای مگنترون موج پیوسته برای اهداف گرمایش در اجاق های مايكرويو با فرکانس  $2/45$  گیگاهرتز است.

### لامپ موج متحرک:

یکی از همه کارهترین تقویت کننده های قدرت RF مايكرويو، لامپ موج متحرک (TWT) است که می تواند صد ها و حتی هزاران وات توان مايكرويو تولید کند. مزیت اصلی TWT پهنهای باند بسیار گسترده است. در یک فرکانس تشديید نمی شود.



شکل ۴۲.۱۶: لامپ موج متحرک (TWT)

شکل (۴۲.۱۶) ساختار اصلی یک لامپ موج متحرک را نشان می دهد. این شامل رشته گرم کننده و کاتد به اضافه یک آند است که به طور مثبت بایاس می شود تا پرتو الکترونی را به جلو شتاب دهد و آن را به یک پرتو باریک متتمرکز کند. الکترون ها توسط یک صفحه مثبت به نام کلکتور جذب می شوند که ولتاژ dc بسیار بالایی به آن اعمال می شود. لامپ های موج متحرک می توانند از یک فوت تا چند فوت باشند. در هر صورت، طول لامپ معمولاً طول موج های زیادی در فرکانس کاری است. آهنرباهای دائمی یا آهنرباهای الکتریکی اطراف لامپ را احاطه کرده و الکترون ها را به شدت در یک پرتو باریک متتمرکز نگه می دارند.

دور یک لامپ موج متحرک یک مارپیچ یا سیم پیچ است. پرتو الکترونی از محور مارپیچ عبور می کند. سیگنال مايكرويو که باید تقویت شود به انتهای مارپیچ نزدیک کاتد اعمال می شود و خروجی از انتهای مارپیچ نزدیک کلکتور گرفته می شود. هدف مارپیچ ارائه مسیری برای سیگنال RF است که انتشار آن را کند می کند. انتشار سیگنال RF در طول مارپیچ تقریباً برابر با سرعت پرتو الکترونی

<sup>۴۹</sup>Traveling Wave Tube (TWT)

از کاتد به کلکتور است. مارپیچ به گونه‌ای پیکربندی شده است که موجی که در امتداد آن حرکت می‌کند کمی کندتر از پرتو الکترونی است.

عبور سیگنال مایکروویو به‌پایین مارپیچ باعث تولید میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌شود که با پرتو الکترونی در تعامل هستند. تأثیر روی پرتو الکترونی مشابه تأثیر کلایسترون است. میدان الکترومغناطیسی تولید شده توسط مارپیچ باعث افزایش سرعت و کاهش سرعت الکترون‌ها می‌شود. این باعث ایجاد مدولاسیون سرعت پرتو می‌شود که به نوبه خود مدولاسیون چگالی را ایجاد می‌کند. البته مدولاسیون چگالی باعث می‌شود دسته‌هایی از الکترون‌ها یک طول موج از هم جدا شوند. این دسته از الکترون‌ها در طول لامپ به‌سمت کلکتور حرکت می‌کنند. از آنجایی که پرتو الکترونی مدوله شده با چگالی اساساً با موج الکترومغناطیسی که به‌سمت پایین مارپیچ حرکت می‌کند همگام است، دسته‌های الکترونی ولتاژ‌هایی را به مارپیچ القا می‌کنند که ولتاژ موجود را تقویت می‌کند. نتیجه این است که قدرت میدان الکترومغناطیسی روی مارپیچ با حرکت موج به‌سمت پایین لامپ به‌سمت کلکتور افزایش می‌یابد. در انتهای مارپیچ، سیگنال به‌طور قابل توجهی تقویت می‌شود. کابل کواکسیال سازه‌های موجبر برای استخراج انرژی از مارپیچ استفاده می‌شود.

لامپ‌های موج متحرک می‌توانند برای تقویت سیگنال‌ها در محدوده‌ای از UHF تا صدھا گیگاهرتز ساخته شوند. اکثر TWT‌ها دارای محدوده فرکانسی تقریباً  $2 : 1$  در بخش مورد نظر از ناحیه مایکروویو هستند که باید تقویت شوند. TWT‌ها را می‌توان در هر دو حالت کار مداوم و پالسی استفاده کرد. یکی از رایج‌ترین کاربردهای TWT‌ها به عنوان تقویت کننده قدرت در فرستنده‌های ماهواره‌ای است. تقویت کننده‌های قدرت GaN به تدریج جایگزین TWT‌ها در محدوده توان پایین‌تر می‌شوند زیرا آنها کوچکتر، ناهموارتر و ارزان‌تر هستند.

### لامپ‌های مایکروویو متفرقه:

در یک نوسان ساز موج عقب‌رو<sup>۵۰</sup> (BWO)، یک تغییر از TWT، موج از انتهای آند لامپ به سمت تفنگ الکترونی حرکت می‌کند، جایی که استخراج می‌شود. BWO‌ها می‌توانند تا صدھا وات توان مایکروویو را در محدوده  $20 \text{ تا } 80 \text{ گیگاهرتز}$  تولید کنند. فرکانس کاری BWO را می‌توان به راحتی با تغییر ولتاژ کلکتور تنظیم کرد.

ژیروترون‌ها<sup>۵۱</sup> که به عنوان کلایسترون ساخته و کار می‌کنند، برای تقویت در فرکانس‌های مایکروویو بالای  $30 \text{ گیگاهرتز}$  در محدوده موج میلی‌متری استفاده می‌شوند. آنها همچنین می‌توانند متصل شوند تا به عنوان نوسانگر عمل کنند. ژیروترون‌ها تنها دستگاه‌هایی هستند که در حال حاضر برای تقویت توان و تولید سیگنال در محدوده موج میلی‌متری موجود هستند.

تقویت کننده میدان متقاطع<sup>۵۲</sup> (CFA) مشابه TWT است. بهره آن کمتر است اما تا حدودی کارآمدتر است. برای یک سطح توان معین، ولتاژ کاری یک CFA معمولاً کمتر از یک TWT است. پهنه‌ای باند حدود  $20 \text{ تا } 60 \text{ درصد}$  فرکانس طراحی است. سطوح توان تا چندین مگاوات در حالت پالس قابل دستیابی است.

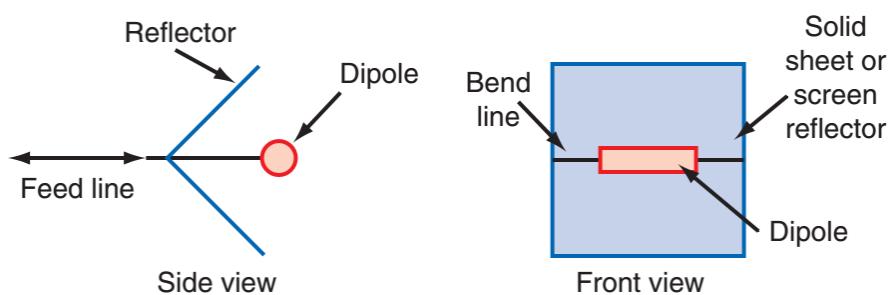
<sup>۵۰</sup> Backward Wave Oscillator (BWO)

<sup>۵۱</sup> Gyrotron

<sup>۵۲</sup> Crossed Field Amplifier (CFA)

## ۶.۱۶ آنتن‌های مایکروویو

همه آنتن‌هایی که در فصل پانزدهم بحث کردیم، می‌توانند نیز در فرکانس‌های مایکروویو استفاده شود. با این حال، این آنتن‌ها بسیار کوچک خواهند بود. در فرکانس ۵ گیگاهرتز یک دوقطبی نیم موج کمتر از یک اینچ است و طول موج یک چهارم عمودی کمی کمتر از ۵٪ اینچ است. این آنتن‌ها البته می‌توانند سیگنال‌های مایکروویو را منتشر کنند، اما ناکارآمدند. بدلیل انتشار دید مستقیم سیگنال‌های مایکروویو، آنتن‌های بسیار توجیهی ترجیح داده می‌شوند زیرا انرژی تابیده شده را هدر نمی‌دهند و افزایش بهره را ایجاد می‌کنند و به جرایح نویز و مشکلات فاصله در فرکانس‌های مایکروویو کمک می‌کنند. بهاین دلایل مهم، معمولاً آنتن‌های ویژه با بهره بالا و توجیهی در کاربردهای مایکروویو استفاده می‌شوند.



شکل ۴۳.۱۶: بازتابنده گوشه‌ای که با دوقطبی برای فرکانس‌های مایکروویو پایین استفاده می‌شود.

### آنتن‌های فرکانس پایین:

در فرکانس‌های مایکروویو پایین، کمتر از ۲ گیگاهرتز، معمولاً از آنتن‌های استاندارد استفاده می‌شود، از جمله دوقطبی و تنوع آن مانند پاپیونی<sup>۵۳</sup>، یاگی<sup>۵۴</sup> و آنتن زمینی<sup>۵۵</sup>. تنوع دیگر بازتابنده گوشه‌ای<sup>۵۶</sup> است که در شکل (۴۳.۱۶) نشان داده شده است. این آنتن یک دوقطبی ضخیم، پهنای باند و نیم موجی است که با کابل کواکسیال کم تلفات تغذیه می‌شود. پشت دوقطبی یک بازتابنده از ورقه فلزی جامد، گروهی از میله‌های افقی با فاصله نزدیک، یا ماده صفحه مشبک ظرفی برای کاهش مقاومت در برابر باد قرار دارد، ساخته می‌شوند. این چیدمان بازتاب بهتری نسبت به میله‌های ساده که در یاگی استفاده می‌شود، می‌دهد، بنابراین بهره بالاتر است.

زاویه بازتابنده معمولاً ۴۵°، ۶۰° یا ۹۰° درجه است. فاصله بین دوقطبی و گوشه بازتابنده معمولاً در محدوده ۰/۲۵λ تا ۰/۷۵λ است. در این محدوده فاصله، بهره تنها حدود ۱/۵ دسی‌بل تغییر می‌کند. با این حال، امپدانس نقطه دوقطبی به طور قابل توجهی با فاصله متفاوت است. فاصله معمولاً برای بهترین تطابق امپدانس تنظیم می‌شود. استفاده از کابل کواکسیال ۵۰ یا ۷۵ اهمی رایج است که تطبیق آن نسبتاً آسان است. بهره کلی آنتن بازتابنده گوشه ۱۰ تا ۱۵ دسی‌بل است. با استفاده از یک بازتابنده سهموی می‌توان بهره بیشتری به دست آورد، اما بازتابنده‌های گوشه‌ای آسان‌تر و ارزان‌تر

<sup>۵۳</sup>Bow tie

<sup>۵۴</sup>Yagi

<sup>۵۵</sup>Ground Plane Antenna

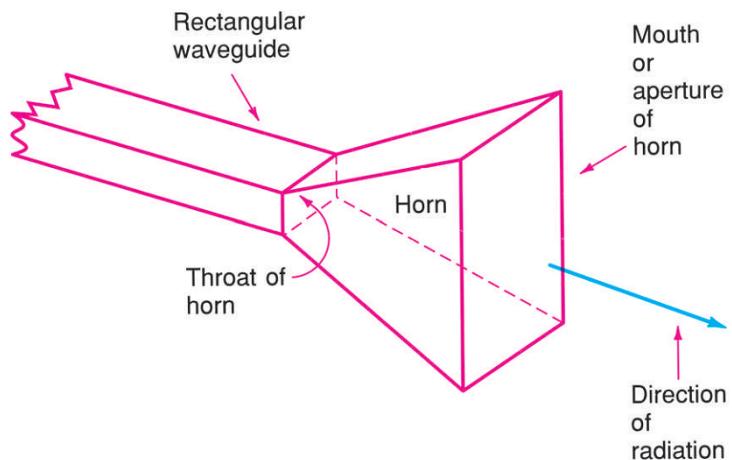
<sup>۵۶</sup>Corner reflector

ساخته می‌شوند.

### خوب است بدانید که:

آنتن‌های ویژه با بهره بالا و توجیهی (دایزکتیویتی) بالا در کاربردهای مایکروویو استفاده می‌شوند زیرا انرژی تابیده شده را هدر نمی‌دهند. آنها همچنین افزایش بهره را ایجاد می‌کنند که به جبران مشکلات نویز در این فرکانس‌ها کمک می‌کند.

### آنتن‌های شیپوری (بوقی):

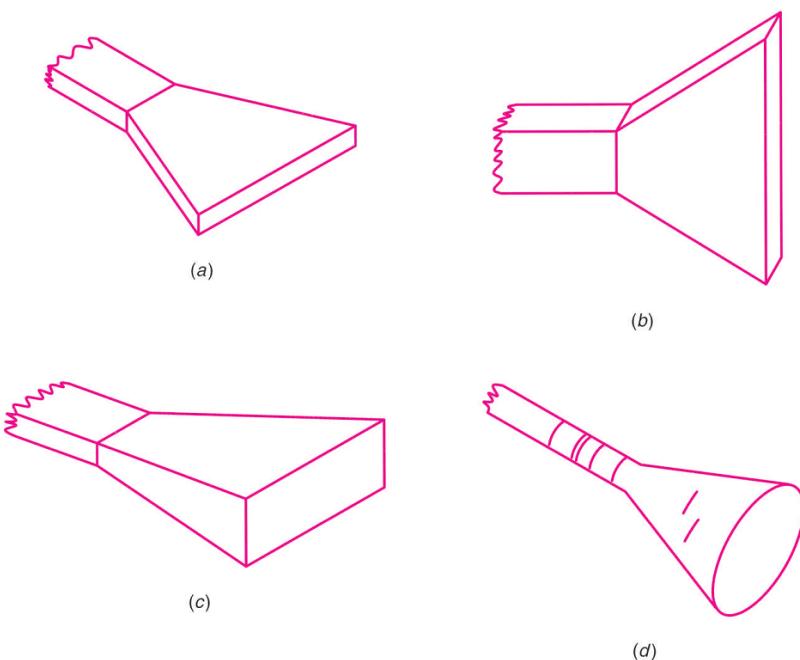


شکل ۴۴.۱۶: اساس آنتن بوقی.

همانطور که قبلاً بحث شد، موجبرها گاهی اوقات با سیگنال‌های مایکروویو استفاده می‌شوند. اگر فاصله بین آنتن و گیرنده یا فرستنده کمتر از  $50^{\circ}$  فوت باشد، در کمتر از ۶ گیگاهرتز، کابل‌های کواکسیال ویژه می‌توانند به طور موثر استفاده شوند. در برخی از سیستم‌های مایکروویو، موجبرها به دلیل تلفات کم ترجیح داده می‌شوند. بنابراین، آنتن‌های مایکروویو باید از یک موجبر پشتیبانی یا سازگار با آن باشند. موجبرها، البته، اگر به سادگی در انتهای باز گذاشته شوند، رادیاتورهای (تابشگر) ناکارآمدی هستند. مشکل استفاده از موجبر به عنوان رادیاتور این است که نطبق امپدانس ضعیفی با فضای آزاد فراهم می‌کند و عدم تطبیق باعث ایجاد امواج ایستاده و قدرت بازتاب می‌شود. نتیجه اتلاف توان فوق العاده سیگنال تابشی است. همانطور که در شکل (۴۴.۱۶) نشان داده شده است، می‌توان این عدم تطبیق را به سادگی با گشايش انتهای موجبر برای ایجاد یک آنتن بوقی جبران کرد. هرچه گشايش طولانی‌تر و تدریجی‌تر باشد، امپدانس تطبیق بهتر و تلفات کمتری دارد. آنتن‌های بوقی دارای بهره و جهت‌دهی (دایزکتیویتی) عالی هستند. هر چه شیپور بلندتر باشد، بهره و جهت‌دهی آن بیشتر است.

انواع مختلفی از آنتن‌های شیپوری را می‌توان با راه اندازی انتهای موجبر به روش‌های مختلف ایجاد کرد. برای مثال، گشاد شدن موجبر تنها در یک بعد، یک بوق بخشی<sup>۵۷</sup> ایجاد می‌کند، همانطور

<sup>۵۷</sup>Sectoral horn



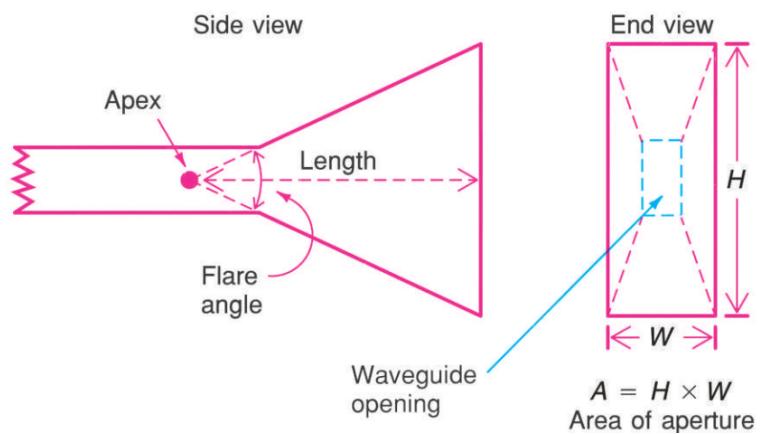
شکل ۴۵.۱۶: انواع آتن بوقی. (الف) بوق بخشی. (ب) بوق بخشی. (ج) بوق هرمی. (د) بوق مخروطی.

که در شکل (۴۵.۱۶)(الف) و (ب) نشان داده شده است. دو طرف بوق موازی با اضلاع موجبر باقی می‌مانند و بعد دیگر بتدریج گشاد می‌شود. همانطور که در شکل (۴۵.۱۶)(ج) نشان داده شده، کشاد شدن هر دو بعد بوق، یک بوق هرمی ایجاد می‌کند. اگر از یک موجبر دایره‌ای استفاده شود، گشادی یک شیپور مخروطی، مانند شکل (۴۵.۱۶)(د) ایجاد می‌کند.

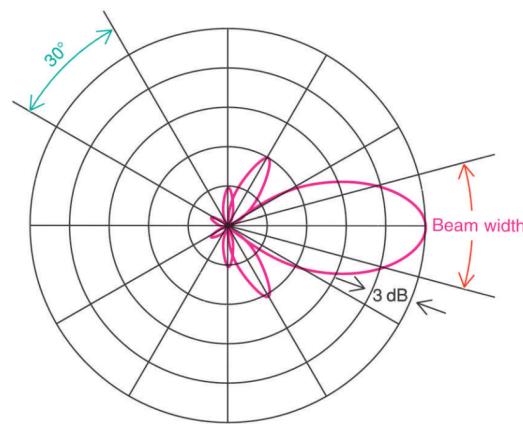
بهره و جهت‌دهی یک بوق تابعی مستقیم از ابعاد آن است. مهمترین ابعاد طول شیپور، ناحیه روزنه و زاویه گشایش است (شکل ۴۵.۱۶).

طول یک بوق معمولی معمولاً  $2\lambda$  تا  $15\lambda$  در فرکانس کاری است. با فرض فرکانس کاری  $10^{\circ}$  گیگاهرتز، طول موج برابر  $3 = \frac{300}{10,000} = 0.03$  متر و  $f = \frac{300}{\lambda} = 30,000$  بر حسب مگاهertz است. طول  $0.03$  متر برابر با  $3$  سانتی متر است. چون یک اینچ برابر  $2.54$  سانتی متر است، بنابراین طول موج در  $10^{\circ}$  گیگاهرتز برابر  $1/18 = 2.54/3$  اینچ است. بنابراین یک بوق معمولی در  $10^{\circ}$  گیگاهرتز می‌تواند از حدود  $\frac{1}{2}$  تا  $18$  اینچ طول داشته باشد. البته نصب و کار با بوق‌های بلندتر دشوارتر است، اما بهره بالاتر و جهت‌دهی بهتری را ارائه می‌دهد.

روزنہ مساحت مستطیلی است که در دهانه بوق ایجاد می‌شود و حاصل ضرب طول و عرض بوق است که در شکل (۴۶.۱۶) نشان داده شده است. هر چه این ناحیه بزرگتر باشد، بهره و جهت‌دهی بیشتر است. زاویه گشایش نیز بر افزایش و جهت‌دهی تأثیر می‌گذارد. زوایای گشایش معمولی از حدود  $20^{\circ}$  درجه تا  $60^{\circ}$  درجه متفاوت است. بدیهی است که همه این ابعاد بهم مرتبط هستند. به عنوان مثال، افزایش زاویه گشایش باعث افزایش سطح روزنه می‌شود و برای یک ناحیه روزنه معین، کاهش طول باعث افزایش زاویه فلر می‌شود. هر یک از این ابعاد را می‌توان برای دستیابی به هدف طراحی دلخواه تنظیم کرد.



شکل ۴۶.۱۶: ابعاد بوق



شکل ۴۷.۱۶: جهت‌دهی آنتن با عرض پرتو اندازه‌گیری می‌شود.

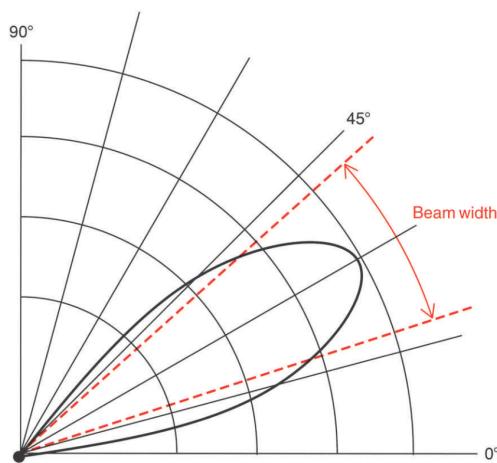
**عرض پرتو:** به یاد داشته باشید که جهت‌دهی آنتن بر حسب عرض پرتو اندازه‌گیری می‌شود، زاویه‌ای که با گسترش خطوط از مرکز منحنی پاسخ آنتن به نقاط پایین ۳ دسی‌بل تشكیل می‌شود. در مثال شکل (۴۷.۱۶)، عرض پرتو تقریباً ۳۰ درجه است. آنتن‌های بوقی معمولاً زاویه پرتوی در محدوده ۱۰ تا ۶۰ درجه دارند.

سیگнал تابش شده از یک آنتن سه بعدی است. الگوهای جهت‌دهی نشان دهنده الگوی تابش افقی آنتن است. آنتن همچنین دارای الگوی تابش عمودی است. شکل (۴۸.۱۹) یک نمودار معمولی از الگوی تابش عمودی یک آنتن شیپوری است. در شیپورهای هرمی و دایره‌ای، عرض پرتو عمودی معمولاً تقریباً با عرض پرتو افقی برابر است. این برای شیپورهای سکتوری (بخشی) صادق نیست.

عرض پرتو افقی  $B$  یک شیپور هرمی با استفاده از عبارت زیر محاسبه می‌شود

$$B = \frac{\lambda}{w/\lambda}$$

که در آن



شکل ۴۸.۱۶: جهت‌دهی عمودی یک آنتن

عرض شیپور =  $w$ طول موج فرکانس کار =  $\lambda$ 

به عنوان مثال، فرکانس کاری  $10^{\circ}$  گیگاهرتز (۱۰۰۰۰۰ مگاهرتز) را در نظر بگیرید که طول موج  $0.03$  متر را همانطور که قبل محاسبه شد به دست می‌آوریم. اگر شیپور هرمی  $10^{\circ}$  سانتی‌متر طول و  $12$  سانتی‌متر عرض داشته باشد، عرض پرتو  $= 20^{\circ} = \frac{80}{4} = 20^{\circ}$  درجه است.

**بهره** : بهره یک شیپور هرمی را نیز می‌توان از روی ابعاد آن محاسبه کرد. قدرت تقریبی آنتن شیپور هرمی برابر است با:

$$G = 4\pi \frac{KA}{\lambda^2}$$

که در آن

 $A$  = روزنه شیپور، بر حسب متر مربع. $\lambda$  = طول موج، بر حسب متر.

$K$  = ثابتی است حاصل از توزیع یکنواخت فاز و دامنه میدان‌های الکترومغناطیسی در سراسر روزنه. مقادیر معمول  $K$  برابر  $0.5$  تا  $0.6$  است.

اجازه دهید به عنوان مثال شیپور توصیف شده قبلی را در نظر بگیریم (طول برابر  $10^{\circ}$  سانتی‌متر، عرض برابر  $12$  سانتی‌متر). سطح روزنه برابر است با

$$A = 10 \times 12 = 120 \text{ cm}^2 = 0.012 \text{ m}^2$$

فرکانس کار برابر  $10^{\circ}$  گیگا هرتز است بنابراین  $\lambda = 0.03$  متر. بهره خواهد بود

$$G = \frac{4(3/14)(0.5)(0.12)}{(0.03)^2} = 83.7$$

این نسبت توان  $P$  است. برای یافتن بهره بر حسب دسی‌بل، از رابطه توان استاندارد استفاده می‌شود:

$$dB = 10 \log P$$

که در آن  $P$  نسبت توان یا بهره است. در اینجا

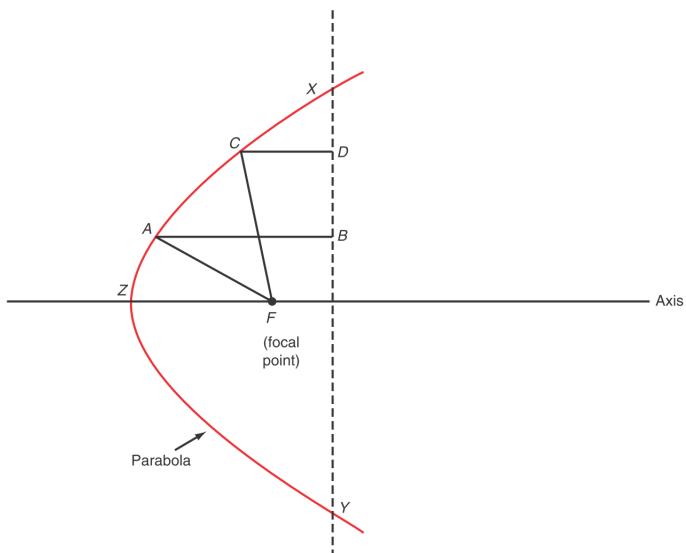
$$dB = 10 \log 83.7 = 10(1.923) = 19.23$$

این افزایش توان بوق نسبت به یک دوقطبی نیم موج استاندارد یا ربع موج عمودی است.

**پهنهای باند :** بیشتر آنتن‌ها پهنهای باند باریکی دارند زیرا تنها در یک فرکانس تشید می‌کنند. ابعاد آنها فرکانس عملکرد را تعیین می‌کند. پهنهای باند یک نکته مهم در فرکانس‌های مایکروویو است زیرا طیف ارسال شده بر روی حامل مایکروویو معمولاً بسیار گسترده است بهطوری که می‌توان مقدار قابل توجهی از اطلاعات را حمل کرد. بوقها اساساً غیر روزنامی یا غیر پریوودیک هستند، بهاین معنی که می‌توانند در محدوده فرکانس وسیعی کار کنند. پهنهای باند یک آنتن بوقی معمولی تقریباً ۱۰ درصد فرکانس کاری است. پهنهای باند یک شیپور در ۱۰ گیگاهرتز تقریباً یک گیگاهرتز است. این یک پهنهای باند بسیار زیاد است - به اندازه کافی گسترده است که تقریباً هر نوع سیگنال مدوله کننده پیچیده را در خود جای می‌دهد.

### آنتن‌های سهموی :

آنتن‌های هورن بهتنهایی در بسیاری از کاربردهای مایکروویو استفاده می‌شوند. هنگامی که بهره و جهت بالاتر مطلوب است، می‌توان آن را به راحتی با استفاده از یک بوق در ارتباط با یک بازتابنده سهموی به دست آورد. بازتابنده سهموی ساختار بشقاب بزرگی است که از فلز یا صفحه مش (توری) ساخته شده است. انرژی تابش شده توسط بوق به سمت بازتابنده است که انرژی تابیده شده را به یک پرتو باریک مرکز می‌کند و آن را به سمت مقصد منعکس می‌کند. بهدلیل شکل سهموی منحصر به‌فرد، امواج الکترومغناطیسی به یک پرتو بسیار کوچک باریک می‌شوند. عرض پرتو فقط چند درجه با بازتابنده‌های سهموی معمولی است. البته، چنین عرض پرتوهای باریکی نیز نشان دهنده سود بسیار بالایی است سهمی یک شکل هندسی رایج است. شکل ۴۹.۱۶ را ببینید. یک بعد کلیدی سهمی

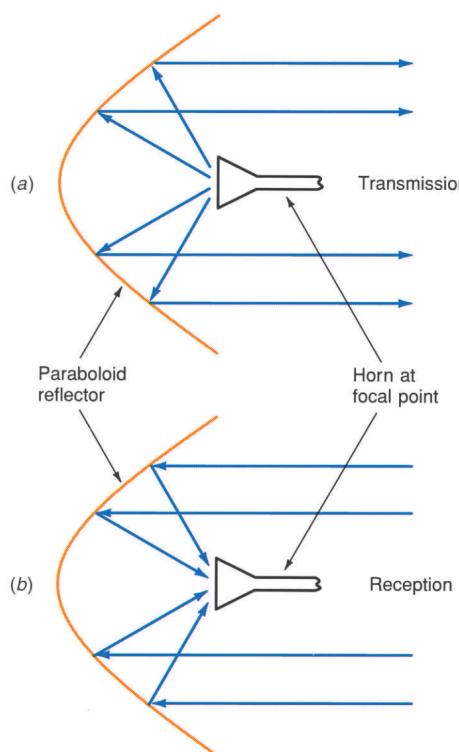


شکل ۴۹.۱۶: نمای مقطعی آنتن بشقاب سهموی.

خطی است که از مرکز آن در نقطه Z به نقطه‌ای در محور با برچسب F که نقطه کانونی است کشیده می‌شود. انتهای یک سهمی از نظر تئوری به سمت بیرون برای یک فاصله بی‌نهایت گسترش می‌یابد، اما برای کاربردهای عملی آنها محدود هستند. در شکل، محدودیت‌ها با خط عمودی نقطه چین نشان

داده شده است. نقاط پایانی با X و Y مشخص می‌شوند. فاصله بین نقطه کانونی سهمی و هر نقطه روی سهمی و سپس تا خط چین عمودی یک مقدار ثابت است. به عنوان مثال، مجموع خطوط FA و AB برابر است با مجموع خطوط FC و CD. این اثر باعث می‌شود که یک سطح سهمی امواج الکترومغناطیسی را به پرتو باریکی از انرژی تبدیل کند. آنستی که در نقطه کانونی F قرار می‌گیرد، امواجی را از سهمی در خطوط موازی ساطع می‌کند. اگر به عنوان گیرنده استفاده شود، سهمی امواج الکترومغناطیسی را می‌گیرد و آنها را به آنتن واقع در نقطه کانونی منعکس می‌کند.

نکته کلیدی که باید در مورد بازتابنده سهمی به خاطر بسپارید این است که دو بعدی نیست. اگر سهمی حول محور خود بچرخد، یک ساختار بشقاب سه بعدی به وجود می‌آید. به این پارaboloid می‌گویند. شکل (۵۰.۱۶) نشان می‌دهد که چگونه یک بازتابنده سهمی در ارتباط با یک آنتن



شکل ۵۰.۱۶: ارسال و دریافت با آنتن بازتابنده سهمی.

شیپوری مخروطی هم برای انتقال و هم برای دریافت استفاده می‌شود. آنتن بوق در نقطه کانونی قرار می‌گیرد. در انتقال، بوق سیگنال را به سمت بازتابنده تابش می‌کند، که امواج را از بازتابنده منعکس می‌کند و آنها را به یک پرتو موازی باریک متصل می‌کند. هنگامی که بازتابنده برای دریافت استفاده می‌شود، سیگنال الکترومغناطیسی را دریافت و امواج را به سمت آنتن در نقطه کانونی منعکس می‌کند. نتیجه یک آنتن با بهره بسیار بالا و عرض پرتو باریک است.

توجه داشته باشید که هر نوع آنتن معمولی (به عنوان مثال، دوقطبی) را می‌توان با یک بازتابنده سهمی برای دستیابی به اثراتی که قبلًا توضیح دادیم استفاده کرد.

**بهره :** بهره آنتن سهیمی به طور مستقیم با روزنه سهیمی متناسب است. روزنه، مساحت دایره بیرونی سهیمی است

$$A = \pi R^2$$

بهره آنتن سهیمی با عبارت ساده زیر داده می‌شود

$$G = 6 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2$$

که در آن

$G$ = بهره، بصورت نسبت بیان می‌شود.

$D$ = قطر بشقاب بر حسب متر.

$\lambda$ = طول موج بر حسب متر.

اکثر بازتابندهای سهیمی طوری طراحی می‌شوند که قطر کمتر از  $\lambda$  کمترین فرکانس کاری نباشد. با این حال، در صورت نیاز به بهره و جهت‌دهی بیشتر، قطر می‌تواند به  $10\lambda$  برسد. به عنوان مثال، افزایش توان یک بشقاب با قطر ۵ متر در  $10\lambda$  گیگاهرتز ( $\lambda = 0.03$  متر) مانند محاسبه قبلی است.

$$G = 6 \left( \frac{5}{0.03} \right)^2 = 6(166.67)^2 = 166,673$$

و بیان آن بر حسب دسی بل خواهد بود

$$dB = 10 \log 166,673 = 10(5/22) = 52.2$$

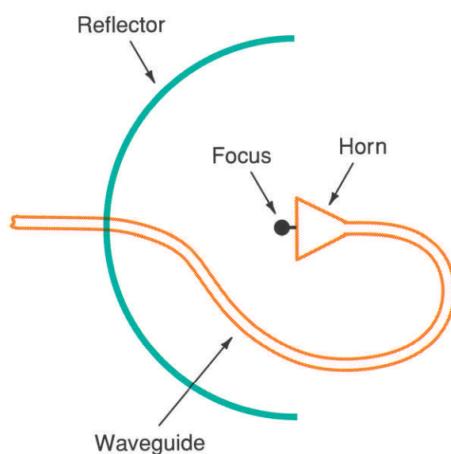
**عرض پرتو :** عرض پرتو یک بازتابنده سهیمی با قطر آن نسبت معکوس دارد. با رابطه زیر داده می‌شود

$$B = \frac{\gamma_0}{D/\lambda}$$

عرض پرتو آنتن ۵ متری و  $10\lambda$  گیگاهرتزی ما  $B = 52.2$  درجه است. با عرض پرتو کمتر از  $5\lambda$  درجه، سیگنال تابش شده از یک بازتابنده سهیمی، یک پرتو نازک به اندازه مداد است که برای دریافت سیگنال باید با دقیقت زیادی اشاره کرد. معمولاً هر دو آنتن فرستنده و گیرنده از طراحی سهیمی و دارای عرض پرتو بسیار باریک هستند. بهمین دلیل، اگر قرار است تماس برقرار شود، باید بدقت به آنها اشاره کرد. علیرغم این واقعیت که پرتو یک بازتابنده سهیمی با فاصله گسترش و اندازه آن افزایش می‌یابد، جهت‌دهی خوب و بهره زیاد است. جهت‌دهی دقیق به جلوگیری از تداخل سیگنال‌هایی که در زوایای خارج از عرض پرتو وارد می‌شوند کمک می‌کند.

**روشهای تغذیه :** به‌خاطر داشته باشید که بشقاب سهیمی آنتن نیست، فقط بخشی از آن است. آنتن بوقی در نقطه کانونی است. برای قرار دادن بوق از تمہیدات فیزیکی زیادی استفاده می‌شود. یکی از متدائل‌ترین آنها پیکربندی به‌ظاهر نامناسب است که در شکل (۵۲.۱۶) نشان داده شده است. موجبر از مرکز بشقاب سهیمی عبور می‌کند و به‌اطراف خمیده شده تا بوق دقیقاً در نقطه کانونی قرار گیرد.

یکی دیگر از روش‌های محبوب تغذیه یک آنتن سهیمی در شکل (۵۲.۱۶) نشان داده شده است. در اینجا آنتن بوق در مرکز بازتابنده سهیمی قرار گرفته است. در نقطه کانونی بازتابنده کوچک دیگری با شکل سهیمی یا هذلولی وجود دارد. تابش الکترومغناطیسی از بوق به بازتابنده کوچک برخورد کرده



شکل ۵.۱.۱۶: موجبر استاندارد و تغذیه توسط آنتن بوقی.

و سپس انرژی را به سمت بشقاب بزرگتر منعکس کرده و به نوبه خود سیگنال را در پرتوهای موازی تابش می‌کند. این ترتیب به عنوان تغذیه کاسگرین شناخته می‌شود. تغذیه آنتن کسگرین<sup>۵۸</sup> چندین مزیت نسبت به آرایش تغذیه در شکل (۵.۱.۱۶) دارد.

اولین مورد این است که خط انتقال موجبر کوتاه‌تر است. علاوه بر این، خمیدگی‌های ناجور در موجبر از بین می‌رود. هر دو منجر به تضعیف سیگنال کمتری می‌شوند. رقم نویز نیز تا حدودی بهبود یافته است. بیشتر آنتن‌های ایستگاه زمینی بزرگ از روش تغذیه کسگرین استفاده می‌کنند. بسیاری از دیگر روش‌های تغذیه برای بازتابندهای سهموی توسعه داده شده‌اند. در آنتن‌هایی که برای دریافت تلویزیون‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود، از موجبر استفاده نمی‌شود. در عوض، یک آنتن شیپوری نصب شده در نقطه کانونی معمولاً با کابل کواکسیال مایکروویو تغذیه می‌شود. در دیگر سیستم‌های آنتن بزرگ، از ترتیبات مکانیکی مختلفی استفاده می‌شود تا به آنتن اجازه چرخش داده شود یا موقعیت آن به طور فیزیکی تغییر کند. بسیاری از آنتن‌های ایستگاه زمینی باید به گونه‌ای تنظیم شوند که بتوان ازیموت (سمت) و ارتفاع آن‌ها را تغییر داد تا جهت‌گیری مناسب آنتن گیرنده تضمین شود. این امر به ویژه در مورد آنتن‌های مورد استفاده در سیستم‌های ارتباط ماهواره‌ای صادق است.

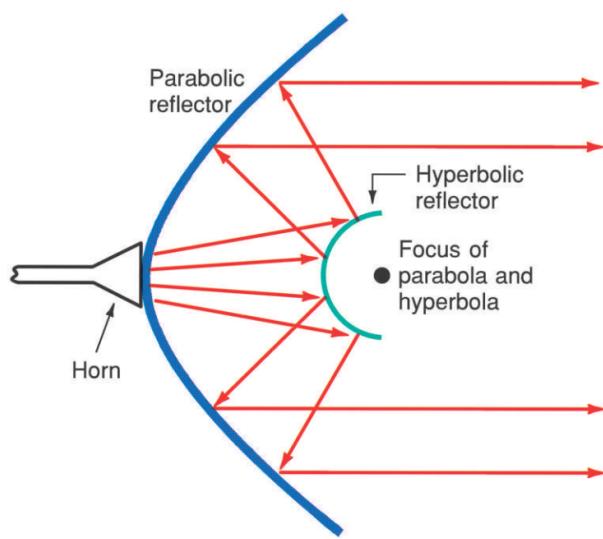
#### مثال ۴-۱۶

یک آنتن بازتابنده سهموی دارای قطر ۵ فوت است. (الف) کمترین فرکانس کاری ممکن، (ب) بهره را در ۱۵ گیگاهرتز، و (ج) عرض پرتو را در ۱۵ گیگاهرتز محاسبه کنید. (کمترین فرکانس کاری در جایی رخ می‌دهد که قطر بشقاب برابر  $\lambda$  باشد).

##### الف

$$\lambda = \frac{984}{f_{MHz}} = 5 \text{ ft}$$

<sup>۵۸</sup>Cassegrain



شکل ۵۲.۱۶: تغذیه آنتن کسگرین.

$$f_{MHz} = \frac{984}{5} = 196.8 MHz$$

• ب چون یک متر  $\frac{3}{28}$  فوت است، بنابراین قطر برابر  $1/524m = 1/5/28$  است.

$$\lambda = \frac{\frac{300}{300}}{f_{MHz}} = \frac{300}{15,000} = 0.02m$$

$$G = 6 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2 = 6 \left( \frac{1/524}{0.02} \right)^2 = 34,838.6$$

$$dB = 10 \log 34,838.6 = 45.42$$

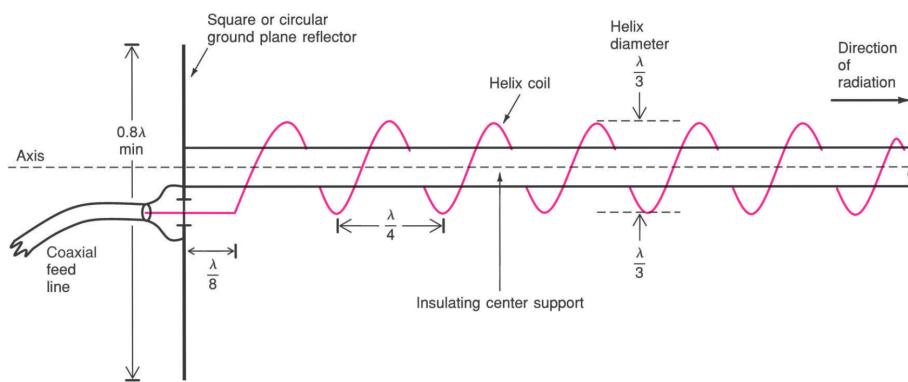
ج

$$B = \frac{70}{D/\lambda} = \frac{70\lambda}{D} = \frac{70(0.02)}{1/524} = 0.92^o$$

برخی از سیستم‌های پیچیده از چندین بوق در یک بازتابنده استفاده می‌کنند. چنین تغذیه‌های متعدد اجراه می‌دهند چندین سیگنال در فرکانس‌های مختلف با یک ساختار بازتابنده بزرگ تابش یا دریافت شوند.

### آنتن‌های مارپیچ(هليگال) :

آنتن مارپیچ همانطور که از نامش پیداست یک مارپیچ سیمی است (شکل ۵۳.۱۶). یک تکیه گاه عایق مرکزی برای نگه داشتن سیم سنگین یا لوله‌ای که به صورت یک سیم پیچ یا مارپیچ دایره‌ای شکل می‌گیرد، استفاده می‌شود. قطر مارپیچ معمولاً یک سوم طول موج است و فاصله بین پیچ‌ها تقریباً یک چهارم طول موج است. بیشتر آنتن‌های حلزونی از شش تا هشت دور استفاده می‌کنند. یک آنتن یا بازتابنده دایره‌ای یا مربعی صفحه زمین در پشت مارپیچ استفاده می‌شود. شکل (۵۳.۱۶) یک خط تغذیه کواکسیال را نشان می‌دهد. آنتن‌های هليگال به طور گسترده در محدوده‌های VHF و UHF استفاده می‌شوند.



شکل ۵۳.۱۶: آنتن مارپیچ(هليکال).

بهره یک آنتن مارپیچ معمولاً در محدوده ۱۲ تا ۲۰ دسی‌بل است و عرض پرتو تقریباً از ۱۲ درجه تا ۴۵ درجه متغیر است. اگرچه این مقادیر با مقادیر قابل دستیابی با شیپورها و بازتابندهای سهموی قابل مقایسه نیستند، آنتن‌های مارپیچ بدلیل سادگی و هزینه کم در بسیاری از کاربردها مورد توجه قرار می‌گیرند.

بیشتر آنتن‌ها میدان الکترومغناطیسی با قطبش عمودی یا افقی ارسال می‌کنند. با این حال، آنتن مارپیچ، میدان الکترومغناطیسی باعث چرخش می‌شود. این به عنوان قطبش دایره‌ای شناخته می‌شود. بسته به جهت سیم پیچی مارپیچ، می‌توان قطبش دایره‌ای در راستگرد (در خلاف عقربه‌های ساعت) یا چیگرد (در خلاف جهت عقربه‌های ساعت) تولید کرد. بدلیل ماهیت چرخشی میدان مغناطیسی، یک سیگنال با قطبش دایره‌ای را می‌توان به راحتی توسط یک آنتن گیرنده با قطبش افقی یا عمودی دریافت کرد. یک آنتن گیرنده مارپیچ همچنین می‌تواند سیگنال‌های با قطبش افقی یا عمودی را به راحتی دریافت کند. البته توجه داشته باشید که سیگنال با قطبش دایره‌ای راستگرد توسط آنتن با قطبش دایره‌ای چیگرد دریافت نمی‌شود و بالعکس. بنابراین، آنتن‌های مارپیچی که در هر دو انتهای انتقال و دریافت یک پیوند ارتباطی استفاده می‌شوند، باید هر دو قطبش یکسان داشته باشند.

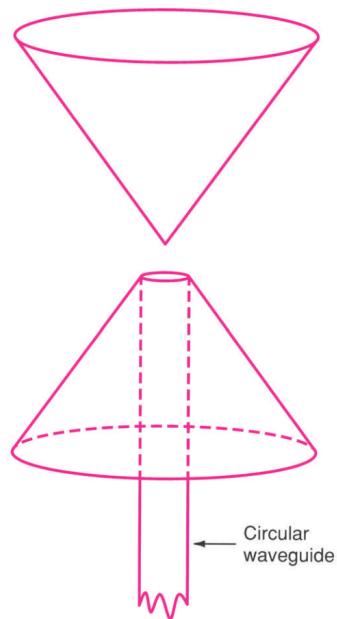
برای به دست آوردن بهره بیشتر و عرض پرتو باریکتر، می‌توان از چندین آنتن مارپیچ در یک آرایه با یک بازتابنده مشترک استفاده کرد. یک آرایش محبوب، گروهی از چهار آنتن مارپیچ است.

### آنتن‌های دو مخروطی :

بیشتر آنتن‌های مایکروویو دارای جهتدهی بالایی هستند. اما در برخی از کاربردها، ممکن است به یک آنتن همه جانبی نیاز باشد. یکی از پرکاربردترین آنتن‌های مایکروویو همه‌جهته، دو مخروطی (بایکون)<sup>۵۹</sup> است (شکل ۵۴.۱۶). سیگنال‌ها از طریق یک موجبر دایره‌ای که به یک مخروط گسترشی ختم می‌شود به آنتن‌های دو مخروطی وارد می‌شوند. مخروط بالایی به عنوان یک بازتابنده عمل می‌کند و باعث می‌شود سیگنال به طور یکسان در همه جهات با عرض پرتو عمودی بسیار باریک تابش شود. نوعی از آنتن دو مخروطی، یک دیسک افقی صاف را جایگزین مخروط بالایی می‌کند که همان عملکرد را انجام می‌دهد.

### آنتن شیاری :

<sup>۵۹</sup>Bicone



شکل ۵۴.۱۶: آنتن دومخروطی(بایکون).

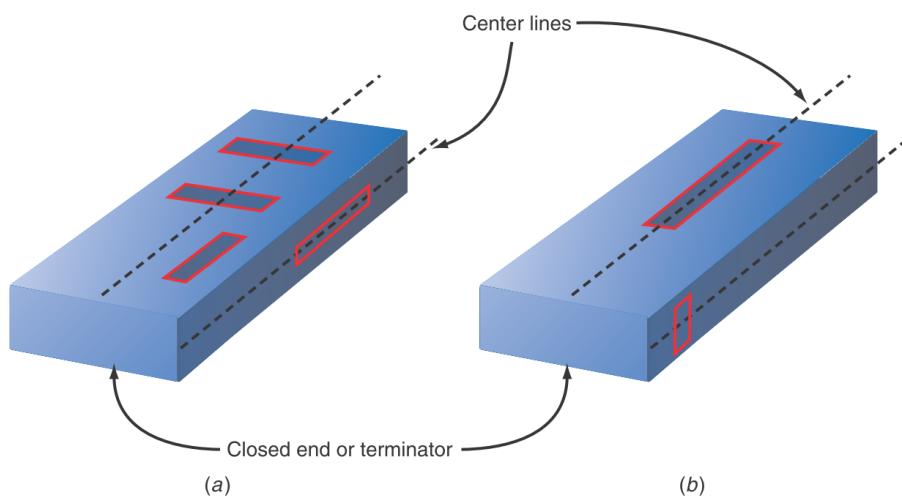
آنتن شیاری (اسلات)<sup>۶۰</sup> تابشگری است که با برش یک شکاف نیمموج (نصف طول موج) در یک ورق فلزی رسانا یا در کنار یا بالای یک موجبر ساخته می‌شود. آنتن شیار اصلی با برش یک شکاف یک دوم طول موج در یک ورق فلزی بزرگ ساخته می‌شود. تا زمانی که ورق فلزی در مقایسه با  $\lambda$  در فرکانس کاری بسیار بزرگ باشد، همان ویژگی‌های آنتن دوقطبی استاندارد را دارد. یک روش متداول‌تر برای ساخت آنتن شیاری در شکل (۵۵.۱۶) نشان داده شده است. شکاف باید یک دوم طول موج در فرکانس کاری داشته باشد. شکل (۵۵.۱۶)(الف) نشان می‌دهد که چگونه شکاف‌ها باید روی موجبر قرار گیرند تا تابش کنند. اگر شکاف‌ها مانند شکل (۵۵.۱۶)(ب) روی خطوط مرکزی طرفین موجبر قرار گیرند، تابش نمی‌کنند. برای ایجاد یک آرایه آنتن شیاری می‌توان چندین شیار را در یک موجبر برش داد (شکل ۵۶.۱۶). آرایه‌های شیاری که معادل آرایه‌های محرک با المان‌های زیاد هستند، نسبت به آنتن‌های تک شیار بهره و جهت‌دهی بهتری دارند.

#### خوب است بدانید که:

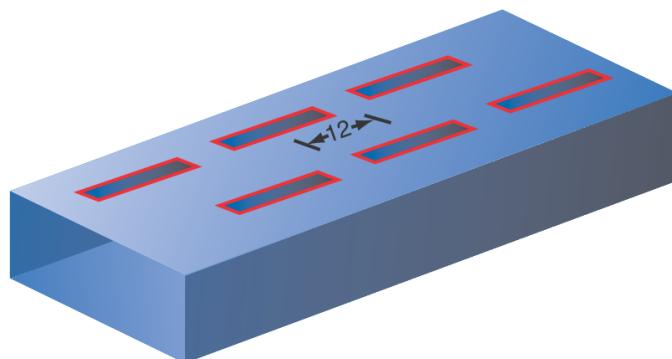
آنتن‌های شیاری (اسلات) به طور گسترده در هوایپیماهای پرسرعت استفاده می‌شوند زیرا می‌توانند در پوسته فلزی هوایپیما ادغام شوند و بنابراین با دینامیک جریان هوا در سرعت‌های بالا تداخلی ندارند.

آنتن‌های شیاری به طور گسترده در هوایپیماهای پرسرعت استفاده می‌شوند. آنتن‌های خارجی با چنین سرعت‌هایی قطع می‌شوند یا سرعت هوایپیما را کاهش می‌دهند. آنتن شیاری را می‌توان در پوسته فلزی هوایپیما ادغام کرد. خود شیار با یک ماده عایق پر می‌شود تا سطح پوست صافی ایجاد کند.

<sup>۶۰</sup> Slot Antenna



شکل ۵۵.۱۶: آنتن‌های شیاری بر روی یک موجبر. (الف) شیارهای تابشی. (ب) شیارهای غیر تابشی.

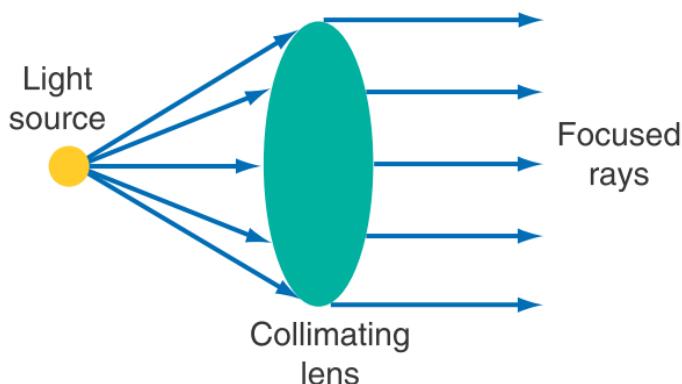


شکل ۵۶.۱۶: رشتہ آنتن‌های شیاری

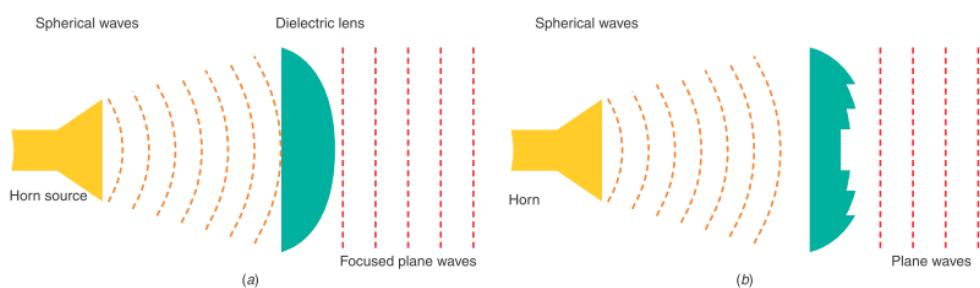
### آنتن دی‌الکتریک (عدسی-لنز)<sup>۶۱</sup> :

همانطور که قبلاً بحث شد، امواج رادیویی، مشابه امواج نور، می‌توانند منعکس شوند، شکسته شوند، پراش شوند، و در موارد دیگر دستکاری شوند. این امر بهویژه در مورد امواج مایکروویو که از نظر فرکانس نزدیک به نور هستند صادق است. بنابراین یک آنتن مایکروویو را می‌توان با ساخت دستگاهی ایجاد کرد که به صورت عدسی برای امواج مایکروویو عمل می‌کند، همانطور که شیشه یا پلاستیک می‌توانند به عنوان عدسی برای امواج نور عمل کنند. این آنتن‌های دی‌الکتریک یا عدسی از یک ماده دی‌الکتریک ویژه برای جمع کردن یا متمرکز کردن امواج مایکروویو از یک منبع به یک پرتو باریک استفاده می‌کنند. شکل (۵۷.۱۶) نشان می‌دهد که چگونه یک عدسی پرتوهای نور را از یک منبع به یک پرتو باریک متمرکز می‌کند. یک آنتن لنز دی‌الکتریک به روشی مشابه عمل می‌کند.

<sup>۶۱</sup> Dielectric (Lens) Antenna



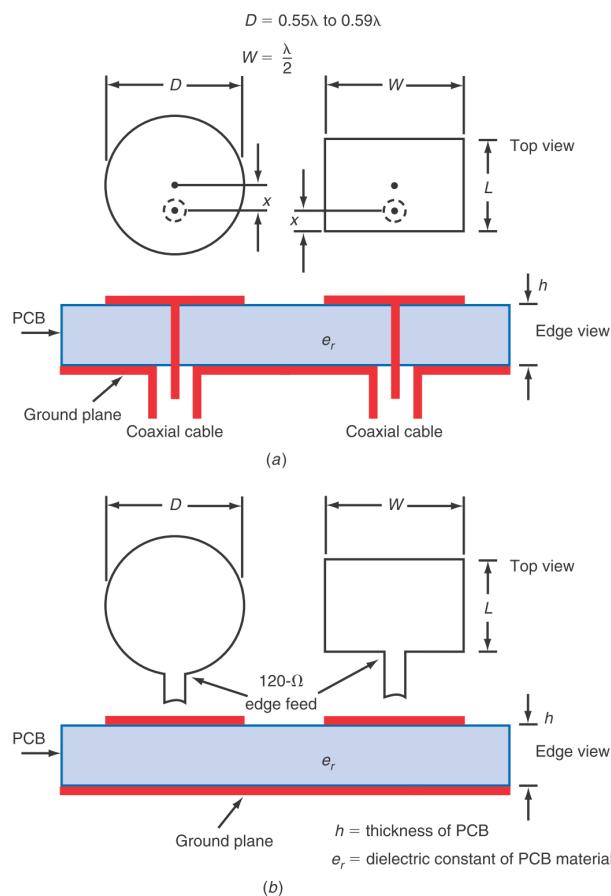
شکل ۵۷.۱۶: چگونه یک لنز پرتوهای نور را متتمرکز می‌کند.



شکل ۵۸.۱۶: عملیات آنتن دهی لنز (الف) عدسی دی الکتریک. (ب) لنز زون دار.

نمونه‌ای از آنتن عدسی آنتنی است که در محدوده موج میلی متری استفاده می‌شود. انرژی مایکروویو از طریق یک موجبر به یک آنتن بوقی متصل می‌شود. یک عدسی دی الکتریک روی انتهای بوق قرار داده شده است که امواج را به یک پرتو باریکتر با بهره و جهت‌دهی بیشتر متتمرکز می‌کند. از نظر فنی، لنز امواج مایکروویو را از منبعی با جبهه موج کروی (مثلاً یک آنتن شیپوری) می‌گیرد و آنها را در یک جبهه موج صفحه‌ای متتمرکز می‌کند. می‌توان از عدسی مانند آنچه در شکل (۵۸.۱۶) (الف) نشان داده شده است استفاده کرد. شکل لنز تضمین می‌کند که تمام امواج ورودی با یک جبهه موج کروی در خروجی هم فاز قرار می‌گیرند تا جبهه موج صفحه‌ای متتمرکز ایجاد شود. با این حال، عدسی در شکل (۵۸.۱۶) (الف) تنها زمانی کار می‌کند که در مرکز آن بسیار ضخیم باشد. این باعث از دست دادن سیگنال بزرگ بخصوص در فرکانس‌های مایکروویو پایین می‌شود. برای حل این مسئله، می‌توان از یک لنز پله‌ای یا منطقه‌ای، مانند آنچه در شکل (۵۸.۱۶) (ب) نشان داده شده است، استفاده کرد. جبهه موج کروی هنوز به یک جبهه موج صفحه‌ای متتمرکز تبدیل می‌شود، اما عدسی نازک‌تر باعث تضعیف کمتری می‌شود.

آنتن‌های لنز معمولاً از پلی استایرن یا برخی پلاستیک‌های دیگر ساخته می‌شوند، اگرچه می‌توان از انواع دیگری از دی الکتریک استفاده کرد. آنها بهندرت در فرکانس‌های مایکروویو پایین استفاده می‌شوند. کاربرد اصلی آنها در محدوده میلی متری بالای ۴۰ گیگاهرتز است.



شکل ۵۹.۱۶: آنتن‌های پچ یا میکرواستریپ. (الف) تغذیه با کواکسیال. (ب) تغذیه با لبه.

### آنتن پچ :

آنتن‌های پچ (وصله-تکه)<sup>۶۲</sup> با میکرواستریپ روی PCB ساخته می‌شوند. آنتن یک ناحیه دایره‌ای یا مستطیلی از مس است که از سطح زمین در پایین بُرد (تخته) با ضخامت مواد عایق PCB جدا شده است (شکل ۵۹.۱۶<sup>۵</sup>). عرض آنتن مستطیلی تقریباً یک دوم طول موج است و قطر آنتن دایره‌ای حدود ۰/۵۵λ تا ۰/۵۹λ است. در هر دو مورد، ابعاد دقیق به ثابت دیالکتریک و ضخامت ماده PCB بستگی دارد. متداول‌ترین مواد بُرد PC برای آنتن‌های پچ، ترکیب تفلون و فایبر‌گلاس است.

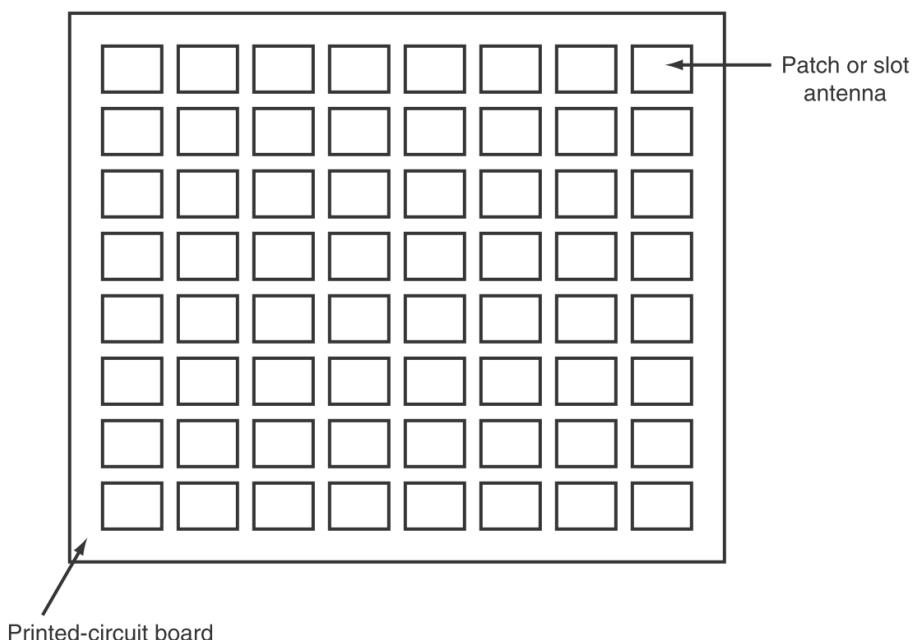
روش تغذیه برای آنتن‌های پچ می‌تواند کواکسیال یا لبه‌ای باشد. با روش کواکسیال، هادی مرکزی یک کابل کواکسیال در جایی بین مرکز و لبه پچ وصل و شیلد کواکسیال به صفحه زمین متصل می‌شود [شکل ۵۹.۱۶(الف)]. اگر آنتن در لبه تغذیه شود، همانطور که در شکل ۵۹.۱۶<sup>(ب)</sup> نشان داده شده است، طول ریز نوار از منبع به لبه متصل می‌شود. امپدانس تغذیه لبه حدود ۱۲۰ اهم است. برای تطبیق این امپدانس با امپدانس ۵۰ اهم که مشخصه اکثر مدارها است، می‌توان از یک بخش  $Q$  ربع موج استفاده کرد. هنگامی که از تغذیه کواکسیال استفاده می‌شود، امپدانس در مرکز آنتن صفر است

<sup>۶۲</sup>Patch Antenna

و در لبه به  $120^\circ$  اهم افزایش می‌یابد. قرار دادن درست مرکز کابل کواکسیال روی پچ [بعد  $x$ ] در شکل (الف) تطبیق امپدانس بسیار دقیق را امکان پذیر می‌کند.

آنتن‌های پچ کوچک، ارزان و آسان برای ساخت هستند. در بسیاری از کاربردها، آنها را می‌توان به سادگی روی PCB با فرستنده یا گیرنده ادغام کرد. نقطه ضعف آنتن‌های پچ پهنهای باند باریک آنهاست که معمولاً بیش از ۵ درصد فرکانس تشید با تکه‌های دایره‌ای و تا  $10^\circ$  درصد با تکه‌های مستطیلی است. پهنهای باند مستقیماً با ضخامت ماده PCB مرتبط است، یعنی فاصله بین آنتن و صفحه زمین [ $h$ ] در شکل (ب). هرچه ضخامت دیالکتریک PCB بیشتر باشد، پهنهای باند بیشتر است.

الگوی تشعشع یک آنتن پچ تقریباً دایره‌ای در جهت مخالف سطح زمین است.



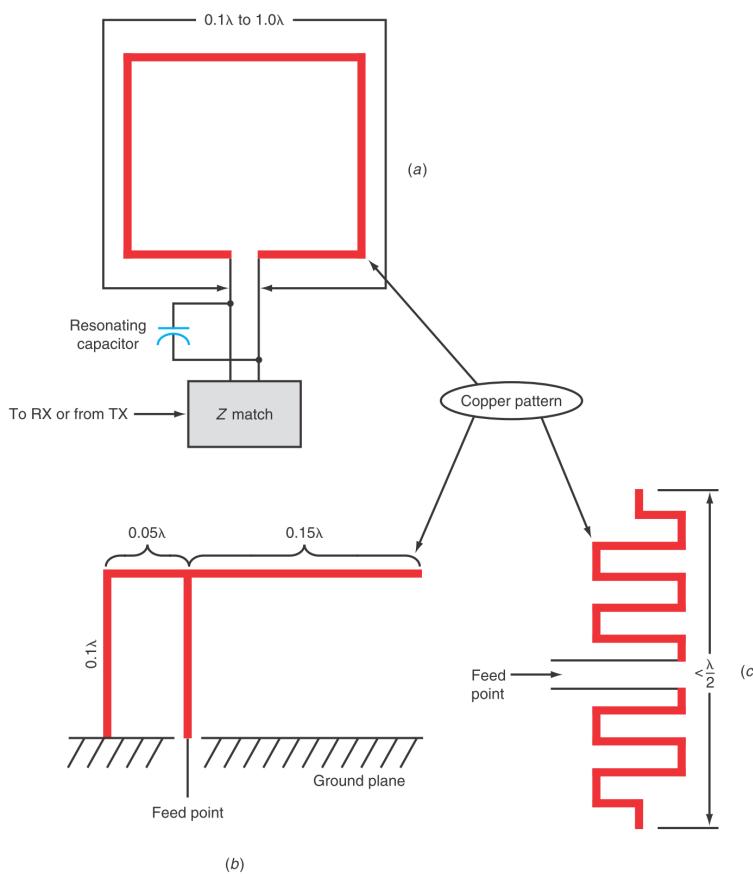
شکل ۶۰.۱۶: یک آرایه فاز  $8 \times 8$  با استفاده از آنتن‌های پچ. (خطوط تغذیه نشان داده نشده است).

### آنتن آرایه فازی :

آرایه فازی یک سیستم آنتن است که از گروه بزرگی از آنتن‌های مشابه در یک صفحه مشترک تشکیل شده است. می‌توان از آنتن‌های پچ روی PCB مشترک استفاده کرد یا آنتن‌های جداگانه مانند دوقطبی را می‌توان به صورت فیزیکی روی هم در یک صفحه نصب کرد، شکل (۶۰.۱۶). از آنتن‌های اسلات(شیاری) نیز استفاده می‌شود. آنتن‌ها توسط خطوط انتقال هدایت می‌شوند که مدارهای تطبیق امپدانس، تقسیم توان و تغییر فاز را در خود جای داده‌اند. هدف اصلی یک آرایه بهبود بهره و جهت‌دهی است. آرایه‌ها همچنین کنترل بهتری برای جهت‌دهی ارائه می‌دهند، زیرا آنتن‌های مجزا در یک آرایه را می‌توان خاموش یا روشن کرد یا از طریق تغییر دهنده‌های فاز مختلف تغذیه کرد. نتیجه این است که آرایه را می‌توان "هدایت کرد" - یعنی الگوی تشعشع آن را می‌توان در طیف گسترده‌ای از جهات مختلف نشان داد - بدون حرکت فیزیکی آنتن، همانطور که در آنتن‌های

پشتاب یاگی یا سهموی لازم است.

دو ترتیب متداول برای آرایه‌های فازی وجود دارد. در یک پیکربندی، آنتن‌های متعدد توسط یک فرستنده مشترک تغذیه می‌شوند یا یک گیرنده مشترک را تغذیه می‌کنند. روش دوم این است که یک تقویت کننده فرستنده کم توان یا تقویت کننده گیرنده کم نویز مرتبه با هر دوقطبی یا پچ در آرایه باشد. در هر دو مورد، سوئیچینگ و تغییر فاز تحت کنترل یک ریزپردازنده یا کامپیوتر است. برنامه‌های مختلف در پردازنده بهره، جهت دهی و سایر عوامل را بر اساس نیاز برنامه انتخاب می‌کنند. بیشتر آرایه‌های فازی در سیستم‌های رادار استفاده می‌شوند، اما در سیستم‌های تلفن همراه، شبکه‌های محلی بی‌سیم و ماهواره‌ها کاربرد پیدا می‌کنند.



شکل ۱.۱۶: آنتن PCB معروف. (الف) حلقه. (ب) معکوس-F. (ج) خط پیچ و خم (میندر).

### آنتن‌های مدار چاپی :

از آنجایی که آنتن‌ها در فرکانس‌های مایکروویو بسیار کوچک هستند، می‌توان آن‌ها را به راحتی روی یک برد مدار چاپی ساخت که همچنین آی‌سی فرستنده و/یا گیرنده و مدارهای مرتبه را در خود جای می‌دهد. هیچ ساختار آنتن جداگانه، خط تغذیه یا اتصال دهنده مورد نیاز نیست. آنتن‌های پچ (وصله‌ای) و اسلات(شیاری) که قبلاً مورد بحث قرار گرفت نمونه‌هایی هستند. اما چند نوع دیگر

وجود دارد که به طور گستردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اینها آنتن‌های حلقه،  $F$  معکوس<sup>۶۳</sup> و خط پیج و خم (میندر)<sup>۶۴</sup> نشان داده شده در شکل (۶۱.۱۶) هستند.

**آنتن حلقه‌ای:** آنتن حلقه همان طور که از نامش پیداست، یک حلقه بسته است که عموماً مستطیل شکل است اما می‌تواند گرد نیز باشد، شکل (۶۱.۱۶)(الف). طول حلقه عموماً در فرکانس کاری  $18\%$  تا  $8$  است. حلقه عموماً با یک خازن مواري تشديد می‌شود. از آنجایی که امپدانس مشخصه حلقه بسیار کم است، حدود  $10$  اهم در  $0.5\lambda$ ، اما تا  $120\Omega$  برای  $\lambda$ ، از نوعی خط انتقال میکرواستریپ برای تطبیق امپدانس با گیرنده یا فرستنده استفاده می‌شود. حلقه‌ها نسبتاً ناکارآمد هستند اما در کاربردهای کوتاه برد مانند درب بازکن گاراژ و رادیوهای ورودی بدون کلید از راه دور در خودروها و پیجرها مؤثر هستند.

**آنتن معکوس  $F$ :** این آنتن منحصر به فرد نوعی از صفحه زمین است، زیرا برای کار بر روی یک صفحه زمین رساناً طراحی شده است، شکل (۶۱.۱۶)(ب). به طول بخش‌های مختلف توجه کنید. اینها برای به دست آوردن عملکرد موردنظر و همچنین تطبیق امپدانس با خط انتقال آزمایش می‌شوند. یک ویژگی مطلوب این است که الگوی تابش به طور موثر همه جهت است.

**آنتن میندر (پیج و خم):** خط پیج و خم در شکل (۶۱.۱۶)(ج) تلاشی برای کوتاه کردن آنتن با خم کردن هادی‌ها روی خود به منظور صرفه جویی در فضا است. این طرح اساساً یک دوقطبی نیموج است و به عنوان یک دوقطبی عمل می‌کند. انواع تغییرات با استفاده از مقاطع منحنی و الگوهای متقطع علاوه بر طرح پاپیون که قبلاً مورد بحث قرار گرفته، ایجاد شده است. آنتن‌ها در اکثر تلفن‌های همراه، از آنتن‌های موجود در شکل (۶۱.۱۶) هستند. آنها نه تنها برای قرار دادن در قاب‌های نازک کوچک تلفن همراه طراحی شده‌اند، بلکه برای اینکه پهنهای باند وسیعی داشته باشند یا بتوانند روی چندین باند کار کنند.

**آنتن دی الکتریک:** آنتن دی الکتریک آنتنی است که عناصر الگوی مسی آن بر روی نوعی از مواد دی الکتریک تشید کننده مانند سرامیک یا مشتقاتی از آن تشکیل شده است. دی الکتریک به گونه‌ای طراحی شده است که نسبت به فرکانس کار رزونانس داشته باشد و در واقع به تشعشع کمک می‌کند. آنتن‌های دی الکتریک اغلب از پیکربندی‌های  $F$  معکوس، دوقطبی یا پیج و خم استفاده می‌کنند. هیچ صفحه زمینی برای عملیات لازم نیست. آنتن‌های دی الکتریک کوچک هستند و پهنهای باند وسیعی دارند. این آنتن‌ها اغلب به عنوان عنصری برای نصب بر روی برد مدار چاپی در دسترس هستند.

### فناوری آنتن هوشمند:

آن‌تنهای هوشمند یا آنتن‌های هوشمند آنتن‌هایی هستند که همراه با مدارهای تصمیم‌گیری الکترونیکی کار می‌کنند تا عملکرد آنتن را در شرایط متغیر تغییر دهند. آنها با سیگنال‌های دریافتی و محیطی که در آن ارسال می‌کنند سازگار می‌شوند. این طرح‌های جدید که آنتن‌های تطبیقی نیز نامیده می‌شوند، انتقال و دریافت را در محیط‌های چند مسیره بسیار بهبود می‌بخشند و همچنین می‌توانند تعداد کاربران یک سیستم بی‌سیم را چند برابر کنند. برخی از آنتن‌های تطبیقی محبوب امروزه از دایورسیتی (تنوع)، چند ورودی چند خروجی و تشکیل پرتو خودکار استفاده می‌کنند.

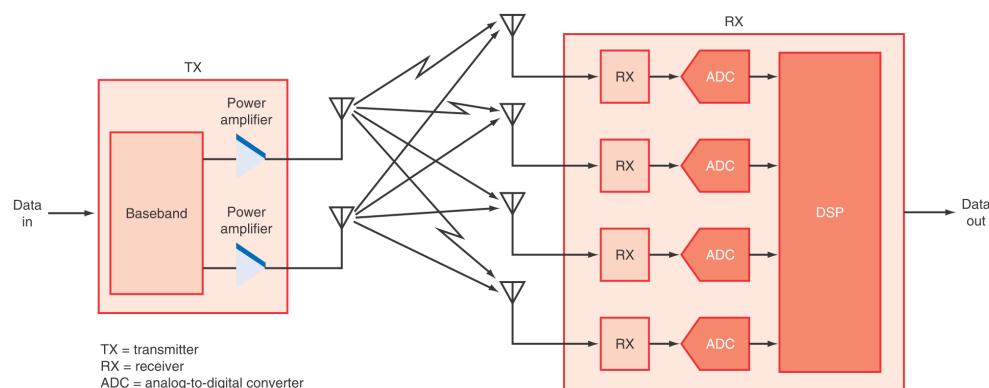
**دایورسیتی (تنوع):** تنوع (دایورسیتی)<sup>۶۵</sup> در فصل چهاردهم مورد بحث قرار گرفت. از دو یا چند آنتن استفاده می‌کند که سیگنال را از موقعیت‌های فیزیکی مختلف دریافت می‌کنند. به این ترتیب

<sup>۶۳</sup>Inverted-F

<sup>۶۴</sup>Meander Line

<sup>۶۵</sup>Diversity

سیگنال‌های مختلفی دریافت می‌کنند. آنتن با قوی‌ترین سیگنال انتخاب می‌شود، یا سیگنال‌ها برای تولید سیگنال کلی قوی‌تر ترکیب می‌شوند. بیشتر و بیشتر، تجهیزات مایکروویو صرفاً به دلیل اثرات تخریبی مسیرهای سیگنال متعدد، انعکاس‌ها، پراش‌ها و سایر شرایطی که سیگنال را در محیط‌های پیچیده ضعیف می‌کند، از تنوع استفاده می‌کنند. برخی از سیستم‌ها از سه یا چهار آنتن با حالت‌های مختلف انتخاب سیگنال برای بهینه‌سازی دریافت استفاده می‌کنند.



شکل ۶۲.۱۶: در MIMO، دو فرستنده داده‌های موازی را ارسال می‌کنند و سرعت داده را دو برابر می‌کنند، به‌گیرنده‌های متعددی که سیگنال‌ها را برای بهبود بهره و قابلیت اطمینان پردازش می‌کنند.

**مایمو (چند ورودی، چند خروجی)<sup>۶۶</sup>**: چند ورودی، چند خروجی (MIMO) ایده تنوع را به سطح کاملاً جدیدی می‌برد. از دو یا چند آنتن برای دریافت استفاده می‌کند اما از دو یا چند آنتن نیز برای انتقال استفاده می‌شود. یک ترتیب ممکن در شکل ۶۲.۱۶ نشان داده شده است. داده‌هایی که قرار است منتقل شوند به دو جریان جداگانه از بیت‌ها تقسیم می‌شوند که به طور همزمان منتقل می‌شوند. از آنجایی که دو مسیر داده جداگانه وجود دارد، تأثیر آن دو برابر شدن نرخ واقعی انتقال داده است. به عنوان مثال، در یکی از انواع LAN بی‌سیم، حداقل سرعت داده ۵۴ مگابیت بر ثانیه است. با دو جریان داده، خروجی ترکیبی ۱۰۸ مگابیت در ثانیه است. آنتن‌های فرستنده از نظر فیزیکی با طول موج یا بیشتر از هم جدا می‌شوند، به طوری که آنها واقعاً مسیرهای مختلفی را به گیرنده ایجاد می‌کنند. مدولاسیون معمولاً نوعی OFDM است و داده‌ها در همان پهنه‌ای باند منتقل می‌شوند.

آرایش در شکل ۶۲.۱۶ MIMO ۴۳۲ تعیین شده است. عدد اول تعداد فرستنده‌ها و عدد دوم تعداد گیرنده‌ها می‌باشد. فرمتهای رایج MIMO در شبکه‌های محلی بی‌سیم و سیستم‌های تلفن همراه عبارتند از  $2 \times 2$ ،  $2 \times 4$ ،  $4 \times 4$  و حتی  $8 \times 8$ .

در انتهای دریافت از سه یا چند آنتن استفاده می‌شود. دو سیگنال ارسالی مسیرهای متفاوتی را به چهار آنتن گیرنده نشان داده شده در شکل ۶۲.۱۶ طی می‌کنند. آنتن‌های گیرنده با یک طول موج یا بیشتر از هم جدا می‌شوند و مسیرهای متعددی را برای هر یک از دو سیگنال ارسالی فراهم می‌کنند. سیگنال‌ها در طول مسیر بازتاب‌های چند مسیری و سایر ناهنجاری‌ها را تجربه می‌کنند. آنتن‌های گیرنده همه چیز را می‌گیرند. سپس خروجی‌های چهار گیرنده با مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال (ADC) دیجیتالی و خروجی‌های آنها در یک DSP ترکیب می‌شوند. الگوریتم‌های

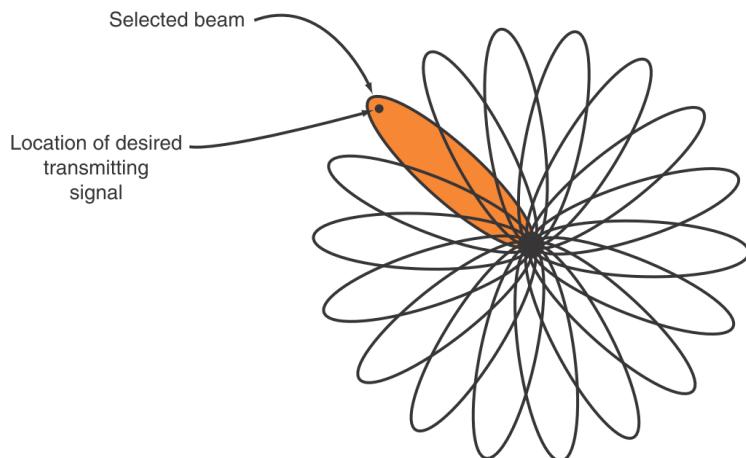
<sup>۶۶</sup>Multiple Input, Multiple Output (MIMO)

ویژه‌ای که در DSP برنامه‌ریزی شده‌اند، سیگنال‌ها را به روش‌های مختلف دستکاری و ترکیب می‌کنند تا اثرات چند مسیری را به حداقل برسانند و سیگنال‌های قابل استفاده را در جایی که هیچ‌یک تنها با یک فرستنده و گیرنده در دسترس نبود، ایجاد کنند. MIMO افزایش شگفت‌انگیزی در افزایش سیگنال و قابلیت اطمینان ایجاد می‌نماید. و علیرغم هزینه و پیچیدگی ظاهراً چنین طرحی، در واقع گیرنده‌ها و فرستنده‌های آی‌اسی کم هزینه بسیار کوچک این تکنیک را از نظر سخت افزاری بسیار ساده و مقرون به صرفه می‌کنند. پیچیدگی واقعی و "جادوگری" در DSP با ارائه سیگنال‌های متعددی که می‌توانند برای تولید یک سیگنال قابل استفاده ترکیب و پردازش شوند، یک برنامه کاربردی بی‌سیم را که قبلًا غیرممکن بود، کار می‌کند.

### شکل دهی پرتو تطبیقی :

آنتن‌های تطبیقی سیستم‌های هستند که به‌طور خودکار ویژگی‌های خود را با محیط تنظیم می‌کنند. آن‌ها از تکنیک‌های شکل‌دهی و توجیه پرتو برای به‌صرفه رساندن سیگنال‌های دریافتی و اطمینان از انتقال در شرایط نویز با تداخل منابع دیگر استفاده می‌کنند.

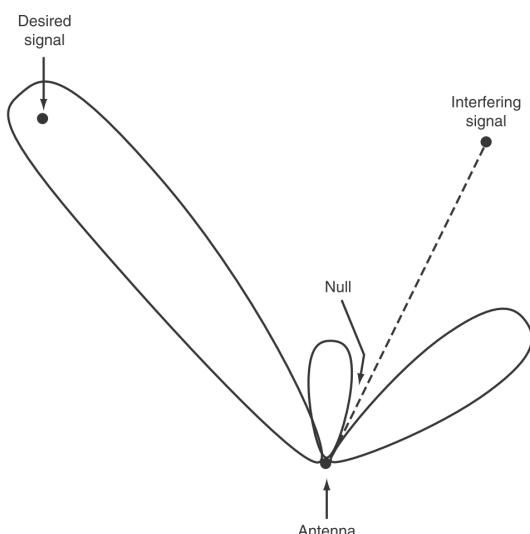
آنتن‌های تشکیل دهنده پرتو از چندین آنتن مانند آرایه‌های فازی که قبلًا بحث شد استفاده می‌کنند. با استفاده از آنتن‌های زیاد، الگوی ارسال/دریافت را می‌توان مطابق با شرایط تنظیم کرد. پرتو ممکن است باریک یا گسترده شود و جهت پرتو ممکن است به‌لطف کنترل‌های الکترونیکی در حین پرواز به‌صورت الکترونیکی تنظیم شود. چنین آنتن‌های جهت‌دار می‌توانند یک سیگنال خاص را در حالی که سیگنال‌های مزاحم را در همان فرکانس در مکان‌های نزدیک تنظیم می‌کنند، مشخص کنند. آنتن‌های تشکیل دهنده پرتو نیز بهره بالایی دارند که به‌افزایش قدرت سیگنال سیگنال مورد نظر کمک می‌کند و قابلیت اطمینان پیوند(لینک) را بهبود می‌بخشد زیرا نویز و تداخل به‌حداقل رسیده است.



شکل ۶۳.۱۶: آنتن هوشمند پرتو سوئیچی.

دو نوع آنتن تطبیقی وجود دارد، آرایه‌های پرتو سوئیچ و آرایه‌های تطبیقی. الگوی تابش یک آنتن پرتو سوئیچ شده چیزی شبیه به‌شکل (۶۳.۱۶) است. خود آنتن عموماً آرایه‌های چند مرحله‌ای است. برای مثال، ممکن است چهار آرایه فازی وجود داشته باشد که هر کدام قادر به پوشش ۹۰ درجه تا ۱۰۰ درجه ازیموت(سمت) هستند. پرتوهای متعدد در آن محدوده ۹۰ درجه تشکیل

مي شوند. الکترونيکي که آريهها را کنترل مي کند، پرتو را با برخى از الگوريتم‌هاي از پيش تعبيين شده جهتدهي مي کند. متداول ترین ترتيب اين است که آنتن کل محدوده ۳۶۰ درجه را در جستجوی سيگنال اسکن(جاروب) کند. با روشن شدن هر پرتو، قدرت سيگنال کنترل مي شود. سپس پرتوی با قوي ترین سيگنال انتخاب مي شود. سيگنال‌هاي خارج از پرتو به هيج وجه دريافت نخواهند شد يا حداکثر فقط مقدار کمی سيگنال وجود دارد. چنان آنتن‌هاي مي توانند بهره‌اي بین ۲۰ تا ۵۰ دسيبل را ارائه دهند.



شکل ۶۴.۱۶: يك آريه تطبيقی سیگنال مورد نظر را صفر می کند در حالی که سیگنال‌هاي تداخلی را بررسی می کند.

يک آنتن تطبيقی همچنین مي تواند کل محدوده ۳۶۰ درجه را پوشش دهد اما از الگوريتم‌هاي کنترل پيچيده‌تری استفاده مي کند. آريه تطبيقی نه تنها به دنبال قوي ترین سيگنال است و عرض پرتو را برای افزایش آن تنظيم مي کند، بلکه سيگنال‌هاي مزاحم را نيز تشخيص مي دهد و آنتن را تنظيم مي کند تا سيگنال تداخلی را از بين ببرد، شکل (۶۴.۱۶). آريه‌هاي تطبيقی سيگنال‌ها را دنبال مي کنند و سپس خود را برای درياافت بهترین تنظيم دقيق مي کنند. همه اينها به طور خودکار در سرعت‌هاي الکترونيکي انجام مي شود.

هم آريه‌هاي پرتو سوئيچ و هم آريه‌هاي تطبيقی در حال حاضر در برخى از سистем‌هاي تلفن همراه و در شبکه‌هاي محلی بى سيم جديفتر استفاده مي شوند. آنها بهويژه برای سистем‌هاي تلفن همراه مفید هستند زيرا در واقع مي توانند ظرفيت سیستم را افزایش دهند زира مي توانند از فرکانس‌هاي يكسان چندین بار استفاده مجدد کنند و به آنتن اجازه مي دهند سيگنال‌هاي يك فرکانس را از تداخل با يكديگر حفظ کنند. اين مفهوم به عنوان تقسيم چندگانه فضائي يا دسترسي چندگانه تقسيم فضائي<sup>۶۷</sup> (SDMA) شناخته مي شود.

<sup>۶۷</sup>Spatial Division Multiplexing or Spatial Division Multiple Access (SDMA)

1. Radar
  - a. Aircraft and marine navigation
  - b. Military threat detection
  - c. Altimeters
  - d. Weather plotting
  - e. Traffic speed enforcement
  - f. Automotive collision avoidance and speed control
2. Satellite
  - a. Telephone communication
  - b. TV transmission (cable, short-range, direct broadcast)
  - c. Surveillance
  - d. Weather plotting
  - e. Navigation (GPS, etc.)
3. Wireless local-area and personal-area networks
  - a. IEEE 802.11b/g      Ethernet, 2.4 GHz, rates of 11 to 54 Mbps
  - b. IEEE 802.11a      Ethernet, 5 GHz, rate of 54 Mbps
  - c. 802.11n      Ethernet, 2.4 GHz, rate to 600 Mbps
  - d. 802.11ac      Ethernet, 5 GHz, 3 Gbps
  - e. 802.11ad      WiGig, 60 GHz, 7 Gbps
  - f. Bluetooth      2.4 GHz, rate to 3 Mbps
  - g. Ultrawideband      Rate to 1 Gbps
4. Wireless broadband access to the Internet
  - a. LTE
  - b. WiMAX
5. Cell phones (allocations in the 1.8-, 1.9-, 2.3–2.7 and 3.6 GHz ranges)  
Fifth generation (5G) cell phones are expected to be in the millimeter range (e.g., 28 or 38 GHz).
6. Backhaul 18–90 GHz, 500 Mbps-10 Gbps
7. Heating
  - a. Microwave ovens (domestic)
  - b. Microwave heating (industrial)
8. Radio telescopes

شکل ۷.۱۶: کاربردهای عمده امواج مایکروویو و امواج میلیمتری

## ۷.۱۶ کاربردهای مایکروویو و امواج میلیمتری

کاربردهای ارتباطی که امروزه مایکروویوها در آنها بیشترین استفاده را دارند عبارتند از ارتباطات تلفنی، شبکه‌های کامپیوتری، تلفن‌های همراه، ماهواره‌ها و رادارها. با این حال، بسیاری از کاربردهای مهم دیگر از فرکانس‌های مایکروویو در ارتباطات وجود دارد. به عنوان مثال، ایستگاه‌های تلویزیونی از پیوند رله (تقویت) مایکروویو به جای کابل‌های کواکسیال برای انتقال سیگنال‌های تلویزیونی در فواصل طولانی استفاده می‌کنند و شبکه‌های تلویزیون کابلی از ارتباطات ماهواره‌ای برای انتقال برنامه‌ها از یک مکان به مکان دیگر استفاده می‌کنند. ارتباط با ماهواره‌ها، کاوشگرهای اعماق فضا و سایر فضایی‌ها معمولاً از طریق انتقال مایکروویو انجام می‌شود زیرا سیگنال‌های مایکروویو مانند بسیاری از سیگنال‌های فرکانس پایین توسط یونوسفر منعکس یا جذب نمی‌شوند. تشعشعات الکترومغناطیسی ستاره‌ها نیز عمدتاً در ناحیه مایکروویو است. تنها گیرنده‌های حساس رادیویی و آنتن‌های بزرگی که در ناحیه مایکروویو کار می‌کنند، برای نقشه‌برداری از فضای بیرونی با دقت بسیار بیشتری نسبت

به تلسکوپ‌های نوری استفاده می‌شوند. در نهایت، مايكرويو همچنین برای گرم کردن - در آشپزخانه (اجاق‌های مايكرويو<sup>۶۸</sup>)، در کارهای پزشکی (دستگاه‌های دیاترمی که برای گرم کردن ماهیچه‌ها و بافت‌ها بدون ايجاد آسيب پوستی استفاده می‌شود) و در صنعت برای ذوب مواد و عمليات حرارتی استفاده می‌شود.

شكل (۴۵.۱۶) کاربردهای عمدۀ مايكرويوها را خلاصه می‌کند. ارتش از امواج مايكرويو برای ارتباطات چند کanalی با برد از ۱ کيلومتر تا ۱۶۰ کيلومتر برای ارتباطات خط ديد و تروپو اسکتر استفاده می‌کند. کanal‌های متعدد می‌توانند سيگنانل‌های ارتباطی مختلفی را حمل کنند.

بقيه اين فصل بهبحث در مورد رadar اختصاص دارد. ماهواره‌ها بهتفصيل در فصل هفدهم توضيح داده شده‌اند. تلفن‌های همراه، شبکه‌های کامپيوتری بي‌سيم، و ديگر برنامه‌های کاربردی ويزه مايكرويو در فصل‌ها بيست و يك پوشش داده شده است.

### رادار :

سيستم ارتباط الکترونيکي معروف بهرادار (آشكارسازی و برد راديويي) بر اين اصل استوار است که سيگنانل‌های RF فرکانس بالا توسيط اهداف رسانا منعکس می‌شوند. اهداف معمول هوائيما، موشك، کشتی و اتومبيل هستند. در سيستم راداري، سيگنانلی بهسمت هدف مخابره می‌شود. سيگنانل منعکس شده توسيط يك گيرنده در واحد رadar دريافت می‌شود. سيگنانل راديويي بازتابي يا برگشتی را اکو (پژواک)<sup>۶۹</sup> می‌نامند. سپس واحد رadar می‌تواند فاصله تا هدف (برد)، جهت آن (آزيموت) و در برخی موارد ارتفاع آن (فاصله بالاي افق) را تعبيين کند.

توانيي رadar برای تعبيين فاصله بين يك شی از راه دور و واحد رadar بهدانستن سرعت دقيق انتقال سيگنانل راديويي بستگي دارد. در بيشر كاربردهای رadar، مایل‌های دريائي بهجای مایل‌های قانوني برای بيان سرعت انتقال استفاده می‌شود. يك مایل دريائي برابر با ۶۰۷۶ فوت است. سرعت سيگنانل راديويي ۱۶۲۰۰۰ مایل دريائي در ثانية است. (گاهي اوقات، يك واحد ويزه بهنام مایل رadar استفاده می‌شود. يك مایل رadar برابر با ۶۰۰۰ فوت است). برای طی کردن ۱ مایل بهسيگنانل راديويي ۵/۳۷۵ ميكرو ثانية و برای پيمودن ۱ مایل دريائي به ۱/۱۸ ميكرو ثانية نياز دارد.

يك سيگنانل رadar باید دو برابر فاصله بين واحد رadar و هدف از راه دور را طي کند. سيگنانل مخابره می‌شود، زمان محدودی می‌گذرد تا سيگنانل بههدف برسد و منعکس شود، و سپس سيگنانل مسافت مساوی را تا منبع طی می‌کند. اگر جسمی دقيقاً ۱ مایل دريائي دورتر باشد، سيگنانل ۶/۱۸ ميكرو ثانية طول می‌کشد تا بههدف برسد و ۱/۱۸ ميكرو ثانية برای بازگشت. كل زمان سپري شده از لحظه ارسال اوليه تا دريافت اکو ۱۲/۳۶ ميكرو ثانية است.

فاصله تا يك هدف از راه دور با استفاده از عبارت محاسبه می‌شود

$$D = \frac{T}{12/36}$$

که در آن

$D$ =فاصله بين واحد رadar و هدف (اشيء دور) بر حسب مایل دريائي.

$T$ =فاصله زمانی بين سيگنانل فرستنده و گيرنده بر حسب ميكرو ثانية.

زمان اندازه‌گيري شده  $5/6\mu s$  مربوط بهفاصله  $918/4yd = 164(5/6)$  است.

برای بهدست آوردن يك بازتاب يا پژواک قوي از يك جسم دور، طول موج سيگنانل رadar باید در

<sup>۶۸</sup>Microwave ovens

<sup>۶۹</sup>Echo

مقایسه با اندازه جسم مورد مشاهده کوچک باشد. اگر طول موج سیگنال رادار نسبت به جسم دور زیاد باشد، تنها مقدار کمی انرژی متاثر می شود. در فرکانس های بالاتر، طول موج کوتاه تر است و بنابراین انرژی مربوطه بیشتر است. برای بازتاب بهینه، اندازه هدف باید یک چهارم طول موج یا بیشتر در فرکانس ارسالی باشد.

هر چه طول موج سیگنال در مقایسه با شی مشاهده شده کوتاه تر باشد، وضوح یا تعریف شی از راه دور بالاتر است. در بیشتر موارد، تنها تشخیص وجود یک شی از راه دور ضروری است. اما اگر از طول موج های بسیار کوتاه استفاده شود، در بسیاری از موارد می توان شکل واقعی یک جسم را بهوضوح تعیین کرد.

اصطلاح سطح مقطع <sup>۱۰</sup> اغلب با اشاره به یک هدف راداری استفاده می شود. اگر هدفی حداقل  $\lambda$  برابر بزرگتر از  $\lambda$  سیگنال راداری باشد که آن را شناسایی می کند، سطح مقطع ثابت است. سطح مقطع یک هدف، اندازه گیری مساحت هدف "روشن شده" توسط سیگنال رادار، بر حسب متر مربع ارائه می شود. سطح مقطع هدف با اندازه جسم، هندسه منحصر به فرد هدف، زاویه دید و موقعیت تعیین می شود.

هر چه سطح مقطع بزرگتر باشد، قدرت سیگنال بازتابی بیشتر، فاصله تشخیص بیشتر و احتمال بیشتر بودن سیگنال از نویز بیشتر می شود. یکی دیگر از عوامل موثر بر قدرت سیگنال بازگشت، مواد هدف است. فلز بزرگترین سیگنال را بر می گرداند. مواد دیگر نیز می توانند امواج راداری را منعکس کنند، اما نه بهاین صورت. برخی از اجسام امواج رادار را جذب می کنند و سیگنال بازتاب شده را بسیار کوچک می کنند.

هوایپیما F117، جنگنده رادار گریز نیروی هوایی ایالات متحده، دارای سطح مقطع فیزیکی بزرگ (حدود یک متر مربع) است، اما برای انحراف و جذب هرگونه سیگنال راداری که به سمت آن می رود طراحی شده است. تمام سطوح هوایپیما در زاویه ای قرار دارند که سیگنال های رادیویی که به آنها برخورد می کنند مستقیماً به واحد رادار منعکس نمی شوند. در عوض، آنها در یک زاویه بازتابیده می شوند و انرژی انعکاسی کمی دریافت می کنند. سطح هوایپیما نیز با ماده ای پوشانده شده است که امواج رادیویی را جذب می کند. این ترکیب به F117 سطح مقطع موثری به اندازه یک پرنده کوچک می دهد. همه مهم ترین عوامل مؤثر بر میزان سیگنال دریافتی منعکس شده از یک هدف در معادله راداری خلاصه می شوند:

$$P_r = \frac{P_t G \sigma A_e}{(4\pi)^2 R^4}$$

که در آن

$P_r$  = توان دریافتی

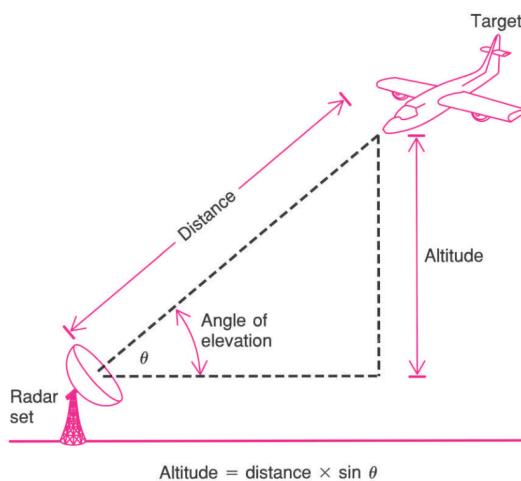
$G$  = بهره آنتن (حاصل ضرب بهره های آنتن گیرنده و فرستنده).

$\sigma$  = سطح مقطع هدف.

$A_e$  = سطح موثر آنتن گیرنده (سطح بشقاب)

$R$  = برد یا فاصله تا هدف.

بیشتر روابط بین متغیرها آشکار است. با این حال، با توجه بهاین واقعیت که توان دریافتی با توان چهارم فاصله تا هدف نسبت معکوس دارد، جای تعجب نیست که برد رادار به طور کلی تا این حد محدود است. به خاطر داشته باشید که معادله رادار نسبت  $S/N$  را در نظر نمی گیرد. انتهای گیرنده های



شکل ۶۶.۱۶: زوایای مثلثاتی رادار.

بسیار کم نویز برای دستیابی به هدف ضروری هستند.

از آنجایی که رادار از فرکانس‌های مايكرويو استفاده می‌کند، ارتباط خط دید نتیجه می‌گیرد. به عبارت دیگر، رادار نمی‌تواند اجسام فراتر از افق را شناسایی کند. اشیا باید از نظر فیزیکی قابل مشاهده باشند، بلکه باید در فاصله رادیویی خط دید قرار داشته باشند تا تشخیص رخ دهد.

همانطور که در شکل (۶۶.۱۶) نشان داده شده است، رابطه بین دامنه، آزیمoot و ارتفاع را می‌توان با یک مثلث قائم الزاویه بیان کرد. فرض کنید رادار زمینی است و برای شناسایی هواپیما استفاده می‌شود. فاصله بین واحد رادار و هواپیمای راه دور، وتر مثلث قائم الزاویه است. زاویه ارتفاع، زاویه بین وتر و خط مبدأ است که خطی مماس بر سطح زمین در محل رادار است. ارتفاع با زاویه ارتفاع مشخص می‌شود. هر چه زاویه ارتفاع بیشتر باشد، ارتفاع بیشتر می‌شود. دانستن محدوده و زاویه ارتفاع به شما امکان می‌دهد ارتفاع را با استفاده از تکنیک‌های مثلثاتی استاندارد محاسبه کنید.

یکی دیگر از عوامل مهم در مکان‌یابی یک جسم دور، آگاهی از جهت آن نسبت به مجموعه رادار است. اگر ایستگاه رادار ثابت و مستقر باشد، جهت (سمت یا آزیمoot) جسم دور معمولاً به عنوان جهت قطب نما بر حسب درجه داده می‌شود. به یاد بیاورید که شمال واقعی ° درجه یا ۳۶۰ درجه، شرق ۹۰ درجه، جنوب ۱۸۰ درجه و غرب ۲۷۰ درجه است. اگر واحد رادار در یک وسیله نقلیه متحرک مانند هواپیما یا کشتی قرار داشته باشد، آزیمoot به عنوان یک سمت نسبت به جهت جلوی وسیله نقلیه داده می‌شود. جلو مستقیم ° درجه یا ۳۶۰ درجه، مستقیم به سمت راست ۹۰ درجه، مستقیماً پشت ۱۸۰ درجه و مستقیم به سمت چپ ۲۷۰ درجه است.

### خوب است بدانید که:

اگرچه لازم نیست آنها قابل رویت باشند، اما برای تشخیص راداری، اشیا باید در فاصله رادیویی خط دید قرار داشته باشند.

توانایی یک واحد رادار برای تعیین جهت یک شی از راه دور مستلزم استفاده از یک آنتن بسیار

جهتدار است. آنتنی با عرض پرتو بسیار باریک سیگنال‌ها را فقط در یک زاویه باریک دریافت می‌کند. هرچه عرض پرتو آنتن باریکتر باشد، سمت واقعی را می‌توان با دقت بیشتری تعیین کرد. از آنجایی که اکثر سیستم‌های رادار در منطقه مایکروویو کار می‌کنند، آنتن‌های بسیار جهتدار به راحتی بدست می‌آیند. آنتن بوقی‌هایی با بازتابندهای سهمی رایج‌ترین هستند و عرض پرتوهای کمتر از یک درجه به راحتی قابل دستیابی است. این آنتن‌های بسیار جهتدار به طور مداوم  $36^\circ$  درجه می‌چرخند. از همان آنتن برای انتقال سیگنال اصلی و دریافت سیگنال بازتابی استفاده می‌شود.

مدارهای درون واحد رادار به گونه‌ای کالیبره شده‌اند تا جهتی که آنتن در آن قرار دارد به طور دقیق مشخص باشد. هنگامی که اکو دریافت می‌شود، با مقادیر کالیبره شده و جهت دقیق تعیین شده مقایسه می‌شود.

توانایی یک واحد رادار برای تعیین ارتفاع یک هدف از راه دور به عرض پرتو عمودی آنتن رادار بستگی دارد. آنتن رادار ممکن است در حین اندازه‌گیری فاصله جسم در حین اسکن (جاروب)، به صورت عمودی اسکن کند. هنگامی که جسم شناسایی می‌شود، ارتفاع عمودی آنتن مشخص می‌شود و سپس ارتفاع واقعی محاسبه می‌شود.

### ۵-۱۶ مثال

یک مجموعه رادار وجود هواپیما را تشخیص می‌دهد. زمان بین پالس‌های تابشی و دریافتی  $\frac{9}{2}$  میکرو ثانیه است. آنتن روی زاویه ارتفاع  $20^\circ$  درجه تنظیم شده است. (الف) فاصله دید تا هواپیما بر حسب مایل قانونی و (ب) ارتفاع هواپیما را تعیین کنید.

#### الف

$$D = \frac{T}{2} = \frac{9/2}{12/36} = 0.744$$

$$\text{مایل قانونی} = 5280 \text{ ft}$$

$$= 6076 \text{ ft}$$

$$\text{مایل ذریائی} / \text{مایل قانونی} = 0.87 = \frac{5280}{6076}$$

$$D = 0.744(0.87) = 0.647$$

#### ب

$$A = D \sin \theta$$

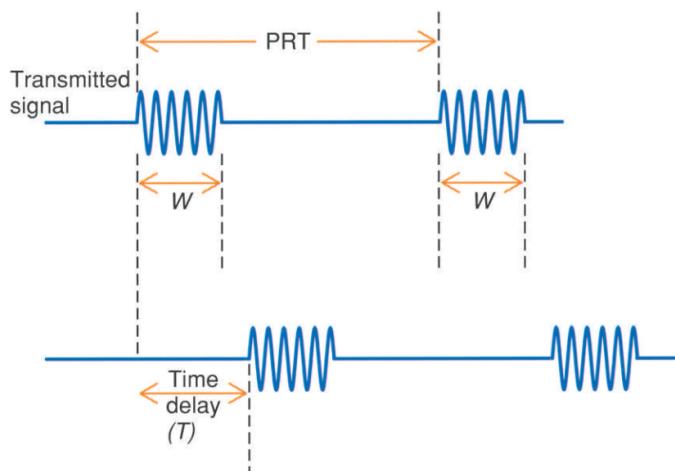
که در آن  $\theta$  برابر زاویه ارتفاع است.

$$A = 0.647 \sin 20^\circ = 0.22(5280 \text{ ft}) = 1161.6 \text{ ft}$$

**رادار پالسی** : دو نوع اساسی از سیستم‌های راداری وجود دارد: موج پالسی<sup>۷۱</sup> و موج پیوسته<sup>۷۲</sup> (CW). همچنین انواع مختلفی از هر کدام وجود دارد. تا کنون متداول‌ترین سیستم رادار مورد استفاده، نوع پالسی است. همانطور که در شکل (۶۷.۱۶) نشان داده شده است سیگنال‌ها به صورت

<sup>۷۱</sup>Pulsed Radar

<sup>۷۲</sup>Continuous Wave (CW) Radar



شکل ۶۷.۱۶: سیگنالهای رادار پالسی.

انفجار یا پالس کوتاه ارسال می‌شوند. مدت یا عرض  $W$  پالس بسیار کوتاه است و بسته به کاربرد، می‌تواند از کمتر از ۱ میکرو ثانیه تا چند میکرو ثانیه باشد. زمان بین پالس‌های ارسالی به عنوان زمان تکرار پالس<sup>۷۳</sup> (PRT) شناخته می‌شود. اگر PRT مشخص باشد، فرکانس تکرار پالس<sup>۷۴</sup> (PRF) را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد

$$PRF = \frac{1}{PRT}$$

برای مثال، اگر زمان تکرار پالس  $150\text{ }\mu\text{s}$  باشد، PRF برابر  $666/7 \times 10^{-6} = 1/150$  کیلوهرتز است. نسبت عرض پالس به عنوان کار دوره<sup>۷۵</sup> شناخته می‌شود. کار دوره معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود:

$$\text{کار دوره} = \frac{100}{PRT} \times W$$

به عنوان مثال، عرض پالس  $7\text{ }\mu\text{s}$  با PRT  $280\text{ }\mu\text{s}$  برابر با  $280/280 = 1/100 = 1\%$  درصد ایجاد می‌کند.

در طول فاصله بین پایان پالس ارسالی و شروع پالس بعدی به ترتیب در شکل (۶۷.۱۶) است که اکو دریافت می‌شود.

مدت زمان پالس ارسالی و PRT در تعیین عملکرد یک سیستم راداری بسیار حیاتی هستند. رادارهای خیلی کوتاه دارای پالس‌های باریک و زمان‌های تکرار پالس کوتاه هستند. اگر هدف فقط در فاصله کوتاهی قرار داشته باشد، زمان طی اکو نسبتاً کوتاه خواهد بود. در رادارهای کوتاه بُرد، عرض پالس باریک می‌شود تا اطمینان حاصل شود که پالس قبل از دریافت پژواک هدف قطع می‌شود. اگر پالس خیلی طولانی باشد، سیگنال برگشتی ممکن است توسط پالس ارسالی پوشانده یا خالی شود. رادارهای دوربُرد معمولاً زمان تکرار پالس طولانی‌تری دارند زیرا بازگشت پژواک (اکو) بیشتر طول

<sup>۷۳</sup>Pulse Repetition Time (PRT)

<sup>۷۴</sup>Pulse Repetition Frequency (PRF)

<sup>۷۵</sup>Duty Cycle

می‌کشد. این همچنین اجازه می‌دهد تا یک انفجار طولانی‌تر انرژی منتقل شود و بازگشت قوی‌تر را تضمین می‌کند.

اگر PRT نسبت به فاصله هدف خیلی کوتاه باشد، پژواک ممکن است در فاصله زمانی بین دو پالس متواالی برنگردد، اما پس از دومین پالس ارسالی. این به عنوان پژواک برگشته دوم محدوده دوگانه شناخته می‌شود. به طور طبیعی، چنین پژواک‌هایی منجر به اندازه‌گیری فاصله تأثیرگذار می‌شود.

**رادار موج پیوسته :** در رادار موج پیوسته<sup>۷۶</sup> (CW)، یک موج سینوسی پیوسته مایکروویو با دامنه ثابت منتقل می‌شود. پژواک همچنین یک موج سینوسی مایکروویو با دامنه ثابت با فرکانس یکسان، اما با دامنه پایین‌تر و تغییر در فاز انجام می‌شود. سوال این است که چگونه از چنین سینگنالی برای تعیین مشخصات هدف استفاده می‌شود؟

پاسخ به خود شی مربوط می‌شود. در بیشتر موارد، هدف نسبت به دستگاه رادار در حال حرکت است. سینگنال منعکس شده از هواپیما، کشتی، موشک یا خودرو در حال حرکت دچار تغییر فرکانس می‌شود. این تغییر فرکانس بین سینگنال ارسالی و سینگنال برگشته است که برای تعیین سرعت هدف استفاده می‌شود.

تغییر فرکانس زمانی که حرکت نسبی بین ایستگاه فرستنده و یک هدف از راه دور وجود دارد، به عنوان اثر داپلر<sup>۷۷</sup> شناخته می‌شود. یک مثال آشنا از اثر داپلر امواج صوتی با فرکانس ثابت است که توسط بوق خودرو ساطع می‌شود. اگر بوق زمانی که ماشین ثابت است به صدا در آید، صدای تکی را خواهید شنید. با این حال، اگر ماشین در حالی که بوق روشن است به سمت شما حرکت کند، صدایی از افزایش مدامن فرکانس را تجربه خواهید کرد. همانطور که ماشین به شما نزدیک‌تر می‌شود، امواج صوتی فشرده و اثر سینگنال با فرکانس بالاتر را ایجاد می‌کنند. اگر ماشین با بوق روشن از شما دور شود، فرکانس رو به کاهش را تجربه خواهید کرد. همانطور که ماشین دور می‌شود، امواج صوتی کشیده می‌شوند و اثر یک سینگنال فرکانس پایین را ایجاد می‌کنند. همین اثر روی امواج رادیویی و نوری کار می‌کند.

در یک سیستم داپلر، فرستنده یک سینگنال فرکانس پیوسته را ارسال می‌کند. اگر اختلاف فرکانس بین سینگنال ارسالی و سینگنال منعکس شده مشخص باشد، سرعت نسبی بین واحد رادار و جسم مشاهده شده را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد.

$$V = \frac{f\lambda}{2c}$$

که در آن

$f$  = اختلاف فرکانس بین سینگنال فرستنده و گیرنده بر حسب هرتز است.

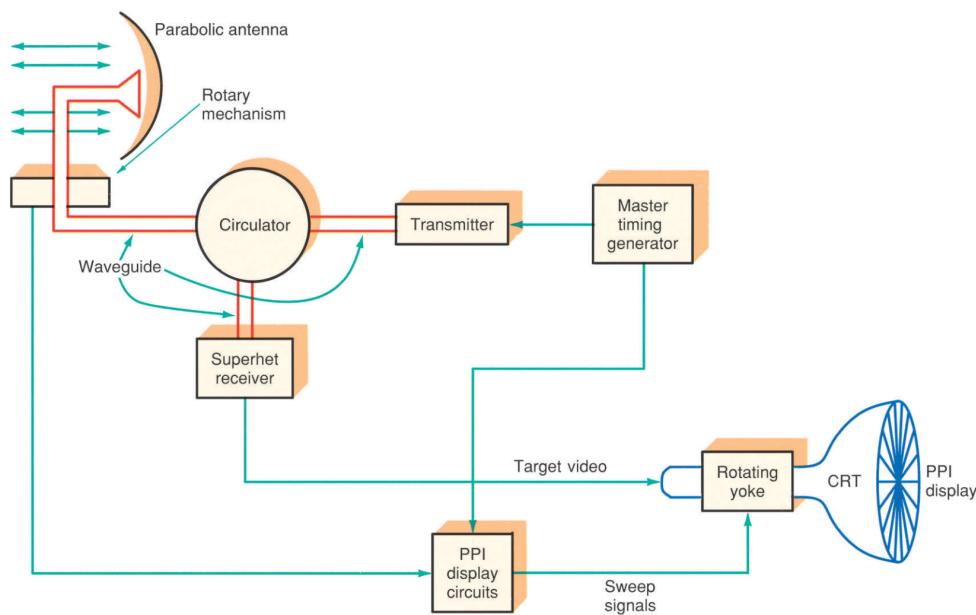
$\lambda$  = طول موج سینگنال فرستنده بر حسب متر.

$V$  = سرعت نسبی بین دو جسم بر حسب مایل دریائی بر ساعت.

فرض کنید، به عنوان مثال، یک تغییر فرکانس  $1500$  هرتز در فرکانس  $10$  گیگاهرتز است. فرکانس  $10$  گیگاهرتز نشان دهنده طول موج  $f = 300 / 10,000 = 0,03$  متر است. بنابراین سرعت  $7 = 43 / 0,03 = 1500$  مایل در ساعت است.  $1500$  مایل دریائی در هر مایل استاندارد در ساعت وجود دارد، بنابراین سرعت  $50/56 = 15 / 43 \times 7$  مایل در ساعت است.

<sup>۷۶</sup> Continuous-Wave (CW) Radar

<sup>۷۷</sup> Doppler effect



شکل ۶۸.۱۶: سیگنالهای رادار پالسی.

این رابطه فرض می‌کند که جسم متحرک مستقیماً به سمت فرستنده یا دور می‌شود. اگر انحراف زاویه‌ای وجود داشته باشد، سرعت باید در کسینوس زاویه بین مسیر مستقیم و مسیر واقعی ضرب شود.

در رادار CW، این اثر داپلر است که مدولاسیون فرکانس حامل منعکس شده را فراهم می‌کند. برای اینکه تغییر فرکانس وجود داشته باشد، جسم مشاهده شده باید به سمت واحد رادار یا دور از آن حرکت کند. اگر جسم مشاهده شده به موازات واحد رادار حرکت کند، هیچ حرکت نسبی بین این دو وجود ندارد و مدولاسیون فرکانسی رخ نمی‌دهد.

بزرگترین ارزش رادار CW توانایی آن در اندازه‌گیری سرعت اجسام دور است. واحدهای رادار پلیس از رادار داپلر CW برای اندازه‌گیری سرعت خودروها و کامیون‌ها استفاده می‌کنند.

برخی از سیستم‌های رادار هر دو تکنیک پالس و داپلر را برای بهبود عملکرد و قابلیت‌های اندازه‌گیری ترکیب می‌کنند. یکی از این سیستم‌ها پژواک‌های متواتی را برای تعیین تغییر فاز که نشان می‌دهد هدف در حال حرکت است، ارزیابی می‌کند. گفته می‌شود که چنین رادارهایی دارای نشانگر هدف متحرک (MTI)<sup>۷۸</sup> هستند. از طریق انواع تکنیک‌های ویژه پردازش سیگنال، چندین هدف متحرک را می‌توان نه تنها از یکدیگر، بلکه از اهداف ثابت نیز متمایز کرد.

**تحلیل نمودار جعبه‌ای رادار:** شکل ۶۸.۱۶ (۶۸.۱۶) بلوک دیاگرام یک واحد رادار پالسی معمولی است. چهار زیر سیستم اصلی وجود دارد: آتن، فرستنده، گیرنده و واحد نمایش.

فرستنده در یک سیستم رادار پالسی همیشه از یک مگنترون استفاده می‌کند. به‌یاد بیاورید که مگنترون یک نوسان‌ساز لامپ خلاء با قدرت بالا است که در ناحیه مایکروویو کار می‌کند. اندازه

<sup>۷۸</sup>Moving Target Indication (MTI)

حفره(محفظه) مگنترون فرکانس کاری را تعیین می کند. یک ژنراتور زمانبندی اصلی، پالس های اساسی مورد استفاده برای راهاندازی مگنترون را تولید می کند. ژنراتور تایمینگ مدت زمان پالس PRT و کار دوره را تنظیم می کند. پالس های شبکه زمانبندی مگنترون را به نوسان می اندازد و انفجارهای (پالس های) کوتاهی از انرژی مایکروویو را ساطع می کند. مگنترون ها قادرند قدرت بسیار بالایی داشته باشند، به ویژه زمانی که بر اساس پالس کار می کنند. توان متوسط ممکن است کم باشد، اما هنگامی که مگنترون ها پالسی می شوند، می توانند مکاوات توان زیادی را برای مدت زمان کوتاه مورد نیاز برنامه تولید کنند. این به اطمینان از بازتاب بزرگ کمک می کند. کلایسترون ها و TWT ها عموماً در رادارهای داپلر CW استفاده می شوند. رادارهای کم مصرف مانند رادارهایی که پلیس برای تشخیص سرعت استفاده می کند از دیودهای گان استفاده می کند.

در شکل (۶۸.۱۶) می بینید که خروجی فرستنده از یک سیرکولاتور عبور می کند و سپس روی آنتن اعمال می شود. سیرکولاتور نوعی دوبلکسر است که به فرستنده و گیرنده اجازه می دهد تا یک آنتن واحد را به اشتراک بگذارند و از ورود سیگنال ارسالی پرقدرت به گیرنده و آسیب رساندن به آن جلوگیری می کند.

دوبلکسر رادار مجموعه ای موجبر است که شامل دستگاه های خاصی است که از تداخل بین فرستنده و گیرنده جلوگیری می کند. متداول ترین وسیله مورد استفاده لامپ شکاف جرقه ای<sup>۷۹</sup> است. لامپ های شکاف جرقه ای یا TR (فرستنده- گیرنده) یا ضد انتقال- دریافت<sup>۸۰</sup> (ATR) هستند. لامپ های TR از رسیدن توان فرستنده به گیرنده جلوگیری می کنند. هنگامی که انرژی RF از فرستنده تشخیص داده می شود، شکاف جرقه بسته می شود و یک اتصال کوتاه برای انرژی RF ایجاد می کند. لامپ های ATR به طور موثر فرستنده را از مدار در طول بازه دریافت جدا می کنند. لامپ های TR و وقتی با موجبرهای ربع موج و نیم موج ترکیب می شوند، ایزوله موثر بین فرستنده و گیرنده ایجاد می کنند. در رادارهای کم مصرف می توان از دیودهای پین یا یک سیرکولاتور استاندارد برای این منظور استفاده کرد.

سیستم آنتن عموماً یک بوق با یک بازتابنده سهموی است که عرض پرتو بسیار باریکی تولید می کند. مجموعه خاص موجبر با یک مفصل چرخان<sup>۸۱</sup> اجازه می دهد که موجبر و آنتن شیپوری به طور مداوم بیش از ۳۶۰ درجه بچرخدند.

از همین آنتن برای دریافت نیز استفاده می شود. در طول زمان خاموش شدن پالس، سیگنال دریافتی از طریق آنتن، موجبر مربط، و یا دوبلکسر یا سیرکولاتور به گیرنده می رود. گیرنده یک نوع سوپرهترووداین استاندارد با بهره بالا است. سیگنال عموماً در اکثر سیستم ها مستقیماً به یک میکسر داده می شود، اگرچه برخی از رادارها از تقویت کننده RF استفاده می کنند. میکسر عموماً یک دیود یا پل دیودی است. نوسان ساز محلی سیگنالی را با فرکانس مناسب به میکسر می دهد تا یک IF ایجاد شود. هم دیودهای کلایسترون و گان در کاربردهای نوسان ساز محلی استفاده می شوند. تقویت کننده های IF بهره بسیار بالایی را قبل از دمدولاسیون ارائه می دهند. برخی از گیرنده های رادار از تبدیل مضاعف استفاده می کنند.

دمدولاتور در یک سیستم رادار پالسی عموماً یک آشکارساز دیودی است، زیرا فقط پالس ها باید شناسایی شوند. در داپلر و سایر رادارهای پیچیده تر، نوعی از دمدولاتور حساس به فرکانس و فاز

<sup>۷۹</sup> Spark Gap Tube

<sup>۸۰</sup> TR (Transmit Receive) or Anti Transmit Receive (ATR)

<sup>۸۱</sup> Rotating Joint

استفاده می‌شود. حلقه‌های قفل فاز در این کاربرد رایج هستند. خروجی دمدولاتور به یک تقویت کننده ویدیویی تغذیه می‌شود تا سیگنال‌هایی را ایجاد کند که در نهایت نمایش داده شوند. نمایشگر در اکثر سیستم‌های راداری CRT است. می‌توان از فرمتهای مختلف نمایش استفاده کرد. رایج‌ترین نوع نمایشگر CRT به عنوان نمایشگر نوع P یا نشانگر موقعیت صفحه<sup>۱۲</sup> (PPI) شناخته می‌شود. نمایشگرهای PPI هم برد و هم آزموت(سمت) یک هدف را نشان می‌دهند. مرکز نمایشگر محل واحد رادار فرض می‌شود. دایره‌های متحدم‌المرکز محدوده را نشان می‌دهد. آزموت یا جهت با موقعیت هدف منعکس شده روی صفحه با توجه به خط شعاع عمودی نشان داده می‌شود. اهداف به صورت نقاط روشن و سو سو زدن روی صفحه نمایش داده می‌شوند.

صفحه نمایش PPI توسط یک سیستم اسکن (روبش) پیچیده که به چرخش آنتن متصل است، توسعه یافته است. همانطور که آنتن توسط یک موتور می‌چرخد، مکانیزم رمزگذار سیگنال‌هایی را به مدارهای کنترل PPI ارسال می‌کند که آزموت یا جهت آنتن را مشخص می‌کند. در همان زمان، سیم پیچ‌های انحراف افقی و عمودی (بیوغ) در اطراف گردن CRT به طور همزمان با آنتن می‌چرخد. پرتو الکترونی در CRT از مرکز صفحه به بیرون بدلیه کشیده می‌شود. جارو کردن در لحظه انتقال پالس شروع می‌شود و از مرکز به سمت بیرون حرکت می‌کند. آغاز هر پالس ارسالی، حرکت دیگری از پرتو الکترونی را آغاز می‌کند. همانطور که بیوغ انحراف می‌چرخد، پرتو به گونه‌ای حرکت می‌کند که به نظر می‌رسد شعاع از مرکز به لبه به طور مداوم در حال چرخش است. انعکاس‌های هدف به صورت نقاط روشن روی صفحه ظاهر می‌شوند. کالیبراسیون روی صفحه نمایش به شکل نشانه‌های گراتیکول یا الگوهای پرتو الکترونی روی هم، امکان خواندن مستقیم مقادیر فاصله و آزموت را فراهم می‌کند. رادارهای جدیدتر از یک سیستم متفاوت با یک صفحه نمایش LCD یا صفحه تخت دیگر برای نشان دادن معادل نمایش PPI استفاده می‌کنند.

برخی از رادارهای PPI فقط یک محدوده باریک از آزموت را به جای کل ۳۶۰ درجه اسکن می‌کنند. هوایپیماهایی که دارای رادار در دماغه هستند، به عنوان مثال، فقط یک برد ۹۰ تا ۱۸۰ درجه به جلو را اسکن می‌کنند.

یک نوع مهم از رادار با فناوری پیشرفته که به عنوان رادار آرایه فازی<sup>۱۳</sup> شناخته می‌شود، انعطاف پذیری بیشتری را در اسکن بخش‌های باریک و ردیابی چندین هدف فراهم می‌کند. به جای یک بوق و بازتابنده سه‌می، از چندین دوقطبی یا آنتن یچ استفاده می‌شود. شکاف‌ها در یک موجبر نیز استفاده می‌شود. دوقطبی نیم موج در فرکانس‌های مايكرويو بسیار کوتاه است. بنابراین، بسیاری از آنها را می‌توان در یک ماتریس یا آرایه با هم سوار کرد. نتیجه یک آرایه خطی ویژه در بالای سطح بازتابنده با بهره بسیار بالا است. با استفاده از یک سیستم خطوط تغذیه جداگانه و یک تغییر دهنده فاز متغیر برای هر آنتن، می‌توان عرض و جهت پرتو را به صورت الکترونیکی کنترل کرد. این امکان اسکن سریع و تنظیم مستقیم جهت را در حین پرواز فراهم می‌کند. رادارهای آرایه فاز، سیستم‌های مکانیکی مورد نیاز رادارهای معمولی را حذف می‌کنند.

**رادار UWB :** جدیدترین شکل رادار رادار باند فوق عریض<sup>۱۴</sup> (UWB) نامیده می‌شود. این شکلی از رادار پالسی که جریانی از پالس‌های بسیار کوتاه به طول چند صد پیکوثانیه را به جای انفجار RF در فرکانس حامل خاص ساطع می‌کند. طیف حاصل همانطور که توسط تجزیه و تحلیل فوریه تعیین

<sup>۱۲</sup> Plan Position Indicator (PPI)

<sup>۱۳</sup> Phased Array Radar

<sup>۱۴</sup> UltraWideBand (UWB) Radar

می‌شود بسیار گسترده است، معمولاً چندین گیگاهرتز عرض دارد. این طیف معمولاً با سیگنال‌های رادیویی در پهنهای باند سیگنال، معمولاً در محدوده ۱ تا ۱۰ گیگاهرتز همپوشانی دارد. برای جلوگیری از تداخل با سایر سیگنال‌های رادیویی، از توان بسیار کم (میکرووات) استفاده می‌شود. پالس‌های بسیار باریک به‌این رadar دقت و وضوح اجسام کوچک و جزئیات را می‌دهد. با این حال، قدرت کم عملکرد را به‌مسافت‌های کوتاه (۱۰۰ متر) محدود می‌کند. مدار مورد استفاده نسبتاً ساده است، بنابراین می‌توان رadarهای ارزان قیمت تک تراشه ساخت. اینها در سیستم‌های تشخیص برخورد کوتاه برد در هوایپیماها استفاده می‌شوند و به‌زودی در خودروها برای ترمز خودکار بر اساس فاصله از وسیله نقلیه جلویی استفاده می‌شود.

یکی دیگر از کاربردهای رadar UWB، شناسایی پرسنل در میدان جنگ است. این رadarها می‌توانند به‌دیوارها نفوذ کنند تا حضور انسان را تشخیص دهند. فصل بیست و دوم جزئیات بیشتری در مورد سیستم‌های UWB ارائه می‌دهد.

**کاربرد رadarها:** یکی از مهمترین کاربردهای رadar در سیستم‌های دفاع تسليحاتی و در سیستم‌های ایمنی و ناوبری است. از رadarهای جستجو برای تعیین موقعیت موشک‌ها، هوایپیماها و کشتی‌های دشمن استفاده می‌شود. رadarهای ردیاب بر روی موشک‌ها و هوایپیماها برای مکان‌یابی و قفل کردن روی اهداف استفاده می‌شوند. رadarها به‌طور گسترده در هوایپیماها و کشتی‌ها برای ناوبری کور در مه یا آب و هوای بد استفاده می‌شوند. رadarها به‌کنترل کننده‌های زمینی کمک می‌کنند تا هوایپیماهای مجاور را بیابند و شناسایی کنند. رadarهای ویژه به‌هوایپیماها در فرود در هوای بد زمانی که دید نزدیک به‌صفر است کمک می‌کنند.

از رadarها به‌عنوان ارتفاع سنج برای اندازه‌گیری ارتفاع نیز استفاده می‌شود. رadarهای فرکانس بالا در واقع می‌توانند برای ترسیم یا نقشه برداری از زمین در یک منطقه استفاده شوند. رadarهای ویژه تعقیب عوارض زمین به‌جهت‌های پرسرعت اجازه می‌دهند تا بسیار نزدیک به‌زمین پرواز کنند تا از شناسایی توسط رadar دشمن جلوگیری کنند. سیستم‌های جلوگیری از برخورد هوایپیما نیز از رadar استفاده می‌کنند.

### خوب است بدانید که:

واحدهای رadar پلیس از رadar داپلر موج پیوسته برای اندازه‌گیری سرعت وسایل نقلیه استفاده می‌کنند. شاید مهم‌ترین مزیت رadar موج پیوسته توایایی آن در اندازه‌گیری سرعت اجسام دور باشد.

در کاربردهای غیرنظمی، از رadarها در قایقهای مختلف برای ناوبری در هوای بد استفاده می‌شود. پلیس از رadar برای دستگیری رانندگان پرسرعت استفاده می‌کند. واحدهای کوچک رadar داپلر دستی نیز می‌توانند در رویدادهای ورزشی استفاده شوند - برای زمان‌بندی اتومبیل‌های مسابقه‌ای یا تعیین سرعت بیس‌بال یا سروپیس تنیس. برخی از خودروهای جدیدتر در مقیاس بالا مانند لکسوس و مرسدس بنز<sup>۱۵</sup> رadarهایی ساخته‌اند که فاصله بین خودروی جلویی را تشخیص می‌دهند و به‌طور خودکار سرعت را برای حفظ فاصله ایمن تنظیم می‌کنند. این رadarهای کوتاه برد در باندهای ۲۰ تا ۴۰ گیگاهرتز کار می‌کنند. در نهایت، رadarهای زمینی و ماہواره‌ای به‌طور گسترده‌ای برای ردیابی ابرها، طوفان‌ها و سایر پدیده‌ها به‌منظور پیش‌بینی آب و هوا استفاده می‌شوند.

<sup>۱۵</sup>Lexus and Mercedes Benz

**سئوالات:**

۱. محدوده فرکانس مايكروويو چيست؟
۲. مزیت اصلی استفاده از فرکانس‌های مايكروويو چيست؟ عیب اصلی چيست؟
۳. هفت دلیل را ذکر کنید که چرا کار با امواج مايكروويو نسبت به سیگنال‌های فرکانس پایین‌تر مشکل است.
۴. تعیین باند مايكروويو با کمترین فرکانس چيست؟
۵. نام امواج مايكروويو بالای ۳۰ گیگاهرتز چيست؟
۶. چهار تکنیک را نام ببرید که به فشرده‌سازی سیگنال‌های بیشتر در فضای طیف معین کمک کرده است.
۷. برای فرستنده‌ها و گیرنده‌های امواج مايكروويو و میلیمتری مدرن از چه معماری استفاده می‌شود؟
۸. دو روش متداول برای تولید سیگنال مايكروويو با اجزای معمولی فرکانس پایین (VHF و UHF) را نام ببرید.
۹. قسمت‌هایی از گیرنده و فرستنده مايكروويو را که به اجزای مايكروويو خاصی نیاز دارند نام ببرید.
۱۰. دو نوع خط انتقال ساخته شده از مواد PCB که برای تولید مدارها و قطعات در ناحیه مايكروويو استفاده می‌شوند را نام ببرید. کدام بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و چرا؟
۱۱. سه مدار یا عملکرد رایج انجام شده توسط میکرواستریپ در تجهیزات مايكروويو را فهرست کنید.
۱۲. نام دستگاه میکرواستریپ که دارای چهار پورت است و اجازه می‌دهد چندین مدار و دستگاه بدون تداخل با یکدیگر به هم متصل شوند چيست؟
۱۳. ترانزیستورهای مايكروويو چه تفاوتی با ترانزیستورهای فرکانس پایین دارند؟
۱۴. چه چهار ماده نیمه‌هادی به جای سیلیکون برای ایجاد عملکرد رضایت بخش ترانزیستورها و آی‌سی‌ها در ناحیه مايكروويو استفاده می‌شود؟
۱۵. خطوط میکرواستریپ چگونه در تقویت کننده‌های مايكروويو استفاده می‌شوند؟
۱۶. ترانزیستورها و آی‌سی‌های مايكروويو تا چه فرکانسی در دسترس هستند؟
۱۷. تقویت کننده‌های خطی مايكروويو چگونه بایاس می‌شوند و چرا؟
۱۸. عیب اصلی استفاده از کابل کواکسیال در فرکانس‌های مايكروويو چيست؟
۱۹. کابل کواکسیال فراتر از فرکانس مشخصی استفاده نمی‌شود. آن فرکانس چيست؟

۲۰. کابل کواکسیال مخصوص ساخته شده برای کاربردهای مایکروویو را نام ببرید. عیب اصلی آن چیست؟
۲۱. دو راه تزویج یا استخراج انرژی از موجبر را نام ببرید.
۲۲. موجبر به عنوان چه نوع فیلتری عمل می‌کند؟
۲۳. درست یا غلط؟ یک موجبر با فرکانس قطع ۶/۳۵ گیگاهرتز سیگنال ۷/۵ گیگاهرتز را ارسال می‌کند.
۲۴. میدان مغناطیسی و الکتریکی در موجبر با چه حروفی مشخص می‌شود؟
۲۵. مود اصلی کار اکثر موجبرها را بیان کنید.
۲۶. مکانیزم کوپلینگ که برای اتصال دو بخش از یک موجبر استفاده می‌شود را چه می‌نامید؟
۲۷. دو نوع مقطع T یک موجبر را نام ببرید و به طور خلاصه نحوه استفاده از هر یک را بگویید.
۲۸. توضیح دهید که یک T ترکیبی چگونه کار می‌کند و یک کاربرد مشترک ارائه دهید.
۲۹. برای ختم و پایان دادن به موجبر از چه وسایلی استفاده می‌شود؟ چرا پایان دادن و بستن انتهای موجبر ضروری است؟
۳۰. هدف اصلی کوپلر جهت‌دار را بیان کنید.
۳۱. چه وسیله مفیدی توسط یک بخش یک و نیم طول موج از موجبر که هر دو انتهای آن اتصال کوتاه شده است، درست می‌شود؟
۳۲. محفظه رزونانسی (حفره تشدید) به عنوان چه نوع مدار عمل می‌کند؟
۳۳. چگونه از حفره‌های تشدید در مدارهای مایکروویو استفاده می‌شود؟
۳۴. چه ویژگی حفره را می‌توان با تغییر مکانیکی ابعاد حفره تنظیم کرد؟
۳۵. سیرکولاتور چیست؟
۳۶. ایزولاتور چیست؟
۳۷. چه چیزی مانع از کار دیودهای سیلیکونی معمولی در فرکانس‌های مایکروویو می‌شود؟
۳۸. دو نام برای دیود مایکروویو با کاتد سیلیکونی نوع N و آند فلزی که یک اتصال ایجاد می‌کند چیست؟
۳۹. رایج‌ترین کاربرد دیودهای سیگنال مایکروویو را نام ببرید.
۴۰. نام دیود مایکروویو که به عنوان خازن ولتاژ متغیر عمل می‌کند چیست؟ کاربرد اصلی آن چیست؟
۴۱. دو نوع دیود را که به عنوان چند برابر کننده فرکانس در ناحیه مایکروویو به طور گسترده استفاده می‌شود نام ببرید. آیا چنین مدارهای چند برابر کننده تقویت می‌کنند؟

۴۲. دو ديوود ديگر که به عنوان نوسانگر ديوود مايكروويو استفاده می شود را نام ببريد.
۴۳. دو روش استفاده از ديوود پين در فرکانس های مايكروويو را نام ببريد
۴۴. آيا ديوود IMPATT با بآياس مستقيم يا معكوس عمل می کند؟
۴۵. درست يا غلط؟ کلائيسترون ها را می توان به عنوان تقويت کننده يا نوسان ساز استفاده کرد.
۴۶. درست است يا غلط؟ مگنترون به عنوان تقويت کننده عمل می کند.
۴۷. درست يا غلط؟ TWT يك تقويت کننده است.
۴۸. حفره های يك کلائيسترون چه نوع مدولاسيونی از پرتو الکترونی ايجاد می کنند؟
۴۹. بيان کنيد که در کدام نقاط تقويت کننده کلائيسترون ورودی اعمال و خروجی از آن گرفته می شود.
۵۰. کلائيسترون های کم مصرف با کدام وسیله نیمه هادی جايگزين می شوند؟ کلائيسترون های پرقدرت با چه دستگاه ديگري جايگزين می شوند؟
۵۱. کدام جزء مگنترون باعث حرکت الکترونها در مسیرهای دایره‌ای می شود؟
۵۲. دو کاربرد عمدی مگنترون ها را بيان کنيد.
۵۳. کاربرد اصلی TWT چیست؟
۵۴. مدولاسيون چگالی پرتو الکترونی در TWT چگونه حاصل می شود؟
۵۵. مزیت اصلی TWT نسبت به کلائيسترون چیست؟
۵۶. پرکاربردترین آنتن مايكروويو کدام است؟
۵۷. افرايش طول بوق چه تاثيری بر بهره و عرض پرتو آن دارد؟
۵۸. محدوده عرض پرتو معمولي بوق چقدر است؟
۵۹. پهنانی باند بوق ها را شرح دهيد.
۶۰. شكل هندسي يك بازتابنده آنتن ميكرو موج معمولي را بيان کنيد.
۶۱. برای اينکه يك بازتابنده بشقابی کار کند، آنتن باید چگونه قرار گيرد؟
۶۲. چه نوع آنتنی بيشتر با رفلكتور بشقابی استفاده می شود؟
۶۳. چيدمان تغذيه يك ظرف با يك بوق در مرکز آن و يك بازتابنده کوچک در نقطه کانونی را چه می ناميد؟ هدف آن چیست؟
۶۴. دو مورد از مزایای يك آنتن ماريپيج را نام ببريد.
۶۵. برد بهره آنتن ماريپيج چقدر است؟

۶۶. محدوده عرض پرتو معمولی آنتن مارپیچ چقدر است؟
۶۷. نوع پلاریزاسیون تابشی توسط آنتن مارپیچ چیست؟
۶۸. اصطلاح RHCP به چه معناست؟ LHCP
۶۹. درست یا غلط؟ یک آنتن مارپیچ می‌تواند سیگنال‌های قطبش عمودی یا افقی را دریافت کند.
۷۰. درست یا غلط؟ یک آنتن RHCP می‌تواند سیگنالی را از آنتن LHCP دریافت کند.
۷۱. یک آنتن مایکروویو همه جهته معروف را نام ببرید.
۷۲. طول معمولی آنتن اسلات (شیار) چقدر است؟
۷۳. آنتن‌های شیاری بیشتر در کجا استفاده می‌شوند؟
۷۴. آنتن شیاری چگونه راه اندازی می‌شود؟
۷۵. آنتن عدسی چه عملکرد اساسی را انجام می‌دهد؟
۷۶. نام آنتن‌های ساخته شده با میکرواستریپ چیست؟
۷۷. دو شکل رایج آنتن‌های میکرواستریپ را نام ببرید.
۷۸. دو روش تغذیه آنتن‌های میکرواستریپ را نام ببرید.
۷۹. نام آنتن ساخته شده از دوقطبی‌های متعدد پچ چیست؟ کجا استفاده می‌شود؟
۸۰. سه آنتن PCB معروف غیر از پچ را نام ببرید. کجا استفاده می‌شوند؟
۸۱. اصطلاح MIMO را تعریف کنید. کجا استفاده می‌شود؟
۸۲. دو نوع آنتن هوشمند را نام ببرید. کجا استفاده می‌شوند؟
۸۳. دو مزیت آنتن‌های پرتویی سوئیچینگ و تشکیل دهنده پرتو را ذکر کنید.
۸۴. توضیح دهید که چگونه دسترسی چندگانه (مولتی پلکسینگ) تقسیم فضایی می‌تواند ظرفیت مشترک یک سیستم تلفن همراه را افزایش دهد.
۸۵. چهار مورد از کاربردهای رایج مایکروویو در ارتباطات را فهرست کنید.
۸۶. دانستن سرعت سیگنال‌های رادیویی به ردار اجازه می‌دهد تا مشخص کند هدف چیست؟
۸۷. چه ویژگی آنتن رadar، آزمیوت هدف را تعیین می‌کند؟
۸۸. چه مشخصه‌ای از یک هدف، میزان سیگنال منعکس شده را تعیین می‌کند؟
۸۹. رادارها در چه باندهای مایکروویو کار می‌کنند؟
۹۰. درست یا غلط؟ هر دو فرستنده و گیرنده در یک رadar آنتن یکسانی دارند.

۹۱. دو نوع اصلی رadar را نام ببرید.
۹۲. تغییر فرکانس امواج صوتی، رادیویی یا نوری که در نتیجه حرکت نسبی بین اجسام اتفاق می‌افتد، چیست؟
۹۳. درست یا غلط؟ فاصله را می‌توان با رadar CW اندازه گیری کرد.
۹۴. جزء کلیدی در یک فرستنده رadar چیست؟
۹۵. لامپ‌های TR و ATR چیست؟ چرا از آنها استفاده می‌شود؟
۹۶. نمایش خروجی در اکثر مجموعه‌های رadar چیست؟
۹۷. سه کاربرد عمدۀ نظامی و چهار کاربرد غیرنظامی رadar را نام ببرید.
۹۸. یک مزیت و یک عیب رadar UWB را نام ببرید.

**مسائل:**

۱. کانال های تلویزیونی ۲ تا ۱۳ پهنهای باند کل حدود ۷۲ مگاهرتز را اشغال می‌کنند. در فرکانس ۲۰۰ مگاهرتز، درصد پهنهای باند چقدر است؟ درصد پهنهای باند در ۲۰ گیگاهرتز چقدر است؟
۲. یک قطعه یک چهارم طول موج خط میکرو نوار ۷۵ اهم دارای بار خازنی  $X_c = 22\Omega$  است. منبع تغذیه چه امپدانسی را می‌بیند؟
۳. طول یک ریز نوار با طول ربع موج در  $\frac{1}{2}$  گیگاهرتز چقدر است؟ (ثابت دیالکتریک PCB برابر ۴,۵ است).
۴. یک موجبر مستطیلی دارای عرض  $1/4$  اینچ و ارتفاع  $8/0$  اینچ است. فرکانس قطع موجبر چقدر است؟
۵. یک کوپلر جهتی ۲۰ دسیبل در یک موجبر که یک سیگنال ۵ وات ۶ گیگاهرتز را حمل می‌کند نصب شده است. خروجی کوپلر چیست؟
۶. طول دوقطبی در  $\frac{1}{4}$  گیگاهرتز چقدر است؟
۷. یک آنتن بوقی دارای طولی برابر  $5\lambda$  در ۷ گیگاهرتز است. این طول چند اینچ است؟
۸. روزنہ یک بوق ۶ سانتی متر عرض و ۴ سانتی متر ارتفاع دارد. فرکانس کاری  $18 \text{ GHz} = K$  را فرض کنید. زاویه پرتو و بهره را محاسبه کنید.  $0/5 = K$  را فرض کنید.
۹. آنتن بازتابنده سهموی دارای قطر ۶ متر است. فرکانس کار ۲۰ گیگاهرتز است. بهره و عرض پرتو چقدر است؟
۱۰. کمترین فرکانس کاری آنتن بشقالبی با قطر ۱۸ اینچ تقریباً چقدر است؟
۱۱. سرعت سیگنال رadar را بر حسب میکروثانیه در هر مایل دریایی بیان کنید.

۱۲. مقدار ۲۲ مایل قانونی استاندارد به مایل دریایی را تبدیل کنید.
۱۳. زمان سپری شده بین تابش سیگنال رادار و دریافت پژواک آن  $23/9$  میکرو ثانیه است. فاصله هدف بر حسب مایل دریایی چقدر است؟
۱۴. بازه زمانی بین سیگنال ارسالی و دریافت پژواک از هدفی در فاصله  $1800\text{yd}$  چند میکروثانیه است؟
۱۵. برای انعکاس بهینه از یک هدف، اندازه هدف در طول موج سیگنال رادار چقدر باید باشد؟
۱۶. یک رادار CW در فرکانس ۹ گیگاهرتز کار می‌کند. یک جابجایی فرکانس ۳۵ کیلوهرتز توسط یک هدف متحرک تولید می‌شود. سرعتش چقدر است؟

### مسائل چالش برانگیز:

۱. اگر ترانزیستورهای قدرت مایکروویو محدود به مثلاً حداقل توان  $100$  وات هستند، توضیح دهید که چگونه می‌توانید یک تقویت کننده توان مایکروویو با توان  $1$  کیلو وات بسازید.
۲. یک کاوشگر اعمق فضایی ناسا روی  $4/8$  گیگاهرتز کار می‌کند. مکان آن از مریخ گذشته و به سمت فضای بیرونی می‌رود. نحوه حفظ و/یا بهبود قدرت سیگنال در گیرنده اصلی در کالیفرنیا را با جزئیات توضیح دهید.
۳. یکی از عوامل اصلی محدود کننده دامنه امواج مایکروویو و سیگنال‌های میلی‌متری چیست؟
۴. چه فناوری نیمه‌هادی که در ابتدا برای کاربردهای کامپیوتری و دیجیتالی توسعه یافته بود، اکنون به طور گسترده برای ساخت مدارهای رادیویی مایکروویو استفاده می‌شود؟

## فصل ۱۷

# ارتباطات ماهواره‌ای

ماهواره یک جسم فیزیکی است که به دور برخی از اجسام آسمانی می‌چرخد. ماهواره‌ها در طبیعت وجود دارند و منظومه شمسی خودمان نمونه‌ای کامل است. زمین و سایر سیارات ماهواره‌هایی هستند که به دور خورشید می‌چرخند. ماه ماهواره‌ای برای زمین است. تعادل بین اینرسی ماهواره در حال چرخش با سرعت بالا و کشش گرانشی جسم در مدار، ماهواره را در جای خود نگه می‌دارد.

ماهواره‌ها برای اهداف مختلف پرتاب و در مدار قرار می‌گیرند. رایج‌ترین کاربرد ارتباطات است که در آن از ماهواره به عنوان تکرار کننده استفاده می‌شود. در این فصل، مفاهیم ماهواره را معرفی کرده و نحوه شناسایی و توضیح ماهواره‌ها را مورد بحث قرار می‌دهیم. عملکرد یک ایستگاه زمینی ماهواره‌ای را خلاصه کرده و کاربردهای ماهواره‌ای معمولی، از جمله سیستم موقعیت‌یابی جهانی، که یک سیستم ناوبری مبتنی بر ماهواره در سراسر جهان است، و سیستم‌های رادیویی و تلویزیونی ماهواره‌ای را بررسی می‌کنیم.

### اهداف:

بعداز تکمیل این فصل، شما می‌توانید:

- اصطلاحات Posigrade، واپسگرائی<sup>۱</sup> مرکز جغرافیایی<sup>۲</sup>، اوج<sup>۳</sup>، حضيض<sup>۴</sup>، صعودی، نزولی، دوره(تناوب)، زاویه تمايل، ژئوسنکرون، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و نصف النهار را تعریف کنید.
- اصول فیزیکی عملیاتی پرتاب ماهواره و حفظ مدار آن را بیان کنید.
- نمودار جعبه‌ای(بلوک دیاگرام) سیستم ارتباطی در یک ماهواره ارتباطی را رسم کنید، نام آن را ذکر کنید و نحوه عملکرد آن را توضیح دهید.
- شش زیرسیستم اصلی یک ماهواره را فهرست کنید.

<sup>۱</sup>Retrograde

<sup>۲</sup>Geocenter

<sup>۳</sup>Apogee

<sup>۴</sup>Perigee

- نمودار جعبه‌ای یک ایستگاه زمینی ماهواره‌ای را ترسیم کرده و پنج زیرسیستم اصلی را مشخص کنید و عملکرد هر کدام را توضیح دهید.
- سه کاربرد متداول برای ماهواره‌ها را نام برد و بیان کنید که رایج‌ترین آنها کدام است.
- مفهوم و عملکرد سیستم موقعیت‌یابی جهانی<sup>۵</sup> را توضیح دهید. بلوک دیاگرام گیرنده GPS را رسم کنید و عملکرد هر جزء را توضیح دهید.
- عملکرد سیستم‌های رادیویی و تلویزیون ماهواره‌ای ایالات متحده را توضیح دهید.

## ۱.۱۷ مدارهای ماهواره

توانایی پرتاب ماهواره و نگه داشتن آن در مدار به‌پیروی از قوانین شناخته شده فیزیکی و ریاضی بستگی دارد که در مجموع به عنوان دینامیک مداری شناخته می‌شوند. در این بخش، قبل از اینکه به‌جزای فیزیکی یک ماهواره و نحوه استفاده از آن در کاربردهای مختلف ارتباطی بپردازیم، به‌معرفی این اصول می‌پردازیم.

### اصول مدارهای ماهواره و موقعیت‌یابی

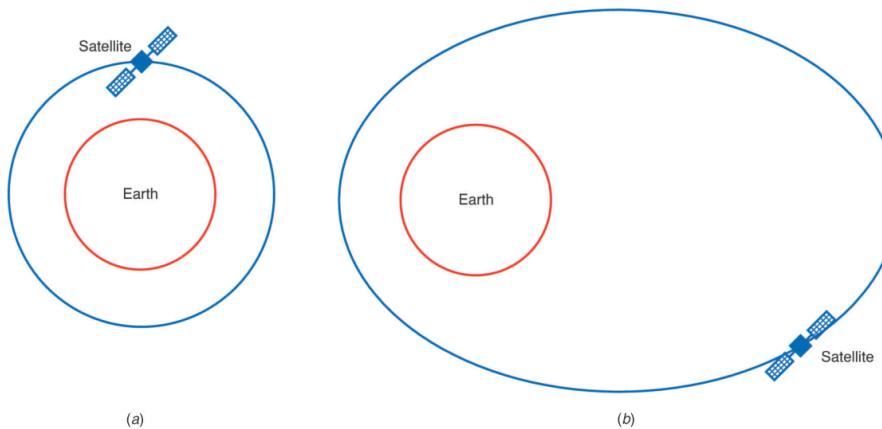
اگر ماهواره‌ای به صورت عمودی از زمین پرتاب و سپس رها می‌شود، به‌دلیل گرانش دوباره به‌زمین می‌افتد. برای اینکه ماهواره به‌مدار زمین برود، باید مقداری حرکت رو به‌جلو داشته باشد. به‌همین دلیل، زمانی که ماهواره به‌فضا پرتاب می‌شود، حرکت عمودی و رو به‌جلو به آن داده می‌شود. حرکت رو به‌جلو باعث ایجاد اینرسی شده و باعث می‌شود ماهواره در یک خط مستقیم حرکت کند. با این حال، گرانش تمایل دارد ماهواره را به‌سمت زمین بکشد. اینرسی ماهواره با کشش گرانشی زمین برابر می‌شود. ماهواره به‌طور مداوم جهت خود را از یک خط مستقیم به‌یک خط منحنی تغییر می‌دهد تا به‌دور زمین بچرخد.

اگر سرعت یک ماهواره خیلی زیاد باشد، ماهواره بر کشش زمین غلبه کرده و به‌فضا می‌رود. سرعت فرار تقریباً ۲۵,۰۰۰ مایل در ساعت لازم است تا فضایپما بتواند نیروی گرانشی زمین را بشکند. در سرعت‌های پایین‌تر، گرانش به‌طور مداوم ماهواره را به‌سمت زمین می‌کشد. هدف این است که به‌ماهواره شتاب و سرعتی بدھیم که دقیقاً کشش گرانشی را متعادل کند.

هر چه ماهواره به‌زمین نزدیک‌تر باشد، اثر کشش گرانشی زمین قوی‌تر است. بنابراین در مدارهای پایین، ماهواره باید سریعتر حرکت کند تا از سقوط مجدد به‌زمین جلوگیری کند. کمترین مدار عملی زمین تقریباً ۱۰۰ مایل است. در این ارتفاع، سرعت ماهواره باید حدود ۱۷۵۰۰ مایل در ساعت باشد تا ماهواره را در مدار نگه دارد. با این سرعت، ماهواره تقریباً در  $\frac{1}{2}$  ساعت به‌دور زمین می‌چرخد. ماهواره‌های ارتباطی معمولاً بسیار دورتر از زمین هستند. مسافت معمولی ۲۲۳۰۰ مایل است. یک ماهواره برای ماندن در مدار در آن فاصله تنها به سرعت ۶۸۰۰ مایل در ساعت نیاز دارد. با این سرعت، ماهواره تقریباً در ۲۴ ساعت، زمان چرخش خود زمین، به دور زمین می‌چرخد.

در مدار یک ماهواره چیزهای بیشتری جز سرعت و کشش گرانشی وجود دارد. این ماهواره همچنین تحت تأثیر نیروی گرانشی ماه و خورشید است.

<sup>۵</sup>Global Positioning System (GPS)



شکل ۱.۱۷: مدارهای ماهواره (الف) مدار دایره‌ای. (ب) مدار بیضوی.

همانطور که در شکل (۱.۱۷) نشان داده شده است، یک ماهواره در یک مسیر دایره‌ای یا بیضی به دور زمین می‌چرخد. دایره‌ها و بیضی‌ها شکل‌های هندسی هستند که می‌توان آنها را به طور دقیق ریاضی توصیف کرد. از آنجایی که مدار یا دایره‌ای یا بیضی شکل است، می‌توان موقعیت یک ماهواره را در هر لحظه محاسبه کرد.

### خوب است بدانید که:

ماهواره‌های ارتباطی معمولاً در فاصله ۲۲۳۰۰ مایلی (حدود ۳۶,۰۰۰ کیلومتر) با سرعت حدود ۶۸۰۰ مایل (حدود ۱۱۰,۰۰۰ کیلومتر) در ساعت به دور زمین می‌چرخد.

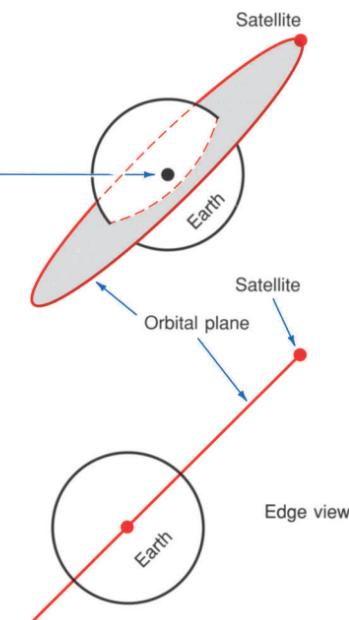
یک ماهواره در مداری می‌چرخد که صفحه‌ای را تشکیل می‌دهد که از مرکز ثقل زمین به نام ژئوسنتر می‌گذرد (شکل ۲.۱۷). علاوه بر این، جهت چرخش ماهواره ممکن است یا در جهت چرخش زمین باشد یا در خلاف جهت چرخش زمین. در مورد اول، مدار پوزیگراد<sup>۶</sup> و در مورد دوم رتروگراد<sup>۷</sup> گفته می‌شود. بیشتر مدارها پوزیگراد هستند. در مدار دایره‌ای، سرعت چرخش ثابت است. با این حال، در یک مدار بیضی شکل، سرعت بسته به ارتفاع ماهواره بر روی زمین تغییر می‌کند. به طور طبیعی سرعت ماهواره زمانی که به زمین نزدیک است از زمانی که دور است بیشتر است.

**ارتفاع ماهواره :** در مدار دایره‌ای، ارتفاع به سادگی فاصله ماهواره از زمین است. با این حال، در محاسبات هندسی، ارتفاع در واقع فاصله بین مرکز زمین و ماهواره است. به عبارت دیگر، این فاصله شامل شعاع زمین است که به طور کلی حدود ۳۹۶۰ مایل (یا ۶۳۷۳ کیلومتر) در نظر گرفته می‌شود. ماهواره‌ای که در ۵۰۰۰ مایل بالای زمین در مدار دایره‌ای قرار دارد،  $5000 + 3960 = 8960$  مایل از مرکز زمین فاصله دارد (شکل ۳.۱۷).

هنگامی که ماهواره در مدار بیضی قرار دارد، مرکز زمین یکی از نقاط کانونی بیضی است (شکل ۴.۱۷). در این حالت فاصله ماهواره از زمین با توجه به موقعیت آن متفاوت است. به طور معمول دو

<sup>۶</sup>Posigrade

<sup>۷</sup>Retrograde



شکل ۲.۱۷: صفحه مداری از ژئوسترنر می‌گذرد.

نقشه مورد علاقه بالاترین نقطه بالای زمین - اوج<sup>۸</sup> - و پایین ترین نقطه - حضیض<sup>۹</sup> هستند. فواصل اوج و حضیض معمولاً از ژئومرکز زمین اندازه‌گیری می‌شوند.

**سرعت ماهواره:** همانطور که قبلاً ذکر شد، سرعت بر اساس فاصله ماهواره از زمین متفاوت است. برای یک مدار دایره‌ای سرعت ثابت است، اما برای یک مدار بیضوی سرعت بر اساس ارتفاع متفاوت است. ماهواره‌های زمینی با ارتفاع حدود ۱۰۰ مایل دارای سرعتی در حدود ۱۷۵۰۰ مایل در ساعت هستند. ماهواره‌های بسیار بالا مانند ماهواره‌های ارتباطی که تقریباً ۲۲۳۰۰ مایل دورتر هستند، بسیار کندر می‌چرخد، سرعت معمولی چنین ماهواره‌ای در نزدیکی ۶۸۰۰ مایل در ساعت است.

**دوره(تناوب) ماهواره:** دوره زمانی است که ماهواره طول می‌کشد تا یک مدار را کامل کند. به آن دوره‌ی جانبی<sup>۱۰</sup> نیز می‌گویند. یک مدار جانبی از برخی جسم خارجی ثابت یا ظاهرآ بی‌حرکت مانند خورشید یا ستاره برای مرجع در تعیین دوره‌ی جانبی استفاده می‌کند. دلیل استفاده از نقطه مرجع ثابت این است که در حالی که ماهواره به دور زمین می‌چرخد، خود زمین نیز در حال چرخش است. روش دیگر برای بیان زمان یک مدار، دوره چرخش<sup>۱۱</sup> یا سینودیک<sup>۱۲</sup> است. یک دور (r) دوره زمانی است که بین عبورهای متوالی ماهواره بر روی یک نصف النهار معین از طول جغرافیایی زمین می‌گذرد. به طور طبیعی، دوره‌های سینودی و جانبی به دلیل چرخش زمین با یکدیگر متفاوت هستند. میزان اختلاف زمانی با ارتفاع مدار، زاویه صفحه مدار و اینکه ماهواره در مدار پوزیگراد یا رتروگراد

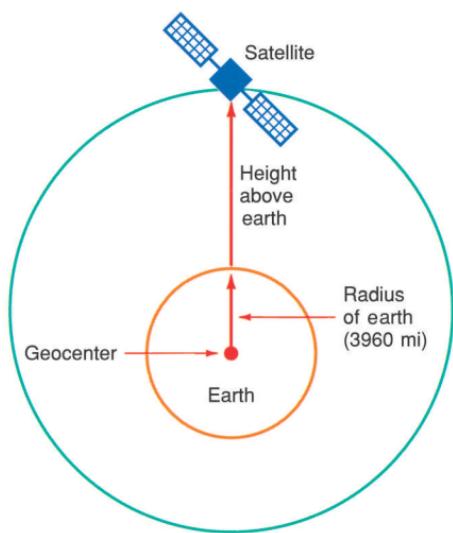
<sup>۸</sup>Apogee

<sup>۹</sup>Perigee

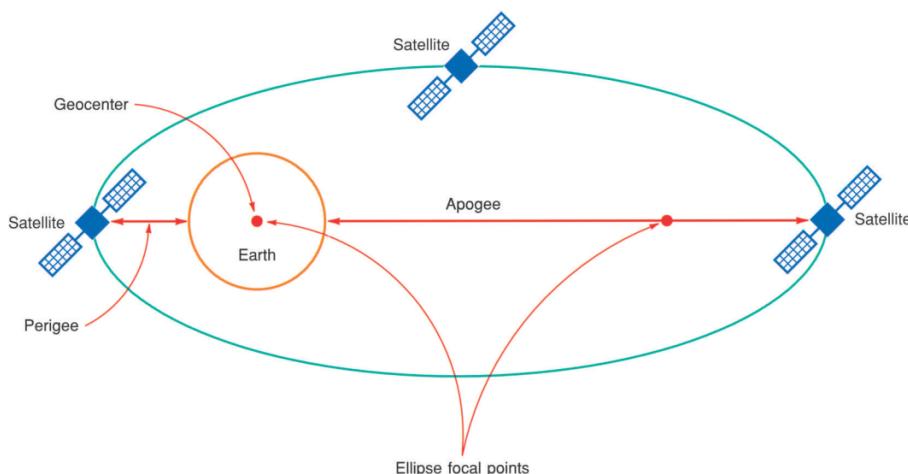
<sup>۱۰</sup>Sidereal Period

<sup>۱۱</sup>Revolution

<sup>۱۲</sup>Synodic



شکل ۳.۱۷: ارتفاع ماهواره.

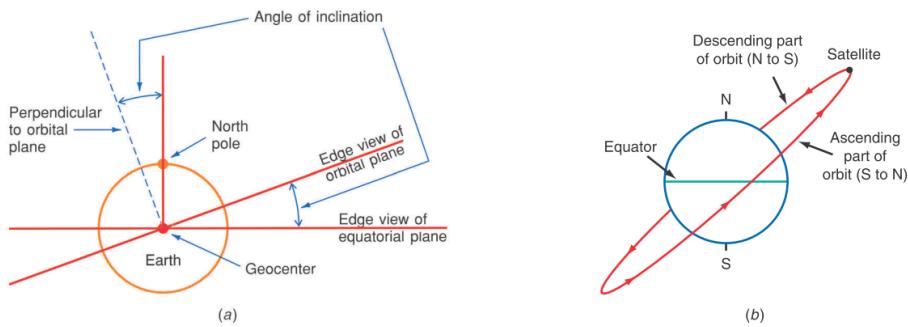


شکل ۴.۱۷: مدار بیضی شکل اوج و حضیض را نشان می‌دهد.

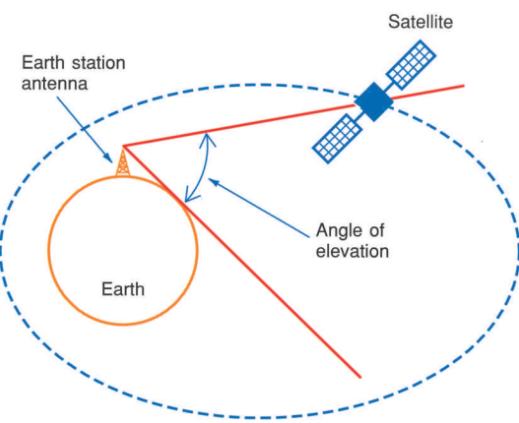
قرار دارد تعیین می‌شود. دوره به طور کلی بر حسب ساعت بیان می‌شود. دوره‌های چرخشی معمولی از حدود  $1/2$  ساعت برای ارتفاع  $100$  مایلی تا  $24$  ساعت برای ارتفاع  $22300$  مایل متغیر است.  
**زاویه شیب(میل)**<sup>۱۳</sup> : زاویه میل مدار ماهواره، زاویه‌ای است که بین خطی که از مرکز زمین و قطب شمال می‌گذرد و خطی که از مرکز زمین می‌گذرد اما بر صفحه مداری نیز عمود است، تشکیل می‌شود. این زاویه در شکل ۵.۱۷ (الف) نشان داده شده است. مدارهای ماهواره می‌توانند زوابای شیب بین  $0$  تا  $90^\circ$  درجه داشته باشند.

تعریف دیگر شیب، زاویه بین صفحه استوایی و صفحه مداری ماهواره هنگام ورود ماهواره به نیمکره

<sup>۱۳</sup> Angle of Inclination



شکل ۵.۱۷: (الف) زاویه میل. (ب) مدارهای صعودی و نزولی.



شکل ۵.۱۸: زاویه ارتفاع

شمالی است. در ک این تعریف ممکن است کمی ساده‌تر باشد، اما معنای آن همان تعریف قبلی است. وقتی زاویه شیب ° درجه باشد، ماهواره مستقیماً بالای استوا قرار می‌گیرد. هنگامی که زاویه شیب ۹۰ درجه باشد، ماهواره برای هر مدار یک بار از قطب شمال و جنوب عبور می‌کند. مدارهای با شیب ° درجه را به طور کلی مدارهای استوایی می‌نامند و مدارهایی با شیب ۹۰ درجه را مدار قطبی می‌نامند.

زمانی که ماهواره دارای زاویه شیب باشد، به مدار یا صعودی یا نزولی گفته می‌شود. با حرکت ماهواره از جنوب به شمال و عبور از خط استوا، مدار در حال صعود است. هنگامی که ماهواره از شمال به جنوب در سراسر استوا می‌رود، مدار در حال نزول است [شکل ۵.۱۷(ب)].

**زاویه ارتفاع :** زاویه ارتفاع یک ماهواره، زاویه‌ای است که بین خط آنتن ایستگاه زمینی به ماهواره و خط بین آنتن ایستگاه زمینی و افق زمین ظاهر می‌شود (شکل ۵.۱۷). اگر زاویه ارتفاع خیلی کوچک باشد، سیگنال‌های بین ایستگاه زمینی و ماهواره باید بیشتر از جو زمین عبور کنند. به دلیل استفاده از توان بسیار کم و جذب بالای جو زمین، مطلوب است که مدت زمانی که سیگنال‌ها در جو می‌گذرانند به حداقل برسد. نویز در جو نیز به عملکرد تضعیف کمک می‌کند. هر چه زاویه تابش کمتر باشد، این سیگنال زمان بیشتری را در جو می‌گذراند. حداقل زاویه عملی ارتفاع برای عملکرد خوب ماهواره

معمولًاً ۵ درجه است. هر چه زاویه ارتفاع بیشتر باشد بهتر است.

### خوب است بدانید که:

ماهواره‌های ژئوسنکرون دقیقاً همزمان با چرخش زمین به دور زمین می‌چرخدند و در نتیجه ثابت به نظر می‌رسند.

### مدارهای ژئوسنکرون :

برای استفاده از ماهواره برای مقاصد رله یا تکرار کننده ارتباطی، آتن ایستگاه زمینی باید بتواند ماهواره را در هنگام عبور از بالای سر خود دنبال یا ردیابی کند. بسته به ارتفاع و سرعت ماهواره، ایستگاه زمینی قادر است از آن فقط برای اهداف ارتباطی برای مدت کوتاهی که قابل مشاهده است استفاده کند. آتن ایستگاه زمینی ماهواره را از افق به افق ردیابی می‌کند. اما در نقطه‌ای، ماهواره در آن سوی زمین ناپدید می‌شود. در این زمان، دیگر نمی‌تواند ارتباط را پشتیبانی کند.

یکی از راه حل‌های این مشکل پرتاب ماهواره‌ای با مدار بیضی شکل بسیار طولانی است تا ایستگاه زمینی بتواند اوج را "دید" کند. به این ترتیب ماهواره در بیشتر مدت مدار خود در دید ایستگاه زمینی قرار می‌گیرد و برای مدت طولانی تری برای ارتباط مفید است. تنها در مدت کوتاهی که ماهواره در آن سوی زمین ناپدید می‌شود (حضيض) است که نمی‌توان از آن استفاده کرد.

### خوب است بدانید که:

قبل از پرتاب شدن به فضا، ماهواره‌ها تحت آزمایش ارتعاش، مرکز ثقل، خلاء و شوک حرارتی قرار می‌گیرند.

ارتباط متناوب ناشی از این ویژگی‌های مداری در بسیاری از کاربردهای ارتباطی بسیار نامطلوب است. یکی از راه‌های کاهش وقفه استفاده از بیش از یک ماهواره است. به طور معمول، سه ماهواره، اگر به درستی در مدارهای صحیح قرار گیرند، می‌توانند ارتباط مداوم را در همه زمان‌ها فراهم کنند. با این حال، ایستگاه‌های ردیابی متعدد و سیستم‌های پیچیده سیگنال سوئیچینگ یا «هند-آف<sup>۱۴</sup>» بین ایستگاه‌ها مورد نیاز است. نگهداری از این ایستگاه‌ها گران و ناخوشایند است.

علیرغم هزینه و پیچیدگی سیستم‌های چند ماهواره‌ای، آنها به طور گسترده در کاربردهای مخابرایی جهانی مستقر هستند. این سیستم‌ها از ۲۴ تا بیش از ۱۰۰ ماهواره استفاده می‌کنند. در هر زمان، چندین ماهواره در هر نقطه از زمین در معرض دید قرار دارند و ارتباط مداوم را ممکن می‌سازند.

سیستم‌های ماهواره‌ای متعدد معمولاً در دو محدوده بالای زمین قرار دارند. ماهواره‌های مدار زمین پایین که معمولاً به آنها LEO می‌گویند، در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ مایلی بالای زمین قرار می‌گیرند. ماهواره‌های مدار زمین متوسط یا MEO‌ها محدوده ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مایلی بالای زمین را اشغال می‌کنند.

هر چه ارتفاع از سطح زمین بیشتر باشد، دید بهتر و پوشش ناحیه رادیویی روی سطح زمین بیشتر است. هنگامی که هدف پوشش گسترده‌تر به ازای هر ماهواره باشد، آشکارا MEO بر LEO ترجیح داده می‌شود. با این حال، هر چه ماهواره بالاتر باشد، قدرت مورد نیاز برای برقراری ارتباط قابل اعتماد

<sup>۱۴</sup>Hand-off

بیشتر و تاخیر بیشتر است. حتی اگر امواج رادیویی با سرعت  $186400$  مایل بر ثانیه حرکت کنند، تاخیر قابل توجهی در هر سیگنال صوتی از لینک بالا به پایین وجود دارد. برای MEOها، تاخیر رفت و برگشت به طور متوسط حدود  $100$  میلی ثانیه است. تاخیر در LEOها به طور متوسط  $10$  میلی ثانیه است.

بهترین راه حل پرتاب ماهواره سنکرون یا زمین است. در مدار زمین ژئوسنکرون (GEO)، ماهواره در فاصله  $22300$  مایلی (یا  $35888$  کیلومتری) در اطراف استوا به دور زمین می‌چرخد. ماهواره‌ای در این فاصله دقیقاً در  $24$  ساعت به دور زمین می‌چرخد. به عبارت دیگر، ماهواره دقیقاً همزمان با زمین می‌چرخد. به همین دلیل، ثابت به نظر می‌رسد یا ثابت است، بنابراین اصطلاحات مدار سنکرون، ژئوسنکرون یا زمین است. از آنجایی که ماهواره ظاهراً ثابت باقی می‌ماند، هیچ آنتن رדיابی ایستگاه زمینی خاصی مورد نیاز نیست. آنتن به سادگی به سمت ماهواره گرفته می‌شود و در یک موقعیت ثابت باقی می‌ماند. با این ترتیب ارتباط مستمر امکان پذیر است. اکثر ماهواره‌های ارتباطی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند از انواع ژئوسنکرون هستند. تقریباً  $40$  درصد از سطح زمین را می‌توان از طریق چنین ماهواره‌ای "دیده" یا به آن دسترسی داشت. کاربران داخل آن منطقه می‌توانند از ماهواره برای ارتباط استفاده کنند. برای چنین مسافت زیادی به توان بالاتری نیاز است و تاخیر رفت و برگشت حدود  $260$  میلی ثانیه است که در ارتباط صوتی بسیار محسوس است.

**موقعیت مختصات در طول و عرض جغرافیایی:** برای استفاده از ماهواره، باید بتوانید موقعیت آن را در فضا تعیین کنید. این موقعیت عموماً با طراحی ماهواره از پیش تعیین می‌شود و در پرتاب اولیه و تنظیمات موقعیت بعدی به دست می‌آید. هنگامی که موقعیت مشخص شد، آنتن ایستگاه زمینی را می‌توان برای ارسال و دریافت بهینه به سمت ماهواره نشانه رفت. برای ماهواره‌های ژئوسنکرون، آنتن ایستگاه زمینی را می‌توان یک بار تنظیم کرد و به جز تنظیمات جزئی گاه به گاه در آن موقعیت باقی می‌ماند. موقعیت سایر ماهواره‌ها بر فراز زمین با توجه به ویژگی‌های مداری آنها متفاوت است. برای استفاده از این ماهواره‌ها باید از سیستم‌های رדיابی مخصوص استفاده شود. یک سیستم رדיابی در اصل یک آنتن است که موقعیت آن را می‌توان برای تعقیب ماهواره در سراسر آسمان تغییر داد. برای حفظ انتقال و دریافت بهینه، آنتن باید به طور مداوم به سمت ماهواره در حین چرخش باشد. در این بخش به روش‌های مکان‌یابی و رדיابی ماهواره‌ها می‌پردازیم.

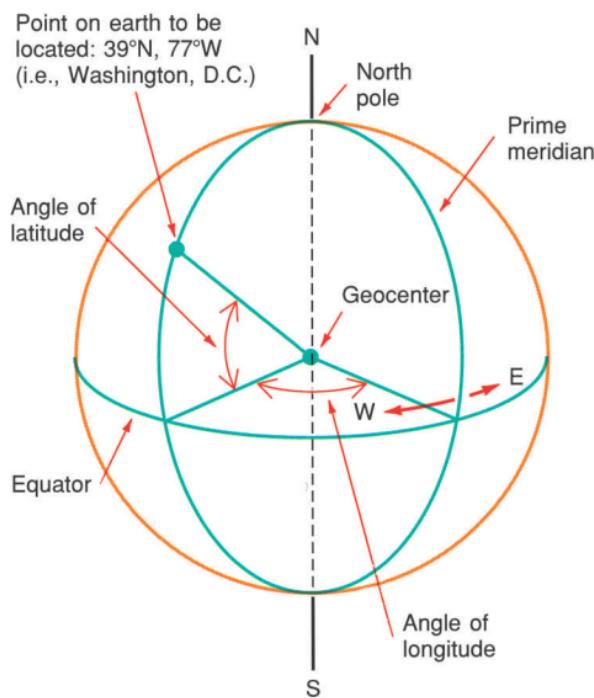
مکان یک ماهواره به طور کلی از نظر طول و عرض جغرافیایی مشخص می‌شود، دقیقاً همانطور که یک نقطه روی زمین توصیف می‌شود. مکان ماهواره توسعه یک نقطه روی سطح زمین دقیقاً زیر ماهواره مشخص می‌شود. این نقطه به عنوان نقطه زیرماهواره<sup>۱۵</sup> (SSP) شناخته می‌شود. سپس نقطه زیرماهواره با استفاده از تعیین طول و عرض جغرافیایی معمولی تعیین می‌شود.

### خوب است بدانید که:

SSP ماهواره‌های غیرهمزان با توجه به یک نقطه مرجع معین روی زمین حرکت می‌کند. برای این ماهواره‌ها، SSP خطی را بر روی زمین دنبال می‌کند که به عنوان مسیر زیرماهواره یا مسیر زمینی شناخته می‌شود.

طول و عرض جغرافیایی سیستمی را برای مکان‌یابی هر نقطه معین از سطح زمین تشکیل می‌دهند. این سیستم به طور گسترده برای اهداف ناوبری استفاده می‌شود. اگر تا به حال کره زمین را مطالعه

<sup>۱۵</sup>SubSatellite Point (SSP)



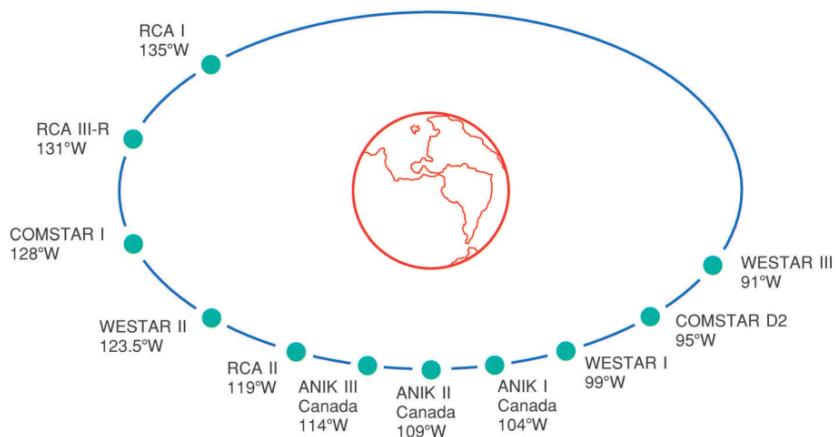
شکل ۷.۱۷: رديابي و ناوبری بر اساس طول و عرض جغرافيايی.

کرده باشيد، خطوط عرض و طول جغرافيايی را دیده‌اید. خطوط طول جغرافيايی يا نصف النهارها بر روی سطح زمین بین قطب شمال و جنوب ترسیم می‌شوند. خطوط عرض جغرافيايی روی سطح زمین از شرق به‌غرب و بهموازات خط استوا ترسیم می‌شود. خط مرکزی عرض جغرافيايی خط استوا است که زمین را به دو نیمکره شمالی و جنوبی جدا می‌کند.

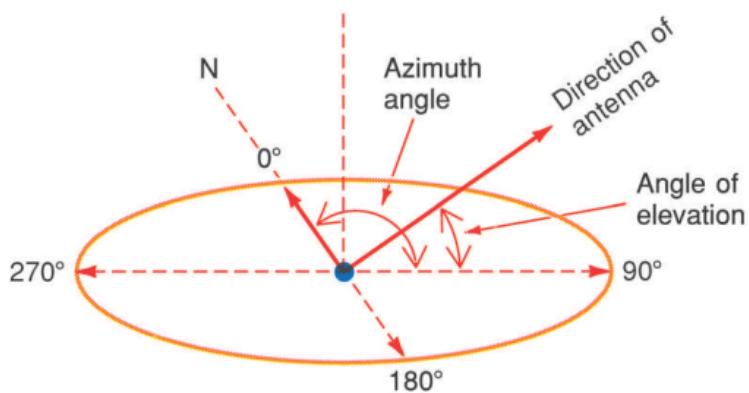
عرض جغرافيايی به‌عنوان زاویه بین خط کشیده شده از یک نقطه معین روی سطح زمین تا نقطه مرکز زمین به نام ژئوسنتر و خط بین ژئوسنتر و خط استوا تعریف می‌شود (شکل ۷.۱۷). عرض جغرافيايی  $^{\circ}$  درجه در خط استوا و عرض جغرافيايی  $90^{\circ}$  درجه در قطب شمال یا جنوب است. عموماً یک N یا یک S به‌زاویه عرض جغرافيايی اضافه می‌شود تا مشخص شود که نقطه در نیمکره شمالی یا جنوبی است.

خطی که بر روی سطح زمین بین قطب شمال و جنوب کشیده می‌شود، عموماً به‌نام نصف‌النهار شناخته می‌شود. نصف‌النهار خاصی به‌نام نصف‌النهار اول به‌عنوان نقطه مرجع برای اندازه‌گیری طول جغرافيايی استفاده می‌شود. اين خط روی سطح زمین است که بین قطب شمال و جنوب کشیده شده و از گرینویچ انگلستان می‌گذرد. طول جغرافيايی یک نقطه معین، زاویه بین خط متصل به ژئوسنتر زمین تا نقطه‌ای است که نصف‌النهار اول و استوا و نصف‌النهار حاوی نقطه مورد نظر را قطع می‌کند (شکل ۷.۱۷). علامت شرق یا غرب عموماً به‌زاویه طول جغرافيايی اضافه می‌شود تا نشان دهد که آیا زاویه در شرق یا غرب نصف‌النهار اصلی اندازه‌گیری می‌شود. به‌عنوان مثال، موقعیت واشنگتن دی‌سی با طول و عرض جغرافيايی  $39^{\circ}$  درجه شمالی و  $77^{\circ}$  درجه غربی نشان داده شده است.

برای نشان دادن نحوه استفاده از طول و عرض جغرافيايی برای تعیین مکان یک ماهواره، به



شکل ۸.۱۷: موقعیت برخی از ماهواره‌های ارتباطی متعدد در مدار ژئو (زمین) سنکرون.



شکل ۹.۱۷: آزیمoot و ارتفاع: آزیمoot = ۹۰ درجه. ارتفاع = ۴۰ درجه.

شکل (۸.۱۷) مراجعه کنید. این شکل تعدادی از ماهواره‌های ارتباطی ژئوسنکرون را نشان می‌دهد که به ایالات متحده و سایر بخش‌های آمریکای شمالی خدمت می‌کنند. از آنجایی که ماهواره‌های ژئوسنکرون حول استوا می‌چرخدند، نقطه فرعی آنها روی استوا قرار دارد. به همین دلیل، تمام ماهواره‌های ژئوسنکرون دارای عرض جغرافیایی ۰ درجه هستند.

**سمت (آزیمoot) و ارتفاع :** دانستن موقعیت ماهواره برای اکثر ایستگاه‌های زمینی که باید با ماهواره ارتباط برقرار کنند، اطلاعات ناکافی است. ایستگاه زمینی برای رهگیری ماهواره واقعاً باید تنظیمات آزیمoot و ارتفاع آنتن خود را بداند. بیشتر آنتن‌های ماهواره‌ای ایستگاه‌های زمینی بسیار جهت‌دار هستند و باید به طور دقیق در موقعیتی قرار گیرند تا ماهواره را رهگیری کند. نام‌گذاری‌های آزیمoot و ارتفاع بر حسب درجه نشان می‌دهند که آنتن را به کجا بکشید (شکل ۹.۱۷). آزیمoot به جهتی اشاره دارد که شمال برابر با ۰ درجه است. زاویه آزیمoot در جهت عقربه‌های ساعت نسبت به شمال اندازه‌گیری می‌شود. زاویه ارتفاع، زاویه بین صفحه افقی و جهت توجیه آنتن است.

هنگامی که آزیمoot و ارتفاع مشخص شد، آنتن ایستگاه زمینی را می‌توان در آن جهت نشان داد.

برای یک ماهواره ژئوسنکرون، آنتن به سادگی در آن موقعیت باقی می‌ماند. برای هر ماهواره دیگری، با عبور ماهواره از بالای سر، آنتن باید جابجا شود. برای ماهواره‌های ژئوسنکرون، تعیین زوایای آزیمoot و ارتفاع نسبتاً آسان است. از آنجایی که ماهواره‌های ژئوسنکرون در موقعیت خود بر روی خط استوا قرار دارند، فرمول‌ها و تکنیک‌های ویژه‌ای ایجاد شده‌اند تا امکان تعیین آسان‌تر آزیمoot و ارتفاع برای هر ماهواره ژئوسنکرون برای هر نقطه از زمین را فراهم کنند. مثال (۱-۱۷) نحوه انجام محاسبات را نشان می‌دهد.

### مثال ۱-۱۷

یک ایستگاه زمینی ماهواره‌ای باید در طول جغرافیایی  $95^{\circ}$  درجه غربی، عرض جغرافیایی  $30^{\circ}$  درجه شمالی قرار گیرد. این ماهواره در  $121^{\circ}$  درجه طول جغرافیایی غربی در مدار ژئوسنکرون قرار دارد. تنظیمات آزیمoot و ارتفاع تقریبی آنتن را تعیین کنید.

- الف تفاوت طول جغرافیایی ماهواره و طول جغرافیایی مکان:

$$121 - 95 = 26^{\circ}$$

- ب اختلاف طول جغرافیایی (طول جغرافیایی نسبی) و عرض جغرافیایی را تعیین کنید.

- ج ارتفاع را از روی منحنی‌ها تعیین کنید:

$$45^{\circ}$$

- د موقعیت شعاعی را تعیین کنید:

$$137^{\circ}$$

- ه آزیمoot واقعی را محاسبه کنید:

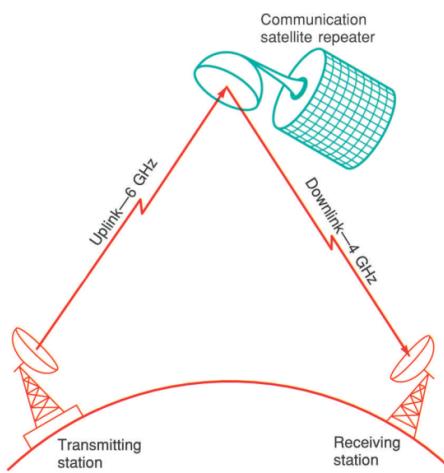
$$360 - 137 = 223^{\circ}$$

## ۲.۱۷ سیستم‌های ارتباط ماهواره‌ای

ماهواره‌های ارتباطی سازنده اطلاعاتی نیستند که باید منتقل شوند. اگرچه برخی دیگر از انواع ماهواره‌ها اطلاعاتی را که باید منتقل شوند تولید می‌کنند، ماهواره‌های ارتباطی این کار را نمی‌کنند. در عوض، این ماهواره‌ها ایستگاه‌های رله (تقویت) برای منابع زمینی هستند. اگر یک ایستگاه فرستنده به‌دلیل محدودیت‌های دید، نمی‌تواند مستقیماً با یک یا چند ایستگاه گیرنده ارتباط برقرار کند، می‌توان از ماهواره استفاده کرد. ایستگاه فرستنده اطلاعات را به ماهواره می‌فرستد و ماهواره نیز آن را مجدداً به‌ایستگاه‌های دریافت کننده ارسال می‌کند. ماهواره در این نرم افزار همان چیزی است که به‌طور کلی به عنوان تکرار کننده شناخته می‌شود.

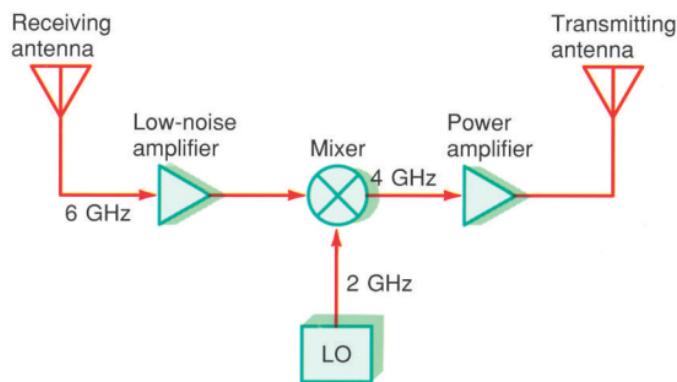
### تکرار کننده‌ها و ترانسپوندرها

شکل (۱۰.۱۷) عملکرد پایه یک ماهواره ارتباطی را نشان می‌دهد. یک ایستگاه زمینی اطلاعات را به‌ماهواره ارسال می‌کند. ماهواره حاوی گیرنده‌ای است که سیگنال ارسالی را دریافت، آن را تقویت و در فرکانس دیگری انتقال می‌دهد. سیگنال روی سپس فرکانس جدید دوباره به‌ایستگاه‌های دریافت



شکل ۱۰.۱۷: استفاده از ماهواره به عنوان لینک رله (پیوند تقویت) مایکروویو.

کننده روی زمین ارسال می‌شود. سیگنال اصلی که از ایستگاه زمینی به ماهواره ارسال می‌شود، پیوند رو به بالا (آپ‌لینک)<sup>۱۶</sup> نامیده می‌شود و سیگنال ارسال مجدد از ماهواره به ایستگاه‌های دریافت کننده را پیوند رو به پائین (دان‌لینک)<sup>۱۷</sup> می‌نامند. عموماً فرکانس پیوند رو به پائین کمتر از فرکانس پیوند رو به بالا است. فرکانس آپ‌لینک معمولی ۶ گیگاهرتز و فرکانس پیوند رو به پائین معمولی ۴ گیگاهرتز است.



شکل ۱۱.۱۷: ترانسپوندر ماهواره

ترکیب فرستنده و گیرنده در ماهواره به عنوان ترانسپوندر<sup>۱۸</sup> شناخته می‌شود. عملکردهای اساسی ترانسپوندر تقویت و انتقال فرکانس است (شکل ۱۱.۱۷). دلیل انتقال فرکانس این است که ترانسپوندر نمی‌تواند روی یک فرکانس ارسال و دریافت کند. سیگنال قوی فرستنده گیرنده را بیش از حد

<sup>۱۶</sup>Uplink

<sup>۱۷</sup>Downlink

<sup>۱۸</sup>Transponder

بارگذاری می‌کند یا "حساسیت زدایی" می‌کند و سیگنال بسیار کوچک آپلینک را مسدود و در نتیجه هرگونه ارتباطی را چلوگیری می‌کند. فرکانس‌های ارسال و دریافت با فاصله زیاد از تداخل جلوگیری می‌کند.

فرستنده‌ها همچنین واحدهای پهنهای باندی هستند که می‌توانند بیش از یک سیگنال را دریافت و ارسال کنند. هر سیگنال ایستگاه زمینی در پهنهای باند گیرنده تقویت، انتقال و در فرکانس متفاوتی ارسال می‌شود.

اگرچه ترانسپوندر معمولی پهنهای باند وسیعی دارد، اما تنها با یک سیگنال آپلینگ یا دانلینگ برای به حداقل رساندن تداخل و بهبود قابلیت اطمینان ارتباط استفاده می‌شود. برای اینکه از نظر اقتصادی مقرنون به صرفه باشد، یک ماهواره باید بتواند چندین کanal را مدیریت کند. در نتیجه، بیشتر ماهواره‌ها حاوی چندین فرستنده هستند که هر کدام با فرکانس متفاوتی کار می‌کنند. به عنوان مثال، یک ماهواره ارتباطی ممکن است ۲۴ کanal داشته باشد، ۱۲ کanal با قطبش (پلاریزاسیون) عمودی و ۱۲ کanal با قطبش افقی. هر فرستنده نشان دهنده یک کanal ارتباطی فردی است. طرح‌های مختلف دسترسی چندگانه استفاده می‌شود تا هر کanal بتواند چندین انتقال اطلاعات را انجام دهد.

**تخصیص فرکانس :** اکثر ماهواره‌های ارتباطی در طیف فرکانس مایکروویو کار می‌کنند. با این حال، چند استثنای وجود دارد. به عنوان مثال، بسیاری از ماهواره‌های نظامی در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ VHF/UHF کار می‌کنند. همچنین ماهواره‌های رادیویی آماتور OSCAR در محدوده VHF/UHF کار می‌کنند. سیگنال‌های UHF، VHF، مایکروویو با میرایی کم یا بدون میرایی در یونوسفر نفوذ می‌کند و مانند سیگنال‌های فرکانس پایین‌تر در محدوده ۳ تا ۳۰ مگاهرتز، به زمین منكسر نمی‌شوند.

Band	Frequency
P	225–390 MHz
J	350–530 MHz
L	1530–2700 MHz
S	2500–2700 MHz
C	3400–6425 MHz
X	7250–8400 MHz
Ku	10.95–14.5 GHz
Ka	17.7–31 GHz
Q	36–46 GHz
V	46–56 GHz
W	56–100 GHz

شکل ۱۲.۱۷: باندهای فرکانسی مورد استفاده در ارتباطات ماهواره‌ای.

طیف مایکروویو به باندهای فرکانسی تقسیم می‌شود که به ماهواره‌ها و همچنین سایر خدمات ارتباطی مانند رادار اختصاص داده شده است. این باندهای فرکانسی معمولاً با یک حرف الفبا مشخص می‌شوند. شکل (۱۲.۱۷) باندهای فرکانسی مختلف مورد استفاده در ارتباطات ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

یکی از پرکاربردترین باندهای ارتباطی ماهواره‌ای باند C است. فرکانس آپلینک ۵/۹۲۵ تا ۶/۴۲۵ گیگاهرتز است. در بحث کلی در مورد باند C، بهطور کلی گفته می‌شود که آپلینک ۶ گیگاهرتز است. دان‌لینک در محدوده ۳/۷ تا ۴/۲ گیگاهرتز است. اما باز هم در بحث کلی در مورد باند C، اسماً گفته می‌شود دان‌لینک ۴ گیگاهرتز است. گاهی اوقات، باند C با نام ۶/۴ گیگاهرتز نامیده می‌شود، جایی که ابتدا فرکانس آپلینک داده می‌شود.

طی چند سال گذشته، حرکتی پیوسته به‌سمت فرکانس‌های بالاتر بوده است. در حال حاضر گروه Ku بیشترین توجه را دارد. لینک‌های بالا در محدوده ۱۴ تا ۱۴/۵ گیگاهرتز و لینک‌های پایین از ۱۱/۷ تا ۱۲/۲ گیگاهرتز هستند. باند Ku را خواهید دید که به عنوان ۱۴/۱۲ گیگاهرتز تعیین شده است. استفاده از باند Ka نیز در حال افزایش است.

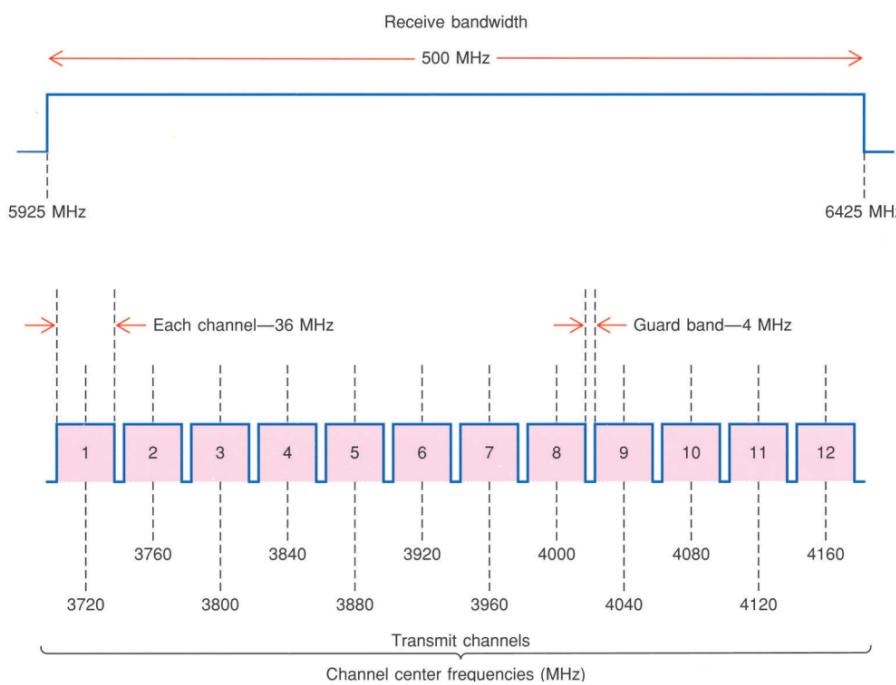
اکثر ماهواره‌های ارتباطی جدید در باند Ku کار خواهند کرد. این تغییر فرکانس به‌سمت بالا به این دلیل اتفاق می‌افتد که باند C بیش از حد شلوغ است. بسیاری از ماهواره‌های ارتباطی در حال حاضر در مدار هستند که بیشتر آنها در باند C کار می‌کنند. با این حال، به‌دلیل استفاده زیاد، تداخل با کمی مشکل وجود دارد. تنها راهی که این تداخل به‌حداقل می‌رسد، انتقال تمام ارتباطات ماهواره‌ای آینده به فرکانس‌های بالاتر است. طبیعتاً تجهیزات الکترونیکی که می‌توانند به‌این فرکانس‌های بالاتر دست یابند پیچیده‌تر و گران‌تر هستند. با این حال، مشکلات ازدحام و تداخل را نمی‌توان به‌هیچ طریق دیگری حل کرد. علاوه بر این، برای یک اندازه آتن مخصوص، بهره در باند Ku بیشتر از باند C است. این می‌تواند قابلیت اطمینان ارتباط را بهبود بخشد و در عین حال اندازه و هزینه آتن را کاهش دهد.

دو باند مورد علاقه دیگر باندهای X و L هستند. ارتش از باند X برای ماهواره‌ها و رادارهای خود استفاده می‌کند. باند L برای ناوبری و همچنین ارتباطات دریایی و هوایوری و رادار استفاده می‌شود.

### استفاده از طیف

فرکانس‌های تعیین شده برای لینک بالا و پایین باند C را به یاد بیاورید. اینها به ترتیب ۵۹۲۵ تا ۶۴۲۵ و ۳۷۰۰ تا ۴۲۰۰ گیگاهرتز هستند. می‌بینید که پهنای باند بین حد بالا و پایین ۵۰۰ مگاهرتز است. این یک باند فوق العاده گسترده است که قادر به حمل تعداد زیادی سیگنال است. در واقع، ۵۰۰ مگاهرتز تمام طیف رادیویی را که از VHF تا VLF و فراتر از آن شناخته شده است را پوشش می‌دهد. بیشتر ماهواره‌های ارتباطی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که از این پهنای باند کامل بهره ببرند. این به‌آنها امکان می‌دهد حداقل تعداد ممکن کانال‌های ارتباطی را حمل کنند. البته، این پهنای باند بسیار وسیع یکی از دلایل اصلی مفید بودن فرکانس‌های مایکروویو در ارتباطات است. نه تنها می‌توان بسیاری از کانال‌های ارتباطی را پشتیبانی کرد، بلکه از داده‌های دیجیتالی با سرعت بسیار بالا که به‌پهنای باند وسیع نیاز دارند نیز پشتیبانی می‌شود.

گیرنده ترانسپوندر کل پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز را "نگاه می‌کند" و هر گونه انتقالی را از آنجا دریافت می‌کند. با این حال، ورودی "کانالیزه" است زیرا ایستگاه‌های زمینی بر روی فرکانس‌ها یا کانال‌های انتخاب شده کار می‌کنند. پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز معمولاً به ۱۲ کانال انتقال مجزا تقسیم می‌شود که هر کدام ۳۶ مگاهرتز عرض دارند. باندهای محافظ ۴ مگاهرتز بین کانال‌ها وجود دارد که برای به‌حداقل رساندن تداخل کانال مجاور استفاده می‌شود (شکل ۱۳.۱۷). به‌فرکانس مرکزی هر کانال توجه کنید. به‌یاد داشته باشید که فرکانس‌های آپلینک با تبدیل فرکانس به کانال دان‌لینک انتقال می‌شوند. در هر دو مورد، کل پهنای باند (۵۰۰ مگاهرتز) و پهنای باند کانال (۳۶ مگاهرتز) یکسان است. بر روی ماهواره، یک ترانسپوندر جداگانه به‌هر یک از ۱۲ کانال اختصاص داده شده است.



شکل ۱۳.۱۷: دریافت و ارسال پهنه‌ای باند در ماهواره ارتباطی باند C.

اگرچه ۳۶ مگاهرتز در مقایسه با ۵۰۰ مگاهرتز باریک به نظر می‌رسد، هر پهنه‌ای باند ترانسپوندر قادر به حمل حجم عظیمی از اطلاعات است. به عنوان مثال، یک ترانسپوندر معمولی می‌تواند تا ۱۰۰۰ مکالمه تلفنی آنالوگ یک طرفه و همچنین یک کانال تلویزیونی تمام رنگی را مدیریت کند. هر کanal ترانسپوندر همچنین می‌تواند داده‌های دیجیتالی با سرعت بالا را حمل کند. با استفاده از انواع خاصی از مدولاسیون، یک ترانسپوندر استاندارد با پهنه‌ای باند ۳۶ مگاهرتز می‌تواند داده‌های دیجیتال را سرعت ۶۰ مگابیت در ثانیه مدیریت کند.

## مثال ۲-۱۷

یک ترانسپوندر ماهواره‌ای در باند C کار می‌کند (شکل ۱۳.۱۷). فرکانس نوسان ساز محلی ۲ گیگاهرتز را فرض کنید

- الف فرکانس گیرنده آپلینک اگر فرستنده دان لینک روی کانال ۴ باشد چقدر است؟ فرکانس دان لینک کانال ۴ ۳۸۴۰ مگاهرتز است (شکل ۱۳.۱۷). فرکانس دان لینک تفاوت بین فرکانس آپلینک  $f_u$  و فرکانس محلی-اسیلاتور  $f_{LO}$  است:

$$f_d = f_u - f_{LO}$$

بنابراین

$$f_u = f_d + f_{LO} = (3840 + 2000) \text{ MHz} = 584 \text{ GHz}$$

- ب اگر از یک ترانسپوندر برای انتقال باینری استفاده شود، حداکثر نرخ داده نظری چقدر است؟ پهنهای باند یک کانال ترانسپوندر ۳۶ مگاهرتز است. برای انتقال باینری، حداکثر نرخ داده نظری یا ظرفیت کانال C برای یک پهنهای باند معین B است.

$$C = 2B = 2(36) = 72 \text{ Mbps}$$

اگرچه ترانسپوندرها کاملاً توانمند هستند، اما با این وجود به سرعت با ترافیک بیش از حد بارگیری می‌شوند. علاوه بر این، در مواقعی ترافیک بیشتری نسبت به ترانسپوندرهای موجود برای مدیریت آن وجود دارد. به همین دلیل، تکنیک‌های متعددی برای افزایش موثر پهنهای باند و ظرفیت انتقال سیگنال ماهواره توسعه یافته است. دو مورد از این تکنیک‌ها به عنوان استفاده مجدد فرکانس و جداسازی فضایی شناخته می‌شوند.

**استفاده مجدد از فرکانس :** یک سیستم برای دو برابر کردن موثر پهنهای باند و ظرفیت حمل اطلاعات یک ماهواره به نام استفاده مجدد از فرکانس شناخته می‌شود. در این سیستم، یک ماهواره ارتباطی با دو مجموعه ۱۲ ترانسپوندر یکسان ارائه می‌شود. اولین کانال در ترانسپوندر در همان کانال با اولین ترانسپوندر در مجموعه دیگر کار می‌کند و غیره. با این ترتیب، دو مجموعه ترانسپوندر در یک طیف فرکانسی یکسان ارسال می‌کنند و بنابراین به نظر می‌رسد که با یکدیگر تداخل دارند. به هر حال، این چنین نیست. این دو سیستم، اگرچه دقیقاً روی فرکانس‌های مشابهی کار می‌کنند، اما با استفاده از تکنیک‌های خاص آن‌تن از یکدیگر جدا می‌شوند.

یکی از تکنیک‌های جدا نگه داشتن انتقال، استفاده از پلاریزاسیون آن‌تن‌های مختلف است. به عنوان مثال، یک آن‌تن با قطبش عمودی به سیگنال قطبش افقی پاسخ نمی‌دهد و بالعکس. یا یک آن‌تن قطبش دایره‌ای (LHCP) چپگرد به سیگنال قطبش دایره‌ای راستگرد (RHCP) پاسخ نمی‌دهد و بالعکس.

تکنیک دیگر استفاده از جداسازی فضایی است. با استفاده از آن‌تن‌های پرتو باریک یا نقطه‌ای، می‌توان منطقه روی زمین را که توسط ماهواره پوشانده شده است به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم کرد. ایستگاه‌های زمینی در هر بخش ممکن است در واقع از فرکانس یکسانی استفاده کنند، اما به دلیل عرض پرتوهای بسیار باریک آن‌تن‌ها، هیچ تداخلی بین بخش‌های مجاور وجود ندارد. این تکنیک به دسترسی چندگانه تقسیم فضایی<sup>۱۹</sup> (SDMA) اشاره دارد که دسترسی به ماهواره به مکان بستگی دارد نه به فرکانس.

**روش‌های دسترسی :** برای به حداکثر رساندن استفاده از طیف موجود در ترانسپوندرهای ماهواره‌ای و اطمینان از دسترسی هر چه بیشتر کاربران، همه ماهواره‌ها از نوعی مالتی‌پلکسینگ استفاده می‌کنند. مالتی‌پلکسینگ تقسیم فرکانس (FDM) که معمولاً دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس (FDMA) نامیده می‌شود، به طور گسترده در ماهواره‌های اولیه استفاده می‌شد. امروزه، مالتی‌پلکسینگ تقسیم زمانی (TDM) که به عنوان دسترسی چندگانه تقسیم زمانی (TDMA) نیز شناخته می‌شود، رایج‌تر است. این تکنیک دیجیتالی به هر کاربر یک شکاف زمانی در پهنهای باند کامل کانال ترانسپوندر اختصاص می‌دهد. روش‌های مدولاسیون BPSK و QPSK هستند، اگرچه QAM چند سطحی (16) ۳2 و QAM 256 نیز برای افزایش سرعت انتقال دیجیتال در پهنهای باند معین استفاده می‌شود. در برخی از ماهواره‌های جدیدتر از طیف گسترده استفاده می‌شود. این روش دیجیتالی که

<sup>۱۹</sup>Spatial Division Multiple Access (SDMA)

به عنوان دسترسی چندگانه تقسیم کد (CDMA) نیز شناخته می‌شود، سیگنال‌های کاربران متعدد را در پهنای باند کامل کانال ترانسپوندر پخش می‌کند و آنها را با استفاده از کدهای شبه تصادفی مرتب می‌کند. CDMA همچنین امنیت بسیار مهمی را در سیستم‌های بی‌سیم امروزی فراهم می‌کند و امروزه، ماهواره‌های بیشتری از SDMA برای ایجاد دسترسی چندگانه و در عین حال حفظ طیف استفاده می‌کنند.

### ۳.۱۷ زیرسیستم‌های ماهواره‌ای

تمامی سیستم‌های ارتباط ماهواره‌ای از دو بخش اصلی، ماهواره یا فضایپما و دو یا چند ایستگاه زمینی تشکیل شده‌اند. ماهواره عملکرد تکرار کننده رادیویی یا ایستگاه رله را انجام می‌دهد. دو یا چند ایستگاه زمینی ممکن است از طریق ماهواره با یکدیگر، نه مستقیماً نقطه به نقطه روی زمین، ارتباط برقرار کنند.

اندازه ماهواره‌ها از حدود ۱ فوت مکعب برای یک ماهواره کوچک LEO تا طول بیش از ۲۰ فوت طول متغیر است. بزرگترین ماهواره‌ها تقریباً به اندازه تریلر ۱۸ چرخ هستند. وزن از حدود ۱۰۰ پوند برای ماهواره‌های کوچکتر تا نزدیک به ۱۰,۰۰۰ پوند برای بزرگترین ماهواره‌ها متغیر است. قلب یک ماهواره ارتباطی زیرسیستم ارتباطی است. این مجموعه‌ای از ترانسپوندر است که سیگنال‌های آپلینک را دریافت کرده و مجدداً به زمین ارسال می‌کند. ترانسپوندر یک تکرار کننده است که یک کانال ارتباطی باند پهن را پیاده سازی می‌کند که می‌تواند چندین انتقال ارتباطی همزمان را انجام دهد.

ترانسپوندرها توسط انواع زیرسیستمهای "خانه دار" اضافی پشتیبانی می‌شوند. اینها شامل زیرسیستم قدرت، زیرسیستم‌های ردیابی و فرمان تله متری، آنتن‌ها، و زیرسیستم‌های پیشرانه و ثبیت وضعیت می‌شود. اینها برای ماهیت خودپایدار ماهواره ضروری هستند.

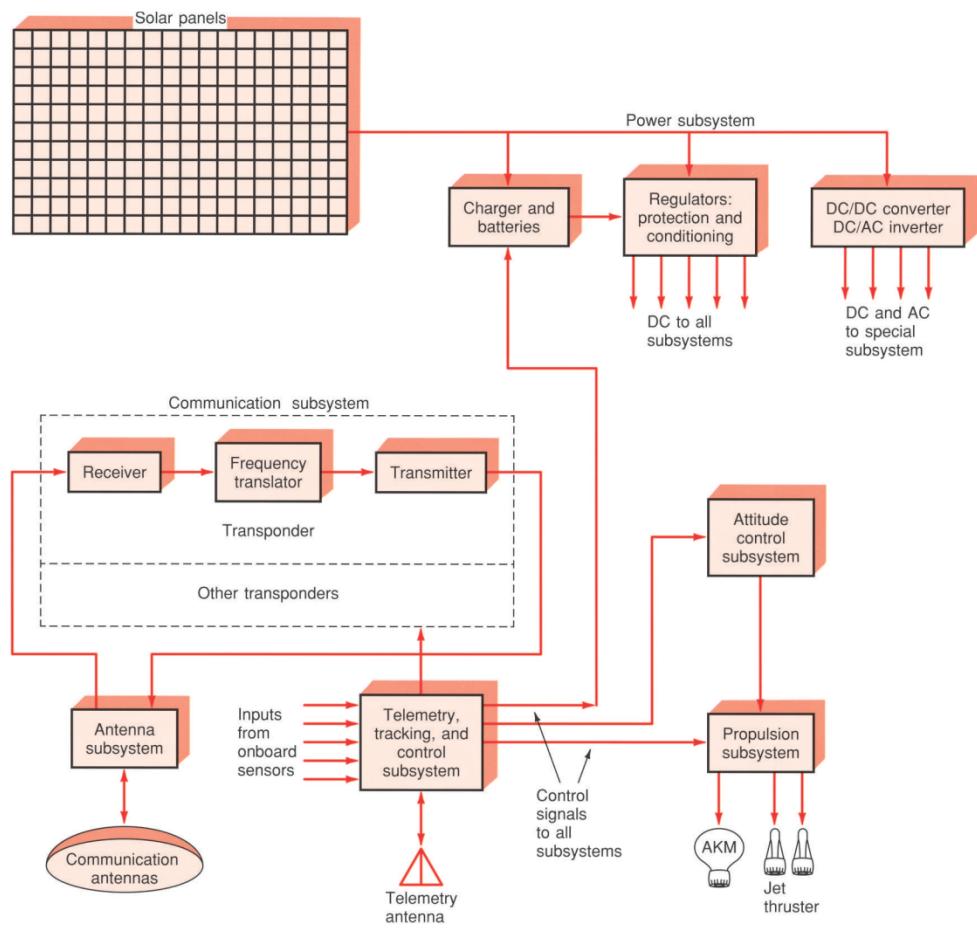
شکل (۱۴.۱۷) بلوک دیاگرام کلی از یک ماهواره است. تمام زیرسیستم‌های اصلی نشان داده شده‌اند. پنل‌های (صفحات) خورشیدی انرژی الکتریکی فضایپما را تامین می‌کنند. آنها رگولاتورهایی را تغذیه می‌کنند که برق dc را به همه زیرسیستم‌های دیگر توزیع می‌کنند. و باتری‌هایی که ماهواره را در دوره‌های کسوف کار می‌کنند شارژ می‌کنند. و مبدل‌های ac-to-dc و اینورترهای واحدهای کوچکتر تا چندین کیلووات در بزرگترین سیستم‌ها است.

زیرسیستم ارتباطی از چندین ترانسپوندر تشکیل شده است. اینها سیگنال‌های آپلینک را دریافت، آنها را تقویت، در فرکانس انتقال و دوباره آنها را برای ارسال مجدد به عنوان سیگنال‌های دانلینک تقویت می‌کنند. ترانسپوندرها یک زیرسیستم آنتن برای هر دو دریافت و انتقال مشترک دارند.

زیرسیستم تله متری (ستجش از دور)، ردیابی و فرمان (C&TT) شرایط داخل هواپیما مانند دما و ولتاژ باتری را کنترل و این داده‌ها را برای تجزیه و تحلیل به ایستگاه زمینی ارسال می‌کند. سپس ایستگاه زمینی ممکن است با ارسال یک سیگنال به زیرسیستم فرمان، دستوراتی را به ماهواره صادر کند، که سپس برای کنترل بسیاری از عملکردهای فضایپما مانند شلیک پیشرانه‌های جت استفاده می‌شود.

پیشرانه‌های جت و موتور ضربه‌ای اوج <sup>۲۰</sup> (AKM) بخشی از زیرسیستم پیشرانه هستند. آنها با

<sup>۲۰</sup> Apogee Kick Motor (AKM)



شکل ۱۴.۱۷: بلوک دیاگرام کلی یک ماهواره ارتباطی.

دستورات از زمین کنترل می‌شوند.

زیرسیستم کنترل گرایش، تثبیت در مدار را فراهم و تغییرات جهت‌گیری را حس می‌کند. این جت رانشگرها برای انجام مانورهای تنظیم گرایش و ایستگاه نگه داشتن ماهواره هستند که ماهواره را در موقعیت مداری تعیین شده خود نگه می‌دارد.

### زیرسیستم‌های ارتباطی

محموله اصلی در ماهواره ارتباطی، البته، زیرسیستم ارتباطی است که عملکرد یک تکرار کننده یا ایستگاه رله را انجام می‌دهد. یک ایستگاه زمینی سیگنال‌هایی را که قرار است ارسال شوند، که به سیگنال‌های باند پایه معروف هستند، می‌گیرد و یک حامل مایکروویو را مدوله می‌کند. سه سیگنال رایج باند پایه عبارتند از صدا، ویدئو (تصویر) و داده‌های کامپیوتري. سپس این سیگنال‌های آپلینک تقویت شده، در فرکانس انتقال یافته و مجدداً در دان لینک به یک یا چند ایستگاه زمینی ارسال می‌شوند. جزئی ای که این عملکرد را انجام می‌دهد به عنوان ترانسپوندر شناخته می‌شود. اکثر ماهواره‌های ارتباطی مدرن حداقل دارای ۱۲ ترانسپوندر هستند. ماهواره‌های پیشرفته‌تر حاوی موارد بسیار بیشتری هستند. این ترانسپوندرها در محدوده فرکانس مایکروویو کار می‌کنند.

هدف اصلی یک ترانسپوندر صرفاً تقویت سیگنال آپلینک و ارسال مجدد آن از طریق دانلینک است. در این نقش، ترانسپوندر عملکرد تقویت کننده را انجام می‌دهد. زمانی که سیگنال آپلینک به ماهواره می‌رسد، بسیار ضعیف است. بنابراین، قبل از ارسال مجدد بهایستگاه زمینی گیرنده باید تقویت شود.

با این حال، ترانسپوندرها چیزی بیش از تقویت کننده هستند. تقویت کننده مداری است که سیگنالی را می‌گیرد و ولتاژ یا سطح توان آن سیگنال را بدون تغییر فرکانس یا محتوای آن افزایش می‌دهد. بنابراین، چنین ترانسپوندرای به معنای واقعی کلمه از یک گیرنده و یک فرستنده تشکیل شده است که بر روی یک فرکانس کار می‌کنند. به دلیل مجاورت نزدیک فرستنده و گیرنده در ماهواره، توان خروجی فرستنده بالا برای دانلینک توسط آن گیرنده ماهواره‌ای دریافت می‌شود. به طور طبیعی، سیگنال آپلینک کاملاً محو می‌شود. علاوه بر این، خروجی فرستنده که به ورودی گیرنده باز می‌گردد باعث نوسان می‌شود.

برای جلوگیری از این مشکل، گیرنده و فرستنده در ترانسپوندر ماهواره‌ای طوری طراحی شده‌اند که در فرکانس‌های جداگانه کار کنند. به این ترتیب آنها با یکدیگر تداخل نخواهند کرد. فاصله فرکانس به اندازه عملی گسترده است تا اثر فرستنده حساسیت زدایی گیرنده را به حداقل برساند. در بسیاری از تکرارکننده‌ها، حتی اگر فرکانس‌های دریافت و ارسال متفاوت است، توان خروجی بالای فرستنده همچنان می‌تواند مدارهای ورودی گیرنده حساس را تحت تأثیر قرار دهد و در واقع، آنها را حساسیت‌زدایی کند و در دریافت سیگنال‌های ضعیف آپلینک حساسیت کمتری داشته باشد. هرچه فاصله فرکانس بین فرستنده و گیرنده بیشتر باشد، مشکل حساسیت زدایی کمتر است.

در ماهواره‌های معمولی، فرکانس‌های ورودی و خروجی با مقادیر زیادی از هم جدا می‌شوند. در فرکانس‌های باند C، سیگنال آپلینک در محدوده ۶ گیگاهرتز و سیگنال دانلینک در محدوده ۴ گیگاهرتز است. این فاصله ۲ گیگاهرتز برای رفع اکثر مشکلات کافی است. با این حال، برای اطمینان از حداقل حساسیت و تداخل بین سیگنال‌های آپلینک و دانلینک، ترانسپوندر حاوی فیلترهای متعددی است که نه تنها کانال‌سازی را ارائه می‌کنند، بلکه به حذف تداخل سیگنال‌های خارجی بدون توجه به منبع آنها کمک می‌کنند.

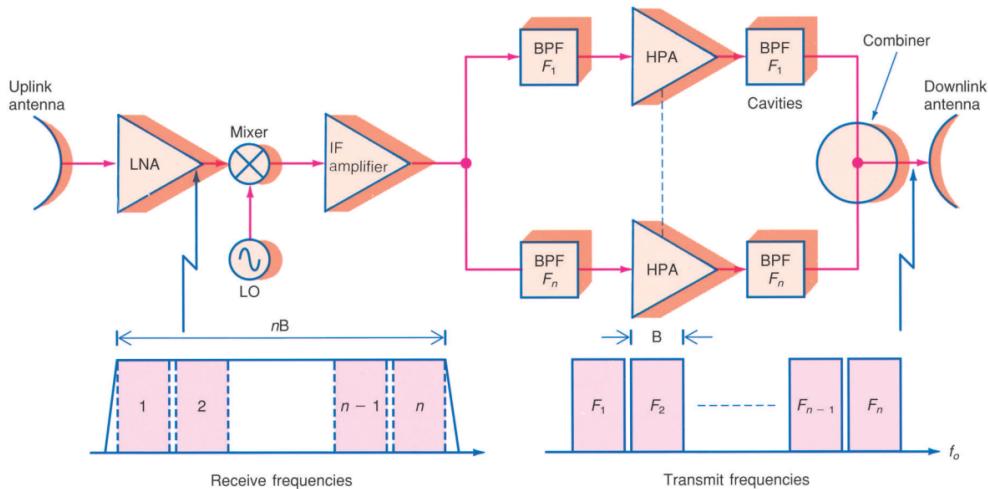
سه پیکربندی پایه ترانسپوندر در ماهواره‌های ارتباطی استفاده می‌شود. همه آنها اساساً تغییرات جزئی از یکدیگر هستند، اما هر کدام مزایا و معایب خود را دارند. اینها ترانسپوندرهای تک تبدیلی، دو تبدیلی و احیاکننده (ریجنریتیو) <sup>۲۱</sup> هستند.

یک ترانسپوندر تک تبدیلی از یک میکسر برای انتقال سیگنال آپلینک به فرکانس دانلینک استفاده می‌کند. یک ترانسپوندر با تبدیل دوگانه، انتقال فرکانس را در دو مرحله با دو میکسر انجام می‌دهد. دمودولاسیون اتفاق نمی‌افتد. پس از اینکه فرکانس به فرکانس متوسط پایین‌تری تبدیل شد، یک تکرارکننده احیاکننده، سیگنال آپلینک را تغییر شکل می‌دهد. سپس سیگنال باند پایه بازیابی شده برای مدوله کردن سیگنال دانلینک استفاده می‌شود.

**پیکربندی‌های چندکاناله:** تقریباً تمام ماهواره‌های ارتباطی مدرن حاوی چندین فرستنده هستند. این اجازه می‌دهد تا سیگنال‌های بیشتری دریافت و ارسال شوند. یک ماهواره ارتباطی تجاری معمولی حاوی ۱۲ ترانسپوندر است که در صورت استفاده مجدد از فرکانس، ۲۴ ترانسپوندر می‌شود. ماهواره‌های نظامی اغلب حاوی ترانسپوندرهای کمتری هستند، در حالی که ماهواره‌های تجاری جدیدتر و بزرگ‌تر دارای ۵۰ کanal هستند. هر ترانسپوندر در فرکانس جداگانه‌ای کار می‌کند، اما پهنای باند آن به اندازه

<sup>۲۱</sup> Regenerative

کافی گستردگی است که بتواند کانال‌های متعددی از صدا، ویدئو و اطلاعات دیجیتال را حمل کند. دو معماری چند کاناله اساسی در ماهواره‌های ارتباطی استفاده می‌شود. یکی یک سیستم پهن باند و دیگری یک سیستم کاملاً کانالیزه است.



شکل ۱۵.۱۷: تکرار کننده چند کاناله پهن باند.

**سیستم پهن باند:** همانطور که قبلاً اشاره شد، طیف ماهواره‌ای ارتباطی معمولی ۵۰۰ مگاهرتز عرض دارد. این معمولاً به ۱۲ کانال جداگانه تقسیم می‌شود که هر کدام دارای پهنای باند ۳۶ مگاهرتز هستند. فاصله فرکانس مرکزی بین کانال‌های مجاور ۴۰ مگاهرتز است، در نتیجه یک فاصله ۴ مگاهرتزی بین کانال‌ها برای به حداقل رساندن تداخل کانال‌های مجاور ایجاد می‌شود. برای جزئیات به شکل (۱۳.۱۷) مراجعه کنید. یک تکرار کننده پهن باند (شکل ۱۵.۱۷) برای دریافت هر گونه سیگнал ارسال شده در پهنای باند کل ۵۰۰ مگاهرتز طراحی شده است.

آنتن دریافت کننده مانند هر ترانسیپوندر به یک تقویت کننده کم نویز (LNA) متصل است. مدارهای هماهنگی با باند بسیار پهن استفاده می‌شود تا کل پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز را دریافت و تقویت کند. تقویت کننده کم نویز، معمولاً یک GaAs FET است که بهره را فراهم می‌کند. میکسر تمام سیگنال‌های دریافتی را به فرکانس‌های پایین‌تر معادل آنها انتقال می‌دهد. در یک ماهواره ارتباطی باند C، سیگنال‌های دریافتی بین ۵/۹۲۵ و ۶/۴۲۵ مگاهرتز قرار دارند. یک اسیلاتور محلی که در فرکانس ۲/۲۲۵ گیگاهرتز کار می‌کند برای انتقال ورودی‌ها به محدوده ۴/۲ تا ۳/۷ گیگاهرتز استفاده می‌شود. تقویت کننده پهنای باند به دنبال میکسر کل این طیف را تقویت می‌کند.

**فرآیند کanal سازی:** فرآیند کانال سازی در باقیمانده ترانسیپوندر رخ می‌دهد. به عنوان مثال، در یک ماهواره ۱۲ کاناله، از ۱۲ فیلتر میان‌گذر، که هر کدام در مرکز یکی از ۱۲ کانال قرار دارند، برای جداسازی همه سیگنال‌های دریافتی مختلف استفاده می‌شود. شکل (۱۳.۱۷) ۱۲ کانال اصلی را با فرکانس مرکزی آنها نشان می‌دهد که هر کدام دارای پهنای باند ۳۶ مگاهرتز هستند. فیلترهای میان‌گذر سیگنال‌های خروجی میکسر ناخواسته را جدا می‌کنند و فقط سیگنال‌های اختلاف را حفظ می‌کنند. سپس از تقویت کننده‌های توان بالا (HPA) برای افزایش سطح سیگنال استفاده می‌شود. اینها معمولاً لامپ‌های موج متحرک (TWT) هستند. خروجی هر تقویت کننده TWT دوباره فیلتر

می‌شود تا مشکلات اعوجاج هارمونیکی و مدولاسیون به حداقل برسد. این فیلترها معمولاً بخشی از یک مجموعه بزرگتر به نام مالتی‌پلکسر یا ترکیب کننده هستند. این یک مجموعه تشید کننده موجبر-حفره است که تمام سیگنال‌ها را برای اعمال به آن تن فیلتر کرده و ترکیب می‌کند.

منطقی است که فرض کنیم اگر کار دریافت را بتوان توسط مدارهای تقویت کننده و میکسر باند پهن انجام داد، پس باید بتوان کار انتقال را به همان روش ارائه کرد. با این حال، عموماً تولید توان خروجی بسیار بالا در چنین پهنه‌ای باند وسیعی امکان پذیر نیست. واقعیت این است که هیچ عنصر و مداری نمی‌تواند این کار را به خوبی انجام دهد. تقویت کننده‌های پرقدرت در اکثر ترانسپوندرها، لامپ‌های موجی متحرک هستند که ذاتاً پهنه‌ای باند محدودی دارند. آنها در محدوده کوچکی به خوبی عمل می‌کنند، اما نمی‌توانند با کل پهنه‌ای باند ۵۰° مگاهertz اختصاص داده شده به یک ماهواره مقابله کنند. بنابراین، برای دستیابی به سطح توان بالا، از فرآیند کانال سازی استفاده می‌شود.

### خوب است بدانید که:

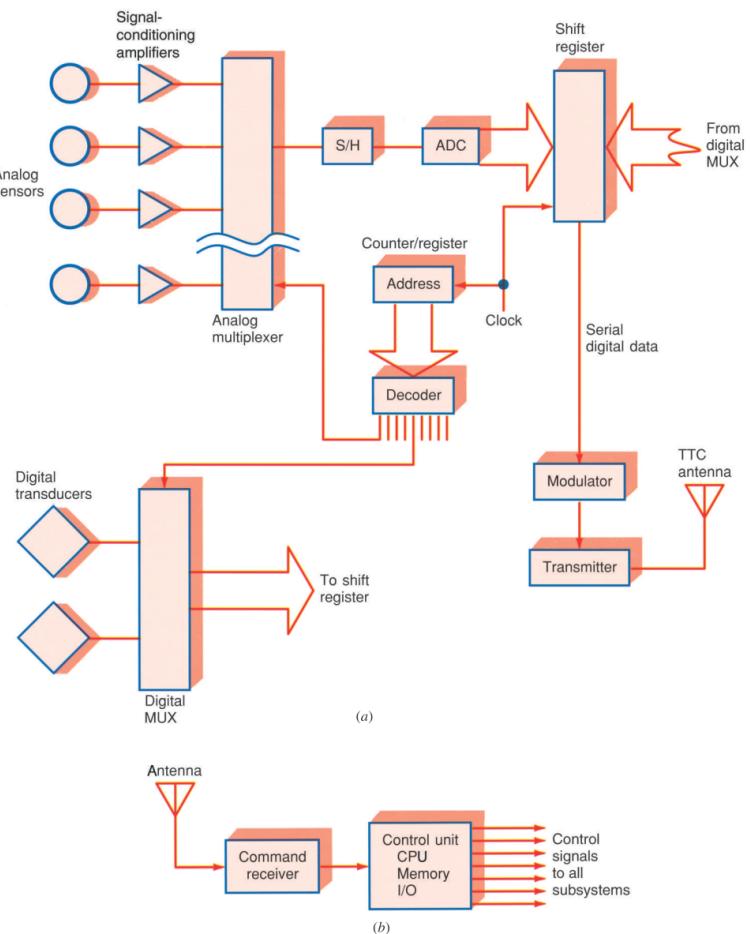
یک ماهواره ارتباطی معمولی شامل ۱۲ یا ۲۴ ترانسپوندر در صورت استفاده مجدد از فرکانس است. ماهواره‌های جدیدتر و بزرگتر ممکن است از ۵۰ کانال استفاده کنند.

### توان زیرسیستم

امروزه تقریباً هر ماهواره‌ای از پنل‌های خورشیدی برای منبع اصلی انرژی خود استفاده می‌کند. پانل‌های خورشیدی آرایه‌های بزرگی از فتوسل‌ها هستند که در مدارهای سری و موازی مختلف به یکدیگر متصل شده‌اند تا منبع قدرتمندی از جریان مستقیم ایجاد کنند. پنل‌های خورشیدی اولیه می‌توانستند صدها وات برق تولید کنند. امروزه پنل‌های خورشیدی عظیم قادر به تولید کیلووات‌زیادی هستند. یک نیاز کلیدی این است که صفحات خورشیدی همیشه به سمت خورشید باشند. دو پیکربندی اصلی ماهواره وجود دارد. در ماهواره‌های استوانه‌ای، سلول‌های خورشیدی کل واحد را احاطه کرده‌اند و بنابراین بخشی از آنها همیشه در معرض نور خورشید هستند. در ماهواره‌های تثبیت‌شده با بدنه یا سه محوره، پانل‌های خورشیدی منفرد با کنترل‌های مختلفی دستکاری می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که جهت‌گیری صحیح نسبت به خورشید دارد.

پنل‌های خورشیدی جریان مستقیمی تولید می‌کنند که برای کار با اجزای مختلف ماهواره استفاده می‌شود. با این حال، برق dc معمولاً برای شارژ باتری‌های ثانویه که به عنوان یک بافر عمل می‌کنند استفاده می‌شود. هنگامی که یک ماهواره در حالت کسوف قرار می‌گیرد یا زمانی که صفحات خورشیدی به درستی قرار نگرفته‌اند، باتری‌ها به طور موقت کنترل می‌شوند و ماهواره را فعال نگه می‌دارند. باتری‌ها به اندازه کافی بزرگ نیستند که ماهواره را برای مدت طولانی تعذیه کنند. آنها به عنوان یک سیستم پشتیبان برای کسوف، جهت‌گیری و تثبیت اولیه ماهواره یا شرایط اضطراری استفاده می‌شوند.

ولتاژ dc پایه پانل‌های خورشیدی به روش‌های مختلفی تنظیم می‌شود. به عنوان مثال، معمولاً قبل از استفاده از مدارهای الکترونیکی جداگانه از مدارهای تنظیم کننده ولتاژ عبور داده می‌شود. گاهی اوقات، ولتاژ‌های بالاتر از ولتاژ تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی نیز باید تولید شود. به عنوان مثال، تقویت کننده‌های TWT در اکثر فرستنده‌های ارتباطی به‌هزاران ولت برای عملکرد صحیح نیاز دارند. مبدل‌های dc-to-dc ویژه‌ای برای تبدیل ولتاژ dc پایین پنل‌های خورشیدی به ولتاژ dc بالاتر مورد نیاز TWT‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱۶.۱۷: (الف) بلوک دیاگرام کلی یک واحد تله متري ماهواره‌ای. (ب) گيرنده و كنترل کننده فرمان.

### زيرسيستم‌های تله متري، فرماندهی و كنترل

همه ماهواره‌ها دارای یک زیرسیستم تله متري، فرمان و کنترل (C & TC) هستند که به ایستگاه زمیني اجازه می‌دهد تا شرایط موجود در ماهواره را ناظارت و کنترل کند. سیستم تله متري برای گزارش وضعیت زیرسیستم‌های پردازنده به ایستگاه زمیني استفاده می‌شود (شکل ۱۶.۱۷). سیستم تله متري معمولاً از سنسورهای الکترونیکی مختلف برای اندازه‌گیری دما، سطوح تشيعش، ولتاژ منبع تغذیه و سایر مشخصات عملیاتی کلیدی تشکیل شده است. ممکن است از هر دو سنسور آنالوگ و دیجیتال استفاده شود. سنسورها توسط یک مالتی پلکسor انتخاب و سپس به سیگنال دیجیتال تبدیل می‌شوند که سپس فرستنده داخلی را مدوله می‌کند. این فرستنده اطلاعات تله متري را به ایستگاه زمیني ارسال و در آنجا ضبط و نظارت می‌شود. سپس با اين اطلاعات، ایستگاه زمیني وضعیت عملیاتی ماهواره را در هر زمان تعیین می‌کند.

یک سیستم فرمان و کنترل به ایستگاه زمیني اجازه می‌دهد تا ماهواره را کنترل کند. به طور معمول، ماهواره حاوی یک گيرنده فرمان است که سیگنال‌های کنترلی را از فرستنده ایستگاه زمیني

دریافت می‌کند. سیگنال‌های کنترلی از کدهای دیجیتال مختلف تشکیل شده اند که به ماهواره می‌گویند چه کاری انجام دهد. دستورات مختلف ممکن است یک توالی تله‌متري را آغاز کند، پیشانه‌ها را برای تصحیح گرایش فعال کنند، آتن را تغییر جهت دهنند، یا عملیات دیگری را مطابق با تجهیزات ویژه مخصوص ماموریت انجام دهنند. معمولاً سیگنال‌های کنترلی توسط یک رایانه داخلی پردازش می‌شوند.

اکثر ماهواره‌ها حاوی یک کامپیوتر دیجیتال کوچک هستند که معمولاً مبتنی بر ریزپردازنده است که به عنوان یک واحد کنترل مرکزی برای کل ماهواره عمل می‌کند. کامپیوتر حاوی یک رام داخلی با یک برنامه کنترل اصلی است که کامپیوتر را راه اندازی می‌کند و باعث می‌شود که تمام زیرسیستم‌های دیگر در صورت نیاز کار کنند. گیرنده فرمان و کنترل معمولاً کدهای دستوری را که از ایستگاه زمینی دریافت می‌کند، می‌گیرد و آنها را به کامپیوتر می‌فرستد، که سپس عمل مورد نظر را انجام می‌دهد.

همچنین ممکن است از کامپیوتر برای انجام محاسبات و تصمیمات لازم استفاده شود. اطلاعات جمع آوری شده از سیستم تله متري ممکن است ابتدا توسط کامپیوتر قبل از ارسال به ایستگاه زمینی پردازش شود. همچنین ممکن است از حافظه کامپیوتر برای ذخیره موقت داده‌ها قبل از پردازش یا قبل از انتقال مجدد به زمین استفاده شود. کامپیوتر همچنین ممکن است به عنوان تایмер یا ساعت رویداد عمل کند. بنابراین کامپیوتر یک عنصر کنترل همه کاره است که می‌تواند از طریق سیستم فرمان و کنترل برای انجام هر گونه عملکرد اضافی که ممکن است مورد نیاز باشد، دوباره برنامه ریزی شود، به ویژه آنها بای که به درستی توسط طراحان مأموریت پیش بینی نشده بودند.

### زیرسیستم‌های کاربردی

زیرسیستم برنامه‌های کاربردی از اجزای خاصی تشکیل شده است که ماهواره را قادر می‌سازد تا هدف مورد نظر خود را انجام دهد. برای یک ماهواره ارتباطی، این زیرسیستم از ترانسپوندرها تشکیل شده است.

ماهواره‌های رصدی مانند ماهواره‌هایی که برای جمع آوری اطلاعات یا پایش آب و هوا استفاده می‌شوند ممکن است از دوربین‌های تلویزیونی یا حسگرهای مادون قرمز برای تشخیص شرایط مختلف روی زمین و جو استفاده کنند. سپس این اطلاعات توسط فرستنده مخصوصی که برای این منظور طراحی شده است به زمین منتقل می‌شود. این زیرسیستم بسته به کاربرد، تنوع زیادی دارد. سیستم موقعیت‌یاب جهانی<sup>۲۲</sup> (GPS) برای ماهواره‌ها نمونه‌ای از یک زیرسیستم است که بار کاربردی آن برای ناوبری استفاده می‌شود. این سیستم در ادامه این فصل به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

## ۴.۱۷ ایستگاه‌های زمینی

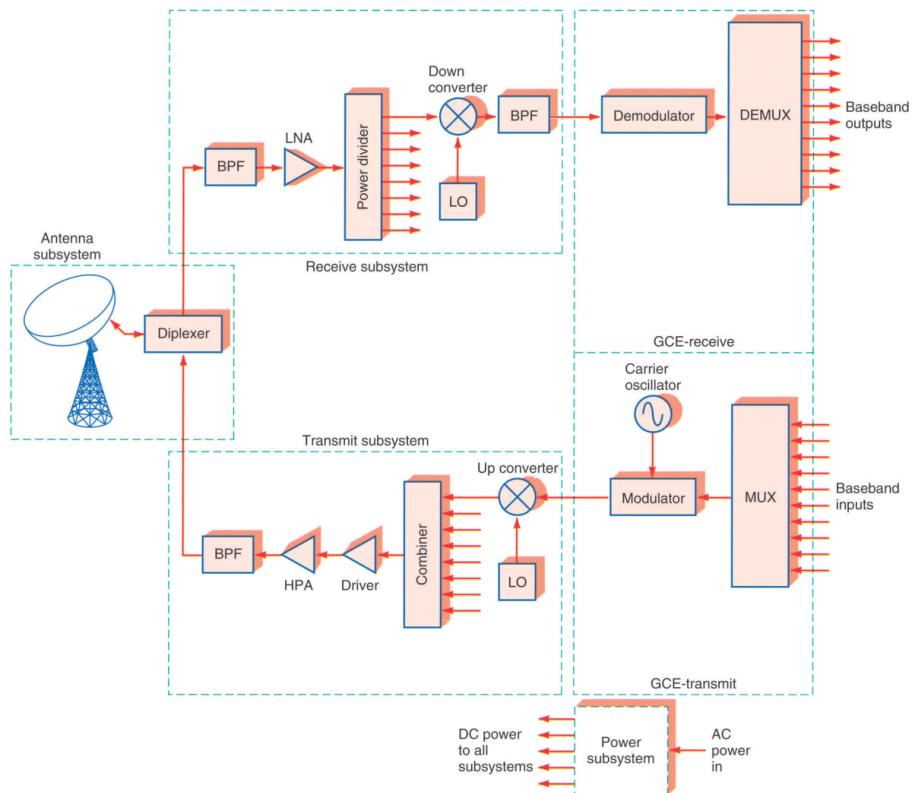
ایستگاه زمینی یا ایستگاه زمینی، پایگاه زمینی سیستم است. ایستگاه زمینی برای انجام مأموریت تعیین شده با ماهواره ارتباط برقرار می‌کند. ایستگاه زمینی ممکن است در تأسیسات کاربر نهایی قرار داشته باشد یا ممکن است از راه دور با پیوندهای ارتباطی زمینی بین ایستگاه زمینی و کاربر نهایی قرار گیرد. در روزهای اولیه سیستم‌های ماهواره‌ای، ایستگاه‌های زمینی معمولاً در نقاط دورافتاده کشور قرار می‌گرفتند. به دلیل آتن‌های بسیار زیاد و سایر نیازهای حیاتی، قرار دادن آنها در مرکز شهر یا مناطق حومه شهر عملی نبود. امروزه، ایستگاه‌های زمینی هنوز پیچیده هستند، اما آتن‌های آنها

<sup>۲۲</sup> Global Positioning System (GPS)

کوچکتر است. بسیاری از ایستگاه‌های زمینی اکنون در بالای ساختمان‌های بلند یا در سایر مناطق شهری که مستقیماً کاربر نهایی در آن ساکن است، قرار دارند. این مزیت حذف سیستم‌های ارتباطی پیچیده بین ایستگاه زمینی و کاربر نهایی را ارائه می‌دهد.

مانند ماهواره، ایستگاه زمینی از تعدادی زیرسیستم مختلف تشکیل شده است. در واقع، زیرسیستم‌ها معمولاً با زیرسیستم‌های موجود در ماهواره مطابقت دارند، اما بزرگ‌تر و بسیار پیچیده‌تر هستند. علاوه بر این، چندین زیرسیستم اضافی در ایستگاه‌های زمینی وجود دارد که در یک ماهواره مناسب نیستند. یک ایستگاه زمینی از زیرسیستم‌های اصلی تشکیل شده است: زیرسیستم آنتن، زیرسیستم دریافت، زیرسیستم فرستنده، زیرسیستم تجهیزات کنترل زمینی (GCE) و زیرسیستم قدرت (شکل ۱۷.۱۷). زیرسیستم‌های تله متري، کنترل و ابزار دقیق در اینجا نشان داده نشده‌اند.

زیرسیستم برق تمام توان را به تجهیزات دیگر می‌دهد. منبع اصلی برق خطوط استاندارد برق ac است. این زیرسیستم از منابع تغذیه استفاده می‌کند که انواع ولتاژ‌های DC را به تجهیزات دیگر توزیع می‌کند. زیرسیستم برق همچنین از منابع برق اضطراری مانند ژنراتورهای دیزل، باتری‌ها و اینورترها برای اطمینان از عملکرد مداوم در هنگام قطع برق تشکیل شده است.



شکل ۱۷.۱۷: بلوك دیاگرام کلی یک ایستگاه زمینی.

همانطور که در شکل (۱۷.۱۷) نشان داده شده است، زیرسیستم آنتن معمولاً شامل یک دیپلکسر است، به عنوان مثال، یک مجموعه موجبر که به فرستنده و گیرنده اجازه می‌دهد از یک آنتن استفاده

کنند. دیپلکسر یک فیلتر میان‌گذر (BPF) را در بخش گیرنده تغذیه و تضمین می‌کند که فقط فرکانس‌های دریافتی از مدارهای گیرنده حساس عبور کنند. این فیلتر میان‌گذر سیگنال ارسال پرقدرتی را که می‌تواند همزمان با دریافت اتفاق بیفتد را مسدود می‌کند. این از اضافه بار و آسیب به گیرنده جلوگیری می‌کند.

خروجی فیلتر میان‌گذر یک تقویت کننده کم نویز را تغذیه می‌کند که یک تقسیم کننده قدرت را راهی اندازد. این یک مجموعه موجبر مانند است که سیگنال دریافتی را به سیگنال‌های کوچکتر اما با قدرت مساوی تقسیم می‌کند. تقسیم کننده قدرت چندین مبدل پایین را تغذیه می‌کند. اینها میکسرهای استانداردی هستند که توسط نوسانگرهای محلی (LoS) تغذیه می‌شوند که سیگنال‌های دریافتی را به فرکانس متوسط، معمولاً ۷۰ مگاهرتز، انتقال می‌دهد. یک فیلتر میان‌گذر، انتخاب نوارهای جانبی (باندهای کناری) مناسب از مبدل پایین را تضمین می‌کند.

سیگنال IF حاوی داده‌ها سپس به تجهیزات دریافت GCE فرستاده می‌شود، در آنجا دمودوله و به دی‌مولتی‌پلکسر تغذیه می‌شود، جایی که سیگنال‌های اصلی در نهایت به دست می‌آیند. خروجی‌های دی‌مولتی‌پلکسر معمولاً باند پایه یا سیگنال‌های ارتباطی اصلی هستند. در سیستم‌های واقعی، ممکن است چندین سطح از دمودلاسیون و دی‌مولتی‌پلکسینگ برای به دست آوردن سیگنال‌های اصلی انجام شود. در زیرسیستم انتقال GCE، سیگنال‌های باند پایه مانند مکالمات تلفنی به یک مالتی‌پلکسر اعمال می‌شوند که اجازه می‌دهد چندین سیگنال در یک کانال منفرد منتقل شوند.

### زیرسیستم‌های آنتن

همه ایستگاه‌های زمینی دارای یک آنتن بشقابی سهموی نسبتاً بزرگ هستند که برای ارسال و دریافت سیگنال به یا از ماهواره استفاده می‌شود. ماهواره‌های اولیه دارای فرستنده‌های بسیار کم قدرت بودند و بنابراین سیگنال‌های دریافتی روی زمین بسیار کوچک بودند. برای دریافت سیگنال‌های ضعیف از ماهواره به آنتن‌های با بهره بالا نیاز بود. قطر بشقاب ایستگاه زمینی ۸۰ تا ۱۰۰ فوت یا بیشتر بود. آنتن‌هایی با این اندازه امروزه هنوز در برخی از سیستم‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و حتی از آنتن‌های بزرگتر برای کاوشگرهای اعماق فضا استفاده می‌شود.

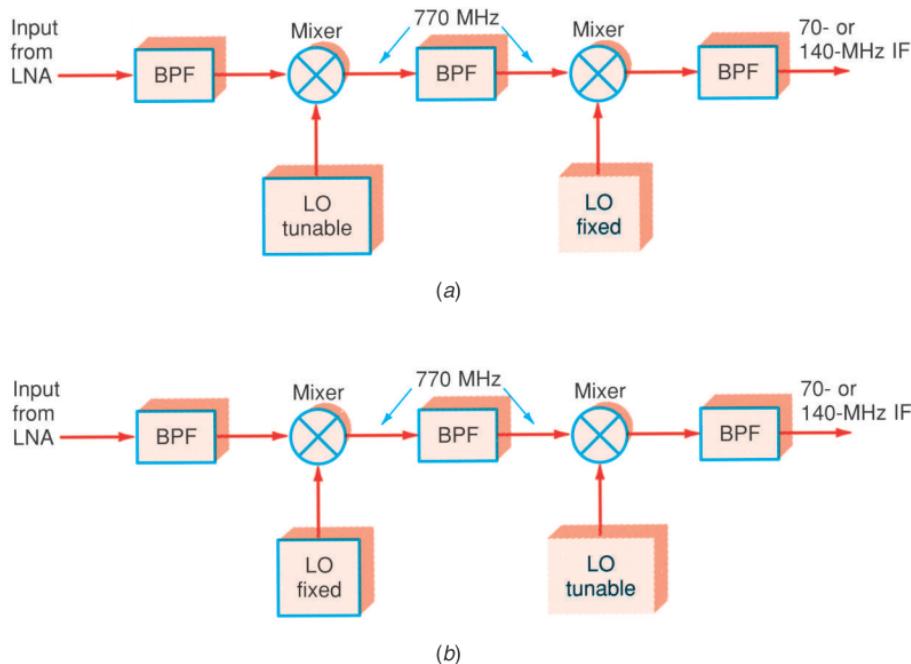
ماهواره‌های مدرن اکنون با قدرت بسیار بیشتری ارسال می‌کنند. همچنین پیشرفت‌هایی در قطعات گیرنده و مدارها ایجاد شده است. بهمین دلیل، آنتن‌های ایستگاه‌های زمینی کوچکتر اکنون کاربردی هستند. در برخی کاربردها می‌توان از آنتن‌هایی با قطر ۱۸ اینچی استفاده کرد. به طور معمول، از یک آنتن برای هر دو انتقال و دریافت استفاده می‌شود. دیپلکسر در آنتن برای چندین فرستنده و یا گیرنده استفاده می‌شود. در برخی از کاربردها، از یک آنتن جداگانه برای عملکردهای تله متري و کنترل استفاده می‌شود.

آن‌تن در ایستگاه زمینی نیز باید قابل توجیه باشد. یعنی باید بتوان آزیمoot و ارتفاع آن را طوری تنظیم کرد که آنتن به درستی با ماهواره هماهنگ شود. با این حال، ایستگاه‌های زمینی که از ماهواره‌های ژئوسنکرون پشتیبانی می‌کنند، عموماً می‌توانند در موقعیت خود ثابت شوند. تنظیمات آزیمoot و ارتفاع برای شناسایی اولیه ماهواره و اجازه تنظیمات جزئی در طول عمر ماهواره ضروری است.

### زیرسیستم‌های گیرنده

دانلینک زیرسیستم دریافت ایستگاه زمینی است. معمولاً از پیش تقویت کننده‌های بسیار کم نویز تشکیل شده است که سیگنال کوچک دریافتی از ماهواره را گرفته و آن را تا سطح مناسب برای پردازش بیشتر تقویت می‌کند. سپس سیگنال دمودوله و به سایر بخش‌های سیستم ارتباطی ارسال

می‌شود.



شکل ۱۸.۱۷: مبدل‌های دوگانه پایین آورنده فرکانس. (الف) مدار هماهنگی RF. (ب) مدار هماهنگی IF

**مدارهای گیرنده:** زیرسیستم گیرنده‌گی از LNA، مبدل‌های پایین و اجزای مرتبط تشکیل شده است. هدف زیرسیستم دریافت تقویت سیگنال ماهواره‌ای دالنلینک و انتقال آن به فرکانس میانی مناسب است. از آن نقطه، سیگنال IF دمودوله و در صورت لزوم دمولتی‌پلکس می‌شود تا سیگنال‌های باند اصلی تولید شود.

به بلوك دیاگرام کلی زیرسیستم گیرنده‌گی نشان داده شده در شکل (۱۸.۱۷) مراجعه کنید. شکل (۱۸.۱۷)(الف) یک مبدل پایین آورنده دوگانه معمولی را نشان می‌دهد. فیلتر میان‌گذر ورودی کل سیگنال ماهواره‌ای  $50^{\circ}$  مگاهرتز را عبور می‌دهد. این به همراه نوسان ساز محلی به میکسر تعذیه می‌شود. خروجی میکسر سیگنال IF است که معمولاً  $77^{\circ}$  مگاهرتز است. این از یک فیلتر میان‌گذر در آن فرکانس با پهنه‌ای باند  $36^{\circ}$  مگاهرتز عبور داده می‌شود.

سپس سیگنال به میکسر دیگری اعمال می‌شود. هنگامی که با فرکانس نوسان ساز محلی ترکیب می‌شود، خروجی میکسر مقدار استاندارد  $70^{\circ}$  مگاهرتز است. در برخی از سیستم‌ها از  $140^{\circ}$  IF مگاهرتز استفاده می‌شود. یک فیلتر باند  $36^{\circ}$  مگاهرتز که پس از عبور میکسر از کanal مورد نظر قرار می‌گیرد.

در مبدل‌های پایین آورنده دوگانه، از دو ترتیب مختلف تنظیم یا انتخاب کanal استفاده می‌شود. یکی به عنوان مدار هماهنگی RF، و دیگری به عنوان مدار هماهنگی IF نامیده می‌شود. در مدار هماهنگی RF، که در شکل (۱۸.۱۷)(الف) نشان داده شده است، اولین نوسان‌گر محلی قابل تنظیم است، به طور معمول، یک سینتی‌سایزر فرکانس در این کاربرد استفاده می‌شود. سینتی‌سایزر فرکانس یک سیگنال بسیار پایدار در افزایش فرکانس انتخاب شده تولید می‌کند. سینتی‌سایزر فرکانس روی

فرکانسی تنظیم شده است که کانال مورد نظر را انتخاب می‌کند. در تنظیم RF، دومین نوسان ساز محلی دارای فرکانس ثابتی برای رسیدن به تبدیل نهایی است. در تنظیم IF، اولین نوسان ساز محلی در فرکانس ثابت و دومی قابل تنظیم می‌شود. مجدداً، یک سینتی‌سایزر فرکانس معمولاً برای نوسان ساز محلی قابل تنظیم استفاده می‌شود [شکل (۱۸.۱۷)(b)].

### مثال ۳-۱۷

به شکل (۱۸.۱۷)(b) مراجعه کنید. اگر سیگنال دریافتی شده دانلینک ایستگاه زمینی در  $f_s = ۴۰۸$  گیگاهرتز باشد، برای دستیابی به IF‌های  $۷۷^\circ$  و  $۱۴^\circ$  مگاهرتز به‌چه فرکانس‌های نوسانگر محلی نیاز است؟

فرکانس‌های LO را کمتر از سیگنال‌های دریافتی فرض کنید. اگر اول:

$$f_{IF} = f_s - f_{LO}$$

$$f_{LO} = f_s - f_{IF} = ۴۰۸^\circ - ۷۷^\circ = ۳۳۱^\circ \text{ MHz}$$

دومین IF:

$$f_{LO} = f_s - f_{IF}, \quad f_s = ۷۷^\circ \text{ MHz}$$

$$f_{LO} = ۷۷^\circ - ۱۴^\circ = ۶۳^\circ \text{ MHz}$$

**تجهیزات کنترل زمینی گیرنده:** تجهیزات کنترل زمینی گیرنده<sup>۲۳</sup> (GCE) متشکل از یک یا چند راک (ردیف) از تجهیزات است که برای دمودولاتیون و دی‌مولتی‌پلکس کردن سیگنال‌های دریافتی استفاده می‌شود. مبدل‌های پایین کانال‌سازی اولیه را توسط ترانسپوندر ارائه می‌کنند و دمودلاتورها و تجهیزات مالتی‌پلکسینگ سیگنال IF  $۷۰^\circ$  مگاهرتز را به سیگنال‌های باند اصلی پردازش می‌کنند. سیگنال‌های میانی دیگری ممکن است بر اساس نیاز کاربرد توسعه داده شوند.

خروجی‌های مبدل‌های پایین آورنده معمولاً روی یک پچ پانل از کانکتورهای کابل کواکسیال در دسترس هستند. اینها از طریق کابل‌های کواکسیال به دمودلاتورها متصل می‌شوند. دمودلاتورها معمولاً در یک مژوی عمودی نازک و باریک بسته بندی می‌شوند که به شاسی در یک قفسه متصل می‌شود. بسیاری از این دمودلاتورها ارائه می‌شوند. همه آنها از این نظر یکسان هستند که سیگنال IF را کاهش می‌دهند. در سیستم‌های FDM، هر دمودلاتور یک آشکارساز FM است. متداول‌ترین نوع مورد استفاده، آشکار کننده حلقه قفل فاز است. اکیولایزر (تصحیح کننده) و تاکیدیزدایی (دی‌امفسایزر) نیز در دمودلاتور انجام می‌شود.

در سیستم‌هایی که از TDM استفاده می‌کنند، دمودلاتورها معمولاً برای آشکارسازی PSK چهار فاز یا تربیعی با سرعت  $۶^\circ$  یا  $۱۲^\circ$  مگابیت بر ثانیه استفاده می‌شوند. IF معمولاً  $۱۴^\circ$  مگاهرتز است. مجدداً، یک پچ پنل بین مبدل‌های پایین آورنده و دمودلاتورها اجازه می‌دهد تا اتصالات انعطاف‌پذیری را برای ارائه هر پیکربندی دلخواه فراهم کند. هنگامی که ویدئو مخابره می‌شود، خروجی

<sup>۲۳</sup>Ground Control Equipment (GCE)

دمدولاتور FM سیگنال ویدئویی باند پایه است، که سپس می‌تواند توسط کابل منتقل یا در صورت نیاز در محل استفاده شود.

اگر سیگنال‌های دریافتی تماس‌های تلفنی باشد، خروجی‌های دمدولاتور به‌مدارهای دی‌مولتی پلکس فرستاده می‌شوند. مجدداً، در بسیاری از سیستم‌ها یک پچ پنل بین خروجی‌های دمدولاتور و ورودی‌های دی‌مولتی پلکس برای ایجاد اتصالات مختلف در صورت لزوم ارائه می‌شود. در سیستم‌های FDM از مالتی‌پلکسینگ تقسیم فرکانس استاندارد استفاده می‌شود. این شامل دمدولاتورها و فیلترهای تک باند کناری (SSB) است. بسته به تعداد سیگنال‌های مالتی‌پلکس شده، ممکن است چندین سطح از فیلترهای کانال و دمدولاتورهای SSB برای تولید سیگنال‌های صوتی اصلی باند پایه مورد نیاز باشد. هنگامی که این کار انجام شد، سیگنال ممکن است در صورت لزوم از طریق شبکه استاندارد تلفن سیستم منتقل شود.

در سیستم‌های TDM، از تجهیزات جداسازی زمان تقسیم برای جمع‌آوری مجدد داده‌های ارسالی اصلی استفاده می‌شود. سیگنال‌های دیجیتال باند اصلی ممکن است در برخی موارد توسعه داده شوند، یا در موارد دیگر این سیگنال‌ها با مودم‌ها برای اتصال ایستگاه زمینی به کامپیوتری که داده‌ها را پردازش می‌کند، مورد نیاز است.

### **زیرسیستم‌های فرستنده**

آپلینک زیرسیستم فرستنده ایستگاه زمینی است. این شامل تمام تجهیزات الکترونیکی است که سیگنال را برای ارسال می‌گیرد، آن را تقویت و به آنتن می‌فرستد. در یک سیستم ارتباطی، سیگنال‌هایی که به‌ماهواره ارسال می‌شود ممکن است برنامه‌های تلویزیونی، تماس‌های تلفنی متعدد یا داده‌های دیجیتال از یک کامپیوتر باشد. این سیگنال‌ها برای مدوله کردن سیگنال حامل مورد استفاده قرار می‌گیرند، که سپس توسط یک لامپ بزرگ موج متحرک یا تقویت کننده کلیسترون تقویت می‌شود. چنین تقویت کننده‌هایی معمولاً صدھا وات توان خروجی تولید می‌کنند. این از طریق موجبرهای مایکروویو، ترکیب کننده‌ها و دیپلکسراها به آنتن فرستاده می‌شود.

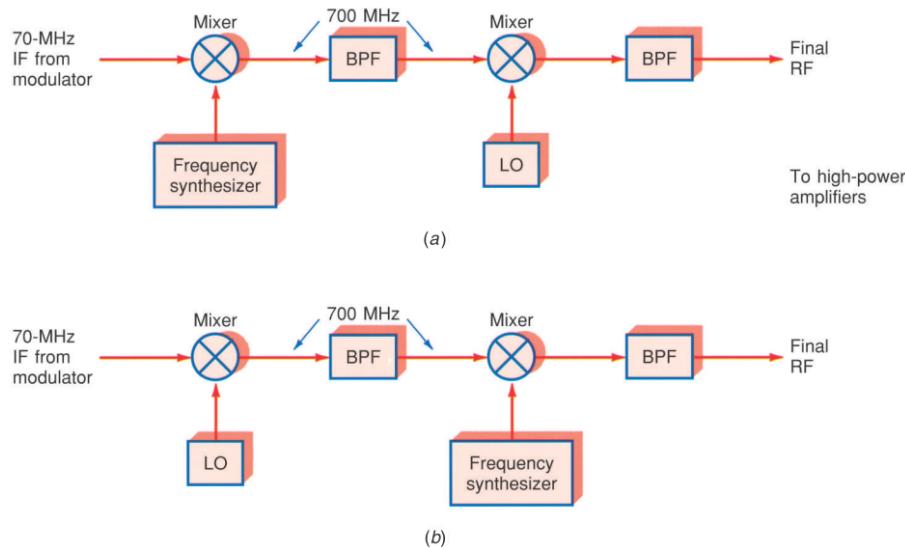
زیرسیستم انتقال از دو بخش اصلی، مبدل‌های بالا برنده و تقویت کننده‌های قدرت تشکیل شده است. مبدل‌های بالا برنده سیگنال‌های باند پایه مدوله شده را به حامل‌هایی تا فرکانس‌های مایکروویو نهایی آپلینک انتقال می‌دهد. تقویت کننده‌های قدرت سیگنال‌های پرقدرتی را تولید و به آنتن اعمال می‌شود. سیگنال حامل‌های مدوله شده در GCE فرستنده ایجاد می‌شوند.

**تجهیزات کنترل زمینی فرستنده** : زیرسیستم انتقال با سیگنال‌های باند پایه شروع می‌شود. اگر قرار باشد چندین سیگنال توسط یک فرستنده منفرد منتقل شوند، ابتدا به یک مالتی‌پلکس تغذیه می‌شوند. تماس‌های تلفنی مثال خوبی است. مالتی‌پلکس‌های فرکانس یا تقسیم زمان برای جمع آوری سیگنال ترکیبی استفاده می‌شود. سپس خروجی مالتی‌پلکس به‌مدولاتور تغذیه می‌شود. در سیستم‌های آنالوگ معمولاً از مدولاتور فرکانس پهن باند استفاده می‌شود. در فرکانس سیگنال حامل ۷۰ مگاهرتز با حداقل انحراف ۱۸ مگاهرتز کار می‌کند. سیگنال‌های ویدئویی به‌طور مستقیم به‌مدولاتور تغذیه می‌شوند. آنها مالتی‌پلکس نیستند.

در سیستم‌های دیجیتالی، سیگنال‌های آنالوگ ابتدا با مبدل‌های PCM دیجیتالی می‌شوند. سپس خروجی دیجیتال سریالی حاصل برای مدوله کردن مدولاتور QPSK استفاده می‌شود.

**مدارهای فرستنده** : هنگامی که سیگنال‌های IF مدوله شده تولید شدن، مبدل بالا برنده و تقویت قبل از انتقال انجام می‌شود. مبدل‌های بالا برنده به هر خروجی مدولاتور متصل می‌شوند. هر مبدل بالا برنده توسط یک سینتی سایزر فرکانس تغذیه می‌شود که امکان انتخاب فرکانس ارسال نهایی

را فراهم می‌کند. سینتی سایزرهای فرستنده‌ای را که در ماهواره استفاده خواهد کرد انتخاب می‌کند. سینتی سایزرهای معمولاً با افزایش یک کیلوهرتز قابل تنظیم هستند، به‌طوری که هر مبدل بالا برنده را می‌توان روی هر فرکانس کanal یا فرستنده تنظیم کرد.



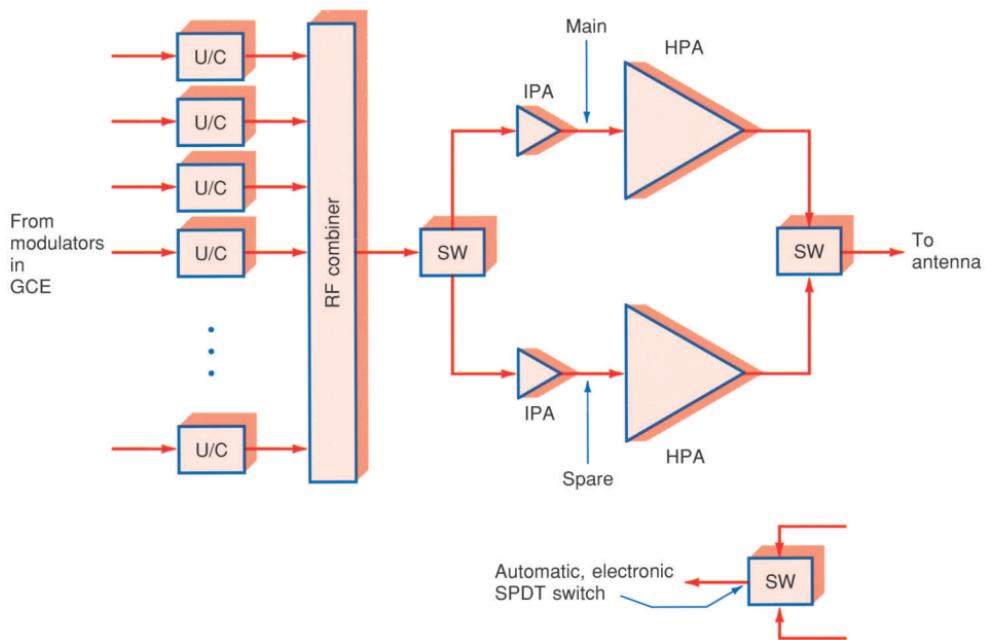
شکل ۱۹.۱۷: مدارهای مبدل بالا برنده. (الف) مدار هماهنگی IF. (ب) مدار هماهنگی RF.

مانند مبدل‌های پایین آورنده، اکثر مبدل‌های بالا برنده مدرن از تبدیل دوگانه استفاده می‌کنند. هر دو تنظیم RF و تنظیم IF استفاده می‌شود (شکل ۱۹.۱۷). با تنظیم IF، یک سیگنال حامل قابل تنظیم از یک سینتی سایزرهای فرکانس به‌میکسر اعمال می‌شود تا سیگنال مدوله شده را به‌سطح IF، معمولاً ۷۰۰ مگاهرتز، تبدیل کند. میکسر دیگری که توسط یک نوسان‌ساز محلی با فرکانس ثابت (LO) تغذیه می‌شود، سپس تبدیل نهایی را به فرکانس ارسالی انجام می‌دهد.

در مدار هماهنگی RF، میکسر توسط یک نوسان‌ساز محلی با فرکانس ثابت تغذیه شده، تبدیل اولیه به ۷۰۰ مگاهرتز را انجام می‌دهد. سپس یک سینتی سایزرهای فرکانس RF پیچیده که روی یک میکسر دوم اعمال می‌شود، تبدیل به فرکانس نهایی مایکروویو را فراهم می‌کند.

در برخی از سیستم‌ها، تمام سیگنال‌های IF در فرکانس ۷۰ یا ۱۴۰ مگاهرتز قبل از تبدیل بالا برنده ترکیب می‌شوند. در این سیستم از فرکانس‌های حامل مختلف بر روی هر یک از مدولاتورها استفاده می‌شود تا کanal سازی مورد نظر فراهم شود. هنگامی که توسط مبدل بالا برنده انتقال داده می‌شود، فرکانس‌های حامل به فرکانس‌های مرکزی ترانسیپوندر منفرد انتقال داده می‌شوند. یک مدار ترکیبی IF ویژه، تمام سیگنال‌ها را به صورت خطی مخلوط می‌کند و آنها را به یک مبدل بالا برنده اعمال می‌کند. این مبدل بالا برنده سیگنال نهایی مایکروویو را ایجاد می‌کند.

با این حال، در بیشتر سیستم‌ها، مبدل‌های بالا برنده جداگانه در هر کanal مدوله شده استفاده می‌شوند. در خروجی مبدل‌های بالا برنده، تمام سیگنال‌ها در یک ترکیب کننده مایکروویو ترکیب می‌شوند که یک سیگنال خروجی واحد تولید کرده و به تقویت کننده‌های نهایی تغذیه می‌شود. این آرایش در شکل ۲۰.۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۲۰.۱۷: یک ترکیب کننده RF و تقویت کننده‌های قدرت.

سیگнал ترکیبی نهایی برای ارسال به‌ماهواره در خروجی ترکیب کننده RF ظاهر می‌شود. اما قبل از ارسال به‌آنتن ابتدا باید به‌میزان قابل توجهی تقویت شود. این کار توسط تقویت کننده قدرت انجام می‌شود. تقویت کننده قدرت معمولاً با یک مرحله اولیه به‌نام تقویت کننده توان متوسط (IPA) شروع می‌شود. این راه اندازی کافی را برای تقویت کننده نهایی با توان بالا (HPA) فراهم می‌کند. همچنین در شکل (۲۰.۱۷) توجه داشته باشید که از تقویت کننده‌های اضافی استفاده شده است. IPA و HPA اصلی تا زمانی که خرابی رخ دهد استفاده می‌شود. سوئیچ‌ها (SW) به‌طور خودکار تقویت کننده اصلی معیوب را جدا کرده و یکی را برای اطمینان از عملکرد مداوم وصل می‌کنند. سپس سیگнал تقویت شده از طریق موجبر، دیپلکسر و فیلتر به آنتن ارسال می‌شود.

سه نوع تقویت کننده قدرت در ایستگاه‌های زمینی استفاده می‌شود: ترانزیستور، لامپ موج متحرک (TWT) و گلایسترون. تقویت کننده‌های قدرت ترانزیستوری در ایستگاه‌های زمینی کوچک و متوسط با توان کم استفاده می‌شود. توان تا  $50$  وات رایج است. به‌طور معمول، ترانزیستورهای اثر میدانی گالیم آرسناید قدرت (GaAs MESFET) یا ماسفت‌های سیلیکونی در این کاربرد استفاده می‌شود. دستگاه‌های جدیدتر GaAs MESFET و MOSFET، هنگامی که به صورت موازی کار می‌کنند، می‌توانند به توانی تا حدود  $100$  وات دست یابند. ترانزیستورهای جدیدتر GaN اکنون در حال گسترش هستند و در صورت استفاده از تنظیمات موازی می‌توانند به سطح توان  $100$  وات یا بیشتر دست یابند.

اکثر ایستگاه‌های زمینی با توان متوسط و بالا از TWT یا گلایسترون برای تقویت کننده‌های قدرت استفاده می‌کنند. دو محدوده توان معمولی وجود دارد، یکی در محدوده  $200$  تا  $400$  وات و دیگری در محدوده  $2$  تا  $3$  کیلووات. مقدار برق مصرفی به محل ایستگاه و اندازه آنتن آن بستگی

دارد. ویژگی‌های فرستنده ماهواره نیز بر توان مورد نیاز ایستگاه زمینی تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که پیشرفت‌هایی در تقویت کننده‌های کم‌نویز انجام شده است، و ماهواره‌ها قادر به حمل فرستنده‌های با قدرت بالاتر هستند، نیازهای برق فرستنده ایستگاه زمینی بهشت کاهش یافته است. این در مورد اندازه آتن نیز صادق است.

### زیرسیستم‌های تله‌متري و کنترل

تجهیزات تله‌متري (سنجهش از دور) شامل یک گیرنده و ضبط کننده‌ها و نشانگرهایی است که سیگنال‌های تله‌متري را نمایش می‌دهند. سیگنال ممکن است توسط آتن اصلی یا یک آتن تله‌متري جداگانه دریافت شود. یک گیرنده جداگانه در فرکانس متفاوت از کانال‌های ارتباطی برای اهداف دورسنجی استفاده می‌شود. سیگنال‌های تله‌متري از حسگرها و مبدل‌های مختلف در ماهواره بر روی یک سیگنال حامل منفرد مالتی‌پلکس شده و به‌ایستگاه زمینی ارسال می‌شود. گیرنده ایستگاه زمینی سیگنال‌های تله‌متري را در خروجی‌های مجزا دمودوله و دمولتیپلکس می‌کند. سپس این موارد ثبت شده و به‌نشانگرهای مختلف مانند ضبط کننده نمودار نواری، میتر (سنجهشگر) و نمایشگر دیجیتالی ارسال می‌شود. سیگنال‌ها ممکن است به‌شکل دیجیتالی یا تبدیل به‌دیجیتال باشند. آنها را می‌توان به‌کامپیووتر فرستاد تا بتوان آنها را بیشتر پردازش و ذخیره کرد.

زیرسیستم کنترل به‌ایستگاه زمینی اجازه می‌دهد ماهواره را کنترل کند. این سیستم معمولاً حاوی یک کامپیووتر برای وارد کردن دستوراتی است که سیگنال حاملی را مدوله کرده، تقویت و به‌آتن اصلی تغذیه می‌شود. سیگنال‌های فرمان می‌توانند تنظیماتی را در وضعیت ماهواره انجام دهند، فرستنده‌ها را خاموش و روشن کنند، مدارهای اضافی را در صورت خرابی مدارهایی که پشتیبان‌گیری می‌کنند، فعال کنند و غیره.

در برخی از سیستم‌های ماهواره‌ای که ارتباط کارکرد اصلی نیست، برخی از ابزار دقیق ممکن است بخشی از ایستگاه زمینی باشند. ابزار دقیق یک اصطلاح کلی برای تمام تجهیزات الکترونیکی است که برای مقابله با اطلاعات ارسال شده به‌ایستگاه زمینی استفاده می‌شود. ممکن است از دمودلاتورها و دی‌مولتی‌پلکسرها، تقویت کننده‌ها، فیلترها، مبدل‌های A/D یا پردازنده‌های سیگنال تشکیل شده باشد. زیرسیستم ابزار دقیق در واقع توسعه سیستم تله‌متري است. علاوه بر انتقال اطلاعات در مورد خود ماهواره، سیستم تله‌متري ممکن است برای ارسال اطلاعات مربوط به‌آزمایش‌های علمی مختلف که بر روی ماهواره انجام می‌شود استفاده شود. در ماهواره‌هایی که برای نظرارت استفاده می‌شوند، ابزار دقیق ممکن است به‌گونه‌ای باشد که بتواند با عکس‌های ثابت دیجیتالی یا سیگنال‌های تلویزیونی ارسال شده از دوربین درون‌برد مقابله کند. بسته به ماموریت واقعی ماهواره، احتمالات گسترد است.

### ترمینال با روزنه بسیار کوچک

یک ترمینال با روزنه بسیار کوچک<sup>۲۴</sup> (VSAT) یک ایستگاه زمینی ماهواره‌ای کم‌هزینه است. در گذشته، بیشتر ایستگاه‌های زمینی بزرگ و گران بودند - به‌دلیل آتن‌های بشقابی بزرگ که اغلب مورد نیاز بودند، و به‌دلیل هزینه‌های تجهیزات گران بودند. اما در طول سال‌ها، پیشرفت‌های نیمه‌رسانا و سایر فناوری‌ها، اندازه و هزینه ایستگاه‌های زمینی را تا حد زیادی کاهش داده است. VSAT یک نتیجه است. این واحدها بسیار کوچک هستند و در بالا یا کنار ساختمان نصب می‌شوند و در برخی از نوع‌ها حتی در یک چمدان جای می‌گیرند. هزینه‌ها از چند هزار دلار تا بیش از ۶۰۰۰ دلار امروز متغیر است. با اتصال آنها به برق و توجیه آتن به‌سرعت می‌توان آنها را نصب کرد.

ماهواره VSAT یک ایستگاه زمینی کامل دریافت و ارسال است. بیشتر آتن‌هایی که در ایالات

<sup>۲۴</sup>Very Small-Aperture Terminal (VSAT)

متحده و اروپا استفاده می‌شوند در باند Ku کار می‌کنند، بنابراین آنتن‌ها بسیار کوچک هستند، معمولاً ۶٪ تا ۲/۴ متر (حدود ۲ تا ۸ فوت) قطر دارند. VSAT‌های فقط دریافت<sup>۲۵</sup> (RO) برای برنامه‌های خاص مانند پخش ویدئوی دیجیتالی (DVB) نیز در دسترس هستند. بیشتر وسایل الکترونیکی گیرنده در VSAT در محفظه نصب شده روی پشقاب قرار دارد. جعبه‌ای حاوی آنتن شیپوری تعذیه در نقطه کانونی بشقاب حاوی LNA، مبدل‌های پایین آورنده و دمدولاتورها در گیرنده و تقویت کننده قدرت انتقال است. در برخی از سیستم‌ها، این مدارها ممکن است در محفظه‌ای نزدیک پایه آنتن قرار گیرند تا اتصال کواکسیال بین آنتن بوقی تعذیه و واحد فرستنده-گیرنده را کوتاه نگه دارد. سپس یک کابل ورودی‌ها و خروجی‌های باند پایه (صدا، ویدئو یا داده) را به کامپیوتری که به سیستم متصل است اتصال دهنند.

raig ترین کاربرد VSAT‌ها امروزه در اتصال بسیاری از سایت‌های شرکت یا سازمان از راه دور به یک سیستم کامپیوتری اصلی است. به عنوان مثال، اکثر پمپ بنزین‌ها و فروشگاه‌های خردۀ فروشی از VSAT‌ها به عنوان پایانه‌های نقطه فروش<sup>۲۶</sup> (PoS) برای انتقال اطلاعات تراکنش‌های فروش به دفتر خانه، بررسی کارت‌های اعتباری مشتریان و انتقال داده‌های موجودی استفاده می‌کنند. شرکت‌هایی مانند Shell و Wal-Mart، Noble & Barnes که بلیط‌های بخت‌آزمایی می‌فروشنند از VSAT استفاده می‌کنند، همانطور که بیشتر باجه‌های عوارضی با استفاده از SpeedPass و سایر شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) وسایل نقلیه برای عوارض استفاده می‌کنند. شرکت‌های پخش کننده مانند فاکس، سی‌ان‌ان، ای‌بی‌سی، سی‌بی‌اس، ان‌بی‌سی و دیگران از VSAT برای جمع‌آوری و گزارش‌دهی اخبار از راه دور استفاده می‌کنند. یک مثال خوب از VSAT گیرنده ستاپ باکس است که توسط مصرف کنندگان برای دریافت تلویزیون مستقیم پخش ماهواره‌ای (DBS) استفاده می‌شود.

## ۵.۱۷ کاربردهای ماهواره

هر ماهواره برای انجام یک کار خاص طراحی شده است. کاربرد از پیش تعیین شده آن نوع تجهیزاتی را که باید در داخل دستگاه داشته باشد و مدار آن را مشخص می‌کند. اگرچه در این فصل تاکید بر ماهواره‌ها ارتباطی است، اما ماهواره‌ها برای اهداف رصدی مفید هستند.

### ماهواره‌های ارتباطی

کاربرد اصلی ماهواره‌ها امروزه در ارتباطات است. ماهواره‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شوند به عنوان ایستگاه‌های رله در آسمان عمل می‌کنند. آنها امکان ارتباط قابل اعتماد از راه دور را در سراسر جهان فراهم می‌کنند. آنها بسیاری از نیازهای ارتباطی رو به رشد صنعت و دولت را حل می‌کنند. کاربردهای ارتباطی همچنان بر این صنعت تسلط خواهند داشت.

استفاده اولیه از ماهواره‌های ارتباطی در خدمات تلفنی از راه دور است. ماهواره‌ها مکالمات از راه دور را نه تنها در داخل ایالات متحده بلکه در خارج از ایالات متحده نیز بسیار ساده می‌کنند.

یکی دیگر از کاربردهای مهم ارتباطی تلویزیون است. سال‌هاست که سیگنال‌های تلویزیونی برای توزیع مجدد از طریق ماهواره‌ها مخابره می‌شوند. بدلیل سیگنال‌های با فرکانس بسیار بالا که در انتقال تلویزیون دخیل هستند، سایر روش‌های انتقال از راه دور از نظر فنی یا اقتصادی امکان

<sup>۲۵</sup>Receive Only (RO)

<sup>۲۶</sup>Point of Sale (PoS)



پذیر نیستند. کابل‌های کواکسیال ویژه و کابل‌های فیبر نوری و همچنین لینک‌های رله مایکروویو برای انتقال سیگنال‌های تلویزیون از یک مکان به مکان دیگر استفاده شده است. با این حال، با ماهواره‌های ارتباطی امروزی، سیگنال‌های تلویزیونی را می‌توان به راحتی از یک مکان به مکان دیگر منتقل کرد. تمام شبکه‌های تلویزیونی بزرگ و شرکت‌های تلویزیون کابلی برای توزیع سیگنال تلویزیونی به ماهواره‌های ارتباطی متکی هستند.

**ماهواره پخش مستقیم (DBS)**: یکی از سرویس‌های تلویزیون ماهواره‌ای جدیدتر، ماهواره پخش مستقیم<sup>۲۷</sup> (DBS) است که از ماهواره‌های پوشش گسترده ایالات متحده با قدرت بالا برای انتقال

مستقیم خدمات تلویزیون کابلی به خانه‌های مجهز به گیرنده‌های ویژه DBS استفاده می‌کند. سیستم پخش مستقیم ماهواره‌ای (DBS) یک سیستم تمام دیجیتالی است. تکنیک‌های فشرده سازی دادها برای کاهش نرخ داده به منظور تولید تصویر و صدای با کیفیت بالا استفاده می‌شود. برای دریافت ویدیوی دیجیتالی از ماهواره، مصرف کننده باید مشترک یکی از دو شرکت تلویزیون ماهواره‌ای ایالات متحده، DISH یا DirecTV باشد و گیرنده و آنتن تلویزیون ماهواره‌ای را خریداری کند. این گیرنده‌های ماهواره‌ای در باند Ku کار می‌کنند. با استفاده از فرکانس‌های بالا و همچنین فرستنده‌های ماهواره‌ای با قدرت بالاتر، آنتن بشتابی می‌تواند بسیار کوچک باشد. قطر آنتن‌ها فقط ۱۸ اینچ است. چندین ماهواره DISH و DirecTV در مدار هستند. این سیستم‌های چند کاناله پوشش کاملی از شبکه‌های اصلی پخش و کابلی و کanal‌های برتر که عموماً توسط تلویزیون کابلی در خانه‌ها توزیع می‌شوند را پوشش می‌دهند.

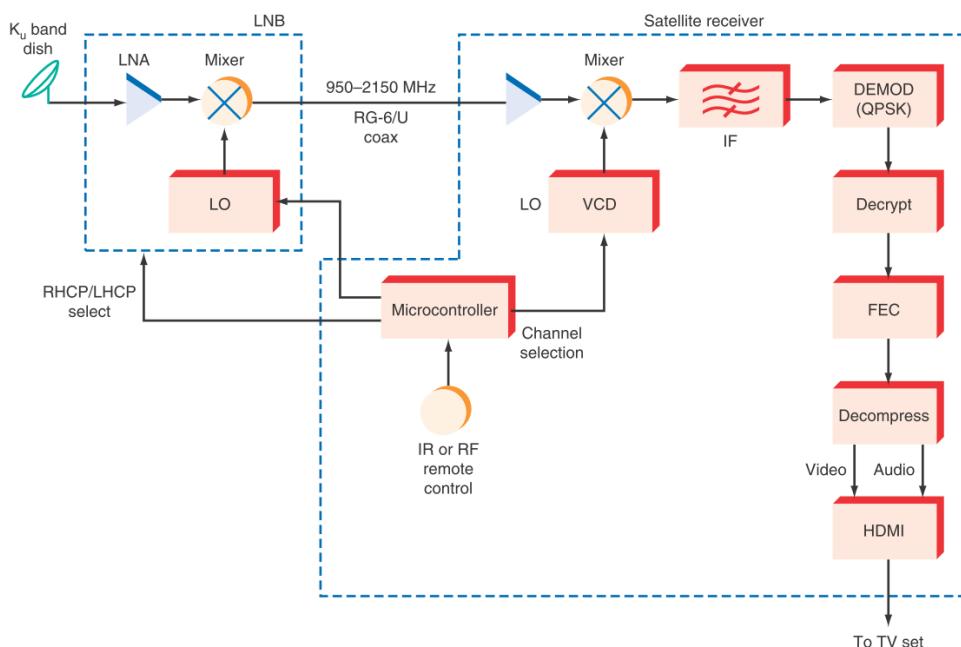
ویدئویی که قرار است ارسال شود، در صورتی که قبل از ارسال شود، ابتدا به شکل دیجیتالی در می‌آید. عبور بیت دیجیتالی برای تلویزیون با وضوح بالا امروزه می‌تواند به ۲۷۰ مگابیت در ثانیه برسد. برای کاهش نرخ داده و بهبود قابلیت اطمینان انتقال، سیستم DBS از ویدئوی دیجیتالی فشرده

<sup>۲۷</sup> Direct Broadcast Satellite (DBS)

استفاده می‌کند. سیستم‌های قدیمی‌تر از فشرده‌سازی MPEG2 استفاده می‌کنند، اما سیستم‌های جدیدتر از MPEG4 کارآمدتر استفاده می‌کنند. MPEG به معنی Motion Picture Experts Group است، که یک سازمان استاندارد است که استانداردهای فیلم‌ها و ویدیوها ایجاد می‌کند. فشرده‌سازی دیجیتالی سرعت واقعی ارسال را تا حد زیادی در محدوده ۲۰ تا ۳۰ مگابیت بر ثانیه کاهش می‌دهد. این به ماهواره اجزا می‌دهد تا حدود ۲۰۰ کانال را با استفاده از قالب TDM ارسال کند.

سپس سیگنال دیجیتال سریالی فشرده رمزگذاری می‌شود تا از رمزگشایی سیگنال‌ها توسط غیر مشترکین جلوگیری شود. سپس سیگنال‌ها در معرض تصحیح خطای پیشرو<sup>۲۱</sup> (FEC) قرار می‌گیرند. هر دو Viterbi FEC و Reed-Solomon برای اطمینان از دریافت قابل اعتماد و BER کم استفاده می‌شوند. سیگنال نهایی حامل آپلینک را با استفاده از QPSK مدوله می‌کند. ماهواره DBS از باند Ku با محدوده فرکانسی ۱۱ تا ۱۴ گیگاهرتز استفاده می‌کند. سیگنال‌های آپلینک معمولاً در محدوده ۱۴ تا ۱۴/۵ گیگاهرتز هستند و دانلینک معمولاً محدوده ۱۰/۹۵ تا ۱۲/۷۵ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد.

در نهایت، سیگنال دیجیتالی با استفاده از قطبش دایره‌ای از ماهواره به گیرندها منتقل می‌شود. ماهواره‌های DBS دارای آنتن‌های حلقوی قطبش راستگرد و چپگرد (LHCP و RHCP) هستند. با انتقال هر دو قطبش سیگنال، استفاده مجدد از فرکانس می‌تواند برای دو برابر کردن ظرفیت کanal ترکیب شود.



شکل ۲۱.۱۷: یک گیرنده DBS عمومی.

یک بلوك دیاگرام عمومی یک گیرنده دیجیتالی نمایشگر DBS در شکل (۲۱.۱۷) نشان داده شده

<sup>۲۱</sup>Forward Error Correction (FEC)

است. زیرسیستم گیرنده با آنتن و مبدل پایین آورنده بلوک کم نویز<sup>۲۹</sup> (LNB) آن شروع می‌شود. LNB شامل یک LNA، میکسر و نوسانگر محلی است که قسمت جلویی گیرنده را تشکیل می‌دهد. یک واحد یکپارچه شامل فید هورن (تغذیه آنتن بوقی) LNBF نامیده می‌شود. آنتن بوقی سیگنال باند Ku منعکس شده از بشقاب سه‌می را دریافت کرده و LNB بخش وسیعی از باند را به محدوده ۹۵° تا ۲۱۵° مگاهرتز تبدیل می‌کند. این رویکرد نیاز به ارسال سیگنال‌های باند Ku را از طریق کابل کواکسیال حذف می‌کند، که تضعیف بسیار زیادی خواهد داشت. سیگنال‌های کنترل از گیرنده به آنتن بین قطبش LHCP و RHCP انتخاب می‌شوند. یک سیگنال کنترلی از گیرنده همچنین می‌تواند فرکانس نوسانگر محلی را برای برخی از عملیات تغییر کانال تغییر دهد. سیگنال RF از آنتن و LNB توسط کابل کواکسیال به گیرنده ارسال می‌شود. نوع کابل مورد استفاده معمولاً RG-6/U است.

یک سیگنال دالینیک DBS معمولی در بخش ۱۲/۲ تا ۱۲/۷ گیگاهرتز از باند Ku رخ می‌دهد. هر فرستنده دارای پهنه‌ای باند تقریباً ۲۴ مگاهرتز است. سیگنال دیجیتال معمولاً با سرعت تقریباً ۲۷ مگابیت در ثانیه رخ می‌دهد. سیگنال به صورت مجموعه‌ای از بسته‌ها ارسال می‌شود که هر کدام دارای بخش‌های صوتی و تصویری، شناسایی کانال، نوع رمزگذاری و FEC هستند.

سیگنال دریافت شده از طریق کواکسیال از میکسر دیگر با یک نوسان ساز محلی فرکانس متغیر عبور داده می‌شود تا انتخاب کانال را فراهم کند. سیگنال دیجیتالی در IF دوم در فرکانس ۷۰ یا ۴۸۰ مگاهرتز سپس برای بازیابی سیگنال دیجیتالی ارسال شده اولیه، دمودوله می‌شود. سیگنال ابتدا رمزگشایی و از مدار تصحیح خطای جلوئی (FEC)<sup>۳۰</sup> عبور می‌کند. این مدار برای تشخیص خطاهای بیت در انتقال و تصحیح آنها در حین عبور طراحی شده است. هر بیتی که در طول فرآیند انتقال توسط نویز از دست می‌رود یا مبهم می‌شود، معمولاً برای اطمینان از سیگنال تقریباً کامل تصحیح می‌شود.

سپس سیگنال‌های تصحیح شده خطاب به مدارهای فشرده‌سازی صوتی و تصویری ارسال می‌شود. سپس آنها در حافظه دسترسی تصادفی (RAM)<sup>۳۱</sup> ذخیره و پس از آن سیگنال رمزگشایی می‌شود تا آن را به بخش‌های ویدئویی و صوتی جدا کند. سپس سیگنال‌های دیجیتالی فرمت شده از طریق یک کابل رابط چندرسانه‌ای با کیفیت بالا<sup>۳۲</sup> (HDMI) به گیرنده تلویزیون ارسال می‌شود. سیستم‌های قدیمی‌تر سیگنال‌های دیجیتال را به مبدل‌های A/D ارسال می‌کردند، که یک مدولاتور RF کانال ۳ یا ۴ را مدوله می‌کنند که سیگنال‌های فرمت آنالوگ قدیمی‌تر را به پایانه‌های آنتن تلویزیون می‌فرستند. اکثر گیرنده‌های DBS جدیدتر همچنین دارای یک ضبط کننده ویدیویی دیجیتالی (DVR)<sup>۳۳</sup> هستند که به مصرف کننده اجازه می‌دهد برنامه در حال مشاهده یا برنامه‌ای را در کانال دیگری ضبط کند. دستگاه DVR از هارد دیسک کامپیوتر برای ذخیره سازی استفاده می‌کند. این سیستم قابل برنامه ریزی است تا مصرف کننده بتواند نمایش‌های آینده را در هر کانالی در هر زمان ضبط کند. اکثر سیستم‌ها به آنتن اجازه می‌دهند تا چندین گیرنده را با اسپلیتر ( تقسیم کننده ) ارائه دهد. همچنین، برخی از گیرنده‌ها اجازه ضبط چندگانه از چندین کانال را می‌دهند. گیرنده‌ها همچنین ممکن است از طریق یک خط تلفن استاندارد یا اتصال اینترنت با ارائه دهنده ماهواره ارتباط برقرار کنند.

<sup>۲۹</sup> Low Noise Block (LNB)

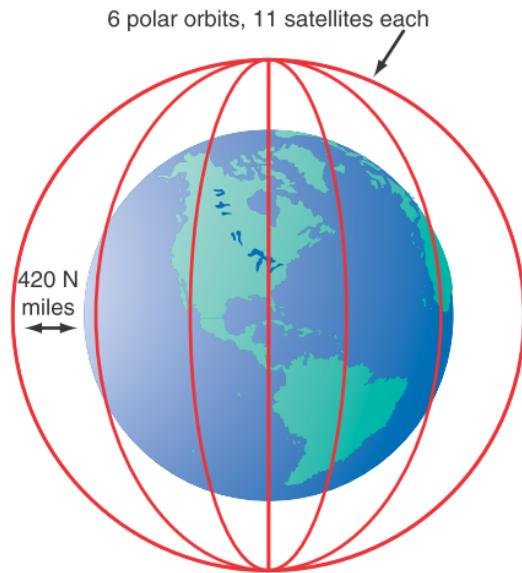
<sup>۳۰</sup> Forward Error Correction (FEC)

<sup>۳۱</sup> Random Access Memory (RAM)

<sup>۳۲</sup> High Definition Multimedia Interface (HDMI)

<sup>۳۳</sup> Digital Video Recorder (DVR)

**تلفن‌های همراه ماهواره‌ای :** امروزه یکی از کاربردهای رایج ماهواره، خدمات تلفن همراه مبتنی بر ماهواره است. سیستم‌های تلفن همراه فعلی به سلول‌های زمینی و کم مصرف متکی هستند تا به عنوان واسطه بین سیستم تلفن استاندارد و میلیون‌ها تلفن همراه گردشی عمل کنند. سیستم‌های ماهواره‌ای از ماهواره‌های مدار پایین برای انجام خدمات رله به سیستم تلفن اصلی یا برقراری ارتباط مستقیم بین هر دو تلفن همراه با استفاده از سیستم استفاده می‌کنند.



شکل ۲۲.۱۷: سیستم تلفن همراه ماهواره‌ای ایریدیوم.

یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین آنها سیستم ایریدیوم است. از صورت فلکی ۶۶ ماهواره در شش مدار قطبی با ۱۱ ماهواره در هر مدار ۴۲۰ مایلی بالای زمین استفاده می‌کند (شکل ۲۲.۱۷). ماهواره‌ها در باند L در محدوده فرکانسی  $1,6265 \text{ GHz}$  گیگاهرتز کار می‌کنند. ماهواره‌ها با ایستگاه‌های زمینی به نام دروازه<sup>۳۴</sup> ارتباط برقرار می‌کنند که سیستم را به شبکه تلفن عمومی سوئیچ شده متصل می‌کند. ماهواره‌ها نیز با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. هم ارتباط دروازه و هم ارتباط بین ماهواره‌ای روی فرکانس‌های باند Ka انجام می‌شود. این سیستم پوشش واقعاً جهانی بین هر دو تلفن همراه یا بین یکی از تلفن‌های همراه و هر تلفن دیگری روی زمین را فراهم می‌کند.

هر ماهواره در این سیستم به زمین ارسال می‌کند و ۴۸ پرتو نقطه‌ای ایجاد می‌کند که در واقع مناطق متحرک سلولی را تشکیل می‌دهند. پرتوهای نقطه‌ای جداسازی فضایی را فراهم می‌کنند. تا بهبیش از یک ماهواره اجازه دهد تا از فرکانس‌های مشابه برای ارتباطات همزمان استفاده کنند. استفاده مجدد از فرکانس باعث استفاده موثر از تعداد کمی از فرکانس‌ها می‌شود.

انتقال توسط تکنیک‌های دیجیتالی انجام می‌شود. فرم خاصی از QPSK برای مدولاسیون استفاده می‌شود. دسترسی چندگانه تقسیم زمانی (TDMA)، شکل خاصی از چندگانه تقسیم زمانی، برای ارائه کانال‌های صوتی متعدد در هر ماهواره استفاده می‌شود.

<sup>۳۴</sup> Gateways

علاوه بر ارتباطات صوتی، ایریدیوم قادر خواهد بود طیف کاملی از خدمات ارتباطی دیگر از جمله ارائه دهد.

۱. ارتباطات داده: ایمیل و سایر ارتباطات کامپیوتروی.

۲. فاکس: فاکس (ارسال عکس ساکن) دو طرفه.

۳. فراخوان(پیجینگ): فراخوان جهانی توسط گیرنده‌هایی با نمایشگر الفبایی در دو خط.

۴. خدمات تعیین رادیویی: زیرسیستمی که به ماهواره‌ها اجازه می‌دهد فرستنده-گیرنده‌ها را روی زمین پیدا کنند. انتظار می‌رود دقت در ۳ مایل باشد.

در کنار ایریدیوم، گلوبال استار بیشترین استفاده را دارد. این سیستم LEO از ۴۴ ماهواره در مدارهای شیبدار ۵۲ درجه و CDMA برای ارتباطات صوتی و داده استفاده می‌کند. یکی دیگر از سیستم‌های ماهواره‌ای در سراسر جهان INMARSAT است. یکی از قدیمی‌ترین شرکت‌های خدمات ماهواره‌ای، برای دهه‌ها به صنعت دریایی خدمت کرده است. آنها از ۱۱ ماهواره ژئوسنکرون برای ارائه پوشش جهانی استفاده می‌کنند. چندین شرکت کوچکتر وجود دارند که خدمات تلفن ماهواره‌ای را با استفاده از ماهواره‌های ژئوسنکرون ارائه می‌دهند.

تلفن‌های ماهواره‌ای گران هستند زیرا برای رسیدن به ماهواره‌ها در صدها یا هزاران مایل به قدرت بیشتری نیاز دارند. قدرت بالاتر همچنین نیاز به باتری‌های بزرگ‌تر دارد. تمامی تلفن‌های ماهواره‌ای آن‌تن بزرگی نیز دارند که باید به طور کامل گسترش یابد. و همه تماس‌ها باید در خارج از خانه انجام شود تا تلفن بتواند ماهواره را ببیند. تماس‌های داخلی کار نمی‌کند.

### رادیو ماهواره‌ای دیجیتالی

یکی از محبوب‌ترین گزینه‌ها در خودروها و کامیون‌های جدید، رادیو ماهواره‌ای دیجیتالی است. این سرویس صدها کanal موسیقی، اخبار، ورزش و رادیو مکالمه را عمدتاً به رادیوهای قابل حمل خودرو و خانگی ارائه می‌دهد. ایستگاه‌های رادیویی معمولی AM و FM فقط مسافت‌های کوتاه را پوشش می‌دهند و در معرض اثرات انتشار رادیویی محلی و حتی ملی هستند. همانطور که با ماشین یا کامیون سفر می‌کنید، ایستگاه‌های رادیویی هر ۴۰ مایل یا بیشتر می‌آیند و می‌روند. و اگر در مناطق روستایی ایالات متحده رانندگی می‌کنید، ممکن است هیچ ایستگاهی نداشته باشید. این در مورد رادیو ماهواره‌ای صدق نمی‌کند، زیرا در هر کجا ایالات متحده که هستید، ایستگاهی را که انتخاب می‌کنید به طور مداوم پوشش می‌دهد. این سیستم از تکنیک‌های انتقال دیجیتال استفاده می‌کند که صدای استریو با کیفیت بالا را تضمین می‌کند که در برابر نویز مصون است. علاوه بر این، فرمت دیجیتالی به ماهواره‌ها اجازه می‌دهد تا اطلاعات دیگری مانند عنوان آهنگ و هنرمند، نوع موسیقی، تبلیغات و سایر داده‌ها را که بر روی صفحه نمایش LCD نمایش داده می‌شوند، منتقل کنند.

دو سیستم از این قبیل در ایالات متحده عبارتند از Sirius Satellite Radio و XM Satellite Radio. این دو شرکت در ابتدا دو شرکت مجزا بودند، اما اکنون با هم ادغام شده‌اند تا Sirius Radio را تشکیل دهند. این دو سیستم ماهواره‌ای هنوز جدا و متفاوت هستند. رادیو ماهواره‌ای XM از سه ماهواره ژئوسنکرون به نام‌های Rock، Roll و Rhythm استفاده می‌کند که برای پوشش قاره ایالات متحده قرار دارند. سیستم رادیویی ماهواره‌ای سیریوس از سه ماهواره مدار بیضی شکل استفاده می‌کند. هر ماهواره تقریباً ۱۶ ساعت در روز بر فراز ایالات متحده ظاهر می‌شود. یک ماهواره همیشه برای پوشش در هر نقطه از ایالات متحده در دسترس است. هر دو سیستم XM

و Sirius از فشرده سازی صوتی دیجیتال و مالتیپلکسینگ تقسیم زمان برای پخش صدھا "کانال" مختلف استفاده می کنند. هر دو سیستم در باند ۲/۳ گیگاهرتز کار می کنند. ماهواره XM و Sirius برنامه های خود را مانند سایر ایستگاه های رادیویی تولید می کنند و سپس سیگنال های دیجیتالی خود را به ماهواره ها متصل می کنند. ماهواره ها پوشش مستمر وسایل نقلیه در جاده ها و خانه ها را در ایالات متحده فراهم می کنند.

گیرنده های مایکروویو مانند سایر رادیوهای خودرو در خودروها نصب می شوند، اما برای دریافت بهینه به آتن خارجی خاصی نیاز دارند. به طور معمول، واحد همچنین دارای قابلیت گیرنده AM و FM استاندارد است. این رادیوهای دیجیتال ماهواره ای به عنوان یک گزینه در اکثر خودروهای جدید موجود هستند و چندین تولید کننده رادیوهای اضافی را برای خودروهای موجود ارائه می دهند. واحدهای خانگی و قابل حمل نیز موجود است.

### ماهواره های نظارتی

یکی دیگر از کاربردهای ماهواره در نظارت یا رصد است. ماهواره ها از نقطه نظر خود در بالای آسمان می توانند به زمین نگاه کنند و آنچه را که می بینند برای اهداف مختلف به ایستگاه های زمینی منتقل کنند. به عنوان مثال از ماهواره های نظامی برای انجام عملیات شناسایی استفاده می شود. دوربین های داخل هوایپیما عکس هایی می گیرند که بعداً می توانند از ماهواره پرتاب شده و برای بازیابی به زمین بازگردانده شوند. دوربین های تلویزیونی می توانند عکس بگیرند و آنها را به عنوان سیگنال الکتریکی به زمین ارسال کنند. حسگرهای مادون قرمز منابع گرما را تشخیص می دهند. رادارهای کوچک می توانند عوارض زمین را مشخص کنند.

ماهواره های اطلاعاتی مطالبی درباره دشمنان و دشمنان احتمالی جمع آوری می کنند. آنها به منظور اثبات پایبندی سایر کشورها به معاهده های منوعیت آزمایش هسته ای و انبار موشک اجازه نظارت را می دهند.

انواع مختلفی از ماهواره های رصدی وجود دارد. یک نوع خاص ماهواره هواشناسی است. این ماهواره ها از پوشش ابر عکس می گیرند و تصاویری را به زمین ارسال می کنند که برای تعیین و پیش بینی آب و هوا استفاده می شود. ماهواره های ژئودتیک<sup>۳۵</sup> از زمین عکس می گیرند تا نقشه های دقیق تر و با محتواتری تهیه کنند.

## ۶.۱۷ سیستم های ماهواره ای ناوبری جهانی

سیستم جهانی ناوبری ماهواره ای<sup>۳۶</sup> (GNSS) به چندین سیستم ماهواره ای مورد استفاده برای ناوبری در سراسر جهان اشاره دارد. GNSS اصلی سیستم موقعیت یابی جهانی<sup>۳۷</sup> (GPS) ایالات متحده بود و هنوز هم بیشترین استفاده را در سراسر جهان دارد. کشورهای دیگر اکنون سیستم های جداگانه ای دارند. اینها بعداً در این بخش مورد بحث قرار خواهند گرفت. سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)، همچنین به عنوان Navstar شناخته می شود، یک سیستم ناوبری مبتنی بر ماهواره است که می تواند توسط هر کسی که گیرنده مناسبی دارد برای تعیین دقیق موقعیت خود بر روی زمین استفاده کند. مجموعه ای از ماهواره های GPS اطلاعات بسیار دقیق و رمزگذاری شده ای را ارسال می کند که

<sup>۳۵</sup>Geodetic satellites

<sup>۳۶</sup>Global Navigation Satellite System (GNSS)

<sup>۳۷</sup>Global Positioning System (GPS)



کمک‌های نقشه‌برداری GPS به اندازه‌ای کوچک هستند که می‌توان آن‌ها را روی داشبورد نصب کرد یا در بسته کوله‌پشتی قرار داد. آنها در بین قایقرانان نیز محبوب هستند.

به گیرنده اجازه می‌دهد مکان دقیق خود را بر حسب طول و عرض جغرافیایی روی زمین و همچنین ارتفاع از سطح دریا محاسبه کند.

جی پی اس (GPS) توسط نیروی هوایی ایالات متحده برای وزارت دفاع به عنوان یک سیستم ناوبری رادیویی جهانی پیوسته که تمام عناصر خدمات نظامی برای ناوبری دقیق از آن استفاده می‌کنند، توسعه داده شد. توسعه در سال ۱۹۷۳ آغاز شد و تا سال ۱۹۹۴، سیستم به طور کامل عملیاتی شد.

سیستم GPS یک سیستم ناوبری باز است. یعنی هر کسی که گیرنده GPS داشته باشد می‌تواند از آن استفاده کند. با این حال، این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که یک سیستم ناوبری پایه را با دقت افقی تا ۳ متر ارائه دهد. این دقت برای هر کاربر GPS در دسترس است. در نتیجه، GPS به تدریج جایگزین سیستم‌های نظامی قدیمی و سیستم‌های ناوبری زمینی غیرنظامی می‌شود.

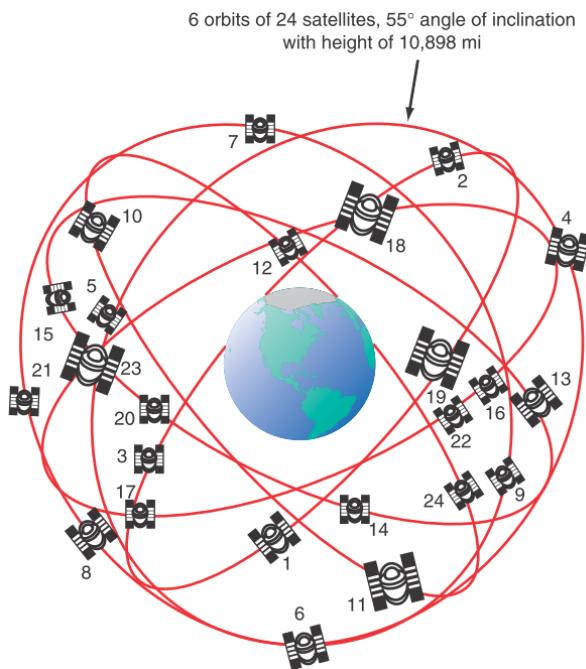
جی پی اس نمونه‌ای عالی از یک سیستم مدرن مبتنی بر ماهواره و تکنیک‌های ارتباطی با تکنولوژی بالا است که برای اجرای آن استفاده می‌شود. یادگیری در مورد GPS یک راه عالی برای گرد هم آوردن و نشان دادن مفاهیم پیچیده ارائه شده در این فصل و فصل‌های قبلی است.

جی پی اس از سه بخش اصلی تشکیل شده است: بخش فضایی، بخش کنترل و بخش کاربر.

### بخش فضایی

بخش فضایی صورت فلکی ماهواره‌ای است که در مدار بالای زمین با فرستنده‌هایی که اطلاعات زمان‌بندی بسیار دقیقی را به گیرنده‌های GPS روی زمین ارسال می‌کنند. گیرنده‌های خود در بخش کاربر ممکن است در زمین، دریا یا هوا استفاده شوند.

جی پی اس به طور کامل از ۲۴ ماهواره عملیاتی اصلی به اضافه چندین ماهواره یدکی فعال تشکیل شده است (شکل ۲۳.۱۷). ماهواره‌ها در شش مدار قرار گرفته‌اند که هر مدار شامل سه یا چهار ماهواره است. صفحات مداری با خط استوا زاویه ۵۵ درجه تشکیل می‌دهند. این ماهواره‌ها در ارتفاع ۱۰۸۹۸ مایل دریایی بالای زمین ( $20^{\circ} 00^{\prime}$  کیلومتر) در مدار قرار می‌گیرند. دوره مداری برای هر ماهواره تقریباً ۱۲ ساعت (۱۱ ساعت و ۵۸ دقیقه) است.



شکل ۲۳.۱۷: بخش فضای GPS.

هر یک از ماهواره‌های در حال گردش شامل چهار ساعت اتمی بسیار دقیق است. آنها پالس‌های زمان‌بندی دقیقی را ارائه می‌کنند که برای تولید یک کد باینتری منحصر به فرد، به عنوان مثال، یک کد شبیه تصادفی که ماهواره خاصی را در صورت‌های فلکی که به زمین مخابره می‌شود، شناسایی می‌کند. این ماهواره همچنین مجموعه‌ای از داده‌های رمزگذاری شده دیجیتالی را ارسال کرده که مدار دقیق آن را کاملاً مشخص می‌کند. اصطلاح جدول نجومی<sup>۳۸</sup> معمولاً با مشخص کردن مکان یک جرم آسمانی همراه است. جداول به گونه‌ای محاسبه شده‌اند که می‌توان مکان سیارات و سایر اجرام نجومی را در مکان‌ها و زمان‌های دقیق مشخص کرد. داده‌های جدول نجومی را می‌توان برای هر جسم در حال گردش مانند ماهواره نیز محاسبه کرد. این داده‌ها می‌گویند که ماهواره در هر زمان معین کجاست و مکان آن را می‌توان بر اساس مسیر زمینی ماهواره در اندازه‌گیری‌های دقیق طول و عرض جغرافیایی مشخص کرد. اطلاعات جدول نجومی کدگذاری شده از ماهواره مخابره و نشانی دقیق از موقعیت دقیق ماهواره بر روی زمین در هر زمان ارائه می‌دهد. برای اطمینان از صحت، داده‌های زودگذر ماهواره یک بار در روز توسط ایستگاه کنترل زمینی به روزرسانی می‌شود.

یک گیرنده GPS روی زمین برای دریافت سیگنال از سه، چهار یا چند ماهواره به طور همزمان طراحی شده است. گیرنده اطلاعات را رمزگشایی می‌کند و با استفاده از داده‌های زمان و جدول نجومی، موقعیت دقیق گیرنده را محاسبه می‌کند. گیرنده حاوی یک میکروکامپیوتر ممیز شناور با سرعت بالا است که محاسبات لازم را انجام می‌دهد. خروجی گیرنده یک نمایش دهدۀی از طول و عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع است. خواندن فقط از سه ماهواره برای اطلاعات طول و

<sup>۳۸</sup>Ephemeris

عرض جغرافیایی ضروری است. چهارمین قرائت ماهواره‌ای برای محاسبه ارتفاع مورد نیاز است. اکثر گیرنده‌های GPS در حال حاضر دارای یک نمایش نقشه دقیق بر روی LCD رنگی هستند. هر ماهواره GPS حامل دو فرستنده است که با هم سیگنال‌های زمان و مکان را به گیرنده‌های زمینی ارسال می‌کنند. یکی از فرستنده‌ها سیگنالی به نام  $L_1$  را روی  $1575/42$  مگاهرتز ارسال می‌کند. سیگنال ارسالی یک کد شبیه تصادفی<sup>۳۹</sup> (PRC) است که به آن کد اکتساب درشت (C/A)<sup>۴۰</sup> می‌گویند. با استفاده از BPSK با سرعت یک مگابیت در ثانیه ارسال می‌شود. هر  $10\text{--}23$  بیت تکرار می‌شود. کد C/A مانند کدهای شبیه تصادفی مورد استفاده در طیف گسترده است، زیرا از آنها برای تمایز بین سیگنال‌های ارسال شده در گیرنده استفاده می‌شود. همه  $24$  ماهواره GPS با یک فرکانس ارسال می‌کنند، اما PRC برای هر ماهواره منحصر به فرد است تا گیرنده بتواند آنها را از هم تشخیص دهد. هر ماهواره همچنین حاوی فرستنده دیگری با فرکانس  $1227/6$  مگاهرتز است. این سیگنال  $L_2$  نامیده می‌شود. این شامل PRC دیگری است که به کد P معروف است که با سرعت  $10$  مگابیت بر ثانیه ارسال می‌شود. کد P نیز قابل رمزگذاری است و به این شکل کد Y نامیده می‌شود. کدهای P و Y در ابتدا فقط برای استفاده توسط ارتش طراحی شده بودند، به طوری که گیرنده‌های GPS نظامی دقیق‌تر از گیرنده‌های غیرنظامی (یا دشمن) هستند که فقط سیگنال  $L_1$  را دریافت می‌کنند. این ویژگی در دسترس بودن انتخابی (SA) نامیده شد. ویژگی SA در اول ماه می  $2000$  کنار گذاشته شد. امروزه همه گیرنده‌ها هر دو سیگنال را دریافت می‌کنند، و همه گیرنده‌ها را قادر می‌سازد تا دقیق‌تر باشند که مکان را تا  $7/8$  متر در سطح اطمینان  $95$  درصد شناسایی کنند.

اطلاعات اولیه موجود در سیگنال  $L_1$  شامل داده‌های سالنامه، داده‌های جدول نجومی و تاریخ و زمان فعلی است. داده‌های سالنامه به طور موثر به هر گیرنده از جایی که هر ماهواره در طول روز است اطلاع می‌دهد. داده‌های سالنامه به گیرنده کمک می‌کند تا در ابتدا روی سیگنال قفل شود. داده‌های جدول نجومی شامل موقعیت و زمان دقیق هر ماهواره است. این داده‌هاست که گیرنده در محاسبات برای تعیین دقیق محل خود استفاده می‌کند. سیگنال زمان و تاریخ از ساعت‌های اتمی حمل شده توسط هر ماهواره می‌آید.

مانند همه ماهواره‌های دیگر، ماهواره‌های GPS شامل یک واحد  $TT\&C$  هستند که توسط ایستگاه‌های زمینی برای انتقال داده‌های به روز شده و برای اطمینان از قرار گرفتن ماهواره در موقعیت دقیق خود استفاده می‌شود. رانشگرهای کوچکی که از زمین شلیک می‌شوند به ایستگاه‌های زمینی اجازه می‌دهند که رانش جزئی را اصلاح کنند که باعث ایجاد خطأ در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

### بخش کنترل و ساعت‌های اتمی

بخش کنترل GPS به ایستگاه‌های مختلف زمینی اشاره دارد که ماهواره‌ها را رصد کرده و اطلاعات کنترل و به روز رسانی را ارائه می‌دهند. ایستگاه کنترل اصلی توسط نیروی هوایی ایالات متحده در کلرادو اسپرینگز اداره می‌شود. ایستگاه‌های نظارت و کنترل اضافی در هاوایی، کواچالین، دیگو گارسیا و جزایر آسنشن قرار دارند. این چهار ایستگاه نظارتی پرسنل ندارند. آنها دائمًا ماهواره‌ها را رصد کرده و از هر کدام اطلاعات برد(فاسله) را جمع آوری می‌کنند. موقعیت این ایستگاه‌های نظارتی به طور دقیق مشخص است. اطلاعات به ایستگاه کنترل اصلی در کلرادو بازگردانده می‌شود، جایی که تمام اطلاعات جمع آوری شده و داده‌های موقعیت هر ماهواره محاسبه می‌شود. سپس ایستگاه کنترل اصلی یک بار در روز، داده‌های زودگذر و ساعت جدید را به هر ماهواره بر روی باند S ارسال

<sup>۳۹</sup>PseudoRandom Code (PRC)

<sup>۴۰</sup>Coarse Acquisition (C/A)

می‌کند. این داده پیام‌های NAV یا پیام ناوبری را به روزرسانی می‌کند، یک سیگنال  $50\text{ bps}$  که حامل L1 را مدوله می‌کند و حاوی بیت‌هایی است که مدارهای ماهواره، اصلاحات ساعت و سایر ویژگی‌های سیستم را توصیف می‌کند.

داده‌های تله متري که به عنوان بخشی از پیام‌های NAV ارسال می‌شود نیز توسط ایستگاه کنترل زمینی دریافت می‌شود تا وضعیت سلامت و وضعیت هر گیرنده را پیگیری کند. سیستم کنترل باند S آپلینک به ایستگاه زمینی اجازه می‌دهد تا در صورت لزوم موقعیت ماهواره را اصلاح کند. تعیین موقعیت با پیشرانه‌های هیدرازین انجام می‌شود.

**ساعت‌های اتمی:** سیگنال‌های زمان‌بندی دقیق از ساعت‌های اتمی مشتق می‌شوند. اکثر سیستم‌های دیجیتالی اطلاعات زمان‌بندی خود را از یک نوسان‌ساز کریستالی دقیق به نام ساعت به دست می‌آورند. اسیلاتورهای کریستالی اگرچه دقیق و پایدار هستند، اما دقت و پایداری لازم برای GPS را ندارند. برای ارائه اطلاعات ناوبری دقیق، داده‌های زمان‌بندی باید بسیار دقیق باشند.

ساعت‌های اتمی نوسانگرهای الکترونیکی هستند که از انرژی نوسانی گاز برای ارائه فرکانس کاری پایدار استفاده می‌کنند. برخی از مواد شیمیایی دارای اتم‌هایی هستند که می‌توانند بین سطوح انرژی کم و زیاد در نوسان باشند. این فرکانس نوسان بسیار دقیق و پایدار است.

سزیم و روبيديم در ساعت‌های اتمی استفاده می‌شوند. در حالت گازی، آنها توسط انرژی الکترومغناطیسی در فرکانس نزدیک به نقطه نوسان خود تابش می‌کنند. برای سزیم، این  $9192631770$  هرتز است. برای روبيديم،  $6834682613$  هرتز است. این سیگنال توسط یک اسیلاتور کنترل شده با کریستال کوارتز تولید می‌شود که فرکانس آن را می‌توان با عمال یک ولتاژ کنترل به یک وارکتور تنظیم کرد. سیگنال نوسان گاز سزیم (یا روبيديم) شناسایی شده و به سیگنال کنترلی تبدیل می‌شود که نوسانگر را به کار می‌اندازد. یک آشکارساز خطأ تفاوت بین فرکانس کریستال و نوسانات سزیم را تعیین و ولتاژ کنترلی را برای تنظیم دقیق نوسانگر کریستالی تولید می‌کند. سپس خروجی نوسانگر کریستالی به عنوان سیگنال زمان‌بندی دقیق استفاده می‌شود. تقسیم‌کننده‌های فرکانس و حلقه‌های قفل شده فاز برای تولید سیگنال‌های فرکانس پایین‌تر برای استفاده ارائه شده‌اند. این سیگنال‌ها مولدهای کد C/A و P را کار می‌کنند.

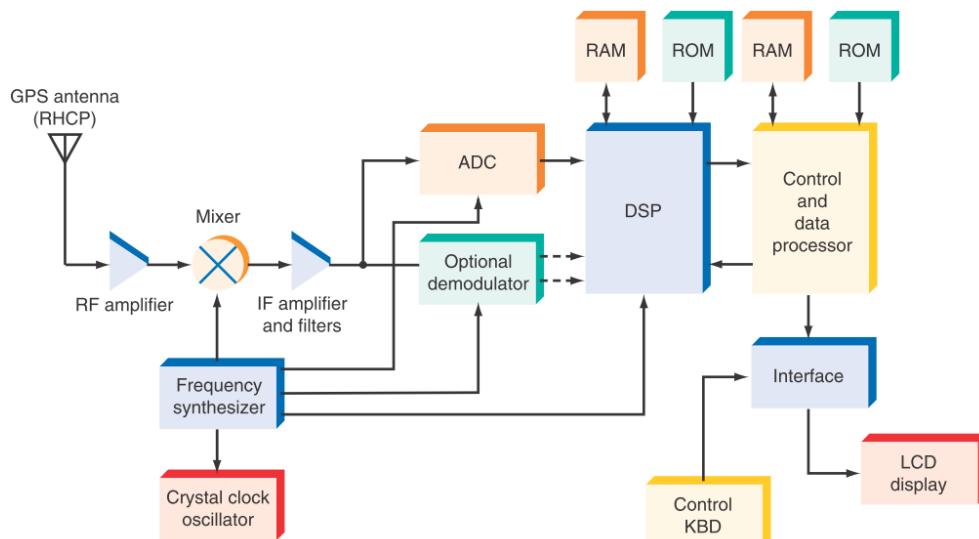
ماهواره GPS شامل دو ساعت سزیمی و دو ساعت روبيديومی است. در هر زمان فقط یک مورد استفاده می‌شود. ساعتها کاملاً فعال نگه داشته می‌شوند به طوری که اگر یکی از کار افتاد، می‌توان فوراً ساعت دیگری را روشن کرد.

## گیرنده‌های GPS

گیرنده GPS یک گیرنده مایکروویو ابرهترودانی پیچیده است که برای دریافت سیگنال‌های GPS، رمزگشایی آنها و سپس محاسبه مکان گیرنده طراحی شده است. خروجی معمولاً یک صفحه نمایش LCD است که اطلاعات مربوط به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع / یا نقشه منطقه را ارائه می‌دهد. انواع مختلفی از گیرنده‌های GPS وجود دارد. اکنون بیش از  $40$  سازنده انواع گیرنده GPS را می‌سازند. واحدهای بزرگتر و پیچیده‌تر در خودروهای نظامی استفاده می‌شوند. همچنین گیرنده‌های غیرنظامی پیچیده‌ای برای استفاده در انواع مختلف برنامه‌های کاربردی دقیق مانند نقشه برداری و مساحی وجود دارد. مدل‌های مختلف برای استفاده در هواپیما، کشتی و کامیون در دسترس هستند. واحدهای دستی نیز موجود است.

پرکاربردترین گیرنده جی‌پی‌اس، نوع محبوب قابل حمل دستی است که از یک ماشین حساب دستی بزرگ‌تر نیست. بیشتر مدارهای مورد استفاده در ساخت گیرنده GPS به شکل مدار مجتمع

کاهش یافته است، در نتیجه کل گیرنده اجراه می‌دهد تا در یک واحد بسیار کوچک و قابل حمل با باتری قرار گیرد. به خاطر داشته باشد که همه گیرنده‌های GPS نه تنها گیرنده‌های ارتباطی ابرهتروداین هستند، بلکه کامپیوترهای پیچیده‌ای نیز هستند. مقدار قابل توجهی از ریاضیات سطح بالا باید برای محاسبه موقعیت گیرنده از داده‌های دریافتی انجام شود.



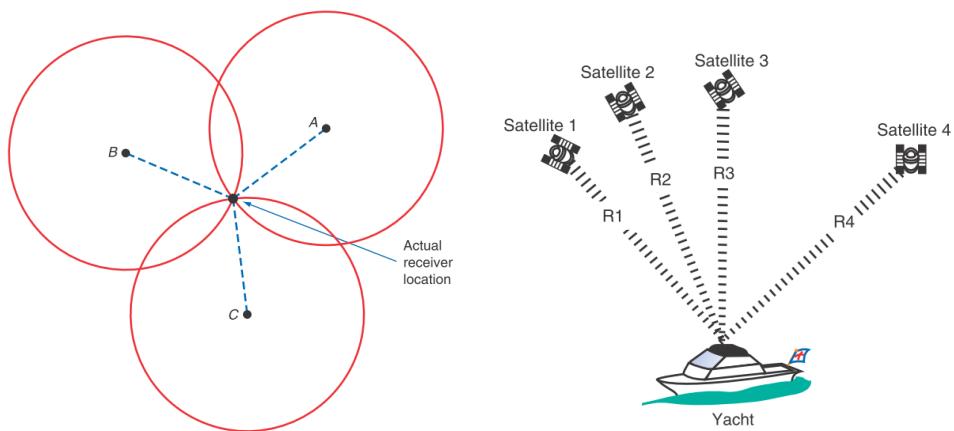
شکل ۲۴.۱۷: گیرنده GPS

شکل (۲۴.۱۷) بلوک دیاگرام کلی از یک گیرنده GPS است که نمونه‌ای از واحدهای دستی ساده‌تر و کم هزینه موجود در بازار است. گیرنده شامل آنتن، بخش RF/IF، نوسانگر ساعت استاندارد فرکانس و یک سینتی‌سایزر فرکانس است که سیگنال‌های نوسانگر محلی و همچنین سیگنال‌های ساعت و زمان‌بندی را برای بقیه گیرنده فراهم می‌کند.

بخش‌های دیگر گیرنده شامل یک پردازنده سیگنال دیجیتالی و یک میکرو کامپیوترا کنترلی به همراه رم (RAM) و رام (ROM) مربوط به آن است. مدارهای رابط اتصال به LCD یا نوع دیگری از نمایشگر را فراهم می‌کنند.

سیستم آنتن نوعی آنتن پچ است که بر روی برد مدار چاپی ساخته می‌شود. این برای دریافت سیگنال‌های قطبش دایره‌ای (RHCP) سمت راست از ماهواره‌های GPS طراحی شده است. در واحدهای دستی، آنتن بخشی از ساختار فیزیکی واحد است و مستقیماً به قسمت جلویی گیرنده متصل است. در برخی از گیرنده‌های جی‌پی‌اس بزرگ‌تر و پیچیده‌تر، آنتن یک واحد مجزا است و ممکن است در یک نقطه مشخص نصب شود و با کابل کواکسیال به گیرنده متصل شود.

گیرنده تنها با محاسبه اطلاعات موقعیت به دست آمده از چهار ماهواره می‌تواند موقعیت دقیق خود را تعیین کند. گیرنده سیگنال‌های چهار ماهواره را به طور همزمان دریافت می‌کند (شکل ۲۵.۱۷)،  $R_4$  تا  $R_1$  محدوده‌های ماهواره‌ای از قایق بادبانی است. از آنجایی که از طیف گسترده استفاده می‌شود، گیرنده همه سیگنال‌ها را به جز سیگنالی که کد شبیه آن وارد شده و برای به دست



شکل ۲۶.۱۷: نحوه عملکرد مثلث برای تعیین مکان گیرنده GPS.

آوردن قفل استفاده شده است، نادیده می‌گیرد.

### مثلث : GPS

تعیین مکان گیرنده GPS بر اساس اندازه گیری فاصله بین گیرنده و سه ماهواره است. فاصله با اندازه گیری زمان رسیدن سیگنال‌های ماهواره‌ای و سپس محاسبه فاصله بر اساس سرعت امواج رادیویی با فاکتورهای تصحیح تعیین می‌شود، شکل (۲۶.۱۷). سه ماهواره  $A$ ,  $B$  و  $C$  را فرض کنید. گیرنده ابتدا فاصله گیرنده تا ماهواره  $A$  را محاسبه می‌کند. توجه داشته باشید که فاصله  $A$  روی دایره‌ای است که در محدوده وسیعی از مکان‌های روی زمین قرار دارد. سپس گیرنده فاصله تا ماهواره  $B$  را محاسبه می‌کند. این فاصله در امتداد دایره در دو نقطه قطع می‌کنند. یکی از آن‌ها مکان دقیق است، اما تا زمانی که سومین مطالعه ماهواره‌ای را دریافت نکنیم، نمی‌دانیم کدام است. فاصله از ماهواره  $C$  تنها در یک نقطه با دایره‌های دیگر قطع می‌کند. این محل گیرنده است.

حالا هر دایره را به صورت ذهنی به یک کره تفسیر و در نظر گیرید. سپس می‌توانید بینید که چگونه سیگنال‌ها واقعاً با هم ترکیب می‌شوند. استفاده از ماهواره چهارم یک نقطه تقاطع چهارم را به دست می‌دهد که امكان تعیین ارتفاع را فراهم می‌کند.

هنگامی که گیرنده بر یک ماهواره قفل می‌شود، تمام اطلاعات از ماهواره استخراج می‌شود. سپس کد  $C/A$  به ماهواره دیگر در نمای سوئیچ می‌شود و این روند تکرار می‌شود. به عبارت دیگر، گیرنده یک عملیات مالتی‌پلکس زمانی را در چهار ماهواره در دید گیرنده انجام می‌دهد. داده‌ها از هر یک از چهار ماهواره استخراج شده و در حافظه گیرنده ذخیره می‌شوند. داده‌های سه ماهواره برای تعیین موقعیت گیرنده مورد نیاز است. اگر داده‌های ماهواره چهارم در دسترس باشد، می‌توان ارتفاع را محاسبه کرد. پس از جمع آوری تمام داده‌ها، کنترل پرسرعت و ریزپردازنده داده در گیرنده محاسبات نهایی را انجام می‌دهد. ریزپردازنده معمولاً یک واحد ۱۶ بیتی با قابلیت ممیز شناور است. اعداد ممیز شناور باید برای ارائه دقت محاسبه برای مکان دقیق استفاده شوند. محاسبات انجام شده توسط گیرنده در زیر آورده شده است. ابتدا گیرنده محدوده  $R_1$  تا  $R_4$

را برای هر یک از چهار ماهواره محاسبه می‌کند. اینها با اندازه‌گیری جابجایی زمانی بین پالس‌های دریافتی، که تاخیر در ارسال بین ماهواره و گیرنده است، بدست می‌آیند. اینها  $T_1$  تا  $T_4$  هستند که در زیر آورده شده است. ضرب آنها در سرعت نور  $c$  فاصله بین ماهواره و گیرنده را بر حسب متر بدست می‌دهد. این چهار مقدار محدوده در محاسبات نهایی استفاده می‌شود:

$$R_1 = d \times T_1$$

$$R_2 = d \times T_2$$

$$R_3 = d \times T_3$$

$$R_4 = d \times T_4$$

محاسبات محدوده پایه حل چهار معادله همزن است، همانطور که در شکل (۲۷.۱۷) نشان داده شده است. مقادیر  $X$ ,  $Y$  و  $Z$  از داده‌های NAV-msg ارسال شده توسط هر یک از ماهواره‌ها مشتق شده‌اند.  $C_B$  بایاس ساعت است. از آنجایی که بین فرکانس ساعت در گیرنده و ساعت در ماهواره‌ها تفاوت وجود دارد، تفاوتی بینام بایاس وجود خواهد داشت. با این حال، با فاکتور گیری خطای ساعت در معادلات، آن را حذف خواهد کرد.

هدف ریزپردازندۀ حل موقعیت کاربر است که در معادلات  $U_X$ ,  $U_Y$  و  $U_Z$  تعیین شده است. هنگامی که محاسبه انجام شد، ریزپردازندۀ آن اطلاعات را به داده‌های طول و عرض جغرافیایی تبدیل می‌کند که روی صفحه LCD نمایش داده می‌شود. نمایشگر گیرنده همچنین زمان روز را نشان می‌دهد که بسیار دقیق است زیرا از ساعت‌های اتمی موجود در ماهواره‌ها مشتق شده است.

Compute position coordinates  
(four equations with four unknowns)

$$(X_1 - U_X)^2 + (Y_1 - U_Y)^2 + (Z_1 - U_Z)^2 = (R_1 - C_B)^2$$

$$(X_2 - U_X)^2 + (Y_2 - U_Y)^2 + (Z_2 - U_Z)^2 = (R_2 - C_B)^2$$

$$(X_3 - U_X)^2 + (Y_3 - U_Y)^2 + (Z_3 - U_Z)^2 = (R_3 - C_B)^2$$

$$(X_4 - U_X)^2 + (Y_4 - U_Y)^2 + (Z_4 - U_Z)^2 = (R_4 - C_B)^2$$

Solve for position coordinates  
( $U_X$ ,  $U_Y$ ,  $U_Z$ ) and clock bias ( $C_B$ )

شکل ۲۷.۱۷: حل معادلات توسط گیرنده GPS.

### GPS پیشرفته

در طول سال‌ها، تعدادی از خدمات برای بهبود دقت GPS ایجاد شده است. این دقت ذاتی کمتر از ۱۰ متر است. با این حال، برای بسیاری، این دقت کافی نیست. خطاهای ناشی از تفاوت سرعت انتشار سیگنال در یونوسفر و تروپوسفر، تغییرات جزئی در موقعیت ماهواره، سیگنال‌های چند مسیره و حتی تفاوت‌های زمان‌بندی ناشی از رانش ساعت باعث از دست رفتن دقت موقعیت می‌شوند. یکی از خدمات پیشرفته GPS دیفرانسیلی (DGPS) است. این سرویس توسط گارد ساحلی ایالت متحده اجرا می‌شود و فقط در ایالات متحده، بیشتر در سواحل و در امتداد آبراههای اصلی در

DGPS از یک ایستگاه ثابت استفاده می‌کند که مکان دقیق آن مشخص است. این ایستگاه سپس تمام ماهواره‌ها را رصد می‌کند و داده‌های موقعیت مکانی ماهواره را با موقعیت شناخته شده آن مقایسه می‌کند. هر گونه خطا را در موقعیتی که ایجاد می‌کنند تعیین می‌کند و این خطاها را به گیرنده‌های GPS منتقل می‌کند، جایی که داده‌های خطا، داده‌های دریافتی را به روز می‌کند تا موقعیت دقیق‌تری ارائه دهد. سیگنال‌های خطا بر روی یک رادیو جداگانه ارسال می‌شوند، بنابراین یک گیرنده GPS نیز باید گیرنده‌ای برای سیگنال GPS برای ارائه اطلاعات تصحیح خطا داشته باشد. رادیوهای GPS مجهز به DGPS به طور گسترده در دسترس هستند، اما قیمت آنها کمی بیشتر از یک واحد استاندارد است. اگر می‌خواهید دقیق‌ترین اطلاعات موقعیت موجود با خطای کمتر از ۵ متر را داشته باشید، اگر به صورت محلی در دسترس باشد، از این سرویس استفاده می‌کنید.

یکی دیگر از GPS‌های پیشرفته سیستم افزایش گسترده<sup>۴۱</sup> (WAAS) نام دارد. این توسط اداره هوانوردی فدرال<sup>۴۲</sup> (FAA) و وزارت حمل و نقل<sup>۴۳</sup> (DoT) توسعه داده شد تا هواپیماها بتوانند از GPS برای فرود کنترل ابزار کور استفاده کنند. در حال حاضر این خطا حتی در مورد DGPS بسیار بزرگ است و نمی‌توان تصور کرد که یک هواپیما می‌تواند انتهای باند و انتهای آن را دقیقاً شناسایی کند.

### خوب است بدانید که:

جی‌پی‌اس برای اولین بار به طور گسترده در عملیات طوفان صحراء با موفقیت بسیار مورد استفاده قرار گرفت. کاربردهای غیرنظمی این سیستم شامل دستگاه‌های ناوبری، نقشه برداری، مساحی و رדיابی و سایل نقلیه است.

## کاربردهای GPS

کاربرد اصلی GPS ناوبری نظامی و اعمال مربوطه است. GPS توسط همه سرویس‌ها برای کشتی‌ها، هواپیماهای مختلف و نیروهای زمینی استفاده می‌شود. استفاده‌های غیرنظمی نیز بهدلیل در دسترس بودن بسیاری از گیرنده‌های قابل حمل کم هزینه به طور چشمگیری افزایش یافته است. در واقع اکنون امکان خرید یک گیرنده دستی با قیمت کمتر از ۲۰۰ دلار وجود دارد. بیشتر کاربردهای غیرنظمی شامل ناوبری است که معمولاً مربوط به دریابی یا هوانوردی است. کوهنوردان و کمپینگ‌ها و سایر علاقهمندان به‌ورزش در فضای باز نیز از GPS استفاده می‌کنند.

کاربردهای تجاری شامل نقشه برداری، مساحی و ساخت و ساز است. مکان وسیله نقلیه یک کاربرد رو به رشد برای شرکت‌های حمل و نقل و حمل و نقل، تاکسی، اتوبوس و قطار است. پلیس، آتش نشانی، آمبولانس و خدمات جنگلی نیز از GPS استفاده می‌کنند. سیستم‌های ناوبری مبتنی بر GPS در حال حاضر به طور گسترده به عنوان لوازم جانبی در خودروها برای ارائه بازخوانی مداوم مکان فعلی وسیله نقلیه در دسترس هستند.

جی‌پی‌اس هر روز در حال ساخت کاربردهای جدید است. به عنوان مثال، برای پیگیری ناوگان کامیون‌ها استفاده می‌شود. یک گیرنده GPS در هر کامیون داده‌های موقعیت خود را از طریق یک اتصال بی‌سیم، مانند یک شبکه محلی بی‌سیم یا تلفن همراه، منتقل می‌کند. اکثر گوشی‌های

<sup>۴۱</sup>Wide Area Augmentation System (WAAS)

<sup>۴۲</sup>Federal Aviation Administration (FAA)

<sup>۴۳</sup>Department of Transportation (DoT)



یک سرگرد نیروی هوایی از ماهواره‌های سیستم موقعیت‌یاب جهانی استفاده می‌کند.

هوشمند دارای یک گیرنده GPS هستند که در صورت برقراری تماس با ۹۱۱ به طور خودکار موقعیت مکانی کاربر را گزارش می‌دهد. این ویژگی که سرویس ۹۱۱ پیشرفته (E911) نامیده می‌شود، یکی از ویژگی‌هایی است که همه شرکت‌های تلفن همراه باید ارائه دهند. در حالی که بیشتر خدمات مبتنی بر مکان برای تماس‌های ۹۱۱ استفاده می‌شود، در نهایت ممکن است خدمات مکان‌یابی دیگری برای تلفن‌های همراه توسعه یابد. همه تلفن‌های همراه از GPS استفاده نمی‌کنند. برخی از روش‌های مثلث‌بندی منحصر به فرد مبتنی بر اینکه تلفن همراه می‌تواند با حداقل سه سایت تلفن همراه در تماس باشد، استفاده می‌کنند. در نهایت، گیرنده‌های GPS آنقدر ارزان و دقیق هستند که به سرگرمی جدیدی به نام geocaching منجر شده‌اند. در این ورزش، یک تیم یک آیتم یا "گنج" را پنهان می‌کند و سپس مختصاتی را به تیم دیگر می‌دهد تا گنج را در یک زمان معین پیدا کنند.

### GNSS در سراسر جهان

موفقیت GPS سایر کشورها را تشویق کرد تا GNSS خود را بسازند. در طول سال‌ها، چندین سیستم مشابه به کار گرفته شده‌اند. بزرگترین آنها گلوناس<sup>۴۴</sup> روسیه است. در ابتدا در سال ۱۹۹۵ فعال شد و در سال ۲۰۱۱ به روز و بازسازی شد. همچنین از ۲۴ ماهواره در ارتفاع ۱۱۸۹۰ مایلی استفاده می‌کند. فرکانس‌های عملیاتی ۱/۶۰۰۲ گیگاهرتز و ۱/۲۴۶ گیگاهرتز است.

چین در حال ساخت سیستم خود به نام قطب نما است. این گسترش سیستم منطقه‌ای خود به نام Beidou است. از ۳۰ ماهواره در ارتفاع ۱۳۱۴۰ مایلی و ۵ ماهواره تشکیل شده است. همچنین از فرکانس‌های باند L<sub>۱</sub>، ۱/۰۵۶۱۰۹۸، ۱/۰۵۸۹۷۴۲، ۱/۰۷۱۴ و ۱/۰۲۸۵۲ گیگاهرتز استفاده می‌کند.

اتحادیه اروپا (EU) در حال ساختن سیستم خود به نام گالیله است. در حال حاضر تنها چند ماهواره فعال هستند، اما برنامه‌ها در مجموع ۳۰ ماهواره در ارتفاع ۱۴۴۳۰ مایلی را در نظر می‌گیرند. انتظار می‌رود این سیستم دقیق‌تر از GPS باشد. برنامه این است که گالیله تا سال ۲۰۲۰ به طور کامل عملیاتی شود. از فرکانس‌های باند L<sub>۱</sub>، ۱/۰۲۱۵ – ۱/۰۱۶۴ – ۱/۰۲۶ گیگاهرتز و ۱/۰۵۹۲ – ۱/۰۵۵۹ گیگاهرتز استفاده می‌کند.

<sup>۴۴</sup>GLONASS

هند همچنین GNSS خود را به نام IRNSS برنامه‌ریزی می‌کند. از هفت ماهواره زمین ثابت برای پوشش عمدتاً در اطراف هند و مناطق اطراف استفاده خواهد کرد. ژاپن در حال ساخت یک سیستم سه ماهواره‌ای به نام QZSS است که مکمل GPS است.

از آنجایی که همه GNSS‌ها از سیگنال‌های CDMA اولیه یکسان در باند L استفاده می‌کنند، می‌توانند یکدیگر را تکمیل کنند تا دقت بیشتری ارائه کنند. بسیاری از گیرنده‌های GNSS قادر به دریافت GPS و یک یا چند سیگنال GNSS دیگر و ترکیب آنها برای بهبود دقت مکان هستند.

### سوالات:

۱. آیا گفته می‌شود ماهواره‌ای که در همان جهت چرخش زمین می‌چرخد در مدار پوزیگراد (posigrade) یا مدار رتروگراد (retrograde) قرار دارد؟
۲. شکل هندسی مدار غیر دایره‌ای چیست؟
۳. نام مرکز ثقل زمین چیست؟
۴. نام زمان یک مدار را ذکر کنید.
۵. مدار صعودی و مدار نزولی را تعریف کنید.
۶. اگر زاویه ارتفاع خیلی کم باشد، اثرات روی سیگنال ماهواره را بیان کنید.
۷. به ماهواره‌ای که در فاصله ۲۲۳۰۰ مایلی زمین به دور استوا می‌چرخد چه می‌گویید؟
۸. چرا جت رانش‌های کوچک در ماهواره‌ها گهگاه شلیک می‌شوند؟
۹. نام نقطه روی زمین دقیقاً در زیر ماهواره چیست؟
۱۰. دو زاویه مورد استفاده برای نشان دادن آتن ایستگاه زمینی به سمت ماهواره را نام ببرید.
۱۱. کارکرد و هدف اصلی ماهواره ارتباطی چیست؟ چرا به جای رادیو استاندارد زمینی از ماهواره‌ها استفاده می‌شود؟
۱۲. کدام عنصر از سیستم ماهواره‌ای سیگنال آپلینک را به ماهواره ارسال می‌کند؟
۱۳. مسیر سیگنال از ماهواره به ایستگاه زمینی را چه می‌نامید؟ نام مسیر سیگنال از ماهواره به زمین چیست؟
۱۴. نام واحد الکترونیکی ارتباطی پایه در ماهواره را بیان کنید. هدف و عملکرد چهار عنصر اصلی را توضیح دهید.
۱۵. رایج‌ترین محدوده فرکانس عملیاتی اکثر ماهواره‌های ارتباطی چیست؟
۱۶. یکی از محبوب‌ترین محدوده‌های فرکانس ماهواره‌ای ۴ تا ۶ گیگاهرتز است. چه نام حرفی به آن محدوده داده شده است؟
۱۷. ماهواره‌های نظامی اغلب در کدام باند فرکانسی کار می‌کنند؟

۱۸. محدوده فرکانسی باند Ku چقدر است؟ گروه  $Ka$ ؟
۱۹. پهنه‌ای باند یک فرستنده ماهواره‌ای معمولی چقدر است؟
۲۰. یک فرستنده معمولی باند C می‌تواند چند کanal را حمل کند؟ پهنه‌ای باند هر کدام چقدر است؟
۲۱. سه سیگنال باند پایه معمولی که توسط ماهواره کنترل می‌شود را نام ببرید.
۲۲. تقویت توان در ترانسپوندر چگونه حاصل می‌شود؟
۲۳. دو فرکانس میانی فرستنده رایج کدامند؟
۲۴. نام مداری که کanal سازی را در ترانسپوندر می‌دهد چیست؟
۲۵. منبع تغذیه اصلی ماهواره چیست؟
۲۶. برای تغذیه ماهواره در زمان کسوف از چه چیزی استفاده می‌شود؟
۲۷. هدف زیرسیستم  $TC\&C$  را در ماهواره بیان کنید.
۲۸. سیگنال‌هایی که باید توسط ایستگاه زمینی به ماهواره مخابره شوند به سیگنال‌های ----- معروف هستند.
۲۹. گیرنده در ایستگاه زمینی قبل از دمودولاسیون و دمولتی‌پلکسینگ با سیگنال دالنینک چه می‌کند؟
۳۰. چه نوع مداری اغلب برای جایگزینی اسیلاتورهای محلی برای انتخاب کanal در فرستنده‌های و گیرنده‌ها ایستگاه زمینی استفاده می‌شود؟
۳۱. سه نوع اصلی تقویت کننده‌های قدرت مورد استفاده در ایستگاه‌های زمینی را نام ببرید.
۳۲. چهار روش دسترسی مورد استفاده در ماهواره‌ها را نام ببرید. کدام پرکاربردترین است؟
۳۳. دو سرویس ماهواره‌ای رادیویی دیجیتالی در آمریکا را نام ببرید و فرکانس کار را بیان کنید.
۳۴. ویست (VSAT) چیست؟ کجا استفاده می‌شود؟
۳۵. مثالی از RO VSAT بزنید.
۳۶. چه فناوری دیجیتالی به ماهواره‌ها اجازه می‌دهد تا ویدئوهای پرسرعت را به گیرنده‌های DBS ارسال کنند؟
۳۷. برای DBS از چه باند مایکروویو استفاده می‌شود؟
۳۸. در مبدل LNB چه چیزی وجود دارد؟
۳۹. چرا از LNB استفاده می‌شود؟
۴۰. کدام ویژگی آنتن اجازه استفاده مجدد از فرکانس را می‌دهد؟

**مسائل:**

۱. زاویه شیب ماهواره‌ای که به دور استوا می‌چرخد چقدر است؟
۲. از چه مختصات ناوبری استانداردی برای مکان‌یابی ماهواره در فضا استفاده می‌شود؟
۳. تنظیمات گرایش ماهواره چگونه از ایستگاه زمینی انجام می‌شود؟
۴. گیرنده‌های GPS چگونه سیگنال‌های ماهواره‌ای مختلف را که همگی در فرکانس‌های مشابه ارسال می‌شوند، تشخیص می‌دهند؟
۵. کدام سیگنال GPS داده‌های موقعیت را منتقل می‌کند؟ نرخ داده چقدر است؟
۶. جی‌پی‌اس از چه باند مایکروویو استفاده می‌کند؟
۷. نیاز و مفهوم مربوط به GPS دیفرانسیلی را توضیح دهید.
۸. هدف از استفاده از QAM چند سطحی در فرستنده ماهواره چیست؟

**مسائل چالش برانگیز:**

۱. ماهواره چگونه در مدار نگه داشته می‌شود؟ نیروهای متعادل کننده را توضیح دهید.
۲. فرکانس و قالب سیگنال‌های کد C/A و P را مشخص کنید. کد Y چیست و چرا به آن نیاز است؟
۳. فرض کنید یک سیستم ارتباطی ماهواره‌ای می‌تمنی بر یک مدار قطبی بسیار بیضی شکل که تقریباً بر فراز اقیانوس اطلس مرکز است. قرار است ارتباط بین یک ایستگاه ایالات متحده و یک ایستگاه در بریتانیا حفظ شود. فرکانس کار آپلینک ۴۳۵ مگاهرتز و دانلینک ۱۴۵ مگاهرتز است. در مورد نوع آنتن‌هایی که ممکن است برای آپلینک و دانلینک استفاده شود بحث کنید. پیامدها - مزايا و معایب - هر نوع چیست؟ آیا تجهیزات رדיابی یا موقعیت‌یابی موردنیاز است؟ اگر جواب مثبت است، برای کدام نوع آنتن‌ها؟ آیا ارتباط هرگز قطع خواهد شد. اگر شود تا زمانی که؟
۴. توضیح دهید که اگر گیرنده GPS دارید که در طول و عرض جغرافیایی خروجی‌ها را ارائه می‌دهد، چگونه می‌توانید مکان خود را بر روی زمین پیدا کنید.
۵. استفاده مجدد از فرکانس در ماهواره بهدو فرستنده اجازه می‌دهد تا فرکانس مشترکی را بهاشتراک بگذارند زیرا سیگنال‌ها با استفاده از قطبش آنتن‌های مختلف از تداخل با یکدیگر جلوگیری می‌کنند. چگونه می‌توان استفاده مجدد از فرکانس را در یک منطقه معین روی زمین به دست آورد؟
۶. مصالحه‌ها (فاصله، قدرت، هزینه، و غیره) یک سیستم تلفن همراه جهانی را با استفاده از LEO، MEO، و GEO فهرست کرده و توضیح دهید.
۷. گیرنده‌های GPS چگونه یک ماهواره را از ماهواره دیگر تشخیص می‌دهند

## فصل ۱۸

# سیستم‌های مخابراتی

سیستم تلفن بزرگترین و پیچیده‌ترین سیستم ارتباط الکترونیکی در جهان است. تقریباً از هر نوع تکنیک ارتباط الکترونیکی موجود از جمله تقریباً تمام مواردی که در این کتاب توضیح داده شده است استفاده می‌کند.

اگرچه هدف اولیه سیستم تلفنی ارائه ارتباطات صوتی است، اما به طور گسترده برای بسیاری از اهداف دیگر از جمله انتقال فکس، انتقال تلویزیون و انتقال داده‌های کامپیوتری استفاده می‌شود. انتقال داده از طریق مودم و DSL در فصل یازدهم مورد بحث قرار گرفت، بنابراین در اینجا تکرار نخواهد شد. این فصل با پوشش جدیدترین فناوری تلفن بهنام صدا از طریق پروتکل اینترنت<sup>۱</sup> به پایان می‌رسد.

تلفن سیمی به تدریج در حال تبدیل شدن به تاریخ است. در حال حاضر کمتر از ۵ درصد خانه‌ها دارای تلفن سیمی استاندارد هستند. اکنون اکثر خانه‌ها حداقل یک تلفن همراه بی‌سیم دارند که تنها اتصال تلفنی است. شبکه سیمی گسترده از بین نخواهد رفت، اما شرکت‌های تلفن سنتی اکنون خدمات صوتی استاندارد خود را به تدریج کنار می‌گذارند. این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت زیرا بی‌سیم به سرویس تلفن غالب تبدیل می‌شود.

### اهداف:

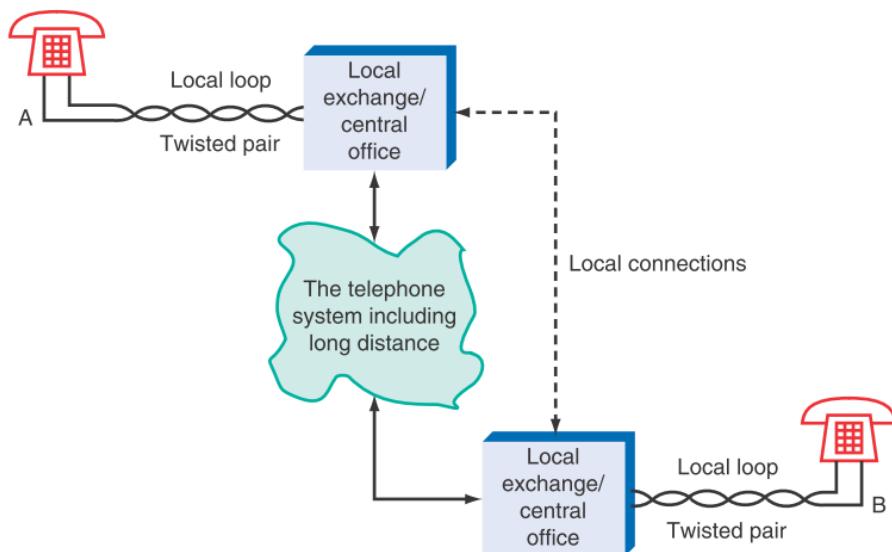
بعداز تکمیل این فصل، شما می‌توانید:

- اجزای موجود در تلفن‌های معمولی و الکترونیکی را نام ببرید و توضیح دهید.
- ویژگی‌های سیگنال‌های مختلف مورد استفاده در ارتباطات تلفنی را شرح دهید.
- عملکرد کلی تلفن بی‌سیم را بیان کنید.
- عملکرد PBX را شرح دهید.
- سلسله مراتب انتقال سیگنال در سیستم تلفن را توضیح دهید.

<sup>۱</sup>Voice over Internet Protocol (VoIP)

■ عملکرد دستگاه فاکس را توضیح دهید.

■ عملکرد یک تلفن پروتکل اینترنت را شرح دهید.



شکل ۱.۱۸: سیستم تلفن اولیه.

## ۱.۱۸ تلفن

سیستم تلفن اصلی برای ارتباط آنالوگ کامل دوبلکس سیگنال‌های صوتی طراحی شده است. امروزه، سیستم تلفن هنوز عمدتاً برای صدا استفاده می‌شود، اما عمدتاً از تکنیک‌های دیجیتالی، نه تنها در انتقال سیگنال، بلکه در عملیات کنترل نیز استفاده می‌کند.

### حلقه محلی

تلفن‌های استاندارد از طریق یک زوج کابل تابیده شده دو سیمه به سیستم تلفن متصل می‌شوند که به مرکز تلفن محلی یا دفتر مرکزی ختم می‌شود. حدود ۱۰۰۰۰ خط تلفن را می‌توان به یک دفتر مرکزی متصل کرد (شکل ۱.۱۸). اتصالات از دفتر مرکزی به "سیستم تلفن" که در شکل (۱.۱۸) توسط "ابر" بزرگ نشان داده شده است می‌رود. این بخش از سیستم، که عمدتاً مسافت طولانی است، در بخش دوم توضیح داده شده است. تماسی که از تلفن A شروع می‌شود از دفتر مرکزی و سپس به سیستم اصلی می‌رود، جایی که از طریق یکی از مسیرهای مختلف به دفتر مرکزی متصل به محل مورد نظر تعیین شده به عنوان B در شکل (۱.۱۸) منتقل می‌شود. ارتباط بین تبادلات محلی نزدیک به جای مسافت دور مستقیم است.

اتصال زوج تابیده شده دو سیمه بین تلفن و دفتر مرکزی به عنوان حلقة محلی<sup>۲</sup> یا حلقة مشترکین<sup>۳</sup>

<sup>۲</sup>Local Loop

<sup>۳</sup>Subscriber Loop

شناخته می‌شود. همچنین خواهید شنید که از آن به عنوان آخرین مایل یا اولین مایل یاد می‌شود. مدارهای موجود در تلفن و دفتر مرکزی یک مدار یا حلقه کامل الکتریکی را تشکیل می‌دهند. این مدار تک آنالوگ است و سیگنال‌های dc و ac را حمل می‌کند. برق dc برای کارکرد تلفن در دفتر مرکزی تولید می‌شود و از طریق حلقه محلی به هر تلفن عرضه می‌شود. سیگنال‌های صوتی ac همراه با برق dc منتقل می‌شوند. علیرغم این واقعیت که فقط دو سیم در گیر هستند، عملیات دوبلکس کامل، یعنی ارسال و دریافت همزمان امکان پذیر است. تمام عملیات شماره‌گیری و سیگنالینگ نیز روی این یک زوج کابل تابیه انجام می‌شود.

### دستگاه تلفن

یک تلفن یا مجموعه تلفن اصلی یک فرستنده گیرنده باند پایه آنالوگ است. این گوشی دارای یک میکروفون (دهنی) و یک بلندگو (گوشی) است که بیشتر به عنوان فرستنده و گیرنده شناخته می‌شود. همچنین شامل زنگ و مکانیسم شماره‌گیری است. به طور کلی، دستگاه تلفن عملکردهای اساسی زیر را انجام می‌دهد.

حالت دریافت ارائه می‌دهد:

۱. سیگنال ورودی که زنگ را به صدا در می‌آورد یا صدایی تولید می‌کند که نشان می‌دهد تماسی در حال دریافت است.

۲. سیگنالی به سیستم تلفن که نشان می‌دهد سیگنال پاسخ داده شده است

۳. مبدل‌ها برای تبدیل صدا به سیگنال‌های الکتریکی و سیگنال‌های الکترونیکی به صدا.

حالت انتقال:

۱. به سیستم تلفن نشان می‌دهد که هنگام برداشتن گوشی قرار است تماس برقرار شود

۲. با تولید سیگنالی به نام صدای شماره‌گیری، نشان می‌دهد که سیستم تلفن آماده استفاده است.

۳. راهی برای انتقال شماره تلفنی که باید به سیستم تلفنی فراخوانی شود ارائه می‌دهد

۴. با دریافت صدای زنگ، نشانه‌ای مبنی بر برقراری تماس دریافت می‌کند

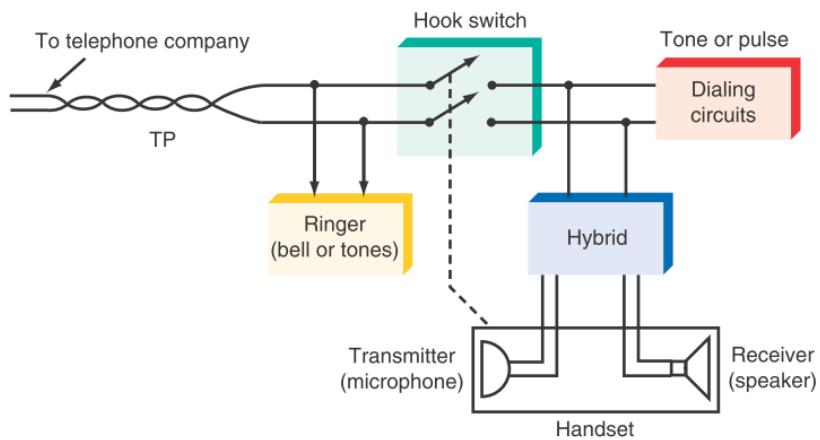
۵. وسیله‌ای برای دریافت صدای خاصی که نشان می‌دهد خط فراخوان مشغول است را ارائه می‌دهد

۶. وسیله‌ای برای سیگنال دادن به سیستم تلفنی که مکالمه کامل شده است را فراهم می‌کند

همه دستگاه‌های تلفن این عملکردهای اساسی را ارائه می‌دهند. برخی از تلفن‌های الکترونیکی پیشرفته‌تر دارای ویژگی‌های دیگری مانند انتخاب چند خط، نگه داشتن، تلفن بلندگو، انتظار تماس و شناسه تماس گیرنده هستند.

شکل (۲.۱۸) بلوک دیاگرام اصلی دستگاه تلفن است. عملکرد هر بلوک در زیر توضیح داده شده است. مدارهای دقیق برای هر یک از بلوک‌ها و عملکرد آنها بعداً هنگامی که تلفن‌های استاندارد و الکترونیکی به طور مفصل مورد بحث قرار می‌گیرند، توضیح داده می‌شود.

**زنگ:** زنگ یک زنگوله یا یک نوسانگر الکترونیکی است که به بلندگو متصل است. به طور مداوم به زوج دو سیمه حلقه محلی به دفتر مرکزی متصل می‌شود. هنگامی که یک تماس دریافت می‌شود، سیگنال ارسالی از دفتر مرکزی باعث می‌شود که زنگ یا زنگ صدایی تولید شود.



شکل ۲.۱۸: دستگاه تلفن اولیه.

**سوئیچ قلاب (گوشی-دهنی)**: قلاب سوئیچ یک کلید مکانیکی دو قطبی است که معمولاً توسط مکانیزمی که توسط گوشی تلفن فعال می‌شود کنترل می‌شود. هنگامی که گوشی روی قلاب است، سوئیچ قلاب باز است، بنابراین تمام مدارهای تلفن از حلقه محلی دفتر مرکزی جدا می‌شود. هنگامی که قرار است تماسی برقرار شود یا دریافت شود، گوشی از قلاب خارج می‌شود. این سوئیچ را بسته و مدار تلفن را به حلقه محلی متصل می‌کند. سپس جریان مستقیم دفتر مرکزی به تلفن وصل می‌شود و مدارهای آن را می‌بندد تا کار کند.

**مدارهای شماره‌گیری**: مدارهای شماره‌گیری راهی برای وارد کردن شماره تلفنی که باید تماس گرفته شود فراهم می‌کند. در تلفن‌های قدیمی از سیستم شماره‌گیری پالس استفاده می‌شد. یک صفحه چرخشی متصل به یک سوئیچ تعدادی پالس روش/خاموش مطابق با رقم شماره‌گیری مورد نظر تولید می‌کند. این پالس‌های روش/خاموش یک کد باینری ساده برای سیگنال دهی به دفتر مرکزی تشکیل می‌دادند.

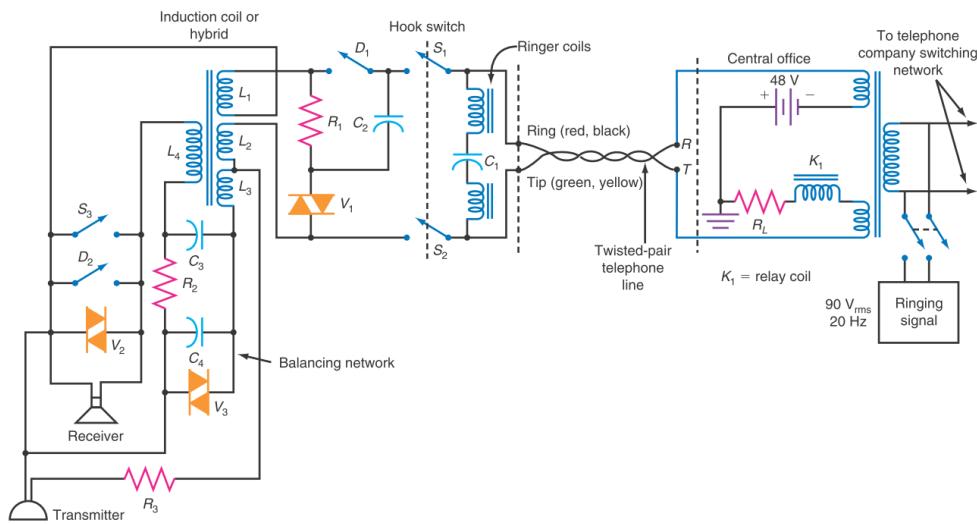
در اکثر تلفن‌های مدرن از سیستم شماره‌گیری تون (فرکانس صوتی) استفاده می‌شود. این روش شماره‌گیری که به عنوان سیستم چندفرکانسی دوگانه<sup>۴</sup> (DTMF) شناخته می‌شود، از تعدادی دکمه فشاری استفاده می‌کند که زوج آهنگ‌های صوتی تولید کرده و ارقام فراخوانی شده را نشان می‌دهد. چه از شماره‌گیری پالسی یا شماره‌گیری زنگ استفاده شود، مدارهای موجود در دفتر مرکزی سیگنال‌ها را تشخیص داده و اتصالات مناسب را با تلفن شماره‌گیری شده برقرار می‌کنند.

**گوشی**: این دستگاه دارای یک میکروفون برای فرستنده و یک بلندگو برای گیرنده است. هنگامی که شما در فرستنده صحبت می‌کنید، یک سیگنال الکتریکی تولید می‌کند که صدای شما را نشان می‌دهد. هنگامی که یک سیگنال صوتی الکتریکی دریافتی روی خط رخ می‌دهد، گیرنده آن را به امواج صوتی تبدیل می‌کند. فرستنده و گیرنده واحدهای مستقلی هستند و هر کدام دو سیم دارند که به مدار تلفن متصل می‌شوند. هر دو به دستگاه خاصی به نام هایبرید (ترکیبی) متصل می‌شوند.

**هایبرید(ترکیبی)**: مدار ترکیبی یک ترانسفورماتور ویژه است که برای تبدیل سیگنال‌های چهار سیم از فرستنده و گیرنده به سیگنال مناسب برای یک زوج خط دو سیمی به حلقه محلی استفاده

<sup>۴</sup>Dual Tone MultiFrequency (DTMF)

می‌شود. هایبرید اجازه می‌دهد دوبلکس کامل، یعنی ارسال و دریافت همزمان، ارتباط آنالوگ در خط دو سیمه انجام شود. هایبرید همچنین یک صدای جانبی از فرستنده به گیرنده ارائه می‌دهد تا گوینده بتواند صدای خود را در گیرنده بشنود. این بازخورد اجازه تنظیم خودکار سطح صدا را می‌دهد.



شکل ۳.۱۸: نمودار مدار تلفن استاندارد که اتصال به دفتر مرکزی را نشان می‌دهد.

### تلفن استاندارد و حلقه محلی

شکل (۳.۱۸) یک نمودار شماتیک ساده از یک تلفن معمولی و اتصالات حلقه محلی به دفتر مرکزی است. مدار در دفتر مرکزی بعداً با جزئیات بیشتری موردنظر بحث قرار خواهد گرفت. در حال حاضر، توجه داشته باشید که دفتر مرکزی یک ولتاژ dc را بر روی زوج سیم پیج خورده به تلفن اعمال می‌کند. این ولتاژ dc تقریباً ۴۸ – ۵۰ ولت نسبت به زمین در شرایط مدار باز است. هنگامی که یک مشترک تلفن را برمی‌دارد، قلاب سوئیچ بسته می‌شود و مدار را به خط تلفن متصل می‌کند. باز نشان داده شده توسط مدار تلفن باعث می‌شود جریان در حلقة محلی جریان یابد و ولتاژ داخل تلفن تقریباً به ۵ تا ۶ ولت کاهش یابد.

مقدار جریان در حلقة محلی به عوامل مختلفی بستگی دارد. ولتاژ dc عرضه شده توسط دفتر مرکزی ممکن است دقیقاً ۴۸ – ۵۰ ولت نباشد. در واقع می‌تواند ولتاژهای زیادی بالاتر یا کمتر از مقدار معمولی ۴۸ ولت تغییر کند.

همانطور که شکل (۳.۱۸) نشان می‌دهد، دفتر مرکزی مقادیر مقاومت  $R_L$  را وارد می‌کند تا در صورت وقوع یک اتصال کوتاه در خط، جریان کل جریان را محدود کند. این مقاومت می‌تواند از حدود ۳۵۰ تا ۸۰۰ اهم باشد. در شکل (۳.۱۸)، مقاومت کل تقریباً ۴۰۰ اهم است.

مقاومت خود تلفن نیز در محدوده نسبتاً وسیعی متفاوت است. بسته به مدار می‌تواند به ۱۰۰ اهم و ۴۰۰ اهم نیز برسد. مقاومت به دلیل مقاومت عنصر فرستنده و به دلیل مقاومت‌های متغیری به نام وریستور که در مدار برای تنظیم خودکار سطح خط استفاده می‌شود، متفاوت است.

مقاومت حلقة محلی به طور قابل توجهی به طول زوج سیم پیج خورده بین تلفن و دفتر مرکزی بستگی دارد. اگرچه مقاومت سیم مسی در زوج دوسیمه نسبتاً کم است، طول سیم بین تلفن و دفتر

مرکزی می‌تواند چندین مایل طول داشته باشد. بنابراین مقاومت حلقه محلی بسته به فاصله می‌تواند از ۱۰۰۰ تا ۱۸۰۰ اهم باشد. طول حلقه محلی می‌تواند از چند هزار فوت تا حدود ۱۸۰۰۰ فوت متغیر باشد.

در نهایت، پاسخ فرکانسی حلقه محلی تقریباً ۳۰۰ تا ۳۴۰۰ هرتز است. این برای عبور فرکانس‌های صوتی که در کامپیوتر را ایجاد می‌کنند کافی است. یک زوج خط دو سیمیه پیج خورده بدون بار دارای فرکانس قطع بالایی در حدود ۴۰۰۰ هرتز است. اما این فرکانس قطع بسته به طول کلی کابل به طور قابل توجهی متغیر است. هنگامی که از کابل‌های طولانی استفاده می‌شود، سیم‌پیج‌های بارگذاری (سیم‌پیج پوپین) ویژه در خط قرار می‌گیرند تا افت بیش از حد در فرکانس‌های بالاتر را جبران کنند. دو سیم مورد استفاده برای اتصال تلفن‌ها بنام تیپ و رینگ<sup>۵</sup> نامگذاری می‌شوند. این عناوین به دوشاخه‌ای اشاره دارد که برای اتصال تلفن‌ها به یکدیگر در دفتر مرکزی استفاده می‌شود. زمانی، گروه‌های بزرگی از اپراتورهای تلفن در دفتر مرکزی از دوشاخه‌ها و جک‌های یک تابلو برای اتصال دستی یک تلفن به تلفن دیگر استفاده می‌کردند.

سیم تیپ سبز است و معمولاً به زمین متصل است. سیم رینگ قرمز است بسیاری از کابل‌های تلفن به یک خانه یا یک دفتر کار نیز در صورت نصب یک خط تلفن جداگانه، دارای یک زوج سیم پیج خورده دوم هستند. این سیم‌ها معمولاً دارای رنگ مشکی و زرد هستند. سیاه و زرد به ترتیب مربوط به رینگ و تیپ هستند که در آن رنگ زرد زمین می‌شود. از ترکیب رنگ‌های دیگر در سیم کشی تلفن استفاده می‌شود.

### خوب است بدانید که:

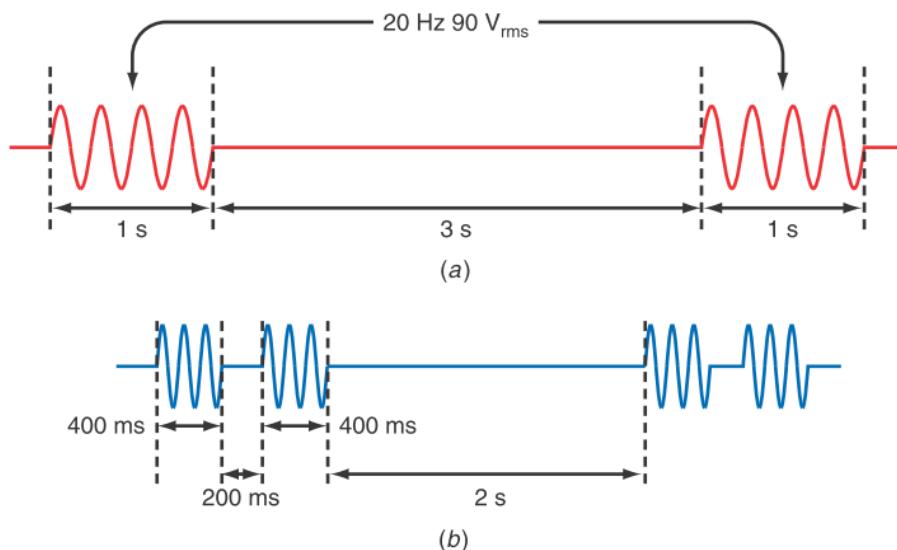
هنگامی که از کابل‌های طولانی استفاده می‌شود، سیم‌پیج‌های بارگذاری ویژه‌ای در خط قرار می‌گیرند تا مقادیر زیادی افت در فرکانس‌های بالاتر را جبران کنند.

**دستگاه زنگ:** در شکل (۳.۱۸)، مداری که مستقیماً به سیم‌های حلقه محلی تیپ و رینگ متصل می‌شود، دستگاه زنگ است. زنگ در اکثر تلفن‌های قدیمی زنگ الکترومکانیکی است. یک زوج سیم‌پیج الکترومغناطیسی برای کار با یک چکش کوچک استفاده می‌شود که به طور متناوب به دو کاسه زنگ فلزی کوچک برخورد می‌کند. هنگامی که یک تماس دریافت می‌شود، یک ولتاژ از دفتر مرکزی سیم‌پیج‌های الکترومغناطیسی را به کار می‌اندازد که به نوبه خود چکش را برای به صدا درآوردن زنگ‌ها به کار می‌گمارد. زنگ‌ها صدای آشنا تولید شده توسط اکثر تلفن‌های استاندارد را می‌سازند. در شکل (۳.۱۸)، سیم‌پیج‌های حلقه به صورت سری با خازن  $C_1$  متصل شده‌اند. این اجازه می‌دهد تا ولتاژ حلقه ac به سیم‌پیج‌ها اعمال شود، اما ۴۸ ولت جریان مستقیم را مسدود می‌کند، بنابراین تخلیه جریان در ۴۸ ولت برق عرضه شده در دفتر مرکزی را به حداقل می‌رساند.

ولتاژ زنگی که توسط دفتر مرکزی عرضه می‌شود، یک موج سینوسی تقریباً  $90 V_{rms}$  در فرکانس حدود ۲۰ هرتز است. این مقادیر اسمی هستند، زیرا ولتاژ زنگ واقعی می‌تواند از حدود ۸۰ تا  $100 V_{rms}$  با فرکانس در محدوده ۱۵ تا ۳۰ هرتز متغیر باشد. این سیگنال ac توسط یک ژنراتور در دفتر مرکزی تأمین می‌شود. ولتاژ زنگ به صورت سری با سیگنال  $dc - 48$  ولت از منبع تغذیه دفتر مرکزی اعمال می‌شود. سیگنال زنگ از طریق یک ترانسفورماتور  $T_1$  به خط حلقه محلی متصل

<sup>۵</sup>Tip and Ring

می‌شود. ترانسفورماتور سیگنال زنگ را در سیم پیچ ثانویه خود تزویج می‌کند، جایی که به صورت سری با ولتاژ تغذیه ۴۸ ولت dc ظاهر می‌شود.



شکل ۴.۱۸: تداوم زنگ تلفن (الف) ایالات متحده و اروپا. (ب) انگلستان.

توالی زنگ استاندارد در شکل (۴.۱۸) نشان داده شده است. در تلفن‌های ایالات متحده، ولتاژ زنگ برای یک ثانیه و پس از آن یک بازه ۳ ثانیه رخ می‌دهد. تلفن‌ها در سایر نقاط جهان از توالی زنگ‌های مختلفی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، در بریتانیا، توالی زنگ استاندارد، آهنگی با فرکانس بالاتر است که بیشتر اتفاق می‌افتد، و شامل دو پالس زنگ به طول ۴۰۰ میلی ثانیه است که با فاصله ۲۰۰ میلی ثانیه از هم جدا می‌شوند. قبل از تکرار توالی آهنگ، یک فاصله ۲ ثانیه‌ای آرام و ساكت دنبال می‌شود.

### خوب است بدانید که:

در ایالات متحده، ولتاژ زنگ تلفن برای یک ثانیه و سپس ۳ ثانیه قطع می‌شود. تلفن‌های کشورهای دیگر ممکن است از توالی زنگ‌های مختلفی استفاده کنند. سیستم‌های کوچک‌تر مبتنی بر دفتر در ایالات متحده نیز ممکن است از توالی‌های دیگری برای تماس‌های داخلی استفاده کنند.

**فرستنده:** فرستنده میکروفونی است که در طول تماس تلفنی با آن صحبت می‌کنید. در یک تلفن استاندارد، این میکروفون از عنصر کربنی استفاده می‌کند که به طور موثر ارتعاشات صوتی را به تغییرات مقاومت تبدیل می‌کند. تغییرات مقاومت، بهنوبه خود، تغییرات جریانی را در حلقه محلی ایجاد می‌کند که صدای گوینده را نشان می‌دهد. یک ولتاژ dc باید به فرستنده اعمال شود تا جریان در حین کار از آن عبور کند. ولتاژ ۴۸ ولت دفتر مرکزی در این مورد برای کار کرد فرستنده استفاده می‌شود.

سیگنال صوتی ac حاصل از خط تلفن تقریباً یک تا  $2V_{rms}$  است.

**گیرنده:** گیرنده یا گوشی، اساساً یک بلندگوی کوچک آهنربایی دائمی است. یک دیافراگم فلزی

نازک به طور فیزیکی به سیم پیچی که درون یک آهنربای دائمی قرار دارد متصل است. هر زمان که یک سیگنال صوتی از خط تلفن می‌آید، جریانی در سیم پیچ گیرنده ایجاد می‌کند. سیم پیچ یک میدان مغناطیسی تولید کرده که با میدان مغناطیسی دائمی در تعامل است. نتیجه ارتعاش دیافراگم در گیرنده است که سیگنال الکتریکی را به انرژی صوتی تبدیل و صدا را به گوش می‌رساند. همانطور که از طریق خطوط حلقه محلی وارد می‌شود، سیگنال صوتی دارای دامنه تقریباً  $1V_{rms}$  است.

**هایبرید :** هایبرید یک دستگاه ترانسفورماتور است که برای انتقال و دریافت همزمان روی یک زوج سیم استفاده می‌شود. هایبرید، که گاهی اوقات به عنوان سیم پیچ القایی نیز شناخته می‌شود، در واقع چندین ترانسفورماتور است که در یک واحد ترکیب شده‌اند. سیم پیچ‌های ترانسفورماتورها به گونه‌ای به هم وصل شده‌اند که سیگنال‌های تولید شده توسط فرستنده روی حلقه محلی دو سیم قرار می‌گیرند اما در گیرنده رخ نمی‌دهند. به همین ترتیب، سیم پیچ‌های ترانسفورماتور اجازه ارسال سیگنال به گیرنده را می‌دهند، اما ولتاژ حاصل به فرستنده اعمال نمی‌شود.

در عمل، سیم پیچ‌های ترکیبی (هایبرید) طوری تنظیم می‌شوند که مقدار کمی از سیگنال صوتی تولید شده توسط فرستنده در گیرنده شنیده شود. این بازخورد را برای گوینده فراهم می‌کند تا او بتواند با صدای بلند معمولی صحبت کند. بازخورد از فرستنده به گیرنده به عنوان صدای جانبی نامیده می‌شود. اگر صدای جانبی ارائه نمی‌شد، سیگنالی در گیرنده وجود نداشت و فردی که صحبت می‌کند احساس می‌کرد خط تلفن قطع شده است. با شنیدن صدای خود در گیرنده در سطح متوسط، تماس گیرنده می‌تواند در سطح عادی صحبت کند. بدون صدای جانبی، گوینده تمایل دارد با صدای بلندتر صحبت کند، که غیر ضروری است.

**تنظیم خودکار سطح صدا :** به دلیل تنوع زیاد در طول‌های مختلف حلقه دو تلفن متصل به یکدیگر، مقاومت مدار به طور قابل توجهی متفاوت است و در نتیجه باعث ایجاد تغییرات گستردۀ در سطوح سیگنال صوتی ارسالی و دریافتی می‌شود. همه تلفن‌ها شامل نوعی قطعه یا مدار هستند که تنظیم خودکار سطح صدا را فراهم می‌کنند تا سطوح سیگنال بدون توجه به طول حلقه تقریباً یکسان باشد. در تلفن استاندارد، این تنظیم خودکار طول حلقه توسط اجزایی به نام وریستور انجام می‌شود. اینها در شکل (۳.۱۸) دارای برق‌سب  $V_۲$ ,  $V_۱$  و  $V_۰$  هستند.

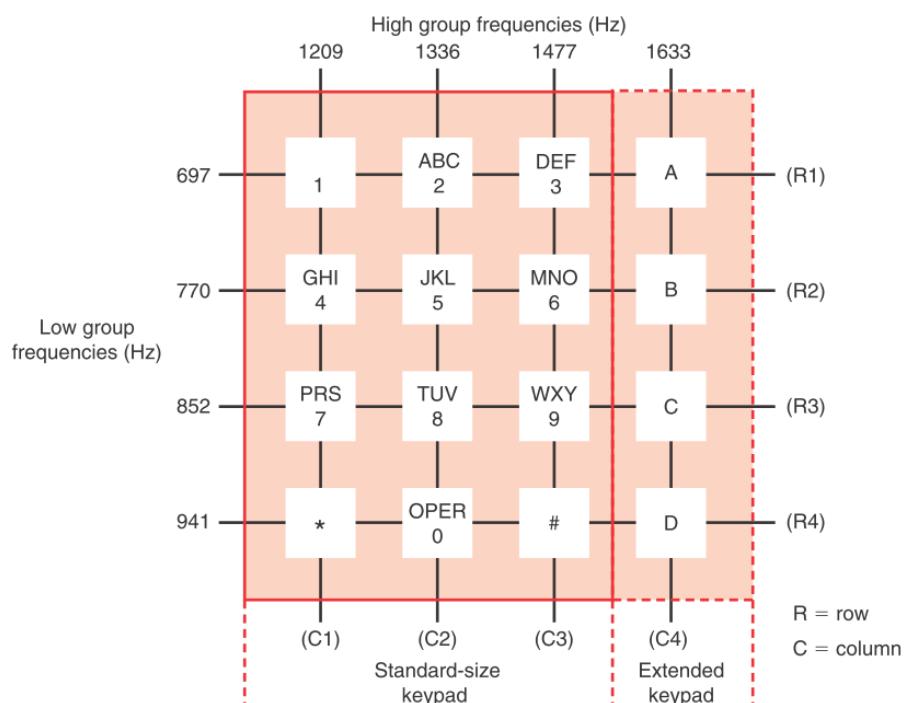
وریستور یک عنصر مقاومتی غیر خطی است که مقاومت آن بسته به مقدار جریان عبوری از آن تغییر می‌کند. هنگامی که جریان عبوری از وریستور افزایش می‌یابد، مقاومت آن کاهش می‌یابد. کاهش جریان باعث افزایش مقاومت می‌شود. وریستورها عموماً در دوسر خط متصل می‌شوند. در شکل (۳.۱۸)، وریستور  $V_۱$  به صورت سری با مقاومت  $R_۱$  متصل شده است. این وریستور به طور خودکار مقداری از جریان را از فرستنده و گیرنده کم می‌کند. اگر حلقه طولانی باشد، جریان نسبتاً کم و ولتاژ تلفن کم خواهد بود. این باعث می‌شود که مقاومت وریستور افزایش یابد و در نتیجه جریان کمتری از فرستنده و گیرنده حاصل شود. در حلقه‌های محلی کوتاه، جریان زیاد و ولتاژ تلفن بالا خواهد بود. این باعث می‌شود مقاومت وریستور کاهش یابد. بنابراین جریان بیشتری از فرستنده و گیرنده جدا می‌شود. نتیجه یک سطح نسبتاً ثابت از گفتار ارسالی یا دریافتی است.

توجه داشته باشید که وریستور دوم  $V_۰$  در شبکه تعادل استفاده می‌شود. شبکه تعادل کننده  $(R_۲, C_۴, C_۳)$  در ارتباط با هایبرید کار می‌کند تا صدای جانبی را که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، ارائه دهد. وریستور سطح صدای جانبی را به طور خودکار تنظیم می‌کند.

**شماره گیری پالسی :** اصطلاح شماره گیری برای توصیف فرآیند وارد کردن شماره تلفنی که باید تماس گرفته شود استفاده می‌شود. در تلفن‌های قدیمی از صفحه چرخشی استفاده می‌شود. در

تلفن‌های مدرن‌تر، از دکمه‌های فشاری که تون‌های (فرکانس‌های) الکترونیکی تولید می‌کنند برای "شماره‌گیری" استفاده می‌شود.

استفاده از مکانیزم شماره‌گیری چرخشی چیزی را ایجاد می‌کند که به عنوان شماره‌گیری پالسی شناخته می‌شود. چرخاندن صفحه و رها کردن آن باعث می‌شود که یک کن tact سوئیچ با سرعت ثابت باز و بسته و پالس‌های جریان در حلقه محلی تولید شود. این پالس‌های جریان توسط دفتر مرکزی شناسایی می‌شوند و برای عملکرد سوئیچ‌هایی که تلفن شماره‌گیری را به تلفن فرآخوان متصل می‌کنند، استفاده می‌شوند. در حالی که اکثر شرکت‌های تلفن هنوز از شماره‌گیری پالس پشتیبانی می‌کنند، اکثر تلفن‌های شماره‌گیری مدت زیادی است که بازنشسته شده‌اند. شماره‌گیری پالسی دیگر به طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.



شکل ۵.۱۸: صفحه کلید DTMF

**شماره‌گیری فرکانسی**: اگرچه برخی از تلفن‌های شماره‌گیری هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند و همه دفاتر مرکزی می‌توانند آنها را در خود جای دهند، اکثر تلفن‌های مدرن از یک سیستم شماره‌گیری به نام تاچ تون<sup>۶</sup> استفاده می‌کنند. از زوج آهنگ‌های (تون-تک فرکانس) صوتی برای ایجاد سیگنال‌هایی استفاده می‌کند که نشان دهنده اعدادی است که باید شماره‌گیری شوند. این سیستم شماره‌گیری به نام سیستم چند فرکانس دوگانه<sup>۷</sup> (DTMF) نامیده می‌شود.

یک صفحه کلید معمولی DTMF روی تلفن در شکل (۵.۱۸) نشان داده شده است. اکثر تلفن‌ها

<sup>۶</sup>TouchTone

<sup>۷</sup>Dual Ttone MultiFrequency (DTMF)

از یک صفحه کلید استاندارد با ۱۲ دکمه یا سوئیچ برای اعداد ۰ تا ۹ و نمادهای ویژه \* و # استفاده می‌کنند. سیستم DTMF همچنین چهار کلید اضافی را برای کاربردهای خاص در خود جای می‌دهد.

### خوب است بدانید که:

صدای شماره‌گیری ترکیبی پیوسته از ۳۵° و ۴۴° هرتز در ۱۳° - دسی‌بل است.

در شکل (۵.۱۸) اعداد فرکانس‌های صوتی مرتبط با هر ردیف و ستون دکمه‌های فشاری را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، ردیف افقی بالایی حاوی کلیدهای ۲، ۱ و ۳ دارای برجسب ۶۹۷ است، به این معنی که وقتی هر یک از این سه کلید فشرده شود، یک موج سینوسی ۶۹۷ هرتز تولید می‌شود. هر یک از چهار ردیف افقی فرکانس متفاوتی تولید می‌کند. ردیف‌های افقی چیزی را تولید می‌کنند که به طور کلی به نام گروه فرکانس پایین<sup>۱</sup> شناخته می‌شود.

گروه بالاتری از فرکانس‌ها با ستون‌های عمودی کلیدها مرتبط است. به عنوان مثال، کلیدهای اعداد ۲، ۵، ۸ و ۰ فرکانس ۱۳۳۶ هرتز را هنگام فشردن تولید می‌کنند.

اگر عدد ۲ فشرده شود، دو موج سینوسی به طور همزمان ایجاد می‌شود، یکی در ۶۹۷ هرتز و دیگری در ۱۳۳۶ هرتز. این دو تون به صورت خطی مخلوط شده‌اند. این ترکیب یک صدای منحصر به فرد تولید می‌کند و به راحتی در دفتر مرکزی به عنوان سیگنالی که رقم شماره‌گیری شده ۲ را نشان می‌دهد، آشکارسازی و شناسایی می‌شود. تولرنس فرکانس‌های تولید شده معمولاً در حد  $\pm 1/5$  درصد است.

### تلفن‌های الکترونیکی

هنگامی که مدارهای حالت جامد در اواخر دهه ۱۹۵۰ به وجود آمد، یک تلفن الکترونیکی ممکن و کاربردی شد. امروزه تمام تلفن‌های جدید الکترونیکی هستند و از فناوری مدار مجتمع استفاده می‌کنند.

توسعه ریزپردازنده بر طراحی تلفن نیز تأثیر گذاشته است. اگرچه تلفن‌های الکترونیکی ساده حاوی ریزپردازنده نیستند، اما بیشتر تلفن‌های چند خطی و تمام ویژگی‌ها دارای ریزپردازنده هستند. یک ریزپردازنده داخلی امکان کنترل خودکار عملکردهای تلفن را فراهم می‌کند و ویژگی‌هایی مانند ذخیره شماره تلفن و شماره‌گیری و شماره‌گیری مجدد خودکار را فراهم می‌کند که در تلفن‌های معمولی امکان پذیر نیست.

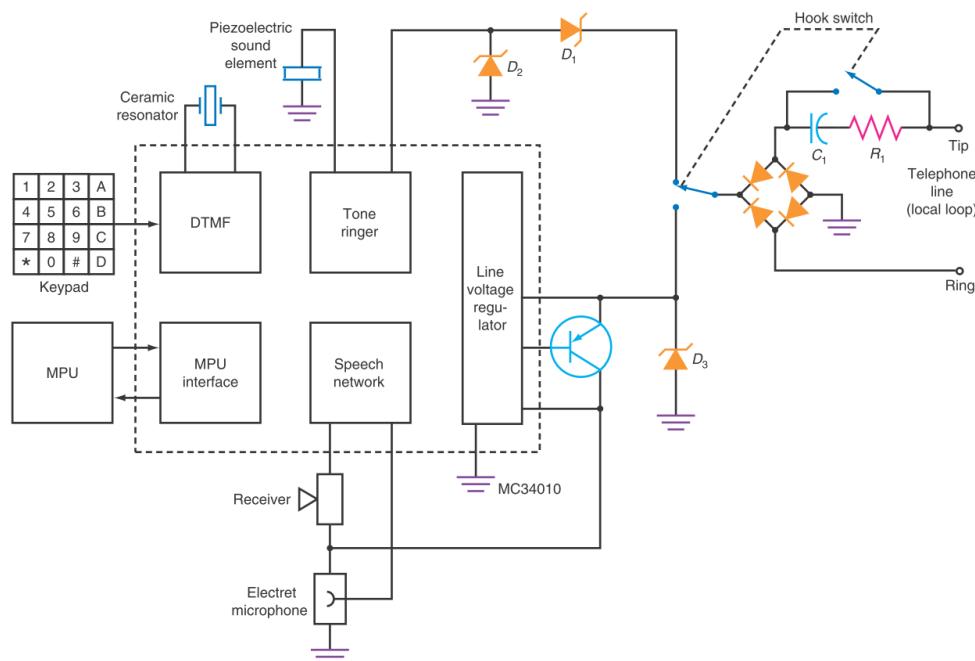
**تلفن الکترونیکی با آی‌سی متداول :** اجزای اصلی یک مدار تلفن الکترونیکی معمولی در شکل (۶.۱۸) نشان داده شده است. بیشتر اعمال با مدارهای موجود در یک آی‌سی واحد پیاده‌سازی می‌شوند.

در شکل (۶.۱۸)، توجه داشته باشید که صفحه کلیدتاج تون مدار تولید کننده صدای DTMF را راه می‌اندازد. یک تشدید کننده کربیستالی یا سرامیکی خارجی مرجع فرکانس دقیقی را برای تولید صدای شماره‌گیری دوگانه فراهم می‌کند.

صدای زنگ توسط سیگنال زنگ ۲۰ هرتز از خط تلفن گرفته و یک عنصر صوتی پیزوالکتریک را راه می‌اندازد.

آی‌سی همچنین دارای یک تنظیم کننده ولتاژ داخلی است. ولتاژ dc را از حلقه محلی می‌گیرد و آن را تثبیت کرده تا یک ولتاژ ثابت به مدارهای الکترونیکی داخلی ارائه کند. یک دیود زنر خارجی

<sup>۱</sup>Low Group of Frequencies



شکل ۶.۱۸: تلفن الکترونیکی تک تراشه.

و ترانزیستور بایاس را برای میکروفون خازنی فراهم می‌کند.

شبکه گفتار داخلی شامل تعدادی تقویت کننده و مدارهای مرتبط است که عملکرد یک هایبرید را در یک تلفن استاندارد به طور کامل تکرار می‌کند. این آیسی دارای یک رابط میکروکامپیوتر نیز می‌باشد. جعبه با برچسب MPU یک واحد ریزپردازنده تک تراشه است. اگرچه نیازی به استفاده از ریزپردازنده نیست، اگر شماره‌گیری خودکار و سایر عملکردها اجرا شود، این مدار می‌تواند آنها را در خود جای دهد.

### خوب است بدانید که:

تلفن‌های جدیدتر با ریزپردازنده‌های داخلی می‌توانند ویژگی‌هایی مانند ذخیره‌سازی شماره تلفن و شماره‌گیری خودکار را در اختیار کاربران قرار دهند.

در نهایت به مدار یکسو کننده پل و سوئیچ قلاب توجه کنید. زوج سیم پیچ‌خورده از حلقه محلی به تیپ و رینگ متصل می‌شود. هر دو ولتاژ حلقه ۴۸ ولت dc و ۲۰ ولت dc به این یکسو کننده پل اعمال خواهند شد. برای جریان مستقیم، یکسو کننده پل حفاظت از قطبیت مدار را فراهم می‌کند و اطمینان می‌دهد که ولتاژ خروجی پل همیشه مثبت است. هنگامی که ولتاژ زنگ ac اعمال می‌شود، یکسو کننده پل آن را به یک ولتاژ dc ضربانی یکسو می‌کند. سوئیچ قلاب با تلفن روی قلاب یا در وضعیت "قطع کردن Hung-up" نشان داده می‌شود. بنابراین ولتاژ dc در این زمان به مدار متصل نیست.

با این حال، ولتاژ زنگ ac از طریق مقاومت و خازن به پل کوپل می‌شود، جایی که یکسو شده و

به دو دیود زنر  $D_1$  و  $D_2$  اعمال می‌شود و مدار زنگ تون را راه می‌اندازد. هنگامی که تلفن از قلاب خارج می‌شود، سوئیچ قلاب بسته می‌شود و یک مسیر dc در اطراف مقاومت و خازن  $R_1$  و  $C_1$  ایجاد می‌کند. مسیر صدای زنگ شکسته است و خروجی یکسو کننده پل به دیود زنر  $D_2$  و تنظیم کننده ولتاژ خط متصل می‌شود. بنابراین مدارهای داخل آی‌سی روشن و ممکن است تماس‌ها دریافت یا برقرار شود.

**کنترل ریزپردازنده :** تمام تلفن‌های الکترونیکی مدرن دارای یک میکروکنترلر داخلی هستند. مانند هر میکروکنترلری، از CPU، یک ROM که یک برنامه کنترلی در آن ذخیره می‌شود، مقدار کمی حافظه خواندن و نوشتan با دسترسی تصادفی و مدارهای ورودی/خروجی تشکیل شده است. میکروکنترلر که معمولاً یک آی‌سی تک تراشه است، ممکن است مستقیماً به آی‌سی تلفن متصل شود یا از نوعی مدار رابط میانی استفاده شود.

عملکردهای انجام شده توسط میکروکامپیوتر شامل کار با صفحه کلید و هر صفحه نمایش LCD در صورت وجود است. برخی از عملکردهای دیگر شامل ذخیره شماره تلفن و شماره‌گیری مجدد خودکار است. بسیاری از تلفن‌های پیشرفته قابلیت ذخیره ۱۰ شماره یا بیشتر را دارد. کاربر تلفن را در حالت برنامه قرار می‌دهد و از صفحه کلید TouchTone برای وارد کردن شماره‌هایی که اغلب شماره‌گیری می‌شود استفاده می‌کند. اینها در رم میکروکنترلر ذخیره می‌شوند. برای شماره‌گیری خودکار یکی از شماره‌ها، کاربر دکمه‌ای را در جلوی تلفن فشار می‌دهد. این ممکن است یکی از دکمه‌های فشاری TouchTone باشد یا ممکن است مجموعه جدگانه‌ای از دکمه‌های فشاری باشد که برای این منظور ارائه شده است. هنگامی که یکی از دکمه‌های فشاری فشرده می‌شود، میکروکنترلر مجموعه‌ای از کدهای باینری از پیش برنامه‌ریزی شده را به مدار DTMF در آی‌سی تلفن ارائه می‌کند. بنابراین شماره به طور خودکار شماره‌گیری می‌شود. از دیگر ویژگی‌های پیاده‌سازی شده توسط میکروکنترلر می‌توان به شناسه تماس گیرنده و منشی تلفنی اشاره کرد.

**پست صوتی :** این ویژگی که قبلاً منشی تلفنی نامیده می‌شد، در اکثر تلفن‌های الکترونیکی اجرا می‌شود. میکروکنترلر به طور خودکار پس از تعداد زنگ از پیش برنامه یزی شده به تماس پاسخ می‌دهد و پیام صوتی را ذخیره می‌کند. در منشی تلفن‌های قدیمی‌تر، پیام روی نوار کاست ضبط می‌شد. اما در تلفن‌های مدرن، پیام صوتی دیجیتالی، فشرده شده و سپس در یک فلاش رام کوچک آماده برای پخش مجدد ذخیره می‌شود. پیام خروجی نیز در آنچا ذخیره می‌شود.

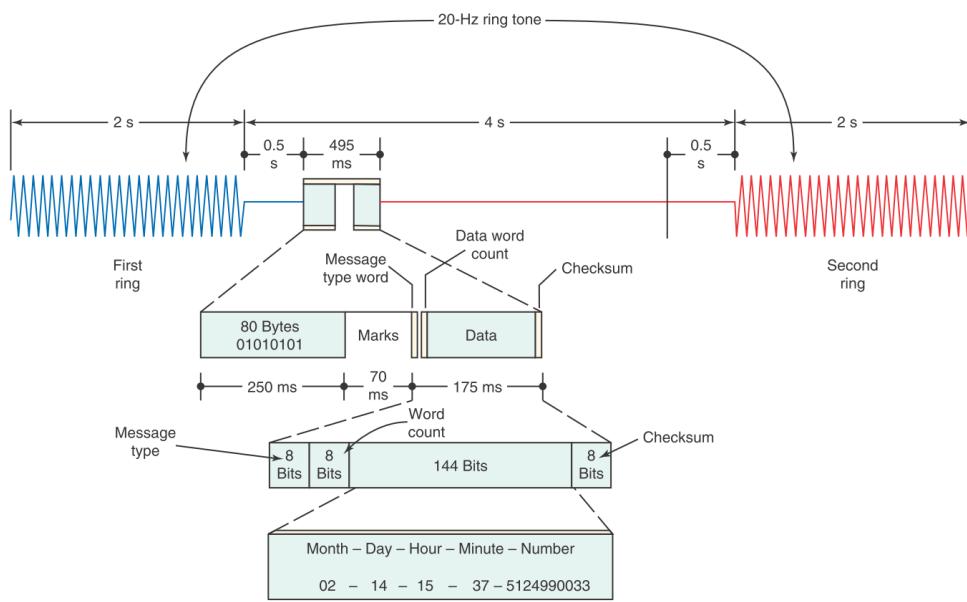
**شماره تماس گیرنده :** شناسه تماس گیرنده، همچنین به عنوان خدمات شناسایی خط تماس شناخته می‌شود، قابلیتی است که در حال حاضر به طور گسترده در اکثر تلفن‌های الکترونیکی اجرا می‌شود. برای استفاده از این سرویس باید ثبت نام کنید و هزینه آن را ماهانه پرداخت کنید. با استفاده از این ویژگی، هنگام زنگ زدن تلفن، هر شماره تماسی بر روی صفحه نمایش LCD نمایش داده می‌شود. این به شما امکان می‌دهد تماس گیرنده را شناسایی کنید.

سرویس شناسه تماس گیرنده یک نسخه دیجیتالی از شماره تماس را در هنگام زنگ اول و دوم به تلفن شما ارسال می‌کند. داده‌های ارسال شده شامل تاریخ، ساعت و شماره تماس می‌باشد. داده‌ها توسط FSK منتقل می‌شود، که در آن یک باینری ۱ (نشان) یک تون ۲۰۰ هرتزی و یک باینری ۰ (فضا) یک تون ۲۰۰ هرتز است. سرعت داده<sup>۹</sup> ۱۲۰۰ bps است.

دو قالب پیام در حال استفاده است، فرمت پیام تک داده<sup>۹</sup> (SDMF) و فرمت پیام چند داده<sup>۱۰</sup>

<sup>۹</sup>Single Data Message Format (SDMF)

<sup>۱۰</sup>Multiple Data Message Format (MDMF)



شکل ۷.۱۸: فرمت انتقال شناسه تماس گیرنده.

SDMF در شکل (۷.۱۸) نشان داده شده است. نیم ثانیه پس از اولین حلقه، ۸۰ بایت و ۱ متنابوب (هگز ۰۵) به مدت ۲۵۰ میلی ثانیه و به دنبال آن ۷۰ میلی ثانیه علامت مارک ارسال می شود. این دو سیگنال اولیه سازی<sup>۱۱</sup> و همگام سازی<sup>۱۲</sup> مدار تماس گیرنده را در تلفن فراهم می کنند. پس از آن ۱ بایت نوع پیام را توصیف می کند. این معمولاً یک باینری (۰۰۰۰۱۰۰) است که نشان دهنده SDMF است. به دنبال آن یک بایت حاوی طول پیام، معمولاً تعداد ارقام شماره تماس گیری شده است. سپس داده ها منتقل می شوند. این تاریخ، زمان و شماره تلفن ۱۰ رقمی است که به صورت بایت ASCII با کمترین رقم اول ارسال می شود. فرمت داده ۲ رقمی برای ماه، ۲ رقمی برای روز، ۲ رقمی برای ساعت (زمان نظامی)، ۲ رقمی برای دقیقه و حداقل ۱۰ رقمی برای شماره تماس است. به عنوان مثال، اگر تاریخ ۱۴ فوریه، ساعت ۳۷ : ۱۵ و شماره تماس ۰۰۳۳ – ۴۹۹ – ۵۱۲ باشد، دنباله داده ها استفاده می شود تشخیص جمع کنترلی مجموع مکمل ۲ ثانیه ای (XOR) تمام بایتهای داده بدون شامل سیگنال های اولیه و همگام سازی است.

اگر شماره تماس خارج از منطقه تماس باشد، سیستم به جای شماره تماس، یک O را روی LCD نمایش می دهد. علاوه بر این، ممکن است شماره تماس گیرنده نیز مسدود شود. این را می توان با تنظیم آن با ارائه دهنده خدمات از قبل یا با شماره گیری ۶۷\* قبل از برقراری تماس انجام داد. این باعث می شود به جای شماره تماس، یک P روی LCD نمایش داده شود.

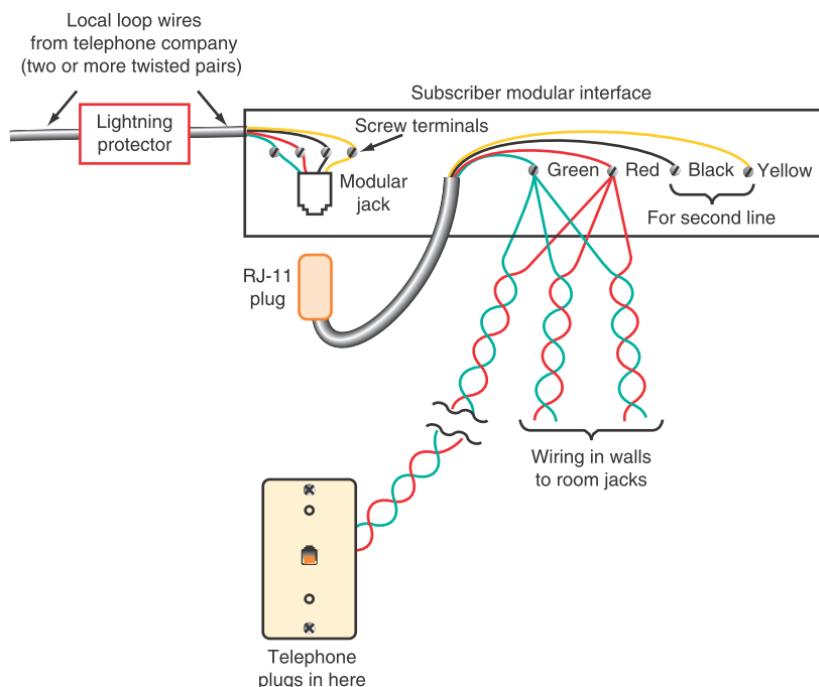
فرمت داده های پیشرفته تر MDMF است. این شبیه به SDMF است اما شامل یک میدان اضافی برای نام طرف تماس به علاوه بایتهای شناسایی اضافی است.

<sup>۱۱</sup>Initialization

<sup>۱۲</sup>Synchronization

**تداخل خطوط** : اکثر تلفن‌ها از طریق کابل چند سیم نازک به یک پریز دیواری متصل می‌شوند. یک کانکتور مخصوص روی کابل، به نام کانکتور مدولار  $RJ-11$ ، به پریز دیواری متصل می‌شود. در صورت نیاز دو حلقه محلی موجود است.

پریز دیواری از طریق سیم کشی در داخل دیوارها به یک نقطه سیم کشی مرکزی به نام رابط مشترک متصل می‌شود. همچنین به عنوان بلوک سیم کشی یا رابط مدولار شناخته می‌شود، این یک محفظه پلاستیکی کوچک حاوی تمام سیم کشی است که خط را از شرکت تلفن به تمام سیم‌های تلفن در خانه متصل می‌کند. بسیاری از خانه‌ها و آپارتمان‌ها سیم کشی شده‌اند به‌طوری که در هر اتاق یک پریز دیواری وجود دارد.

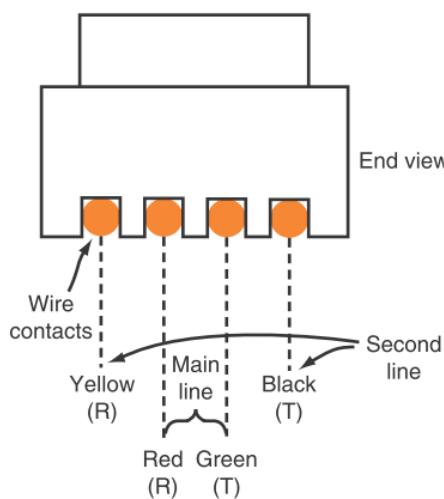


شکل ۸.۱۸: ارتباط مشترکین

شکل (۸.۱۸) یک نمودار کلی از رابط مدولار است. خط شرکت تلفن معمولاً از محافظتی عبور می‌کند که حفاظت در برابر صاعقه را فراهم می‌کند. سپس در جعبه رابط خاتمه می‌یابد. یک پریز و دوشاخه  $RJ-11$  برای اتصال به بقیه سیم کشی‌ها ارائه شده است. این به شرکت تلفن راهی می‌دهد تا خط ورودی را از بقیه سیم کشی خانه جدا کند و آزمایش و عیب‌یابی را آسان‌تر کند.

تمام سیم کشی‌ها از طریق پیچ ترمینال‌های انجام می‌شود. برای یک خانه تک خطی، اتصالات تیپ و رینگ (نام زوج سیم‌ها) سبز و قرمز به پایانه‌ها ختم می‌شود و تمام سیم کشی‌ها به پریزهای دیواری اتصاق به صورت موازی در این پایانه‌ها متصل می‌شوند.

در صورت نصب خط دوم، سیم‌های سیاه و زرد که اتصالات تیپ و رینگ هستند نیز به پیچ پایانه‌های (ترمینالها) ختم می‌شوند. سپس به سیم کشی داخلی خانه متصل می‌شوند. اتصالات روی کانکتور  $RJ-11$  در شکل (۹.۱۸) نشان داده شده است. سیم‌های قرمز و سبز به



شکل ۹.۱۸: اتصالات به دوشاخه مدولار.

دو اتصال مرکزی و سیم‌های سیاه و زرد به دو اتصال بیرونی ختم می‌شوند. اکثر کانکتورهای سیم تلفن و RJ-11 دارای چهار سیم و اتصال هستند. برخی از کابل‌ها فقط دو سیم داخلی دارند. با چهار سیم یک تلفن دو خطی می‌توان جای داد.

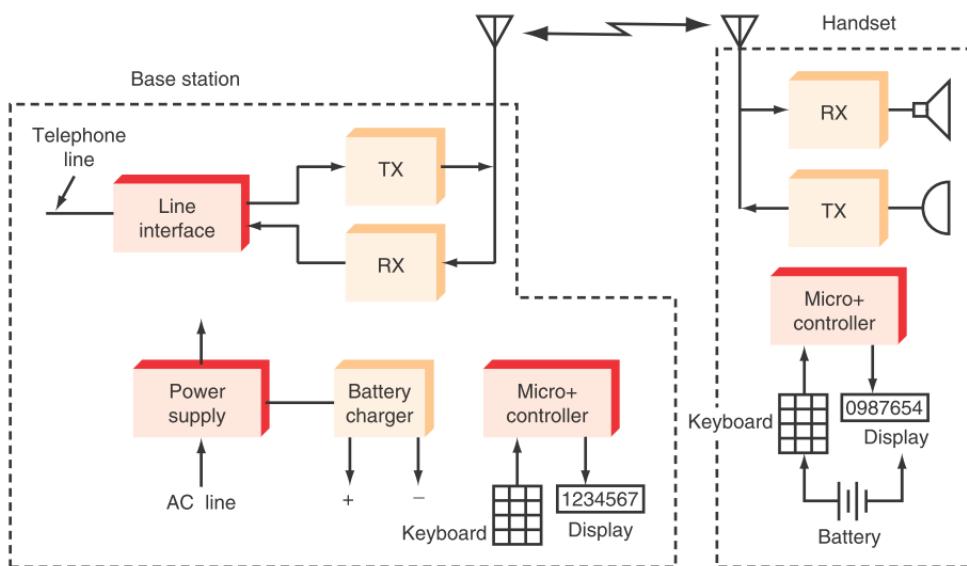
### تلفن‌های بی‌سیم

تقریباً تمام ادارات و اکثر خانه‌ها در حال حاضر دارای دو یا چند تلفن هستند و بسیاری از خانه‌ها و آپارتمان‌ها دارای یک پریز تلفن استاندارد در هر اتاق هستند. این اجزه می‌دهد تا یک تلفن به راحتی از یک مکان به مکان دیگر منتقل شود، و به چندین تلفن (برنامه افزودنی) اجازه می‌دهد. با این حال، راحتی نهایی یک تلفن بی‌سیم است که از انتقال رادیویی دو طرفه استفاده کرده و قابلیت حمل کامل را فراهم می‌کند. امروزه اکثر خانه‌ها دارای یک واحد بی‌سیم هستند.

**مفاهیم تلفن بی‌سیم:** تلفن بی‌سیم یک سیستم رادیویی دو طرفه است که از دو واحد، واحد یا گوشی قابل حمل و واحد پایه تشکیل شده است. واحد پایه از طریق یک کانکتور مدولار به خط تلفن متصل می‌شود. توان خود را از خط ac دریافت می‌کند. واحد پایه یک فرستنده و گیرنده کامل است که شامل فرستندهای است که سیگنال صوتی دریافتی را به واحد قابل حمل ارسال و سیگنال‌های ارسالی توسط واحد قابل حمل را دریافت و آنها را مجدداً در خط تلفن ارسال می‌کند. همچنین دارای یک شارژر باتری است که باتری را در واحد دستی آماده نکه می‌دارد.

واحد قابل حمل نیز یک فرستنده گیرنده باتری است. این دستگاه به گونه‌ای طراحی شده است که در واحد پایه قرار می‌گیرد، جایی که باتری آن قابل شارژ است. هر دو واحد دارای آنتن هستند. فرستنده و گیرنده در هر دو واحد قابل حمل و پایه از عملکرد دوبلکس کامل استفاده می‌کنند. برای رسیدن به این هدف، فرستنده و گیرنده باید در فرکانس‌های مختلف کار کنند.

شکل ۱۰.۱۸) بلوک دیاگرام‌های ساده شده پایه و واحدهای قابل حمل یک تلفن بی‌سیم معمولی را نشان می‌دهد. هم واحد پایه و هم گوشی دارای یک میکروکنترلر تعییه شده هستند که تمامی عملیات از جمله صفحه کلید و نمایشگر را کنترل می‌کند. درصد بالایی از واحدهای بی‌سیم دارای تابع شناسه تماس گیرنده هستند و بسیاری از آنها دارای ویژگی پست صوتی هستند. مبدل آنالوگ



شکل ۱۰.۱۸: بلوک دیاگرام کلی یک تلفن بی‌سیم.

به دیجیتال پیام صوتی دریافتی را به دیجیتال تبدیل می‌کند. توسط میکروکنترلر فشرده شده و سپس در فلش مموری متصل به میکروکنترلر ذخیره می‌شود.

**تحصیص فرکانس :** کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC) چهار باند فرکانسی اصلی را برای تلفن‌های بی‌سیم در نظر گرفته است: ۴۳ تا ۵۰ مگاهرتز، ۹۰۲ تا ۹۲۸ مگاهرتز، ۲/۴ تا ۲/۴۵ گیگاهرتز و ۵/۸ گیگاهرتز. تلفن‌های آنالوگ قدیمی از ۲۵ زوج فرکانس دوبلکس اختصاص داده شده در محدوده ۴۳ تا ۵۰ مگاهرتز استفاده می‌کردند. در باند ۹۰۲ ISM ۹۰۲ مگاهرتز، کanal‌های بیشتری وجود دارد، اما تعداد آنها به قدر استفاده شده بستگی دارد. باند ۲/۴ گیگاهرتز تا ۱۰۰ کanal گسترش دارد که بسیاری از سیگنال‌های طیف گستردگی می‌توانند به طور همزمان وجود داشته باشند و کanal‌ها با یک کد شبیه تصادفی تعیین می‌شوند. باند ۵/۸ گیگاهرتز جدیدترین افزوده شده با فضای طیف را برای چندین کanal است. این تلفن‌ها طوری برنامه ریزی شده‌اند که به طور خودکار زوج کanal را بدون فعالیت و حداقل نویز جستجو کنند.

**ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌های تلفن بی‌سیم :** محدوده فرکانس سه کلاس اصلی تلفن‌های بی‌سیم را که امروزه در دسترس هستند تعریف می‌کند، اما ملاحظات دیگری نیز وجود دارد. در اینجا خلاصه‌ای از سه نوع اساسی آورده شده است.

ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین تلفن‌های بی‌سیم از محدوده ۴۳ تا ۵۰ مگاهرتز استفاده می‌کنند. آنها تلفن‌های آنالوگ هستند که از مدولاسیون فرکانس استفاده می‌کنند. توان خروجی فرستنده به ۵۰۰ مگاوات محدود می‌شود و این بهنوبه خود، بسته به محیط، محدوده انتقال را به حداقل حدود ۱۰۰۰ فوت محدود می‌کند. FCC این محدودیت‌ها را عمداً برای کاهش میزان تداخل با تلفن‌های بی‌سیم اطراف و همچنین بسیاری از مانیتورهای بی‌سیم کودک و دستگاه‌های واکی تاکی اسباب‌بازی با استفاده از فرکانس‌های مشابه ایجاد کرد. در حالی که برخی از تلفن‌های ۴۳ تا ۵۰ مگاهرتز هنوز در دسترس هستند، در بیشتر موارد با تلفن‌های دیجیتالی جدید جایگزین شده‌اند.

اگرچه این تلفن‌های قدیمی به اندازه کافی خوب کار می‌کنند، اما مستعد نویز هستند و برد آنها محدود است. اگر کیفیت بالاتر و برد طولانی‌تر مورد نظر است، می‌توان از تلفن‌هایی در محدوده ۵۰۰ مگاهرتز، ۲/۴ گیگاهرتز استفاده کرد.

سه نوع تلفن ۹۰۰ مگاهرتز موجود است. اینها طیف آنالوگ، دیجیتال و طیف گسترده هستند. گوشی‌های آنالوگ از FM استفاده می‌کنند. اگرچه آنها می‌توانند در مسافت طولانی‌تری ارسال کنند، اما هنوز در معرض نویز هستند. یک تلفن دیجیتال ۹۰۰ مگاهرتز نیز موجود است. از مدولاسیون گوسی FSK (GFSK) استفاده می‌کند. بهترین تلفن‌های ۹۰۰ مگاهرتز از طیف گسترده توالی مستقیم<sup>۱۳</sup> (DSSS) استفاده می‌کنند. با توان حداکثر یک وات، فاصله انتقال حداکثر بین ۵۰۰۰ فوت بسته به محیط و زمین است. هر دو نوع تلفن دیجیتالی در برابر نویز بسیار مصون هستند. جدیدتر و شاید بهترین تلفن‌های بی‌سیم از DSSS در باندهای ۲/۴ گیگاهرتز یا ۵/۸ گیگاهرتز استفاده می‌کنند. حداکثر برد آنها نزدیک به ۷۰۰۰ فوت است و عملاً در برابر نویزهای محلی مصون هستند. اگرچه این گوشی‌ها بسیار گران‌تر هستند، اما بالاترین کیفیت صدا و بالاترین قابلیت اطمینان را ارائه می‌دهند.

در بیشتر موارد، تلفن‌های بی‌سیم در ایالات متحده از طرح‌های اختصاصی به جای آنها می‌باشد. با استاندارد خاصی مطابقت دارند، استفاده می‌کنند. از آنجایی که این تلفن‌ها فقط برای کار در محیط‌های خانگی یا اداری کوچک در نظر گرفته شده‌اند و هیچ الزامی برای کارکرد تلفن با سایر تلفن‌های بی‌سیم وجود ندارد، هر فناوری تا زمانی که دستورالعمل‌های فرکانس و حالت عملکرد FCC را رعایت کند، کار خواهد کرد. وضعیت در اروپا متفاوت است، جایی که استانداردهای تلفن‌های بی‌سیم برای سال‌ها وجود داشته است. جدیدترین استاندارد ایجاد شده توسط موسسه استانداردهای مخابراتی اروپا<sup>۱۴</sup> (ETSI) به نام ارتباطات بی‌سیم پیشرفته دیجیتالی<sup>۱۵</sup> (DECT) اکنون برای استفاده در ایالات متحده تایید شده است. DECT در باند ۱/۸ تا ۱/۹ گیگاهرتز برای استفاده در ایالات متحده کار می‌کند.

تلفن‌های DECT دیجیتالی هستند و از مدولاسیون گوسی FSK استفاده می‌کنند. به جای استفاده از تقسیم فرکانس دوبلکس<sup>۱۶</sup> (FDD) با دو کانال، DECT تنها از یک کانال تک کانالی و تقسیم زمانی (TTD) استفاده می‌کند. در یک کانال، مالتی پلکسینگ تقسیم زمانی به ۱۲ کاربر در هر کانال اجازه می‌دهد. به طور معمول ۱۰ کانال در دسترس است. سرعت داده خام ۱/۱۵۲ مگابیت بر ثانیه است. آخرین نسخه گوشی DECT ۶/۰ است و این گوشی‌ها در ایالات متحده موجود هستند.

## ۲.۱۸ سیستم تلفن

بسیاری از ما خدمات تلفن را امری بدیهی می‌دانیم، همانطور که سایر خدمات رفاهی مانند آب و برق را انجام می‌دهیم. در ایالات متحده خدمات تلفنی عالی است. اما بطور مطمئن در بسیاری از کشورهای دیگر جهان چنین نیست.

هنگامی که به سیستم تلفن اشاره می‌کنیم، در مورد سازمان‌ها و امکاناتی صحبت می‌کنیم که

<sup>۱۳</sup>Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

<sup>۱۴</sup>European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

<sup>۱۵</sup> Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT)

<sup>۱۶</sup>Frequency Division Duplexing (FDD)

در اتصال تلفن شما به تلفن تماس گرفته شده صرف نظر از اینکه در کجا ایالات متحده یا هر جای دیگری در جهان باشد، صحبت می‌کنیم. سیستم تلفن، شبکه تلفنی سوئیچینگ عمومی<sup>۱۷</sup> (PSTN) نامیده می‌شود. گاهی اوقات سیستم تلفنی را می‌شنوید که به آن سرویس تلفن قدیمی ساده<sup>۱۸</sup> (POTS) گفته می‌شود. تعدادی از شرکت‌های مختلف در گیر تماس‌های راه دور هستند، اگرچه یک شرکت معمولاً مسئول تماس‌های محلی در یک منطقه خاص است. این شرکت‌ها سیستم تلفنی را تشکیل می‌دهند و تمام امکانات و تجهیزات مورد استفاده در ارائه خدمات تلفنی همگانی را طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری می‌کنند. مجموعه وسیعی از تجهیزات و فناوری به کار گرفته شده است. علاوه بر نوع فناوری الکترونیکی قابل تصویری برای اجرای خدمات تلفنی در سراسر جهان استفاده می‌شود و با رشد تماس‌های اینترنتی موسوم به پروتکل صوتی از طریق اینترنت (VoIP) این امر همچنان در حال تغییر است.

تلفن، موجودی کوچک اما نسبتاً پیچیده، در مقایسه با سیستم عظیمی که از آن پشتیبانی می‌کند، چیزی نیست. سیستم تلفن می‌تواند هر دو تلفن را در جهان به هم وصل کند و بیشتر مردم فقط می‌توانند در مورد روشهای این اتصال انجام می‌شود را حدس بزنند. این در سطح مختلف اتفاق می‌افتد و شامل مجموعه‌ای باورنکردنی از سیستم‌ها و فناوری است. بدیهی است که توصیف چنین سیستم عظیمی در اینجا دشوار است. با این حال، در این بخش مختصر، سعی می‌کنیم پیچیدگی‌های فنی تلفن‌های متصل، دفتر مرکزی و رابط خط مشترک که هر کاربر را به سیستم تلفن متصل می‌کند، سلسله مراتب اتصالات درون سیستم تلفن و عناصر اصلی و کلی را شرح دهیم. عملکرد سیستم تلفن عملیات از راه دور و سیستم‌های ارتباطی ویژه تلفن مانند PBX نیز مورد بحث قرار گرفته است. VoIP را معرفی کرده‌ایم.

## رابط مشترک

اکثر تلفن‌ها از طریق کابل حلقه محلی دو خطی و زوج سیم تابیده به یک دفتر مرکزی محلی متصل می‌شوند. دفتر مرکزی شامل تمام تجهیزاتی است که تلفن را کار می‌کند و آن را به سیستم تلفنی که بهر تلفن دیگری متصل می‌شود متصل می‌کند.

هر تلفن متصل به دفتر مرکزی با یک گروه از مدارهای اولیه ارائه می‌شود که تلفن را تغذیه می‌کند و کلیه عملکردهای اساسی مانند زنگ‌زدن، صدای شماره‌گیری و نظارت بر شماره‌گیری را ارائه می‌دهد. این مدارها در مجموع به عنوان رابط مشترک یا مدار رابط خط مشترک<sup>۱۹</sup> (SLIC) نامیده می‌شوند. در سیستم‌های قدیمی دفتر مرکزی، مدارهای رابط مشترک از اجزای مجزا استفاده می‌کردند. امروزه اکثر عملکردهای رابط خط مشترک توسط یک یا شاید دو مدار مجمع‌بندی شده تجهیزات پشتیبانی اجرا می‌شوند. رابط خط مشترک به عنوان رابط سمت خط نیز شناخته می‌شود.

SLIC هفت عملکرد اساسی را ارائه می‌دهد که عموماً به آنها BORSCHT گفته می‌شود (نماینده حروف اول عملکرد باتری، حفاظت از اضافه ولتاژ، زنگ‌زدن، نظارت، کدگذاری، ترکیبی و آزمایش<sup>۲۰</sup>). یک بلوک دیاگرام کلی از رابط مشترک و توابع BORSCHT در شکل<sup>۱۱.۱۸</sup> آورده شده است.

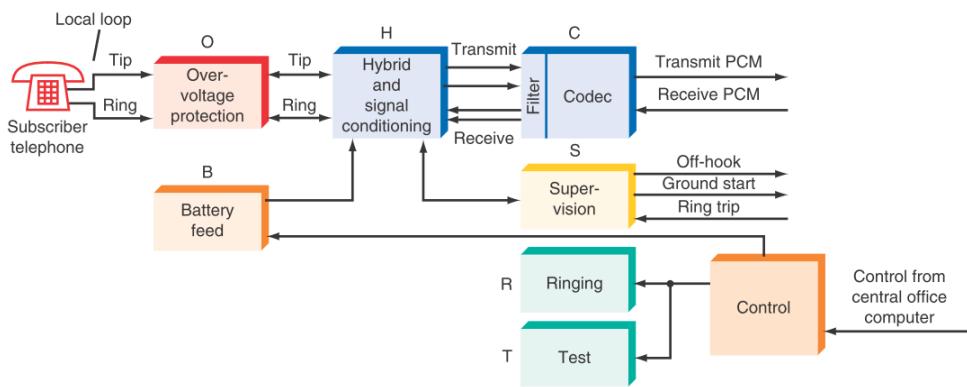
**باطری**: رابط خط مشترک در دفتر مرکزی باید ولتاژ dc را برای کارکرد تلفن در اختیار مشترک قرار دهد. در ایالات متحده، معمولاً ۴۸ ولت dc نسبت به زمین است. ولتاژ واقعی می‌تواند چیزی بین

<sup>۱۷</sup>Public Switched Telephone Network (PSTN)

<sup>۱۸</sup>Plain Old Telephone Service (POTS)

<sup>۱۹</sup>Subscriber Interface or the Subscriber Line Interface Circuit (SLIC)

<sup>۲۰</sup>Battery, Overvoltage protection, Ringing, Supervision, Coding, Hybrid, and Test (BORSCHT)



شکل ۱۱.۱۸: BORSCHT در رابط خط مشترک در دفتر مرکزی کار می‌کند.

۲۰- تا ۸۰- ولت باشد، زمانی که تلفن در قلاب است، یعنی قطع شده است. وقتی گوشی از قلاب خارج می‌شود، ولتاژ تلفن تقریباً به ۶ ولت کاهش می‌یابد. تفاوت بزرگ بین ولتاژهای قلاب و خارج از قلاب مربوط بهافت ولتاژ بزرگی است که در قطعات تلفن و کابل حلقه محلی طولانی رخ می‌دهد. **محافظت در مقابل ولتاژ بیش از حد مجاز**: مدارها و اجزایی که مدارهای رابط خط مشترک را از آسیب الکتریکی محافظت می‌کنند، در مجموع بهنام حفاظت اضافه ولتاژ نامیده می‌شوند. خطوط تلفن در برابر بسیاری از انواع مسائل الکتریکی آسیب پذیر هستند. رعد و برق تا حد زیادی بدترین تهدید است، اگرچه خطرات دیگری نیز وجود دارد، از جمله اتصال تصادفی به خط برق یا نوعی از اتصال نادرست که در حین نصب رخ می‌دهد. اختلالات ناشی از سایر منابع سر و صدا(نویز) نیز می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. حفاظت از ولتاژ بیش از حد، عملکرد قابل اعتماد تلفن را حتی در چنین شرایطی تضمین می‌کند.

**زنگ زدن**: هنگامی که یک تلفن خاصی در حال دریافت تماس است، دفتر محلی تلفن باید یک سیگنال زنگ ارائه دهد. همانطور که قبلاً اشاره شد، این معمولاً یک سیگنال  $90V_{rms}$  ac در تقریباً ۲۰ هرتز است. هنگام دریافت تماس، SLIC باید سیگنال زنگ را به حلقة محلی متصل کند. این معمولاً با بستن کنکات‌های رله‌ای که سیگنال زنگ را به خط وصل می‌کنند، انجام می‌شود. همچنین باید تشخیص دهد که تلفن چه زمانی برداشته می‌شود (خاموش است) تا سیگنال زنگ قطع شود.

**ناظارت**: نظارت بهگروهی از عملکردها در رابط خط مشترک اشاره دارد که شرایط حلقة محلی را نظارت می‌کند و خدمات مختلفی را ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، مدارهای ناظارتی در SLIC تشخیص می‌دهند که چه زمانی یک تلفن برای شروع یک تماس جدید برداشته می‌شود. یک مدار حسگر وضعیت خارج از قلاب را تشخیص می‌دهد و به مدارهای داخل SLIC سیگنال می‌دهد تا صدای شماره‌گیری را به هم متصل کنند. سپس تماس گیرنده شماره مورد نظر را شماره‌گیری می‌کند که باعث اتصال از طریق سیستم تلفن می‌شود.

مدارهای ناظارتی به طور مداوم خط را در طول تماس تلفنی کنترل می‌کنند. مدارها متوجه می‌شوند که تماس قطع می‌شود و در صورت در دسترس نبودن شماره تماس، یک سیگنال اشغال را ارائه می‌دهند.

**کد گذاری**: کد گذاری نام دیگری برای تبدیل D/A و تبدیل A/D است. امروزه بسیاری از ارسال‌های

تلفنی از طریق روش‌های داده دیجیتال سریالی انجام می‌شود. SLIC ممکن است حاوی کدک باشد که سیگنال‌های صوتی آنالوگ را به فرمت PCM سریالی تبدیل می‌کند یا تماس‌های دیجیتال دریافتی را به سیگنال‌های آنالوگ برای قرار دادن در حلقه محلی تبدیل می‌کند. انتقال از طریق خطوط اصلی به سایر دفاتر مرکزی یا دفاتر عوارض یا برای استفاده در انتقال از راه دور معمولاً توسط سیگنال‌های PCM دیجیتالی در سیستم‌های مدرن انجام می‌شود.

### خوب است بدانید که:

سیگنال‌های روی قلاب و خارج از قلاب از نظر مقاومت در هادی‌های تیپ و رینگ (دوسیم تلفن) متفاوت هستند. حداقل مقاومت  $dc$  روی قلاب  $200\Omega$ ،  $30^\circ$  و حداقل مقاومت خارج از قلاب  $200\Omega$  است.

**هایبرید (ترکیب کردن)**: به‌یاد بیاورید که در تلفن، یک مدار هایبرید (همچنین به‌نام مدار دو سیم به چهار سیم شناخته می‌شود)، معمولاً یک ترانسفورماتور، مکالمات دو طرفه همزمان را روی یک زوج سیم ارائه می‌دهد. هایبرید سیگنال ارسالی از فرستنده تلفن (دهنی تلفن) را با سیگنال دریافت شده از طرف مقابله را روی یک کابل زوج تابیده ترکیب می‌کند. این ترانسفورماتور سیگنال‌ها را در تلفن جدا نگه می‌دارد.

هایبرید نیز در دفتر مرکزی (مرکز تلفن) استفاده می‌شود. این به‌طور موثر خط دو سیم را به‌مشترک به‌چهار خط، دو خط برای سیگنال‌های ارسالی و دو خط برای دریافتی، تبدیل می‌کند. هایبرید سیگنال‌های انتقال و دریافت جداگانه را ارائه می‌دهد. اگرچه از یک زوج خط در حلقة محلی مشترک استفاده می‌شود، اما سایر اتصالات به‌سیستم تلفن، سیگنال‌های ارسالی و دریافتی را جداگانه بررسی می‌کنند و مدارهای مستقلی برای برخورد با آنها در طول مسیر دارند.

**سیگنال‌های تست**: برای بررسی وضعیت و کیفیت خطوط مشترک، شرکت تلفن اغلب زنگ‌های آزمایشی خاصی را در حلقة محلی قرار می‌دهد و در ازای آن زنگ‌های حاصل را دریافت می‌کند. اینها می‌توانند اطلاعاتی در مورد عملکرد کلی حلقة محلی ارائه دهند. SLIC راهی برای اتصال سیگنال‌های تست به حلقة محلی و دریافت سیگنال‌های حاصل برای اندازه‌گیری فراهم می‌کند.

**عملکرد BORSCHT**: عملکرد اولیه BORSCHT معمولاً به دو گروه ولتاژ بالا و ولتاژ پایین تقسیم می‌شوند. بخش‌های ولتاژ بالا سیستم عبارتند از تغذیه باتری، حفاظت از اضافه ولتاژ، مدارهای زنگ و مدارهای تست. گروه ولتاژ پایین شامل عملکردهای نظارت، کدگذاری و هایبرید است. در سیستم‌های قدیمی‌تر، تمام عملکردها با مدارهای اجزای گستته اجرا می‌شوند. امروزه این عملکردها به‌طور کلی بین دو آی‌سی تقسیم می‌شوند، یکی برای توابع ولتاژ بالا و دیگری برای توابع ولتاژ پایین. با این حال، آی‌سی‌های تک تراشه BORSCHT SLIC اکنون در دسترس هستند.

### سلسله مراتب تلفن

هر زمان که تماس تلفنی برقرار می‌کنید، صدای شما از طریق سانترال محلی شما به‌سیستم تلفن متصل می‌شود. از آنجا حداقل از طریق یک مرکز محلی دیگر که به‌تلفنی که شما با آن تماس می‌گیرید متصل است، می‌گذرد. چندین تسهیلات دیگر ممکن است سوئیچینگ، مالتی‌پلکسینگ و سایر خدمات مورد نیاز برای انتقال صدای شما را ارائه دهند. سیستم تلفن به‌عنوان شبکه سوئیچ تلفن عمومی<sup>۲۱</sup> (PSTN) شناخته می‌شود. سازماندهی این سلسله مراتب در ایالات متحده در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.

<sup>۲۱</sup> Public Switched Telephone Network (PSTN)

**دفتر مرکزی:** دفتر مرکزی یا تبادلات محلی<sup>۲۲</sup> تأسیساتی است که تلفن شما مستقیماً توسط یک کابل زوج سیم تابیده به آن متصل می‌شود. تبادلات محلی که به نام دفتر پایانی (EO) نیز شناخته می‌شود، می‌تواند به حد اکثر ۱۰۰۰۰ مشترک خدمات رسانی کند که هر یک از آنها با یک شماره چهار رقمی از ۰۰۰۰ تا ۹۹۹۹ (چهار رقم آخر شماره تلفن) شناسایی می‌شوند.

تبادلات محلی نیز شماره مبادله‌ای دارد. اینها سه رقم اضافی هستند که یک شماره تلفن را تشکیل می‌دهند. بدیهی است که ۱۰۰۰ تبادلات با اعداد از ۰۰۰ تا ۹۹۹ وجود دارد. هر کد منطقه به طور کامل در یکی از مناطق جغرافیایی اختصاص داده شده به یکی از شرکت‌های عامل منطقه‌ای موجود است.

به این شرکت‌ها، شرکت‌های مبادله محلی (LEC)<sup>۲۳</sup> می‌گویند.

**روابط عملیاتی:** شرکت‌های مبادله محلی خدمات تلفنی را به مناطق جغرافیایی تعیین شده ارائه می‌دهند که به عنوان مناطق دسترسی و حمل و نقل محلی (LATA)<sup>۲۴</sup> نامیده می‌شود. ایالات متحده به حدود ۲۰۰ LATA تقسیم می‌شود. LATAها در داخل ایالت‌های جداگانه‌ای که هفت منطقه عملیاتی را تشکیل می‌دهند، تعریف می‌شوند. LECها خدمات تلفنی را برای LATAها در مناطق خود ارائه می‌دهند اما خدمات راه دور برای LATAها ارائه نمی‌دهند.

خدمات راه دور توسط حامل‌های مسافت طولانی موسوم به حامل‌های تبادلی<sup>۲۵</sup> (IXC) ارائه می‌شود. IXCها حامل‌های آشنای مسافت‌های طولانی مانند AT&T، Verizon و Sprint هستند. برای هر اتصال بین LATA باید از حامل‌های مسافت دور استفاده شود. LECها می‌توانند خدمات تلفنی را در داخل LATAهایی که بخشی از منطقه عملیاتی آنها هستند ارائه دهند، اما پیوندهای بین LATAها در یک منطقه، حتی اگر ممکن است مستقیماً در مجاورت یکدیگر باشند، باید از طریق یک IXC ایجاد شوند.

هر LATA یک دفتر خدمت یا نقطه حضور (POP)<sup>۲۶</sup> است که برای ارائه اتصالات به IXCها استفاده می‌شود. مبادلات محلی از طریق ترانک‌های فردی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. و همه تبادلات محلی به یک دفتر مرکزی LEC متصل می‌شوند که ترانک‌ها را برای POP فراهم می‌کند. در POP، حامل‌های مسافت طولانی می‌توانند اتصالات رابط خود را ایجاد کنند. POPها باید دسترسی یکسانی را برای هر شرکت مخابراتی مسافت طولانی که مایل به اتصال است فراهم کنند. بسیاری از POPها به چندین IXC متصل هستند، اما در بسیاری از مناطق، تنها یک IXC به یک POP سرویس می‌دهد.

شکل (۱۲.۱۸) سلسله مراتب مورد بحث را خلاصه می‌کند. تلفن‌های فردی در یک LATA از طریق حلقه محلی دو سیمه به تبادلات محلی یا دفتر مرکزی متصل می‌شوند. دفاتر مرکزی در یک LATA توسط ترانک به یکدیگر متصل می‌شوند. این کابل‌ها ممکن است کابل‌های زوج سیم تابیده باند پایه استاندارد باشند که زیر زمین یا روی تیرهای تلفن اجرا می‌شوند، اما ممکن است کابل کواکسیال، کابل فیبر نوری یا لینک‌های رادیویی مایکروویو نیز باشند. در برخی مناطق، دو یا چند دفتر مرکزی در یک ساختمان یا امکانات فیزیکی قرار دارند. اتصالات ترانک عموماً توسط کابل انجام می‌شود.

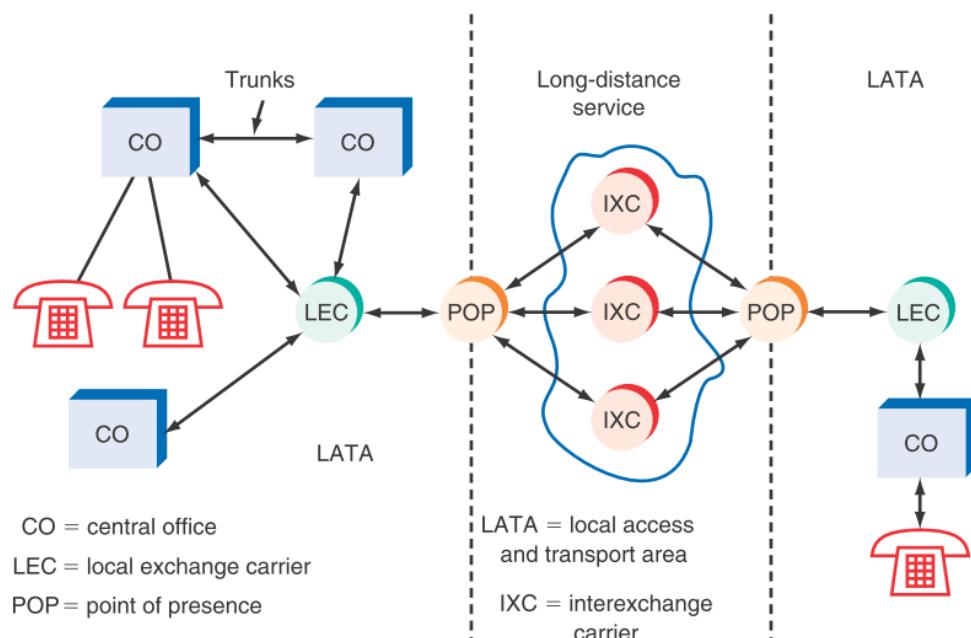
<sup>۲۲</sup>Central Office or Local Exchange

<sup>۲۳</sup>Local Exchange Carriers, or Local Exchange Companies (LECs)

<sup>۲۴</sup>Local Access and Transport Area (LATA)

<sup>۲۵</sup>Interexchange Carriers (IXCs)

<sup>۲۶</sup>Serving, or Point Of Presence (POP)



شکل ۱۲.۱۸: سازمان سیستم تلفن در ایالات متحده.

تبادلات محلی همچنین به یک دفتر مرکزی LEC متصل می‌شوند که بین دو تبادل محلی که مستقیماً ترانک نشده‌اند، ارتباط برقرار نشود. تماس از تبادل محلی به دفتر مرکزی LEC منتقل می‌شود، جایی که اتصال به تبادل محلی دیگر انجام می‌شود. دفتر مرکزی LEC نیز به POP متصل است. بسته به سازماندهی LEC در LATA، دفتر مرکزی LEC ممکن است حاوی POP باشد.

در شکل (۱۲.۱۸) توجه داشته باشید که POP اتصالات را به حامل‌های مسافت طولانی یا IXC‌ها فراهم می‌کند. "ابر" نشان دهنده شبکه‌های مسافت طولانی IXC‌ها است. شبکه راه دور به POP‌های راه دور متصل می‌شود که به‌نوبه خود به سایر دفاتر مرکزی و تبادلات محلی متصل می‌شوند. بیشتر سایر حامل‌های مسافت طولانی ترتیبات سلسله مراتبی خاص خود را دارند. انواع دفاتر سوئیچینگ در سراسر کشور با استفاده از کابل فیبر نوری یا رله مایکروویو توسط ترانک به هم متصل می‌شوند. تکنیک‌های مالتی‌پلکس در سراسر جهان برای ارائه مسیرهای همزمان بسیاری برای تماس‌های تلفنی استفاده می‌شود.

در تمام موارد، دفاتر مرکزی مختلف و مراکز مسیریابی خدمات سوئیچینگ را ارائه می‌دهند. کل ایده این است که به‌هر تلفنی اجازه داده شود تا مستقیماً با هر تلفن خاص دیگری ارتباط برقرار کند. هدف از تمام سطوح مختلف در سلسله مراتب سیستم تلفن، فراهم کردن خطوط ترانک متصل کننده و همچنین تجهیزات سوئیچینگ است که اتصال دلخواه را ایجاد می‌کند.

اتصالات بین دفاتر مرکزی، دفاتر مرکزی و LEC و POP‌ها دیجیتالی هستند و از طرح‌های مالتی‌پلکس T1 و T3 که در فصل دوازدهم توضیح داده شده است استفاده می‌کنند. روش انتقال در مسافت‌های طولانی کابل فیبر نوری با استفاده از پروتکل‌های معروف به حالت انتقال ناهمزمان

(ATM)، شبکه نوری سنکرون (SONET) و شبکه انتقال نوری (OTN) است. این سیستم‌ها در فصل دوازدهم توضیح داده شده است.

### سیستم سیگنالینگ

سیگنالینگ به فرآیند تنظیم و قطع تماس در شبکه اشاره دارد. سیگنالینگ از بسته‌های دیجیتالی برای انجام تمام عملیات‌های مختلف لازم برای ایجاد یک اتصال و از بین بردن آن استفاده می‌کند. عملکردهای معمولی شامل صورتحساب، مدیریت تماس (مانند انتقال تماس، نمایش شماره، تماس سه طرفه و تماس‌های ۸۰۰ و ۹۰۰) و مسیریابی تماس‌ها از یک نقطه به نقطه دیگر است. سیستم سیگنالینگ مورد استفاده در ایالات متحده و سایر نقاط جهان، سیستم سیگنالینگ شماره ۷ یا SS7 نام دارد.

علاوه بر اتصالات  $T_3$  و سایر اتصالات بین دفاتر مرکزی و سایر امکانات، شرکت‌های تلفن یک شبکه سیگنالینگ مجزا ساخته‌اند که از لینک‌های دیجیتالی با سرعت ۵۶ کیلوبیت بر ثانیه یا ۶۴ کیلوبیت بر ثانیه تشکیل شده است. اتصالات سریعتر نیز با نرخ‌های ۱/۵۳۶ کیلوبیت بر ثانیه و ۱/۹۸۴ کیلوبیت در ثانیه وجود دارد. این پیوندها بسته‌های دیجیتال را با کلمات کنترلی حمل می‌کنند که به سیستم می‌گویند هنگام برقراری تماس چه کاری انجام دهد.

به علاوه یک پروتکل رسمی با استفاده از مدل آشنای OSI ایجاد شده است. تعاریفی برای چهار نوع لایه وجود دارد: فیزیکی (۱ لایه)، پیوند داده (۲)، شبکه (۳) و کاربردی (۷). پروتکل SS7 توسط ITU-T استاندارد شده و Q.700 نامگذاری شده است. چندین نسخه از SS7 در سراسر جهان وجود دارد.

### سیستم تلفن خصوصی

خدمات تلفنی ارائه شده به شرکت‌ها یا سازمان‌های بزرگ با تعداد زیادی کارمند و تلفن‌های زیاد به طور قابل توجهی با خدمات اصلی حلقه محلی ارائه شده برای افراد متفاوت است. بسته به اندازه سازمان، ممکن است دهها، صدها یا حتی هزاران تلفن مورد نیاز باشد. صرفاً مقولون به صرفه نیست که هر تلفن در سازمان با اتصال حلقه محلی جداگانه خود به دفتر مرکزی ارائه شود. همچنین استفاده از یک دفتر مرکزی راه دور برای ارتباطات بین شرکتی، استفاده ناکارآمد از امکانات گران قیمت است. به عنوان مثال، یک فرد در یک دفتر اغلب ممکن است نیاز داشته باشد که یک تماس بین شرکتی با فردی در دفتر دیگری برقرار کند، که ممکن است فقط چند در پایین‌تر از سالن یا چند طبقه دورتر باشد. ایجاد این ارتباط از طریق مبادلات محلی بیهوده است.

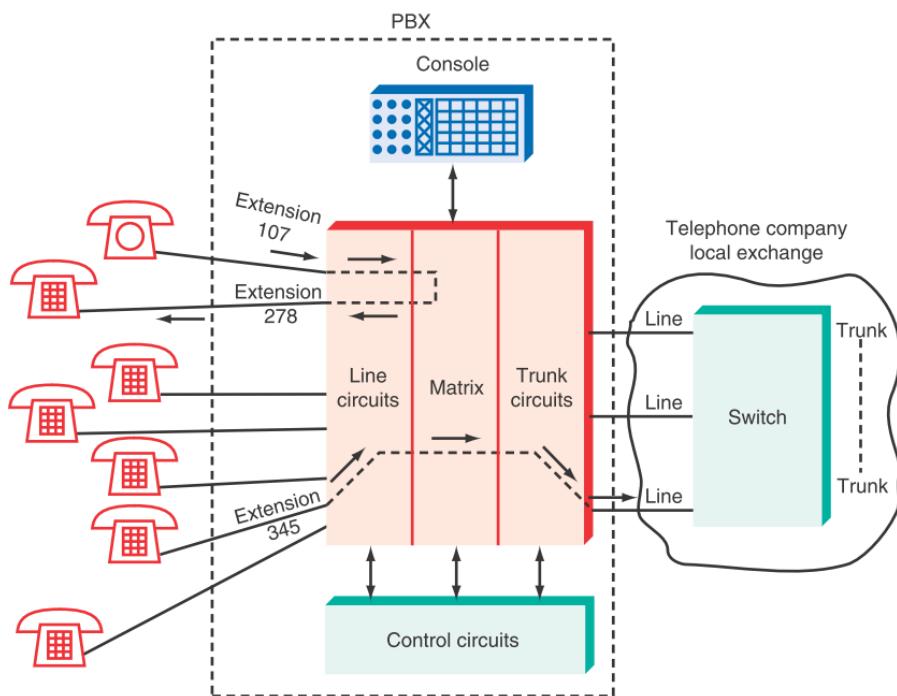
این مشکل با استفاده از سیستم‌های تلفن خصوصی در داخل یک شرکت یا سازمان حل می‌شود. سیستم‌های تلفن خصوصی خدمات تلفنی را در بین تلفن‌های موجود در سازمان پیاده سازی می‌کنند و یک یا چند اتصال حلقه محلی را به دفتر مرکزی ارائه می‌دهند. دو نوع اصلی از سیستم‌های تلفن خصوصی به عنوان سیستم‌های کلیدی و مبادلات شعب خصوصی شناخته می‌شوند.

**سیستم‌های کلیدی :** سیستم‌های کلیدی، سیستم‌های تلفن کوچکی هستند که برای سرویس دهی از ۲ تا ۵۰ تلفن کاربر در یک سازمان طراحی شده‌اند. سیستم‌های تجاری موجود معمولاً برای ۶، ۱۰ یا ۱۲ تا ۵۰ تلفن پیش‌بینی می‌کنند.

سیستم‌های تلفن کلیدی ساده از واحدهای تلفن مجزا که عموماً به آنها ایستگاه گفته می‌شود، تشکیل شده‌اند که همگی به یک ایستگاه پاسخگویی مرکزی متصل هستند. ایستگاه پاسخگویی مرکزی به یک یا چند خط حلقه محلی معروف به ترانک به مبادلات محلی متصل است. اکثر سیستم‌ها همچنین دارای یک واحد سوئیچینگ الکترونیکی مرکزی هستند که تمام اتصالات داخلی و خارجی

را انجام می‌دهد.

دستگاههای تلفن در یک سیستم کلیدی معمولاً دارای یک گروه از دکمه‌ها هستند که بهر تلفن اجازه می‌دهد دو یا چند خط خروجی را انتخاب کند. تماس‌های تلفنی بهروش معمول انجام می‌شود.  
**تبدلات شعبه خصوصی** : یک مرکز مبادلات خصوصی یا همان PBX که شناخته می‌شود، یک سیستم تلفن خصوصی برای سازمان‌های بزرگتر است. اکثر سانترال‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که ۵۰ یا بیشتر اتصالات تلفنی را انجام دهند. آنها می‌توانند هزاران تلفن فردی را در یک سازمان مدیریت کنند. این سیستم‌ها همچنین ممکن است به عنوان مرکز مبادلات خودکار خصوصی (PABX) یا مبالغه شعب کامپیوتری CPX<sup>۲۷</sup> نیز شناخته شوند. از بین این سه اصطلاح، عبارت PBX بیشتر شناخته شده و مورد استفاده است.



شکل ۱۳.۱۸: تبدلات شعبه خصوصی (PBX).

یک PBX (شکل ۱۳.۱۸) در واقع یک سیستم تلفن کامل مینیاتوری است. این اتصالات باند پایه را برای تمام تلفن‌های یک سازمان فراهم می‌کند. همه تلفن‌ها به یک سیستم سوئیچینگ مرکزی متصل می‌شوند که اتصالات بین شرکتی و همچنین اتصالات خارجی را به چندین خط اصلی به‌دفتر مرکزی برقرار می‌کند.

مانند سیستم کلید، PBX مزایای بهره‌وری و کاهش هزینه را در مواقعي که نیاز به تعداد زیادی تلفن است، ارائه می‌دهد. تماس‌های بین اداری را می‌توان با سیستم PBX بدون دسترسی به مرکز مبادلات محلی انجام داد. علاوه بر این، محدود کردن تعداد خطوط اصلی به‌دفتر مرکزی مقرن

<sup>۲۷</sup>Computer Branch Exchange (CPX)

به صرفه است، زیرا همه تلفن‌های موجود در سازمان تلاش نمی‌کنند به یک خط خارجی در یک زمان دسترسی داشته باشند.

سانترال مدرن معمولاً با کنترل کامپیوتراً کاملاً خودکار است. اگرچه نیازی به اپراتور نیست، اما اکثر سازمان‌های بزرگ یک یا چند اپراتور دارند که به تماس‌های تلفنی دریافتی پاسخ می‌دهند و آنها را به طور مناسب با یک کنسول کنترل مسیریابی می‌کنند. با این حال، برخی از سانترال‌ها به گونه‌ای خودکار هستند که می‌توان با تلفن هر کاربر که پسوند آن چهار رقم آخر شماره تلفن است، مستقیماً از خارج تماس گرفت.

همانطور که از شکل (۱۳.۱۸) مشاهده می‌کنید، PBX از مدارهای خطی تشکیل شده است که شبیه مدارهای رابط خط مشترک هستند که قبلاً بحث شد. ماتریس سوئیچ الکترونیکی است که هر تلفن را به هر تلفن دیگری در سیستم متصل می‌کند. همچنین اجراه تماس‌های کنفرانسی را می‌دهد. مدارهای ترانک با خطوط حلقه محلی به دفتر مرکزی ارتباط دارند. تمام مدارها تحت کنترل یک کامپیوتر مرکزی است که به کار سانترال اختصاص داده شده است.

جایگزینی برای PBX به نام Centrex شناخته می‌شود. این سرویس که معمولاً توسط شرکت تلفن محلی ارائه می‌شود، عملکرد یک PBX را انجام می‌دهد، اما از تجهیزات ویژه‌ای استفاده می‌کند و بیشتر سوئیچینگ‌ها توسط تجهیزات سوئیچینگ مرکز مبادله محلی از طریق خطوط ترانک ویژه انجام می‌شود. مزیت آن نسبت به یک سانترال استاندارد این است که با اجاره تجهیزات Centrex از شرکت تلفن می‌توان از هزینه اولیه بالای تجهیزات PBX جلوگیری کرد.

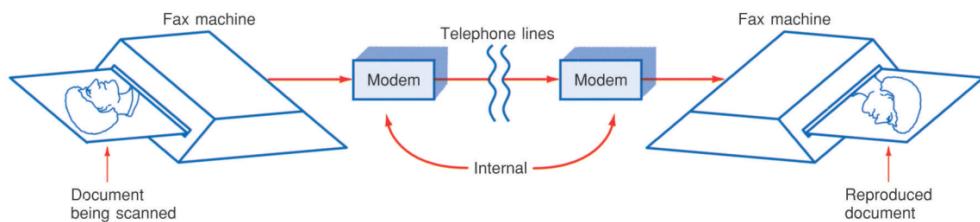
امروزه، با پذیرش بیشتر شرکت‌ها از سیستم‌های VoIP، سیستم‌های PBX قدیمی‌تر به تدریج به نفع سیستمی معادل که از استانداردهای VoIP استفاده می‌کند، ناپدید می‌شوند. این سیستم‌ها به سیستم LAN شرکت متصل می‌شوند که معمولاً از اترنت برای اتصال تلفن‌ها به یک پایه یا واحد کلیدی برای توزیع ویژگی‌های تماس مانند پست صوتی و قابلیت پاسخگویی شبیه PBX استفاده می‌کند. اکثر این توابع در نرم افزار با سرور اختصاص داده شده به این عملکرد پیاده سازی می‌شوند.

## ۳.۱۸ فاکس

فاکس یا فکس، یک سیستم الکترونیکی برای انتقال اطلاعات گرافیکی از طریق سیم یا رادیو است. فاکس برای ارسال مطالب چاپی با اسکن کردن و تبدیل آن به سیگنال‌های الکتریکی استفاده می‌شود که یک سیگنال حامل را برای انتقال از طریق خطوط تلفن مدوله می‌کند. از آنجایی که مدولاسیون درگیر است، انتقال فکس می‌تواند از طریق رادیو نیز انجام شود. با فکس، اسنادی مانند حروف، عکس‌ها، نقشه‌های خطی یا هر اطلاعات چاپی را می‌توان به سیگنال الکتریکی تبدیل کرد و با تکنیک‌های ارتباطی مرسوم منتقل کرد. اجزای یک سیستم فکس در شکل (۱۴.۱۸) نشان داده شده است.

اگرچه از فاکس برای انتقال تصاویر استفاده می‌شود، اما تلویزیون نیست زیرا پیام‌های صوتی یا صحنه‌های زنده و حرکت را منتقل نمی‌کند. با این حال، از تکنیک‌های اسکن (روبش) استفاده می‌کند که به طور کلی شبیه به آن‌هایی است که در تلویزیون استفاده می‌شود. یک فرآیند اسکن برای خرد کردن یک سند چاپ شده به خطوط اسکن افقی زیادی استفاده می‌شود که می‌توانند به صورت سریالی منتقل و تکثیر شوند.

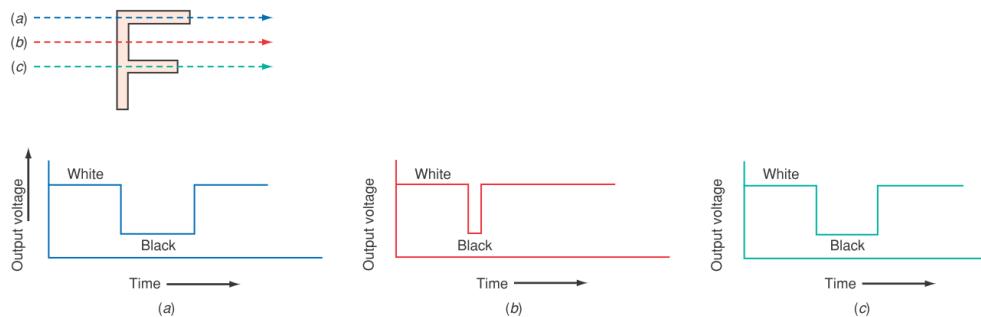
**چگونه فاکس کار می‌کند**



شکل ۱۴.۱۸: اجزای سیستم فاکس

دستگاههای فاکس اولیه سند را اسکن می‌کردند تا با آرایش نور و فتوسل ارسال شود. سر اسکن از یک منبع نور و یک فتوسل تشکیل شده است. یک منبع نور، متمرکز بر یک نقطه کوچک با یک سیستم لنز، برای اسکن سند استفاده می‌شد.

این لنز همچنین برای تمرکز نور منعکس شده از روی سند بر روی فتوسل استفاده می‌شد. همانطور که نور حروف و اعداد را در یک سند تایپ شده یا چاپ شده یا مقیاس خاکستری در یک عکس اسکن می‌کند، فتوسل سیگنال الکتریکی متفاوتی تولید کرده که دامنه خروجی آن متناسب با مقدار نور بازتاب شده است. سپس از این سیگنال باند پایه برای مدوله کردن بصورت دامنه یا فرکانس یک سیگنال حامل در محدوده فرکانس صوتی استفاده می‌شد. این اجزاء می‌دهد تا سیگنال از طریق خطوط تلفن منتقل شود.



شکل ۱۵.۱۸: خروجی یک آشکارساز حساس به نور در طول اسکن‌های مختلف.

شکل (۱۵.۱۸) نشان می‌دهد که چگونه یک نامه چاپ شده ممکن است اسکن شده باشد. فرض کیم که حرف F روی زمینه سفید سیاه است. خروجی یک آشکارساز نوری هنگام اسکن در دو سر خط a در شکل (۱۵.۱۸)(الف) نشان داده شده است. ولتاژ خروجی برای رنگ سفید زیاد و برای سیاه کم است. خروجی آشکارساز نوری نیز برای خطوط اسکن b و c نشان داده شده است. خروجی آشکارساز نوری برای مدوله کردن سیگنال حامل استفاده می‌شود و سیگنال حاصل روی خط تلفن قرار می‌گیرد.

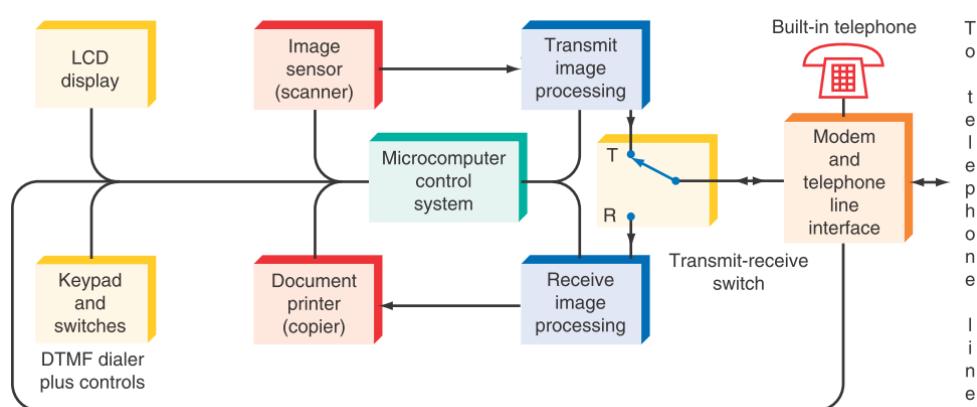
وضوح انتقال با تعداد خطوط اسکن در هر اینچ عمودی تعیین می‌شود. هرچه تعداد خطوط اسکن شده بیشتر باشد، جزئیات ارسال شده ریزتر و کیفیت بازتولید بالاتر می‌رود. سیستم‌های قدیمی تر

وضوح ۹۶ خط در اینچ<sup>۲۸</sup> (LPI) داشتند و سیستم‌های جدید دارای ۲۰۰ LPI هستند.

### خوب است بدانید که:

فاکس از تکنیک‌های اسکن مشابه آنچه در تلویزیون استفاده می‌شود، استفاده می‌کند. از طریق این اسکن، سند به‌بسیاری از خطوط اسکن افقی تقسیم که به صورت سریالی ارسال و بازتولید می‌شوند.

در انتهای دریافت، یک دمودولاتور اطلاعات سیگنال اصلی را بازیابی می‌کند و سپس بر روی یک قلم اعمال می‌شود. هدف از قلم این است که اطلاعات اصلی را روی یک صفحه کاغذ خالی دوباره ترسیم کند. یک قلم معمولی سیگنال الکتریکی را به تغییرات گرمایی تبدیل می‌کند و تصویر را در روی کاغذ حساس به حرارت می‌وزاند. انواع دیگر مکانیسم‌های چاپ استفاده شده است.



شکل ۱۶.۱۸: بلوك دیاگرام دستگاه مودم فاکس.

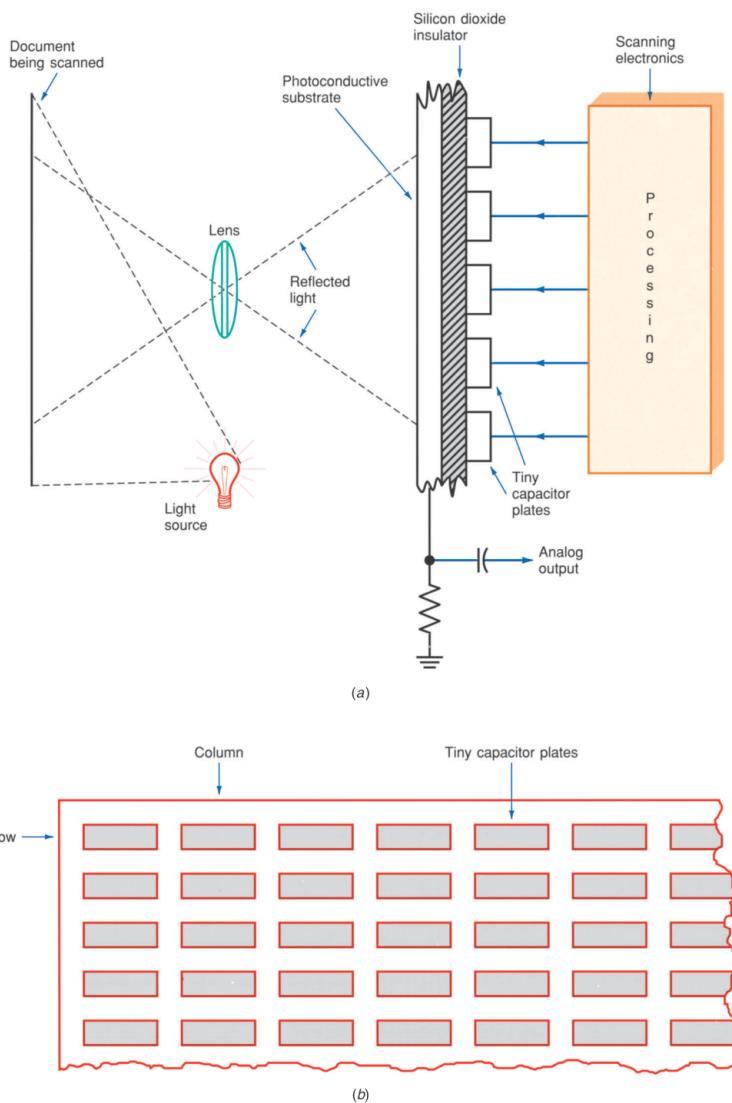
دستگاه فکس مدرن امروزی یک دستگاه الکتروپیکال با تکنولوژی بالا است. اسکن به صورت الکترونیکی انجام می‌شود و سیگنال اسکن شده به سیگنال باینری تبدیل می‌شود. سپس از انتقال دیجیتال با تکنیک‌های مودم استاندارد استفاده می‌شود.

شکل (۱۶.۱۸) بلوك دیاگرام یک دستگاه فکس مدرن است. فرآیند انتقال با یک اسکنر تصویر آغاز می‌شود که سند را به صدها خط اسکن افقی تبدیل می‌کند. بسیاری از تکنیک‌های مختلف استفاده می‌شود، اما همه آنها دارای یک دستگاه حساس به عکس (نور) برای تبدیل تغییرات نور در طول یک خط اسکن شده به ولتاژ الکتریکی هستند. سپس سیگنال حاصل به روش‌های مختلف پردازش می‌شود تا داده‌ها کوچک‌تر و در نتیجه سریع‌تر ارسال شوند. سیگنال حاصل به یک مودم فرستاده می‌شود که در آنجا یک سیگنال حامل تنظیم شده در وسط پهنانی باند طیف صدای تلفن را مدوله می‌کند. سپس سیگنال از طریق شبکه سوئیچینگ تلفن عمومی برای دستگاه فکس گیرنده ارسال می‌شود.

مودم دستگاه فکس دریافت کننده سیگنالی را که برای بازیابی داده‌های اصلی پردازش کرده و تغییر شکل می‌دهد. داده‌ها از حالت فشرده خارج می‌شوند و سپس به چاپگر ارسال می‌شوند که

<sup>۲۸</sup>Lines Per Inch (LPI)

سند را باز تولید کند. از آنجایی که تمام دستگاه‌های فکس می‌توانند ارسال و دریافت کنند، به آنها فرستنده و گیرنده می‌گویند. انتقال نیمه دو طرفه است زیرا فقط یک دستگاه می‌تواند در یک زمان ارسال یا دریافت کند.



شکل ۱۷.۱۸: در دستگاه‌های فکس مدرن از یک دستگاه تزویج بار الکتریکی برای اسکن اسناد استفاده می‌شود.  
 (الف) مقطع. (ب) جزئیات ماتریس خازن.

اکثر دستگاه‌های فکس دارای تلفن داخلی هستند و چاپگر را می‌توان به عنوان دستگاه کپی نیز استفاده کرد. یک میکروکامپیوتر تعییه شده تمامی کنترل‌ها و عملیات، از جمله جابجایی کاغذ را انجام می‌دهد.  
**پردازش تصویر**

اکثر دستگاه‌های فکس از دستگاه تزویج بار الکتریکی<sup>۲۹</sup> (CCD) برای اسکن استفاده می‌کنند. یک دستگاه نیمه‌هادی حساس بهنور است که دامنه‌های مختلف نور را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. CCD معمولی از بسیاری از دیودهای کوچک با بایاس معکوس تشکیل شده است که به عنوان خازن عمل می‌کنند، که در یک ماتریس روی یک تراشه سیلیکونی ساخته می‌شوند (شکل ۱۷.۱۸). پایه یک صفحه بزرگ از خازن را تشکیل می‌دهد که همانطور که نشان داده شده است توسط یک دی‌الکتریک از هزاران صفحه خازن کوچک جدا شده است. هنگامی که CCD در معرض نور قرار می‌گیرد، خازن‌های CCD تا مقداری متناسب با شدت نور شارژ می‌شوند. خازن‌ها سپس اسکن یا نمونه برداری الکترونیکی می‌شوند تا شارژ آنها مشخص شود. این یک سیگنال خروجی آنالوگ ایجاد می‌کند که به دقت تصویر مت مرکز شده بر روی CCD را به تصویر می‌کشد.

CCD در واقع وسیله‌ای است که هر صحنه یا تصویر را به عناصر تصویری یا پیکسل‌ها تقسیم می‌کند. هرچه تعداد خازن‌ها یا پیکسل‌های CCD بیشتر باشد، وضوح تصویر بالاتر می‌رود و می‌توان یک منظره، عکس یا سند را با دقت بیشتری باز تولید کرد. CCD‌ها با ماتریسی از هزاران پیکسل در دسترس هستند، بنابراین امکان انتقال تصویر با وضوح بسیار بالا را فراهم می‌کنند. در طور گسترده در دوربین‌های فیلمبرداری مدرن به جای لوله‌های ظرفی‌تر و گران‌تر vidicon می‌کنند. در دوربین فیلمبرداری (دوربین فیلمبرداری)، لنز کل صحنه را روی یک ماتریس CCD مت مرکز می‌کند. همین رویکرد در برخی از دستگاه‌های فکس استفاده می‌شود. در یک نوع دستگاه فکس، سندی که قرار است ارسال شود، همانطور که ممکن است در دستگاه کپی باشد، رو به پایین قرار می‌گیرد. سپس سند با نور درخشان از یک لامپ زنون یا فلورسنت روشن می‌شود. یک سیستم عدسی نور منعکس شده را روی یک CCD مت مرکز می‌کند. سپس CCD اسکن می‌شود و خروجی حاصل یک سیگنال آنالوگ است که دامنه آن متناسب با دامنه نور منعکس شده است.

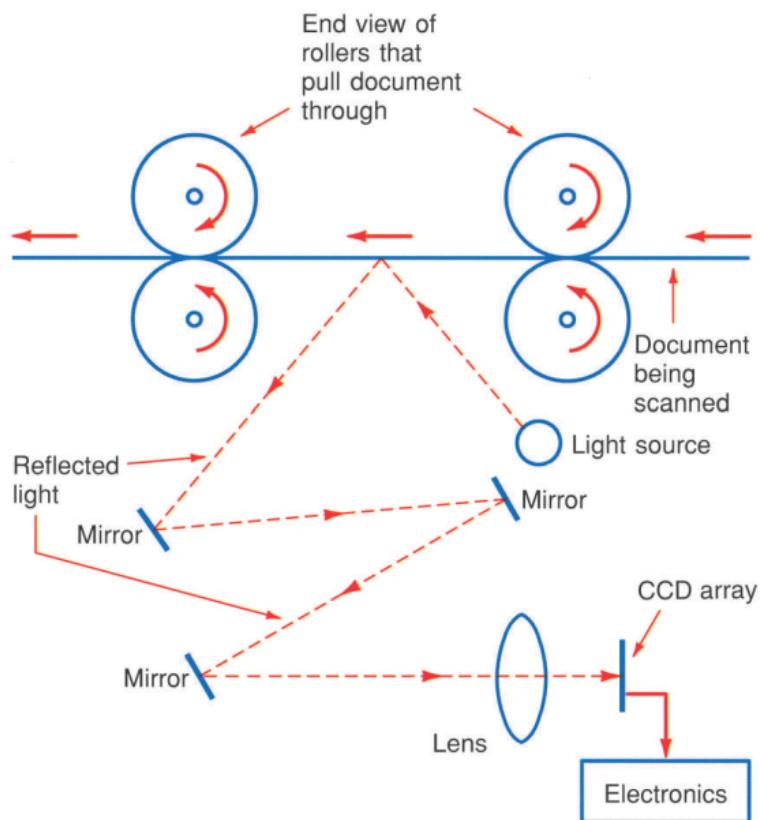
در اکثر دستگاه‌های فکس رومیزی، کل سند روی یک CCD مت مرکز نمی‌شود. در عوض، تنها بخش باریکی از سند هنگام جابجایی از طریق دستگاه فکس با غلطک، روشن و بررسی می‌شود. یک سیستم پیچیده از آینه‌ها برای تمرکز ناحیه روشن بر روی CCD استفاده می‌شود (شکل ۱۸.۱۸).

دستگاه‌های فکس مدرن‌تر از نوع دیگری از مکانیسم اسکن استفاده می‌کنند که از لنز استفاده نمی‌کند. مکانیسم اسکن مجموعه‌ای است که از یک آرایه LED و یک آرایه CCD تشکیل شده است. اینها طوری چیده شده‌اند که کل عرض یک صفحه استاندارد  $11 \times 8\frac{1}{4}$  به طور همزمان یک خط در یک زمان اسکن شود. آرایه LED بخش باریکی از سند را روشن می‌کند. نور منعکس شده توسط اسکنر CCD گرفته می‌شود. یک اسکنر معمولی دارای  $2048 \times 2048$  حسگر نور است که یک خط اسکن را تشکیل می‌دهند. شکل (۱۹.۱۸) نمای جانبی مکانیسم اسکن را نشان می‌دهد. این ولتاژها از فرمت موازی به سیگنال متناسب با تغییرات نور در یک خط اسکن شده تبدیل می‌شود. این ولتاژها از فرمت AGC و تقویت کننده ولتاژ سریال تبدیل می‌شوند. سیگنال آنالوگ حاصل تقویت شده و به مدار A/D فرستاده می‌شود که در آنجا سیگنال‌های نور S/H ارسال می‌شود. سپس سیگنال به یک مبدل A/D فرستاده می‌شود که در اینجا سیگنال‌های نور به کلمات داده‌های باینری برای انتقال تبدیل می‌شوند.

### فشرده‌سازی داده‌ها

حجم عظیمی از داده‌ها با اسکن یک صفحه از یک سند تولید می‌شود. یک صفحه معمولی  $11 \times 8\frac{1}{4}$  حدود ۴۰۰۰۰ بایت داده را نشان می‌دهد. با استفاده از تکنیک‌های فشرده‌سازی داده‌ها، می‌توان این میزان را تا ضربی ۱۰ یا بیشتر کوتاه کرد. علاوه بر این، به دلیل پهنای باند باریک خطوط تلفن، نرخ

<sup>۲۹</sup>Charge Coupled Device (CCD)



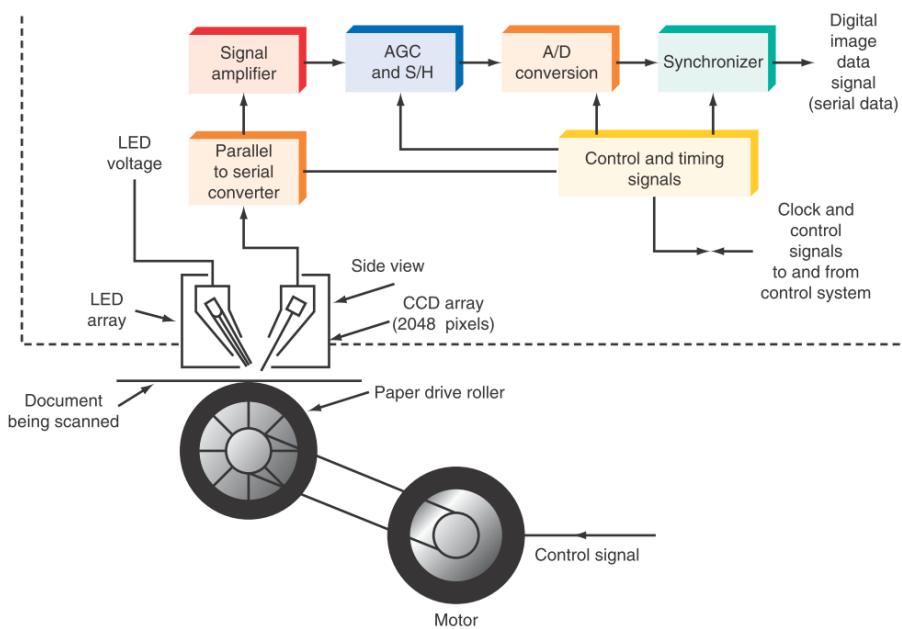
شکل ۱۸.۱۸: مکانیسم اسکن در دستگاه فکس

داده محدود است. به همین دلیل است که انتقال یک صفحه داده بسیار طولانی است. پیشرفت‌ها در مودم‌های پرسرعت به کاهش زمان انتقال کمک کرده است، اما مهم‌ترین پیشرفت‌ها تکنیک‌های فشرده‌سازی داده‌ها هستند که مقدار کلی داده را کاهش می‌دهند، که به‌طور قابل توجهی زمان انتقال و شارژ تلفن را کاهش می‌دهد.

### خوب است بدانید که:

به دلیل حجم زیادی از داده‌های تولید شده از طریق اسکن، از تکنیک‌های فشرده‌سازی داده‌ها می‌توان برای کوتاه کردن انتقال فکس تا ۱۰ یا بیشتر استفاده کرد.

فشرده‌سازی داده‌ها یک تکنیک پردازش داده دیجیتال است که به‌دبال افزونگی در سیگنال ارسالی است. فضای سفید یا بخش‌های پیوسته صفحه که سایه یکسانی دارند، رشته‌های پیوسته‌ای از کلمات داده را تولید می‌کنند که یکسان هستند. اینها را می‌توان حذف کرد و به عنوان یک کد دیجیتال ویژه که انتقال آن به‌طور قابل توجهی سریعتر است، منتقل شود. سایر اشکال فشرده‌سازی داده‌ها از الگوریتم‌های ریاضی مختلف برای کاهش حجم داده‌های ارسالی استفاده می‌کنند. فشرده‌سازی داده‌ها توسط یک تراشه پردازش سیگنال دیجیتالی (DSP) انجام می‌شود. این یک



شکل ۱۹.۱۸: مکانیزم اسکنر LED/CCD در یک دستگاه فکس مدرن.

ریزپردازنده با سرعت بالا با ROM تعبیه شده حاوی برنامه فشرده‌سازی است. داده‌های دیجیتال مبدل A/D از طریق تراشه DSP ارسال می‌شود، که از آن رشتہ‌ای از داده‌های بسیار کوتاه‌تر می‌آید که تصویر اسکن شده را نشان می‌دهد. این همان چیزی است که منتقل می‌شود و در زمان بسیار کمتری نسبت به داده‌های اصلی قابل انتقال است.

در انتهای دریافت، سیگنال دمودوله شده از حالت فشرده خارج می‌شود. باز هم، این کار از طریق یک تراشه DSP که مخصوصاً برای این عملکرد برنامه ریزی شده است انجام می‌شود. سیگنال داده اصلی بازیابی شده و به چاپگر ارسال می‌شود.

### مودم‌ها

هر دستگاه فکس دارای یک مودم داخلی است که شبیه مودم داده معمولی برای کامپیوتر است. این مودم‌ها برای ارسال و دریافت فکس بهینه شده‌اند. و از استانداردهای بین المللی پیروی می‌کنند تا هر دستگاه فکسی بتواند با هر دستگاه فکس دیگری ارتباط برقرار کند.

تعدادی از طرح‌های مدولاسیون مختلف در سیستم‌های فکس استفاده می‌شود. سیستم‌های فکس آنالوگ از AM یا FM استفاده می‌کنند. فکس دیجیتالی از QAM یا PSK یا ITU-T استفاده می‌کند. برای اطمینان از سازگاری بین دستگاه‌های فکس سازندگان مختلف، استانداردهای فکس برای سرعت، روش‌های مدولاسیون ووضوح توسط کمیته مشاوره بین المللی تلگراف و تلفن، که بیشتر با مخفف فرانسوی آن، CCITT شناخته می‌شود، ایجاد شده است. CCITT اکنون با نام ITU-T یا اتحادیه بین المللی مخابرات شناخته می‌شود. استانداردهای فکس ITU-T به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

۱. گروه ۱ (G1 یا GI): انتقال آنالوگ با استفاده از مدولاسیون فرکانس که در آن سفید ۱۳۰۰ هرتز و سیاه ۲۱۰۰ هرتز است. اکثر تجهیزات آمریکای شمالی از ۱۵۰۰ هرتز برای رنگ سفید و ۲۳۰۰

هرتز برای سیاه استفاده می‌کنند. وضوح اسکن ۹۶ خط در اینچ (LPI) است. میانگین سرعت انتقال ۶ دقیقه در هر صفحه است ( $11 \times \frac{1}{8}$  اینچ یا اندازه متريک A4، که کمی بیشتر از ۱۱ اینچ است).

**۲. گروه ۲ (GII یا G۲)**: انتقال آنالوگ با استفاده از FM یا باند جانبی AM از یک حامل ۲۱۰۰ هرتز استفاده می‌کند. نوار کناری پایین و بخشی از نوار کناری بالایی منتقل می‌شود. وضوح ۹۶ LPI است. سرعت انتقال برای یک صفحه  $11 \times \frac{1}{8}$  A4 ۳ دقیقه یا کمتر است.

**۳. گروه ۳ (GIII یا G۳)**: انتقال دیجیتال فقط با استفاده از PCM سیاه و سفید یا حداکثر ۳۲ سایه خاکستری. PSK یا QAM برای دستیابی به سرعت انتقال تا  $9600\text{Bd}$ . رزولوشن ۲۰۰ سرعت انتقال کمتر از یک دقیقه در هر صفحه است که ۱۵ تا ۳۰ ثانیه معمول است.

**۴. گروه ۴ (GIV یا G۴)**: انتقال دیجیتال، ۵۶ کیلوبیت در ثانیه، وضوح حداکثر  $400\text{LPI}$ ، و سرعت انتقال کمتر از ۵ ثانیه.

دستگاه‌های قدیمی‌تر G1 و G2 دیگر استفاده نمی‌شوند. رایج‌ترین شکل‌بندی گروه ۳ است. اکثر دستگاه‌های G3 می‌توانند فرمت G2 را نیز بخوانند. دستگاه‌های G4 هنوز به طور گستردگی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. آنها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که از انتقال دیجیتال فقط بدون مودم از طریق خطوط تلفن دیجیتال با باند بسیار گستردگی استفاده کنند. هر دو فرمت G3 و G4 همچنین از روش‌های فشرده‌سازی داده‌های دیجیتال استفاده می‌کنند که جریان داده‌های باینری را به میزان قابل توجهی کوتاه می‌کند و در نتیجه سرعت انتقال صفحه را افزایش می‌دهد. این مهم است زیرا زمان‌های انتقال کوتاه‌تر باعث کاهش هزینه‌های تلفن راه دور و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

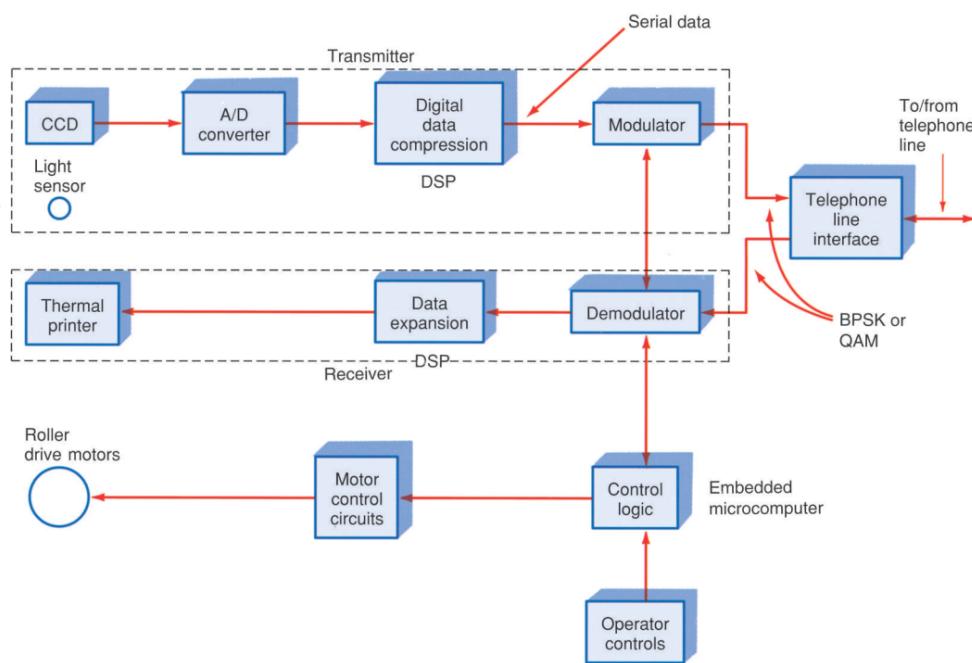
### عملکرد دستگاه فکس

شکل (۲۰.۱۸) یک بلوک دیاگرام ساده شده از مدارهای فرستنده در یک فرستنده فکس G3 مدرن است. خروجی آنالوگ از آرایه CCD سریالی شده و به یک مبدل A/D تغذیه می‌شود که شدت نور پیوسته متغیر را به جریانی از اعداد باینری تبدیل می‌کند. شانزده مقدار مقیاس خاکستری بین سفید و سیاه معمولی است. داده‌های دودویی به مدار فشرده‌سازی داده‌های دیجیتالی DSP همانطور که قبل از توضیح داده شد ارسال می‌شود. خروجی باینری در قالب داده سریالی برای مدوله کردن سیگنال حامل که از طریق خطوط تلفن ارسال می‌شود استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها مشابه تکنیک‌های به کار رفته در مودم‌ها هستند. سرعت‌های  $7200/9600$  و  $2400/4800$  Bd معمول است. اکثر سیستم‌ها از نوعی PSK یا QAM برای دستیابی به نرخ داده بسیار بالا در خطوط صوتی پیشرفت‌های استفاده می‌کنند.

### خوب است بدانید که:

سیگنال آنالوگ از دستگاه متصل به شارژ به مقادیر دیجیتال تبدیل و به تراشه DSP ارسال می‌شود.

در بخش دریافت کننده دستگاه فکس، سیگنال دریافتی دمودوله و سپس به مدارهای DSP ارسال، در آنجا فشرده‌سازی داده‌ها حذف می‌شود و سیگنال‌های باینری به شکل اولیه خود باز می‌گردند. سپس سیگنال به مکانیزم چاپ اعمال می‌شود.



شکل ۲۰.۱۸: بلوک دیاگرام یک دستگاه فکس.

raig ترین چاپگر فکس امروزه یک چاپگر جوهر افشاران است، مانند پرینترهایی که معمولاً در کامپیوترهای شخصی استفاده می‌شوند. در ماشین‌های با قیمت بالا، اسکن لیزری یک درام (وله استوانه‌ای) حساس به الکترومغناطیسی، مشابه درام مورد استفاده در چاپگرهای لیزری، با استفاده از تکنیک‌های بکاررفته در زیروگرافی، نسخه‌های خروجی تولید می‌کند.

منطق کنترل در شکل (۲۰.۱۸) معمولاً یک میکروکامپیوتر تعییه شده است. علاوه بر تمام عملکردهای کنترل داخلی که اجرا می‌کند، برای "دست دادن" بین دو ماشینی که ارتباط برقرار می‌کنند استفاده می‌شود. این سازگاری را تضمین می‌کند. دست دادن معمولاً با تبادل صدای مختلف انجام می‌شود. دستگاه فراخوانی شده با صدای ای پاسخ می‌دهد که توانایی آن را مشخص می‌کند. دستگاه تماس گیرنده این را با استانداردهای خود مقایسه و سپس با انتقال را آغاز می‌کند یا به دلیل ناسازگاری آن را خاتمه می‌دهد. اگر انتقال ادامه یابد، دستگاه تماس سیگنال‌های همگام‌سازی را ارسال می‌کند تا اطمینان حاصل شود که هر دو دستگاه همزمان شروع به کار می‌کنند. دستگاه فراخوانی دریافت سیگنال همگام‌سازی (سنکرون) را تایید می‌کند و انتقال آغاز می‌شود. تمامی پروتکل‌های برقراری ارتباط و ارسال و دریافت داده‌ها توسط ITU-T استاندارد شده است. گیریکس نیمه دوبلکس است.

از آنجایی که بهبودهایی در کیفیت وضوح تصویر، سرعت انتقال و هزینه انجام شده است، دستگاه‌های فکس بسیار محبوب‌تر شده‌اند. واحدها را می‌توان به راحتی با کانکتورهای مدولار استاندارد RJ-11 به هر سیستم تلفنی متصل کرد. در اکثر برنامه‌های تجاری، دستگاه فکس معمولاً به یک خط اختصاص داده می‌شود. اکثر دستگاه‌های فکس دارای عملکرد کاملاً خودکار با کنترل می‌باشند بر ریزپردازنده هستند. یک سند می‌تواند به طور خودکار به دستگاه فکس ارسال شود. دستگاه فرستنده

به سادگی دستگاه گیرنده را شماره‌گیری کرده و انتقال را آغاز می‌کند. دستگاه دریافت کننده به تماس اولیه پاسخ می‌دهد و سپس سند را قبل از قطع کردن دوباره تولید می‌کند.

اکثر دستگاه‌های فکس دارای یک تلفن داخلی هستند و به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که یک خط را با انتقال صدای معمولی به‌اشتراک بگذارند. تلفن داخلی معمولاً دارای شماره‌گیری تاج‌تون و حافظه شماره به‌علاوه شماره‌گیری مجدد خودکار و سایر ویژگی‌های تلفن مدرن است. اکثر دستگاه‌های فکس همچنین دارای ویژگی‌های تلفن مدرن است. اکثر دستگاه‌های کامپیوتری دارای یک اسکنر و یک چاپگر هستند. عملکرد فکس شامل یک تلفن فقط داده با اتصال RJ-11 در چاپگر تعبیه شده است. یک سند اسکن شده دیجیتالی شده و با استفاده از روش‌های فکس که قبلاً توضیح داده شد ارسال می‌شود.

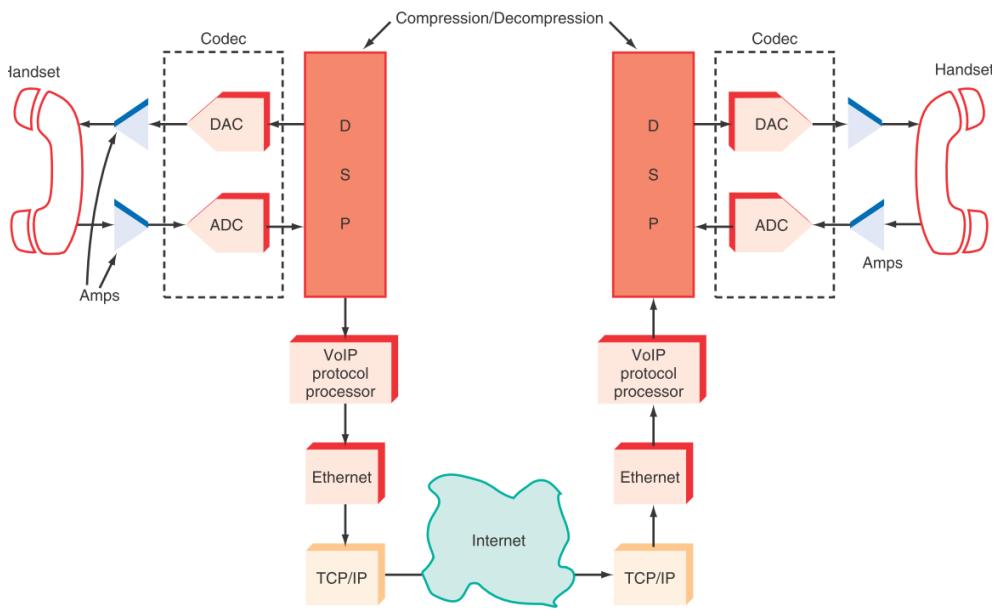
## ۴.۱۸ تلفن اینترنتی

تلفن اینترنتی که پروتکل اینترنت (IP) تلفن یا پروتکل صوتی از طریق اینترنت (VoIP) نیز نامیده می‌شود، از اینترنت برای برقراری تماس‌های تلفنی صوتی دیجیتالی استفاده می‌کند. VoIP، در واقع، در اکثر موارد، سیستم تلفن موجود را دور می‌زند، اما نه به‌طور کامل. بیش از یک دهه است که در حال توسعه است، اما اخیراً عملی و محبوب شده است. VoIP یک سیستم صوتی دیجیتالی بسیار پیچیده است که بر اتصالات اینترنتی پرسرعت شرکت‌های تلویزیون کابلی، شرکت‌های تلفن تامین کننده DSL و سایر سیستم‌های پهن باند از جمله بی‌سیم متکی است. از شبکه کابل کشی فیبر نوری vast اینترنت برای انجام تماس‌های تلفنی بدون هزینه شرکت تلفن استفاده می‌کند. این سیستم تلفنی جدید کم جایگزین گوشی‌های سنتی مخصوصاً در شرکت‌های بزرگ می‌شود. مزایای کاهش هزینه‌های تماس از راه دور را ارائه می‌دهد و مقدار تجهیزات جدید مورد نیاز را کاهش می‌دهد، زیرا خدمات تلفن اساساً از طریق همان شبکه محلی (LAN) ارائه می‌شود که کامپیوترهای شخصی یک سازمان را به‌هم متصل می‌کند. استفاده از VoIP به سرعت در حال رشد است و انتظار می‌رود در آینده جایگزین تلفن‌های استاندارد در بسیاری از شرکت‌ها و خانه‌ها شود. در حالی که PSTN قدیمی علاوه‌گر از بین نخواهد رفت، با گذشت زمان نقش کوچکتر و کوچک‌تری ایفا می‌کند زیرا VoIP به‌طور گسترده‌ای پذیرفته می‌شود یا افراد بیشتری تلفن همراه را به‌عنوان سرویس تلفن اصلی خود انتخاب می‌کنند.

### VoIP مبانی

دو بخش اساسی برای تماس تلفنی IP وجود دارد: فرآیند "شماره‌گیری" که یک اتصال اولیه را برقرار می‌کند و سیگنال صوتی.

**عبور سیگنال صوتی :** شکل (۴.۱۸) سیگنال و عملیات اصلی را که در طول یک تماس تلفنی IP انجام می‌شود نشان می‌دهد. سیگنال صوتی برای اولین بار توسط یک مبدل آنالوگ به‌دیجیتال (ADC) که بخشی از مدار رمزگذار-رمزگشا (کدک) است، که شامل یک مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC) نیز می‌شود، تقویت شده و دیجیتالی می‌شود. ADC معمولاً از سیگنال صوتی ۸ کیلوهرتز نمونه‌برداری می‌کند و برای هر نمونه یک کلمه ۸ بیتی تولید می‌کند. این نمونه‌ها یکی پس از دیگری به صورت سریالی رخ می‌دهند و بنابراین یک سیگنال دیجیتال ۶۴ کیلوبیت بر ثانیه تولید می‌کنند. پهنهای باند نسبتاً وسیعی برای انتقال این جریان بیت (۶۴ کیلوهرتز یا بیشتر) مورد نیاز است. برای



شکل ۲۱.۱۸: عبور سیگنال در سیستم VoIP.

کاهش سرعت داده و نیاز به پهنای باند، جریان بیت توسط یک رمزگذار صوتی پردازش می‌شود که سیگنال صوتی را فشرده می‌کند. این فشرده‌سازی معمولاً توسط DSP یا در یک تراشه پردازشگر DSP جداگانه یا به صورت منطق سخت سیمی روی یک تراشه بزرگتر انجام می‌شود. خروجی با نرخ داده سریال دیجیتالی بسیار کاهش یافته است.

نوع فشرده‌سازی مورد استفاده توسط استانداردهای اتحادیه بین المللی مخابرات تعیین می‌شود. الگوریتم‌های ریاضی مختلفی که خارج از محدوده این متن هستند استفاده می‌شود. سیگنال دیجیتالی ۶۴ کیلوبیت بر ثانیه به عنوان استاندارد G.711 تعیین و بیشتر به صورت مدولاسیون کد پالس (PCM) شناخته می‌شود که قبلاً در این کتاب توضیح داده شد. استاندارد G.729a احتمالاً رایج‌ترین استاندارد فشرده‌سازی مورد استفاده است و منجر به سیگنال صوتی دیجیتال ۸ کیلوبیت بر ثانیه می‌شود. یکی دیگر از استانداردهای محبوب G.723 است که سیگنال ۵/۳ کیلوبیت بر ثانیه بسیار فشرده‌تری را به قیمت کمی کیفیت صدا تولید می‌کند. استانداردهای فشرده‌سازی متعدد دیگری استفاده می‌شود که بر اساس کاربرد انتخاب می‌شوند. اکثر تلفن‌های VoIP شامل تمام الگوریتم‌های استاندارد فشرده‌سازی رایج در حافظه DSP برای استفاده در صورت درخواست هستند. سیگنال همچنین در DSP پردازش می‌شود تا لغو اکو مشکل تلفن دیجیتالی را فراهم کند.

سیگنال دیجیتال سریالی حاصل توسط یک پردازنده میکرو کامپیوتری که یک پروتکل VoIP را اجرا می‌کند در یک بسته ویژه قرار می‌گیرد و سپس توسط اترنت از طریق یک شبکه LAN یا از طریق یک اتصال اینترنت پرسرعت مانند یک شرکت تلویزیون کابلی یا DSL منتقل می‌شود. از آنجا سیگنال از طریق اتصالات اینترنتی استاندارد موجود با استفاده از TCP/IP از طریق چندین سرور و روتور می‌کند تا به مکان مورد نظر برسد.

در تلفن دریافت کننده، این روند بر عکس می‌شود. سیگنال اینترنت دوباره به اترنت تبدیل و سپس

پردازند VoIP بسته اصلی را بازیابی می‌کند. از آنجا، داده‌های فشرده استخراج می‌شوند، توسط یک DSP از حالت فشرده خارج و به DAC در کدک که صدای اصلی شنیده می‌شود، ارسال می‌شود.

یکی از مشکلات اصلی VoIP این است که زمان نسبتاً طولانی برای انتقال داده‌های صوتی از طریق اینترنت طول می‌کشد. بسته‌ها ممکن است مسیرهای مختلفی را از طریق اینترنت طی کنند. همه آنها در نهایت به مقصد مورد نظر خود می‌رسند، اما اغلب بسته‌ها از ترتیب خارج می‌شوند. تلفن دریافت کننده باید آنها را به ترتیب صحیح در کنار هم قرار دهد. این زمان می‌برد.

علاوه بر این، حتی اگر سیگنال‌ها خطوط نوری پرسرعت اینترنت را با سرعت گیگابیت طی می‌کنند، بسته‌ها از طریق روترا و سرورهای متعددی عبور می‌کنند که هر کدام زمان انتقال یا تأخیر را اضافه می‌کنند. تأخیر تأخیر بین زمان ارسال سیگنال و زمان دریافت آن است. مشخص شده است که حداقل تأخیر قابل قبول حدود ۱۵۰ میلی ثانیه است. هر زمان بیشتر توسط کاربر قابل توجه است. ممکن است یکی از طرفین برای جلوگیری از صحبت کردن در زمانی که سیگنال هنوز دریافت می‌شود، قبل از پاسخ دادن، مدت کوتاهی منتظر بماند. این انتظار آزاردهنده برای اکثر افراد غیرقابل قبول است. نگه داشتن تأخیر کمتر از ۱۵۰ میلی ثانیه این مشکل را به حداقل می‌رساند.

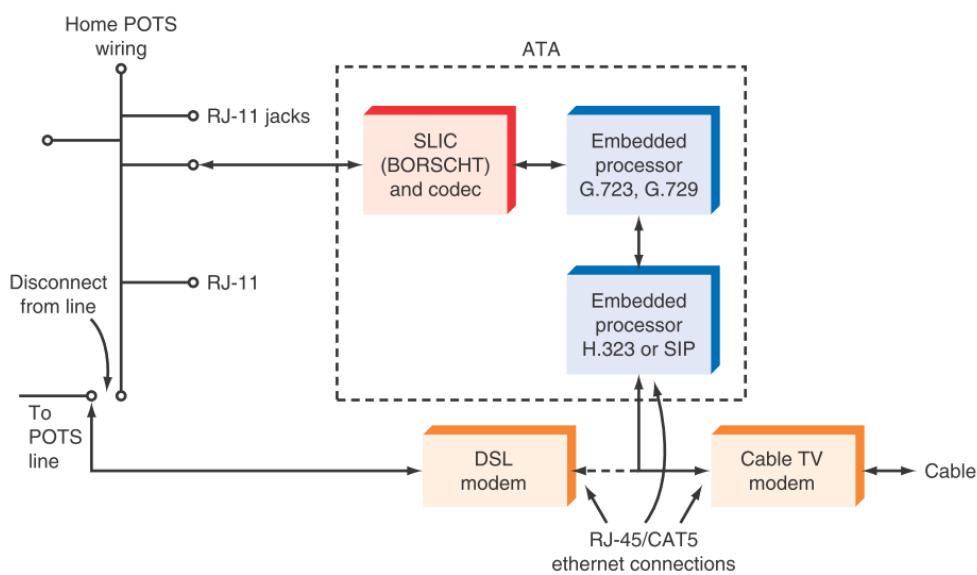
**ایجاد پیوند:** در PSTN، فرآیند شماره‌گیری چندین سطح سوئیچینگ را آغاز می‌کند که به معنای واقعی کلمه تلفن تماس‌گیرنده را به تلفن فراغوانی شده متصل می‌کند. این پیوند برای مدت زمان تماس حفظ می‌شود زیرا سوئیچ‌ها در جای خود باقی می‌مانند و مسیرهای الکترونیکی به تماس اختصاص داده می‌شوند. در تلفن اینترنتی، به دلیل ماهیت بسته بندی شده سیستم، چنین پیوند اختصاصی موقتی ایجاد نمی‌شود. با این حال باید از روشنی برای دریافت داده‌های صوتی به تلفن مورد نظر استفاده شود. این توسط پروتکل ویژه‌ای که برای این منظور ایجاد شده است، مراقبت می‌شود. پروتکل اولیه مورد استفاده H.323 ITU بود. با این حال، امروزه پروتکل جدیدتری که توسط گروه ضربت مهندسی اینترنت (IETF) ایجاد شده است به نام پروتکل شروع جلسه (SIP) به عنوان استاندارد عملی پذیرفته شده است. در هر دو مورد، پروتکل تماس را تنظیم می‌کند و سپس مطمئن می‌شود که بسته‌های صوتی تولید شده توسط تلفن تماس‌گیرنده به موقع به تلفن گیرنده ارسال می‌شود.

### سیستم‌های تلفن اینترنتی

دو نوع اصلی از تلفن‌های IP وجود دارد: آنهایی که در خانه استفاده می‌شوند و آنهایی که در سازمان‌های بزرگتر استفاده می‌شوند. مفاهیمی که در بالا توضیح داده شد برای هر دو یکسان است، اما جزئیات کمی متفاوت است.

**VoIP خانگی:** برای برقراری سرویس تلفن IP در خانه، مشترک باید نوعی سرویس اینترنت پرسرعت داشته باشد. تلویزیون کابلی این سرویس را در اکثر خانه‌ها ارائه می‌دهد، اما می‌توان آن را از طریق حلقه محلی POTS استاندارد با DSL نیز ارائه کرد. علاوه بر این، مشترک باید یک رابط VoIP داشته باشد. این را ارائه دهنده‌گان خدمات مختلف چیزهای مختلفی می‌نامند. یک مثال رایج، آداتپور پایانه آنالوگ (ATA) است. این دستگاه تلفن استاندارد خانه را بهمودم اینترنت پهن باند موجود متصل می‌کند. پیکربندی دیگر یک دروازه VoIP است که شامل مدار ATA و همچنین مودم باند عریض است.

یک بلوک دیاگرام کلی از یک ATA در شکل ۲۲.۱۸ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که ATA به تلفن‌های استاندارد و تلفن‌های بی‌سیم اجازه می‌دهد تا از طریق دوشاخه معمولی مژو لار RJ-11 به ATA متصل شوند. در واقع ورودی ATA سیم‌کشی تلفن در خانه است. سیم‌کشی خانه از رابط مشترک در اتصالی که خارج از خانه توسط شرکت تلفن ارائه شده است، قطع می‌شود. به این



شکل ۲۲.۱۸: آدپتور ترمینال آنالوگ (ATA) یا دروازه VoIP

ترتیب، هر یک از تلفن‌های خانگی موجود را می‌توان با سیم‌کشی نصب شده با ATA استفاده کرد. در شکل توجه داشته باشید که چون از گوشی‌های استاندارد استفاده می‌شود باید دارای عملکردهای SLIC باشند. مدار SLIC معمولاً در یک تراشه آی‌سی بسته‌بندی می‌شود و اغلب کدک نیز روی این تراشه قرار دارد.

ورودی‌ها و خروجی‌های کدک به یک یا چند پردازنده می‌روند که پروتکل H.323 یا SIP در آنجا پیاده‌سازی شده است و عملکرد DSP برای فشرده‌سازی و رفع فشرده‌سازی در آنجا قرار دارد. یک رابط اترنت نیز ارائه شده است. سیگنال اترنت برای سرویس تلویزیون کابلی یا DSL به مودم پهن باند متصل می‌شود. اگر از مودم کابلی استفاده شود، POTS و حلقه محلی آخرین مایل به سادگی استفاده نمی‌شوند. با این حال، اگر سرویس DSL اتصال پهن باند را فراهم کند، اتصال POTS برای مودم DSL استفاده می‌شود. سیم‌کشی تلفن خانه باید همانطور که قبلاً توضیح داده شد از خط POTS جدا شود.

**تلفن‌های IP سازمانی:** تلفن‌های IP در شرکت‌ها یا سازمان‌های بزرگ به‌ویژه برای خدمات VoIP طراحی شده‌اند. مجموعه تلفن شامل تمام مدارهای ATA به جز SLIC است و مستقیماً به اتصال اترنت موجود که معمولاً به هر میز عرضه می‌شود متصل می‌گردد. مودم پهن باند مورد نیاز نیست. از آنجایی که اکثر کارمندان یک کامپیوتر شخصی متصل به LAN نیز خواهند داشت، یک سوئیچ اترنت دو پورت در تلفن یا کامپیوتر شخصی یک اتصال اترنت واحد را به شبکه محلی که تلفن و کامپیوتر شخصی به‌اشترک می‌گذارند، ارائه می‌دهد.

یکی از مزایای اصلی تلفن‌های IP این است که ممکن است از اتصالات اترنت بی‌سیم نیز استفاده کنند. اترنت بی‌سیم، که عموماً Wi-Fi یا استاندارد IEEE 802.11 نامیده می‌شود، به‌طور گسترده برای گسترش شبکه‌های LAN در اکثر شرکت‌ها استفاده می‌شود. اگر تلفن IP مجهز به‌فرستنده و گیرنده اترنت بی‌سیم باشد، پس نیازی به اتصال سیمی نیست. در حال حاضر برخی از تولیدکنندگان

تلفن همراه از VoIP Wi-Fi در برخی مدل‌ها استفاده می‌کنند. بهاین ترتیب، تلفن همراه یک شخص در خارج از شرکت با سرویس سایت سلولی استاندارد کار می‌کند، اما در داخل شرکت به عنوان تلفن شرکت شخص با اتصال اینترنت بی‌سیم عمل می‌کند. سیستم‌های بی‌سیم مانند این در فصل بیست و دوم پوشش داده شده است.

### سوالات:

۱. به طور مشخص منظور از حلقه محلی را تعریف کنید.
۲. برای تغذیه تلفن استاندارد از چه نوع منبع تغذیه‌ای استفاده می‌شود، مشخصات آن چیست و در کجا قرار دارد؟
۳. مشخصات سیگنال زنگ عرضه شده توسط شرکت تلفن را بیان کنید.
۴. هایبرید چیست؟
۵. درست یا غلط؟ اکثر شرکت‌های تلفن هنوز هم می‌توانند تلفن‌های شماره‌گیری پالس را در خود جای دهند.
۶. در یک تلفن استاندارد از چه نوع فرستنده (میکروفون) استفاده می‌شود و چگونه کار می‌کند؟
۷. منظور از تیپ و رینگ را تعریف کنید و رنگ‌هایی را که برای نشان دادن آنها استفاده می‌شود، بیان کنید.
۸. نام سیستم شماره‌گیری تاج‌تون TouchTone چیست؟
۹. با فشار دادن کلید پوند (#) در تلفن TouchTone چه فرکانس دو صدایی ایجاد می‌شود؟
۱۰. نام ساختمان یا تأسیساتی که هر تلفن به آن وصل است چیست؟
۱۱. در تلفن الکترونیکی از چه نوع میکروفونی استفاده می‌شود؟
۱۲. منظور از مدار یکسو کننده پل در ورودی اتصال تلفن به خط شرکت تلفن چیست؟
۱۳. یک نوع دستگاه صوتی ارزان قیمت که برای اجرای زنگ در تلفن الکترونیکی استفاده می‌شود را نام ببرید.
۱۴. درست یا غلط؟ در یک تلفن الکترونیکی، هایبرید نوع خاصی از ترانسفورماتور است.
۱۵. دو نام یا نقش کانکتور استاندارد مورد استفاده در تلفن‌ها را ذکر کنید.
۱۶. چهار محدوده فرکانس مورد استفاده تلفن‌های بی‌سیم را بیان کنید و بگویید کدام نوع مدولاسیون استفاده می‌شود.
۱۷. مدارهایی که اتصالات هر تلفن را در مرکز تلفن برقرار می‌کنند چه می‌نامید؟
۱۸. سیستم تلفن کلیدی چیست؟

۱۹. آیا شرکت تلفن محلی شما خدمات راه دور ارائه می‌دهد؟
۲۰. POTS و PSTN را تعریف کنید.
۲۱. درست یا غلط؟ فکس می‌تواند عکس‌ها و نقاشی‌ها و همچنین متن چاپ شده را انتقال دهد.
۲۲. متداول‌ترین محیط انتقال سیگنال فکس چیست؟ چه محیط‌های دیگری معمولاً استفاده می‌شود؟
۲۳. درست یا غلط؟ فاکس قبل از رادیو اختراج شد.
۲۴. چه کسی استانداردهای ارسال فکس را تعیین می‌کند؟
۲۵. باند جانبی AM در چه گروهی از دستگاه‌های فکس استفاده می‌شود؟
۲۶. نام دستگاه حساس به نور نیمه هادی که در اکثر دستگاه‌های فکس مدرن برای تبدیل خط اسکن شده به سیگنال آنالوگ استفاده می‌شود چیست؟
۲۷. نام گروهی که به‌اکثر دستگاه‌های فکس مدرن داده می‌شود چیست؟
۲۸. برای اطمینان از سازگاری بین دستگاه‌های ارسال و دریافت فکس، منطق کنترل رویه‌ای را با استفاده از آهنگ‌های صوتی برای برقراری ارتباطات انجام می‌دهد. این فرآیند چه نام دارد؟
۲۹. چه مداری در دستگاه فکس سیگنال فکس را با خط تلفن سازگار می‌کند؟
۳۰. حداقل سرعت دستگاه فکس G3 چقدر است؟ خطوط تلفن؟
۳۱. وضوح دستگاه فکس G3 بر حسب خط در اینچ چقدر است؟
۳۲. ارسال فکس معمولاً فول دوبلکس است یا نیمه دوبلکس؟
۳۳. آیا سیگنال‌های فکس نشان دهنده تصویر باید قبل از آماده شدن برای خطوط تلفن آنالوگ یا دیجیتال ارسال شوند؟
۳۴. درست یا غلط؟ انتقالات گروه ۴ از خطوط تلفن استاندارد استفاده نمی‌کنند.
۳۵. سرعت و وضوح ارسال فکس گروه ۴ چقدر است؟
۳۶. شناسه (ID) تماس گیرنده چه می‌کند؟
۳۷. نحوه انتقال داده‌های شناسه تماس گیرنده به تلفن را توضیح دهید.
۳۸. مدولاسیون و نرخ داده مورد استفاده در شناسه تماس گیرنده را شرح دهید.
۳۹. دو راه را نام ببرید که شناسه تماس گیرنده را می‌توان مسدود کرد.
۴۰. سه محدوده فرکانسی مورد استفاده تلفن‌های بی‌سیم را نام ببرید.
۴۱. سه عیب اصلی تلفن‌های بی‌سیم آنالوگ قدیمی چیست؟
۴۲. سه نوع تلفن بی‌سیم ۹۰۰ مگاهرتز را نام ببرید.

۴۳. در بهترین تلفن‌های بی‌سیم دیجیتالی از چه نوع مدولاسیونی استفاده می‌شود؟
۴۴. چرا تلفن‌های بی‌سیم ۲/۴ گیگاهرتز و ۵/۸ گیگاهرتز ذاتاً امن هستند؟
۴۵. حداقل فاصله‌ای که یک تلفن بی‌سیم دیجیتالی می‌تواند ارسال کند تقریباً چقدر است؟
۴۶. نام و نقش جدیدترین استاندارد تلفن بی‌سیم دیجیتالی چیست؟
۴۷. سیگنالینگ را در PSTN تعریف کنید.
۴۸. سیستم سیگنالینگ مورد استفاده در ایالات متحده را نام ببرید.
۴۹. آیا سیستم‌های تلفن VoIP از PSTN استفاده می‌کنند؟ توضیح دهید.
۵۰. نام مداری که تبدیل اطلاعات را در تلفن IP انجام می‌دهد چیست؟
۵۱. استاندارد پروتکل پایه‌ای که برای پیاده‌سازی VoIP استفاده می‌شود چه نام‌هایی دارد؟
۵۲. استانداردهای فشرده‌سازی و رفع فشرده‌سازی مورد استفاده در تلفن‌های IP چیست؟
۵۳. چرا فشرده‌سازی در تلفن‌های IP لازم است؟
۵۴. فشرده‌سازی و رفع فشار در تلفن IP چگونه انجام می‌شود؟
۵۵. دو پروتکل انتقال به‌طور گسترده در ارسال و دریافت تماس تلفنی IP استفاده می‌شود چیست؟
۵۶. دو نام از تجهیزات مورد استفاده در خانه برای پیاده‌سازی VoIP را ذکر کنید.
۵۷. درست یا غلط؟ یک سیستم VoIP خانگی می‌تواند از تلفن‌های آنالوگ معمولی استفاده کند.
۵۸. درست یا غلط؟ تلفن IP اداری به SLIC نیاز دارد.
۵۹. چه تاثیری کیفیت تماس VoIP را بسیار پایین می‌آورد و آن را آزاردهنده می‌کند؟ چه چیزی باعث این مشکل می‌شود؟

### مسائل:

۱. SLIC چیست؟
۲. وظیفه اولیه BORSCHT که توسط شرکت تلفن برای هر تلفن انجام می‌شود را فهرست کنید.
۳. توضیح دهید که هر یک از گروه‌های شماره در یک شماره تلفن ۱۰ رقمی به چه معناست.
۴. انواع پیوندهای ممکن بین مبادلات تلفنی را شرح دهید. آنها دو خطی هستند یا چهار خطی؟
۵. اصطلاحات POP، LEC، LATA و IXC را به‌طور خلاصه تعریف کنید. کدام یک به معنای "حمل کننده مسافت طولانی" است؟
۶. نام و مشخصات اولیه و مزایای جدیدترین کلاس تلفن بی‌سیم دیجیتال را بیان کنید.

۷. فرآیند و سخت افزار مورد استفاده برای تبدیل تصاویر برای ارسال به سیگنال‌های الکتریکی در دستگاه فکس را توضیح دهید.
۸. دو روش اسکن مورد استفاده در دستگاه‌های فکس مدرن را شرح دهید.
۹. پرکاربردترین نوع چاپگر در دستگاه فکس کدام است؟
۱۰. نحوه پردازش سیگنال‌های فکس برای افزایش سرعت انتقال را شرح دهید.
۱۱. پاسخ فرکانسی پایه حلقه محلی تلفن چیست؟ آیا می‌تواند سیگنال‌های دیجیتالی و آنالوگ را حمل کند؟
۱۲. سرعت داده سریال سیگنال VoIP G.711 چقدر است؟
۱۳. نرخ داده سیگنال‌های صوتی VoIP فشرده G.723 و G.729a چقدر است؟
۱۴. حداقل تأخیر مجاز در تماس تلفنی IP را بیان کنید.

### مسائل چالش برانگیز:

---

۱. بحث کنید که چگونه می‌توان از خطوط استاندارد برق ac برای انتقال صدای تلفنی استفاده کرد. چه مدارهایی ممکن است مورد نیاز باشد و محدودیت‌های این سیستم چیست؟
۲. عوامل محدود کننده برد تلفن بی‌سیم را توضیح دهید.



# كتاب نامه

- [1] D.J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, (Pearson, San Francisco, 2008)
- [2] J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (Wiley, New York, 1999)
- [3] B. Mahon, How Maxwell's equations came to light. Nat. Photonics 9, 2–4 (2015)
- [4] L. Mandel, E. Wolf, *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge University Press,Cambridge, 1995)
- [5] B. Richards, E. Wolf, Electromagnetic simulation in optical systems II. Structure of the image field in an aplanatic system. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A 253, 358 (1959)
- [6] L. Novotny, B. Hecht, *Principles of Nano-Optics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2012)
- [7] J. Dongarra, F. Sullivan, Guest editors introduction to the top 10 algorithms. Comput. Sci. Eng. 2, 22 (2000)
- [8] W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, Numerical Recipes in C++:*The Art of Scientific Computing*, 2nd edn. (Cambridge University Press, Cambridge, 2002)
- [9] P.H. Jones, O.M. Marago, G. Volpe, Optical Tweezers (Cambridge University Press, Cambridge, 2015)
- [10] A. Gennerich (ed.), *Optical Tweezers* (Springer, Berlin, 2017)
- [11] O.M. Marago, P.H. Jones, P.G. Gucciardi, G. Volpe, A.C. Ferrari, Optical trapping and manipulation of nanostructures. Nat. Nanotechnol. 8, 807 (2013)
- [12] S. Chu, Nobel lecture: the manipulation of neutral particles. Rev. Mod. Phys. 70, 685–706 (1998)

- [13] F.M. Fazal, S.M. Block, Optical tweezers study life under tension. *Nat. Photonics* 5, 318 (2011)
- [14] R.N.C. Pfeifer, T.A. Nieminen, N.R. Heckenberg, H. Rubinsztein-Dunlop, Colloquium: momentum of an electromagnetic wave in dielectric media. *Rev. Mod. Phys.* 79, 1197–1216 (2007)
- [15] S.M. Barnett, Resolution of the Abraham-Minkowski dilemma. *Phys. Rev. Lett.* 104, 070401 (2010)
- [16] A.M. Yao, M.J. Padgett, Orbital angular momentum: origins, behavior, and applications. *Adv.Optics Photonics* 3, 161–204 (2011)
- [17] M.J. Padgett, Orbital angular momentum 25 years on. *Opt. Express* 25, 11265 (2017)
- [18] K.T. Gahagan, G.A. Swartzlander, Simultaneous trapping of low-index and high-index nanoparticles observed with an optical-vortex trap. *J. Opt. Soc. Am. B* 16, 533 (1999)
- [19] L. Challis, F. Sheard, The Green of the Green functions. *Phy. Today* 41 (2003)
- [20] W.C. Chew, *Waves and Fields in Inhomogeneous Media* (IEEE Press, Piscataway, 1995)
- [21] J.A. Stratton, L.J. Chu, Diffraction theory of electromagnetic waves. *Phys. Rev.* 56, 99–107 (1939)
- [22] E. Abbe, Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. *Archiv Mikroskop Anat.* 9, 413 (1873)
- [23] B. Hecht, B. Sick, U.P. Wild, V. Deckert, R. Zenobi, O.J.F. Martin, D.W. Pohl, Scanning nearfield optical microscopy with aperture probes: fundamentals and applications. *J. Chem. Phys.* 112, 7761 (2000)
- [24] M.A. Paesler, P.J. Moyer, *Near-Field Optics: Theory, Instrumentation, and Applications* (Wiley, New York, 1996)
- [25] H.A. Bethe, Theory of diffraction by small holes. *Phys. Rev.* 66, 163 (1944)
- [26] C.J. Bouwkamp, On Bethe's theory of diffraction by small holes. *Philips Res. Rep.* 5, 321 (1950)
- [27] H.F. Hess, E. Betzig, T.D. Harris, L.N. Pfeiffer, K.W. West, Near-field spectroscopy of the quantum constituents of a luminescent system. *Science* 264, 1740 (1994)

- [28] E. Betzig, G.H. Patterson, R. Sougrat, O.W. Lindwasser, S. Olenych, J.S. Bonifacino, M.W. Davidson, J. Lippincott-Schwartz, H.F. Hess, Imaging intracellular fluorescent proteins at nanometer resolution. *Science*313, 1642–1645 (2006)
- [29] M.J. Rust, M. Bates, X. Zhuang, Sub diffraction-limit imaging by stochastic optical reconstruction microscopy (STORM). *Nat. Methods*3, 793–796 (2006)
- [30] S.W. Hell, J. Wichmann, Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission: stimulated-emission-depletion fluorescence microscopy. *Op. Lett.*19, 780–782 (1994)
- [31] P. Tinnefeld, C. Eggeling, S.W. Hell (eds.), *Far-Field Optical Nanoscopy* (Springer, Berlin, 2015)
- [32] R.E. Thompson, D.R. Larson, W.W. Webb, Precise nanometer localization analysis for individual fluorescent probes. *Biophys. J.*82, 2775–2783 (2002)
- [33] F. Göttfert, C.A. Wurm, V. Mueller, S. Berning, V.C. Cordes, A. Honigmann, S.W. Hell, Coaligned dual-channel STED nanoscopy and molecular diffusion analysis at 20 nm resolution. *Biophys. J.*105, L01–L03 (2013)
- [34] P.B. Johnson, R.W. Christy, Optical constants of the noble metals. *Phys. Rev. B*6, 4370 (1972)
- [35] E.D. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids*(Academic, San Diego, 1985)
- [36] N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics*(Saunders, Fort Worth, 1976)
- [37] A.H. Castro Neto, F. Guinea, N.M.R. Peres, K.S. Novoselov, A.K. Geim, The electronic properties of graphene. *Rev. Mod. Phys.*81, 109 (2009)
- [38] F.J. Garcia de Abajo, Graphene plasmonics: challenges and opportunities. *ACS Photonics*1, 135 (2014)
- [39] B. Wunsch, T. Stauber, F. Sols, F. Guinea, Dynamical polarization of graphene at finite doping. *New J. Phys.*8, 318 (2006)
- [40] E.H. Hwang, S. Das Sarma, Dielectric function, screening, and plasmons in 2d graphene. *Phys. Rev. B*75, 205418 (2007)
- [41] J.B. Pendry, A.J. Holden, D.J. Robbins, W.J. Stewart, Magnetism from conductors, and enhanced non-linear phenomena. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*47, 2075 (1999)

- [42] C.M. Soukoulis, M. Wegener, Past achievements and future challenges in the development of three-dimensional photonic metamaterials. *Nat. Photonics* 5, 523 (2011)
- [43] R.J. Potton, Reciprocity in optics. *Rep. Prog. Phys.* 67, 717 (2004)
- [44] H. Atwater, The promise of plasmonics. *Sci. Am.* 296(4), 56 (2007)
- [45] J. Heber, News feature: surfing the wave. *Nature* 461, 720 (2009)
- [46] A. Otto, Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection. *Z. Phys.* 216(4), 398–410 (1968)
- [47] E. Kretschmann, Die Bestimmung optischer Konstanten von Metallen durch Anregung von Oberflächenplasmaschwingungen. *Z. Phys.* 241, 313 (1971)
- [48] T.W. Ebbesen, H.J. Lezec, H.F. Ghaemi, T. Thio, P.A. Wolff, Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays. *Nature* 391, 667–669 (1998)
- [49] S. Xiao, X. Zhu, B.-H. Li, N.A. Mortensen, Graphene-plasmon polaritons: from fundamental properties to potential applications. *Front. Phys.* 11, 117801 (2016).
- [50] J. Chen, M. Badioli, P. Alonso-Gonzalez, S. Thongrattanasiri, F. Huth, J. Osmond, M. Spasenovic, A. Centeno, A. Pesquera, P. Godignon, A. Z. Elorza, N. Camara, F.J. Garcia de Abajo, R. Hillenbrand, F. Koppens, Optical nano-imaging of gate-tunable graphene plasmons. *Nature* 487, 77 (2012)
- [51] Z. Fei, A.S. Rodin, G.O. Andreev, W. Bao, A.S. McLeod, M. Wagner, L.M. Zhang, Z. Zhao, G. Dominguez M. Thiemens, M.M. Fogler, A.H. Castro Neto, C.N. Lau, F. Keilmann, D.N. Basov, Gate-tuning of graphene plasmons revealed by infrared nano-imaging. *Nature* 487, 82 (2012)
- [52] M.A. Cooper, Optical biosensors in drug discovery. *Nat. Rev. Drug Discov.* 1, 515 (2002)
- [53] V.G. Veselago, The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Sov. Phys. Uspekhi* 56, 509 (1964)
- [54] J.B. Pendry, Negative refraction makes a perfect lens. *Phys. Rev. Lett.* 85, 3966 (2000)
- [55] K.Y. Bliokh, Y.P. Bliokh, V. Freilikher, S. Savel'ev, F. Nori, Colloquium: unusual resonators: plasmonics, metamaterials, and random media. *Rev. Mod. Phys.* 80, 1201–1213 (2008)

- [56] J.B. Pendry, D. Schurig, D.R. Smith, Controlling electromagnetic fields. *Science* 312, 1780 (2006)
- [57] U. Leonhardt, Optical conformal mapping. *Science* 312, 1777 (2006)
- [58] D. Schurig, J.J. Mock, B.J. Justice, S.A. Cummer, J.B. Pendry, A.F. Starr, D.R. Smith, Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science* 314, 977 (2006)
- [59] N. Fang, H. Lee, C. Sun, X. Zhang, Subdiffraction-limited optical imaging with a silver superlens. *Science* 308, 534 (2005)
- [60] C.F. Bohren, D.R. Huffman, *Absorption and Scattering of Light* (Wiley, New York, 1983)
- [61] F.J. García de Abajo, J. Aizpurua, Numerical simulation of electron energy loss near inhomogeneous dielectrics. *Phys. Rev. B* 56, 15873 (1997)
- [62] G. Boudarham, M. Kociak, Modal decompositions of the local electromagnetic density of states and spatially resolved electron energy loss probability in terms of geometric modes. *Phys. Rev. B* 85, 245447 (2012)
- [63] F.-P. Schmidt, H. Ditlbacher, U. Hohenester, A. Hohenau, F. Hofer, J.R. Krenn, Dark plasmonic breathing modes in silver nanodisks. *Nano Lett.* 12, 5780 (2012)
- [64] M.I. Stockman, Nanoplasmonics: past, present, and glimpse into future. *Opt. Express* 19, 22029 (2011)
- [65] I.D. Mayergoyz, D.R. Fredkin, Z. Zhang, Electrostatic (plasmon) resonances in nanoparticles. *Phys. Rev. B* 72, 155412 (2005)
- [66] P. Zijlstra, P.M. Paulo, M. Orrit, Optical detection of single non-absorbing molecules using the surface plasmon resonance of a gold nanorod. *Nat. Nanotechnol.* 7, 379 (2012)
- [67] J. Becker, A. Trügler, A. Jakab, U. Hohenester, C. Sönnichsen, The optimal aspect ratio of gold nanorods for plasmonic bio-sensing. *Plasmonics* 5, 161 (2010)
- [68] E. Prodan, C. Radloff, N.J. Halas, P. Nordlander, Hybridization model for the plasmon response of complex nanostructures. *Science* 302, 419 (2003)
- [69] A. Aubry, D. Yuan Lei, A.I. Fernandez-Dominguez, Y. Sonnefraud, S.A. Maier, J.B. Pendry, Plasmonic light-harvesting devices over the whole visible spectrum. *Nano Lett.* 10, 2574 (2010)

- [70] R.C. McPhedran, W.T. Perrins, Electrostatic and optical resonances of cylinder pairs. *Appl. Phys.* 24, 311 (1981)
- [71] A. Aubry, D. Yuan Lei, S.A. Maier, J.B. Pendry, Conformal transformation applied to plasmonics beyond the quasistatic limit. *Phys. Rev. B* 82, 205109 (2010)
- [72] D.Y. Lei, A. Aubry, S.A. Maier, J.B. Pendry, Broadband nano-focusing of light using kissing nanowires. *New. J. Phys.* 12, 093030 (2010)
- [73] W. Zhu, R. Esteban, A.G. Borisov, J.J. Baumberg, P. Nordlander, H.J. Lezec, J. Aizpurua, K.B. Crozier, Quantum mechanical effects in plasmonic structures with subnanometre gaps. *Nat. Commun.* 7, 11495 (2016)
- [74] G. Mie, Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Ann. Phys.* 330, 377 (1908) 654 References
- [75] Y. Chang, R. Harrington, A surface formulation for characteristic modes of material bodies. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 25(6), 789–795 (1977)
- [76] A.J. Poggio, E.K. Miller, Chapter 4: integral equation solutions of three-dimensional scattering problems, in *Computer Techniques for Electromagnetics*, ed. by R. Mittra. International Series of Monographs in Electrical Engineering (Pergamon, 1973), pp. 159–264
- [77] T.K. Wu, L.L. Tsai, Scattering from arbitrarily-shaped lossy dielectric bodies of revolution. *Radio Sci.* 12(5), 709–718 (1977)
- [78] P.T. Leung, S.Y. Liu, K. Young, Completeness and orthogonality of quasinormal modes in leaky optical cavities. *Phys. Rev. A* 49, 3057 (1994)
- [79] C. Sauvan, J.P. Hugonin, I.S. Maksymov, P. Lalanne, Theory of the spontaneous optical emission of nanosize photonic and plasmon resonators. *Phys. Rev. Lett.* 110, 237401 (2013)
- [80] F. Ouyang, M. Isaacson, Surface plasmon excitation of objects with arbitrary shape and dielectric constant. *Philos. Mag. B* 60, 481 (1989)
- [81] J. Petersen, J. Volz, A. Rauschenbeutel, Chiral nanophotonic waveguide interface based on spin-orbit interaction of light. *Science* 346, 67 (2014)
- [82] E.M. Purcell, H.C. Torry, R.V. Pound, Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Phys. Rev.* 69, 37 (1946)

- [83] R. Carminati, J.J. Greffet, C. Henkel, J.M. Vigoureux, Radiative and non-radiative decay of a single molecule close to a metallic nanoparticle. Opt. Commun. 216, 368 (2006)
- [84] P. Anger, P. Bharadwaj, L. Novotny, Enhancement and quenching of single-molecule fluorescence. Phys. Rev. Lett. 96, 113002 (2006)
- [85] A. Hörl, G. Haberfehlner, A. Trügler, F. Schmidt, U. Hohenester, G. Kothleitner, Tomographic reconstruction of the photonic environment of plasmonic nanoparticles. Nat. Commun. 8, 37 (2017)
- [86] K. Joulain, R. Carminati, J.-P. Mulet, J.-J. Greffet, Definition and measurement of the local density of electromagnetic states close to an interface. Phys. Rev. B 68, 245405 (2003)
- [87] K.H. Drexhage, Influence of a dielectric interface on fluorescence decay time. J. Lumin. 12, 693 (1970)
- [88] R.R. Chance, A. Prock, R. Silbey, *Molecular Fluorescence and Energy Transfer Near Interface*, vol. 37 (Wiley, New York, 1978).
- [89] E.C. Le Ru, P.G. Etchegoin, *Principles of Surface Enhanced Raman Spectroscopy* (Elsevier, Amsterdam, 2009)
- [90] S. Nie, S.R. Emory, Probing single molecules and single nanoparticles by surface enhanced raman scattering. Science 275, 1102 (1997)
- [91] M. Fleischmann, P.J. Hendra, A.J. McQuillan, Raman spectra of pyridine adsorbed at a silver electrode. Chem. Phys. Lett. 26, 163 (1974)
- [92] K. Kneipp, M. Moskovits, M. Kneipp (eds.), *Surface Enhanced Raman Scattering* (Springer, Berlin, 2008)
- [93] T. Förster, Energiewanderung und Fluoreszenz. Naturwissenschaften 33, 166 (1946)
- [94] P. Andrew, W.L. Barnes, Energy transfer across a metal film mediated by surface plasmon polaritons. Science 306, 1002 (2004)
- [95] J.I. Gersten, A. Nitzan, Accelerated energy transfer between molecules near a solid particle. Chem. Phys. Lett. 104, 31 (1984)
- [96] C. Cherqui, N. Thakkar, G. Li, J.P. Camden, D.J. Masiello, Characterizing localized surface plasmons using electron energy-loss spectroscopy. Annu. Rev. Phys. Chem. 67, 331 (2015)

- [97] C.J. Powell, J.B. Swan, Origin of the characteristic electron energy losses in aluminum. *Phys. Rev.* 115, 869 (1959)
- [98] M. Bosman, V.J. Keast, M. Watanabe, A.I. Maaroof, M.B. Cortie, Mapping surface plasmons at the nanometre scale with an electron beam. *Nanotechnology* 18, 165505 (2007)
- [99] J. Nelayah, M. Kociak, O. Stephan, F.J. García de Abajo, M. Tence, L. Henrard, D. Taverna, I. Pastoriza-Santos, L. M. Liz-Martin, C. Colliex, Mapping surface plasmons on a single metallic nanoparticle. *Nat. Phys.* 3, 348 (2007)
- [100] F.J. García de Abajo, Optical excitations in electron microscopy. *Rev. Mod. Phys.* 82, 209 (2010) References 655
- [101] C. Colliex, M. Kociak, O. Stephan, Electron energy loss spectroscopy imaging of surface plasmons at the nanoscale. *Ultramicroscopy* 162, A1 (2016)
- [102] U.S. Inan, R.A. Marshall, *Numerical Electromagnetics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2011)
- [103] A. Taflove, S.C. Hagness, *Computational electrodynamics* (Artech House, Boston, 2005)
- [104] K.S. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 14, 302 (1966)
- [105] A. Taflove, M.E. Browdin, Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 23, 623 (1975)
- [106] A. Taflove, M.E. Browdin, Computation of the electromagnetic fields and induced temperatures within a model of the microwave-irradiated human eye. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 23, 888 (1975)
- [107] J. Berenger, A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *J. Comput. Phys.* 114, 185 (1994)
- [108] R. Fuchs, S.H. Liu, Sum rule for the polarizability of small particles. *Phys. Rev. B* 14, 5521 (1976)
- [109] F.J. García de Abajo, A. Howie, Retarded field calculation of electron energy loss in inhomogeneous dielectrics. *Phys. Rev. B* 65, 115418 (2002)

- [110] U. Hohenester, A. Trügler, MNPBEM—a Matlab Toolbox for the simulation of plasmonic nanoparticles. *Comp. Phys. Commun.* 183, 370 (2012)
- [111] A.M. Kern, O.J.F. Martin, Surface integral formulation for 3D simulations of plasmonic and high permittivity nanostructures. *J. Opt. Soc. Am. A* 26, 732 (2009)
- [112] P. Arcioni, M. Bressan, L. Perregrini, On the evaluation of the double surface integrals arising in the application of the boundary integral method to 3d problems. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 45, 436 (1997)
- [113] D.J. Taylor, Accurate and efficient numerical integration of weakly singulars integrals in Galerkin EFIE solutions. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 51, 2543 (2003)
- [114] S. Sarraf, E. Lopez, G. Rios Rodriguez, J. D'Elia, Validation of a Galerkin technique on a boundary integral equation for creeping flow around a torus. *Comp. Appl. Math.* 33, 63 (2014)
- [115] J.S. Hesthaven, T. Warburton, High-order/spectral methods on unstructured grids I. timedomain solution of Maxwell's equations. *J. Comput. Phys.* 181, 186 (2002)
- [116] J.S. Hesthaven, High-order accurate methods in time-domain computational electromagnetics: a review. *Adv. Imaging Electron Phys.* 127, 59–123 (2003)
- [117] J.C. Nedelec, Mixed finite elements in R3. *Numer. Math.* 35, 315 (1980)
- [118] K. Busch, M. König, J. Niegemann, Discontinuous Galerkin method in nanophotonics. *Laser Photonics Rev.* 5, 773–809 (2011)
- [119] M. Paulus, P. Gay-Balmaz, O.J.F. Martin, Accurate and efficient computation of the Green's tensor for stratified media. *Phys. Rev. E* 62, 5797 (2000)
- [120] J.J. Sakurai, *Modern Quantum Mechanics* (Addison, Reading, 1994)
- [121] Y.S. Kim, P.T. Leung, T.F. George, Classical decay rates for molecules in the presence of a spherical surface: A complete treatment. *Surf. Sci.* 195, 1 (1988)
- [122] J. Gersten, A. Nitzan, Radiative properties of solvated molecules in dielectric clusters and small particles. *J. Chem. Phys.* 95, 686 (1991)

نمايه

- آدایپتور اتوبوس میزبان، ۷۳۹  
 آرایه اضافی از دیسکهای مستقل، ۷۳۷  
 آتن درجهته، ۶۶۸  
 آتن شیاری (اسلات)، ۸۱۴  
 آتن عدسی (لنز)، ۸۱۵  
 آتن مارکونی، ۶۶۲  
 آتن مخروطی، ۶۵۶  
 آتن پچ، ۸۱۷  
 آتن کسگرین، ۸۱۱  
 آتن یاگی، ۶۷۱  
 آتن یکجهته، ۶۶۸  
 آتن‌های همراس، ۶۷۳  
 آزانس پروژه تحقیقاتی پیشرفته، ۷۲۳  
 اثر انتهایی، ۶۵۴  
 اثر داپلر، ۸۳۰  
 اجاقهای مایکروویو، ۸۲۵  
 اجزای فشرده، ۷۵۸  
 ارائه دهنده خدمات اینترنت، ۷۱۲  
 ارتباطات بی‌سیم پیشرفته دیجیتالی، ۹۰۷  
 ارتباطات میدان نزدیک، ۶۴۸  
 اسب تروا، ۷۴۱  
 استاندارد رمزگذاری داده‌ها، ۷۴۴  
 استاندارد رمزگذاری پیشرفته، ۷۴۴  
 اسمورف، ۷۴۲  
 اصل هویگنس، ۶۸۵  
 افق رادیوئی، ۶۸۹  
 الگوی تابشی، ۶۵۸  
 امنیت لایه حمل و نقل، ۷۴۶  
 انتقال داپلر، ۶۹۵  
 انکار سروپیس، ۷۴۲

اوج، ۸۴۱، ۸۴۲  
 اولیه سازی، ۹۰۳  
 اکو (پژواک)، ۸۲۵  
 ایزولاتور، ۷۹۱  
 اینترنت ابری، ۷۲۹  
 ایندیم فسفاید، ۷۵۸  
 بازتابنده گوشه‌ای، ۸۰۳  
 برد مدار چاپی، ۷۶۶  
 برنامه انتقال فایل، ۷۰۸  
 بست اتصال، ۷۸۳  
 بسته، ۷۲۲  
 بسته از طریق سونت، ۷۲۲  
 بلوک کم نویز، ۸۷۵  
 بوق بخشی، ۸۰۴  
 تاج تون، ۸۹۹  
 تجارت الکترونیک، ۷۰۹  
 تجهیزات کنترل زمینی، ۸۶۷  
 تحادیه بین المللی مخابرات، ۷۱۶  
 تداخل بین نمادی، ۶۹۷  
 ترانزیستور با تحرک الکترون بالا، ۷۷۲  
 ترانزیستور دوقطبی ناهمگون، ۷۷۳  
 ترانسیپوندر، ۸۵۲  
 ترمینال با روزنه بسیار کوچک، ۸۷۱  
 تصحیح خطای پیشرو، ۷۱۹  
 تطبیق آتن، ۶۷۹  
 تقسیم چندگانه فضایی، ۸۲۳  
 تقویت کننده میدان متقطع، ۸۰۲  
 تقویت کننده کم نویز، ۷۶۱  
 تناوب لگاریتمی، ۶۷۳  
 تنظیم آتن، ۶۷۹

- دیود گان، ۷۶۰، ۷۹۴ ۶۴۲  
 دیپلکسر، ۶۴۹ ۶۹۸  
 ذخیره سازی اتصال به شبکه، ۷۳۷ ت النوع فضایی، ۸۲۰  
 ذخیره سازی اتصال مستقیم، ۷۳۷ ت النوع (دایورسیتی)، ۷۴۵  
 رابط ذخیره سازی کامپیوتر کوچک، ۷۳۷ توابع هش، ۷۴۰  
 رادار آرایه فازی، ۸۳۳ توان تابشی موثر، ۶۶۰  
 رادار باند فوق عریض، ۸۳۳ تی جادویی (T)، ۷۸۵  
 رادار موج پیوسته، ۸۲۸، ۸۳۰ جدول نجومی، ۸۸۰  
 رادار پالسی، ۸۲۸ جهتداری (دایرکتیویتی)، ۶۶۰  
 رادیاتور همسانگرد، ۶۶۰ جیمز کلرک ماسکول، ۶۵۰  
 رایانش ابری، ۷۱۳ حافظه با دسترسی تصادفی، ۷۲۰  
 رتروگراد، ۸۴۳ حال انتقال ناهمزمان، ۷۱۵  
 رله فریم، ۷۰۷ حامل نوری، ۷۱۶  
 رمزنگاری منحنی بیضوی، ۷۴۴ حصیض، ۸۴۴، ۸۴۱  
 رمزگذاری، ۷۴۲ حلقه محلی، ۸۹۲  
 رمزگذاری کلید عمومی، ۷۴۳ حلقه مشترکین، ۸۹۲  
 رمزگذاری کلید مخفی، ۷۴۳ خدمات رسانه‌ای بر فراز اینترنت، ۷۱۰  
 رمزگشایی، ۷۴۲ خط پیچ و خم (میندر)، ۸۲۰  
 روتر، ۷۰۷ خط در اینچ، ۹۱۷  
 زاویه میل، ۸۴۵ خط مشترک دیجیتال ناهمزمان، ۷۱۲  
 زبان نشانه گذاری فرامتن، ۷۰۹ خط مشترک دیجیتالی، ۷۱۲  
 زمان تکرار پالس، ۸۲۹ دانه‌های فربت، ۷۷۴  
 زمان گذرا، ۷۵۸ دایرکتیویتی (توجیهی)، ۶۴۱  
 زیرساخت به عنوان یک سرویس، ۷۱۳ دروازه، ۸۷۶  
 سرور، ۷۰۷ دسترسی چندگانه تقسیم فضایی، ۸۵۶  
 سطح مقطع، ۸۲۶ دستگاه باجه خودکار، ۷۴۳  
 سلسه مراتب دیجیتال همزمان، ۷۱۶ دستگاه تزویج بار الکترونیکی، ۹۱۹  
 سوئیچ فابریک، ۷۲۰ دفتر مرکزی یا تبادلات محلی، ۹۱۱  
 سیرکولانور، ۷۹۰ دنباله بررسی قاب، ۷۱۴  
 سیستم نوع، ۶۹۷، ۶۹۴ دوره غیرواقعی، ۸۴۴  
 سیستم جهانی ناوبری ماهواره‌ای، ۸۷۸ دوقطبی تا شده (دول)، ۶۶۱  
 سیستم موقعیت‌یاب جهانی، ۸۶۳ دیوار آتش، ۷۴۷  
 سیستم موقعیت‌یابی جهانی، ۸۷۸، ۸۴۲ دیود اتصال نقطه‌ای، ۷۹۱  
 سینودیک، ۸۴۴ دیود بازیابی مرحله‌ای، ۷۹۴  
 سیگنال انتقال همزمان، ۷۱۶ دیود حامل گرم، ۷۹۱  
 شاخص، ۷۸۹ دیود مانع شاتکی، ۷۹۱  
 شبکه انتقال نوری، ۷۰۷ دیود وراکتور، ۷۹۳  
دیود پین، ۷۹۵

- مدار رابط خط مشترک، ۹۰۸  
 مدار مجتمع مایکروویو یکپارچه، ۷۷۴  
 مدارهای مجتمع مایکروویو یکپارچه، ۷۶۵  
 مدارهای هماهنگی، ۷۵۹  
 مدولاسیون سرعت، ۷۹۹  
 مرورگر، ۷۰۹  
 مرکز جغرافیایی، ۸۴۱  
 معکوس،  $F$ ، ۸۲۰  
 مفصل چرخان، ۸۳۲  
 منبع یا ب یکنواخت، ۷۱۱  
 منطقه فرنل، ۶۴۷  
 مود انتقال ناهمزمان، ۷۰۷  
 مود(حالت) عملیاتی، ۷۸۲  
 مؤسسه استانداردهای مخابراتی اروپا، ۹۰۷  
 مگنترون، ۷۹۹، ۷۵۸  
 میدان الکتریکی عرضی، ۷۸۰  
 میدان دور، ۶۴۷  
 میدان مغناطیسی عرضی، ۷۸۰  
 میدان نزدیک، ۶۴۷  
 نرم افزار به عنوان سرویس، ۷۱۳  
 نسبت توان پیشران به پسран، ۶۷۲  
 نشانگر موقعیت صفحه، ۸۳۳  
 نشانگر هدف متحرک، ۸۳۱  
 نقاط دسترسی شبکه، ۷۲۱  
 نقطه حضور، ۹۱۱  
 نقطه زیر ماهواره، ۸۴۸  
 نقطه فروش، ۸۷۲  
 هاینریش هرتز، ۶۵۰  
 هدایت کننده(دایرکتور)، ۶۷۱  
 هرزنامه، ۷۴۱  
 هم پاسخی آتن، ۶۴۹  
 همگام سازی-سنکرونیزه، ۹۰۳  
 واپسگرائی، ۸۴۱  
 وب جهانی، ۷۰۹  
 وزارت دفاع، ۷۲۳  
 ویدئو یا تلویزیون از طریق اینترنت، ۷۱۰  
 پارچه سوئیچ، ۷۳۹  
 پاپیونی، ۸۰۳  
 شبکه انتقال نوری جدید، ۷۱۵  
 شبکه خصوصی مجازی، ۷۴۸  
 شبکه نوری سنکرون، ۷۱۵  
 شبکه های فضای ذخیره سازی، ۷۰۷  
 شماره تامین اجتماعی، ۷۳۶  
 شناسایی فرکانس رادیویی، ۶۴۸  
 ضبط کننده ویدیوی دیجیتالی، ۸۷۵  
 ضمیمه (پیوست)، ۷۰۸  
 طیف گسترده توالی مستقیم، ۹۰۷  
 عقربان، ۶۷۳  
 فرامتن، ۷۰۹  
 فراونهوفر، ۶۴۸  
 فرکانس تکرار پالس، ۸۲۹  
 فریم رله (بازپخش قاب)، ۷۱۴  
 فقط دریافت، ۸۷۲  
 فلنچ، ۷۸۳  
 قانون اسنل، ۶۸۵  
 قطبش دایره ای راستگرد، ۶۴۸  
 قطبش دایره ای چپگرد، ۶۴۸  
 لامپ موج متحرک، ۸۰۱، ۷۵۸  
 لامپ پرتو کاتدی، ۷۹۷  
 لایه سوکت امن، ۷۴۶  
 مؤسسه استانداردهای ملی آمریکا، ۷۱۶  
 مالتی پلکسینگ تقسیم زمانی، ۷۱۶  
 ماهواره پخش مستقیم، ۸۷۳  
 مایمو (چند ورودی، چند خروجی)، ۸۲۱  
 مایکروسافت بینگ، ۷۱۰  
 مبالغه شعب کامپیوتري، ۹۱۴  
 محفظه بدست آورنده، ۷۹۹  
 محفظه برهمکنش، ۸۰۰  
 محفظه دسته بندی، ۷۹۹  
 محوشدگی، ۶۴۲  
 محوشدگی ریلی، ۶۹۵  
 محوشدگی سایه، ۶۹۵  
 محوشدگی(فیدینگ)، ۶۹۴  
 محیط سطح بالا، ۷۱۰  
 مخروطی(بایکون)، ۸۱۳

- پخش چندگانه، ۷۲۶  
 پراش، ۶۸۵  
 پراش لبه چاقو، ۶۸۶  
 پرتو با چگالی مدوله شده، ۷۹۹  
 پروتکل انتقال ابرمتن، ۷۱۱، ۷۲۲  
 پروتکل انتقال فایل، ۷۲۳  
 پروتکل ساده انتقال نامه، ۷۲۳  
 پروتکل صدا از طریق اینترنت، ۷۱۰  
 پروتکل کنترل انتقال، ۷۲۳  
 پلاریزاسیون (قطبیش)، ۶۴۸  
 پلتفرم به عنوان سرویس، ۷۱۳  
 پهلوان، ۶۷۳  
 پوزیگراد، ۸۴۳  
 پوشش کانال نوری، ۷۱۸  
 پیوند رو به بالا، ۸۵۲  
 پیوند رو به پائین، ۸۵۲
- چرخش، ۸۴۴  
 چند فرکانس دوگانه، ۱۹۹  
 چند مسیره، ۶۹۵  
 ژئودتیک، ۸۷۸  
 ژیروترون، ۸۰۲  
 کار دوره، ۸۲۹  
 کارت رابط شبکه اترنت، ۷۳۹  
 کانال فیبر، ۷۳۸  
 کانال فیبر روی پروتکل اینترنت، ۷۳۹  
 کانونی کردن الکترواستاتیکی، ۷۹۸  
 کد اکتساب درشت، ۸۸۱  
 کد شبکه تصادفی، ۸۸۱  
 کلایسترون، ۷۹۸، ۷۵۸  
 کمیسیون ارتباطات فدرال، ۷۵۴  
 کنترل دسترسی محیط، ۷۳۶  
 کوبیلر جهتی، ۷۸۶  
 گالبیم آرسناید، ۷۵۸  
 گذردهی الکتریکی، ۶۴۳  
 گلوبناس، ۸۸۷  
 گوگل، ۷۱۰
- یادآوری، ۷۰۸