



فصل پنجم: مرولاسیون

ابوالفضل دیانت

آخرین ویرایش: ۳ دی ۱۴۰۲ در ساعت ۱۰ و ۱۴ دقیقه - نسخه ۰.۰.۲

فهرست مطالب

۱	داده، سیگنال و انتقال
۲۱	مدولاسیون آنالوگ (تبديل داده آنالوگ به سیگنال آنالوگ)
۴۱	مدولاسیون‌ها دیجیتال (تبديل داده رقمی به سیگنال آنالوگ)
۵۳	مدولاسیون (تبديل داده رقمی به سیگنال رقمی)
۶۰	مراجع
۶۱	فهرست اختصارات
۶۸	واژه نامه انگلیسی به فارسی

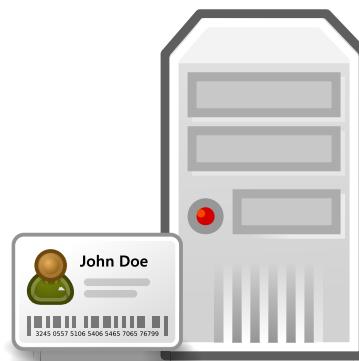
واژه نامه فارسی به انگلیسی

لارج سیگنال و انتقال

داده را می‌توان موجودیتی دانست، که دارای مفهوم و اطلاعات است.

داده‌ها را می‌توان به دو دسته آنالوگ (Analog) و رقمی (Digital) تقسیم کرد:

- داده آنالوگ مقادیر پیوسته‌ای دارد، بهمانند داده‌های صوتی که توسط میکروفون تولید می‌شود.
- داده رقمی دارای تغییراتی به صورت گستته هستند؛ مثل خروجی رایانه که یا صفر است یا یک.



آن‌چه که در حقیقت متمایزکننده بین داده آنالوگ و رقمی است، مجموعه‌ای است که مقادیر داده از آن انتخاب می‌شود. اگر تعداد اعضای این مجموعه قابل شمارش باشد، داده را رقمی و اگر بی‌شمار باشد، داده آنالوگ خواهد بود.

سیگنال (Signal)

تعريف ۲

به هر تابع ریاضی اصطلاحاً سیگنال گفته می‌شود.

انواع سیگنال:

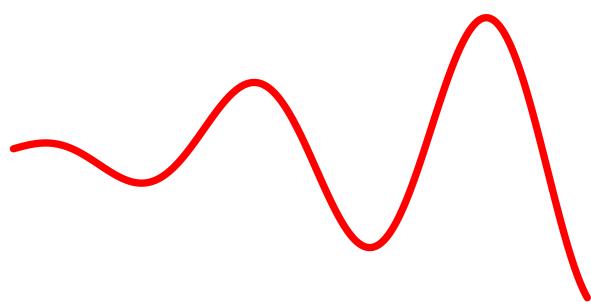
- سیگنال آنالوگ (Analog Signal)

- سیگنال گسسته (Discrete Signal) و

- سیگنال رقمی (Digital Signal)

سیگنال (ادامه)

- نمایش آنالوگ (Analog Representation): نمایش یک سیگنال آنالوگ است، به گونه‌ای که نمایش حاصل شده شبیه تابعی است که در هر زمان می‌تواند هر مقداری داشته باشد.
- نمایش رقی (Digital Representation): منظور نحوه نمایش یک سیگنال دیجیتال است. شکل حاصل شده شبیه یک تابع پالسی شکل است. یعنی در هر زمان تنها می‌تواند مقادیر محدودی را داشته باشد، به عبارت بہتر مجموعه مقادیر این نوع از سیگنال متناهی است.



Analog Signal Representation (ب)



Digital Signal Representation (ا)

انتقال (Transmission)

انتقال یعنی جابه‌جایی داده، توسط سیگنال بیانگر آن، از مبدأ به سوی مقصد.

- انتقال را می‌توان به دو دسته آنالوگ (Analog) و رقمی (Digital) تقسیم کرد:
- در انتقال آنالوگ بدون درنظر گرفتن محتوای سیگنال، قصد داریم تا یک سیگنال آنالوگ را منتقل کنیم.
- در انتقال رقمی تلاش می‌شود تا امر انتقال توسط سیگنال رقمی منتقل شود.

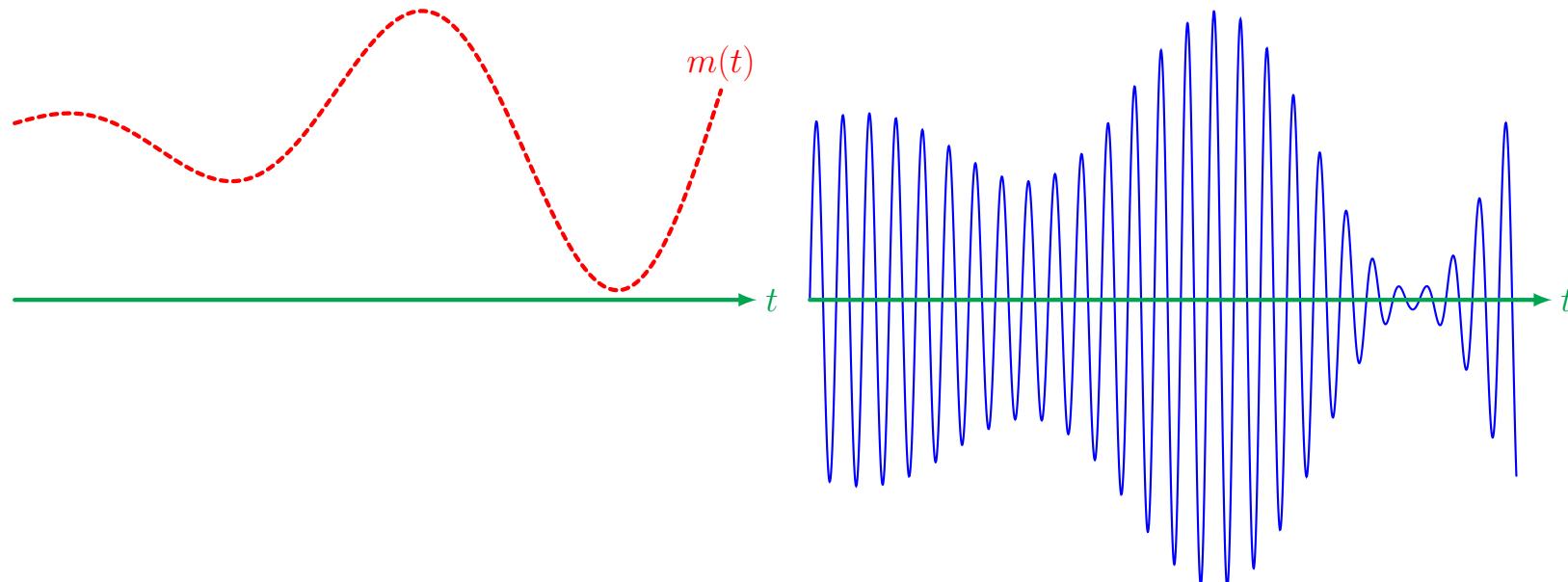
در انتقال آنالوگ، داده در قالب یک سیگنال آنالوگ منتقل می‌شود. در انتقال رقمی، محتوای پیام در قالب یک نمایش سیگنال رقمی منتقل می‌گردد. به عنوان نمونه در تمامی شبکه‌های بی‌سیم، انتقال به صورت انتقال آنالوگ صورت می‌پذیرد، چراکه سیگنال رقمی معمولاً در باند پایه (Baseband) قرار دارد، و به دلیل مساوی‌لی که در مورد ابعاد آتن و تداخل امواج پیشتر بیان شد، به ناچار مجبور هستیم، سیگنال را در قالب یک سیگنال آنالوگ منتقل کنیم.

تبديل داده آنالوگ به سیگنال آنالوگ

مثال ۱

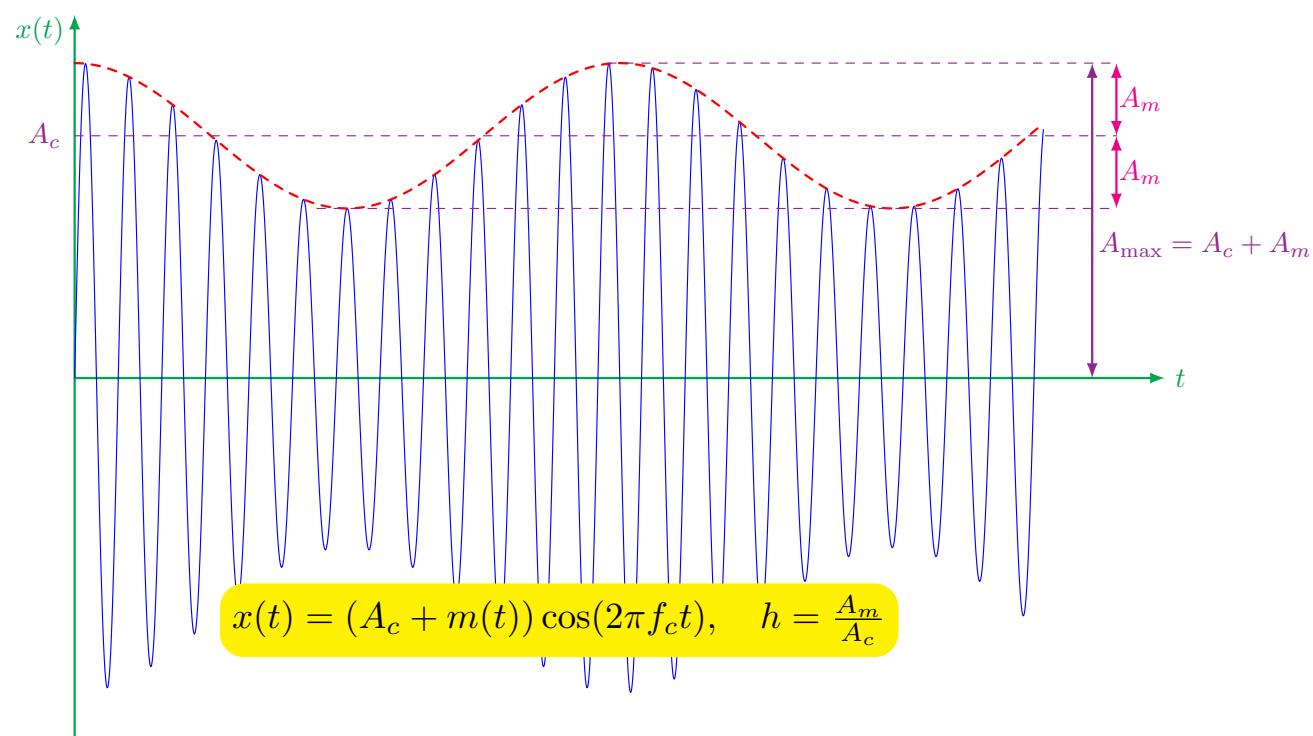
به عنوان مثال رادیو (AM (Amplitude Modulation) مخابرات آنالوگ)

- با داده‌های آنالوگ سروکار داریم: صدای انسان یا موسیقی
- این داده‌ها به صورت یک سیگنال آنالوگ توصیف می‌شوند.
- بلاهایی بر سر سیگنال آنالوگ می‌آید و در قالب یک سیگنال آنالوگ متفاوت منتقل می‌شود.



تبديل داده آنالوگ به سیگنال آنالوگ (ادامه)

روش‌های مختلفی برای تبدیل داده آنالوگ به سیگنال آنالوگ وجود دارد. مدولاسیون‌های این دسته، در انتقال آنالوگ (Analog Transmission) بکار گرفته می‌شود.



AM (Amplitude Modulation) •

FM (Frequency Modulation) •

PM (Phase Modulation) •

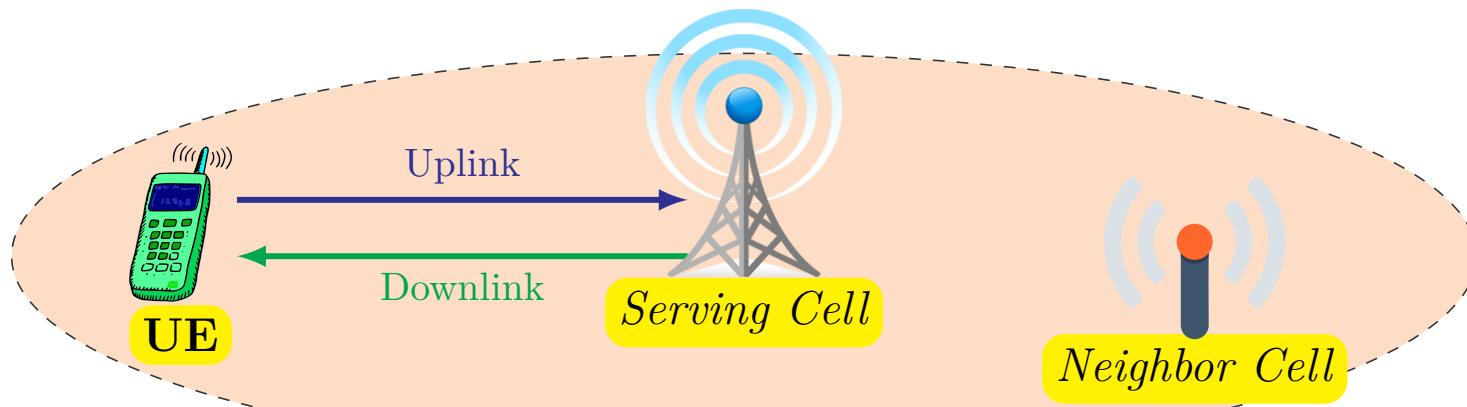
Angle modulation •

تبدیل داده رقمی به سیگنال آنالوگ

مثال ۲

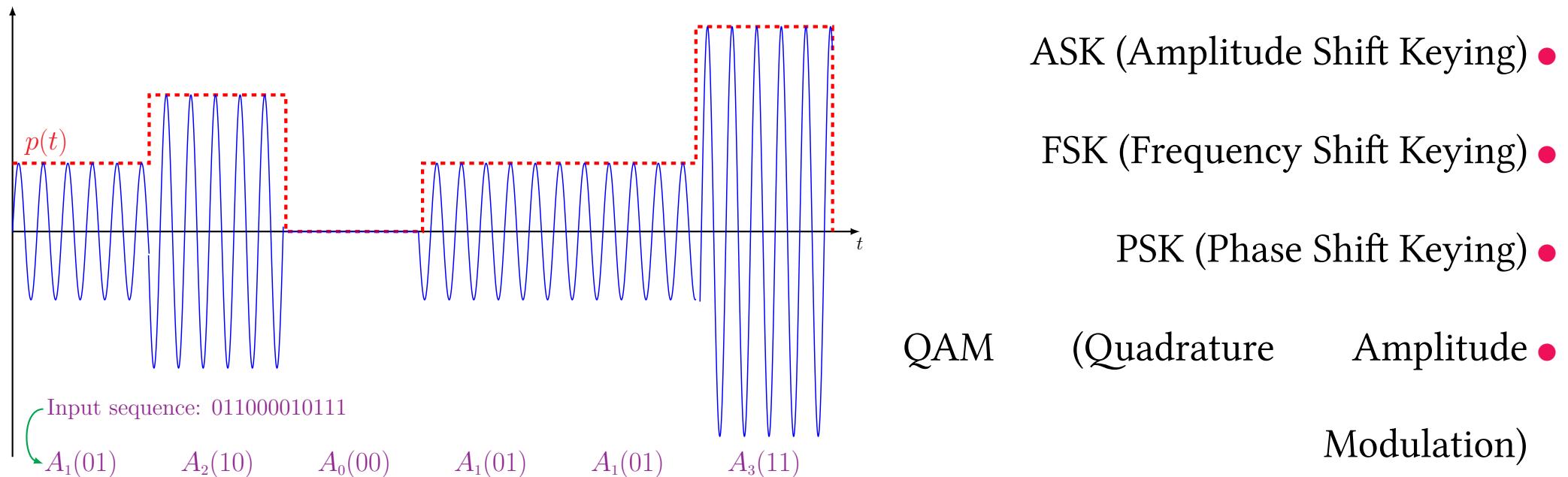
به عنوان مثال شبکه های تلفن همراه نسل 2G به بعد (مخابرات رقمی)

- با داده های آنالوگ و رقمی سروکار داریم: صدای انسان یا SMS
- این داده ابتدا در قالب یک سیگنال رقمی توصیف می شود (تبدیل داده آنالوگ به سیگنال رقمی).
- سیگنال رقمی برای انتقال به سیگنال آنالوگ تبدیل می شود (تبدیل داده رقمی به سیگنال آنالوگ).
- ارسال به صورت انتقال آنالوگ صورت می پذیرد.

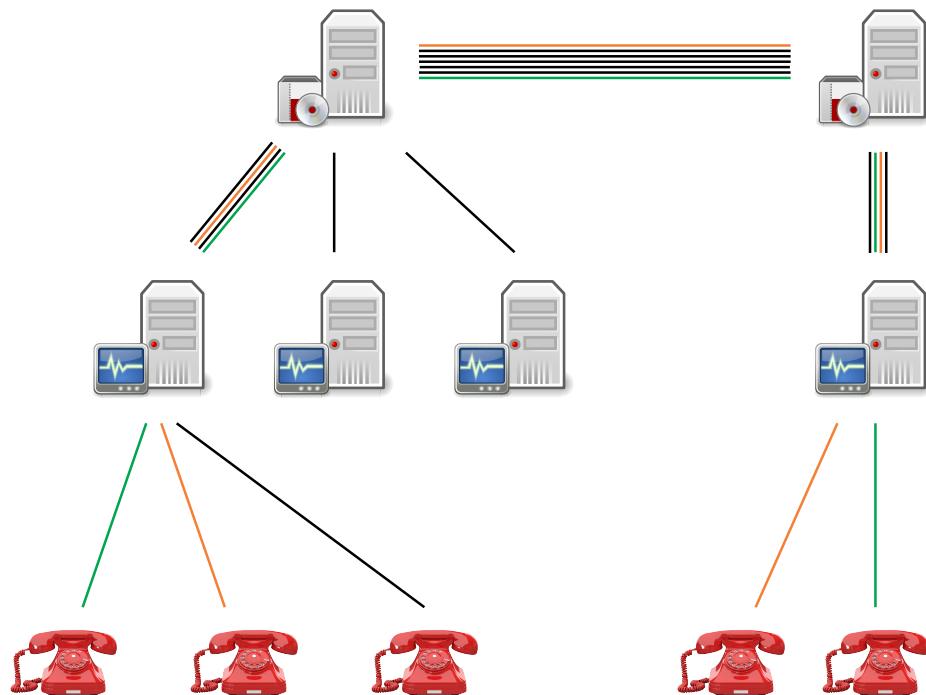


تبديل داده رقمي به سينال آنالوگ (ادامه)

روش های مختلفی برای تبدیل داده رقمی به سینال آنالوگ وجود دارد. مدولاسیون ها این دسته، در انتقال آنالوگ (Analog Transmission) بکار گرفته می شود.



تبدیل داده آنالوگ به سیگنال رقمنی



در شبکه‌های تلفن ثابت امروزی:

مثال ۳

- با داده آنالوگ سروکار داریم: صدای انسان

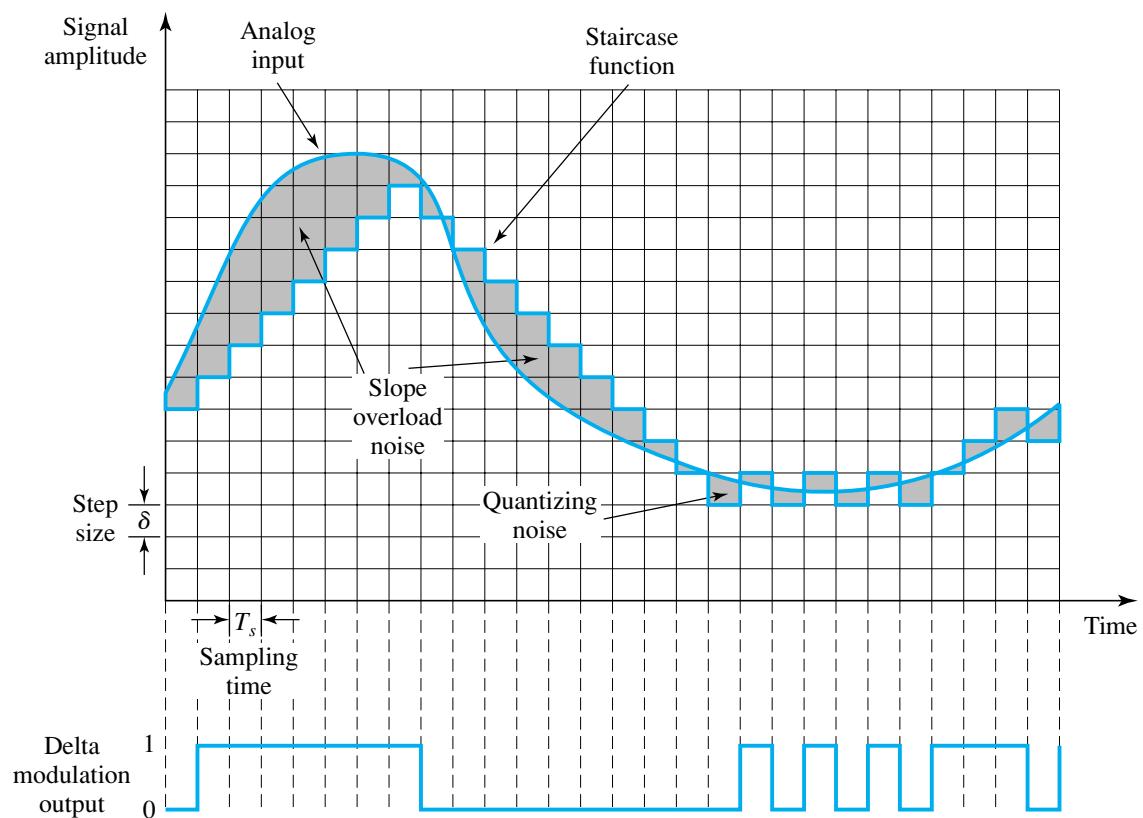
- این داده‌ها به یک سیگنال رقمنی تبدیل می‌شود.

به عنوان مثال با روش PCM (این اتفاق در مرکز
تلفن رخ می‌دهد).

- انتقال به صورت رقمنی انجام می‌شود.

تبديل داده آنالوگ به سیگنال رقمی (ادامه)

روش‌های مختلفی برای تبدیل داده آنالوگ به سیگنال رقمی وجود دارد (Codec):



PAM (Pulse Amplitude Modulation) •

PCM (Pulse Code Modulation) •

DM (Delta Modulation) •

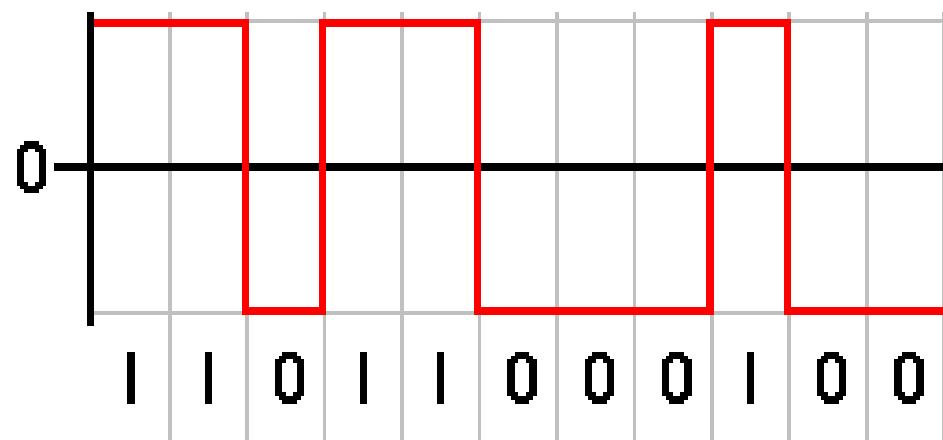
مثال ۴

اتصال کامپیوتر با LAN به شبکه اینترنت:

- با داده رقمی سروکار داریم: بیت‌ها
- این داده‌ها به یک سینال رقمی تبدیل می‌شود (تبديل داده رقمي به سينال رقمي).
- انتقال به صورت رقمی انجام می‌شود.

تبدیل داده رقمنی به سیگنال رقمنی (ادامه)

روش‌های مختلفی برای تبدیل داده رقمنی به سیگنال رقمنی وجود دارد (Line Coding)



NRZ (Non Return to Zero) •

RZ (Return to Zero) •

Bipolar-AMI •

Pseudoternary •

Multilevel Binary •

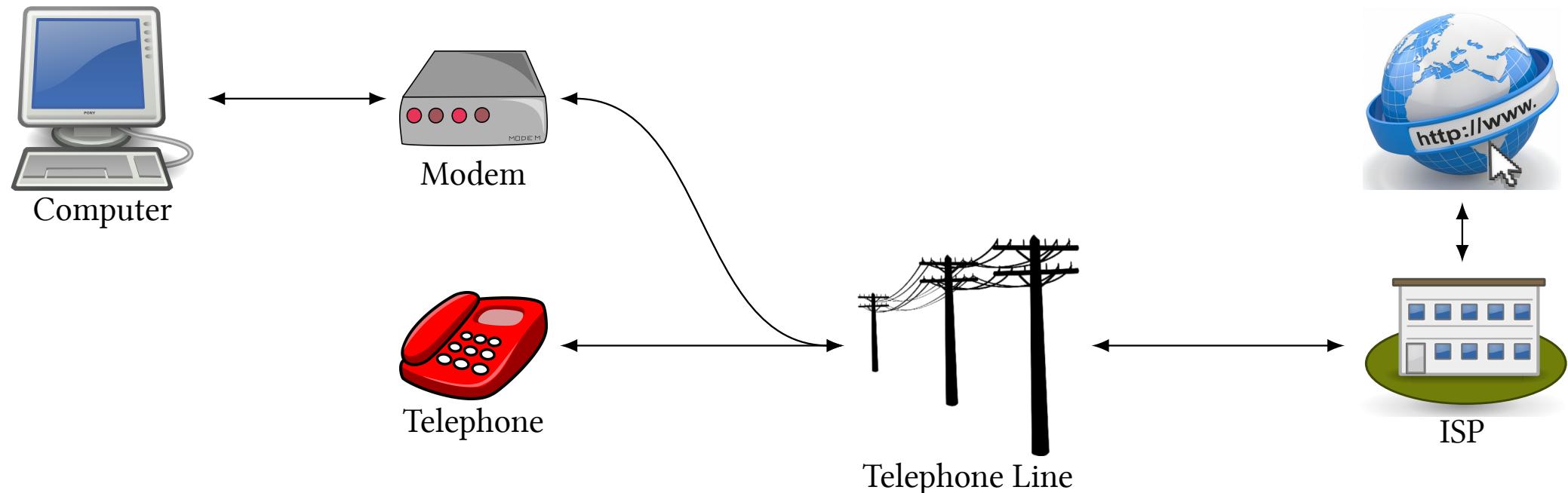
Manchester •

مثال‌ها - شبکه دسترسی Dial-up

استفاده از بستر PSTN برای انتقال اینترنت از دهه ۱۹۸۰ میلادی.

مزیت: فرآگیر بودن و بدون نیاز به بستر خاص.

سرعت بسیار پایین حداقل ۵۶ کیلوبیت بر ثانیه و اشغال شدن خط تلفن.



مثال‌ها - شبکه دسترسی Dial-up (ادامه)

مثال ۵

برای Dial-up Modem‌ها با چه نوع داده، سیگنال و انتقالی سروکار داریم؟

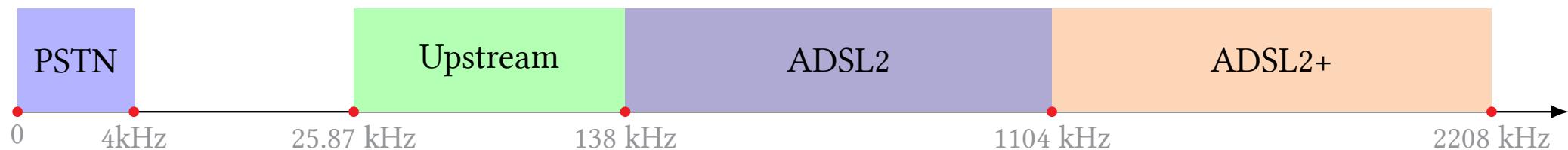
مثال‌ها - DSL

DSL خانواده‌ای از فناوری‌ها است برای انتقال داده از طریق خط تلفن، به HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line)، ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) و VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line) مانند (

در ADSL از پهنه‌ای باند باقی‌مانده استفاده می‌شود.

تفاوت ADSL و ADSL2+ در تفاوت پهنه‌ای باند DownStream است.

واژه ADSL در Asymmetric ناظر به عدم تقارن بین UpStream و DownStream است.

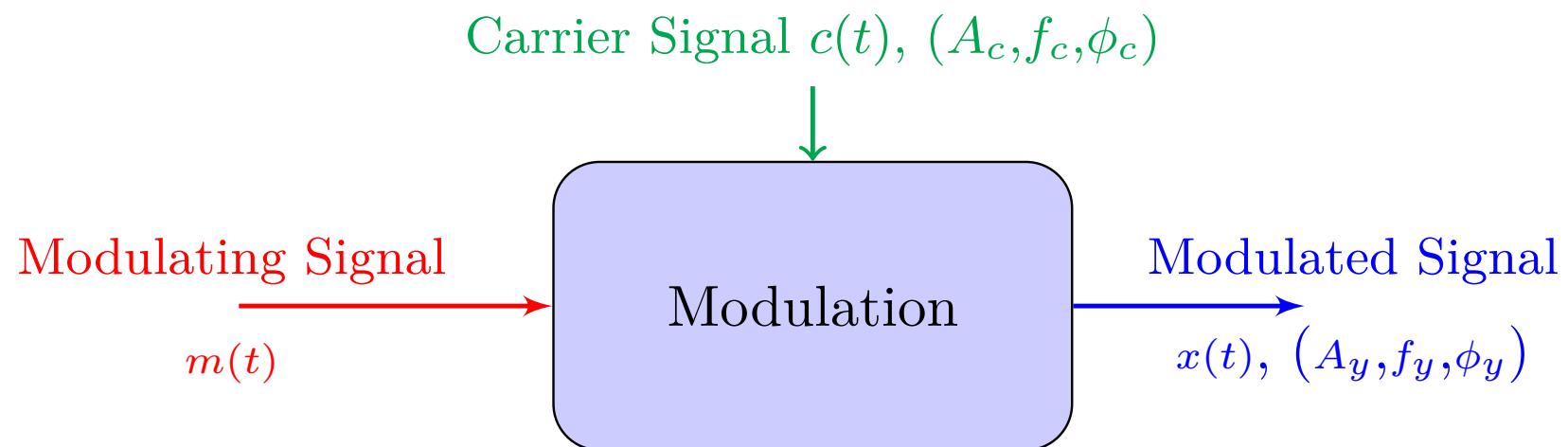


مثال ۶

برای DSL Modem‌ها با چه نوع داده، سیگنال و انتقالی سروکار داریم؟

مدولاسیون (Modulation)

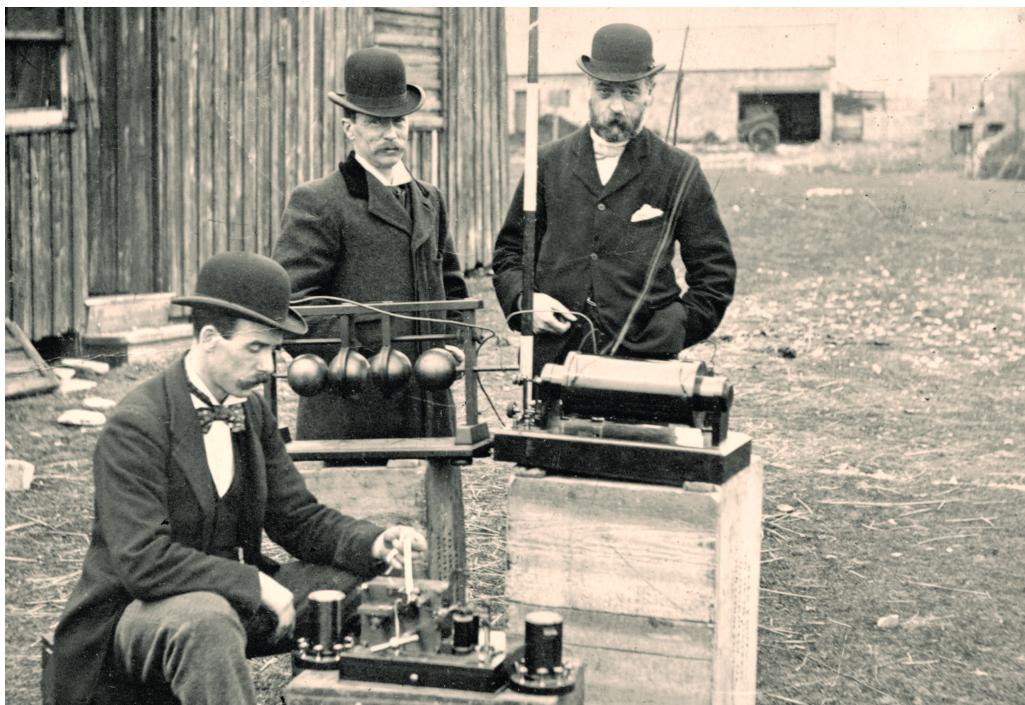
به فرایند تغییر برخی از ویژگی های سیگنال حامل (Carrier Signal) در اثر داده ورودی، اصطلاح مدولاسیون (Modulation) می گوییم.



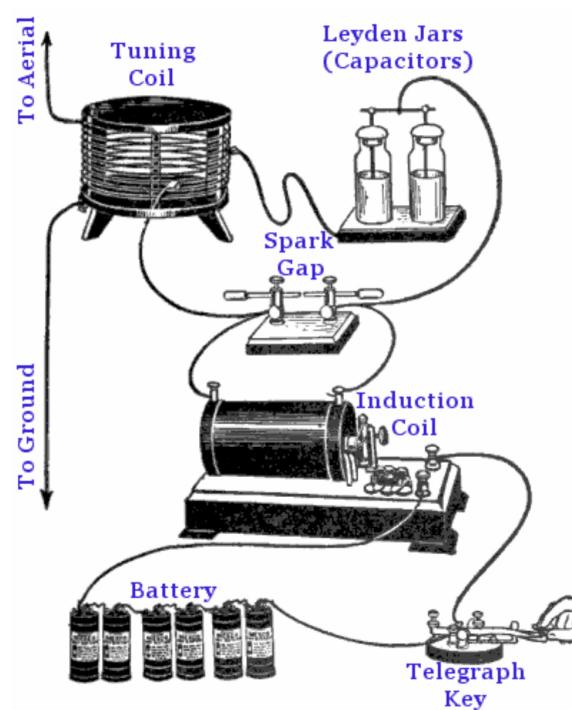
مروال سیوں آنالوگ (تپریل آنالوگ)
سینال آنالوگ

انتقال داده توسط امواج رادیویی

تلاش‌های فراوان برای استفاده از امواج هرتز یا همان امواج رادیویی (Radio Wave) برای انتقال. در سال ۱۸۹۵ میلادی Marconi  توانست کدهای مورس را به صورت بی‌سیم منتقل کند.



British Post Office (ب)

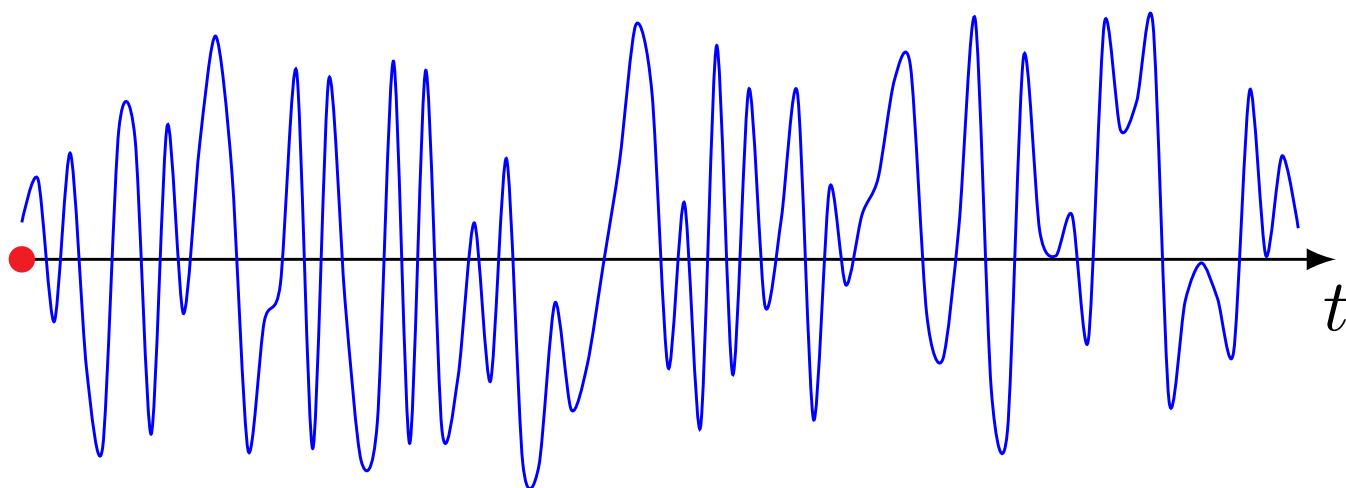


Marconi Transmitter (ج)

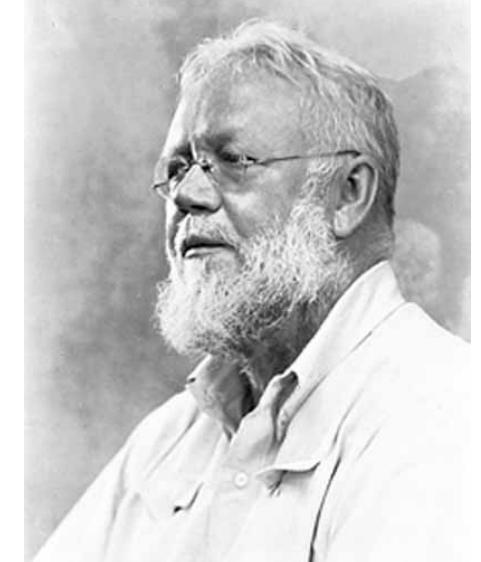
انتقال صوت توسط امواج رادیویی

☞ چالش‌های موجود در انتقال صوت از طریق Spark Gap Transmitter

☞ راه کار استفاده از امواج پیوسته



Voice Signal (ب)



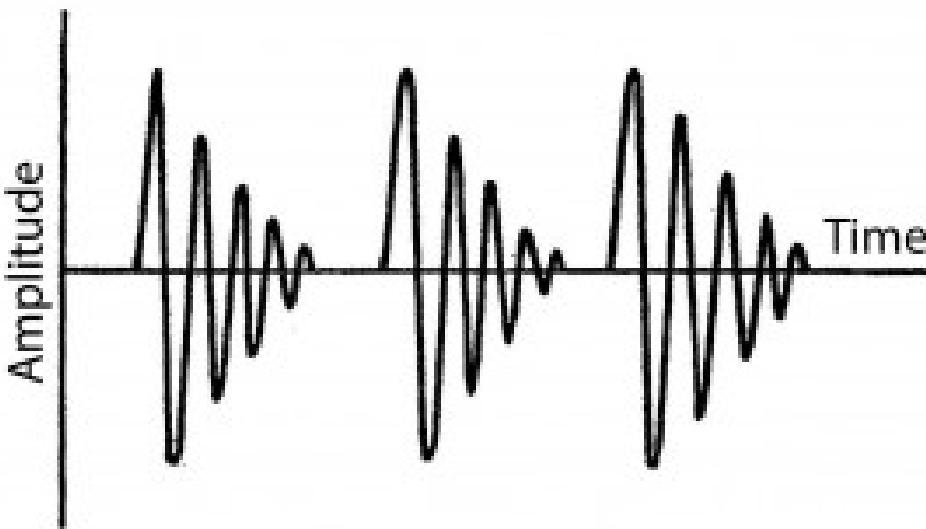
Reginald Fessenden (ا)

امواج الکترومغناطیسی (Electromagnetic Wave) در ابتدا توسط کارهای ریاضی James Clerk Maxwell در ۱۸۶۵ پیش بینی شد. ماکسول متوجه خصوصیات موج مانند نور و شباهت‌های آن در مشاهدات مغناطیسی و الکتریکی شد. هشت سال بعد از مرگ ماکسول در ۱۸۸۷، **هرتز با آزمایش خود** نشان داد که همان طور که ماکسول پیش بینی کرده بود شارژهای الکتریکی می‌توانند امواج الکترومغناطیس را ایجاد کنند. این امواج در اطراف سیم‌های حامل جریان در فضا پخش می‌شوند. در حقیقت هرتز بدون آن که بداند امواج رادیویی (Radio Wave) را کشف کرده بود. کار هرتز بیشتر به عنوان یک پدیده علمی مطرح نبود و نه به عنوان پتانسیل نهفته برای مخابره داده. بعد از کار بزرگ هرتز، در طی ۲۰ سال، دانشمندان و مخترعان بسیاری تلاش کردند تا یک سامانه مخابراتی با استفاده از انتقال امواج الکترومغناطیس را ابداع کنند.

در قرن ۱۹، مهم‌ترین راه ارتباطی تلگراف بود. در این میان یک مشکل اساسی وجود داشت. ارتباط خطوط تلگراف به صورت سیمی بود. تلاش‌های بسیاری شد تا مخابرات بی‌سیم با استفاده از نور شکل گیرد، اما نیکولا تsla معتقد بود که استفاده از نور ما را به انتشار LOS (Line of Sight) محدود می‌سازد. سرانجام در سال ۱۸۹۳،

تسلا توانست یک ارتباط رادیویی برقرار کند. او در قبل از آن چند Patent را در اداره ثبت اختراع آمریکا ثبت کرده بود. تلاش او برای عملی سازی ایده های خود با آتش گرفتن آزمایشگاهش، ناکام ماند. در سال ۱۸۹۷، Marconi اولین حق ثبت اختراعات در زمینه تلگراف به صورت بی سیم را دریافت کرد. در همین سال اولین ایستگاه پایه Marconi برای ارتباط بین Needles و سواحل انگلیس ساخته شد.

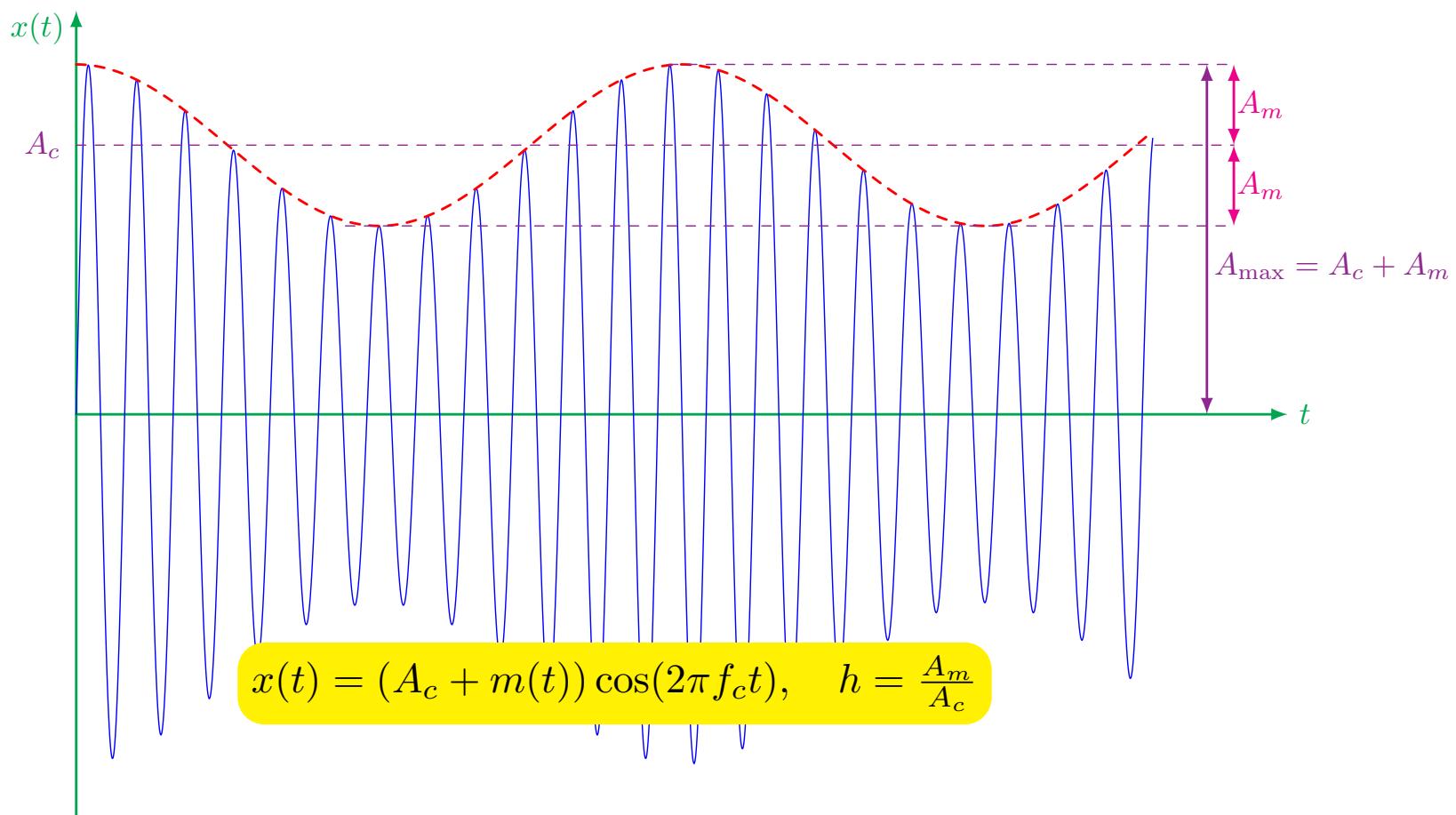
در حوالی سال های ۱۹۰۰، داستان تلگراف بی سیم به سرانجام خوبی نزدیک می شد. اما در سویی دیگر، دانشمند کانادایی به نام Reginald Fessenden (Radio Wave) در این فکر بود تا بتواند با استفاده از موج رادیویی سیگنال پیوسته ای به مانند گفتار (Speech) را منتقل سازد. اما او در این راه با یک چالش جدی مواجه بود، فرستنده های آن زمان که از آن با عنوان Spark Gap Transmitter قادر به ارسال سیگنال های پیوسته نبودند. چراکه این فرستنده تنها می توانست Damped Wave را ارسال کند. انرژی Damped Wave در بازه فرکانسی زیادی گستردگی می گشت. بدین سان این نوع از موج پهنازی باند زیادی داشت، و موجب بروز تداخل بین ایستگاه ها می گشت.



ایده Reginald Fessenden استفاده از Continuous wave بود. امواجی که بسیار آهسته Damped می‌گردد. در حالت کلی لازم به ذکر است که بین سرعت Damp شدن با پهنهای باند رابطه معکوس دارد. به صورت ایده‌آل یک موج سینوسی بدون Damp شدن دارای پهنهای باند برابر با صفر است.

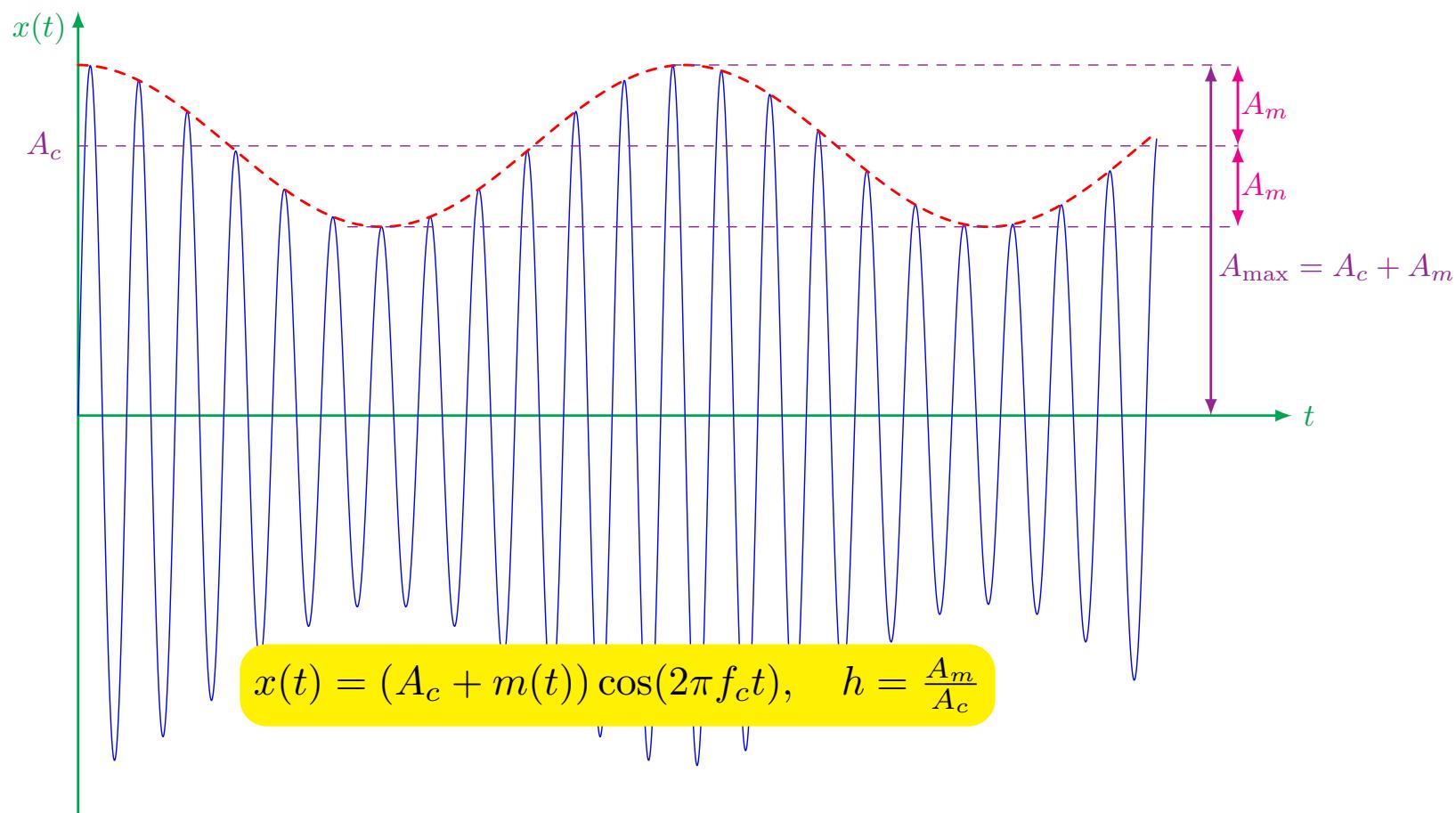
مدولاسیون (AM (Amplitude Modulation)

سیگنال $m(t)$ ، به عنوان پیام، دامنه سیگنال حامل $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$ را تغییر می‌دهد.



شاخص مدولاسیون (Modulation Index) نسبت دامنه سیگنال پیام به سیگنال حامل. اگر

شاخص مدولاسیون را به درصد بیان کنیم به آن اصطلاحاً درصد مدولاسیون می‌گوییم.



در مدولاسیون کمتر از صد درصد، دامنه هرگز به صفر نمی‌رسد. به عبارت دیگر دامنه پیام کمتر از دامنه سیگنال حامل است در مدولاسیون صد درصد، دامنه پیام برابر با دامنه سیگنال حامل است. مدولاسیون بزرگ‌تر از صد درصد، عملاً غیرقابل استفاده است. چراکه در هنگام بازسازی پیام در گیرنده، قسمتی از آن حذف خواهد شد.

مثال ۷ فرض کنید که $m(t)$ در سیگنال $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$ مدوله می‌شود در حوزه فرکانس چه اتفاقی می‌افتد؟

مدولاسیون AM برای این سیگنال به صورت زیر حاصل خواهد شد:

$$x(t) = (A_c + m(t)) \cos(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t) \cos(2\pi f_c t).$$

تبديل فوريه مدولاسیون AM به صورت زير حاصل مي گردد:

$$\begin{aligned} X(f) &= C(f) + \frac{1}{A_c} M(f) * C(f) \\ &= C(f) + \frac{1}{A_c} M(f) * \left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \\ &= C(f) + \frac{1}{2A_c} M(f - f_c) + \frac{1}{2A_c} M(f + f_c) \end{aligned}$$

برای بدست آوردن تبدیل فوریه مدولاسیون AM، اول باید بفهمیم که تبدیل فوریه سیگنال حامل (Carrier Signal) چیست؟

$$C(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} A_c \cos(2\pi f_c t) e^{-2\pi j f t} dt = \frac{A_c}{2} \delta(f - f_c) + \frac{A_c}{2} \delta(f + f_c)$$

سپس با استفاده از خاصیت ضرب در تبدیل فوریه

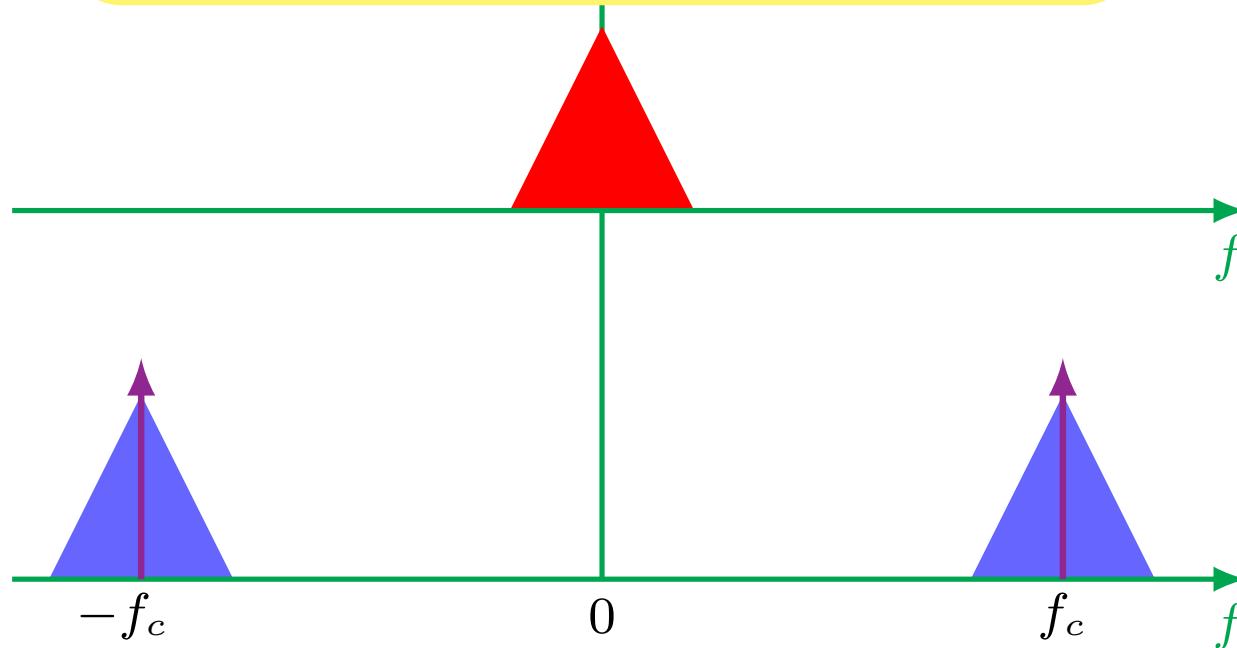
$$\text{If } x_1(t), x_2(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} X_1(f), X_2(f) \quad \text{Then } x_1(t)x_2(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} X_1(f) * X_2(f)$$

به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$\begin{aligned} Y(f) &= C(f) + M(f) * C(f) \\ &= C(f) + M(f) * \left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \\ &= C(f) + \frac{1}{2} M(f - f_c) + \frac{1}{2} M(f + f_c) \end{aligned}$$

مدولاسیون AM - نکات تكمیلی

$$X(f) = C(f) + \frac{1}{2}M(f - f_c) + \frac{1}{2}M(f + f_c)$$



- انواع مدولاسیون AM بر اساس استانداردهای [ITU](#): C3F, B8E, J3E, H3E, R3E, A3E
- پهناهی باند AM در صورت ارسال هر دو نیمه، برابر با $2f_m$ خواهد بود که بیانگر پهناهی باند سیگنال است.
- امواج [SW](#), [MW](#), [LW](#) برای انتقال امواج رادیو AM

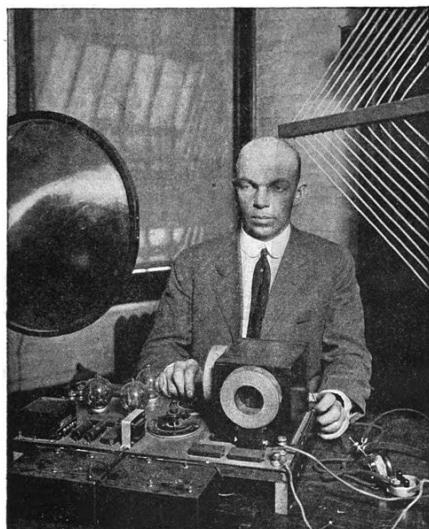
اگر برای سیگنال صوت (صداى انسان و موسيقى)، یک کانال راديو AM به 5kHz پهناى باند در نظر بگيريم، هر 10kHz پهناى باند نياز دارد. بر اساس استانداردهای FCC (Federal Communications Commission) هر ایستگاه راديو AM، تا 10kHz می‌تواند پهناى باند داشته باشد. سیگنال حامل ایستگاه‌های راديو AM، می‌تواند هر جايی از بازه فركانسي 530 تا 1700 کيلوهرتز قرار گيرد. گرچه باید دقت داشت که بین هر دو ایستگاه باید حداقل 10kHz باند محافظ (Guard Band) وجود داشته باشد. به عنوان مثال اگر ایستگاهی در فركانس مرکзи 1100 کيلوهرتز قرار گيرد، ایستگاه بعدی نمی‌تواند فركانس مرکзи سیگنال حامل آن کمتر از 1110kHz باشد.

مدولاسیون FM (Frequency Modulation)

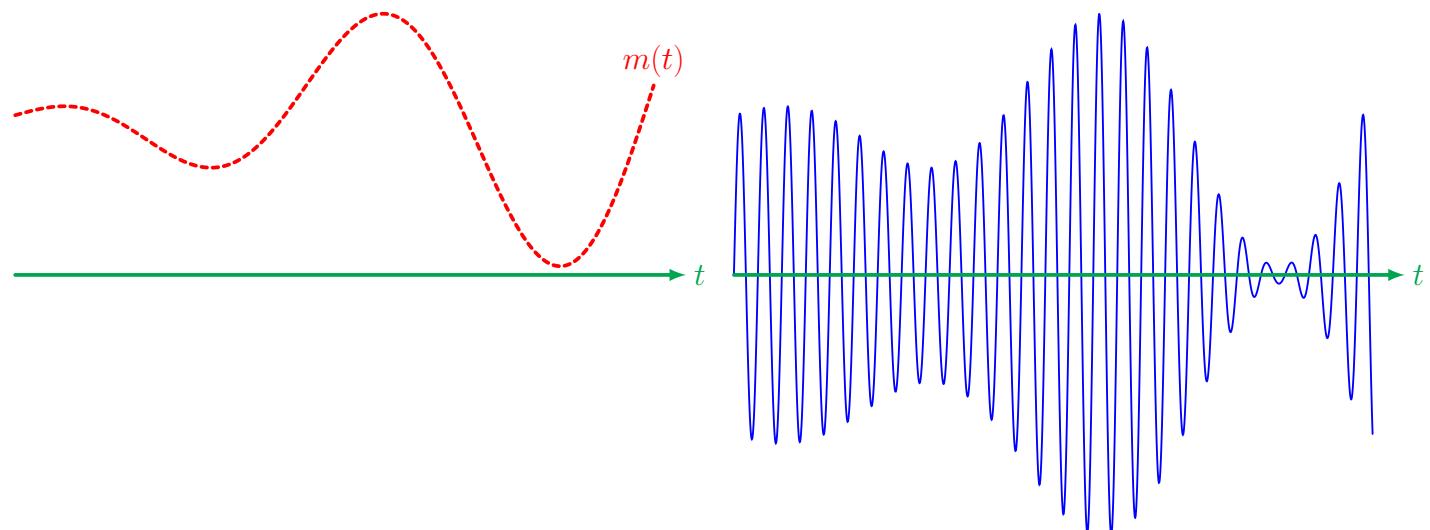
☞ مدولاسیون AM نسبت به نویز بسیار حساس بود.

☞ مدولاسیون FM در سال ۱۹۳۳ توسط Edwin Armstrong ارایه شد.

☞ در FM ما به SNR (Signal Noise Ratio) بهتری دست خواهیم یافت.



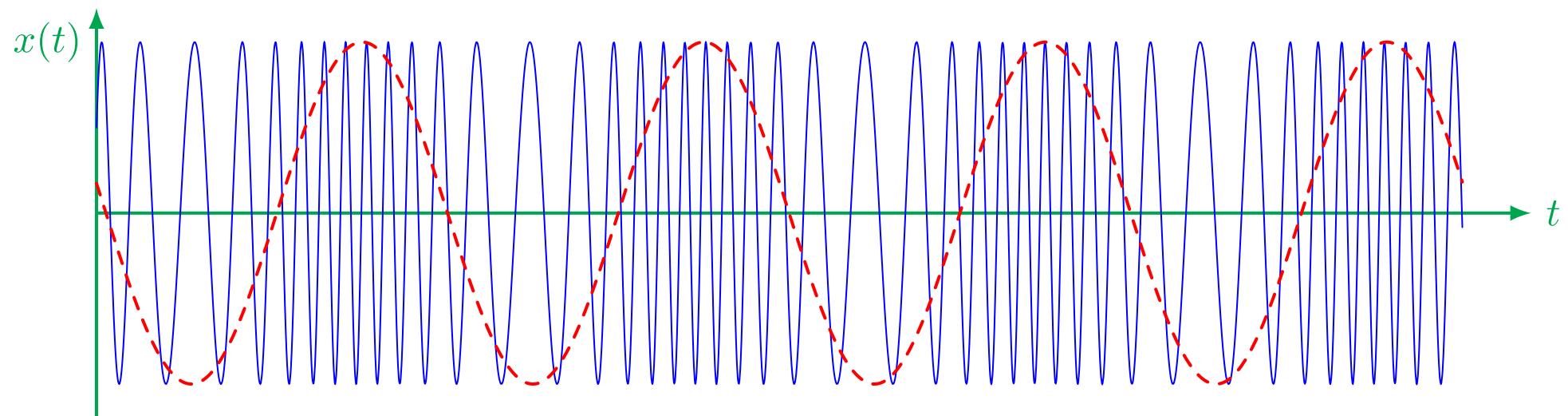
Edwin Armstrong (ب)



AM Problem (ا)

فرض کنید که سیگنال پیام را با $m(t)$ نشان می‌دهیم، در ضمن سیگنال حامل نیز به صورت $A_c \cos(2\pi f_c t)$ نشان می‌دهیم.

$$\begin{aligned} x(t) &= A_c \cos \left(2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau \right) \\ &= A_c \cos \left(2\pi \int_0^t [f_c + f_\Delta m(\tau)] d\tau \right) = A_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right) \quad (1) \end{aligned}$$





برای سیگنال FM، فرکانس لحظه‌ای برابر خواهد بود با: $f_c + f_\Delta m(t)$. چراکه همان‌گونه که می‌دانیم،

فرکانس مشتق فاز سیگنال است. برای سیگنال FM، فاز در عبارت زیر نشان داده شده است:

$$x(t) = A_c \cos(\Theta(t)) = A_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right).$$

و چون به دنباله فرکانس هستیم و نه فرکانس زاویه‌ای یک تقسیم بر 2π نیز می‌خواهیم.

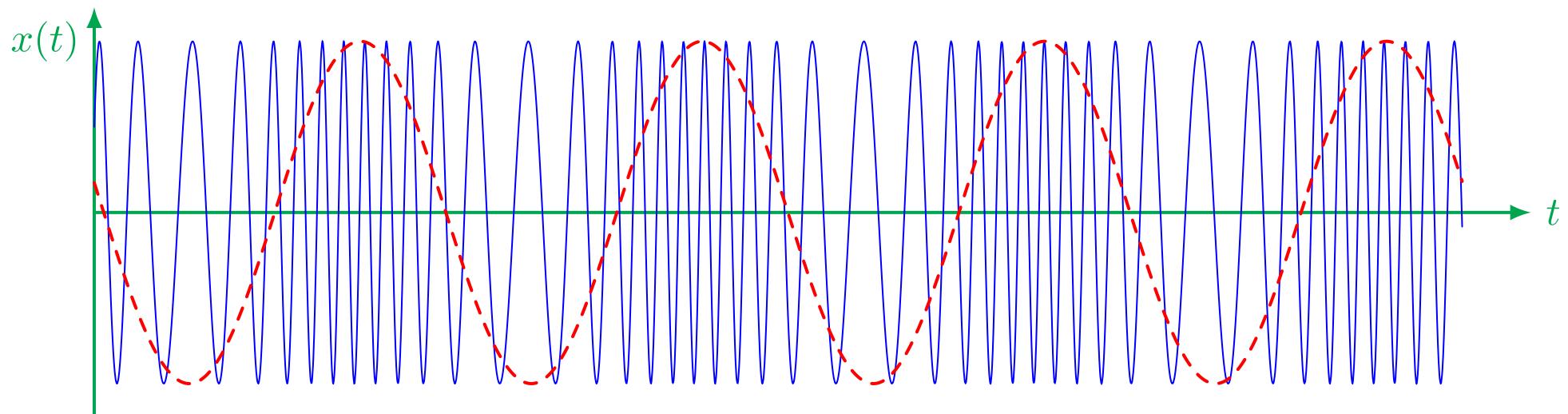
شاخص مدولاسیون (Modulation Index) برای FM به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x(t) = A_c \cos \left(2\pi f_{ct} t + 2\pi f_\Delta \int_0^t m(\tau) d\tau \right), \quad h \triangleq \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{f_\Delta |m(t)|_{\max}}{f_m}. \quad (2)$$

: بزرگترین فرکانس شکل موج $m(t)$ است.

: بیشینه انحراف فرکانسی (Frequency Deviation) است.

Narrow Band FM

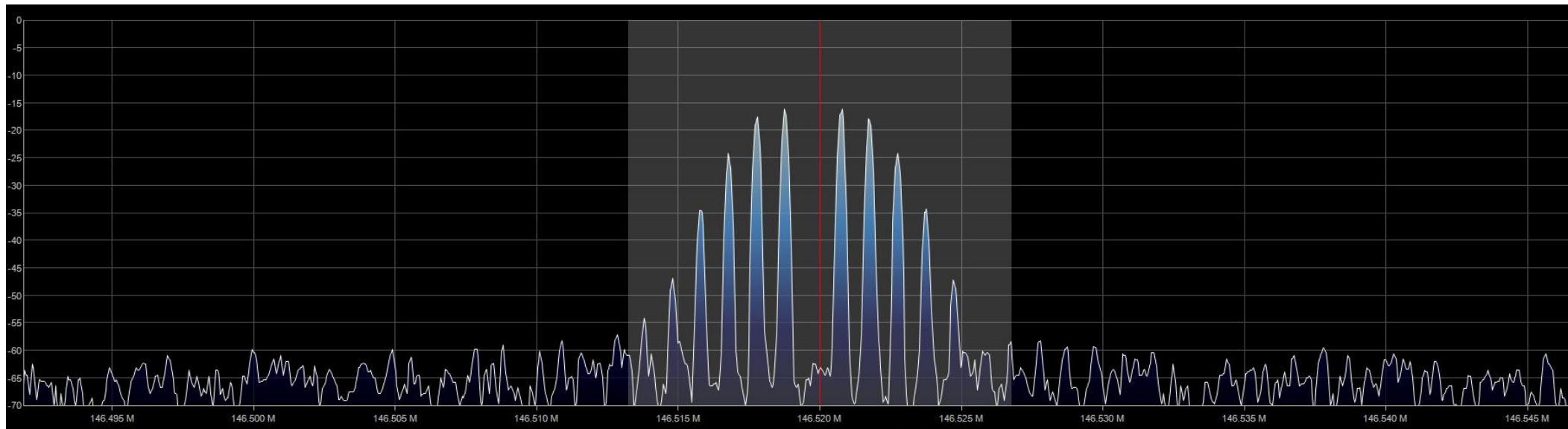


یک رابطه تقریبی برای پهناهی باند FM:

$$BW = 2(\Delta f + f_m) = 2f_m(h + 1) \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

- بزرگترین فرکانس شکل موج $m(t)$ است (همان پهناهی باند سیگنال)

- بیشینه انحراف فرکانسی (Frequency Deviation) Δf است.



پهنانی باند در نظر گرفته شده برای هر کanal رادیو FM برابر با 15kHz است. برطبق استاندارد FCC، برای کanal رادیو 200kHz FM در نظر گرفته می‌شود. باند فرکانسی برای رادیو FM، در بازه فرکانسی 88 تا 108 مگاهرتز در نظر گرفته شده است.

سیگنال پیام در فاز سیگنال حامل قرار می‌گیرد:

$$x(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + m(t))$$

تمرین

در مورد PM تحقیق کنید [؟، بخش ۵.۲].



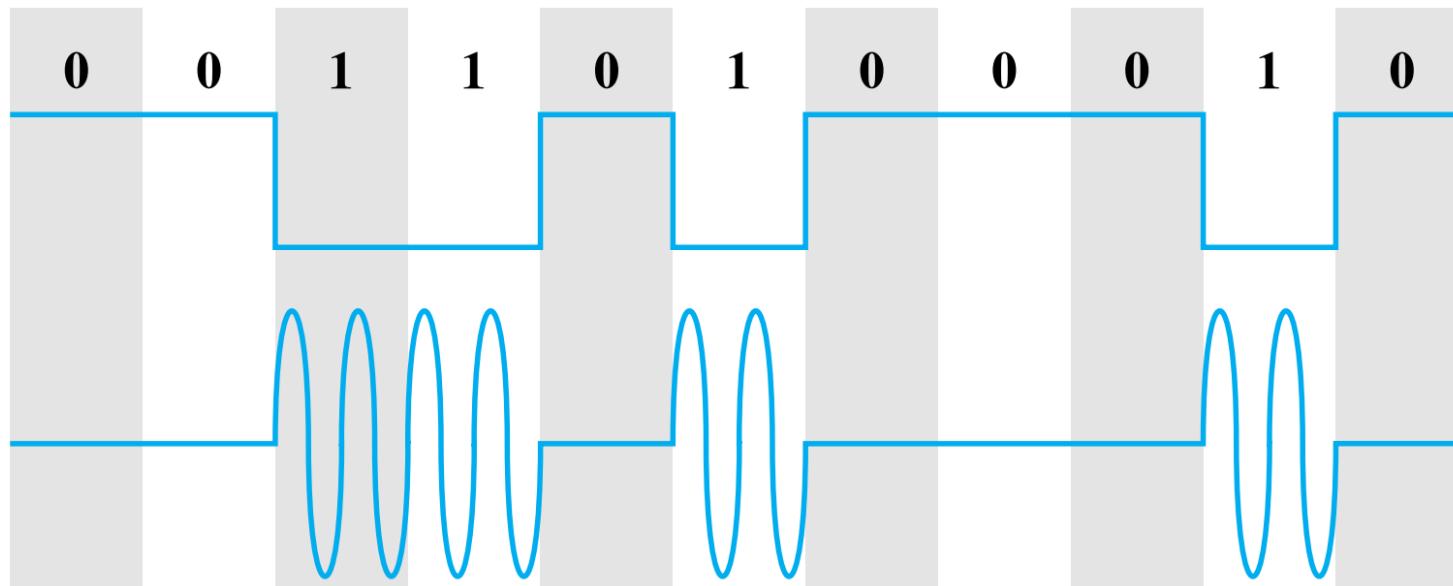
- شاخص مدولاسیون و پهنه‌ای باند این مدولاسیون را بدست آورید؟
- آیا پهنه‌ای باند PM با FM از لحاظ رابطه یکسان است؟

مروال سیوولٹس (پیپل دارہ، رقی) پر
سینال آن لوگ

مدولاسیون ASK (Amplitude Shift Keying)

سیگنال خروجی مدولاسیون ASK را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t) & m = 1 \\ 0 & m = 0 \end{cases} \quad (4)$$

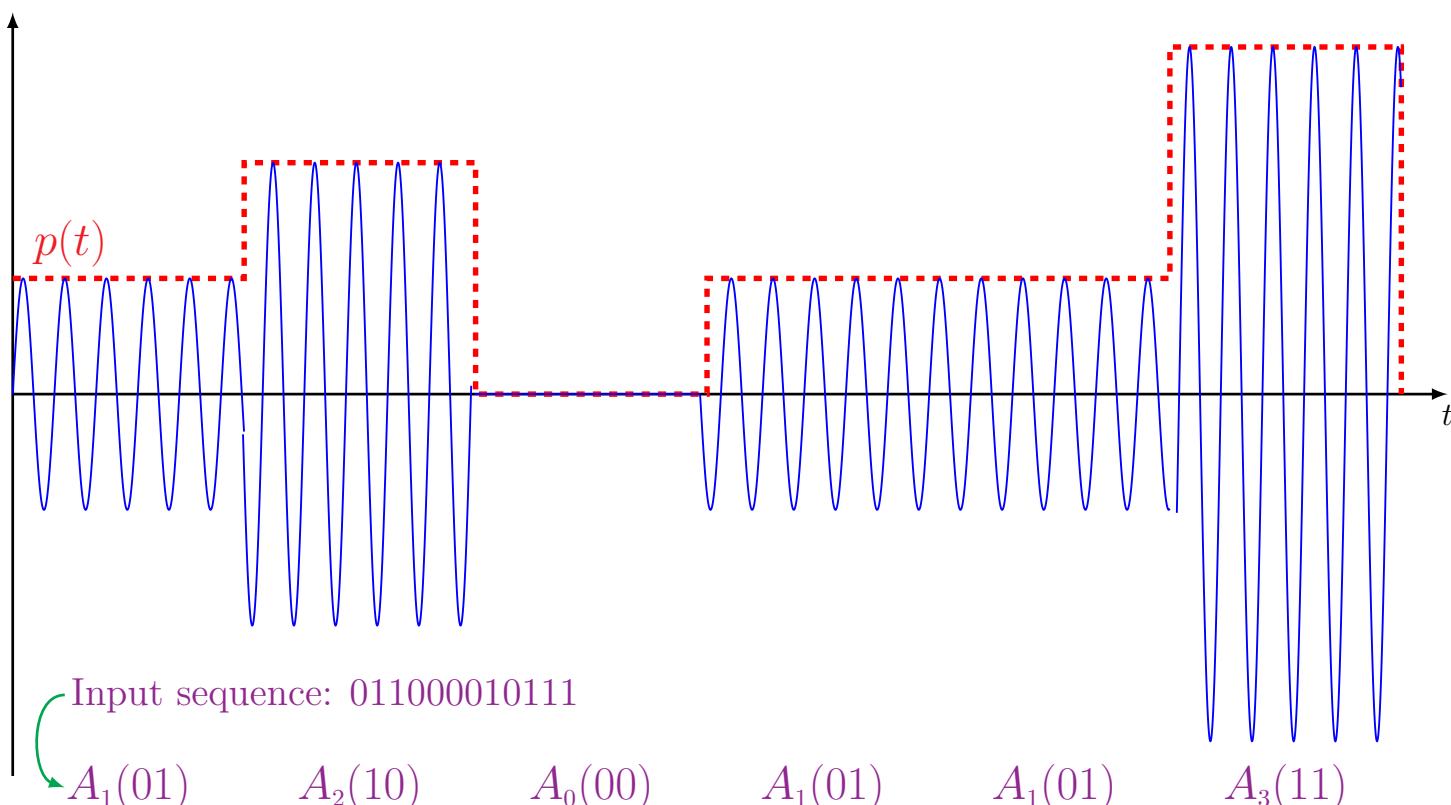


مدولاسیون ASK (ادامه)

نمایندگی می‌توان ASK را به سیگنال‌های با چند سطح نیز گسترش داد.

$$s(t) = A_m p(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (5)$$

نمایندگی A_m نشان‌دهنده مقادیری است که k بیت می‌توانند به خود بگیرند.



مدولاسیون - ASK (Amplitude Shift Keying) - محاسبه انرژی

برای بدست آوردن انرژی متوسط M-ASK با بیت‌های هم احتمال می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\mathcal{E}_{avg} = \frac{1}{M} \sum \mathcal{E}_m \quad (6)$$

که مقدار \mathcal{E}_m نشان‌دهنده انرژی سمبول و یا سیگنال m است، و به صورت زیر بدست می‌آید.

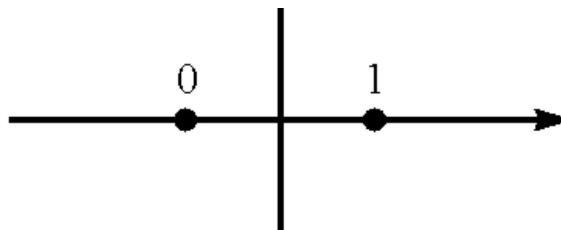
$$\mathcal{E}_m = \int_{-\infty}^{\infty} A_m^2 p^2(t) \cos^2(2\pi f_c t) dt = \frac{A_m^2 \mathcal{E}_p}{2} \quad (7)$$

مقدار \mathcal{E}_{avg} به صورت زیر حاصل می‌گردد.

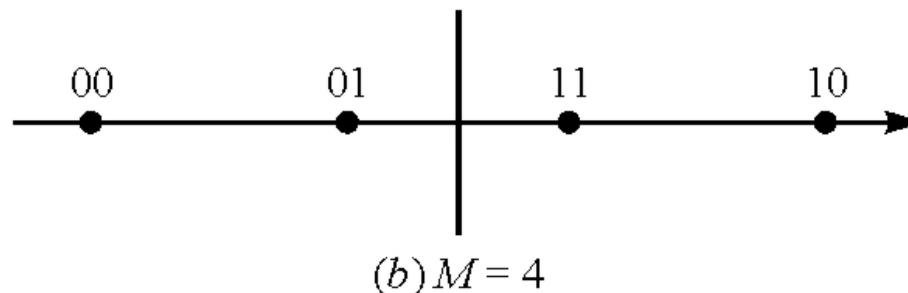
$$\mathcal{E}_{avg} = \frac{\mathcal{E}_p}{M} \sum_{m=1}^M \frac{A_m^2}{2} \quad (8)$$

مدولاسیون (ادامه) ASK (Amplitude Shift Keying)

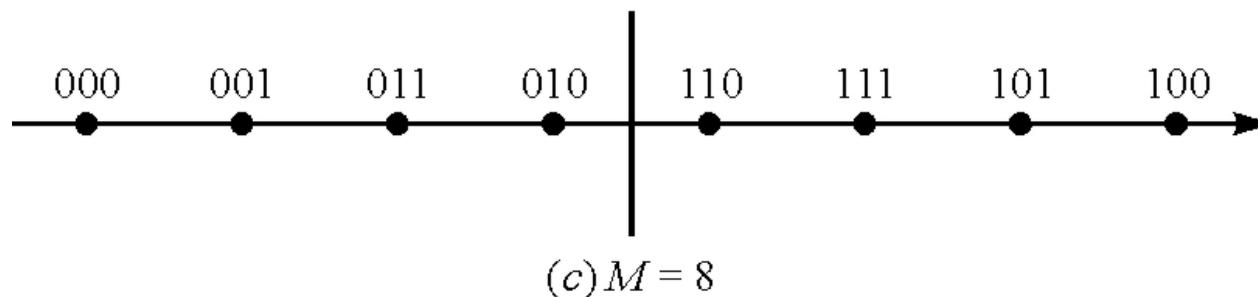
کمترین انرژی متوسط مصرفی تنها هنگامی رخ می‌دهد که مقادیر A_m به طور متقاضی حول نقطه صفر پخش شده باشد: (Constellation $A_m = 2m - 1 - M$ $m = 1, 2, \dots, M$)



(a) $M = 2$



(b) $M = 4$



(c) $M = 8$

در (۵)، $p(t)$ یک تابع پالس با طول T می‌باشد. A_m نشان‌دهنده مقادیری است که k بیت می‌توانند به خود بگیرند. برای مثال اگر $k = 3$ باشد، برای A_m می‌توان ۸ حالت متصور بود. در کل برای k بیت، مقادیر m بین یک تا $M = 2^k$ تغییر می‌کند ($A_m, 1 \leq m \leq M$). می‌تواند هر مقدار دلخواه متفاوتی به خود بگیرد. یعنی ما هر k بیت را می‌توانیم به هر مقدار A_m نگاشت بکنیم. کمترین انرژی متوسط مصرفی تنها هنگامی رخ می‌دهد که مقادیر A_m به طور متقارن حول نقطه صفر پخش شده باشد؛ لذا داریم:

$$A_m = 2m - 1 - M \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

در صورتی که مقادیر A_m بر طبق رابطه ۹ تخصیص یابد. مقدار \mathcal{E}_{avg} به صورت زیر حاصل می‌گردد.

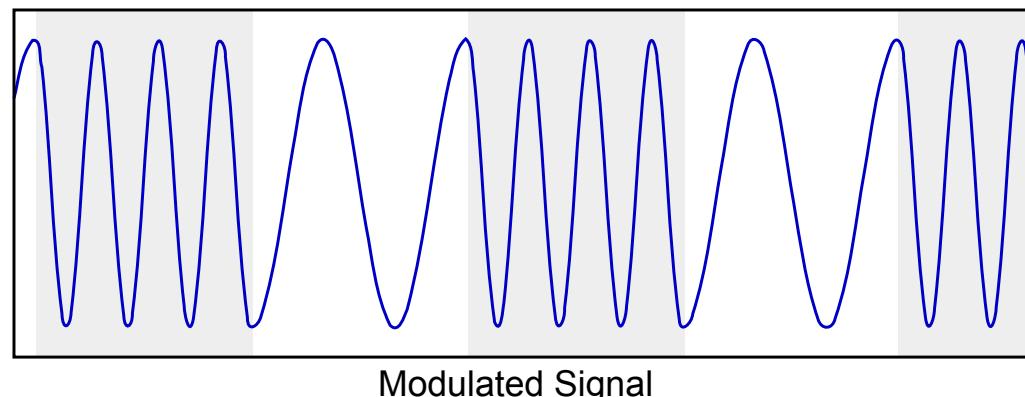
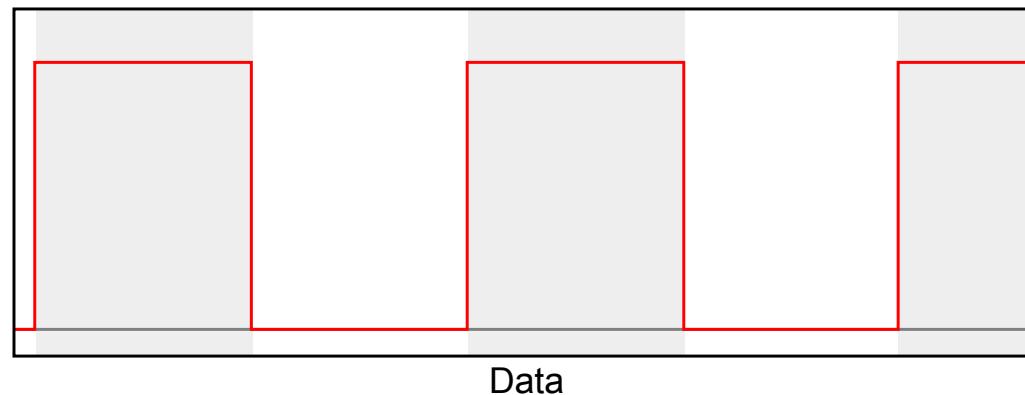
$$\mathcal{E}_{avg} = \frac{\mathcal{E}_p}{M} \sum_{m=1}^M A_m^2 = \frac{\mathcal{E}_p}{M} (1^2 + 3^2 + \dots + (M-1)^2) = \frac{(M^2 - 1)\mathcal{E}_p}{6} \quad (10)$$

بدون این‌که وارد مبحث احتمال خطأ (Error Probability) شویم، واضح است که به ازای یک انرژی محدود، هر چه M بزرگ‌تر شود، احتمال خطأ بیشتر می‌گردد

مدولاسیون FSK (Frequency Shift Keying)

سیگنال خروجی مدولاسیون FSK را می‌توان به صورت زیر نوشت:

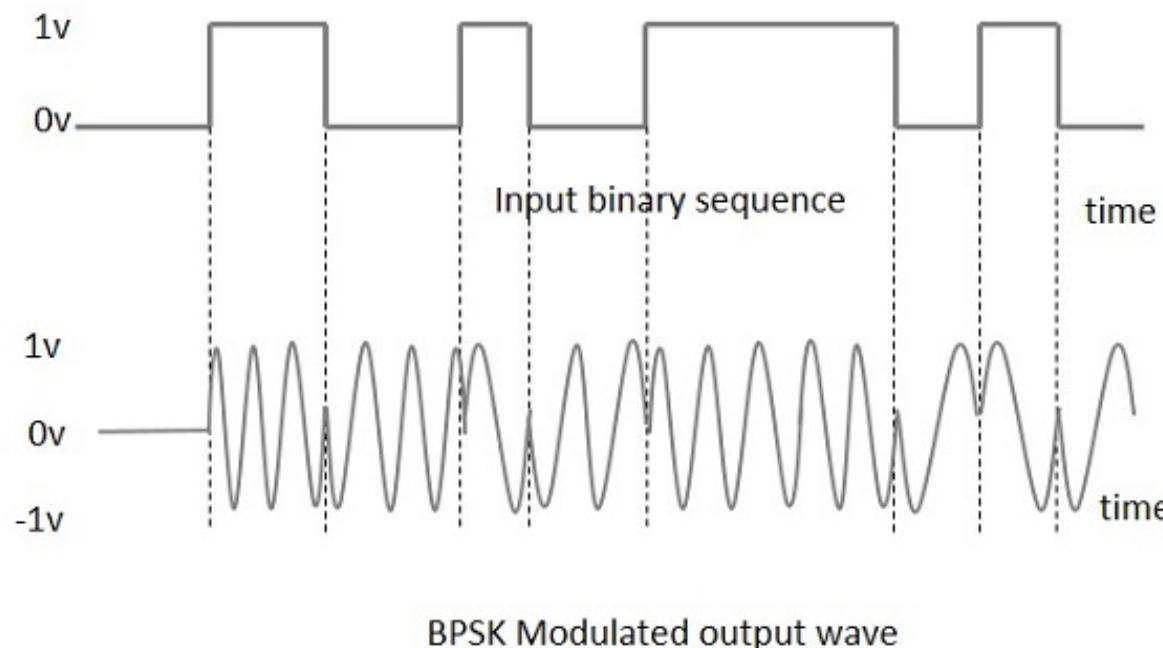
$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi(f_c + f_l)t) & m = 1 \\ A_c \cos(2\pi(f_c - f_l)t) & m = 0 \end{cases} \quad (11)$$



مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying)

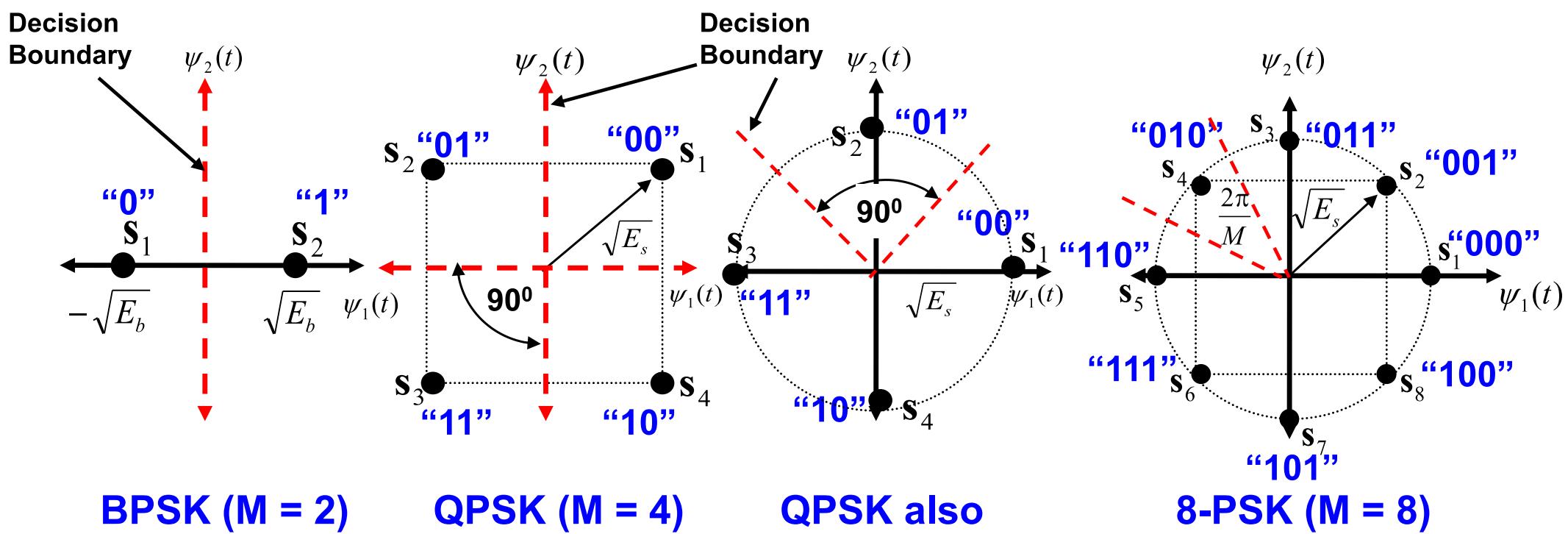
سیگنال خروجی مدولاسیون BPSK را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_1) & m = 1 \\ A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_2) & m = 0 \end{cases} \quad (12)$$



مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying) (ادامه)

هرچه M بیشتر شود در هر سمبول (Symbol) تعداد بیت بیشتری را می‌توان ارسال کرد، اما از سوی دیگر، احتمال خطا (Error Probability) نیز بیشتر می‌گردد.

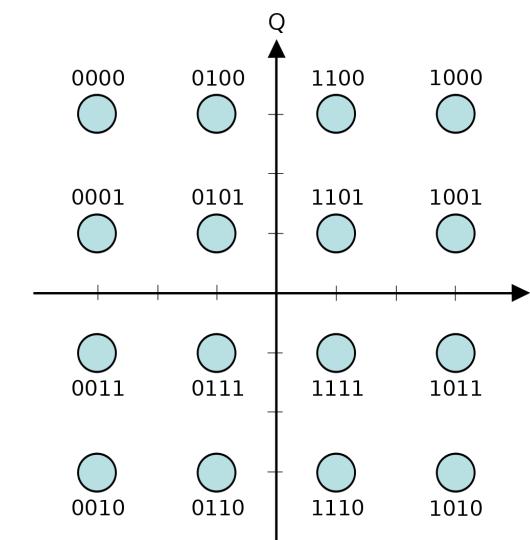
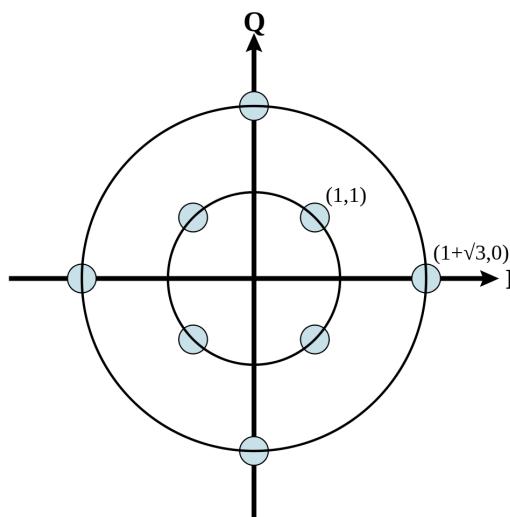
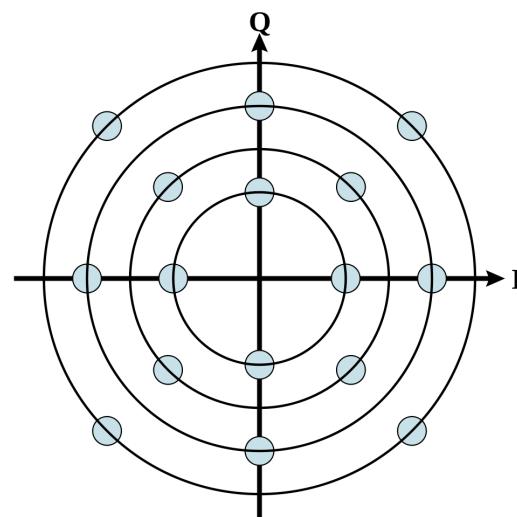


مدولاسیون QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

این مدولاسیون جزو پرکاربردترین مدولاسیون‌های رقمنی می‌باشد. سیگنال باند میانی آن به صورت زیر است:

$$s(t) = A_{mc}g(t) \cos(2\pi f_{ct}) - A_{ms}g(t) \sin(2\pi f_{ct}) \quad (13)$$

بسته به انتخاب A_{ms} و A_{mc} می‌توان اشکال گوناگونی از این مدولاسیون دو بعدی ایجاد نمود.



برای مثال در یک QAM-16 با ۱۶ شکل موج سروکار داریم. این شکل موج‌ها را می‌توان به شیوه‌های گوناگونی قرار داد. نحوه قرار دادن این شکل موج‌ها کاملاً وابسته به پارامترهایی همچون انرژی و میزان خطأ می‌باشد. وقتی تعداد شکل موج‌ها عددی از توان زوج ۲ باشد، معمولاً از شیوه قرار دادن مربعی استفاده می‌شود.

تمايز بین مدولاسيون‌های مختلف از دیدگاه پهنه‌ی باند، احتمال خطأ، توان ارسال و تعداد بیت ارسالی در هر سمبول.

:ASK (Amplitude Shift Keying) مدولاسيون

$$B = (1 + r)R$$

:MPSK (Multilevel Phase Shift Keying) مدولاسيون

$$B = \left(\frac{1 + r}{\log_2 M} \right) R$$

:MFSK (Multilevel Frequency Shift Keying) مدولاسيون

$$B = \left(\frac{(1 + r)M}{\log_2 M} \right) R$$

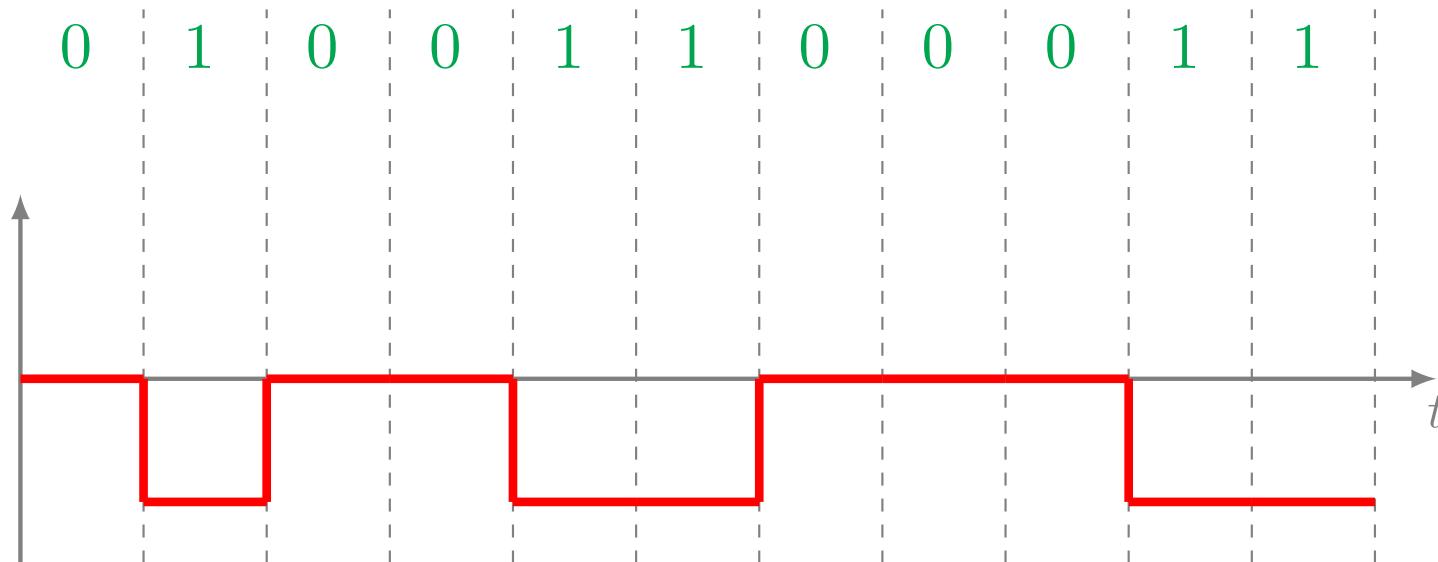
مرولا سیوو (تپریل داده، قمی) پہ سینال



ساده‌ترین روش، استفاده از دو سطح ولتاژ برای ارسال سیگنال دیجیتال

NRZ: بیت یک را با سطح مثبت ولتاژ و بیت صفر را با سطح صفر ولتاژ نشان می‌دهیم.

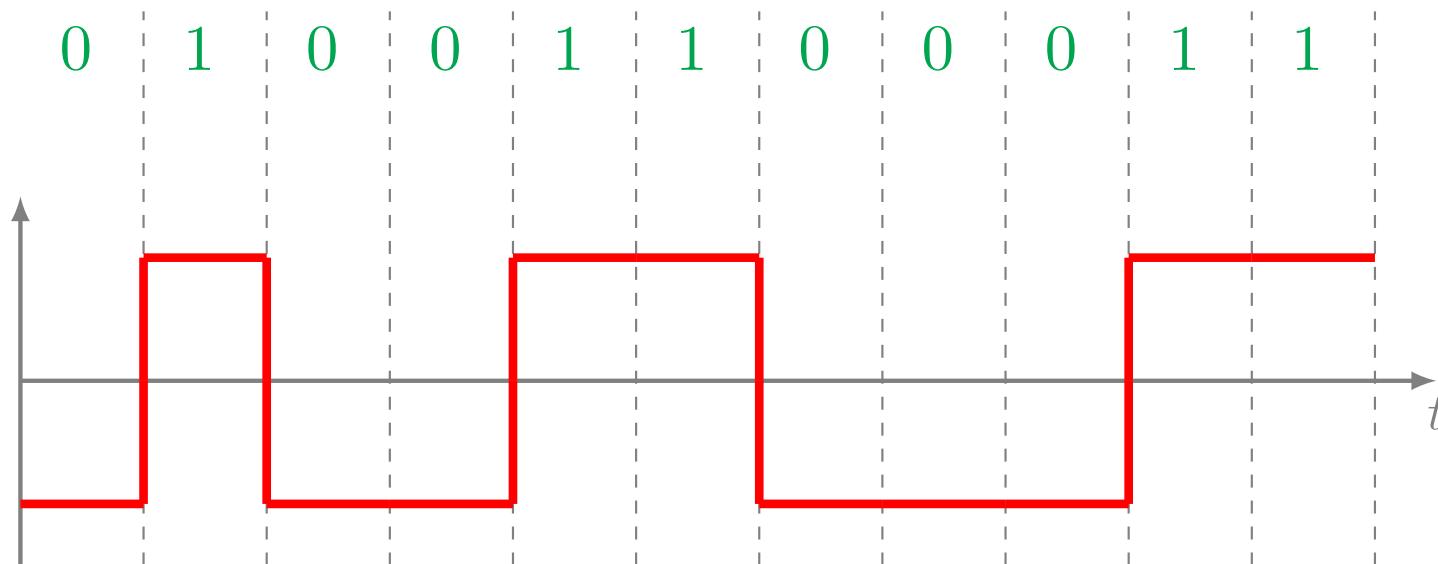
NRZL unipolar: بیت یک را با سطح منفی ولتاژ و بیت صفر را با سطح صفر ولتاژ نشان می‌دهیم.



NRZ (Non Return to Zero) (ادامه)

تمایز حالت bipolar با unipolar

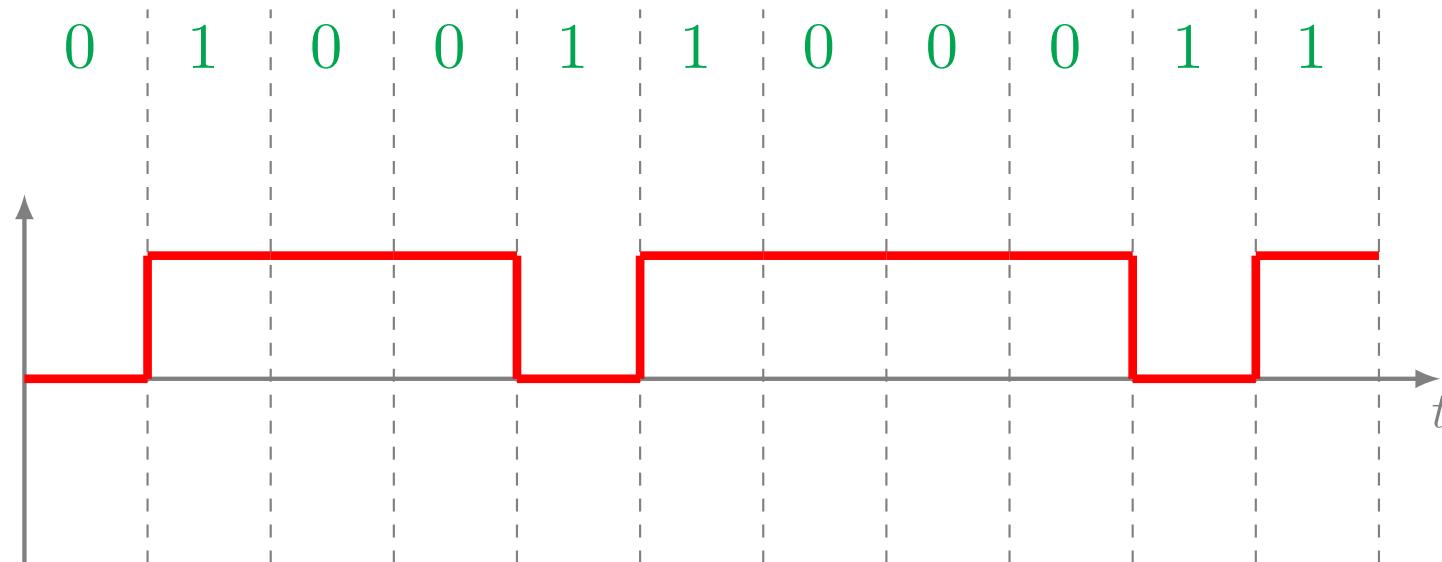
NRZ bipolar: بیت یک با مقدار مثبت ولتاژ و بیت صفر با مقدار منفی ولتاژ



NRZ (Non Return to Zero) (ادامه)

NRZI (Non Return to Zero Inverted): در صورتی که بیت یک، ارسال شود، سطح ولتاژ تغییر می‌کند.

مثالی از کدگذاری تفاضلی (Differential Encoding): مقدار نتیجه علاوه بر حالت فعلی سیگنال به حالت‌های قبلی سیگنال نیز وابسته است.



چند نکته:

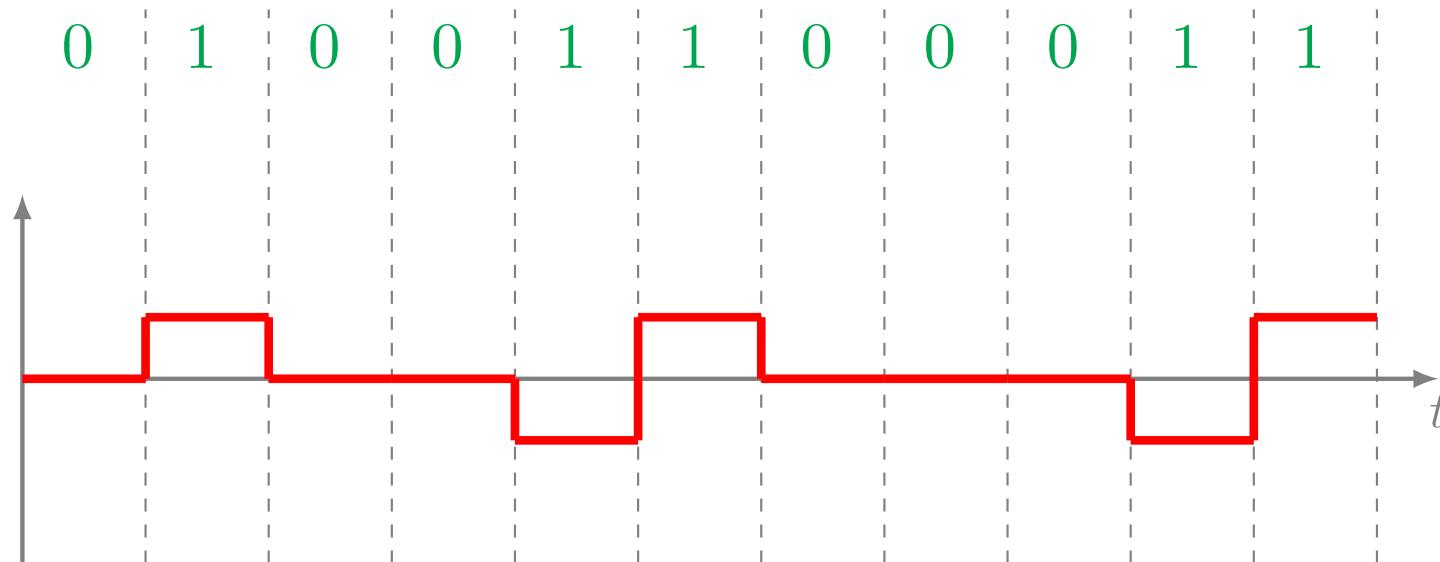
- ۱) علت نامگذاری NonReturn یعنی در طول بازه ارسال بیت، سطح سیگنال ثابت باقی می‌ماند.
- ۲) معمولاً در مسیرهای کوتاه به مانند اتصال مودم به کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دستگاه‌های NRZL ضبط مغناطیسی نیز از این روش استفاده می‌شود.
- ۳) نسخه‌های دیگری از NRZ نیز وجود دارد به مانند NRZS، NRZM، NRZS، NRZM

X مشکلات NRZ: داشتن DC و مقاوم نبودن در برابر خطاهای همزمان‌سازی (Synchronization)

روش Multilevel Binary encoding جزو دسته روش‌های Pseudoternary و Bipolar-AMI

در Bipolar-AMI بیت صفر با سطح ولتاژ صفر و بیت یک با سطح ولتاژ مثبت و منفی

در Pseudoternary بیت یک با سطح ولتاژ صفر و بیت صفر با سطح ولتاژ مثبت و منفی

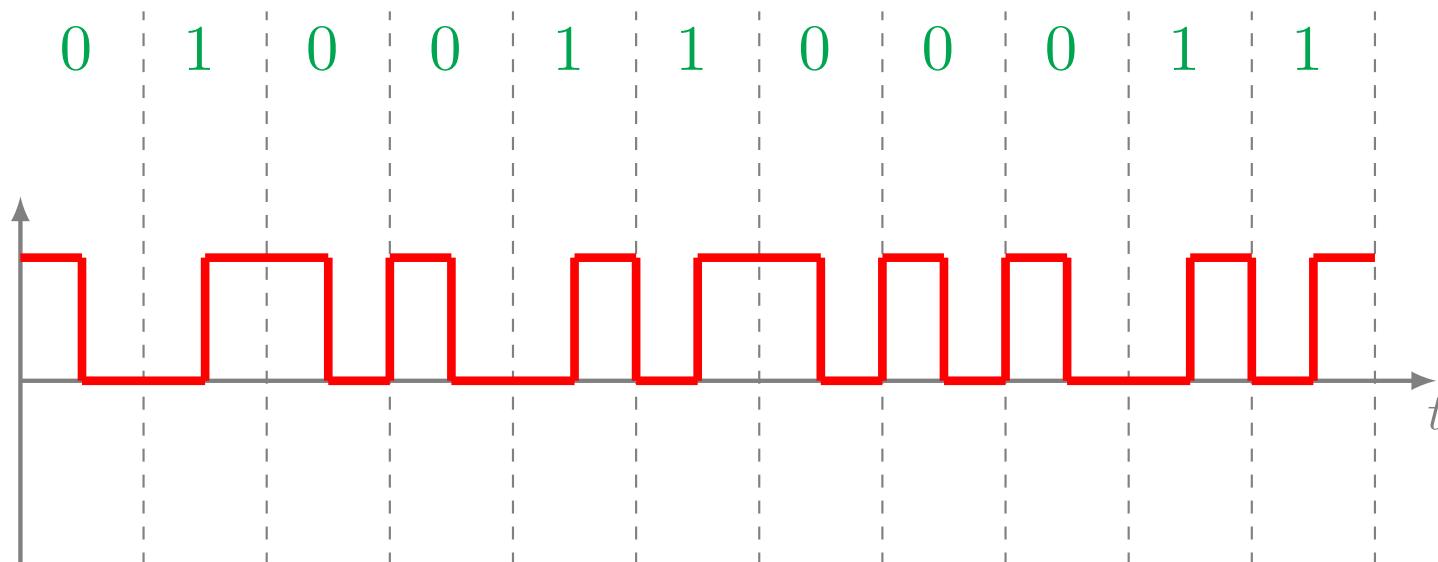


Biphase در دسته Differential Manchester و Manchester

برای ارسال بیت یک تغییر از سطح پایین به بالا و برای ارسال بیت صفر تغییر از سطح ولتاژ بالا به پایین

جزء دسته Self Clocking Signal

Differential IEEE 802.3 استاندارد برای ارسال Manchester استفاده می‌کند، IEEE 802.5 نیز برای ارسال از ential Manchester استفاده می‌کند.



مراجع

فهرست اختصارات

A

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM	Amplitude Modulation
ASK	Amplitude Shift Keying

B

BPSK Binary Phase-shift Keying

D

DM Delta Modulation

DSL Digital subscriber line

F

FCC Federal Communications Commission

FM Frequency Modulation

FSK Frequency Shift Keying

H

HDSL High bit-rate Digital Subscriber Line

I

ITU International Telecommunication Union

L

LAN Local Area Network

LOS Line of Sight

M

MFSK Multilevel Frequency Shift Keying

MPSK Multilevel Phase Shift Keying

N

NRZ	Non Return to Zero
NRZI	Non Return to Zero Inverted
NRZL	Non Return to Zero Level

P

PAM	Pulse Amplitude Modulation
PCM	Pulse Code Modulation
PM.....	Phase Modulation
PSK	Phase Shift Keying

PSTN Public Switched Telephone Network

Q

QAM Quadrature Amplitude Modulation

R

RZ Return to Zero

S

SMS Short Message Service

SNR Signal Noise Ratio

V

VDSL Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

B

Bandwidth پهنای باند Analog آنالوگ

Baseband باند پایه Analog Communication مخابرات آنالوگ

Analog Data داده آنالوگ

C Analog Signal سیگنال آنالوگ

Carrier Signal سیگنال حامل Analog Transmission انتقال آنالوگ

E D

داده Electromagnetic Wave موج الکترومغناطیسی Data

کدگذاری تفاضلی Error Probability احتمال خطأ Differential Encoding

داده رقمی Digital lData

رقمی Digital

مخابرات رقمی Digital Communication

تبدیل فوریه Fourier Transform

سیگنال رقمی Digital Signal

باند فرکانسی Frequency Band

انتقال رقمی Digital Transmission

انحراف فرکانسی Frequency Deviation

G شاخص مدولاسيون Modulation Index

باند محافظ Guard Band

P

I حق ثبت اختراع Patent

تدخل Interference

R

M موج راديوبي Radio Wave

پيام Message

مدولاسيون Modulation

W

Wireless سمبول بیسیم Symbol

همزمان‌سازی Synchronization

سیگنال Signal

گفتار Speech

T

انتقال Transmission

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

ب

Baseband	باند پایه	Analog	آنالوگ
Frequency Band	باند فرکانسی	Error Probability	احتمال خطأ
Guard Band	باند محافظ	Transmission	انتقال
Wireless	بی‌سیم	Analog Transmission	انتقال آنالوگ
		Digital Transmission	انتقال رقمی
		Frequency Deviation	انحراف فرکانسی

پ

پهنهای باند Bandwidth

د

پیام Message

Data داده

Analog Data داده آنالوگ

Digital Data داده رقمی

ت

تبديل فوريه Fourier Transform

تدخل Interference

ر

Digital رقمی

ح

حق ثبت اختراع Patent

س

Differential Encoding	کدگذاری تفاضلی	Symbol	سمبل
		Signal	سیگنال
		Analog Signal	سیگنال آنالوگ
	گفتار	Carrier Signal	سیگنال حامل
Speech		Digital Signal	سیگنال رقمی

م

Analog Communication	مخابرات آنالوگ	Modulation Index	شاخص مدولاسیون
Digital Communication	مخابرات رقمی		

ش

مدولاسيون .. Modulation ..

موج الکترومغناطیسی .. Electromagnetic Wave ..

موج رادیویی .. Radio Wave ..

همزمان سازی .. Synchronization ..