

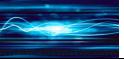
NJUT

第五章 微波元器件

- 5.1 连接匹配元件
- 5.2 功率分配元件
- 5.3 微波谐振器件
- 5.4 微波铁氧体器件



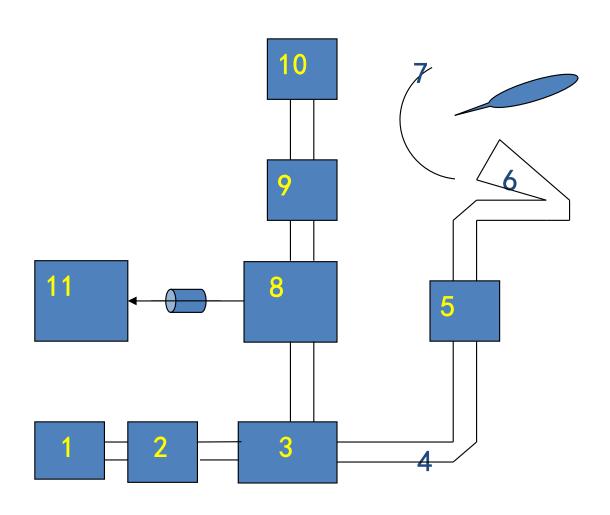






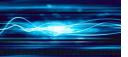
微波雷达系统 Radar System

- 1-发射机;
- 2-隔离器;
- 3-天线转换开关;
- 4-馈线波导;
- 5-旋转关节;
- 6-辐射器;
- 7-天线反射器;
- 8-混频器;
- 9-可变衰减器;
- 10-本地振荡器;
- 11-前置放大器。



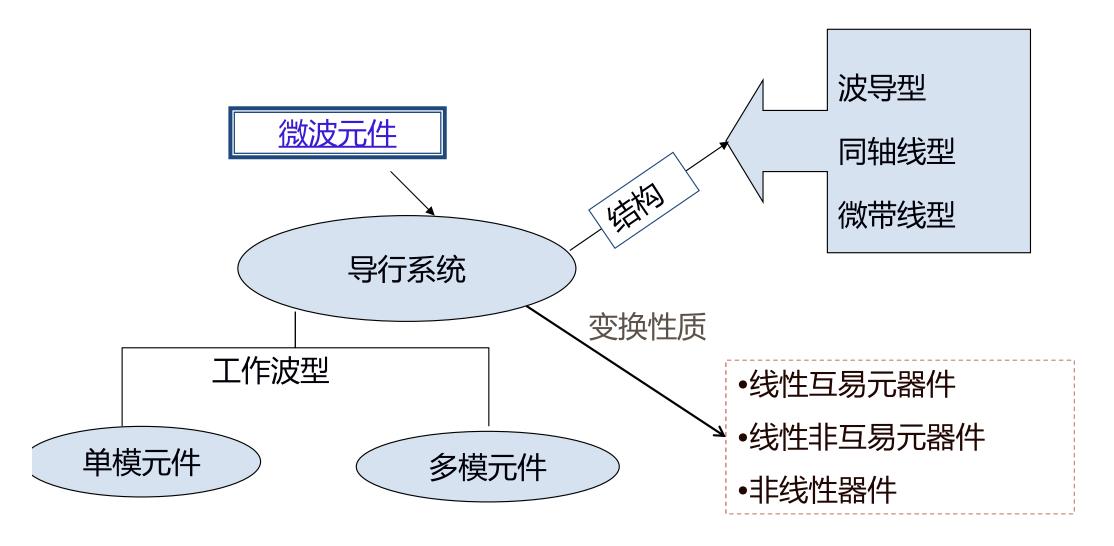








微波系统由有源微波电路和微波无源元件组成。





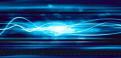


5.1 连接匹配元件

- •<u>终端负载元件</u>(terminal load devices)
 - ——实现终端短路、匹配或标准失配;
- •微波连接元件(microwave connector)
 - ——波导接头、衰减器、相移器及转换接头等;
- •阻抗匹配元件(impedance matched devices)
 - ——螺钉调配器、阻抗变换器





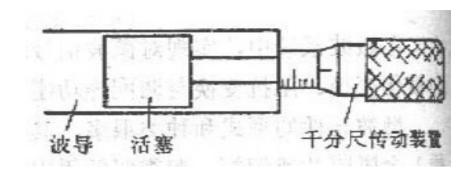


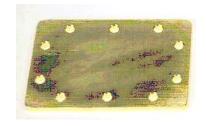


1. 终端负载元件

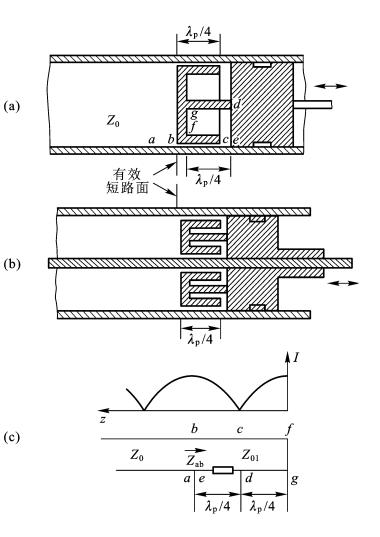
(1) 短路负载 (short circuit load)

- 1) 接触损耗小;
- 2) 活塞移动时,接触损耗变化小;
- 3) 大功率时,活塞与波导壁间不应产生打火现象。



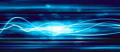


扼流式











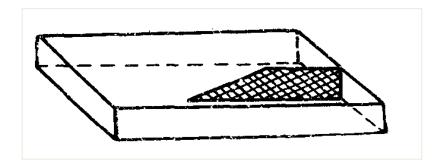
(2)匹配负载(matched load)

劈尖长度一般取 λ_q /2的整数倍

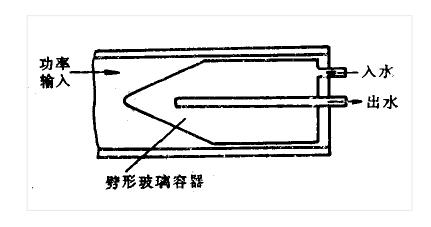
<u>低功率负载</u> (< 1W)

用于实验室

----终端短路加吸收材料



高功率负载(>1W)固体或水。



高功率水负载

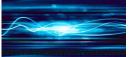
主要用于雷达功率监测

(3)失配负载(mismatch load)

$$\rho = \frac{b_0}{b} (\vec{\mathbb{R}} \frac{b}{b_0}) \qquad b_0 标准波导窄边$$













2. 微波连接元件

接触损耗小

驻波比小

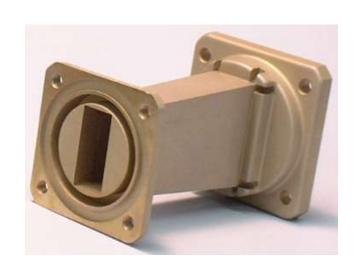
功率容量大

工作频带宽

(1)波导接头(waveguide connector)



扼流法兰接头



特点: 体积小, 频带宽

平法兰接头

加工方便,

接触表面光洁度较高

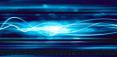
特点: 功率容量大,

频带较窄,

接触表面光洁度要求不高



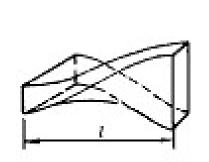


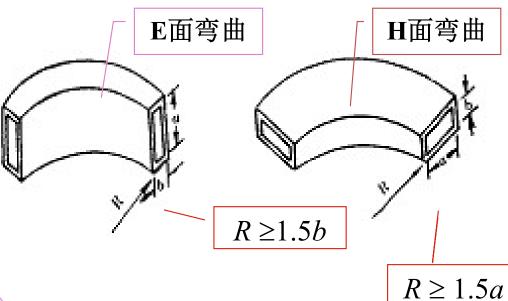




扭转(twist)和弯曲(bend)

为了使反射最小,扭转长度应为 $(2n+1)\lambda_g/4$,E面波导弯曲的曲率半径应满足R≥1.5b,H面弯曲的曲率半径应满足R ≥ 1.5a。





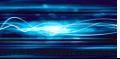


改变极化方向

不改变传输方向

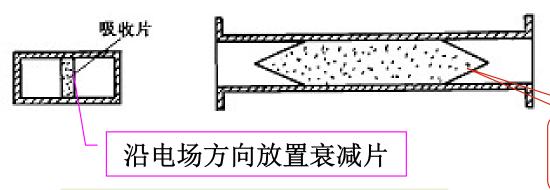






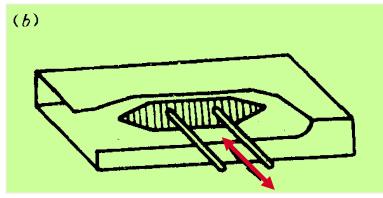


(2) 衰减元件和相移元件 (attenuators and phase shifters)



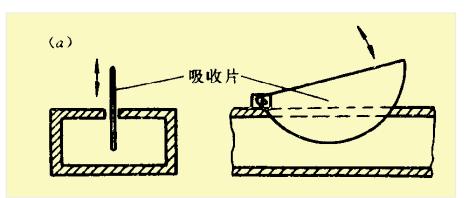
为什么取 此形状?





$$[S_{\alpha}] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-\alpha l} \\ e^{-\alpha l} & 0 \end{bmatrix}$$

横移式吸收式衰减器

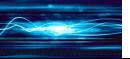


刀形吸收式衰减器



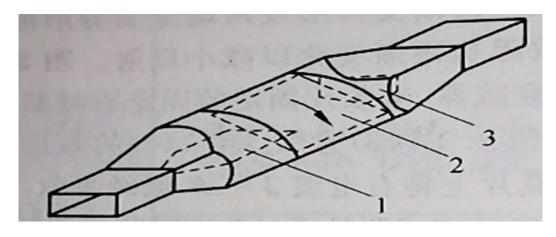






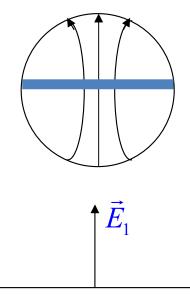


旋转极化衰减器

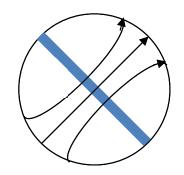


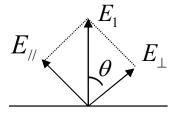
平行于吸收片的电场能量全部被吸收,垂直的电场能量无衰减通过

固定吸收片1

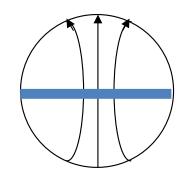


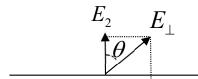
可旋转吸收片2





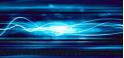
固定吸收片3













当将衰减器的衰减片换成介电常数 ε_r >1的无耗介质片时,就构成了移相器,其散射矩阵为

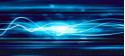
$$\left[S_{\theta} \right] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\theta} \\ e^{-j\theta} & 0 \end{bmatrix}$$



衰减器和相移器<mark>联合</mark>使用,可以调节导行系统中电磁波的<u>传播常数</u>。





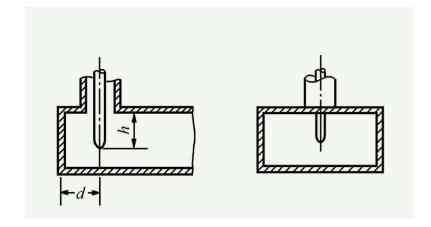




(3)转换接头(switching connector)

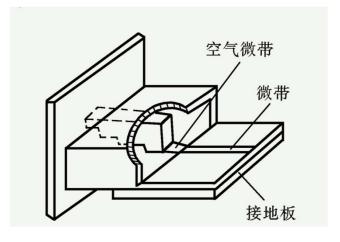
导行系统的主模不同,因此从一种模式过渡到另一模式 的电磁波需使用波型变换元件。

1. 同轴线—波导转换器



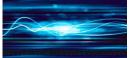
2. 波导—微带转接器

通常在波导与微带线之间加一段脊波导过渡段来实现阻抗匹配





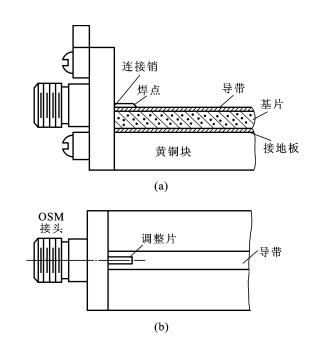






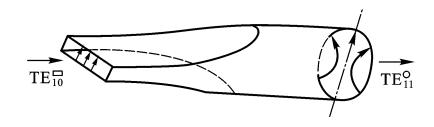


与微带连接处的同轴线内导体直径的 选取与微带线的特性阻抗有关,通常 使内导体直径等于微带线宽度。



4. 矩形波导—圆波导模式变换器

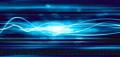
大多采用波导横截面的逐渐变化来达到模式的变换



《微波技术》

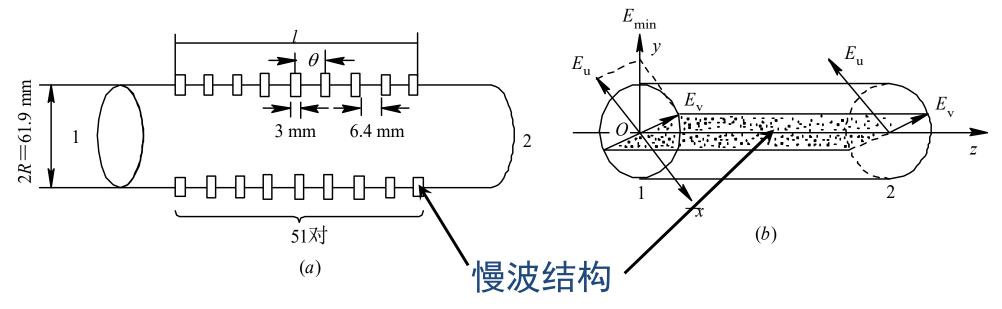


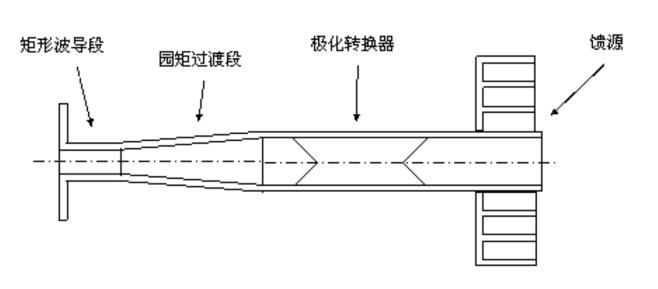






线-圆极化转换器

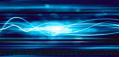




工作原理:平行于慢波结构的 电场分量产生相位滞后,经一 段传输路程后,平行与垂直分 量的相位发生变化。



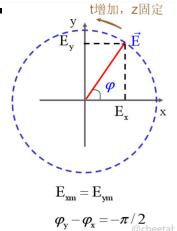




后馈天线

45°





对沿+z方向的波

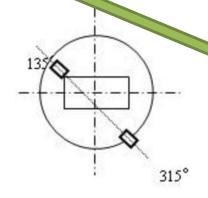
 E_x 超前 E_y 为右旋

对沿-z方向的波

 E_x 超前 E_y 为左旋



(b) 接收左旋极化波 http://wyw.go-gddq.com



进入馈源的是左旋波

 E_{\parallel} 超前 E_{\perp} 90。

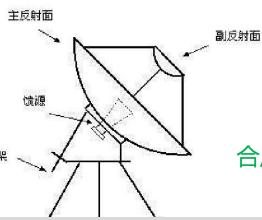


 E_{\parallel} 相位恰好延迟90°



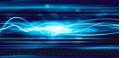
合成场:与介质片成45°夹角的线极化波











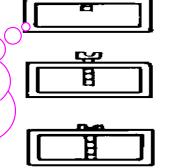


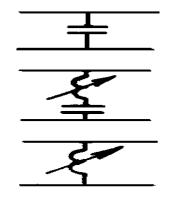
3. 阻抗匹配元件

(1)螺钉调配器(bolt tuner)

- > 消除反射
- > 提高传输效率
- > 改善系统稳定性

螺钉不同的 深度等效为 不同的电抗 元件

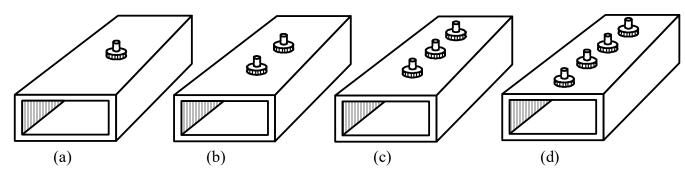




为避免波导短路击穿, 螺钉都设计成容性,

即螺钉旋入波导中的深度应小于3b/4。





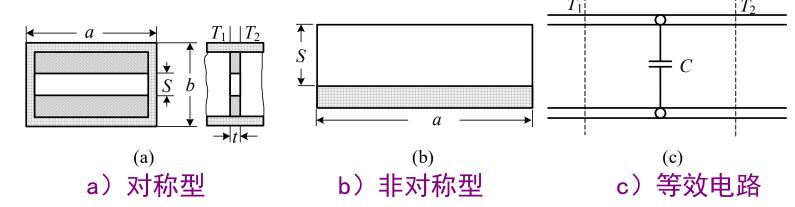




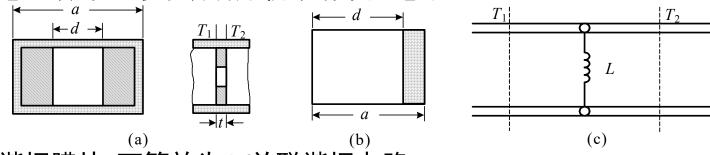


2. 膜片

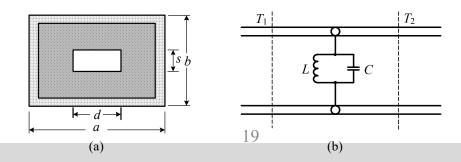
(1) 电容膜片:可等效成并联导纳单元电路



(2) 电感膜片:可等效成并联导纳单元电路



(3) 谐振膜片:可等效为LC并联谐振电路



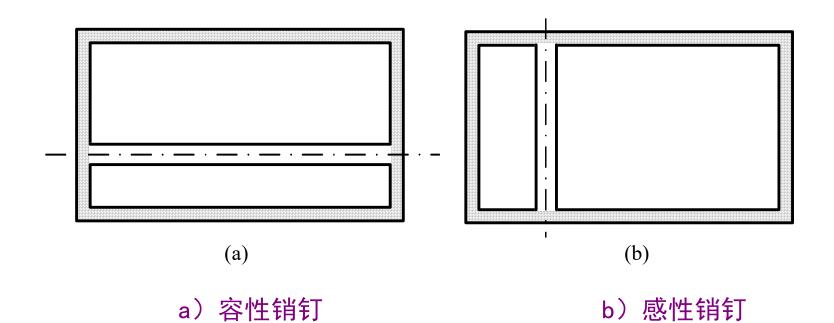






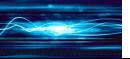
3. 销钉

- 销钉由金属细圆杆构成。
- 销钉的工作原理与膜片类似。











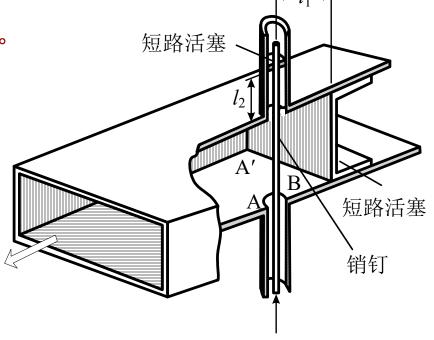




例 匹配装置由同轴型短路活塞、波导型短路活塞和单电感销钉构成,如图所示。

其功用是实现波导与同轴线之间的匹配连接。

(1) 试画出它的等效电路;(2) 说明其工作原理。



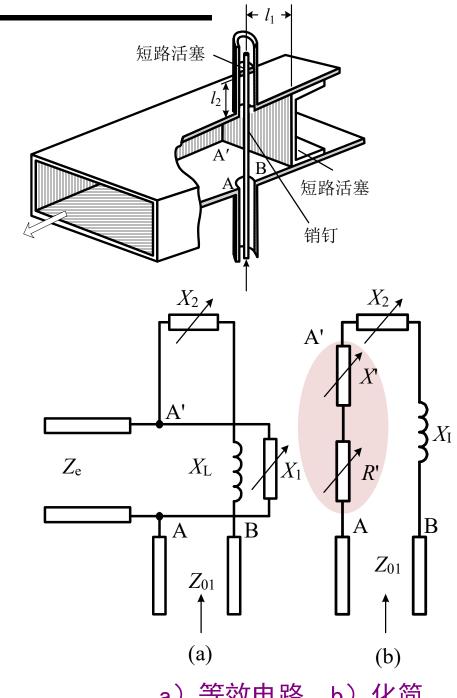
主同轴线与特性阻抗为 Z_{01} 的长线段等效, 主波导与等效阻抗为 Z_e 的长线段等效,

波导型短路活塞被等效成可调电抗 X_1 ,

同轴型短路活塞被等效成可调电抗 X_2 ,

单电感销钉被等效成电感 X_{L} 。

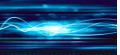
将 AA'处的两个并联阻抗 Z_e 和 X_1 化为串联阻抗R'和X'。



a)等效电路 b)化简









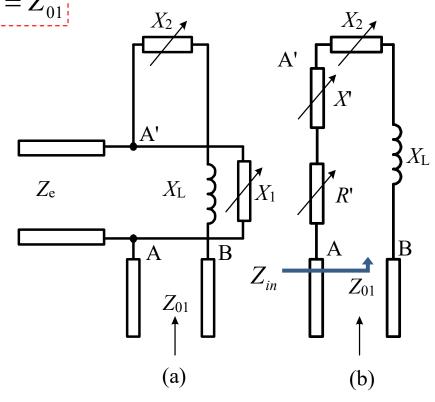
(2) 工作原理

为使波导与同轴线之间实现匹配,需满足 $Z_{in}=Z_{01}$

$$R' = Z_{01}$$

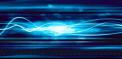
 $X' + X_2 + X_L = 0$

这两个条件可通过调节两个短路活塞实现。



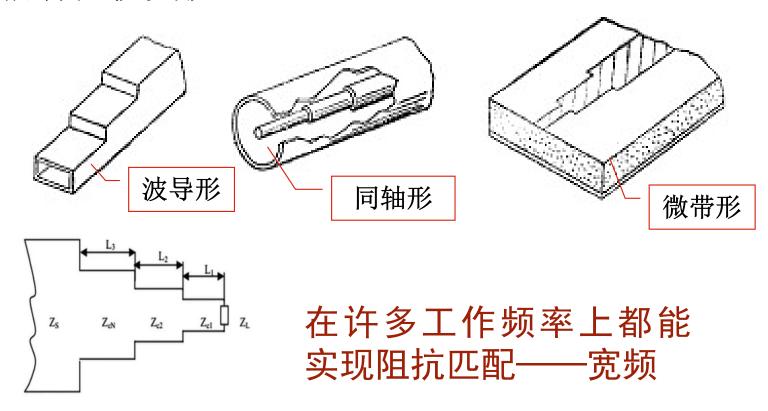




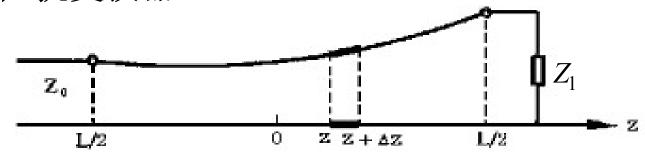




4.多阶梯阻抗变换器

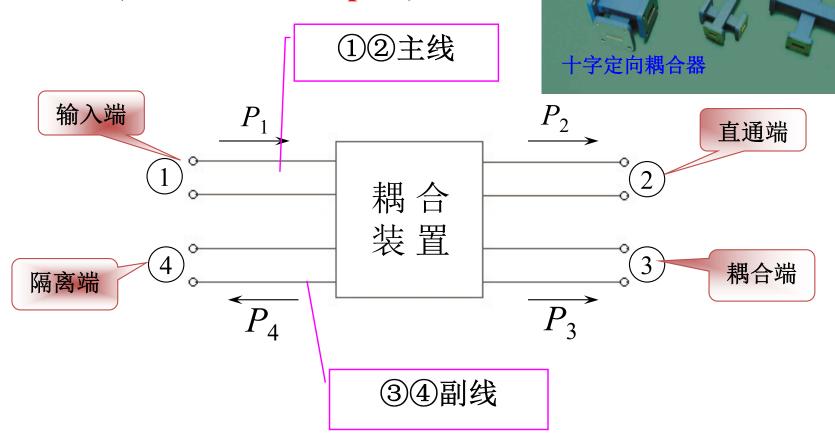


5. 渐变型阻抗变换器





1.定向耦合器(directional coupler)











(1) 定向耦合器的性能指标

耦合度(表明输入与耦合之间的关系):

$$C = 10 \lg \frac{P_1}{P_3} = 10 \lg \frac{1}{|S_{31}|^2} = -20 \lg |S_{31}|$$
 (dB)

隔离度(表明输入端口与隔离端口之间的关系):

$$I = 10\lg \frac{P_1}{P_4} = -20\lg |S_{41}| \qquad (dB)$$

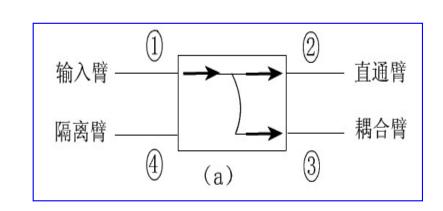
定向性(耦合端口与隔离端口之间的关系):

$$D = 10 \lg \frac{P_3}{P_4} = I - C \qquad (dB)$$

理想定向耦合器应具有无限大的定向性和隔离度

插入驻波比: 各端口接匹配负载时, 输入端口(1)的驻波比。

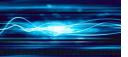
$$\rho_1 = \frac{1 + |s_{11}|}{1 - |s_{11}|}$$



频带宽度: 耦合度、隔离度(或定向性)及插入驻波比都满足指标要求时定向耦合器的工作频带宽度。

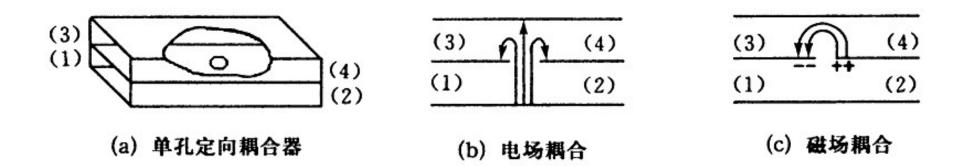




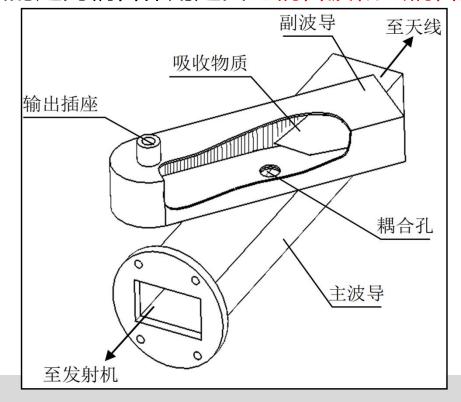




(1) 波导单孔定向耦合器

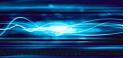


单孔定向耦合器的定向耦合作用是由电耦合波和磁耦合波相互干涉而形成的。











(2) 波导双孔定向耦合器

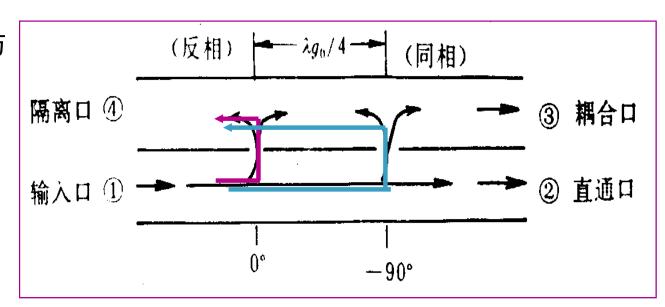
设电磁波由端口①输入,大部分波向端口②传输,一部分波通过两个孔耦合到副波导中。

由于两孔相距 λ_{g0} / 4,结果在端口③方向的波相位同相而增强,在端口④方向则因相位反相而相互抵消。

实质: 双孔定向耦合器的定向耦合作用是由两孔耦合的波互相干涉而形成的。

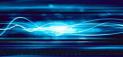
注意:在端口④方向波的抵消与频率有关,

故其定向性是频率的敏感函数; 而耦合度则受频率的影响较小。



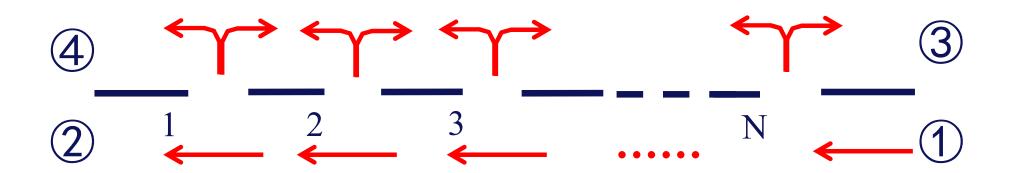






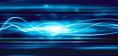


◆ 多孔定向耦合器(频带较宽)

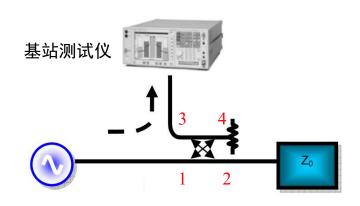












图中是一个蜂窝基站的典型测量应用,如果发射机的输出功率为43dBm(20W),定向耦合器的耦合度为30dB,插入损耗为0.15dB,问:

- (1) 耦合端有多少信号(以dBm表示)送到基站测试仪;
- (2) 定向耦合器的直通输出信号是多少(以dBm表示);
- (3) 泄漏到隔离端的功率如何处理?

$$P(dBm) = 10 \lg P(mW)$$

$$C = 10 \lg \frac{P_1}{P_3}$$

$$L_i = 10 \lg \frac{P_{in}}{P_i} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

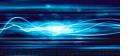
(1)
$$P_3 = P_1 - C = (43 - 30) dBm = 13 dBm = 10^{1.3} mW = 19.95 mW$$

(2)
$$P_2 = P_1 - L_i = (43 - 0.15)dBm = 42.85dBm = 10^{4.285}mW = 19.28W$$

(3) 泄漏到隔离端的功率则被一个匹配负载吸收掉







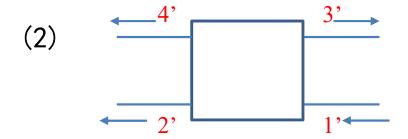




作为通过式功率计的核心器件,定向耦合器可用于正向和反射功率的取样,其中端口3用于检测正向功率,端口4用于检测反射功率。假设发射机的输出功率为100W(50dBm),被测负载的驻波比为1.5,定向耦合器的耦合度为30dB。

- (1) 2端口的反射功率是多少;
- (2) 假如隔离度为无穷大,则在4口测到的功率是多少;
- (3) 实际上隔离度不可能无穷大,这会导致什么后果?

(1)
$$\left|\Gamma_{l}\right| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = \frac{1.5 - 1}{1.5 + 1} = 0.2$$
 $P_{r} = P_{in} \left|\Gamma_{l}\right|^{2} = 100 / 25 = 4W = 10 \lg 4000 dBm = 36 dBm$



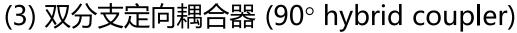
此时负载端反射的信号成为输入信号,故此时的各个端口功能如左图所示。

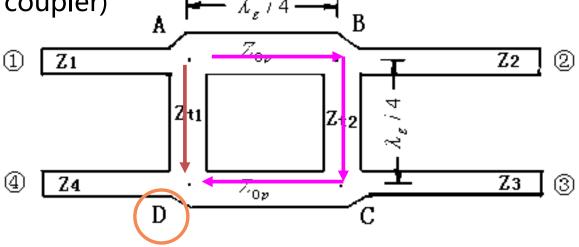
$$P_{3'} = P_{1'} - C = (36 - 30)dBm = 6dBm = 10^{0.6}mW = 4mW$$

(3)出现在端口4的除了真正的反射功率以外,还有一部分从端口1泄漏过来的功率,这二部分功率矢量叠加后,功率计认为这些都是反射功率,从而导致了测试误差。









相位相反

适当选择各段传输线的特性导纳, 使两路波的电压振幅相等→4成为隔离端

B点:
$$\left\{ \begin{array}{l} A \to B \\ A \to D \to C \to B \end{array} \right.$$

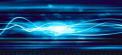
两路波相位差π,但两路波大小相差悬殊,不能完全 抵消→2为直通端

A→C的两路信号为同相信号

隔离端、耦合端输出信号的大小取决于各线的特性阻抗





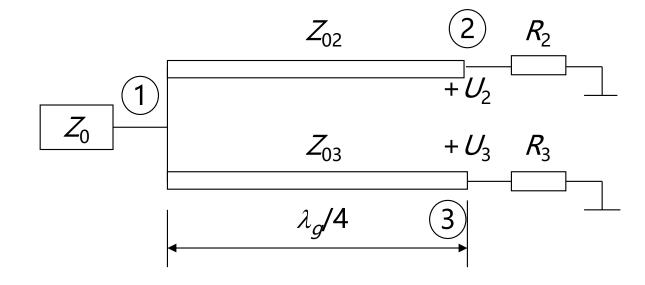




2.功率分配器(power divider)

大功率往往采用同轴线而中小功率常采用微带线。

1) 两路微带功率分配器



端口"①"无反射

- ②、 ③输出功率比值为任意指定值
- ②、③输出电压相等

$$\frac{1}{Z_{in2}} + \frac{1}{Z_{in3}} = \frac{1}{Z_0}$$

$$\left(\frac{1}{2}\frac{U_2^2}{R_2}\right) / \left(\frac{1}{2}\frac{U_3^2}{R_3}\right) = \frac{1}{k^2}$$

$$U_2 = U_3$$





$$Z_{\text{in 2}} = Z_{02}^2 / R_2$$

$$Z_{\rm in3} = Z_{03}^2 / R_3$$

设 $R_2=kZ_0$,由上两式可得其他参数:

$$Z_{02} = Z_0 \sqrt{k(1+k^2)}$$

$$Z_{03} = Z_0 \sqrt{(1+k^2)/k^3}$$

$$R_3 = Z_0/k$$

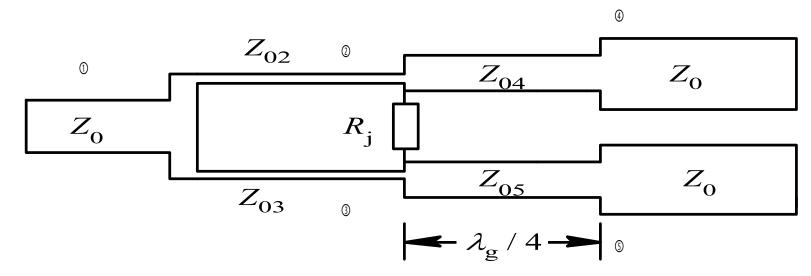
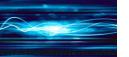


图 实际功率分配器平面结构图

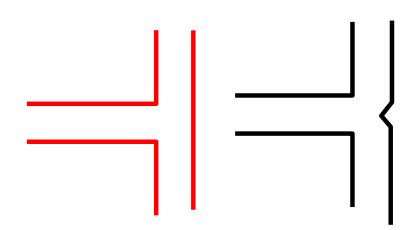




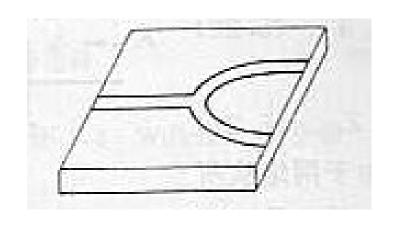


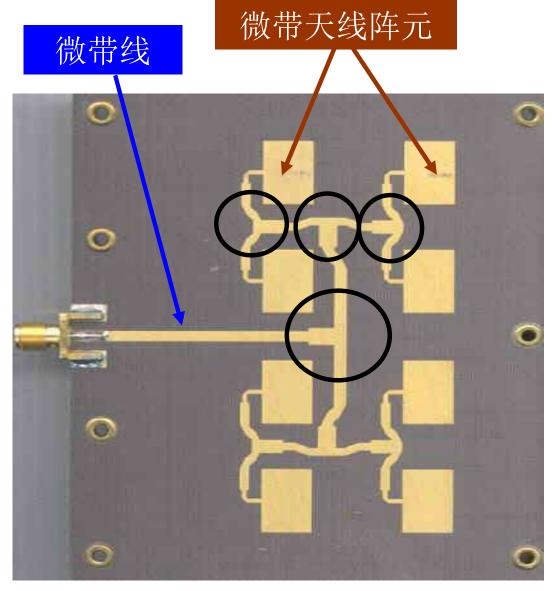


- ❖ 功率分配器的应用
 - T形分支



• Y形分支

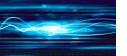




微带天线阵



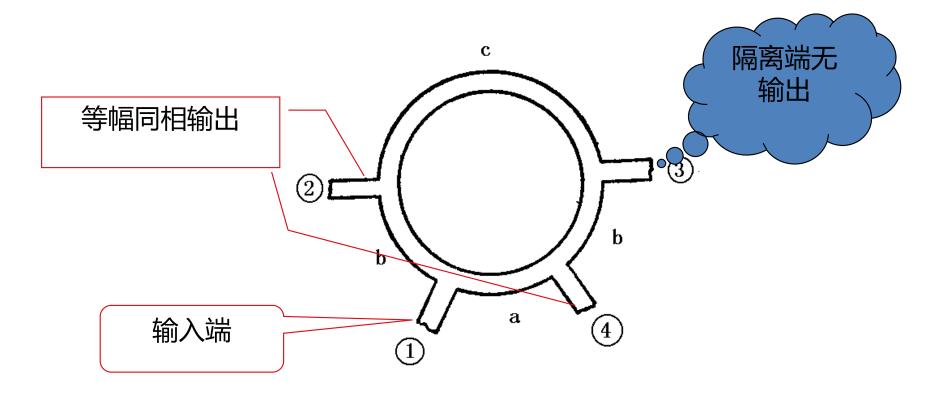






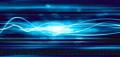
2.微带环形电桥(microstrip hybrid coupler)

由全长为 $3\lambda_g/2$ 的环及与它相连的四个分支组成,分支与环的关系为并联关系。





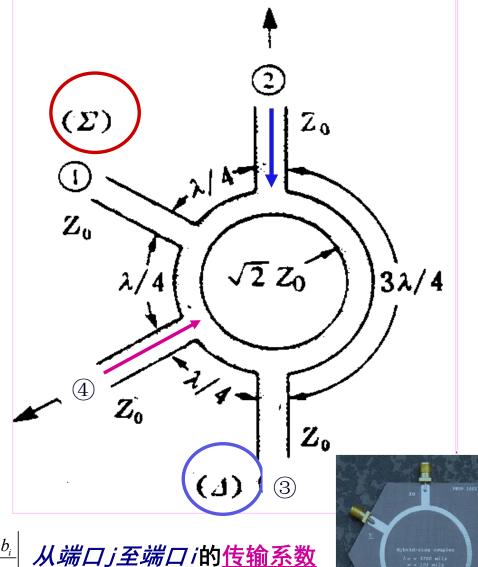






- 信号由端口①输入时,端口② 和④为等幅同相输出,端口③ 无输出(隔离端口);
- 若信号由端口③输入,端口② 和④为等幅反相输出,端口① 无输出(隔离端口)。
- 当输入信号分别加于端口②和端 口④时,则在端口①输出和信号 (和端口),在端口③输出差信 号(差端口)。

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -j & 0 & -j \\ -j & 0 & j & 0 \\ 0 & j & 0 & -j \\ -j & 0 & -j & 0 \end{bmatrix}$$

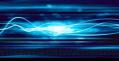


$$S_{ij} = \frac{b_i}{a_j} |_{a_k=0, k \neq j}$$
 从端口j至端口i的传输系数

$$S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} \bigg|_{a_k = 0, k \neq i}$$
 反射系数





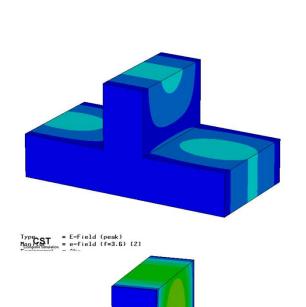


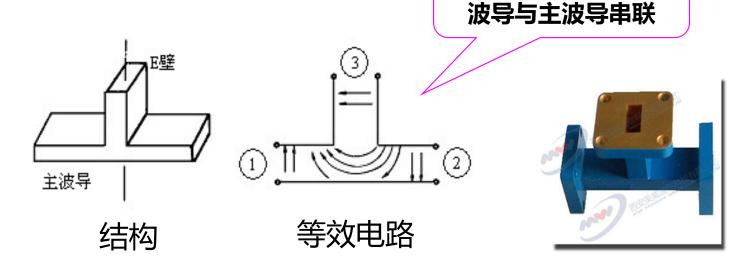


E-T分支相当于分支

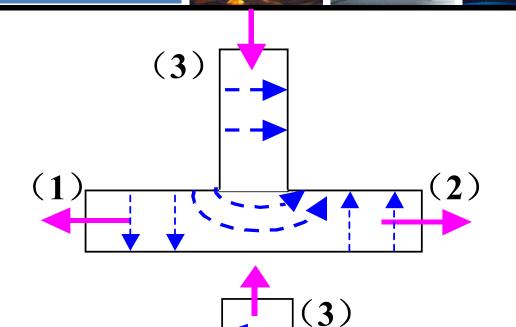
3.波导分支器(waveguide branch circuit)

1) E面型T分支





信号从端口③输入时,分给端口①②等幅反相; 信号从端口①②反相激励时,则在端口③合成输出最大; 同相激励端口①②时,端口③无输出。

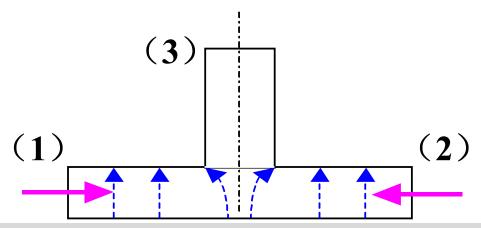


信号由端口3输入时,端口1和2等幅反相输出。

$$S_{13} = -S_{23}$$
;

由于1和2端口在结构上对称,故有: S₁₁ = S₂₂;

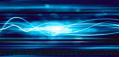




当信号由1和2等幅同相输入时,端口3 没有输出。











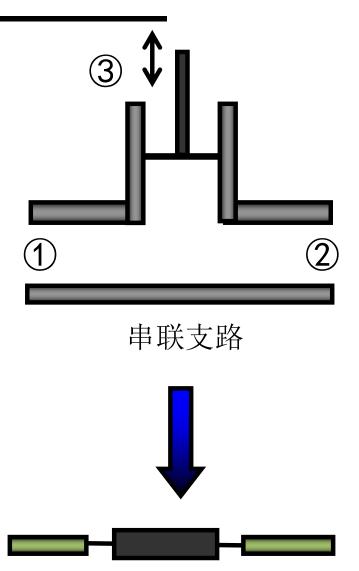


由于结构对称. S₁₁ = S₂₂

$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & S_{11} & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} \end{bmatrix}$$



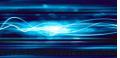
$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix}$$



jΧ



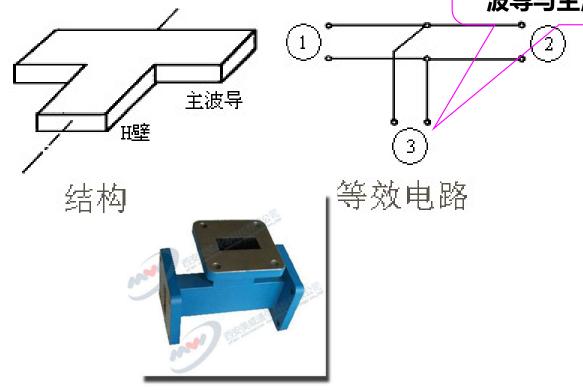




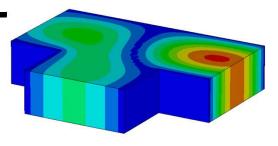


2) H面型T分支

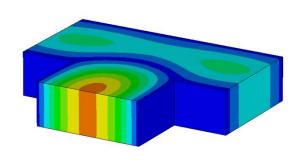
H-T分支相当于分支 波导与主波导并联



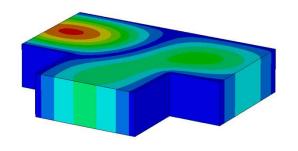
当信号从端口③输入时,等幅同相分给端口①②; 当在端口①②同相激励时,则在端口③合成输出最大; 当反相激励时端口③将无输出。

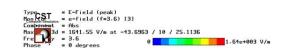






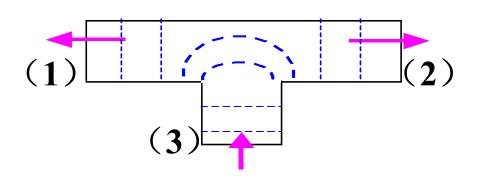




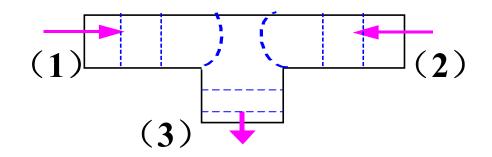




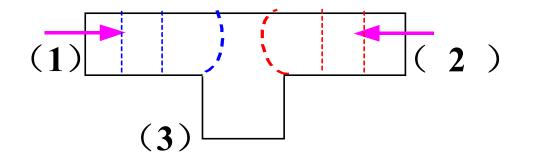




当信号由端口3输入时,端口1和2等幅同相输出。S₁₃ = S₂₃;由于1和2端口在结构上对称, 故有: S₁₁ = S₂₂;



当信号由1和2等幅同相输入时, 端口3输出最大。

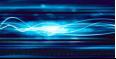


当信号由1和2等幅反相输入时, 端口3无输出。

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix}$$









3) 匹配双T或魔T(magic-T circuit)

$$s_{13} = -s_{23} \qquad s_{43} = 0$$

$$s_{43}=0$$

• 3输入: 1、2等幅、反相输出, 4无输出;

$$s_{14} = s_{24}$$

$$s_{14} = s_{24} \qquad \qquad s_{34} = 0$$

• 4输入: 1、2等幅、同相输出, 3无输出;

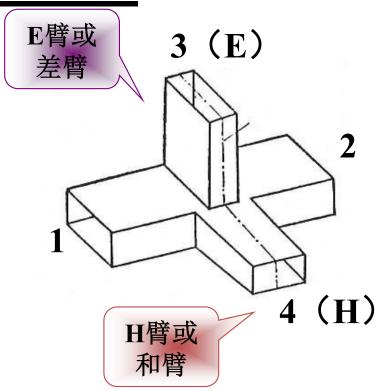
- •1、2均有输入:3输出差信号,4输出和信号;
- 3、4臂内部匹配。 S₃₃ = S₄₄ = 0

$$\begin{cases}
S_{11} = S_{22} \\
S_{13} = -S_{23} \\
S_{14} = S_{24} \\
S_{33} = S_{44} = 0
\end{cases}$$

$$\begin{bmatrix}
S \end{bmatrix}^{+} \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \end{bmatrix} \\
S \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对口隔离, 邻口耦合及完全匹配

用在雷达收发开关、混频器及移相器等场合。







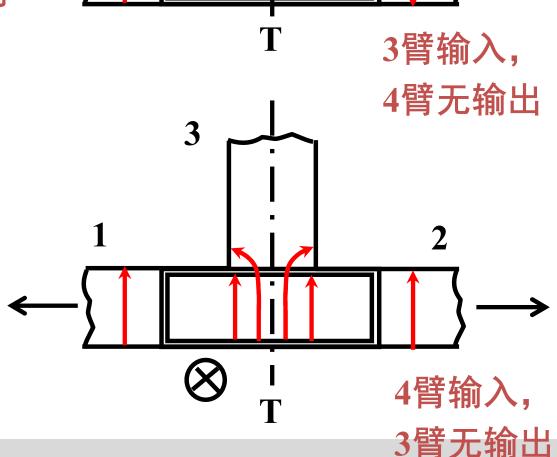




"3臂、4臂隔离"的原因:

3臂输入的 TE_{10} 模式关于中轴面T反对称,而4臂,中 TE_{10} 模式关于中轴面T对称,故相互不能激励。

3臂(4臂)输入的TE₁₀模可以在4臂(3臂)中激励起高次模,但高次模式不能输出。

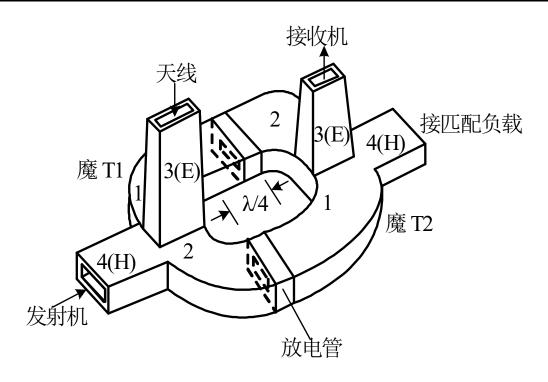












$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

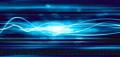
某雷达的平衡式收发开关

试根据魔T的工作特点分析图中装置的工作原理。

图中,在连接处接有**TR放电管,**工作于高功率状态时打火,产生全反射;工作于小功率状态时不打火,信号可以通过放电管。













来自发射机的大功率信号从魔T1的端口4输 $[S] = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 入后,由端口1、2等幅同相输出 $(S_{14}=S_{24})$,

到达放电管时惰性气体打火, 使信号被

全反射, 而不能到达接收机。

由于两放电管与魔T接头的距离相差 $\lambda_p/4$,使反射信号到达端口1、2时等幅反相,故只能经端口3送至雷达天线。

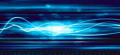
某雷达的平衡式收发开关

来自雷达天线的回波信号从魔T1接头的端口3输入以后,端口4无输出(即不能到达发射机),而只能经端口1、2等幅反相输出(S13=-S23)。

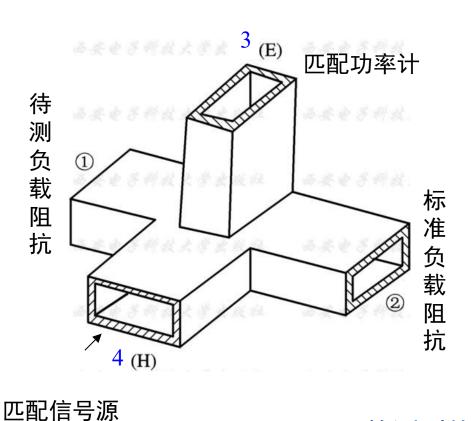
由于放电管对小功率信号不起作用,故回波信号可顺利到达魔T2接头的端口1、2并保持等幅反相关系,于是只能经端口3至接收机。











$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

• 利用魔T构成微波电桥

信号从4口输入,分配到1、2口的是等幅 同相信号,到达负载后被反射,并成为1 、2的入射波;

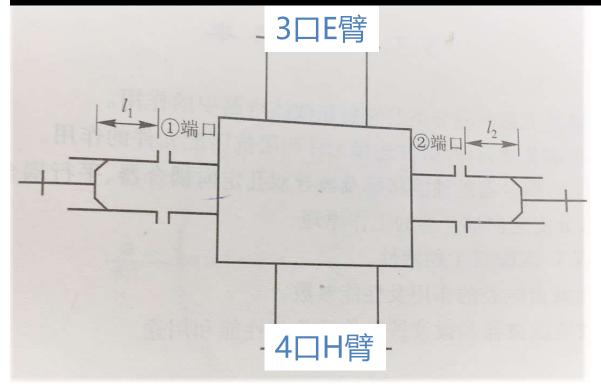
3口检测到的是1、2口反射射信号的差值,如果1、2口 负载相等,则反射波也相等。

调整标准负载直到匹配功率计的读数为零,则得待测负载的阻抗。









$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

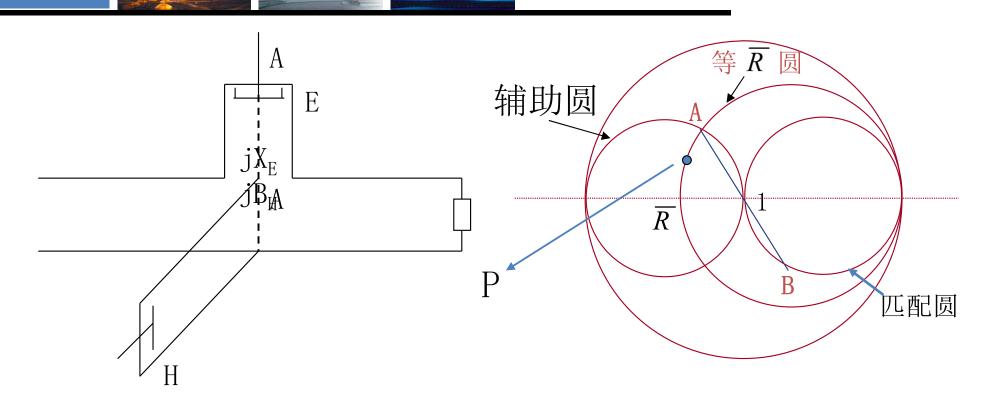
$$l_1 - l_2 = \frac{\lambda_g}{4}$$

3口输入: 等幅反相输出到1、2;

1、2端口是短路面——→波发生全反射,回到对称面为等幅同相;

——→波全部由4端口输出。

易证明出端口4输出的波与端口3输入的波之间存在一定的相差,与距离L1成线性关系。如果精确定标短路面的位置,就可以做成一只标准**移相器**。



原理分析: 在AA处呈现的阻抗为

$$\overline{Z}_A = jX_E + Z'_L = \overline{R} + j\overline{X}_0 + j\overline{X}_E = \overline{R} + j\overline{X}$$
 (对应图中*P*点)

现移动E臂的短路活塞,从而改变 \overline{X}_E ,即改变 \overline{X} 使得P点在等 \overline{R} 图上移动。

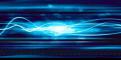
选定与辅助圆的交点A。A的导纳为B点的值。

再调节H 短路活塞,使得: $\bar{Y}_B = 1 - j\bar{B}$ (对应B点)

$$\overline{Y} = \overline{Y}_B + \overline{Y}_H = \overline{Y}_B + jB_H = 1$$





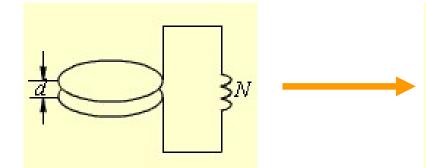


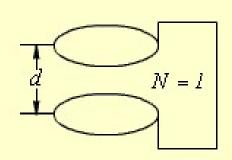


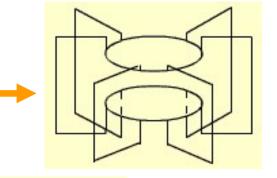




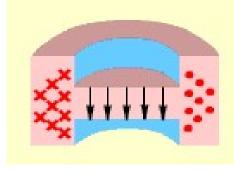
5.3 微波谐振器件(了解)

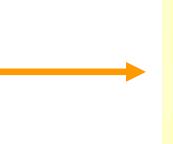


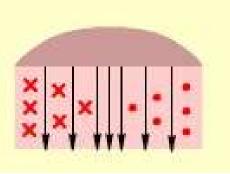


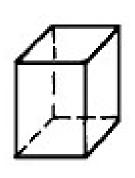


谐振频率









矩形 谐振腔



圆柱 谐振腔



同軸 谐振腔



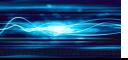
微带 谐振腔



介质 谐振腔







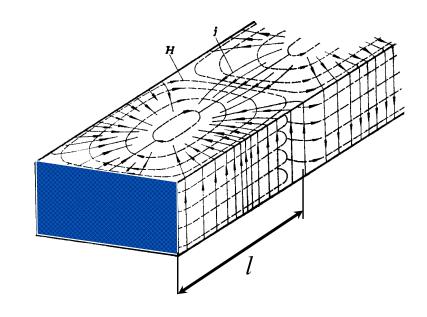


谐振腔的特点:

- 1. 电磁波集中在空腔体内,没有辐射损耗,没有介质损耗,流过高频电流的金属表面增加,损耗小,品质因数高。
- 2. 电磁波没有传播,沿 x, y, z 三个方向均为驻波,即电磁波发生振荡。
- 3. 谐振腔可共存多种模式,因此具有多谐性。











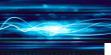
5.4 微波铁氧体器件

微波铁氧体的特点

- (1) 电阻率很高,接近于绝缘体,→电磁波可以在其中传播
- (2) 磁导率随外加直流磁场的变化而变化
- (3) 具有磁各向异性,所以微波铁氧体器件一般是非互易器件

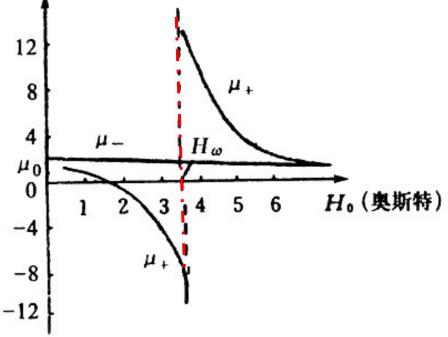








铁磁谐振状态下, 铁氧体强烈吸收交变磁场的能量



铁氧体正、负旋圆极化波的磁导率

 μ_{+} 、 μ_{-} 与外加恒定磁场 H_0 有关。

弱场区: 当恒定磁场 H_0 使 $\mu_+<\mu_-$ 时,称铁氧体工作在弱场区;

强场区: 当恒定磁场 H_0 使 $\mu_+>\mu_-$ 时,称铁氧体工作在强场区;

谐振状态: 当 $H_0 = H_o$ 时,铁氧体工作在谐振状态。









1.隔离器(isolators)

(1) 谐振式隔离器

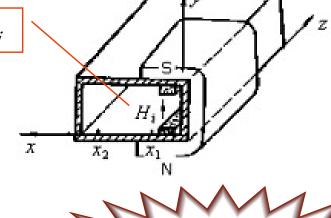
$$H_{x} = j\frac{\beta}{k_{c}}H_{0}\sin\left(\frac{\pi}{a}x\right)e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$H_{z} = H_{0}\cos\left(\frac{\pi}{a}x\right)e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$90^{\circ}$$
相位差
$$x_{1} = \frac{a}{\pi}\arctan\frac{\lambda_{g}}{2a}$$

$$|H_{x}| = |H_{z}|$$

外加磁场 H_i



对正圆波磁导率为 μ_+ ,它具有铁磁谐振效应

在*x=x*₁处放置铁氧体片,沿-*z*方向传输的正圆波因满足铁磁谐振条件而被强烈吸收,而沿+*z*方向传输的负圆波几乎无衰减通过。

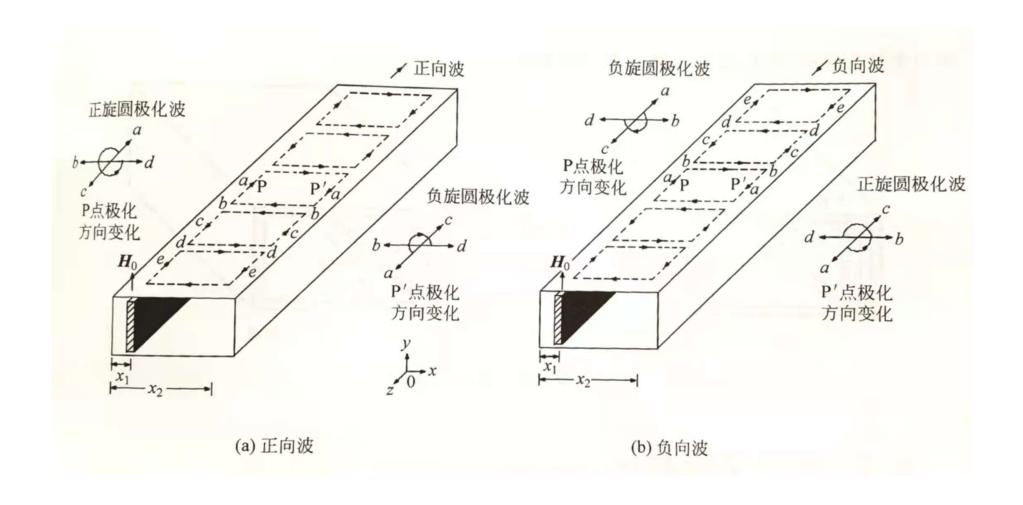
若在 $x=x_2=a-x_1$ 处放置铁氧体,则沿+z方向传输的波被强烈吸收,-z方向传输的波会几乎无衰减地通过。





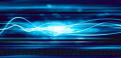








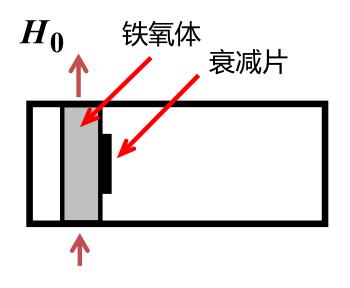


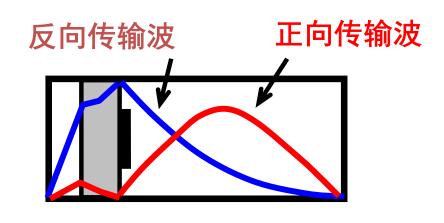




(2) 场移式隔离器

利用铁氧体对两个方向传输的波型产生的场移作用不同而制成。





- 特性: 给铁氧体加上恒定磁场后,它对正圆极化波(反向传输波)表现高的磁导率,有"吸收"作用(使场集中在铁氧体内),对负圆极化波(正向传输波)表现低磁导率,有"排斥"作用(使场不能进入铁氧体内),此即为"场移作用"。
- 衰减片: 大量衰减反向传输波, 对正向传输波影响不大。













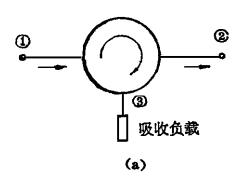
2.铁氧体环行器(ferrite circulators)

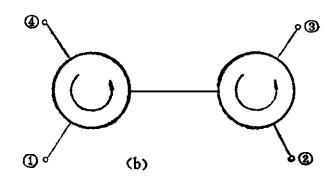
必须具备以下的条件:

- (1) 输入端口完全匹配, 无反射;
- (2) 输入端口到输出端口全通,无损耗;
- (3) 输入端口与隔离器间无传输。

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & e^{j\theta} \\ e^{j\theta} & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\theta} & 0 \end{bmatrix}$$

式中, 份为附加相移。







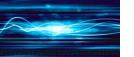




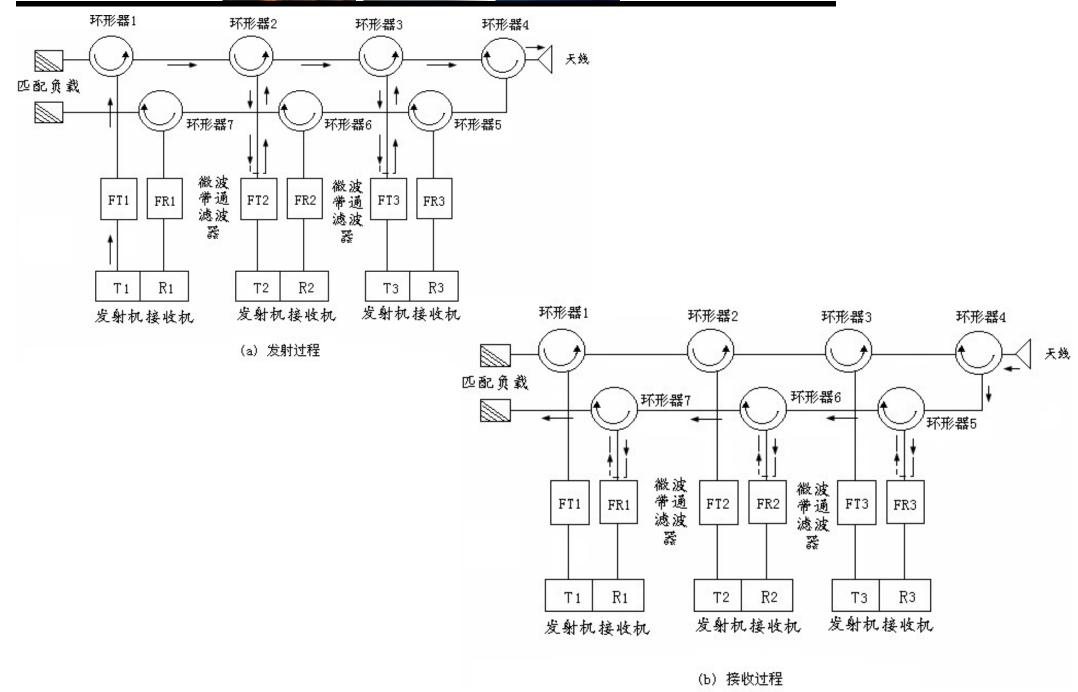
NJUT









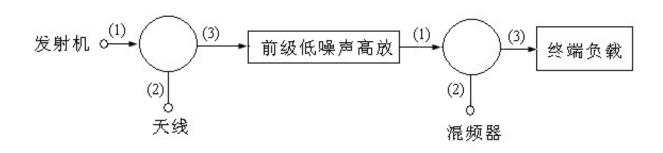












环行器在雷达系统中的开关作用和隔离作用

