

1. 一均匀无耗传输线单位长度分布电感为 L (亨/米)、单位长度分布电容为 C (法/米), 试写出此传输线的特性阻抗 Z_0 和传播常数 β 的表达式并说明其物理意义。(判)

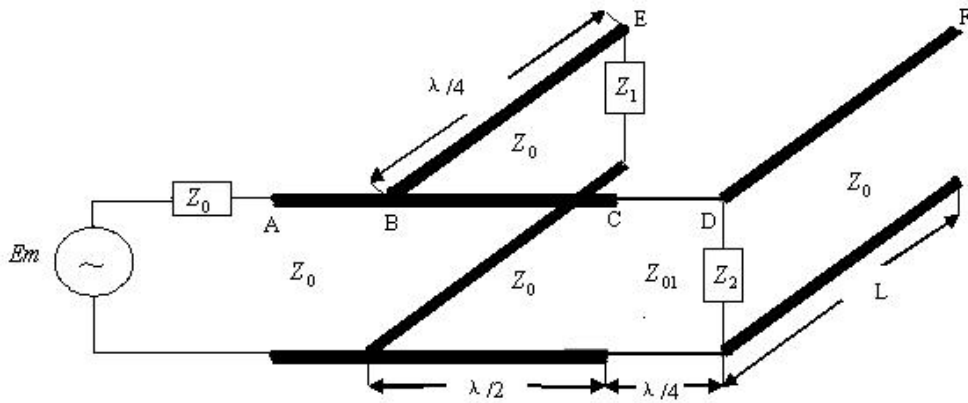
答案: $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$, $\beta = \omega\sqrt{LC}$ (1 分)

Z_0 反映了传输线周围介质和传输线几何结构参数特性 (1 分)

β 反映电磁波沿此长线的传播特性, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ 为线上波长 (2 分)

七、(本题 15 分)如下图所示, 无耗传输线电路中 $E_m = 200V$, 工作波长 $\lambda = 100m$,

特性阻抗 $Z_0 = 100\Omega$, 负载 $Z_1 = 50\Omega$, $Z_2 = 0.5 + j0.5\Omega$ 。



- (1) 试确定开路线 (DF 段) 长度 L 和 $\lambda/4$ 阻抗变换器 (CD 段) 的特性阻抗 Z_{01} , 使源达到匹配;
- (2) 求出 BE 段的电压驻波比以及电压和电源振幅的极值, 并画出其分布图;
- (3) 求负载 Z_2 吸收的功率。

答案: 1) 要求: $Z_B = Z_0$, 而 $Z_{BE} = \rho Z_0 = 2 \times 100 = 200\Omega$, 因此 $Z_{BC} = 200\Omega$

$$\frac{1}{2}\lambda \text{ 重复性: } Z_{CD} = 200\Omega$$

$$\frac{1}{4}\lambda \text{ 波长变换器要求: } Z_{CD} = \frac{Z_{01}^2}{R_L}$$

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{0.5 + j0.5} = 1 - j1$$

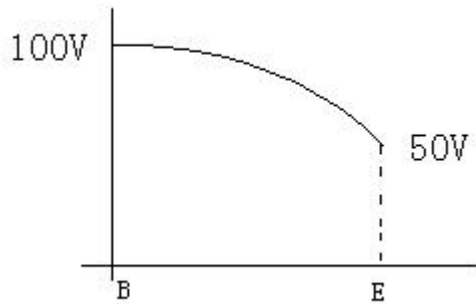
$$Y_L = 1, R_L = 1\Omega$$

$$Z_{01} = \sqrt{Z_{CD} \cdot R_L} = \sqrt{200\Omega \cdot 1\Omega} = 14.14\Omega$$

$$L = \frac{\lambda}{2\pi} \arctan 100$$

$$2) \text{ BE 段驻波比 } \rho = \frac{100}{50} = 2$$

$$|V|_{\max} = 100V \quad |V|_{\min} = 50V$$



$$3) \text{ 消耗的功率: } P_{\text{总}} = \frac{1}{2} \frac{(100V)^2}{100\Omega} = 50W$$

两个分支相同, 所以 $P_{\text{负载}} = 25W$

Z_2 吸收的功率等于总功率减去 Z_1 吸收的功率

$$P_{\text{负载}} = 50W - 25W = 25W$$

(3) 矩形波导可能支撑 TE_{mn}(m、n 为任意整数) 模式与 TM_{mn}(m、n 为非零的任意整数) 模式, 其中 m、n 相同的 TE、TM 模式 互为简并模式。其中截止波长最长的为 TE₁₀ 模式, 该模式沿波导纵向以 行波 形式传播, 电场强度只有 y 向分量, 磁场强度存在 x 与 z 向分量, 电场强度与磁场强度在横截面内的分量在 x 方向呈 正弦 分布, 有 1 个半驻波数, 在 y 方向呈 均匀 分布, 根据该模式在波导内壁感应的高频电流分布, 如果需要在矩形波导上开无辐射缝时, 应在 波导宽边的中线上 或 窄边沿 y 向 开尽量窄的缝。

4、(本题 6 分) 已知一空气介质填充的矩形波导, 其主模单模工作频带的中心频率为 3.75GHz, 工作带宽 1.5GHz, , 求: 若 $b > a/2$, 矩形波导的尺寸;

$$\text{答: } \frac{c}{2a} = \left(3.75 - \frac{1.5}{2}\right) = 3GHz, \quad a = 5cm$$

$$\frac{c}{2b} = \left(3.75 + \frac{1.5}{2}\right) = 4.5GHz \quad b = \frac{10}{3}cm$$

1、何谓分布参数电路？何谓集总参数电路？

答：集总参数电路由集总参数元件组成，连接元件的导线没有分布参数效应，导线沿线电压、电流的大小与相位与空间位置无关（1.5 分）。分布参数电路中，沿传输线电压、电流的大小与相位随空间位置变化，传输线存在分布参数效应（1.5 分）。

2、何谓色散传输线？对色散传输线和非色散传输线各举一个例子。

答：支持色散模式传输的传输线，（0.5 分）色散模式是传输速度（相速与群速）随频率不同而不同的模式（0.5 分）。支持非色散模式传输的传输线（0.5 分），非色散模式是传输速度（相速与群速）不随频率而改变的模式。（0.5 分）

五、（本题 15 分）(1) 对某一个微波网络的第 i 端口，其归一化入射电压波为 a_i ，归一化反射电压波为 b_i ，写出此端口的入射（输入）功率和反射（输出）功率的表达式。

(2) 证明当该网络无耗时，其散射矩阵 $[S]$ 满足么正性，即 $[S]^+ [S] = 1$ 。

解：

$$(1) \quad (P_+)_i = \frac{1}{2} |a_i|^2 \quad (2 \text{ 分})$$

$$(P_-)_i = \frac{1}{2} |b_i|^2 \quad (2 \text{ 分})$$

$$(2) \quad \text{由 } [a] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}, \quad [b] = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad \text{得:}$$

$$[a]^+ = [a]^{*T} = [a_1^* \quad a_2^* \quad \cdots \quad a_n^*]$$

$$[b]^+ = [b_1^* \quad b_2^* \quad \cdots \quad b_n^*]$$

对任一端口，如对 i 口

$$\text{入波功率}(P_+)_i \quad (P_+)_i = \frac{1}{2} |\bar{V}_{+i}|^2 = \frac{1}{2} |a_i|^2 = \frac{1}{2} a_i^* a_i$$

$$\text{出波功率}(P_-)_i \quad (P_-)_i = \frac{1}{2} |b_i|^2 = \frac{1}{2} b_i^* b_i$$

则 n 个端口的总入波功率与总出波功率分别为：

$$P_+ = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |a_i|^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i^* a_i = \frac{1}{2} [a_1^* \quad a_2^* \quad \cdots \quad a_n^*] \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \frac{1}{2} [a]^+ [a] \quad (2 \text{ 分})$$

$$P_- = \frac{1}{2} [b]^+ [b] \quad (2 \text{ 分})$$

根据网络无耗的已知条件： $P_+ = P_-$ （2 分）

$$[a]^+ [a] = [b]^+ [b]$$

即有： (*) (1 分)

又根据定义 $[b]=[S][a]$ ，有 $[b]^+=[S][a]^+=[a]^+[S]^+$ (2 分)

代入(*)得： $[a]^+[a]=[a]^+[S]^+[S][a]$ (1 分)

移项 $[a]^+([1]-[S]^+[S])[a]=0$

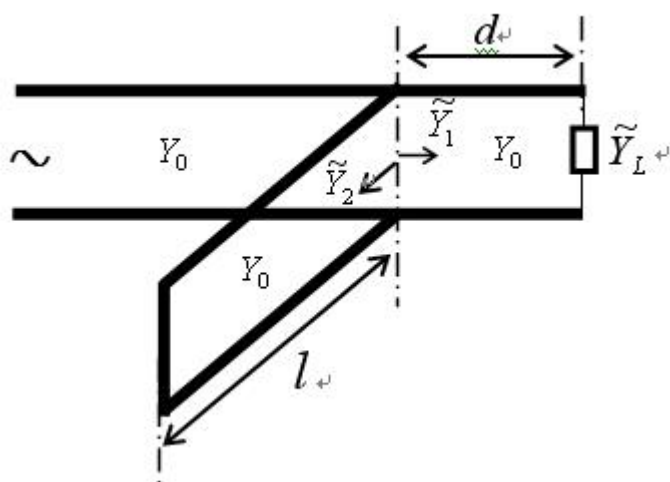
上式对任意入波 $[a]$ 都应成立

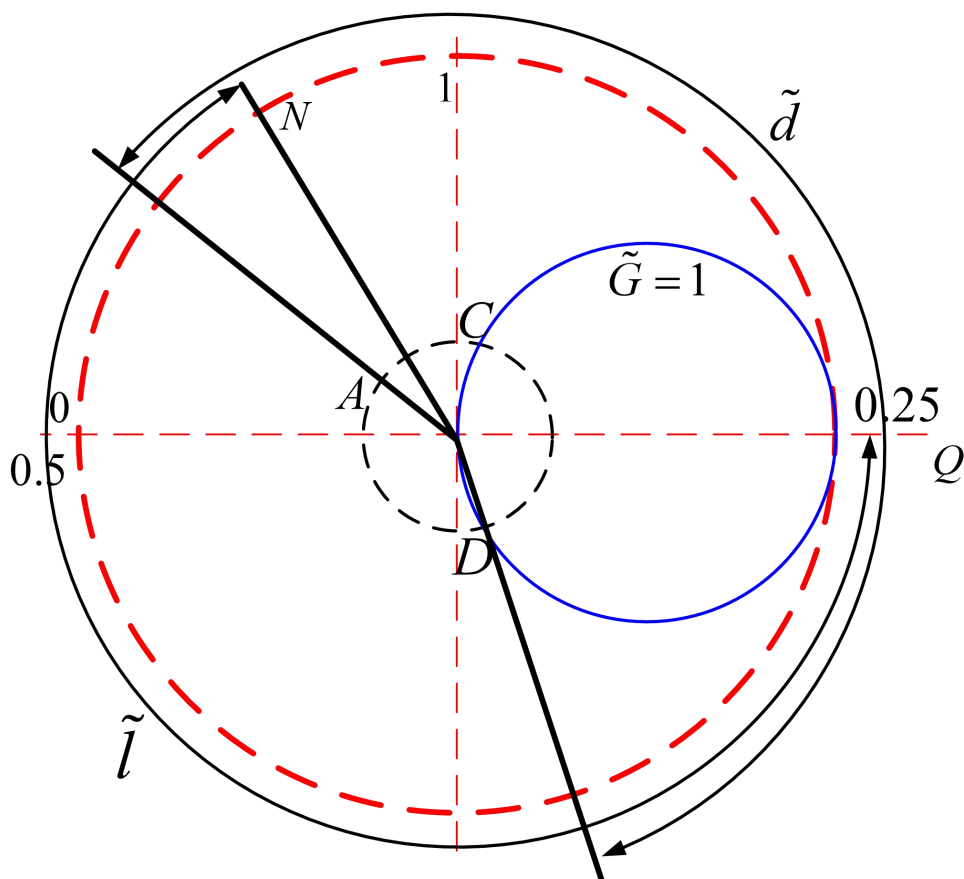
故必有： $[1]-[S]^+[S]=0$

即 $[S]^+[S]=[1]$ (1 分)

六、(本题 10 分) 利用导纳圆图和文字说明对一个容性负载用容性短路并联单枝节进行匹配的步骤。

解：





(1) 由于负载 \tilde{Y}_L 为容性，因此选取导纳圆图上半部分的一个点 A ，以 OA 为半径做等反射系数圆，它与 $\tilde{G}=1$ 的圆相交于两点 C, D (3 分)

$$\tilde{Y}_C = 1 + jX, \quad \tilde{Y}_D = 1 - jX \quad (X > 0)$$

(2) 由于用容性短路并联单枝节进行匹配，因此 $\tilde{Y}_2 = jX$ ($X > 0$)，于是选择 D 点 (2 分)

$$\tilde{Y}_1 = \tilde{Y}_D = 1 - jX$$

(3) 由 A 点顺时针转至 D 点，所转的波长数为 \tilde{d} ，则 $d = \tilde{d}\lambda$ (3 分)

(4) 由 $\tilde{Y}_2 = jX$ 的点 N 逆时针转至导纳圆图的短路点 Q ，转过的波长数为 \tilde{l} ，则 $l = \tilde{l}\lambda$ (2 分)

一、(15 分) 利用反射系数和归一化阻抗间的关系，推导出阻抗圆图中等电阻值轨迹的数学表达式；绘出阻抗圆图中的各种圆族和特殊的点、线、圆。

[解]

$$\tilde{Z}_{in}(z) = \frac{1 + \Gamma(z)}{1 - \Gamma(z)} = \frac{1 + (\Gamma_u + j\Gamma_v)}{1 - (\Gamma_u + j\Gamma_v)} = \frac{1 - (\Gamma_u^2 + \Gamma_v^2)}{(1 - \Gamma_u)^2 + \Gamma_v^2} + j \frac{2\Gamma_v}{(1 - \Gamma_u)^2 + \Gamma_v^2} = \tilde{R} + j\tilde{X} \quad (1)$$

配方:

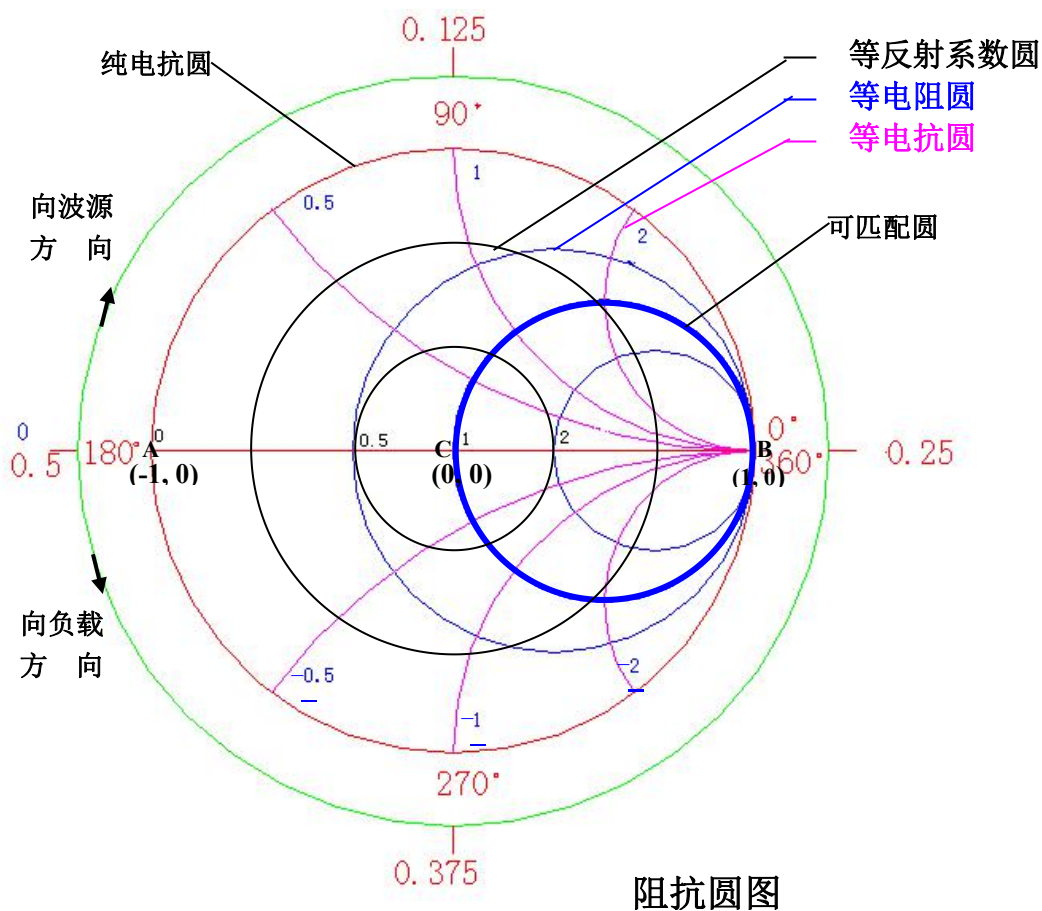
$$\text{式中, } \tilde{R} = \frac{1 - (\Gamma_u^2 + \Gamma_v^2)}{(1 - \Gamma_u)^2 + \Gamma_v^2}, \quad \tilde{X} = \frac{2\Gamma_v}{(1 - \Gamma_u)^2 + \Gamma_v^2} \quad (\tilde{R}+1)\Gamma_u^2 + (\tilde{R}+1)\Gamma_v^2 - 2\tilde{R}\Gamma_u = 1 - \tilde{R}$$

式(2a)去分母移项、合并同类项:

$$\tilde{R}^2 \left(\frac{1 - \Gamma_u^2}{\tilde{R}+1} + \Gamma_v^2 \right) + \tilde{R} \Gamma_v^2 = 1 - \Gamma_u^2 + \Gamma_v^2 + \frac{1 - \tilde{R}}{\tilde{R}+1} + \frac{\tilde{R}^2}{(\tilde{R}+1)^2}$$

整理得:

$$\left(\Gamma_u - \frac{\tilde{R}}{\tilde{R}+1} \right)^2 + \Gamma_v^2 = \frac{\tilde{R}^2}{(\tilde{R}+1)^2}$$



这是以 \tilde{R} 为参变量的圆族, 圆心 $\left(\frac{\tilde{R}}{\tilde{R}+1}, 0 \right)$, 半径 $\frac{1}{\tilde{R}+1}$ 。

A: 短路点, 对应 $\tilde{R} = 0, \tilde{X} = 0, |\Gamma| = 1, \phi = \pi, \rho = \infty$;

B: 开路点, 对应 $\tilde{Z} = \tilde{R} + j\tilde{X} = \infty, |\Gamma| = 1, \phi = 0, \rho = \infty$;

C: 匹配点, 对应 $\tilde{R} = 1, \tilde{X} = 0, |\Gamma| = 0, \rho = 1$ 。

AB: 纯阻线。AC 是电压波节点的轨迹, 读数为 $\tilde{R} = k$; BC 是电压波腹点的轨迹, 读数为

$\tilde{R} = \rho$ 。

1、什么是相速，什么是群速？

单一频率电磁波等相位点（面）在单位时间内移动过的距离。（1 分）

调制波的包络波的相速度，是能量的实际传输速度。（1 分）

3、特性阻抗是如何定义的，均匀无耗传输线的特性阻抗有什么特点？

定义为传输线上入射电压与入射电流之比（1 分）。传输线的特性阻抗是表征传输线本身特性的物理量，均匀无耗传输线的特性阻抗取决于传输线的结构、尺寸、介质特性，与频率无关（1 分），实数（0.5 分）