

5.5元

微波技术基础

试题编号:

重庆邮电大学 2013-2014 学年第 学期

微波技术基础课程试卷参考答案

一、选择填空题（每题 3 分，共 30 分）

1. 下面哪种应用未使用微波（第一章）b

(a) 雷达 (b) 调频 (FM) 广播 (c) GSM 移动通信 (d) GPS 卫星定位

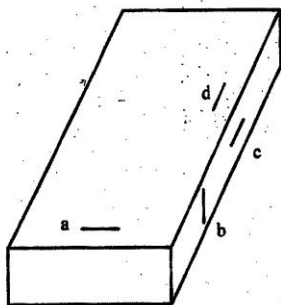
2. 长度 1m, 传输 900MHz 信号的传输线是（第二章）b

(a) 长线和集中参数电路 (b) 长线和分布参数电路
(c) 短线和集中参数电路 (d) 短线和分布参数电路

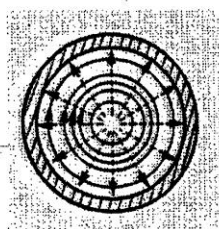
3. 下面哪种传输线不能传输 TEM 模（第三章）b

(a) 同轴线 (b) 矩形波导 (c) 带状线 (d) 平行双线

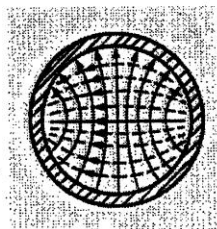
4. 当矩形波导工作在 TE₁₀ 模时，下面哪个缝不会影响波的传输（第三章）b



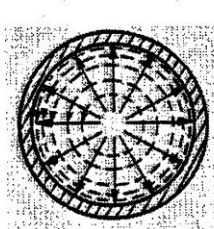
5. 圆波导中的 TE₁₁ 模横截面的场分布为（第三章）b



(a)



(b)



(c)

6. 均匀无耗传输线的工作状态有三种，分别为 行波、驻波 和 行驻波。（第二章）

7.耦合微带线中奇模激励的对称面是电壁,偶模激励的对称面是磁壁。

(第三章)

8.表征微波网络的主要工作参量有阻抗参量、导纳参量、传输参量、散射参量和转移参量。

9.衰减器有吸收衰减器、截止衰减器和极化衰减器三种。

10.微波谐振器基本参量有谐振波长、固有品质因数和等效电导衰减器三种。

二、传输线理论工作状态(7分)(第二章)

在特性阻抗 $Z_0=200\Omega$ 的传输线上,测得电压驻波比 $\rho=2$,终端为电压波节点,传输线上电压最大值 $|U_{\max}|=10\text{V}$,求终端反射系数、负载阻抗和负载上消耗的功率。

$$\text{解: } |\Gamma_2| = \frac{\rho-1}{\rho+1} = \frac{1}{3}$$

由于终端为电压波节点,因此 $\Gamma_2 = -\frac{1}{3}$

$$\text{由 } \Gamma_2 = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = -\frac{1}{3}$$

可得, $Z_L=100\Omega$

负载吸收功率为

$$P_L = \frac{|U_{\max}|^2}{2Z_0} \frac{1}{\rho} = 0.125\text{W}$$

三、Smith圆图(10分)(第二章)

已知传输线特性阻抗 $Z_0=75\Omega$,负载阻抗 $Z_L=75+j100\Omega$,工作频率为900MHz,线长 $l=0.1\text{m}$,试用Smith圆图求距负载最近的电压波腹点与负载的距离和传输线的输入阻抗

解:

由工作频率为 900 MHz, 可得 $\lambda = \frac{1}{3} \text{m}$

而线长为 $l=0.3\lambda$

1. 计算归一化负载阻抗

$$\tilde{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = 1 + j1.33$$

在阻抗圆图上找到 A 点。

2. 连接 OA 交单位圆于 B 点, B 点的电长度为 0.172。

OD 轴为电压波腹点的轨迹, 因此距负载最近的电压波腹点与负载的距离为

$$(0.25 - 0.172) \lambda = 0.026 \text{m}$$

3. 由 B 点向波源方向旋转 0.3 电长度 (即 0.3λ), 即电长

为 0.472, 得到 E 点, 连接 OE, 由 A 点所在的等

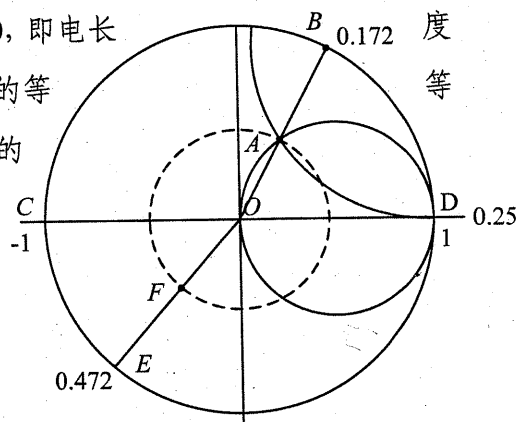
驻波系数圆相交于 F 点, F 点阻抗即为输入端的

归一化输入阻抗。由图可知,

$$\tilde{Z}_{in} = 0.3 - j0.16$$

5. 输入阻抗为

$$Z_{in} = Z_0 \tilde{Z}_{in} = 22.5 - j12$$



四、 $\lambda/4$ 阻抗匹配和单支节阻抗匹配 (12 分) (第二章)

传输线的特性阻抗 $Z_0=50\Omega$, 负载阻抗为 $Z_L=75\Omega$,

1) 若采用 $\lambda/4$ 阻抗变换器, 求接入位置和接入线的特性阻抗

2) 若采用单支节匹配, 求接入位置 d 和支节线的长度 l

解: 当采用 $\lambda/4$ 阻抗变换器, 由于负载为纯阻, 在负载处接入即可

$$Z_{01} = \sqrt{Z_0 Z_L} = 61.2 \Omega$$

2) 若采用单支节匹配, 归一化负载导纳 $\tilde{Y}_L = 0.667$

在导纳圆图上找到负载的位置 A 点, 沿等驻波系数圆转到与 $\tilde{G}=1$ 相交于 E 点和

E' 点, 导纳为 $\tilde{Y}_E = 1 \pm j0.4$, 电长度增量分别为 0.14, 0.36

因此接入点位置 d 为

E 点: $(0.14-0)\lambda=0.14\lambda$

E' 点: $(0.36-0)\lambda=0.36\lambda$

如果接入 E 点对应的位置, 支线要产生 $-j0.4$ 的导纳, 故

$$l=(0.5+0.06-0.25)=0.31\lambda$$

如果接入 E' 点对应的位置, 支线要产生 $+j0.4$ 的导纳, 故

$$l=(0.44-0.25)=0.19\lambda$$

五、矩形波导中的主模是什么模式, 当工作波长为 $\lambda=2\text{cm}$ 时, BJ-100 型 ($a*b=22.86*10.16\text{mm}^2$) 矩形波导中可传输的模式, 如要保证单模传输, 求工作波长的范围; 当工作波长为 $\lambda=3\text{cm}$ 时, 求 λ_p , v_p 及 v_g 。(6分)(合计 15 分)(第三章)

解:

(1) 矩形波导中的主模是 TE₁₀ 模

(2) TE₁₀ 模的截止波长为 $2a=2*22.86=45.72\text{mm}$

TE₂₀ 模的截止波长为 $a=22.86=22.86\text{mm}$

TE₀₁ 模的截止波长为 $2b=2*10.16=20.32\text{mm}$

TE₁₁ 和 TM₁₁ 模的截止波长为 $\frac{2ab}{\sqrt{a^2+b^2}}=18.57\text{mm}$

当工作波长为 $\lambda=2\text{cm}$ 时, BJ-100 型矩形波导中可传输 TE₁₀ 模、TE₂₀ 模和 TE₀₁ 模;

要保证单模传输, 工作波长的范围为 $2.286\text{cm}<\lambda<4.572\text{cm}$

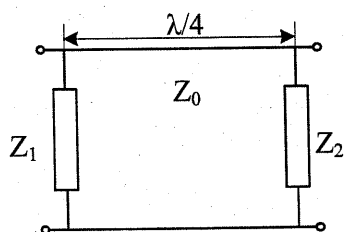
(3) $\lambda=3\text{cm}$

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} = 3.98\text{ cm}$$

$$v_p = \frac{v}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} = 3.98 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v_g = v \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2} = 2.26 \times 10^8 \text{ m/s}$$

六、由一个二端口网络如图所示，传输线的特性阻抗 $Z_0=200\Omega$ ，并联阻抗分别为 $Z_1=100\Omega$ 和 $Z_2=j200\Omega$ ，求网络的归一化散射矩阵参量 S_{11} 和 S_{21} ，和网络的插入衰减（dB形式）、插入相移与输入驻波比（15分）（第四章）



解：归一化传输矩阵 $[A] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{Z_0}{Z_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & j \sin \theta \\ j \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{Z_0}{Z_2} & 1 \end{bmatrix}$

其中， $\theta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$

因此

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{Z_0}{Z_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{Z_0}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} \frac{Z_0}{Z_2} & 1 \\ 1 + \frac{Z_0^2}{Z_1 Z_2} & \frac{Z_0}{Z_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & j \\ 2+j & j2 \end{bmatrix}$$

散射矩阵为

$$S_{11} = \frac{a_{11} + a_{12} - a_{21} - a_{22}}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{-1-j2}{3+4j} = 0.283e^{j171.8^\circ}$$

$$S_{21} = \frac{a_{11} + a_{12} - a_{21} - a_{22}}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{2}{3+4j} = 0.4e^{j53.1^\circ}$$

网络的插入衰减

$$L = 10 \lg \frac{1}{|S_{21}|^2} = 10 \lg \frac{1}{(0.4)^2} = 7.96 \text{ dB}$$

插入相移

$$\varphi = \arg S_{21} = 53.1^\circ$$

输入驻波比

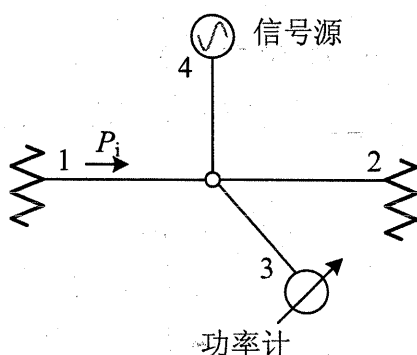
$$\rho = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} = \frac{1+0.2828}{1-0.2828} = 1.79$$

七、魔T电桥，H臂（端口 4）接匹配信号源，E臂（端口 3）接匹配功率计，输出功率 P_i ，端口 1 和 2 各接一负载，反射系数分别为 $\Gamma_1 = -0.1$ 和 $\Gamma_2 = 0.3$ ，试求

1. 功率计的功率指示

2. 输出功率为 $P_i = 1W$ ， $\Gamma_1 = -0.1$ 和 $\Gamma_2 = 0.3$ ，求功率计的功率指示

3. 若 $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0$ ，功率计的功率指示又为多少，结果说明了什么？（12 分）



解：魔 T 的 S 矩阵为

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

H 臂（端口 4）接匹配信号源，因此

$$U_{r1} = U_{i4} S_{14} = U_{i4} / \sqrt{2}, \quad U_{r2} = U_{i4} S_{24} = U_{i4} / \sqrt{2}$$

端口 1 和 2 负载的反射系数分别为 Γ_1 和 Γ_2 ，因此

$$U_{i1} = \Gamma_1 U_{r4} = \Gamma_1 U_{i4} / \sqrt{2}, \quad U_{i2} = \Gamma_2 U_{r4} = \Gamma_2 U_{i4} / \sqrt{2}$$

相当于信号从端口 1 和 2 输入，E 臂（端口 3）的输出电压为

$$U_{r3} = U_{i1} S_{31} + U_{i2} S_{32} = (\Gamma_1 - \Gamma_2) U_{i4} / \sqrt{2}$$

E 臂（端口 3）的输出功率，即功率计的读数为

$$P_o = \frac{1}{2} |U_{r3}|^2 = \frac{(\Gamma_1 - \Gamma_2)^2 |U_{i4}|^2}{2} = \frac{(\Gamma_1 - \Gamma_2)^2}{2} P_i$$

2) 当 $P_i=1\text{W}$, $\Gamma_1=-0.1$ 和 $\Gamma_2=0.3$ 时,

功率计的指示为 $P_o=0.08\text{W}$

3) $\Gamma_1=\Gamma_2=0$ 时,

功率计的指示为 $P_o=0\text{W}$, 此时魔T的四个端口都处于匹配状态, E臂和H臂相互隔离。

微波技术

试题编号:

重庆邮电大学2011-2012 学 年 学期

《微波技术基础》期末复习题

题 号	一	二	三	四	五	总 分
得 分						
评卷人						

一、填空 (共 20 分, 每小题 1 分)

1. 从传输线方程看, 传输线上任一点处的电压和电流都等以该处相应的 入射 波和 反射 波的叠加。

2. 终端短路的传输线的输入阻抗等于 $jZ_0 \tan \beta l$,
终端开路的传输线的输入阻抗等于 $-jZ_0 \cot \beta l$ 。

3. 电磁波的波长和频率满足 $\lambda < \lambda_c$ 或 $f > f_c$ 条件才能在波导中传输。

4. 圆波导的三种主要工作模式 TE_{11} 、 TE_{01} 、 TM_{01} 。

5. 无耗网络的Z和Y参数是 纯虚数, A参数的 A_{11} 和 A_{22} 是实数。

6. 微波网络的工作特性参量有 电压传输系数T、插入衰减A、插入相移 θ 、输入驻波比 ρ 。

7. 分支调配器可调电纳范围 $-\infty \sim +\infty$, 螺钉调配器可调容性电纳范围 $0 \sim +\infty$ 。

8. 微波谐振器有那两个主要功能 储能、选频。

二、(10 分) 空气填充的同轴线, 外导体半径 b 内导体半径 a 之比为 2.3, 求同轴线的特性阻抗; 如果保持特性阻抗不变, 但求填充介质的 $\epsilon_r = 2.25$, $\mu_r = 1$, 求此时的 b/a 等于多少?

解:

$$\text{特性阻抗 } Z_c = \frac{U}{I} = \frac{\eta}{2\pi} \ln \frac{b}{a} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a}$$

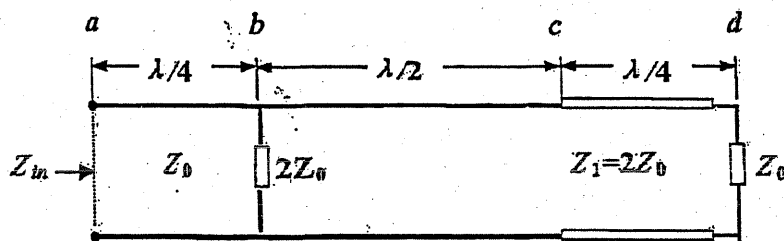
当填充空气时, 可得 $Z_c = 50 \Omega$

当填充 $\varepsilon_r = 2.25$, $\mu_r = 1$ 的介质时, 如要保证特性阻抗不变, 则

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \frac{b}{a} = 50$$

解得 $\frac{b}{a} = 3.49$

三. (20分) 传输线电路如图所示, 其 Z_0 已知, 试求: (1) 输入阻抗 Z_{in} ; (2) a、b、c、d 各点的反射系数; (3) ab、bc、cd 各段的电压驻波比。



解: (1) c 点的输入阻抗 $Z_c = \frac{(2Z_0)^2}{Z_0} = 4Z_0$

b 点的输入阻抗 $Z_b = \frac{4Z_0 \times 2Z_0}{4Z_0 + 2Z_0} = \frac{4}{3}Z_0$

a 点的输入阻抗 $Z_{in} = \frac{Z_0^2}{\frac{4}{3}Z_0} = \frac{3}{4}Z_0$

(2) d 点的反射系数 $\Gamma_d = \frac{Z_0 - 2Z_0}{Z_0 + 2Z_0} = -\frac{1}{3}$

c 点的反射系数 $\Gamma_c = \frac{4Z_0 - Z_0}{4Z_0 + Z_0} = \frac{3}{5}$

$$\text{b 点的反射系数 } \Gamma_b = \frac{\frac{4}{3}Z_0 - Z_0}{\frac{4}{3}Z_0 + Z_0} = \frac{1}{7}$$

$$\text{a 点的反射系数 } \Gamma_a = \frac{\frac{3}{4}Z_0 - Z_0}{\frac{3}{4}Z_0 + Z_0} = -\frac{1}{7}$$

$$(3) \rho_{ab} = \frac{1+|\Gamma_b|}{1-|\Gamma_b|} = \frac{4}{3},$$

$$\rho_{bc} = \frac{1+|\Gamma_c|}{1-|\Gamma_c|} = 4,$$

$$\rho_{cd} = \frac{1+|\Gamma_d|}{1-|\Gamma_d|} = 2$$

四. (共 20 分, 每小题 10 分) 圆图完成 (要求写清必要步骤)

1. 在特性阻抗 $Z_0 = 500\Omega$ 的无耗传输线上, 测得 $|U|_{\max} = 100V$,

$|U|_{\min} = 20V$, 第一个电压波节点距终端 0.15λ , 求负载阻抗 Z_L 及负载导纳 Y_L .

解: 1. 求驻波比

$$\rho = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = 5$$

$\rho=5$ 的等驻波系数圆与波节点的轨迹 OC 轴交于 A 点。

由于第一个电压波节点距终端 0.15λ , 因此从 A 点出发, 沿 $\rho=5$ 的等驻波系数圆, 逆时针 (向负载方向) 旋转 0.15 个电长度增量, 得到 B 点 (负载点)。

从 Smith 圆图读出负载点的归一化阻抗为

$$\bar{Z}_L = 0.54 - j1.25$$

$$\text{负载阻抗 } Z_L = \bar{Z}_L Z_0 = 270 - j625\Omega$$

由负载点 (B点) 沿 $\rho=5$ 的等驻波系数圆旋转 180° , 得到C点, 可读出负载的归一化导纳为

$$\bar{Y}_L = 0.3 + j0.68$$

$$\text{负载导纳 } Y_L = \bar{Y}_L / Z_0 = 0.00066 + j0.00136$$

2. 已知传输线的特性阻抗为 50Ω , 终端接阻抗为 $Z_L = 25 + j75\Omega$ 的负载, 采用并联单支节匹配, 确定支节的位置 d 和长度 l 。

解: 负载阻抗归一化

$$\bar{Z}_L = Z_L / Z_0 = 0.5 + j1.5$$

在阻抗圆图上找到负载对应的A点, 沿等驻波系数圆旋转 180° , 得到B点, 可读出负载的归一化导纳为

$$\bar{Y}_L = 0.22 - j0.6$$

过B点的等驻波系数圆与 $\bar{G}=1$ 相交于E点和E'点, E点和E'点的导纳为 $1 \pm j2.2$, B点、E点和E'点的电长度分别为 0.412 、 0.192 和 0.308 。因此支节接入位置为 $d_1 = (0.192 + 0.5 - 0.412)\lambda = 0.28\lambda$

$$\text{和 } d_1 = (0.308 + 0.5 - 0.412)\lambda = 0.396\lambda。$$

为了抵消 E 点和 E' 点中的电纳, 截短线的归一化电纳为 $\mp j2.2$ 。由短路点 D 点, 沿 $\rho=\infty$ 圆顺时针转到 $\mp j2.2$ 的 F 点和 F' 点。D 点、F 点和 F' 点的电长度分别为 0.25 、 0.318 和 0.182 , 因此支节线长度:

$$\text{E点接入 } l_1 = (0.318 - 0.25)\lambda = 0.068\lambda$$

$$\text{E'点接入 } l_2 = (0.182 + 0.5 - 0.25)\lambda = 0.432\lambda。$$

五. (10分) 矩形波导的尺寸为宽边 $a = 22.86\text{mm}$, 窄边 $b = 10.16\text{mm}$, 波导中传输 TE_{10} 模, 工作波长为 $\lambda = 3\text{cm}$ 。求: (1) $\lambda_c, v_p, \lambda_g$; (2) 若波导窄边尺寸增加一倍, 上述参量如何变化?

解:

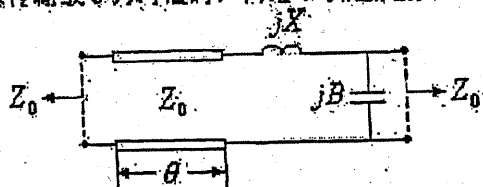
1) TE₁₀模的截止波长 $\lambda_c = 2a = 22.86 \times 2 = 45.72 \text{ mm} = 4.572 \text{ cm}$

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_c)^2}} = 3.976 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_c)^2}} = 3.976 \text{ cm}$$

2) 窄边尺寸增大一倍, 传输的模式不变, 因此上述参量不发生变化。

六. (10 分) 一微波元件的等效网络如图所示, 利用网络级联方法计算当理想传输线 θ 为何值时, 网络不引起反射。



解: 将等效网络分解为 3 个网络的级联, 归一化传输矩阵分别为

$$\bar{A}_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & j \sin \theta \\ j \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \bar{A}_2 = \begin{bmatrix} 1 & jX/Z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 和 } \bar{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix}$$

整个网络的归一化传输矩阵分别为

$$\bar{A} = \bar{A}_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta - \cos \theta XB - \sin \theta BZ_0 & \frac{j \cos \theta}{Z_0} + j \sin \theta \\ j \sin \theta - j \sin \theta XB + \cos \theta BZ_0 & \frac{-\sin \theta X}{Z_0} + \cos \theta \end{bmatrix}$$

要想网络不引起反射, 则 $S_{11} = 0$, 由 S 矩阵与 A 矩阵的关系可得

$$S_{11} = \frac{\bar{A}_{11} + \bar{A}_{22} - \bar{A}_{21} - \bar{A}_{12}}{\bar{A}_{11} + \bar{A}_{22} + \bar{A}_{21} + \bar{A}_{12}}$$

解得

$$\theta = \arctan\left(\frac{BXZ_0}{X - BZ_0^2}\right) \quad \text{or} \quad \theta = \arctan\left(\frac{BZ_0^2 - X}{BXZ_0}\right)$$

七: (10分) 写出匹配双T的S矩阵, 分析4个端口的匹配、隔离、平分特性; 并求当1、2端口反相输入时, 各个端口的输出为多少?

解: 匹配双T的S矩阵为

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

匹配特性: 如果3、4端口匹配, 则1、2端口自动匹配

隔离特性: 由 $S_{12}=S_{21}=0$, 可知1、2端口隔离。同理, 由 $S_{34}=S_{43}=0$, 可知3、4端口隔离。

平分特性:

由 $S_{31}=S_{41}=\frac{1}{\sqrt{2}}$, 可知当信号从端口1输入, 则3、4端口同相等分输出;

由 $S_{32}=-\frac{1}{\sqrt{2}}$, $S_{42}=\frac{1}{\sqrt{2}}$, 可知当信号从端口2输入, 则3、4端口反相等分输出。

2) 由 $\vec{U}_1 = -\vec{U}_2$, 根据S矩阵, 可得

$$\vec{U}_1 = 0, \vec{U}_2 = 0, \vec{U}_3 = \sqrt{2}\vec{U}_1, \vec{U}_4 = 0$$

即当1、2端口反相输入时, 1、2端口的输出为零, 3端口有“和”输出, 4端口为零输出。

2n

微波技术

4.5元

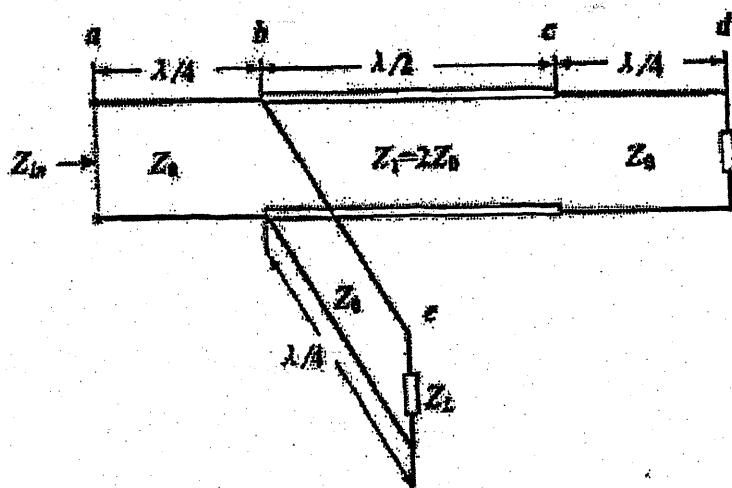
2009-2010 学年微波技术基础考试试卷

一、填空：(共 20 分，每小题 4 分)

1. 圆波导传输的主模为_____，微带线传输的主模为_____。
2. 波数随_____变化的现象称为波的色散，色散波的群速表达式

$$v_g = \frac{d\omega}{dk}$$
3. 测得一微波传输线的反射系数的模 $|r| = 1/2$ ，则行波系数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ；若特性阻抗 $Z_0 = 75\Omega$ ，则波节点的输入阻抗 R_n (波节) = _____。
4. 用散射参量表示非可逆四端口定向耦合器的耦合度 $C = \underline{\hspace{2cm}}$ ，隔离度 $D = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
5. 一波导匹配双 T，其③端口为 E 臂，④端口为 H 臂，若③端口输入功率为 P ，则①端口输出功率为_____；若①端口理想短路，②端口理想开路，则④端口输出功率为_____。

- 二、如图所示一微波传输线系统，其 Z_0 已知，若输入阻抗 $Z_{in} = Z_0$ ，求 e 点负载阻抗 Z_L ，各点的反射系数和各段电压驻波比，并分析各段的工作状态。(20 分)



三、填空题 (要求写清必要步骤) (共 20 分, 每小题 10 分)

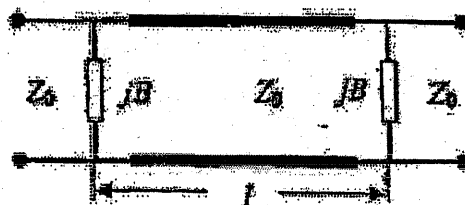
1. 已知传输线的特性阻抗为 Z_0 , 工作波长 $\lambda = 10\text{cm}$, 负载阻抗 $Z_L = (0.3 + j0.6)Z_0$, 求第一个电压波腹点至终端的距离 l , 驻波比 ρ , 行波系数 K 。

2. 在特性阻抗 $Z_0 = 500\Omega$ 的无耗传输线上, 测得 $|V|_{\text{max}} = 100\text{V}$, $|V|_{\text{min}} = 20\text{V}$, 第一个电压波节点距终端 0.15λ , 求负载阻抗 Z_L 及负载导纳 Y_L 。

四、矩形波导的尺寸为 $a = 22.86\text{mm}$, $b = 10.16\text{mm}$, 波导中传输电磁波的工作频率为 15GHz , 问波导中可能传输哪些波形? (20 分)

五、均匀波导中设置两组金属膜片, 其间距为 $l = \lambda_g/2$, 等效网络如图所示, 试利用网络级联方法计算下列工作特性参数。(20 分)

- (1) 输入驻波比 ρ
- (2) 电压传输系数 T
- (3) 插入衰减 $L(\text{dB})$
- (4) 插入相移 θ

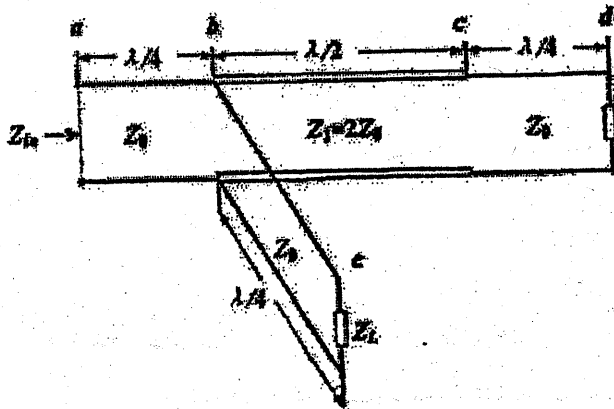


试卷标准答案

一、填空：（共 20 分，每小题 4 分）

1. 圆波导传输的主模为 TE₁₁ 模；微带线传输的主模为 准 TEM 模。
2. 波数随波长（或频率）变化的现象称为波的色散，色散波的群速表达式 $v_g = v \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_c)^2}$ 。
3. 测得一微波传输线的反射系数的模 $|r| = 1/2$ ，则行波系数 $K = 1/3$ ；若特性阻抗 $Z_0 = 75\Omega$ ，则波节点的输入阻抗 Z_{in} （波节）= 25Ω 。
4. 用散射参数表示非可逆四端口定向耦合器的耦合度 $C = 20\log(1/|S_{21}|)$ ，隔离度 $D = 20\log(1/|S_{41}|)$ 。
5. 一波导匹配双 T，其③端口为 E 臂，④端口为 H 臂，若③端口输入功率为 P ，则①端口输出功率为 $P/2$ ；若①端口理想短路，②端口理想开路，则④端口输出功率为 P 。

- 二、如图所示一微波传输线系统，其 Z_0 已知，若输入阻抗 $Z_{in} = Z_0$ ，求 a 点负载阻抗 Z_L ，各点的反射系数和各段电压驻波比，并分析各段的工作状态。（20 分）



解:

$$Z_c = \frac{Z_0^2}{Z_d} = 2Z_0 \quad Z_{in1} = Z_c = 2Z_0 \quad Z_b = Z_0 = Z_{in1} // Z_{in2}$$

$$Z_{in2} = 2Z_0 = \frac{Z_0^2}{Z_c} \quad Z_c = \frac{Z_0}{2} \quad \Gamma_a = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = 0$$

$$\Gamma_b = \frac{Z_b - Z_0}{Z_b + Z_0} = 0 \quad \Gamma_c = \frac{Z_c - 2Z_0}{Z_c + 2Z_0} = 0 \quad \Gamma_d = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0} = -\frac{1}{3}$$

$$\Gamma_e = \frac{Z_e - Z_0}{Z_e + Z_0} = \frac{1}{3} \quad \rho_a = \frac{1 + |\Gamma_a|}{1 - |\Gamma_a|} = 1 \quad \rho_b = \frac{1 + |\Gamma_b|}{1 - |\Gamma_b|} = 1$$

$$\rho_c = \frac{1 + |\Gamma_c|}{1 - |\Gamma_c|} = 2 \quad \rho_d = \frac{1 + |\Gamma_d|}{1 - |\Gamma_d|} = 1 \quad \rho_e = \frac{1 + |\Gamma_e|}{1 - |\Gamma_e|} = 2$$

ab、bc段工作于行波状态; cd、be段工作于行驻波状态。

三、画图完成(要求写清必要步骤)(共20分,每小题10分)

1. 已知传输线的特性阻抗为 Z_0 , 工作波长 $\lambda = 10\text{cm}$, 负载阻抗 $Z_L = (0.5 + j0.6)Z_0$, 求第一个电压波腹点至终端的距离 l , 驻波比 ρ , 行波系数 K ,

解:

$\bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = 0.5 + j0.6$, 在阻抗圆图中找到 \bar{Z}_L 的对应点 A , 其对应的波长数为 0.09 。由 A 点沿等反射系数圆向信源方向旋转, 至正的实半轴, 交点为第一个电压波腹点, 则第一个电压波腹点至终端的距离 $l = (0.25 - 0.09)\lambda = 0.16\lambda = 1.6\text{cm}$, 该点的归一化电阻为 4.7 , 所以驻波比为 $\rho = \bar{Z}_L(\text{波腹}) = 4.7$, 行波系数 $K = \frac{1}{\rho} = 0.21$ 。

2. 在特性阻抗 $Z_0 = 500\Omega$ 的无耗传输线上, 测得 $|U|_{\max} = 100\text{V}$, $|U|_{\min} = 20\text{V}$, 第一个电压波节点距终端 0.15λ , 求负载阻抗 Z_L 及负载导纳 Y_L 。

解:

$K = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = \frac{100}{20} = 5$, 在阻抗圆图中找归一化电阻为 0.2 的点 A , 该点为电压波节点。由 A 点沿等反射系数圆向负载方向旋转 0.15 波长数, 至 B 点, B 点为 \bar{Z}_L 对应点, 得 $\bar{Z}_L = 0.58 - j1.27$, 作 B 点相对圆心的对称点 C , 该点读数为 $\bar{Y}_L = 0.33 + j0.7$, 故 $Z_L = 290 - j635\Omega$, $Y_L = 0.00066 + j0.0014\text{S}$ 。

四、矩形波导的尺寸为 $a = 22.86\text{mm}$, $b = 10.16\text{mm}$, 波导中传输电磁波的工作频率为 15GHz , 问波导中可能传输哪些波形? (20分)

解:

$\lambda = \frac{C}{f} = 20\text{mm}$, 由矩形波导中导行波截止波长的表达式, 即

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

可得:

$$\lambda_c(TE_{10}) = 45.72\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{01}) = 20.32\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{20}) = 22.86\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{02}) = 10.16\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{11} \text{ 或 } TM_{11}) = 18.57\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{21}) = 15.24\text{mm}$$

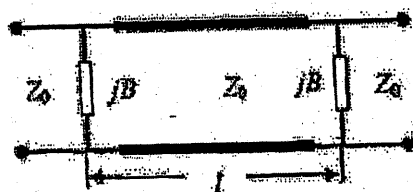
由 TE 、 TM 波的传输条件: $\lambda < \lambda_c$, 可知波导中能够传输的波型有 TE_{10} 、 TE_{01} 和

TE_{20} 。

五、均匀波导中设置两组金属膜片, 其间距为 $l = \lambda_g/2$, 等效网络如图所示。试利用

网络级联方法计算下列工作特性参量。(20 分)

- (1) 输入驻波比 ρ
- (2) 电压传输系数 T
- (3) 插入衰减 $L(\text{dB})$
- (4) 插入相移 θ



解:

$$[\tilde{A}]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\tilde{A}]_2 = \begin{bmatrix} \cos \pi & \sin \pi \\ \sin \pi & \cos \pi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad [\tilde{A}]_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\tilde{A}] = [\tilde{A}]_1 [\tilde{A}]_2 [\tilde{A}]_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -j2BZ_0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$S_{11} = \frac{a_{11} + a_{12} - a_{21} - a_{22}}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{jBZ_0}{1 + jBZ_0}$$

$$S_{21} = \frac{2}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{2}{1 + jBZ_0}$$

$$\rho = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} = \frac{\sqrt{1 + B^2 Z_0^2} + BZ_0}{\sqrt{1 + B^2 Z_0^2} - BZ_0}$$

$$T = S_{21} = \frac{2}{1 + jBZ_0}$$

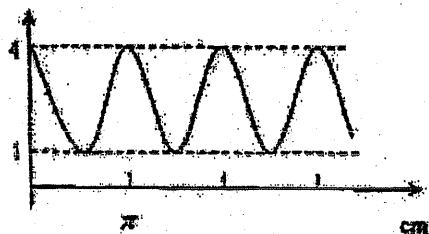
$$L = 10 \log \frac{1}{|S_{21}|^2} = 10 \log \frac{1 + B^2 Z_0^2}{4} (\text{dB})$$

$$\theta = \phi_{21} = \text{arctg}(-BZ_0) = \pi - \text{arctg}(BZ_0).$$

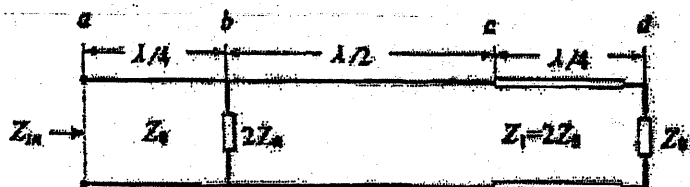
2008-2009 学年微波技术基础考试试卷

一、填空。(共 20 分, 每空 2 分)

1. 微波传输线是一种_____参数电路, 其线上的电压和电流沿线的分布规律可由_____来描述。
2. 均匀无耗传输线的特性阻抗为 Z_0 , 终端负载获得最大功率时, 负载阻抗 $Z_L = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
3. 同轴线传输的主模是_____, 微带线传输的主模是_____。
4. 矩形波导尺寸 $a=2\text{cm}$, $b=1.1\text{cm}$, 若在此波导中只传输 TE_{10} 模, 则其中电磁波的工作波长范围为_____。
5. 理想 3dB 定向耦合器的散射参量 $|S_{11}| = \underline{\hspace{2cm}}$, $|S_{21}| = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
6. 由测量线测得其微波传输系统的行驻波分布如图所示, 若测量线检波特性为平方律检波, 则该系统的驻波比 $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$, 相移常数 $\beta = \underline{\hspace{2cm}} \text{rad/cm}$ 。



- 二、如图所示一微波传输系统, 其 Z_0 已知, 求输入阻抗 Z_{in} , 各点的反射系数及各段的电压驻波比。(20 分)



三、试利用阻抗和导纳图完成（要求写清必要步骤），（共 20 分，每题 10 分）

1. 一特性阻抗为 $Z_0 = 300\Omega$ 的传输线，传送信号至天线，工作频率为 300MHz，由于传输线与天线不匹配，测得电压驻波比 $\rho = 3$ ，第一个电压波腹点至输入端的距离为 $d_{\max} = 0.2m$ ，试求传输线的输入阻抗 Z_{in} 及输入导纳 Y_{in} 。

2. 求一特性阻抗 $Z_0 = 200\Omega$ ，输入阻抗 $Z_{in} = j100\Omega$ ，工作频率为 500MHz 的均匀无耗终端短路线的最短几何长度 $l = ?$

四、矩形波导的尺寸为 $a = 28.5mm$ ， $b = 12.6mm$ ，波导中传输电磁波的工作频率为 15GHz，试问波导中可能传输的波形有哪些？（20 分）

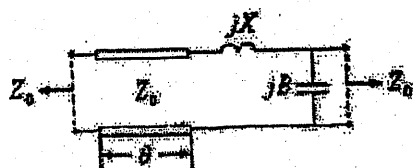
五、一微波元件的等效网络如图所示，其中 $\theta = \pi/2$ ，试利用网络级联的方法计算该网络的下列工作特性参量。（20 分）

(1) 电压传输系数 T

(2) 插入衰减 A

(3) 插入相移 ϕ

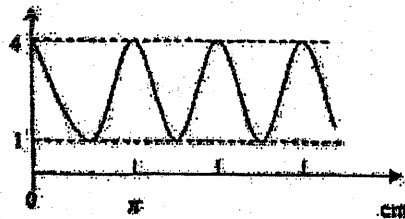
(4) 插入驻波比 ρ



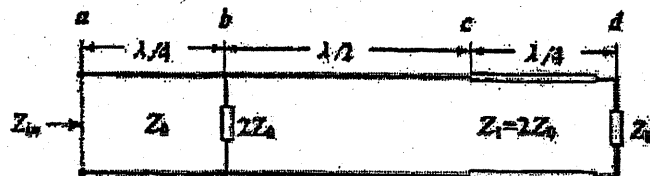
试卷标准答案

一、填空。(共20分, 每空2分)

1. 微波传输线是一种分布参数电路, 其线上的电压和电流沿线的分布规律可由传输线方程来描述。
2. 均匀无耗传输线的特性阻抗为 Z_0 , 终端负载获得最大功率时, 负载阻抗 $Z_L = \underline{Z_0}$ 。
3. 同轴线传输的主模是 TEM 模, 微带线传输的主模是 准 TEM 模。
4. 矩形波导尺寸 $a = 2\text{cm}$, $b = 1.1\text{cm}$ 。若在此波导中只传输 TE_{10} 模, 则其中电磁波的工作波长范围为 $2.2\text{cm} < \lambda < 4\text{cm}$ 。
5. 理想 3dB 定向耦合器的散射参量 $|S_{11}| = \underline{1/\sqrt{2}}$, $|S_{21}| = \underline{1/\sqrt{2}}$ 。
6. 由测量线测得某微波传输系统的行驻波分布如图所示。若测量线检波特性为平方律检波, 则该系统的驻波比 $\rho = \underline{2}$, 相移常数 $\beta = \underline{1\text{rad/cm}}$ 。



- 二、如图所示一微波传输系统, 其 Z_0 已知, 求输入阻抗 Z_{in} 、各点的反射系数及各段的电压驻波比。(20分)



解:

$$Z_c = \frac{Z_1^2}{Z_2} = \frac{4Z_0^2}{Z_0} = 4Z_0$$

$$Z_{in} = 4Z_0$$

$$Z_b = 2Z_0 // 4Z_0 = \frac{4}{3}Z_0$$

$$Z_m = \frac{Z_2^2}{Z_1} = \frac{3}{4}Z_0$$

$$\Gamma_c = \frac{Z_c - Z_0}{Z_c + Z_0} = \frac{\frac{3}{4}Z_0 - Z_0}{\frac{3}{4}Z_0 + Z_0} = -\frac{1}{7}$$

$$\Gamma_b = \frac{Z_b - Z_0}{Z_b + Z_0} = \frac{\frac{4}{3}Z_0 - Z_0}{\frac{4}{3}Z_0 + Z_0} = \frac{1}{7}$$

$$\Gamma_e = \frac{Z_e - Z_0}{Z_e + Z_0} = \frac{4Z_0 - Z_0}{4Z_0 + Z_0} = \frac{3}{5}$$

$$\Gamma_d = \frac{Z_d - Z_1}{Z_d + Z_1} = \frac{Z_0 - 2Z_0}{Z_0 + 2Z_0} = -\frac{1}{3}$$

$$\rho_a = \frac{1 + |\Gamma_c|}{1 - |\Gamma_c|} = \frac{4}{3}$$

$$\rho_b = \frac{1 + |\Gamma_b|}{1 - |\Gamma_b|} = 4$$

$$\rho_d = \frac{1 + |\Gamma_d|}{1 - |\Gamma_d|} = 2$$

ab、bc、cd段都工作在行波状态下。

三、试利用阻抗和导纳圆图完成(要求写清必要步骤)。(共20分, 每题10分)

1. 一特性阻抗为 $Z_0 = 300\Omega$ 的传输线, 传递信号至天线, 工作频率为300MHz, 由于传输线与天线不匹配, 测得电压驻波比 $p=3$, 第一个电压波腹点至输入端的距离为 $d_{max} = 0.2m$, 试求传输线的输入阻抗 Z_{in} 及输入导纳 Y_{in} 。

解:

$\lambda = \frac{c}{f} = 1m$, $d_{max} = 0.2\lambda$, 在阻抗圆图上找到归一化电阻为3的点A, 该点即为电压波腹点, 从A点沿等反射系数圆向信源方向旋转0.2波长数至B点, 该点为 $\bar{Z}_{in} = 0.36 - j0.29$, 相对圆心的对称点为 $\bar{Y}_{in} = 1.7 + j1.35$, 故 $Z_{in} = 108 - j87\Omega$, $Y_{in} = 0.0057 + j0.0045S$ 。

2. 求一特性阻抗 $Z_0 = 200\Omega$, 输入阻抗 $Z_{in} = j100\Omega$, 工作频率为500MHz的均匀无耗终端短路线的最短几何长度 $l = ?$

解:

$\lambda = \frac{c}{f} = 0.6m$, $\bar{Z}_{in} = \frac{Z_{in}}{Z_0} = j0.5$, 在阻抗圆图上找到 $\bar{Z}_{in} = j0.5$ 的对应点A, A点对应的波长数为0.074, 由A点沿等反射系数圆向负载方向旋转至短路点, 旋转过的波长数为0.074, 故终端短路线的最短几何长度 $l = 0.074\lambda = 4.44cm$ 。

四、矩形波导的尺寸为 $a = 28.5mm$, $b = 12.6mm$, 波导中传输电磁波的工作频率为15GHz, 试问波导中可能传输的波形有哪些? (20分)

解:

$\lambda = \frac{c}{f} = 20\text{mm}$, 由矩形波导中导行波截止波长的表达式, 即

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

可得:

$$\lambda_c(TE_{10}) = 57\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{20}) = 28.5\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{01}) = 23.05\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{11}) = 19\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{21}) = 13.85\text{mm}$$

$$\lambda_c(TE_{30}) = 12.6\text{mm}$$

由TE、TM波的传输条件: $\lambda < \lambda_c$, 可知波导中能够传输的波型有TE₁₀、TE₂₀、TE₀₁和TM₁₁。

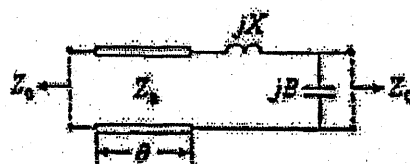
五、一微波元件的等效网络如图所示, 其中 $\theta = \pi/2$ 。试利用网络级联的方法计算该网络的下列工作特性参量。(20分)

(1) 电压传输系数T

(2) 插入衰减A

(3) 插入相移 ϕ

(4) 输入驻波比 ρ



解:

$$[\tilde{A}]_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix} \quad [\tilde{A}]_2 = \begin{bmatrix} 1 & jX/Z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\tilde{A}]_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\tilde{A}] = [\tilde{A}]_1 [\tilde{A}]_2 [\tilde{A}]_3 = \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & jX/Z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jBZ_0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -BZ_0 & j \\ j(1-BX) & -X/Z_0 \end{bmatrix}$$

$$S_{11} = \frac{a_{11} + a_{12} - a_{21} - a_{22}}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{-BZ_0 + \frac{X}{Z_0} + jBX}{-BZ_0 - \frac{X}{Z_0} + j(2-BX)}$$

$$S_{21} = \frac{2}{a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22}} = \frac{2}{-BZ_0 - \frac{X}{Z_0} + j(2-BX)}$$

$$T = S_{21} = \frac{2}{-BZ_0 - \frac{X}{Z_0} + j(2 - BX)}$$

$$A = \frac{1}{|S_{21}|^2} = \frac{(BZ_0 + \frac{X}{Z_0})^2 + (2 - BX)^2}{4}$$

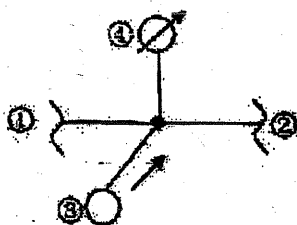
$$\phi = \phi_{21} = \arctg\left(\frac{2 - BX}{BZ_0 + \frac{X}{Z_0}}\right) - \pi$$

$$\rho = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} = \frac{\sqrt{(BZ_0 + \frac{X}{Z_0})^2 + (2 - BX)^2} + \sqrt{(BZ_0 - \frac{X}{Z_0})^2 + B^2 X^2}}{\sqrt{(BZ_0 + \frac{X}{Z_0})^2 + (2 - BX)^2} - \sqrt{(BZ_0 - \frac{X}{Z_0})^2 + B^2 X^2}}$$

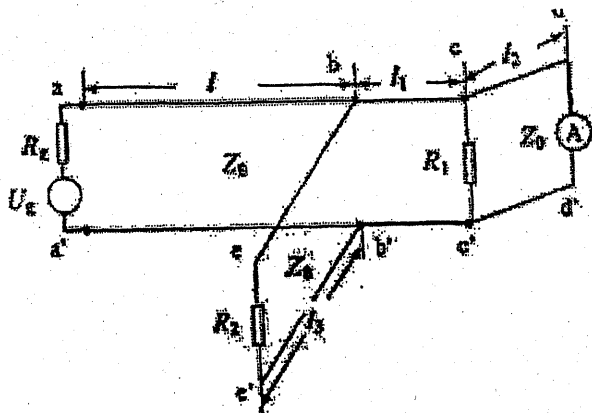
2007-2008 学年微波技术基础考试试卷

一、填空：(共 20 分，1-5 小题每空 1 分，第 6 小题每空 2 分)

1. 微波传输线按其传输的电磁波类型，大致可划分为____传输线，____传输线和____传输线。
2. 长线和短线的区别在于：前者为____参数电路，后者为____参数电路。
3. 均匀无耗传输线工作状态分三种：(1)____ (2)____ (3)____。
4. 阻抗圆图的正实半轴为____的轨迹，负实半轴为____的轨迹。
5. 微波传输系统的阻抗匹配分为两种：____和____。阻抗匹配的方法中最基本的是采用____和____作为匹配网络。
6. 如图所示为一魔 T 电桥，H 臂③端口接匹配信号源，输入功率为 $1W$ ，E 臂④端口接匹配的功率计，①、②两端口各接一负载，它们的反射系数分别为 Γ_1 、 Γ_2 ，若 $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0$ ，此时功率计测得的结果为____，此结果说明____；若 $\Gamma_1 = 0.1$ ， $\Gamma_2 = 0.3$ ，此时功率计测得的结果为____。



- 二、如图所示为一无耗均匀传输系统，已知 $U_s = 80V$ ， $R_s = Z_0 = 200\Omega$ ， $R_1 = Z_0/2$ ， $l = 1\lambda$ ， $l_1 = l_2 = l_3 = \lambda/4$ ， R_2 为待定元件， dd' 端路接一内阻小的检测计 A。试求：(15 分)
 1. 为使 ab 段处于行波工作状态， R_2 应选多大？
 2. 各点的反射系数和各段电压驻波比，并分析各段的工作状态；
 3. 检测计 A 上所测得电流的大小。



三、画图完成 (要求写清必要步骤) (共 20 分, 每小题 10 分)

1. 一无耗传输线特性阻抗 $Z_0 = 50\Omega$, 长度为 10cm , $f = 800\text{MHz}$, 假如输入阻抗 $Z_{in} = j50\Omega$

(1) 求出负载阻抗 Z_L ;

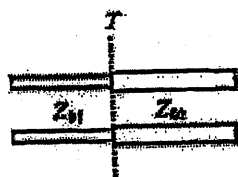
(2) 为了替代 Z_L 需用多长的终端短路传输线?

2. 已知传输线特性阻抗为 $Z_0 = 50\Omega$, 线长 $l = 1.32\lambda$, $|U|_{\max} = 50\text{V}$, $|U|_{\min} = 13\text{V}$, 距离始端最近的电压波腹点至始端距离为 $d_{\max} = 0.032\lambda$. 求 Z_L 和 Z_0 .

四、若矩形波导截面尺寸 $a = 2b = 8\text{cm}$, 试问当频率为 5GHz 时, 波导中将能传输哪些模式? 若要只传输主模, 工作频率的应当如何选择? (10 分)

五、定性的阐述矩形波导中主模的场结构分布规律。 (10 分)

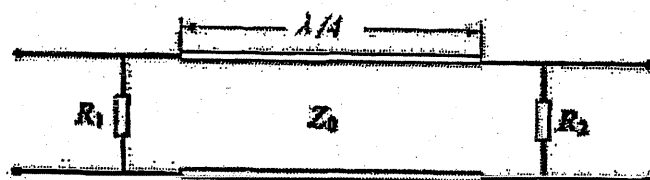
六、如图所示电路, 设两段传输线的特性阻抗分别为 Z_{01} 和 Z_{02} , 试求由参考面 T 确定的网络的散射参量。 (10 分)



七、如图所示网络， $R_2 = 2Z_0$ ，当终端接匹配负载时，要求输入端匹配。试求：（15分）

1. 电阻 R_1 的取值；

2. 网络的工作特性参量：电压传输系数 T ；插入衰减 $L(\text{dB})$ 以及插入相移 θ 。



试卷标准答案

一、填空：(共20分，1~5小题每空1分，第6小题每空2分)

1. 微波传输线按其传输的电磁波型，大致可划分为 TEM波传输线、TE波传输线和表面波传输线。

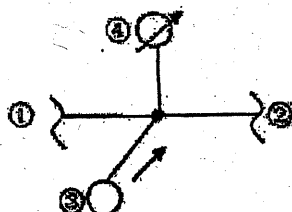
2. 长线和短线的区别在于：前者为分布参数电路，后者为集中参数电路。

3. 均匀无耗传输线工作状态分三种：(1) 行波 (2) 驻波 (3) 行驻波。

4. 阻抗圆图的正实半轴为电压波腹点的轨迹，负实半轴为电压波节点的轨迹。

5. 微波传输系统的阻抗匹配分为两种：共轭匹配和无反射匹配，阻抗匹配的方法中最基本的是采用 $\lambda/4$ 阻抗变换器和分支匹配器作为匹配网络。

6. 如图所示为一魔T电桥，H臂③端口接匹配信号源，输入功率为 $1W$ ，E臂④端口接匹配的功率计，①、②两口各接一负载，它们的反射系数分别为 Γ_1 、 Γ_2 。若 $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0$ ，此时功率计测得的结果为0，此结果说明1、2口接匹配负载，3、4口理想隔离；若 $\Gamma_1 = 0.1$ ， $\Gamma_2 = 0.3$ ，此时功率计测得的结果为 $5mW$ 。

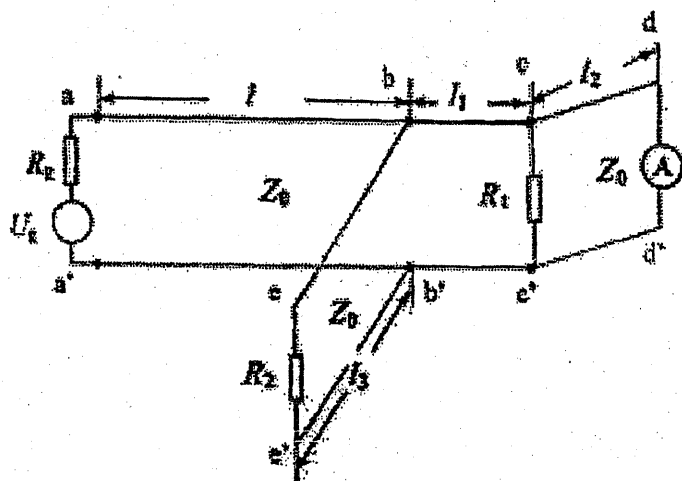


二、如图所示为一无耗均匀传输系统，已知 $U_g = 80V$ ， $R_s = Z_0 = 200\Omega$ ， $R_L = Z_0/2$ ， $l = 1\lambda$ ， $l_1 = l_2 = l_3 = \lambda/4$ ， R_x 为待定元件， ad' 端跨接一内阻小的检测计A，试求：(15分)

1. 为使 ab 段处于行波工作状态， R_x 应选多大？

2. 各点的反射系数和各段电压驻波比，并分析各段的工作状态；

3. 检测计A上所测得电流的大小。



解:

1.

$$Z_L = 0 \Rightarrow Z_{in} = \infty // R_2 = R_2 = Z_0 / 2 = 100 \Omega$$

$$Z_{in}^* = Z_0^2 / Z_{out} = 200^2 / 100 = 400 \Omega$$

$$Z_{in} = Z_{in}^* // Z_0, \text{ 而 } Z_{in} = Z_0 \Rightarrow Z_{in} = Z_0 = 200 = 400 // Z_{in}^* \Rightarrow Z_{in}^* = 400 \Omega$$

$$R_2 = Z_{in} = Z_0^2 / Z_{out} = 200^2 / 400 = 100 \Omega$$

2.

$$Z_{in} = Z_0 \Rightarrow \Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = 0$$

$$Z_{in} = Z_0 \Rightarrow \Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = 0$$

$$Z_{in} = R_1 = 100 \Omega \Rightarrow \Gamma_{in} = \frac{R_1 - Z_0}{R_1 + Z_0} = \frac{100 - 200}{100 + 200} = -\frac{1}{3}$$

$$Z_L = 0 \Rightarrow \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = -1$$

$$Z_{in} = R_2 \Rightarrow \Gamma_{in} = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{100 - 200}{100 + 200} = -\frac{1}{3}$$

$$\rho_{in} = \frac{1 + |\Gamma_{in}|}{1 - |\Gamma_{in}|} = 1, \text{ 行波} \quad \rho_{in} = \frac{1 + |\Gamma_{in}|}{1 - |\Gamma_{in}|} = 2, \text{ 行驻波}$$

$$\rho_{out} = \frac{1 + |\Gamma_{out}|}{1 - |\Gamma_{out}|} = \infty, \text{ 驻波} \quad \rho_{out} = \frac{1 + |\Gamma_{out}|}{1 - |\Gamma_{out}|} = 2, \text{ 行驻波}$$

3.

$$Z_{in} = Z_{out} = Z_0 = 200 \Omega$$

$$|I_{in}| = \frac{U_{in}}{R_{in} + Z_{in}} = \frac{80}{200 + 200} = 0.2 A$$

$$|U_s| = |I_s| Z_s = 40V$$

$$|U_s| = 40V$$

$$|U_s| = |U_s| / \rho_{sc} = 40/2 = 20V$$

$$|I_s| = |U_s| / Z_0 = 20/200 = 0.1A$$

所以, 检测电流为 $0.1A$ 。

三、画图完成 (要求写清必要步骤) (共 20 分, 每小题 10 分)

1. 一无耗传输线特性阻抗 $Z_0 = 50\Omega$, 长度为 $10cm$, $f = 800MHz$, 假如输入阻抗 $Z_{in} = j60\Omega$

(1) 求出负载阻抗 Z_L ;

(2) 为了替代 Z_L 需用多长的终端短路传输线?

解:

(1)

$$\tilde{Z}_{in} = \frac{j60}{50} = j1.2 \quad \lambda = \frac{3 \times 10^8}{800 \times 10^6} = 37.5cm \quad l/\lambda = 10/37.5 = 0.267$$

所以, 在阻抗圆图中以 $j1.2$ 点向负载方向沿等反射系数圆旋转 0.267 波长数到

\tilde{Z}_L 点, 得到 $\tilde{Z}_L = -j1.07$, 故 $Z_L = -j1.07 \times 50 = -j53.5\Omega$ 。

(2)

终端短路线长度要从短路点向信源方向旋转至 \tilde{Z}_L 点, 旋转过的波长数为 0.373 , 故短路线的长度为 $0.373\lambda = 14cm$ 。

2. 已知传输线特性阻抗为 $Z_0 = 50\Omega$, 线长 $l = 1.82\lambda$, $|U|_{max} = 50V$, $|U|_{min} = 13V$, 距离始端最近的电压波腹点至始端距离为 $d_{max} = 0.032\lambda$, 求 Z_{in} 和 Z_L 。

解:

$$\rho = \frac{|U|_{max}}{|U|_{min}} = 3.846, \text{ 在阻抗圆图中找到归一化电阻为 } 3.846 \text{ 的点 } A, \text{ 过 } A \text{ 点作}$$

等反射系数圆, A 点为波腹点, 过 A 点沿等反射系数圆向信源方向旋转 0.032 波长数, 至 B 点, 对应的归一化阻抗为 $\tilde{Z}_L = 2.5 - j1.8$, 故 $Z_L = 125 - j90\Omega$, 再由 B 点沿等反射系数圆向负载方向旋转 0.32 波长数, 至 C 点, 对应 $\tilde{Z}_1 = 0.27 - j0.22$, 故 $Z_1 = 13.5 - j11\Omega$ 。

- 四、若矩形波导截面尺寸 $a = 2b = 8cm$, 试问当频率为 $5GHz$ 时, 波导中将能传输哪些模式? 若要只传输主模, 工作频率的应当如何选择? (10 分)

解:

$$\lambda = \frac{c}{f} = 6cm, \text{ 由矩形波导中导行波截止波长的表达式, 即}$$

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

可得:

$$\lambda_c(TE_{10}) = 16cm$$

$$\lambda_c(TE_{01}) = 8cm$$

$$\lambda_c(TE_{20}) = 8cm$$

$$\lambda_c(TE_{02}) = 4cm$$

$$\lambda_c(TE_{11} \text{ 或 } TM_{11}) = 7.16cm$$

再根据 TE 、 TM 波的传输条件: $\lambda < \lambda_c$, 可知波导中能够传输的波型有 TE_{10} 、 TE_{01} 、 TE_{20} 、 TE_{11} 和 TM_{11} 。

主模传输, 需要 $8cm < \lambda < 16cm$, 所对应的频率范围为 $1.875GHz < f < 3.75GHz$ 。

五、定性的阐述矩形波导中主模的场结构分布规律。(10分)

答:

TE_{10} 模场分量有 E_y 、 H_x 、 H_z 。

E_y 、 H_x 、 H_z 与坐标 y 无关, 沿 y 轴均匀分布;

E_y 、 H_x 、 H_z 沿 x 轴的变化规律为

$$E_y \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_x \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_z \propto \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right)$$

所以, 在 $x=0, x=a$ 处, $E_y=0, H_x=0$, H_z 达到最大值;

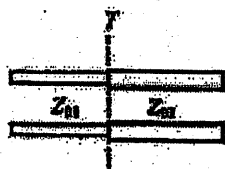
在 $x=\frac{a}{2}$ 处, E_y 、 H_x 达到最大值, $H_z=0$;

E_y 、 H_x 、 H_z 沿 z 轴的变化规律为

$$E_y \propto \cos(\omega t - \beta z) \quad H_x \propto \cos(\omega t - \beta z + \pi) \quad H_z \propto \cos(\omega t - \beta z + \pi/2);$$

相位相差 $\pi/2$ 。

六、如图所示电路, 设两段传输线的特性阻抗分别为 Z_{01} 和 Z_{02} , 试求出参考面 T 确定的网络的散射参量。(10分)



解:

$$S_{11} = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}_1}|_{\bar{U}_2=0} = \frac{Z_{02} - Z_{01}}{Z_{02} + Z_{01}}, \text{ 其原因:}$$

S_{11} 是端口 2 接匹配负载时, 端口 1 的电压反射系数, 当端口 2 接匹配负载时, 参考面 T 的输入阻抗为 Z_{02} 。根据反射系数与阻抗的基本关系式

$$\Gamma = \frac{Z_m - Z_0}{Z_m + Z_0}$$

可得 S_{11} 的最终结果。

同理可得: $S_{22} = \frac{\tilde{U}_{12}}{\tilde{U}_{12}|_{\tilde{U}_{22}=0}} = \frac{Z_{01} - Z_{02}}{Z_{02} + Z_{01}}$

而 $S_{12} = \frac{\tilde{U}_{21}}{\tilde{U}_{12}|_{\tilde{U}_{22}=0}} = 1 - \frac{\tilde{U}_{12}}{\tilde{U}_{12}|_{\tilde{U}_{22}=0}} = 1 - S_{22} = \frac{2Z_{01}}{Z_{02} + Z_{01}}$ (其原因是 $\tilde{U}_{11} = \tilde{U}_{01} - \tilde{U}_{12}$)

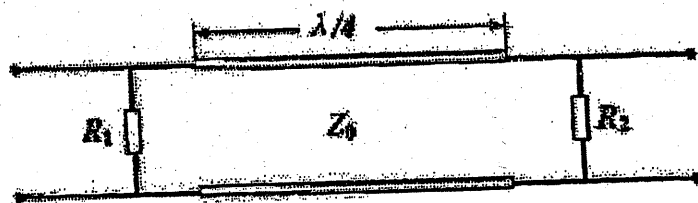
同理可得: $S_{21} = \frac{\tilde{U}_{12}}{\tilde{U}_{21}|_{\tilde{U}_{12}=0}} = 1 - \frac{\tilde{U}_{21}}{\tilde{U}_{21}|_{\tilde{U}_{12}=0}} = 1 - S_{11} = \frac{2Z_{02}}{Z_{02} + Z_{01}}$

第 3 页

七、如图所示网络, $R_2 = 2Z_0$, 当终端接匹配负载时, 要求输入端匹配。试求: (15 分)

1. 电阻 R_1 的取值;

2. 网络的工作特性参量: 电压传输系数 T ; 插入衰减 $L(\text{dB})$ 以及插入相移 θ 。



解:

1.

$$[\bar{A}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{Z_0}{R_1} & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\bar{A}]_b = \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix}$$

$$[\bar{A}]_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\bar{A}] = [\bar{A}]_c [\bar{A}]_b [\bar{A}]_a = \begin{bmatrix} \frac{j}{2} & j \\ j + j \frac{Z_0}{2R_1} & j \frac{Z_0}{R_1} \end{bmatrix}$$

$$S_{11} = \frac{\bar{A}_{11} + \bar{A}_{12} - \bar{A}_{21} - \bar{A}_{22}}{\bar{A}_{11} + \bar{A}_{12} + \bar{A}_{21} + \bar{A}_{22}} = \frac{R_1 - 3Z_0}{5R_1 + 3Z_0}$$

要求输入端匹配, 则 $S_{11} = 0$, 所以需要 $R_1 = 3Z_0$ 。

2.

$$S_{21} = \frac{2}{\bar{A}_{11} + \bar{A}_{12} + \bar{A}_{21} + \bar{A}_{22}} = -j \frac{2}{3}$$

$$T = S_{21} = -j\frac{2}{3}$$

$$L = 10 \log \frac{1}{|S_{21}|^2} = 20 \log \frac{3}{2} \text{ (dB)}$$

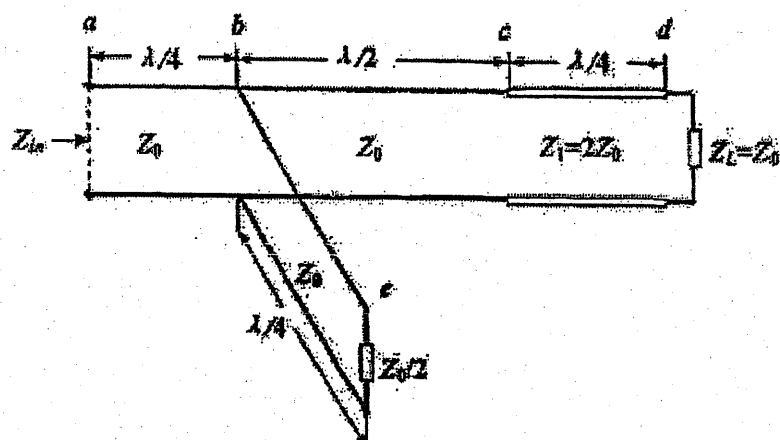
$$\theta = \arg S_{21} = -\frac{\pi}{2}$$

2006-2007 学年微波技术基础考试试卷

一、填空 (共 28 分)

1. (4 分) 从传输线方程看, 传输线上任一点处的电压或电流都等于该处相应的____波和____波的叠加。
2. (4 分) 当负载为纯电阻 R_L , 且 $R_L > Z_0$ 时, 第一个电压波腹点在____; 当负载为感性阻抗时, 第一个电压波腹点距终端的距离在____范围内。
3. (3 分) 导波系统中的电磁波按纵向场分量的有无, 一般分为三种波型(或模): ____波; ____波; ____波。
4. (2 分) 导波系统中传输电磁波的等相位面沿着轴向移动的速度, 通常称为____速; 而传输信号的电磁波是多种频率成份构成一个“波群”进行传播, 其速度通常称为____速。
5. (3 分) 波速随着____变化的现象称为波的色散, 色散波的相速____无限媒质中的光速, 而群速____无限媒质中的光速。
6. (2 分) 矩形波导传输的主模是____; 同轴线传输的主模是____。
7. (3 分) 若一两端口微波网络互易, 则网络参量 $[Z]$ 的特征为____; 网络参量 $[S]$ 的特征分别为____。
8. (5 分) 表征微波网络的参量有____; ____; ____; ____; ____。

二、求下面电路中的输入阻抗 Z_{in} ，各点的反射系数，各段的电压驻波比。(16分)



三、用圆图完成下列各题。(要求写清必要步骤)(共16分)

1. (8分)特性阻抗为 50Ω 的长线，终端负载不匹配，沿线电压波腹 $|U|_{max} = 20V$ ，波节 $|U|_{min} = 12V$ ，离终端最近的电压波腹点距终端的距离为 0.37λ ，求负载阻抗 $Z_L = ?$

2. (8分)已知 $Y_L = (0.2 - j0.4)Y_0$ ，工作波长 $\lambda = 10cm$ ，求第一个电压波节点和第一个电压波腹点到负载的距离及驻波比 ρ 和行波系数 K 。

四、解释矩形波导中“简并波”的概念，并给出矩形波导中一对简并波型。(6分)

五、已知电磁波的频率分别为 $f_1 = 5 \times 10^8 Hz$ ， $f_2 = 15 \times 10^8 Hz$ ，用 BJ-100 型矩形波导 ($a = 22.86mm$ ， $b = 10.16mm$) 传输时，试分别判断波导中可能传输哪些波型？(14分)

六、已知二端口网络的散射矩阵为

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.2e^{j\pi/4} & 0.98e^{j\pi} \\ 0.98e^{j\pi} & 0.2e^{j\pi/4} \end{bmatrix}$$

求该网络的插入衰减 $L(dB)$ ，插入相移 θ ，电压传输系数 T ，输入驻波比 ρ 。(12分)

七、试用无耗互易网络的一元性证明：无耗互易三端口网络不可能同时实现端口匹配，即其散射参量 S_{ii} ($i=1,2,3$) 不可能同时全部为零。(8分)

标准答案

考试科目: 微波技术基础

一、填空 (共 28 分)

1. (4 分) 从传输线方程看, 传输线上任一点处的电压或电流都等于该处相应的入射波和反射波的叠加。
2. (4 分) 当负载为纯电阻 R_L , 且 $R_L > Z_0$ 时, 第一个电压波腹点在终端; 当负载为感性阻抗时, 第一个电压波腹点距终端的距离在 $0 < x < \lambda/4$ 范围内。
3. (3 分) 导波系统中的电磁波按纵向场分量的有无, 一般分为三种波型 (或模): TE 波; TM 波; TEM 波。
4. (2 分) 导波系统中传输电磁波的等相位面沿着轴向移动的速度, 通常称为相速; 而传输信号的电磁波是多种频率成份构成一个“波群”进行传播, 其速度通常称为群速。
5. (3 分) 波速随着波长 (或频率) 变化的现象称为波的色散, 色散波的相速大于无限媒质中的光速, 而群速小于无限媒质中的光速。
6. (2 分) 矩形波导传输的主模是 TE₁₀; 同轴线传输的主模是 TEM。
7. (5 分) 若一两端口微波网络互易, 则网络参量 $[Z]$ 的特征为 $Z_{12} = Z_{21}$; 网络参量 $[S]$ 的特征分别为 $S_{12} = S_{21}$ 。
8. (5 分) 表征微波网络的参量有阻抗参量; 导纳参量; 转移参量; 散射参量; 传输参量。

二、求下面电路中的输入阻抗 Z_{in} , 各点的反射系数, 各段的电压驻波比。(16 分)

解: $Z_0 = Z_0/2$ $Z_2 = Z_0$ $Z_1 = \frac{Z_0^2}{Z_2} = 4Z_0$

$Z_{in1} = Z_1 = 4Z_0$ $Z_{in2} = \frac{Z_1^2}{Z_2} = 2Z_0$ $Z_3 = Z_{in1} // Z_{in2} = \frac{4}{3}Z_0$

$Z_{in} = Z_0 = \frac{Z_3^2}{Z_2} = \frac{3}{4}Z_0$ $\Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = -\frac{1}{7}$ $\Gamma_1 = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} = \frac{1}{7}$

$$\Gamma_c = \frac{Z_c - Z_0}{Z_c + Z_0} = \frac{3}{5}$$

$$\Gamma_d = \frac{Z_d - Z_1}{Z_d + Z_1} = -\frac{1}{3}$$

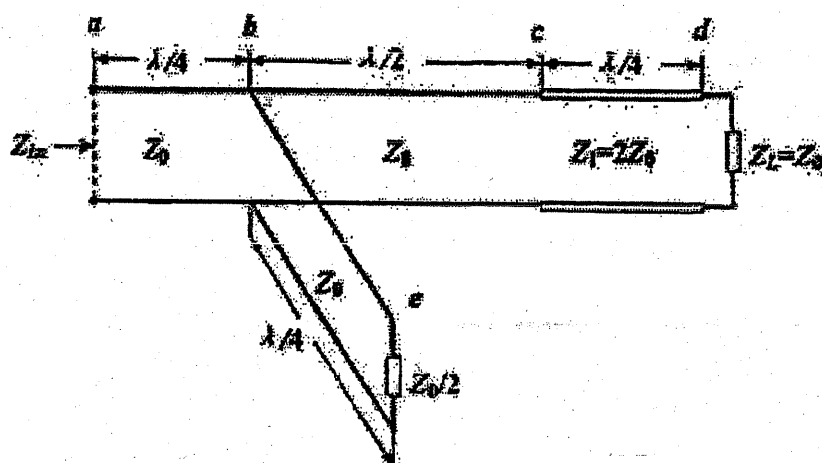
$$\Gamma_e = \frac{Z_e - Z_0}{Z_e + Z_0} = -\frac{1}{3}$$

$$\rho_{ab} = \frac{1 + |\Gamma_a|}{1 - |\Gamma_a|} = \frac{4}{3}$$

$$\rho_{bc} = \frac{1 + |\Gamma_c|}{1 - |\Gamma_c|} = 4$$

$$\rho_{cd} = \frac{1 + |\Gamma_d|}{1 - |\Gamma_d|} = 2$$

$$\rho_{be} = \frac{1 + |\Gamma_e|}{1 - |\Gamma_e|} = 2$$



三、用圆图完成下列各题。(要求写清必要步骤)(共16分)

1. (8分) 特性阻抗为 50Ω 的长线, 终端负载不匹配, 沿线电压波腹 $|U|_{\max} = 20V$, 波节 $|U|_{\min} = 12V$, 离终端最近的电压波腹点距终端的距离为 0.37λ , 求负载阻抗 $Z_L = ?$

解: $\rho = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = \frac{20}{12} = 1.67$, 在阻抗圆图中找到归一化阻抗为 1.67 的点 A, A 点为电压波腹点, 过 A 点沿等反射系数圆向负载方向(逆时针方向)旋转 0.37 个波长数到 B 点, B 点即为负载阻抗对应点, B 点的归一化阻抗为 $\bar{Z}_L = 0.85 - j0.47$, 故得负载阻抗为 $Z_L = \bar{Z}_L Z_0 = (0.85 - j0.47) \times 50 = 42.5 - j23.5(\Omega)$.

2. (8分) 已知 $Y_L = (0.2 - j0.4)Y_0$, 工作波长 $\lambda = 10cm$, 求第一个电压波节点和第一个电压波腹点到负载的距离及驻波比 ρ 和行波系数 K .

解: 在导纳圆图中, 找到归一化导纳 $\bar{Y}_L = 0.2 - j0.4$ 的点 E, E 点对应的波长数为 0.439, 过 E 点沿等反射系数圆向信源方向(顺时针方向)旋转, 和正的实半轴交于 F 点, 和负的实半轴交于 G 点, F 点为波节点, G 为波腹点, 由 E 点到 F 点旋转过的波长

数为 $0.25 + (0.5 - 0.438) = 0.312$ ，所以，可得第一个电压波节点到负载的距离为 $l(\text{波节}) = 0.312\lambda = 3.12\text{cm}$ ，由 E 点到 G 点旋转过的波长数为 $0.5 - 0.438 = 0.062$ ，得第一个电压波腹点到负载的距离为 $l(\text{波腹}) = 0.062\lambda = 0.62\text{cm}$ ，F 点（波节点）的归一化导纳为 5.6，归一化阻抗为 0.18，G 点（波腹点）的归一化导纳为 0.18，归一化阻抗为 5.6，得驻波比 $\rho = \bar{Z}(\text{波腹}) = 5.6$ ，行波系数 $K = \bar{Z}(\text{波节}) = 0.18$ 。

四、解释矩形波导中“简并波”的概念，并给出矩形波导中一对简并波型。（6分）

答：矩形波导中截止波长（或截止频率）相同而场分布不同的一对波型称为“简并波”，例如矩形波导中的 TE_{10} 和 TM_{11} 是简并波。

五、已知电磁波的频率分别为 $f_1 = 5 \times 10^9 \text{ Hz}$ ， $f_2 = 15 \times 10^9 \text{ Hz}$ ，用 BJ-100 型矩形波导（ $a = 22.86\text{mm}$ ， $b = 10.16\text{mm}$ ）传输时，试分别判断波导中可能传输哪些波型？（14分）

解： $f_1 = 5 \times 10^9 \text{ Hz}$ ，得 $\lambda_1 = 60\text{mm}$

$f_2 = 15 \times 10^9 \text{ Hz}$ ，得 $\lambda_2 = 20\text{mm}$

根据矩形波导中 TE_{mn} 和 TM_{mn} 波型的截止波长

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

可得 BJ-100 型矩形波导中不同波型的截止波长为

波型	TE_{10}	TE_{01}	TE_{20}	TE_{11}/TM_{11}	TE_{30}	TE_{21}
$\lambda_c(\text{mm})$	45.72	20.32	22.86	18.57	10.16	15.24

根据 TE 和 TM 波的传输条件，即 $\lambda < \lambda_c$ ，可知：

当 $f_1 = 5 \times 10^9 \text{ Hz}$ 时，BJ-100 型矩形波导中没有传输波型，即为截止波导。

当 $f_2 = 15 \times 10^9 \text{ Hz}$ 时，BJ-100 型矩形波导中传输的波型有： TE_{10} 、 TE_{01} 、 TE_{20} 。

六、已知二端口网络的散射矩阵为

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.2e^{j\pi/2} & 0.98e^{j\pi} \\ 0.98e^{j\pi} & 0.2e^{j\pi/2} \end{bmatrix}$$

求该网络的插入衰减 $L(\text{dB})$ ，插入相移 θ ，电压传输系数 T ，输入驻波比 ρ 。（12分）

解：根据网络工作特性参量定义，得

$$L = 10 \log \frac{1}{|S_{21}|^2} = 10 \log \frac{1}{0.98^2} = 0.175 \text{ dB}$$

$$\theta = \arg S_{21} = -\pi$$

$$\Gamma = S_{11} = 0.98e^{j\pi} = -0.98$$

$$\rho = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} = \frac{1+0.2}{1-0.2} = 1.5$$

七、试用无耗互易网络的一元性证明：无耗互易三端口网络不可能同时实现端口匹配。即其散射参量 S_{ii} ($i=1,2,3$) 不可能同时全部为零。(8分)

证明：根据无耗互易网络的一元性，即

$$[S][S'] = [I]$$

利用反正法易证。假定无耗互易三端口网络完全匹配，即 $S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0$ ，于是

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & 0 & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

则根据 $[S]$ 的一元性，有

$$|S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 = 1 \quad (1)$$

$$|S_{12}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (2)$$

$$|S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (3)$$

$$S_{12}S_{23}^* = 0 \quad (4)$$

(4) 式成立，要求 $S_{12} = 0$ 或 $S_{23} = 0$ 。若 $S_{12} = 0$ ，则代入前三式，得

$$|S_{13}|^2 = 1$$

$$|S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1$$

$$|S_{23}|^2 = 0$$

显然，这三个公式矛盾。同理，若 $S_{23} = 0$ ，结论同样矛盾。这样，即反证了三口无耗互易网络是不可能全匹配的。

2005-2006 学年微波技术基础考试试卷

一、填空题（每空 2 分，共 40 分）

1. 长线和短线的区别在于：前者为_____参数电路，后者为_____参数电路。
2. 均匀无耗传输线工作状态分三种：(1) _____ (2) _____ (3) _____。
3. 当传输线的负载为纯电阻 $R_L > Z_0$ 时，第一个电压波腹点在_____；当负载为感性阻抗时，第一个电压波腹点距终端的距离在_____范围内。
4. 微波传输系统的阻抗匹配分为两种：_____和_____。阻抗匹配的方法中最基本的是采用和_____作为匹配网络。
5. 表征微波网络的参量有：_____；_____；_____；_____；_____。
6. 微波谐振器有别于传统谐振器在于它的_____特性。频率大于 300MHz 一般就需要使用微波谐振器，这是由于_____使得_____等原因。微波谐振器常见有_____和_____等类型。

二、（20 分）长度为 $3\lambda/4$ ，特性阻抗为 600Ω 的双导线，端接负载阻抗 300Ω ；其输入端电压为 600V。试画出沿线电压、电流和阻抗的振幅分布图，并求其最大值和最小值。

三、计算题（要求写清必要步骤）（共 20 分，每小题 10 分）

1. 一无耗传输线特性阻抗 $Z_0 = 50\Omega$ ，长度为 10cm ， $f = 800\text{MHz}$ ，假如输入阻抗 $Z_{in} = j60\Omega$

(1) 求出负载阻抗 Z_L ；

(2) 为了替代 Z_L 需用多长的终端短路传输线？

2. 已知传输线特性阻抗为 $Z_0 = 50\Omega$ ，线长 $l = 1.82\lambda$ ， $|U|_{\max} = 50\text{V}$ ， $|U|_{\min} = 13\text{V}$ ，距离始端最近的电压波腹点至始端距离为 $d_{\max1} = 0.032\lambda$ 。求 Z_{in} 和 Z_L 。

四、（10 分）定性的阐述矩形波导中主模的场结构分布规律。

五、(10分) 用BJ-100 ($a=22.86\text{mm}$, $b=10.16\text{mm}$) 波导做成的 TE_{102} 模式矩形腔, 今在 $z=l$ 端面用理想导体短路活塞调谐, 其频率调谐范围为 9.3GHz - 10.2GHz , 求活塞移动范围。

参考答案

一、填空题 (每空 2 分, 共 40 分)

1. 分布、集中。
2. 行波状态、驻波状态、行驻波状态。
3. 终端、 $0 < z < \lambda/4$
4. 共扼匹配、无反射匹配、 $\lambda/4$ 阻抗匹配器、枝节匹配器
5. 阻抗参数; 导纳参数、转移参数、散射参数、传输参数。
6. 高频率时 Q 值高的; 高于 300MHz 时, 传统 LC 回路欧姆损耗、介质损耗、辐射损耗增大;
Q 值降低; 传输线型; 金属波导型

二、解答:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = -1/3 = 1/3 \exp(j\pi)$$

$$V(d) = V_L^+ e^{j\beta d} (1 + |\Gamma_L| e^{j(\Phi_L - 2\beta d)})$$

$$\therefore V(3\lambda/4) = V_L^+ e^{j3\pi/2} (1 + \frac{1}{3} e^{j(\pi - 3\pi)}) = V_L^+ (-4/3) = 600$$

$$V_L^+ = -450V$$

$$|V(d)| = |V_L^+| [1 + |\Gamma_L|^2 + 2|\Gamma_L| \cos(\Phi_L - 2\beta d)]^{1/2}$$

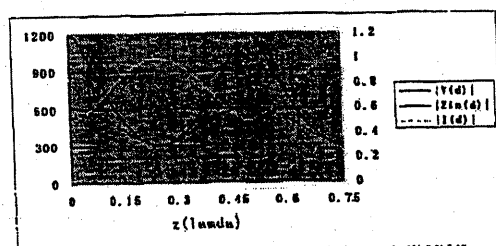
$$= 450 [10/9 - 2/3 \cos(2\pi d/\lambda)]^{1/2}$$

$$|I(d)| = |V_L^+| [1 + |\Gamma_L|^2 - 2|\Gamma_L| \cos(\Phi_L - 2\beta d)]^{1/2}$$

$$= 450 [10/9 + 2/3 \cos(2\pi d/\lambda)]^{1/2}$$

$$|Z_{in}(d)| = |V(d)|/|I(d)|$$

振幅 $|V(d)|$ 、 $|I(d)|$ 、 $|Z_{in}(d)|$ 随 d 的变化图



$$|V(d)|_{\max} = |V_L^+| [1 + |\Gamma_L|] = 600V$$

$$|I(d)|_{\max} = \frac{|V_L^+|}{Z_0} [1 + |\Gamma_L|] = 1A$$

$$|V(d)|_{\min} = |V_L^+| [1 - |\Gamma_L|] = 300V$$

$$|I(d)|_{\min} = \frac{|V_L^+|}{Z_0} [1 - |\Gamma_L|] = 0.5A$$

$$|Z_{in}(d)|_{\max} = |V(d)|_{\max} / |I(d)|_{\min} = 1200\Omega$$

$$|Z_{in}(d)| = |V(d)| / |I(d)| = 300\Omega$$

(2分)

三、计算题 (要求写清必要步骤) (共 20 分, 每小题 10 分)

1、(1) 解:

$$\tilde{Z}_m = \frac{j60}{50} = j1.2$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{800 \times 10^6} = 37.5 \text{ cm} \quad l/\lambda = 10/37.5 = 0.267$$

所以, 在阻抗圆图中以 $j1.2$ 点向负载方向沿等反射系数圆旋转 0.267 波长数到 \tilde{Z}_l 点, 得到 $\tilde{Z}_l = -j1.07$, 故 $Z_l = -j1.07 \times 50 = -j53.5 \Omega$ 。

(2)解

终端短路线长度要从短路点向信源方向旋转至 \tilde{Z}_l 点, 旋转过的波长数为 0.373 , 故短路线的长度为 $0.373\lambda = 14 \text{ cm}$ 。

2、解:

$$\rho = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = 3.846,$$

在阻抗圆图中找到归一化电阻为 3.846 的点 A , 过 A 点作等反射系数圆, A 点为波腹点,

过 A 点沿等反射系数圆向信源方向旋转 0.032 波长数, 至 B 点, 对应的归一化阻抗为 $\tilde{Z}_m = 2.5 - j1.8$, 故 $Z_m = 125 - j90 \Omega$ 。

再由 B 点沿等反射系数圆向负载方向旋转 0.32 波长数, 至 C 点, 对应 $\tilde{Z}_l = 0.27 - j0.22$, 故 $Z_l = 13.5 - j11 \Omega$ 。

四、解答:

TE_{10} 模场分量有 E_y 、 H_x 、 H_z 。

E_y 、 H_x 、 H_z 与坐标 y 无关, 沿 y 轴均匀分布;

E_y 、 H_x 、 H_z 沿 x 轴的变化规律为

$$E_y \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_x \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_z \propto \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right)$$

所以, 在 $x=0, x=a$ 处, $E_y=0, H_x=0$, H_z 达到最大值,

在 $x=\frac{a}{2}$ 处, E_y 、 H_x 达到最大值, $H_z=0$;

E_y 、 H_x 、 H_z 沿 z 轴的变化规律为

$$E_y \propto \cos(\omega t - \beta z) \quad H_x \propto \cos(\omega t - \beta z + \pi) \quad H_z \propto \cos(\omega t - \beta z + \pi/2),$$

相位相差 $\pi/2$ 。

五、解答： $a=22.86\text{mm}$, $b=10.16\text{mm}$

$$f_{mnp} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{l}\right)^2} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{l}\right)^2}$$

$$9.5 \times 10^9 \leq \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{l}\right)^2} \leq 10.2 \times 10^9$$

$$\Rightarrow 3.84\text{cm} \leq l \leq 4.55\text{cm}$$

微波技术基础复习题

(a) 微波是介于 超短波 与 红外线 之间的波, 频率范围从 300 MHz 到 3000 GHz。光波属于电磁波谱的 可见光 段, 工作波长为 纳米 量级。

(b) 由于微波在电磁波谱中的特殊位置, 所以具有以下特性 似光性和似声性、穿透性、非电离性、信息性、宽频带特性、热效应特性、散射特性、抗低频干扰特性、视距传播性、分布参数的不确定性、电磁兼容和电磁环境污染等

(c) 某矩形波导中的信号能够单模传输, 那么它一般工作于 TE_{10} 模式, 截止波长为 $2a$, 其中 a 为波导宽边尺寸。如果转接成圆型波导馈入基站仍然为单模, 那么它此时工作于 TE_{11} 模式。

圆柱波导传输场一般可采用 分离变量 法求解, 由于匹配边界条件的缘故, 如果支撑场解中的第一类贝塞尔函数带有求导符号, 那么必定为 TE 模, 其余场分量利用支撑场和 纵横关系 求出。

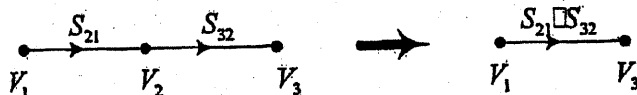
(d) 圆型波导虽然损耗比矩形波导小, 但是由于其中存在固有的 极化简并 等问题, 一般不用于长距离传输系统。对于腔式谐振器器件, 由于损耗主要来源于 腔体的金属壁和腔内填充的介质, 所以采用 开放式或半开放式谐振器 有利于获得更小的损耗。作为封闭谐振体的改进版, 可以采用 由两块平行金属板构成开式 结构的法布里——珀罗谐振器, 这种谐振器

稳定工作的条件是 $0 \leq \left(1 - \frac{d}{R_1}\right) \left(1 - \frac{d}{R_2}\right) \leq 1$ 。

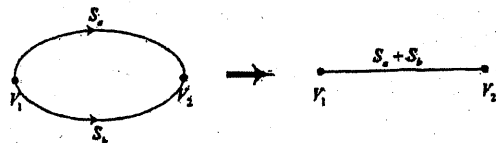
(e) 空心波导的激励可以通过 探针激励、环激励、孔或缝激励、直接过渡 等方法获得。

(f) 举例说明微波网络的信号流图简化分析的四条准则

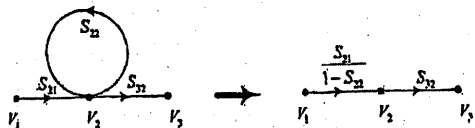
答: (1) 同向串联支路合并规则: 在两个节点之间如果有几条首尾相接的串联支路, 则可以合并为一条支路, 新支路的传输值为各串联支路传输值之积。



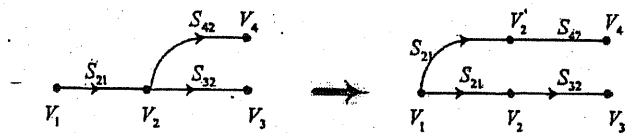
(2) 同向并联支路合并规则: 在两个节点之间如果有几条同向并联支路, 则可以合并为一条支路, 新支路的传输值为各并联支路传输值之和。



(3) 自环消除法则: 如果在某节点有传输为 S 的自环, 则将所有流入此节点的传输都除以 $(1-S)$, 而流出的支路传输值不变, 即可消除此自环。

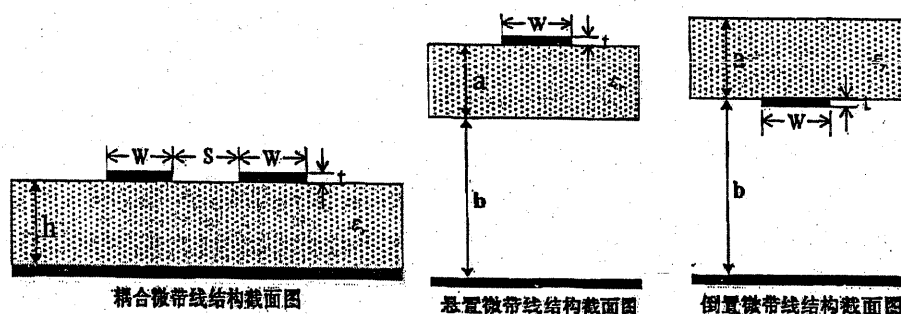


(4) 节点分裂规则: 一个节点分成两个或者更多节点, 只要原来的信号流通情况保持不变即可; 如果在次节点上有自环, 则分裂后的每个节点都应保持原有的自环。



(g) 微波集成传输线综合了微波技术、半导体器件和集成电路的多种技术。他的主要优点有：体积小、重量轻、成本低、性能优越、可靠性高、一致性好、功能的可复制性好等。请画出常用的几种微带线的结构并简述求解方法。(请列举2种以上, 4分)

答：常用的几种微带线结构如下



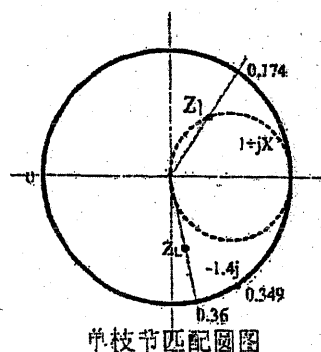
对于耦合微带线应用奇偶模方法求解。奇模激励时中间对称面为电壁，偶模激励时中间对称面为磁壁。奇、偶模激励下，耦合线分别被电壁和磁壁分成两半，只需研究其中一半，即分别研究单根奇模线和单根偶模线的特性，然后叠加便得到耦合线的特性。也就是说，另一根带状导体的影响分别可用对称面上的电壁（奇模）和磁壁（偶模）边界条件来等效，然后可以应用传输线理论进行分析和计算。

对于悬置微带线和倒置微带线，用对谱域结果的最小二乘曲线拟合方法可得特性阻抗和有效介电常数，然后应用传输线理论进行分析和计算。

二、单、双枝节匹配问题(20分)：某个无耗传输线系统的特性阻抗 Z_0 为 50Ω ，端接 $Z_L = 30 - j50\Omega$ 的负载，请在距离负载 0.7λ 处分别采用开路单枝节和开路双枝节（间距 $3\lambda/8$ ）匹配技术使系统输入达到匹配，。（请在解题时画出简图并标注步骤）

解：负载阻抗归一化： $z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = 0.6 - j$

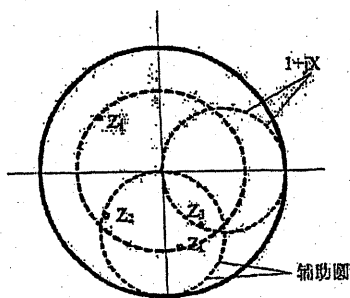
采用串联开路单枝节进行匹配：



(1) 如图所示, 在圆图中标出 z_L (对应向电源波长数为 0.36), 沿等反射系数圆顺时针旋转, 交 $r=1$ 等电阻圆于 $z_1=1+j1.4$ (对应向电源波长数为 0.174), 所以枝节位置距离负载 $0.5\lambda-0.36\lambda+0.174\lambda=0.314\lambda$ 。

(2) 要使 z_1 移动到匹配点, 应使开路枝节等效阻抗为 $-1.4j$ 。

(3) 在圆图中标出点, 其对应向电源波长数为 0.349, 所以枝节长度为 $0.349\lambda-0.25\lambda=0.099\lambda$ 采用串联开路双枝节进行匹配:



双枝节匹配圆图

(1) 如图所示, 在圆图中标出 z_L , 沿等反射系数圆顺时针旋转 0.7λ 到 $z_1=0.31+j0.37$ 。

(2) z_1 沿等电阻圆交辅助圆于 $z_2=0.31-j0.28$, 所以第一个串联枝节等效阻抗为 $-j0.65$ (对应向电源波长数为 0.408), 其长度为 $0.408\lambda-0.25\lambda=0.158\lambda$ 。

(3) z_2 沿等电阻圆顺时针旋转 $3\lambda/8$, 交 $r=1$ 等电阻圆于 $z_3=1-j1.33$, 为使 z_3 移动到匹配点处, 第二个串联枝节等效阻抗应为 $j1.33$ (对应向电源波长数为 0.147), 其长度为 $0.5\lambda-0.25\lambda+0.147\lambda=0.397\lambda$ 。

三、微带技术: (15 分) 画出耦合微带线的结构及等效电路, 推导等效电路的微分方程。

解: (1) 画出耦合微带线的结构及等效电路如下:

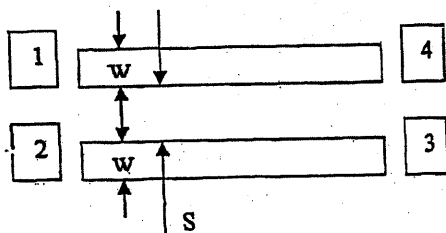


图 (1)

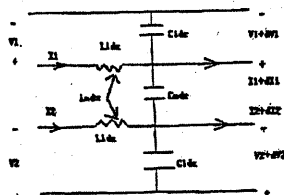


图 (2)

(2) 假设耦合微带线传输 TEM 模, 则两线之间的电磁耦合可等效为通过两线之间的互电容和互电感进行耦合, 线元 dz 的集总参数等效电路如上图 2 所示。图中, L_m 和 C_m 分别表示线间单位长度的耦合电感和耦合电容, L_1 和 C_1 表示计及另一线影响时单根线的分布电感和分布电容。根据基尔霍夫定律, 对于时谐变化的电压和电流, 可得到等效电路的微分方程为:

$$-\frac{dV_1}{dz} = j\omega L_1 I_1 + j\omega L_m I_2 \quad (1)$$

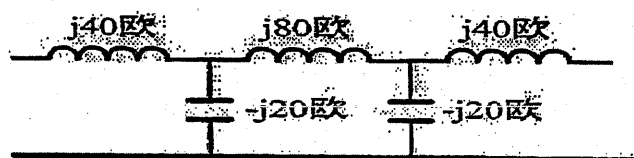
$$-\frac{dV_2}{dz} = j\omega L_2 I_2 + j\omega L_m I_1 \quad (2)$$

$$-\frac{dI_1}{dz} = j\omega C V_1 - j\omega C_m V_2 \quad (3)$$

$$-\frac{dI_2}{dz} = j\omega CV_2 - j\omega C_m V_1 \quad (4)$$

式中 $L = L_1, C = C_1 + C_m$

四、微波网络: (20分) 请分类写出 5 种微波网络矩阵的定义式。利用级联法求如下图所示的系统的总[ABCD]矩阵, 推导出对应的[Z]矩阵和[S]参数矩阵(请写出转换计算过程), 并从网络参数的角度讨论此矩阵的“对称性”和“么正性”。



解: 阻抗矩阵: $[V] = [Z][I]$

导纳矩阵: $[I] = [Y][V]$

散射矩阵: $[b] = [S][a]$

[ABCD]矩阵: $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$

传输散射矩阵: $\begin{bmatrix} b_1 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 \\ b_2 \end{bmatrix}$

可将系统分成五个部分, 其[ABCD]矩阵分别为:

$$\begin{bmatrix} 1 & j40 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j/20 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & j30 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j/20 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & j40 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

五个部分级联, 因而总的[ABCD]矩阵为:

$$[ABCD] = \begin{bmatrix} 1 & j40 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j/20 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & j30 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j/20 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & j40 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.5 & -50j \\ 0.025j & -1.5 \end{bmatrix}$$

由[ABCD]矩阵的定义可得: $V_1 = AV_2 + BI_2$
 $I_1 = CV_2 + DI_2$

所以可得: $V_1 = \frac{A}{C}I_1 - \left(\frac{AD}{C} - B\right)I_2$

$$V_2 = \frac{1}{C}I_1 - \frac{D}{C}I_2$$

所以阻抗矩阵[Z] = $\begin{bmatrix} \frac{A}{C} & \left(\frac{AD}{C} - B\right) \\ \frac{1}{C} & \frac{D}{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 60j & -40j \\ -40j & 60j \end{bmatrix}$

已知 $V_1 = AV_2 + BI_2$, 且有 $V_1 = \sqrt{Z_0}(a_1 + b_1)$ $V_2 = \sqrt{Z_0}(a_2 + b_2)$
 $I_1 = CV_2 + DI_2$ $I_1 = \frac{1}{\sqrt{Z_0}}(a_1 - b_1)$ $I_2 = \frac{1}{\sqrt{Z_0}}(b_2 - a_2)$, 合并可得:

$$a_1 + b_1 = A(a_2 + b_2) - B(a_2 - b_2)/Z_0$$

$$a_1 - b_1 = CZ_0(a_2 + b_2) - D(a_2 - b_2)$$

整理变形可得:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -(A+B/Z_0) \\ -1 & -(CZ_0+D) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 & (A-B/Z_0) \\ -1 & (CZ_0-D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} [S] &= \begin{bmatrix} 1 & -(A+B/Z_0) \\ -1 & -(CZ_0+D) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 & (A-B/Z_0) \\ -1 & (CZ_0-D) \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{A+B/Z_0+CZ_0+D} \begin{bmatrix} A+B/Z_0-CZ_0-D & 2(AD-BC) \\ 2 & -A+B/Z_0-CZ_0+D \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -0.0621+j0.7448 & -0.6621-j0.0552 \\ -0.6621-j0.0552 & -0.0621+j0.7448 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

观察 [S] 矩阵可见, $S_{11}=S_{22}$ 和 $S_{12}=S_{21}$, 所以网络满足对称性和互易性, 且

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = |S_{12}|^2 + |S_{22}|^2 = 1, \text{ 所以网络满足么正性。}$$

五、微波器件: (15分) 已知半波长有耗线的输入阻抗可以用下式表示:

$$Z_{in} = Z_0 \tanh(\alpha + j\beta)l = Z_0 \frac{\tanh \alpha l + j \tanh \beta l}{1 + j \tanh \alpha l \tanh \beta l}$$

证明 $\lambda_0/2$ 长度的传输线型谐振腔相当于 RLC 串联谐振电路。其等效电参量如下:

$$R = Z_0 \alpha l, \quad C = \frac{2}{n\pi\omega_0 Z_0}, \quad L = \frac{n\pi Z_0}{2\omega_0}, \quad Q = \frac{n\pi}{2\alpha l} = \frac{\beta}{2\alpha}, \text{ 当传输线损耗增加时, 等效电路会有什么变化? 如}$$

果实际使用这样的谐振器尺寸嫌大, 可以采用何种结构的谐振器进行改进?

解: (1) 实用中的大多数传输线的损耗都很小, 因此可以假设 $\alpha l \ll 1$, 于是 $\tanh \alpha l \approx \alpha l$ 。令

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \text{ (在谐振频率附近), 这里 } \Delta\omega \text{ 很小, 则 } \beta l = \frac{\omega l}{v_p} = \frac{\omega_0 l}{v_p} + \frac{\Delta\omega l}{v_p}。 \text{ 由于谐振时, } \omega = \omega_0,$$

$$l = n\lambda/2 = n\pi v_p / \omega_0, \text{ 因此有 } \beta l = n\pi + \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0}, \text{ 而 } \tanh \beta l = \tanh \left(n\pi + \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0} \right) = \tanh \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0} \approx \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0}。 \text{ 所以}$$

$$\text{可以得到: } Z_{in} \approx Z_0 \frac{\alpha l + j(n\pi\Delta\omega/\omega_0)}{1 + j(n\pi\Delta\omega/\omega_0)\alpha l} \approx Z_0 \left(\alpha l + j \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0} \right), \text{ 与 RLC 串联谐振电路的输入阻抗公式}$$

$Z_{in} = R + j2L\Delta\omega$ 的形式相似, 据此可判断长度为 $\lambda_0/2$ 的传输线型谐振腔相当于 RLC 串联谐振电

$$\text{路。对比两式可得 } R = Z_0 \alpha l \text{ 和 } 2L\Delta\omega = Z_0 \frac{n\pi\Delta\omega}{\omega_0}$$

$$\text{所以等效电阻 } R = Z_0 \alpha l, \text{ 等效电感 } L = \frac{n\pi Z_0}{2\omega_0}, \text{ 等效电容 } C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{2}{n\pi\omega_0 Z_0}, \text{ 品质因素}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{n\pi}{2\alpha l} = \frac{\beta}{2\alpha}$$

- (2) 当传输线损耗 α 增加时, 等效电阻变大, 等效电感和等效电容不变, 品质因素变小。
- (3) 如果实际使用时, 尺寸太大, 可以采用螺旋线谐振器结构进行改进。