



中国科学院 - 中国科学技术大学

2004 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

试题名称:

微波技术基础

一、回答下列问题: (18 分)

- 1、矩形金属波导谐振器的本征模 TE_{mnp} 和 TM_{mnp} 中的下标 m 、 n 、 p 各代表什么意义? 并列出自各自的取值范围。
- 2、写出介质波导中四种波型 (表面波、辐射波、泄漏波和消失波) 的形成条件。

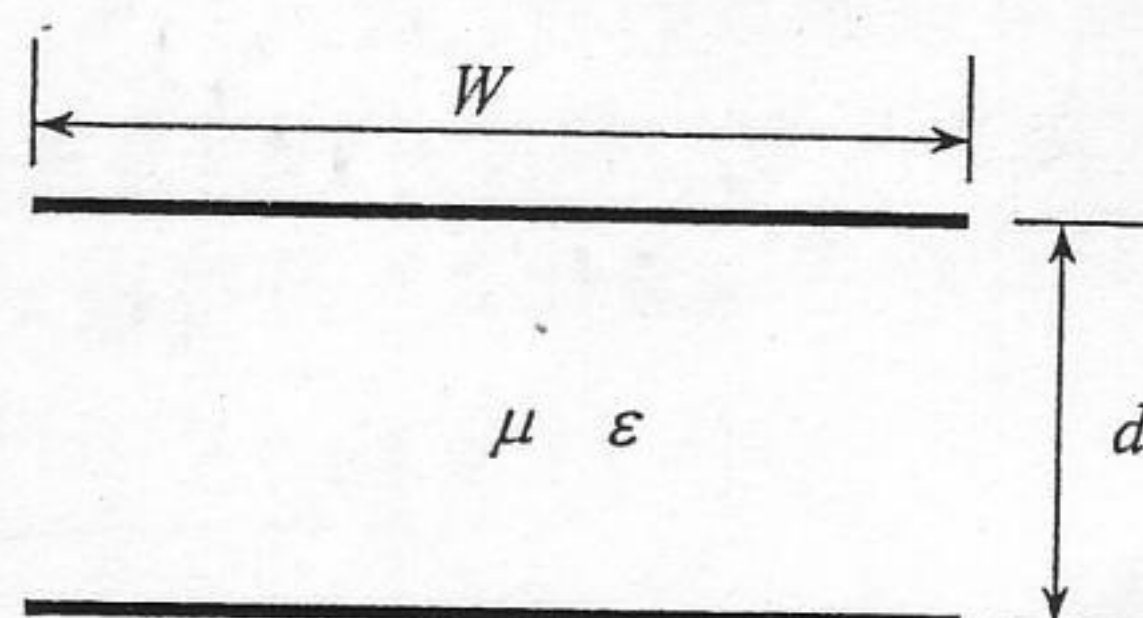
二、试证明, 在任意负载条件下, 传输线上反射系数和输入阻抗有下列关系: (16 分)

1、 $\Gamma(z) = -\Gamma(z \pm \frac{\lambda}{4})$

2、 $Z_{in}(z)/Z_0 = Z_0/Z_{in}(z \pm \frac{\lambda}{4})$ (Z_0 为特性阻抗)

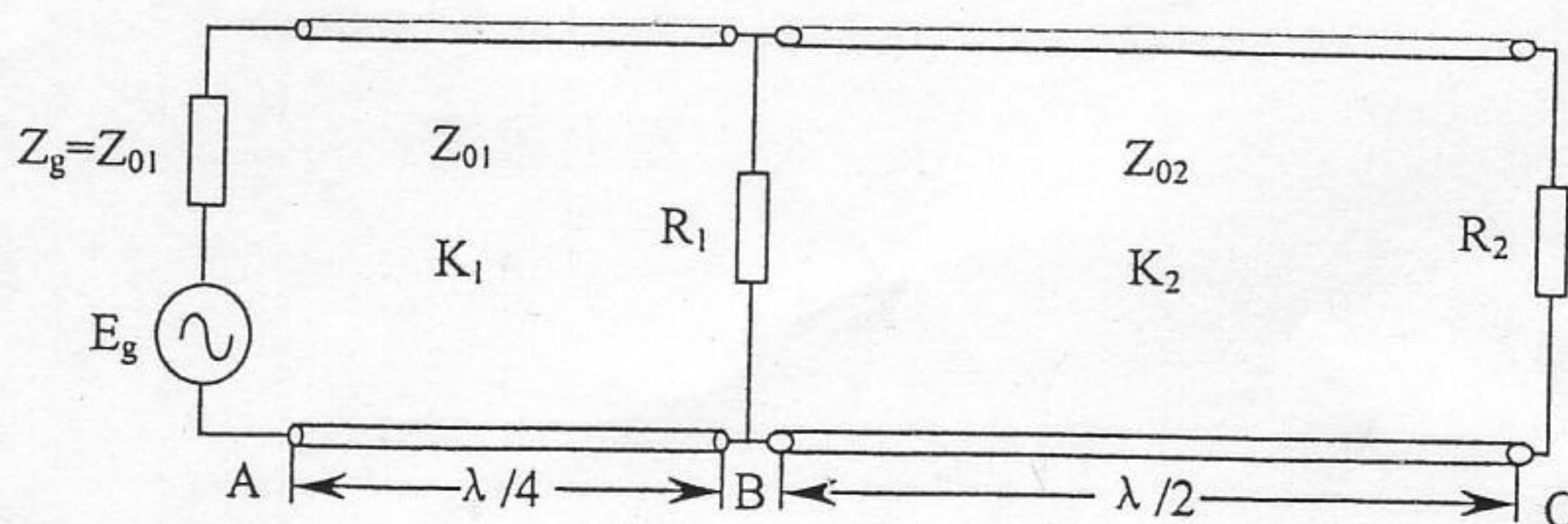
三、利用散射矩阵的性质, 证明二端口无耗互易网络的传输矩阵有 $T_{11}^* = T_{22}$ 。 (18 分)

四、如图所示, 已知平板传输线单位长电感 $L_1 = \mu d / W$ 和电容 $C_1 = \epsilon W / d$ 以及表面电阻 R_s , 试用增量电感法求单位长导体损耗 α_c 。 (18 分)



第五题图

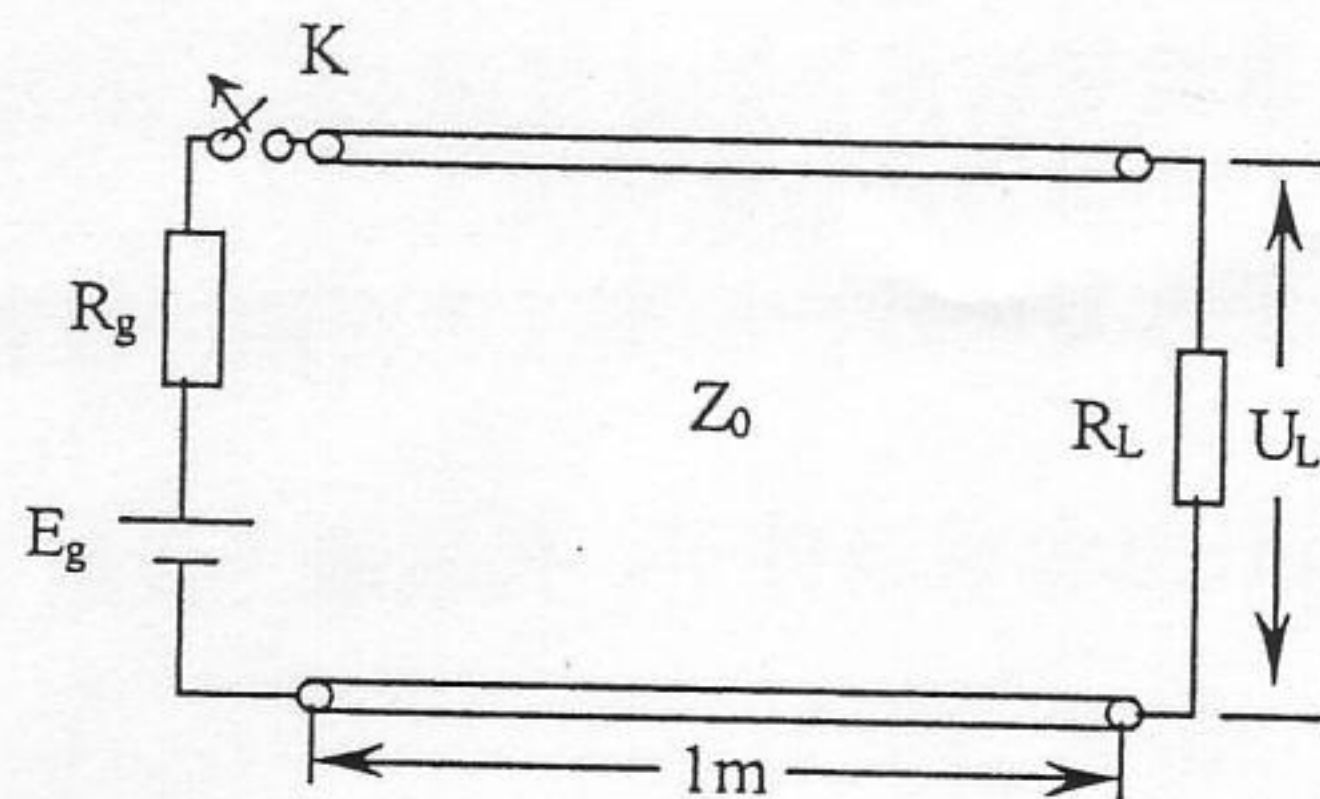
五、如图所示, 已知 $Z_{01}=20$ 欧姆, $Z_{02}=50$ 欧姆, 电源电动势 (最大值) $E_g=60V$, 又知 Z_{01} 和 Z_{02} 线上的行波系数分别为 $K_1=0.5$, $K_2=0.4$, 且 B 点为这两段传输线的电压波节点。求电阻 R_1 和 R_2 的大小及 R_2 的吸收功率, 并绘出沿线电压、电流的驻波分布 (不要求说明作图过程)。 (30 分)



第五题图

六、如图所示，在 $t=0$ 秒以前电路已达到稳态（K 为闭合状态），在 $t=0$ 秒时刻将开关 K 打开。已知 $R_g=9\Omega$ ， $Z_0=3\Omega$ ， $R_L=1\Omega$ ， $E_g=20V$ ，且相速为 $v_p=2m/s$ ，问：（20 分）

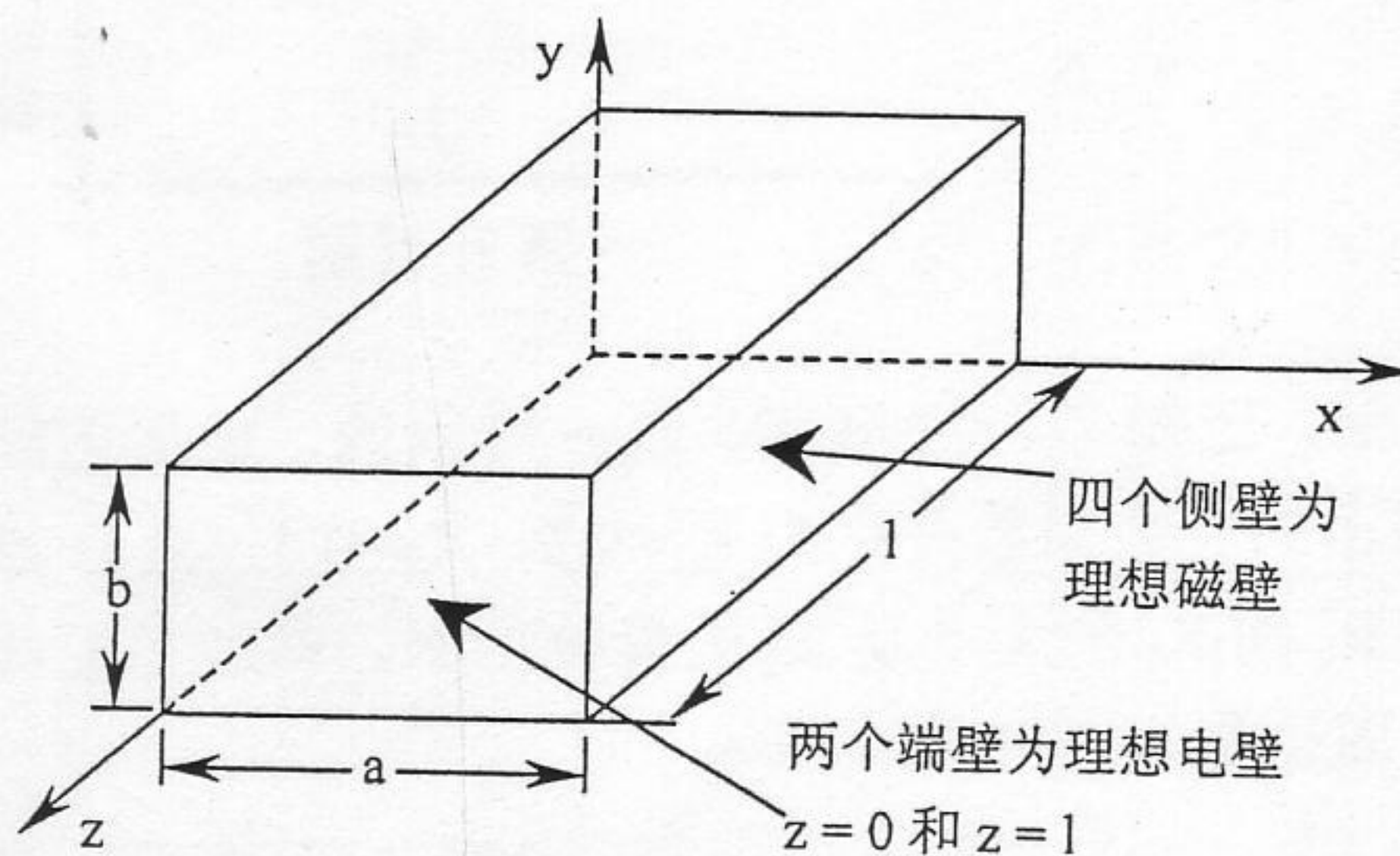
- 1、 $t=0.25$ 秒， R_L 两端的电压 U_L 。
- 2、 $t=1$ 秒， R_L 两端的电压 U_L 。
- 3、 $t=n$ 秒， R_L 两端的电压 U_L 。
- 4、 $t\rightarrow\infty$ ， R_L 两端的电压 U_L 。



第六题图

七、如图所示，矩形谐振腔的两个端壁为理想电壁，四个侧壁为理想磁壁，腔内介质填充均匀，腔的尺寸为 $a \times b \times l$ 。（30 分）

- 1、列出磁波 H_z 和电波 E_z 应满足的波动方程和边界条件。
- 2、写出 H_z 和 E_z 的表达式以及 m 、 n 、 p 的取值。
- 3、写出该谐振腔谐振波长的表达式。
- 4、 $a=b=l/2$ 时，列出与 H_{134} 模简并的所有振荡模式。
- 5、当 $l>a>b$ 时，该腔主模是什么？并绘出 x - y 和 x - z 剖面的场结构图。



第七题图

2004

中国科学院 & 中国科学技术大学

2004 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

试题名称:

微波技术基础

一、1、m、n、p 分别表示场在 x、y、z (或 a、b、l) 三个方向分布的半驻波个数。

TE_{mnp}: m=0, 1, 2, ...; n=0, 1, 2, ...; p=1, 2, 3, ...; 其中 m, n 不能同时为零。

TM_{mnp}: m=1, 2, 3, ...; n=1, 2, 3, ...; p=0, 1, 2, ...。

2、表面波的形成条件为 $\theta_i \geq \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ (θ_c 为临界角), 均匀平面波入射, 全反射。

辐射波的形成条件为 $\theta_i < \theta_c$, 均匀平面波入射, 部分反射。

泄漏波的形成条件为 θ_i 为复数, 均匀平面波入射, 部分反射; 或者 θ_i 为实数, 非均匀平面波入射, 部分反射。(二者答一)

消失波的形成条件为 θ_i 为负的纯虚数, 均匀平面波入射, 部分反射; 或者 $\theta_i=0$, 非均匀平面波正入射, 部分反射。(二者答一)

二、证明: 1、 $\Gamma(z \pm \frac{\lambda}{4}) = \Gamma_L e^{-2j\beta(z \pm \frac{\lambda}{4})} = \Gamma_L e^{-2j\beta z \mp j\beta \frac{\lambda}{2}} = -\Gamma_L e^{-2j\beta z} = -\Gamma(z)$

2、 $Z_{in}(z \pm \frac{\lambda}{4}) = Z_0 \frac{1 + \Gamma(z \pm \frac{\lambda}{4})}{1 - \Gamma(z \pm \frac{\lambda}{4})} = Z_0 \frac{1 - \Gamma(z)}{1 + \Gamma(z)} = Z_0 Y_{in}(z) / Y_0 = Z_0^2 Y_{in}(z)$, 得 $Z_{in}(z) / Z_0 = Z_0 / Z_{in}(z \pm \frac{\lambda}{4})$

三、证明: 二端口传输矩阵[T]和散射矩阵[S]的关系为:

$$[T] = \frac{1}{S_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -S_{22} \\ S_{11} & S_{12}S_{21} - S_{11}S_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{无损网络满足 } S_{11}S_{12}^* + S_{21}S_{22}^* = 0 \quad (2)$$

$$|S_{12}|^2 + |S_{22}|^2 = 1 \quad (3)$$

$$\text{互易网络满足 } S_{12} = S_{21} \quad (4)$$

$$\text{由 (2) 式得 } (S_{11}S_{12}^* + S_{21}S_{22}^*) \frac{S_{22}}{S_{12}} = 0$$

$$\text{将 (4) 式代入上式得 } \frac{S_{11}S_{22}S_{12}^*}{S_{12}} + |S_{22}|^2 = 0$$

$$\text{再由 (3) 和 (4) 式, 进而得 } \frac{S_{11}S_{22}S_{21}^*}{S_{21}} + 1 - S_{12}S_{21}^* = 0$$

$$\text{整理后为 } (\frac{1}{S_{21}})^* = \frac{1}{S_{21}} (S_{12}S_{21} - S_{11}S_{22})$$

$$\text{所以, 由 (1) 式可得 } T_{11}^* = T_{22}$$

中国科学院 & 中国科学技术大学

2004 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

四、解：对于任意传输线，其单位长度电阻 R_l 为

$$R_l = \omega L_l = \omega \frac{\partial L_l}{\partial n} \frac{\delta}{2} = \frac{R_s}{\mu} \frac{\partial L_l}{\partial n}$$

式中 $\hat{n}$ 的取向为假想导体面增大的方向， δ 为趋肤深度。

因为 $L_l = Z_0 \sqrt{\mu\epsilon}$ ，则对于平板传输线

$$\frac{\partial L_l}{\partial n} = \sqrt{\mu\epsilon} \frac{\partial Z_0}{\partial n} = \sqrt{\mu\epsilon} \frac{2\partial Z_0}{\partial d}$$

其中双导线的特性阻抗为 $Z_0 = \sqrt{\frac{L_l}{C_l}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{d}{W}$

则双导线单位长度导体损耗为

$$\alpha_c = \frac{R_l}{2Z_0} = \frac{R_s}{2\mu Z_0} \sqrt{\mu\epsilon} \frac{2\partial Z_0}{\partial d} = \frac{R_s}{d} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} = \frac{R_s}{d\eta}$$

五、解：B 点为电压波节点，则由 B 点向负载方向的输入阻抗 $R_B = Z_{01} K_1 = 20 \times 0.5 = 10\Omega$

又由 BC 段长为 $\lambda/2$ ，则 $R_B = R_1 // R_2 = 10\Omega$ ，且 $R_2 > R_B$ （并联电阻特性）

又知 C 点也是 BC 段的电压波节点

所以 $R_2 = Z_{02} K_2 = 50 \times 0.4 = 20\Omega$ ， $R_1 = 20\Omega$

由 A 点向负载方向的输入阻抗 $R_A = \frac{Z_{01}^2}{R_B} = \frac{20^2}{10} = 40\Omega$

A 点波腹电压 $U_A = \frac{R_A}{R_A + Z_g} E_g = \frac{40 \times 60}{40 + 20} = 40V$

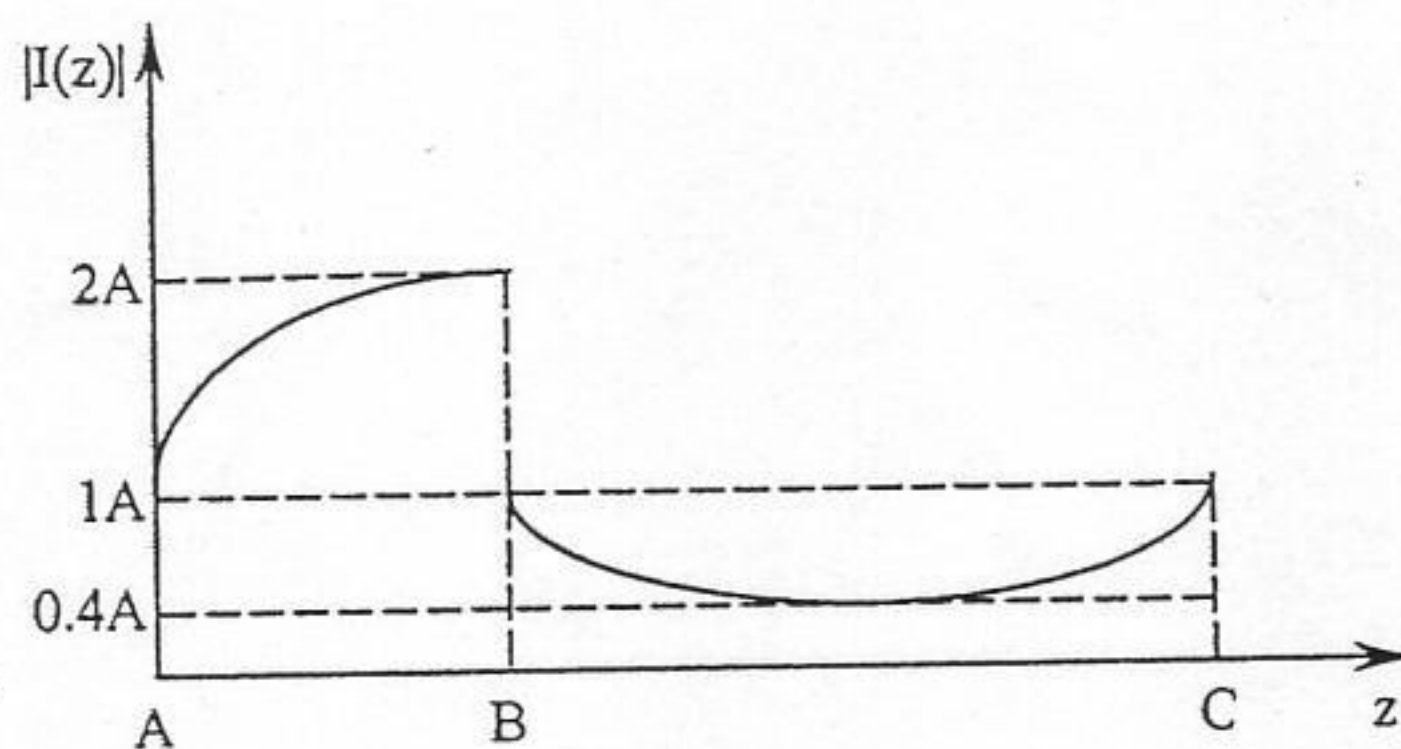
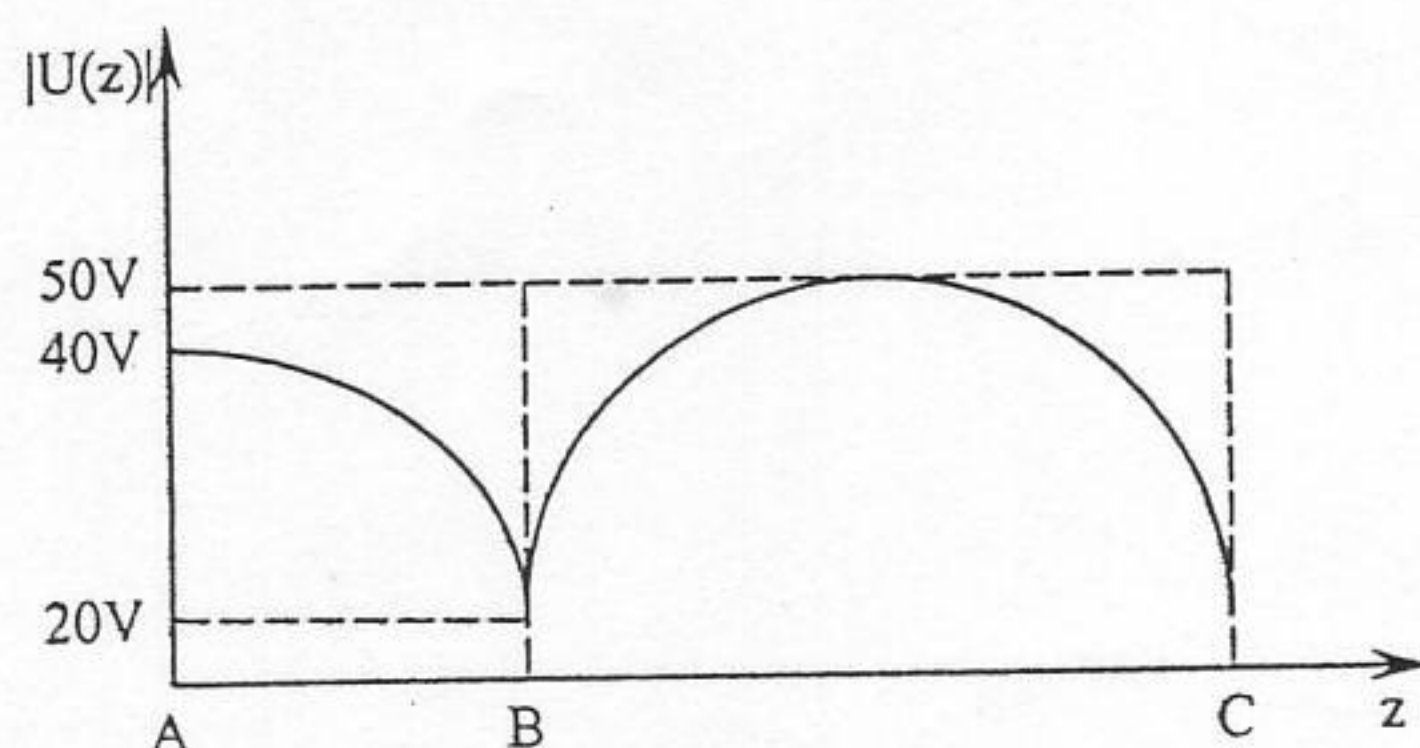
B 点和 C 点波节电压 $U_B = U_C = U_A K_1 = 40 \times 0.5 = 20V$

所以 R_2 吸收的功率 $P_2 = \frac{1}{2} \frac{U_C^2}{R_2} = \frac{1}{2} \times \frac{20^2}{20} = 10W$

又 $I_A = \frac{U_A}{R_A} = \frac{40}{40} = 1A$ $I_{B-} = \frac{U_B}{R_B} = \frac{20}{10} = 2A$ $I_{B+} = \frac{U_B}{R_2} = \frac{20}{20} = 1A$

BC 段的波腹电压为 $U_B / K_2 = 20 / 0.4 = 50V$

BC 段的波节电流为 $I_{B+} K_2 = 1 \times 0.4 = 0.4A$



中国科学院 & 中国科学技术大学

2004 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

六、解：

稳态时，源端反射系数

$$\Gamma_g = \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0} = 0.5$$

负载端反射系数

$$\Gamma_L = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} = -0.5$$

沿线稳态电压

$$U_L = \frac{R_L}{R_g + R_L} E_g = 2V$$

K 打开，源端反射系数变为 $\Gamma_{go} = 1$ 。由此产生瞬态信号（幅度为 2V，时间宽度为 0.5s），

经源端反射向负载端传送。

1、 $t = 0.25s$ 时，由于开关断开产生的瞬态信号尚未传输到负载端，所以 $U_{L0.25} = 0V$

2、 $t = 1s$ 时，瞬态信号已由源端到负载端往返传输一次。

$$U_{L2} = U_{L2}^+ + U_{L2}^- = U_L \Gamma_{go} (1 + \Gamma_L) = 1V$$

3、 $t = ns$ 时，可按照以下级数方法求解：

$$t = 0s, \quad U_{L0} = U_0 = 2V$$

$$t = 1s, \quad U_{L1} = U_0 \Gamma_{go} + U_0 \Gamma_{go} \Gamma_L = U_0 \Gamma_{go} (1 + \Gamma_L)$$

$$t = 2s, \quad U_{L2} = U_0 \Gamma_{go}^2 (1 + \Gamma_L)^2$$

$$t = 3s, \quad U_{L3} = U_0 \Gamma_{go}^3 (1 + \Gamma_L)^3$$

$$t = 4s, \quad U_{L4} = U_0 \Gamma_{go}^4 (1 + \Gamma_L)^4$$

.....

$$t = ns, \quad U_{Ln} = U_0 \Gamma_{go}^n (1 + \Gamma_L)^n = 1/2^{n-1}$$

$$4、t \rightarrow \infty, \quad U_{L\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} (U_0 \Gamma_{go}^n (1 + \Gamma_L)^n) = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/2^{n-1}) = 0V$$

七、解：

1、H 波

E 波

$$\begin{cases} \nabla_t^2 H_z + k_c^2 H_z = 0 \\ H_z|_{x=0,a; y=0,b; z=0,l} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \nabla_t^2 E_z + k_c^2 E_z = 0 \\ \frac{\partial E_z}{\partial n}|_{x=0,a; y=0,b; z=0,l} = 0 \end{cases}$$

$$2、H_z = H_0 \sin \frac{m\pi}{a} x \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y \cdot \sin \frac{p\pi}{l} z \quad m, n, p = 1, 2, \dots$$

$$E_z = E_0 \cos \frac{m\pi}{a} x \cdot \cos \frac{n\pi}{b} y \cdot \cos \frac{p\pi}{l} z \quad m, n, p = 0, 1, 2, \dots \quad m \text{ 和 } n \text{ 不能同时为零。}$$

$$3、\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2}} \quad \therefore \lambda_0 = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{\lambda_c})^2 + (\frac{p}{2l})^2}} = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{l})^2}}$$

中国科学院 & 中国科学技术大学

2004 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

4、 $a=b=l/2$ 时, $\therefore \lambda_0 = \frac{4a}{\sqrt{(2m)^2 + (2n)^2 + p^2}}$

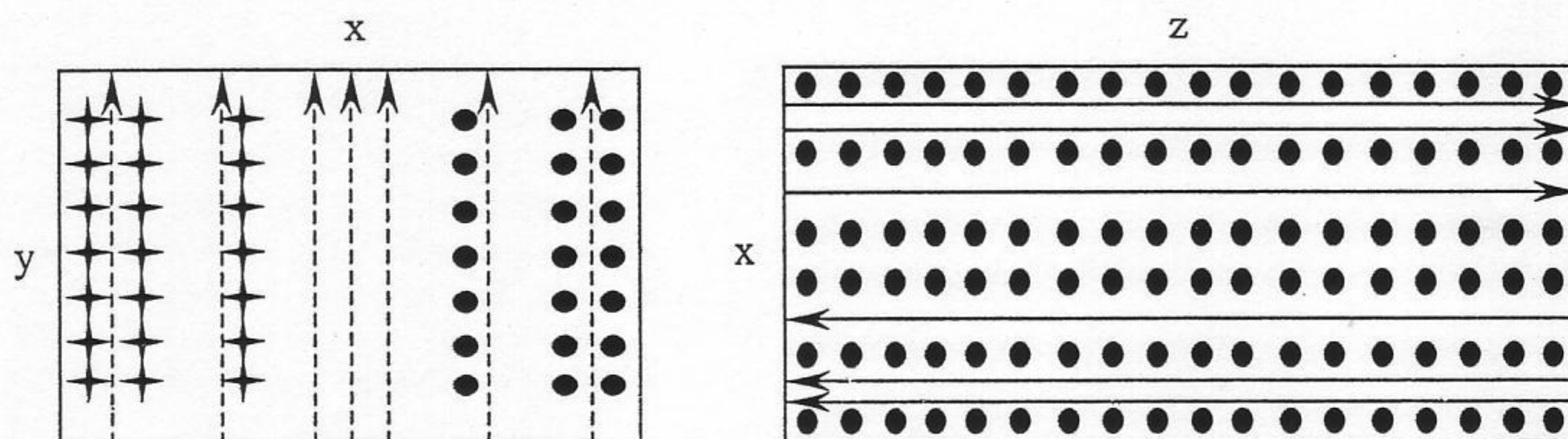
对于 H_{134} 模 $(2m)^2 + (2n)^2 + p^2 = 2^2 + 6^2 + 4^2$

与 H_{134} 模简并的模式有

H_{314} 、 H_{126} 、 H_{216} 、 H_{322} 、 H_{232}

E_{134} 、 E_{314} 、 E_{126} 、 E_{216} 、 E_{322} 、 E_{232}

5、 $l > a > b$ 时, 主模为 E_{100} , $E_z \sim \cos \frac{\pi x}{a}$ $H_y \sim \sin \frac{\pi x}{a}$



实线为电场, 虚线为磁场