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。

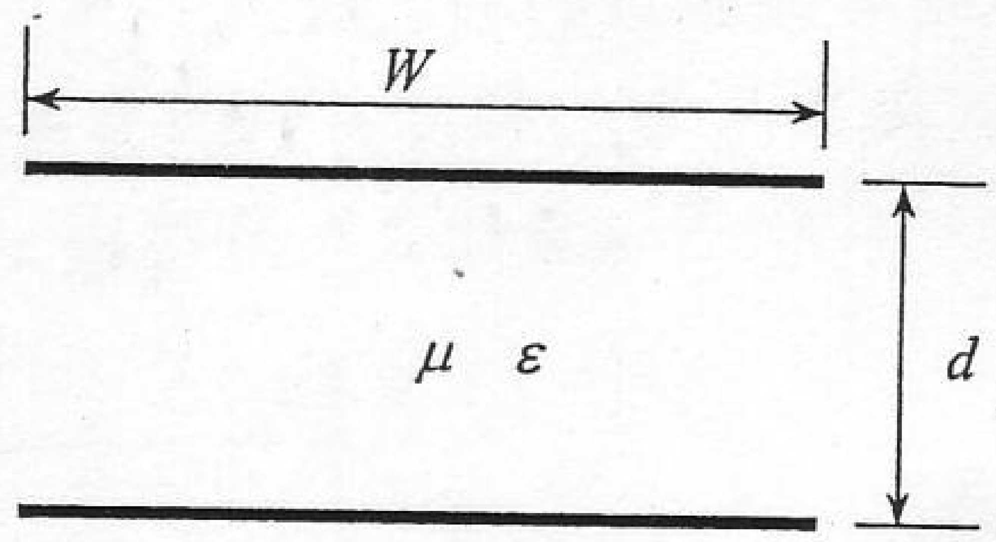
二、试证明，在任意负载条件下，传输线上反射系数和输入阻抗有下列关系：(16 分)

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

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

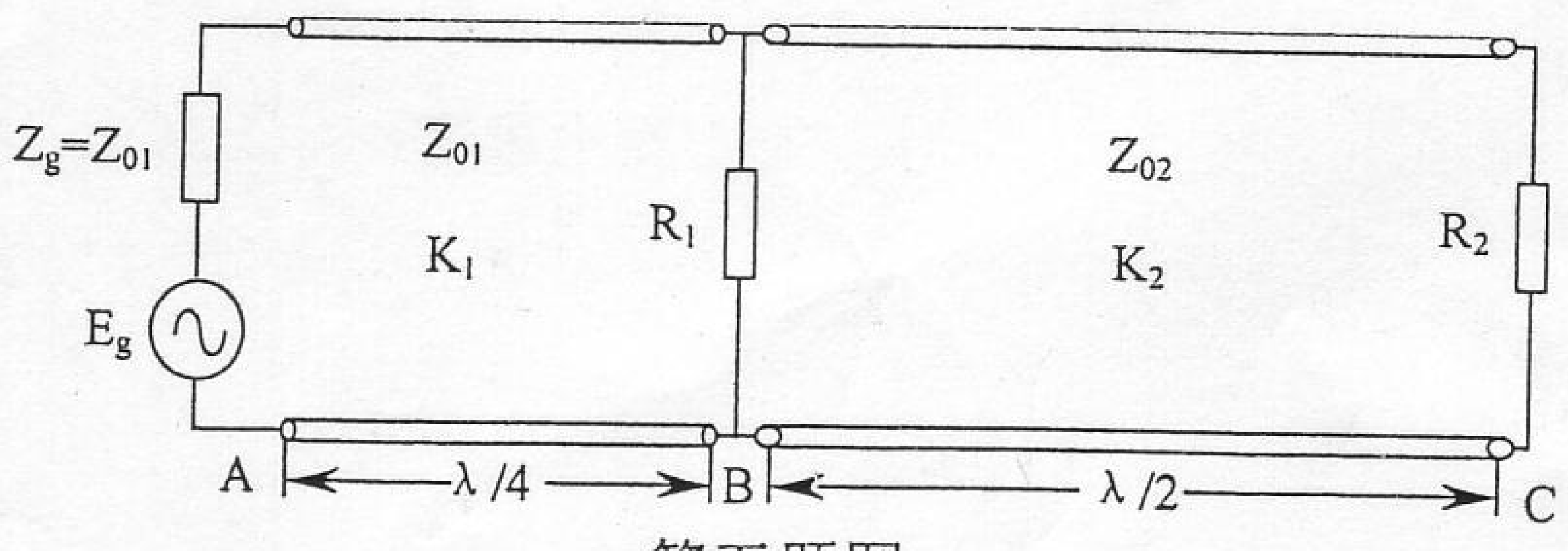
三、利用散射矩阵的性质，证明二端口无耗互易网络的传输矩阵有 $T_{11}^{*}=T_{22}$。(18 分)

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 $C_1=\varepsilon W/d$ 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

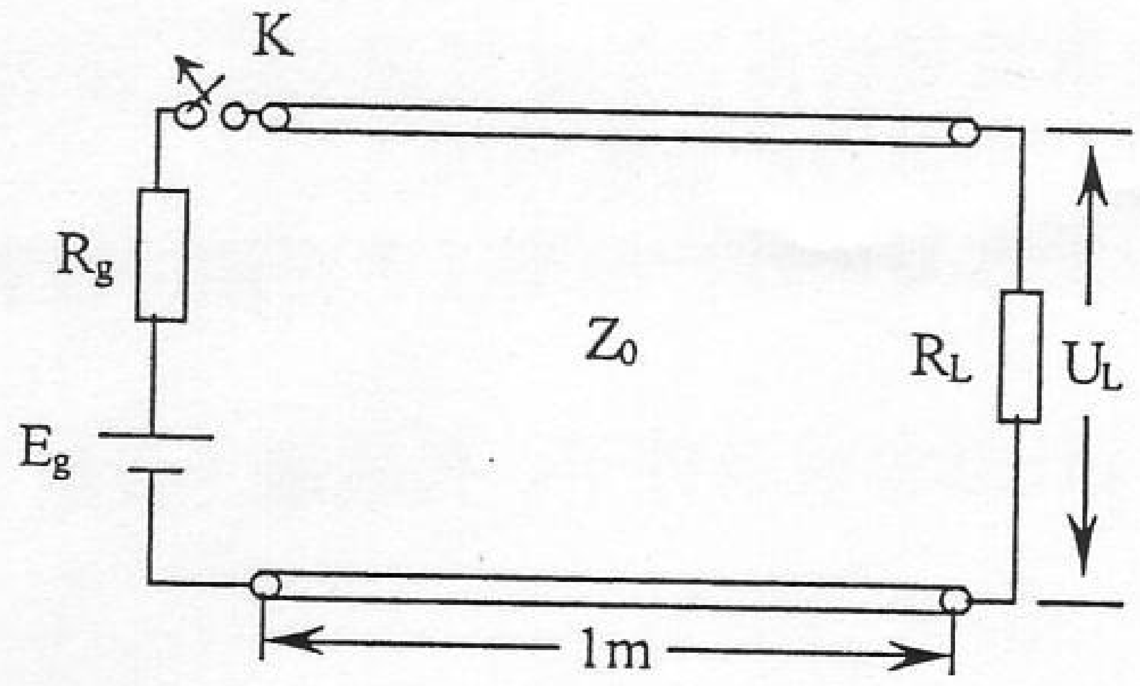
六、如图所示，在 t=0 秒以前电路已达到稳态（K 为闭合状态），在 t=0 秒时刻将开关 K 打开。已知 $R_g=9\,\Omega$，$Z_0=3\,\Omega$，$R_L=1\,\Omega$，$E_g=20V$，且相速为 $v_p=2m/s$，问：(20 分)

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、$t\to\infty$，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)

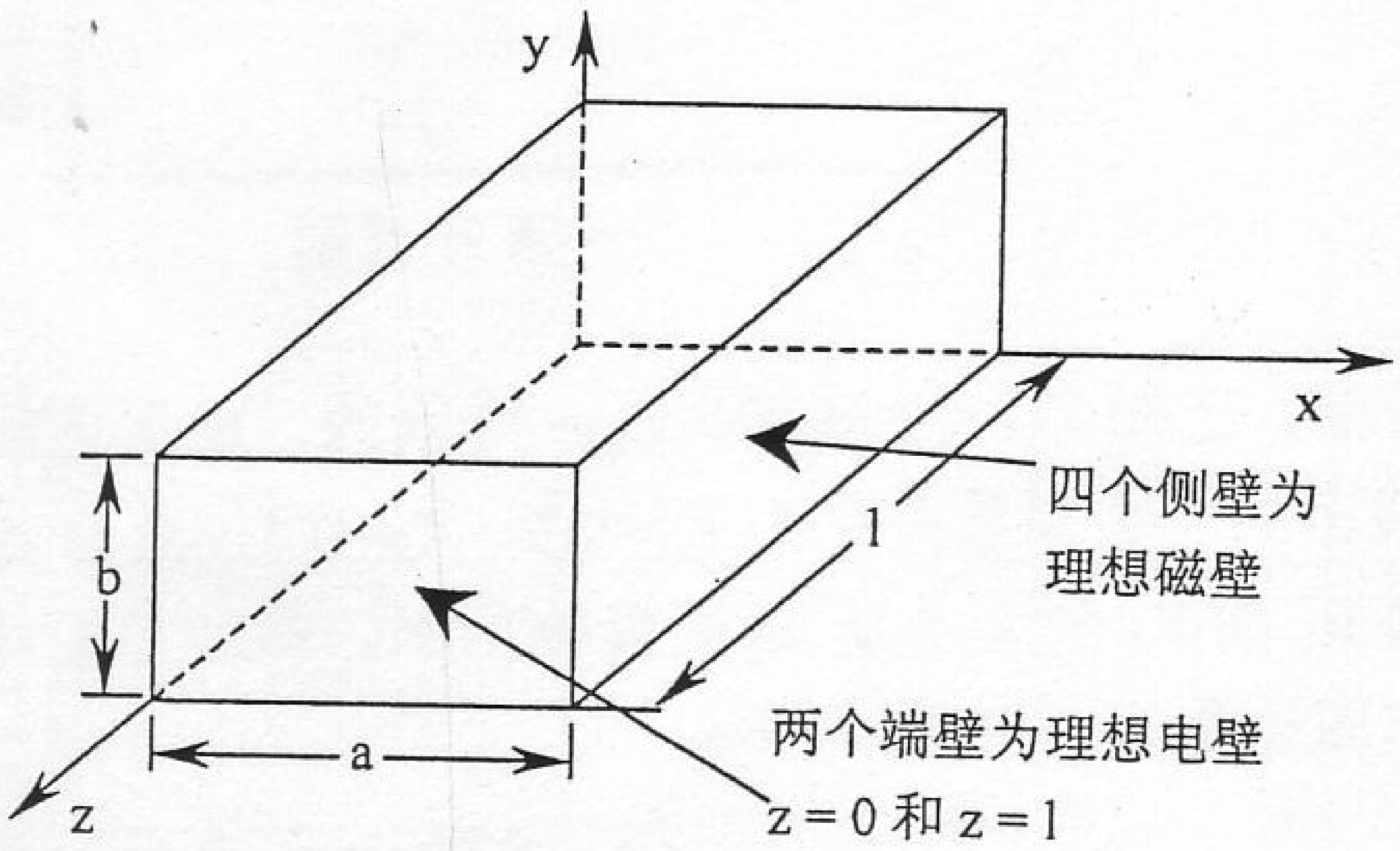
1、列出磁波 H_Z 和电波 E_Z 应满足的波动方程和边界条件。

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

安光

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$\theta_i \geq \theta_c = \sin^{-1}\frac{n_2}{n_1}$（$\theta_c$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θ_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、$Z_{in}(z\pm\frac{\lambda}{4})=Z_0\dfrac{1+\Gamma(z\pm\frac{\lambda}{4})}{1-\Gamma(z\pm\frac{\lambda}{4})}=Z_0\dfrac{1-\Gamma(z)}{1+\Gamma(z)}=Z_0Y_{in}(z)/Y_0=Z_0^2Y_{in}(z)$，得 $Z_{in}(z)/Z_0=Z_0\Big/Z_{in}(z\pm\frac{\lambda}{4})$

三、证明：二端口传输矩阵[T]和散射矩阵[S]的关系为：

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

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

$|S_{12}|^2+|S_{22}|^2=1$ （3）

互易网络满足 $S_{12}=S_{21}$ （4）

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

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

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

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

所以，由（1）式可得 $T_{11}^*=T_{22}$

四、解：对于任意传输线，其单位长度电阻 R_l 为

$$R_1=\omega L_i=\omega\frac{\partial L_1}{\partial n}\frac{\delta}{2}=\frac{R_S}{\mu}\frac{\partial L_1}{\partial n}$$

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 $L_1=Z_0\sqrt{\mu\varepsilon}$，则对于平板传输线

$$\frac{\partial L_1}{\partial n}=\sqrt{\mu\varepsilon}\frac{\partial Z_0}{\partial n}=\sqrt{\mu\varepsilon}\frac{2\partial Z_0}{\partial d}$$

其中双导线的特性阻抗为 $Z_0=\sqrt{\frac{L_1}{C_1}}=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{d}{W}$

则双导线单位长度导体损耗为

$$\alpha_c=\frac{R_1}{2Z_0}=\frac{R_s}{2\mu Z_0}\sqrt{\mu\varepsilon}\frac{2\partial Z_0}{\partial d}=\frac{R_s}{d}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}=\frac{R_s}{d\eta}$$

五、解：B 点为电压波节点，则由 B 点向负载方向的输入阻抗 $R_B=Z_{01}K_1=20\times0.5=10\Omega$

又由 BC 段长为λ/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 $R_2=Z_{02}K_2=50\times0.4=20\Omega$，$R_1=20\Omega$

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 $U_A=\frac{R_A}{R_A+Z_g}E_g=\frac{40\times60}{40+20}=40V$

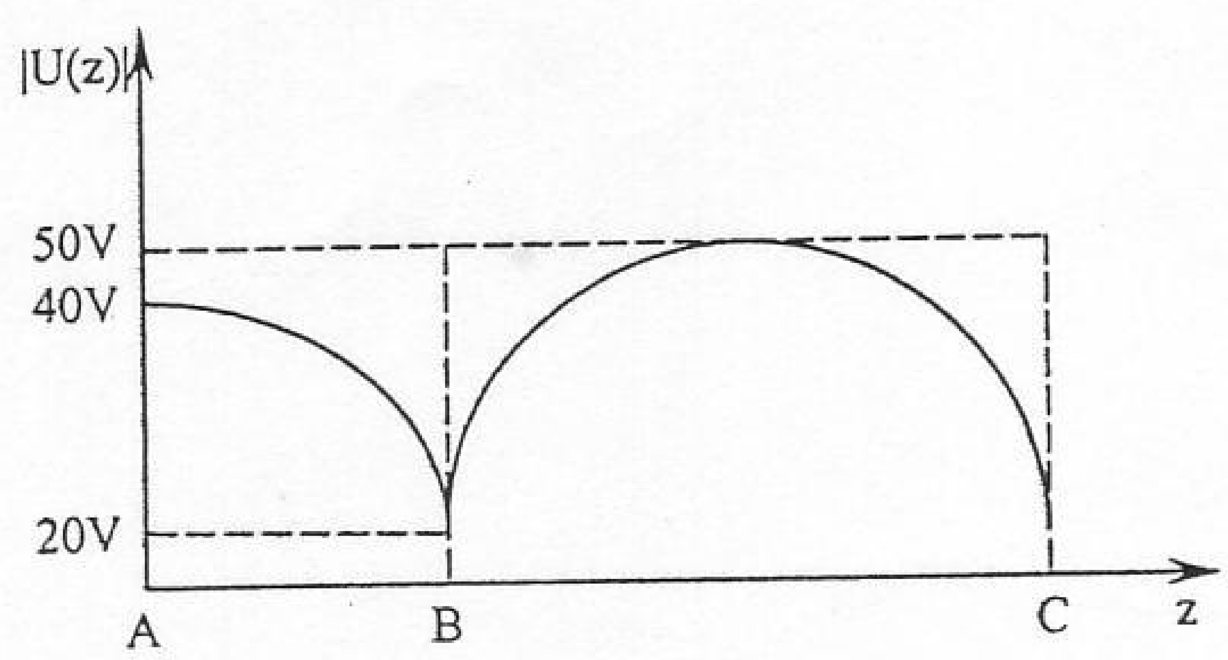
B 点和 C 点波节电压 $U_B=U_C=U_AK_1=40\times0.5=20V$

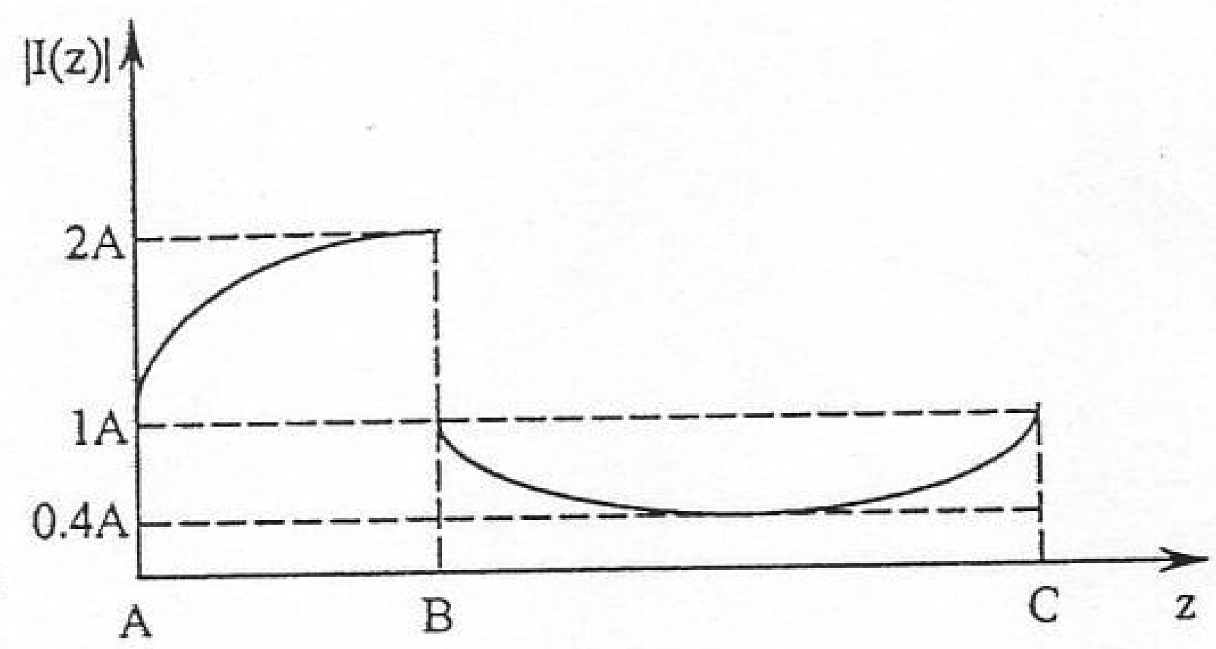
所以 R_2 吸收的功率 $P_2=\frac{1}{2}\frac{U_C^2}{R_2}=\frac{1}{2}\times\frac{20^2}{20}=10W$

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

BC 段的波腹电压为 $U_B/K_2=20/0.4=50V$

BC 段的波节电流为 $I_{B+}K_2=1\times0.4=0.4A$





六、解:

稳态时，源端反射系数 $\Gamma_g=\dfrac{R_g-Z_0}{R_g+Z_0}=0.5$

负载端反射系数 $\Gamma_L=\dfrac{R_L-Z_0}{R_L+Z_0}=-0.5$

沿线稳态电压 $U_L=\dfrac{R_L}{R_g+R_L}E_g=2V$

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，$U_{L0}=U_0=2V$

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

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

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

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

。。。。。。

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

4、t→∞，$U_{L\infty}=\lim\limits_{n\to\infty}(U_0\Gamma_{go}^n(1+\Gamma_L)^n)=\lim\limits_{n\to\infty}(1/2^{n-1})=0V$

七、解:

1、H 波

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

E 波

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

2、$H_z=H_0\sin\dfrac{m\pi}{a}x\cdot\sin\dfrac{n\pi}{b}y\cdot\sin\dfrac{p\pi}{l}z$ m, n, p =1, 2,…。

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

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

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

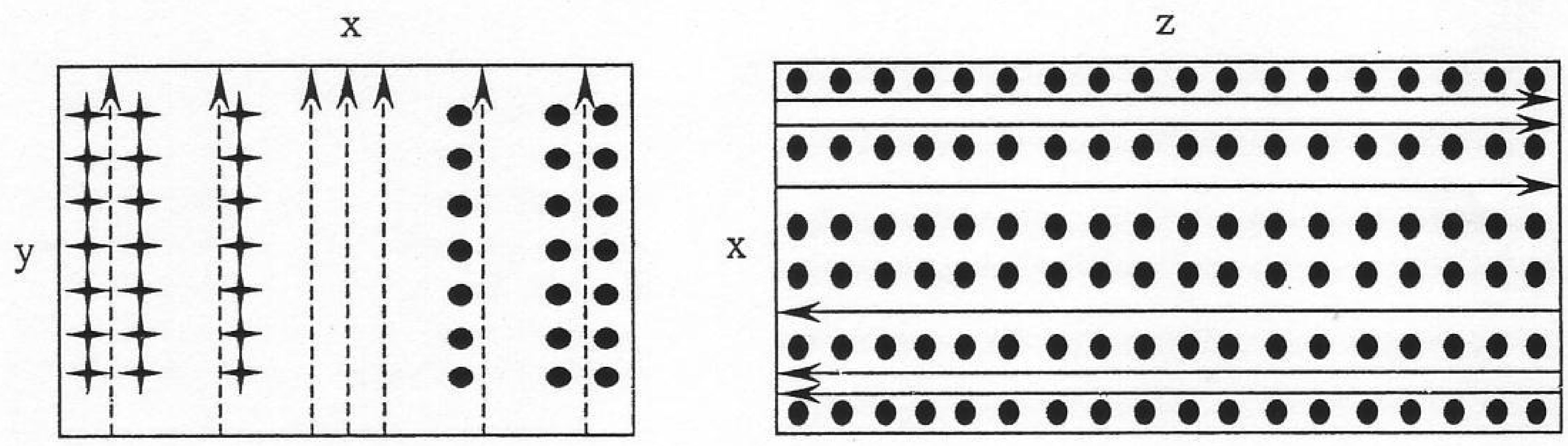
对于 H_{134} 模　$(2m)^2+(2n)^2+p^2 = 2^2+6^2+4^2$

与 H_{134} 模简并的模有

H314、H126、H216、H322、H232

E134、E314、E126、E216、E322、E232

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



实线为电场，虚线为磁场