北京航空航天大学

2005～2006 学年第 一 学期

<u>微波技术</u> 期末考试试卷（A）标准答案及评分标准

一、（本题 35 分）问答题

1． 均匀无耗长线一般有几种工作状态？产生这几种工作状态的条件是什么？

答案：有三种工作状态，分别是行波状态，纯驻波状态，行驻波状态（3 分）

行波状态: 当传输线为无限长或终端接与传输线的特性阻抗相等的纯电阻性负载时（1 分）

纯驻波状态：当传输线终端为短路、开路或终端接纯电抗性负载时（1 分）

行驻波状态：当传输线终端接一个一般性负载 $R+jX$ 时（1 分）

2． 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：$Z_0=\sqrt{\dfrac{L}{C}}$，$\beta=\omega\sqrt{LC}$ （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，$\beta=\dfrac{2\pi}{\lambda}$，$\lambda$ 为线上波长（2 分）

3． 电磁波能在矩形波导中传播的条件是什么？若能传播，可传播的模式有哪些？这些模式完备吗？试说明之（判）

答：导通条件为：$k>k_c$ 或 $f>f_c$ 或 $\lambda<\lambda_c$ **（1 分）**，其中截止波数 $k_c=\sqrt{\left(\dfrac{m\pi}{a}\right)^2+\left(\dfrac{n\pi}{b}\right)^2}$，截止波长 $\lambda_c=\dfrac{2}{\sqrt{(m/a)^2+(n/b)^2}}$，截止频率 $f_c=\dfrac{v}{2}\sqrt{(m/a)^2+(n/b)^2}$；

采用波数、频率、波长三者之一回答即可，若没有写明 k_c、λ_c 或 f_c 具体表达式，得 1 分。

TE_{mn} 模，$m,n=0,1,2...$，m,n 不能同时为 0 **（1 分）**；若未说明模序数 m,n 或，只

回答出TE模，得 0.5 分；TM_{mn}模，$m,n=1,2...$，m,n均不能为 0（**1 分**）；若未说明模序数m,n，只回答出TM模，得 0.5 分。

是完备的（**1 分**）。其完备性是由三角函数（包括正弦函数和余弦函数）的完备性确定的，可证明，矩形波导中任何可能存在的场，都可以用TE_{mn}和TM_{mn}模的线性叠加来表示，因而它们是完备的（**1 分**）。

4．写出归一化等效电压与非归一化等效电压、归一化等效电流与非归一化等效电流之间的关系。

$\bar{V}=V/\sqrt{Z_0}$（2 分）　$\bar{I}=I\sqrt{Z_0}$（2 分）（Z_0为传输线的等效特性阻抗 1 分）

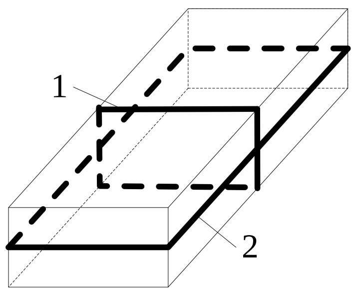
5．证明在任意负载条件下，线上反射系数满足$\Gamma(z)=-\Gamma(z\pm\lambda/4)$。

答案：$\Gamma(z)=\Gamma_2 e^{-j2\beta z}$（2 分）

$$\Gamma(z\pm\lambda/4)=\Gamma_2 e^{-j2\beta(z\pm\lambda/4)}=\Gamma_2 e^{-j2\beta z-j\pi}=-\Gamma_2 e^{-j2\beta z}$$（2 分）

Γ_2为终端处的反射系数

6．如图示，绘出矩形波导主模在截面 1、2 的电力线和磁力线分布示意图，并在截面 2 上指示出波的传播方向（判）



答：在截面 1 应绘出电磁场振幅力线图，电力线如图 1 蓝线所示（**1 分**），磁力线如图 1 红线所示（**1 分**）。
在截面 2 应绘出电磁场对应于某一时刻的瞬时场力线图，电力线如图 2 蓝线所示（**1 分**），磁力线如图中红线所示（**1 分**）。
根据坡印亭矢量的方向，波的传播方向应为从左向右（**1 分**）。

传播方向

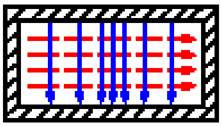


图 1

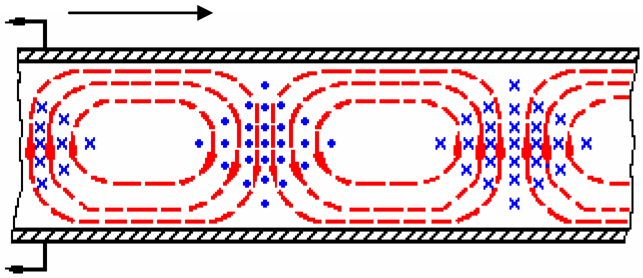


图 2

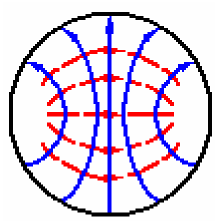
7. 圆波导内存在哪两种简并现象？其传输主模是什么？该模式截止波长与横截面圆半径 *a* 有什么关系？绘出该模式在横截面上电力线和磁力线分布示意图

存在 E-H 简并**（1 分）**和极化简并**（1 分）**;

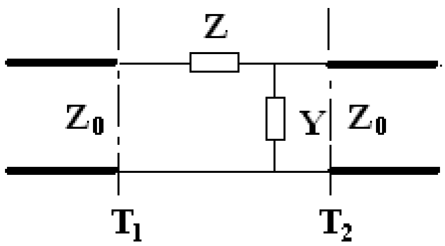
传输主模为 H_{11}^{O} 模**（1 分）**;

截止波长为 3.41a**（1 分）**;

电力线**（0.5 分）**和磁力线**（0.5 分）**（均指横截面振幅力线）示意图如下图示:



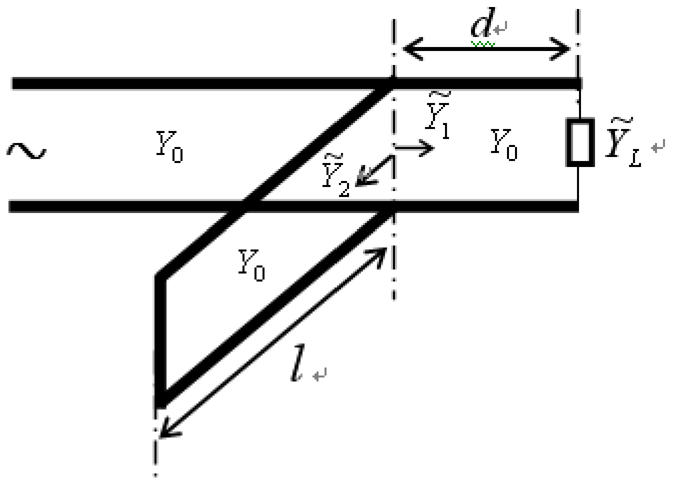
二、（本题 5 分）写出如图所示 T_1、T_2 参考面间电路的归一化转移矩阵 $[\bar{A}]$

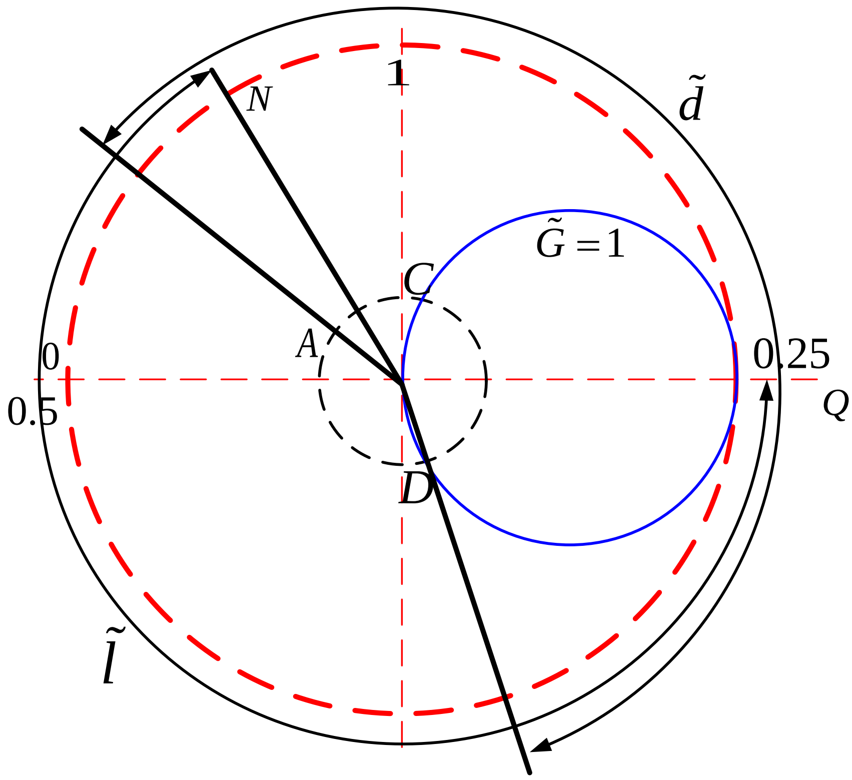


$$A=\begin{bmatrix}1 & Z\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\\ Y & 1\end{bmatrix}(2分)=\begin{bmatrix}1+ZY & Z\\ Y & 1\end{bmatrix}(1分)$$

$$\bar{A}=\begin{bmatrix}1+ZY & \bar{Z}\\ \bar{Y} & 1\end{bmatrix}$$ （2 分）

三、（本题 10 分）用圆图说明并联单枝节匹配的原理。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）

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

（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）

四、（本题 15 分）用空气填充的 BJ-100（$a\times b$=22.86 mm×10.16mm）矩形波导以主模传播 10GHz 的微波信号，求

（1）主模的截止波长 λ_c、波导波长 λ_g、传播常数 β 和波阻抗 η

波在空气的波长 $\lambda = c/f = 30\,\text{mm}$，波阻抗 $\eta_0 = \sqrt{\dfrac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi\ \Omega$，

波型因子 $G = \sqrt{1-(\lambda/\lambda_c)^2} = 0.7546$

$\lambda_c = 2a = 45.72\,\text{mm}$（**1 分**）； $\lambda_g = \dfrac{\lambda}{G} = 39.76\,\text{mm}$（**1 分**）；

$\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda_g} = 0.158\,\text{rad/mm}$（**1 分**）；或 $\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda} G = 0.158\ \ \text{rad/mm}$（$\beta = 158\,\text{rad/m}$）。

$\eta_{TE_{10}} = \dfrac{\eta_0}{G} = 499.58\ \Omega$ （**1 分**）

计算公式正确，结果错误，给一半分。

（2）（定性说明）若波导宽边尺寸增加一倍，上述各量如何变化？

$\lambda_c = 91.44\,\text{mm}$（**1 分**），$G = 0.9446$

$\lambda_g = \dfrac{\lambda}{G} = 31.76\,\text{mm}$（**1 分**），$\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda} G = 0.1978\,\text{rad/mm}$（**1 分**），

$\eta_{TE_{10}} = \dfrac{\eta_0}{G} = 399.08\ \Omega$ （**1 分**）

（3）若尺寸不变，工作频率变为 15GHz，此时波导中可能有哪几个模式传播？主模的截止波长 λ_c、波导波长 λ_g、传播常数 β 和波阻抗 η 又为多少?

频 率 改 变 ， 对 应 空 气 中 波 长 为 $\lambda = 20$ mm ， 导 通 条 件 为

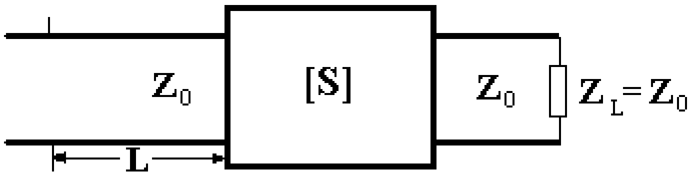
$\lambda < (\lambda_c)_{mn} = \dfrac{2}{\sqrt{\left(\dfrac{m}{a}\right)^2 + \left(\dfrac{n}{b}\right)^2}}$，即应该有 $0.1914m^2 + 0.9688n^2 < 1$，解得 $\begin{cases} m=1 \\ n=0 \end{cases}$、$\begin{cases} m=2 \\ n=0 \end{cases}$、$\begin{cases} m=0 \\ n=1 \end{cases}$，可知波导内可传播 H_{10} 模**（1 分）**、H_{20} 模**（1 分）**、H_{01} 模**（1 分）**。

此时主模波型因子 $G = \sqrt{1-(\lambda/\lambda_c)^2} = 0.8992$，故有

$\lambda_c = 2a = 45.72\,\text{mm}$**（1 分）**，$\lambda_g = \dfrac{\lambda}{G} = 22.24\,\text{mm}$**（1 分）**

$\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda_g} = 0.2825\,\text{rad/mm}$**（1 分）**，$\eta_{TE_{10}} = \dfrac{\eta_0}{G} = 419.23\ \Omega$**（1 分）**

五、（本题 10 分）如图所示一无耗对称双端口网络，输出端口接匹配负载，距输入端口 $L = 0.125\lambda$ 处为电压波节点，$\rho = 1.5$，求该网络的 $[S]$ 矩阵。



根据无耗对称，有：

$$s_{11} = s_{22} \quad （1.5 分）$$

$$s_{12} = s_{21} \quad （1.5 分）$$

$$|s_{11}|^2 + |s_{21}|^2 = 1 \quad （1.5 分）$$

$$\theta_{12} = \theta_{21} = \theta_{11} \pm \frac{\pi}{2} \quad （1.5 分）$$

$|s_{11}| = \dfrac{\rho-1}{\rho+1} = \dfrac{1.5-1}{1.5+1} = 0.2$

$|s_{22}| = 0.2$ (1 分)

$|s_{21}| = \sqrt{1-0.2^2} = 0.9797$

$|s_{12}| = 0.9797$

s_{11}的相角为：$\theta_{11} = \pi + 2\times\beta\times\dfrac{\lambda}{8} = \pi + \dfrac{\pi}{2} = \dfrac{3\pi}{2}$ （2 分）

$$\theta_{22} = \frac{3\pi}{2}$$

$$\theta_{12} = \theta_{21} = \frac{3\pi}{2} \pm \frac{\pi}{2} = \pi(2\pi)$$ （1 分）

六、（本题 10 分）实验测得某二端口网络的 $[S]$ 矩阵为：

$$[s] = \begin{bmatrix} 0.1\angle 0^0 & 0.8\angle 90^0 \\ 0.8\angle 90^0 & 0.2\angle 0^0 \end{bmatrix}$$

（1）此二端口网络是否为互易网络，是否为无耗网络？说明原因。

（2）若输出端口短路，求输入端口的驻波比。

由 $S_{12} = S_{21}$，此二端口网络是互易网络；（1 分）

由 $[S]^+[S] = \begin{bmatrix} 0.1 & -j0.8 \\ -j0.8 & 0.2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0.1 & j0.8 \\ j0.8 & 0.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.74 & -j0.08 \\ j0.08 & 0.68 \end{bmatrix}$ 不为单位阵，此二端口网络非无耗网络；（2 分）

$$\begin{cases} b_1 = s_{11}a_1 + s_{12}a_2 \\ b_2 = s_{21}a_1 + s_{22}a_2 \end{cases}$$ （2 分）

输出端短路 $\frac{a_2}{b_2} = -1 \to b_2 = -a_2$（2 分）

代入（2）得到 $a_2 = \frac{-s_{21}}{s_{22}+1}a_1$

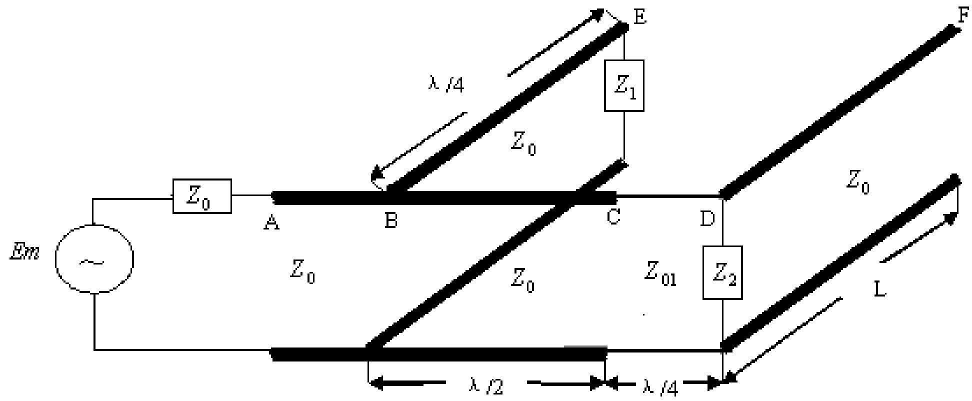
代入（1）得：

$b_1 = s_{11}a_1 - \frac{s_{12}s_{21}}{s_{22}+1}a_1 \to \quad \Gamma_1 = \frac{b_1}{a_1} = s_{11} - \frac{s_{12}s_{21}}{s_{22}+1} = 0.1 - \frac{j0.8 \times j0.8}{0.2+1} = 0.633$（2 分）

$\rho = \frac{1+|\Gamma_1|}{1-|\Gamma_1|} = 4.45$（1 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$Z_{BC} = 200\Omega$

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

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

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

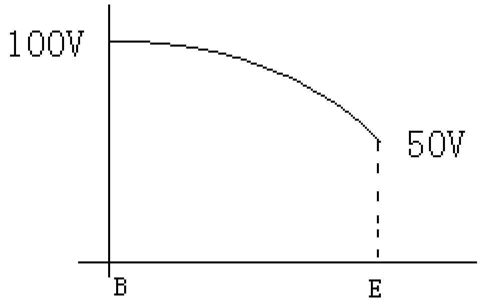
$Y_L = 1$，$R_L = 1\Omega$

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

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

2）BE 段驻波比$\rho = \frac{100}{50} = 2$

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



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

两个分支相同，所以$P_{负载} = 25\mathrm{W}$

Z_2吸收的功率等于总功率减去Z_1吸收的功率

$P_{负载} = 50\mathrm{W} - 25\mathrm{W} = 25\mathrm{W}$