北京航空航天大学

2006～2007 学年第 一 学期

微波技术 期末考试试卷（A）标准答案及评分标准

一、简答题（每小题 3 分）

1、 如何判断长线和短线？

答：长线是传输线几何长度 l 与工作波长 λ 可以相比拟的传输线（1.5 分），（必须考虑波在传输中的相位变化效应），短线是几何长度 l 与工作波长 λ 相比可以忽略不计的传输线（1.5 分）。（界限可以认为是$l/\lambda \geq 0.05$）。

2、 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）。

3、 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）

色散模式传输线：波导（0.5 分）

非色散模式传输线：同轴，平行双导体，微带。（0.5 分）

4、 均匀无耗长线有几种工作状态？条件是什么？

答：均匀无耗长线有三种工作状态，分别是驻波、行波与行驻波。（1.5 分）

驻波：传输线终端开路、短路或接纯电抗；（0.5 分）

行波：半无限长传输线或终端接负载等于长线特性阻抗；（0.5 分）

行驻波：传输线终端接除上述负载外的任意负载阻抗；（0.5 分）

5、 什么是波导中的模式简并？矩形波导和圆波导中的简并有什么异同？

答：不同模式具有相同的特性（传输）参量叫做模式简并。（1 分）

矩形波导中，TE_{mn}与TM_{mn}（m、n均不为零）互为模式简并。（1 分）

圆波导的简并有两种，一种是极化简并。其二是模式简并，（1 分）

6、 空气填充的矩形波导（宽边尺寸为 a，窄边尺寸为 b）中，要求只传输 H_{10} 波型，其条件是什么？

答：由于 H_{10} 的截止波长 $\lambda_c = 2a$，而 H_{20} 的截止波长为 a，H_{01} 的截止波长为 $2b$，若保证 H_{10} 单模传输，因此传输条件 $\max(a, 2b) < \lambda < 2a$（3 分）。

答对 $\lambda < 2a$（1 分）

$a < \lambda < 2a$（2 分）

或 $2b < \lambda < 2a$（2 分）

$a < \lambda < 2a$ 或 $2b < \lambda < 2a$（2.5 分）

7、 说明二端口网络 S 参量的物理意义？

答：S_{11},1 端口接源，2 端口接匹配负载，1 端口的电压反射系数；

S_{22}：2 端口接源，1 端口接匹配负载，2 端口的电压反射系数；

S_{12}：2 端口接源，1 端口接匹配负载，2 端口到 1 端口的电压传输系数；

S_{21}：1 端口接源，2 端口接匹配负载，1 端口到 2 端口的电压传输系数；

对角元答对第 1 个给 1 分，答对第 2 个加 0.5 分；

非对角元答对第 1 个给 1 分，答对第 2 个加 0.5 分；

8、 **写出理想移相器的散射矩阵**

答：$\begin{bmatrix} 0 & e^{-j\theta} \\ e^{-j\theta} & 0 \end{bmatrix}$

写出 2×2 矩阵形式给 1 分，每个元素 0.5 分；

9、 一个微波网络的“某端口匹配”与“某端口接匹配负载”物理含义有何不同？

答：某端口匹配是指该端口无反射，出波为零（1.5 分）；某端口接匹配负载是指负载无向该端口的反射，该端口入波为零（1.5 分）。

10、什么叫截止波长？为什么只有波长小于截止波长的波才能够在波导中传播？

$\lambda_c = \dfrac{2\pi}{k_c} \qquad k_c^2 = k^2 + \gamma^2$（1 分）

波长只有小于截止波长，该模式才能在波导中以行波形式传输（1 分），当 $\lambda > \lambda_c$ 时，为迅衰场，非行波（1 分）。

二、（本题 15 分）一空气介质无耗传输线上传输频率为 3GHz 的信号，已知其特性阻抗

$Z_0=75\Omega$，终端接有 $Z_L=150\Omega$ 的负载。求：

⑴线上驻波比 ρ；

⑵沿线电压反射系数 $\Gamma(z)$；

⑶距离终端 $l=12.5\text{cm}$ 处的输入阻抗 $Z_{in}(l)$ 和电压反射系数 $\Gamma(l)$

解：(1) $\Gamma_2=\dfrac{Z_L-Z_0}{Z_L+Z_0}=\dfrac{150-75}{150+75}=\dfrac{1}{3}$ （2.5 分）

$$\rho=\frac{1+|\Gamma_2|}{1-|\Gamma_2|}=\frac{1+\frac{1}{3}}{1-\frac{1}{3}}=2$$ （2.5 分）

(2) $\Gamma(z)=\Gamma_2 e^{-j2\beta z}=\dfrac{1}{3}e^{-j2\beta z}$ （3 分）

(3) 输入阻抗 $Z_{in}(l)=Z_0\dfrac{Z_L+jZ_0\tan\beta l}{Z_0+jZ_L\tan\beta l}$

$$\lambda=\frac{c}{f}=10cm$$ （1 分）

$$l=12.5\text{cm}=\frac{5}{4}\lambda,$$ （1 分）

$$Z_{in}\left(\frac{5}{4}\lambda\right)=\frac{Z_0^2}{Z_L}=\frac{75^2}{150}=37.5\Omega$$ （3 分）

$$\Gamma(\frac{5}{4}\lambda)=\frac{1}{3}e^{-j2\beta z}=\frac{\sqrt{2}}{2}e^{-j2\cdot\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{5}{4}\lambda}=\frac{1}{3}e^{-j5\pi}=-\frac{1}{3}$$ （2 分）

解法二：

(1) $\tilde{Z}_L=\dfrac{Z_L}{Z_0}=\dfrac{150}{75}=2$

在等阻抗圆 $\tilde{R}=2$ 与 $\tilde{X}=0$ 的交点即为 $\tilde{Z}_L$ 的对应点，标记为 A。（2.5 分）

以 O 为圆心、线段 OA 为半径的圆即等 Γ 圆，其与正实轴的交点为

$\tilde{R}(\max)=2=\rho$ （2.5 分）

(2) $|\Gamma|=\dfrac{\rho-1}{\rho+1}=\dfrac{2-1}{2+1}=\dfrac{1}{3}$，沿线电压反射系数即为 $\Gamma(z)=|\Gamma|e^{-j2\beta z}=\dfrac{1}{3}e^{-j2\beta z}$ （3

分）

(3) $\lambda = \dfrac{c}{f} = 10cm$（1 分）

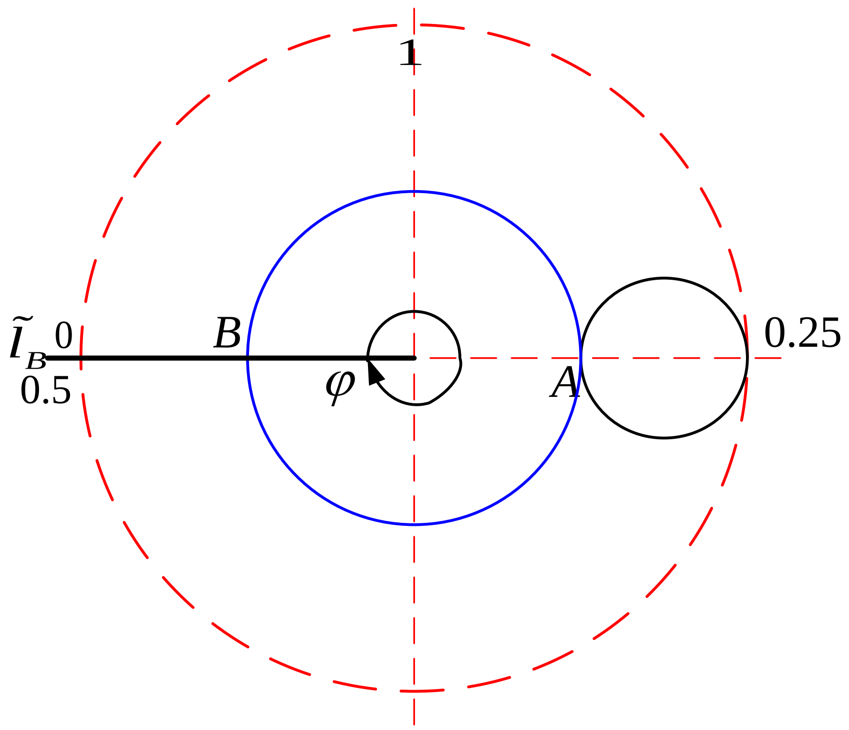
$l = 12.5\text{cm} = \dfrac{5}{4}\lambda$ （1 分）

A 点沿等Γ圆顺时针转$\tilde{l}_B = 1.25$处 B 读出归一化阻抗$\tilde{Z}_B$，可以得到输入阻抗

$Z_{in}(l) = Z_0 \times \tilde{Z}_B$（3 分）

连接圆心 O 和 B 点交点读出反射系数的角度φ

$\Gamma(z) = |\Gamma| e^{-j\varphi}$（2 分）



三、（本题 15 分）一空气填充的矩形波导（$a = 22.86mm$，$b = 10.16mm$），信号的工作频率为 10GHz。求:

(1)波导中主模的波导波长λ_g，相速v_p和能速v_g；

(2) 若尺寸不变，工作频率变为 15GHz，除了主模，还能传输什么模？

解：(1)工作频率 $f = 10\text{GHz}$，空气填充，因此

$\lambda = \dfrac{c}{f} = \dfrac{3\times10^{11}}{10\times10^{9}}$ mm=30mm　（1 分）

$\lambda = 30mm < 2a = 2\times22.86 = 45.72mm$

主模TE_{10}能够传输；　（2 分）

传输参数：

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = 39.5\text{mm}$$　（2 分）

$$v_p = \frac{v}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = 3.975\times10^8\text{m/s}$$（2 分）

$$v_g = v\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} = 2.264\times10^8\text{m/s}$$（2 分）

（2）$\lambda = \dfrac{c}{f} = \dfrac{3\times10^{11}}{15\times10^{9}}$ mm=20mm　（1 分）

主模 H_{10} 截止波长 $\lambda_c = 2a = 45.72\text{mm}$

H_{20} 截止波长为 $\lambda_c = a = 22.86\text{mm}$　（2 分）

H_{30} 截止波长为 $\lambda_c = 2/3a = 15.24\text{mm}$

H_{01} 截止波长为 $\lambda_c = 2b = 20.32\text{mm}$（2 分）

因此可以确定除了主模 H_{10} 外，还能传输 H_{20} 模和 H_{01} 模　（1 分）

四、（本题 15 分）有一个无耗互易的四端口网络，其散射矩阵为$[S] = \dfrac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & j & 0 & 1 \\ j & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$。

当端口 1 的微波输入功率为 P_1（其输入归一化电压波为 a_1），而其余端口均接匹配负载时：

⑴ 求网络第 2，3，4 端口的输出功率；

⑵ 求网络第 2，3，4 端口的输出信号相对于第 1 端口输入信号的相位差；

⑶ 当第 2 端口接一个反射系数为 Γ 的负载时，第 3，4 端口的输出信号（即输出归一化电压波 b_3，b_4）是什么？

解：

（1） 2 端口的输出功率：$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 P_1 = \frac{P_1}{2}$ （1 分）

3 端口的输出功率：0 （1 分）

4 端口的输出功率：$\left(\frac{j}{\sqrt{2}}\right)^2 P_1 = \frac{P_1}{2}$ （1 分）

（2）2 端口的输出信号相对于 1 端口输入信号的相位差：S_{21} 的相角 0°（1 分）

3 端口无输出信号（1 分）

4 端口的输出信号相对于 1 端口输入信号的相位差：S_{41} 的相角 $\frac{\pi}{2}$（1 分）

(3)

$b_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}a_2 + \frac{j}{\sqrt{2}}a_4$ （1 分）

$b_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}a_1 + \frac{j}{\sqrt{2}}a_3$ （1 分）

$b_3 = \frac{j}{\sqrt{2}}a_2 + \frac{1}{\sqrt{2}}a_4$ （1 分）

$b_4 = \frac{j}{\sqrt{2}}a_1 + \frac{1}{\sqrt{2}}a_3$ （1 分）

由已知：$\frac{a_2}{b_2} = \Gamma$ （1 分）$a_3 = 0$ （1 分） $a_4 = 0$ （1 分）

$b_4 = \frac{j}{\sqrt{2}}a_1$ （1 分）

$b_3 = \frac{j}{2}\Gamma a_1$ （1 分）

五、（本题 15 分）⑴ 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。

⑵ 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) $$(P_+)_i = \frac{1}{2}|a_i|^2$$ (2 分)

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

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

$$[a]^+ = [a]^{*T} = \begin{bmatrix} a_1^* & a_2^* & \cdots & a_n^* \end{bmatrix}$$

$$[b]^+ = \begin{bmatrix} b_1^* & b_2^* & \cdots & b_n^* \end{bmatrix}$$

对任一端口，如对 i 口

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

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：

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

$$P_- = \frac{1}{2}[b]^+[b]$$ （2 分）

根据网络无耗的已知条件：$P_+=P_-$ （2 分）

即有：$[a]^+[a]=[b]^+[b]$ (*)（1 分）

又根据定义 **$[b]=[S][a]$，** 有$\boldsymbol{[b]^+=([S][a])^+=[a]^+[S]^+}$ （2 分）

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

移项 $\boldsymbol{[a]^+([1]-[S]^+}[S])[a]=0$

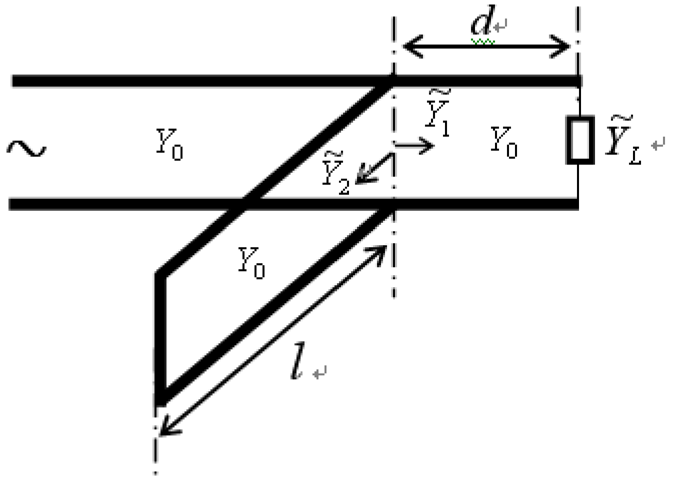
上式对任意入波 $[a]$ 都应成立

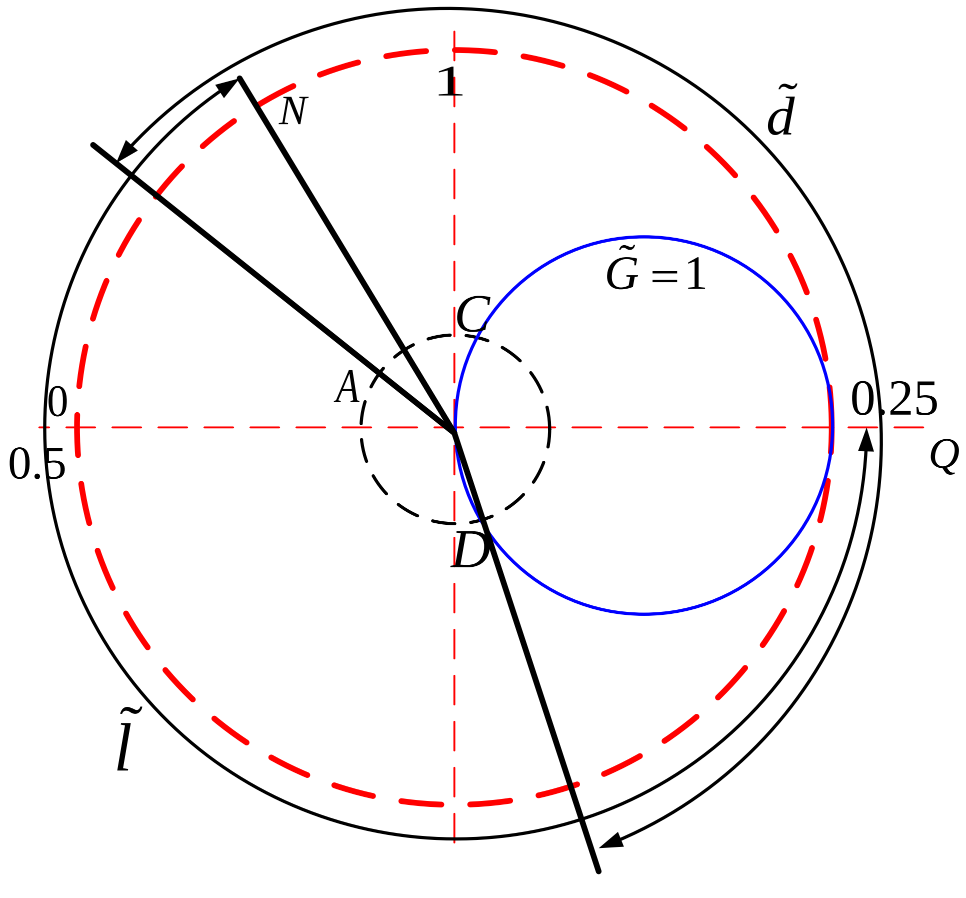
故必有： $\boldsymbol{[1]-[S]^+}[S]=0$

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）

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

（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）