浙江大学 20__14__－20__15__学年__春夏__学期

《电磁场与电磁波》课程期末考试试卷

课程号：___11120010_______，开课学院：___信电学院_______

考试试卷：√A 卷、B 卷（请在选定项上打√）

考试形式：闭、√开卷（请在选定项上打√），允许带___课本___入场

考试日期：_2015__年__7__月_4__日，考试时间：__120__分钟

诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。

考生姓名：______________学号：______________所属院系：_______________

题序	一	二	三-1	三-2	三-3	**总 分**
得分						
评卷人						

一、 **单项选择题(每小题 2 分，共 30 分)**

1. 均匀平面波的电场为 $\vec{E}=\hat{x}E_0\sin(\omega t-kz)+\hat{y}E_0\cos(\omega t-kz)$，则表明此波是（ B ）

   A. 线极化波 B. 圆极化波 C. 椭圆极化波 D. 不确定

2. 均匀平面波从波阻抗为 Z_1 的无耗介质垂直入射至波阻抗为 Z_2 的无耗介质，若 $Z_1>Z_2$，则两种介质中电磁波功率的时间平均值 P_{av} 的关系为（ A ）

   A. $P_{av1}=P_{av2}$ B. $P_{av1}>P_{av2}$ C. $P_{av1}<P_{av2}$ D. 不确定

3. 若介质1为完纯介质，其介电常数 $\varepsilon_1=2\varepsilon_0$，磁导率 $\mu_1=\mu_0$，电导率 $\sigma_1=0$；介质2为空气。平面电磁波由介质1向分界平面上斜入射，入射波电场强度与入射面平行，若入射角 $\theta=\frac{\pi}{4}$，则介质2中折射波的折射角为（ B ）

   A. $\frac{\pi}{4}$ B. $\frac{\pi}{2}$ C. $\frac{\pi}{3}$ D. $\frac{\pi}{6}$

4. 对于群速 v_g 与相速 v_p，以下说法**正确**的是（ D ）

   A. 真正体现信息传播速度的是相速 B. 群速一定大于相速

   C. 无色散时，群速与相速不相等 D. 同轴线工作于 TEM 模时，相速与群速相等

5. 对于 TE、TM 和 TEM 模，以下说法**正确**的是（ C ）

A. TE 和 TM 模与坐标选取无关　　　　　B. 矩形波导中能传输 TE、TM、TEM 模

C. 任何一列波都能分解为 TE、TM 模的组合

D. 对于同一介质同一坐标系，TE 和 TM 模的特征阻抗相同

6. 已知在介电常数为 $\varepsilon = 2\varepsilon_0$ 的均匀介质中存在电场强度分布 $\vec{E} = \hat{x}x + \hat{y}(2y + x^2)$，则介质中的自由电荷体密度为（　D　）

A. $2\varepsilon_0$　B. $3\varepsilon_0$　C. $4\varepsilon_0$　D. $6\varepsilon_0$

7. 时变场中，矢量位 A 和标量位 Φ 二者是（　B　）的。

A. 由库仑规范相互联系　B. 由洛仑兹条件相互联系　C. 由散度定理相互联系　D. 彼此独立

8. 空气（ε_0）与电介质（$4\varepsilon_0$）的分界面是 z=0 的平面，若已知空气中的电场强度 $\vec{E} = \hat{x}2 + \hat{z}4$，则电介质中的电场强度应为（　B　）

A. $\vec{E} = \hat{x}2 + \hat{z}16$　B. $\vec{E} = \hat{x}2 + \hat{z}$　C. $\vec{E} = \hat{x}8 + \hat{z}4$　D. $\vec{E} = \hat{x}2 + \hat{z}8$

9. 电偶极子的远区辐射场是（　B　）

A. 非均匀平面波　B. 非均匀球面波　C. 均匀球面波　D. 均匀平面波

10. 已知均匀导波系统中电磁波沿 z 方向传播，则 TE 波的场量满足关系（　A　）

A. $\vec{E} = \frac{\omega\mu}{k_z}\vec{H} \times \hat{z}$　B. $\vec{H} = \frac{\omega\mu}{k_z}\hat{z} \times \vec{E}$　C. $\vec{E} = \frac{\omega\mu}{k_z}\hat{z} \times \vec{H}$　D. $\vec{E} = \frac{\omega\varepsilon}{k_z}\vec{H} \times \hat{z}$

11. 理想无耗传输线终端开路，则开路端的电压反射系数为_______，距离开路段 $\lambda_g / 4$ 处的电压反射系数为_______（　C　）

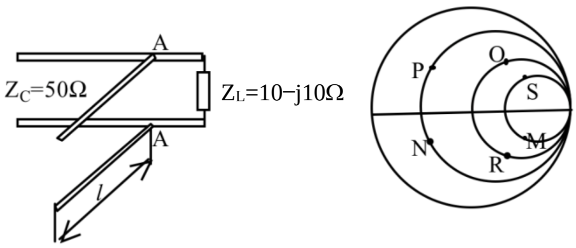
A. -1, -1　B. -1, +1　C. +1, -1　D. +1, +1

12. 在微波阻抗匹配电路中，不可以使用（　C　）

A. 电感　B. 电容　C. 电阻　D. 传输线

13. 如下图所示，一个 10−j10Ω的负载接特征阻抗为 50Ω的传输线时，在阻抗圆图上的位置大致在（　B　）

A．M 点　B. N 点　C. P 点　D. S 点

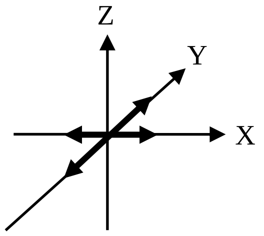


14. 上题中为了消除负载处的反射，用单可变电纳匹配器进行匹配，在 AA 面处接入一终端短路的传输

线，已知负载经过主传输线到达 AA 面处的导纳为上面导纳圆图的 O 点，问并联短路传输线的最短长度 l 为（　A　）

A. $l<\lambda/8$　B. $\lambda/8<l<\lambda/4$　C. $\lambda/4<l<3\lambda/8$　D. $3\lambda/8<l<\lambda/2$

15. 如图所示，有两个电基本振子，分别沿 X 和 Y 轴分布。设电流分别为 $I\cos(\omega t)$ 和 $I\sin(\omega t)$， 长度皆为 Δl。忽略振子间的耦合。则+X 轴上和+Z 轴上远场点的电场极化状态分别为 （　D　）



A. 左旋圆极化；右旋圆极化；　B. 右旋圆极化；左旋圆极化

C. 线极化；左旋圆极化　D. 线极化；右旋圆极化

二、 简单计算题（20 分）

1. 在介电系数分别为 ε_1与ε_3 的介质 1 和介质 2 中间放置一块厚度为 d 的介质板，其介电常数为 ε_2 ，三种介质的磁导率均为 μ_0 ，TE 波从介质 1 以 $\theta=30°$ 投射到介质板上，若希望没有反射，求 d 的值。

解：

$$\theta^i=30^\circ,\ k_{z1}=\sqrt{\varepsilon_{r1}}k_0\cos\theta,\ k_x=\sqrt{\varepsilon_{r1}}k_0\sin\theta,\ k_0=\omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0},\ Z_1=\frac{\omega\mu_0}{k_{z1}}$$

$$k_{z2}=k_0\sqrt{\varepsilon_{r2}-\varepsilon_{r1}\sin^2\theta},\ Z_2=\frac{\omega\mu_0}{k_{z2}}$$

$$k_{z3}=k_0\sqrt{\varepsilon_{r3}-\varepsilon_{r1}\sin^2\theta},\ Z_3=\frac{\omega\mu_0}{k_{z3}}$$

两种情况没反射：

1） $\varepsilon_{r3}=\varepsilon_{r1}$，这时要求 $d=\dfrac{\lambda_{g2}}{2}=\dfrac{\pi}{2k_{z2}}=\dfrac{\pi}{k_0\sqrt{\varepsilon_{r2}-\varepsilon_{r1}\sin^2\theta}}=\dfrac{\pi}{k_0\sqrt{4\varepsilon_{r2}-\varepsilon_{r1}}}$ 的整数倍

2） $\varepsilon_{r3}\neq\varepsilon_{r1}$，要求 $Z_2=\sqrt{Z_1Z_3}$，即 $k_{z2}=\sqrt{k_{z1}k_{z3}}$，

此时 $d=\dfrac{\lambda_{g2}}{4}=\dfrac{\pi}{2k_{z2}}=\dfrac{\pi}{2k_0\sqrt{\varepsilon_{r2}-\varepsilon_{r1}\sin^2\theta}}=\dfrac{2\pi}{k_0\sqrt{4\varepsilon_{r2}-\varepsilon_{r1}}}$ 的整数倍

***也可这样，**

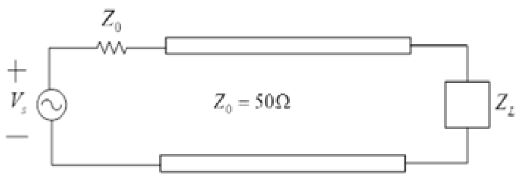
$$Z_{in}=Z_2\frac{Z_3+jZ_2\tan k_{z2}d}{Z_2+jZ_3\tan k_{z2}d}=Z_1,\quad d=\frac{\arctan\left(Z_2\dfrac{Z_3-Z_1}{j\left(Z_1Z_3-Z_2^2\right)}\right)}{k_{z2}}$$

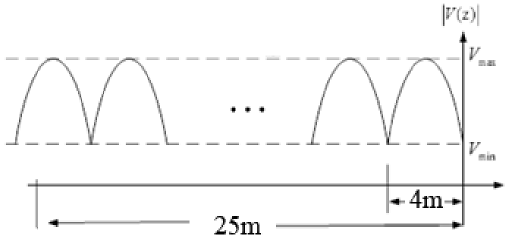
2. 传输线的特征阻抗 $Z_0 = 50\Omega$，其上电压分布曲线如下图所示。已知 $|V_{\max}|/|V_{\min}| = 3$，试求

1）传输线上的波长和负载阻抗 Z_L

2）源所在位置 $Z(\mathrm{x} = -25\,\mathrm{m})$ 处的反射系数和输入阻抗是多少？

3）用 V_s 表示负载端电压 $V_L = V(\mathrm{z} = 0)$





解：

1)

$\lambda = 8\mathrm{m}$

$$\rho = 3,\ |\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = 0.5,\ \Gamma(0) = -0.5$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1+\Gamma(0)}{1-\Gamma(0)} = 50 \times \frac{0.5}{1.5} = 16.67\Omega$$

2）

$$\Gamma(z = -25\mathrm{m}) = \Gamma(0) e^{j2kz} = -0.5 e^{-j\frac{\pi}{2}} = 0.5j$$

$$Z = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = 50 \times \frac{1+0.5j}{1-0.5j} = 50 \times \frac{1+j-0.25}{1.25} = 30 + 40j \quad \Omega$$

3）

$$V_s = [1 + \Gamma(z = -25)] V^i e^{-jkz} = (1+0.5j) V^i e^{j\frac{\pi}{4}}$$

$$V(z=0) = [1+\Gamma(0)] V^i = 0.5 V^i = \frac{0.5 V_S}{(1+0.5j) e^{j\frac{\pi}{4}}} = \frac{V_S e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2+j} = \sqrt{2}(0.1 - 0.3j) V_S$$

三、计算题（共 50 分）

1. 频率 $f=500\text{kHz}$ 的均匀平面波在理想介质中传播，其电场振幅矢量 $\mathbf{E}_m=\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+\mathbf{z}_0 2(\text{kV/m})$，磁场振幅矢量 $\mathbf{H}_m=\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3(\text{A/m})$。试求：（1）波传播方向的单位矢量；（2）波阻抗η；（3）介质的相对介电常数 ε_r；（4）**E** 和 **H** 的复矢量表示形式；(5) 时间平均坡印廷矢量

解：（1）表征电场方向的单位矢量为

$$\mathbf{e}_E=\frac{\mathbf{E}}{E}=\frac{\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+\mathbf{z}_0 2}{\sqrt{4^2+1+2^2}}=\frac{1}{\sqrt{21}}\left(\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+\mathbf{z}_0 2\right)$$

表征磁场方向的单位矢量为

$$\mathbf{e}_H=\frac{\mathbf{H}}{H}=\frac{\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3}{\sqrt{6^2+18^2+3^2}}=\frac{1}{\sqrt{369}}\left(\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3\right)$$

由此得到波传播方向的单位矢量为

$$\kappa=\mathbf{e}_E\times\mathbf{e}_H=\frac{1}{\sqrt{21}}\times\frac{1}{\sqrt{369}}\left(\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+\mathbf{z}_0 2\right)\times\left(\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3\right)$$

$$=\frac{1}{\sqrt{7749}}\left(-\mathbf{x}_0 33+\mathbf{y}_0 24+\mathbf{z}_0 78\right)=-\mathbf{x}_0 0.375+\mathbf{y}_0 0.273+\mathbf{z}_0 0.886$$

（2）$\eta=\dfrac{E}{H}=\dfrac{\sqrt{21}\times10^3}{\sqrt{369}}=238.5\,\Omega$

（3）$\eta=\dfrac{E}{H}=\dfrac{\sqrt{21}\times10^3}{\sqrt{369}}=\sqrt{\dfrac{\mu_0}{\varepsilon_r\varepsilon_0}}$， 则得 $\varepsilon_r=2.5$

（4）电场的复数表示式为

$$\mathbf{E}=\mathbf{E}_m e^{-jk\kappa\cdot\mathbf{r}}=\left(\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+\mathbf{z}_0 2\right)e^{-jk\kappa\cdot\mathbf{r}}$$

式中

$$k=\omega\sqrt{\mu\varepsilon}=\omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}=2\pi\times500\times10^3\sqrt{\varepsilon_r}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$$

$$=\frac{\pi\times10^6}{3\times10^8}\sqrt{\varepsilon_r}=1.05\times10^{-2}\sqrt{\varepsilon_r}=1.66\times10^{-2}\text{rad/m}$$

$$\mathbf{r}=\mathbf{x}_0 x+\mathbf{y}_0 y+\mathbf{z}_0 z$$

磁场的复数形式为

$$\mathbf{H}=\mathbf{H}_m e^{-jk\kappa\cdot\mathbf{r}}=\left(\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3\right)e^{-jk\kappa\cdot\mathbf{r}}$$

（5）时间平均坡印廷矢量

$$\langle S\rangle=\frac{1}{2}\text{Re}(\mathbf{E}\times\mathbf{H}^*)$$

$$=\frac{1}{2}\text{Re}[(\left(\mathbf{x}_0 4-\mathbf{y}_0+2\mathbf{z}_0\right)\times\left(\mathbf{x}_0 6+\mathbf{y}_0 18-\mathbf{z}_0 3\right)]$$

$$=\frac{1}{2}(-33\mathbf{x}_0+24\mathbf{y}_0+78\mathbf{x}_0)$$

$$=-16.5\mathbf{x}_0+12\mathbf{y}_0+39\mathbf{z}_0\qquad\text{kW/m}^2$$

2．介质（$\varepsilon_r = 2.25,\ \mu_r = 1$）填充的矩形波导传输 TE_{10} 模， 传输波的频率 f=3GHz， 相位速度 $v_p = 5\times10^8$m/s，传输波的电场

$$E_y = 40\sin(\frac{\pi}{a}x)e^{-jk_z z}\,(\text{V/m})$$， 求：

（1） 群速度 v_g、特征阻抗 Z_{TE10} 和截止频率 f_c；

（2） 若该波导的负载不匹配，波导中导波为行驻波状态，试确定电场的两个相邻最小点之间的距离；

（3） 波导横截面长边为 a，短边为 b，如果 a=2b，求波导的横截面尺寸。

解：（1）

$$v_p v_g = v^2,\ v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} = 2\times10^8\text{m/s}$$

$$\therefore v_g = 0.8\times10^8\text{m/s}$$

$$v_p = \frac{v}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \Rightarrow \sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} = 0.4，\quad Z_{TE10} = \frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = 377/\sqrt{2.25}/0.4 = 628\Omega$$

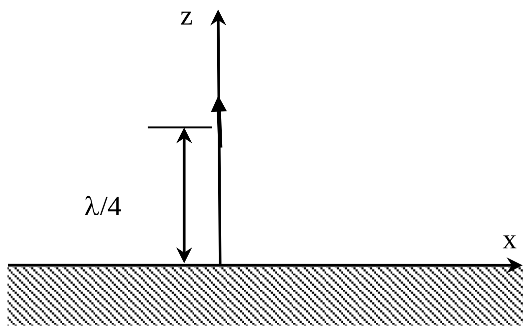
$$\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} = 0.4;\ \ \lambda = \frac{v}{f} = \frac{20}{3}\text{cm} \Rightarrow \lambda_c = 2a = 7.2\text{cm} \Rightarrow f_c = 2.75\text{GHz}$$

（2）该波导的负载不匹配，导波为行驻波状态，电场的相邻两个最小点之间的距离为：

$$k_z = \frac{\omega}{v_p} = \frac{60\pi}{5},\ \lambda_g = \frac{2\pi}{k_z} = \frac{1}{6}\text{m},\ \ \therefore d = \frac{\lambda_g}{2} = \frac{1}{12} = 8.33\text{cm}$$

（3） $\lambda_c = 2a = 7.2\text{cm} \Rightarrow a = 3.6\text{cm},\ b = 1.8\text{cm}$

3. 电偶极子长度为 l，电流振幅为 I，垂直放置在无限大导体平面上，与导体平面相距为 λ/4，如图所示，求：



1）该电偶极子的远区辐射电场和磁场

2）辐射的方向性函数

解： 电偶极子的场分布为

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{\theta}_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIle^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta \qquad \boldsymbol{H} = \varphi_0\frac{jkIle^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta$$

，

根据镜象法，原问题等效为一源阵。以天线处有原点

$$\boldsymbol{E} = \theta_0\left(\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIle^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta_1 + \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIle^{-jkr_2}}{4\pi r_2}\sin\theta_2\right)$$

$$\approx \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{4\pi r}\sin\theta(e^{-jkr} + e^{-jkr_2})$$

$$r_2 = r + 2h\cos\theta = r + \frac{\lambda}{2}\cos\theta$$

$$\boldsymbol{E} = \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{4\pi r}\sin\theta e^{-jkr}\left(1 + e^{-jk\frac{\lambda}{2}\cos\theta}\right)$$

$$= \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{2\pi r}\sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)e^{-jk(r+\frac{\lambda}{4}\cos\theta)}\,(\mathrm{V/m})$$

$$H = \varphi_0\frac{jkIl}{2\pi r}\sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)e^{-jk(r+\frac{\lambda}{4}\cos\theta)}\,(\mathrm{A/m})$$

$$F(\theta,\varphi) = \sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)$$

也可以地面为原点：

$$\boldsymbol{E} = \theta_0\left(\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIle^{-jkr_1}}{4\pi r_1}\sin\theta_1 + \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIle^{-jkr_2}}{4\pi r_2}\sin\theta_2\right)$$

$$\approx \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{4\pi r}\sin\theta(e^{-jkr_1} + e^{-jkr_2})$$

$$r_2 = r + h\cos\theta,\quad r_1 = r - h\cos\theta$$

$$\boldsymbol{E} = \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{4\pi r}\sin\theta(e^{jkh\cos\theta} + e^{-jkh\cos\theta})$$

$$= \theta_0\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\frac{jkIl}{2\pi r}\sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)e^{-jkr}\,(\mathrm{V/m})$$

$$H = \varphi_0\frac{jkIl}{2\pi r}\sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)e^{-jkr}\,(\mathrm{A/m})$$

$$F(\theta,\varphi) = \sin\theta\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)$$