

浙江大学 20 11 - 20 12 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： 信电系

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： 2012 年 6 月 19 日，考试时间： 120 分钟

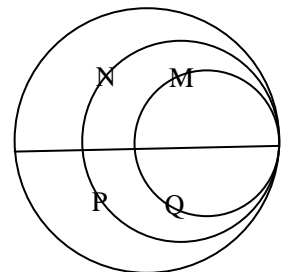
诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。

考生姓名： 学号： 所属院系：

题序	一	二	三	四	五	总 分
得分						
评卷人						

一、单项选择题(每小题 2 分，共 30 分)

- 对于二个在同一线性介质中传播的电磁波，下列描述正确的是（ D ）
A. 一个波的电场会影响另一波的磁场 B. 一个波的磁场会影响另一波的电场
C. 二个波的电场和磁场相互都有影响 D. 一个波的传播并不影响另一个波的传播
- 有关天线增益的描述，不正确的是（ B ）
A. 与天线方向图有密切的关系 B. 馈入天线电磁信号的放大倍数
C. 方向图主瓣越窄，副瓣越小，增益越高 D. 天线把输入功率集中辐射的程度
- 用铁锤敲打矩形空腔谐振器的顶部，使之略有凹陷，问其谐振频率（ C ）
A. 变小 B. 不变 C. 变大 D. 不一定
- 如右图所示。同样一个负载，接特征阻抗为 100Ω 和 50Ω 的传输线时在阻抗圆图上的位置分别是（ B ）
A. M、N B. N、M C. N、Q D. M、P
- 用于微波炉加热食物的容器，其材料的主要特点是（ A ）
A. 导电率很小 B. 介电常数很大 C. 介电常数是复数 D. 损耗正切很大



6. 二个金属空腔谐振器，形状尺寸完全相同，一个材料是铝，一个材料是铜，比较二者的品质因素，正确的是（ **B** ）

A. 铝腔大 B. 铜腔大 C. 二者一样大 D. 频率低时铜腔大，频率高时铝腔大

7. 各向同性介质是指：（ **A** ）

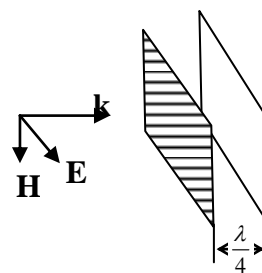
A. ε 、 μ 、 σ 与电磁波在空间传播的方向性无关； B. ε 、 μ 、 σ 与电磁波在空间传播的方向性有关
C. 不同方向的 E、H 相同 D. 不同传播方向的能量相同

8. 两个同频同方向传播的极化方向相互垂直的线极化波，如果（ **D** ），则合成的波一定是椭圆极化波。

A. 两者的相位差不为 0 和 π B. 两者振幅不同
C. 两者的相位差不为 $\pm\pi/2$ D. 同时满足 A 和 B

9. 如右图所示，一理想导体平板前 $\lambda/4$ 处放置一个与水平方向成 45° 的金属栅，若一水平极化的平面波入射，则反射波为（ **B** ）？

A. 水平极化波 B. 垂直极化波 C. 右旋圆极化波 D. 左旋圆极化波



10. $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ 和 $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ 分别是电场和磁场的复矢量形式，则时间平均坡印廷矢量为：（ **B** ）

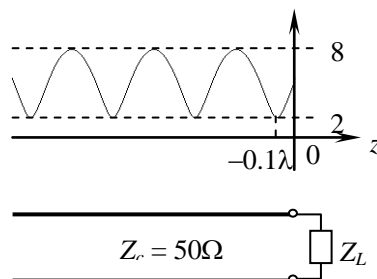
A. $\frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E}(\mathbf{r}) \times \mathbf{H}(\mathbf{r})]$ B. $\frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E}(\mathbf{r}) \times \mathbf{H}^*(\mathbf{r})]$ C. $\text{Re}[\mathbf{E}(\mathbf{r}) \times \mathbf{H}(\mathbf{r})]$ D. $\text{Re}[\mathbf{E}(\mathbf{r}) \times \mathbf{H}^*(\mathbf{r})]$

11. 一平面波以光轴垂直的方向入射单轴电各向异性介质，电磁波的极化方向与光轴成 45° 。已知各向异性介质的 o 光折射率为 n_o ，e 光折射率为 n_e ， $\Delta n = |n_o - n_e|$ ，则介质厚度为（ **C** ）时，出射的电磁波为圆极化波。

A. $\frac{\lambda}{2\Delta n}$ 的奇数倍 B. $\frac{\lambda}{2\Delta n}$ 的偶数倍 C. $\frac{\lambda}{4\Delta n}$ 的奇数倍
D. $\frac{\lambda}{4\Delta n}$ 的偶数倍

12. 右图所示为传输线上电压的驻波分布，判别负载 Z_L 是什么性质的阻抗？（ **B** ）

A. 纯电阻 B. 电阻、电容都有
C. 纯电抗 D. 电阻、电感都有



13. 天线外面通常加天线罩防护，最简单的天线罩是单层介质板。

如已知介质板的 $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ ，则介质板的厚度应为（ **C** ）时，可使频率为 f_0 的电磁波（真空波长 λ_0 ）在垂直入射于板面时没有反射。

A. $\frac{\sqrt{\varepsilon_r} \lambda_0}{2}$ B. $\frac{\sqrt{\varepsilon_r} \lambda_0}{4}$ C. $\frac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_r}}$ D. $\frac{\lambda_0}{4\sqrt{\varepsilon_r}}$

14. 有关光纤的数值孔径描述不正确（ **A** ）

- A. 数值孔径较大光纤传输带宽较大 B. 数值孔径较大光纤聚光能力较强
C. 数值孔径较大光纤模间色散较大 D. 数值孔径较大纤芯和包层相对折射率差较大
15、一段传输线，其中电压驻波系数恒定为 ρ ，沿线各参考面上能出现的最大电纳为（ **B** ）。

A、 $\pm \frac{\rho^2 + 1}{2\rho}$ B、 $\pm \frac{\rho^2 - 1}{2\rho}$ C、 $\pm \frac{\rho^2 + 1}{\rho}$ D、 $\pm \frac{\rho^2 - 1}{\rho}$

二、简答题（20 分）

- 1、（10 分）已知自由空间中均匀平面波的电场为：

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = (\mathbf{x}_0 2 + \mathbf{y}_0 2 + j\mathbf{z}_0 \sqrt{5}) e^{-j(2x + by + cz)} \text{ V/m}$$

试求波的传播方向(3 分)、波长(3 分)、极化状态(2 分)以及磁场(2 分)。

解：由题意得波矢量： $\mathbf{k} = \mathbf{x}_0 2 + \mathbf{y}_0 b + \mathbf{z}_0 c$ ，考虑平面波的电场与传播方向垂直，故 $\mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0$ ，即：

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{E}_0 = (\mathbf{x}_0 2 + \mathbf{y}_0 b + \mathbf{z}_0 c) \cdot (\mathbf{x}_0 2 + \mathbf{y}_0 2 + j\mathbf{z}_0 \sqrt{5}) = 2 + 2b + j\sqrt{5}c = 0$$

则： $b = -1, c = 0$

因此，波矢量 $\mathbf{k} = \mathbf{x}_0 2 - \mathbf{y}_0$ ，则波传播方向的单位矢量为： $\boldsymbol{\kappa} = \frac{\mathbf{k}}{k} = \frac{1}{\sqrt{5}}(\mathbf{x}_0 2 - \mathbf{y}_0)$

波长为： $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{\sqrt{5}} = 2.81\text{m}$

另外，电场的复振幅可写为：

$$\mathbf{E}_0 = (\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0 2) + j\mathbf{z}_0 \sqrt{5} = \mathbf{E}_{0R} + \mathbf{E}_{0I}$$

则： $|E_{0R}| = |E_{0I}| = \sqrt{5}$ 该均匀平面波是左旋圆极化波。

与 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ 相应的磁场为： $\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\eta_0} \boldsymbol{\kappa} \times \mathbf{E}(\mathbf{r})$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{120\pi} \frac{1}{\sqrt{5}} (\mathbf{x}_0 2 - \mathbf{y}_0) \times (\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0 2 + j\mathbf{z}_0 \sqrt{5}) e^{-j(2x - y)} \\ &= \frac{1}{120\pi} (-j\mathbf{x}_0 - \mathbf{y}_0 j 2 + \mathbf{z}_0 \sqrt{5}) e^{-j(2x - y)} \end{aligned}$$

- 2、（10 分）一矩形波导内充空气，横截面尺寸为： $a \times b = 2.3 \times 1 \text{ cm}^2$ ，当工作波长为 1.8cm 时，问：

(1) (6 分)波导可能传输的模式？

(2) (4 分)为保证此波导只能传输 TE_{10} 模式，工作波段范围为最高波长比 TE_{10} 模式的临界波长低 10%，最低波长比 TE_{20} 模式的临界波长高 10%，求其可工作的波段范围？

解：(1) 应用公式 $\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$ 求出各种不同模式的临界波长为：

$$\begin{aligned} (\lambda_c)_{\text{TE}_{10}} &= 2a = 2 \times 2.3 = 4.6 \text{ (厘米)} & (\lambda_c)_{\text{TE}_{20}} &= a = 2.3 \text{ (厘米)} \\ (\lambda_c)_{\text{TE}_{01}} &= 2b = 2 \times 1 = 2 \text{ (厘米)} & (\lambda_c)_{\text{TE}_{02}} &= b = 1 \text{ (厘米)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\lambda_c)_{TE_{30}} &= 1.53 \text{ (厘米)} & (\lambda_c)_{TE_{11}} &= (\lambda_c)_{TM_{11}} = 1.85 \text{ (厘米)} \\ (\lambda_c)_{TE_{21}} &= (\lambda_c)_{TM_{21}} = 1.52 \text{ (厘米)}\end{aligned}$$

由此可见，当工作波长 $\lambda = 1.8$ 厘米时，波导可能传播模式为 TE_{10} 、 TE_{01} 、 TE_{20} 、 TE_{11} 、 TM_{11} 模式；

(2) 由前面计算结果得知 $(\lambda_c)_{TE_{10}} = 4.6$ (厘米) $(\lambda_c)_{TE_{20}} = 2.3$ (厘米)

所以波段范围为 $(4.6 - 4.6 \times 10\%) \sim (2.3 + 2.3 \times 10\%) = 4.14 \sim 2.53$ (厘米)。

三、(15 分) 有一均匀平面波垂直入射到 $z=0$ 处的理想导电平面，其电场强度为 $\mathbf{E} = E_0(\mathbf{x}_0 - j\mathbf{y}_0)e^{-jkz}$ ，确定

(1) (5 分) 入射波和反射波的极化方式；

(2) (5 分) 导电平面上面电流密度；

(3) (5 分) 写出 $z \leq 0$ 区域合成电场强度的瞬时值。

解：(1) 入射波 $\mathbf{E}^i = E_0(\mathbf{x}_0 - j\mathbf{y}_0)e^{-jkz}$ ，是右手圆极化，对于反射波，为满足导体表面边界条件， E_x^r, E_y^r 与 E_x^i, E_y^i 都有 180° 相移，且波传播方向相反，所以 $\mathbf{E}^r = E_0(-\mathbf{x}_0 + j\mathbf{y}_0)e^{jkz}$ 是左手圆极化。

$$(2) \mathbf{H}^i = -\frac{1}{j\omega\mu} \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{j\omega\mu} \begin{vmatrix} \mathbf{x}_0 & \mathbf{y}_0 & \mathbf{z}_0 \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_0 e^{-jkz} & -jE_0 e^{-jkz} & 0 \end{vmatrix} = (j\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0) \frac{k}{\omega\mu_0} E_0 e^{-jkz}$$

$$\mathbf{H}^r = -\frac{1}{j\omega\mu} \nabla \times \mathbf{E}^r = -\frac{1}{j\omega\mu} \begin{vmatrix} \mathbf{x}_0 & \mathbf{y}_0 & \mathbf{z}_0 \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ -E_0 e^{jkz} & jE_0 e^{jkz} & 0 \end{vmatrix} = (j\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0) \frac{k}{\omega\mu_0} E_0 e^{jkz}$$

$z=0$ 的导电平面， $\mathbf{H} = \mathbf{H}^i + \mathbf{H}^r = (j\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0) \frac{2k}{\omega\mu_0} E_0$

所以导电平面上面电流密度 $\mathbf{J} = \mathbf{n} \times \mathbf{H} = -\mathbf{z}_0 \times (j\mathbf{x}_0 + \mathbf{y}_0) \frac{2k}{\omega\mu_0} E_0 = \frac{2k}{\omega\mu_0} E_0 (\mathbf{x}_0 - j\mathbf{y}_0)$

(3) 此入射波可看成是两个平面波的叠加。 $\mathbf{E}_1 = \mathbf{x}_0 E_0 e^{-jkz}$ ， $\mathbf{E}_2 = -j\mathbf{y}_0 E_0 e^{-jkz}$ ，在这个坐标系下两个均为 TEM 波，

对平面波 1，在 $z \leq 0$ 区域合成电场强度 $E_x(z) = E_0(e^{-jkz} - e^{jkz}) = -2jE_0 \sin kz$

对平面波 2，在 $z \leq 0$ 区域合成电场强度 $E_y(z) = -jE_0(e^{-jkz} - e^{jkz}) = -2E_0 \sin kz$

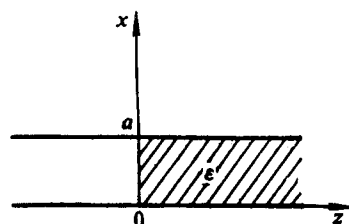
所以 $z \leq 0$ 区域合成电场强度的瞬时值 $E_x(z) = 2\mathbf{x}_0 E_0 \sin kz \sin \omega t - 2\mathbf{y}_0 E_0 \sin kz \cos \omega t$

四、(15 分) 如图所示，一平行板波导相距为 a ， $z < 0$ 区域是自由空间($\mu_0 \ \varepsilon_0$)， $z > 0$ 区域充满($\mu_0 \ \varepsilon$)的介质，假设波矢 k 在 $x-z$ 平面，可知，波在 x 方向谐振，沿 z 方向传播，

(1) (4 分) 由横向谐振原理，求 x 方向的波矢 k_x 。

(2) (4 分) 分别求出 $z < 0$ 区域和 $z > 0$ 区域中 z 方向的波矢 k_z 。

(3) (4 分) 画出 z 方向的传输线模型，求出 $z < 0$ 区域和 $z > 0$ 区域中 TE 波和 TM 波的特征阻抗



(4) (3 分) 当 TM 波从 $z < 0$ 区域投射介质分界面时，求出交界面无反射波时的频率。

解：(1) 横向谐振原理， x 方向的波矢 $k_x = \frac{m\pi}{a}$

(2) $z < 0$ 区域， $k_{0z} = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - (m\pi/a)^2}$ ； $z > 0$ 区域， $k_z = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon - (m\pi/a)^2}$

(3) $z < 0$ 区域 特征阻抗 $Z_1 = \begin{cases} \frac{\omega \mu_0}{k_{0z}} & TE \\ \frac{k_{0z}}{\omega \varepsilon_0} & TM \end{cases}$ ； $z > 0$ 区域 特征阻抗 $Z_2 = \begin{cases} \frac{\omega \mu_0}{k_z} & TE \\ \frac{k_z}{\omega \varepsilon} & TM \end{cases}$

(4) 要使得 TM 波无反射波， $\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = 0$ ，即 $\varepsilon k_{0z} = \varepsilon_0 k_z$ 可得当 $f/f_c = (1 + \varepsilon_0/\varepsilon)^{1/2}$ 时，式中

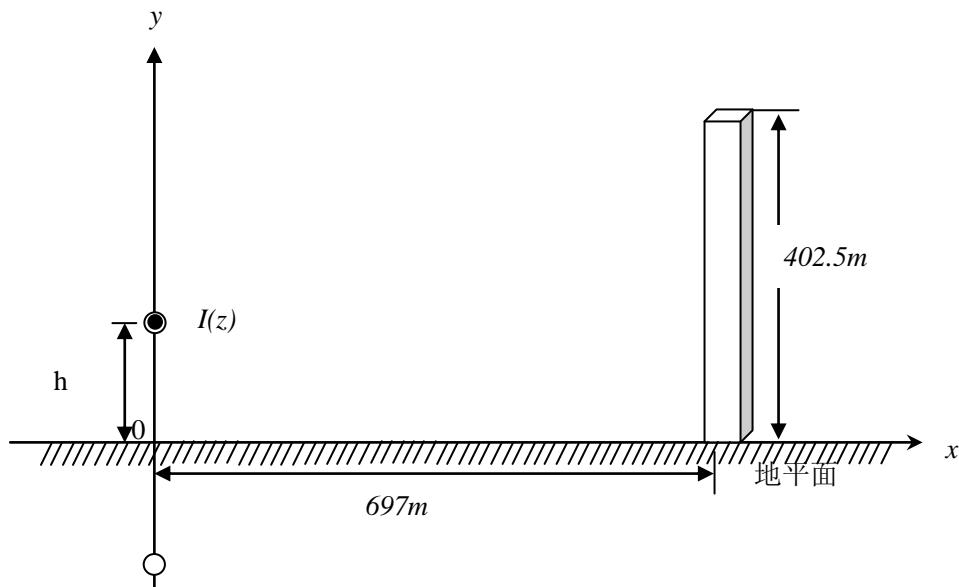
$f_c = m/(2a\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0})$ 。

五、（20 分）如下图， $y=0$ 平面为地平面，上海金茂大厦位于 x - y 平面内，高 402.5 米，在离它 697 米、高于地面 $y=h$ 处平行于地面沿 z 轴放置一电基本振子天线，信号频率为 10MHz，问

(1) (8 分)画出该电基本振子天线的镜像，给出天线与镜像之间电流的相位关系，并说明理由。

(2) (7 分)若要使金茂大厦楼顶接收到的辐射最大， h 应为多大。

(2) (5 分)画出该振子天线在 x - y 平面内的辐射方向图。



解：(1) 镜像天线在地平面下离开地平面为 h 处，它与地平面上的电基本振子的相位相差为 π ，其原因是要满足地平面视为导体的边界条件，即切向电场为 0。

(2) 架设在地平面上的天线可视为一个两元的相位相差为 π 的列阵天线，按题意，在金茂大厦顶楼，即 $\theta = 90^\circ$, $\arctan \varphi = 402.5/697$, $\varphi = 30^\circ$ 处，接收到的辐射最大，已知阵因子 $F(\theta, \varphi)$ 最大的条件为 $kd \sin \theta \sin \varphi + \pi = 0, 2\pi, \dots$ 可得 $d=2h=\lambda=c/f=30$ 米，所以 $h=15$ 米

(2) $N \frac{kd \sin \theta \sin \varphi + \pi}{2} = m\pi (m \neq 0, N, 2N \dots)$ 时，阵因子为 0，可以计算此时， $\varphi = 0, 90^\circ$

所以可以画出该天线在 x - y 平面内的辐射方向图为

