《电磁场与电磁波》第二次小测验

课程名称：电磁场与电磁波；课程编码：85120060；

试卷编号：A（） B（√）；考试形式：开卷；考试时间：100 分钟。

考试日期：2023 年 5 月 30 日；

诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。

题　号	一	二	三	四	总分
应得分					100
实得分					
评卷人					

专业班级：

学号：

姓名：

一、选择题（每题 4 分，共 40 分）

1. 微波传输线是一种（ B ）电路。

A. 集总常数 B. 分布参数 C. 纯阻 D. 无耗

2. 在矩形波导中，模式越高，即 m 和 n 越大，相应的截止频率_ _，截止波长 ____（ A ）

A. 越大，越小 B. 越小，越大 C. 越大，越大 D. 越小，越小

3. 截面尺寸为 $a\times b$ ($b< a/2$) 的矩形波导，TE10 波在其中单模传播的条件为（ C ）。（注：λ为工作波长）

A. $0 <\lambda < a$　B. $2b <\lambda < 2a$　C. $a <\lambda < 2a$　D. $2a <\lambda$

4. 圆极化的均匀平面波从 εr＝3，μr＝1 的理想介质斜入射到与空气的分界 面，下列可能发生的现象有（ B ）

A. 可能全反射，也可能全透射　B. 可能全反射，不可能全透射

C. 不可能全反射，可能全透射　D. 不可能全反射，也不可能全透射

5. 关于理想导体表面上的垂直入射，下列描述不正确的是：（ D ）

A. 在理想导体表面上，垂直入射波发生全反射现象

B. 合成波的电场和磁场均为驻波

C. 导体表面上有表面电流存在

D. 反射波电场和磁场在反射面上均有π相移

6.在传播 TE10 模的矩形波导中，当填充介质（εrε0，μ0）后（εr＞1），设工作频率不变，则其特征阻抗将（ B ）

A. 变大　B. 变小　C. 不变　D. 取决于波导尺寸而变大或变小

7. 一矩形波导，传输 TE10 模式，波导的截止波长 λc、波导波长 λg、传播常数 kz。若工作频率及窄边不变，使宽边增加一倍，上述各参量的变化是(C)

A. 都不变　　　　　　　　　　B. λc 、λg 都变大一倍，kz 变小一倍

C. λc 变大一倍，λg 变小，kz 变大　D. λc 变大一倍，λg 变大， kz 变小

8. 下列说法错误的是（ C ）

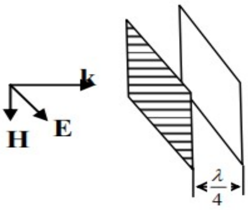
A. 圆波导中 TE 模表示为 TEmn 时，m 表示场沿圆周分布的驻波数，n 表示场沿半径分布的半驻波数或场的最大值个数

B. 汽车在隧道中接收不到电台信号，是因为隧道可等效成圆波导，而信号频率在此圆波导截止频率以下

C. 圆波导的 TE11 模和矩形波导的 TE10 模场分布类似，因而可直接将两者连接并且无反射

D. 圆波导不适合用来做传输系统

9. 如右图所示， 一理想导体平板前λ/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. 平面波以某不为零的角度 θ 由介质 1（折射率为 n1）入射到介质 2（折射率为 n2）表面上，（ A D）是反射波为零的必要条件。

A．n1＞n2

B．n1＜n2

C．入射波垂直极化波

D．入射波平行极化波

二、填空题（每空 2 分，共 20 分）

1. 在理想导体的表面上，磁感应强度（B）矢量总是平行于导体表面，电场强度（E）矢量总是垂直于导体表面。

2. 电磁波从一种媒质入射到理想导体表面时，电磁波将发生全反射。

3. 均匀平面电磁波由空气中垂直入射到与无损耗介质(ε=6.25ε0、μ=μ0、σ=0)的分界平面上时，反射系数 T=-3/7，折射（透射）系数 T=4/7。

4. 对于圆波导中 TE23 模，其场沿圆周方向分布有 2 个驻波，沿半径方向分布有 3 个最大值数。

5. 波导中的场结构可以分为 TE 模和 TM 模，其中 TE 模电场没有纵向分量，TM 模磁场没有纵向分量。

6. 矩形波导可看成一个高通滤波器。

三、计算题（每道 10 分，共 30 分）

1. 一矩形波导内充空气，横截面尺寸为：，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 TE10 模式，工作波段范围为最高波长比 TE10 模式的临界波长低 10%，最低波长比 TE20 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 $\lambda_c = \dfrac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$ 求出各种不同模式的临界波长为：

$(\lambda_c)_{TE_{10}} = 2a = 2\times 2.3 = 4.6$（厘米）　　$(\lambda_c)_{TE_{20}} = a = 2.3$（厘米）

$(\lambda_c)_{TE_{01}} = 2b = 2\times 1 = 2$（厘米）　　$(\lambda_c)_{TE_{02}} = b = 1$（厘米）

$(\lambda_c)_{TE_{30}} = 1.53$（厘米）　　$(\lambda_c)_{TE_{11}} = (\lambda_c)_{TM_{11}} = 1.85$（厘米）

$(\lambda_c)_{TE_{21}} = (\lambda_c)_{TM_{21}} = 1.52$（厘米）

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）。

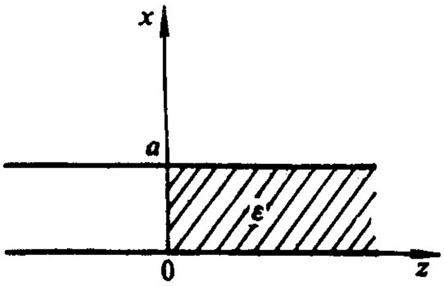
2. 如图所示，一平行板波导相距为 a, z<0 区域是自由空间(山 0 c0), z>0 区域充满(山 0 c)的介质， 假设波矢 k 在 x-z 平面，可知， 波在 x 方向谐振， 沿 z 方向传播，

(1) (3 分)由横向谐振原理， 求 x 方向的波矢 kx。

(2) (3 分)分别求出 z<0 区域和 z>0 区域中 z 方向的波矢 kz。

(3) (2 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) (2 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 $k_x = \dfrac{m\pi}{a}$

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

(4)要使得 TM 波无反射波，$\Gamma = \dfrac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = 0$，即 $\varepsilon k_{0z} = \varepsilon_0 k_z$ 可得当 $f/f_c = (1+\varepsilon_0/\varepsilon)^{1/2}$ 时，式中 $f_c = m/\left(2a\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}\right)$。

3. 在自由空间传播的均匀平面波的电场强度复矢量为

$$\mathbf{E}=\mathbf{x}_0 10^{-4}e^{j(\omega t-20\pi z)}+\mathbf{y}_0 10^{-4}e^{j\left(\omega t-20\pi z+\frac{\pi}{2}\right)}V/m$$

试求：

(1) (2 分)平面波的传播方向；

(2) (2 分)平面波的频率；

(3) (2 分)波的极化方式；

(4) (2 分)与 E 相伴的磁场 H；

(5) (2 分)平面波流过与传播方向垂直的单位面积的平均功率。

解：（1）从 $\mathbf{E}$ 的表示式可看出，随着 z 的增加，相位连续滞后，表明该波沿+z 方向的传播。

（2）由 $\mathbf{E}$ 的表示式知波数 $k=20\pi rad/m$，而 $k=\omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$，故

$$\omega=\frac{k}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}=\frac{20\pi}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}=20\pi\times3\times10^8 rad/s$$

$$f=\frac{\omega}{2\pi}=3\times10^9 Hz=3GHz$$

（3）$\mathbf{E}$ 的两个分量的振幅相等，相位相差 $\frac{\pi}{2}$，故 $\mathbf{E}$ 表示一个圆极化波。由于 $\phi_y=-\frac{\pi}{2}$，$\phi_x=0$，故 $\mathbf{E}$ 表示一个沿+z 方向传播的左旋圆极化波。

（4）由 $\nabla\times\mathbf{E}=-j\omega\mu_0\mathbf{H}$ 求，得

$$\begin{aligned}\mathbf{H}&=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\nabla\times\mathbf{E}=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\left[-\mathbf{x}_0\frac{\partial E_y}{\partial z}+\mathbf{y}_0\frac{\partial E_x}{\partial z}\right]\\&=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\left[\mathbf{x}_0 10^{-4}\times j20\pi e^{j\left(\omega t-20\pi z+\frac{\pi}{2}\right)}-\mathbf{y}_0 10^{-4}\times j20\pi e^{j(\omega t-20\pi z)}\right]\\&=\frac{20\pi}{\omega\mu_0}\left[-\mathbf{x}_0 10^{-4}e^{j\left(\omega t-20\pi z+\frac{\pi}{2}\right)}+\mathbf{y}_0 10^{-4}e^{j(\omega t-20\pi z)}\right]\\&=\frac{1}{120\pi}\left[-\mathbf{x}_0 10^{-4}e^{j\left(\omega t-20\pi z+\frac{\pi}{2}\right)}+\mathbf{y}_0 10^{-4}e^{j(\omega t-20\pi z)}\right]A/m\\&=\left[-\mathbf{x}_0 2.65\times10^{-7}e^{j\left(\omega t-20\pi z+\frac{\pi}{2}\right)}+\mathbf{y}_0 2.65\times10^{-7}e^{j(\omega t-20\pi z)}\right]A/m\end{aligned}$$

(5)平均功率密度为

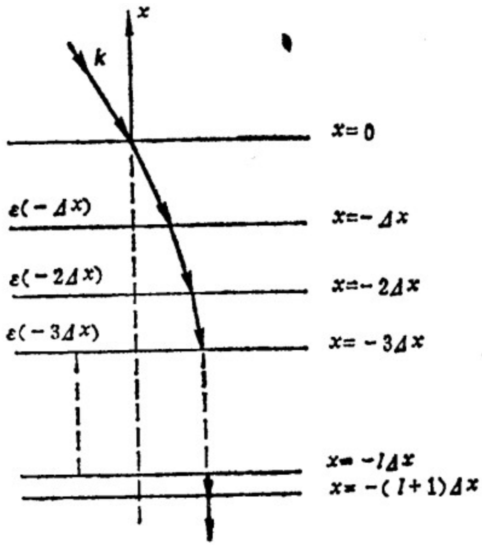
$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{av}&=\frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\mathbf{E}\times\mathbf{H}^*\right]\\&=\frac{1}{2}\mathrm{Re}\left\{\left[\mathbf{x}_0 10^{-4}e^{-j20\pi z}+\mathbf{y}_0 10^{-4}e^{-j\left(20\pi z-\frac{\pi}{2}\right)}\right]\times\left[-\mathbf{x}_0 2.65\times10^{-7}e^{j\left(20\pi z-\frac{\pi}{2}\right)}+\mathbf{y}_0 2.65\times10^{-7}e^{j20\pi z}\right]\right\}\\&=\mathbf{z}_0 2.65\times10^{-11}W/m^2\end{aligned}$$

故流过垂直于传播方向的单位面积的平均功率为

$$P_{av}=\int_S\mathbf{S}_{av}\cdot d\mathbf{S}=2.65\times10^{-11}W$$

四、选做题（要求在 1，2 中任选一题作答，若多选，则只按第一题评分，10 分）

1. 设一平面波投射在具有增大的电容率的分层媒质上（图 2-8），试用相位匹配概念（边界条件）确定媒质内波矢量 k 的方向。



思路　当平面波投射在两媒质的分界面上时，按照边界条件分界面上场的切向分量连续，故入射波、反射波和透射波的波矢量 **k** 的切向分量在边界两侧也连续（即相位匹配）。

解：　设各层媒质的厚度极小，故每层媒质中的 $\varepsilon(x)$ 可认为是常数，又按相位匹配，每层媒质中 **k** 的切向分量 k_z 都相同。因此，对于第 1 层有

$$k_{lx}^2 + k_z^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon(-l\Delta x)$$

由于 ε 随着距离的增大而增大，即

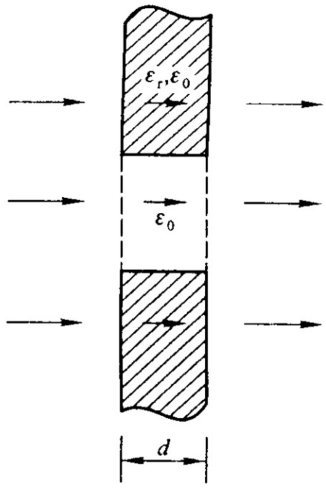
$$\varepsilon(-\Delta x) < \varepsilon(-2\Delta x) < \cdots < \varepsilon(-l\Delta x) < \varepsilon\left[-(l+1)\Delta x\right] < \cdots$$

所以

$$k_{1x}^2 < k_{2x}^2 < \cdots < k_{lx}^2 < k_{(l+1)x}^2 < \cdots$$

即随着波的透射愈来愈深，k 矢量的方向趋向于与媒质分界面垂直

2. 频率 $f = 3GHz$ 的均匀平面波垂直入射到有一个大孔的聚苯乙烯 $(\varepsilon_r = 2.7)$ 介质板上，平面波将分别通过孔洞和介质板到达介质板的右侧界面，如图 2-15 所示。试求介质板的厚度 d 为多少时，才能使通过孔洞和通过介质板的平面波有相同的相位？（注：计算此题时不考虑边缘效应，也不考虑在界面上的反射）。



解：相位常数与媒质参数及波的频率有关，对于介质板

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = 2\pi f\sqrt{\mu_0(2.7\varepsilon_0)}$$

对孔洞

$$\beta_0 = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = 2\pi f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$$

可见，波在介质板中传播单位距离引起的相位移要大于空气中的相位移。按题目要求，介质板的厚度 d 应满足下式

$$\beta d = \beta_0 d + 2\pi$$

故得

$$d = \frac{2\pi}{\beta - \beta_0} = \frac{2\pi}{2\pi f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}\left(\sqrt{2.7}-1\right)} = \frac{3\times10^8}{3\times10^9\left(\sqrt{2.7}-1\right)}m = 155.5mm$$