浙江大学 20__14__－20__15__学年__春夏__学期

《 电磁场与电磁波 》课程期中考试试卷

课程号：__11120010______，开课学院：__信电系______

考试形式：一纸开卷，允许带一张 A4 大小手写稿入场

考试日期：_2015___年__5__月_8__日,考试时间：__120__分钟 （18:30-20:30）

诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。

考生姓名：______________学号：______________所属专业：_______________

题序	一	二	三	四	五	总分
得分						
评卷人						

一、选择题（每题 2 分，共 24 分）

1. 以下四个矢量函数中，能表示磁感应强度的矢量函数是（ A ）

A. $\mathbf{B} = y\mathbf{x_0} + x\mathbf{y_0}$ B. $\mathbf{B} = x\mathbf{x_0} + y\mathbf{y_0}$ C. $\mathbf{B} = xy^2\mathbf{x_0} + x^2\mathbf{y_0}$ D. $\mathbf{B} = x^2\mathbf{x_0} + xy\mathbf{y_0}$

2. 在交变场中，在理想导体和理想介质的交界面介质一侧，**n** 为交界面法线方向（由导体指向介质），电场强度 **E** 和磁场强度 **H** 满足的条件是（ C ）

A. $\mathbf{n}\cdot\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\times\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\cdot\mathbf{H}=0,\ \mathbf{n}\times\mathbf{H}=\mathbf{J}_s$

B. $\mathbf{n}\cdot\mathbf{E}=\rho_s/\varepsilon,\ \mathbf{n}\times\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\cdot\mathbf{H}=\mathbf{J}_S,\ \mathbf{n}\times\mathbf{H}=0$

C. $\mathbf{n}\cdot\mathbf{E}=\rho_s/\varepsilon,\ \mathbf{n}\times\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\cdot\mathbf{H}=0,\ \mathbf{n}\times\mathbf{H}=\mathbf{J}_s$

D. $\mathbf{n}\cdot\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\times\mathbf{E}=0,\ \mathbf{n}\cdot\mathbf{H}=0,\ \mathbf{n}\times\mathbf{H}=0$

3. 空气中放置一单层介质板，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. $\dfrac{\sqrt{\varepsilon_r}\lambda_0}{2}$ B. $\dfrac{\sqrt{\varepsilon_r}\lambda_0}{4}$ C. $\dfrac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_r}}$ D. $\dfrac{\lambda_0}{4\sqrt{\varepsilon_r}}$

4. 有关导电介质中传播的电磁波，<u>错误</u>的描述是（ B ）

A. 场幅度随传播距离增加按指数衰减 B. 电场与磁场同相位

C. 有色散现象 D. 良导体中电磁波的趋肤深度随频率按$1/\sqrt{f}$变化

5. 传输线特征阻抗为 Z_0，负载阻抗为 R_L，且 $Z_0\neq R_L$，若用特性阻抗为 Z_{01} 的 1/4 波长阻抗变换器进行匹配,则匹配条件为 （ B ）.

A) $Z_{01}=Z_0R_L$　　B) $Z_{01}=\sqrt{Z_0R_L}$　　C) $Z_0=\sqrt{Z_{01}R_L}$　　D) $Z_{01}=R_L$

6. 已知正弦电磁场的电场强度矢量 $\mathbf{E}(r,t)=E_0[\mathbf{x_0}\cos(\omega t-\beta y)-\mathbf{z_0}\sin(\omega t-\beta y)]$，则电场强度复矢量为（　B　）

A. $\mathbf{E}(r,t)=-E_0(\mathbf{x_0}-j\mathbf{z_0})e^{-j\beta y}$　　B. $\mathbf{E}(r,t)=E_0(\mathbf{x_0}+j\mathbf{z_0})e^{-j\beta y}$

C. $\mathbf{E}(r,t)=E_0(\mathbf{x_0}-j\mathbf{z_0})e^{-j\beta y}$　　D. $\mathbf{E}(r,t)=-E_0(\mathbf{x_0}+j\mathbf{z_0})e^{-j\beta y}$

7. 若终端负载 Z_L（实数）大于传输线的特征阻抗 Z_C，则负载处电压反射系数相位为____；若终端负载 Z_L 小于传输线的特征阻抗 Z_C，则该处电压反射系数相位为_____.（　A　）

A. 0，π　　B. 0，0　　C. π，0　　D. π/2，π/2

8. 无源空间中，两介质介电常数分别为 $2\varepsilon_0$ 和 $4\varepsilon_0$，两介质交界面的法向为 **z**，已知介质 1 侧的电场为 $\mathbf{E}_1$=2**x**+3**y**+4**z**，则介质 2 侧的电场 $\mathbf{E}_2$ 为（　A　）

A. 2**x**+3**y**+2**z**　　B. 2**x**+3**y**+8**z**　　**C.** **x**+1.5**y**+4**z**　　D. 4**x**+6**y**+4**z**

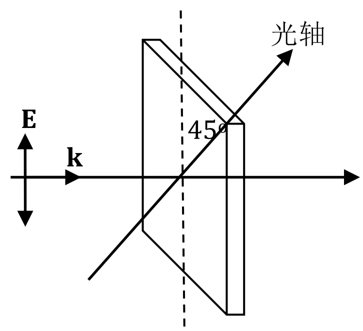
9. 一传输线其终端反射系数为 0.2，则驻波系数为（　B　）

A. 1　　B. 1.5　　C. 2　　D. 2.5

10. 传输线特征阻抗为 50Ω，电压为 $U(z)=10\mathrm{e}^{-jkz}-5\mathrm{e}^{jkz}$，则电流 $I(z)$ 为（　D　）：

A. $0.1\mathrm{e}^{-jkz}-0.2\mathrm{e}^{jkz}$　　B. $0.1\mathrm{e}^{-jkz}+0.2\mathrm{e}^{jkz}$　　C. $0.2\mathrm{e}^{-jkz}-0.1\mathrm{e}^{jkz}$　　D. $0.2\mathrm{e}^{-jkz}+0.1\mathrm{e}^{jkz}$

11. 如图所示，一真空波长为 λ_0 的线极化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 度。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，$n_o>n_e$，介质厚度 $d=\dfrac{\lambda_0}{4(n_o-n_e)}$，则出射的电磁波为（　A　）



A. 圆极化波　　B. 线极化波，极化方向旋转了 45 度

C. 线极化波，极化方向不变　　D. 线极化波，极化方向旋转了 90 度

12. 均匀平面波由介质垂直入射到理想导体表面时，产生全反射，入射波与反射波叠加将形成驻波，其电场强度的波节位置和磁场的波节位置（　B　）

A. 相同　　B. 相差λ/4　　C. 相差λ/2　　D. 相差λ

二、简答题（每题 6 分，共 36 分）

1. 简述电磁波群速和相速的物理意义？什么情况下群速等于相速？

答：相速：单一频率的正弦电磁波的等相面在介质中传播的速度。

群速是指波的包络传播的速度。实际系统的信号总是由许多频率分量组成，在色散介质中，各单色分量将以不同的相速传播，因此要确定信号在色散介质中的传播速度就发生困难，为此引入群速的

概念，它描述信号的能量传播速度。在无色散介质中，群速等于相速。

2. 什么是位移电流？它是如何引入的？位移电流与传导电流有何本质上的区别？

答：位移电流是电位移矢量对时间的变化率，它是为了消除电荷守恒定律与安培环路定理之间的矛盾而引入的。

传导电流是真实电流，会产生焦耳损耗，而位移电流不是真实电流，不会产生功率损耗。

3. 什么是均匀平面波？在理想介质中，均匀平面波具有什么传播特性？

答：波阵面（等相位面）为无限大平面且波阵面上各点的场强相同的电磁波称为均匀平面波。理想介质中均匀平面波的传播特性是：TEM 波、电场与磁场同相位、振幅不变（无衰减）、相速度与频率无关（非色散）。

4. 什么是 TEM 波、TE 波和 TM 波？

答：TEM 波也称之为“横电磁波”，是指在传播方向上没有电场和磁场分量的电磁波。也就是说，TEM 波的电场和磁场都分布在和传播方向垂直的平面中。

TE 波也称为“横电波”，是指在传播方向上有磁场分量但无电场分量的电磁波。

TM 波（即物理光学中的 p 波）指在传播方向上有电场分量但无磁场分量的电磁波，也称“横磁波”。

5. 试解释各向异性介质的含义并举一实例。

答：沿不同方向上的介质，其 μ、ε、σ 等特性各不相同，在不同方向外加电场作用下，介质对外表现出的特性也不同，这样的介质即为各向异性介质。

各向异性介质是相对于各向同性介质而言的。也就是说，各向异性的介质，其 μ、ε 或 σ 是张量，与方向有关，如等离子体、铁氧体等。

6. 写出简单介质中复数形式的麦克斯韦方程组。

解：简单介质中的麦克斯韦方程组为：

$$\begin{aligned} &\nabla\times E=-j\omega B\\ &\nabla\times H=J+j\omega D\\ &\nabla\cdot D=\rho_v\\ &\nabla\cdot B=0 \end{aligned}$$

三、（20 分）已知频率为 750MHz 的均匀平面波的电场强度矢量：

$$E(r) == (-j\hat{x}_0 + 0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)e^{-j\pi(3y-4z)} \quad \text{V/m}$$，试求

(1) 电磁波传播方向的单位矢量 **n**

(2) 电磁波的波长和该介质（$\mu_r = 1$）的相对介电常数 ε_r

(3) 电场强度的瞬时表达式

(4) 磁场强度的复数表达式和瞬时表达式

(5) 坡印亭矢量的瞬时值和平均值。

(6) 极化状态

解： (1) $\vec{k} = 3\pi\hat{y}_0 - 4\pi\hat{z}_0 = k\vec{n}$ rad/s, $k = 5\pi$ rad/s, $\vec{n} = \dfrac{\vec{k}}{k} = 0.6\hat{y}_0 - 0.8\hat{z}_0$

(2) $\lambda = \dfrac{2\pi}{k} = \dfrac{2\pi}{5\pi} = 0.4$ m, $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 750 \times 10^6 = 15\pi \times 10^8$ rad/s

由角频率 $k = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0\varepsilon_r}$，则 $\sqrt{\varepsilon_r} = \dfrac{k}{\omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = \dfrac{5\pi \times 3 \times 10^8}{15\pi \times 10^8} = 1$， 所以 $\varepsilon_r = 1$

(3)

$$\begin{aligned}\vec{E}(r,t) &= \mathrm{Re}\left[(-j\hat{x}_0 + 0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)e^{-j\pi(3y-4z)}e^{j(15\pi\times10^8)t}\right] \\ &= \hat{x}_0\sin[15\pi\times10^8\times t - \pi(3y-4z)] + (0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)\cos[15\pi\times10^8\times t - \pi(3y-4z)] \quad \text{V/m}\end{aligned}$$

(4)

$$\begin{aligned}\vec{H}(r) &= \frac{\vec{n}\times\vec{E}(r)}{\eta_0} \\ &= \frac{1}{377}(\mathbf{x_0} + j0.8\mathbf{y_0} + j0.6\mathbf{z_0})e^{-j\pi(3y-4z)} \quad \text{A/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{H}(r,t) &= \mathrm{Re}\left[\frac{1}{377}(\hat{x}_0 + j0.8\hat{y}_0 + j0.6\hat{z}_0)e^{-j\pi(3y-4z)}e^{j(15\pi\times10^8)t}\right] \\ &= \frac{1}{377}\left\{\hat{x}_0\cos[15\pi\times10^8\times t - \pi(3y-4z)] - (0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)\sin[15\pi\times10^8\times t - \pi(3y-4z)]\right\} \quad \text{A/m}\end{aligned}$$

(5)

$$\begin{aligned}\vec{S}(r,t) &= \vec{E}(r,t)\times\vec{H}(r,t) \\ &= \left\{\hat{x}_0\sin[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)] + (0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)\cos[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)]\right\} \\ &\times\frac{1}{377}\left\{\hat{x}_0\cos[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)] - (0.8\hat{y}_0 + 0.6\hat{z}_0)\sin[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)]\right\} \\ &= \frac{1}{377}\left\{(0.6\hat{y}_0 - 0.8\hat{z}_0)\cos^2[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)] + (0.6\hat{y}_0 - 0.8\hat{z}_0)\sin^2[15\pi\times10^8 - \pi(3y-4z)]\right\} \\ &= \frac{1}{377}(0.6\hat{y}_0 - 0.8\hat{z}_0) \qquad \text{W/m}^2\end{aligned}$$

$$\langle S\rangle=\frac{1}{2}\mathrm{Re}[\vec{E}(r)\times\vec{H}^*(r)]$$
$$=\frac{1}{2}(-j\hat{x}_0+0.8\hat{y}_0+0.6\hat{z}_0)e^{-j\pi(3y-4z)}\times\frac{1}{377}(\hat{x}_0-j0.8\hat{y}_0-j0.6\hat{z}_0)e^{j\pi(3y-4z)}$$
$$=\frac{1}{2}\times\frac{1}{377}(1.2\hat{y}_0-1.6\hat{z}_0)$$
$$=\frac{1}{377}(0.6\hat{y}_0-0.8\hat{z}_0)\qquad \mathrm{W/m^2}$$

(6) 圆极化波，右旋

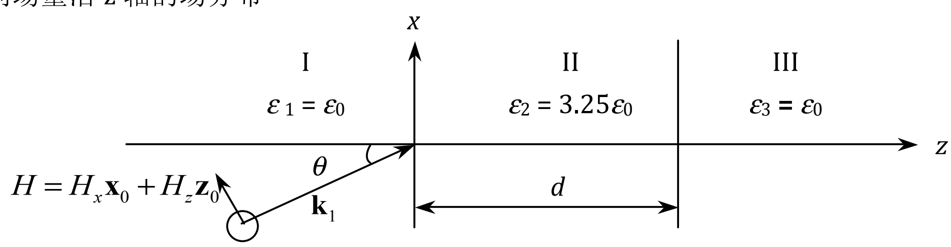
四、(20 分) 如图所示，平面波 $\mathbf{H}(x,z)=(\sqrt{3}\mathbf{x_0}-\mathbf{z_0})e^{-jk_0(x+\sqrt{3}z)/2}$ A/m 倾斜投射到厚度 $d=\lambda_0/4\sqrt{3}$ 的薄层介质。

(1) 求电磁波的极化特性、入射角

(2) 画出电磁波沿 z 方向传播的等效传输线，并计算各段传输线的参数（传播常数和特征阻抗）

(3) 求 z=0 处的反射系数

(4) 画出横向场量沿 z 轴的场分布



解：(1) 在 I 区，$\mathbf{E}=\frac{1}{j\omega\varepsilon_0}\nabla\times\mathbf{H}=-\frac{\mathbf{k_1}}{\omega\varepsilon_0}\times\mathbf{H}$，　　$\mathbf{k_1}=k_0(\mathbf{x_0}+\sqrt{3}\mathbf{z_0})/2$

$$\mathbf{E}=-\frac{k_0(\mathbf{x_0}+\sqrt{3}\mathbf{z_0})/2}{\omega\varepsilon_0}\times(\sqrt{3}\mathbf{x_0}-\mathbf{z_0})e^{-jk_0(x+\sqrt{3}z)/2}=-2\eta_0\mathbf{y_0}e^{-jk_0(x+\sqrt{3}z)/2},$$

$\eta_0=\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ 为真空波阻抗

所以，入射波为线极化。

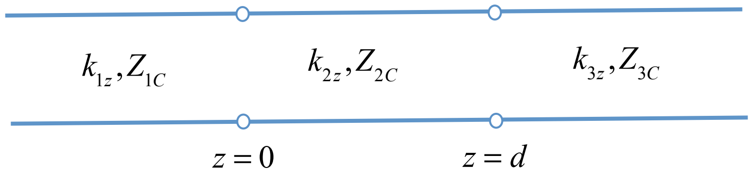
$\tan\theta=\frac{1}{\sqrt{3}}$，　入射角 $\theta=30^\circ$

(2) $k_1=k_0$，　　$k_{1x}=k_{2x}=k_{3x}=k_1\sin\theta=0.5k_0$，　　为 TE 模

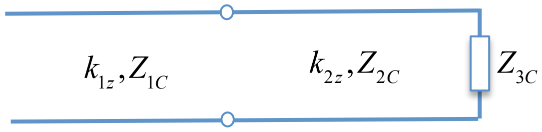
$$k_{1z}=k_1\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}k_0,\qquad Z_{1C}=\frac{\omega\mu_0}{k_{1z}}=\frac{2\omega\mu_0}{\sqrt{3}k_0}=\frac{2}{\sqrt{3}}\eta_0$$

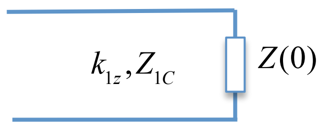
$$k_{2z}=\sqrt{k_2^2-k_{2x}^2}=\sqrt{3.25k_0^2-0.25k_0^2}=\sqrt{3}k_0,\quad Z_{2C}=\frac{\omega\mu_0}{k_{2z}}=\frac{\mu_0}{\sqrt{3}k_0}=\frac{\eta_0}{\sqrt{3}}$$

$$k_{3z}=\sqrt{k_3^2-k_{3x}^2}=\sqrt{k_0^2-0.25k_0^2}=\frac{\sqrt{3}}{2}k_0,\quad Z_{3C}=\frac{\omega\mu_0}{k_{2z}}=\frac{2\omega\mu_0}{\sqrt{3}k_0}=\frac{2}{\sqrt{3}}\eta_0$$



(3)





由于 $k_{2z}d=\sqrt{3}k_0\dfrac{\lambda_0}{4\sqrt{3}}=\dfrac{\pi}{2}$，区域 II 为四分之一波长传输线，所以 $Z(0)=\dfrac{Z_{2C}^2}{Z_{3C}}=\dfrac{\frac{\eta_0^2}{3}}{\frac{2\eta_0}{\sqrt{3}}}=\dfrac{\sqrt{3}}{6}\eta_0$

$$\Gamma_u(0)=\frac{Z(0)-Z_{1C}}{Z(0)+Z_{1C}}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{6}-\frac{2}{\sqrt{3}}}{\frac{\sqrt{3}}{6}+\frac{2}{\sqrt{3}}}=\frac{3-12}{3+12}=-\frac{9}{15}=-0.6$$

(4)

$$\Gamma_u(d)=\frac{Z_{3C}-Z_{2C}}{Z_{3C}+Z_{2C}}=\frac{\frac{2}{\sqrt{3}}-\frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{2}{\sqrt{3}}+\frac{1}{\sqrt{3}}}=\frac{1}{3}$$

$$E_1=-2\eta_0e^{-j\frac{1}{2}k_0x}(e^{-j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z}+\Gamma_u(0)e^{j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z})=-2\eta_0e^{-j\frac{1}{2}k_0x}(e^{-j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z}-0.6e^{j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z})$$

$$E_2=E_{20}e^{-j\frac{1}{2}k_0x}[e^{-j\sqrt{3}k_0(z-d)}+\Gamma_u(d)e^{j\sqrt{3}k_0(z-d)}]=jE_{20}e^{-j\frac{1}{2}k_0x}(e^{-j\sqrt{3}k_0z}-\frac{1}{3}e^{j\sqrt{3}k_0z})$$

$$E_3=E_{30}e^{-j\frac{1}{2}k_0x}e^{-j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z}$$

根据边界条件：

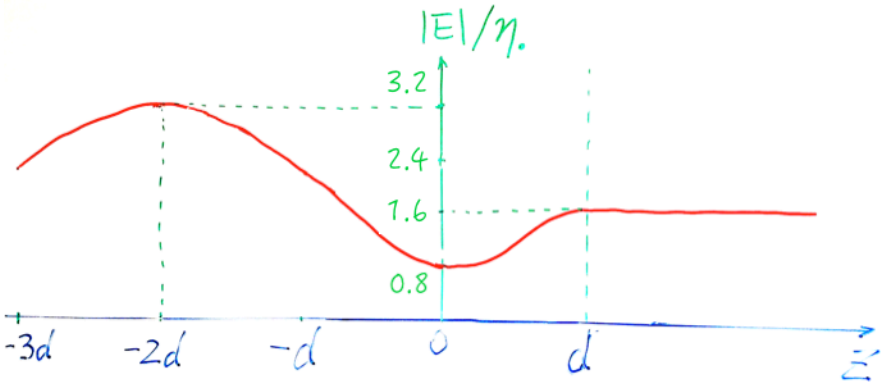
z=0，$E_1=E_2$ ，$jE_{20}\frac{2}{3}=-2\eta_0\times0.4$，　$E_{20}=j1.2\eta_0$

z=d，$E_2=E_3$，$-jE_{30}=E_{20}\times\frac{4}{3}=j1.6\eta_0$，　$E_{30}=-1.6\eta_0$

$$E_1=-2\eta_0 e^{-j\frac{1}{2}k_0x}(e^{-j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z}-0.6e^{j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z})$$

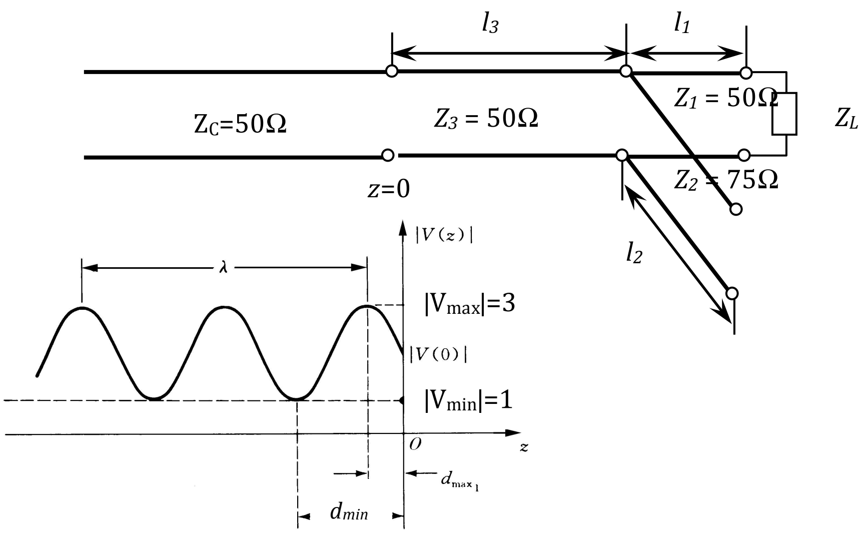
$$E_2=-1.2\eta_0 e^{-j\frac{1}{2}k_0x}(e^{-j\sqrt{3}k_0z}-\frac{1}{3}e^{j\sqrt{3}k_0z})$$

$$E_3=-1.6\eta_0 e^{-j\frac{1}{2}k_0x}e^{-j\frac{\sqrt{3}}{2}k_0z}$$



五、已知λ=10cm，l_1=1cm, l_2=2cm, l_3=3cm,在 z=0 输入端口左边传输线上测得归一化的

$|V_{max}=3|$，$|V_{min}=1|$，$d_{min}=0.35\lambda$，求终端负载 Z_L=?



解：$\rho=\frac{V_{max}}{V_{min}}=3, d_{min}=0.35\lambda\Rightarrow|\Gamma|=0.5,\varphi=0.4\pi$，即为圆图中的 A 点，$z_A$=0.8+j,

l_3=3cm=0.3λ,A 点逆时针旋转 0.3λ与反射系数圆相交于点 B， z_B=0.8-j,

其对应导纳为 C 点，y_c=0.48+0.61j，

l_2=2cm=0.2λ，终端开路的传输线经过 0.2λ后引入的归一化导纳为 3.07j,则负载经过 l_1 的导纳为 $y_c \times Y_3$-3.07j×Y_2=0.0096-0.0287j，与之对应的归一化导纳为 0.48-1.435j,为图中的 D 点 OD 连线逆时针旋转 0.1λ交以圆图中心 O 点为圆心，OD 为半径的反射系数圆与 E 点，E 点即为负载的归一化导纳点 y_E=5.7615 + 2.3006j。延长 OF 与上述反射系数圆相交于 F 点，F 点即为负载归一化阻抗点 z_f=0.15-0.06j。所以负载阻抗 Z_L=7.5-3j。