

南京理工大学课程考试试卷 (教师组卷、存档用)

教学大纲编号: 04028002

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2

试卷编号: 001

考试方式: 闭卷笔试 考试时间: 120 分钟

满分分值: 100 分

组卷年月: 2006.4. 组卷教师: 沙侃

审定教师:

1. 已知两副天线的方向函数分别是 $f_1(\theta) = \sin^2 \theta + 0.4$, $f_2(\theta) = \cos^2 \theta + 0.5$, 试计算这两副天线方向图的半功率角。

2. 某微波通信线路, 发射机输出功率 $P_t = 8\text{W}$, 收, 发天线增益 $G_1 = 2000$, $G_2 = 30\text{dB}$, 工作波长 $\lambda = 3\text{cm}$. 试计算在 $r = 40\text{km}$ 处的接收功率。

3. 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于 36000 km 高度, 工作频率为 5GHz , 卫星天线的输入功率为 15dBW , 地面站抛物面接收天线增益系数为 50dB , 假如接收机所需的最低输入功率是 2 pW , 这时卫星上发射天线在接收天线方向上的增益系数至少应为多少?

4. 有两个半波阵子组成一个共线二元阵, 其间隔距离 $d = \lambda$, 电流比 $I_{m2} = I_{m1}$, 求其 E 面和 H 面的方向函数。

5. 某一微波中继通信线路的工作频率为 5GHz , 两站的天线架高均为 100m , 试求不计大气折射时的视线距离和亮区距离。如果计入大气折射, 折射系数 $K = 4/3$, 求视线距离和亮区距离。如果发射功率为 30W , 发射天线增益为 35dB , 求上面两种情况下亮区距离处的场强。

6. 对均匀直线阵当阵元数 N 增加时, 主瓣宽度将变__, 方向性系数将变__, 副瓣电平将变__, 副瓣电平的极限是__。

设计一用无方向性理想点源组成的均匀直线阵, 要求形成边射阵, D 大于等于 100 , 确定参数 N , d , β 。

档案编号:

②

南京理工大学课程考试答案及评分标准

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 教学大纲编号: 04028001

试卷编号: A 考试方式: 闭卷笔试 满分分值: 100 考试时间: 120 分钟

1. (20 分) 已知两副天线的方向函数分别是 $f_1(\theta) = \sin^2 \theta + 0.4$, $f_2(\theta) = \cos^2 \theta + 0.5$, 试计算这两副天线方向图的半功率角。

(1) 最大辐射方向在 $\theta = 90^\circ$

$$F_1(\theta) = (\sin^2 \theta + 0.4) / (\sin^2(90^\circ) + 0.4)$$

$$\text{令 } F_1(\theta) = 0.707$$

$$\text{解得: } \theta = 50.17^\circ, \text{ 半功率角 } 2\theta_{0.5} = 2 \times (90 - 50.17) = 79.65^\circ$$

(2) (I) 最大辐射方向在 $\theta = 0^\circ$

$$F_2(\theta) = (\cos^2 \theta + 0.5) / (\cos^2(0^\circ) + 0.5)$$

$$\text{令 } F_2(\theta) = 0.707$$

$$\text{解得: } \theta = 41.52^\circ, \text{ 半功率角 } 2\theta_{0.5} = 2 \times 41.52 = 83.04^\circ$$

2. (20 分) 某微波通信线路, 发射机输出功率 $P_t = 8W$, 收发天线增益 $G_1 = 2000$, $G_2 = 30dB$, 工作波长 $\lambda = 3cm$. 试计算在 $r = 40km$ 处的接收功率。

$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 P_t G_1 G_2 A^2 = \left(\frac{3 \times 10^{-2}}{4\pi \times 40 \times 10^3}\right)^2 \times 8 \times 2000 \times 10^{\frac{30}{10}} \times 1^2 = 5.6993 \times 10^{-8} (W)$$

$$\text{或 } -42.44dBm$$

3. (15 分) 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于 36000 km 高度, 工作频率为 5GHz, 卫星天线的输入功率为 15dBW, 地面站抛物面接收天线增益系数为 50dB, 假如接收机所需的最低输入功率是 2 pW, 这时卫星上发射天线在接收天线方向上的增益系数至少应为多少?

$$\text{已知: } P_L = 2pW = 10 \log(2 \times 10^{-12}) \approx -117dBW$$

$$P_t = 15dBW$$

$$G_L = 50dB$$

$$L_0 = 32.45 + 20 \log f(MHz) + 20 \log r(km)$$

$$= 32.45 + 20 \log 5 \times 10^3 + 20 \log 36000 = 197.56dB$$

$$P_L = P_t + G_r + G_L - L_0$$

$$\text{发射天线增益 } G_r = P_L - P_t - G_L + L_0 = -117 - 15 - 50 + 197.56 = 15.6dB$$

4. (15 分) 有两个半波阵子组成一个共线二元阵, 其间隔距离 $d = \lambda$, 电流比 $I_{m2} = I_{m1}$, 求其 E 面和 H 面的方向函数。

$$m = 1, \xi = 0. \text{ 相位差 } \psi = k\Delta r.$$

1) E 平面(yoz)

$$f_e(\delta) = |2 \cos(\pi \cos \delta)|$$

阵因子为

根据方向图乘积定理, 此二元阵在 E 平面(yoz) 的方向函数为

2) H 平面(xoz)

$$f_H(\delta) = \left| \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \delta)}{\sin \delta} \right| \times |2 \cos(\pi \cos \delta)|$$

H 面阵因子无方向性。

$$f_H(\alpha) = 1 \times 2 = 2$$

5. (15 分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 5GHz, 两站的天线架高均为 100m, 试求不计大气折射时的视线距离和亮区距离。如果计入大气折射, 折射系数 $K = 4/3$, 求视线距离和亮区距离。如果发射功率为 30W, 发射天线增益为 35dB, 求上面两种情况下亮区距离处的场强。

$$\text{不计大气折射时 } r_0 = 3.57(\sqrt{100} + \sqrt{100}) = 71.4km, \text{ 亮区距离 } d = 0.7r_0 = 49.98km$$

$$\text{当计入大气折射 } r_0 = 4.12(\sqrt{100} + \sqrt{100}) = 82.4km, \text{ 亮区距离 } d = 0.7r_0 = 57.68km$$

不计大气折射时场强:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{60P_m G}}{r} = \frac{\sqrt{60 \times 30 \times 10^{35/10}}}{49.98 \times 10^3} = 0.047735(V/m)$$

计入大气折射时场强:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{60P_m G}}{r} = \frac{\sqrt{60 \times 30 \times 10^{35/10}}}{57.68 \times 10^3} = 0.0413629(V/m)$$

6. (15 分) 对均匀直线阵当阵元数 N 增加时, 主瓣宽度将变窄, 方向性系数将变高(大), 副瓣电平将变小(低), 副瓣电平的极限是 13.5dB。

设计一用无方向性理想点源组成的均匀直线阵, 要求形成边射阵, D 大于等于 100, 确定参数 N, d, β 。 边射阵 $\beta = 0$

由边射阵抑制栅瓣条件 $d < \lambda$ 可取 $d = \lambda/2$

$$\text{由 } D = \frac{2Nd}{\lambda} \text{ 得: } N = \frac{D\lambda}{2d} = 100$$

南京理工大学课程考试试卷 (教师组卷、存档用)

教学大纲编号: 04028002

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 试卷编号: A

考试方式: 闭卷笔试 考试时间: 120 分钟 满分分值: 100 分

组卷年月: 2007.5 组卷教师: 沙侃 审定教师:

1. (10 分) 对均匀直线阵当阵元数 N 增加时, 主瓣宽度将变__, 方向性系数将变__, 副瓣电平将变__, 副瓣电平的极限是__。

2. (10 分) 什么叫衰落? 短波天波传播中产生衰落的主要原因有哪些?

3. (10 分) 判断地面是否光滑的依据是什么? 如果地面的起伏高度为 7.2cm, 在电波投射角为 25° 时, 什么样的频率范围可以将该地面视为平面地?

4. (15 分) 某微波通信线路, 发射机输出功率 $P_t=8\text{W}$, 收发天线增益 $G_1=1600$, $G_2=30\text{dB}$, 工作波长 $\lambda=3\text{cm}$ 。试计算在 $d=40\text{km}$ 处的接收功率。

5. (20 分) 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于 36000 km 高度, 工作频率为 12GHz, 卫星天线的输入功率为 15dBW, 地面站抛物面接收天线增益系数为 50dB, 假如接收机所需的最低输入功率是 1 pW, 这时卫星上发射天线在接收天线方向上的增益系数至少应为多少?

6. (15 分) 有两个半波阵子组成一个共线二元阵, 其间隔距离 $d=\lambda/2$, 电流比 $I_{m1}=I_{m2}$, 求其 E 面和 H 面的方向函数。

7. (20 分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 3GHz, 两站的天线架高均为 90m, 试求不计大气折射时的视线距离和亮区距离。如果计入大气折射, 折射系数 $K=1.3$, 求视线距离和亮区距离。如果发射功率为 10dBW, 发射天线增益为 35dB, 求上面两种情况下亮区距离处的场强。

档案编号: _____

南京理工大学课程考试试卷 (学生考试用)

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 教学大纲编号: 04028002

试卷编号: A 考试方式: 闭卷笔试 满分分值: 100 考试时间: 120 分钟

组卷日期: 2009年 6月 15日 组卷教师(签字): 樊振宇 审定人(签字): 孙晓

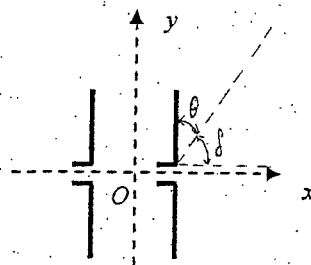
将答案写在答题纸上

一、选择题 (15分)

- (1) 对称振子天线辐射的是
A. 均匀平面波 B. 非均匀平面波 C. 柱面波 D. 球面波
- (2) 下面哪一种天线工作在圆极化模式
A. 对称振子 B. 法向模螺旋天线 C. 轴向模螺旋天线 D. 折合振子
- (3) 下面无线电波中绕射能力最强的是
A. 长波 B. 中波 C. 短波 D. 微波
- (4) 电离层在短波天波通信中吸收作用最强的一层是:
A. D层 B. E层 C. F1层 D. F2层
- (5) 中央人民广播电台第一套节目中国之声的频率为 1359KHz, 这是
A. 中波 B. 短波 C. 超短波 D. 微波

二、(10分) 已知某天线的功率方向函数是 $\phi(\theta) = \sin^2 \theta + 0.5$, 求该天线的(1)半功率点波瓣宽度 $2\theta_{0.5}$ (2)方向性系数。

三、(10分) 如图所示, 有两个半波振子组成一个平行二元阵, 其间隔距离 $d = 0.25\lambda$, 电流比 $I_{m2}/I_{m1} = 2e^{-j\frac{\pi}{2}}$, 试指出其 E 面和 H 面以及这两个面上的方向函数。



四、(15分) 沿 z 轴排列的 10 元各向同性元的均匀直线天线阵, 阵元间距 $d = 0.25\lambda$ 。试分别按(1)边射阵(2)端射阵(3)最佳端射阵。求出相邻元相位差、主瓣半功率宽度、零瓣宽度、第一副瓣位置和相对副瓣电平。

五、(15分) 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于 36941 km 高度, 发射天线的增益系数为 10dB, 其输入功率为 25dBW, 工作频率为 20GHz, 输入输出端各自馈线损耗为 2dB, 信道的衰减因子为 0.9, 假如接收机所需的最低输入功率是 1.5 pW, 这时地面站接收天线增益系数至少应为多少?

六、(15分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 6GHz, 两站的天线架高均为 80m, 试求不计大气折射时的视线距离和亮区距离。如果计入标准大气折射, 求视线距离和亮区距离。如果发射功率为 11dBW, 发射天线增益系数为 35dB, 求上面两种情况下亮区距离处的直射场的场强幅度。(地球半径 $R = 6370\text{km}$)

七、(20分) 已知发射天线输入功率为 150W, 在自由空间与接收天线相距 40km, 试求下列情况下的最大接收功率:

- (1) 工作波长为 3cm, 发射天线线极化, 增益为 5dB; 接收天线线极化, 有效接收面积为 1m^2
- (2) 发射天线线极化, 增益为 3; 接收天线圆极化, 其几何口径面积为 1.5m^2 , 面积利用系数 0.81
- (3) 工作波长为 0.1m, 发射天线为线极化, 方向性系数为 5dBi, 天线效率为 0.8; 接收天线线极化, 增益为 3, 接收天线位于发射天线方向图的半功率方向。

南京理工大学课程考试答案及评分标准 2009年

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 教学大纲编号: 04028001

试卷编号: A 考试方式: 闭卷笔试 满分分值: 100分 考试时间: 120分钟

一、选择题 (15分, 每小题3分)

(1) 对称振子天线辐射的是 D

A. 均匀平面波 B. 非均匀平面波 C. 柱面波 D. 球面波

此题为基本题 考核天线中辐射电磁波的基本特性。

(2) 下面哪一种天线 C 工作在圆极化模式

A. 对称振子 B. 法向模螺旋天线 C. 轴向模螺旋天线 D. 折合振子

此题为基本题 考核天线中辐射电磁波的基本特性。

(3) 下面无线电波中绕射能力最强的是 A

A. 长波 B. 中波 C. 短波 D. 微波

此题为基本题 考核电波传播的基本特性。

(4) 电离层在短波天波通信中吸收作用最强的一层是 A

A. D层 B. E层 C. F1层 D. F2层

此题为基本题 考核电波天波传播的基本特性。

(5) 中央人民广播电台第一套节目中国之声的频率为1359KHz, 这是 A

A. 中波 B. 短波 C. 超短波 D. 微波

此题为基本题 考核电波传播的基本特性。

二、(10分) 已知某天线的功率方向函数是 $\phi(\theta) = \sin^2 \theta + 0.5$, 求该天线的(1)半功率点波瓣宽度 $2\theta_{0.5}$, (2)方向性系数。

答:

(1) 最大辐射方向在 $\theta = 90^\circ$,

归一化功率方向函数 $\Phi(\theta) = (\sin^2 \theta + 0.5) / (\sin^2(90^\circ) + 0.5)$, (2分)

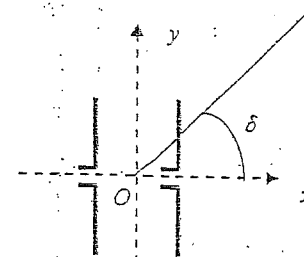
令 $\Phi(\theta) = 0.5$, 解得: $\theta = 30^\circ$, (2分)

半功率角 $2\theta_{0.5} = 2 \times (90^\circ - 30^\circ) = 120^\circ$ (2分)

$$(2) D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Phi(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} = \frac{3}{\int_0^{2\pi} (\sin^2 \theta + 0.5) \sin \theta d\theta} = \frac{9}{7} \quad (4分)$$

此题为基本题 考核天线中有关方向图参数的概念。包括方向图函数中的功率方向函数与归一化功率方向函数、半功率波瓣宽度、方向性系数及方向性系数的计算等知识点。

三、(10分) 如图所示, 有两个半波振子组成一个平行二元阵, 其间距离 $d = 0.25\lambda$, 电流比 $I_{m2}/I_{m1} = 2e^{-j\frac{\pi}{2}}$, 试指出其E面和H面以及这两个面上的方向函数。



答: 由题可知

$$m = 2, \quad \xi = -\frac{\pi}{2}, \quad \Psi = \xi + kd \cos \delta = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta,$$

δ 的含义如图, 表示观察矢径与天线阵轴 x 轴之间的夹角。则阵因子方向性函数为:

$$f_{\text{阵}} = |1 + me^{j\Psi}| = |1 + 2e^{j(-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta)}| = \sqrt{5 + 4 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \delta\right)} \quad (3分)$$

可以看出 $f_{\text{阵max}} = f_{\text{阵}}|_{\delta=0}$

所以该天线阵的E面为XOY面; 而非YOZ面, H面为XOZ面
E面方向函数为: (2分)

$$f = f_{\text{振子}} \cdot f_{\text{阵}} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \delta\right)}{\cos \delta} \times \sqrt{5 + 4 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \delta\right)} \quad (3分)$$

H面方向函数

$$f = f_{\text{振子}} \cdot f_{\text{阵}} = 1 \times \sqrt{5 + 4 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \delta\right)} \quad (2分)$$

⑥

此题为基本题,考核半波阵子的E面和H面的方向函数的概念和阵列的方向函数的推导,包括对称振子、天线阵的方向性、方向函数等知识点。

四、(15分) 沿z轴排列的10元各向同性元的均匀直线天线阵,阵元间距 $d=0.25\lambda$ 。试分别按(1)边射阵(2)端射阵(3)最佳端射阵。求出相邻元相位差、主瓣半功率宽度、零瓣宽度、第一副瓣位置和相对副瓣电平。

答: 均匀直线阵阵因子: $\frac{1}{N} \left| \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}} \right|$, 其中: $\Psi = \xi + kd \cos \delta = \xi + \frac{\pi}{2} \cos \delta$; 并且 $0 \leq \delta \leq \pi$

可视区为 $\xi - \frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \xi + \frac{\pi}{2}$

阵因子的最大辐射方向为 $\Psi=0$ 对应的 δ 角

阵因子的第一副瓣位置为 $\Psi = \pm \frac{3\pi}{10}$ 对应的 δ 角

(1)边射阵

$\delta = \frac{\pi}{2}$, 相邻元相位差 $\xi = 0$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 0.886 \frac{\lambda}{Nd} = 0.35rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = \frac{2\lambda}{Nd} = 0.80rad$, (1分)

可视区 $-\frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$, 第一副瓣位置: $\frac{\pi}{2} \cos \delta = \pm \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = 53.1^\circ$ 或 126.9° , (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -13.5dB$ (1分)

(2)端射阵

$\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \frac{\pi}{2}$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 2 \sqrt{0.88 \frac{\lambda}{Nd}} = 1.19rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = 2 \sqrt{\frac{2\lambda}{Nd}} = 1.79rad$, (1分)

以 $\xi = \frac{\pi}{2}$ 为例, 可视区 $0 \leq \Psi \leq \pi$, 第一副瓣位置: $\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 113.6^\circ$,

$\xi = -\frac{\pi}{2}$ 时, 可视区 $-\pi \leq \Psi \leq 0$, 第一副瓣位置: $-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = -\frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 66.4^\circ$, (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -13.5dB$

(1分)

(3)强方向性端射阵

$\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{10} \right)$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 2 \sqrt{0.28 \frac{\lambda}{Nd}} = 0.67rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = 2 \sqrt{\frac{\lambda}{Nd}} = 1.26rad$, (1分)

以 $\xi = \frac{3\pi}{5}$ 为例, 可视区 $\frac{\pi}{10} \leq \Psi \leq \frac{11\pi}{10}$, 第一副瓣位置: $\frac{3\pi}{5} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 126.9^\circ$,

$\xi = -\frac{3\pi}{5}$ 时, 可视区 $-\frac{11\pi}{10} \leq \Psi \leq -\frac{\pi}{10}$,

第一副瓣位置: $-\frac{3\pi}{5} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = -\frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 53.1^\circ$ (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -9.5dB$ (1分)

此题为综合题,考核天线中有关均匀直线阵的概念。包括激励电流相位差、阵元间的距离、可视区、均匀直线阵最大辐射方向条件、边射阵、端射阵、最佳端射阵、第一副瓣位置、主瓣半功率宽度、零瓣宽度。

五、(15分) 在同步卫星与地面的通信系统中,卫星位于36941 km高度,发射天线的增益系数为10dB,其输入功率为25dBW,工作频率为20GHz;输入输出端各自馈线损耗为2dB,信道的衰减因子为0.9,假如接收机所需的最低输入功率是1.5 pW,这时地面站接收天线增益系数至少应为多少?

答:

$$P_L = 1.5 pW = 10 \log(1.5 \times 10^{-12}) \approx -118.2 dBW \quad (2分)$$

$$L_0 = 32.45 + 20 \log f(MHz) + 20 \log r(km) \quad (5分)$$

$$= 32.45 + 20 \log 20 \times 10^3 + 20 \log 36941 = 209.8 dB$$

$$P_L = P_r + G_r + G_L - L_0 - L_f \quad (4分)$$

$$\text{代入 } P_r = 25 dBW; \quad L_f = 2 + 2 + 20 \log \frac{1}{A} = 4.9 dB; \quad G_r = 10 dB; \quad L_0 = 209.8 dB \quad (2分)$$

$$\text{得接收天线增益 } G_L = P_L - P_r - G_r + L_0 + L_f = -118.2 - 25 - 10 + 209.8 + 4.9 = 61.5 dB$$

接收天线增益系数至少应为61.5dB. (2分)

$$G_L \geq \frac{P_L}{\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 G_r A_r A_L^2 P_m} = \frac{1.5 \times 10^{-12}}{\left(\frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^9}\right)^2 \times 10^1 \times 10^{-\frac{1}{3}} \times 10^{-\frac{1}{3}} \times 0.9^2 \times 10^{2.5}} = 61.5 \text{ dB}$$

此题为基本题 考核卫星与地面的通信系统中天线增益系数的计算, 包括微波传播、自由空间电波传播、天线增益系数等知识点。

七、(20 分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 6GHz, 两站的天线架高均为 81m, 考虑大气折射, 求视线距离和亮区距离。如果发射天线的输入功率为 20dBW, 在亮区距离处的电场强度有效值为 0.03V/m, 接收用增益系数为 45dB 的天线, 求发射天线的最小增益与接收天线所收到的最大功率。(地球半径 R=6370km)

答:

不计大气折射时 $r_0 = 3.57(\sqrt{80} + \sqrt{80}) \square 63.86 \text{ km}$, 亮区距离 $d = 0.7r_0 = 44.70 \text{ km}$ (6 分)

当计入大气折射 $r_0 = 4.12(\sqrt{80} + \sqrt{80}) \square 73.70 \text{ km}$, 亮区距离 $d = 0.7r_0 = 51.59 \text{ km}$ (4 分)

不计大气折射时场强:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{60 P_m G}}{r} = \frac{\sqrt{60 \times 10^{11/10} \times 10^{35/10}}}{44.70 \times 10^3} = 0.034575 \text{ (V/m)} \quad (3 \text{ 分})$$

计入大气折射时场强:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{60 P_m G}}{r} = \frac{\sqrt{60 \times 10^{11/10} \times 10^{35/10}}}{51.59 \times 10^3} = 0.02996 \text{ (V/m)} \quad (2 \text{ 分})$$

(单位错误、漏写扣 2 分)

此题为基本题, 考核计入大气折射和不计大气折射时的视线距离和亮区距离的计算和亮区距离上场强的计算。包括自由空间电波传播、对流层大气对视距传播的影响、天线增益系数等知识点。

七、(20 分) 已知发射天线输入功率为 150W, 在自由空间与接收天线相距 40km, 试求下列情况下的最大接收功率:

- (1) 工作波长为 3cm, 发射天线线极化, 增益为 5dB; 接收天线线极化, 有效接收面积为 1 m^2
- (2) 发射天线线极化, 增益为 3; 接收天线圆极化, 其几何口径面积为 1.5 m^2 , 面积利用系数 0.81
- (3) 工作波长为 0.1m, 发射天线为线极化, 方向性系数为 5dBi, 天线效率为 0.8; 接收天线线极化, 增益为 3, 接收天线位于发射天线方向图的半功率方向。

答:

$$(1) P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r G_r A_{rL} = \frac{1}{4 \times 3.14159 \times (40 \times 10^3)^2} \times 150 \times 10^{\frac{5}{10}} \times 1 = 2.36 \times 10^{-8} \text{ W} = -76.27 \text{ dBW} \quad (7 \text{ 分})$$

$$(2) P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r G_r \cdot S \cdot \eta \cdot \eta_p = \frac{1}{4 \times 3.14159 \times (40 \times 10^3)^2} \times 150 \times 3 \times 1.5 \times 0.81 \times \frac{1}{2} = 1.36 \times 10^{-8} \text{ W} \quad (6 \text{ 分})$$

$$(3) P_L = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 P_m D_r \eta_r \frac{1}{2} \cdot G_L = \left(\frac{0.1}{4 \times 3.14159 \times 40 \times 10^3}\right)^2 \times 150 \times 10^{0.5} \times 0.8 \times \frac{1}{2} \times 3 = 2.25 \times 10^{-11} \text{ W} \quad (7 \text{ 分})$$

(单位错误、漏写扣 2 分)

此题为综合提高题 考核对微波传播功率的计算, 包括视距传播、自由空间电波传播、天线增益、天线有效接收面积、面积利用系数、收发天线的互易原理等知识点。

8

2011 年天线与电波传播课程考试试卷答案 B 卷

一、选择题 (20 分, 每题 3 分, 第 2 小题 8 分)

(1) 下面哪一种天线工作在圆极化模式 C

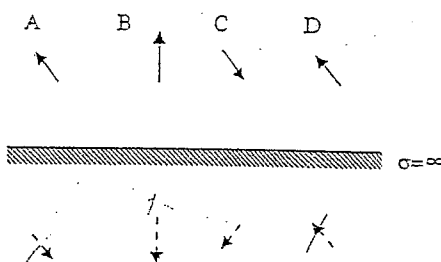
A. 理想缝隙天线 B. 边射型螺旋天线 C. 端射型螺旋天线 D. 八木天线

(2) 平行于 Z 轴放置的电基本振子远场区只有 E_θ 和 H_ϕ 两个分量, 它们在空间上 垂直, 在相位上 同相 (近场区除外)

(3) 在不需要辐射的区域某波瓣的最大值与主瓣的最大值一样大, 该波瓣是 副瓣

A. 主瓣 B. 栅瓣 C. 后瓣 D. 副瓣

(4) 下面电流元(实线)关于理想导体平面的镜像示意图(虚线)中, 正确的是 C



(5) 电离层在短波天波通信中吸收作用最强的一层是 A

A. D 层 B. E 层 C. F1 层 D. F2 层

二、(10 分) 在短波天波传播中, 傍晚时分若过早或过迟地将日频改为夜频, 接收信号有什么变化, 为什么?

答: 在短波天波传播中, 为达到最佳电波传播效果, 需采用两套频率, 日频和夜频。日频较高而夜频较低。因为傍晚和临晨时分电离层电子密度变化剧烈, 需要在这两个时刻更换频率。

(2 分) 但如果过早地将收发的工作频率从日频改为夜频, 则工作频率低, D 层吸收大, 造成接收信号减弱, 并且电波容易在电离层较低处反射, 电波传播距离降低, 也会造成接收不到信号 (4 分); 而过晚地将日频改为夜频, 夜间电离层密度降低, 容易导致电波穿透电离层而不反射, 或者要电波被电离层反射在更远处, 早成接收点收不到信号。 (4 分)

此题为基本题, 考核短波天波传播的基本知识。

三、(10 分) 已知某天线的功率方向函数是 $\phi(\theta) = \sin^2 \theta + 0.5$, 求该天线的 (1) 半功率点波瓣宽度 $2\theta_{0.5}$ (2) 方向性系数。

答:

(1) 最大辐射方向在 $\theta = 90^\circ$;

归一化功率方向函数 $\Phi(\theta) = (\sin^2 \theta + 0.5) / (\sin^2(90^\circ) + 0.5)$, (2 分)

令 $\Phi(\theta) = 0.5$, 解得: $\theta = 30^\circ$, (2 分)

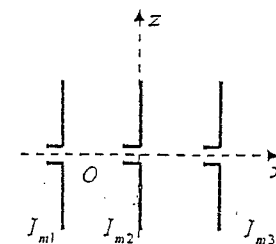
半功率角 $2\theta_{0.5} = 2 \times (90^\circ - 30^\circ) = 120^\circ$

(2 分)

$$(2) D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Phi(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} = \frac{3}{\int_0^{2\pi} (\sin^2 \theta + 0.5) \sin \theta d\theta} = \frac{6}{7} \quad (4 \text{ 分})$$

此题为基本题 考核天线中有关方向图参数的概念。包括方向图函数中的功率方向函数与归一化功率方向函数、半功率波瓣宽度, 方向性系数及方向性系数的计算等知识。

四、(15 分) 由三个半波振子组成一个平行三元阵, 如图所示, 其间隔距离 $d = 0.25\lambda$, 电流比 $I_{m1}:I_{m2}:I_{m3} = 1:2:1$, 试指出其 E 面和 H 面以及这两个面上的归一化方向函数。



答: 由题可知

$$\xi = 0; \Psi = \xi + kd \cos \delta = \frac{\pi}{2} \cos \delta, \quad (2 \text{ 分})$$

δ 的含义如图, 表示观察矢径与天线阵列 x 轴之间的夹角。则阵因子方向性函数为:

$$f_{\text{阵}} = |1 + 2e^{j\Psi} + e^{j2\Psi}| = |1 + e^{j\Psi}|^2 = \left|1 + e^{j\frac{\pi}{2} \cos \delta}\right|^2 = 4 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} \cos \delta\right) \quad (5 \text{ 分})$$

可以看出 $f_{\text{阵 max}} = f_{\text{阵}}|_{\delta=90^\circ}$, 所以该天线阵的 E 面为 XOZ 面, 或 YOZ 面, H 面为 XOY 面

(2 分)

E 面 XOZ 方向函数为:

$$f = f_{\text{阵子}} \cdot f_{\text{阵}} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \delta\right)}{\cos \delta} \times 4 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} \cos \delta\right) \quad (3 \text{ 分})$$

或 E 面 YOZ 方向函数为:

$$f = f_{\text{阵子}} \cdot f_{\text{阵}} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \delta\right)}{\cos \delta} \times 4$$

H 面方向函数

$$f = f_{\text{阵子}} \cdot f_{\text{阵}} = 1 \times 4 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} \cos \delta\right) \quad (3 \text{ 分})$$

此题为提高题, 考核半波阵子的 E 面和 H 面的方向函数的概念和阵列的方向函数的推导, 包

括对称振子、天线阵的方向性、方向函数等知识点。

五、(15分) 沿z轴排列的10元各向同性元的均匀直线天线阵，阵元间距 $d = 0.25\lambda$ 。试分别按(1)边射阵(2)端射阵(3)最佳端射阵。求出相邻元相位差、主瓣半功率宽度、零瓣宽度、第一副瓣位置和相对副瓣电平。

答：均匀直线阵阵因子：
$$\frac{1}{N} \left| \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}} \right|$$
 其中： $\Psi = \xi + kd \cos \delta = \xi + \frac{\pi}{2} \cos \delta$ ；并且 $0 \leq \delta \leq \pi$

可视区为 $\xi - \frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \xi + \frac{\pi}{2}$

阵因子的最大辐射方向为 $\Psi = 0$ 对应的 δ 角

阵因子的第一副瓣位置为 $\Psi = \pm \frac{3\pi}{10}$ 对应的 δ 角

(1)边射阵

$\delta = \frac{\pi}{2}$, 相邻元相位差 $\xi = 0$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 0.886 \frac{\lambda}{Nd} = 0.35rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = \frac{2\lambda}{Nd} = 0.80rad$, (1分)

可视区 $-\frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$, 第一副瓣位置： $\frac{\pi}{2} \cos \delta = \pm \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = 53.1^\circ$ 或 126.9° , (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -13.5dB$ (1分)

(2)端射阵

$\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \frac{\pi}{2}$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 2\sqrt{0.88} \frac{\lambda}{Nd} = 1.19rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = 2\sqrt{\frac{2\lambda}{Nd}} = 1.79rad$, (1分)

以 $\xi = \frac{\pi}{2}$ 为例, 可视区 $0 \leq \Psi \leq \pi$, 第一副瓣位置： $\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 113.6^\circ$,

$\xi = -\frac{\pi}{2}$ 时, 可视区 $-\pi \leq \Psi \leq 0$, 第一副瓣位置： $-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = -\frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 66.4^\circ$, (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -13.5dB$ (1分)

(3)强方向性端射阵

$\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{10} \right)$, (1分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 2\sqrt{0.28} \frac{\lambda}{Nd} = 0.67rad$ (1分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = 2\sqrt{\frac{\lambda}{Nd}} = 1.26rad$, (1分)

以 $\xi = \frac{3\pi}{5}$ 为例, 可视区 $\frac{\pi}{10} \leq \Psi \leq \frac{11\pi}{10}$, 第一副瓣位置： $\frac{3\pi}{5} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = \frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 126.9^\circ$,

$\xi = -\frac{3\pi}{5}$ 时, 可视区 $-\frac{11\pi}{10} \leq \Psi \leq -\frac{\pi}{10}$,

第一副瓣位置： $-\frac{3\pi}{5} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = -\frac{3\pi}{10} \Rightarrow \delta = \pm 53.1^\circ$ (1分)

相对副瓣电平 $SLL = -9.5dB$ (1分)

此题为综合题, 考核天线中有关均匀直线阵的概念。包括激励电流相位差、阵元间的距离、可视区、均匀直线阵最大辐射方向条件、边射阵、端射阵、最佳端射阵、第一副瓣位置、主瓣半功率宽度、零瓣宽度。

六、(15分) 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于36941 km高度, 发射天线的增益系数为10dB, 其输入功率为25dBW, 工作频率为20GHz, 输入输出端各自馈线损耗为2dB, 信道的衰减因子为0.9, 假如接收机所需的最低输入功率是1.5 pW, 这时地面站接收天线增益系数至少应为多少?

答：解法一：

$$P_L = 1.5pW = 10\log(1.5 \times 10^{-12}) \approx -118.2dBW \quad (2分)$$

$$L_0 = 32.45 + 20\log f(MHz) + 20\log r(km) \quad (5分)$$

$$= 32.45 + 20\log 20 \times 10^3 + 20\log 36941 = 209.8dB$$

$$P_L = P_r + G_r + G_L - L_0 - L_f \quad (4分)$$

$$\text{代入 } P_r = 25dBW; \quad L_f = 2 + 2 + 20\log \frac{1}{A} = 4.9dB; \quad G_r = 10dB; \quad L_0 = 209.8dB \quad (2分)$$

$$\text{得接收天线增益 } G_L = P_L - P_r - G_r + L_0 + L_f = -118.2 - 25 - 10 + 209.8 + 4.9 = 61.5dB$$

$$\text{接收天线增益系数至少应为 } 61.5dB \quad (2分)$$

解法二：

$$G_L \geq \frac{P_L}{\left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_r A_r A_L A^2 P_{in}} = \frac{1.5 \times 10^{-12}}{\left(\frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^9} \right)^2 \times 10^1 \times 10^{\frac{1}{5}} \times 10^{\frac{1}{5}} \times 0.9^2 \times 10^{2.5}} = 61.5dB$$

此题为基本题, 考核卫星与地面的通信系统中天线增益系数的计算, 包括微波传播、自由空间电波传播、天线增益系数等知识点。

七、(20分) 已知发射天线输入功率为120W, 在自由空间与接收天线相距50km, 试求下列参数情况下的最大接收功率：

(1) 工作波长为3cm, 发射天线圆极化, 有效接收面积为 $1m^2$; 接收天线圆极化, 增益

(12)

为 5dB。

- (2) 发射天线线极化, 增益为 5; 接收天线线极化, 其几何口径面积为 2m^2 , 面积利用系数 0.8; 两天线线极化方向成 60° 夹角。
- (3) 工作波长为 0.1m , 发射天线为线极化, 方向性系数为 7dBi , 天线效率为 0.8; 接收天线圆极化, 增益为 3, 接收天线位于发射天线方向图的半功率方向。

(1)

$$P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r G_r A_{el}$$

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{er} \quad A_{el} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_L$$

$$P_L = \frac{P_r}{4\pi r^2} A_{er} G_L$$

$$P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r A_{er} G_L = \frac{1}{4 \times 3.14159 \times (50 \times 10^3)^2} \times 120 \times 1 \times 10^{10} = 1.21 \times 10^{-8} \text{W} = -79.18 \text{dBW}$$

$$(2) P_L = \frac{P_r G_r}{4\pi r^2} \cdot S \cdot \eta_r \cdot \eta_p = \frac{120 \times 5}{4\pi \times (50 \times 10^3)^2} \times 2 \times 0.8 \times \cos^2(60^\circ) = 7.64 \times 10^{-9} \text{W} = -81.17 \text{dBW}$$

$$(3) P_L = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 P_r D_r \eta_r \frac{1}{2} G_L \frac{1}{2} = \left(\frac{0.1}{4\pi \times 5 \times 10^4}\right)^2 \times 120 \times 10^{10} \times 0.8 \times \frac{1}{4} \times 3 = 9.14 \text{pW} = -110.4 \text{dBW}$$

(单位错误、漏写扣 2 分)

此题为综合提高题 考核对微波传播功率的计算, 包括自由空间电波传播、天线增益、天线有效接收面积、面积利用系数、收发天线的互易原理等知识点。

南京理工大学课程考试答案及评分标准

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 教学大纲编号: 04028001

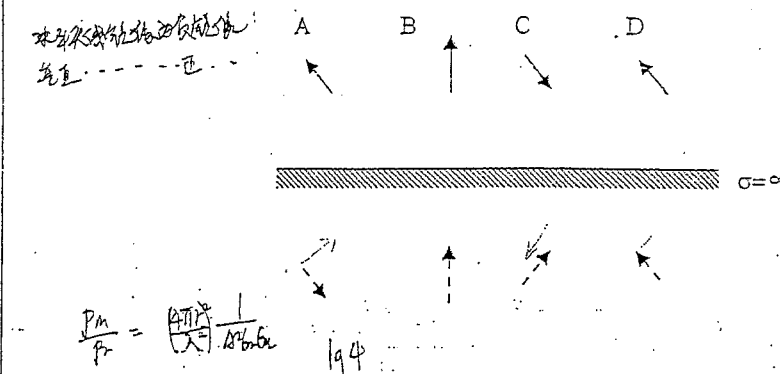
试卷编号: B 考试方式: 闭卷笔试 满分分值: 100 分 考试时间: 120 分钟

一、选择题 (15 分, 每小题 3 分)

- (1) 单臂长度为 l ($l > 0.1\lambda$) 的对称振子上的近似电流分布为 C
- A. $I_m \exp[jk(l-|z|)]$ B. $I_m \exp[k(l-|z|)]$ C. $I_m \sin[k(l-|z|)]$ D. $I_m \cos[k(l-|z|)]$

- (2) 下面哪一种天线工作在圆极化模式 C
- A. 理想缝隙天线 B. 边射型螺旋天线 C. 端射型螺旋天线 D. 八木天线

- (3) 下面电流元(实线)关于理想导体平面的镜像示意图(虚线)中, 正确的是 B



- (4) 收发天线之间的间距增加 1 倍, 能接收到的最大功率 B
- A. 降低 3dB B. 降低 6dB C. 增加 3dB D. 不变

- (5) 地面波传播中与电波的极化有关, 其中, 水平极化波的衰减因子 A_h 与垂直极化波的衰减因子 A_v 相比 A

- A. $A_h > A_v$ B. $A_h = A_v$ C. $A_h < A_v$ D. 关系不确定, 时大时小

此题为基本题 考核天线与电波传播的一些基本特性。

二、(10 分) 已知某天线远区场的平均波印亭矢量值为

$$S_{av} = \frac{3 \sin^2 \theta + 0.5}{r^2} \mathbf{e}_r \text{ W/m}^2$$

求该天线的半功率点波瓣宽度。

答：

最大辐射方向在 $\theta = 90^\circ$, (1分)

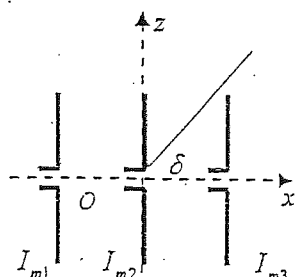
归一化功率方向函数 $\Phi(\theta) = (3\sin^2\theta + 0.5)/(3\sin^2(90^\circ) + 0.5)$, (4分)

令 $\Phi(\theta) = 0.5$, 解得: $\theta = \pm 40.2^\circ, \pm 139.8^\circ$, (3分)

半功率角 $2\theta_{0.5} = 139.8^\circ - 40.2^\circ = 99.6^\circ$ (2分)

此题为基本题 考核天线中有关方向图参数的概念。包括方向图函数中的功率方向函数与归一化功率方向函数、半功率波瓣宽度等知识点。

三、(15分) 由三个半波振子组成一个平行三元阵, 如图所示, 其间隔距离 $d = 0.25\lambda$, 电流比 $I_{m1} : I_{m2} : I_{m3} = 1:2:1$, 试指出其 E 面和 H 面以及这两个面上的归一化方向函数。



答：由题可知

$$\xi = 0; \Psi = \xi + kd \cos \delta = \frac{\pi}{2} \cos \delta, \quad (2分)$$

δ 的含义如图, 表示观察矢径与天线阵轴 x 轴之间的夹角。则阵因子方向性函数为:

$$f_{阵} = |1 + 2e^{j\Psi} + e^{j2\Psi}| = |1 + e^{j\Psi}|^2 = |1 + e^{j\frac{\pi}{2}\cos\delta}|^2 = 4\cos^2\left(\frac{\pi}{4}\cos\delta\right) \quad (5分)$$

可以看出 $f_{阵max} = f_{阵} \big|_{\delta=\pm 90^\circ}$, 所以该天线阵的 E 面为 XOZ 面, 或 YOZ 面, H 面为 XOY 面 (2分)

E 面 XOZ 方向函数为:

$$f = f_{振子} \cdot f_{阵} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\delta\right)}{\cos\delta} \times 4\cos^2\left(\frac{\pi}{4}\cos\delta\right) \quad (3分)$$

或 E 面 YOZ 方向函数为:

$$f = f_{振子} \cdot f_{阵} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\delta\right)}{\cos\delta} \times 4$$

H 面方向函数

$$f = f_{振子} \cdot f_{阵} = 1 \times 4\cos^2\left(\frac{\pi}{4}\cos\delta\right) \quad (3分)$$

此题为提高题, 考核半波阵子的 E 面和 H 面的方向函数的概念和阵列的方向函数的推导, 包括对称振子、天线阵的方向性、方向函数等知识点。

四、(10分) 沿 z 轴排列的 20 元各向同性元的均匀直线天线阵, 阵元间距 $d = 0.5\lambda$, 试分别按(1)边射阵(2)端射阵(3)最佳端射阵。求出相邻元相位差和第一副瓣位置。

答: 均匀直线阵阵因子: $\frac{1}{N} \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}}$ 。其中: $\Psi = \xi + kd \cos \delta = \xi + \pi \cos \delta$; 并且 $0 \leq \delta \leq \pi$

可视区为 $\xi - \pi \leq \Psi \leq \xi + \pi$ 。阵因子的最大辐射方向为 $\Psi = 0$ 对应的 δ 角。阵因子的第一

副瓣位置为 $\Psi = \pm \frac{3\pi}{20}$ 对应的 δ 角 (1分)

(1)边射阵

阵因子的最大辐射方向 $\delta = \frac{\pi}{2}$, 相邻元相位差 $\xi = 0$,

可视区 $-\frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \frac{\pi}{2}$, 第一副瓣位置: $\pi \cos \delta = \pm \frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 81.37^\circ$ 或 $\pm 98.63^\circ$, (3分)

(2)端射阵

阵因子的最大辐射方向 $\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \pi$,

以 $\xi = \pi$ 为例, 可视区 $0 \leq \Psi \leq 2\pi$, 第一副瓣位置: $\pi + \pi \cos \delta = \frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 148.21^\circ$,

$\xi = -\pi$ 时, 可视区 $-2\pi \leq \Psi \leq 0$, 第一副瓣位置: $-\pi + \pi \cos \delta = -\frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 31.79^\circ$ (3分)

(3)强方向性端射阵

$\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \left(\pi + \frac{\pi}{20}\right)$,

以 $\xi = \frac{21\pi}{20}$ 为例, 可视区 $\frac{\pi}{20} \leq \Psi \leq \frac{41\pi}{20}$, 第一副瓣位置: $\frac{21\pi}{20} + \pi \cos \delta = \frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 154.16^\circ$,

$\xi = -\frac{21\pi}{20}$ 时, 可视区 $-\frac{41\pi}{20} \leq \Psi \leq -\frac{\pi}{20}$, 第一副瓣位置: $-\frac{21\pi}{20} + \pi \cos \delta = -\frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 25.84^\circ$

(3分)

此题为综合题，考核天线中有关均匀直线阵的概念。包括激励电流相位差、可视区、均匀直线阵最大辐射方向条件、边射阵、端射阵、最佳端射阵、第一副瓣位置等相关概念。

五、(10分) 在卫星与地面的通信系统中，卫星位于 36041 km 高度，工作频率为 20GHz，其输入功率为 25dBW，卫星上天线为圆极化，地面站线极化的接收天线增益系数为 45dB，输入输出端各自的馈线损耗为 2dB，信道的衰减损耗为 1dB，假如接收机所需的最低输入功率是 2 pW，这时卫星上发射天线的增益系数至少应为多少？

答：

$$P_L = 2pW = 10\log(2 \times 10^{-12}) \approx -116.99dBW \quad (1分)$$

$$L_0 = 32.45 + 20\log f(MHz) + 20\log r(km) \\ = 32.45 + 20\log 20 \times 10^3 + 20\log 36041 = 209.61dB \quad (2分)$$

$$P_L = P_r + G_r + G_L - L_0 - L_F \quad (3分)$$

$$\text{代入 } G_L = 45dB, L_F = 2 + 2 + 1 = 5dB \text{ (已考虑极化损失); } P_r = 25dB; L_0 = 209.61dB \quad (2分)$$

得发射天线的增益

$$G_r = P_L - P_r - G_L + L_0 + L_F = -116.99 - 25 - 45 + 209.61 + 8 = 30.62dB \quad (2分)$$

发射天线增益系数至少应为 30.62dB 或 1153.16。

或

$$G_r \geq \frac{P_L}{\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 A_r G_L A_L A^2 P_m} = 2 \times \frac{2 \times 10^{-12}}{\left(\frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^9}\right)^2 \times 10^{-5} \times 10^{4.5} \times 10^{-5} \times 10^{-0.1} \times 10^{2.5}} = 30.62dB$$

此题为基本题 考核卫星与地面的通信系统中天线增益系数的计算，包括微波传播、自由空间电波传播、天线增益系数、极化等知识点。

六、(10分) 在短波天波传播中，傍晚时分若过早或过迟地将日频改为夜频，接收信号有什么变化，为什么？

答：在短波天波传播中，为达到最佳电波传播效果，需采用两套频率，日频和夜频。日频较高而夜频较低。因为傍晚和临晨时分电离层电子密度变化剧烈，需要在这两个时刻更换频率。(2分) 但如果过早地将收发的工作频率从日频改为夜频，则工作频率低，D层吸收大，造成接收信号减弱，并且电波容易在电离层较低处反射，电波传播距离降低，也会造成接收不到信号。(4分) 而过晚地将日频改为夜频，夜间电离层密度降低，容易导致电波穿透电离层而不反射，或者要电波被电离层反射在更远处，造成接收点收不到信号。(4分)

此题为基本题，考核短波天波传播的基本知识。

七、(10分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 6GHz，两站的天线架高均为 81m，如

果不考虑大气折射，求视线距离和亮区距离。如果等效地球半径因子为 6/5，求视线距离和亮区距离。(地球半径 R=6370km)

不计大气折射时 $r_0 = 3.57(\sqrt{81} + \sqrt{81}) \square 64.26km$ ，亮区距离 $d = 0.7r_0 = 44.98km$ (5分)

当计入大气折射 $r_0 = \sqrt{2KR}(\sqrt{81} + \sqrt{81}) \square 70.38km$ ，亮区距离 $d = 0.7r_0 = 49.26km$ (5分)

此题为基本题，考核计入大气折射和不计大气折射时的视线距离和亮区距离的计算。

八、(20分) 已知发射天线输入功率为 120W，在自由空间与接收天线相距 50km，试求下列参数情况下的最大接收功率：

- (1) 工作波长为 3cm，发射天线圆极化，有效接收面积为 1m²；接收天线圆极化，增益为 5dB。
- (2) 发射天线线极化，增益为 5；接收天线线极化，其几何口径面积为 2m²，面积利用系数 0.8；两天线线极化方向成 60度角。
- (3) 工作波长为 0.1m，发射天线为线极化，方向性系数为 7dB，天线效率为 0.8；接收天线圆极化，增益为 3，接收天线位于发射天线方向图的半功率方向。

(1)

$$P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r G_r A_{el}$$

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{er} \quad A_{el} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_L$$

$$P_L = \frac{P_r}{4\pi r^2} A_{er} G_L$$

$$P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r A_{er} G_L = \frac{1}{4 \times 3.14159 \times (50 \times 10^3)^2} \times 120 \times 1 \times 10^{0.5} = 1.21 \times 10^{-8} W = -79.18dBW$$

(7分)

$$(2) P_L = \frac{P_r G_r}{4\pi r^2} \cdot S \cdot \eta_r \cdot \eta_t = \frac{120 \times 5}{4\pi \times (50 \times 10^3)^2} \times 2 \times 0.8 \times \cos^2(60^\circ) = 7.64 \times 10^{-9} W = -81.17dBW$$

(6分)

(3)

$$P_L = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 P_m D_r \eta_r \frac{1}{2} G_L \frac{1}{2} = \left(\frac{0.1}{4\pi \times 5 \times 10^4}\right)^2 \times 120 \times 10^{0.7} \times 0.8 \times \frac{1}{4} \times 3 = 9.14pW = -110.4dBW$$

(7分)

(单位错误，漏写扣2分)

此题为综合提高题，考核对微波传播功率的计算，包括自由空间电波传播、天线增益、天线有效接收面积、面积利用系数、收发天线的互易原理等知识点。

南京理工大学课程考试答案及评分标准

课程名称: 天线与电波传播 学分: 2 教学大纲编号: 04028001

试卷编号: B 考试方式: 闭卷笔试 满分分值: 100 考试时间: 120 分钟

一、选择题 (15 分, 每小题 3 分)

- (1) 理想缝隙天线辐射的是 B
 A. 均匀球面波 B. 非均匀球面波 C. 柱面波 D. 平面波
- (2) 下面哪一种天线工作在圆极化模式 C
 A. 对称振子 B. 边射型螺旋天线 C. 端射型螺旋天线 D. 折合振子
- (3) 在不需要辐射的区域某波瓣的最大值与主瓣的最大值一样大, 该波瓣是: B
 A. 主瓣 B. 栅瓣 C. 后瓣 D. 副瓣
- (4) 下面无线电波中绕射能力最弱的是 D
 A. 长波 B. 中波 C. 短波 D. 微波
- (5) 南京人民广播电台体育频道的频率为 104.3MHz, 这是 C
 A. 中波 B. 短波 C. 超短波 D. 微波
- 此题为基本题 考核天线与电波传播的一些基本特性。

二、(10 分) 已知某天线的功率方向函数是 $\phi(\theta) = 3\sin^2\theta + 0.5$, 求该天线的(1)半功率点波瓣宽度 $2\theta_{0.5}$ (2)方向性系数。

答:

(1) 最大辐射方向在 $\theta = 90^\circ$,

归一化功率方向函数 $\Phi(\theta) = (3\sin^2\theta + 0.5)/(3\sin^2(90^\circ) + 0.5)$, (2 分)

令 $\Phi(\theta) = 0.5$, 解得: $\theta = 40.2^\circ$, (2 分)

半功率角 $2\theta_{0.5} = 2 \times (90^\circ - 40.2^\circ) = 99.6^\circ$ (2 分)

(2)

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Phi(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi} = \frac{7}{\int_0^\pi (3\sin^2\theta + 0.5) \sin\theta d\theta} = \frac{7}{5} \quad (4 \text{ 分})$$

其中

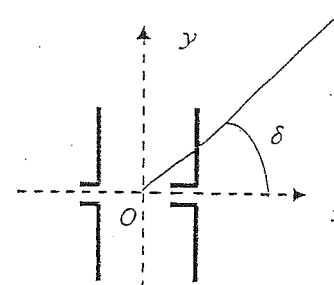
$$\int_0^\pi \sin^3\theta \sin\theta d\theta = \frac{4}{3}$$

$$\int_0^\pi 0.5 \sin\theta d\theta = 1$$

此题为基本题, 考核天线中有关方向图参数的概念。包括方向图函数中的功率方向函数

与归一化功率方向函数、半功率波瓣宽度, 方向性系数及方向性系数的计算等知识点。

三、(10 分) 如图所示, 有两个半波振子组成一个平行二元阵, 其间隔距离 $d = 0.5\lambda$, 电流比 $I_{m2}/I_{m1} = 2e^{j\frac{\pi}{4}}$, 试指出其 E 面和 H 面以及这两个面上的方向函数。



答: 由题可知

$$m = 2, \quad \xi = \frac{\pi}{4}; \quad \Psi = \xi + kd \cos\delta = \frac{\pi}{4} + \pi \cos\delta,$$

δ 的含义如图, 表示观察矢径与天线阵轴 x 轴之间的夹角。则阵因子方向性函数为:

$$f_{\text{阵}} = |1 + me^{j\Psi}| = \left| 1 + 2e^{j\left(\frac{\pi}{4} + \pi \cos\delta\right)} \right| = \sqrt{5 + 4 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \pi \cos\delta\right)} \quad (3 \text{ 分})$$

可以看出 $f_{\text{阵max}} = f_{\text{阵}}|_{\delta=104.5^\circ}$, 不是 $\delta = 90^\circ$ 。所以该天线阵的 E 面为 XOY 面, 而非 YOZ 面, H 面为 XOZ 面

E 面方向函数为:

$$f = f_{\text{振子}} \cdot f_{\text{阵}} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin\delta\right)}{\cos\delta} \times \sqrt{5 + 4 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \pi \cos\delta\right)} \quad (3 \text{ 分})$$

H 面方向函数

$$f = f_{\text{振子}} \cdot f_{\text{阵}} = 1 \times \sqrt{5 + 4 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \pi \cos\delta\right)} \quad (2 \text{ 分})$$

此题为基本题, 考核半波阵子的 E 面和 H 面的方向函数的概念和阵列的方向函数的推导, 包括对称振子、天线阵的方向性、方向函数等知识点。

四、(15 分) 沿 x 轴排列的 20 元各向同性元的均匀直线天线阵, 阵元间距 $d = 0.25\lambda$ 。试按端射阵求出相邻元相位差、主瓣宽度、第一副瓣位置和相对副瓣电平。

答: 均匀直线阵阵因子: $\frac{1}{N} \frac{\sin\frac{N\Psi}{2}}{\sin\frac{\Psi}{2}}$ 其中: $\Psi = \xi + kd \cos\delta = \xi + \frac{\pi}{2} \cos\delta$ 并且 $0 \leq \delta \leq \pi$

14

可视区为 $\xi - \frac{\pi}{2} \leq \Psi \leq \xi + \frac{\pi}{2}$

阵因子的最大辐射方向为 $\Psi = 0$ 对应的 δ 角

阵因子的第一副瓣位置为 $\Psi = \pm \frac{3\pi}{20}$ 对应的 δ 角

端射阵 $\delta = 0$ 或 π , 相邻元相位差 $\xi = \pm \frac{\pi}{2}$, (3分)

主瓣半功率宽度 $2\theta_{0.5} = 2\sqrt{0.88 \frac{\lambda}{Nd}} = 0.84\text{rad}$ (3分)

零瓣宽度 $2\theta_0 = 2\sqrt{\frac{2\lambda}{Nd}} = 1.26\text{rad}$, (3分)

以 $\xi = \frac{\pi}{2}$ 为例, 可视区 $0 \leq \Psi \leq \pi$, 第一副瓣位置: $\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = \frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 135.6^\circ$,

$\xi = -\frac{\pi}{2}$ 时, 可视区 $-\pi \leq \Psi \leq 0$, 第一副瓣位置: $-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \cos \delta = -\frac{3\pi}{20} \Rightarrow \delta = \pm 44.4^\circ$, (3分)

相对副瓣电平 $SLL = -13.5\text{dB}$ (3分)

此题为综合题, 考核天线中有关均匀直线阵的概念。包括激励电流相位差、阵元间的距离、可视区、均匀直线阵最大辐射方向条件、端射阵、第一副瓣位置、主瓣半功率宽度、零瓣宽度。

五、(15分) 在同步卫星与地面的通信系统中, 卫星位于 36941 km 高度, 工作频率为 20GHz, 其输入功率为 25dBW, 地面站接收天线增益系数为 45.8dB, 输入输出端各自总的馈线损耗为 2dB, 信道的衰减因子为 0.9, 假如接收机所需的最低输入功率是 1.5 pW, 这时卫星上发射天线的增益系数至少应为多少?

答:

$$P_L = 1.5\text{pW} = 10\log(1.5 \times 10^{-12}) \approx -118.2\text{dBW} \quad (2\text{分})$$

$$L_0 = 32.45 + 20\log f(\text{MHz}) + 20\log r(\text{km}) \quad (5\text{分})$$

$$= 32.45 + 20\log 20 \times 10^3 + 20\log 36941 = 209.8\text{dB} \quad (4\text{分})$$

$$P_L = P_r + G_r + G_L - L_0 - L_F \quad (4\text{分})$$

$$\text{代入 } G_L = 45.8\text{dB} \quad L_F = 2 + 2 + 20\log \frac{1}{A} = 4.9\text{dB}; \quad G_r = 10\text{dB}; \quad L_0 = 209.8\text{dB} \quad (2\text{分})$$

$$\text{得接收天线增益 } G_r = P_L - P_r - G_L + L_0 + L_F = -118.2 - 25 - 45.8 + 209.8 + 4.9 = 25.7\text{dB}$$

发射天线增益系数至少应为 25.7 (2分)

$$G_r \geq \frac{P_L}{\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 A_r G_L A_L A^2 P_{in}} = \frac{1.5 \times 10^{-12}}{\left(\frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^9}\right)^2 \times 10^{-5} \times 10^{4.58} \times 10^{-5} \times 0.9^2 \times 10^{2.5}} = 25.7\text{dB}$$

此题为基本题 考核卫星与地面的通信系统中天线增益系数的计算, 包括微波传播、自由空间电波传播、天线增益系数等知识点。

六、(15分) 已知发射天线输入功率为 200W, 在自由空间与接收天线相距 50km, 发射天线圆极化, 方向性系数为 15dBi, 天线效率为 0.9; 接收天线线极化, 几何口径面积为 2m², 面积利用系数 0.75, 接收天线位于发射天线方向图的半功率方向, 求最大接收功率。

答:

$$P_L = \frac{1}{4\pi r^2} P_r D_r \eta_A \cdot S \cdot \gamma \cdot \gamma_p \quad (15\text{分})$$

$$= \frac{1}{4 \times 3.14159 \times (50 \times 10^3)^2} \times 200 \times 10^{15/10} \times 0.9 \times 2 \times 0.75 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 6.8 \times 10^{-8}\text{W} = -71.7\text{dB}$$

此题为综合提高题 考核对微波传播功率的计算, 包括视距传播、自由空间电波传播、天线增益、天线有效接收面积、面积利用系数、收发天线的互易原理等知识点。

七、(20分) 某一微波中继通信线路的工作频率为 6GHz, 两站的天线架高均为 81m, 考虑大气折射, 求视线距离和亮区距离。如果发射天线的输入功率为 20dBW, 在亮区距离处的电场强度有效值为 0.03V/m, 接收用增益系数为 45dB 的天线, 求发射天线的最小增益与接收天线所收到的最大功率。(地球半径 R=6370km)

答: (单位错误、漏写扣 2 分)

$$\text{当计入大气折射: } r_0 = 4.12(\sqrt{81} + \sqrt{81}) = 74.16\text{km}; \text{亮区距离 } d = 0.7r_0 = 51.91\text{km} \quad (6\text{分})$$

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{60 P_{in} G}}{r} = \frac{\sqrt{60 \times 10^{20/10} \times G}}{51.91 \times 10^3} = 0.03 \times \sqrt{2} (\text{V/m})$$

$$G = 29.08\text{dB} \quad (8\text{分})$$

$$P_{L\max} = A_e S_{or} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_L \frac{|E|^2}{2\eta} = \frac{0.05^2}{4\pi} \times 10^{4.5} \times \frac{0.03^2}{120\pi} = 1.5 \times 10^{-5}\text{W} \quad (6\text{分})$$

此题为基本题, 考核计入大气折射和不计大气折射时的视线距离和亮区距离的计算和亮区距离上电场的计算。包括自由空间电波传播、对流层大气对视距传播的影响、天线增益系数等知识点。