

一、填空题

1. 天线的主要作用是\_\_\_\_\_。
2. 天线辐射方向图一般是一个空间三维的曲面图形，但工程上为了方便常采用通过\_\_\_\_\_方向的两个正交平面上的剖面来描述天线的方向图。对于线极化天线，这两个正交的平面通常取为\_\_\_\_\_面和\_\_\_\_\_面。
3. 天线方向图的E面是指通过\_\_\_\_\_方向且平行于\_\_\_\_\_的平面。
4. 设某天线的远区辐射电场表示为  $E_\theta = E_0 \frac{e^{-j\beta r}}{r} f(\theta, \varphi)$ ,  $E_\varphi = 0$ ,  $E_r = 0$ , 那么坡印亭矢量表示为  $\mathbf{w} =$  \_\_\_\_\_, 其辐射功率表示为  $P_r =$  \_\_\_\_\_。
5. 半功率波瓣宽度指方向图主瓣上之间的夹角，或场强下降到最大值的\_\_\_\_\_处或分贝值从最大值下降处对应两点之间的夹角。
6. 设某天线的辐射电场主瓣最大值为  $E_{\max}$ , 副瓣最大值为  $E_{S\max}$ , 那么其副瓣电平定义为 (dB)\_\_\_\_\_。
7. 天线方向性系数  $D$  是用来表征天线辐射能量集中程度的一个参数。假设自由空间的方向图函数为  $f(\theta, \varphi)$ , 那么最大指向  $(\theta_m, \varphi_m)$  上的  $D =$  \_\_\_\_\_, 假设对称振子天线的辐射电阻为  $R_r$ , 那么  $D =$  \_\_\_\_\_, 假设天线的效率为  $\eta_a$ , 那么增益  $G =$  \_\_\_\_\_。
8. 半波对称振子的带宽决定于\_\_\_\_\_，而对数周期振子天线的带宽那么是由\_\_\_\_\_决定。
9. 理想点源天线是指的假想点源天线，其辐射方向图在空间是\_\_\_\_\_。
10. 在某方向  $(\theta_0, \varphi_0)$  上，设理想点源天线的电场强度为  $E_0$ , 某天线的电场强度为  $E(\theta_0, \varphi_0)$ , 那么天线的方向性系数  $D(\theta_0, \varphi_0)$  和增益  $G(\theta_0, \varphi_0)$  的定义表达式均可写作  $E^2(\theta_0, \varphi_0) / E_0^2$ , 它们的定义区别为前者是\_\_\_\_\_为条件，后者是\_\_\_\_\_为条件。
11. 如果某天线为圆极化天线，在球坐标系下该天线的远区辐射电场应该有\_\_\_\_\_两个分量，且这两个分量在最大辐射方向上应满足\_\_\_\_\_的条件。对线极化天线来说圆极化是指\_\_\_\_\_极化，对圆极化天线来说圆极化是指\_\_\_\_\_极化。
12. 设某天线的方向图函数为  $f(\theta, \varphi)$ , 那么在  $(\theta_0, \varphi_0)$  方向上的方向性系数表达式为\_\_\_\_\_。同样在  $(\theta_0, \varphi_0)$  方向上由天线辐射电阻  $R_r$  和  $f(\theta, \varphi)$  表示的方向性系数为\_\_\_\_\_。工程上，一般是采用在最大辐射方向上的方向性系数。设天线的有效面积为  $S_e$ , 在其最大辐射方向上的方向性系数为\_\_\_\_\_。
13. 如果不计天线损耗，作发射时，在条件下天线的辐射功率只有信号源所能供应的总功率的一半，另一半将以热损耗的形式消耗在上。作接收时，在天线与接收机负载的最正确情况下，传送到接收机的功率是天线感应或捕获到的总功率的一半，另一半那么被掉了。
14. 间距  $d = \lambda / 4$ , 馈电电流相位差  $\alpha = 90^\circ$  的二元阵阵方向图形状是\_\_\_\_\_，其最大辐射方向指向\_\_\_\_\_。
15. 用两个正交的对称振子获得圆极化辐射的条件是\_\_\_\_\_。
16. 天线口径场出现线性相位分布时，对天线辐射性能的主要影响是\_\_\_\_\_，而随着平方率相位分布的增大，其主要影响是\_\_\_\_\_。
17. 设平面口径天线的物理面积为  $S$ , 口径效率为  $\mathbf{V}$ , 那么其增益为\_\_\_\_\_，假设口径场为均匀分布，那么其口径效率为\_\_\_\_\_，假设口径场为余弦分布，那么其口径效率为\_\_\_\_\_。
18. 天线远区辐射场的振幅随距离  $r$  按\_\_\_\_\_变化。假设设天线的最大尺寸为  $D$ , 那么其远区距离  $r$  应满足\_\_\_\_\_关系，这是在源点到远区某点的相位与坐标原点到远区某点的相位之差不能超过的条件下得出的公式。
19. 长为  $2\ell$  的细线振子(如图1所示)，当  $2\ell < \lambda / 10$  时，其上电流分布近似为三角形分布，表达式为  $I(z) =$  \_\_\_\_\_。

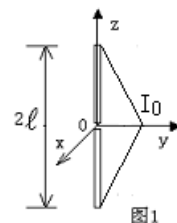


图1

20. 元天线的方向图函数为  $f(\theta) =$  \_\_\_\_\_。半波振子的方向图函数为  $f(\theta) =$  \_\_\_\_\_，辐射电阻为  $R_r =$  \_\_\_\_\_。
21. 计算对称振子天线的辐射场时应知道天线上电流分布，对于沿  $z$  轴放置的长为  $2\ell$  的对称振子，其上电流分布可近似为  $I(z) =$  \_\_\_\_\_，它是根据 \_\_\_\_\_ 原理得到的。
22. 沿  $z$  轴放置的元天线的方向图函数为 \_\_\_\_\_；在  $xy$  平面的惠更斯面元的方向图函数为 \_\_\_\_\_；沿  $z$  轴放置的对称半波振子方向图函数为 \_\_\_\_\_，辐射电阻为  $R_r =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
23. 设二元阵单元间距为  $a$ ，射线与阵轴的夹角为  $\theta$ ，那么等幅同相时的阵因子为  $f_a(\theta) =$  \_\_\_\_\_，等幅反相时的阵因子为  $f_a(\theta) =$  \_\_\_\_\_。
- 阵因子为心脏形的条件是：两单元天线的电流相位差为  $\alpha =$  \_\_\_\_\_，间距为  $d =$  \_\_\_\_\_，其表达式为  $f_a(\theta) =$  \_\_\_\_\_。
24. 谐振振子天线的判定条件是 在一定长度下其输入阻抗 \_\_\_\_\_。半波谐振天线的实际长度比工作波长的一半略短些，这是所谓的 \_\_\_\_\_ 效应，振子截面半径愈大，那么谐振振子的长度 \_\_\_\_\_ 愈多。长度大于半波谐振长度的振子天线的输入阻抗呈 \_\_\_\_\_ 性。
25. 对称振子输入阻抗虚部为零时对应的长度称为 \_\_\_\_\_ 长度，比半波谐振子长度短的对称振子其输入阻抗呈 \_\_\_\_\_ 性。
26. 设单元天线的方向图函数为  $f_0(\theta, \varphi)$ ，阵因子为  $f_a(\theta, \varphi)$ ，那么天线阵的方向图函数为  $f(\theta, \varphi) =$  \_\_\_\_\_。
27. 设阵轴与射线间的夹角为  $\theta$ ，均匀直线式天线阵的最大辐射方向可由公式  $\theta_m =$  \_\_\_\_\_ 计算，对侧射阵，两单元间的馈电相位差  $\alpha =$  \_\_\_\_\_，其  $\theta_m =$  \_\_\_\_\_，对端射阵  $\theta_m =$  \_\_\_\_\_。为不出现栅瓣，阵元间距应满足的条件是  $d <$  \_\_\_\_\_。
28. 镜像法分析近地天线是把地面看作是 \_\_\_\_\_。对于垂直振子，其镜像点电流与原电流 \_\_\_\_\_，而水平振子的镜像点的电流与原电流 \_\_\_\_\_。
29. 工程上近似计算天线输入阻抗的三种方法是：坡印亭矢量法、\_\_\_\_\_法和 \_\_\_\_\_法。其中 \_\_\_\_\_方法不能计算阻抗的虚部。
30. 按下面的分类，每类至少列出三种天线。
- 宽带天线：笼形天线、双锥天线、盘锥天线、等角螺旋天线、阿基米德天线、对数周期天线等。
- 圆极化天线：十字形振子旋转场天线、轴向模圆柱螺旋天线、等角螺旋天线和阿基米德天线。
- 行波天线：偶极子电阻加载天线、菱形天线、八木天线与反射天线、圆柱螺旋天线、平面等角螺旋天线、阿基米德天线和对数周期天线。
31. 行波天线的最大辐射方向是指向 \_\_\_\_\_，而汉森—吴特亚特条件的含义是指 \_\_\_\_\_ 的条件。
32. 圆柱螺旋天线产生轴向模辐射的条件是 \_\_\_\_\_，而产生法向模辐射的条件那么是 \_\_\_\_\_。
33. 细直线对称半波振子的输入阻抗  $Z_a =$  \_\_\_\_\_，那么半波谐振窄缝的输入阻抗  $Z_s =$  \_\_\_\_\_。
34. 自补构造的等角螺旋天线是指 \_\_\_\_\_，而互补的平面天线那么为 \_\_\_\_\_。
35. 波导缝隙天线的开槽原那么是 \_\_\_\_\_，一般开窄缝，缝长约为 \_\_\_\_\_，设其互补对称振子的辐射阻抗为  $Z_a$ ，那么谐振缝隙天线的辐射阻抗为 \_\_\_\_\_。

$Z_s =$  \_\_\_\_\_。

36. 天线阵中，每个阵元的辐射阻抗都是由 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 两局部组成。
37. 半正窄缝隙天线的缝口面电场近似为 \_\_\_\_\_ 分布，其辐射方向图形状与 \_\_\_\_\_ 的一样，但两者的电磁场空间极化方向正好相差 \_\_\_\_\_ 度，而且两者的辐射阻抗的积为 \_\_\_\_\_。
38. 口径天线分析中的等效原理是把口径面上的电磁场  $\mathbf{E}_s$  和  $\mathbf{H}_s$  等效为电电流  $\mathbf{J}_s$  和  $\mathbf{M}_s$ ，设口径面 S 的外法向单位矢量为  $\hat{\mathbf{n}}$ ，那么  $\mathbf{J}_s =$  \_\_\_\_\_， $\mathbf{M}_s =$  \_\_\_\_\_。计算惠更斯元辐射场时，假设口径电场为  $E_{sy}$ ，那么口径磁场  $H_{sx} =$  \_\_\_\_\_。
39. 最正确角锥喇叭天线是指 \_\_\_\_\_，其口径效率  $V$  等于 \_\_\_\_\_。
40. 旋转抛物面天线的效率因子主要由 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 的乘积决定。
41. 标准卡塞格伦天线由主、副反射面和馈源组成，主反射面为 \_\_\_\_\_，副反射面为 \_\_\_\_\_，馈源一般用喇叭，置于主副反射面之间的 \_\_\_\_\_ 上。
- 卡塞格伦天线的空间衰减因子与旋转抛物面天线的相比要 \_\_\_\_\_，其原因是 \_\_\_\_\_。
42. 计算线天线辐射场的条件是 \_\_\_\_\_，而计算口径天线辐射场的条件那么是 \_\_\_\_\_。
43. 旋转抛物面天线的焦距为  $f$ ，口径直径为  $D$ ，口径角为  $\psi_0$ ，那么三者的关系为 \_\_\_\_\_。假设焦距比  $f/D = 0.385$ ，那么  $2\psi_0 =$  \_\_\_\_\_ 度；空间衰减因子 S.A. = \_\_\_\_\_ dB；假设  $D = 75\text{cm}$ ，工作频率  $F=12\text{GHz}$ ，总效率  $\eta=50\%$ ，那么天线的增益  $G=$  \_\_\_\_\_ dB，为获得最高效率，馈源归一化方向图  $2\psi_0$  宽度的边缘电平应为 \_\_\_\_\_ dB。
44. 开槽天线与其互补天线的阻抗  $Z_s$  和  $Z_d$  满足的关系是 (28)  $Z_s \cdot Z_d = \eta^2 / 4$ 。xy 平面的等角螺旋天线的方向图函数近似为 (29)  $\cos \theta$ 。如果设计成自补形式其输入阻抗约为 (30)  $60\pi$  (188.5)  $\Omega$ 。
45. 圆柱螺旋天线的三种模式分别是 (18) 法向模、(19) 轴向模 和 (20) 圆锥模。
46. 采用镜像法写出近地垂直振子天线的辐射阻抗的表达式  $Z_r = Z_{11} + Z_{11}'$ 。它与 振子长度、振子截面半径 和 离地高度 及频率有关。(近地水平振子呢)
47. 旋转抛物面天线分为长焦距、中等焦距和短焦距三种情况，由其半角  $\psi_0$  表示的对应条件分别为  $\psi_0 < \pi/2$ 、 $\psi_0 = \pi/2$  和  $\psi_0 > \pi/2$ 。
48. 为了得到最高的口径效率，天线的口径场分布应为 均匀分布，为了降低天线旁瓣，口径场分布应为 锥形分布。
49. 臂长为  $\lambda/4$  的垂直接地振子天线的输入阻抗为 36.55+j21.25  $\Omega$ ，其方向性系数为  $2 \times 1.64(5.16)$  dB。

50. 收发天线极化匹配是指 接收天线的极化与发射天线辐射的电场矢量方向完全一致，当发射天线为水平线极化，接收天线为左旋圆极化时，其极化失配因子为 0.5。

51. 分析卡塞格伦天线的口径场法分 虚馈源法 和 等效抛物面法 两种。

52. 旋转抛物面天线焦距为  $f$ ，口径直径为  $D$ ，最大增益时的效率  $g =$  0.83。

53. H 面扇形喇叭口的等相位面是一个 圆弧柱 面。当喇叭长度  $R_H$  一定时，过度增大口径宽度  $D_H$ ，会使 (23) 增益 下降，这是由于 (24) 口径场平方率相位分布增大 的缘故。喇叭口径宽度给定时，H 面扇形喇叭的最正确长度为  $R_{Hop} = \frac{1}{3} \frac{D_H^2}{\lambda}$ 。

54. 构成轴对称螺旋天线的条件是 一圈周长约等于一个波长，它辐射的是 圆 极化波。

55. 二元天线阵的阵因子与 单元间距  $d$ ，相位  $\alpha$  和 工作波长 有关。

56. 有一架设在理想地面上的水平半波振子天线，其工作波长  $\lambda = 40m$ ，假设要在垂直于天线轴的平面获得最大辐射仰角  $\Delta = 30^\circ$ ，天线架设高度应为  $\frac{\lambda}{4 \sin \Delta} = 20$  m。

57. 某矩形口径天线的振幅为余弦分布，与均匀分布相比，其方向图主瓣要 宽 一些，口径效率要 低 一些，副瓣电平要 低 一些。

58. xy 平面的惠更斯元的归一化方向图函数是  $1 + \cos \theta$ ，方向图形状为 心脏形。

## 二、简答题

1. 简要答复何谓天线辐射方向图及 E 面和 H 面方向图。

答：天线方向图是指天线 辐射特性 与空间坐标之间的函数图形。天线方向图一般是一个三维空间的曲面图形，但工程上为了方便，常采用通过最大辐射方向的两个正交平面上的剖面图来描述天线的方向图。这两个相互正交的平面称之为 主面，对于线极化天线来说通常取为 E 面和 H 面。

**E 面：指通过天线最大辐射方向并平行于电场矢量的平面。**

**H 面：指通过天线最大辐射方向并平行于磁场矢量的平面。**

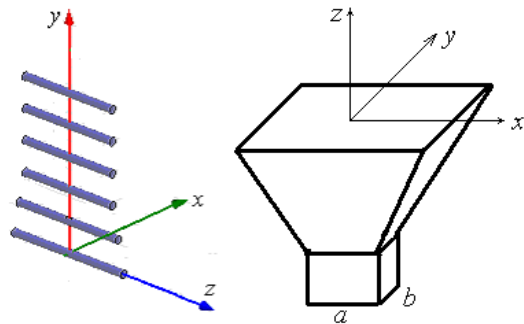
2. 对线极化天线常在其两个主面 (E 面和 H 面) 描述其方向图，简要答复什么是 E 面和 H 面。对下图的八木天线和矩形波导 (宽边为  $a$ ，窄边为  $b$ ) 主模馈电的角锥喇叭天线分别指出它们的 E 面和 H 面。

答：E 面：指通过天线最大辐射方向并平行于电场矢量的平面。

H 面：指通过天线最大辐射方向并平行于磁场矢量的平面。

对如下图的八木天线，其 E 面为 yz 平面，H 面为 xy 平面。

对如下图的角锥喇叭天线，其 E 面为 yz 平面，H 面为 xz 平面。



3. 简述分析对称振子辐射场的步骤。

答：(1) 假定对称振子上为 正弦电流分布

$$I(z) = I_0 \sin \beta(l - |z|), \quad -l \leq z \leq l;$$

(2) 将长为  $2l$  的对称振子等分成长为  $dz$  的许多小段, 每小段可看作一个元天线, 从而可写出元天线的远区辐射场:

(3) 以天线中点为参考, 考虑天线上某个元天线的空间波程差, 并把元天线到远区某点的距离  $R$  近似为天线中点到远区某点的距离  $r$ , 即  $1/R \rightarrow 1/r$ ;

(4) 把天线上的这些元天线的远区辐射场叠加起来, 即对天线长度积分得到对称振子的远区总场;

4. 对称振子辐射电阻的含义是什么? 在天线无耗情况下, 写出它与输入电阻的简单关系。(设对称振子的全长为  $2l$ )

答: 把天线向空间辐射的功率等效为被一个电阻  $R_r$  吸收, 该电阻称为辐射电阻, 它上面流过的电流为波腹电流  $I_m$ 。在天线无耗的情况下, 天线辐射功率与输入的有功功率相等, 即

对于电流为近似正弦分布的对称振子, 其输入电流为  $I_{in} = I_m \sin(\beta l)$ , 得

5. 有一副地面天线要接收地球同步卫星线极化天线发射的信号, 试简述如何调整地面天线使其对准, 并使接收信号最大。

答: 只要地面天线与卫星天线的主瓣最大值方向在一条直线上那么为对准, 要使接收信号最大还需要它们的极化一致。其调整步骤如下:

- (1) 首先使地面天线的最大辐射方向大致对准卫星方向;
- (2) 在方位面调整天线方向使其接收信号到达最大;
- (3) 在俯仰面调整天线方向使其接收信号到达最大;
- (4) 以天线最大指向方向为轴线, 旋转天线使其接收信号到达最大。

6. 给出用等值传输线法分析对称振子天线输入阻抗的根本过程。

答: 一段长为  $l$ , 特性阻抗为  $Z_c$  的平行有耗开路传输线, 由传输线理论可得其输入阻抗为

式中,  $Z_c = Z_0(1 - j\frac{\alpha}{\beta})$ ,  $\alpha = \frac{R_1}{2Z_0}$ 。显然这还不能用于对称振子天线, 因为双线传输线与对称天线存在显著的差异, 必须对这个公式进展修正。

因此用等值传输线法分析对称振子天线输入阻抗的根本过程如下:

- (1) 计算对称振子的平均特性阻抗  $Z'_0$ , 以取代  $Z_0$ ;
- (2) 求对称振子单位长度上的辐射电阻  $R'_1$ , 以取代  $R_1$ ;
- (3) 适当修正相位常数  $\beta'$  以取代  $\beta$ 。

7. 在“天线原理与设计”书中行波天线一章所涉及的天线有哪些? 行波天线一般分为两类, 一类为电流行波天线(即天线上电流为行波传输), 一类为场行波天线(即天线上的场为行波传输)。请把这些行波天线按此方法分类。

答: 所涉及的天线有: 偶极子电阻加载天线, 菱形天线, 八木天线与反射天线, 圆柱螺旋天线, 平面等角螺旋天线, 阿基米德天线和对数周期天线。

电流行波天线有: 偶极子加载天线, 菱形天线, 平面等角螺旋天线和阿基米德天线。

场行波天线有: 轴向模圆柱螺旋天线, 八木天线、反射天线和对数周期振子天线。

8. 简要答复用同轴线向对称振子天线馈电时, 为什么要加对称变换器? 常用的对称变换器型式有那几种?

答: 用同轴线向对称振子天线馈电是不平衡馈电, 同轴线的外导体分别接对称振子的两个臂时将使其两个臂上的电流不等, 接同轴线导体的臂上电流将大于另一个臂上的电流, 原因是原本在同轴线外导体外表的电流馈到振子臂上时, 由于同轴线外导体接地, 该振子上的电流的一局部将通过同轴线外导体的外表分流。对称振子两个臂上电流不等将使方向图最大方向发生偏离, 且同轴线外导体外表电流的辐射将使方向图发生畸变, 所以采用同轴线向对称振子天线馈电时必须加对称变换器。

常用的对称变换器有 U 形管变换器、套筒式变换器、短路式变换器、开槽式变换器和渐变式变换器。

9. 试简述标准卡塞格伦天线的组成及其工作原理。

答: 标准卡塞格伦天线由主反射面、副反射面和馈源组成。为了获得聚焦特性, 主反射面必须是旋转抛物面, 副反射面是旋转双曲面, 馈源可以是各种形式, 但一般用喇叭作馈源, 安装在主、副反射面之间, 其相位中心应置于旋转双曲面的焦点上, 双曲面的安装应使双曲面的虚焦点与抛物面的焦点重合。

天线作发射时, 由馈源喇叭发出的球面波首先由双曲面反射, 然后再经主反射面(抛物面)反射出去。根据双曲面和抛物面的性质, 由馈源发出的任意一条射线到达主反射面的某一口径面上的波程相等, 那么由馈源辐射的球面波前, 必将在主反射面的口径上变为平面波前, 呈现同相场, 使卡式天线具有锐波束、高增益性能。天线作接收时的过程正好相反, 外来平面波前经主、副反射面反射之后, 各射线都会聚到馈源所在点由其接收。

10. 简述分析地面上线天线的辐射场和阻抗所采用的简单方法和步骤。

答: 简单方法是采用镜像法, 分析步骤如下:

- (1) 把地面看作无限大导电平面;
- (2) 近地垂直天线的镜像为正像, 其镜像点电流与原电流等幅同相; 近地水平天线的镜像为负像, 其镜像点电流与原电流等幅反相;
- (3) 考虑镜像天线之后, 地面就可以去掉, 此时近地天线的远区场就可看作考虑镜像天线之后的二元阵问题;

(4) 近地垂直和水平振子天线的辐射阻抗分别为  $Z_{\perp r} = Z_{11} + Z'_{12}$  和  $Z_{\parallel r} = Z_{11} - Z'_{12}$ ；其中  $Z'_{12}$  为近地天线与其镜像天线之间的互阻抗；

11. 试举出五种所学过的常用宽带天线型式？并说明其特点？

答：(1) 笼形天线：它是一种截面直径增大的对称振子天线，其平均特性阻抗  $Z'_0$  很小，其输入阻抗  $Z_{in}$  随  $l/\lambda$  变化缓慢，频带宽度可达几十%；

(2) 双锥天线：假设为无限长，那么其输入阻抗与其长度无关，只与其角有关。实用的为有限长，天线的两端会有电流反射，但其输入阻抗随其长度变化不大，频带宽度可达几~十几个倍频程；

(3) 盘锥天线：它是把双锥天线的一个臂用一个圆盘取代，目的是减小天线长度尺寸；其输入阻抗随其长度变化不大，类似一个高通滤波器，频带宽度可达几个倍频程；

(4) 等角螺旋天线：其辐射特性和阻抗特性仅与角度有关，而与其臂长无关，因此频率变化时天线特性不变，频带宽度可达几个倍频程以上；

(5) 对数周期天线：这类天线形式多样，有对数周期齿形天线、对数周期振子天线等，天线的构造尺寸随频率的对数变化，频率变化时，工作区相应地移动，其频带宽度可达十几个倍频程以上。

其它的宽带天线还有：阿基米德螺旋天线，菱形天线，加载天线等。

12. 简述在天线原理中巴比涅原理的实质是什么。并说明开槽天线与互补的金属天线的电磁场矢量在空间的极化关系。

答：巴比涅原理的实质：一个金属开槽天线的辐射场可由其互补的金属天线来求解，且  $\mathbf{E}_{槽} = \mathbf{H}_{金}$ ， $\mathbf{H}_{槽} = -\mathbf{E}_{金}$ 。说明开槽天线的电磁场矢量与互补的金属天线的电磁场矢量在空间极化上相差  $90^\circ$ 。

13. 旋转抛物面天线馈源横向偏焦对方向图有何影响？简述馈源横向偏焦有哪些应用？

答：旋转抛物面天线馈源横向偏焦，将使口径场产生线性率和立方率相位分布，对方向图的影响是使波束指向偏离口径面法向、主瓣变宽、副瓣升高、增益减小。

馈源横向偏焦引起波束偏移在雷达中的如下几个方面得到应用

- (1) 应用于雷达圆锥扫描中
- (2) 分布馈源法形成余割平方方向图
- (3) 单脉冲雷达天线中
- (4) 用反射面天线形成多个波束指向不同的同步卫星的通讯中，等

14. 试述角锥喇叭辐射场与 E 面和 H 面喇叭辐射场的关系，并说明什么是最正确角锥喇叭。

答：角锥喇叭的 E 面辐射场与 E 面喇叭辐射场一样；角锥喇叭的 H 面辐射场与 H 面喇叭辐射场一样。

最正确角锥喇叭是指其尺寸的选取使得其增益最大。其具体要其 E 面和 H 面尺寸分别取最正确。

15. 简述分析卡塞格伦天线的等效抛物面法的等效原理。

答：等效原理是用等效抛物面(虚抛物面)取代卡式天线的主、副反射面，从而把卡式天线的问题简化为馈源一样、抛物面口径直径一样但焦距增大了 M 倍的单反射面来进展定量分析。

16. 根据各振子电尺寸 ( $l_n/\lambda$ ) 的不同，可把 LPDA(对数周期天线)天线分为哪三个区？从天线工作的物理过程说明 LPDA 天线的宽带工作原理。

答：三个区为：传输区、辐射区和未激励区。

当对 LPDA 天线馈电后，由信号源供应的电磁能量沿集合线传输，依次对各振子激励，只有长度接近谐振长度 ( $\lambda/2$ ) 的那局部振子上才能激励起较大电流，向空间形成有效的辐射。而远离谐振长度的那些长的或短的振子上的电流都很小，对远场没多大奉献，随着工作频率的改变，辐射区位置将发生改变，由于构造的相似性，使辐射方向图及集合线馈电处的输入阻抗根本保持不变，因此 LPDA 天线工作频带非常宽，可达 10 个倍频程以上。

17. 旋转抛物面天线的效率因子可表示为  $g = g_1 \cdot g_2$ ， $g_1$  和  $g_2$  表示什么？并分析出现最大效率的原因。

答： $g_1$  和  $g_2$  分别表示口径效率和截获效率。

当焦距比增大时(长焦距)，漏失的能量增大，使截获效率  $g_2$  减小，导致  $g$  减小；

焦距比增大的同时，馈源照射到反射面上的场的均匀程度也增加了，这反而使  $g_1$  增大，即  $g$  增大。

这两个因素的影响结果就会出现效率的最大值。

18. 简要答复和证明喇叭形喇叭的口径场沿开的口径方向为平方律相差。

19. 简要答复为何旋转抛物面天线喇叭馈源的相位中心要置于反射面焦点处。

20. 简述卡塞格伦天线提高效率的方法和技术途径？

答：(1) 方法：一般说来，卡塞格伦天线的效率与普通旋转抛物面天线的效率差不多，为了提高其效率，主要采用两种方法：一是保持反射系统不变，使馈源方向图最正确化，即采用高效率馈源。二是保持馈源方向图不变，修改反射系统使其最正确化，即采用修正型卡塞格伦天线。实际中这两种方法同时采用。

(2) 技术途径：一是选择窄波束的高效馈源，提高副反射面的的截获效率；二是修正副反射面使主面口径场的幅度均匀，修改主反射面使口径场相位同相，以提高口径效率。

21. 简要答复什么是电磁波的极化？(3分) 什么是天线的极化？(2分)

答：电磁波的极化是指：沿电磁波传播方向看去，电场矢量方向随时间变化的轨迹，如果其轨迹为一直线，那么为线极化波；假设其轨迹为一个圆，那么为圆极化波；假设其轨迹为椭圆，那么为椭圆极化波。

天线的极化是根据其最大辐射方向上辐射电磁波的极化来定义的。

22. 什么是天线的相位中心？(2分) 什么是视在相位中心？(1分) 如下哪些天线的相位中心分别属于这两类？(2分)

(1) 半波振子天线，(2) 等幅同相的半波振子二元阵，(3) 角锥喇叭天线，(4) 八木天线，(5) LPDA 天线。

答：天线远区辐射电场的一般表示可写成如下形式

$$\mathbf{E}_u = \hat{u} E(\theta, \varphi) e^{j\psi(\theta, \varphi)} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \quad (10.61)$$

式中， $\hat{u}$  为单位矢量， $E(\theta, \varphi)$  为远场幅度方向图函数， $\psi(\theta, \varphi)$  为远场相位方向图函数

**相位中心定义**为：在天线上或邻近假设有一参考点在给定频率下使  $\psi(\theta, \varphi) = \text{常数}$  (即与  $\theta, \varphi$  无关)，那么这个使  $\psi(\theta, \varphi) = \text{常数}$  的参考点称为天线的相位中心。

大多数天线并不存在这样的理想相位中心，而只在其辐射方向图主瓣的一个较大立体角内使得  $\psi(\theta, \varphi) = \text{常数}$ ，其对应的相位中心叫视在相位中心。

半波振子天线及其组成的等幅同相二元阵存在理想的相位中心。

角锥喇叭天线、八木天线和 LPDA 天线只存在视在相位中心。

23. 何谓天线的辐射电阻？(1分) 对称振子天线的远区辐射电场为  $E_\theta = j \frac{60 I_m}{r} e^{-j\beta r} f(\theta)$ ，试导出其辐射电阻的表达式。(4分)

答：辐射电阻  $R_r$  是指“吸收”天线全部辐射功率的电阻，其上流过的电流为天线上的波腹电流。

$$\text{天线的远区磁场为：} H_\varphi = \frac{E_\theta}{\eta_0}$$

$$\text{可得坡印亭矢量为：} \mathbf{W} = \frac{1}{2} \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* = \hat{r} \frac{|E_\theta|^2}{2\eta_0} = \hat{r} \frac{60^2 I_m^2}{2\eta_0 r^2} f^2(\theta)$$

$$\text{其辐射功率为：} P_r = \frac{1}{2} \iint_s \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \cdot \hat{r} ds = \frac{60^2}{2\eta_0} I_m^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^2(\theta) \sin\theta d\theta$$

$$\text{那么其辐射电阻为：} R_r = \frac{2P_r}{I_m^2} = 60 \int_0^\pi f^2(\theta) \sin\theta d\theta$$

24. 常见的矩形波导开缝方式有哪四种？应用等效传输线的概念，分别画出其等效电路。

答：矩形波导开缝主要有：(1) 波导宽边纵缝；(2) 波导宽边横缝；(3) 波导宽边斜缝；(4) 波导窄边斜缝；它们的等效电路如下所示。

■ 波导宽边纵缝的等效电路

- 波导宽边横缝的等效电路
- 波导宽边斜缝的等效电路
- 波导窄边斜缝的等效电路

25. 设理想点源天线和某天线在某方向上的辐射电场分别为  $E_0$  和  $E(\theta, \varphi)$ ，有一种定义得到的方向性系数和增益的表达式均为  $\frac{E^2(\theta, \varphi)}{E_0^2}$ ，试说明两者的不同。

答：方向性系数与增益的定义表达式虽然完全一样，但两者是不同的，即方向性系数和增益定义的基点和条件是不同的。方向性系数的定义是以辐射功率  $P_r$  为基点，并

以一样辐射功率为条件，没有考虑天线的能量转换效率。增益的定义是以输入功率  $P_{in}$  为基点，并以一样输入功率为条件。

26. 画出下面四种情况下等幅激励二元阵的阵因子方向图 ( $d$  为间距， $\alpha$  为相位差)。

- (a)  $d = \lambda/2, \alpha = 0^\circ$  时    (b)  $d = \lambda/2, \alpha = 180^\circ$  时    (c)  $d = \lambda/4, \alpha = 90^\circ$     (d)  $d = \lambda, \alpha = 0^\circ$  时

27. 简述对中和波和长波垂直地天线加顶 ( $\Gamma$  形、伞形等) 和铺设地网的作用。

答：中波 ( $\lambda = 200 \sim 1000$  米) 和长波 ( $\lambda = 1000 \sim 10000$  米) 的垂直地天线其长度由于受构造的限制往往比波长小得多，因此天线的辐射能力很弱，辐射电阻很小。

另一方面，损耗电阻因地面损耗而很大，以致天线效率很低，只有百分之几到百分之十几。因此提高天线效率就成为中长波段垂直地天线的主要问题。由天线效率公式

$\eta_a = R_r / (R_r + R_l)$  可知，提高天线效率的途径是增加辐射电阻  $R_r$  和减少损耗电阻  $R_l$ 。

天线加顶 (形成  $\Gamma$  形、伞形和 T 形天线等) 是增加辐射电阻  $R_r$  的有效途径。以提高辐射效率。铺设地网可减少地面损耗  $R_l$ ，同样是提高辐射效率。

28. 试根据抛物面的性质，推证焦距比  $f/D$  的数学表达式，并说明其在天线设计中的作用。

答：由如下列图

取通过焦点 F 而垂直于反射面轴线的 z 轴的一个平面  $S_0$ ，并设 M 为抛物线上的点，P 为  $S_0$  上的点，Q 为准线上的点，且此三个点在一条直线上。由抛物线性质，有

$$\text{故 } \overline{FM} + \overline{MP} = \overline{QM} + \overline{MP} = 2f$$

$$\text{因 } \begin{cases} \overline{FM} = r \\ \overline{MP} = r' \cos \psi \end{cases}$$

$$\text{那么 } r' + r' \cos \psi = 2f \Rightarrow r' = \frac{2f}{1 + \cos \psi}$$

$$\text{因 } x = r' \sin \psi, \text{ 那么 } r' = \frac{x}{\sin \psi} = \frac{2f}{1 + \cos \psi}$$

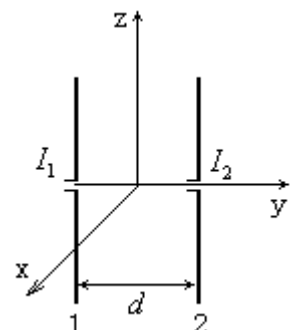
$$\text{取 } x = D/2 \text{ 时, } \psi = \psi_0 \text{ 得 } \frac{f}{D} = \frac{1}{4} \text{ctg} \left( \frac{\psi_0}{2} \right)$$

$f/D$  可以决定长、中、短焦距，一般在设计中，选择长焦距情况 ( $\psi_0 < \frac{\pi}{2}, \frac{f}{D} > 0.25$ ) 在长焦距下，有一个使 G 到达最正确  $\frac{f}{D}$  值。

假设从 G 出发，可以确定口径 D，再选择适宜的  $\frac{f}{D}$ ，那么抛物面的形状就确定了，即可确定  $\psi_0$ ，那么馈源所需的照射角为  $2\psi_0$ ，再根据最正确照射电平便可以

设计馈源。

### 三、设计计算题





1. 在自由空间中, 由两个半波振子组成的二元阵如下图:  $d = \lambda/4$ ,  $I_2 = I_1 e^{j\pi/2}$ 。要求

①写出 E 面和 H 面方向图函数;

②用方向图相乘原理, 绘出 E 面和 H 面方向图;

③计算 1 号振子的辐射阻抗  $Z_{r1}$ 。

附表: 半波振子互阻抗表

d	H=0		H=0.5	
	$R_{12}$	$X_{12}$	$R_{12}$	$X_{12}$
0.2	51.4	-19.2	15.7	-8.9
0.25	40.8	-28.3	10.65	-12.45
0.5	12.5	-29.9	-11.9	-7.9
1.0	4.0	17.7	9.0	8.9

解: (1) 二元阵总场方向图函数为

$$\text{其中半波振子单元方向图函数为: } f_0(\theta) = \frac{\cos(\pi \cos \theta / 2)}{\sin \theta}$$

二元阵因子方向图函数为:

$$f_a(\theta, \varphi) = 2 \cos(\psi / 2), \quad -\psi = \beta d \sin \theta \sin \varphi + \alpha, \quad \beta = 2\pi / \lambda, \quad \alpha = \pi / 2$$

$$\text{E 面 } (\varphi = \pi / 2) \text{ 方向图函数为: } f_E(\theta) = \frac{\cos(\pi \cos \theta / 2)}{\sin \theta} \cdot 2 \cos\left[\frac{\pi}{4}(\sin \theta + 1)\right]$$

$$\text{H 面 } (\theta = \pi / 2) \text{ 方向图函数为: } f_H(\varphi) = 2 \cos\left[\frac{\pi}{4}(\sin \varphi + 1)\right]$$

(2) E 面方向图

H 面方向图

(3) 1 号单元的辐射阻抗由下式表示

$$\text{其中, } I_2 / I_1 = e^{j\pi/2} = j, \quad Z_{11} = 73.1 + j42.5,$$

$$\text{互阻抗 } Z_{12} \text{ 可查表得: } Z_{12}(H / \lambda = 0, d / \lambda = 0.25)$$

$$\text{得: } Z_{r1} = 73.1 + j42.5 + j(40.8 - j28.3) = 101.4 + j83.3 \quad \Omega$$

2. 计算架高为  $\lambda/2$  的水平半波天线在垂直于天线轴平面 (H 面) 的最大辐射方向  $\Delta_m$  和该方向上的方向性系数 D。(设地面为理想导电无限大平面, 计算时可参考第一题

附表)

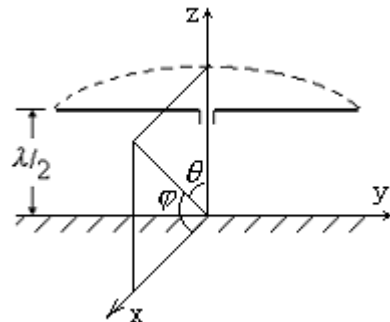
解: 水平半波天线在 H 面的方向图函数为

$$f_H(\theta) = 2 \sin(\beta h \cos \theta) - h = \lambda / 2$$

$$\text{令 } \sin(\pi \sin \varphi) = 1$$

$$\text{得 } \sin \varphi_m = 1/2, \quad \text{即 } \Delta_m = \varphi_m = 30^\circ$$

$$\text{由方向性系数公式 } D = \frac{120 f_{\max}^2}{R_r}$$



式中,  $f_{\max} = 2$ ,  $R_r = \text{Re}(Z_r)$  为辐射电阻, 可查表求得。

$$Z_r = Z_{11} - Z_{12}$$

$$Z_{11} = 73.1 + j42.5, \quad Z_{12}(H/\lambda = 0, d/\lambda = 1) = 4 + j17.7$$

得:  $Z_r = 69.1 + j24.8 \Omega$ ,  $R_r = 69.1 \Omega$

水平半波天线在 H 面的最大辐射方向  $\Delta_m$  上的方向性系数为

$$D = 120 \times 4 / 69.1 = 6.95$$

3. 有一架高为  $h$  的近地水平半波天线如下图。要求在垂直于天线轴平面(H面)的最大辐射方向  $\Delta_m = 30^\circ$ , 计算天线的最小架高和该方向上的方向性系数  $D$ 。(设地面

为理想导电无限大平面, 计算时可参考第一题附表)

解: 水平半波天线在 H 面的方向函数为

由最大辐射方向可知:  $|\sin(\frac{2\pi}{\lambda} h \sin \Delta_m)| = 1$ , 可得

$$\frac{2\pi}{\lambda} h \sin \Delta_m = \frac{2n+1}{2} \pi, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

由  $\Delta_m = 30^\circ$ ,  $\sin \Delta_m = 1/2$ , 且取  $n=0$ , 得到  $h = \lambda/2$

由方向性系数公式  $D = \frac{120 f_{\max}^2}{R_r}$

式中,  $f_{\max} = 2$ ,  $R_r = \text{Re}(Z_r)$  为辐射电阻, 可查表求得。

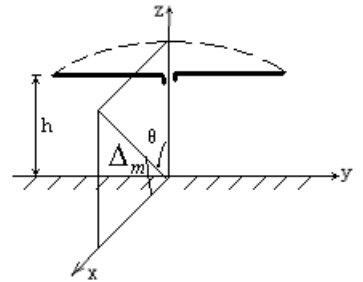
$$Z_r = Z_{11} - Z_{12}$$

$$Z_{11} = 73.1 + j42.5, \quad Z_{12}(H/\lambda = 0, d/\lambda = 1) = 4 + j17.7$$

得:  $Z_r = 69.1 + j24.8 \Omega$ ,  $R_r = 69.1 \Omega$

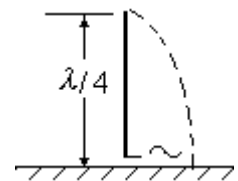
水平半波天线在 H 面的最大辐射方向  $\Delta_m$  上的方向性系数为

$$D = 120 \times 4 / 69.1 = 6.95$$



4. 理想导电地面上有一  $\lambda/4$  的垂直接地天线, 如下图。要求:

- (1) 给出方向函数并绘出其 E 面和 H 面方向图;
- (2) 计算其辐射阻抗;
- (3) 计算出最大辐射方向上的方向性系数。



解: (1) 采用镜像法后,  $\lambda/4$  的垂直接地天线就可看作是自由空间中的一个半波振子天线。

E 面方向函数如下, 方向图如下图。

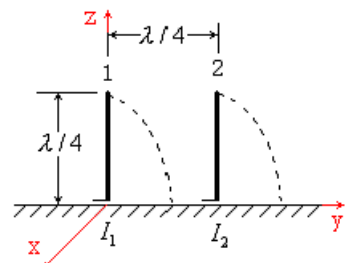
H 面方向函数为  $f_H(\varphi) = 1$ , 其图形为一个圆。

(2) 垂直接地振子天线的辐射阻抗为:  $Z_{\perp r} = \frac{1}{2} Z_{11} = \frac{73.1 + j42.5}{2} = 36.55 + j21.25 \Omega$

(3) 最大方向上的方向性系数为:  $D = \frac{120 f_{\max}^2}{R_r} = \frac{120}{36.55} = 3.28$

比自由空间半波振子天线的方向性系数大一倍。

5. 地面上的二元垂直接地天线阵如下列图所示, 两单元间距  $d = \lambda/4$ , 馈电电流等幅但  $I_1$  的相位滞后于  $I_2$   $90^\circ$ , 即



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/427024001063006113>