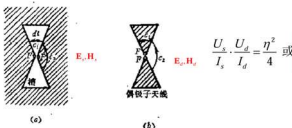


开槽天线(缝隙天线)

优点: 结构简单, 表面无凸出部分, 在微波波段可以代替振子天线解决振子太小, 制造与馈电匹配的问题的缺点。缺点: 只能在窄频带, 单独一天线的方向性不够尖锐, 在使用大功率时容易发生击穿。

巴伦原理: 求开槽天线产生于某点的电场, 可由其互补天线求出该点的磁场, 乘以 η 得出; 同理, 欲求开槽天线产生于某点的磁场, 可由其互补天线求出该点的电场, 除以 η 得出。相似的, 其频带特性与互补天线的频带特性相同。



波导开槽的原则: 只要是在波导壁上切割电流的方向开槽就可以使波导中传输的能量向外辐射。谐振式开槽天线的波导末端一般用活塞予以短路, 因此再波导中形成驻波, 两槽之间的距离应保证他们相隔半波长。非谐振式开槽天线的波导末端用吸收负载进行匹配。

谐振式开槽天线开槽原理: 1. 在波导壁开槽时槽间距为一个波导波长, 可保证同相激励。2. 在波导壁上开槽槽, 相邻两槽斜角相反, 间距为半个波导波长, 可保证同相激励。3. 在波导窄壁上开槽槽, 相邻两槽斜角相反, 间距为半个波导波长, 可保证同相激励。4. 由于是同相激励, 因此是侧射阵, 其最大辐射方向为缝隙阵面的法线方向。5. 由于是驻波阵, 其频带窄, 而且增益愈高, 频带愈窄。6. 波导内电场最大值位于缝中心, 使缝得到更有效激励。此类缝隙天线常用于机载火控、气象、导航、导弹引信和寻的等。

非谐振式缝隙天线开槽原理: 又称为行波缝隙, 如图所示。这种形式的缝隙天线是在一根横截面积为矩形的波导壁上开槽, 缝距可开在波导壁宽壁上, 也可开在窄壁上。由于缝隙匹配负载, 波导中传输的是行波。缝隙间是谐振腔隙, 即缝长为 λ/2, 但缝间距不再恰好为 λ/2 和 λg/2。由于波导中传输的是行波, 相邻两缝间总存在一个相位差, 即不再是同相激励。因此导致行波辐射的最大辐射方向不再是正侧向, 而有一个偏角 φm。特点: 1. 非谐振式缝隙天线, 单元间距可以大于或小于 λg/2, 波导末端端匹配负载。2. 由于波导内为行波, 两缝间有馈电相位差, 使波束指向不在阵列法线方向上, 当间距大于 λg/2 时, 波束偏向负载方向, 小于 λg/2 时, 则偏向输入端方向, 具有频 率扫描特性。3. 匹配负载吸收功率为输入功率的 5 % ~ 10 %。在很宽的范围内容驻波。

口径天线理论组成: 1. 馈源将高频电流能量转换为电磁波辐射能量 2. 反射面: 产生所需方向性高斯原理: 某一切级源所产生的波阵面上的任意点都是球面波的次级源。因此, 从包围源的面所发出的场, 可以看成是这一表面上所有点所辐射的球面波场的总和。根据惠更斯原理, 空间某点 P 的场, 是包围天线的封闭回面上各点的次级场在 P 点叠加的结果。根据等效原理, 就可将面天线口径面上的电磁场等效为电流和磁流。

几何光学法: 1. 几何光学法是光学中的射线理论, 常用于光学原理的聚光设备。如反射望远镜的光学分析和设计, 因为波长与反射面口径尺寸相比很小。2. 通常用几何光学近似对天线分析和综合时, 不考虑散射和干涉现象。3. 由于微波波长不为零, 上述影响是存在的, 并造成天线方向图的副瓣。4. 几何光学没有能, 能量沿射线传播, 而且传播的波前(等相面)处处垂直于射线, 同时没有射线的区域就没有能量。

几何射线法: 1. 由于几何光学法在射线不能到达的区域为无场区(阴影区), 破坏了场的连续性, 因此无法计算天线的远场和后瓣。2. 几何射线法认为: 构成空间中的辐射场处理直射线、反射线外, 还有绕射线——包括端面绕射、边缘绕射和表面绕射(爬布线), 空间辐射场为上述各射线的叠加。3. 直射线、反射线和衍射线由几何光学确定, 而几何绕射线由布儒瓦的费马定理确定。

口径效率定义: 平面口径的增益, $G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S \cdot \eta_s$ 是口径物理面积, 口径效率 ηs 表示口径场不均匀分布时有效口径面积和实际口径面积之比。当口径场均匀分布时 ηs = 1; 口径场不均匀分布时 ηs < 1。口径场分布越不均匀, 口径效率越低。

矩形阿孔口径: 场振幅为余弦分布时, 方向图主瓣变宽, 口径效率降低, 副瓣电平减小。这是由于场振幅从口径中心向边缘递减, 靠近边缘的场减弱, 边缘对场贡献减小。

圆形阿孔口径: 矩形口径与圆形口径(内切圆)相比, 前者的波数密度高, 副电平高。因它有效口径面积和口径效率均高。

口径场相位分布对远区区域的影响: 方向图指向发生偏移, 主瓣变宽, 副电平变高, 增益下降。线性相位分布时: 有效尺寸变小, 主瓣变宽, 口径效率减小。平方分布时: 与阿孔口径比较, 当 ψ0 ≤ π/8 时, 方向图变化不大, 当 ψ0 ≥ π/4 时, 方向图畸变较大, 且口径效率 ηs 随 ψ0 的增大而降低。立方分布时: 方向图, 主瓣波束指向不再是口径法线方向, 而偏向口径相位滞后的一方, 方向图变成不对称形; 口径效率减小, 但减小的幅度比平方相位分布的要小一些; 在口径上相位按立方律变化的方向, 若场是减小分布的, 则相位变化影响较小。

波导喇叭阵: 波导开口面可以看成是最简单的口径天线。一般不直接用作天线, 通常只用在需要定向辐射的地方, 如复杂天线的馈源和阵列天线的辐射单元。这时, 需要在波导开口面上加介质片以改善匹配。在采用圆波导作为辐射器时, 为了提高场的稳定性, 通常用矩形波导来激励圆波导, 或者在圆波导中加脊。

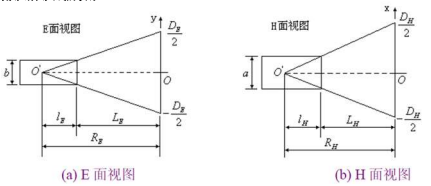
喇叭天线: 线极化。喇叭天线: E 面的方向图与 E 面喇叭天线的 E 面方向图相同; H 面的方向图与 H 面喇叭天线的 H 面方向图相同。(E 面喇叭天线波导端面与 H 面相反) H 面喇叭天线的特点: 喇叭中的场只有三个分量。喇叭中的波度也是波: 各场分量均与无关; 各场分量的振幅随坐标的变化规律和波导中场沿的变化相同; 等相位面是一个以喇叭顶点为中心, 半径为的圆柱面。相位由因于决定: 喇叭中的相速度大于光速不是常数, 随着的增大逐渐接近光速。

圆锥喇叭: 最佳尺寸是介于 H 面和 E 面喇叭尺寸之间的某个中间值。当给定定时, 最佳圆锥喇叭和最佳矩形喇叭尺寸相似。圆锥喇叭和圆波导一样容易产生平面波导射线辐射的現象。透射口径: 用透射口径正个喇叭口径上相位, 将喇叭内的平面波变成平面波。

喇叭口径相位误差的校正: 在喇叭口径尺寸不变的情况下, 要使 ψm 和 ψ0 = 0, 则须 R0 和 Rg → ∞。实际上这是不可能的。1. 喇叭阵 2. 弯曲喇叭(加工困难) 3. 透射-介质透镜(造成损耗); 空气透镜天线(空气透镜材料是双曲线。采用空气透镜后, 无论增益和效率, 还是主瓣宽度和副电平均有明显提升。); 金属透镜

相位中心: 在天线上或邻近若有一点在给定频率下使 ψ(θ, φ) = 常数(即与 θ, φ 无关), 则这使 ψ(θ, φ) = 常数的参考点称为天线的相位中心。只有当天线的相位中心可解释时, 便是许多参考点我们可以找到一个参考点使得主瓣的一个范围内有 ψ(θ, φ) = 常数, 这称为: 视在相位中心。

角锥喇叭天线的设计:



(a) E 面视图 (b) H 面视图

(1) 作天线时的设计

$2\theta_{0.5E} = 0.94 \frac{\lambda}{D_E} \text{ (rad)} = 54 \frac{\lambda}{D_E} \text{ (}^\circ\text{)}$

$2\theta_{0.5H} = 1.396 \frac{\lambda}{D_H} \text{ (rad)} = 80 \frac{\lambda}{D_H} \text{ (}^\circ\text{)}$

$G = 0.51 \frac{4\pi}{\lambda^2} D_H D_E, R_H = \frac{1}{3} \frac{D_H^2}{\lambda}, R_E = \frac{1}{2} \frac{D_E^2}{\lambda}$

(2) 作标准增益天线的设计

$\Psi_{MH}, \Psi_{ME} \leq \frac{\pi}{8}$

$R_H = 2 \frac{D_H^2}{\lambda}, R_E = 2 \frac{D_E^2}{\lambda}$

$\begin{cases} 2\theta_{0.1H} = 31^\circ + 79^\circ \frac{\lambda}{D_H} \\ 2\theta_{0.1E} = 88^\circ \frac{\lambda}{D_E} \end{cases}$

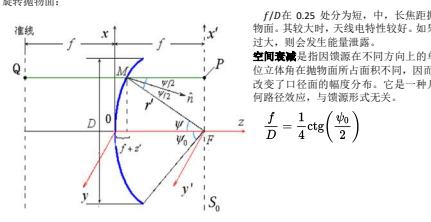
最佳喇叭 $S = D_E D_H = \frac{D_E^2}{0.5 \times 4\pi}, R_H = \frac{1}{3} \frac{D_H^2}{\lambda}, R_E = \frac{1}{2} \frac{D_E^2}{\lambda}$

尖顶角喇叭: $R_E = R_H = D_E = \sqrt{\frac{2}{3}} D_H$

检验条件 $\frac{R_H}{R_E} = \frac{D_H(D_E - b)}{D_E(D_H - a)}$

单反射面天线

分析方: 面电流法-先求出馈源所辐射的电场在反射面上激励起的电流密度, 然后由此电流密度求远场; 口径场法: 先根据几何光学定律, 分析馈源照射到反射面的入射线, 经反射后到达反射面的一个口径面 S1, 求得反射面口径场分布, 然后由口径场可求得远区辐射场; 几何光学法-具有波数远大于口径时才正确, 反射定律也只有当电磁波作用于一导体面上才正确。因此口径场法也是近似。



空间衰减因子:

$SA = \frac{(1 + \cos \psi_0)^2}{2} = 20 \lg \left(\frac{1 + \cos \psi_0}{2} \right) \text{ (dB)}$

天线增益: 最大值在 $R_{eff}/f = 1.3$ 左右, 因此表示得到的增益为 $G = \frac{4\pi \cdot S}{\lambda^2} \cdot g$

空间衰减: 因馈源在不同方向上的单位立体角在抛物面所占面积不同, 因而 改变了口径面的幅度分布。它也是一种几何路径效应, 与馈源形式无关。

口径效率 ηs 与照射均匀度有关。截获效率(波束效率) ηa 与馈源方向图和 f/D 有关

$g_2 = \frac{\text{被馈源面截获的功率 } P}{\text{馈源面的总功率 } P_T} \text{ 总效率 } \eta_{max} = 0.83$

不同 η 时最佳角:

| η | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 |
|-------|----|----|----|----|----|
| ψm(°) | 77 | 66 | 52 | 46 | 41 |

效率最高时的边缘相位角: $A_s = 20 \lg \left(\frac{E(\psi_0)}{E(0)} \right) = 40 \lg \left(\cos \frac{\psi_0}{6} \right) + 10 \lg (\cos \psi_0)$

旋转抛物面天线的馈源: 1. 有一确定的“视在相位中心”(或称等效相位中心), 且置于焦点; 2. 馈源方向图旋转对称且副瓣尽可能低, 且满足要求的边缘照度。(如只求最大增益, 则馈源方向图应使抛物面口径得到均匀照射, 并且全部功率都投射到抛物面上。此时的馈源方向图是理想的均匀照射)(大多数馈源最佳边缘电平为-10dB) 3. 馈源遮光小。遮挡的影响使 G ↓ 5dB。4. 馈源的极化、带宽、馈源的极化、频带宽度决定了抛物面天线极化和带宽。即抛物面天线的极化和带宽完全由馈源决定。5. 功率容量、机械强度等的要求。

馈源种类: 1. 波导辐射器-矩形波导辐射器, 主模 TE10。圆形波导辐射器, 主模 TE11。圆波导口径馈源的优点:(1)圆波导的 E 面和互相方向图差别不大, 其立方方向图形状接近旋转对称。(2)采用圆波导作馈源, 能减小抛物面口径面上的感应电流交叉分量。因为圆波导口本身的交叉极化分量和抛物面上产生的交叉极化分量是相反的, 降低副瓣, 提高增益。(3)圆波导的副瓣和后瓣也比矩形波导的低。2. 喇叭馈源-喇叭天线, 包括圆锥喇叭和角锥喇叭。3. 叁角形多模馈源 4. 振子型馈源 5. 开槽天线馈源-振子型馈源和开槽天线馈源的馈电结构较疏、透光小。

抛物面与馈源的相互影响: (1) 馈源对抛物面天线的遮挡-由于馈源、馈线和支撑杆在电磁波辐射的路径上形成遮挡, 其影响相当于口径面减小, 口径面的减小, 使天线方向图的主瓣变宽, 副瓣升高, 增益降低。消除方法: 1. 减小馈源的遮挡比如馈源为喇叭, 喇叭口径小喇叭照射射面就宽, f/D 就小, 但 f/D 太小照射面均匀程度受影响, 因此喇叭口径的选择要兼顾 f/D 的选择。f/D 大照射面虽然均匀些, 但喇叭照射波瓣要变尖锐些, 喇叭口径就要大, 遮挡就大, 要综合考虑选取 1. 减小支撑杆的遮挡。合理选择支撑杆可使遮挡造成的增益损失小到 0.16dB。(2) 抛物面所反射的能量一部分可能进入馈源, 这将引起馈源传输线产生附加反射波, 而导致馈线失配。消除方法: (1)加匹配元件-可使馈线中的总线系数减小, 仅适于窄带频带。(2)补偿法-采用顶片调补偿。缺点: 由于尺寸小, 方向图宽, 将干扰抛物面方向图使副瓣上升, 增益下降。(3)侧置馈源法-这种方法是把馈源安装在反射面的反射面的作用范围之外(4)旋转馈源法-这种方法使是使馈源辐射的电磁波经反射面后极化旋转 90°, 从而使馈源不能接收反射波, 使极化旋转的反射面在反射面上安装许多倾斜的平行金属片。(5)中心挖空或涂敷吸收材料。

双反射面天线, 方便地控制口径场分布, 又可使反射面的焦距较大, 又可保证得到所需的天线方向图, 而且使设计增加了灵活性。

卡塞格伦天线: 由主反射面、副反射面、馈源组成。优点:(1)馈线短(2)空间衰减 SA 小(3)减小副瓣(4)等效焦距长(5)设计灵活(7 个参数, 缺点:(1)副反射面的遮挡大, 但对要求 G 很高的天线来说, 主反射面很大的话, 这个遮挡相对就小。(2)造价高。

分析方: 口径场法、电流分布法又分两种方法, 即虚馈源法和等效抛物面法。口径场法是将卡氏天线等效为普通的抛物面天线来求(虚馈源法、等效抛物面法), 电流分布法需要计算两次, 第一次是根据馈源方向图来确定副反射面上的电流分布, 而第二次则是根据副反射面的散射场计算由主反射面的面电流, 并进而求出主反射面的散射场。

影响天线效率的因素: $g = g_1 \cdot g_2 \cdot g_3 \cdot g_4 \cdot g_5$, 式中, g_1 -面载效率; g_2 -反射面载效率; g_3 -反射面的口径效率; g_4 -遮挡效率(副反射); g_5 -损耗效率; g_6 -反射面公差效率。

提高效率的途径: (1)保持反射系统不变, 使馈源方向图最佳化, 即采用高效率馈源, 提高 g_1 。(2)保持馈源方向图不变, 使反射系统最佳化, 即采用修正型的卡塞格伦天线(通常是修改副反射面使使口径场的幅度均匀, 修正主反射面来使口径场的相位 同相)提高 g_2 。

高效率馈源: 圆形波导, 矩形波导辐射器; 波紋喇叭-方向图圆, 相转移对称; 交叉极化低; 副瓣低; 方向图宽度随频率变化小(宽带) 缺点: 结构比较复杂; 介质加载喇叭-结构简单, 旋转对称, 副瓣低; 介导导馈源-介质导馈源是把一个圆锥介质放置在馈源和副反射面之间, 利用介质的全反射, 将原来漏失的能量重新聚集到主反射面上, 介导导馈源的优点是漏失小, 改善了主口径分布, 副反射面尺寸可更小, 不需要支撑杆, 因此遮挡小, 副瓣低, 频带宽, 是一种高效率馈源。

无形的卡塞格伦: 以通过修正主、副反射面形状来提高 效率。通常是修改副反射面使口径场的幅度均匀, 修改主反射面来使口径场的相位同相。

格里高利天线

双极天线