

大功率短波发射天线的偏向发射原理分析

文 / 国家广电总局 2022 台 张军虎 郑仕兵 //

摘要：本文介绍了同相水平天线的结构，对在同相水平天线基础上进行的偏向发射理论进行了分析，并阐述了偏向发射的实现方法。

关键词：短波天线 同相水平天线 偏向发射 实现方法

1 同相水平天线

大型广播发射台站所使用的大功率短波发射天线一般均为同相水平天线（也称水平偶极子天线阵），同相水平天线是由同相馈电的水平对称振子所组成的边射式平面天线阵，为了保证单向的辐射和接收，增强方向性和辐射强度，一般在阵面的一侧设置有反射面。

如图1所示，同相水平天线使用多个相同对称振子（全波振子或半波振子），在矩形平面内平行排列成N层M列，层间距离为 $0.5\lambda_0$ （ λ_0 为设计波长），列间距离为 λ_0 或 $0.5\lambda_0$ 。相邻两层的振子用双线交叉连接，以便向各层振子同相馈电。从左到右，成对两列振子（作为一组）在最低层分别用列分配馈线相连，最终合为一条主馈线连接发射机，列数一般为2、4或8，各列分配馈线连接时，严格对称，以保证向各列振子同相馈电。每列各层振子电流等幅，各列振子电流也等幅。也可使各列振子电流从内向外幅度递减，如按道尔夫-切比雪夫法设计最优振子电流分配并特殊设计分配馈线，可降低边瓣电平。为了获得单向辐射，在阵面后 $0.25\lambda_0$ 处平行装置另一完全相同的反射振子阵，其主馈线连到位置可调的短路棒上，借以调整反射阵电流，称为反射器，在短波天线中一般使用较少；或者在天线阵后 $0.25\lambda_0$ 处装置略大于阵面的导线栅网，导线平行于振子轴，线间距离小于 $0.1\lambda_0$ ，称为反射幕，整

个天线可用吊索架在两直立支柱间，振子轴平行于地面。

同相水平天线表示方法为： $HRm/n/h$ ，其中H表示垂直布置的水平偶极子，R表示带反射网，m表示偶极子的列数；n表示偶极子的行数，h表示最底层振子距离地面高度（以设计波长表示）。

带反射幕天线的辐射方向

图可以用 $F(\theta, \varphi)$ 表示， θ 为仰角， φ 为水平面内方位角。在大地上的水平偶极子辐射场由水平极化分量 Eh 及垂直极化分量 Ev 组成，它们的关系为：

$$F(\theta, \varphi) = \{ Eh(\theta, \varphi)^2 + Ev(\theta, \varphi)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

这里：

$$Eh(\theta, \varphi) = Eh(\theta, \varphi) \cdot f_x \cdot f_y \cdot f_z$$

$$Ev(\theta, \varphi) = Ev(\theta, \varphi) \cdot f_x \cdot f_y \cdot f_z$$

$Eh(\theta, \varphi)$ 及 $Ev(\theta, \varphi)$ 分别为水平偶极子的辐射场的水平分量及垂直分量。

$$Ev(\theta, \varphi) = -j_{60} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin \varphi \sin \theta f(\theta, \varphi);$$

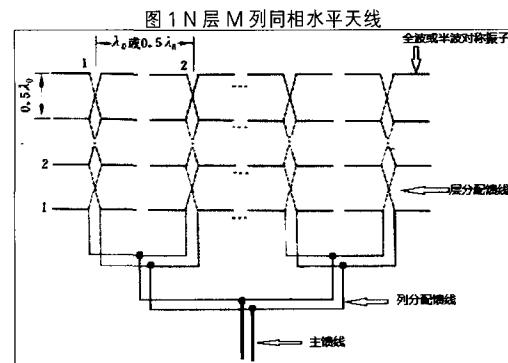
$$Eh(\theta, \varphi) = -j_{60} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cos \varphi f(\theta, \varphi)$$

$f(\theta, \varphi)$ 为辐射元的方向图因子，其表达式为：

$$f(\theta, \varphi) = \frac{\cos(\beta L \sin \varphi \cos \theta) - \cos \beta L}{1 - \sin^2 \varphi \cos^2 \theta}$$

f_x 为带反射幕的阵因子，反射幕的反射系数为反射波与入射波之比，以下式表示：

$$q_r = \frac{f_x}{f_z} = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{4} \left(\ln \frac{a}{\pi d} \cos \theta \right)^2 \right]^{1/2}}$$



式中：d为反射幕导线直径，

a为幕中两道线距离，

$|_i$ 为入射波强度，

$|_r$ 为反射波强度，

θ 为入射角。

反射幕前的 f_x 因子为：

$$f_x = (1 + q_r^2 - 2q_r \cos(2\beta D \cos \varphi \cos \theta))^{1/2}$$

反射幕后的 f_x 因子为：

$$f_x = (1 - q_r)$$

式中：D为反射幕与天线幕的距离。

f_y 为天线阵的行因子，其表达式为：

$$f_y = \sum_{i=0}^{m-1} e^{j\beta y_i \cos \theta \sin \varphi}$$

f_{zh} 为列的水平极化场的阵因子，其表达式为：

$$f_{zh} = \sum_{i=0}^{n-1} e^{j\beta (h+i\lambda_0) \sin \theta} (1 + R_h e^{-j_2 \beta (h+i\lambda_0) \sin \theta})$$

f_{zv} 为列的垂直极化场的阵因子，其表达式为：

$$f_{zv} = \sum_{i=0}^{n-1} e^{j\beta (h+i\lambda_0) \sin \theta} (1 - R_v e^{-j_2 \beta (h+i\lambda_0) \sin \theta})$$

反射幕多使用的导线直径约为2.7mm到4.7mm，线间距离为1/25至1/100，设计波长一般在1/40左右。

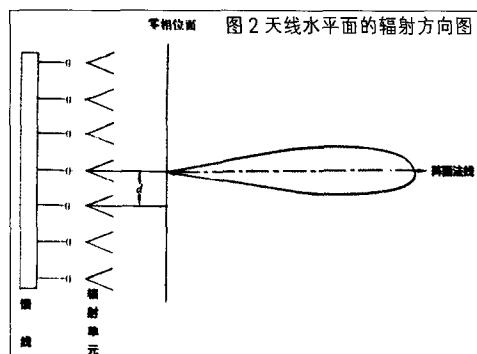
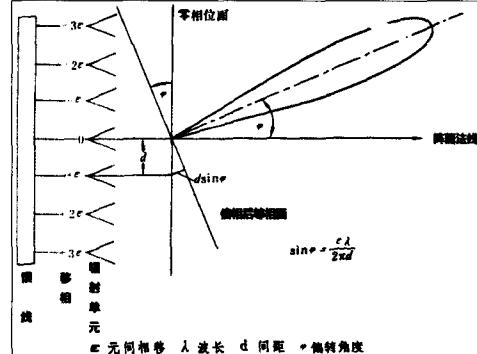


图 2 天线水平面的辐射方向图



天线水平面的辐射方向图,如图2所示。

2 偏向发射原理

2.1 偏向发射原理分析

同相水平天线每列各层振子电流等幅,各列振子电流也等幅,且相位差为零。若在具有两列以上的同相水平天线中,天线上各偶极子电流不再是相同相位,而将各列电流的相位逐列改变一个相等的角度,同时保持电流的幅值不变,天线阵的辐射波束便会发生偏转。增加偏转功能后,一副天线就可以在不同的时间里用来对不同的地区服务,以提高其利用率。

为了获得辐射方向图的偏转,天线阵的行因子改为:

$$f_y = \sum_{i=0}^{m-1} e^{jB_i y \cos \theta \sin \varphi \epsilon}$$

式中: ϵ 为辐射元间的电流相位差,如取正值则辐射方向图向右偏转;如取负值则向左偏转。

ϵ 与 φ 的关系,可用下式表示:

$$\sin \varphi = \frac{\epsilon \lambda}{2 \pi d}$$

偏向发射时,水平面的辐射方向如图3所示。

2.2 如何实现相移

要实现偏向发射,最重要的是确定辐射元间的电流相位差,在短波天线中,是利用电磁波在馈线中传输时所产生的相位移来取得各列振子间电流相位差的。因此要使水平辐射方向图偏转,可以改变馈给各列振子的馈线长度差以获得各列振子的电流相位差。

如图4所示,偏向开关在B点时,馈电点O到两列振子的馈线长度相等,则左右振子上的电流相位差为0,这时辐射方向图最大值方向垂直于振子平面;若偏向开关在A点,则OAE的长度比OAD的长度长2L, E列辐射元的电流相位比D列辐射元的电流相位滞后一角度 ϵ ,其值由电流流经长度为2L的馈线的电流相位差而定,这时的辐射方向图向右偏转。

2.3 实际应用中的偏向开关

在实际应用中,考虑到辐射效果,偏转方向一般为左右对称的一个或者两个角度,为了改变分馈线的长度差,偏向开关一般做成 1×3 或者 1×5 开关,其电路图如图5所示,图6为偏向开关的实物图。

其原理为:图5中OB为偏向开关,其上有接点A、B及C, A与B及C与各接一段馈线,其长度由所需的电流相位差决定,馈线AD与CE的长度相等,当偏向开关的转动接点接在A点时(即A点为馈电点),则分馈线AD比CE短,这两段馈线只相差ABC一段馈线的长度,这时辐射方向图向右偏转;如转动接点接在B点时,则为主向辐射;如转动接点接在C点时,则辐射方向图向左偏转。

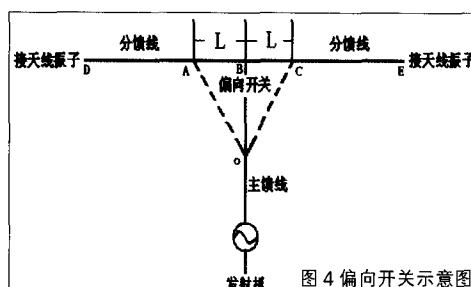


图 4 偏向开关示意图

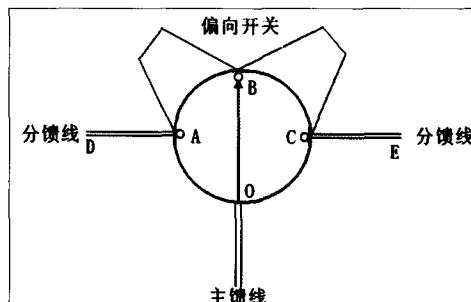

 图 5 1×3 偏向开关电路图


图 6 开关侧视图

无线局下属每个短波发射台,其短波天线少则几副,多则几十副,总数相当可观,且各个短波发射台均担负着繁重的播音任务,在现有天线资源的基础上,提高播音质量和资源利用率不仅可以加大覆盖力度,而且可以为国家节约大量资金,从理论上研究天线的多重复用,具有非常积极的现实意义。

参考文献:

- [1] 宋铮,张建华,黄治.天线与电波传播.西安电子科技大学出版社,2003.7.
- [2] 任郎.天线理论基础.人民邮电出版社,1980.12.
- [3] 王茂光,吕善伟,刘瑞祥.阵列天线分析与综合.电子科技大学出版,1989.10.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>