

基于矩形波导缝隙的高增益全向天线

伍捍东 魏茂华 安增权

西安恒达微波技术开发公司 西安 710061

Email:whd@hdmicrowave.com

摘要：高增益全向天线的实现主要靠纵向阵列来实现，根据对工作频率、天线极化、增益、功率容量、波束下倾角、覆盖范围、馈电方式等技术要求，有很多种方案可供选择。但在频率较高、功率容量较大、可靠性要求较高的情况下，基于矩形波导缝隙的高增益全向天线就有较大的优势。其工作带宽可达到 10%，方向图不圆度可达 1dB，增益可达 17dB 甚至更高。工作频率在高达 18GHz 时，仍然具有可用的方向图。而且，水平极化、垂直极化均可实现。由于基于矩形波导缝隙的全向天线其波导可以直接接地而不影响天线的辐射，所以抗雷击性能非常好，这在高雷击发生地区非常重要。

关键词：全向天线 波导缝隙 方向图 驻波阵列

一、前言

全向天线是指方位覆盖 360 度的天线。它与半球形覆盖的天线不是一个概念。后者可以认为是波束宽度很宽的定向天线。高增益全向天线通常是指增益大于 4dB 的全向天线，其增益的提高是靠压缩俯仰波束宽度而提高。本文作者采用在矩形波导宽边上或窄边上开缝隙的方案，工程性地实现了垂直极化和水平极化全向天线系列产品；在 L-BAND、S-BAND、C-BAND、X-BAND、Ku-BAND 和 Ka-BAND 都做出了实际应用的产品。工作带宽可达 10%，方向图不圆度可达 1dB，增益可达 17dB。由于天线在使用时的空间覆盖原因，推荐使用 13dB 以下增益的天线。对地形复杂、收发地点海拔落差较大的覆盖，如山区，建议使用 10 dB 以下增益的天线。岸对海平面可以选用高达 14dB 增益的天线。近 1000 副天线经过 1-8 年的野外工作运行，其工作的稳定性、可靠性和抗雷击特性证明了该方案的可行性。并在 MMDS 系统中作为替代进口产品大量应用。而国外产品少见采用该方案。

二、基于矩形波导缝隙的高增益全向天线的设计

1. 矩形波导全向缝隙的电导与电纳

矩形波导全向缝隙作为全向天线的阵元在水平极化是由波导宽边上对开的纵向缝隙对组成（图 1A），垂直极化阵元是由波导窄边上对开的倾斜缝隙对组成（图 1B）。它们分别等效为并联电导和并联电纳。不过，此时的电导值和电纳值是波导两面的两个缝隙的电导值和电纳值之和。由于这两个缝隙之间有较大的互耦，其值需要通过实验测量而得后，再用于阵列的设计计算。

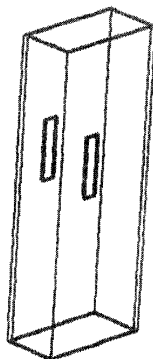


图 1A

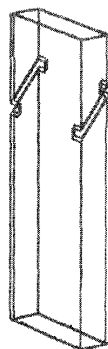


图 1B

2. 与其它形式阵元的比较

相对于其它的阵元如采用偶极振子、对称振子、环形振子、折叠振子、微带振子、喇叭单元、同轴缝隙、圆波导缝隙等阵元。振子型单元在水平极化时有 8 字形方向图，要获得全向特性需要交叉排列单元，高增益的实现与馈电方案会存在矛盾。但振子型单元在垂直极化时有自然的全向特性，特别适合于做垂直极化高增益天线的振元。喇叭单元有最好的带宽特性，且由于一个喇叭单元就可以获得较小的俯仰波束宽度，可以减少纵向单元数。缺点是方位向波束较窄，完成 360 度的覆盖需要 4 个以上阵元，横向体积较大。同轴缝隙由于自身的不辐射特性需要在每个缝隙加激励螺钉。调整它们是很困难的。且不易实现垂直极化。圆波导缝隙由于激励模式的不同，会有多种辐射效果，也因此会有更多的有待研究的空间。矩形波导缝隙阵元则具有加工方便、串馈结构简单的特点。对于高增益全向天线来说应是有吸引力的选择。

3. 波导窄边尺寸对方向图不圆度的影响

对于水平极化，在 $a \times b$ 的矩形波导两侧宽边偏离中心 X 处，开纵向缝隙，获得的方位方向图如图 2A 所示。它们通常不是一个圆，离应用的要求还有一定的差距。要使方向图能够满足使用的要求或更圆，可以通过改变波导 b 边尺寸使其改善。因为，两个缝隙之间的互耦是和距离 b 有关的。图 2B 表示出 $a:b=6:1$ 的波导缝隙方位方向图。同样，对于垂直极化，缝

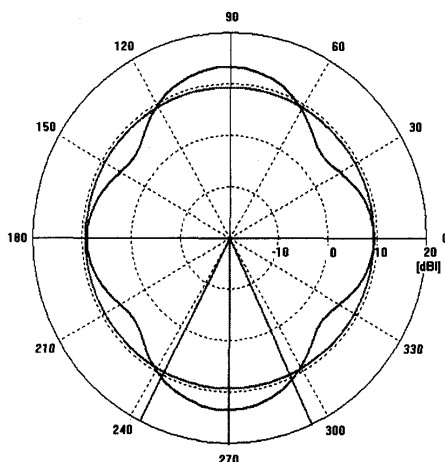


图 2A $a:b=2:1$ 标准波导缝隙方向图

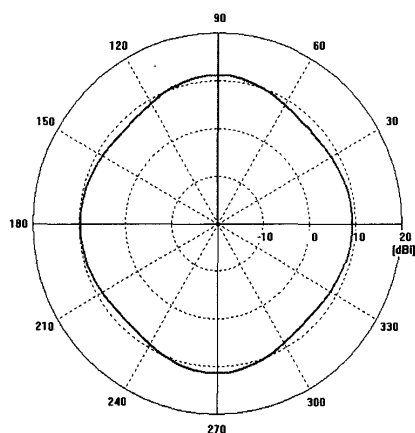


图 2B $a:b=6:1$ 波导缝隙方向图

隙是开在波导的窄边，当 b 边较大时，缝隙全部开在窄边上，当 b 较小时，则缝隙延伸到宽边，单个缝隙方向图的波瓣宽度显然可以增加。

4. 串馈的驻波阵列

在增益要求不很高的情况下，可以直接采用各单元串馈的驻波阵列方案。参考图 3，设水平极化串馈的驻波阵列单元数为 N ，缝隙长度分别为 $Lr1, Lr2 \dots Lri \dots Lm$ ；缝隙宽度为 W ；缝隙偏离波导中心线的距离分别为 $X1, X2 \dots Xi \dots Xn$ ；缝隙中心的位置分别为 $L1, L2 \dots Li \dots Ln$ 。则根据对天线设计的要求，选择合适的参数 N, Lri, Xi ，和 Li 使满足天线设计的要求。其中 Xi 的数值控制天线阵列辐射单元的幅度分布；缝隙间距应该是二分之一导内波长，但是，可以适当调节 Li 的数值控制天线阵列辐射单元的相位分布，用于控制俯仰波束的主副瓣之间的零点填平。

5. 以串馈的驻波阵列为单元的并联馈电可获得更高的增益

串馈的驻波阵列由于阻抗带宽和波束扫描的限制，单元数不能做的很多，即增益受到限制。以串馈的驻波阵列为单元，通过一分二或一分四功率分配器可以在串馈的驻波阵列单元的基础上增加 3-6dB 的增益（参考图 4）。由于并联馈电一般不会降低工作带宽，而且如果采用同轴分配网络馈电时，同轴馈电线可以避开对缝隙的影响沿着波导壁走，使得同轴分配网络的馈电线不成为组阵的障碍，从而使更高增益的全向天线的实现在具体技术上成为可能。

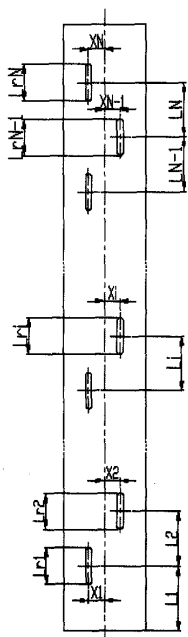


图 3

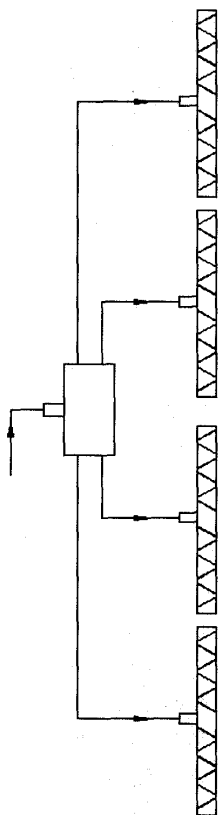


图 4

三、高增益全向天线的实例

作者根据本文设计思想，研制了一系列基于矩形波导缝隙的水平极化和垂直极化全向天线，增益从 8~17dB 以及水平极化和垂直极化半向天线，增益在 13~19dB。频率覆盖 12~15GHz，带宽 8%。作者在 S 波段采用一分四的同轴功率分配器和四个一分二的同轴波导混合式功率分配器组成一分八的并联馈电方案，对八个串馈的 6 单元驻波阵列进行并联馈电，成功制作出 17dB 的高增益全向天线，并在航天 504 所天线测试场通过对客户的交验测试。实测俯仰方向图、方位方向图示于图 5。

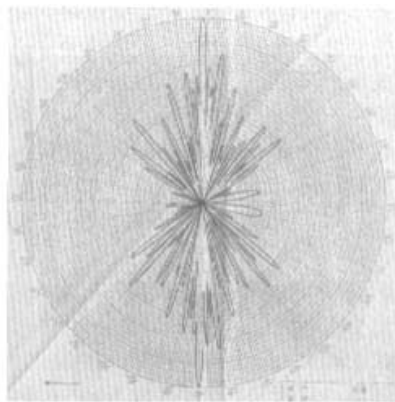


图 5A 俯仰方向图

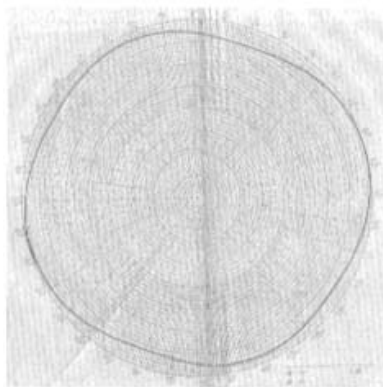


图 5B 方位方向图

参考文献

- [1] 林昌禄等编著,近代天线设计.北京:人民邮电出版社,1990年

- [2] 林昌禄主编, 天线工程手册。北京: 电子工业出版社, 2002 年
- [3] THOMAS A. MILLIGEN, MODERN ANTENNA DESIGN。 McGraw-Hill, inc.

1985 年

- [4] 伍捍东, MMDS 发射天线的分类与应用, 《广播电视网络技术》第 45 期, 1999 年

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,一直致力和专注于微波、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>