



国防科技图书出版基金

圆极化天线技术

Circularly Polarized Antenna Technology

© 王玉峰 常雷 何小煜 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

圆极化天线技术

Circularly Polarized Antenna Technology

王玉峰 常雷 何小煜 等编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

圆极化天线技术 / 王玉峰等编著. —北京:国防工业出版社,2017.1
ISBN 978-7-118-10931-3

I. ①圆… II. ①王… III. ①圆极化天线—技术 IV. ①TN821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 220446 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 18 字数 352 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 82.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员	潘银喜			
副主任委员	吴有生	傅兴男	赵伯桥	
秘书长	赵伯桥			
副秘书长	邢海鹰	谢晓阳		
委员	才鸿年	马伟明	王小谟	王群书
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	巩水利
	刘泽金	孙秀冬	芮筱亭	李言荣
	李德仁	李德毅	杨伟	肖志力
	吴宏鑫	张文栋	张信威	陆军
	陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起
	郭云飞	唐志共	陶西平	韩祖南
	傅惠民	魏炳波		

序

在科技革命浪潮的冲击下,无线通信技术与计算机技术、深空探测技术、生物工程技术等前沿科技携手并进,得到了空前的发展。无线通信技术的崛起,不仅影响了科学界,也促进了政治、经济、文化领域的一系列变革,它使我们的沟通摆脱了空间上的束缚,使我们的视野得以延伸至苍茫宇宙,使经济全球化不再是一纸空谈,也更有力度地推动了军事领域的信息化、网络化——网络中心战。无线通信技术正在以不可遏制的速度渗透到世界的方方面面、角角落落。

无线通信利用电磁波在空间中自由传播的特性来实现信息的远距离交换。作为无线通信的门户,天线将高频电流与电磁波进行转换,从而使系统发射或接收不同形式的电磁波。天线性能的优劣对无线通信系统的工作效能有着直接影响,天线技术的发展是当前无线通信技术发展中至关重要的一环。

我们知道,任意天线辐射的电磁波都是椭圆极化波,其极端情况是线极化波和圆极化波,线极化波很容易受到气候、环境、载体运动等因素的影响而带来极化偏转损失甚至失效;而圆极化波的极化偏转损失较小,并且遇到反射物后会产生极化反转。所以,在无线通信领域特别是卫星通信中,常利用圆极化波的这些特殊性质来对抗雨、雾、电离层以及多径效应等因素对电磁波传播的干扰,因此圆极化天线作为天线家族中的一员,在雷达、遥感、通信、军事等多个方面获得了广泛的应用。

然而,无线通信系统也对圆极化天线提出了越来越高的要求。圆极化天线在宽频带、小型化、高增益等方面正面临着各式各样的挑战。国内外学者在圆极化天线方面进行了大量的研究,先后发展了一系列新型的圆极化天线技术,包括双频双圆极化天线技术、宽频带圆极化天线技术、宽波束圆极化天线阵技术等。大量有关圆极化天线新技术的文献资料,如繁星点点,扬洒在浩瀚星空中,这些新技术所针对的圆极化天线类型并不统一,所解决的关键技术也各有千秋,因此,对这些新技术分门别类地进行归纳整理,不仅是对当前技术的梳理,也可以为圆极化天线技术的发展奠定良好基础,这便是中国电子科技集团公司第36研究所组织撰写《圆极化天线技术》一书的初衷。

中国电子科技集团公司第36研究所是从事通信信息控制的专业研究所,产品覆盖陆、海、空、天各个领域,其中就涉及很多天线技术难题的攻克,包括星载

多波束扫描圆极化天线、宽带宽波束圆极化天线、高增益全向圆极化天线等,培养了一大批优秀的天线研发人员。此书正是由这些多年从事天馈技术设计工作的工程师们撰写,他们在日积月累的研发工作中,积累了丰富的理论知识和设计经验,因此,本书具有脉络清晰、理论联系实际、易于理解等特点,非常适合从事圆极化天线研究的工程师、高校高年级本科生、研究生和青年教师学习和参考。相信本书的出版可以为圆极化天线设计人员提供有益的帮助,并受到读者的欢迎和好评。

中国工程院院士

杨小牛

前 言

随着卫星通信、遥控遥测、雷达、电子战等技术的发展及广泛应用,圆极化天线的应用越来越多。圆极化天线相比线极化天线具有众多的优势:在卫星通信应用中可以消除电离层法拉第旋转效应引起的极化畸变损失;在通信、遥感遥测、雷达等系统应用中可以减少信号的漏失;在雷达应用中可以抗云、雨的干扰;在电子对抗中,可以侦察和干扰敌方的各种线极化和椭圆极化的信号;可以适用于剧烈摆动或滚动的载体上信号的接收。由此可见,圆极化天线在卫星通信、遥控遥测、雷达、电子战等领域中应用广泛。

国内关于圆极化天线理论和技术的专门书籍要追溯到 1986 年林昌禄和宋锡明老师合著的《圆极化天线》;近年来出版的天线书籍中也有圆极化天线相关章节,但较为简略。从 20 世纪 80 年代至今的 30 多年里,我国在卫星通信、遥控遥测、雷达、电子战等多个领域取得了突飞猛进的发展,且已发展到陆、海、空、天全维空间。天线作为设备感应电磁波的传感器,必须安装于平台的最外面,随着平台的不同、平台安装位置的不同、平台应用场景的不同,需要的天线也都不同,且不同的应用领域、不同的应用需求、不同的应用场景对天线的需求也不同。而圆极化天线可以适应不同需求,从而促进了圆极化天线技术取得突飞猛进的发展。本书编著的目的就是希望将近年来编者团队做过的或接触过的国内外圆极化天线技术呈现给大家,力争较为全面、深入地阐述现代圆极化天线技术。本书由工程技术人员根据多年来对圆极化天线的研发经验,并结合国内外书籍、期刊上的相关内容编著而成。

本书针对圆极化天线进行系统的阐述,从基本概念开始,重点介绍各种圆极化天线的原理、特点和设计方法等,涉及的圆极化天线种类包括十字交叉偶极子天线、微带圆极化天线、螺旋天线、四臂螺旋天线、非频变圆极化天线、圆极化喇叭天线、全向圆极化天线、圆极化径向线阵列天线等。各章的内容如下:

第 1 章概述天线的基础理论,给出了与天线相关的概念,并给出了相关定义和公式。

第 2 章阐述了圆极化天线理论,从圆极化电磁波的概念出发引出了与圆极化天线相关的概念,并给出了常用的计算公式。

第 3 章介绍了十字交叉偶极子圆极化天线的原理,并给出了巴伦馈电式和印刷式两种实例,最后根据宽带化需求给出了具有 3:1 带宽的宽带圆极化天线。

第4章介绍了微带圆极化天线的原理和实现,由于微带天线实现圆极化的种类众多,本章主要根据实现方式的不同来分类,主要有单馈点探针馈电式、微带线馈电式、多馈点网络馈电式等的设计实例。

第5章介绍了螺旋天线的原理,重点阐述了轴向模螺旋天线的实现,给出了各参数对天线性能的影响分析,并给出了拓展带宽的改善轴比的改进型方法;讨论了带反射腔的螺旋天线,并给出一种抑制副瓣的实例;阐述了多臂螺旋天线,给出了双臂螺旋天线通过调整参数实现不同形状方向图的仿真实例。

第6章阐述了四臂螺旋天线的原理及实现,首先介绍其结构及辐射场特点,并给出主要参数对性能影响的分析;给出了自相移型和网络移相馈电型四臂螺旋天线的实现方法及实例;针对当前四臂螺旋天线方向的研究热点给出了小型化、宽频带和双频点的研究状况。

第7章阐述了非频变圆极化天线,主要有平面阿基米德螺旋天线、平面等角螺旋天线、圆锥对数螺旋天线、对数周期圆极化天线和正弦圆极化天线。

第8章介绍了圆极化喇叭天线,采用圆极化器和喇叭天线相结合来实现圆极化波的辐射。介绍了圆极化器的类型及实现,并给出了一种双圆极化双模圆锥喇叭天线的设计实例。

第9章介绍了全向圆极化天线,给出了定向圆极化天线单元组圆阵形式、全向辐射线极化单元组阵型的全向圆极化实现形式,也介绍了其他形式全向圆极化天线。

第10章介绍了圆极化径向线阵列天线,介绍了径向线阵列天线的结构和原理,详细地阐述了双圆极化径向线缝隙阵列天线的实现,并简要介绍了径向线螺旋阵列天线。

本书各章编写分工:第1、2章王玉峰、何小煜;第3章常雷、王玉峰;第4章常雷、王玉峰;第5章王玉峰、杨小龙;第6章王玉峰;第7章俞钰峰、徐风清、王玉峰、崔景波、何帅;第8章常雷;第9章俞钰峰;第10章张明芳。全书由陈伶俐博士校正。本书在编写过程中得到了中国电子科技集团公司第36研究所从事天馈技术研发的张建强、姚兴利、李保明等的指导和鼓励。本书参阅并引入了大量国内外资料和经典著作内容,已列入各章节后的参考文献,在此谨向这些文献的作者们表示感谢。

由于水平和经验有限,虽然编著者竭尽全力来编写好此书,但是难免还是会有不妥之处,敬请专家和读者批评指正。

编著者

2016年10月17日

目 录

第 1 章 天线的基本参量	1
1.1 辐射功率密度和辐射强度	1
1.1.1 辐射功率密度	1
1.1.2 辐射强度	2
1.2 方向性系数和增益	2
1.2.1 方向性系数	2
1.2.2 增益	3
1.3 波束立体角	3
1.4 天线的场区	4
1.5 天线方向图	5
1.5.1 天线方向图描述	5
1.5.2 主瓣宽度	6
1.5.3 第一零点波束宽度	6
1.5.4 方向性估计	7
1.5.5 副瓣电平	7
1.5.6 分贝量纲的区分	8
1.6 有效长度和有效面积	8
1.6.1 有效长度	8
1.6.2 有效面积	9
1.7 天线阻抗	10
1.7.1 输入阻抗	10
1.7.2 电压驻波比	11
1.8 频带宽度	12
1.9 天线的极化	12
1.10 等效辐射功率	13
1.11 弗里斯传输公式	14
1.12 接收天线	15
1.12.1 接收电压	16

1. 12.2 天线系数	16
参考文献	17
第2章 天线的极化理论基础	19
2.1 波的极化特性	19
2.1.1 平面电磁波电场矢量	19
2.1.2 线极化	20
2.1.3 圆极化	20
2.1.4 椭圆极化波	21
2.2 极化椭圆倾角	22
2.3 轴比	23
2.4 极化比	23
2.4.1 线极化比	23
2.4.2 圆极化比	24
2.5 圆极化分量合成	25
2.5.1 椭圆方程推导	25
2.5.2 正交圆极化波的旋转合成	26
2.6 极化损失	27
2.6.1 极化比与极化效率	28
2.6.2 轴比与极化效率	28
2.7 交叉极化	32
2.7.1 交叉极化鉴别率	32
2.7.2 交叉极化隔离度	32
2.7.3 天线交叉极化的计算	33
2.8 圆极化天线	33
参考文献	35
第3章 十字交叉偶极子圆极化天线	36
3.1 十字交叉偶极子天线原理	36
3.1.1 偶极子天线	36
3.1.2 十字交叉偶极子天线	37
3.2 巴伦馈电的自相移十字交叉偶极子天线	39
3.2.1 巴伦馈电结构	39
3.2.2 增益和波束宽度控制方法	43
3.2.3 自相移十字交叉偶极子天线设计实例	45
3.3 印刷自相移十字振子天线	51

3.3.1	小型化印刷十字振子天线的设计过程	52
3.3.2	天线参数分析	54
3.3.3	天线测试和讨论	56
3.4	宽带十字交叉偶极圆极化天线	57
3.4.1	十字交叉偶极子圆极化天线的宽带化原理	58
3.4.2	宽带十字交叉偶极子圆极化天线设计实例	58
	参考文献	62
第4章	微带圆极化天线	65
4.1	微带圆极化天线原理及实现方式	65
4.1.1	单馈点探针馈电方式	67
4.1.2	微带线直接馈电方式	68
4.1.3	口径耦合馈电方式	68
4.1.4	多馈点网络馈电方式	69
4.2	单馈点探针馈电圆极化微带天线	70
4.2.1	方形切角圆极化微带天线	70
4.2.2	缝隙加载—单频段圆极化微带天线	73
4.2.3	缝隙加载—双频段圆极化微带天线	76
4.2.4	枝节加载圆极化微带天线	79
4.3	单馈点探针馈电层叠圆极化微带天线	83
4.3.1	双层方形切角贴片圆极化天线	83
4.3.2	准方形双层贴片圆极化天线	89
4.3.3	层叠式圆形开槽圆极化天线	91
4.4	微带线馈电圆极化微带天线	95
4.4.1	微带线直接馈电的圆极化微带天线	95
4.4.2	微带线临近耦合馈电的圆极化微带天线	97
4.4.3	共面波导馈电的圆极化微带天线	101
4.4.4	口径耦合圆极化天线	104
4.5	多馈点网络馈电圆极化微带天线	108
4.5.1	双馈点H形缝隙耦合馈电圆极化微带天线	108
4.5.2	多馈点L形探针馈电圆极化微带天线	111
	参考文献	119
第5章	螺旋天线	123
5.1	螺旋天线基本结构	123
5.2	轴向模螺旋天线	125

5.2.1	圆极化工作原理	125
5.2.2	单元间相位差	126
5.2.3	辐射方向图	126
5.2.4	天线设计	127
5.2.5	主要参数分析	132
5.3	改进型轴向模螺旋天线	135
5.3.1	锥顶螺旋天线	136
5.3.2	锥螺旋天线	136
5.3.3	不均匀直径螺旋天线	138
5.4	带反射腔螺旋天线	140
5.5	法向模螺旋天线	143
5.6	多臂螺旋天线	145
	参考文献	148
第6章	四臂螺旋天线	151
6.1	四臂螺旋天线原理	151
6.1.1	四臂螺旋天线的结构	151
6.1.2	四臂螺旋天线辐射场	153
6.2	四臂螺旋天线的主要参数分析	155
6.2.1	轴长、圈数对四臂螺旋天线性能的影响	155
6.2.2	旋转角对四臂螺旋天线性能的影响	157
6.2.3	半径与螺距比对四臂螺旋天线方向图的影响	159
6.3	四臂螺旋天线的实现	160
6.3.1	自相移四臂螺旋天线	160
6.3.2	移相网络馈电四臂螺旋天线	164
6.4	四臂螺旋天线的研究新方向	169
6.4.1	小型化四臂螺旋天线	169
6.4.2	宽频带四臂螺旋天线	174
6.4.3	双频四臂螺旋天线	177
	参考文献	178
第7章	非频变圆极化天线	181
7.1	非频变天线原理	182
7.2	平面阿基米德螺旋天线	183
7.2.1	天线结构	183
7.2.2	电性能特性	184

7.2.3 设计实例	186
7.3 平面等角螺旋天线	195
7.3.1 天线结构	195
7.3.2 电性能特性	197
7.3.3 设计实例	198
7.4 圆锥对数螺旋天线	201
7.4.1 天线结构	201
7.4.2 电性能特性	202
7.4.3 设计实例	204
7.5 其他类型的非频变圆极化天线	208
7.5.1 对数周期圆极化天线	208
7.5.2 正弦圆极化天线	212
参考文献	215
第8章 圆极化喇叭天线	217
8.1 圆极化器类型	217
8.1.1 螺钉圆极化器	217
8.1.2 膜片圆极化器	218
8.1.3 隔板圆极化器	219
8.1.4 介质板圆极化器	220
8.1.5 谐振腔式圆极化器	221
8.2 常用馈源喇叭天线	221
8.2.1 双模圆锥喇叭天线	222
8.2.2 多模圆锥喇叭天线	222
8.2.3 波纹喇叭天线	223
8.3 圆极化喇叭天线设计	224
8.3.1 隔板圆极化器设计	224
8.3.2 双模圆锥喇叭天线设计	227
8.3.3 双圆极化双模圆锥喇叭天线仿真结果	227
参考文献	230
第9章 全向圆极化天线	232
9.1 利用定向圆极化天线单元组圆阵实现全向辐射	233
9.1.1 由贴片天线构造的共形全向圆极化天线	233
9.1.2 一种宽带全向圆极化天线	234
9.2 利用全向辐射线极化单元组阵	235

9.2.1 利用倾斜或者弯折振子构成的全向圆极化天线	236
9.2.2 利用螺旋天线构成的全向圆极化天线	239
9.2.3 利用弯折单极子天线构成的全向圆极化天线	241
9.3 其他形式的全向圆极化天线	244
9.3.1 基于零阶谐振天线的全向圆极化天线	244
9.3.2 将圆极化波馈入全向天线得到的全向圆极化天线	245
参考文献	247
第 10 章 圆极化径向线阵列天线	248
10.1 径向线天线的结构及基本原理	248
10.1.1 径向线天线结构	248
10.1.2 径向线传输模式	249
10.1.3 同心圆环阵列理论	250
10.2 圆极化径向线阵列天线设计	252
10.2.1 天线几何结构	252
10.2.2 慢波结构与波导结构的关系	253
10.2.3 口径场分布	254
10.2.4 缝隙对位置排列的推导	255
10.2.5 双圆极化径向缝隙阵列天线的实现	257
10.2.6 圆极化径向线螺旋阵列天线	261
参考文献	262

Contents

Chapter 1	Antenna parameters	1
1.1	Radiation power density and Radiation intensity	1
1.1.1	Radiation power density	1
1.1.2	Radiation intensity	2
1.2	Directivity and Gain	2
1.2.1	Directivity	2
1.2.2	Gain	3
1.3	Beam solid angle	3
1.4	Field regions	4
1.5	Patterns	5
1.5.1	Pattern description	5
1.5.2	half-powerbeamwidth (HPBW)	6
1.5.3	first-null beamwidth (FNBW)	6
1.5.4	Directivity estimation	7
1.5.5	Sidelobelevel	7
1.5.6	Distinction of dB	8
1.6	Effective length and effective area	8
1.6.1	Effective length	8
1.6.2	Effective area	9
1.7	Antenna impedance	10
1.7.1	Input impedance	10
1.7.2	Voltage standing wave ratio(VSWR)	11
1.8	Band width	12
1.9	Polarization	12
1.10	Equivalent radiation power	13
1.11	Fries transmission formula	14
1.12	Receiving antenna	15
1.12.1	Receiving voltage	16