



国防科技图书出版基金

Design of the Ultra-wideband Pulse Antenna

超宽带脉冲天线设计

■ 李长勇 李引凡 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

超宽带脉冲天线设计

Design of the Ultra-wideband Pulse Antenna

李长勇 李引凡 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

超宽带脉冲天线设计 / 李长勇, 李引凡著. —北京: 国防工业出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-118-10959-7

I. ①超… II. ①李… ②李… III. ①脉冲通信—超宽带天线
IV. ①TN82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 216159 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 16¼ 字数 318 千字

2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 78.00 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 杨崇新

秘书长 杨崇新

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

前 言

直接发射窄脉冲信号方式的超宽带技术是最近研究的一个热点。该技术在雷达和通信应用中有其特殊的优势,如在雷达应用中可以提高雷达分辨率,在短距离通信中可高速率传输信号。超宽带脉冲天线是超宽带技术中的关键部件之一,有效地辐射超宽带的脉冲信号,对天线提出了很高的要求。天线的性能对整个系统有重大影响,因此研究超宽带天线技术有重要意义。

超宽带信号是指相对带宽大于20%或绝对带宽大于500MHz的信号。窄脉冲信号通常是具有这种特性的信号。另外,连续波信号如多频带正交频分复用(OFDM)信号也具有这样的特性。采用“超宽带脉冲”术语是因为本书主要研究由窄脉冲产生的超宽带信号以及辐射脉冲信号的天线。

衡量超宽带脉冲天线性能的参数指标应结合应用需求来考虑,有的应用强调方向性指标,有的应用强调增益或阻抗带宽指标,有的应用强调频谱辐射功率谱是否符合频率管理机构限定的要求,有的应用关注尺寸重量等。研究设计天线时应对各性能参数综合考虑,有时会牺牲某些指标以得到更好的另外一些指标。

虽然美国联邦通信委员会(FCC)对3.1~10.6GHz通信频段的信号辐射功率谱提出了要求,但在其他的应用中,如探地雷达和微波成像等,需要的脉冲信号为单极性,或要求脉冲信号的低频端有更好的辐射,以保证脉冲失真小便于接收。超宽带脉冲天线的性能指标可以从频域或时域指标来观测,但由于频域范围宽,不同频点的同一指标可能会很大不同,从时域波形来观测天线性能是一个较好的方法,天线辐射的脉冲信号的时域波形变化是考查天线性能的一个重要因素。本书研究的中心问题是增强脉冲天线的低频辐射能力,主要从时域波形来观测天线性能的提高。

从2002年起,作者参与了国家自然科学基金项目“超宽带无线电跳时扩谱技术(60272083)”、军方项目“超宽带无线电关键技术研究”和“超宽带无线电功能样机研制”;主持重庆市自然科学基金计划项目“脉冲天线带宽扩展技术研究(CSTC2010BB2202)”。本书内容编自作者几年来的研究成果以及作者参与超宽带技术课题组研究的部分成果,同时通过文献调研参考了国内外十几年来的超宽带天线的研究成果。本书的主要特点是:较少讨论超宽带天线的理论问题,而是从天线应用的角度考虑天线设计。书中给出了大量的天线设计实例,对从

事超宽带脉冲天线设计的人员有很大参考价值。

本书共 10 章:第 1 章阐述超宽带的概念、特点以及在雷达、通信、生物医学工程中的应用研究状况,较全面地对超宽带脉冲天线技术研究的情况进行综述;第 2 章讨论各种超宽带脉冲信号,分析其时域特性和频谱特性,讨论针对 FCC 频谱模板设计超宽带信号的方法;第 3 章讨论单极超宽带天线的多种设计;第 4 章研究平面螺旋天线、圆锥螺旋天线宽频带特性,分析脉冲辐射特性;第 5 章分析超宽带印制平面天线,包括平面单极天线、缝隙天线、陷波天线、蝴蝶结天线宽频带性能;第 6 章分析各种加载天线的脉冲辐射特性;第 7 章分析多种喇叭天线的性能;第 8 章分析增强脉冲天线低频辐射的方法,如喇叭天线臂内加脊线、在喇叭两臂之填充介质材料、增加天线电路回路等方法;第 9 章介绍产生脉冲信号的电路实现方法,讨论基于阶跃恢复二极管、雪崩三极管、正弦波截断等电路的脉冲产生器;第 10 章讨论超宽带天线馈电及巴伦的设计。

本书主要由解放军重庆通信学院李长勇副教授完成,李引凡和王少华编写了部分内容。感谢重庆大学杨士中院士、葛利嘉教授在超宽带技术研究工作中的指导;感谢本书中参考文献相关作者;感谢解放军理工大学钱祖平教授、重庆大学唐明春教授以及韶关大学贾婷婷老师对本书出版的支持。由于作者水平有限,书中的不足之处恳请同行专家批评指正。

李长勇

2015 年 9 月于重庆

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 超宽带技术概念 | 1 |
| 1.2 超宽带技术特点 | 2 |
| 1.3 超宽带技术应用研究现状 | 4 |
| 1.3.1 探地雷达应用 | 4 |
| 1.3.2 高空雷达应用 | 5 |
| 1.3.3 合成孔径雷达应用 | 5 |
| 1.3.4 超宽带无线电通信应用 | 6 |
| 1.3.5 生物医学工程应用 | 6 |
| 1.4 超宽带脉冲天线研究综述 | 7 |
| 1.4.1 频率无关天线作脉冲天线 | 8 |
| 1.4.2 脉冲辐射天线加载技术 | 8 |
| 1.4.3 TEM 喇叭脉冲天线 | 9 |
| 1.4.4 平面印制超宽带天线 | 10 |
| 1.4.5 天线数值计算方法 | 11 |
| 1.5 脉冲天线研究的特殊性 | 12 |
| 1.5.1 脉冲辐射的瞬态性 | 13 |
| 1.5.2 脉冲辐射天线参数表示 | 14 |
| 1.5.3 脉冲天线的馈电问题 | 16 |
| 1.5.4 脉冲天线的时域近场测量技术 | 16 |
| 参考文献 | 17 |
| 第2章 超宽带脉冲信号 | 20 |
| 2.1 脉冲信号的时频参数 | 20 |
| 2.1.1 脉冲信号的时宽 | 20 |
| 2.1.2 脉冲信号的频宽 | 21 |
| 2.2 常见脉冲信号 | 22 |
| 2.2.1 单极性脉冲信号 | 22 |

| | | |
|------------|---------------------------|-----------|
| 2.2.2 | 双极性脉冲信号 | 25 |
| 2.2.3 | 正弦波调制脉冲信号 | 32 |
| 2.2.4 | 厄米特多项式脉冲信号 | 33 |
| 2.3 | 超宽带信号波形设计 | 34 |
| 2.3.1 | 基于高斯波形的组合优化设计 | 35 |
| 2.3.2 | 基于高斯微分脉冲基函数的迭代组合设计 | 36 |
| 2.3.3 | 基于窗函数滤波法的设计 | 39 |
| | 参考文献 | 43 |
| 第3章 | 超宽带单极天线 | 44 |
| 3.1 | 天线带宽定义 | 44 |
| 3.2 | 旋转对称结构单极天线 | 45 |
| 3.2.1 | 锥形单极天线 | 46 |
| 3.2.2 | 套筒单极天线 | 49 |
| 3.2.3 | 火山烟雾形单极天线 | 50 |
| 3.3 | 圆盘超宽带单极天线 | 52 |
| 3.4 | 方形超宽带单极天线 | 56 |
| 3.5 | 带圆孔超宽带单极天线 | 60 |
| 3.6 | 带L形反射板的单极天线 | 60 |
| | 参考文献 | 61 |
| 第4章 | 平面螺旋天线脉冲辐射特性 | 63 |
| 4.1 | 非频变天线理论 | 63 |
| 4.2 | 阿基米德平面螺旋天线 | 64 |
| 4.3 | 等角螺旋天线 | 70 |
| 4.4 | 螺旋天线脉冲激励分析 | 73 |
| 4.4.1 | 天线表面三角化 | 73 |
| 4.4.2 | 基于RWG基函数的矩量法 | 75 |
| 4.4.3 | 天线参数 | 76 |
| 4.4.4 | 天线—自由空间转移函数 | 80 |
| 4.4.5 | 螺旋天线脉冲辐射特性 | 81 |
| | 参考文献 | 85 |
| 第5章 | 超宽带平面天线 | 86 |
| 5.1 | 超宽带平面单极天线 | 86 |
| 5.2 | 超宽带平面缝隙天线 | 92 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 5.3 | 具有陷波功能的超宽带平面天线 | 99 |
| 5.3.1 | 开槽的方法 | 99 |
| 5.3.2 | 引入寄生单元的方法 | 103 |
| 5.3.3 | 添加匹配枝节的方法 | 104 |
| 5.3.4 | 采用分形结构实现陷波 | 107 |
| 5.3.5 | 遗传算法实现陷波 | 107 |
| 5.4 | 超宽带平面双极天线 | 108 |
| 5.5 | 蝴蝶结天线矩量法分析 | 113 |
| 5.5.1 | 输入阻抗与反射系数 | 114 |
| 5.5.2 | 辐射功率和增益 | 115 |
| 5.5.3 | 方向性 | 116 |
| 5.5.4 | 脉冲辐射特性 | 117 |
| | 参考文献 | 119 |
| 第6章 | 加载天线的脉冲辐射特性 | 122 |
| 6.1 | 线状天线的加载方式 | 123 |
| 6.2 | 面状天线加载技术 | 126 |
| 6.3 | 天线介质加载 | 132 |
| 6.4 | 加载单极天线脉冲辐射特性 | 135 |
| 6.4.1 | 加载单极振子天线的 FDTD 建模 | 135 |
| 6.4.2 | 五种单极天线加载方式 | 137 |
| 6.4.3 | 结果比较 | 139 |
| 6.5 | 加载偶极天线脉冲辐射特性 | 148 |
| 6.5.1 | RWG 基函数及阻抗加载模型 | 149 |
| 6.5.2 | 天线脉冲辐射特性 | 151 |
| 6.5.3 | 短波频段电阻加载偶极天线 | 154 |
| | 参考文献 | 156 |
| 第7章 | TEM 喇叭脉冲天线 | 159 |
| 7.1 | TEM 喇叭天线结构 | 159 |
| 7.1.1 | 阻抗渐变 TEM 喇叭天线 | 161 |
| 7.1.2 | 恒阻抗 TEM 喇叭天线 | 161 |
| 7.1.3 | 低频补偿 TEM 喇叭天线 | 162 |
| 7.2 | TEM 天线脉冲辐射特性比较 | 162 |
| 7.2.1 | 主辐射特性比较 | 163 |
| 7.2.2 | 背向辐射与反射特性 | 164 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|------------|
| 7.2.3 | 不同几何尺寸的恒阻抗 TEM 喇叭辐射特性分析 | 165 |
| 7.3 | 同轴双锥天线脉冲辐射特性 | 167 |
| 7.4 | 加脊喇叭天线 | 169 |
| 7.5 | 渐变槽天线 | 172 |
| 7.5.1 | 指数渐变槽天线 | 172 |
| 7.5.2 | 加载波纹指数渐变槽天线 | 175 |
| 7.5.3 | 互补指数渐变槽天线 | 175 |
| | 参考文献 | 178 |
| 第 8 章 | 超宽带脉冲天线低频辐射增强技术 | 180 |
| 8.1 | 喇叭天线臂内增加脊线 | 180 |
| 8.2 | 喇叭天线两臂间填充介质材料 | 181 |
| 8.2.1 | 天线传输线模型数值分析 | 183 |
| 8.2.2 | 部分介质填充天线特性 | 185 |
| 8.3 | 增加 TEM 喇叭天线臂末端延伸臂 | 188 |
| 8.3.1 | 喇叭臂圆弧延伸 | 188 |
| 8.3.2 | 喇叭臂上增加辐射臂 | 190 |
| 8.3.3 | 喇叭两臂弯折回馈电处 | 191 |
| 8.4 | 电偶-磁偶极子组合辐射 | 192 |
| 8.4.1 | 矩形框与 TEM 喇叭组合结构 | 192 |
| 8.4.2 | 金属回线与 TEM 喇叭组合结构 | 195 |
| 8.4.3 | 单极振子与短路线组合结构 | 197 |
| 8.4.4 | 平面火山烟雾形组合结构 | 198 |
| 8.4.5 | 平面蝴蝶结组合结构 | 202 |
| | 参考文献 | 203 |
| 第 9 章 | 超宽带脉冲产生器的设计 | 205 |
| 9.1 | 脉冲产生器的设计要求和方法 | 205 |
| 9.2 | 基于阶跃恢复二极管的脉冲产生器 | 206 |
| 9.3 | 基于雪崩三极管的脉冲产生器 | 210 |
| 9.3.1 | 单管脉冲产生器 | 211 |
| 9.3.2 | 同步触发脉冲产生器 | 212 |
| 9.4 | 基于正弦波截断的脉冲产生器 | 218 |
| 9.5 | 基于方波微分滤波的脉冲产生器 | 220 |
| 9.5.1 | 微分与放大电路 | 221 |
| 9.5.2 | 滤波电路 | 221 |

| | | |
|---------------|-------------------------|------------|
| 9.5.3 | 宽带放大器 | 222 |
| 9.5.4 | 完整电路仿真和实验 | 222 |
| 9.6 | 基于数/模转换器产生脉冲 | 224 |
| 9.6.1 | 升余弦函数包络脉冲信号 | 224 |
| 9.6.2 | $Sa(x)$ 函数包络脉冲信号 | 225 |
| 9.6.3 | 高斯包络余弦波脉冲信号 | 225 |
| 9.6.4 | 不同采样率下的谱频特性 | 225 |
| 9.7 | 基于数字逻辑电路产生脉冲 | 229 |
| | 参考文献 | 231 |
| 第 10 章 | 超宽带阻抗变换器设计 | 232 |
| 10.1 | TEM 喇叭天线的馈电 | 232 |
| 10.2 | 平面结构天线的巴伦设计 | 234 |
| | 参考文献 | 239 |

Contents

| | |
|--|----|
| Chapter 1 Introduction | 1 |
| 1.1 Concepts of Ultra-wideband Technology | 1 |
| 1.2 Characteristics of Ultra-wideband Technology | 2 |
| 1.3 Research Status of Ultra-wideband Technology Application | 4 |
| 1.3.1 Application in Ground Penetrating Radar | 4 |
| 1.3.2 Application in High Altitude Radar | 5 |
| 1.3.3 Application in Synthetic-aperture Radar | 5 |
| 1.3.4 Application in Ultra-wideband Wireless Communication | 6 |
| 1.3.5 Application in Bio-medical Engineering | 6 |
| 1.4 Research over view of Ultra-wideband Pulse Antenna | 7 |
| 1.4.1 Frequency Independent Antenna for Pulse Antenna | 8 |
| 1.4.2 Pulse Radiation Antenna Loading Technology | 8 |
| 1.4.3 TEM Horn Pulse Antenna | 9 |
| 1.4.4 Planar Printed Ultra-wideband Antenna | 10 |
| 1.4.5 Antenna Numerical Analytical Method | 11 |
| 1.5 Particularities of the Research on Pulse Antenna | 12 |
| 1.5.1 Transient Nature of Pulse Radiation | 13 |
| 1.5.2 Parameter of Pulse Radiation Antenna | 14 |
| 1.5.3 Feeder of Pulse Antenna | 16 |
| 1.5.4 Time-Domain Near-Field Measurement Technique of Pulse Antenna | 16 |
| References | 17 |
| Chapter 2 Ultra-wideband Pulse Signal | 20 |
| 2.1 Time and Frequency Parameter of Pulse Signal | 20 |
| 2.1.1 Time Width of Pulse Signal | 20 |
| 2.1.2 Frequency Width of Pulse Signal | 21 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 2.2 | Common Pulse Signal | 22 |
| 2.2.1 | Monopolar Pulse Signal | 22 |
| 2.2.2 | Bipolar Pulse Signal | 25 |
| 2.2.3 | Sinusoidal Modulated Pulse Signal | 32 |
| 2.2.4 | Hermite Polynomial Pulse Signal | 33 |
| 2.3 | Waveform Design of Ultra-wideband Signal | 34 |
| 2.3.1 | Optimization Design Based on Gaussian Wave Combination | 35 |
| 2.3.2 | Iterative Combination Design Based on Gaussian Differential Pulse Basis Function | 36 |
| 2.3.3 | Design Based on Window Function Filtering Method | 39 |
| | References | 43 |
| Chapter 3 | Ultra-wideband Monopole Antenna | 44 |
| 3.1 | Definition of Antenna Bandwidth | 44 |
| 3.2 | Monopolar Antenna of Rotational Symmetric Structure | 45 |
| 3.2.1 | Cone Monopolar Antenna | 46 |
| 3.2.2 | Sleeve Monopolar Antenna | 49 |
| 3.2.3 | Volcanic Smog Monopolar Antenna | 50 |
| 3.3 | Circular Monopolar Ultra-wideband Antenna | 52 |
| 3.4 | Square Monopolar Ultra-wideband Antenna | 56 |
| 3.5 | Monopolar Antenna with Circular Hole | 60 |
| 3.6 | Monopolar Antenna with L-shaped Reflection Board | 60 |
| | References | 61 |
| Chapter 4 | Pulse Radiation Characteristics of Plane Spiral Antenna | 63 |
| 4.1 | Frequency Independent Antenna Theory | 63 |
| 4.2 | Archimedes Plane Spiral Antenna | 64 |
| 4.3 | Equiangular Spiral Antenna | 70 |
| 4.4 | Analysis of Spiral Antenna Excited by Pulse | 73 |
| 4.4.1 | Antenna Surface Triangulation | 73 |
| 4.4.2 | MOM Based on RWG Basis Function | 75 |
| 4.4.3 | Antenna Parameter | 76 |
| 4.4.4 | Transfer Function of Antenna to Free Space | 80 |
| 4.4.5 | Pulse Radiation Characteristics of Spiral Antenna | 81 |

| | |
|--|------------|
| References | 85 |
| Chapter 5 Ultra-wideband Planar Antenna | 86 |
| 5.1 Ultra-wideband Planar Monopolar Antenna | 86 |
| 5.2 Ultra-wideband Planar Slot Antenna | 92 |
| 5.3 Ultra-wideband Antenna with Frequency Notched Function | 99 |
| 5.3.1 Methods of Slotting | 99 |
| 5.3.2 Methods of Introducing Parasitic Element | 103 |
| 5.3.3 Methods of Adding Matched Branch | 104 |
| 5.3.4 Frequency Notched by Means of Fractal Structure | 107 |
| 5.3.5 Frequency Notched by Means of Genetic Algorithm | 107 |
| 5.4 Ultra-wideband Planar Bipolar Antenna Structure | 108 |
| 5.5 MOM Analysis of Bow-tie Antenna | 113 |
| 5.5.1 Input Impedance and Reflection Coefficient | 114 |
| 5.5.2 Radiation Power and Gain | 115 |
| 5.5.3 Direction | 116 |
| 5.5.4 Pulse Radiation Characteristics | 117 |
| References | 119 |
| Chapter 6 Pulse Radiation Characteristics of Loaded Antenna | 122 |
| 6.1 Loading Modes of Linear Antenna | 123 |
| 6.2 Loading Technology of Faceted Antenna | 126 |
| 6.3 Loading of Antenna Dielectric | 132 |
| 6.4 Pulse Radiation Characteristics of Loaded Monopolar Antenna | 135 |
| 6.4.1 FDTD Model of Loaded Monopolar Antenna | 135 |
| 6.4.2 Five Loading Modes of Monopolar Antenna | 137 |
| 6.4.3 Result Comparison | 139 |
| 6.5 Pulse Radiation Characteristics of Loaded Dipole Antenna | 148 |
| 6.5.1 RWG Basis Function and Loaded Impedance Model | 149 |
| 6.5.2 Pulse Radiation Characteristics of Antenna | 151 |
| 6.5.3 Dipole Antenna Loaded Resistance in Shortwave Frequency | 154 |
| References | 156 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Chapter 7 | TEM Horn Pulse Antenna | 159 |
| 7.1 | Structure of TEM Horn Antenna | 159 |
| 7.1.1 | TEM Horn Antenna with Taper Impedance | 161 |
| 7.1.2 | TEM Horn Antenna with Constant Impedance | 161 |
| 7.1.3 | TEM Horn Antenna with Low Frequency Compensation | 162 |
| 7.2 | Pulse Radiation Characteristics Comparison of TEM Antenna | 162 |
| 7.2.1 | Characteristics Comparison of Main Radiation | 163 |
| 7.2.2 | Characteristics of Backward Radiation and Reflection | 164 |
| 7.2.3 | Radiation Characteristics Analysis of Different Geometry Sized Horns with Constant Impedance | 165 |
| 7.3 | Pulse Radiation Characteristics of Coaxial Biconical Antenna | 167 |
| 7.4 | Ridged Horn Antenna | 169 |
| 7.5 | Tapered Slot Antenna | 172 |
| 7.5.1 | Vivaldi Antenna | 172 |
| 7.5.2 | Vivaldi Antenna with Loaded Corrugation | 175 |
| 7.5.3 | Complementary Vivaldi Antenna | 175 |
| | References | 178 |
| | | |
| Chapter 8 | Enhancing Low Frequency Radiation of Ultra-wideband Pulse Antenna | 180 |
| 8.1 | Adding the Ridge Line in the Arms of Horn Antenna | 180 |
| 8.2 | Adding Dielectric Materials between the Arms of Horn Antenna | 181 |
| 8.2.1 | Numerical Analysis of Antenna Transmission Line Model | 183 |
| 8.2.2 | Characteristics of partial Dielectric Loading Antennas | 185 |
| 8.3 | Adding Extension Arm in the End of TEM Horn Antenna's Arms | 188 |
| 8.3.1 | Arc Extension of Horn Antenna's Arm | 188 |
| 8.3.2 | Adding Radial Arms to the Arms of TEM Horn Antenna | 190 |
| 8.3.3 | Folding Horn Arms to Feeder Point | 191 |
| 8.4 | Combinatorial Radiation of Electric and Magnetic Dipoles | 192 |
| 8.4.1 | Combinatorial Structure of TEM Horn and Rectangular Frame | 192 |
| 8.4.2 | Combinatorial Structure of TEM Horn and Wire Circuit | 195 |