

“十三五”高等学校电子信息与通信系列规划教材

现代微波 与天线测量技术

王培章 晋军·编著

“十三五”高等院校电子信息与通信系列规划教材

现代微波与天线测量技术

王培章 晋 军 编著



 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内容提要

本书从微波信号的产生、微波信号的特性分析、微波网络和阻抗参数的测量,以及天线的辐射特性参数的测量四个方面,系统地介绍了微波测量的主要内容。全书共分 11 章,内容涉及微波测量的意义和特点、数字调制信号源、矢量信号分析仪、微波信号特性测试、微波信号源、微波信号频率测量、微波信号的功率测量、微波信号频谱分析、微波噪声测量、微波网络散射参数测量、微波电路测量、微波阻抗与网络参数、天线测量、微波电缆及连接器等。

本书取材新颖,内容广泛,反映了当前微波测试技术的新成就。本书既可以作为高等工科院校通信工程、电子工程等专业的教学用书,也可作为从事电子工程的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代微波与天线测量技术 / 王培章,* 晋军编著. — 南京 : 东南大学出版社, 2018. 5

ISBN 978-7-5641-7766-9

I. ①现… II. ①王… ②晋… III. ①微波技术-高等学校-教材 ②微波天线-测量-高等学校-教材 IV. ①TN015 ②TN822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 098237 号

现代微波与天线测量技术

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
出版人 江建中
责任编辑 姜晓乐(joy_supe@126.com)
印 刷 兴化印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 24.25
字 数 510 千字
版 次 2018 年 5 月第 1 版
印 次 2018 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-7766-9
定 价 66.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830。

前 言

“微波工程测量技术”是本科电类各专业的一门技术实践基础课。各类无线通信设备从研究、设计、制造到调试、维修的各个阶段,都需要测量许多电参数,微波工程测量技术是现代无线通信的关键技术之一,在现代无线电子系统中占据举足轻重的地位。本书的任务是使学生掌握微波工程测量的原理和方法,以及常用微波仪器的工作原理和测量方法,为今后从事科学研究和工程实践打下坚实的基础。本书有机综合了微波测量和天线测量技术,着力培养学生综合运用所学知识解决微波工程测量问题的能力,提高学生发现、分析、解决问题的能力 and 实践动手能力,突出利用现代信息技术,为读者向其他学科领域扩展打下基础。

本书体系结构合理,内容全面,涵盖了微波测量的基本概念、常用微波仪器的工作原理与应用、设备组成、测量方法。不仅注重实用性,而且紧跟微波测量与仪器技术的最新发展,具有一定的先进性。

“微波工程测量技术”这门课具有较强的理论性和实践性,其目的是使学生掌握现代微波测量的基础理论和微波测量仪器的原理与应用,在科学实验或生产实践中能制定先进的测试方案,合理选用测量仪器,正确处理测量数据,培养学生实验和工程应用的技能。本教材较全面地介绍了微波信号参数测量和天线参数测量的基本原理和方法,主要内容有:

第1章为微波测量概论,介绍了微波测量的意义,微波测量的特点,微波与天线测量的基本任务,微波测量仪器分类,微波仪器的发展现状和新趋势。

第2章为微波信号源,介绍了模拟式微波扫频信号源,合成信号源的基本原理,频率捷变信号发生器的基本工作原理,微波信号源的性能指标,任意函数/波形发生器的工作原理,以及微波信号发生器典型产品。

第3章为矢量信号源和分析仪,介绍了矢量信号源的基本工作原理,矢量信号分析仪的基本整机工作原理和技术性能指标,观测数字调制信号的几种方法,矢量信号误差分析,硬件总体方案及主要工作原理,以及矢量信号分析仪的应用及操作。

第4章为微波信号频谱分析,介绍了频谱分析的基本概念,超外差频谱分析仪的原理及组成,频谱分析仪的基本特性,微波频谱仪的典型应用,相位噪声测量,频谱分析仪毫米波扩频测量原理,实时频谱分析仪的工作原理和应用,AV4011系列实时频谱分析仪,最后介绍了毫米波信号分析仪新技术与发展趋势。

第5章为矢量网络分析仪,介绍了矢量网络分析仪的基本原理和基本结构,主要技术性能和指标,矢量网络仪的测量设置操作使用,典型产品介绍,AV3672矢量网络分析仪产品综述,微波矢量网络仪的典型应用(包括滤波器的测试、放大器的测试、微波混频器的测试等)。

第6章为接收机噪声系数测试,首先介绍了噪声和噪声系数的基本概念,继而讲述噪声系数的测量原理和微波噪声系数分析仪整机工作原理,之后介绍了噪声系数分析仪的主要技术指标,最后给出噪声系数分析仪的应用及注意事项。

第7章为微波功率计,本章主要介绍微波功率测量的基本方法,几种微波功率计的工作原理,二极管检波器工作原理,微波功率分析仪整机工作原理和特点,各类功率计的技术性能指标,并对功率测量中出现的各种不确定度作了分析。

第8章为微波电路参数测试,介绍了射频微波元器件测量技术方案,低噪声放大器的测量,功率放大器的测量,射频功率的测量,变频器和混频器测试技术方案,频综及振荡器测试,电子系统半实物仿真技术,微波仿真及测试系统应用,微波测量发展方向。

第9章为微波综合测量实验,介绍了集成锁相环实验,下变频器及中频放大滤波组件实验,射频接收链路实验,脉冲调制器实验,混频器实验,功率放大滤波组件实验。

第10章为微波天线特性测试,介绍了天线测试场,天线方向图测量,天线增益测量,天线极化测量,天线远场自动测试系统,采用网络分析仪的天线幅—相测量系统,常规毫米波远场测试系统,天线近场测试系统的工作原理及系统组成。

第11章为射频同轴电缆和连接器,介绍了射频同轴电缆的构造、类型和特性,射频同轴连接器的构造、类型和特性,以及非同轴传输线。

本书对测量原理的讲解力求深入浅出,突出基本概念;对测量方法的讨论侧重于比较、总结,突出实用性;对误差分析力求避免繁琐的数学推导,突出对公式的理解和具体应用。

本书内容丰富,叙述精炼,注重基础理论与实际应用的结合,经典内容与最新前沿动态的结合,适应当前教学的需要,适应人才培养的需要。为适应教学的需要,书后附有习题集。本书可指导和帮助测量使用与维修人员进行正确的操作,同时也可供院校教学、科研、实验技术人员学习参考。书中所收录的仪器均为最新常用微波测量仪器,具有一定的先进性和代表性。

本教材的教学参考学时数为30~50学时,在实际授课时,可根据具体情况对内容进行选取。使用本教材时应加强实践环节,需要开设相应的实验课程,有条件的学校,可由学生自拟实验方案,开出若干实验选题或开放性实验,以进一步提高学生解决生产和科研实践中微波测量问题的能力。

在本书的编写过程中,参考、引用了同类教材的相关内容,以及同行们的部分科研成果,参考了是德公司、青岛41所的有关技术资料和其他相关技术资料,除在参考文献列出外,在此向这些书刊资料的作者和科研成果的同行们致以深深的感谢!

编者
2017年12月



扫一扫,可获得更多本书相关资料



扫一扫,可获得本书电子课件

目 录

第 1 章 微波测量概论	1
1.1 微波测量的意义	1
1.2 微波测量的特点	1
1.3 微波与天线测量的基本任务	2
1.3.1 频率	2
1.3.2 功率	3
1.3.3 阻抗	3
1.4 微波测量仪器分类	4
1.5 微波毫米波信号分析仪发展现状	5
1.6 现代微波测量技术发展的新趋势	9
1.7 分贝表示法	11
第 2 章 微波信号源	16
2.1 微波信号源的分类	16
2.2 模拟式微波扫频信号源	17
2.2.1 扫频信号源的基本概念	17
2.2.2 微波扫频信号的产生	18
2.2.3 微波扫频信号源的控制	19
2.3 微波合成扫频信号源	21
2.3.1 现代科学技术对信号源的要求	22
2.3.2 信号源发展趋势	22
2.3.3 合成信号源的主要技术指标	22
2.4 合成信号源的基本原理	24
2.4.1 间接合成法微波频率合成	25
2.4.2 直接合成法之一——模拟直接合成法	25
2.4.3 直接合成法之二——数字直接合成法	27
2.4.4 数字直接合成器芯片	31
2.5 间接频率合成技术的进展	33
2.5.1 在间接频率合成中提高频率分辨率的方法	33
2.5.2 频率合成器小数分频技术	36
2.5.3 扩展微波信号频率上限的方法	38
2.6 微波频率捷变信号发生器	40
2.6.1 微波频率捷变信号发生器基本概念	40
2.6.2 频率捷变信号发生器主要实现方法	41

2.7	频率捷变信号发生器基本工作原理	42
2.7.1	单环宽带锁相环路技术	42
2.7.2	宽带锁频环路技术	43
2.7.3	跳频输出时的幅度控制技术	45
2.7.4	利用全数字合成技术的捷变频信号发生器	45
2.8	微波信号源的性能指标	48
2.9	任意函数/波形发生器	50
2.9.1	任意函数/波形发生器的工作原理	50
2.9.2	任意函数/波形发生器的主要技术指标	52
2.9.3	AWG的波形编辑功能	53
2.10	微波信号发生器典型产品	54
2.11	典型产品 AV1450C 系列微波信号发生器	57
第3章	矢量信号源和分析仪	61
3.1	数字调制信号源	61
3.1.1	矢量信号源基本工作原理	62
3.1.2	I/Q 调制基础	62
3.1.3	数字调制模块	65
3.1.4	频率合成模块	67
3.1.5	射频变换模块	68
3.1.6	整机软件模块	70
3.2	矢量信号分析的技术背景	71
3.3	矢量信号分析基本工作原理	74
3.3.1	矢量信号分析基本模型	74
3.3.2	观测数字调制信号的几种方法	76
3.3.3	矢量信号误差分析	78
3.3.4	硬件总体方案及主要工作原理	80
3.3.5	整机软件总体方案	82
3.3.6	射频/微波变频模块	83
3.3.7	中频数字化模块方案和工作原理	84
3.3.8	数字中频 I/Q 解调模块方案和工作原理	85
3.3.9	矢量信号分析算法	86
3.3.10	数字调制分析	86
3.4	主要技术性能和指标	88
3.5	典型产品介绍	89
第4章	微波信号频谱分析	95
4.1	概述	95
4.2	信号的频谱	96
4.2.1	频谱分析的基本概念	96
4.2.2	周期信号的频谱	96

4.2.3	非周期信号的频谱	99
4.2.4	离散时域信号的频谱	100
4.3	频谱分析仪原理	101
4.3.1	频谱分析仪概述	101
4.3.2	超外差式频谱分析仪的原理及组成	102
4.3.3	超外差式频谱分析仪的调谐方程	109
4.3.4	超外差式频谱分析仪测量信号的应用举例	111
4.4	频谱分析仪的基本特性	114
4.4.1	频率特性	114
4.4.2	幅度特性	119
4.4.3	扫描时间	123
4.4.4	相位噪声	124
4.4.5	AV4051 信号分析仪	125
4.5	微波频谱仪的典型应用	128
4.5.1	两个频率相近的信号测量	129
4.5.2	低电平信号的测量	131
4.5.3	幅度调制特性测量	132
4.5.4	频率调制特性测量	135
4.5.5	脉冲调制信号测量	138
4.5.6	三阶互调失真测量	141
4.5.7	相位噪声测量	144
4.6	频谱分析仪毫米波扩频测量原理	146
4.6.1	谐波混频与外扩频技术概述	147
4.6.2	扩频频谱分析结构与原理	147
4.6.3	外扩频关键技术实现	148
4.7	实时频谱分析仪	150
4.7.1	实时频谱分析仪工作原理	150
4.7.2	AV4011 系列实时频谱分析仪	157
4.8	毫米波信号分析仪新技术与发展趋势	161
4.8.1	微波毫米波信号分析仪发展现状	161
4.8.2	新的测试分析技术不断涌现	161
第 5 章	矢量网络分析仪	165
5.1	微波网络的散射参数——S 参数	165
5.1.1	S 参数的概念	166
5.1.2	S 参数的定义	168
5.2	矢量网络分析仪的基本原理	170
5.3	网络分析仪的基本结构	173
5.4	主要技术性能和指标	179
5.5	典型产品介绍	182

5.6	矢量网络分析仪的测量设置操作使用	184
5.6.1	VNA 控制	185
5.6.2	VNA 显示	187
5.6.3	网络分析仪的校准技术	187
5.6.4	设置扫描	189
5.7	AV3672 矢量网络分析仪操作使用	190
5.7.1	主菜单	192
5.7.2	分析仪的轨迹、通道和窗口	192
5.7.3	设置频率范围	194
5.7.4	设置数据格式	194
5.7.5	选择校准类型	195
5.8	微波矢量网络分析仪的典型应用	198
5.8.1	滤波器的测试	199
5.8.2	放大器的测试	203
5.8.3	相位测量	205
5.8.4	放大器参数说明	206
5.8.5	增益压缩	207
5.8.6	线性相位偏离	208
5.8.7	反向隔离	208
5.8.8	小信号增益和平坦度	209
5.8.9	微波混频器的测试	210
5.8.10	嵌入网络 S 参数的测试	210
5.8.11	网络分析仪使用技巧	211
第 6 章	接收机噪声系数测试	213
6.1	概述	213
6.2	相关基础知识	214
6.3	基本工作原理	217
6.4	二端口网络的等效噪声温度和噪声系数	221
6.5	二端口网络级联链路的噪声系数	223
6.6	噪声系数测量方法	225
6.7	AV3984 微波噪声系数分析仪整机工作原理	226
6.8	典型产品介绍	229
第 7 章	微波功率计	232
7.1	微波功率计概述	232
7.2	微波功率测量原理	233
7.2.1	功率的基本定义	233
7.2.2	功率测量的度量单位	234
7.2.3	微波功率测量原理	235
7.2.4	功率探头的校准	236

7.3 微波功率计的工作原理	238
7.3.1 传感微波功率的三种方法	238
7.3.2 热敏电阻功率探头及其功率	238
7.3.3 热电偶功率探头及其功率计	239
7.4 二极管检波器	241
7.4.1 检波二极管	242
7.4.2 检波器原理	245
7.4.3 检波器主要技术指标	246
7.4.4 检波器的分类	249
7.4.5 二极管功率探头及其功率计	252
7.5 微波功率分析仪整机工作原理和特点	253
7.5.1 整机工作原理及框图	253
7.5.2 整机特点和主要功能	254
7.6 主要技术性能和指标	256
7.7 典型产品介绍	258
第8章 微波电路参数测试	262
8.1 射频微波元器件测量技术方案	262
8.1.1 射频微波元器件发展及测试要求	262
8.1.2 射频微波元器件测试技术方案	262
8.2 无源互调失真测量	263
8.3 双工器和多工器	264
8.4 低噪声放大器	265
8.4.1 低噪声放大器的增益测量	268
8.4.2 低噪声放大器的1 dB压缩点测量	269
8.5 功率放大器的测量	270
8.5.1 功率放大器的基本指标	270
8.5.2 高功率放大器的增益测量	275
8.5.3 功率放大器的谐波测量	275
8.5.4 放大器的正向互调失真测量	277
8.5.5 矢量信号分析仪在射频功放中的测量	278
8.5.6 邻道功率测量	280
8.6 射频功率的测量	281
8.6.1 终端式测量法	281
8.6.2 数字调制信号功率的测量	281
8.7 变频器和混频器测试技术方案	284
8.7.1 外接本振变频器件的矢量变频测量	285
8.7.2 变频器和混频器测试原理	286
8.8 频综及振荡器测试	287
8.9 电子系统半实物仿真技术方案	288

8.9.1	电子系统半实物仿真概述	288
8.9.2	电子系统设计流程	288
8.9.3	仿真系统简介	290
8.9.4	测试系统简介	290
8.9.5	仿真及设计方案简介	291
8.9.6	仿真及测试系统应用	291
8.9.7	集成信号产生方案的仿真及设计系统	291
8.10	微波测量发展方向	292
第9章	微波综合测量实验	296
9.1	集成锁相环实验	296
9.1.1	实验目的	296
9.1.2	实验内容	296
9.1.3	基本原理	296
9.2	下变频器及中频放大滤波组件实验	299
9.2.1	实验目的	299
9.2.2	实验内容	299
9.2.3	基本原理	300
9.3	射频接收链路实验	302
9.3.1	实验目的	302
9.3.2	实验内容	302
9.3.3	基本原理	302
9.4	脉冲调制器实验	304
9.4.1	实验目的	304
9.4.2	实验内容	304
9.4.3	基本原理	304
9.5	混频器实验	306
9.5.1	实验目的	306
9.5.2	实验内容	306
9.5.3	基本原理	306
9.6	功率放大滤波组件实验	307
9.6.1	实验目的	307
9.6.2	实验内容	307
9.6.3	基本原理	308
9.6.4	技术指标	308
第10章	微波天线特性测试	310
10.1	概述	310
10.1.1	天线的类型及发展	311
10.1.2	天线测试方法分类	312
10.1.3	表征天线性能指标的参数及测量方法	313

10.2	天线测试场	315
10.2.1	自由空间测试场	316
10.2.2	微波屏蔽室	318
10.3	天线方向图测量	319
10.3.1	振幅方向图测量	319
10.3.2	八木天线天线方向图的测试	320
10.3.3	抛物面天线方向性的测量	323
10.4	天线增益测量	324
10.4.1	天线增益测量概述	324
10.4.2	天线增益测量方法	325
10.5	天线极化测量	329
10.6	采用频谱分析仪的测量系统	335
10.7	采用网络分析仪的天线幅—相测量系统	336
10.8	天线远场自动测试系统	338
10.8.1	系统组成	339
10.8.2	经济型微波远场测试系统	340
10.8.3	常规微波远场测试系统	341
10.8.4	常规毫米波远场测试系统	342
10.8.5	系统的硬件组成	342
10.8.6	测试系统软件功能	343
10.9	天线近场测试系统	344
10.9.1	近场测量技术	347
10.9.2	天线近场测试系统组成	349
10.9.3	硬件分系统	350
10.9.4	软件分系统	354
第 11 章	射频同轴电缆和连接器	356
11.1	射频同轴电缆的构造、类型和特性	356
11.1.1	同轴电缆的特性	356
11.1.2	射频电缆类型	357
11.2	射频同轴连接器的构造、类型和特性	360
11.2.1	连接器的选择	362
11.2.2	射频连接器	364
11.2.3	射频转接头	369
11.2.4	非同轴传输线	370
参考文献	373

微波测量概论

射频微波电路是构成通信系统、雷达系统和其他微波应用系统中的发射机和接收机的关键部件。经过半个多世纪的发展,各种电路的原理日趋成熟,结构形式多样。现代微电子技术和电子材料的不断进步,使得各类接收机和发射机的体积越来越小,功能越来越强。最典型的是个人无线通信,也就是手机。可以说,手机代表了当今世界科学领域的多种成就。在这个小小的塑料盒内,集中反映了在电源及电源使用效率、数字电路、模拟电路、半导体技术、信号处理、材料科学、结构工艺等领域的人类智慧,这些内容的核心是射频微波模拟电路。

1.1 微波测量的意义

各类无线通信设备从研究、设计、制造到调试、维修的各个阶段,都需要测量许多电参数,微波工程测量技术是现代无线通信的关键技术之一,在现代无线通信中占据举足轻重的地位。本书有机综合了微波测量和天线测量技术,在一定程度上拓展了通信类专业学生的测量知识,提高了他们的实践技能。通过学习本书,可使学生掌握微波工程测量的基本原理,以及常用微波仪器的工作原理和测量方法,提升工程意识,开阔视野和思路,提高发现、分析、解决问题的能力 and 实践动手能力。本书还突出了利用现代信息技术,为学员向其他学科领域学习扩展打下基础。

微波与天线测量技术是电磁场与微波技术学科的重要组成部分,它与微波理论和天线理论相辅相成,并与其他工程技术一样,随着科学技术的发展而日趋重要;在微波理论和天线理论已趋于成熟的今天,在进行理论研究、设计和研制过程中,往往都要根据实际测量结果来解决有关技术问题,所以微波与天线测量技术依然是解决微波技术和天线问题的重要途径,特别是微波与天线技术中某些理论上难以进行定量分析的新课题,更要依赖于实验数据和曲线进行分析研究。

1.2 微波测量的特点

在频率低于微波的频段,电路的几何尺寸通常远小于波长,属于集中参数电路,便于测量的电压、电流及频率是研究低频和高频电路的基本测试量。

但是天馈系统和微波元器件的几何尺寸通常和工作波长相比拟,从电路观点看它们均属于分布参数电路,其电压、电流概念已失去原来的物理意义。馈线和微波元器件必须用场

的概念逐点、连续地描述它们所在空间的场分布规律,所以便于计量的场分布(驻波)、功率和频率就成了最基本的三个测试量,并通过这三个基本量的测试可以导出其他有用参量。当然,测量空间每一点场强的绝对值仍然是困难的,但测量其相对值较方便而且也是实际所需要的,因此表征场分布规律的反射系数或驻波比,以及方向图和增益就成了微波和天线测量中非常重要的参数。

由于微波波段本身的特点使得它们无论在测量任务和测量方法,还是所用的测量仪器都有一些与低频和高频测量不同的地方。例如:信号的产生是使用专用的真空管器件,如磁控管及微波固体器件等;一般测试所用的辅助元器件多是分布参数的元器件,如隔离器、衰减器、移相器、定向耦合器、阻抗变换器及谐振腔等;而电磁波的检测一般是用晶体检波器。因此,在测量中对微波仪器及辅助元器件特性的了解和正确使用对测量的准确度有很大影响。

1.3 微波与天线测量的基本任务

射频微波电路可分为以下三大类。

(1) 微波无源电路:如金属谐振腔滤波器、介质腔体滤波器、微带滤波器、功率分配器、耦合器、程控衰减器等。

(2) 微波有源电路:如微波放大器、微波振荡器、微波调制解调器、开关、移相器、混频器、倍频器、频率合成器、功率放大器等。

(3) TR 组件:由上述多种元器件构成的微波发射接收功能模块。

随着半导体技术的发展,MMIC 已大量地进入工程使用阶段。在元器件体积足够小的情况下,射频微波概念可以适当淡化,像普通低频电路一样进行电路设计,但要使用微波印制板。设计 MMIC 的偏置电路,在射频微波引线段考虑匹配。新型微波材料主要是环境适应性强的高介电常数、低损耗介质。高介电常数介质的使用,可以缩小微带电路的结构尺寸。为了实现上述各个电路的功能,需要解决的核心问题是以下三大方面:频率、阻抗和功率。

由于频率、阻抗和功率是贯穿射频微波工程的三大核心指标,故将其称为“射频铁三角”,这也形象地反映了射频微波工程的基本内容。这三个方面既有独立特性,又相互影响。这就是射频微波工程的核心问题。三者的关系可以用图 1-1 表示。

这三个方面涵盖了射频微波工程中全部内容,下面给出对它们的解释。

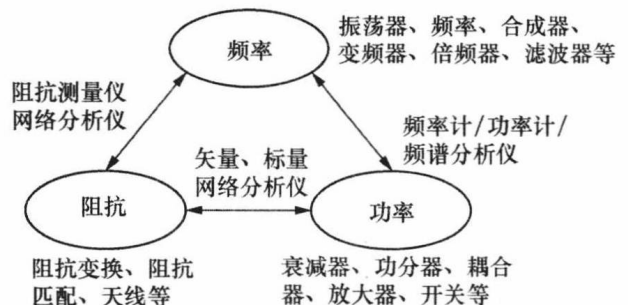


图 1-1 射频铁三角

1.3.1 频率

频率是射频微波工程中最基本的一个参数,对应于无线系统所工作的频谱范围,也规定了所研究的微波电路的基本前提,进而决定了微波电路的结构形式和器件材料。直接影响

频率的射频微波电路有:

(1) 信号产生器,用来产生特定频率的信号,如点频振荡器、机械调谐振荡器、压控振荡器、频率合成器等。

(2) 频率变换器,将一个或两个频率的信号变为另一个所希望的频率信号,如分频器、变频器、倍频器、混频器等。

(3) 频率选择电路,在复杂的频谱环境中,选择所关心的频谱范围。经典的频率选择电路是滤波器,如低通滤波器、带通滤波器、高通滤波器和带阻滤波器等。近年发展起来的高速电子开关由于体积小,在许多方面取代了滤波器实现频率选择。

在射频微波工程中,这些电路可以独立工作,也可以相互组合,还可以与其他电路组合,构成射频微波电路子系统。这些电路的测量仪器有频谱分析仪、频率计数器、功率计、网络分析仪等。

1.3.2 功率

功率用来描述射频微波信号的能量大小,所有电路或系统的设计目标都是实现射频微波能量的最佳传递。影响射频微波信号功率的主要电路有:

(1) 衰减器,控制射频微波信号功率的大小。通常是由有耗材料(电阻性材料)构成。它有固定衰减量和可调衰减量之分。

(2) 功分器,将一路射频微波信号分成若干路的组件,可以是等分的,也可以是按比例分配的,希望分配后信号的损失尽可能地小。功分器也可用作功率合成器,在各个支路口接同频同相等幅信号,在主路叠加输出。

(3) 耦合器,定向耦合器是一种特殊的分配器。通常是耦合一小部分功率到支路,用以检测主路信号工作状态是否正常。分支线耦合器和环形桥耦合器实现不同相位的功率分配合成,配合微波二极管,完成多种功能微波电路,如混频、变频、移相等。

(4) 放大器,提高射频微波信号功率的电路。它在射频微波工程中地位极为重要。用于接收机中的小信号放大器,低噪声高增益贯串设计任务的始终;用于发射机中的功率放大器,为了满足要求的输出功率,不惜器件和电源成本;用于测试仪器中的放大器,完善和丰富了仪器的功能。

1.3.3 阻抗

阻抗是在特定频率下,描述各种射频微波电路对微波信号能量传输影响的一个参数。构成电路的材料和结构对工作频率的响应决定了电路阻抗参数大小。工程实际中应设法改进阻抗特性,实现能量的最大传输。所涉及射频微波电路有:

(1) 阻抗变换器,增加合适的元件或结构,实现一个阻抗向另一个阻抗的过渡。

(2) 阻抗匹配器,是一种特定的阻抗变换器,实现两个阻抗之间的匹配。

(3) 天线是一种特定的阻抗匹配器,实现射频微波信号在封闭传输线和空气媒体之间的匹配传送。

射频铁三角渗透到射频微波工程的各个角落。利用网络的概念,保证加工工艺,借助性能优越的测量仪器,设计调试电路单元,是解决射频微波工程问题的唯一途径。射频微波工

程的核心问题就是建立稳定可靠的铁三角。无论电磁场理论的方法还是等效网络的方法都可归结为折中处理频率、阻抗和功率的关系。

微波与天线的测量任务是很广泛的,但按照待测参数的内容可分为以下三个方面。

(1) 信号特性参数的测量:包括信号的频率和波长、场强和功率、波形与频谱、振荡器的振荡特性和接收机的噪声系数等。

(2) 网络特性参数的测量:主要有反射特性参数和传输特性参数。前者包括网络散射参数反射系数、阻抗以及与反射系数模有关的插入损耗和驻波比等;后者包括网络散射参数以及衰减和相移等。

(3) 天线特性参数的测量:天线主要有两方面特性,即电路特性和辐射特性。前者与馈电电路特性有关,包括输入阻抗、频率特性、效率和匹配等;后者与辐射特性有关,包括方向图、主瓣宽度、副瓣电平、增益、方向性系数、极化、相位特性,以及有效面积、有效高度等。

1.4 微波测量仪器分类

微波测量仪器分类如图 1-2 所示。

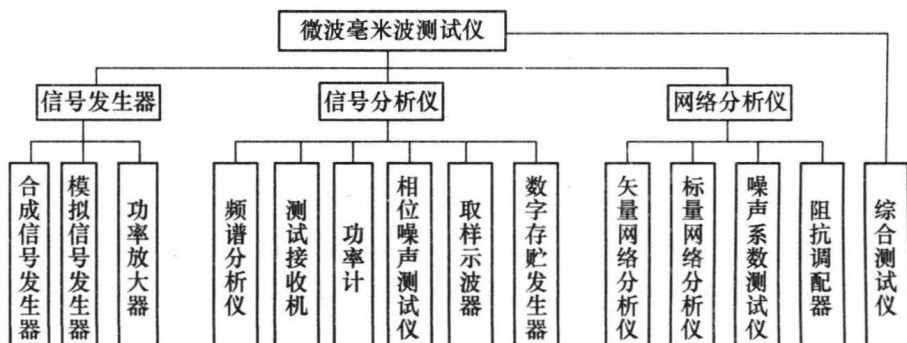


图 1-2 微波测量仪器分类

稳态信号测量:功率、频率、频谱。

瞬态信号测量:复杂电磁环境、调制样式、跳变模式、信息含量等参量测量。

1) 信号分析仪

信号分析仪分为:频谱分析仪、矢量信号分析仪、调制域分析仪、调制度分析仪、动态信号分析仪、EMC 分析仪。

信号分析仪主要对射频信号特征、质量进行分析,频谱分析仪的本振是高性能频率合成源。

预选频混频技术:26.5 GHz 以下采用单 YIG,26.5 GHz 以上采用双 YIG,毫米波波导频谱仪采用外加混频器模块。

微波毫米波相位噪声的两种测试方法:① 直接频谱分析法(频谱分析仪);② 先解调,后分析法(相位噪声测试仪)。

相位噪声测试仪的关键技术:① 频率变换技术;② 相位解调技术;③ 相位噪声特性曲线的测试。

2) 测量接收机

场强接收机、EMI 测试接收机、瞬时测频接收机、测向接收处理机、TEMPEST 接收机。

3) 信号源

一般经济型扫频发生器将退出历史舞台,取而代之的是频率合成技术。频率合成器具有专用集成块,且具有高分辨率的锁相式频率合成器、DDS 频率合成器、YIG 振荡器+倍频方案、双 YIG 振荡器+倍频方案。倍频方案的相位噪声有恶化趋势,在 3 mm 或更高频段也可直接用基波振荡器(宽带速调管,窄带固态振荡器),可提高功率输出,抑制杂波。

4) 网络分析仪

矢量网络分析仪、标量网络分析仪(图 1-3)。

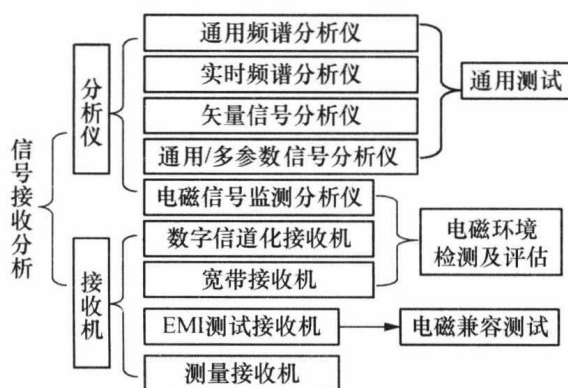


图 1-3 信号接收分析产品综述

微波毫米波测试用传输线和射频连接如表 1-1 所示。

表 1-1 微波毫米波测试用传输线和射频连接

同轴测试仪器		波导测试仪器	
同轴连接器	频率范围	波导	频率范围
N 型	DC - 18 GHz	WR - 42	18~26.5 GHz
7 mm	DC - 18 GHz	WR - 28	26.5~40 GHz
SMA(3.5 mm)	DC - 26.5 GHz	WR - 22	33~50 GHz
K(2.95 mm)	DC - 40 GHz	WR - 19	40~60 GHz
2.4 mm	DC - 50 GHz	WR - 15	50~75 GHz
V(1.85 mm)	DC - 60 GHz	WR - 10	75~110 GHz
1.0 mm	DC - 110 GHz	WR - 6	110~170 GHz

1.5 微波毫米波信号分析仪发展现状

随着微波毫米波技术的快速发展,现代雷达系统和各种军民用通信网络等为了防止干扰、改善系统容量和性能而变得日益复杂。其中生成和分析信号的复杂性正以指数形式增长,频段越来越高,带宽越来越宽,调制方案越来越复杂。面对射频微波毫米波技术的不断发展,对应的测试测量设备也必须与之保持同步,才能满足不同用户的多种测试需求。

作为信息源头测试的微波毫米波信号分析仪器是射频微波领域应用最广泛的仪器之一。典型的微波信号分析仪器有频谱分析仪、矢量信号分析仪、调制域和时频分析仪等。过去,频谱分析仪可以观察到功率与频率之间的相关信息,有时还能对 AM、FM 和 PM 之类的模拟格式进行解调,对于大多数一般性应用来讲已经足够。矢量信号分析仪可分析宽带波