

电子工程师手册

ELECTRONICS ENGINEERS' HANDBOOK

上册

第11篇 电子测量与电子仪器

主 编 刘鸿铨

执 笔 刘鸿铨

王桂珍

朱绣鑫

蓝桂芬

丁荣林

于振生

主 审 汪 雍

电子工程师手册

电子工程师手册编辑委员会 编

下 册



机械工业出版社

(京)新登字054号

本手册系统地概括了电子技术基础及其应用领域的主要技术内容，有一定的深度和广度。

全书按其内容，大体上可分为如下三个部分：

1. 基础知识部分，包括：常用符号、物理化学常数、单位、标准和数学公式；电磁学与电路基础；信号与系统分析等。
2. 技术基础部分，包括：电子材料；电子元器件；模拟电路；数字电路；微波、电波传播与天线；电子产品的工艺、结构、电磁兼容与可靠性。
3. 技术应用部分，包括：电力电子技术；电子测量与电子仪器；机械量的电子测量；电子计算机与人工智能；自动控制系统与控制仪表；数控技术与机器人；广播、电视与声像处理技术；通信、雷达、导航与电子对抗；医疗电子技术。

本书在编写上，力求简明扼要、深入浅出、直观易懂、归类便查。注意理论阐述的严谨和采用数据、图表和公式的准确可靠。努力做到既反映我国电子技术近年来的主要成就，也介绍国外的先进技术和发展动向。

本手册主要供机电工业系统和其他行业系统的工程技术人员在处理专业工作中涉及电子技术问题时查阅使用，也可供大专院校有关专业师生参考。

电子工程师手册

电子工程师手册编辑委员会 编

责任编辑：贾 馨 版式设计：霍永明
封面设计：姚 毅 责任校对：肖新民
责任印制：路 琳

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 182¹/₁₆·插页 8·字数 5756 千字

1995年4月北京第1版·1995年4月北京第1次印刷

印数 00,001—10 000 定价：上、下册共198.00元

ISBN 7-111-04178-X/TM·523

发展电子技术促
进经济繁荣与社
会进步

孙俊人

一九八二年六月

中国电子学会理事长孙俊人为本书题词

电子工程师手册编委会

主任委员	吴咏诗	邹洵	罗命钧(常务)		
副主任委员	胡健栋	翁瑞琪(常务)	秦起佑(常务)	张长生	
委员	黄仕机	周孝琪	闾石	俞斯乐	丁润涛
	郭维廉	徐苓安	张国雄	朱梦周	
总编辑	吴咏诗				
副总编辑	秦起佑	翁瑞琪			
秘书	尹明丽				

序

电子技术是一门发展迅速，应用广泛的技术。它的发展可以说是日新月异，新技术层出不穷。它的应用则已遍及工业、农业、国防、科技、文教和人民日常生活的各个领域，对于经济发展和社会进步有着重要的促进作用。当前第三次新的技术革命正在兴起，如果说第一次技术革命是以机械化为标志，第二次技术革命是以电气化为标志的话，那么，第三次新的技术革命就应该说是以电子化作为标志。前两次技术革命主要都是人类体能的延伸，而第三次新的技术革命则主要是人类智能的扩展，其基础就是电子技术。也有人说目前已是信息时代，而信息的获取、处理、传输也是要依赖于电子技术的。所以为了加速我国的现代化建设，体现“科学技术是第一生产力”的伟大作用，在各个领域，尤其是机电工业系统中推广与普及电子技术是十分重要的。在这种情况下，编写和出版这部《电子工程师手册》是很有必要的。

这部手册是为机电工业系统和其他行业系统中具有中等以上技术水平的工程技术人员在处理专业工作中涉及电子技术问题时查阅而编写的，是以应用为主的、综合性的电子技术手册。它是一部工具书，主要为工程技术人员在研究、处理电子技术问题时起备查、提示和启发的作用。它也可作为高等学校有关专业师生及其他有关人员提供参考。

这部手册系统地概括了电子技术及其主要应用领域的基本技术内容。在内容取舍上力求做到：科学性、实用性和先进性。科学性是要体现现代电子科学技术的基本内容，介绍必要的基础知识，注意理论阐述的严谨，采用数据、图表的准确可靠；实用性是要从实用出发建立自己的体系，主要提供一些结论性的技术内容以及这些结论的应用，在编写上简明扼要，深入浅出，直观易懂，归类便查；先进性则是既要反映我国电子技术近年的主要成就，也要介绍国外的先进技术和发展动向，注意反映电子技术的时代特征。

整个手册共17篇，按其内容大体上可分为以下三个部分：

(1) 基础知识 共2篇，分别是：常用资料（符号、常数、单位、标准和数学公式）；电磁学与电路基础。

(2) 技术基础 共6篇，分别是：电子材料；电子元器件；模拟电路；数字电路；微波技术、电波传播与天线；电子产品的工艺、结构与可靠性。

(3) 技术应用 共9篇，分别是：电力电子技术；电子测量与电子仪器；机械量的电子测量；电子计算机；自动控制与控制仪表，电子技术在机械制造方面的应用；广播、电视与声像技术；通信、雷达、导航与电子对抗；医疗电子技术。

这部手册的编写方式也是一种改革的尝试。过去一部综合性手册的编写一般是组织全国各地的有关专家分头编写，然后集中统稿编辑的。由于专家分散在全国各地，联系讨论不便，统稿、编辑过程中也要往返于各地进行讨论、修改，这就不能不拖延时日，往往要5~6年，大型的甚至要8~10年才能出版。电子技术发展非常迅速，如果从编写到出版要花这样长的时间，那么，手册出版之日可能已是内容陈旧之时。因此，这部手册是主要聘请天

津、北京两地的有关专家编写、审稿，而且由机械工业出版社委托天津大学承担了具体的组织工作。由于编写人员居住相对集中，便于交流与讨论，主编与主审也能及时交换意见，除出版社外，还有一个专业面较宽的学术单位负责组织工作，这就使整个手册的编写、审稿和定稿工作在两年之内顺利完成，而且保证了质量，基本上达到了预定的目标和要求。应该说这种做法是成功的，不足之处则可能是未能充分反映其他各地有关专家的经验与成就，这就希望各位专家和广大读者对本手册多提宝贵意见，以便今后能予以修改和补充。

这部手册能以顺利地完 成和出版，我愿诚挚地感谢编委会各位委员、各篇的主编、主审以及全体编者所付出的辛勤劳动，感谢他们认真负责的态度和友好合作的精神。我还要特别感谢机械工业出版社的罗命钧、秦起佑、贾馨三位同志和天津大学的翁瑞琪教授，他们为本手册的组织编写、统稿定稿、编辑出版做了大量的工作，为保证手册的质量做出了重要的贡献。

我希望，这部手册的出版，能为有关专业的工程技术人员和高等学校的师生，在从事电子技术应用与推广工作中提供一本实用的工具书。如果它能为我国电子技术的广泛应用起到一些促进作用的话，这将使我们所有这些参加手册编写、出版工作的同志感到荣幸和欣慰。

吴咏诗

目 录

第1章 概 论

- 1 定义 11-1
 - 1.1 电子测量 11-1
 - 1.2 电子仪器 11-1
 - 1.3 电子测量仪器 11-1
- 2 电子测量与电子仪器的常用
名词术语 11-1
- 3 电子测量的对象与内容 11-1
 - 3.1 电子测量对象 11-1
 - 3.2 电子测量内容 11-2
- 4 电子测量与电子仪器的特点 11-2
 - 4.1 电子测量的特点 11-2
 - 4.2 电子仪器的特点 11-2
- 5 电子仪器的分类与水平 11-2
 - 5.1 电子仪器分类 11-2
 - 5.2 电子仪器水平 11-3

第2章 测量误差与仪器检定

- 1 测量误差 11-5
 - 1.1 名词术语 11-5
 - 1.2 测量误差的来源 11-5
 - 1.3 测量误差的表示 11-5
 - 1.4 测量误差的分类 11-6
- 2 误差特性 11-6
 - 2.1 三类误差比较 11-6
 - 2.2 随机误差的统计特性 11-6
 - 2.3 系统误差的检查及处理 11-8
 - 2.4 粗大误差的判断及坏值剔除 11-10
- 3 测量结果的数据处理 11-11
 - 3.1 有效数字 11-11
 - 3.2 误差合成与微小误差准则 11-11
 - 3.3 测量数据处理 11-12
 - 3.4 非等精度测量 11-14
 - 3.5 最小二乘法与回归分析 11-14
- 4 电子测量仪器误差的含义与
表示方法 11-15

- 4.1 电子测量仪器误差的含义 11-15
 - 4.2 电子测量仪器误差的表示方法 11-15
- 5 电子测量仪器检定与电学标
准量具 11-15
 - 5.1 电子测量仪器的检定 11-15
 - 5.2 电学标准量具 11-15

第3章 电压测量

- 1 概述 11-18
 - 1.1 电压测量的重要性 11-18
 - 1.2 电压测量仪器的分类 11-18
- 2 直流电压测量 11-19
 - 2.1 模拟式直流电压表 11-19
 - 2.2 直流电压的数字测量 11-19
 - 2.3 数字式直流电压表(DVM) 11-23
- 3 交流电压测量 11-25
 - 3.1 交流电压的表征 11-25
 - 3.2 交流电压测量原理 11-26
 - 3.3 模拟式交流电压表 11-28
- 4 多用表 11-30
 - 4.1 多用表的功能及分类 11-30
 - 4.2 模拟式多用表 11-31
 - 4.3 数字式多用表 11-31
- 5 高频电压标准 11-32

第4章 功率测量

- 1 概述 11-33
 - 1.1 功率测量的意义 11-33
 - 1.2 功率的几个不同定义及其相互
关系 11-33
- 2 功率测量的基本方法 11-33
- 3 高频(微波)功率计 11-34
 - 3.1 功率计分类 11-34
 - 3.2 测辐射热器法功率计 11-34
 - 3.3 量热式功率计 11-35
 - 3.4 热电偶功率计 11-36
 - 3.5 晶体二极管式功率计 11-36

3.6	数字式功率计	11-36	3.1	运算放大器参数测量原理	11-58
3.7	程控功率计	11-36	3.2	集成运算放大器参数测量仪	11-60
3.8	力学效应功率计	11-37	3.3	线性(模拟)集成电路测试仪 性能	11-60
3.9	标准功率计	11-37	4	中、小规模数字集成电路测试	11-61
4	脉冲功率测量	11-37	4.1	测试原理	11-61
4.1	定义	11-37	4.2	测试	11-61
4.2	测量方法及脉冲功率计	11-37	5	RAM测试	11-62
第5章 集中参数阻抗测量					
1	概述	11-40	5.1	RAM故障方式	11-62
1.1	定义和公式	11-40	5.2	RAM测试模式	11-62
1.2	串、并联等效电路及其转换公式	11-40	5.3	测试	11-62
1.3	基本元件等效电路及其等效阻抗	11-41	6	ROM测试	11-62
1.4	阻抗测量的特点	11-42	第7章 时间、频率和相位的测量		
1.5	元件参数测量仪目前水平	11-42	1	概述	11-63
1.6	集中参数阻抗测量分类	11-42	2	频率的工程测量法	11-63
2	电表法测量阻抗	11-42	2.1	频率的工程测量	11-63
2.1	两表法	11-42	2.2	谐振法	11-64
2.2	三表法	11-43	2.3	有源比较法	11-65
2.3	欧姆表法	11-43	2.4	电子计数器法	11-66
3	谐振法测量阻抗	11-43	3	频率计	11-70
3.1	谐振法基本原理	11-43	3.1	电子计数器	11-70
3.2	Q表	11-44	3.2	外差式频率计	11-74
4	电桥法测量阻抗	11-45	4	时间和频率的精密测量	11-74
4.1	四臂电桥	11-45	4.1	时间和频率标准	11-74
4.2	双T电桥	11-47	4.2	标准频率源的主要指标	11-75
4.3	变量器电桥	11-48	4.3	频率稳定度的时域测量	11-75
5	有源电桥	11-48	5	相位测量	11-76
5.1	有源真桥	11-48	5.1	相位测量方法	11-76
5.2	伪桥(类桥)	11-49	5.2	相位计	11-76
5.3	半桥	11-49	第8章 信号发生器		
5.4	微处理器电桥	11-50	1	概述	11-78
第6章 电子器件参数测量					
1	电子管参数测量	11-52	1.1	定义	11-78
1.1	定义	11-52	1.2	分类	11-78
1.2	测量原理	11-52	1.3	正弦信号发生器的分类及工作 特性	11-79
1.3	测试	11-54	2	低频信号发生器	11-80
2	晶体管参数测量	11-54	2.1	低频信号发生器组成原理	11-80
2.1	晶体管特性图示仪	11-54	2.2	低频信号发生器的功能与使用	11-80
2.2	晶体管参数测试仪	11-56	3	高频信号发生器	11-80
3	线性集成电路测试	11-58	4	函数信号发生器	11-80

4.1 特点.....	11-80	4 记忆示波器	11-102
4.2 组成及工作过程.....	11-81	4.1 记忆示波器工作原理	11-102
4.3 正弦波产生电路.....	11-81	4.2 泛射系统的控制器	11-103
5 脉冲信号发生器.....	11-81	5 取样示波器	11-103
5.1 脉冲信号发生器组成.....	11-81	5.1 取样定义	11-103
5.2 脉冲信号发生器主要工作特性.....	11-82	5.2 取样的基本方法	11-103
6 扫频信号发生器.....	11-82	5.3 取样示波器工作原理	11-104
6.1 扫频信号发生器主要工作特性.....	11-82	5.4 取样示波器特有的控制器	11-104
6.2 扫频信号的产生.....	11-82	6 数字存储示波器	11-106
7 合成信号发生器.....	11-82	6.1 定义	11-106
7.1 合成信号发生器的主要工作特性.....	11-82	6.2 数字存储示波器特点	11-106
7.2 合成信号发生器工作原理.....	11-82	6.3 数字存储示波器工作原理	11-106
7.3 锁相合成的几种基本电路.....	11-82	6.4 数字存储示波器主要指标	11-106
8 可编程信号源.....	11-84	6.5 数字存储示波器的功能	11-106
8.1 可编程信号源组成.....	11-84	7 示波器的使用	11-109
8.2 可编程信号源特点.....	11-84	7.1 示波器的选用	11-109
9 任意波形发生器.....	11-84	7.2 示波器使用中一些技术问题	11-109
9.1 任意波形合成基本过程.....	11-84	8 示波器测量法	11-111
9.2 任意波形发生器组成.....	11-84	8.1 电压、电流和功率的测量	11-111
10 伪随机信号发生器.....	11-85	8.2 时间、周期、频率和相位的 测量	11-111
10.1 伪随机信号发生器组成	11-85	8.3 阻抗测量	11-117
10.2 伪随机信号发生器应用	11-86	8.4 调幅系数与频偏的测量	11-118
11 微波信号发生器.....	11-86	8.5 器件测试	11-118
11.1 微波信号发生器组成	11-86	8.6 其他	11-118
11.2 微波信号发生器稳幅	11-86		
11.3 现代微波合成信号发生器	11-86		

第9章 示波器

1 概述.....	11-88
1.1 定义.....	11-88
1.2 分类.....	11-88
1.3 示波器常用术语.....	11-88
1.4 示波器基本工作原理及主要控 制器.....	11-90
1.5 示波器主要指标.....	11-92
2 示波器的显示器与探头.....	11-93
2.1 显示器.....	11-93
2.2 示波器探头.....	11-95
3 通用示波器.....	11-98
3.1 双踪显示.....	11-98
3.2 延迟扫描.....	11-99
3.3 数字读出	11-102

第10章 信号分析仪

1 波形分析仪	11-120
1.1 调谐式波形分析仪	11-120
1.2 外差式波形分析仪	11-120
2 频谱分析仪	11-120
2.1 模拟式扫频分析仪	11-120
2.2 数字式频谱分析仪	11-122
2.3 频谱仪主要工作特性	11-123
2.4 频谱仪使用中注意事项	11-123
3 失真度测量仪	11-123
3.1 特定谐波失真度	11-123
3.2 基频抑制谐波分析	11-124
4 调制度测量仪	11-124
4.1 调幅度测量原理	11-124
4.2 调频指数与频偏	11-125
4.3 调制度测量仪组成原理	11-125

第11章 场强与电磁干扰的测量

- 1 概述11-126
 - 1.1 场强与电磁干扰测量的含义及异同11-126
 - 1.2 测量频段和场区的划分11-126
 - 1.3 应用11-126
- 2 场强标准11-126
 - 2.1 远区场强标准11-126
 - 2.2 近区场强标准11-127
- 3 场强测量11-128
 - 3.1 远区场强计11-128
 - 3.2 近区场强计11-129
- 4 电磁干扰测量11-130
 - 4.1 电磁干扰的主要来源11-130
 - 4.2 分类11-130
 - 4.3 干扰的传播途径11-130
 - 4.4 电磁干扰测量仪的结构和特点11-130
 - 4.5 测量原理11-130
 - 4.6 电磁干扰测量专用器具11-131
- 5 场强、电磁干扰的自动测量11-131
 - 5.1 测试系统构成11-131
 - 5.2 软件结构11-131

第12章 数域测试

- 1 概述11-132
 - 1.1 数域测试的基本概念11-132
 - 1.2 数字系统中信号的特性11-132
 - 1.3 对数据域测试的要求11-132
- 2 简便的逻辑测试工具11-132
- 3 逻辑分析仪11-133
 - 3.1 基本组成与分类11-133
 - 3.2 逻辑分析仪主要工作状态11-134
 - 3.3 显示方式11-135
 - 3.4 逻辑状态分析仪的使用11-135
 - 3.5 逻辑定时分析仪的使用11-135
- 4 特征分析仪(SA)11-136
 - 4.1 特征分析仪基本工作原理11-136
 - 4.2 特征分析仪的使用11-137
- 5 在线仿真器(ICE)11-137
 - 5.1 具有在线仿真器的开发系统功能11-137

- 5.2 通用开发系统中的仿真器11-137
- 5.3 ICE-80调试举例11-138
- 6 总线系统分析仪11-138
 - 6.1 总线系统分析仪的用途11-139
 - 6.2 HP59401A总线系统分析仪11-139

第13章 自动测试系统与接口

- 1 概述11-141
 - 1.1 自动测试系统11-141
 - 1.2 自动测试系统的应用场合11-141
 - 1.3 自动测试系统的基本组成11-141
 - 1.4 自动测试系统分类11-141
- 2 通用接口的自动测试系统11-141
 - 2.1 系统构成11-141
 - 2.2 接口功能的设置11-142
 - 2.3 接口总线结构11-142
 - 2.4 接口总线的电气特性11-144
 - 2.5 数据传输的三线挂钩原理11-145
 - 2.6 装置消息的编码格式11-146
 - 2.7 总线消息11-148
- 3 可编程仪器11-148
 - 3.1 可编程仪器的构成及特点11-150
 - 3.2 可编程仪器的控制方式和寻址11-150
- 4 系统控制器及编程11-151
 - 4.1 分类11-151
 - 4.2 编程11-151

第14章 记录仪

- 1 概述11-153
 - 1.1 定义11-153
 - 1.2 分类11-153
 - 1.3 记录仪的主要性能指标11-154
- 2 光线示波器11-154
 - 2.1 光线示波器的结构与原理11-154
 - 2.2 光线示波器的特性参数11-155
 - 2.3 光线示波器应用11-155
- 3 笔式记录仪11-156
 - 3.1 基本绘印方式11-156
 - 3.2 检流计式笔记录仪结构原理11-156
 - 3.3 伺服式记录仪11-157
- 4 磁带记录仪11-158
 - 4.1 磁带记录仪的基本结构原理与

特性	11-158
4.2 模拟磁带记录仪	11-158
4.3 磁带记录仪技术指标	11-161
4.4 磁带记录仪应用特点	11-161
5 瞬态波形记录仪	11-161
5.1 基本工作原理	11-161
5.2 A/D转换	11-162
5.3 瞬态波形记录仪的主要功能	11-162
6 记录仪的选用	11-164

第15章 测试用电源

1 概述	11-165
2 交流稳压电源	11-165
2.1 磁饱和交流稳压电源	11-165
2.2 磁放大器式交流稳压电源	11-166
2.3 晶闸管交流稳压电源	11-167
2.4 自耦变压器式交流稳压电源	11-168
2.5 交流稳压电源的选择原则	11-168
2.6 不间断电源(UPS)	11-169
3 直流稳压电源	11-169
3.1 基本原理与应用	11-169

3.2 直流稳压电源的性能比较	11-170
-----------------------	--------

第16章 电子仪器使用

1 概述	11-172
2 输入阻抗和输出阻抗在测量过程中的影响	11-172
2.1 输入阻抗和输出阻抗	11-172
2.2 输入阻抗和输出阻抗对测量的影响	11-172
2.3 阻抗匹配	11-173
3 测量过程中的干扰及其消除技术	11-174
3.1 仪器噪声	11-174
3.2 被测电路噪声	11-174
3.3 馈线噪声	11-174
4 测量中接地问题	11-175
4.1 仪器的电源输入	11-175
4.2 仪器地	11-176
4.3 测量系统的接地	11-176
参考文献	11-177

第1章 概 论

(续)

1 定义

1.1 电子测量

广义地说,凡是利用电子技术进行的测量都是电子测量。狭义地说,电子测量是电子学中有关电的参量的测量。

1.2 电子仪器

应用电子技术制成的仪器统称为电子仪器。

1.3 电子测量仪器

用于测量电磁参量的电子仪器称为电子测量仪器。

2 电子测量与电子仪器的常用名词术语

(见表11.1-1)

表11.1-1 电子测量与电子仪器
常用名词术语

名词术语	含 义
频域测量	研究被测参量与变量频率 f 关系的测量。在频域测量中基本不考虑时间因素,测量过程中系统处于稳定状态,故又称为稳态测量或测量稳态响应。例如利用频谱仪测量调幅波,可得到信号所含各频率分量及其幅值
时域测量	研究被测参量与变量时间 t 关系的测量。由于时域测量研究系统的瞬变过程,故又称为瞬态测量或测量瞬态响应。例如用示波器测量脉冲前沿,或测量系统受阶跃脉冲激励后输出信号建立过程 由于信号的时间函数和频谱都包含了信号的全部信息,因此信号时域分析和频域分析则是可互译的
数据域测量	研究数据流中的数据或状态与变量事件(D)关系的测量。数据域测量主要应用于数字电路、微机系统的测试和故障诊断。例如利用逻辑分析仪观测触发字条件下的数据过程
正弦测试技术	利用正弦信号作为系统的激励信号,从而对系统的参量与特性进行测试的技术。频域测量是建立在信号频谱分析理论基础上的测量,所以它以正弦信号为激励信号,正弦测试技术也就成为频域测量主要测试技术。例如,电路参数测量,以及系统的增益、衰减、相位差、失真、谐波分析和频率特性的测量等

名词术语	含 义
脉冲测试技术	利用阶跃脉冲或方波信号作为系统的激励信号,对系统参量和特性进行测试的技术。时域测量研究瞬态过程,需要理想的阶跃信号,一般以准阶跃脉冲或方波作为激励信号,因此脉冲测试技术是时域测量的主要测试技术。例如,测量系统延时、系统输出建立的瞬变过程
噪声测量	研究噪声参量和在噪声背景下信号的测量。噪声测量包含噪声本身参量(或称统计特性)的测量;利用已知特性的噪声信号作为激励信号,对系统特性的测量;在噪声背景下信号的精确检测与估计三个方面
噪声测试技术	利用已知参量的噪声信号或伪随机测试信号激励被测系统,对系统特性进行测试的技术。由于噪声可视为含有无穷多个不同频率、相位、幅度的正弦波的集合,因此用噪声激励系统,相当于给系统加无穷多个测试正弦信号,所以可以直接给出系统的动态测试结果
测试	测量和试验(包含控制过程)全过程的总称。利用微机 and 多种精密可编程仪器组成的自动测试系统就是现代测试的典型范例
技术测量	在生产中使用各种量具和仪表,使用正确的测量和检验方法,测量的结果只给出误差不得超过多少,或是否合格,而不给出具体测量值与误差的一种实用测量
模拟式仪器	仪器示值为被测量值变化的连续函数的仪器,如,指针式仪表、模拟示波器、记录仪等
数字式仪器	仪器示值为被测量值变化的量化的离散函数(即数字化)的仪器,如,数字电压表、数字示波器等

3 电子测量的对象与内容

3.1 电子测量对象

电子测量对象是电子学中有关信号与系统的参量和特性,例如:信号参量(电压、电流、功率、周期、频率、相位、波形参数、频谱等);系统参量与特性(阻抗、品质因数、介电常数、磁导率、反射系数、驻波比、衰减、传递函数、脉冲响应等)。

对系统特性的测量往往是建立在信号测量的基础上,例如系统的幅频特性测量可以由不同频率下系统转移电压比求得,而转移电压比则建立在对输入、输出信号电压测量的基础上。

3.2 电子测量内容

电子测量的具体内容可分为如下四类:

- (1) 电能量的测量,如电流、电压、功率、噪声功率、电场强度、电磁干扰等;
- (2) 电路参数的测量,如电阻、电容、电感、阻抗、导纳、品质因数、损耗角正切、介电常数、磁导率、电子器件参数、以及分布参数等;
- (3) 电信号参数的测量,如周期、频率、相位、波形参数、失真度、调幅系数、频偏、脉冲参数、频谱、信噪比、逻辑状态等;
- (4) 系统特性的测量,如反射系数、电压驻波比、衰减、增益、相位移、延时、灵敏度、分辨力、频带宽度、转移函数、噪声系数、天线方向性和耦合器定向度等。

4 电子测量与电子仪器的特点

4.1 电子测量的特点

1. 量程广 例如,功率测量量值范围从零至 10^8W 以上。
2. 分辨力高 例如,目前电压测量已达到 0.1nV ,频率测量已达到 $1\times 10^{-6}\text{Hz}$ 。
3. 频率范围宽 电子测量涉及到光频以下的全部频段。大多数测量除直流外,在 10^{-6} 至 10^{14}Hz 范围。
4. 测量速度快 电子测量是以电子运动和电磁波传播工作的,只有如此快速测量才能适应现代科学技术要求。
5. 测量精确度高 例如,时间、频率测量的精确度已达 10^{-14} 量级,为目前物理量中测得最精确的一个。
6. 可实现遥测 电子测量很容易利用电磁波与现代传感技术实现遥测、遥控。这对发展当今的

航天技术具有特别重要的意义。

7. 自动化程度高 电子测量易于实现自动化,易于与微型计算机结合实现智能化。

8. 易受外界电磁干扰 为此在电子测量技术领域我非常注意隔离、屏蔽和接地技术的研究,以便充分发扬电子测量优异特性。

由于电子测量有上述诸多特点,促使很多非电量利用传感技术将其转换成电量,利用电子测量技术进行测量,使电子测量已深入到各种科学技术领域。

4.2 电子仪器的特点

1. 门类庞杂,品种繁多 电子仪器根据其测量参量、测量项目、量程、精确度、频率范围、功能、显示方式、自动化程度、通用与专用、单项与综合测试等性能的不同,形成一个品种繁杂的仪器家族,以适应各种测试的需要。同时给正确、合理选用电子仪器提出需要一定专业知识的要求。

2. 对新技术敏感 今天科学技术的发展和电子仪器的技术水平形成相互推动、相互促进的关系。因此电子仪器必然最快最有效地吸收最新科学技术成就。一些电子学、微电子学、计算科学等的新技术、新器件、新材料、新工艺,往往都是首先在电子仪器中得到应用,并由此推广开来的。

3. 易于自动化、智能化 电子仪器以电子技术为基础。近年来,运用计算技术,引入微处理器,使电子仪器的自动化和智能化迅速发展,诸如仪器的自调零、自校准、自补偿、对被测量自学习和自适应能力、故障的自诊断,以及信号处理、运算、误差修正、信号分析等优异性能都已实现。

5 电子仪器的分类与水平

5.1 电子仪器分类

电子仪器可按使用功能、频段、工作原理及显示器等进行分类。表11.1-2给出按功能分类和主要仪器品种。

表11.1-2 电子仪器分类

类 别	品 种
电压、电流、功率测量类	电流表、电压表、多(万)用表、电子电压表、微伏电压表、有效值电压表、直流数字电压表、交流数字电压表、直流电压校准器、电压校准仪、标准电压表、微瓦功率计、中小功率计、大功率计、特殊功率计、功率校准器

(续)

类 别	品 种
元件、材料测量类	电容参数测量仪、电感参数测量仪、电阻参数测量仪、阻抗测量仪、LCR 测量仪、LCR 数字电桥、Q表、绝缘电阻测试仪、电阻和电位器动态测试仪、介质材料测量仪、介电常数测量仪、磁导率测试仪、磁性材料参数测量仪、磁滞回线测试仪、石英元件参数测量仪、继电器测试仪
器件测量类	电子管参数测量仪、半导体管特性图示仪、半导体管综合测试仪、半导体管开关特性测试仪、场效应晶体管参数测量仪、集成电路测试仪、中小规模数字集成电路测试仪、大规模数字集成电路测试系统、存储器测试仪、高速超高速集成电路测试系统
时间、频率测量类	计数器、时间计数器、通用计数器、特种计数器、数字频率计、谐振式波长计、外差频率计、石英钟、时间标准、原子钟(频率标准)、频率比对器、甚低频接收机
相位测量类	相位计、数字相位计、移相器、相敏(矢量)电压表、延时器、群延时测量仪
波形测量类	通用示波器、多束示波器、取样示波器、记忆(模拟存储)示波器、数字存储示波器、信号处理示波器、特殊示波器(高压高灵敏度、超低频示波器)
信号分析测量类	失真度测量仪、调制度测量仪、频谱分析仪、快速傅里叶变换频谱分析仪、谐波分析仪、相关器、自动频谱分析仪
场强、干扰测量类	场强测量仪、场强指示仪、电磁干扰测量仪、干扰场强测试仪、测量用天线、测量接收机
测量信号发生器	信号发生器(正弦信号)、标准信号发生器、功率信号发生器、函数发生器、扫频信号发生器、脉冲信号发生器、合成信号发生器、任意波形发生器
网络、电路特性测量类	网络分析仪、阻抗图示仪、驻波系数测量仪、反射计、比值计、频率特性测试仪、过渡特性测试仪、相位特性测试仪
数据测试类	逻辑状态分析仪、逻辑定时分析仪、仿真仪、数据采集系统、逻辑信号发生器、特征分析仪、数据字发生器、总线分析仪、印制电路板测试仪、微机电路故障检测分析仪、微处理器开发系统
噪声测量类	噪声信号发生器、噪声系数测量仪
记录、显示类	磁记录仪、笔式记录仪、自动平衡记录仪、X-Y记录仪、数字式记录仪、X-Y/Y-t绘图仪、X-Y显示器、图显示器
其 他	通信、广播、电视、有线、雷达、声学、振动、光纤、激光、微波元件等专用测量仪器及电源、打印机等辅助设备

5.2 电子仪器水平

表11-1-3给出了目前电子仪器的综合技术水平。

表11-1-3 电子仪器综合技术水平

产品名称	主 要 技 术 性 能
数字电压表 (万用表)	直流电压精度: 1×10^{-6} ; 分辨力: 1 nV
功率计	读数速度: 3400次/s; 显示位数: $8^{1/2}$ 测量范围: 最小10pW, 最大 250kW; 测量频率: 最高33GHz; 精度: 最高0.05%; 读数速度: 500次/s
电阻测试仪	测量范围: 最低0.01 $\mu\Omega$, 最高E Ω ; 精度: $\pm 0.003 + 1$ 字
电感测试仪	测量范围: 最低0.1nH, 最高20MH; 精度 1×10^{-6} , 最高 $\pm 0.05\%$
电容测试仪	测量范围: 最低 10^{-16} F, 最高20F; 精度: 10×10^{-6}
集成电路测试仪	管脚数: 384根; 图形深度: 256k; 时钟频率: 100MHz 时钟脉冲相数: 18

(续)

产品名称	主要技术性能
电子计数器	频率: 最低0.000001Hz, 最高110GHz; 分辨力: 0.000001Hz (1 μ s测量时间); 时基稳定度: $5 \times 10^{-9}/d$; 时间间隔分辨力: $\pm 20ps$ (单次), 0.1ps (重复)
信号发生器	频率: 最高75GHz (速调管), 18GHz (固体); 连续功率: 100W; 单边带相位噪声: 低于载频 137dB/Hz, 输出 0.013 μ V
函数发生器	频率: 最低 2.85×10^{-9} Hz, 最高50MHz; 最大输出: 40V
脉冲发生器	重复频率: 1GHz; 上升时间: 最快20ps; 输出功率: 最大31kW; 最大输出幅度: 50000V
扫频信号源	频率: 最高110GHz (固体), 120GHz (返波管); 最大稳幅输出功率: 500W (返波管), 50mW (固体); 最大扫描宽度: 10MHz~18.5GHz
频率合成器	频率: 最高40GHz; 频率稳定度: $5 \times 10^{-10}/d$; 非谐波寄生信号: 80dB; 分辨力: 0.000001Hz; 转换时间 1.5 μ s
合成信号发生器	频率: 最高26GHz; 频率稳定度: $5 \times 10^{-10}/d$; 转换时间: 5 μ s
网络分析仪	频率: 最低1Hz, 最高40GHz; 动态范围: 115dB; 分辨力: 0.005dB
通用示波器	频率: 最高1000MHz; 灵敏度: 10 μ V/cm; 扫描: 200ps/cm; 时间间隔测量精度: 0.002%
记忆示波器	频率: 最高400MHz; 存储记录速度: 2500cm/ μ s
数字存储示波器	频率: 50MHz; 灵敏度: 5 μ V; 幅度测量精度: $\pm 0.05\%$; 分辨力: 0.025%
取样示波器	频率: 0~18GHz; 灵敏度: 1mV/cm; 扫描: 10ps/cm
频谱分析仪	频率: 110GHz; 灵敏度: $-159mW/dB$; 分析带宽: 20GHz; 动态显示范围: 120dB; 分辨力: $2 \times 10^{-11}Hz$
失真分析仪	测量范围: 0.001%
调制度测试仪	频率范围: 最高2GHz; 调频频偏范围: $\pm 1 \sim \pm 400kHz$; 精度 $\pm 1\%$; 调制度0~100%; 精度 $\pm 1\%$
逻辑分析仪	输入通道: 104; 时钟频率: 660MHz; 存储容量: 4096位/通道
误码率测试设备	测量范围: $9.9999 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-12}$; 钟频: 50~2000MHz; 输出抖动 $\leq 150ps$; 上升/下降时间 $\leq 200ps$

注: 1.表中的数字是从同类仪器的很多产品中优选出来的, 并不是单一仪器所能达到的最高水平。

2.本表引自“陈成德.微机电子仪器的实用设计.北京:水利电力出版社, 1987”。