

业余无线电爱好者自学读物之六

# 实用电子测量



吴达慎 张祖征 编著 人民邮电出版社

业余无线电爱好者自学读物 之六

# 实用电子测量

吴达慎 张祖征 编著

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书首先讲述了电子测量的基本概念，然后着重介绍了测量电压、电流、频率、电路元件参数、失真和调制参数、电场强度的原理和方法，以及业余无线电爱好者常用的简易交流电子毫伏表、简单直读式频率计、直读式电容测量仪、点频失真度测量仪、简易电子示波器、简易调试信号发生器和简易80米波段场强计等测量仪表的电原理图、制作方法和调测步骤。

本书简明扼要，通俗易懂，可供广大业余无线电爱好者和各行各业的初级电子测量技术人员阅读参考。

业余无线电爱好者自学读物 之六

### 实 用 电 子 测 量

Shiyong Dianzi Celiang

吴达慎 张祖征 编著

责任编辑：陈涛

\*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北 京 东 长 安 街 27 号

北 京 华 东 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

\*

开本：787×1092 1/32 1989年6月 第一版

印张：10页数：160 1989年6月北京第1次印刷

字数：225千字 插页：3印数：1—6 000册

ISBN7-115-03764-7/TN·165

定价：2.95 元

## 出版说明

为了满足广大业余无线电爱好者自学电子技术的迫切需要，我们在中国电子学会普及工作部和华东地区电子科普创作研究会的支持和帮助下，组织华东地区作者编写了这套“业余无线电爱好者自学读物”。它的特点是具有较强的针对性、实用性和一定的趣味性，比较适合于具有初中以上文化程度的无线电爱好者自学。为了使读者循序渐进地掌握电子技术基础知识及实践技能，这套读物分七册出版：《实用电工基础》、《基础电子学》、《无线电广播与接收》、《电视广播与接收》、《脉冲和数字电路》、《实用电子测量》和《微电子技术应用》。各书讲述基本理论时以讲清物理概念为主，避免繁琐的数学推导；力求和爱好者的业余实践活动紧密结合，按专题安排一定数量有实用性的实验项目，用理论知识把一个个实验串起来；每章后附有小结和习题，便于读者复习和巩固所学知识。读者可以根据自己的实际情况，系统学习这套读物或选学其中的某几册。

编辑出版这样一套自学读物，对我们来说还是一个尝试。欢迎广大无线电爱好者对这套读物的内容和编写方法提出宝贵意见。

# 目 录

<b>第一章 电子测量概述</b> .....	(吴达慎)
第一节 引言.....	( 1 )
第二节 电子测量的基本内容.....	( 4 )
第三节 电子测量的基本特点.....	( 5 )
第四节 常用电子测量仪器和测量方法的分类.....	( 7 )
一、常用电子测量仪器的分类.....	( 7 )
二、电子测量方法的分类.....	( 9 )
第五节 电子测量常用名词术语简介.....	( 11 )
一、测量误差.....	( 11 )
二、有效数字及其舍入规则.....	( 13 )
三、正确度、精密度、准确度以及不确定度.....	( 14 )
小结.....	( 17 )
习题.....	( 18 )
<b>第二章 电压和电流的测量</b> .....	(吴达慎)
第一节 概述.....	( 19 )
第二节 直流电流和电压的测量.....	( 26 )
一、万用表测量直流电流和直流电压.....	( 26 )
二、差值法测量直流电压.....	( 36 )
三、数字电压表简介.....	( 36 )
第三节 交流电压的测量.....	( 41 )
一、交流电压的检波电路.....	( 41 )
二、交流电子电压表的基本原理.....	( 50 )
〔实验一〕简易交流电子毫伏表的制作.....	( 54 )

小结.....	( 59 )
习题.....	( 60 )
<b>第三章 频率的测量.....</b>	<b>( 吴达慎 )</b>
第一节 概述.....	( 61 )
第二节 频率测量的原理和方法.....	( 64 )
一、比较法测量频率.....	( 64 )
二、电容充放电式计数测频法.....	( 69 )
三、电子计数频率计的原理简介.....	( 71 )
〔实验二〕简单直读式频率计的制作.....	( 76 )
小结.....	( 79 )
习题.....	( 80 )
<b>第四章 电路元件参数的测量.....</b>	<b>( 吴达慎 )</b>
第一节 概述.....	( 81 )
第二节 电阻测量的原理和方法.....	( 86 )
一、欧姆表法.....	( 86 )
二、直流电桥法.....	( 91 )
三、数字式欧姆表.....	( 94 )
第三节 电容、电感和 $Q$ 值的测量原理.....	( 96 )
一、直接测量法.....	( 96 )
二、交流电桥法.....	( 106 )
三、 $Q$ 表的原理和应用.....	( 110 )
〔实验三〕直读式电容测量仪的制作.....	( 117 )
小结.....	( 124 )
习题.....	( 125 )
<b>第五章 失真和调制参数的测量.....</b>	<b>( 吴达慎 )</b>
第一节 概述.....	( 127 )
第二节 非线性谐波失真的测量方法.....	( 131 )

一、谐波分析法.....	( 131 )
二、基波抑制法.....	( 131 )
〔实验四〕点频失真度测量仪的制作.....	( 136 )
第三节 调幅系数和调频波参数的测量简介.....	( 140 )
一、用示波器测量调幅系数.....	( 141 )
二、用示波法测量调频波参数.....	( 142 )
小结.....	( 146 )
习题.....	( 147 )
<b>第六章 示波器及其在电子测量中的应用.....</b>	<b>( 吴达慎 )</b>
第一节 概述.....	( 148 )
一、电子示波器的基本工作原理.....	( 149 )
二、通用示波器的主要技术指标.....	( 152 )
三、电子示波器的分类.....	( 154 )
〔实验五〕简易电子示波器的制作.....	( 156 )
第二节 示波器在电子测量中的应用.....	( 168 )
一、电压测量.....	( 168 )
二、电流测量.....	( 172 )
三、功率测量.....	( 173 )
四、频率测量.....	( 173 )
五、相位测量.....	( 176 )
六、调幅度测量和频偏测量.....	( 179 )
七、其它测量.....	( 179 )
小结.....	( 184 )
习题.....	( 185 )
<b>第七章 信号发生器.....</b>	<b>( 张祖征 )</b>
第一节 正弦信号发生器的分类、工作特性和组成	
.....	( 186 )

一、概述	( 186 )
二、分类	( 186 )
三、工作特性	( 189 )
四、正弦信号发生器的组成	( 192 )
第二节 低频信号发生器	( 194 )
一、低频信号发生器的主要工作特性	( 194 )
二、低频信号发生器的工作原理	( 194 )
〔实验六〕简易调试信号发生器的制作	( 215 )
第三节 高频信号发生器	( 218 )
一、高频信号发生器的工作原理	( 218 )
二、高频信号发生器的主要组成	( 220 )
〔实验七〕简易电视中频和伴音信号发生器的制作	( 240 )
第四节 扫频信号发生器	( 245 )
一、概述	( 245 )
二、扫频信号发生器的应用	( 245 )
三、扫频信号发生器的工作特性	( 247 )
四、扫频振荡器的扫频原理	( 248 )
五、实例分析	( 251 )
小结	( 256 )
习题	( 256 )
<b>第八章 电场强度的测量</b>	( 张祖征 )
第一节 概述	( 253 )
一、标准天线法	( 260 )
二、标准场强法	( 262 )
第二节 高频场强的测量方法	( 266 )
一、直接测量接收天线内的电动势的方法	( 266 )



二、比较法.....	( 268 )
〔实验八〕简易80米波段场强计的制作.....	( 277 )
小结.....	( 284 )
附录1 电子测量仪器误差的表示方法.....	( 286 )
附录2 常用无线电参数的计量检定系统图.....	( 290 )
附录3 分贝的定义和常用分贝表.....	( 297 )
部分习题解答.....	( 305 )

# 第一章 电子测量概述

## 第一节 引言

电子测量对无线电爱好者来说并不陌生，从安装简单收音机起，他们就和电子测量结下不解之缘，经常用万用表测量电阻的阻值和判别晶体管的好坏等。任何一项电子科技成果的出现，新产品的研制、定型，产品的加工、调试和检验等，都需要进行大量的、复杂的测量以及数据处理、分析和归纳工作。

测量是人类认识自然和改造自然的主要工具之一。追溯无线电电子学的发展史可以知道，电子测量开始仅是无线电电子学的一个分支，然而在发展过程中两者是相互促进的。例如，在本世纪30年代后期出现示波器后，电子测量技术进入了一个新阶段。示波器不仅使人们可以对各种电现象直接进行观测，而且也促进了无线电技术的发展，奠定了雷达和电视显示技术的基础。电子技术的发展，特别是各种新型电子元器件的出现，又促进着电子测量技术的跃变。

如今，电子测量已经成为一门发展十分迅速，应用非常广泛，准确度越来越高，并对现代科技发展起着巨大推动作用的独立学科。在现代，每一个科技领域几乎无不运用电子测量技术，无论是天文观测、宇宙航天、导弹卫星发射，还是物质结构和基本粒子的研究；从复杂深奥的生命、细胞、

遗传问题到日常的工农业生产；从高等院校、科技部门的现代化实验室、计量标准实验室、工厂的产品质量检验室到中小学物理实验室、青少年科技活动室、业余无线电爱好者的工作室，都越来越多地采用了电子测量技术和设备。例如，无线电厂调试和检验收音机的性能指标（通常有频率范围、灵敏度、选择性、输出功率、整机频率特性、整机非线性失真、互调失真、假象抑制、中频抑制、自动增益控制特性和电源消耗等），需要设计一个测试的总体安排。这个总体安排应该包括测量方法、测量仪器、线路连接和测试环境等。收音机性能指标测试的总体安排的示意图如图 1—1 所示。

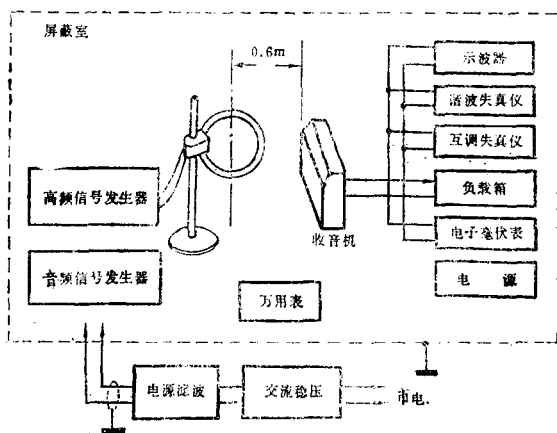


图 1—1

近20多年来，随着电子技术的迅速发展和新元器件的涌现，电子测量仪器得到了进一步发展，出现了各种数字式仪器。70年代初出现了把电子计算技术与电子测量仪器结合的新型数字化自动测试系统。它具有自动地按照预先指定的程

序选择量程、测量数据、记录数据、计算结果、修正误差和检查故障等功能,并能进行几个参数的多功能测量。例如,某种自动网络分析系统,可以测量半导体二极管、三极管、放大器、衰减器、滤波器、移相器、隔离器等17种元器件的各种参数。仅使用一个通用的测量程序,还可测量7种微波元件的三种参数,如驻波、反射、电阻、电导、电抗、电纳等。测量一个参数的时间仅3至5分钟,比采用经典的测量技术和传统的测量仪器提高测量速度几百倍。人们把这种高速自动化仪器与测量技术称为“智能仪器与智能测量技术”。它的问世,不但打破了人们在测量技术领域中长期以来的传统观念,还对整个电子技术和许多近代科学技术产生了十分深远的影响。这种智能化、多功能自动测试仪器与系统,已经成为80年代电子测量技术和电子仪器发展的重要方向。

不过在今后一个相当长的时期内,经典的电子测量技术和传统的电子测量仪器还不可能完全被智能自动化测量仪器与系统所替代。其主要原因是:(1)经典的电子测量技术是一切电子测量的基础;(2)只有在需要大量重复、快速测量某些指定项目,并要求高精度测量的前提下,使用昂贵、复杂的智能自动测量仪器才有实用价值。因此今后在大多数测量场合,还是需要使用传统的电子测量方法和测量仪器。

对于业余无线电爱好者来说,首先要掌握好传统的电子测量技术和测量仪器的工作原理,打好坚实的基础。本书从实用的角度出发,避免复杂的数学推导,尽量从物理概念、原理、应用等方面介绍电子测量中常用参数的测量,使读者较全面地了解电子测量的基本原理,学会选用合适的电子测量方法和仪器,正确地进行测量,并取得可靠的测量结果。

## 第二节 电子测量的基本内容

从广义上来说，凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量。但从狭义上来说，电子测量则是电子学中测量有关电的量值的技术。就集中参数电路而言，电子测量包括：

(1) 有关电能参数的测量，如电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰等的测量。

(2) 有关电路参数的测量，如电阻、电感、电容、阻抗、品质因数和损耗等的测量。

(3) 有关电信号波形参数的测量，如频率、时间（包括周期）、相位、失真度、调幅度、调频频偏等的测量。

(4) 有关网络特性参数的测量，如衰减、增益、相移、群时延、反射系数、驻波比、灵敏度、频带宽度等的测量。

(5) 有关电子学元器件参数的测量，如二极管、稳压管、三极管、场效应管、运算放大器、集成电路等的参数的测量。

以上五个方面是属于电量的测量。除此之外还有非电量的测量，利用电子技术测量温度、压力、长度、速度、流量等就属于这一类测量。它是将非电量经传感器转换成相应的电量（如电压、电流、频率等）再进行测量。表 1—1 列出了各种传感器与相应的被测非电量。

表1-1

传感器	被测量										
	长度	振动	压力	时间	速度	流量	温度	湿度	气体成分	浓度	射线
电阻式	0	0	0			0	0			0	
电感式	0	0	0			0					
电容式	0	0	0			0					
磁电式		0	0		0						
压电式		0	0								
磁致伸缩式	0	0	0								
热电式							0	0	0		
光电式	0	0							0		0
半导体式	0	0	0	0	0						0

### 第三节 电子测量的基本特点

电子测量与电工、机械等测量方式相比，具有以下基本特点：

#### 一、频率范围宽，测量量程广

目前，电子测量的频率范围是很宽的，低端可在  $10^{-4}$  Hz (赫) 量级，高端已达几百吉赫 (GHz)。

量程是指被测量的量值范围。电子测量的量程很广。例如，待测功率可能小到  $10^{-14}$  W (瓦) (接收宇宙飞船发来自外空的信号)，也可能大到  $10^8$  W 以上 (远程雷达发射)，用总的量程比达到  $1:10^{22}$  量级。一只很普通的 MF30 型万用表，其欧姆档可从几欧姆测到几十兆欧，其量程之比达七个数量级。

## 二、准确度高

电子测量技术中应用科技新成果较多，测量的准确度不断提高。例如，吸取原子和分子波谱学的成就而创造了原子频率标准（原子钟）。以铯原子频标来定义的频率测量的准确度优于 $10^{-13}$ 量级，同其它所有的物理量的测量准确度相比，已遥遥领先。电子技术中的其它参数的测量准确度，一般也都比较高。

## 三、影响量多，测量复杂

能对测量结果产生影响的量，称为影响量。电子测量的影响量不仅来自测量系统的外部，如环境温度、湿度、电源电压、电源频率等，还来自测量系统本身的某个工作特性对另一工作特性的影响。例如，电压表的频率响应特性和检波特性，就直接影响其电压测量结果。

为了尽可能避免外界的影响，许多电子测量都要求有良好的电磁屏蔽和接地；为了削弱测量系统内部产生的不良影响，应尽量避免寄生（杂散）电感和电容等的存在。

由于不同频段、不同量程下，各种参数测量的影响量各不相同，所以电子测量比较复杂。

## 第四节 常用电子测量仪器和测量方

### 法的分类

#### 一、常用电子测量仪器的分类

电子测量仪器的品种繁多，常用的分类方法有：

(1) 按用途分类，(2) 按频段分类，(3) 按精度和使用环境分类，(4) 按显示方式分类。

##### 1. 按用途分类

(1) 电压、功率测量仪——万用表、电子电压表、数字电压表、取样电压表、功率计、数字多用表等。

(2) 频率、时间、相位测量仪——十进频率仪、音频频率计、谐振式波长计、外差式频率计、电子计数频率计、秒表、电秒表、航海钟、相位计、数字式相位计等。

(3) 电路参数测量仪——电容测量仪、电感测量仪、万用电桥、 $Q$ 表、欧姆表、绝缘电阻测量仪、阻抗图示仪等。

(4) 波形参数、频谱测量仪——失真仪、互调失真仪、低失真测量仪、调制度测量仪、频偏仪、波形分析仪、频谱分析仪等。

(5) 场强、干扰测量仪——场强测量仪、测量接收机、无线电干扰测量仪等。

(6) 电子器件测量仪——电子管测试仪、晶体管特性图示仪、晶体管开关参数测试仪、集成电路功能测试仪、集成电路测试仪等。



(7) 电声测量仪——白噪声信号发生器、1/3倍频程频谱仪、测量放大器、电平记录仪等。

(8) 示波器——通用示波器、双线示波器、取样示波器、记忆示波器等。

(9) 信号发生器——低频信号发生器、高频信号发生器、脉冲信号发生器、扫频信号发生器等。

(10) 电路特性测试仪——衰减测量装置、感应分压器、可变衰减器、频率特性测试仪、噪声系数测试仪、逻辑状态分析仪等。

(11) 电信测试仪——电平振荡器、电平表、选频电平表、串杂音测量仪等。

(12) 记录器—— $X-Y$ 记录仪、自动平衡记录器、数字打印机等。

(13) 稳压电源——交流稳压器、直流稳压器、多路稳压电源等。

## 2. 按频段分类

电子仪器通常可分成超低频、低频、高频、超高频和微波等类，而每频段中还可按用途区分。

## 3. 按使用环境条件分类

按照电子工业部部颁标准规定，电子测量仪器的使用环境分 I、II、III 组。

I 组：应在良好环境中使用，操作要细心，只允许受到轻微的振动。

II 组：可在一般环境中使用，允许受到一般的振动和冲击。

III 组：可在恶劣环境中使用，允许在频繁的振动和运输中经受较大的振动和冲击。