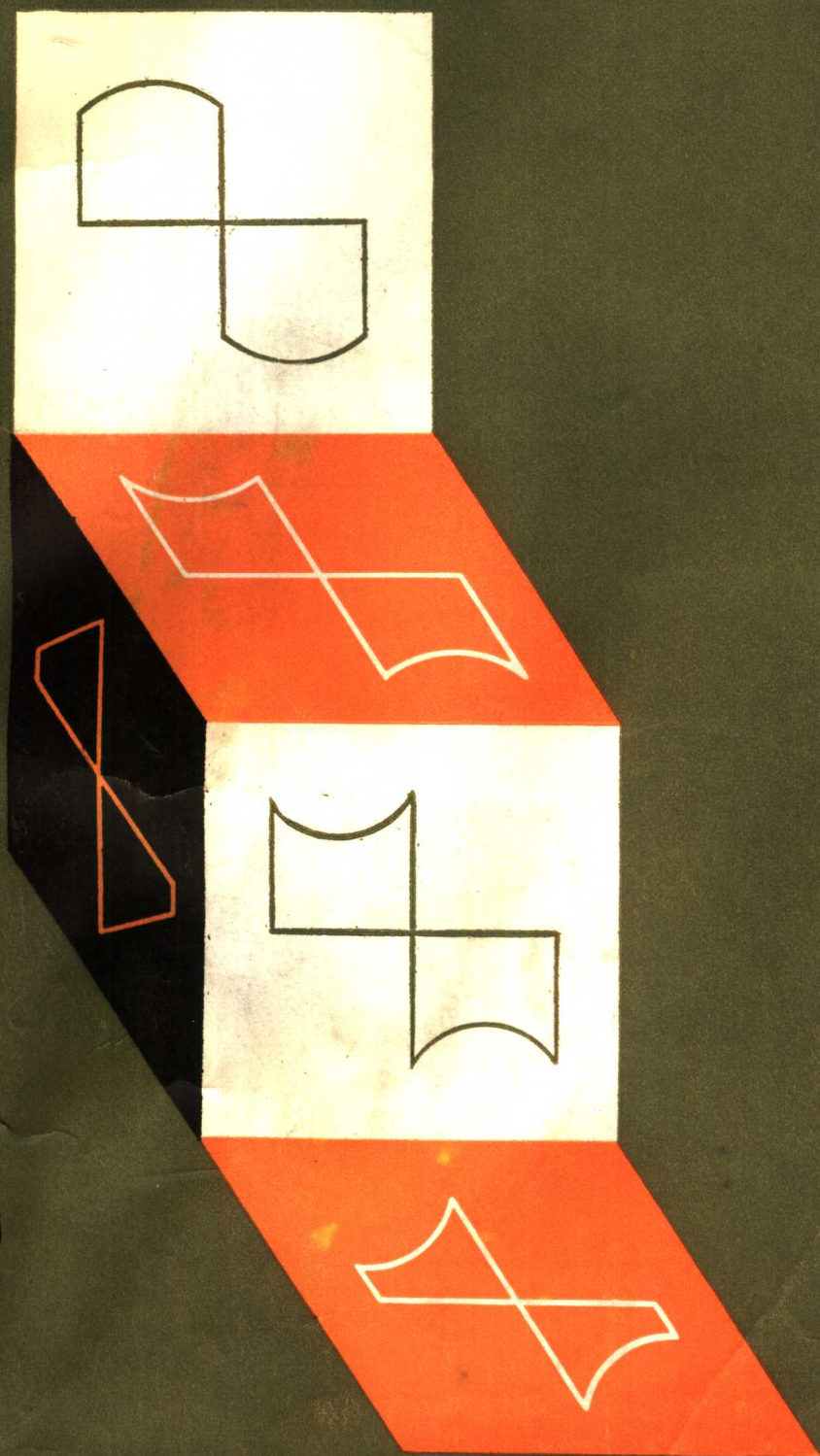


电子测试与实验技术



主编 黄以铭

编著 肖锡湘 邱川弘 朱如琪

电子测试与实验技术

主编 黄以铭

编者 肖锡湘 邱川弘 朱如琪

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是为学习电子技术基本理论、掌握电子实验技术、培养实验研究能力而编写的教材。其内容主要有两部分：一、电子测量技术，包括测量方法、误差分析、电路的调试及常用电子仪器、器件的基本知识等；二、实验研究，重点介绍新型集成器件的实验技术，其中包括一些微机硬件的功能测试与使用，以及新技术的应用。

本书既可作为高等工业院校、电大、高函教育有关专业的教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

电 子 测 试 与 实 验 技 术

主 编 黄以铭

编 者 肖锡湘 邱川强 朱如琪

责任编辑：张卫红

*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河 南 邮 电 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 1/16

1988年3月第一版

印张：16 8/16 页数：132

1988年3月河南第1次印刷

字数：413 千字 插页：2 印数：1-6 000 册

ISBN7115-03427-3/TN

定价：3.60 元

序 言

“电子测试与实验技术”是为读者学习电子技术基本理论、掌握电子实验技术、培养实验研究能力而编写的教材。

编写本书时，力图取材新颖，内容丰富，既注意电子测量基础知识的介绍，又着重实验技能的培养；在器件和电路方面尽可能选用当代电子技术的新产品、新成果，以适应现代化的需要；在内容编排上注意遵循由浅入深、由简到繁，循序渐进的原则，并特别重视启发式教学，以利读者独立思考，提高分析问题和解决实际问题的能力。

全书分两篇：第一篇为电子测试技术，包括电参量的测量方法、误差分析、电子电路的调试，常用电子仪器的原理及使用等基本知识；第二篇是实验研究，重点在于新型集成器件，其中包括一些微型计算机硬件的功能测试与使用，以及新技术的应用。共编有三十个实验项目，可供使用者灵活选择。其中实验1~7及16属基础实验，目的是验证基本理论，训练基本实验技能和熟悉常用电子仪器的使用方法，内容叙述比较详细，而且实验步骤，测试方法及记录表格也作了适当的交待；实验10、14和30分别为模拟和数字电路的综合性实验，从电路设计、组装、调试到最后完善电路的全过程均由实验者独立完成，以培养综合运用所学知识，解决实际问题的能力，这类实验建议分两次进行，一次供查阅资料、设计电路、拟定调试提纲，另一次供实验调试；其余实验均属提高性实验，电路大都取自工程实际和科学研究中的基本单元或者小型综合电路，内容叙述比较简略，仅提出原则要求，由实验者自行拟定实验提纲，目的在于培养读者独立进行科学实验的能力和严谨的工作作风。有的实验项目中还拟出了部分选做内容（以*号标记），每个实验项目后均有一定数量的思考题，用以帮助读者深化认识和扩大知识面。实验所用的器件既可用国内器件也可用国外器件，在附录中备有对照表，便于读者查阅。

编写本书时参考了高等工业学校《电子技术基础教学大纲》（草案）（四年制自动化类和电力类专业试用），并注意从实际出发更新内容，自成体系。该书既可作为高等工业学校、电视大学、高等函授教育“电子技术基础实验”独立设课的教材，也可作为配合“电子技术基础”理论课开设的实验课教材。对于从事电子技术工作的工程技术人员和自学电子技术基础的读者，它也是一本有实用价值的参考书。

参加本书编写工作的有肖锡湘（第1、2章，实验16~21、23、24、27）、黄以铭（第3、5章，实验1、3~8、10、15）、邱川弘（第4章，实验2、9、12、13、14、16）和朱如琪（实验11、22、25、26、28、29、30）。由黄以铭担任主编。康华光教授和江庚和副教授对编写工作给予了热情的指导，并分别审阅了部分书稿，肖锡湘同志校阅了全稿，罗玉兰同志绘制了全部插图。

本书在试用过程中得到了华中工学院电子学教研室同志们热情支持和帮助。在此，向所有为本书编写、出版给予帮助和支持的同志们致谢！

由于学识水平有限，加之时间紧迫，书中必然还有错误和疏漏之处，殷切希望读者给予批评指正。

编者

常 用 符 号

- A 放大倍数、示波管阳极
- A_c 共模电压放大倍数
- A_d 差模电压放大倍数
- A_n 放大器空载时的电压放大倍数
- A_v 放大器带负载时的开环电压放大倍数
- A_{vf} 放大器带反馈时的闭环电压放大倍数
- A_o 真值
- A_p 功率放大倍数(功率增益)
- a 晶闸管阳极
- b 半导体三极管的基极
- C 电容、进位数、修正值
- C_c 隔直电容(耦合电容)
- C_e 发射极旁路电容
- C_f 反馈电容
- C_i 输入电容
- C_o 输出电容
- C_L 负载电容
- $\overline{CS}$ 片选控制(低电平使能)
- CMV 共模输入电压
- CP 触发器的时钟脉冲端
- c 半导体三极管的集电极
- D 二极管
- D_z 稳压二极管
- d 场效应管的漏极
- E 直流电源电压、能量
- E_c 集电极电源电压
- E_E 发射极电源电压
- E_D 漏极电源电压
- E_G 栅极电源电压
- e 半导体三极管的发射极、自然对数的底
- F 反馈系数、触发器
- F_v 电压反馈系数
- f 频率
- f_L 放大器的下限频率
- f_H 放大器的上限频率
- G 控制栅极、逻辑门

g 晶闸管控制极
 g_m 双口有源器件的互导(跨导)
 I, i 电流
 I_s 信号源电流
 I_i 输入电流
 I_o 输出电流
 I_{is} 输入短路电流
 I_{IH} 高电平输入电流
 K_x 示波器X轴偏转灵敏度
 K_y 示波器Y轴偏转灵敏度
 L 负载、电感、电感系数、逻辑函数
 N 电子计数器的计数输入端、扇出系数、绕组匝数
 N_c 空脚
 NF 噪声系数
 n 绕组匝数比
 P_{ON} 空载导通功耗
 P_{OFF} 空载截止功耗
 PD/PGM 功率下降/编程
 P 使能端
 Q 品质因数、静态工作点、触发器的输出端
 R 电阻
 R_b, R_c, R_e 半导体三极管的基极、集电极、发射极电阻
 $\overline{RD}$ 读(低电平使能)
 R_{ces} 三极管饱和时集电极——发射极间电阻
 R_g, R_d 场效应管的栅极、漏极电阻
 R_s 信号源内阻
 R_L 负载电阻
 R_w 电位器(可调电阻)
 r 微变电阻(交流电阻或动态电阻)
 r_{be} 半导体三极管的输入电阻
 r_{ce} 半导体三极管的输出电阻
 r_i 放大器的输入电阻
 r_o 放大器的输出电阻
 S 面积
 SMR 串模抑制比
 S/N 信噪比
 T 温度(绝对温度以K为单位,摄氏温度以 $^{\circ}C$ 表示)、周期、使能
 T_i 变压器
 t 时间
 t_d 延迟时间

t_r 上升时间
 t_{ra} 被测信号上升时间
 t_{pd} 平均传输延迟时间
 t_p 脉冲宽度
 V, v 电压
 V_{CES} 三极管的饱和压降
 V_{CEO} 三极管的截止压降
 V_{cm} 共模干扰电压
 V_{REF} 参考电压
 V_{sm} 干扰源、串模干扰电压
 V_i 输入电压
 V_o 输出电压
 V_{OH} 输出高电平
 V_{OL} 输出低电平
 V_{ON} 开门电平
 V_{OFF} 关门电平
 V_s 信号源电压
 V_{SH} 标准高电平
 V_{SL} 标准低电平
 V_T 场效应管的开启电压、温度的电压当量
 V_P 场效应管的夹断电压
 V_{PP} 峰峰值电压
 V_X 示波管X轴偏转板电压
 V_Y 示波管Y轴偏转板电压
 $\overline{WR}$ 写(低电平使能)
 X, x 电抗、反馈电路中信号量、示值、偏转距离
 ΔX 绝对误差
 Y, y 导纳
 Z, z 阻抗
 α 半导体三极管共基极接法电流放大系数、晶闸管控制角
 β 半导体三极管共发射极接法电流放大系数
 γ 稳压系数失真度
 $\gamma\%$ 相对误差
 η 效率
 θ 整流元件的导电角
 ρ 直接耦合放大器的共模抑制比
 τ 时间常数
 φ 相角
 Ω 电阻的单位(欧姆)
 ω 角频率
 ζ 阻尼系数

目 录

引言.....	(1)
---------	-------

第一篇 电子测试技术

1 电子测量技术基本知识.....	(5)
1.1 概述.....	(5)
1.2 测量误差.....	(7)
1.3 一次测量时误差的估计.....	(11)
1.4 测量结果的处理.....	(13)
2 基本测量技术.....	(16)
2.1 基本测量方法.....	(16)
2.2 电压的测量.....	(20)
2.3 频率和周期的测量.....	(26)
2.4 相位的测量.....	(30)
2.5 阻抗的测量.....	(31)
2.6 电路特性参数的测量.....	(35)
3 调试技术入门.....	(49)
3.1 静态调试.....	(49)
3.2 动态调试.....	(55)
4 常用电子仪器.....	(65)
4.1 示波器.....	(65)
4.2 信号发生器.....	(87)
4.3 万(繁)用表.....	(92)
4.4 JWY—30 B型稳压电源	(96)
4.5 E324型通用电子计数器	(98)
4.6 实验装置.....	(101)
5 元器件基本知识.....	(104)
5.1 电阻器和电位器.....	(104)
5.2 电容器.....	(108)
5.3 电感器和变压器.....	(111)
5.4 电子器件.....	(115)

第二篇 实验研究

引言	(129)
1 常用电子仪器使用练习	(131)
2 单级放大器	(134)
3 场效应管放大器	(138)
4 多级放大器	(140)
5 负反馈放大器	(143)
6 集成运算放大器参数测试	(146)
7 运算放大器的基本运算电路	(150)
8 有源滤波器	(153)
9 波形发生器	(157)
10 简易模拟频率计的设计与调试	(160)
11 光电耦合器	(162)
12 集成稳压电源	(164)
13 OTL 功率放大器	(169)
14 对讲放音装置的设计与调试	(172)
15 单相桥式可控整流电路	(175)
16 逻辑门的测试	(178)
17 组合逻辑电路的设计与调试	(182)
18 J-K 触发器	(185)
19 计数译码显示电路	(189)
20 任意进制计数器	(194)
21 D/A 转换器	(197)
22 A/D 转换器	(201)
23 555 集成定时器	(204)
24 多路转换器	(208)
25 串行移位电路	(212)
26 复合信号产生器	(217)
27 可擦可编程只读存储器 (EPROM)	(221)
28 读写存储器 (RAM)	(225)
29 ASCII 码字符显示器	(229)
30 可编程计数器/定时器设计与调试	(234)
附录 I 常用元件明细表	(236)
附录 II 常用电子器件明细表	(238)
附录 III 常用数字集成电路索引	(243)
参考文献	(254)

引 言

电子测试包括电子测量和电路调试两部分。

电子测量是泛指以电子技术为手段进行的测量。就本书而言，电子测量的对象仅限于各种电参量和电性能的测量。

电路调试包括模拟电路和数字电路的检测与调整。

测量可以帮助我们认识电路，发现电路的问题，而调整则是解决问题、排除故障的过程。调整后的再测量，可判断调整是否正确。测量和调整贯穿于电子设备的设计、制作及应用的全过程，是解决实际问题的关键。因此，电子测试技术是电气工程技术人员必备的实验技能。

本篇重点介绍有关电子测试的基本知识。简要说明电子测量中误差的概念；基本电参量、电性能的测量方法；电路调试的基本规律和方法；以及仪器的合理选择与正确使用。其目的在於为初学者顺利地进行电子技术实验提供基本的测试理论知识。

第 一 篇

电 子 测 试 技 术

电子测量技术基本知识

1.1 概 述

电子测量包括电子测量技术和测量仪器。它的发展与科学技术，特别是与电子技术的发展紧密相关。电子测量为电子技术研究、实验分析提供了条件，而电子技术的发展，特别是近代电子计算科学、物理学和材料科学等的发展又反过来为电子测量提供了新理论、新技术、新仪器，形成相辅相成不可分割的关系。

1. 电子测量的特点

电子测量的主要特点为：

(1) 频率范围宽

频率低端低到 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Hz，高端高达100 GHz，有的已进入可见光范围（约 88×10^{13} Hz）。随着电子技术的发展，目前还在向着更宽频段以至全频段方向发展（如从直流一直到几万兆赫）。

(2) 量程广

普通的欧姆表，可测出几欧至几十兆欧的电阻，量程达六个数量级；晶体管电压表，可测出10 nV至1 kV的电压，量程达十二个数量级；而数字式频率计，其量程甚至可达十七个数量级以上。

(3) 精确度高

频率及时间测量以原子频标和原子秒作基准，精确度达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级，是目前物理量测量中最精确的。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子的运动来进行的，因而可实现测量过程的高速度。

(5) 便于实现遥测、遥控

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测、遥控。这对于远距离（包括人造卫星、导弹、其它星球等）或人体难以接近的地方的测量具有特殊的意义。

(6) 易于实现测量过程自动化

随着电子计算技术的发展，出现了微型计算机和电子仪器相结合的新的测试系统，可以进行自动测量、自动记录、自动完成数据的运算、分析和处理，使电子仪器成为“智能”仪器，便于组成自动化系统。

2. 电子测量的内容

电子测量的内容很广，对于基本电量的测量内容有：

(1) 电能量的测量

包括电流(I)、电压(V)、功率(P)、电场强度(E)等。

(2) 电路参数的测量

包括电阻(R)、电容(C)、阻抗(Z)、品质因数(Q)等。

(3) 电信号波形特征的测量

包括频率(f)、周期(T)、相位(ϕ)、失真度($\gamma\%$)等。

(4) 电子设备性能的测量

包括放大(衰减)量(A)、灵敏度(S)、通频带(B)、共模抑制比($\rho = A_d/A_c$)、信噪比(S/N)等。

(5) 特性曲线的显示

包括器件和电路的特性曲线。

3. 测量方法

根据不同情况测量方法有多种。例如根据测量过程中被测量是否随时间变化,可分为静态测量与动态测量;根据测量数据是否通过对基准量的测量而求得,可分为绝对测量与相对测量;根据测量条件可分为等精度测量与非等精度测量;根据所得结果的获取方法可分为直接测量与间接测量,以及在此两类基础上发展的组合测量等。在电子测量技术中,较常采用的是静态测量与动态测量以及直接测量与间接测量的方法。

静态测量一不加输入信号或加固定电位时的测量。例如测放大电路的静态工作点和集成逻辑门的逻辑关系等。

动态测量一外加适当频率和适当幅值的输入信号时的测量。例如测放大电路的放大倍数,观测电路的线性失真和非线性失真等。

直接测量一被测量的量值被直接显示。例如用电压表测电压,用电桥测电阻,用通用电子计数器测频率等。

间接测量一对几个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过公式计算,或查曲线、表格求出被测量。例如,测某一电路电流I时,先直接测出电阻R的阻值和两端的电压值V,然后由公式 $I = V/R$ 求出被测量I的值。

4. 测量标准

测量中采用的具有标准化计量性能的工具称测量器具。测量器具分为量具和测量仪器。量具是用来复制标准量的器具,测量仪器用来形成便于观察者直接接受的信号。测量仪器分模拟式和数字式两种,前者的示值是随被测量变化的连续函数,后者的示值以数字形式表示,测量精确度较高。

为了保证测量的精确度和稳定性,国家为各种基本物理量规定了基准和标准。

所谓基准,是以法定基本单位的定义为依据,用当代最先进的科学技术及工艺手段建立起来的、用来复现基本单位且具有最高精确度的测量器具或仪器。一般将基准划分为三级。一级基准为主基准,又称为原始基准,常用来充当国家基准。二级基准为各种用途的副基准,又称次基准,用来代替主基准向下一级传递量值。三级基准为各种工作基准,用来直接向下属标准量具和测量仪器进行量值传递。实际上,基准并不限于具体器具或仪器,也可能为某种特定条件下的标准物质。如国际单位制中的温度基准是利用水的三相点(即固相、液相和气相的平衡点)来实现的。基准器量值的大小也并不一定刚好等于一个计量单位,如标

准电池复现的是1.0186 V。

为了保证基准器的最高精确度和稳定性，基准器是不宜经常动用的。于是根据基准器复现出各种不同等级、便于使用的标准量具和仪器，即为标准。按精度高低又分一级标准、二级标准和三级标准。物理量的量值便是通过基准和各级标准向日常工作仪器传递的。

了解基准和标准可以帮助我们确定仪表的修正值和测量误差，以便进行误差分析，正确处理测量结果。

1.2 测量误差

利用任何量具或仪器（包括基准器和标准器）进行测量时总存在着误差，故测量结果总不可能准确地等于被测量的真值（被测量的真实大小）。

测量误差按表示方法、误差性质、误差来源等的分类情况如表1.2—1所示。

表1.2—1

测量误差的分类

分类方法	测量误差	说明
按表示方法分类	绝对误差	仪器误差常用容许误差来表示绝对误差
	相对误差	其中有示值相对误差、实际相对误差、满度相对误差、对数相对误差，…等
	容许误差 (极限误差)	其中有工作误差、固有误差、影响误差、稳定误差或基本误差、附加误差 既可用绝对误差，也可用相对误差来表示
按误差性质分类	系统误差	有恒定系统误差和变值系统误差
	随机误差	又称偶然误差，大多都服从正态分布规律
	过失误差	又称粗大误差或差错
按误差来源分类	仪器误差	与仪器本身机械、电气性能有关
	使用误差	与安装、接线、调零、操作、…有关
	人身误差	人为原因引起
	影响误差	与温度、湿度、大气压、电源波动、电磁干扰、机械振动、其它因素有关
	方法误差	由测量所依据的理论不严格引起

1. 误差的表示方法

(1) 绝对误差

令被测量的真值为 A_0 ，测量仪器的示值为 x ，于是绝对误差为

$$\Delta x = x - A_0$$

由于真值 A_0 一般无法求得，故常用高一级标准仪器测量的示值 A 代替真值，则

$$\Delta x = x - A$$

在测量前，测量仪器应由高一级标准仪器进行校正，校正量常用修正值 C 表示。对于被

测量, 高一级标准仪器的示值减去测量仪器的示值得到的值, 就是修正值。实际上, 修正值就是绝对误差, 只是符号相反

$$C = -\Delta x = A - x$$

利用修正值便可得该仪器所测量的实际值

$$A = x + C$$

例如, 用电流表测量电流时, 电流表的示值为0.78mA, 通过检定得出其修正值为-0.02mA。则被测电流的真值为

$$A = 0.78 + (-0.02) = 0.76\text{mA}$$

修正值给出的方式可以是曲线、公式或数表。对于自动测量仪器, 修正值则预先编制成有关程序, 存于仪器中, 测量时对误差进行自动修正, 所得结果便是实际值。

(2) 相对误差

为了说明测量精确度的高低, 经常采用相对误差的形式。

• 实际相对误差

实际相对误差是绝对误差 Δx 与被测量实际值 A 的百分比值

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

如前例, 已知 $\Delta x = -C = 0.02\text{mA}$, $A = 0.76\text{mA}$

则
$$\gamma_A = \frac{0.02}{0.76} \times 100\% = 0.02632 \times 100\% \approx 2.6\%$$

• 示值相对误差

示值相对误差是绝对误差 Δx 与仪器的示值 x 的百分比值

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

实际中, 常用 γ_x 来表示相对误差。

例如, 用频率计测频率时, 若示值为20kHz, 频率计的修正值为-2Hz, 则

$$\gamma_x = \frac{2}{20000} \times 100\% = 0.01\%$$

又如, 若用修正值为-0.2Hz的频率计测得的频率为200Hz, 则

$$\gamma_x = \frac{0.2}{200} \times 100\% = 0.1\%$$

由上述两例可见, 尽管后例的绝对误差小于前例, 但后例的相对误差却大于前例。因此, 前例的测量准确度实际上比后例高。

• 满度相对误差

满度相对误差是绝对误差 Δx 与仪器满度值 x_m 的百分比值

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由 γ_m 决定的。如1.5级的电表, 表明 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按 γ_m 值共分七级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5及5.0。

由于 γ_m 是与绝对误差 Δx 成正比的, 所以当仪表等级 S 已定, 即 γ_m 已知时, 在同一量程内绝对误差基本上为常数。