



高等学校电气工程与自动化专业教材

现代检测技术

陈平 罗晶 编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电气工程与自动化专业教材

现代检测技术

陈 平 罗 晶 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书以检测功能为主线,重点放在检测方案的制定、传感器的选择、传感器输出信号的处理、检测系统的误差分析等相关知识的讲解上。

本书主要由误差理论、信号的检测和信号的调理三部分组成。在误差理论中讲述误差的性质和理方法,及误差的合成与分配问题。在信号的检测中主要介绍频率、周期、相位、电压、电流等电量参数的测量和温度、压力、流量、物位等非电量参数的测量。在信号的调理中,重点介绍一些最新的信号调理集成芯片的功能、特点和使用方法。

本书具有内容精练、实用性强、注重新技术和新成果的应用及易于自学等特点,可作为高等学校电类非测量专业本科生的教材,也可作为有关工程技术人员参考或学习用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术/陈平,罗晶编. —北京:电子工业出版社,2004.5

高等学校电气工程与自动化专业教材

ISBN 7-5053-9906-3

I. 现… II. ①陈… ②罗… III. 信号检测—高等党校—教材 IV. TN911 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 040746 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷 者:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:13.75 字数:330 千字

印 次:2004 年 5 月第 1 版

印 数:5 000 册 定价:18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是为电气工程与自动化专业本科生编写的教材。

本书主要由三部分组成。第一部分是误差理论(第1章和第2章),介绍误差的基本概念,误差产生的原因,判断误差存在的准则,减小或消除误差的方法,测量信号的处理方法,误差的合成与分配,最佳测试方案的选择。第二部分是电量和非电量信号的测量问题(第3章到第9章),首先介绍测量仪表的基本特性。在电量参数的测量中,主要介绍频率、周期、相位的测量和电压、电流的测量;在非电量参数的测量中,主要介绍温度、压力、流量和物位的测量方法。第三部分是检测信号的处理(第10章到第12章)。其中第10章介绍检测信号的放大技术,包括测量电桥、仪表放大器和隔离放大器;第11章介绍几种常用的模拟滤波器,第12章介绍检测信号的转换问题,包括频率/电压转换、电压/频率转换、电压/电流转换等。

考虑到电气工程与自动化专业的学生在今后的工作中,更多的是制定检测方案、选择传感器以及对现有传感器的测量误差进行分析,因此本书用了较大的篇幅对误差理论进行了详细的论述。在对电量、非电量的测量中,本书以被测量划分(如温度、压力),而不是根据工作原理划分(如电阻式、电容式、压电式),这样有利于对各物理参数的测量方法进行比较,更具实用性。在信号的调理技术上,本书重点介绍一些最新集成电路的功能及特点,因为现在集成电路的发展很快,一片集成电路往往可以代替以往的数片集成电路,而且价格便宜,可靠性高。只有及时了解最新集成电路的功能及特点,才能用最少的器件设计出性能最优、功能最强的信号调理电路。

本书在编写过程中,得到了哈尔滨工业大学陈守仁教授的指导和帮助,AD公司的廖文帅先生提供了大量的技术资料,电子工业出版社的陈晓莉编辑给予了大力支持,编者在此表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,书中错误或不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004年3月

于哈尔滨工业大学

目 录

绪论	(1)
第 1 章 误差的性质及处理方法	(4)
1.1 误差的基本概念及分类	(5)
1.1.1 误差的表示方法	(5)
1.1.2 误差的分类	(8)
1.2 随机误差	(10)
1.2.1 随机误差的统计特性	(11)
1.2.2 随机误差的评价指标	(12)
1.3 系统误差	(14)
1.3.1 系统误差的发现	(15)
1.3.2 系统误差的削弱或消除	(17)
1.4 粗大误差	(20)
1.4.1 粗大误差产生的原因	(20)
1.4.2 判别粗大误差的准则	(20)
1.4.3 防止与消除粗大误差的方法	(23)
习题与思考题	(23)
第 2 章 误差的合成与分配	(25)
2.1 函数误差	(25)
2.2 随机误差的合成	(26)
2.3 系统误差的合成	(26)
2.3.1 已定系统误差的合成	(26)
2.3.2 系统不确定度的合成	(27)
2.4 误差的分配	(29)
2.4.1 按算术合成时的误差分配	(29)
2.4.2 按几何合成时的误差分配	(30)
2.5 最佳测量方案的选择	(30)
习题与思考题	(32)
第 3 章 测量仪表的基本特性	(33)

3.1 测量仪表的数学模型	(33)
3.1.1 静态模型	(33)
3.1.2 动态模型	(33)
3.2 测量仪表的静态特性	(34)
3.2.1 精确性	(34)
3.2.2 稳定性	(35)
3.2.3 仪表静态输入/输出特性	(36)
3.3 测量仪表的动态特性	(37)
3.3.1 阶跃响应特性	(38)
3.3.2 频率响应特性	(39)
习题与思考题	(40)
第4章 频率、周期、相位的测量	(41)
4.1 频率的模拟测量	(41)
4.1.1 文氏电桥测频法	(41)
4.1.2 谐振法测频	(43)
4.1.3 频率/电压转换法测频	(43)
4.2 频率、周期的数字化测量	(44)
4.2.1 电子计数器的原理	(44)
4.2.2 用电子计数器测量频率	(45)
4.2.3 用电子计数器测量周期	(45)
4.2.4 用电子计数器测量时间间隔	(46)
4.2.5 用电子计数器测量频率比	(46)
4.2.6 电子计数器的误差分析	(47)
4.3 相位的数字化测量	(48)
4.3.1 相位测量的基本原理	(48)
4.3.2 相位/电压式相位计	(49)
4.3.3 相位/时间转换法	(51)
习题与思考题	(53)
第5章 电压、电流的测量	(54)
5.1 直流电压的测量	(54)
5.1.1 普通直流电压表	(54)
5.1.2 直流电子电压表	(57)
5.1.3 直流数字电压表	(58)
5.2 交流电压的测量	(58)

5.2.1	交流电压的表征	(58)
5.2.2	交流电压的测量方法	(61)
5.3	电流的测量	(67)
5.3.1	电流表直接测量法	(67)
5.3.2	电流/电压转换法	(68)
5.3.3	电流/磁场转换法	(68)
5.3.4	电流互感器法	(69)
	习题与思考题	(70)
第 6 章	温度的测量	(72)
6.1	温标及测量方法的分类	(72)
6.2	热电偶	(74)
6.2.1	热电效应	(74)
6.2.2	热电偶的基本原理	(74)
6.2.3	热电偶基本定律	(76)
6.2.4	热电偶测温原理和方法	(76)
6.2.5	热电偶参比端的处理	(79)
6.3	热电阻	(81)
6.3.1	热电阻的特点	(81)
6.3.2	材质和分度表	(82)
6.4	热敏电阻	(84)
6.4.1	热敏电阻的类型和特点	(84)
6.4.2	NTC 型热敏电阻的特性	(85)
6.5	AD590 热力学温度/电流变换器	(86)
	习题与思考题	(87)
第 7 章	压力的测量	(89)
7.1	压力的概念和单位	(89)
7.1.1	压力的概念	(89)
7.1.2	压力计量单位	(90)
7.2	弹性压力传感器	(90)
7.2.1	弹簧管	(90)
7.2.2	波纹管	(91)
7.2.3	膜片与膜盒	(91)
7.2.4	弹性压力传感器的电测量方法	(92)
7.3	应变片式压力传感器	(95)

7.3.1	电阻应变效应	(95)
7.3.2	电阻应变片的结构	(96)
7.3.3	电阻应变片的工作原理	(97)
7.4	压电式压力传感器	(98)
7.4.1	压电效应	(98)
7.4.2	压电式压力传感器的结构	(98)
7.4.3	压电元件的等效电路	(99)
7.5	压力传感器的选择	(100)
	习题与思考题	(101)
第8章	流量的测量	(102)
8.1	差压式流量计	(103)
8.2	容积式腰轮流量计	(104)
8.3	流体阻力式流量计	(106)
8.3.1	靶式流量计	(106)
8.3.2	转子流量计	(107)
8.4	振动式涡街流量计	(109)
8.5	速度式流量计	(111)
8.5.1	叶轮式流量计	(111)
8.5.2	涡轮式流量计	(112)
8.5.3	电磁流量计	(113)
8.5.4	超声波流量计	(115)
8.6	科里奥利质量流量计	(119)
	习题与思考题	(121)
第9章	物位的测量	(122)
9.1	压力式物位计	(122)
9.2	浮力式液位计	(123)
9.2.1	浮子式(恒浮力式)液位计	(124)
9.2.2	浮筒式(变浮力式)液位计	(125)
9.3	电容式物位计	(126)
9.3.1	电极结构及工作原理	(126)
9.3.2	电容式物位计的测量线路	(130)
9.4	超声波物位传感器	(133)
9.4.1	基本原理及方案	(133)
9.4.2	声速校正	(135)

9.4.3 液位测量的近限与远限	(137)
9.5 放射性物位仪表	(138)
9.5.1 核辐射的基本特性	(138)
9.5.2 放射性液位计	(140)
9.5.3 使用放射性物位计时的防护	(141)
习题与思考题	(142)
第 10 章 检测信号的放大	(143)
10.1 测量电桥	(143)
10.1.1 电桥的分类	(143)
10.1.2 测量电桥的工作原理	(145)
10.2 仪表放大器	(148)
10.2.1 仪表放大器的原理	(148)
10.2.2 仪表放大器的技术指标	(149)
10.2.3 AD624 管脚可编程精密仪表放大器	(154)
10.2.4 AD526 软件可编程仪表放大器	(157)
10.3 隔离放大器	(160)
10.3.1 变压器耦合隔离放大器 AD202/204	(161)
10.3.2 光电耦合隔离放大器 ISO100	(165)
10.3.3 电容耦合隔离放大器 ISO102/106	(169)
习题与思考题	(174)
第 11 章 检测信号的模拟滤波	(175)
11.1 理想滤波器	(175)
11.2 实际滤波器基本参数	(176)
11.3 低通滤波器	(178)
11.4 高通滤波器	(181)
11.5 带通滤波器	(181)
11.6 带阻滤波器	(182)
习题与思考题	(183)
第 12 章 检测信号的变换	(184)
12.1 电压/频率转换电路	(184)
12.1.1 电荷平衡式电压/频率转换电路	(184)
12.1.2 复位式电压/频率转换电路	(186)
12.2 频率/电压转换电路	(187)
12.3 集成电压/频率、频率/电压变换器 AD650	(188)

12.4 电压/电流转换电路	(193)
12.5 集成电压/电流变换器	(194)
12.5.1 AD693 环路供电 4~20mA 传感器变送器	(194)
12.5.2 AD694 高精度 4~20mA 传感器变换器	(202)
习题与思考题	(206)
主要参考文献	(207)

绪 论

1. 检测与测量的概念

检测主要包括检验和测量两方面的含义。检验是分辨出被测参数量值所归属的某一范围带,以此来判别被测参数是否合格或现象是否存在。测量是把被测未知量与同性质的标准量进行比较,确定被测量对标准量的倍数,并用数字表示这个倍数的过程。

在自动化领域,检测的任务不仅是对成品或半成品的检验和测量,而且为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象使之处于人们选定的最佳状况,需要随时检验和测量各种参量的大小和变化等情况。这种对生产过程和运动对象实时定性检验和定量测量的技术又称为工程检测技术。

测量有两种方式,即直接测量和间接测量:

直接测量是在对被测量进行测量时,对仪表读数不经任何运算,直接得出被测量的数值。如用温度计测量温度,用万用表测量电压。

间接测量是测量几个与被测量有关的物理量,通过函数关系式计算出被测量的数值。如功率 P 与电压 V 和电流 I 有关,即 $P = I \cdot V$,通过测量的电压和电流,计算出功率。

直接测量简单、方便,在实际中使用较多。但在无法采用直接测量方式、直接测量不方便或直接测量误差大等情况下可采用间接测量方式。

2. 传感器与敏感器的概念

传感器是将非电量转换为与之有确定对应关系的电量输出的器件或装置,它本质上是非电量系统与电量系统之间的接口。传感器是必不可少的转换器件。从能量的角度出发,可将传感器划分为两种类型,一类是能量控制型传感器(也称有源传感器),一类是能量转换型传感器(也称无源传感器)。能量控制型传感器是指传感器将被测量的变化转换成电参数(如电阻、电容)的变化,传感器需外加激励电源,才可将电参数的变化转换成电压、电流的变化。如铂电阻温度传感器,铂电阻阻值随被测温度的变化而变化,需外加电桥电路,才可将阻值的变化转换成电压的变化。而能量转换型传感器可直接将被测量的变化转换成电压、电流的变化,不需外加激励电源,如热电偶、光电池、压电传感器等。

在很多情况下,所要测量的非电量并不是我们所持有的传感器所能转换的那种非电量,这就需要在传感器前面增加一个能把被测非电量转换为该传感器能够接收和转换的非电量(即可用非电量)的装置或器件。这种把被测非电量转换为可用非电量的器件或装置称为敏感器。例如用电阻应变片测量电压时,就要将应变片粘贴到受压力的弹性元件上,弹性元件将压力转换为应变,应变片再将应变转换为电阻的变化。这里应变片便是传感器,而弹性元件便是敏感器。敏感器和传感器虽然都是对被测非电量进行转换的,但敏感器是把被测量转换为可用非电量,而传感器是把被测非电量转换为电量。

3. 检测系统的结构

由于被测对象复杂多样,检测系统的结构也不尽相同。一般检测系统是由传感器、信号调理器和输出环节三部分组成的。

传感器处于被测对象与检测系统的接口处,是一个信号变换器。它直接从被测对象中提取被测量的信息,感受其变化,并转化成便于测量的电参数。

由传感器检测到的信号一般为电信号。它不能直接满足输出的要求,需要进一步的变换、处理和分析,即通过信号调理电路将其转换为标准电信号,输出给输出环节。

根据检测系统输出的目的和形式不同,输出环节主要有:显示与记录装置,数据通信接口和控制装置。

传感器的信号调理电路是由传感器的类型和对输出信号的要求决定的。不同的传感器具有不同的输出信号。能量控制型传感器输出的是电参数的变化;需采用电桥电路将其转换成电压的变化,而电桥电路输出的电压信号幅值较小,共模电压又很大,需采用仪表放大器进行放大;在能量转换型传感器输出的电压、电流信号中一般都含有较大的噪声信号,需加滤波电路将有用信号提取,而滤除无用的噪声信号。而且,一般能量型传感器输出的电压信号幅度都很低,也需采用仪表放大器进行放大。

随着检测要求的提高和传感技术的发展,使得信号的变换和处理技术不断进步,内容也越来越丰富。目前,常用的硬件信号调理方法有测量电桥、信号放大、信号隔离、硬件滤波、V/F转换、F/V转换和V/I转换等,一般被称为模拟信号调理技术。

4. 本书的目的

本书是为电气工程及自动化专业的本科生编写的一本教材。通过本课程的学习,学生具有以下能力。

(1) 对现有的测量系统的测量误差具有分析能力

认识误差的性质和特点,分析误差产生的原因,在一定条件下尽量减小或消除误差;

根据误差合成理论,分析现有测量系统的测量精度;对测量数据进行处理,以便在一定条件下得到更接近于真值的数据。

(2) 具有选择传感器的能力

掌握各种电量的测量方法,各种非电量传感器的工作原理、特点和应用范围。根据对传感器的应用范围和测量精度的要求,选择传感器。

(3) 具有设计信号调理电路的能力

对传感器检测到的微弱电信号进行处理,将其转换成标准信号。

(4) 具有组成自动检测系统的能力

在设计检测系统时,根据对检测系统精度的要求及误差分配原则,制定测量方案,选择传感器,设计信号调理电路,使检测系统具有最佳的性能价格比。

第 1 章 误差的性质及处理方法

测量的目的就是获得被测量的真值。所谓真值就是在一定的条件下,物理量本身所具有的真实大小。在实际测量过程中,一方面周围环境会影响被测对象的状态,而且这种影响在不断地变化;另一方面测量系统也会不同程度地改变被测对象的原有状态。因此,测量结果反映的并不是被测对象原来的面貌,而是一种近似,即任何测量的测量结果与真值都有一定的差异,这种差异就是测量误差。误差的大小代表了测量精度的高低。误差越大,精度越低;误差越小,精度越高。不存在没有误差的测量结果,也不存在没有精度要求的测量系统。精度(误差)是一项重要的技术指标。

随着科学技术的发展和人们认识水平的提高,人类虽然可以将误差控制得越来越小,但终究不能完全消除它。误差存在的必然性和普遍性,已为大量实践所证明。为了充分认识误差、减小误差甚至消除误差,必须对测量误差进行研究。

研究误差理论的目的主要有三个方面:其一是为了认识误差的性质和特点,分析误差产生的原因,在一定条件下尽量减小或消除误差;其二是根据测量精度的要求,合理选择测量仪器和测量方法,以便在最经济的条件下,得到理想的测量结果;其三是正确处理测量数据,以便在一定条件下得到更接近于真值的数据。

任何测量总是不可避免地存在误差。为了提高测量精度,必须对各种误差的性质、出现规律、产生原因进行研究,找到消除或减少误差的方法,并对测量结果进行评定。根据误差的性质,测量误差可分为三类:随机误差、系统误差和粗大误差。根据误差理论可知,任何一次测量都存在随机误差和系统误差。在一般工程测量中,系统误差远大于随机误差。相对来讲,随机误差可以忽略不计,而只需处理和估计系统误差。在精密测量中,系统误差已消除或小到可以忽略不计的程度。在这种情况下,随机误差显得特别重要,在处理和估计误差中,只需考虑随机误差即可。当系统误差和随机误差都不能忽略时,系统误差和随机误差应分别处理和估计,然后按一定的方式合成最后的系统误差和随机误差,估计出测量结果的精确度。

1.1 误差的基本概念及分类

1.1.1 误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差是测量值(示值)与被测量真值之间的差值。用 A_0 表示真值, x 表示测量值(示值), 则绝对误差 Δx 可表示为

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1.1)$$

绝对误差有大小、符号和单位。

由于真值 A_0 一般是未知的, 所以在实际测量中, 常用被测量的实际值 A 来代替真值 A_0 。被测量的实际值通常是用上一级标准(或基准)仪器的示值来代替的。必需指出, A 并不等于 A_0 , 一般来说, A 总比 x 更接近于 A_0 。所以有

$$\Delta x \approx x - A \quad (1.2)$$

修正值是指绝对值与 Δx 相等、但符号相反的值, 常用 C 表示, 即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1.3)$$

通过检定, 可以由上一级标准(或基准)给出受检测系统的修正值。利用修正值便可求出检测系统的实际值

$$A = x + C \quad (1.4)$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值, 它既可以是一条曲线, 也可以是一个公式或一份数值表。在某些自动测试系统中, 为了提高测量精度, 减少测量误差, 通常将修正值预先编制成有关程序存入仪器中, 根据测量结果, 自动对误差进行修正。

2. 相对误差

绝对误差的表示方法有不足之处, 因为它不能反映测量结果的准确程度。例如测量两个电阻, 其中 $R_1 = 10\Omega$, 绝对误差 $\Delta R_1 = 0.1\Omega$; $R_2 = 1000\Omega$, 绝对误差 $\Delta R_2 = 1\Omega$; 尽管 $\Delta R_1 < \Delta R_2$, 但不能由此得出测量电阻 R_1 比测量电阻 R_2 准确程度高的结论。因为 $\Delta R_1 = 0.1\Omega$ 相对于 $R_1 = 10\Omega$ 来讲是 1% , 而 $\Delta R_2 = 1\Omega$ 相对于 $R_2 = 1000\Omega$ 来讲是 0.1% , 所得结论是 R_2 的测量比 R_1 的测量更准确。因此, 为了反映测量质量的高低, 需引用相对误差的概念。

绝对误差与真值的比值称为相对误差, 通常用百分数表示。用 γ 表示相对误差, 则有

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1.5)$$

相对误差只有大小和符号,而无单位。

通常 x 和 A_0 很接近,所以有

$$\gamma \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.6)$$

对于相同的被测量,绝对误差可以评定其测量精度的高低,但对于不同的被测量,绝对误差就难以评定其测量精度的高低,而采用相对误差来评定较为确切。

3. 引用误差(或满度相对误差)

引用误差是为了评价测量仪表准确度等级而引入的,因为绝对误差和相对误差均不能客观、正确地反映测量仪表准确度的高低。引用误差 γ_n 定义为绝对误差与测量仪表的量程 x_m 之比,用百分数表示,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1.7)$$

测量仪表的各指示(刻度)值的绝对误差有正、有负,有大、有小。所以,测量仪表的准确度等级应用最大引用误差,即绝对误差的最大绝对值 $|\Delta x|_m$ 与量程之比,若用 γ_{mn} 表示最大引用误差,则有

$$\gamma_{mn} = \frac{|\Delta x|_m}{x_m} \times 100\% \quad (1.8)$$

国家标准 GB776—76《测量指示仪表通用技术条件》规定,电测仪表的准确度等级指数 α 分为:0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5,5.0 等 7 个等级。它们的基本误差(最大引用误差)不能超过仪表准确度等级指数 α 的百分数,即

$$\gamma_{mn} \leq \alpha\%$$

例如,1.5 级的电表,就表明其 $\gamma_{mn} \leq 1.5\%$ 。并在其面板上标以 1.5 的符号。

【例 1.1】 检定一台量程为 5A 1.5 级的电流表,在电流为 2.0A 处,其绝对误差为 0.1A,问此电流表精度是否合格?

解:根据题意 $I_m = 5A, \alpha = 1.5, I = 2.0A, \Delta I = 0.1A$

$$\gamma_n = \frac{\Delta I}{I_m} \times 100\% = 2.0\% > 1.5\%$$

即 $\gamma_n > \alpha\%$,该电流表精度不合格,可作为 2.5 级电流表使用。

【例 1.2】 测量一个约 80V 的电压,现有两块电压表,一块量程为 300V 0.5 级,另一块量程为 100V 1.0 级,问选择哪一块电压表好?

解:使用 300V 0.5 级电压表,相对误差为

$$\gamma_1 = \pm 0.5\% \times \frac{300V}{80V} = \pm 1.88\%$$

使用 100V 1.0 级电压表, 相对误差为

$$\gamma_2 = \pm 1.0\% \times \frac{100\text{V}}{80\text{V}} = \pm 1.25\%$$

使用 100V 1.0 级电压表, 相对误差较小, 应采用 100V 1.0 级电压表。

从上例可以看出, 精度高的仪表, 测量某一被测量的相对误差不一定小。在选择仪表时, 应尽量使被测量 x 靠近满度值 x_m , 至少 $x \approx \frac{2}{3}x_m$ 。

4. 容许误差

容许误差是指测量仪器在使用条件下可能产生的最大误差范围, 它是衡量仪器的重要指标, 测量仪器的准确度、稳定度等指标皆可用容许误差来表征。

容许误差通常用绝对误差表示, 一般有以下三种形式可供选择:

$$\Delta x = \pm (a\% \cdot x + b\% \cdot x_m) \quad (1.9)$$

$$\Delta x = \pm (a\% \cdot x + n) \quad (1.10)$$

$$\Delta x = \pm (a\% \cdot x + b\% \cdot x_m + n) \quad (1.11)$$

式中 Δx ——容许误差;

a ——误差的相对项系数;

x ——被测量的指示值;

b ——误差的固定项系数;

x_m ——测量仪表的满度值。

$a\% \cdot x$ 为读数误差, 与读数成正比。 $b\% \cdot x_m$ 不随读数变化, 在 x_m 一定时, 它是一个固定值, 称为满度误差。 n 为数字测量仪器显示的最后一位。

【例 1.3】 用一台 4 位的数字电压表的 5V 量程分别测量 5V 和 0.1V 电压, 已知该仪表的基本误差为 $\pm 0.01\%U_x \pm 1$ 个字, 求由于该仪表的基本误差引起的测量误差。

解: 4 位数字 5V 量程 ± 1 个字相当于 $\pm 0.001\text{V}$ 。

(1) 测量 5V 电压时, 绝对误差:

$$\Delta U_1 = \pm 0.01\% \times 5\text{V} \pm 0.001\text{V} = \pm 0.0015\text{V}$$

相对误差:

$$\gamma_1 = \frac{\Delta U_1}{U_1} = \frac{\pm 0.0015}{5} \times 100\% = \pm 0.03\%$$

(2) 测量 0.1V 电压时, 绝对误差:

$$\Delta U_2 = \pm 0.01\% \times 0.1\text{V} \pm 0.001\text{V} = \pm 0.001\text{V}$$

相对误差: