

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

检测技术及 电磁兼容性设计

JIANCE JISHU JI DIANCI JIANRONGXING SHEJI

邹云屏

华中理工大学出版社



检测技术及电磁兼容性设计

邹云屏

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

检测技术及电磁兼容性设计/ 邹云屏

武汉: 华中理工大学出版社, 1995 年 8 月

ISBN 7-5609-1173-0

I. 检…

II. 邹…

III. ①自动检测-测试技术 ②电磁兼容性-设计

IV. ①TP274 ②TN03

检测技术及电磁兼容性设计

邹云屏

责任编辑 叶见欣

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编: 430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

湖北省社会科学院印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 12 字数: 300 000

1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1-2 000

ISBN 7-5609-1173-0/TP·156

定价: 6.75 元

内 容 简 介

本书侧重于对检测系统的各种传感器的工作原理、测量电路、误差分析及其补偿方法的论述,为使内容具有完整性、系统性,对精度理论也作了适当的讲述;而在电磁兼容性设计中,则侧重于对干扰源、干扰的耦合方式、抑制干扰的技术措施等的分析。本书在内容的深度与广度、理论与实践的结合等方面作了合理的安排,并力求增强内容的实用性。

本书可作为大专院校工业自动化、电气自动化、应用电子技术等自动控制类专业开设“自动检测技术”课程的教材,亦可作为从事检测技术和抗干扰技术研究、设计和应用的科技人员的参考书。

前 言

现今,检测技术的重要性已越来越被人们所重视,其发展速度也越来越快。目前,有关的资料和教科书已有不少,但是,绝大多数都是为自动化仪表专业编写的。本书是作者根据多年来“自动检测技术”课程的教学经验,并吸收国内外有关著作的精华,结合应用电子技术、工业自动化类专业开设“自动检测技术”课程的特点编写而成的。在第一、二版“自动检测技术”胶印讲义的基础上,经过教学实践,总结提高,为适应检测技术不断发展的新形势的需要,增删修订,特别是电磁兼容性技术的发展,已日益受到重视,因此加强了对电磁兼容性技术的讨论。由此,也将书名定为“检测技术及电磁兼容性设计”。

本书在内容深度与广度、理论与实践的结合等方面,作了合理的安排。对基本原理、基本方法,力求讲深、讲透,图文并茂。每章均附有习题,供复习时选用。

本书对于检测系统,侧重于传感器的工作原理、测量线路、误差分析及其补偿方法的论述,为使讲授内容具有完整性、系统性,增写了精度理论基础;对于电磁兼容性技术,从设计的角度出发,侧重于对干扰源、干扰的耦合方式、干扰的抑制技术的分析。全书共分三章:

第一章,检测的基本概念及精度理论基础。介绍了检测的基本概念,检测仪表的功能、性能。同时,着重讲述了精度理论的基本知识,各类误差的特点,测量系统的静态误差等。

第二章,传感器原理。着重讲述几种(如电阻、电感、电容、压磁、压电、光电、霍尔、激光、光纤等)常用典型传感器的工作原理、测量线路、误差分析及补偿方法。对机器人传感器和家用电器传感

器的现状及其发展,也作了较详细的介绍,为进一步研究打下一定的基础。

第三章,检测装置的电磁兼容性设计。在介绍电磁兼容性设计基本概念的基础上,重点讲述了抑制电磁干扰的技术措施,元器件的合理布局与布线,并对模拟电路和数字电路的抗干扰设计以及电子测量装置的防护作了详细的讨论,并对电磁干扰的测试作了适当的介绍。这些,对读者研究一般电子设备和装置的抗干扰,都是行之有效的办法,也是产品能顺利通过电磁兼容性测试不可缺少的必备技术。

本书由陈坚教授审稿,并提出了宝贵意见。本书在编写过程中,得到了校、系领导的关心,得到了我校应用电子技术教研室的老师和同志们的大力支持和热情帮助。在此,对所有关心和支持本书出版的领导和同志们,一并表示感谢。

本书可作为高等院校应用电子技术专业、工业自动化专业、自动控制专业、机电一体化和电力电子类专业的教学用书,也可供有关研究人员和工程技术人员从事检测技术和电磁兼容性设计工作时参考。

由于作者的学识和水平所限,书中的缺点和错误在所难免,诚恳地希望广大读者提出批评和改正意见。

邹云屏

于华中理工大学

1994年10月

目 录

第一章 检测的基本概念及精度理论基础	(1)
§ 1.1 概述	(1)
一、检测的概念	(1)
二、测量方法	(2)
§ 1.2 仪表的基本功能和特性	(4)
一、仪表的基本功能	(4)
二、仪表的静态特性	(6)
三、仪表的动态特性	(16)
四、仪表测量的可靠性	(30)
§ 1.3 测量误差及其分类	(34)
一、误差的基本概念	(34)
二、误差的分类	(36)
§ 1.4 随机误差	(39)
一、随机误差的特点	(39)
二、正态分布	(40)
三、测量结果的置信度	(42)
§ 1.5 系统误差	(43)
一、处理系统误差的特点	(43)
二、发现系统误差的方法	(43)
§ 1.6 测量系统的静态误差	(45)
一、开环系统的误差	(45)
二、闭环系统的误差	(47)
习题一	(49)
第二章 传感器原理	(51)
§ 2.1 基本概念	(51)

一、传感器的定义及其重要性	(51)
二、传感器的分类	(52)
三、传感器的技术指标	(54)
四、传感器的新发展	(54)
§ 2.2 电阻式传感器	(57)
一、电位器式传感器	(57)
二、应变式传感器	(62)
三、热电阻式传感器	(85)
§ 2.3 电感式传感器	(93)
一、可变磁阻式传感器	(94)
二、差动变压器	(113)
三、电涡流式传感器	(128)
§ 2.4 电容式传感器	(137)
一、工作原理及分类	(137)
二、电容式传感器的静态特性	(138)
三、电容式传感器的特点	(146)
四、测量电路	(149)
§ 2.5 压磁式传感器	(166)
一、工作原理	(166)
二、压磁元件的基本特性	(168)
三、测量电路	(170)
§ 2.6 压电式传感器	(172)
一、压电效应	(172)
二、压电材料	(172)
三、等效电路	(175)
四、测量电路	(177)
五、应用举例	(181)
§ 2.7 光电式传感器	(182)
一、光电效应	(182)
二、光电元件	(184)
三、半导体光电元件的应用	(190)

§ 2.8 霍尔式传感器	(195)
一、工作原理	(195)
二、基本电路	(197)
三、零位误差及其补偿	(198)
四、温度特性及其补偿	(202)
五、应用举例	(206)
§ 2.9 光纤传感器	(207)
一、光纤	(208)
二、光纤传感器的分类	(212)
三、功能型光纤传感器	(213)
四、非功能型光纤传感器	(223)
§ 2.10 激光式传感器	(231)
一、激光	(231)
二、激光器	(237)
三、激光的应用	(241)
§ 2.11 机器人传感器	(246)
一、外部测量用传感器	(247)
二、内部测量用传感器	(256)
§ 2.12 家用电器传感器	(261)
一、家用电器电子化	(261)
二、家用电器传感器的要求	(262)
三、家用电器传感器的现状	(264)
四、家用电器传感器的分类	(267)
五、有待研究的传感器	(270)
习题二	(270)
第三章 检测装置的电磁兼容性设计	(274)
§ 3.1 电磁兼容性设计概述和电磁环境分析	(274)
一、电磁兼容性及其设计	(274)
二、工程设计阶段电磁兼容性设计内容	(275)
三、电磁环境分析	(279)
§ 3.2 噪声及其耦合方式	(283)

一、噪声与信噪比	(283)
二、噪声的分类	(284)
三、噪声耦合方式	(287)
§ 3.3 差模干扰与共模干扰	(296)
一、差模干扰	(296)
二、共模干扰	(302)
§ 3.4 常用的抗干扰措施	(306)
一、屏蔽	(308)
二、接地和搭接	(315)
三、浮置	(323)
四、滤波	(325)
五、对称电路	(329)
六、光电耦合	(330)
七、脉冲电路的噪声抑制	(331)
§ 3.5 元器件布局与布线	(333)
一、元器件的布局	(333)
二、布线	(335)
§ 3.6 模拟电路和数字电路的抗干扰设计	(344)
一、模拟电路的抗干扰设计	(344)
二、数字电路的抗干扰设计	(348)
§ 3.7 电子测量装置的防护	(351)
一、实用屏蔽规则	(351)
二、信号源与测量仪表放大器的连接	(357)
三、电源变压器的屏蔽与防护	(363)
§ 3.8 电磁干扰的测试	(367)
习题三	(371)
参考文献	(372)

第一章 检测的基本概念及精度理论基础

§ 1.1 概 述

一、检测的概念

现代工业依赖于准确的检测。检测就是用专门的测量工具,依靠实验和计算来找到被测量的值。从狭义上来讲,检测就是用同性质的标准量与被测量比较,并确定被测量对标准量的倍数(这个倍数就是所需要的检测值)的过程。从广义上来讲,检测就是对被测对象进行检出、变换、分析、处理、判断、控制、显示等的有机统一的过程。它是以物理学、电子学、自动控制、电子计算机、测量技术等原理为基础的一门综合性技术学科。检测的目的,是为了在限定的时间内尽可能正确地收集到被测对象的未知信息,以便掌握被测对象的参数及控制生产过程。

用天平称重物作为一个例子来分析检测过程。天平称重,首先检查天平是否平衡,即调零。接着为了比较被测量和标准量,便把重物和砝码分别放在两侧的秤盘中,即对比。然后判断重物和砝码谁重谁轻,这可借助天平中间的指针偏向何方,以判别有无差值,即示差。如果存在着差值,就要调整砝码,直至平衡。示差和平衡动作完成以后,就可以根据砝码的大小和多少读出物体重量的数值(必要时再加指针偏移的大小),即读数。所以,整个检测过程就包括调零、对比、示差、平衡和读数。

检测的关键,在于被测量和标准量的比较。但是,被测量能直接与标准量比较的场合不多,大多数的被测量和标准量都要变换

到便于双方比较的某个中间量,例如,用水银温度计测室温时,室温被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移,而温度的标准量为玻璃管上的刻度,即被测量和标准量都变换成线位移这个中间量。因此,变换是检测的核心。所谓变换,是指把被测量按一定的规律转变成便于传输或处理的另一种物理量的过程。能进行某种变换的元件叫变换元件,或者叫做传感器。

二、测量方法

测量的基本方法有直接测量法和间接测量法两种。而直接测量法又可分为偏差法、零位法和微差法等三种。

(一) 直接测量和间接测量

1. 直接测量

用事先标定好(分度)的测量仪表对某被测量进行直接测量,从而得出该量的数值,这种测量方法就称之为直接测量。直接测量是工程检测技术中应用得最为广泛的一种检测方法,其特点是简单方便,操作容易。值得指出的是,直接测量并不只限于用直读式仪表的测量,用电压表(直读式仪表)和电位差计(比较式仪表)来测量电压,均属于直接测量。

2. 间接测量

间接测量,就是不直接测量待求量 x 的值,而是对与待求量 x 有确切函数关系的其他若干个物理量,比如 $y_1, y_2, \dots, y_n$, 进行直接测量,然后通过已知的函数关系求出该待求量 x 的值,即 $x = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 。例如,要测量电功率 P ,可以不直接测量 P ,而是直接测量电流 I 和电压 U ,通过 $P = IU$ 的已知函数关系,计算出 P 值的大小。测量速度 v ,可直接测量位移 s 和时间 t ,利用 $v = s/t$ 求出速度。因而这种间接测量,也可以叫做函数关系测量。不难想象,间接测量比直接测量要复杂一些,只有对于那些用直接测量不方便时,或者用直接测量会带来较大误差时,或者没有相应的仪表来直接测量时,才采用间接测量。

(二) 偏差法、零位法和微差法

1. 偏差法

用仪表的指针相对于刻度线的位移(偏差)来表示被测量的值的测量方法,叫做偏差式测量法,简称偏差法。这种测量方法的原理是,被测量的作用被测量仪表中某个元件的反作用所平衡,通常,反作用与指针位移或偏转角成线性关系,被测量越大,所需平衡的反作用也就越大,指针的位移或偏转角也就越大。

在使用偏差法测量时,指针式仪表内没有标准量具,而只有经过标准量具标定(分度)过的刻度尺,显然,这种刻度尺的精度不可能做得很高,这种测量法存在着测量精度的问题。其精度一般不高于 0.5%,特殊考虑时也只能达到 0.1%。

2. 零位法

零位法的工作原理是:使被测量 x 和某已知标准量 s 对指零机构的作用达到平衡而且互相抵消,使两个作用的总效应减为零,即从指零机构的示值为零,便可判定被测量的值就等于该已知标准量的值。下面举例说明:电路如图 1-1

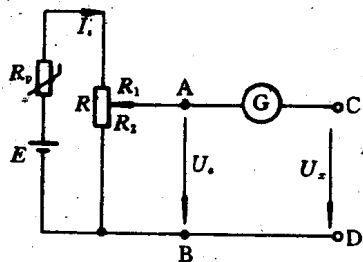


图 1-1 零位法示意图

所示,被测量 x 为 U_x ,某已知的标准量为 U_s ,指零机构为检流计 G ,只要 G 的示值为零,说明 U_s 和 U_x 的总效应为零,有 $U_x = U_s$ 。标准量 U_s 获取如下:工作电源 E ,通过调整可调电阻 R_p 得到一合适的工作电流 I_s ,这时 I_s 在电阻 R 上产生的压降为 E_s ,而检流计中流过的电流为零是通过调整 R 的活动抽头来达到的。因为 $R = R_1 + R_2$,设在 R_2 部分的压降

$$U_s = E_s R_2 / R$$

所以

$$U_x = U_s = E_s R_2 / R$$

因为调节 R_p 和 R 得到合适的 I_s 和 U_s 需要时间,所以这种测

量方法存在测量速度问题。由于测量误差主要取决于标准量的误差,显然,其测量精度可以高于偏差法。

3. 微差法

这种测量方法是偏差法和零位法的组合,即被测量 x 作用的大部分先与已知标准量 s 的作用抵消,再用偏差法来测量剩余部分(即二者的差值 $d=x-s$)。由于这种方法总是使得差值 d 的值很小,因此被命名为微差法。

例如,将上例中的检流计 G 换成毫伏表 mV ,用它来测量 A 与 C 之间的电压 U_d 。因测量差值 $U_d=U_x-U_s$,所以, $U_x=U_s+U_d$ 。

§ 1.2 仪表的基本功能和特性

测量仪表就是进行测量所需要的技术工具的总称,包括敏感元件、传感器、运算器、显示器、数据处置装置等。测量仪表性能的好坏直接影响测量结果的可靠性。全面掌握测量仪表的基本功能和基本性能,有助于正确选用仪表,合理地构造出测量系统。

一、仪表的基本功能

(一) 变换选择功能

在生产和科学实验中,常遇到各种被测物理量,其中大多数都是非电量,如温度、压力、转速、位移、角度、流量等。这些物理量,一般都无法与其对应的标准量进行直接比较,而要先进行变换,使之成为便于比较、便于传输和处理的物理量,因此,变换是测量仪表应具备的基本功能之一。

如前所述,变换是把被测量按一定规律变成便于传输或处理的另一种物理量的过程。而实现变换,则是以一定的物理规律为基础的。若用函数来说明,变换就是具有一种函数作用。设被测量为 x ,经变换后的输出是 y ,则其变换函数可表示为

$$y = f(x) \quad (1-1)$$

这是理想情况。在实际物理系统中,还有许多其他影响因素,如 $U_1, U_2, \dots, U_N$, 都以不同的程度影响着 y , 因此, 经变换后的输出实际上是一个多变量的函数, 即

$$y = f(x, U_1, U_2, \dots, U_N) \quad (1-2)$$

如图 1-2 所示。所以在设计制造仪表时, 除特定的输入输出关系外, 一般都不希望 $U_1, U_2, \dots, U_N$ 等影响因素对 y 起作用。也就是说, 仪表应具有选择有用输入信号, 抑制其他一切无用信号影响的功能, 即选择功能。

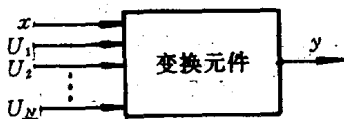


图 1-2 变换选择功能示意图

在变换过程中, 仪表响应被测量 x 、抑制影响量 ($U_1, U_2, \dots, U_N$) 的本领, 即选择性的强弱, 可以由灵敏度反映出来。将 (1-2) 式求全微分, 可得:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x} dx + \frac{\partial y}{\partial U_1} dU_1 + \frac{\partial y}{\partial U_2} dU_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial U_N} dU_N \quad (1-3)$$

式中, $\frac{\partial y}{\partial U_1} = K_{U_1}, \frac{\partial y}{\partial U_2} = K_{U_2}, \dots, \frac{\partial y}{\partial U_N} = K_{U_N}$ 为仪表对抑制量的灵敏度。上述各量应尽量小, 愈小选择性愈好。

(二) 信号的传输功能

被测物理量经变换后所得到的信号, 要经过一定距离的传输后, 才能进行运算与比较, 显示出最后结果。所以, 仪表在测量过程中应具备的第二个功能就是将信号进行一定距离的传输。

随着生产的发展, 自动化水平的不断提高, 集中控制需要现场检测, 而生产现场与中央控制室的距离都很远, 位于现场的传感器及变换器将被测参数变换与放大后, 要经过较长距离的传输才能将信号送入控制室。在工业生产中, 应用比较多的传输方式是有线传输, 即用电缆或者导线传输电信号 (电压信号或电流信号)。在信号传输过程中, 必须花大力气来解决信号的失真问题和抗干扰的问题。

(三) 运算与比较功能

任何一个测量仪表,都保存有标准量(或标准量的代表量),以便直接或间接地与被测量进行比较。前面讲过,检测的关键是比较。通常被测量和标准量都要变换到一定程度才能比较,其中包括一定的运算,复杂的还得利用计算机进行计算。

模拟式仪表中,标准量通常表示成仪表盘的刻度,仪表中总有被测量 x 的作用与标准量 s 的反作用进行比较,并达到平衡这一过程。如用天平称重物,重物(被测量 x)的重量,与标准量(砝码)的反作用进行比较,借助指针的偏转等达到平衡,砝码的重量就是 x 。数字式仪表中,先将被测量转换成数码,然后与仪表内标准脉冲或标准时间进行比较,比较过程实际上就是脉冲的计数过程。必须注意,在比较过程中,标准量应保持稳定,如有变化,应进行校正。

(四) 显示操作功能

测量的最终目的之一就是将测量结果用便于人眼观察的形式表示出来,这是人-机联系的一种手段。测量仪表的显示方式可以概括为模拟式和数字式两类。模拟式显示有:指针指示和记录曲线;数字式显示有:各种数码器的数字、字符显示和数字式打印记录等。

此外,为了加强显示的效果,还配有声光显示。

各种显示方式都有各自的特点和用途,因此,要根据具体情况具体分析,选择合适的显示方法。

二、仪表的静态特性

当输入信号(被测量)是恒定值或随时间变化很缓慢时,仪表呈现出的性能指标,称为静态性能。这时联系输入量与输出量之间的关系式是代数方程,不含时间变量,这就是所谓的静态特性。衡量仪表的静态特性的重要指标有:精确度、稳定性、影响系数和静态输入-输出特性。

(一) 精确度

与精确度有关的指标有三个:精密度、正确度和精确度等级。精确度含有精密度和正确度二者之总和的意义,它表示仪表在测量性能上的综合优良程度。要使仪表的精确度高,而除必须使其精密度高外,还必须使其正确度高才行。

1. 精密度

精密度说明测量仪表示值的不一致的程度,即对某一稳定的被测量在相同的规定工作条件下,由同一测量者用同一仪表在相当短的时间内按同一方向连续重复测量多次,其测量结果(示值)的不一致程度。不一致程度愈小,则说明测量愈精密。

仪表的精密度取决于两个因素:一个是重复性,即同一输入值按同一方向连续多次测量时输出值之间的相互一致的程度,这是由测量过程中的随机误差所决定的,随机误差小,重复性好,精密度就高;另一个是仪表能显示的有效位数。换句话说,随机误差小,重复性好,这是精密度的必要条件,并不是充分条件。例如,某电阻的真值为 $R=4.3894\text{M}\Omega$,某仪表多次测量均得示值为 $4.4\text{M}\Omega$,这决不能说该仪表精密度很好,而是该仪表能显示的有效位数太少。能读出的有效位数愈多的仪表,其精密度才有可能愈高。

2. 正确度

正确度说明仪表示值有规律地偏离真值(或约定真值)大小的程度。例如,某电压表的正确度为 0.01V ,这说明该电压表的示值偏离其真值的大小为 0.01V 。

正确度反映了仪表中的系统误差,即系统误差小,示值偏离真值的程度就小,仪表的正确度就高。正确度也叫准确度。

3. 精确度等级(简称精度等级)

精度等级是为简单地表示仪表测量结果的可靠程度而引用的,用 A 表示。精度等级 A 定义为:仪表在规定工作条件下,其最大绝对允许误差值 $\Delta_{g\max}$ 相对于仪表测量范围(量程)的百分数,即

$$A\% = \frac{\Delta_{g\max}}{B} \times 100\% = \frac{\Delta_{g\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$