

高等学校教材

数字显示仪表

上海电力学院 王志祥 主编



高等学校教材

数字显示仪表

上海电力学院 王志祥 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书共分五章。第一章介绍数字显示仪表的基本概念；第二章介绍数字显示仪表的基本部件,包括放大、A/D及D/A转换、线性化器及显示器件；第三章介绍单点面板式数字仪表,包括温度、压力、水位、流量等数字仪表；第四章介绍多路数字检测仪表,包括常规和微机型数字巡回检测仪、分散式数据采集系统；第五章介绍数字多用表和数字显示记录仪表。

本书为高等学校生产过程自动化专业的专业课教材,也可供从事热工检测及自动化技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字显示仪表 / 王志祥主编. -北京: 中国电力出版社, 1992. 11 (1998重印)

高等学校教材

ISBN 7-80125-619-0

I. 数… II. 王… III. 数字显示仪-高等学校-教材 IV. TH85

中国版本图书馆CIP数据核字 (97) 第28733号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

冶林印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1992年11月第一版 1998年3月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9.5印张 215千字

印数 3501-5560册 定价 5.50元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

本书是根据能源部高等学校生产过程自动化专业教材编审委员会制定的《数字显示仪表》教材编写大纲编写的。本课程的先修课程有《电子技术基础》、《热工参数测量及仪表》和《微机原理》等。

本书按数字显示仪表的基础知识、单点面板式数字仪表、多路数字检测仪表及数字显示记录仪表的体系进行叙述。本书以典型产品为例，详细介绍了常规数字显示仪表及微机型数字显示仪表的工作原理和使用方法。对微机型数字巡测仪的基本设计方法进行了详细介绍，从而为掌握和设计其它数字显示仪表打下良好的基础。

本书的第三章第四节由吴文德编写，第四章第一、二节由姚必正编写，其它章节均由王志祥编写并进行全书统稿。本书由郭子颖副教授主审。

上海工业自动化研究所原总工程师甘和贵高级工程师、上海电力学院翁思义教授和陈世基副教授审阅了部分章节，谢冰贞同志提出了不少改进意见并做了很多具体工作，在此表示深切的感谢。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中难免存在不少缺点和错误，恳切希望读者批评和指正。

编 者

1991年2月

目 录

前 言	
第一章 概述	1
第一节 工业显示仪表的功能和分类	1
第二节 数字仪表的基本原理及质量指标	4
第三节 数字仪表的现状和展望	8
第二章 数字仪表的基本部件	10
第一节 前置放大器	10
第二节 模数和数模转换器	13
第三节 线性化器	28
第四节 数字显示器	34
第三章 单点面板式数字仪表	39
第一节 数字温度表	39
第二节 数字压力表	48
第三节 数字水位表	53
第四节 数字流量表	58
第四章 多路数字检测仪表	76
第一节 专用数字巡测仪	76
第二节 多用数字巡测仪	84
第三节 分散式数据采集系统	111
第五章 数字多用表和数字显示记录仪	123
第一节 数字多用表	123
第二节 数字显示记录仪	131
第三节 事故顺序记录仪	144
参考文献	148

第一章 概 述

数字显示仪表是将连续变化的被测物理量自动地转换成断续变化的、用数字编码并以十进制数字自动显示测量结果的显示仪表。这类仪表包括常规数字显示仪表和微型(智能化)数字显示仪表。

数字显示仪表的核心和主体是数字电压表(DVM-Digital Voltmeters)。数字电压表配上各种传感器后可构成各种功能的数字显示仪表。如配上温度传感器可构成数字温度表,配上压力传感器可构成数字压力表,以此类推。

美国NLS(Non-Linear System)公司于1952年首创数字电压表。随着微电子技术、计算机技术的飞速发展,数字显示仪表也得到了迅速的发展。回顾数字显示仪表的发展过程,大致可分为三个阶段:

(1) 数字化阶段 50至60年代,人们采用各种测量原理实现A/D转换,将模拟量转换成数字量,实现数字化测量。

(2) 高精度度阶段 由于精密电磁测量的需要,对数字电压表的测量精确度要求不断提高。1975年英国SOLARTRON公司推出的7075型八位数字电压表,最高测量精确度可达2.5ppm^①。

(3) 智能化阶段 微处理器问世不久,美国首先研制出带微处理器的数字电压表,可编制程序并实现数据处理。如美国FLUKE8500A和8506A、英国SOLARTRON7065和7081、日本2501A和TR6877等。除了完成数字电压表原有的各种功能外,还有自校、自检、自诊断和多种运算功能,实现“智能化”测量。

数字显示仪表的出现和发展是与数字技术、微电子技术和计算技术等现代技术的发展紧密相关的,它的应用范围越来越广泛。除了应用于实验室的数字电压表、数字频率表、数字万用表等数字显示仪表外,还有大量数字温度表、数字压力表、数字液位表、数字流量表等数字显示仪表应用于工业现场。另外,数字电子秤、数字手表等在日常生活中应用也十分普遍。因此数字显示仪表已涉及到一切测量领域,包括生产现场及生活设施的各个方面。

第一节 工业显示仪表的功能和分类

一、工业显示仪表的功能

工业显示仪表的作用是显示被测参数的测量结果。按仪表显示装置的功能可分为:显示被测量瞬时值的指示式仪表;显示被测量对时间积分结果的积算式仪表或积算器;记录被测量随时间变化的记录式仪表以及反映被测量是否超越允许限值的信号报警式仪表等。有些仪表具有上述多种功能,既可指示又可自动记录和报警等。有些仪表则可用于多点测

① PPM—Parts Per million, 1PPM为10⁻⁶即百万分之一。

量，巡回显示各测点的数值。此外，有些显示仪表还可根据被测值与规定值的偏差情况，对被测量发出调节信号。

按显示装置的显示方法不同，可分为模拟显示、数字显示和图形显示三种形式。

1. 模拟显示仪表

模拟显示仪表是通过仪表指针的直线位移或角位移显示被测值的大小，指针的位移量模拟被测参数的大小。模拟显示仪表有时也称为指针式仪表，它是最早出现的一种显示仪表，技术较成熟，使用范围较广，能满足一般精确度要求。特别是通过指针的位移，能使工作人员直接了解被测参数的变化趋势、接近危险值的程度，读数直观。

模拟显示仪表一般由信号放大器及变换环节、电-磁偏转机构（或伺服电动机）和指示记录机构等组成。由于这类仪表的结构简单、动作可靠、使用方便，因此至今仍广泛应用于工业生产过程中。

模拟显示仪表存在着检测和显示的精确度低、速度慢、人为读数误差等方面的问题。由于本身机械结构的限制，模拟显示仪表无法达到较高的测量要求。随着工业自动化水平的不断提高，对仪表提出了高精度度、高速度、自动检测、集中管理、以及能与计算机连接实现自动控制等方面的要求。对于这些要求，模拟显示仪表是难以实现的。

2. 数字显示仪表

数字显示仪表是直接用量显示或以数字形式记录被测值的仪表。它的工作原理是将各种连续变化的被测参数，通过模拟-数字（ A/D ）转换器，转换成对应的数字编码，然后进行数字显示。当输入量是数字信号时，则无需 A/D 转换，可直接进行计数显示。

数字显示仪表与模拟显示仪表相比较，具有如下特点：由于数字显示仪表没有模拟显示仪表中所必须的机械运动机构，因而仪表的测量和显示速度、精确度、灵敏度等均可大大提高；数字显示清晰、醒目，无读数误差；便于远距离传输，远方观察；在数字显示的同时还可以输出代码，供打印或与计算机接口，也可通过数字-模拟（ D/A ）转换，将数字量转换成模拟信号，对生产过程进行模拟显示或调节。

目前，数字显示仪表仍朝着高精度度、多功能、小型化、智能化等方面发展。特别是在数字仪表内装微处理器后，可用“合成语言”的方法使仪表开口说话，报出所测出的数字，被称之为“语言仪表”，并向话音接受功能、控制功能等多功能方向发展，成为真正的智能仪表。

3. 图形显示

在大规模工业生产中，集中显示更多相关的信息量的问题日益突出。随着计算机技术的不断成熟，图形显示技术得到了发展。它不仅能用字符和数字，还可以用图形将被测量的数值，计算机处理过程中的中间数据及处理结果等大量信息按需要的图形显示出来，供操作人员分析判断。操作人员也可以利用计算机的通信装置（如键盘、光笔等）进行程序修改或数据查询等工作，即通过计算机图形显示设备，进行实时的“人-机对话”。

图形显示器通常包括平板显示器、立体显示器和CRT显示器等。其中CRT显示器应用范围最广，在工业自动化系统中用作监测显示；在医疗上用作疾病的透视显示；在交通运输中用作交通状况监视等。

模拟显示仪表与数字显示仪表的特点比较列于表1-1。

表 1-1 模拟显示仪表与数字显示仪表的特点比较

		特 点	存 在 问 题
模拟显示仪表		结构简单, 使用方便, 维修容易, 可靠性高, 价格便宜, 对电磁干扰有一定的防护能力, 稳定性好, 易于显示被测值的变化趋向, 易于判断信号与满度值之差	仪表精确度低(动圈表的精确度为1.0级), 测量速度受限制, 存在主观误差, 传输信息的距离受到限制, 易受冲击或振动的影响, 过载能力差, 不利于信息处理, 也不能与计算机相连
数字显示仪表	常规数字显示仪表	测量精确度高(直流电压的测量精确度可高达 10^{-6} 数量级, 时间测量精确度可达 10^{-10} 数量级), 速度快(通用型积分式数字仪表每秒钟可测量和显示几次到十几次, 或者更高), 无视读误差, 过载能力强, 有极性显示, 能与计算机相连	采用硬件结构, 元器件的质量和焊接不良将直接影响仪表的质量; 线路结构复杂, 使用和维修较困难; 单数字式显示对趋势分析不明显, 易受电磁场干扰, 易受环境温度影响
	微型数字显示仪表	在硬件的基础上利用软件以进一步扩展功能(如自校准、自补偿等); 软件的灵活性强, 复制性好, 不受环境影响; 使用软件数字仪表使硬件结构简单, 体积缩小、功耗降低, 可靠性增强	仪表研制阶段一次性投资较大, 使用和维修的技术要求较高

二、数字显示仪表的分类

数字显示仪表发展到今天, 从结构、原理、使用范围和测量对象等方面都有了很大的变化。具体表现在品种规格繁多, 新型数字显示仪表层出不穷。

数字显示仪表按输入信号不同可分为电压型和频率型两大类。电压型仪表的输入信号是连续可变的电压或电流信号; 频率型仪表的输入信号是连续可变的频率、脉冲序列或开关触点信号。按显示仪表的功能不同又可分为单点或多点显示仪、显示报警仪、显示输出仪、显示记录仪、显示报警记录仪等(见图1-1)。

数字显示仪表按使用场合不同, 可分为实验室用和工业现场用两大类。实验室用有用于测量电压、电流、电阻、电感、电容等多种电参数的数字万用表, 测量单一电参数的数字式电压表、频率表、相位表、功率表等。工业现场用有用于测量介质温度、压力、流量等热工参数的数字式温度表、压力表、流量表, 测量机械量参数的数字式转速表、角位移表、长度表等。

实验室用的数字仪表与工业现场用的数字显示仪表在工作原理上是相同的, 但它们的使用对象、使用环境是不一样的, 因而在功能和结构上也是有所区别的。一般来说, 实验室用的数字仪表要求测量精确度和灵敏度高, 工业现场用的数字显示仪表则必须根据操作的需要和使用的环境条件, 提出一定的要求, 才能正常投运。对后者的一般要求如下:

(1) 大多数工业传感器或变送器的输入、输出特性是非线性的, 因此必须考虑非线性补偿, 以保证测量精确度。

(2) 仪表需直接以工程计量单位显示被测参数, 因此仪表必须有相应的标度变换, 要有将被测参数(物理量)和显示的数字量统一起来的转换器件。这一转换可以在模拟部分进行, 也可以在数字部分进行。

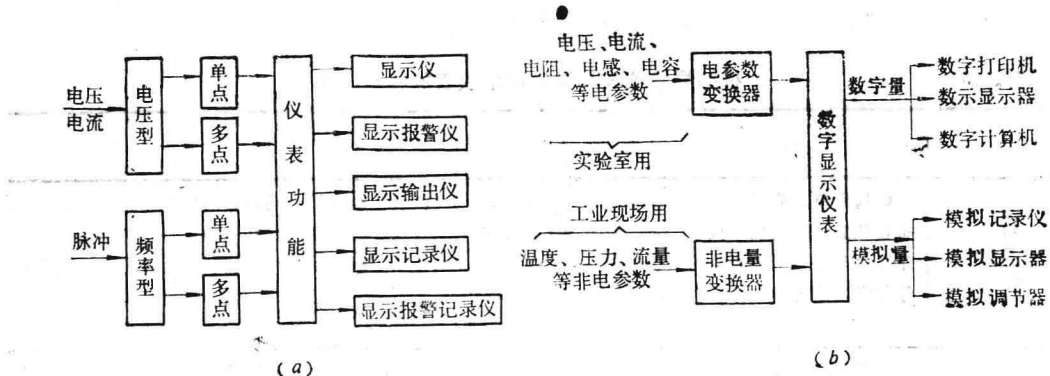


图 1-1 数字显示仪表分类
(a)按功能分类; (b)按用途分类

(3) 工业数字显示仪表要求对被测参数进行连续测量, 越限报警、数字打印, 并与计算机接口。有些被测参数还要求模拟显示、模拟记录或输出模拟信号, 以便进行模拟显示或模拟调节。

(4) 工业数字显示仪表由于使用的环境条件较差, 有的甚至安装在就地表盘上。因此, 要求数字显示仪表有较强的抗干扰能力, 耐振动、耐冲击, 在恶劣的环境中能长期连续工作。

(5) 工业数字显示仪表一般为表盘嵌装式仪表(简称为面板式仪表), 而实验室用的数字仪表一般为台式或便携式仪表。面板式仪表的外形尺寸必须符合有关技术标准。

工业用的数字显示仪表简称为数显表, 实验室用的数字仪表简称为数字表, 本书统称为数字仪表。

第二节 数字仪表的基本原理及质量指标

一、数字仪表的基本原理

1. 常规数字仪表

多点数字仪表过去习惯称为数字巡测仪, 即在规定时间内对外接的各点被测参数轮流检测, 将测量结果以数字形式显示或数字记录。若被测参数越限时, 自动发出报警信号。

图1-2为SXJ型数字巡测仪原理框图。

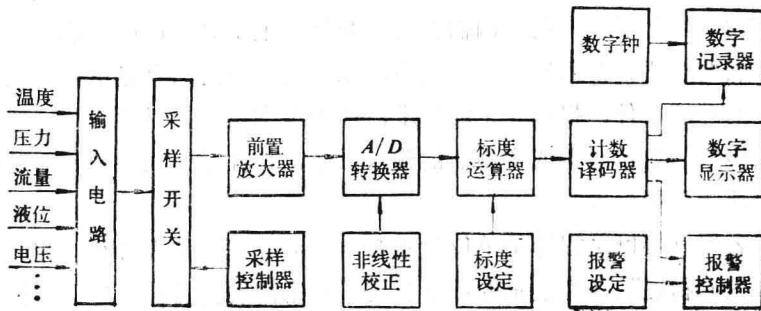


图 1-2 数字巡测仪原理框图

数字巡测仪可输入多种被测信号，如热电偶测温元件，经冷端补偿后接入输入电路；压力、流量、液位等信号通过相应的变送器，转换成 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流信号，再通过 I/U 变换器，转换成电压信号输入巡测仪。

输入信号经输入电路处理后，由采样控制器控制的采样开关依次接入各输入信号。然后经前置放大器放大，再输入到 A/D 转换器，将模拟量转换成相应的数字量。由于热电偶等测温元件的输出特性是非线性的，因此必须经过非线性校正。然后经标度运算（如量程迁移等），并将其输出的脉冲信号经计数译码后进行数字显示。计数器的输出信号经报警判别，若判别为越限，则报警控制器发生声、光报警信号。数字记录器平时用作定时打印，报警时用作报警打印，参数回复到限值时用作复限打印。

2. 微机型数字仪表

数字仪表中加入微处理器后，就可以使数字仪表发生一系列根本性的变革，如：通过微处理器进行的非线性补偿以提高测量精确度；采用数字滤波以提高抗干扰能力；扩展仪表功能；便于通信传输等。图1-3为微机型数字巡测仪的原理框图。

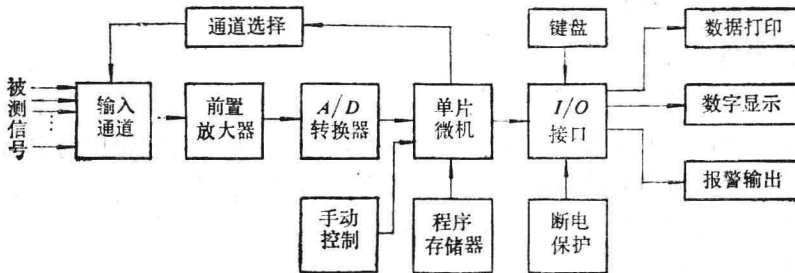


图 1-3 微机型数字巡测仪原理框图

各种被测信号经输入电路后转换成统一的电压信号，由单片机控制进行各通道的巡回检测。被选择通道的输入信号经前置放大器放大后进行 A/D 转换，转换后的数字量进行各种数据处理，最后通过 I/O 接口在微机控制下依次对各通道的测量结果进行读数显示。若某通道被测值超过规定的限值，则输出报警信号。

微处理机的数据处理和存储能力很强，可以进行各种运算处理，运算系数和限值的设定可以通过键盘打入。有了数据存储功能，就可将任一测点测得的数据与本测点原存的数据作比较，也可与其它测点数据综合进行处理。例如测温时对热电偶冷端温度的补偿，求取两个测点间的温差，对仪表输入电路的零位和漂移的补偿等，均可用数据处理方法来实现。

微机型数字仪表还有趋势报警的功能，即由计算测点在历次采样中存储下来的数据，获得监视对象变化的趋向，从而作出是否有越限可能的判断。例如在锅炉温度监测中，当温度上升速率出现异常时，往往预示某种故障正在形成。通过对测点数据变化速率的计算和比较，就能作出趋向报警。

微机型数字仪表体积小、功能强、价格低，是数字仪表发展的必然趋势。

二、数字仪表的质量指标

1. 精确度

与模拟显示仪表一样，数字仪表的精确度也是用仪表的测量误差大小来表示的。在模拟量经A/D转换器变成相应数码输出的过程中，被测信号需要经过许多转换环节，它们的误差将直接影响测量的精确度。如放大器的漂移、电源波动、工作环境的变化等。另外，将模拟量转变为数字量总有一个最小的数字分度单位，这就构成了量化误差。因此，数字仪表的误差可分为模拟误差和数字误差两个部分。

数字仪表的精确度表达式通常有两种表达形式。

$$\Delta = \pm a\%U_x \pm n\text{字} \quad (1-1)$$

$$\Delta = \pm a\%U_x \pm b\%U_m \quad (1-2)$$

式中 Δ —— 测量的绝对误差；

$a\%$ —— 误差的相对项系数；

U_x —— 被测参数的读数值；

n —— 最低一位数单位值的 n 倍；

$b\%$ —— 误差的固定项系数；

U_m —— 仪表量程的满度值。

由式(1-1)，式(1-2)可见，数字仪表的误差主要由两部分组成：误差中的系数 a 是由仪表中内附的基准源的变化、前置放大器的增益变化、衰减器衰减比的变化以及校准不完善的非线性等因素所引起的误差，它与被测值 U_x 的大小有关；误差中的系数 b (或 n 个字) 则包括数字仪表的量化误差、零漂及噪声等因素所引起的误差，它与被测值 U_x 无关而是与满度值有关的固定项。

例如：某五位数字电压表满量程 $U_m = 5\text{V}$ ，(每个字为 0.0001V)，被测值 $U_x = 3.5\text{V}$ ， $a = 0.02\%$ ， $n = 2$ ，则最大测量误差为

$$\Delta_m = \pm(0.02\% \times 3.5000\text{V} + 0.0001\text{V} \times 2) = \pm 0.9\text{mV}$$

实际使用时，式(1-1)中的 n 需要换算，不太方便。因此式(1-2)用得较多。如果将式(1-2)用相对误差来表示，则可写成

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{U_x} = \pm a\% \pm b\% \frac{U_m}{U_x} \quad (1-3)$$

例如：某数字电压表的满量程 $U_m = 2\text{V}$ ， $a = 0.02\%$ ， $b = 0.01\%$ 。如果被测电压 $U_x = 0.2\text{V}$ ，则相对误差 $\varepsilon = \pm 0.12\%$ ；若 $U_x = 1\text{V}$ ，则 $\varepsilon = \pm 0.04\%$ ；若 $U_x = 2\text{V}$ ，则 $\varepsilon = \pm 0.03\%$ 。

由此可见，数字仪表的相对误差 ε 随被测量值的增大而减小。因此，在使用中必须正确选择量程。

2. 分辨率

数字仪表的分辨率是指最末位一个字所表示的量，它表明了仪表所能显示被测电压的最小变化量。显然，数字仪表能稳定指示的位数越多，则分辨率越高。例如利用7151数字多用表测量 1000V 直流电压信号，当采用 $6\frac{1}{2}$ 位显示时，分辨率为 1mV (满度为 1000.000V)；

当采用 $5\frac{1}{2}$ 位显示时, 分辨率为 10mV (满度为 1000.00V)。数字仪表的分辨率又称灵敏度。一般说来, 漂移、噪声、器件的死区都是影响分辨率的因素, 而分辨率又影响着仪表的误差。

3. 输入阻抗

一般是指仪表在工作状态下呈现在仪表两输入端之间的等效阻抗。当测量小信号(如小于 10V)时, 一般把测量信号直接加在放大器的输入端。由于采用了深度负反馈放大器, 使输入阻抗大为提高, 一般在 $10^9\Omega$ 以上。当测量大信号(如大于 10V)时, 若采用输入分压器, 则输入阻抗将降低(如 $10^7\Omega$)。输入阻抗降低时将产生测量误差。这是因为在仪表的输入回路中存在着输入电流, 当信号源内阻或测量线路电阻较大时, 输入电流将在电阻上产生较大的压降, 从而引起测量误差。

4. 干扰抑制比

工业现场存在很强的电磁场及各种高频干扰, 因此高精度、高速度测量的数字仪表必须具有很强的抗干扰能力, 通常用串模抑制(SMR)和共模抑制(CMR)来表征, 其值越大, 说明抗干扰能力越强。

串模干扰是指叠加在被测信号上的交流干扰, 无论它是从信号源引入还是从输入线感应引入, 都是串联在测量回路中的。当它超过数字仪表的抑制能力时, 显示数将不稳定而产生测量误差。

串模抑制能力通常用串模抑制比SMRR来表示。

$$\text{SMRR} = 20\lg \frac{U_{s,m}}{\Delta U_m} \quad (1-4)$$

式中 $U_{s,m}$ ——串模干扰电压的峰值;

ΔU_m ——产生的最大误差电压。

数字仪表的SMRR一般在60dB以上。

共模干扰是指仪表的两输入端和地之间的电压干扰。产生共模干扰的原因很多, 其中常见的是由于不同的地电位所造成的电位差, 即共模干扰电压 $U_{c,m}$ (见图1-4)。一般共模干扰不会直接影响测量结果, 但是在一定条件下(如输入回路两端不对称), 会使共模干扰转化为串模干扰, 从而影响测量结果。由共模干扰 $U_{c,m}$ 带来的串模干扰(端间干扰)电压 $U'_{s,m}$ 可用下式表示:

$$U'_{s,m} = U_{c,m} \left(\frac{Z_4}{Z_1 + Z_4} - \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \quad (1-5)$$

式中, Z_1 、 Z_2 为信号源 U_s 与仪表之间的线路阻抗(包括信号源阻抗); Z_3 、 Z_4 是对地漏阻抗, 主要是信号导线对地的分布电容及仪表输入端对地的绝缘阻抗。

共模干扰抑制能力通常用共模抑制比CMRR来表示。其定义是: 作用于仪表的共模干

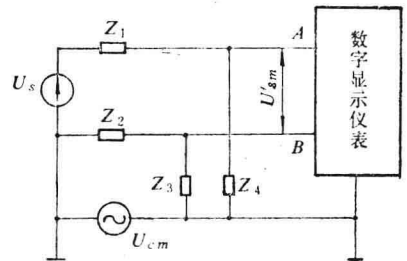


图 1-4 共模干扰等效电路
 U_s —信号源; $U_{c,m}$ —共模干扰电压;

$U'_{s,m}$ —端间电压

扰电压 U_{cm} 与其引起仪表读数误差的串模干扰电压 U'_{sm} 之比,通常用对数形式表示为

$$CMRR = 20 \lg \frac{U_{cm}}{U'_{sm}} \quad (1-6)$$

数字仪表的CMRR一般为120~160dB。

第三节 数字仪表的现状和展望

一、数字仪表的现状

目前,热工测量系统中的显示仪表有传统的模拟显示仪表与新型的数字显示仪表两大类。模拟显示仪表有一种动圈式显示仪表,它包括直接配用热电偶或热电阻的DX系列、配用电流变送器的XC系列以及80年代推出的XF系列等。由于模拟显示仪表出现最早、发展成熟,目前使用仍很广泛。

模拟显示仪表存在测量精确度低、机械传动部件易磨损、不利于信息处理等局限性。为了适应高速、高精度测量的需要,自50年代初期开始,数字显示仪表得到了飞速发展。在我国电力工业中,使用较早的数字仪表有上海电力学院的SXB、SRX、SEX、SXJ等系列数字巡测仪及近年开发的智能型仪表,江苏江都电子仪器厂的JSW系列数字显示仪表等。近年来,上海晶峰电子仪器厂的XMZ(T)系列数字显示(调节)仪表、江苏省无锡县电站仪表厂的数字显示仪表在国内也占有一定的市场。这些数字显示仪表由于测量精确度高、读数直观准确、维护工作量小,因而受到用户的普遍欢迎。

我国数字电压表从1958年开始研制,1964年上海、北京已能生产出五位数字的电压表。现在全国已有几十个单位在研制和生产数字仪表,并已出现了六、七位数字的电压表,精确度达几个ppm,分辨率达 $0.1\mu\text{V}$ 。另外,微型数字电压表也已研制成功。如天津无线电一厂研制的EG1850型是我国第一台微处理器式数字表,内装16K字节的EPROM,其中有8K监控程序和8K系统软件,具有使用方便、测量精确度高、功能全、工作可靠等特点。

国外显示技术和显示仪表的发展很快,40~50年代发展模拟显示和模拟记录仪表;60年代发展数字显示和数字记录,并采用数字巡回检测技术的仪表;70年代发展小型CRT显示操作器和数据打印装置;到80年代采用大型屏幕显示,模拟、数字混合式记录,多点测量,数据打印绘图装置等,操作员可通过键盘实现人一机直接对话。

国外现代显示仪表的主要特点是:指示仪表的固体化,用光柱指示,等离子光条指示代替指针;记录仪表的无墨水化,用CRT显示数据,然后复写打印;CRT字符图形显示终端,配有可编程序功能键,有各种操作模式(会话、双工、写入保护等),有完善的脱机功能和丰富的编辑功能,有一定的存储能力和数据处理能力,能实现人一机对话。

二、数字仪表的展望

数字仪表采用了计算机技术,并以专用的集成电路为依托,向微机化、智能化、系列化方向发展。产品正由单功能向具有听、说、控制等多功能方向发展。经过多年的努力,我国的数字仪表也向着微机化、智能化方向发展。

1. 传感器的发展动向

数字仪表发展迅速，但是与之相配合的传感器技术仍然处于落后状态。传感器的测量精确度低、漂移大、非线性严重、量程有限等问题十分突出。此外，传感器的可靠性、可维修性和环境适应性，以及防爆、耐腐蚀、耐磨损等性能仍需进一步提高和改进。为此，新型的检测传感器向着以下几个方面发展：一是检测变换集成化、小型化；二是微机化、智能化；三是全数字化。

如新型的硅压力（差压）传感器将传感元件和信号处理电路集成在同一硅片上，配上A/D转换和微处理器，使体积明显缩小。又如测温用的厚膜热电阻和薄膜热电阻，不仅可作为工业用铂热电阻元件，还适用作为其它仪器仪表的内部温度补偿元件和家用电器的测温、控温元件等。

为了实现数字测量和控制系统两者的结合，新型的传感器必然要走向全数字化，即传感器的输出不是模拟信号而是数字信号，这样可以消除模拟信号传输过程中的干扰影响。如果是热电偶传感器，则不仅大大减少了补偿导线的费用，克服小信号因远传而引起的系统不可靠性，而且有可能对温度计进行在线校验。如美国Foxboro公司最近推出了以微处理器为基础的新型全数字式智能变送器（820型系列），测量精确度达到了0.07%，具有温度补偿和远方设定，双向通信，连续自诊断等功能。

2. 数字仪表的发展动向

数字仪表所采用的主要器件经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路多个发展阶段，今天数字仪表已安装了微处理器芯片正向着智能化的方向发展。

智能化仪表通俗地说，是内含微处理器（CPU）芯片或配有微型计算机的仪表的统称。它能够做一些原来需要人工才能完成的工作。如：

- （1）仿人的采样、信号处理、监视和控制；
- （2）仿人的记忆、辨别和自诊断；
- （3）仿人的自适应随机整定。

积极采用人工智能专家系统方面的研究成果，将“知识”这个新概念引入到自动化仪表系统领域来，研究开发出性能优异的专家系统、自动化仪表系统将是今后发展的方向。

第二章 数字仪表的基本部件

工业用数字仪表通常是将传感器输出的电流或电压信号，经前置放大器放大，然后经A/D转换器将模拟信号转换成数字信号，最后由数字显示器显示其读数。传感器的输出信号与被测参数之间往往是非线性的函数关系，因此数字显示仪表往往还需要进行非线性校正。由此可见，数字仪表一般是由前置放大器、A/D转换器、非线性补偿器和数字显示器等基本部件组成的。

第一节 前置放大器

工业检测系统中，传感器的输出信号一般都较小，如热电偶的输出信号为mV级，有些传感器的输出信号甚至更小。这些微弱的信号往往处于强电场和强磁场的包围之中。为了放大微弱的有用信号，同时抑制干扰信号，数字仪表一般都设置有前置放大器。

工业检测中常用的前置放大器有：直流放大器、脉冲放大器、测量放大器、数据放大器和隔离放大器等。

直流放大器用来放大直流或频率很低（即信号变化极为缓慢）的信号。直流放大器一般采用直接耦合，所以又称为直接耦合放大器。这种放大器的缺点零点漂移现象严重，即在输入信号为零时，输出信号不为零或缓慢地变化。

脉冲放大器用来放大脉冲信号，即放大频率变化极快的信号，也能放大变化极为缓慢的信号。因此，它是一种宽频带放大器。

工业生产中最常用的放大器是测量放大器、数据放大器和隔离放大器等，下面分别加以说明。

一、测量放大器

测量放大器有时称为仪表放大器，主要用来放大工业对象中传感器输出的变化缓慢的低电平信号。要求在通频带内均匀地放大有用信号，有效地抑制干扰信号。另外，应采用特殊的方法来限制零点漂移，减少其影响，以提高放大器的精确度。

一般来说，放大器的漂移是较难解决的问题，这是因为漂移是一种随时间作缓慢的不规则变化的信号。它直接影响放大器的输出，使有效信号与漂移信号难于区别开来。

为了解决放大器的漂移问题，可以采用调制式放大器，双通道自稳零放大器，或采用特殊工艺使失调漂移减小，从而得到高精度度放大。低漂移高精度的集成运放品种很多，例如国外生产的 $\mu A725$ 型及我国生产的DG725型，温漂系数达 $0.3\sim 0.5\mu V/^\circ C$ 。此种运放也被称为低噪声集成运放。

工业测量系统中，很多场合需要采用测量放大器，图2-1为用于电桥测量的电路原理图。图中运放 A_1 用于将输入电阻的变化量 ΔR 引起的电桥不平衡程度转换成电流 I_s 。而运

放 A_2 是一个电流-电压转换器, 将 I_3 转换成 U_0 输出。

图中, 当 $\Delta R=0$ 时, 电桥平衡, $I_1=I_2=I_0$, 则 $I_3=0$, 运放 A_2 输出 $U_0=0$ 。

当 $\Delta R \neq 0$ 时, 若 $\Delta R > 0$, 则在不接入运放 A_1 时, $I_1 < I_2$ 。但由于运放 A_1 和 A_2 的存在, 使 b 、 c 两点都是虚地, 因而使 b 、 c 两点电位相等。

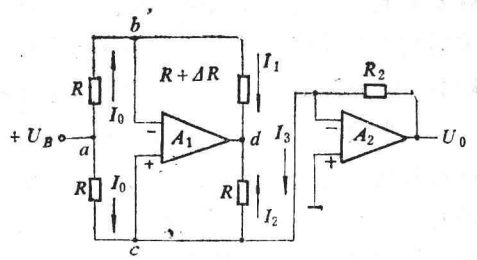


图 2-1 电桥测量放大器

由图可知,
$$I_0 = \frac{U_B}{R} \quad (2-1)$$

式中 U_B ——电桥电源电压, 它与运放 A_1 、 A_2 共地。

由 a - b - d 支路得出

$$I_0 = I_1 = \frac{V_b}{R + \Delta R} = \frac{V_c}{R + \Delta R} \quad (2-2)$$

由 a - c - d 支路得出

$$I_0 = I_2 - I_3 = \frac{V_c}{R} - I_3 \quad (2-3)$$

将式(2-2)、(2-3)合并后得出

$$I_3 = \frac{V_c}{R} - \frac{V_c}{R + \Delta R} = \frac{V_c \Delta R}{R(R + \Delta R)} \quad (2-4)$$

由于
$$V_c = (R + \Delta R)I_1 = (R + \Delta R)\frac{U_B}{R} \quad (2-5)$$

所以
$$I_3 = \frac{\Delta R}{R^2} U_B \quad (2-6)$$

很显然, 运放 A_2 的输出电压为

$$U_0 = I_3 R_2 = \frac{\Delta R}{R^2} R_2 U_B \quad (2-7)$$

式(2-7)中, R 、 R_2 、 U_B 均为常数, 因此输出电压 U_0 与被测电阻变化 ΔR 成线性关系。

由以上分析可知, 由于运放 A_1 的输入端电位均为零电位, 不受共模抑制比的影响。因此, 它是一种优质的零共模电压的电桥放大器。当然还有其它多种形式的电桥测量放大器, 在此不一一分析。

二、数据放大器

数据放大器是一种高精度的多路信息测量和数据处理的放大器。用于多点巡回检测装置、数据采集装置、工业控制计算机及其它自动检测装置中。

数据放大器一方面将来自传感器的低电平信号放大到 A/D 转换器所要求的信号电平, 另一方面将混杂在有用信号中的干扰信号进行抑制。数据放大器不同于一般的直流放大器, 也不同于一般的测量放大器。它的最基本特点是精确度高、频带宽。要达到高精度

就要求放大器具有输入阻抗高、抗干扰能力强、噪声低、漂移小等特点；要能与快速数据采集装置和计算机配合，就必须要求放大器适应快速测量的要求，即要求放大器的频带足够宽。因此，对数据放大器的技术指标有更严格的要求。

数据放大器的种类很多，过去常用分立元件制成。电路形式之一，是以采取屏蔽隔离技术为基础的放大器；之二为以采取电路平衡为基础的动态桥式放大器。显然，这种放大器的组成元件多，调试和使用都不方便。随着集成电路工艺制作技术的发展，采用“动态校零”的稳零技术，已成功地制成单片集成数据放大器。

广泛用于数据采集系统和工业控制系统中的SF-72型数据放大器是采用场效应管调制器的由分立元件所组成的数据放大器。

80年代我国生产的5G7650集成动态校零放大器，具有很高的电压增益和共模抑制比、很低的失调电压及温漂，是一般双极型运放所不能比拟的。因此被称为“第四代”运放。5G7650的工作原理可概括为：利用电路中设置的内部时钟信号（振荡器输出信号），控制A组和B组模拟开关，使交替接通和断开，先将放大器中的误差检测和寄存，然后加以消除，达到使输出误差趋于零的目的。

AD522是专门供数据采集用的放大器，它能在恶劣的条件下进行高精度度放大，具有共模抑制比高、漂移小、噪声低，因而在数字仪表和数据采集系统中得到了广泛的应用。其主要技术指标如下：温漂为 $2.0\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ；非线性误差为0.005%；输入阻抗： $10^9\Omega$ ；

-3dB带宽： 300kHz ($A=1$)， 3kHz ($A=100$)；增益可调范围： $A=1 + \frac{2 \times 10^5}{R_G} = 1 \sim 1000$ ；输出电压： $\pm 10\text{V}$ (5mA)；共模抑制比： $>110\text{db}$ ($A=1000$)。

图2-2为AD522用于热电偶测量的原理图。放大器有一对高输入阻抗端子①和③，还有一对用于连接增益调整电阻 R_G 的端子②和④，⑫为SENSE（检测）端子，⑪为REF（参考）端子。当⑫与输出端子⑦相连，⑪与电源公共端（地）相连时，则在输出端与电源公共端之间得到输出电压 U_0 。

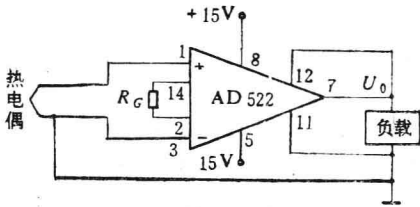


图 2-2 AD522用于热电偶测量的原理图

三、隔离放大器

在工业现场测量中，往往存在着高达几十伏到几百伏的共模干扰电压，上述的测量放大器、数据放大器虽然有较强的共模抑制能力，但对于强电场的干扰有时还不能满足要求，因而出现了具有极高的耐共模电压能力的屏蔽隔离放大器。

隔离放大器的种类很多，如AD277、288、289、293/294等。图2-3为AD293/294的原理框图。由图可见，它是由变压器耦合在一起的三个相互隔离的部分组成，即输入、输出和电源。外界直流电源由端子⑯、⑰输入，对电源振荡器提供电能，以产生200kHz的交流信号。振荡器的输出通过变压器（ T_1 ）耦合，为输入放大器提供隔离电源。该电源的一部分用作输入放大器 A_1 的浮空电源，另一部分用作 A_1 放大器输出的调制信号。

被测信号由端子④、⑤输入，经RC滤波和 A_1 放大，然后经调制器调制成交流信号，