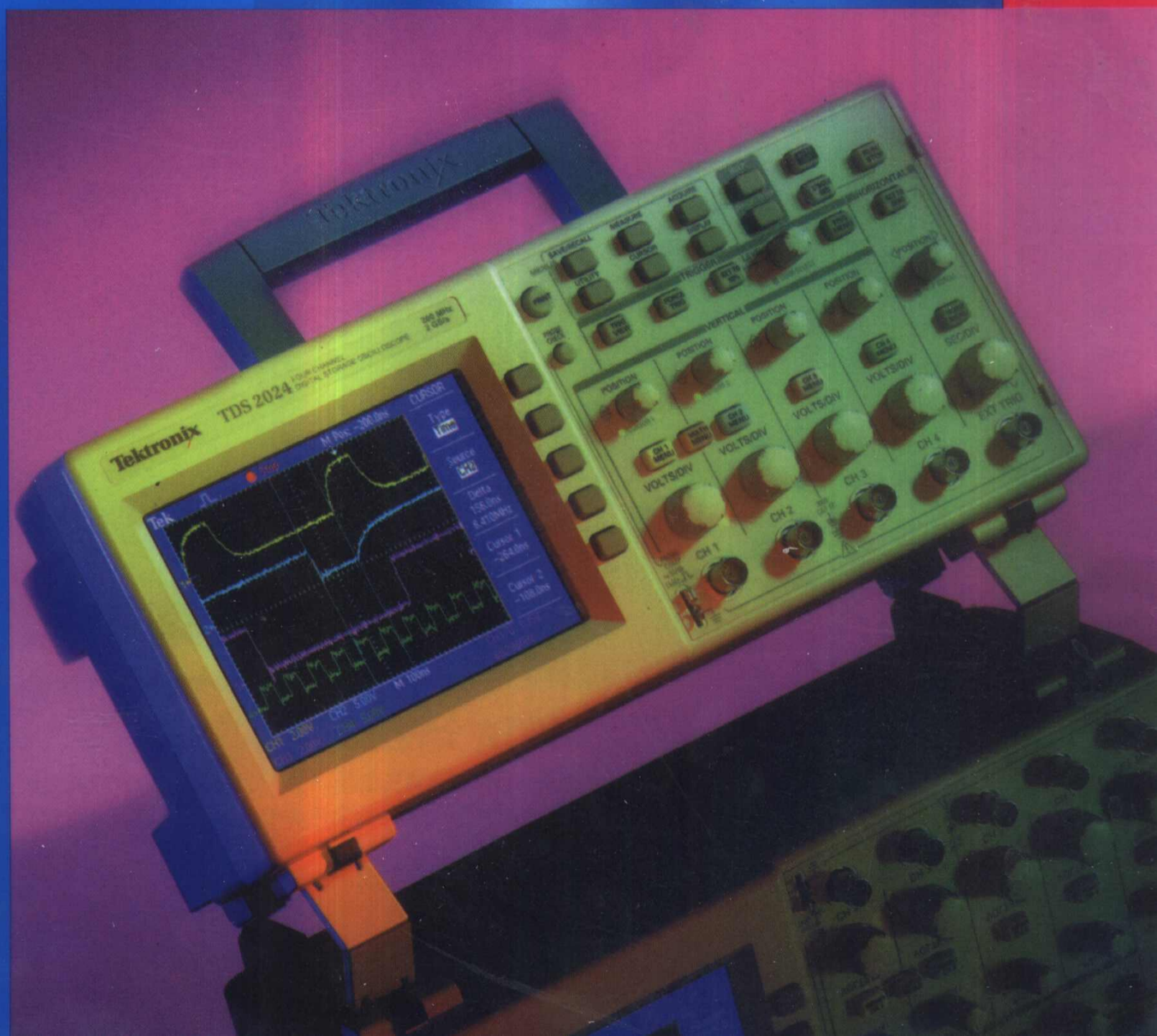


电子测量仪器原理及应用(II) 智能仪器

■ 罗耀华 蒋志坚 编
■ 张笑冰 主审

哈尔滨工程大学出版社



928

T1193
L98

电子测量仪器原理及应用(Ⅱ)

智能仪器

罗耀华 蒋志坚 编

张笑冰 主审

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器原理及应用(Ⅱ)智能仪器/罗耀华,
蒋志坚编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.5
ISBN 7-81073-278-1

I.电... II.①罗...②蒋... III.电子测
量设备 IV.TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 01321 号

内 容 简 介

本书分 I、II 两册。

第 I 册介绍常规电子测量仪器,包括电子电压表、示波器、信号源、频率计。这些仪器都是大专院校、科研单位、工矿企业常用的基本仪器组。该册共分为五章,每章都是先介绍基本的、共性的内容,然后分析实际的商品化的机型。在分析原理的基础上介绍仪表的使用、维护和校准。各章还介绍了各类仪器的其他组成方案。为方便学习,各章均设有习题,供学习时选用。

第 II 册介绍智能仪器,主要介绍了智能仪器的特点、基本的组成、虚拟仪器的有关内容、信号检测变换技术、数据转换技术、智能仪器的常用外设(键盘、显示器、打印机等)的原理及其计算机的接口技术、智能仪器的软件技术和实际的智能仪器(采用专用芯片的智能万用表、温度检测控制系统、数字存储示波器)。

本书可以作为大专院校的教材、各种培训班的教材,也可作为工程技术人员、电子技术爱好者的自学用书。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话:(0451)2519328 邮编:150001
新华书店经销
哈尔滨工程大学印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 10.25 字数 243 千字

2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

印数:1—3 000 册

定价:13.50 元

前 言

电子测量仪器是工程技术人员的基本工具。合理地选用仪器,制定测量方案及组成测试系统,熟练地使用电子仪器测取数据,以及对其维护、校准,是工程技术人员的基本功。

电子测量仪器按功能可分为:常规(通用)测量仪器和智能仪器两大类。

常规电子测量仪器是最传统、最基本的仪器,它完全是由“硬电路”所组成的“实体”。这类仪器功能单一、精度低、测量速度慢。由于其通用性强,操作简单,加之人们对它的熟知和适应,因此常规电子测量仪器在使用中仍占主导地位。

随着计算机技术、电子测量技术、仪器仪表技术、芯片制造技术的发展,人们将这些技术有机地结合在一起,构成了新的仪器——智能仪器。它能根据被测量参数的变化自动选择量程、自动补偿、自动校正、自动诊断故障等。它可以完成一些需要人类的智慧才能完成的工作,因此称为智能仪器。智能仪器具有强大的数据存储、数据处理能力和较高的测量精度,是今后电子测量仪器的重要发展方向。

虚拟仪器可以看成智能仪器的一个分支。虚拟仪器除了必备的硬件系统外,主要利用软件来完成复杂的控制、分析和数据的采集、处理。因此虚拟仪器建立了“软件仪器”的新概念。利用虚拟环境,人们可以进行网上实验,开展远程教育,其发展前景无限光明。

仪器仪表涉及到的知识面极为广泛,采用了一系列新技术、新器件、新工艺。中大规模集成电路,微处理器,A/D、D/A 变换器,数据采集器及存储器在仪器仪表中广为应用。电子测量仪器涵盖了电工基础、电子线路、自动控制、微机原理等各门课程的知识;有的仪表还涉及到声、光、磁、机械和传感器等知识。因此电子测量仪器作为一门独立的学科方向,在科学技术领域起着重要的作用。

目前,在电子测量仪器的制造业内,生产厂商之间的竞争十分激烈,而竞争促进了仪器仪表的发展,更新换代相当迅速。从一年两届的高教设备订货会上可以看出,每次会展都要推出新产品。国内外厂商生产的各种新型电子仪器仪表使得当今电子市场呈现一片繁荣景象。本书就是为适应电子仪器仪表的发展和社会需要而编写的,其主要特点是:

1. 本书分为两册,第 I 册所介绍的仪器仪表都是大专院校、科研单位、工厂中常用的电子仪器,具有通用性强、覆盖面广的特点。第 II 册介绍了智能仪器,反映了当代仪器仪表的新技术、新动向,是仪器仪表的发展方向。

2. 在编写体系上,本着由浅入深、先易后难、突出重点的原则,开始的章节先介绍几种较简单的仪表,以后逐步引出复杂的仪器及智能仪器。在每一章里,先介绍基本知识或带有共性的内容,各种仪表的组成方案,针对实际的商品化仪器的机型进行分析,叙述整机工作原理、各部分参数计算、软硬件分析、信号处理过程等。每一章又具有相对独立性,可以直接阅读。第 I 册各章均设有习题,供学习时选用。

3. 考虑到仪器仪表是一个整机电路,本身就构成了一个独立的电子系统,因此在学习和讲授本书时,应向电子系统方向引伸,以“系统”的观点分析仪器仪表线路。在分析时注重仪器仪表的设计思想、系统的组成,分析硬件原理、软件流程,使本书与电路、电子线路、微机原理等课程紧密结合。这样对于巩固前述知识,提高整机识图能力和工程估算能力是有实用

价值的;而仪器仪表中采用的新器件、新技术、新工艺则能开拓人们的思路,具有借鉴的价值。本书有若干份附图,这些图纸都是厂商提供的整机电原理图。由于图纸都是工程图,有许多不规范之处,但为了反应原图真实性,编者不拟改动。

本书分为 I、II 两册,第 I 册介绍通用仪器;第 II 介绍智能仪器。第 I 册的第一章~第四章由王松武编写,第五章由蒋志坚编写;第 II 册的第一章~第三章由罗耀华编写,第四章、第五章由蒋志坚编写。

编 者

2002 年 2 月

目 录

第一章 智能仪器概述	1
第一节 智能仪器的特点	1
第二节 智能仪器的组成	2
第三节 虚拟仪器	3
一、虚拟仪器的基本概念和特点	3
二、虚拟仪器的组成	4
三、虚拟仪器中的关键技术	4
第二章 信号检测技术及数据转换	7
第一节 变换技术与电路	7
一、直流电桥	7
二、 Ω/V 变换电路	8
三、 I/V 变换电路	9
四、其它变换电路	9
第二节 仪用放大器和隔离放大器	12
一、典型仪用放大器的工作原理	12
二、仪用放大器的应用	14
三、隔离放大器	15
第三节 智能仪器中的模拟量输出接口(DAC)	19
一、典型的 8 位并行 DAC 与 MCS-51 单片机的接口	20
二、TLC5618 可编程双路 12 位 DAC 与 MCS-51 单片机的接口	24
第四节 智能仪器中模拟量输入接口(ADC)	28
一、逐次逼近式 A/D 转换原理	29
二、并行 A/D 转换原理	29
三、A/D 转换器的性能指标	30
四、逐次逼近式 A/D 转换器(ADC0809)	31
五、ADC0809 与 MCS-51 单片机的接口	33
六、串行接口 A/D 转换器 TLC2543 与 MCS-51 单片机接口	36
第三章 智能仪器常用的外设及其控制软件	42
第一节 键盘接口	42
一、键盘的特点	42
二、消除按键抖动的措施	42
三、独立式键盘接口	43
四、矩阵式键盘接口	45
第二节 显示器接口	50
一、发光二极管显示器(LED)接口	50

二、8 段液晶显示器(LCD)接口	54
三、液晶图形显示器与 MCS-51 单片机接口	56
第三节 扩展 8279 键盘、显示器接口芯片	73
一、8279 的组成及工作原理	73
二、8279 的引脚及其功能	75
三、8279 的工作方式	76
四、8279 的命令格式与命令字	78
五、8279 的状态字	81
六、8279 的内部译码与外部译码	81
七、MCS-51 单片机与 8279 的接口及编程方法	81
第四节 微型打印机接口	84
第四章 智能仪器中的数据处理方法和算法	88
第一节 定点数的运算程序	88
一、定点数的表示方法	88
二、定点数的运算	91
第二节 数字滤波器的程序	98
一、程序判断滤波	98
二、中值滤波	101
三、算术平均值滤波	102
四、滑动平均值滤波	104
第三节 标度变换	104
一、线性参数标度变换	105
二、非线性参数标度变换	106
第五章 智能仪器的应用	109
第一节 智能数字多用表	109
一、数字多用表专用集成芯片 MAX134	109
二、MAX134 的工作原理	110
三、4 $\frac{3}{4}$ 位智能数字多用表	113
第二节 智能温度测量与控制仪器	116
一、智能温度测控仪器的设计要求	117
二、系统的组成与工作原理	117
三、硬件电路	118
四、系统软件	120
五、温度测量与误差纠正	126
第三节 数字存储示波器	129
一、概述	129
二、数字存储示波器的工作原理	130
三、数字存储示波器的工作特点	135
附录 三字节浮点运算子程序	138

第一章 智能仪器概述

第一节 智能仪器的特点

电子测量仪器按照其功能分类可以分为:常规测量仪器、智能测量仪器、虚拟测量仪器等。

常规电子测量仪器又可以分为模拟式的测量仪器和数字式的测试仪器。指针式的电压表、电流表、电度表、功率表等都是模拟电子测量仪器。这些仪器的结构简单,功能单一,精度低,显示速度慢。随着电子技术的发展,又出现了数字电子测试仪器。它的基本工作原理是将待测量的模拟信号转换成数字信号,并进行标度的变换,结果以数字的形式显示出来或者打印出来。这类仪器的精度较高,读数清晰、直观。

随着计算机技术、电子测量技术、仪器仪表技术的不断发展,人们将这些技术有机地结合在一起,构成了新的仪器——智能测量仪器。同一般的仪器一样,这种智能仪器是专用的或者多用的仪器,不同的是智能仪器内部含有计算机,具有各种判断及其数据的处理功能。能够根据被测量参数的变化自动选择量程、自动补偿、自动校正、故障的自判断及其处理等。它可以完成一些需要人类的智慧才能完成的工作,即具备了一定的智能,因此称为智能仪表。

对测试过程的控制,就是微处理器可接受来自键盘和通信接口的命令,解释并执行这些命令,诸如发出一个控制信号给测试电路,以规定功能、设置量程、改变工作方式。通过查询或测试电路向微处理器发出中断请求,使微处理器及时了解电路的工作情况,控制仪器的整个工作过程。

对测试数据的处理,即电子仪器引入微处理器后,大大提高了数据存储和处理能力。硬件电路只要具备最基本的测试能力,提供少量的原始数据就可以对数据作进一步加工处理,如数据的组合、运算、舍入、决定小数点位置和单位、转换成七段码送到显示器显示,或按规定格式从通信接口输出等,这些工作均可由软件来完成。正是微处理器的这些作用,使智能仪器具有下列主要特点:

1. 仪表的功能强

由于仪器内部含有微处理器,它具有数据的处理和存储功能,在丰富的、功能强大的软件的支持下,仪器的功能较常规的仪器大为增强。例如常规的频率计数器,能够测量频率、周期等参数,带有微处理器和 A/D 转换器的通用计数器还能测量电压、相位、上升时间、占空比、漂移及比率等多种电参数;又如传统的数字多用表只能测量交流与直流电压、电流及电阻,而带有微处理器的数字多用表,除此之外,还能测量被测量的最大/最小、极限、统计等多种参数。仪器如果配上适当的传感器,还可测量温度、压力等非电参数。

2. 仪器的性能好

智能仪器中通过微处理器的数据存储和运算处理,能很容易地实现多种自动补偿、自动校正、多次测量平均等技术,以提高测量精度。通过执行适当和巧妙的算法,常常可以克服

或弥补仪器硬件本身的缺陷或弱点,改善仪器的性能。智能仪器中,对随机误差通常用求平均值的方法来克服,对系统误差,则根据误差产生的原因采用适当的方法处理。例如,HP3455型数字电压表的实时自动校正是先进行三次不同方式的测量,然后由微处理器自动把测量数据代入自校准方程进行计算,以消除由漂移及放大器增益不稳定所带来的误差。借助于微处理器,不仅能校正由漂移、增益不稳定等引起的误差,还能校正由各种传感器、变换器及电路引起的非线性或频率响应等误差。

3. 智能仪器的自动化程度高

常规仪器面板上的开关和旋钮均被键盘所代替。仪器操作人员要做的工作仅是按键,省却了烦琐的人工调节。智能仪器通常都能自动选择量程、自动校准,有的还能自动调整测试点,这样既方便了操作,又提高了测试精度。

4. 具有对外接口功能

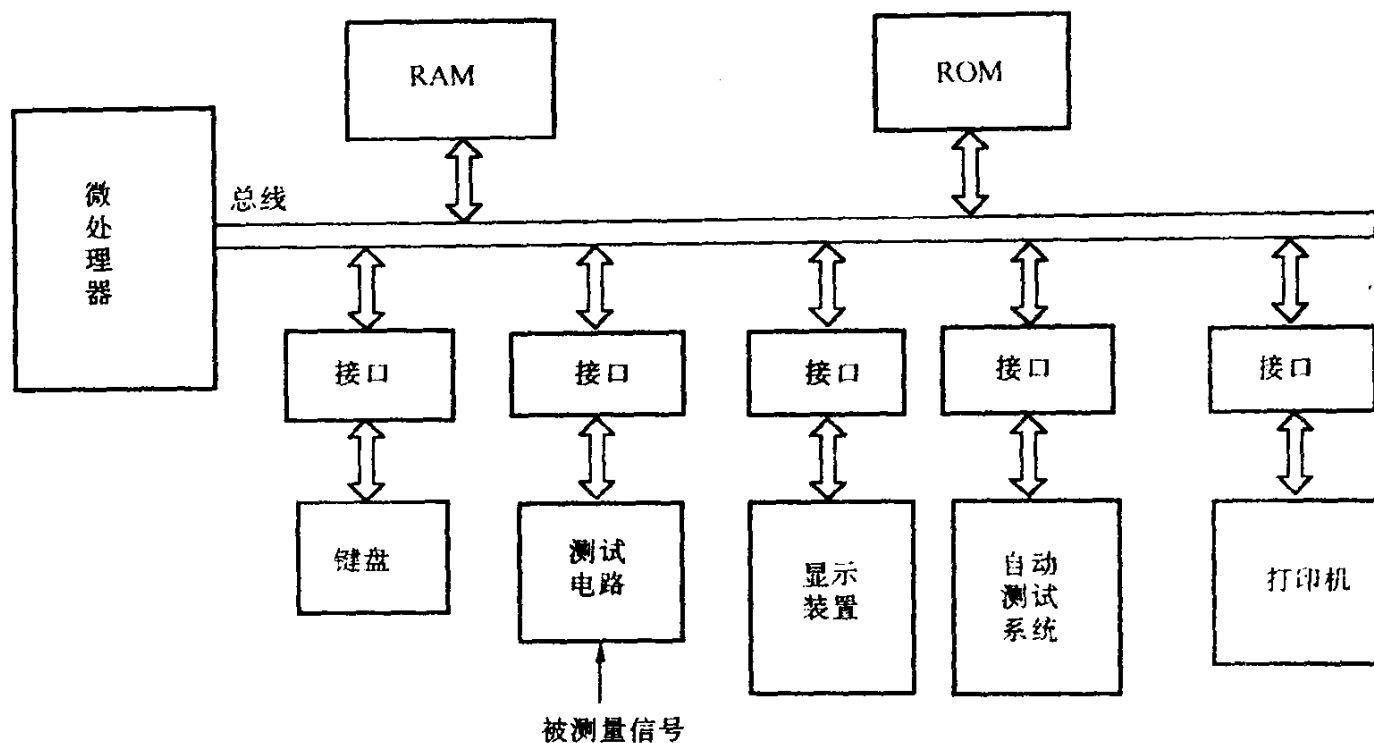
通常都具备通信接口(RS232接口或GP-IB接口),能很方便地接入自动测试系统中接受遥控,实现自动测试。

智能仪器均采用面板显示,除了用简单的LED指示灯外,多用七段LED显示器和液晶显示器来显示数字和其它字符,面板显示字迹清晰、直观。智能仪器通常还具有很强的自测试和自诊断功能,它能测试自身的功能是否正常,如不正常还能判断故障的部位,并给出指示,大大提高了仪器工作的可靠性,给仪器的使用和维修带来很大方便。常见的自测试有开机自测试、周期性自测试和键控自测试。

第二节 智能仪器的组成

在物理结构上,微机内含于电子仪器,微处理器及其支持部件是整个测试电路的一个组成部分。但是从计算机的观点来看,测试电路与键盘、通信接口及显示器等部件一样,仅是计算机的一种外围设备。智能仪器的基本组成如图1-1所示。显然,这是典型的计算机结构,与一般计算机的差别在于它多了一个“专用的外围设备”——测试电路,同时还在于它与外界的信息交换通常通过通信接口进行。既然智能仪器具有计算机结构,因此它的工作方式和计算机一样,而与传统的测量仪器差别较大。微处理器是整个智能仪器的核心,固化在只读存储器内的程序是仪器的“灵魂”,系统采用总线结构,所有外围设备(包括测试电路)和存储器都“挂”在总线上,微处理器按地址对它们进行访问。微处理器接受来自键盘或通信接口的命令,解释并执行这些命令,诸如发出一个控制信号到某个电路,或者进行某种数据处理等等。既然测试电路是微机的外围设备之一,因而在硬件上它们之间必然有某种形式的接口,从简单的三态门、译码器、A/D和D/A转换器到程控接口等。

微处理器通过接口发出各种控制信息给测试电路,以规定功能、启动测量、改变工作方式等。微处理器通过查询或测试电路向微处理器提出中断请求,使微处理器及时了解测试电路的工作状况。当测试电路完成一次测量后,微处理器读取测量数据,进行必要的加工、计算、变换等处理,最后以各种方式输出,如送到显示器显示、打印机打印或送给系统的主控制器等。虽然智能仪器中的测试电路仅是作为微型计算机的外围设备而存在,仪器中引入微处理器后有可能降低对测试硬件的要求,但仍不能忽视测试硬件的重要性,有时提高仪器性能指标的关键仍然在于测试硬件的改进。



第三节 虚拟仪器

一、虚拟仪器的基本概念和特点

进入 20 世纪 90 年代以来,随着计算机技术的迅猛发展,电子测试技术在其推动下,从传统的仪器模式中脱颖而出,出现了新的测试仪器——虚拟仪器。虚拟仪器是受益和依赖于计算机技术。其外部特征与传统的仪器相比有较大的不同,其中最突出的特点就是面板及相应的控件和指示器等,不再是由一些物理的实体所构成,而是由计算机内部强大的图形环境和在线帮助功能建立起来的虚拟面板所替代,人们称之为“软面板”;从内部特征看,原智能仪器中较为复杂的微处理器及其硬件,大多可共享计算机内部的软、硬件资源,并借助其完善的数据分析和处理能力,实现测试仪器所需的全部测试功能。因此,从这个意义上讲,虚拟仪器所构成的系统方案应具备如下要素和特征:

- (1)以个人计算机为核心;
- (2)具有足够的仪器硬件功能;
- (3)以强大的仪器操作和测试等软件为支撑;
- (4)强调在通用计算机平台上用灵活的虚拟软面板实现仪器的测试和控制功能等。

虚拟仪器的特定的形式使其具有如下特点:

(1)强调“软件就是仪器”的新概念。在虚拟仪器中,仪器的功能和性能的实现,除了必备的硬件系统之外,大多采用硬件软化或以软件代硬件技术,来完成复杂的控制、分析或处理等能力。因而从这个意义上讲,虚拟仪器对软件更具依赖性。

(2)打破传统仪器小而全且各仪器资源不能共享的现状。可将传统仪器的公共部分如

显示、储存、打印及微处理器控制管理等,都由计算机来完成,即无论任何功能的仪器都可利用或共享计算机的这些公共资源,而无需重复的设计。

(3)具有模块化及开放性和互换性的特点和好的资源的复用性,同时可方便、经济地组建或重构自动测试系统。用户可根据自己的需要选购不同功能的卡式或模块化仪器,并可随测试任务的不同而灵活组合,提高仪器资源的可再用性。

(4)可自定义仪器功能。传统的仪器在出厂时,其功能已经确定,用户不能根据自己的需求而随时进行修改,只能一机一用。而虚拟仪器则可借助通用数据采集装置,通过编制不同的软件测试方案,可构造几乎任意功能的仪器,故“软件就是仪器”在这里再次得到体现。

虚拟仪器与传统仪器的比较列于表 1-1。

表 1-1 虚拟仪器与传统仪器的比较

	传统仪器	虚拟仪器
功能定义	仪器厂家	用户
技术关键	硬件	软件
功能升级	固定	通过修改软件进行增减
开放性	封闭	基于计算机开放系统
技术更新	较慢	较方便、快
开发周期	较长	相对快
工作频率	可达较高	受限于 A/D 或 D/A 的速度
应用领域	通用测量、计量	大多为调控系统
价格	较高	价格较低且可重复利用

二、虚拟仪器的组成

传统的测试仪器通常由三大部分所组成:信号的采集、产生与控制;信号的分析与处理;结果的表示与输出。虚拟仪器把测试技术与计算机技术结合起来,将仪器的三大功能全部放在计算机上来实现,即可在计算机内插入数据采集或数据产生卡,经 A/D 或 D/A 变换器,用软件对其信号进行分析与处理,并在计算机屏幕上生成仪器面板,完成仪器的控制和显示,最终实现传统测试仪器的所有功能。

虚拟仪器的一般结构如图 1-2 所示。由图可知,虚拟仪器系统既可以作为信号分析仪器使用,也可作为信号发生器使用,还可同时兼而有之。图中的显示器由计算机“软面板”所构成,可显示被测信号的电压、波形或频谱;也可显示产生信号的频率或电平等参数。

三、虚拟仪器中的关键技术

虚拟仪器无论在作为分析或发生类仪器使用时,都强调其实时性,需在数据采集、存储和信号分析之间以二进制的形式进行高速数据传输,以完成相应的数据分析和显示的功能。但目前的速度方面受到诸多因素的限制,如高速、线性、大动态的 A/D 或 D/A 转换、高速数据发生、快速数据分析与处理等等。在虚拟仪器中数字信号处理(DSP)是十分重要的,它可提高测量的重复性和稳定性,突破各类分析及处理软件的编制及最优的算法局限

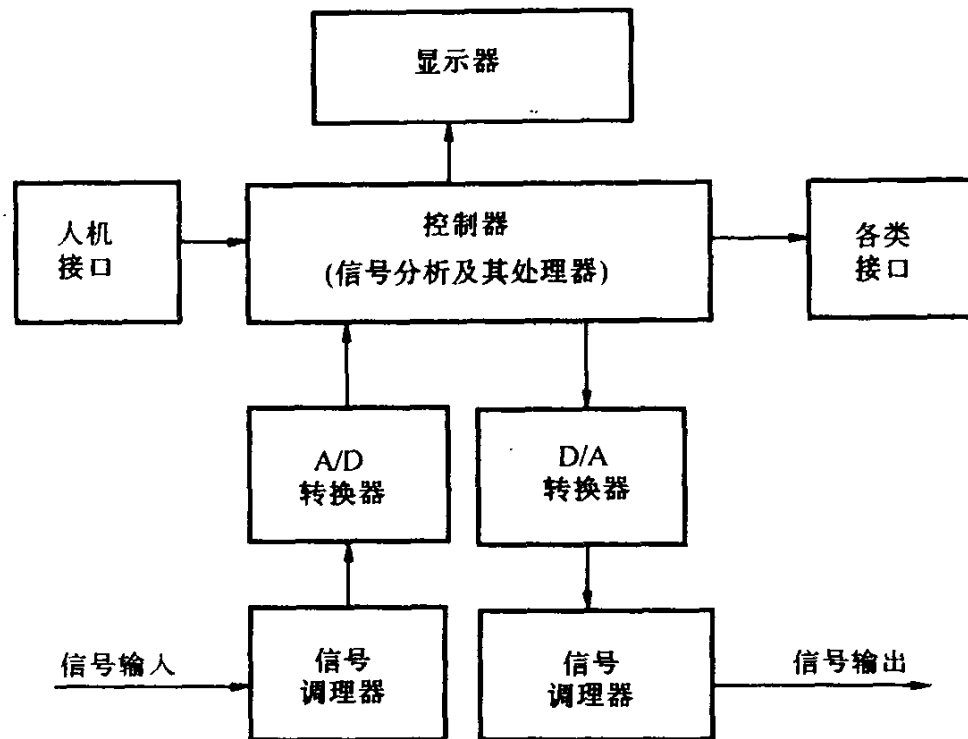


图 1-2 虚拟仪器的一般结构

性,使其在计算能力方面实现以算法为基础的多种仪器功能。同时,DSP 也是构成时域测试与频域测试的桥梁,可方便地完成时域到频域的连接。

随着虚拟仪器技术的发展,仪器输入/输出软件的兼容性的要求越来越迫切。过去,系统的应用者在编写应用程序时,由于没有统一的输入/输出程序标准,各厂家编写的虚拟仪器驱动程序相互是不兼容的。即使面对同样的总线系统,各厂家所提供的仪器模块驱动程序都是不同的。

在 VXI 虚拟仪器中,采用了“VISA”的结构。所谓 VISA,是英文虚拟仪器软件结构的简称,是位于输入/输出程序和应用程序之间的软件层,它是随着 VXI 总线技术虚拟仪器的发展而产生的,是 VXI 即插即用联盟制定的新一代的输入/输出程序规范(即 VPP-4.1)。

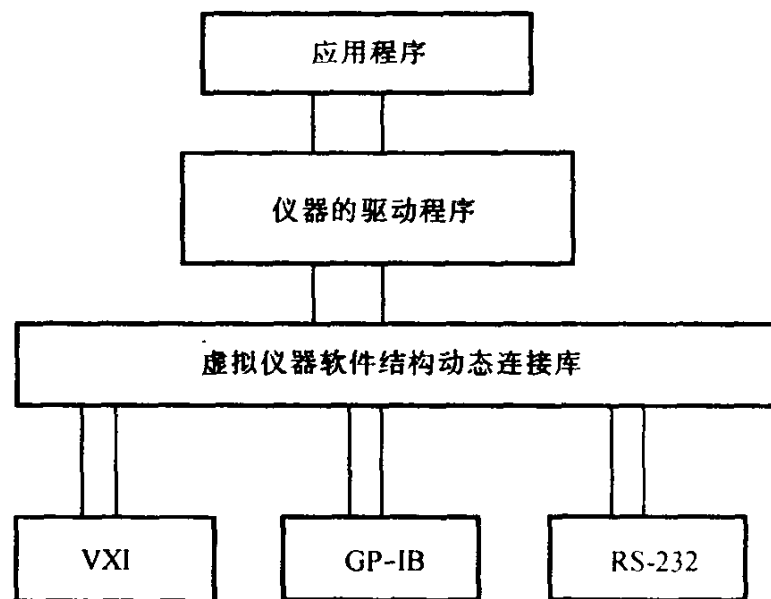


图 1-3 VISA 方案示意图

VISA 的任务正是统一 VXI 虚拟仪器模块的软、硬件标准,进而达到统一输入/输出软件的目的。图 1-3 给出了 VISA 方案示意图。

VISA 具有与仪器硬件接口无关的特性,全世界各 VXI 厂商在编写 VXI 虚拟仪器驱动程序时所公用的底层函数集遵循 VISA 标准,可使得系统用户所写的程序,不仅可用于 VXI 总线系统,也可用于 GP-IB 总线或带 RS32 接口设备的系统中。因此,VISA 的出现,不仅大大缩短了应用程序的开发周期,而且使得测试软件的开发从此走上了一个新的台阶,是理想的仪器 I/O 软件。VISA 的基本模块如图 1-4 所示。

以上的 VISA 软件模块称为资源集合。每个资源级总的来说是指一台设备的特有能

力。其中设备资源的独立性是用于 VISA 内部定义和创建资源的基础;资源管理器是一个附着于 VISA 资源模板的资源,用户可以通过打开到达资源管理器的连接装置,访问资源管理函数。

VISA 定义了三个资源级:输入/输出级资源、设备级资源和用户定义资源。这三级资源反映了高级资源使用或继承低级资源的能力。

结构的顶层是用户级应用程序,这些应用程序简单地使用一个或多个 VISA 资源来完成某些任务或集合一些资源来形成自己的虚拟工具。

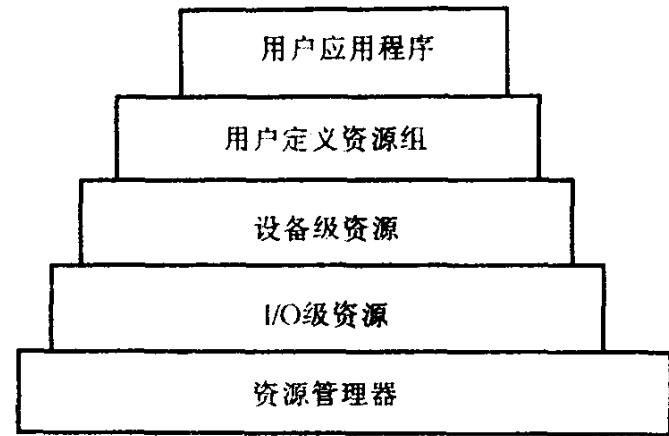


图 1-4 VISA 的基本模块

第二章 信号检测技术及数据转换

在工程测试,现代化大生产过程中,各种质量控制过程的参数检测,科学研究过程中的各种研究对象的状态和特性测试等等,所测对象除电量参数外,多数是各种各样的非电物理量。这时人们总是用各种相应的传感器把被测非电物理量变为电量,然后再进行对应的测量。一般情况下,传感器的输出可能是各种形式的电压或电流,也可能是某种形式的电量参数,而且往往是十分微弱的。在它们被送入计算机进行分析处理,实现自动测试之前,还必须先对其进行适当的变换、滤波、放大、调校等信号预处理,使之达到符合后续电路正常工作所要求的信号量度。这些信号预处理电路统称为信号检测电路,它是智能测试仪器的的重要组成部分。常见的信号检测电路有测量桥、测量放大器、电量参数变换电路、增益可编程放大器以及各种工业过程检测中所用的成品变送器等多种形式。本章将讨论几种常用检测电路的原理和设计方法。

第一节 变换技术与电路

自动测试技术中常见的信号变换电路有测量电桥、I—V 变换、V—T 变换、V—F 变换等电路形式。变换的目的在于便于测量和提高测量精度。

一、直流电桥

当电桥的桥臂是应变电阻器或电阻,这时就称它为直流电桥或称为电阻桥(如图 2-1 所示)。

1. 电阻桥的输出特性

电阻桥的输出信号电压 U_o 可写为

$$U_o = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E \quad (2-1)$$

平衡状态下,若桥中只有 R_1 是一只应变电阻,它受被测量的变化产生了 ΔR_1 的变化($\Delta R_1 \ll R_1$),这时

$$\frac{\Delta U_o}{\Delta R_1} \approx \frac{dU_o}{dR_1} = \frac{-R_2}{(R_1 + R_2)^2} E$$

若我们用 u_o 表示输出信号的变化,则

$$u_o = \Delta U_o = \frac{-R_2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_1 E \quad (2-2)$$

若桥中 R_1 的变化用相对值 $\Delta R_1 / R_1$ 表示,则

$$u_o = -\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) E \quad (2-3)$$

对常用的等臂桥 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, 则(2-3)式可改写为

$$u_o = -\frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \quad (2-4)$$

可见,在等臂桥中,当有一个臂阻值有相对变化时,桥的输出电压变化与桥臂相对变化成正比。对用应变电阻构成的桥臂,这种变化常用应变系数 ϵ 表示:

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = K\epsilon \quad (2-5)$$

式中 K 为应变灵敏系数,一般 $K=2$ 。由式(2-4),得

$$u_o = -\frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) = -\frac{E}{4} K\epsilon \quad (2-6)$$

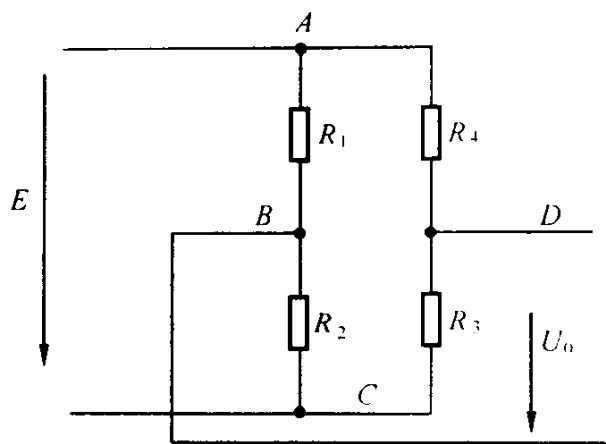


图 2-1 直流电阻电桥

2. 电阻桥的输出电压灵敏度

为了进一步表示桥臂变化对输出电压的影响,可引用它的电压灵敏度 S_u :

$$S_u = \frac{u_o}{(\Delta R_1/R_1)} = \frac{u_o}{K\epsilon} = -\frac{E}{4} \quad (2-7)$$

式中负号表示 $\Delta R_1 > 0$ 时输出电压减小,且在 $\Delta R_1 \ll R_1$ 时电压灵敏度几乎与 R 取值无关, S_u 近似可看成一常数。

例 有热敏电阻器,在室温条件下阻值为 $0.1\text{k}\Omega$,其灵敏度为 $+1\text{m}\Omega/\text{C}$,试设计一个温度测量桥并求出它的输出灵敏度。

解 用该热敏电阻构成的温度测量桥可设计成如图 2-2 所示, $E=5\text{V}$ 。室温时,调电路使其处于平衡状态, $U_o=0$,且 $R_1=R_2=R_3=R_4$, $R_4=0.1\text{k}\Omega+t\text{m}\Omega/\text{C}$,故有

$$S_u = \frac{1}{4} E = \frac{\Delta U_o}{(\Delta R_4/R_4)}$$

$$u_o = \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_4}{R_4} = 12.5\mu\text{V}/\text{C}$$

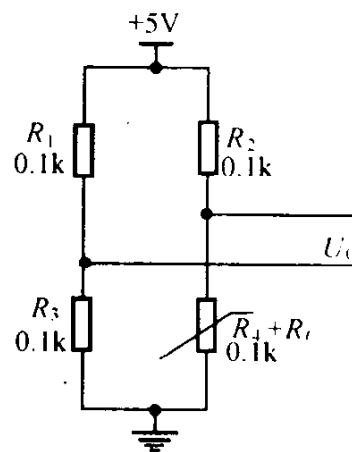


图 2-2 温度测量桥

二、 Ω/V 变换电路

以上讨论采用测量电桥实现阻抗—电压变换,除了这种方法以外,也可用运算放大器电路来实现。

1. 简单的 Ω/V 变换电路

简单的 Ω/V 变换电路如图 2-3 所示。图中 E 和 R 的值为常数,电路的输出电压与 R_x 成正比。

$$U_o = -IR_x \quad (2-8)$$

只要测得 U_o ,就能得到被测电阻 R_x 的大小。

2. 接地式 Ω/V 变换电路

在实际中图 2-3 电路输入端无接地点,它易受干扰也不方便。图 2-4 克服了 R_x 不接地的缺点。图中 T_s 和 R_s 组成一高精度恒流源电路, $I_s = I_{DSS}/(1+g_m R_s)$, I_{DSS} 和 g_m 为结型场效应管的两个特

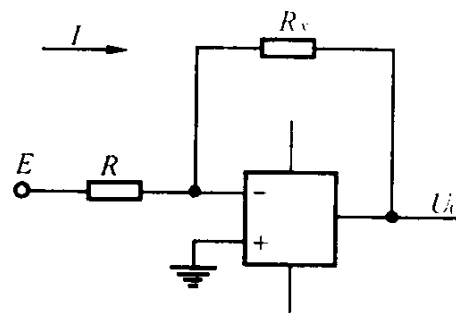


图 2-3 简单的 Ω/V 变换电路

性参数,管子选定后,它们已有确定的数值,调节 R_S 的大小就可调节 I_S 的大小。 $U_f = I_S R_f$,因此,该电路中

$$R_x = R_p \frac{U_{o1}}{U_f} = \frac{R_p}{U_f} U_{o1} \quad (2-9)$$

只要测量输出电压 U_{o1} 的大小,就能实现对 R_x 的测量。

三、I/V 变换电路

在检测技术中,为了便于长距离传输,测试信号经常采用电流形式,有些传感器的输出也是取电流形式的。而实际检测仪器的测量电路多数是采用电压信号形式工作的,因此,在设计这类自动测试仪器时,总是先用 I-V 变换电路将仪器输入端的电流信号变换成电压信号,然后才进行实际的测量过程。

图 2-5 画出了两种常见的 I/V 变换方法:图 2-5(a) 中测试电流 I_z (常见为 4~20mA 直流信号) 经导线长距离传输,送到自动测试仪器输入端后,仪器端接一个精密电阻 R_z (常见为 250Ω) 将 I_z 变换成被测信号电压 $U_z (= I_z R_z)$ 。只要 R_z 选择恰当, U_z 就可以满足仪器输入要求。

在恒流源电路中, R_z 不能取得太大,否则会引起信号源的工作不正常。为了改善这种情况,可以采用运算放大器电路结构,如图 2-5(b) 所示。运算放大器的输出电压为

$$U_z = -R_z I_z \quad (2-10)$$

而等效电路的负载电阻只有 $R'_z = R_z / K_0$,

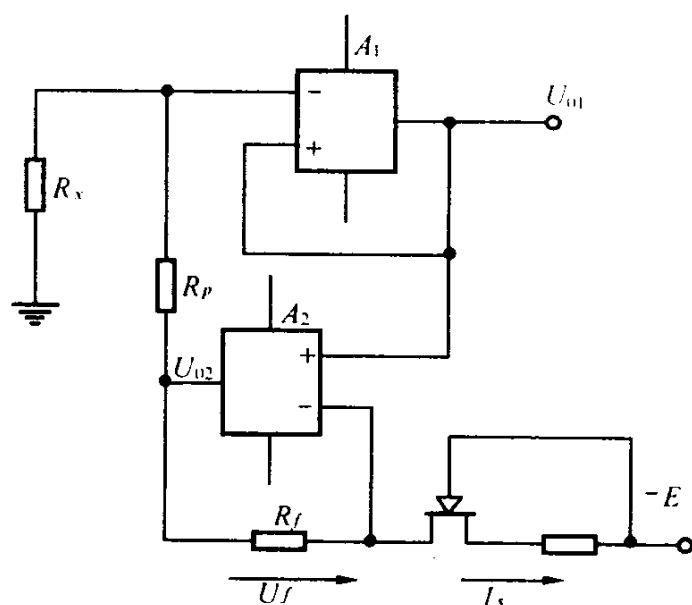


图 2-4 Ω/V 变换电路

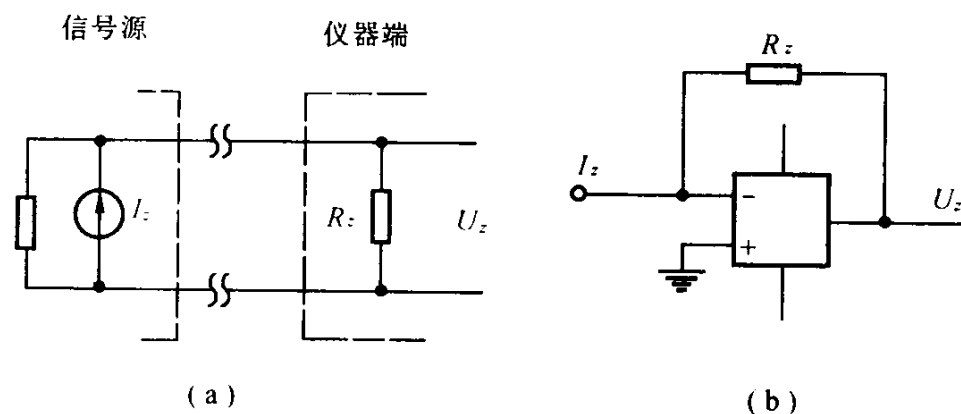


图 2-5 I/V 变换电路

由于 K_0 为运算放大器的开环放大倍数,大约为 $10^4 \sim 10^7$,故 R_z 几乎等于零。通过调节 R_z 的大小,可以调节 U_z 的大小,从而获得满意的测试范围。

四、其他变换电路

1. V/F 与 F/V 变换

自动测试仪器所用的单片机中都有计数功能,使用起来也比较方便,也不易受电磁干扰的影响,允许远距传输或无线遥测。因此在自动测试仪器设计中不乏采用先把被测量变为频率量,然后用单片机的测频计数功能来完成所需的测试任务这种设计方案。当然也有先把频率量变为模拟量,然后再完成测试的。在这两种设计方案中,都要用到 V/F 或 F/V 变换电路。V/F、F/V 变换电路都有专用的集成电路可以选用。下面我们以 LM331 为例来说明它们的使用方法。

(1) LM331 原理

图 2-6 是 LM331 的封装图。加电后,5 脚定时网络产生一个定时信号 U_t ,它与输入待变换电压 U_x 和一个门限电压 U_p 进行比较。当 U_t 小于 U_x 时,启动内部恒流源电路与 1 脚接通, U_t 可以继续上升,当 U_t 达到门限电压 U_p 时,内部定时电路状态翻转,一方面关断 1 脚的恒流源,另一方面使 U_t 作反向变化。当 U_t 下降到 U_x 时电路又会重复上述过程。

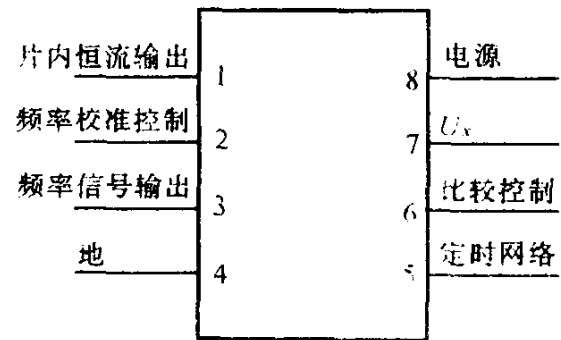


图 2-6 LM331 的封装图

U_t 波形如图 2-7 所示。可以看出在 5 脚定时电路和 U_p 选定的情况下, U_t 信号的变化频率与 U_x 大小成正比。 U_x 愈大, U_t 的工作周期愈小。反之, U_x 愈小, U_t 工作周期就愈长。在 U_t 状态翻转的同时, 3 脚内部的 OC 门也作相应的状态变化,因此可以在 3 脚得到一个输出频率与 U_x 大小成正比的脉冲信号。为了改善输出信号频率与 U_x 关系的线性度,要求在 6 脚外接一个积分电路,使 6 脚信号也参与对电路状态变化的控制。由于 LM331 内部采用了温度补偿电路,可以在很宽的电压应用范围内,都能得到极高的转换精度。

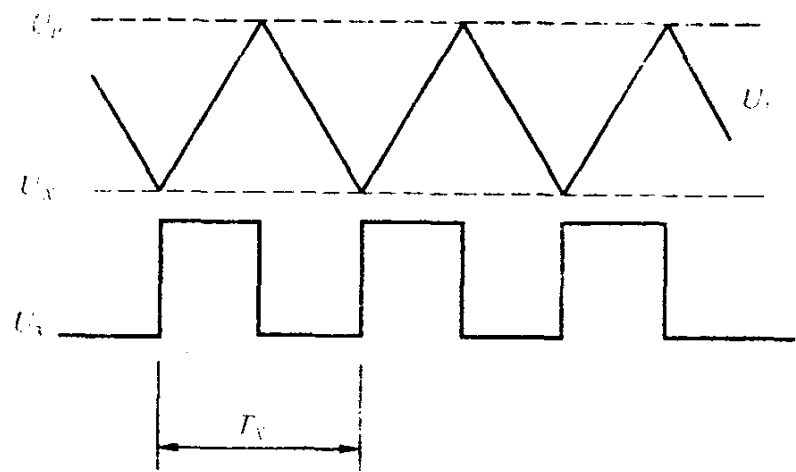


图 2-7 LM331 的原理波形图

(2) 用 LM331 设计 V/F 变换电路

图 2-8 是一个用 LM331 设计的 V/F 变换电路。图中待变直流信号电压 U_x 通过 R_1 和 C_1 滤波接入 7 脚。5 脚连接定时网络元件 R_5 和 C_5 , 6 脚接状态控制电路,调 W_1 可使电路状态达到最佳。2 脚接频率校准电路,输出频率信号从 3 脚引出。由于 3 脚内部是一个 OC 门,因此还要外接一只电阻到电源端。

该电路输入电压范围为 0~10V,相应输出信号频率为 10Hz~10kHz。

(3) 用 LM331 实现 F/V 变换的设计

图 2-9 画出了用 LM331 实现 F/V 变换的基本原理电路。与 V/F 变换不同之处是 F/V 变换中直接用输入信号控制内部恒流源输出的开关频率,这样在恒流源输出端 1 脚只要接一个积分电路,对 1 脚输出的恒流进行 I/V 变换,并滤除其纹波,就能得到相应的直流电压输出,它的大小正比于输入信号的频率。