

第一章 万用表及汽车万用表

1 概述

快速准确地诊断发动机系统的故障,是正确维修电控发动机的前提,也是维修技术的重要组成部分。发动机电控系统的故障诊断方法很多,最常用的故障诊断方法是根据故障代码和利用万用表检测相应的技术参数,以确定故障的原因和部位。

现代汽车发动机电控系统的故障自诊断功能。一旦电控系统出现故障,故障自诊断系统就将故障分类,并以故障代码的形式储存在存储器里,以供维修人员调用。在维修发动机电控系统时,维修人员可以采用专用的微机故障诊断仪(解码器)进行故障诊断,只要将其诊断接口和车上发动机电控系统的诊断接口(Diagnosis Connector)接到一起,操纵诊断仪的按键,选择相应的车型、年代和诊断类型,就可以了解故障代码、故障原因和范围。如无微机故障诊断仪,维修人员也可以利用故障自诊断系统本身的接口,按照各公司规定的方法读取故障代码,然后查阅故障代码表,以了解故障的原因和范围(称为故障代码法)。

利用故障代码法所得到的信息仅是关于发动机电控系统的故障原因和范围,而不是具体的某一故障部件或部位。例如,皇冠 3.0 轿车 2JZ-GE 型发动机故障代码“31”仅表示故障原因是进气歧管绝对压力传感器线路短路或断路、进气歧管绝对压力传感器损坏或微机(ECU)损坏。为了进一步确定故障部件或部位,需要用仪表检测。如果知道各传感器和执行部件的技术参数和电脑各端子间的电阻值和电压值,则可用数字式万用表进行检测。值得指出的是,各大汽车公司发动机电控系统使用的传感器和执行部件的技术参数基本相同,同一汽车公司的不同车型和同一车型年代款式的技术参数更是如此,这为用数字式万用表来检测和判断发动机电控系统的故障提供了方便。

现代汽车用微机及其控制线路的故障可以用该车型的微机故障检测仪或通用的汽车微机故障检测仪来检测。这些微机故障检测仪可以准确地检测出汽车微机及其控制线路的故障所在。但由于不同车型微机的结构及其控制线路分布形式有很大的不同,微机故障检测仪的使用方法也有很大的不同,因此在检测之前应熟练掌握被测车型《维修手册》及《微机故障检测仪使用手册》中所提供的有关检测技术、检测范围、检测步骤等内容。只有在此基础上,才能充分发挥微机故障检测仪的作用,得到正确的检测结果。

如果不具备微机故障检测仪,也可以用另一种检测方法,即通过使用万用表测量微机线束插头内各端子的工作电压或电阻来判断微机及其控制线路是否工作正常,用这种方法检测微机及其控制线路的故障,必须以被测车型的详细维修技术资料为依据。这些资料应包括:该车型微机线束插头中各端子与控制系统中的哪些传感器、执行器相连接;各端子在汽车不同工作状态下的标准电压值或标准电阻值,如果在检测中发现某一端子的实际工作电压或电阻与标准值不相符,即表明微机或控制线路有故障;与执行器连接的端子工作电压不正常,则表明微机有故障;与传感器连接的端子工作电压不正常,则可能是传感器或线路故障,只有通过进一步的检测,即可以找出故障的准确部位。

必须指出的是,这种检测方法对于判断微机及其控制线路的故障只是一种辅助的方法。因为微机在工作中所接收或输出的信号有多种形式,如脉冲信号、模拟信号等。而一般的万用表只能检测出电路的平均电压值。因此,即使在检测中微机各端子的的工作电压都正常,也不能说明微机就绝对没有故障。汽车电控系统工作不正常时,如果用这种方法检测发现异常,必须采用总成互换的方法来判断微机是否有故障。

2 袖珍数字万用表

2.1 袖珍数字万用表的特点

袖珍数字万用表亦称数字多用表(DMM),在电子测量领域中得到广泛使用。它具有很高的准确度与分辨力,显示清晰直观,功能齐全,性能稳定,测量速度快,过载能力强,耗

电节省,便于携带。与指针式万用表相比,袖珍数字万用表的主要优点是量程范围宽、精确度高、测量速度快、输入阻抗高(一般可达 $10M\Omega$)。它有如下特点。

2.1.1 采用数字化测量技术

习惯上,人们把随时间连续变化的物理量称为模拟量,把测量模拟量的仪表称为模拟指示仪表,如电流表、电压表、指针式万用表、温度计等,它们能够连续指示某一物理量在一定范围内的量值;把不随时间连续变化,而以阶跃形式、断续变化的物理量称为数字量,数字量是无法实现连续指示的。袖珍数字万用表采用数字化测量技术,通过 A/D 转换器将被测的模拟量转换成数字量,最终以数字量输出。只要仪表不发生跳数现象,测量结果就是唯一的,既保证了读数的客观性与准确性。又符合人们的读数习惯,显示结果一目了然,它不会像指针式万用表(VOM)那样,出现人为的测量误差。

2.1.2 液晶显示器(LCD)

袖珍数字万用表的显示位数通常为 2 位、3 位、3 位、3 位、4 位、4 位、5 位、6 位、7 位、8 位,共 11 种。

判别袖珍数字万用表位数有两条原则:第一,能够显示从 0~9 所有数字的位是整数位;第二,分数位的数值是以最大显示值中最高位的数字为分子,而用满量程时最高位的数值作分母。例如,某袖珍数字万用表的最大显示值是 ± 1999 (最高位数为 1),满量程计数值为 2000 (最高位数字为 2)。根据上述原则很容易判定,该万用表是由 3 个整数位(个位、十位、百位)和一个 1 位(千位,它只能显示 0 或 1)构成的,统称为“3 位”,读作“三位半”。这类袖珍数字万用表有 DT830A、DT830C、DT890D 等。

3 位(读作三又三分之二位)的最大显示值为 ± 2999 ,其最高位只能显示从 0~2 的数字。这类袖珍数字万用表有 DT860B、DT950、DT960T 等。在同样情况下,它们的量限要比 3 位提高 50%。

3 位(读作三又四分之三位)的最高位只能显示 0~3 的数字,其最大显示值为 ± 3999 ,量限比 3 位提高了一倍。此类袖珍数字万用表有 DT910、DT970、3211B 等。

选择 3 位袖珍数字万用表进行测量有许多方便之处。例如,3 位袖珍万用表的次高交流电压档为 200V,欲测量 200V 或 380V 工频电压,必须选用分辨力仅为 1V 的最高交流电压档(700V 档或 750V 档)而 3 位万用表的次高交流电压档设计为 400V,最适合测量工频电源电压,它既不欠量程也不超量程,不仅准确度优于 3 位万用表,且分辨力可提高 10 倍,达到 0.1V。

4 位、5 位等数字万用表的最大显示值分别为 ± 19999 、 ± 199999 ,余者类推。

袖珍数字万用表常采用高 12.5mm 的液晶显示器(LCD)。为提高观察的清晰度,也有采用字高 18mm 的大屏幕 LCD,如 DT830A、DT890D、DT940C、DT960T、DT970、DT980 型等采用字高 25mm(1in)的超大屏幕 LCD。

新型袖珍数字万用表大多增加了功能标志符,如单位符号 mV、V、kV、 μA 、mA、A、 Ω 、k Ω 、M Ω 、nS、kHz、pF、nF、 μF 、,测量项目符号 AC、DC、LO Ω 、MEM,特殊符号 LO BAT(低电压符号)、H(读数保持符号)、AUTO(自动量程符号)、 $\times 10$ (10 倍乘符号)、•))(蜂鸣器符号)

为克服数字显示不能反映被测量的变化过程及变化趋势之不足,“数字/模拟条图”双重显示袖珍数字万用表、多重显示袖珍数字万用表也竞相问世。这类仪表兼有数字仪表和模拟表的优点,为袖珍数字万用表完全取代指针式(模拟式)万用表创造了条件。

2.1.3 准确度高

袖珍数字万用表的准确度是测量结果中系统误差和随机意味着的综合,它表示测量结果与真值的一致程度,反映测量误差的大小,一般讲,准确度愈高,测量误差就愈小,反之亦然。

根据 JJG315-83《直流数字电压表》计量检定规程规定, 数字电压表(DVM)的测量误差用绝对误差形式表示。即

$$\Delta = U_x - U_N$$

式中: Δ —测量误差/V;

U_x —被测电压/V;

U_N —被测电压的实际值/V (可用准确度比被测电压表高 3~5 倍的标准仪表读得)。

数字电压表测量准确度的表示方法有两种表达式:

$$\Delta = \pm (a\%RDG + b\%FS); \quad (1-1)$$

$$\Delta = \pm (a\%RDG + n \text{ 个字})。 \quad (1-2)$$

式 1-1 中, RDG 为被测量值的读数(显示值), FS 为该量程的满度值。a 为误差的相对项系数, 与所选择的测量项目及量程有关 b 为误差的固定项系数, 与测量项目及量程无关。a%RDG 项为读数误差, 是数字万用表内 A/D 转换器和功能转换器的综合误差; b%FS 项为满度误差, 是由数字化处理带来的误差(包括零飘、噪声), 对于给定的量程是不变的。

式 1-2 中, n 是量化误差反映在末位数上的变化量, 满度误差用末位数字的跳变个数来表示, 记为 $\pm n$ 个字, 即在该量程上末位数字跳变 n 个字时的量值恰好等于 b%Fs, 由此可见, (1-1) 式与 (1-2) 式是等价的。

袖珍数字万用表的准确度远优于指针式万用表。表 1-1 列出国内外数字万用表典型产品与指针式万用表基本量程(数字电压表的不经分压器和不加放大器的量程, 是测量误差最小的量程)的准确度比较(不含满度误差项, 仅指综合误差项)。由表 1-1 可见, 袖珍数字万用表的优良性能是传统的指针式万用表望尘莫及的。

2.1.4 测量范围宽

3 位袖珍数字万用表测量范围一般为: DCV, 200mV~1000V; ACV, 200mV~700V; DCA, 20 μ A~20A, ACA, 20 μ A~20A; Ω ; 200 Ω ~20M Ω ; h_{FE} , 0~1000。

4 位袖珍多功能数字万用表的测量范围一般为: DCV, 0.01mV~1000V; ACV, 0.01mV~700V (或 750V); DCA, 0.1 μ A~20A; ACA, 1 μ A~20A; Ω , 0.01~20M Ω (少数表可达 200M Ω); S (导电); 0.1nS~100nS; C (电容), 0.1pF~20 μ F; f (频率), 10Hz~20kHz (部分可达 200kHz); h_{FE} (共发射极电流放大系数), 0~1000。这类数字万用表, 可满足常规电子测量需要。

表 1-1 袖珍数字万用表与指针式万用表准确度比较

被测量 显示位数	直流电压 DCV	直流电流 DCA	交流电压 ACV	电阻/ Ω	典型产品*
3 位	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.8\%$	$\pm 1.0\%$	DT830A
4 位	$\pm 0.03\%$	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.05\%$	HZ1942
5 位	$\pm 0.002\%$	$\pm 0.04\%$	$\pm 0.07\%$	$\pm 0.0028\%$	8840A
指针式万用表	$\pm 2.5\%$ $\pm 1.0\%$	$\pm 2.5\%$ $\pm 1.0\%$	$\pm 5.0\%$ $\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$ $\pm 1.0\%$	500 MF18

*DT830A 是深圳胜利仪器有限公司产品, HZ1942 为北京瑞普电子仪器厂产品, 8840A 系美国福禄克(Fluke)公司产品, 500、MF18 均为国产模拟式万用表。

2.1.5 分辨力高

指针式万用表的分辨力是用其刻度最小分度(或按指针宽度和刻度宽度)来衡量的, 而数字万用表的分辨力是其最低电压量程上末位一个字所对应的电压值。例如: 3 位袖珍数字万用表最低电压量程为 200mV, 其分辨力则为 0.1mV; 如果指针式万用表最低电压量程为 1V, 按 50 格计算, 其分辨力则约为 0.02V (20mV)。显然, 指针式万用表的电压分辨力远低于袖珍数字万用表的分辨力。

袖珍数字万用表的分辨力指标亦可用分辨率来表示。分辨率是指所能显示的最小数字

(零除外)与最大数字之比,通常用百分数表示。例如,3 位袖珍数字万用表可显示的最数字为1,最大数字为1999,故分辨率等于 $1/1999 \approx 0.05\%$ 。同理可以计算出3 位、4 位、4 位、5 位数字万用表的分辨率依次为0.025%、0.005%、0.0025%和0.0005%。

表 1-2 袖珍数字万用表最高分辨力指标

显示位数	最大显示值	最高分辨力/ μV	最高分辨率/%	备注
2	199	1000	0.5	$1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$
3	1999	100	0.05	
3	3999	100	0.025	
4	19999	10	0.005	
4	39999	10	0.0025	
5	199999	1	0.0005	

袖珍数字万用表具有分辨力高的优点。表 1-2 列出显示位数不同的袖珍数字万用表的最高分辨力指标,不难看出,数字万用表的分辨力随着显示位数的增加而提高。

必须指出,分辨力与准确度是两个不同的概念。前者表征袖珍数字万用表对微小电量的“识别”能力,即“灵敏性”;后者则反映测量的“准确性”,即测量结果与真值的一致程度。因此,不可将分辨力(或分辨率)视为一项类似于准确度的指标。

2.1.6 测量速率快

每秒钟内对被测电量的测量次数叫作测量速率(亦称抽样速率),单位是“次/s”。它主要取决于袖珍万用表 A/D 转换器的转换速率。

3 位、4 位袖珍数字万用表的测量速率一般为(2~5)次/s,多数(2~3)次/s。4 位袖珍数字万用表测量速率可达 20 次/s。测量速率随数字万用表的显示位数增加而增加,可达几十次每秒以上。

测量速率与准确度指标存在着矛盾,通常是准确度愈高,测量速率愈低,二者难以兼顾。为此,常采两种办法解决这一矛盾,其一是增设快速测量档;其二是通过降低显示位数来大幅度提高测量速率,此法应用比较普遍。

2.1.7 输入阻抗很高

袖珍数字万用表的输入阻抗是指其处于工作状态下,从输入端看进去的输入电路等效阻抗。袖珍数字万用表应具有很高的输入阻抗,只有这样,在测量过程从被测电路上吸取的电流才会极小,才不会影响被测电路(或信号源)的工作状态,从而减小测量误差。

3 位袖珍数字万用表直流电压(DCV)基本量程档的输入电阻一般为 $10\text{M}\Omega$;其他扩展量程,由于分压器的影响则有所降低,但也都在 $10^7\Omega$ 数量级。交流电压(ACV)档受输入电容的影响,其输入阻抗明显低于直流电压(DCV)档,只适用于测量低频或中频电压。测量高频电压则需借助于高频探头(配套件)。

2.1.8 低功耗

袖珍数字万用表普遍采用 CMOS 大规模集成电路的 A/D 转换器,整机功耗很低。3 位、4 位袖珍数字万用表的功耗仅几十毫瓦,可由 9V 叠层电池供电。

2.1.9 集成度高

袖珍数字万用表均采用单片 A/D 转换器,外围电路比较简单,只需要少量辅助芯片以及其他元器件。近年来单片数字万用表专用芯片不断问世。使用一片即可构成功能较完善的自动量程式袖珍数字万用表。

2.1.10 测试功能齐全

袖珍数字万用表的测试功能远远超过指针式万用表,不仅可以测量直流电压(DCV)、交流电压(ACV)、直流电流(DCA)、交流电流(ACA)、电阻(Ω)、二极管正向压降(V_F)、晶体管共发射极电流放大系数(h_{FE}),还可以测量电容量(C)、电导(S)、温度(T)、频率(f),有的还增设了用于检查线路通断蜂鸣器档(BZ)、低功率法测电阻档($LO\Omega$),还

能输出 50Hz 方波信号（作低频信号源使用）。

新型袖珍数字万用表除具有上述功能外，还有一些实用测试功能：读数保持（HOLD）、逻辑测试（LOGIC）、真有效值测量（TRMS）、相对值测量（REL△）、自动关断电源（AUTO OFF POWER）、液晶条图显示（LCD Bargraph）、峰值保持（PK HOLD）等。

2.1.11 过载能力强

袖珍数字万用表具有较完善的保护电路，过载能力强，使用过程中只要不超过规定的极限值，即使出现误操作，例如用电阻挡去测量 220V 交流电压，一般也不会损坏表内的大规模集成电路（A/D 转换器）。虽然如此，但还应力求避免误操作，以免由于外围元器件（如快速熔丝管、量程转换开关）损坏而影响正常使用。

2.1.12 抗干扰能力强

噪声干扰大致分两类，一类是串模干扰，干扰电压与被测信号串联加至仪表的输入端；另一类是共模干扰，干扰电压是同时加于仪表的两个输入端。衡量仪表抗干扰能力的技术指标也有两个，即串模抑制比（SMRR）和共模抑制比（CMRR）。袖珍数字万用表的共模抑制比可达 86dB~120dB。

2.2 袖珍数字万用表分类

国内外生产的袖珍数字万用表品种繁多，型号多达数百种，大致可作如下分类。

2.2.1 按量程转换方式分类

按量程转换方式可分为 3 种。

（1）手动转换量程式袖珍数字万用表

手动转换量程式袖珍数字万用表的内部电路比较简单，价格较低，但操作比较繁琐，常由于量程选择不合适而超载。这类数字万用表的典型产品有 DT810、DT830A、DT830C、DT830D、DT840D、DT890C₊、DT890D、DT930F₊、DT930FG、DT980、DT1000。

（2）自动量程式袖珍数字万用表

自动量程式袖珍数字万用表不仅可以简化操作，有效地避免出现过载，而且能保证测量处在最佳量程，有助于提高测量的准确度与分辨力。不过，测量的过程较长，尤其是被测量电量很小时，这是因为这类数字万用表，总是从最高量程开始测量，然后逐渐降低量程，直至合适量程为止。自动量程式袖珍数字万用表的典型产品有 DT840、DT845、DT860、DT860B、DT860C、DT860D、DT870、DT910、DT950、DT960T 等。

测量电压和电阻一般都是自动转换量程，由于受 A/D 转换器芯片内部模拟开关限制，测量电流有时需手动转换量程，有些单片芯片（ICL 7139、ICL 7149 型）还是能够自动转换电流档量程的。Fluke23 型袖珍数字万用表能自动转换电流量程。

（3）自动/手动转换量程式袖珍数字万用表

这类数字万用表的特点是一部分测量项目为自动转换量程，而另一部分测量项目为手动转换量程，如 DT970，频率档能自动转换量程，其余档均需手动转换量程。

2.2.2 按用途和功能分类

按照用途、功能，大致可分为 5 种。

（1）低档袖珍数字万用表

此类数字万用表属普及型袖珍数字万用表，功能比较简单，价格较低，一般只具有测量电压（V）、电流（A）、电阻（Ω）的基本功能，此外，有的设有二极管及蜂鸣器档、 h_{FE} 插口。

这类数字万用表的典型产品有 DT810、DT830A、DT830B、DT830C、DT840D、DT860B、DT860D、DT910 等。

（2）中档袖珍数字万用表

①多功能型袖珍数字万用表

这类袖珍万用表一般设有电容档,有的还增加了 $200\text{M}\Omega$ 高阻档(或电导档)、温度档、频率及逻辑电平档等。典型产品有 DT890B、DT890C、DT890D、DT940C、DT970。

②中等准确度的多功能型袖珍数字万用表

此类表的准确度较高,功能较全,典型品有 DT930F+、DT980、DT1000 型。

它们属 4 位袖珍式数字万用表,具有读数保持(HOLD)功能,准确度也较高,例如,DT930F+基本电压档准确度达到 $\pm(0.05\%\text{RDC}+3 \text{ 个字})$ 。

(3) 智能数字万用表

①中档智能数字万用表

此类袖珍数字万用表一般采用 4 位~8 位单片机,显示位数是 3 位~4 位。典型产品有 VC8235、VC8345,二者均配 RS-232 接口,可与 PC 电脑联机。

②高档智能数字万用表

这类数字万用表一般采用 8 位~16 位微处理器,具有数据处理、故障自检等多种功能,显示位数在 4 位以上,均配有与计算机相连的接口(RS-232 或 IEEE-488)。典型产品有美国 Fluke 公司生产的 8840A(5 位)、8520A(6 位、7 位),美国 HP 公司生产的 HP3440A(6 位)、HP3458A(8 位),英国 Solartron 公司生产的 7081(8 位、天津中环科学仪器公司引进生产的 HG1971(6 位~7 位)。

(4) 数字/模拟混合式万用表

其结构特点是在指针式万用表的基础上增加了 3 位数字显示装置。典型产品有日本三和电气计器公司生产的 DA250 型、英国约翰·弗卢克公司生产的 20 系列袖珍式万用表。

(5) “数字/模拟条图”双显示数字万用表。

数字万用表采用数字化测量技术,先将被测电量转换成电压信号,再以不连续、离散的数字形式予以显示,其测量是通过断续的方式进行的。因此,用数字万用表观察被测电量的连续变化以及变化趋势,如观察电解电容器的充、放电过程或热敏电阻值随温度变化的规律,就不如指针式万用表那样方便、直观。近年来问世的“数字/模拟条图”双显示数字万用表,彻底解决了数字万用表不适应测量连续变化量的技术难题。典型产品有美国 Fluke 公司生产的 73 型、75 型、77 型、83 型、87 型、88 型。

Fluke 87 型属于 4 数字/4×32(128 段)模拟条图双显示数字万用表。除测量 DCV、ACV、DCA、ACA、 Ω 、二极管之外,还能测量电容量($10\text{pF}\sim 5\mu\text{F}$)、频率($0.5\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$)、占空比($0.1\%\sim 99.9\%$)、最小值/最大值以及平均值,还具有读数保持(HOLD)、相对值测量(REL Δ)功能。测量交流时为真有效值响应,峰值保持时间为 1ms。能存储测量中的最小值、最大值和所有读数的平均值。高分辨力的模拟条图(指针),模拟显示速率为 40 次/s。数字显示速率为 4 次/s。

国内生产的数字/模拟条图双显示数字万用表的典型产品有 SIC 6010、STC6030(3 位数字/40 段模拟条图)、BY1935(3 位数字/31 段模拟条图)、DT 960T(3 位数字/41 段模拟条图)。

2.3 袖珍数字万用表电路结构

袖珍数字万表是由直流电压表(DVM)扩展而成,其电路框图如图 1-1。

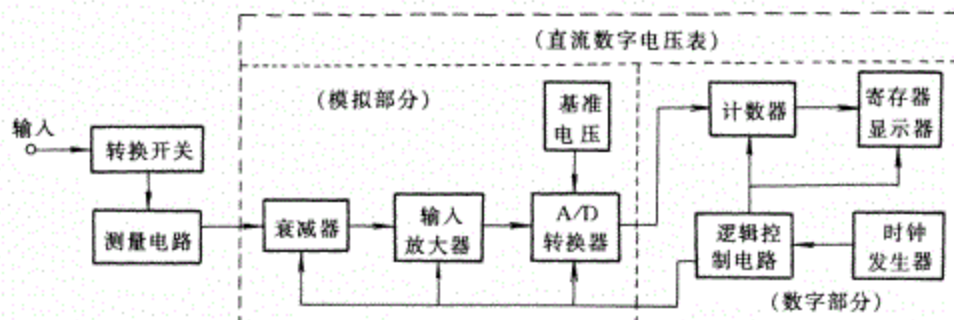


图 1-1 袖珍数字万用表电路结构

直流数字电压表的电路分为模拟部分和数字部分。模拟部分用于模拟信号处理，将模拟量转换为与之成正比的数字量。数字部分完成整机逻辑控制、计数和显示等功能。

被测量首先通过转换开关，再通过测量电路输出适于数字电压表测量的直流电压。测量电路包括 AC/DC 转换电路、I/V 转换电路、 Ω/V 转换电路等。

2.4 A/D 转换器

2.4.1 A/D 转换器类型

A/D（模拟量/数字量）转换器是直流数字电压表的“心脏”。A/D 转换器多达数十种，大致可分为 3 类：①单片 A/D 转换器；②单片数字万用表专用集成电路；③多重显示数字万用表专用集成电路。

所谓的单片 A/D 转换器，是采用 CMOS 工艺将直流数字电压表的基本电路（包括模拟电路与数字电路）集成在同一芯片上。配以 LCD（或 LED）数显器件后就能数显示 A/D 转换结果的专用集成电路。用它可以以最简单的方式构成直流数字电压表；若对其外围电路进行扩展，增加各种功能转换器，就能构成一块具有常用功能的数字万用表。

单片数字万用表专用集成电路的典型产品有 UJN9207（3 位）、TSC 815、ICL7149（3 W 位）等。用它构成的数字万用表，除电流档外，其余各档均可自动转换量程，外围电路简单、测试功能强、体积小，便于维修和调试。

多重显示数字万用表专用集成电路可动态驱动液晶条图和数字显示器，测试功能强。典型产品有 ICL 7182、TSC818A、TSC818D、TSC828 等。

2.4.2 A/D 转换器工作原理

A/D 转换器电路的具体形式较多，这里以常用的双斜积分式电路为例，介绍 A/D 转换器，其工作原理是：

在一次测量过程中，由同一积分器进行两次积分，一次是对被测电压 U_x 进行定时积分，另一次是对基准电压 E_r 进行定值积分。通过对两次积分过程的时间比较，将 U_x 变换成与之成正比的时间间隔，属于 V-T 型，并利用计数器测量该时间间隔。

双斜积分式 A/D 转换器原理图见图 1-2。它主要由基准电压 E_r 、模拟开关（S）、积分器、零比较器、控制逻辑电路、时钟发生器和计数、寄存、译码、显示等部分组成。工作时这种转换器按一定程序工作，整个工作过程可分为准备、采样、比较三个阶段。

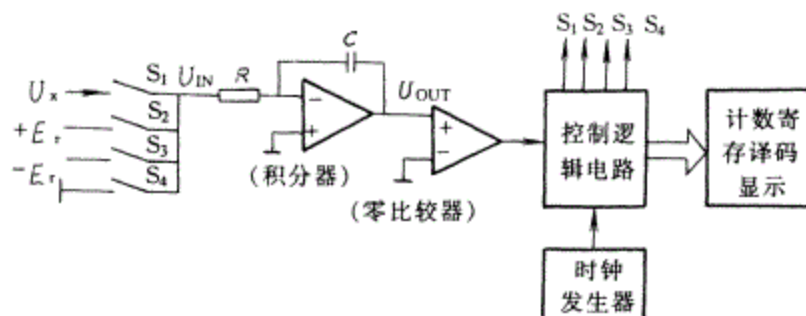


图 1-2 双斜积分式 A/D 转换器原理

积分器的输出波形见图 1-3 所示, 现分述如下。

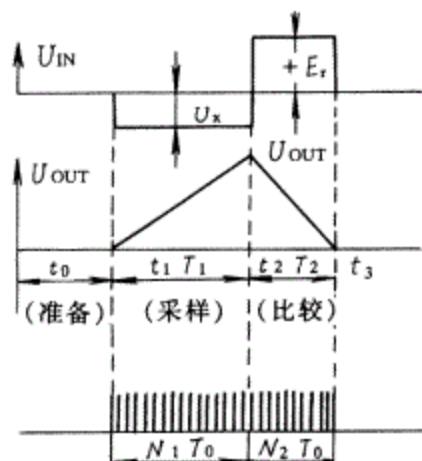


图 1-3 工作波形

(1) 准备阶段 ($t_0 \sim t_1$)

控制逻辑电路发出指令, 使 S_4 接通, $S_1 \sim S_3$ 断开。积分器输入电压为零, 输出 $U_{OUT}=0$ 。此时, 积分电容完全放电至零, 计数器复零, 电路处于休止状态。

(2) 采样阶段 ($t_1 \sim t_2$)

控制逻辑电路发出指令使 S_1 接通, $S_2 \sim S_4$ 断开。积分器输入端接入被测电压 U_x 。设 $U_x < 0$, 积分器则输出正电压。本阶段积分时间是固定的, 因此称定时积分阶段。

在 S_1 接通的同时, 计数器闸门也被打开, 时钟脉冲进入计数器计数。为了对本阶段定量积分, 采用对时钟脉冲定值计数的方法, 即计数器计数满定值 N_1 后终止, 与此同时, S_1 立即断开。这样, 在 t_2 时刻积分器输出电压

$$U_{OUT} = \frac{N_1 T_0}{RC} U_{x0} \quad (T_0 \text{ 为时钟脉冲周期, } N_1 T_0 \text{ 为本阶段积分时间})$$

(3) 比较阶段 ($t_2 \sim t_3$)

本阶段为定电压值积分阶段。 t_2 时刻在 S_1 断开的同时, 逻辑控制电路使 S_2 (若 $U_x > 0$, 则 S_3 接通, 接入 $-E_r$) 接通, S_1 、 S_3 、 S_4 断开, 正的基准电压 $+E_r$ 接至积分器, 积分器开始反向积分, 当到达 t_3 , 积分器输出电压 $U_{OUT}=0$ 时, 零比较器翻转。于是 S_2 断开, 一次转换过程结束; S_4 重新接通, 积分器进入下一个测量过程的准备阶段。寄存器将计数器的结果送译码、显示电路。

在 S_2 接通期间 T_2 , 计数器仍然进行计数, 设所得计数值为 N_2 , 则 $T_2 = N_2 T_0$ 。在 T_2 期间积分器输出电压回到零, 即

$$U_{OUT2} = U_{OUT1} - \frac{T_2 E_r}{RC} = \frac{N_1 T_0}{RC} U_x - \frac{N_2 T_0 E_r}{RC} = 0$$

化简上式可得到

$$U_x = \frac{N_2}{N_1} E_r = e N_2 \quad (1-3)$$

式中 $e=E_r/N_1$ ，称双斜积分式 A/D 转换器灵敏度，单位为 mV/字，对于确定的电压表， e 为定值。则式 1-3 可知，根据 N_2 可读出被测电压值。

双斜积分式 A/D 转换器的优点。

①其准确度和稳定度取决于基准电压，与积分元件时间常数无关，因此无需对元件进行精选。

②由于两次积分都是对同一时钟脉冲计数，在测量期内时钟频率稳定度对两次积分过程的影响相同。 U_x 只与比值 $T_2/T_1=N_2/N_1$ 有关。降低了对时钟频率源稳定度的要求。

③测量结果是 U_x 在采样阶段的平均值。因此，随机干扰产生的测量误差具有抵偿性，可大大减弱各种随机干扰的影响。

④成本低。

双斜式 A/D 转换器的主要缺点是测量速度低。目前这种转换器 CMOS 集成电路愈来愈多，它集成度高，成本低廉，在普及型数字多用表中已得到广泛应用。

2.5 袖珍数字万用表整机电路

下面以 DT-980 型袖珍数字万用表为例，简要介绍其电路组成。

DT-980 型袖珍数字万用表采用 ICL-7129 型 CMOS 单片 4 位 A/D 转换器，为高准确度、多功能袖珍数字万用表，它除了能测量交、直流电压，交、直流电流及电阻外，还能测量电容量，频率、二极管正向压降，检查线路的通断，各测量功能的分档情况如下：

直流电压 (DCV)：200mV、2V、20V、200V、1000V，最高分辨力 10 μ V；

交流电压 (ACV)：200mV、2V、20V、200V、700V，最高分辨力 10 μ V；

交、直流电流 (ACA、DCA)：20mA、200mA、20A，最高分辨力 1 μ A；

电阻 (Ω)：200 Ω 、2k Ω 、20 k Ω 、200 k Ω 、2 M Ω 、20 M Ω ，最高分辨力 10 M Ω ；

频率 (F)：20 kHz、200 kHz，最高分辨力 1 Hz；

电容 (C)：20nF、200nF、2 μ F、20 μ F，最高分辨力 1pF。

除以上测量功能外，还有自动校零、自动显示极性、过载指示、读数保持、显示被测量单位的符号等功能。测量直流电压时准确度为 $\pm 0.005\%$ ，配用专用 4 位大屏幕 LCD。

2.5.1 电路的基本组成

DT-980 型袖珍数字万用表的原理图如图 1-4 所示。全机由集成电路 ICL-7129、4 位 LCD、分压器、电流-电压变换器 (A/V)、电阻-电压变换器 (Ω/V)、AC/DC 转换器、电容-电压变换器 (C/V)、频率-电压变换器 (F/V)、蜂鸣器电路、电源电路等组成。