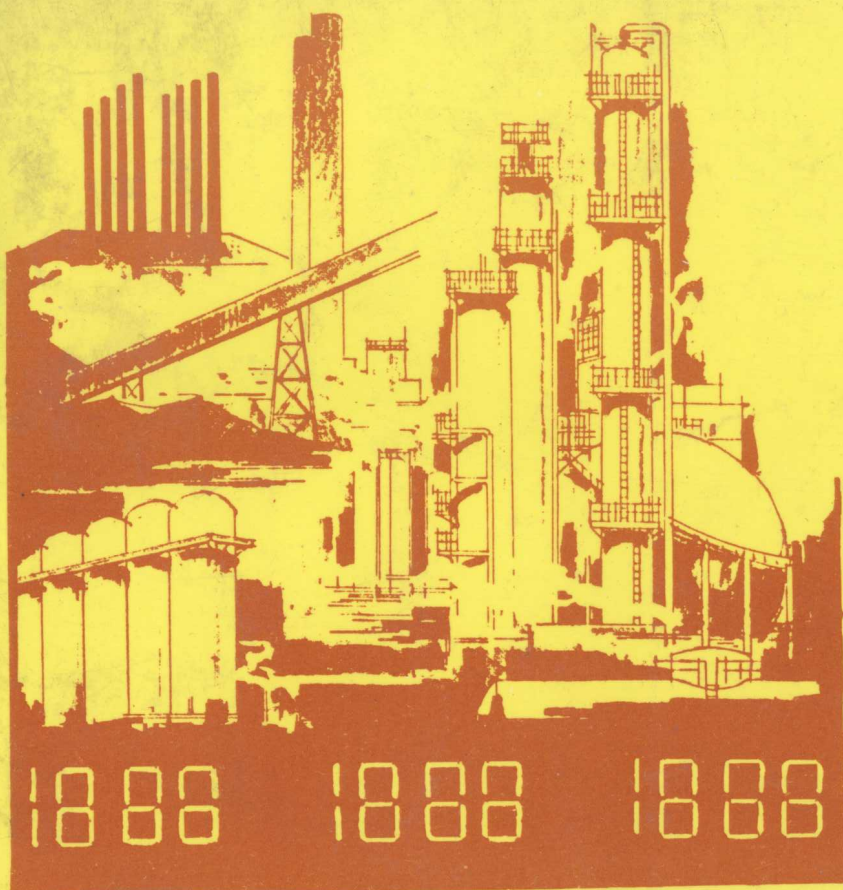




数字式测量仪表 原理与维修

张裕民 黄士明 编著

大连理工大学出版社

数字式测量仪表原理与维修

张裕民 黄土明 编著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 简 介

本书论述了各种类型的数字式测量仪表的工作原理、调校方法和故障排除技术。既介绍了配接热电阻、热电偶传感器的数字显示仪表,又介绍了两位式、三位式、时间比例式、比例—微分—积分等调节方式的数字式调节仪表,还介绍了数字显示开方器、多路数显测量仪、与直流信号配接的仪表以及输出直流信号的仪表。内容丰富,资料齐全,深入浅出,结合实际。

本书作为自动化仪表专业教学参考书,也可供有关专业的技术人员和工人自学和开发新型仪表之用。

数字式测量仪表原理与维修

张裕民 黄士明 编著

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码:116024)

大连海运学院印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:10 $\frac{7}{8}$ 字数:263 千字

1993 年 5 月第 1 版

1993 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册

责任编辑:王君仁

封面设计:羊 戈

责任校对:余 明

ISBN 7-5611-0437-5/TN·5

定价:6.80 元

序 言

在我国的工业生产中,温度显示和调节仪表的使用,已经有了悠久的历史 and 广阔的领域。1966 年以前,以 EFT 系列测温毫伏计为代表的第一代产品,体积大,重量重,精度为 1.5 级;1966 年我国自行设计了 XC 系列动圈式显示调节仪,它的体积小、重量轻,品种全,精度为 1.0 级,成为第二代产品。动圈式仪表的固有缺点是不耐震、易变值,越来越满足不了当代工业生产的需要。

电子技术的飞速发展,为仪表工业提供了新型的价格并不昂贵的集成电路,使数字式显示调节仪表做为更新换代的第三代产品投入市场成为可能。数字式仪表除了保持动圈式仪表的优点外,还具有读数清晰、无视差、性能稳定可靠、耐震性好、精度高达 0.5 级等优点。

大连自动化仪表厂从 1984 年建厂以来,在大专院校、科研单位支持下,于 1985 年实现了 SW、SD 型数字式仪表的系列化生产,目前已具有 27 种型号的产品,销向全国 26 省市。工厂的宗旨是“抓质量,上水平,降成本,搞联合,占市场”。在多种新产品研制和多届用户学习班培训中,从理论探讨、仪表质量提高到产品维修技巧,都积累了一定经验。特别是“正反馈热电阻线化器最佳参数推导、双电流源三线制引线电阻补偿、双电流源热电偶冷端补偿方法”等均有一定创见,本书意欲把这些体会奉献给读者。

本书力求理论结合实际,实用性强;深入浅出,适用面宽,使

之既适用于技术工人阅读,又能供相应专业的大专院校的本科生、研究生参考,还可为从事开发、应用新型仪表的工程技术人员提供帮助。

本书的第五章及各章中的调试和故障排除部分由大连自动化仪表厂黄士明厂长执笔(此章产品由大连理工大学邵军哲副教授等研制),其余各章均由大连理工大学张裕民副教授编撰,全书由张裕民统稿。

本书经大连计量测试技术研究所热工室于维海主任审阅。

对给予本书编写工作以指导和帮助的同志,在此表示衷心的感谢!

由于学识水平所限,本书难免存在缺点和错误,恳切希望读者不吝指正!

编著者

1992年10月

目 录

第一章 数字显示与 A/D 转换	(1)
§ 1-1 发光二极管数字显示器	(1)
§ 1-2 模拟/数字转换	(3)
§ 1-3 单片 CMOS $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(8)
§ 1-4 5 G 14433-3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(19)
§ 1-5 由 ICL 7107 组成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字显示器常 见故障的分析与排除	(26)
第二章 热电阻数字测温仪表	(30)
§ 2-1 电阻—电压变换电路	(30)
§ 2-2 引线电阻补偿电路	(37)
§ 2-3 线性化器	(46)
§ 2-4 SWT-02 型铂电阻数字式温度显示调节 仪整机介绍	(77)
§ 2-5 热电阻测温仪表常见故障的分析与排除 ..	(84)
第三章 热电偶数字测温仪表	(89)
§ 3-1 热电偶冷端温度补偿电路	(90)
§ 3-2 热电偶线性化器	(109)
§ 3-3 SWX-01 型热电偶数字式温度显示仪整机	

介绍	(130)
§ 3-4 热电偶测温仪表的调整及常见故障的分析与排除	(137)
第四章 与直流信号配接的仪表及输出直流信号的仪表	 (150)
§ 4-1 与直流信号配接的仪表	(150)
§ 4-2 输出直流信号的仪表	(156)
§ 4-3 电流转换器	(161)
§ 4-4 两种仪表的故障与排除	(164)
第五章 多路数字测温仪表	 (165)
§ 5-1 单片微型计算机	(165)
§ 5-2 SWX-1 型八路数字测温仪	(189)
§ 5-3 SWX-2 型八路数字测温仪	(221)
第六章 数字式开方仪表	 (243)
§ 6-1 电子开方器	(244)
§ 6-2 数字显示开方仪	(251)
§ 6-3 数字式开方积算仪	(257)
第七章 位式调节仪表	 (263)
§ 7-1 两位式调节仪表	(263)
§ 7-2 三位式调节仪表	(270)
§ 7-3 位式调节仪表的调测与故障分析	(278)
第八章 时间比例调节仪表	 (281)
§ 8-1 时间比例调节	(281)

§ 8—2 数字式时间比例调节仪·····	(283)
§ 8—3 时间比例调节仪的调试与常见故障分析 ·····	(292)
第九章 比例—积分—微分调节仪表·····	(295)
§ 9—1 比例—积分—微分调节·····	(295)
§ 9—2 数字式 PID 调节仪表 ·····	(302)
§ 9—3 数字式 PID 调节仪的调试与故障分析 ···	(305)
第十章 数字式仪表的按装与维护·····	(312)
§ 10—1 数字式仪表的型号 ·····	(312)
§ 10—2 数字式仪表的主要技术指标 ·····	(314)
§ 10—3 数字式仪表的安装 ·····	(316)
§ 10—4 数字式仪表的使用与维护 ·····	(316)
第十一章 附录(集成运算放大器的应用)·····	(325)
参考文献·····	(338)

第一章 数字显示与 A/D 转换

模拟电压的数字显示是数字式测量仪表的重要组成部分,该部分电路由数字显示器和模拟/数字转换器(A/D 转换器)组成。

当前工业中常用的数字式测量仪表,大都采用三位半发光二极管(LED)数字显示器以及与其相配套的单片 CMOS $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器。本章将对此加以介绍。

§ 1—1 发光二极管数字显示器

一、发光二极管

发光二极管是由化合物半导体,如砷化镓、磷化镓等材料做成的 PN 结,当电流通过 PN 结时,空穴从 P 区流向 N 区,电子从 N 区流向 P 区,电子从导带跃迁到价带与空穴产生复合,释放出能量,从而发出一定波长的光。其波长与材料的禁带宽度有关。砷化镓发光二极管发出绿光,磷化镓发光二极管,有的发绿光,有的发红光。

由于发光二极管体积小,重量轻,寿命长,电压低(1 ~ 2.5 伏),可靠性高,响应速度快,亮度也较强,功耗也不算大,很适用于测量仪表的数字显示。

二、LED 显示器

LED 显示器是由七个长条型发光二极管和一个圆点形发光二极管组成的数码管,长条型二极管组成日字形,由发光条的不同组合,可以显示出 0 ~ 9 十个阿拉伯数字的形状来,圆点则作为小数点使用。图 1-1 示出了 LED 显示器的原理图,(a) 示出

八个发光二极管的位置排列,当 a, f, g, c, d 发光时,便显示出 5; 当 a, b, c, d, e, f 发光时,便显示出 0。(b) 是管脚图,参照 (c) 和 (d),便可清楚的知道管脚与各发光二极管的关系。(c) 中各二极管的阳极接在一起成为公共端,称为共阳极式 LED 显示器,使用时公共端接高电位,当某一个二极管的阴极出现低电位时,则该二极管导电并发光;(d) 中各二极管的阴极接在一起成为公共端,称为共阴极式 LED 显示器,使用时公共端接地,当某一个二极管阳极出现高电位时,该二极管发光。型号为 FR-206A 型的 LED 显示器属于共阳极式的,而 FR-206C 型的,就属于共阴极式的。

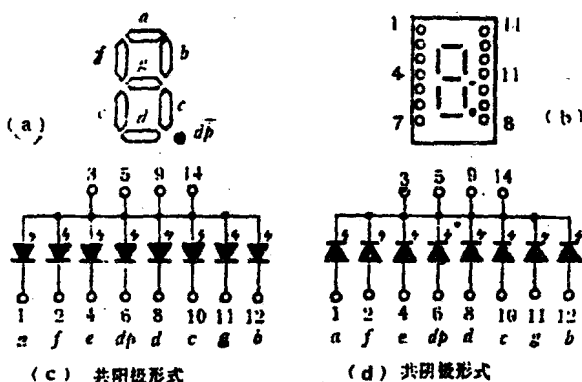


图 1-1 LED 显示器

每个发光二极管导电时,可流过 5 ~ 10mA 左右的电流,通过与每个二极管串接的限流电阻,可调整通导电流值,一般限流电阻取 100 ~ 400 Ω ,阻值大时电流下降,亮度随之减弱。

LED 显示器有不同的尺寸,根据日字形的高度可分为 0.3 英寸、0.5 英寸、0.6 英寸和 1 英寸,外形也不尽相同,有方形、长方形、园柱形、园球形,在数字式测量仪表中大都采用 0.5 英寸长方形的。

四支 LED 显示器组合在一起,可构成个位、十位、百位、千

位四位数,如果个、十、百位皆可显示 $0 \sim 9$ 十个数字,而令千位显示器只能显 0 和 1 两个数字,这时四支LED的组合体可显示的数字范围为 $0000 \sim 1999$ 。个位、十位、百位能显示十个数,称为全位,千位只能显示两个数,被称为半位,该组合体便称为三位半数字显示器,或 $3\frac{1}{2}$ 位数字显示器。

§ 1—2 模拟 / 数字转换

将模拟信号转换成相对应的数字信号称作模拟 / 数字转换,或A/D转换。A/D转换器的类型很多,从工作原理来分,就有逐次逼近型、并联比较型、电压频率型、双积分型等等。本节仅介绍在数字式测量仪表中使用较普遍的双积分型的A/D转换器。

一、双积分 A/D 转换器的基本工作原理

图1—2示出了双积分式A/D转换器的方框图。

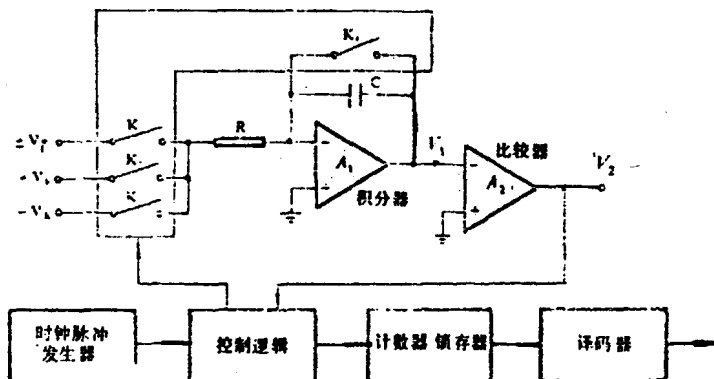


图 1—2 双积分式 A/D 转换器方框图

由图可见,双积分式 A/D 转换器电路包括模拟电路与数字电路两部分。模拟部分包括切换开关 $K_1 \sim K_4$ 、积分器 A_1 及电压比较器 A_2 等;数字部分包括时钟脉冲发生器、控制逻辑电路、计数器、锁存器、译码驱动电路等。

顾名思义,双积分式 A/D 转换必具有两次积分过程,第一次积分是将输入电压 V_i 加至积分器 A_1 ,该次积分的时间设一固定值 t_1 ,故称这次积分过程为定时积分过程,由於送入积分器的信号是被转换的 V_i ,该过程又称采样过程;第二次积分是将基准电压 V_R 加至积分器 A_1 ,该电压是固定值,故称这次积分过程为定压积分过程,由於送入积分器的信号是电路的内部设置的电压 V_R ,该过程又称比较过程。若 V_i 基本不变, V_R 本是恒定值,在两次积分过程中,积分器的输出电压与时间成直线关系,这两条直线的斜率是不同的,故双积分式 A/D 转换又称双斜率式 A/D 转换。

下面分别叙述这两个过程的工作原理:

1. 定时积分过程(采样过程)

本过程开始前,控制逻辑电路先令 K_4 闭合,电容器 C 上如有电荷可以放掉,确保积分器输出电压 V_1 为零。

本过程开始时, K_4 打开, K_1 闭合,输入电压 V_i 被连接到积分器入端,积分器输出电压从零开始,以下式关系变化:

$$V_1 = - \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_i dt \quad (1-1)$$

若积分时间为 t_1 ,则(1—1)可写成:

$$V_1 = - \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_i dt = - \frac{t_1}{RC} \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} V_i dt = - \frac{t_1}{\tau} \bar{V}_i \quad (1-2)$$

其中: $\tau = RC$, 积分时间常数;

$\bar{V}_i = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} V_i dt$, 输入电压在时间间隔 t_1 内的平均值。

若输入电压 V_i 等於常数 V_i ,则式(1—1)可写成:

$$V_1 = -\frac{V_I}{RC}t \quad (1-3)$$

该式表明积分器的输出电压与时间成比例, V_1 与 t 成直线关系, 直线的斜率为 $\frac{V_I}{RC}$, 当 RC 一定时, V_I 越大, 直线的斜率越大, $t = t_1$ 的 V_1 值也越大, 记为:

$$V_{11} = \frac{-V_I}{RC}t_1 \quad (1-4)$$

图 1—3 示出积分器输出电压波形:

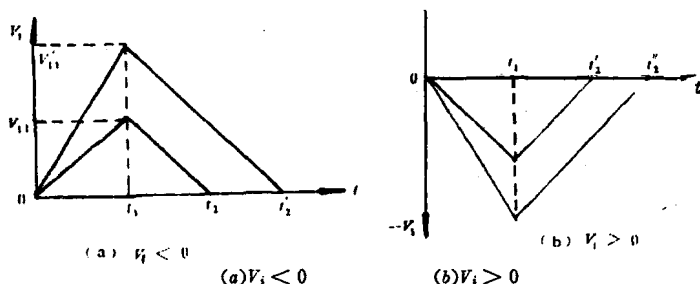


图 1—3 积分器输出电压波形

由於 A_1 是反相积分器, 当输入电压为负的时候, 积分器输出正向电压, 输入电压为正的时候, 输出负向电压。

在积分器开始工作的同时, 逻辑控制电路令时钟脉冲送入计数器计数, 若时钟脉冲的周期为 T_{CL} , 计数器的容量为 N_m , 令本过程积分时间 t_1 与 N_m, T_{CL} 有如下关系

$$t_1 = N_m T_{CL} \quad (1-5)$$

根据式(1-4)、(1-5)可得:

$$V_{11} = -\frac{V_I}{RC}N_m T_{CL} \quad (1-6)$$

式中 V_I 也可代入 $\bar{V}_i$ 。

时间从 0 到 t_1 是定时积分过程, 在此期间积分器对输入电压进行采样, 并将输入电压平均值 $\bar{V}_i$ 转换成积分器的输出 V_{11} ,

且 V_{11} 与 $\bar{V}_i$ 成正比。

2. 定压积分过程(比较过程)

当 $t = t_1$ 时, 定时积分结束而开始了定压积分过程。这时计数器溢出, 其内容为 0。溢出脉冲经逻辑控制电路令 K_1 打开、 K_2 或 K_3 关闭, 当 V_i 为正时, K_3 闭合, 接入负基准电压 V_R , 当 V_i 为负时, K_2 闭合, 接入正基准电压 V_R 。计数器重新开始计数。

从 t_1 时刻开始, 由于 V_R 与 V_i 极性相反, 故积分器开始反向积分, 积分器总的输出电压等于 V_{11} 加上反向积分值:

$$V_1 = V_{11} + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^t V_R dt = V_{11} + \frac{V_R}{\tau} (t - t_1)$$

当 V_1 降到零时, 上式可写成:

$$0 = V_{11} + \frac{V_R}{\tau} (t_2 - t_1)$$

$$\frac{V_R}{\tau} (t_2 - t_1) = -V_{11}$$

代入式(1—6), 整理可得:

$$t_2 - t_1 = \frac{V_i}{V_R} N_m T_{CL} \quad (1-7)$$

式(1—7)中, V_R , N_m , T_{CL} 皆为常数, 故时间间隔 $t_2 - t_1$, 是与 $V_i (\bar{V}_i)$ 成正比的。

积分器输出电压重新过零, 致使过零电压比较器发生翻转, 其输出电位的变化, 促使逻辑控制电路封锁计数器的时钟脉冲, 停止计数。在 $t_2 - t_1$ 时间间隔内, 计数器计数值为 N_z , 则两者关系可写成:

$$t_2 - t_1 = N_z T_{CL} \quad (1-8)$$

对比式(1—7)、(1—8)可得:

$$V_i = \frac{N_z}{N_m} V_R \quad (1-9)$$

式(1—9)说明输入电压的平均值与计数器的数 N_z 成正

比。若设计时取 $N_m = 1000$, 为了直观起见, 取 $V_R = 1000$ 毫伏, 那么 N_z 的数便是 V_i 的毫伏数了, 式(1—9) 简化为:

$$V_i = N_z \quad (1-10)$$

时间从 t_1 到 t_2 是定电压积分过程, 在此期间积分器对基准电压进行积分, 并将 V_R 的积分输出与 V_{11} 进行比较, 待两者相等时, 本过程结束, 并将输入电压的平均值转换成与其成比例的时间间隔, 进而转换成与其成比例的脉冲数, 计数器中的 N_z 可经译码器输出相应的数字量, 於是实现了模拟量到数字量的转换。

在定时积分过程, V_i 与 t 直线的斜率为 $\frac{\bar{V}_i}{\tau}$, 而定电压积分过程, 直线斜率为 $\frac{V_R}{\tau}$, 两者的斜率不同。由於两次积分过程中, 输入信号的极性相反, 积分器输出电压的极性也相反, 电容器 C 在一个过程中视为充电而另一个过程便视之为放电, 故有时又称定时积分过程为积分期, 定压积分过程为反积分期。

二、双积分 A/D 转换器的特点

1. 在两次积分过程中, 使用同一个积分器, 具有相同的时间常数 τ , 并用同一个时钟脉冲计数, 故只要保持每次转换过程中参数的短期稳定性, 其误差就可相互抵消, 这就可大大降低了对 R 、 C 和 T_{CL} 的精度和稳定度的要求。

为了便於理解, 不妨再回顾一下, 例如 T_{CL} 变小, 时间 $t_1 (= N_m T_{CL})$ 随之变短, $V_{11} (= \frac{V_i}{\tau} N_m T_{CL})$ 随之变短, 时间间隔 $t_2 - t_1 (= \frac{V_i}{V_R} N_m T_{CL})$ 随之变短, 但在变短了的 $t_2 - t_1$ 之内, 送入 T_{CL} 变小的脉冲去计数, $N_z (= \frac{t_2 - t_1}{T_{CL}})$ 可以不变, 於是有:

$$\begin{aligned} N_z T_{CL} &= \frac{V_i}{V_R} N_m T_{CL} \\ N_z &= \frac{V_i}{V_R} N_m \end{aligned} \quad (1-11)$$

上式中消去了 T_{CL} 的影响,说明 N_z 只与 V_I 、 V_R 、 N_m 值有关。

又如 τ 变大, $V_{11}(=\frac{V_I}{\tau}t_1)$ 变小,而在定电压积分过程中直线的斜率也变小,下降缓慢,这就有可能使变小的 V_{11} 下降到零的时间 $t_2 - t_1(=\frac{\tau V_{11}}{V_R})$ 不变,於是:

$$t_2 - t_1 = \frac{\tau V_{11}}{V_R} = \frac{\tau}{V_R} \frac{V_I t_1}{\tau}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{V_I t_1}{V_R} \quad (1-12)$$

上式中消去了 τ 的影响,说明 $t_2 - t_1$ 时间间隔与 τ 无关,令 $t_2 - t_1 = N_z T_{CL}$, $t_1 = N_m T_{CL}$, 代入(1-12)式中,即得(1-11)式,说明数字量 N_z 与 τ 、 T_{CL} 无关,但它与 V_R 有关,这就要求对双积分式转换器所提供的基准电压 应有足够的稳定度。

2. 输出的数字量与输入电压的平均值成比例,因此叠加在输入电压上的交流干扰(特别是周期性的交流干扰),不论其幅度大小,只要其周期等於 T_1 或几分之一 T_1 ,都可以被“平均掉”,表现出良好的抑制能力。若 T_1 时间取 20 毫秒、40 毫秒则對於 50 赫的工频干扰或工频的倍频干扰有显著的抑制效果。

3. 双积分转换,转换速度较慢。为了抑制工频干扰, T_1 至少要取 20 毫秒,再加上 T_2 时间和两次转换之间的复位时间等,可长至 50 毫秒,因而转换速度一般不高於每秒 20 次。

工业上用的数字式测量仪表,其输入电压变化缓慢,但要求有足够的精度和抗工频干扰能力,故双积分 A/D 转换器很适合在测量仪表中使用。

§ 1—3 单片 CMOS $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器

美国 INTERSIL 公司所生产的 ICL 7106/7107 ~ ICL

7136/7137 系列 A/D 转换器,是单片 CMOS $3\frac{1}{2}$ 位模拟 / 数字转换器。ICL 7106 系列配用液晶 (LCD) 显示器,使用 9 伏单电源; ICL 7107 系列配用发光二极管 (LED) 显示器,用 ± 5 伏双电源。两者均采用 40 条引线双列直插式封装。

表 1—1 列出了该系列产品的特点及对应的国产型号、生产厂家

表 1—1

LCD 显示用	国产型号	生产厂家	LED 显示用	特 点
7106	CH7106	上无 14 厂	7107	$3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器
7116			7117	带保持功能
7126	DG7126	北京 878 厂	7127	低功耗
7136			7137	溢出快速恢复

图 1—4 示出了该系列产品引线排列。

一、ICL7106、7107 $3\frac{1}{2}$ A/D 转换器工作原理简述

ICL7106/7107A/D 转换器属于双积分原理的转换器,每个转换周期为 $4000T_{CL}$,整个转换周期又分成三个阶段:自动稳零期、积分期(定时积分过程)、反积分期(定压积分过程)。下面简单介绍一下各阶段的工作过程:

1. 自动稳零期

在本阶段中完成两件工作:

a. 通过芯片内部的模拟开关将基准电容 C_{REF} 与基准电压 V_{REF} 相接,使电容充电到基准电压值(C_{REF} 、 V_{REF} 均在芯片外与芯片插脚相连,它们之间的连接与脱离,是依靠芯片内模拟开关的通与断)。

b. 通过芯片内部的模拟开关将芯片上的缓冲放大器接成同