

84589

上海交通大学《微型计算机》(47)

微型计算机与模拟转换器的 软件和硬件接口

一九八六年八月出版

微型计算机与模拟转换器的 软件和硬件接口

[美] 乔纳森 A 泰特斯 克里斯托弗 A 泰特斯

彼得 R 郎尼 戴维 G 拉森

孙国良 王月娟
姚俊才 徐大中 译

陈铁年校

1986. 7

微型计算机与模拟转换器的软件和硬件接口

[美] 泰纳森 A. 泰特斯等著

孙国良等译 陈铁年校

上海交通大学出版社出版

上海交通大学科技交流室发行

上海崇明裕安晨光印刷厂印刷

※

开本 787×1092 1/16 印张 11.0 字数 268 千字

1986 年 7 月第一版 1986 年 7 月第一次印刷

印数: 1-3250

书号 13324·00077 定价: 3.40 元

内 部 发 行

译 者 序

随着微处理器和微型计算机的广泛使用,各种仪器仪表都有智能化的趋势,许多过程控制和自动测量都开始使用微型计算机。这些任务的完成涉及到用微型计算机控制模拟量的采集、转换、处理和显示等问题。本书专门介绍解决这些问题的技术和方法。

本书选译自美国布莱克斯伯格进修教育丛书(Blacksburg Continuing Education Series)。由于该丛书的内容是美国的科技新知识和新技术,因此已为世界上许多正规教学所采用,并且已被翻译成德、日、法、意等文。本书的作者旨在向读者介绍微型计算机和模拟转换器接口的概念和技术。书中着重对各类 D/A、A/D 接口、控制软件及其应用作了阐述,对数字面板表(DPM)及其接口也作了较详细地介绍,此外还介绍了采样-保持电路和多路转换器、数据采集模块、功能插板等内容。实质上,本书所介绍的概念和方法可推广应用于许多种计算机的接口设计和程序编写。本书虽然集中讨论 A/D、D/A 转换器和 8080/8085 微型计算机的接口硬件和软件,但是电路设计和程序完全适用于 8080 类型的所有微型计算机——8080A、8085 和 Z80 等。

本书的特点是通俗易懂、内容丰富、实用性强。全书自始至终贯穿了软件硬件兼顾的特点,所以便于读者理解和掌握。书中列举了大量例子,给出了许多实用的接口电路和程序清单。有不少例子可直接为读者所用。本书不愧为一本很有价值的参考书。

本书的译文由陈铁年教授校阅,在翻译过程中还得到不少老师的帮助,特在此表示衷心感谢。由于译者的水平有限,加之翻译时间仓促,一定存在不少错误和缺点,欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 数-模转换器接口

1-1 引言	(1)
1-2 目的	(1)
1-3 D/A 转换器输出	(3)
1-4 模拟输出量的产生	(4)
1-5 斜坡电压的产生	(5)
1-6 复杂斜坡输出	(7)
1-7 三角波输出	(9)
1-8 方波和其它输出	(11)
1-9 数据的显示和输出	(13)
1-10 使用 D/A 转换器的高速 CRT 显示	(15)
1-11 10 位 D/A 转换器接口	(23)
1-12 存储器映象 I/O 技术和 D/A 转换器	(27)
1-13 其它数-模转换器	(29)

第二章 模-数转换器接口

2-1 引言	(32)
2-2 目的	(32)
2-3 模-数转换器	(32)
2-4 软件 A/D 转换技术	(32)
2-5 A/D 转换器组件接口	(40)
2-6 数据采集中 A/D 转换器的使用	(44)
2-7 数据采集定时	(46)
2-8 数据的使用	(54)
2-9 A/D 转换器在闭环控制中的应用	(65)

第三章 双斜式模-数转换器和数字面板表

3-1 引言	(68)
3-2 双斜式模-数转换器	(68)
3-3 数字面板表	(71)
3-4 BCD 数制	(71)
3-5 数字面板表的特点	(72)
3-6 数字面板表接口	(72)
3-7 BCD 数据的处理	(80)
3-8 十进制小数点的定位	(87)

3-9 信息软件	(88)
3-10 软件修改	(89)
第四章 其它类型转换技术	
3-1 引言	(91)
4-2 电压-频率转换器	(91)
4-3 快速转换器	(92)
第五章 采样-保持电路和多路转换器	
5-1 引言	(96)
5-2 采样-保持电路	(96)
5-3 采样-保持器的使用	(97)
5-4 多路转换开关	(101)
5-5 多路转换开关的信号输入	(104)
5-6 多路转换开关的应用	(105)
5-7 多路转换开关的接口	(107)
5-8 多路转换开关和采样-保持系统	(109)
5-9 信号处理	(111)
参考文献	(111)
第六章 数据采集模块、功能插板和位处理	
6-1 引言	(113)
6-2 黑盒子——数据采集模块	(113)
6-3 数据采集模块接口	(115)
6-4 数据采集软件	(115)
6-5 其它数据采集模块	(119)
6-6 模拟量输入和输出功能的插板	(119)
6-7 位处理	(121)
第七章 数-模和模-数转换器实验	
实验概述	(125)
实验一 10位数-模转换器接口	(128)
实验二 数-模转换器的复杂输出	(133)
实验三 软件控制的 A/D 转换器	(136)
实验四 软件控制的逐次逼近 A/D 转换技术	(140)
实验五 一个数据采集小系统	(145)
实验六 用 D/A 转换器测量逻辑门限电压	(150)
实验七 Burr—Brown MP-10 双 8 位 D/A 转换器	(154)
实验八 用两个 D/A 转换器实现 Y-T 显示	(158)
实验九 用两个 D/A 转换器实现 X-Y 显示	(164)
实验器材	(168)

第一章 数-模转换器接口

1-1 引言

大多数数-模转换器(DAC或D/A转换器)可看作电压或电流器件。它们的输出通常与二进制形式的数字值成正比。在这一章里,读者将会看到数-模转换器和微型计算机进行接口的方法,以及应用模拟量输出的一些例子。我们把D/A转换器作为组件来处理,对它们的内部操作原理不准备研究。当然,理解转换器的实际工作原理或许是很重要的。但是,我们认为这对于接口和软件开发的技巧不会有多大帮助。

1-2 目的

本章结束时,你将掌握以下内容:

1. 计算输出量程为 x 伏的 n 位D/A转换器的步电压(step-voltage)。
2. 阐述8位D/A转换器简单接口的工作原理。
3. 阐述怎样用D/A转换器产生下面各种输出的方法:
 - 正、负斜坡电压波形(锯齿波)
 - 三角波
 - 方波
 - 复合波

4. 设计10位D/A转换器双缓冲接口。

5. 对两个D/A转换器编控制软件以便用X—Y显示方式显示数据文件。

大多数数-模转换器(DAC或D/A转换器)都输出一个同某类输入数字量成正比的模拟量。典型的输入数字以二进制代码表示,输入代码各位的值只能取逻辑1或者逻辑0,倘若我们考察一个4位D/A转换器,它的输入各位为A、B、C和D,其权分别为1、2、4和8。那么就会发现输入有 0000_2 至 1111_2 16个可能的状态。假设二进制输入的每一位都将对总的输出贡献一个同二进制权成比例的电压。本例中用的最简单电压是 $A=1$ 伏、 $B=2$ 伏、 $C=4$ 伏和 $D=8$ 伏。如果在一个特定的位上出现二进制0,那么相应的权电压就不加进总和内。如果是二进制1,则把该位的权电压加进总和。

如表1-1所示,4位D/A转换器的电压量程为0至15伏。

大多数实际的D/A转换器都采用一串二进制加权电阻(R 、 $2R$ 、 $4R$ 、 $8R$ 等)或者 R - $2R$ 梯形网络。因为 R - $2R$ 梯形网络的制造和电气性能的改进都比较容易,因此人们喜欢采用。D/A转换器的各种输出电压是由电子开关的切换获得的,但是讨论实现的方法已超出本书的范围。电流输出型D/A转换器也很有用,它们具有建立时间快的优点,一般为几百毫微秒。要进一步了解D/A转换器及其参数(如线性度、偏移和分辨力),建议参考序言中提到的资料①。

通常,D/A转换器的输入和晶体管——晶体管逻辑(TTL)兼容,因而很容易同标准的7400系列逻辑以及大多数微处理器或微型计算机集成电路接口。一些同互补金属—氧化物—半导体(CMOS)或射极—耦合逻辑(ECL)输入兼容的新型D/A转换器也可买到。虽

表 1-1 电压量程从 0 伏至 15 伏的 4 位 D/A 转换器

输 入 二 进 制 码				输 出 电 压
D = 8	C = 4	B = 2	A = 1	(伏)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

然在后面的所有例子和练习中都将采用直接二进制编码的 D/A 转换器，但是许多转换器要处理其它编码输入。这些编码通常为：

1. 二的补码
2. 二进制反码
3. 偏移二进制反码
4. 偏移二进制码
5. BCD 码

这些编码在一些应用中可能是十分有用的，但是我们发现二进制编码的转换器在微型计算机接口中用得最广泛。一般转换器的输出电压为 0—10 伏，0—5 伏， ± 2.5 伏 ± 5 伏和 ± 10 伏。总之 D/A 转换器的种类繁多，可以满足用户的各种特殊要求。对于非标准的量程，可以使用增益恰当的运算放大器把输出电压“规格化”，以满足用户的要求。由于各种各样的转换器都可以买到，因此几乎没有人自己设计制造 D/A 转换器。8 位、10 位、12 位和 14 位二进制数字输入的 D/A 转换器是很普通的，价格均为 15 到几百美元。

① 原著的序中推荐了两本介绍 A/D、D/A 工作原理的参考书。这二本书是：Analog-Digital converter Notes, D.H.Shelngold, ed, Analog Devices, Inc, Norwood, MA02062, 1977 和 Data Conversion Hand book, Donald B.Bruck, Hybrld Systems Corporation, Burlington, MA01803, 1974。一译者注

1-3 D/A 转换器输出

当一个并行数字量加到 D/A 转换器输入端时, 转换器就响应输出一个相应的电压, 该输出电压与输入数字量成正比。我们怎样才能确定量程为 x 伏的 n 位 D/A 转换器的输出电压呢?

我们将从输出量程为 0—1 伏、输入为 8 位直接二进制码的 D/A 转换器着手。转换器的位数 n 为 8, 故从 0 到 255 共有 256 个值。其输出可分为 256 步, 每一步电压为 0.00390 伏或 3.9 毫伏。因此我们就能确定 D/A 转换器对于任意输入值为 x 的输出电压:

$$V_{out} = \text{输出电压} = (1 \text{ 伏满量程电压}) \cdot (X/256)$$

或者可用下面的公式求得:

$$V_{out} = \text{输出电压} = (X \text{ 步}) \cdot (0.00390 \text{ 伏/步})$$

满量程 0—1 伏的 D/A 转换器, 其部分输出电压如表 1-2 所示:

表 1-2 量程为 0—1 伏的 D/A 转换器对于各个二进制输入的输出电压

二 进 制 输 入	输 出 电 压 (伏)
00000000	0.00390625
00000001	0.00781250
00000010	0.01171875
00000011	0.01562500
00000100	0.01953125
.....	
.....	
11111011	0.98046875
11111100	0.98437500
11111101	0.98828125
11111110	0.99218750
11111111	0.99609375

有一点非常重要, 即应注意在上面的例子中, D/A 转换器的量程为 0—1 伏, 实际上输出的模拟电压不可能达到 1 伏。如果我们检验一下 8 位二进制数中每一位的权电压, 那么原因就很清楚了。由于我们采用的是二进制数, 每一位都是二的整数幂, 因而从最高有效位(MSB)到最低有效位(LSB), 也就是从最左边的一位到最右边的位, 每一位的权为其左边一位的一半, 而为右边一位的 2 倍。

让我们看看各位的实际权电压:

满量程电压 = 1 伏

LSB $0.00390625 = 1/256$ 伏

$0.00781250 = 1/128$ 伏

$0.01562500 = 1/64$ 伏

① MSB: Most significant Bit; LSB: Least significant Bit. 一译者注。

$0.03125000 = 1/32$ 伏
 $0.06250000 = 1/16$ 伏
 $0.12500000 = 1/8$ 伏
 $0.25000000 = 1/4$ 伏
 MSB $0.50000000 = 1/2$ 伏

1-4 模拟输出量的产生

D/A转换器组件迅速地把输入二进制值转换成电压。但是只要输出的电压还需要，这些输入就应该保持不变。如果联接8位数据总线和D/A转换器的输入线来简单地 把D/A转换器和微型计算机接口，那么就会在D/A转换器的输出端发现其输出电压在不断地变化。这是因为当微型计算机用总线传送数据和指令时，出现在D/A转换器输入端的许多不同的8位二进制数值会在输出端产生各种杂乱的电压。因此不仅要把数据加到D/A转换器的输入端，而且也应该按要求保持数据值。可以使用一个锁存器去捕捉来自数据源(通常为微型计算机的数据总线)的数据。通常构成D/A转换器的完整接口只需要锁存器、设备译码电路和转换器本身。

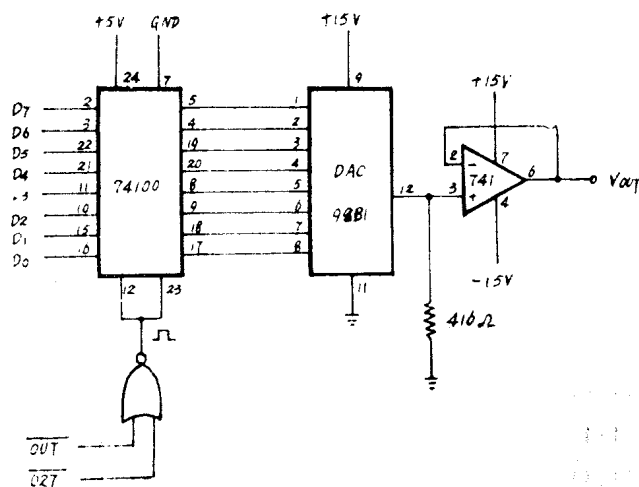


图 1-1 使用锁存器电路把Datel DAC—98BI 转换器同 8080 微型计算机接口

典型的 D/A 转换器接口如图 1-1 所示。图中 Datel DAC—98BI 组件用来做 8 位 D/A 转换器。DAC—98BI 组件有一个电流输出端，此外还增加了附加电路以获得 0—1 伏的输出量程。

图 1-1 中用设备译码和设备寻址信号触发锁存器。有关这类问题的详细资料，建议参考《数字电子学的引导实验》(Introduction Experiments in Digital Electronics) 和《8080A 微型计算机的程序设计和接口》第2册第 17 章(8080A Microcomputer Programming and Interfacing, Book2, Unit No.17)。

计算机用类似于图 1-1 电路所产生的输出模拟量具有许多用途。以下仅举其中的某些例子：

1. 驱动伺服电机

2. 驱动条状曲线记录器(Strip—Chart Recorder)
3. 控制电压—频率转换器
4. 控制可编程序电源
5. 驱动模拟电表

在某些应用场合,要求产生一线性增加的斜坡电压去控制一个测试过程、使记录器的一支记录笔动作、或使示波器的电子束移动。在后面所举的例子中,我们要用 D/A 转换器产生线性斜坡电压。

1-5 斜坡电压的产生^①

D/A 转换器的斜坡电压输出可能是最简单的输出,用很简单的软件就能产生。你或许会想到在软件中只要用 8080 指令系统中有限的几条指令就可以产生加到 D/A 转换器上线性递增的二进制数。本例中我们将用如图 1-1 所示的接口电路,该电路中的 D/A 转换器已经同 8080 类型微型计算机接口。用 OUT 027 指令把 8080 的 A 寄存器内容传送到 D/A 转换器的锁存电路。

产生斜坡输出的一种最简便办法是用一条寄存器加 1 指令。典型的斜坡电压波形如图 1-2 所示。



图 1-2 典型斜坡波形

藉助一个 8080 通用寄存器数值逐次加 1 指令,并把该寄存器内容输出到 D/A 转换器的锁存电路,那么大约在 3.2 毫秒时间内就可输出 256 步(假定 8080 的时钟周期为 500 毫微秒)。在产生斜坡电压的软件中引进延时子程序可使每个斜坡的周期时间增大,而使斜率变小。例 1-1 中的软件表示产生斜坡电压所需的步骤,而例 1-2 的软件则表示如何通过调用延时子程序来延时,延时子程序可以是一串无操作指令(NOP),或者是一个能满足众多要求的较复杂的可编程延时子程序。在第二个例子中,用汇编语言写出了个通用的延时子程序。

例 1-1 输出正向斜坡电压的典型软件^②

```

                                *003000
003   000   074   START,   INRA    ; 累加器 A 加 1
003   001   323           OUT     ; 把 A 内容输出到 DAC
003   002   027           027    ; DAC 的设备号
003   003   303           JMP     ; 连续执行以上步骤
003   004   000           START
003   005   003           0

```

① 斜坡电压即通常所说的锯齿波电压。

② 原书中的程序实例都采用每行输出一个字节的格式。这种格式由克里斯托弗 A. 泰特斯博士编写的 TEA (Tyehon Editor/Assembler) 生成。其优点是直观易懂。程序中的有关数据、存储单元地址都采用八进制数系。本书后文除特殊需要加以说明外,都不另作规定。文中的二进制数、十进制数一般在右下角加注释说明,例 10110011₂, 260₁₀。
——译者注

例 1-2 有延时的正向斜坡输出软件

```

* 003 000
003 000 061      LXISP      ; 装入堆栈栈顶地址以使用子程序
003 001 377      377
003 002 003      003
003 003 074      LOOP:    INRA      ; A 加 1
003 004 323      OUT      ; A内容输出到 DAC
003 005 027      027
003 006 315      CALL     ; 调用延时子程序
003 007 014      DELAY
003 010 003      0
003 011 303      JMP      ; 循环执行
003 012 003      LOOP
003 013 003      0

      以下是延时子程序
003 014 365      DELAY:    PUSHPSW   ; 保护寄存器A内容和标志
003 015 325      PUSHD     ; 保护寄存器 D 和 E 内容
003 016 021      LXID      ; 装入定时字节
003 017 065      065      ; 065装入 E 寄存器
003 020 001      001      ; 001 装入D寄存器
003 021 033      DEC:      DCXD      ; 寄存器对 DE 减 1
003 022 172      MOVAD
003 023 263      ORAE      ; 假如 D 或 E 非零则 D 寄存器对
003 024 302      JNZ      再减 1
003 025 021      DEC
030 026 003      0
003 027 321      POPD      ; 取回保护值
003 030 361      POPPSW   ; 恢复 A 和标志值
003 031 311      RET      ; 返回

```

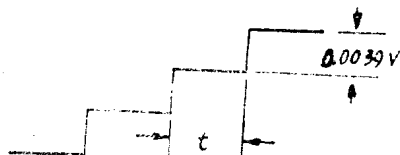


图 1-3 经放大的 D/A 转换器线性电压输出

值得注意的是 D/A 转换器的输出还是步电压为 0.0039 伏的离散电压。因此把线性输出放大时，输出波形如图 1-3 所示。

周期时间 t 取决于希望计算机以多快速率输出模拟量信息。例 1-2 的延时子程序可把

周期时间增大到几秒。如果不允许阶跃函数，而要求更好的线性输出，那么就要对输出电压进行滤波或者积分。在大多数应用中，虽然可用放大器把输出量程增加到 0—10 伏，或者对某个特殊应用增加到 0—2.35 伏，但是输出是不滤波的。

在有些应用场合，可能要求一个从最高电位减小到最低电位的负向斜坡。这可以在 D/A 转换器的接口电路中加一个增益为 1 的反相放大器和另外一些元件来实现。这是一种硬件解决的办法。然而，我们所举的例子中更合理的方法是把软件改为寄存器减 1，使 D/A 转换器的输出值逐步减小。这种方法是软件法。产生负向斜坡的软件如例 1-3 所示。

例 1-3 输出负向斜坡电压的典型软件

```

                                * 003      000
003      000      075      START;      DCRA      ; 累加器 A 减 1
003      001      323                                OUT      ; 累加器内容输出至 DAC
003      002      027                                027
003      003      303                                JMP      ; 保持循环
003      004      000                                START
003      005      003                                0

```

当然，在软件中可以插进调用延时子程序的指令，但是在本例中没有示出。

应该注意，当 8080 的一个 8 位内部寄存器的值为 377 或 11111111₂ 时，加 1 后就变为 000 或 00000000₂。因此，在一步内最大值变为最小值，斜坡重新从底部开始，同样，00000000₂ 减 1 就变为 377 或 11111111₂，一步之内最小值又变为最大值。所以不需要附加软件就重新初始化寄存器，使其值为起始值。

1-6 复杂斜坡输出

可能在一些应用中，不需要完整的从最小值到最大值的斜坡扫描输出。例如，假定 D/A 转换器已经同计算机接口。转换器的输出量程为 0—10 伏满度。我们要求输出的范围在特定下限电压和上限电压之间。在这一例子中，我们将低限设置为 2.0 伏，高限设置为 8.0 伏。由于使用 0—10 伏整个量程，因此我们可以用运算放大器使输出范围减小，并对其进行偏置。不过，我们将用软件来代替上面的方法。

这是典型的“硬件/软件权衡选择”。采用运算放大器电路时，系统中所加的硬件比用软件方法时更多，而改变上下限电压更困难。尽管如此，硬件方法仍有它的优点，这是因为经过运算放大器输出将把 256 点电压压缩到较小的范围内。这就是说，2.0—8.0 伏这一范围被分为 256 点或 256 步。软件方法对于 0—1 伏的 D/A 转换器产生 0.0039 伏的步电压，对于 0—10 伏的 D/A 转换器则产生 0.039 伏的步电压。

这个问题的首要任务是确定上下限的二进制值。这可以用经验来得到，即在实验板上对 D/A 转换器进行试验，缓慢地增加输入二进制值，并注意观察 D/A 转换器的输出达到 2.0 伏及 8.0 伏时的值。也可以按下面的式子计算：

$$\frac{10 \text{ 伏满度输出}}{256 \text{ 步}} = 0.0390 \text{ 伏/步}$$

因而

$$\frac{2.0 \text{ 伏}}{0.0390 \text{ 伏/步}} = 51.3 \text{ 步}$$

当然，步的数目不可能为分数。所以步数只允许是 0 至 255 之间的整数值。故要想求得下限，必须选择 51 步 (1.989 伏) 或 52 步 (2.028 伏)。在这种情况下，取 1.989 伏作下限。用同样的方法，我们确定用 205 步表示上限。

例 1-4 中的软件从下限开始，并以每步 39 毫伏的离散电压使 D/A 转换器的输出增加到 8.0 伏的上限电压。

表 1-3 上下限电压及其对应二进制八进制和十六进制值

电压(伏)	步 数	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
2.0(1.989)	51	00110011	063	33
8.0(7.995)	205	11001101	315	CD

例 1-4 有上下限的斜坡输出

* 003 000

```

003 000 076  START:  MVIA          ; 初始值装入累加器 A
003 001 063          063          ; 063 = 05110 (2.0 伏)
003 002 323  LOOP:  OUT           ; 下限值输出至 DAC
003 003 027          027
003 004 074          INRA         ; 累加器 A 加 1
003 005 000          NOP
003 006 000          NOP
003 007 000          NOP
003 010 376          CPI          ; 与上限值比较
003 011 315          315          ; 315 = 20510 (8.0 伏)?
003 012 302          JNZ          ; 如不等，再执行 LOOP
003 013 002          LOOP
003 014 003          0
003 015 303          JMP          ; 如相等，则重新初始化后
003 016 000          START        再执行
003 017 003          0

```

例 1-4 中所示的软件将使 D/A 转换器的最大输出电压要比上限电压小 39 毫伏。这是由于上限值同累加器实际值之间的比较是在累加器加 1 以后进行的，而这时该数值还没有输出到 D/A 转换器。如果 D/A 转换器的输出要真正达到上限值，那么用来比较的值应由 315 改为 316。

这一简单程序可以用来循环产生某两个电压之间的斜坡。这两个电压的大小不超出 D/A 转换器输出电压的量程。如果采用减 1 指令，把累加器的值同下限值比较，并在达到下限值时重新把累加器的值设置为上限值，那么也能够产生负向斜坡。

输出波形的斜率由计算机执行全部指令所需要的时间来决定。在例 1-4 中有 3 条无操作指令(NOP)，因此可以在程序中插进调用延时子程序的指令。为了使输出斜坡的速率提高到最佳状态，就要把几条 NOP 指令去掉而使程序得到压缩。

与简单的延时循环相比，延时子程序比较复杂。标志、中断或者别的激励都能够控制计算机是否要对下一步进行处理。在开始另一个斜坡周期以前，也可以增加软件来等待外部事件发生。

1-7 三角波输出

前面所讨论的关于产生斜坡的软件可作为 D/A 转换器产生三角波的基础。在下面的例子里，假设输出一个满量程为 0-10 伏的完整三角波。三角波输出的第一个程序如例 1-5 所示。

例 1-5 三角波输出程序 1

				• 003	000
003	000	257		XRAA	; 累加器 A 清零
003	001	074	UP:	INRA	; A 加 1
003	002	323		OUT	; 累加器 A 内容送 DAC
003	003	027		027	
003	004	302		JNZ	; 非零, 则继续执行 UP
003	005	001		UP	
003	006	003		0	
003	007	075	DOWN:	DCRA	; A 减 1
003	010	323		OUT	; A 内容送 DAC
003	011	027		027	
003	012	302		JNZ	; A 内容 = 0?
003	013	007		DOWN	; 不为零, 继续执行 DOWN
003	014	003		0	
003	015	303		JMP	; 为零, 则再从 UP 开始执行
003	016	001		UP	
003	017	003		0	

如果执行上面的程序，那么在三角波的顶点就会看到一个“假信号”^①。该假信号是由程序引起的。因为作为计数器的寄存器值增加到最大值 377 时，软件必须再使其加 1 变为 000，并在用 JNZ 指令测试该值前就输出给 D/A 转换器。

当计数寄存器的值达到 000 时，就“跳过”JNZ 指令而开始执行程序 DOWN 部分。图-4 示出了执行例 1-5 软件时 D/A 转换器的输出波形。以上这些例子都假设 D/A 转换器的输出是理想的。

把指令 INRA 和指令 OUT 027 的位置相互对调就可以消除假信号。例 1-6 所示的软件已经过修改，用它可产生一较满意的三角波。这个新的程序(三角波程序 2)在输出指令的前面就检测计数器加 1 后的值，以避免第一个程序(例 1-5)中所发生的输出序列 377, 000, 377。

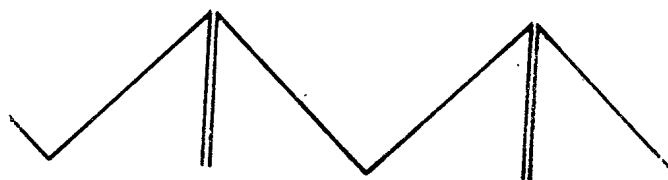


图 1-4 D/A 转换器在执行例 1-5 软件时的输出

例 1-6 三角波输出程序 2

```

                                * 003    000
003    000    257                XRAA                ; 累加器 A 清零
003    001    323    UP :      OUT                ; A 值输出给 DAC
003    002    027                027
003    003    074                INRA                ; A 加 1
003    004    302                JNZ                ; 非零, 则转 UP
003    005    001                UP
003    006    003                0
003    007    075    DOWN :    DCRA                ; A 减 1
003    010    323                OUT                ; A 值输出给 DAC
003    011    027                027
003    012    302                JNZ                ; 非零, 再去执行 DOWN
003    013    007                DOWN
003    014    003                0
003    015    303                JMP                ; 如为零, 则转移到 UP
003    016    001                UP
003    017    003                0

```

但是, 第二个程序发生另一个问题。即最大值 377 和最小值 000 都连续两次输出给 D/A 转换器, 因此使三角波的最高点和最低点都有一个平台。这些平台如图 1-5 所示, 其宽度为软件所产生的其它电压阶梯的两倍。

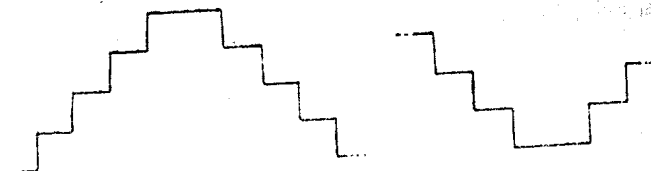


图 1-5 有高、低平台的三角波输出

这个问题也是由软件产生的。在 UP 的软件循环中, 指令 OUT 027 把值 377 输出给 D/A 转换器后, 累加器(或寄存器 A)加 1 变为 000, 再由 JNZ 指令检测且减 1 回到 377。

①假信号——glitch

而后，这一值在软件的 DOWN 部分又被输出。因此 377 被两次输出给 D/A 转换器。显然为了纠正这一点应该在软件中再做一些修改。

例 1-7 所示的软件增加了加1指令和减1指令，使 377 和 000 值的“两次输出”问题得到纠正。该程序提供“无假信号”的三角输出。应当注意，可能还有许多其它的软件可解决这个问题。

例 1-7 三角波输出程序 3

```

• 003      000
003      000      323      UP :      OUT      ; 累加器A的值输出给 DAC
003      001      027                      027
003      002      074                      INRA      ; A 加1
003      003      302                      JNZ      ; 不为零，再执行 UP
003      004      000                      UP
003      005      003                      0
003      006      075                      DCRA      ; 为零，则 A 减 1 得 377
003      007      075      DOWN :      DCRA      ; 再减 1
003      010      323                      OUT      ; A值输出给 DAC
003      011      027                      027
003      012      302                      JNZ      ; 不为零，再执行 DOWN
003      013      007                      DOWN
003      014      003                      0
003      015      074                      INRA      ; 为零则A加1得 001
003      016      303                      JMP      ; 转移到UP
003      017      000                      UP
003      020      003                      0

```

由于例 1-7 的软件中，UP 和 DOWN 两个软件循环所包含的指令数相等，所执行的时间也相等。所以三角波正、负斜波的周期相等。在斜度要求不等的场合，为了得到不对称的输出，可在程序中加入一些 NOP 指令或插入调用延时子程序指令。例如，如果在 DOWN 循环的 OUT 027 指令和 JNZ 指令之间插入 11 条 NOP 指令，那么正斜坡的周期与负斜坡周期的比约为 3 比 7。

1-8 方波和其它输出

使用 D/A 转换器以及交替输出低电压和高电压的软件就能容易地产生出方波。方波的周期和频率可由软件中所用的一些 NOP 指令和调用的延时子程序来决定。方波输出程序的典型例子见例 1-8。

例 1-8 典型的方波输出程序

```

• 003      000
003      000      076      START:      MVIA      ; 把下限值装入 A
003      001      023                      023
003      002      323                      OUT      ; 输出给 DAC

```