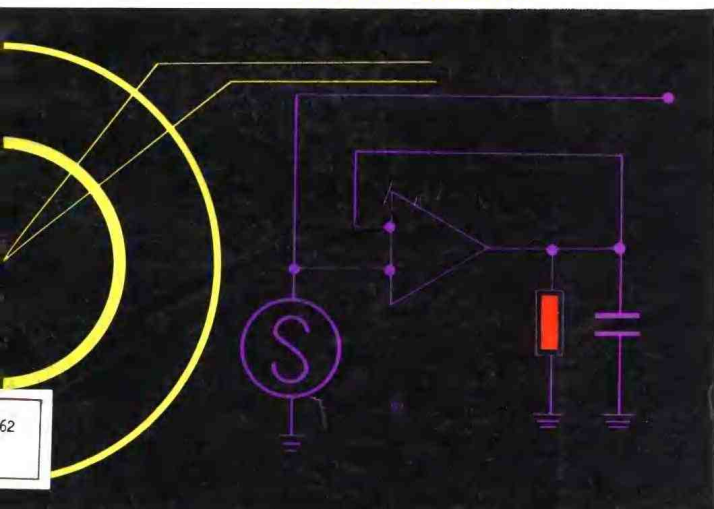


实用电子 电路手册

胡家忠 编译

SHIYONG DIANZHI
DIAN LU SHOU CE



湖北科学技术出版社

实用电子电路手册

胡家忠 编译

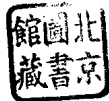
冯功啟等 校

CR100/21

湖北科学技术出版社

B

429740



内 容 提 要

本书汇编了日本近年来在晶体管、集成电路方面的应用实例近200个;对晶体管、集成电路的各种应用方法作了广泛的介绍,内容包括运算放大器、信号发生器、滤波器、变换电路、微计算机及其外围电路、检测电路、电源电路、调光电路、温度调节控制电路、马达调节控制电路、可控硅电路及其它电路,并且对每个电路的工作原理、元件的作用及其选择、实际的调试安装方法,都作了说明。

本书不仅可供从事计算机、自动控制、电子仪器仪表等专业的科技人员及大专院校师生参考,而且还可供非本专业的广大实际工作者作为工具书使用。

实 用 电 子 电 路 手 册

胡家忠 编译

冯功敏 校

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北省黄石市第二印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14印张 350千字

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数: 1—10,000册

ISBN7—5352—0131—8 / TN·0003

统一书号: 15304·161 定价: 3.85元

(照排胶印压膜)

编 译 者 的 话

本书根据日本《晶体管技术》编辑部编辑、CQ出版社1983年再版的《实用电子电路手册》丛书第五册摘译而成。该书参考了日本电气、东芝、日立、三菱、松下、富士通、新日本无线电等21家大电气公司的实验资料，由51人集体编纂而成，共汇集实用电子电路近200个。对每个电路的工作原理、主要元件的作用及选择、实际调试安装方法，特别是一些具体的工艺要求等，都作了比较详细的说明。

编译时，针对我国的具体情况，不但注意到技术的先进性，还考虑到可行性。译者极力使本书具有内容新、题材广、实用性强的特点。

本书初稿译出后，承武汉钢铁学院自控系研究生钟春林同志通读。第一章承中国科学院武汉力学研究所林希胜同志审校，提出了许多宝贵意见，谨此深表谢意。

由于译者水平有限，书中一定存在缺点、错误，请读者批评指正。

编 译 者

一九八五年十月

目 录

第一章 模拟电路	1
用于P/R热电偶的调制型前置放大器	1
价格便宜且性能优良的峰值取样保持电路	2
能够在宽范围内设定的比较器	3
对数放大器	5
电流—时间对数变换器	6
对数压缩方式数字·音频·处理器	7
精密相位可调器	9
输出为100W (100V _{rms})的可变频率电源	10
输出高电压、大电流的运算放大器	12
宽频带功率放大电路	14
宽频带90°移相器	15
自动平衡型低通滤波器	17
具有高除去率又不降低响应速度的滤波放大器	19
不用温度传感器的恒温发热电路	21
霍尔IC无触点警报电路	21
使用CdS光耦合器件的维恩电桥低频发生器	23
伪正弦波发生器	24
运算放大器高输入阻抗电路的实际安装方法	25
第二章 微计算机外围电路	27
微计算机的模拟量的输入	27
微计算机用存储器	29
C-MOS存储器	29
外壳接地和微计算机接地	30
初始化复位电路	31
存储器写入保护电路	33
动态显示	34
RS232C双向隔离器	35
键盘编码器	36
使用D-A转换器的F-V转换器	38
微程序序列发生器(I)	41

微程序序列发生器 (I)	43
能使用子程序的微程序序列发生器 (II)	44
供微程序控制用的循环计数器	47
可任意置数、增量或减量为任意值的电路	48
H68/TR用32K 动态RAM电路	50
8080中的存储器读出电路	51
7段码→BCD码的转换电路	54
采用比例测量原理的温度 A-D 变换器	57
第三章 电力控制电路	60
减少噪声的开关元件安装方法	60
各种电源噪声防止法	62
使用开关电路装置时, 抑制噪声干扰的措施	63
抑制变压器漏磁噪声的措施	64
3-1 电源电路	66
用三个三端集成稳压器构成的实验用简易稳压源 ($\pm 15V$, $+5V$)	66
数控 $0 \sim 9.99V$ 基准电压源	67
电压设定级差为 $10mV/LSB$ 的数字设定式标准电压源	68
提高恒流源电路的稳定性	72
提高稳压源的稳定性	73
利用Bi-MOS型运算放大器构成的稳压源电路	75
浮动型稳压·恒流电源电路	77
程控电源电路	78
由高压晶体管构成的 $0 \sim 500V$ 单边振幅放大器	79
备有安全功能的电源电路	80
带保护电路的开关稳压器	81
自激式开关电源电路	82
交流稳压电路	84
3-2 调光电路	85
明暗灯电路	85
灯光驱动电路	86
白炽灯的控制	87
白炽灯用小型调光器	89
荧光灯调光电路 (I)	90
荧光灯调光电路 (II)	91
3-3 温度调节控制电路	92
温度调节电路	92
温度控制电路	94
采用铂测温体作传感器的 $1kW$ 调温电路	95
以热敏电阻作传感器的比例控制调温电路	96

采用C-MOS的热敏电阻调温器	98
比例积分控制的4kW调温电路	99
焊锡槽的温度控制电路	101
电饭锅的温度控制	103
简易型温度控制电路	106
电子恒温槽	107
通用结露控制电路	108
采用感热可控硅的温水锅炉温度检测电路	109
3—4 马达控制电路	111
直流马达的驱动电路	111
直流马达的控制电路	113
直流马达的正转、反转控制电路	116
用可控硅驱动直流马达	118
通用马达的驱动及其速度控制	121
开关调节器方式的马达驱动	123
采用锁相环的直流马达控制	124
交流马达的驱动电路	126
感应马达的控制电路	128
采用简单的涡流离合器进行速度控制	131
采用MOS FET的步进马达驱动电路	136
3—5 其它电力控制电路	138
继电器驱动电路	138
高精度无触点零伏开关电路	140
变换器电路	141
带有火焰检测电路的瓦斯点火电路	145

第四章 简易计测器电路 148

微量电流计	148
交流电压计电路	149
采用乘法器的CRT线性校正器	150
IC开路/短路检验器	152
导通试验器 (I)	154
导通试验器 (II)	156
用单一电源制作的逻辑检验器	157
电子式瞬时断路器——可控硅保护电路	158
能测微量流的微差压计	160
采用D-A变换器的1024级衰减器	162
f _c 可变的有源滤波器	164
能模拟直流马达可逆转电路的试验装置	165
能测模拟放大器线性的简易线性检验器	167

用发光二极管显示相序正常与否的相序检验器	172
调整运算放大器的重要工具——零点调整器	176
调整软件的重要工具——用于8085A的程序检验器	178
在检验动态动作时,能显示内容的RAM	182
模拟8080A动作的硬件调整器	185
电子式负荷装置——电源调整率测试装置	193
采用LM3911温度传感器的数字温度计	194
用于检查大量产品的开关晶体管饱和电压 $V_{CE(sat)}$ 测试器	196
利用齐纳二极管的白噪声发生器	197
能在100Hz~4MHz范围内进行小刻度设定的可编程脉冲发生器	198
能正确设置占空范围的脉冲序列发生器	200
采用相位比较器的高精度简易型频率检测检验器	201
用于逻辑检验测试的计数器	202
能测接触电阻及线圈电阻的低电阻测试器	204
能精密测量低电阻的电阻测试适配器	206
输出阻抗测试器	207
由频率计数器、数字电压表及脉冲振荡器构成的超小型多用途测试器	209
电流输出型温度传感器与数字面板表组成的数字温度计	212
采用电压输出型温度传感器的数字温度计	213

第一章 模拟电路

模拟电路中，最标准化的器件要算运算放大器。这些运算放大器被制成具有各种特性的器件，并且已经完全标准化了。

从电子电路最近的发展趋势来看，虽然由于采用微计算机，可获得高速、高性能及高可靠性，在信号处理部分也几乎数字化了，但与此相连接的输入输出(I/O)部分却仍然需要模拟电路。因此，随着微计算机性能的提高，要求模拟电路也具有相应的技术水平。

随着半导体制造技术的不断进步，这些制造技术也渐渐地适用于运算放大器了。以前，一提到运算放大器，就是 $\mu A709$ 、 $\mu A741$ 等。而现在使用的电路则已经系列化了，并正朝着专用化方向（而不是通用化方向）发展。专用化方向表现在以下几个方面：

- (1) 低噪声化；
- (2) 高输入阻抗化；
- (3) 高速、宽频带化；
- (4) 低偏置、低漂移化；
- (5) 低功耗化；
- (6) 高压、大输出。

现在，上述各方面的器件，都在各自领域中向高性能化方向发展。

特别是出现了所谓双极性场效应晶体管(Bi-FET)的运算放大器（在双极型电路中与结合型场效应管组合而成的运算放大器），使上述第(2)方面得到了根本的改善。这种Bi-FET运算放大器的其它性能也非常好，可取代原来由分立元件组成的电路，其应用范围也就大幅度地扩大了。

运算放大器集成电路大体上已经标准化了，各公司都有同一类电路的产品出售，但是由于模拟信号本身的信息量较多，总会有些细微差别，所以，常常A公司和B公司的运算放大器，虽属同一类型，却不能互相换用。因此，这里所说的标准化并不是通用化。选用运算放大器比选择数字集成电路要困难一些，务必谨慎从事。是否能针对各种模拟电路选择最合适的运算放大器，就要看技术工作者的本事了。

用于PR热电偶的调制型前置放大器

热电偶的输出电压很小。即使是具有最高灵敏度的CRC型热电偶，其灵敏度也只有 $60\mu V/^{\circ}C$ ，所以在前置放大级必须使用低漂移的运算放大器。通常使用断路器型调制电路，或低漂移的运算放大器。

图1—1是用于热电偶的前置放大器。它基本上是一个标准的断路器型调制放大器，所使用的元件，价格便宜，且性能良好。

如图所示，在 $1M\Omega$ (R_1 和 R_2)和 $0.1\mu F$ 组成的CR滤波器的后级设有对称调制器，把信号变换成约600Hz的对称方波。这个交流信号经仪器放大器放大1000倍。这里使用普通电

路, 并采用交流耦合, 但由于取消了放大器的偏置, 使后续的正负整流电路的正负增益相等, 故可进行直接耦合。为此, 输入电阻值必须很大, 故使用了 $1\text{M}\Omega$ 的高滤波电阻。

图中, 当模拟开关CD4066闭合时, 同步整流器 A_4 为反相放大器; 当开关断开时, A_4 为非反相放大器, 因而能正确地进行解调。

这个电路很容易进行调整,只需调整决定电路增益的VR₁及偏置电位器VR₂即可。但是,为了获得高精度和低漂移性能,应注意下列几点:

首先, 放大器 A_3 必须调整到正好平衡。为此, R_7/R_8 、 R_9/R_{10} 、 R_{11}/R_{12} 的相对误差要小。另外, 同步整流器的正、负增益一致也是很重要的, R_{15}/R_{16} 也应一致。按图中的参数, 这个放大器的漂移可以达到 $0.7\mu V/^{\circ}C$ 以下。

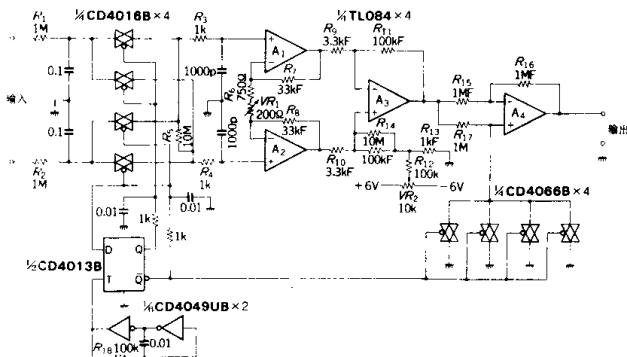


图 1-1 差动式输入放大器

价格便宜且性能优良的峰值取样保持电路

取样保持电路,或峰值保持电路,若由运算放大器或场效应晶体管、二极管、三极管等构成,由于各元件存在着偏置电流及漏电流,要长时间地保持取样值或峰值不变是很困难的。

如果将积分电容的值取得很大,虽然也能保持,但要达到要求的保持值却需要时间,即由于上升时间延迟了,就要占用一些测试时间,这对于在有限时间内进行大量性能的测试来说,是非常不利的。

现在已经可以买到模板型峰值取样保持电路,性能很好,但价格非常高。数字式电路虽然准确,但高速数字电路一般结构复杂,价格也很昂贵。最近,已有一种价格便宜的数字面板表出售, $3\frac{1}{2}$ 位的数字面板表花 1~2 万元就可以买到。

一般来说, 取样保持值或峰值保持值用面板表显示后, 还需进行数据处理。用面板表表示并输出 A-D 变换的结果, 输出就可成为 BCD 并行码或二进制的串行码。在面板表上, 通常都有一个 HOLD (保持) 接头, 从这个接头输入“L”电平 (也有输入“H”电平的, 面板表就显示取样值 (或峰值), 并停止 BCD 数据的更新。

用图1—2所示的电路作取样（或峰值）保持电路，就可使保持的值一直保持下去。

一般，将定时器555的输出接到面板表的HOLD接头，面板表就处于保持状态，即使有输入，面板表的显示也不会改变。将这种面板表引入保持电路，就可一直保持住输入值，直到定时器555的输出变为“H”为止。

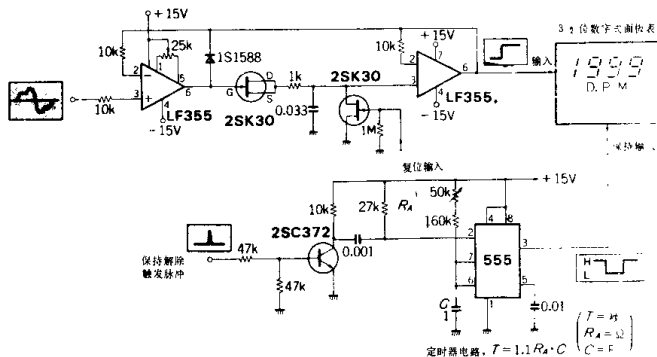


图1—2 峰值保持电路

能够在宽范围内设定 的比较器

在工业机器等各种装置的
控制中，广泛地使用着比
较器。下面介绍一种与继电
器相配合的、设定容易、且
再现性能好的比较器电路。

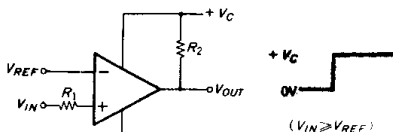


图1—3 非倒相型电压比较器原理图

首先，简要地说明其工作原理。

电压比较器的集成电路有LM139、LM239、LM339、LM339A，还有LM2901、LM3302等。为了适应多种功能的需要，这里采用的是LM2901电路。

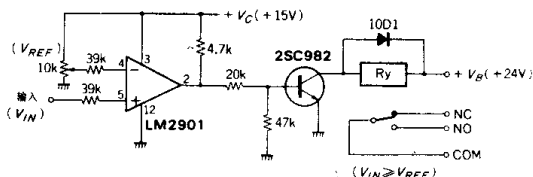


图1—4 比较器构成图

如图1-3所示,非倒相型电压比较器因其集电极开路,所以外接负载电阻 R_2 。当 $V_{IN} < V_{REF}$ 时, V_{OUT} 闭合;当 $V_{IN} \geq V_{REF}$ 时, V_{OUT} 断开。

图1-4所示的是包含继电器驱动电路的实际比较器电路。在这个电路中, $V_{IN} \geq V_{REF}$ 时,继电器动作。

图1-5是通过与运算电路的组合可任意设定动作点的电路图。其动作原理可用图1-6说明。当输入信号从0开始逐渐增大时,在 V_{ON-1} 处继电器闭合,在 V_{OFF-1} 处继电器断开,也就是

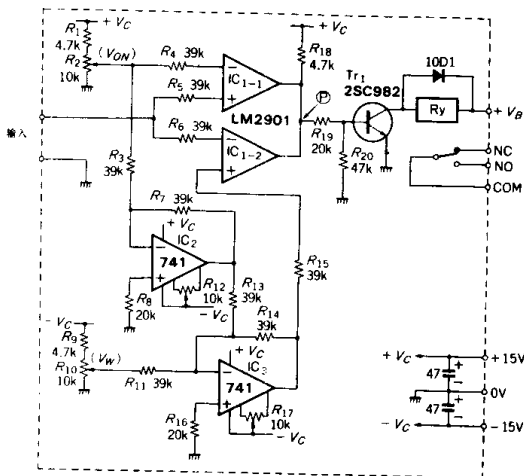


图1-5 绕组比较器

说,进行ON设定时,用 R_2 决定 V_{ON-1} ;进行OFF设定时,用 R_{10} 决定 V_W ;即:

$$V_{OFF-1} = V_{ON-1} + V_W$$

$$V_W = V_{OFF-1} - V_{ON-1}$$

可用算式表示如下:

$$(1) V_{IN} < V_{ON-1}$$

①点的电位为“L”电平;

$$(2) V_{ON-1} \leq V_{IN} < V_{OFF-1}$$

②点的电位为“H”电平;

$$(3) V_{OFF-1} \leq V_{IN}$$

③点的电位为“L”电平。

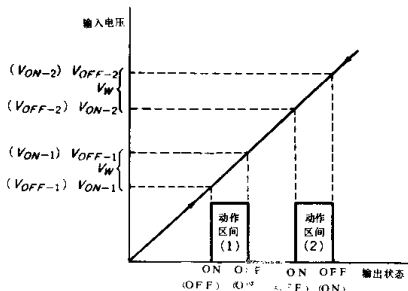


图1-6 电压-延迟关系

这样，继电器的动作范围就成为动作区域（1）。当输入信号由最大值逐渐减小时，只是将ON变成OFF，OFF变成ON，而继电器的动作范围仍为区域（1）不变。

因此，用 R_2 和 R_{10} 设定的电压，通过与运算电路的组合，就可可靠地决定了动作范围。如果 V_W 的设定不变，当 V_{ON-1} 变成 V_{ON-2} 时（ $V_{ON-2} > V_{ON-1}$ ），继电器仅改变动作的始点，动作范围的宽度（2）仍与宽度（1）相同。

由此可见，动作范围的宽度仅由 V_W 决定，而与其它因素无关。当输出负载不是继电器而是其它电气信号时，④点可与TTL、DTL、C-MOS逻辑电路相连。

综上所述，对于不同的负载，ON和OFF很容易通过与运算放大器的组合来实现。

这个绕组比较器的特点就是 V_{ON} 一经设定，动作范围的宽度就只由 V_W 的设定来决定。工作的选择非常自由而且可靠。

对数放大器

最近，在一些数据手册和专业书里，经常提到对数放大器。市场上还可以买到供对数放大器用的专用集成电路。但是，用这种元件做的放大器，往往达不到预期的效果。因为在制作对数放大器时，存在以下问题：

第一，对数的线性；第二，温度漂移；第三，异常振荡。

第一方面的问题是由对数放大器所使用的元件及前置放大器所引起的。实验表明，在80dB左右的对数变换器中，大部分小信号晶体管均可使用。但无论如何，必须解决低电平部分的噪声问题。在图1—7所示的电路图中，使用了低噪声晶体管2SC1775。人们常常认为，前置放大部分对线性的影响不会那样严重，然而，实际的情况却恰恰相反。725系列就是因为漂移和噪声的影响，使线性恶化而不能使用的。

第二方面的问题是输出的漂移。为了抑制漂移，必须找出漂移大的部分并采取相应的措施来消除它。在图1—7的电路中，若按漂移大小的顺序排列，则为对数变换元件（ Tr_1 ）。

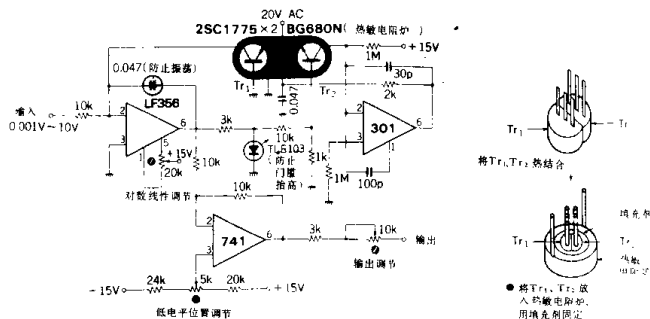


图1—7 对数放大器

$$v_0 = V_0 \cdot \ln \left(\frac{1 + I_S}{I_S} \right) \approx V_0 \cdot \ln \left(\frac{1}{I_S} \right)$$

式中, V_0 和 I_S 不是常数, 而是随温度变化的热噪声电压和饱和电流。实际上, 它也是产生误差的主要原因。在各种计测领域中, 经常要求用对数值来表示被测对象的对称性。例如, 电压用dB表示, 绝缘电阻用对数表示。这个电路的特点, 就在于能消除 V_0 及 I_S 引起的误差。

我们用图1-8的时间图来说明电路的工作原理。首先, 在检测计放入前 (T_0 时间), 把控制开关③定为“H”, 于是, 输入FET选择开关 Tr_1 和取样保持电路的 Tr_3 闭合。因为 $Tr_1 \sim Tr_4$ 的接通电阻为 80Ω , 而 $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, 所以 Tr_1 的接通电阻可以忽略不计。这时, 对数变换器的二极管里有 E_R/R_1 的电流流过。

IC_1 的输出经 R_0C_0 积分, 再经 IC_3 放大后给取样保持电路的 C_H 充电, 并由 IC_4 反馈到积分电路, 形成反馈系统。由于 IC_3 的放大倍数很大, 所以反馈系统处于稳定状态。这时, 保持电容器 C_H 上的充电电压 V_H 由下式决定:

$$V_H = \frac{R_H}{R_0} \cdot V_0 \cdot \ln \left(\frac{1}{I_S} \cdot \frac{E_R}{R_1} \right) \quad (1)$$

其次, 在进入测试状态 (T_1 时间) 时, 当控制端③为“H”、②为“L”时, Tr_3 被接通, 对数变换器的输出 v_0 变成:

$$v_0 = -V_0 \cdot \ln \left(\frac{1}{I_S} \cdot \frac{E_X}{R_3} \right)$$

T_1 时间后, 积分器上的充电电压 V_{X1} 成为:

$$V_{X1} = -\frac{T_1}{R_0C_0} \left(-V_0 \cdot \ln \frac{E_X}{I_S R_3} + V_0 \cdot \ln \frac{E_R}{I_S R_1} \right) = \frac{T_1 V_0}{R_0C_0} \cdot \ln \left(\frac{R_1 E_X}{R_3 E_R} \right) \quad (2)$$

当控制开关②为“H”、③为“L”时, Tr_2 被接通, 积分器开始放电, 积分电压由 V_X 放电至零伏所需的时间 T_X 决定于:

$$\frac{T_1 V_0}{R_0C_0} \cdot \ln \left(\frac{E_X \cdot R_1}{E_R \cdot R_3} \right) = \frac{T_X V_0}{R_0C_0} \cdot \ln \left(\frac{E_R \cdot R_1}{R_2 \cdot E_R} \right) \quad (3)$$

从而,

$$T_X = -\frac{T_1}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \cdot \ln \left(\frac{R_1}{R_3} \cdot \frac{E_X}{E_R} \right) \quad (4)$$

将积分器的输出经放大后加到比较器, 变换成脉冲, 并由 T_X 的下降边关闭计数器, 可以得到 T_X 的数字式信号。

(4) 式已不包含热噪声电压 V_0 及饱和电流 I_S , T_X 与输入电压 E_X 对基准电压 E_R 的比的对数值成比例, 因温度变化而引起的误差就消除了。应该注意的是, 必须满足 $T_X > 0$ 的条件。如果取 $E_R = 1\text{ V}$, 则 E_X 必须工作在 $0 \sim 1\text{ V}$ 的范围内。

二极管的饱和电流 I_S 虽比输入电流 E_X/R_3 要小得多, 但如果 E_X 变小, 则会产生误差。为了消除这种误差, 利用三极管的收集极和射极来代替二极管作为对数变换元件(二极管使用, 可使电路的性能得以改善。

对数压缩方式数字·音频·处理器

音频信号(特别是声音信号)的数字处理, 其主要目的是:

(1) 用数字数据进行快速傅里叶变换和求平均值的运算;

2) 改善脉冲调制录音及数字通讯中的传送性能。

对于第一种情况，最大的问题是A-D变换的保真度（线性、单调性）。对于第二种情况，为了D-A再生后的数据复现A-D变换前的数据，就应在A-D及D-A变换中使用对数压缩方法。在高保真度的脉冲调制调制的录音中，一般要求12~14位，录相时，则用14~16位。但从动态范围来看，用对数压缩法，12位就抵得上线性方法的14位。

在信号的数字式处理中，有两种对数压缩方式，即：（1）在A-D变换前进行对数压缩，在D-A变换后再予以扩展；（2）在A-D及D-A变换中就含有对数压缩-扩展特性。在后一种情况下，A-D及D-A变换器成了一种特殊的部件，但电路却仍然很简单。若使用这种方式（称为压缩-扩展方式），特别是在不需要进行数字后处理的单纯波形记录时，只要8位就可以得到12位的动态范围。

图1-9和图1-10是用这种方式进行A-D及D-A变换的例子。图1-9是A-D变换部，所使用的A-D变换器是日本MACRO-NETWORKS公司的MN5110，但也可由压缩-扩展D-A变换器和逐次型寄存器组装而成。

当这个电路的取样速度为8kHz时，周期为125μs，宽度为10μs的取样脉冲可以兼作A-D变换器的启动脉冲。在制作取样定时电路时，若能同时取出2μs左右的脉冲，则可用作A-D变换器的时钟。这里，并不要求正好为2μs，只要在各取样周期内能可靠地使A-D变换終了就行（至少要9个时钟）。在这个A-D变换器的前级，需加滤波器，以防信号畸变。

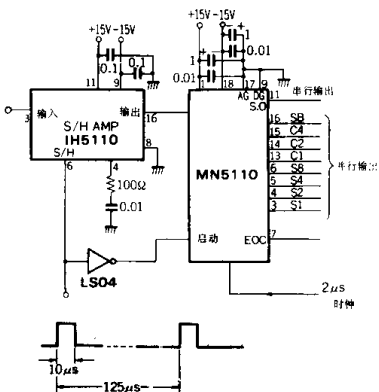


图1-9 压缩-扩展A-D变换器

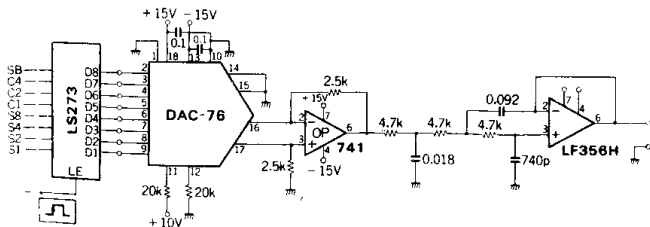


图1-10 用压缩-扩展D-A转换器构成的音频输出部

在图1--10的D-A变换器中,关键部件是具有压缩-扩展特性的DAC-76。我们知道,在进行对数压缩时,有许多种处理压缩曲线的方法。美国贝尔研究所提出了一种电话传输用的 μ -255特性,它已经成为美国标准。最近经常提到的数字电话交换中的所谓CODEC特性就是 μ -255特性。MN5110及DAC-76的压缩-扩展曲线也属 μ -255特性。这种D-A变换的原理是将8位中的4位用于线性D-A变换,其余的4位用于进行16点折线近似。于是,若按原来的方式,8位的分辨率为 $1/256 \approx 48\text{dB}$ 的动态范围;而按现在的方式,却能得到72dB的动态范围($72\text{dB} \approx 1/4096$,相当于12位)。

精密相位可调器

