

具有线性二极管和缓冲器的双路跨导运算放大器

概述

LM13700M 由两个电流控制的跨导运算放大器构成，每个放大器均具有差分输入和推挽输出，两个放大器共用一个电源，但可以单独工作。输入端内部集成线性二极管可以减少失真并允许更高的输入电压，此特点可以改善 0.5%THD 条件下 10dB 的信噪比。特别设计的控制阻抗性缓冲器可以补充放大器的动态响应范围，且输出缓冲器独立于 I_{ABC} 工作（包括直流电平输出），使得在音频应用中有着较优的性能。

芯片采用 SOP16、DIP16 封装形式。

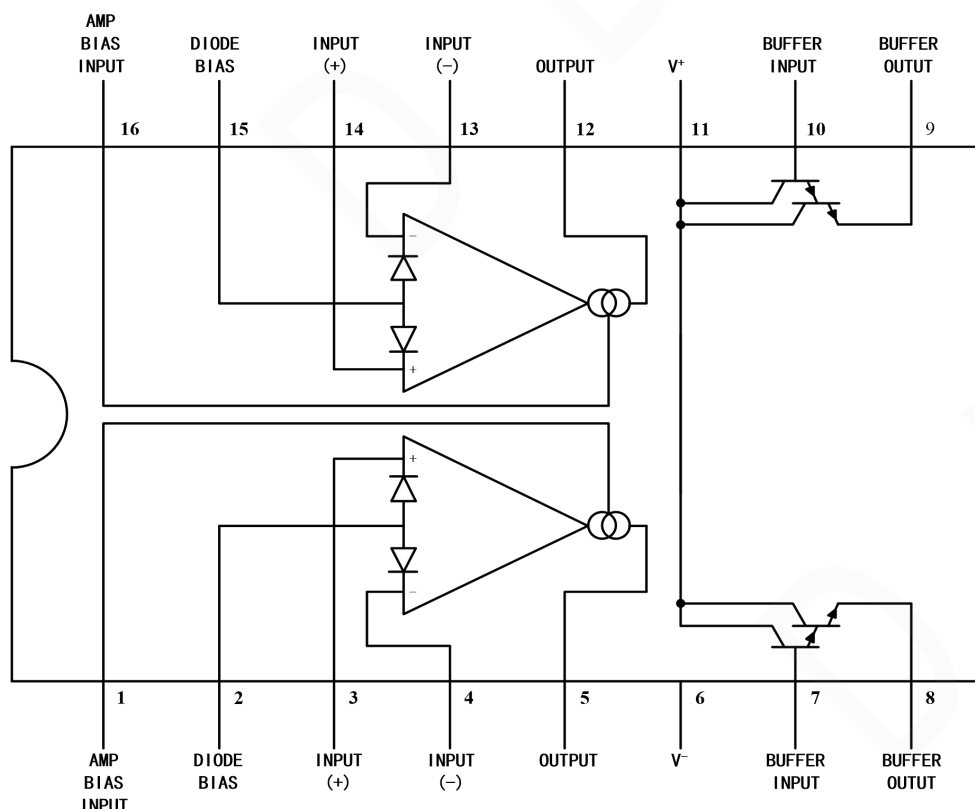
主要特点

- 跨导可调性超过 6 Decades
- 优秀的跨导线性度
- 放大器之间匹配良好
- 内部线性二极管减少输出失真
- 高阻抗缓冲器
- 高输出信噪比

应用范围

- 电流控制型放大器
- 立体声音频放大器
- 电流控制型阻抗电路
- 电流控制型滤波电路
- 电流控制型振荡器
- 多路复用器
- 定时器
- 采样保持电路

内部框图



管脚说明

管脚序号	管脚名称	I/O	描述
1, 16	Amp Bias Input	I	电流偏置输入
2, 15	Diode Bias	I	线性二极管偏置输入
3, 14	Input+	I	正向输入端
4, 13	Input-	I	反相输入端
5, 12	Output	O	无缓冲器输出端
6	V-	P	负电源
11	V+	P	正电源
7, 10	Buffer Input	I	缓冲器输入端
8, 9	Buffer Output	O	缓冲器输出端

极限参数 (若无其它规定, $T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$)

参数	标识	值
电源电压	V_S	36 V_{DC} or $\pm 18V$
直流输入电压	V_I	$-V_S \sim +V_S$
差模输入电压	V_{ID}	$\pm 5V$
二极管偏置电流	I_D	2mA
运放偏置电流	I_{ABC}	2mA
缓冲器输出电流	I_{Buffer}	20mA
输出短路持续时间	t_{SHORT}	连续
存储温度	T_S	$-65 \sim +150^{\circ}\text{C}$

注意：应当限制缓冲器输出电流，以免超过封装耗散；超过以上极限值有可能造成芯片的永久性损坏。

推荐工作状态

参数	符号	最小值	最大值	单位
V+ (单电源工作)	V+	9.5	32	V
V+ (双电源工作)	V+	4.75	16	V
V- (双电源工作)	V-	-16	-4.75	V
工作温度	T_A	-20	+85	$^{\circ}\text{C}$

电气特性（若无其它规定： $T_{amb}=25^{\circ}C$ ， $V_S=\pm 15V$ ， $I_{ABC}=500\mu A$ ，Pin2、Pin15 悬空，缓冲器输入接地，输出悬空）

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入失调电压	V_{OS}	全温度范围		0.4	4	mV
		$I_{ABC}=5\mu A$		0.3	4	mV
输入失调电压 (含二极管)	V_{OS_D}	I_D (二极管偏置电流)=500 μA		0.5	5	mV
输入失调电压变化	ΔV_{OS}	$5\mu A \leq I_{ABC} \leq 500\mu A$		0.1	3	mV
输入失调电流	I_{OS}			0.1	0.6	μA
输入偏置电流	I_B			0.4	5	μA
		全温度范围		1	8	μA
正向跨导	g_m	取 10mV 和 25mV 计算	6700	9600	13000	μS
		全温度范围	5400			μS
gm tracking	g_{m_t}			0.3		dB
峰值输出电流	I_{pk}	$R_L=0$ ， $I_{ABC}=5\mu A$		5		μA
		$R_L=0$ ， $I_{ABC}=500\mu A$	350	500	650	μA
		$R_L=0$ ，全温度范围	300			μA
电源电流	I_{CC}	$I_{ABC}=500\mu A$ ，双通道		2.2		mA
共模输入范围	V_{ic}		± 12	± 13.5		V
共模抑制比	CMRR		80	110		dB
串扰	Crosstalk	参考输入 (1)， $20Hz < f < 20kHz$		100		dB
差分输入电流	I_d	$I_{ABC}=0$ ，input= $\pm 4V$		0.02	100	nA
漏电流	I_{LEAK}	$I_{ABC}=0$ （参考测试电路）		0.2	100	nA
输入阻抗	Z_{IN}		10	26		k Ω
开环带宽	BW			2		MHz
转换速率	SR	单位增益补偿		50		V/ μs
缓冲器输入电流	I_{BIN}	(1)		0.5	2	μA
峰值缓冲器输出电压	$I_{pkout-buf}$	(1)	10			V
峰值输出电压						
正向	V_{OP}	$R_L=\infty$ ， $5\mu A \leq I_{ABC} \leq 500\mu A$	12	14.2		V
反向	V_{ON}	$R_L=\infty$ ， $5\mu A \leq I_{ABC} \leq 500\mu A$	-12	-14.4		V
失调电压灵敏度						
正向		$\Delta V_{OS}/\Delta V_+$		20	150	$\mu V/V$
反向		$\Delta V_{OS}/\Delta V_-$		20	150	$\mu V/V$

注 (1)：此规范适用于 $V_S=\pm 15V$ ， $I_{ABC}=500\mu A$ ， $R_{OUT}=5k\Omega$ 从缓冲器输出连接到 -VS，缓冲器输入连接到跨导放大器输出。

典型特性

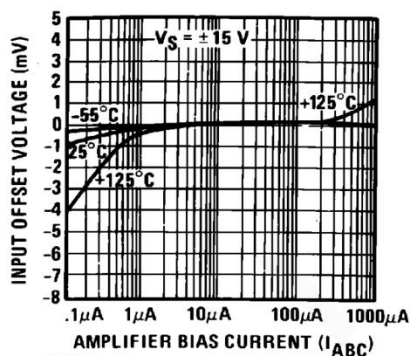


图 1 输入失调电压与运放偏置电流关系曲线

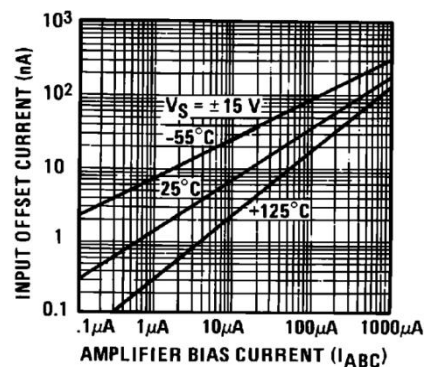


图 2 输入失调电流与运放偏置电流关系曲线

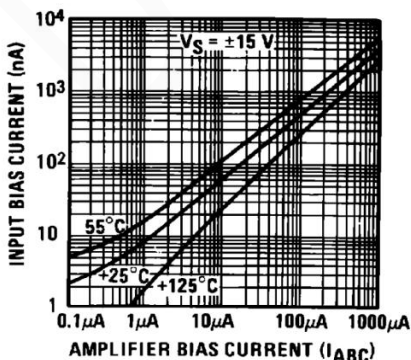


图 3 输入偏置电流与运放偏置电流关系曲线

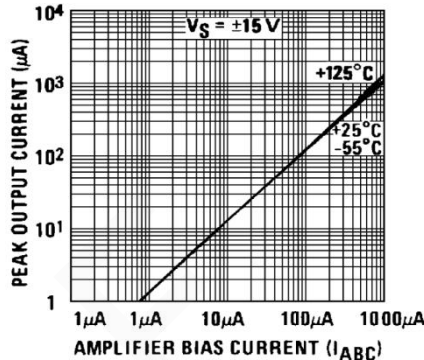


图 4 输出峰值电流与运放偏置电流关系曲线

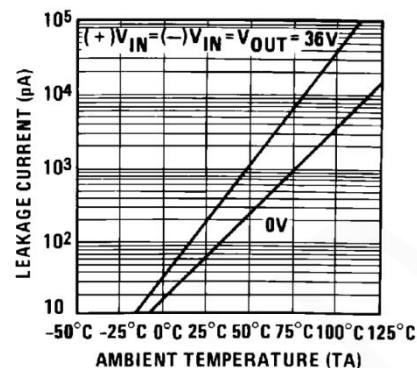


图 5 漏电流与环境温度关系曲线

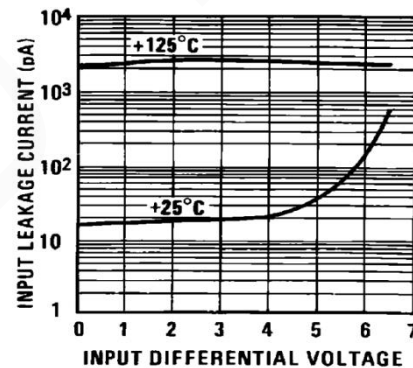


图 6 输入漏电流与输入差分电压关系曲线

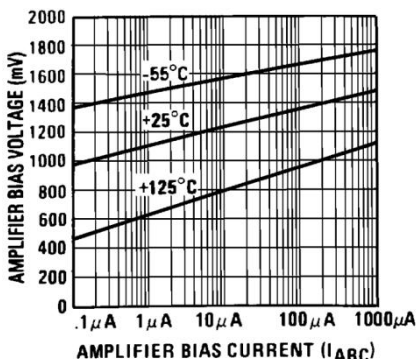


图 7 输入偏置电压与运放偏置电流关系曲线

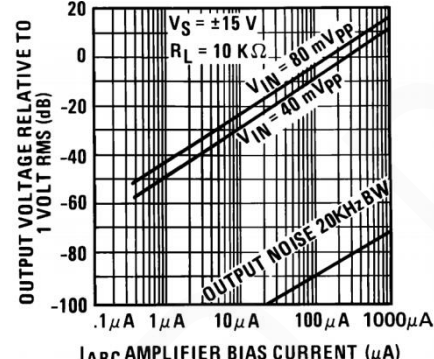


图 8 输出电压与运放偏置电流关系曲线

功能概述

LM13700 是具有额外输出缓冲器的双通道差分输入电流控制型跨导放大器。输入含有线性二极管来减少失真，输出电流由专用引脚控制，输出可持续短路到地。

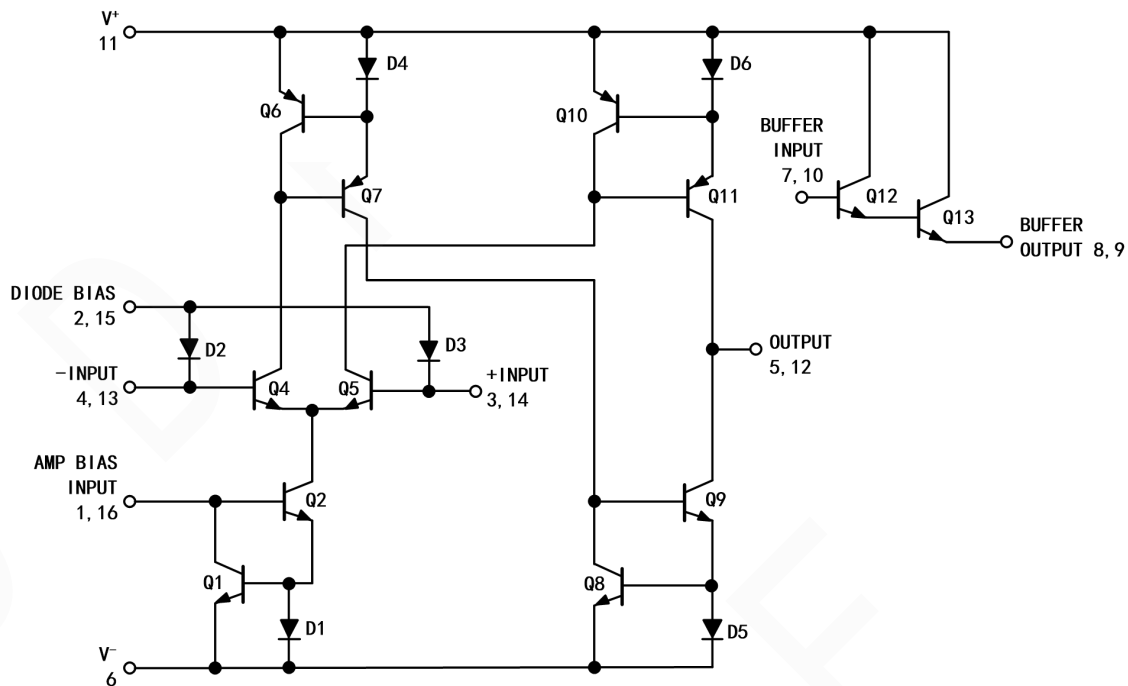


图 9 单路跨导运算放大器等效电路图

1. 特点描述

(1) 电路描述

一对差分晶体管 Q4、Q5 形成跨导级，其集电极电流的比值由差分输入电压根据传递函数定义如下：

$$V_{IN} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_5}{I_4} \quad (1)$$

此处 V_{IN} 是差分输入电压， kT/q 在 25°C 下约 26mV， I_5 、 I_4 分别是晶体管 Q5、Q4 的集电极电流。除了 Q12、Q13 外，所有晶体管和二极管的尺寸都是相同的。晶体管 Q1、Q2 和二极管 D1 形成一个电流镜，迫使 I_5 、 I_4 电流的总和等于 I_{ABC} ：

$$I_4 + I_5 = I_{ABC} \quad (2)$$

此处的 I_{ABC} 是加在 AMP BIAS INPUT 引脚的放大器偏置电流

对于小的差分输入电压， I_4 、 I_5 的比值接近于 1，其 \ln 函数的泰勒级数近似为：

$$\begin{aligned} \frac{kT}{q} \ln \frac{I_5}{I_4} &= \frac{kT}{q} \frac{I_5 - I_4}{I_4} \\ I_4 &\approx I_5 \approx \frac{I_{ABC}}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$V_{IN} \left[\frac{I_{ABC}^q}{2kT} \right] = I_5 - I_4 \quad (4)$$

集电极电流 I_4 、 I_5 本身并无太多用处，它们需要从一个电流中减去另一个电流。其余的晶体管和二极管形成了三电流镜，产生的输出电流等于 $I_5 - I_4$ ，因此：

$$V_{IN} \left[\frac{I_{ABC}^q}{2kT} \right] = I_{OUT} \quad (5)$$

括号里的数值就是运算放大器的跨导，其与 I_{abc} 成正比关系。

(2) 线性二极管

对于大几毫伏的差分电压，公式（3）就不那么适用了，跨导就变得越来越非线性了。图 10 演示了内部二极管如何将放大器的传递功能线性化。为方便起见，假设二极管电流源的偏置和输入信号以电流 I_S 的形式表示，由于电流 I_5 与 I_4 的和为 I_{ABC} ，差为 I_{OUT} ， I_5 、 I_4 电流可以表示如下：

$$I_4 = \frac{I_{ABC}}{2} - \frac{I_{OUT}}{2}, \quad I_5 = \frac{I_{ABC}}{2} + \frac{I_{OUT}}{2} \quad (6)$$

由于二极管和输入晶体管具有相同的结构，并且具有相似的电压和温度特性，故如下：

$$\frac{kT}{q} \ln \frac{\frac{ID}{2} + IS}{\frac{ID}{2} - IS} = \frac{kT}{q} \ln \frac{\frac{IABC}{2} - \frac{IOUT}{2}}{\frac{IABC}{2} + \frac{IOUT}{2}}$$

$$\therefore IOUT = IS \left(\frac{2IABC}{ID} \right) \text{ for } |IS| < \frac{ID}{2} \quad (7)$$

注意：在推导公式 7 中没有进行近似，也没有温度相关项，其限制在于信号的电流不能超过 $I_0/2$ 且二极管电流被偏置。实际上，使用电阻替代电流源将产生微不足道的误差。

3. 设备功能模式

使用在单电源或双电源系统需要做一点小的改动，输出可支持持续短路到地。注意，在 $\pm 5V$ 供电系统中使用 LM13700 需要降低信号的动态范围，这是由于 PNP 晶体管比 NPN 晶体管具有更高的 V_{BE} 。

4. 输出缓冲器

每个通道包含一个单独的输出缓冲器，它由达林顿管组成，最高可驱动 20mA 电流。

应用信息

跨导运放是一个通用的构建块模拟组件，可以被称为理想的晶体管。LM13700 有很宽泛的应用，从压控放大器和滤波器到压控振荡器，两个匹配良好的独立通道使 LM13700 更适合立体声音频应用。

1. 典型应用

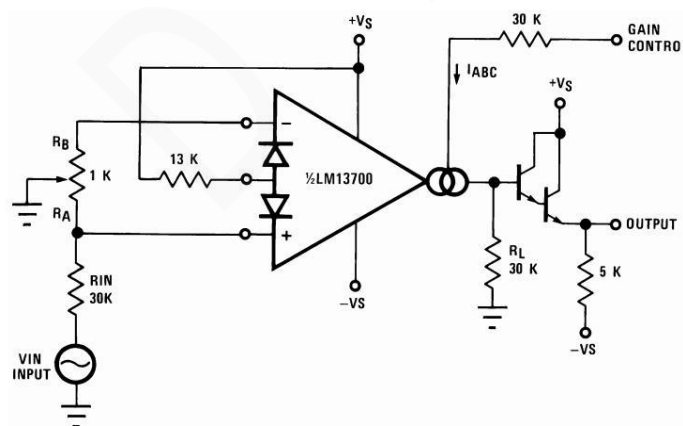


图 10 压控放大器

(1) 设计要求:

对于本示例应用，供电电压为 $\pm 15\text{V}$ 时，系统需要提供一个失真度 $\text{THD} < 0.1\%$ 的 1Vp 的音量控制输入信号，音量控制在 $-13\text{V} \sim 15\text{V}$ 之间变化，且需提供大于 30dB 的可调增益范围。

(2) 详细设计过程:

在大多数应用中推荐使用线性二极管，因为它们大大降低了输出失真。要求输入二极管的偏置电流

I_D 大于输入电流 I_S 的两倍，当输入电压为 0V 直流电平时，二极管偏置输入引脚是 0.7V，比 0V 高一个二极管的压降。将偏置直连到 V_S + 正电源时，通过 R_D 可得到一个 14.3V 的压降，此处推荐使用 $I_D=1\text{mA}$ 是合适的。当 $V_S=+15\text{V}$ 时，压降为 14.3V，因此使用标准的 13k Ω 电阻能得到所需要的增益控制。

为了满足 $\text{THD}<0.1\%$ 的要求，当使用线性二极管时差分输入电压必须小于 60mVpp，输入端的输入分频器会减小 1Vp 至 33mVpp，这个值在规范要求内。

接下来设置偏置电流，偏置电流输入脚（Pin1、Pin16）比电源 V_- 高两个二极管的压降，因此 $V_{\text{BIAS}}=2V_{\text{BE}}+V_-$ ，此应用中电压为 -13.6V。当 $V_C=15\text{V}$ 时，需要串联一个 28.6k Ω 的电阻地得到 1mA 的电流，当然 30k Ω 是一个标准值，增益与外加的电压呈线性关系。

(3) 应用曲线

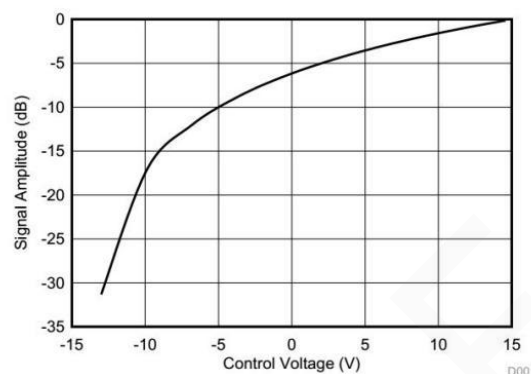


图 11 信号幅度与控制电压

2. 系统样例（电压控制放大器）

图 13 显示了在压控放大器中如何使用线性二极管，为了理解输入偏置，最好将 13k Ω 电阻视为电流源，可以使用戴维南等效显示为图 14。该电路与图 12 相似，操作方式相同，调整图 14 中的电位器以使输出端的控制信号的影响最小化。

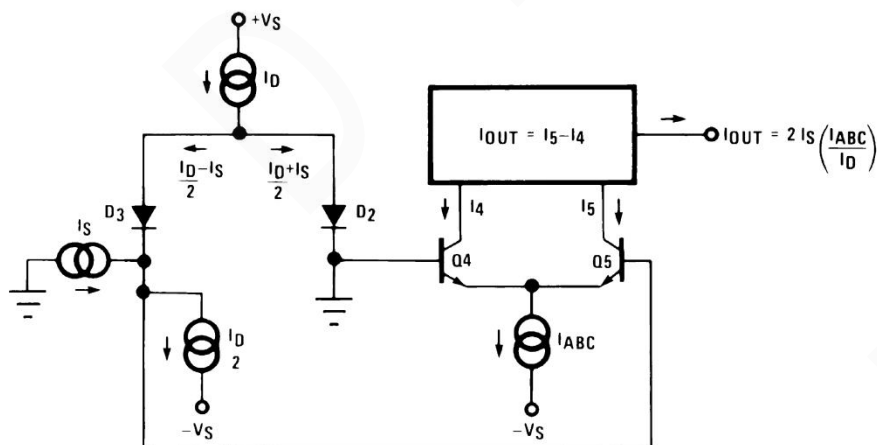


图 12 线性二极管

为了获得最佳的信噪比性能， I_{ABC} 应尽可能大，如输出电压与放大器偏置电流图所示。较大的输入信号幅值也可以提高信噪比，线性化二极管可以在相同的输出失真情况下提供更大的输入信号，如失真与差分输入电压图所示。可以通过 R_{IN} (图 13) 调整输入信号的幅度来优化信噪比，直到输出失真低于期望的水平，然后可以通过选择 R_L 将输出电压摆幅设置在任何电平。

虽然线性化二极管产生的噪声相对于放大器内部晶体管产生的可以忽略不计，但 I_D 应该尽可能大，这最大限度地减少了二极管的动态结电阻(r_e)，并在与 R_{IN} 平衡时最大化了它们的线性化作用，除非具体应用需要，否则建议使用 1mA 的 I_D 值。

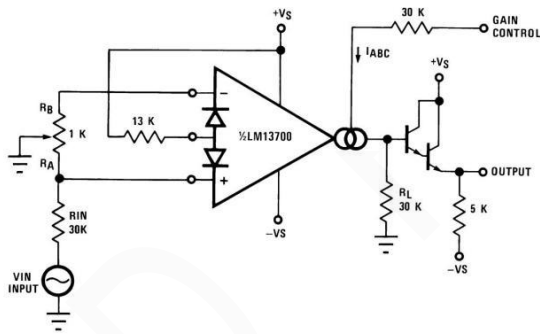


图 13 电压控制放大器

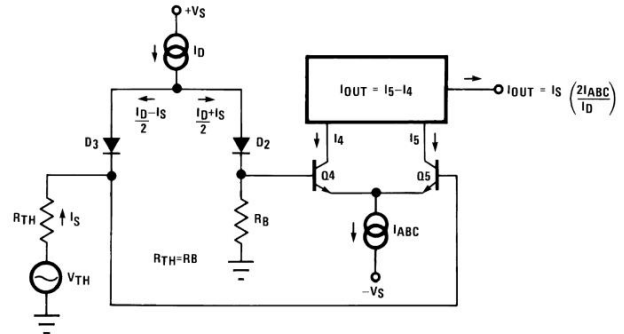


图 14 等效 VCA 输入电路

3. 其它应用

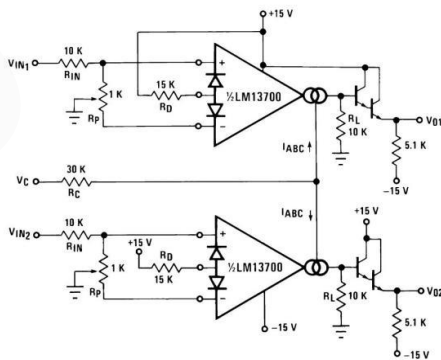


图 15 立体声音频放大器

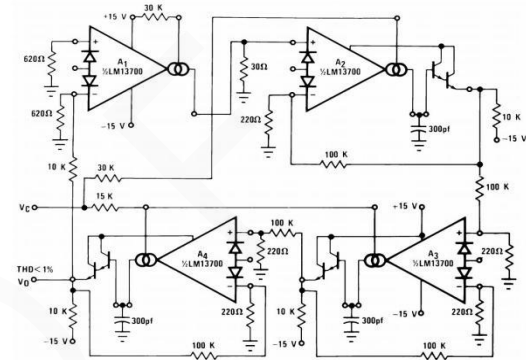


图 16 正弦波压控振荡器

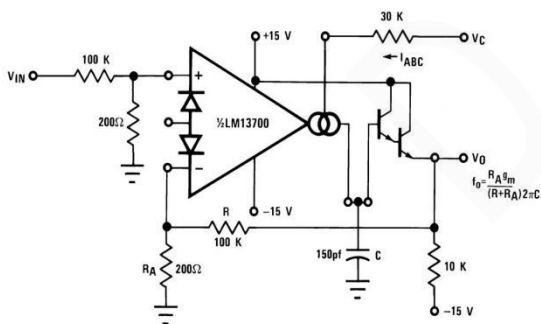


图 17 压控低通滤波器

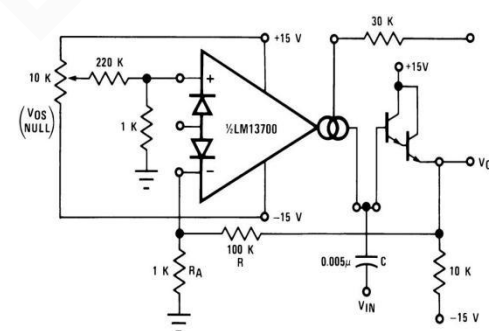


图 18 压控高通滤波器

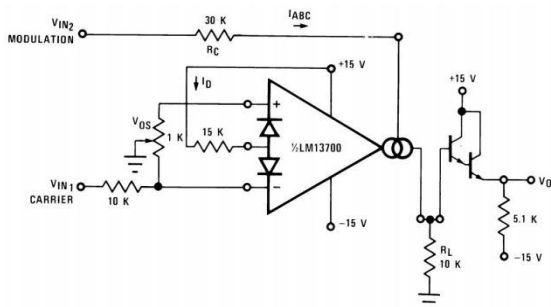


图 19 振幅调制器

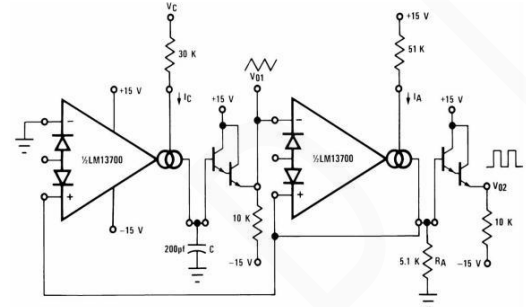


图 20 三角波/矩形波压控振荡器

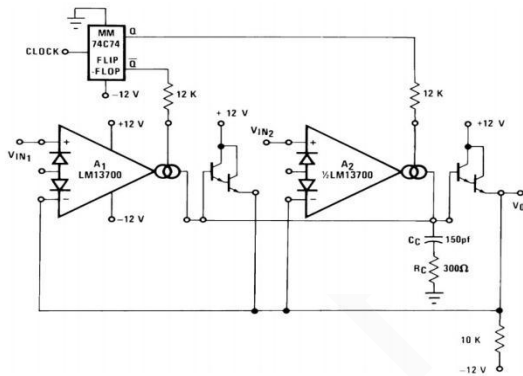


图 21 多路复用器

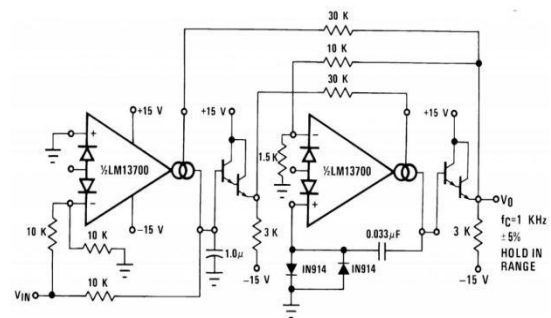


图 22 锁相环

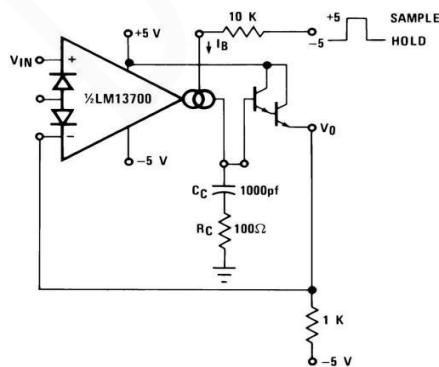


图 23 采样保持电路

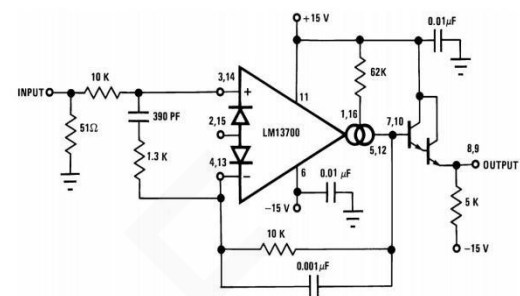


图 24 单位增益跟随

4. 部分测试电路

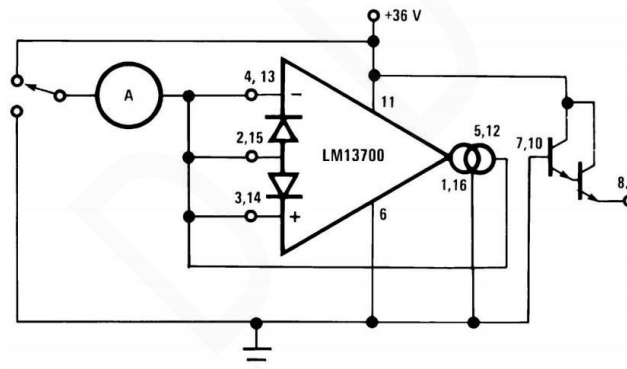


图 25 漏电流测试电路

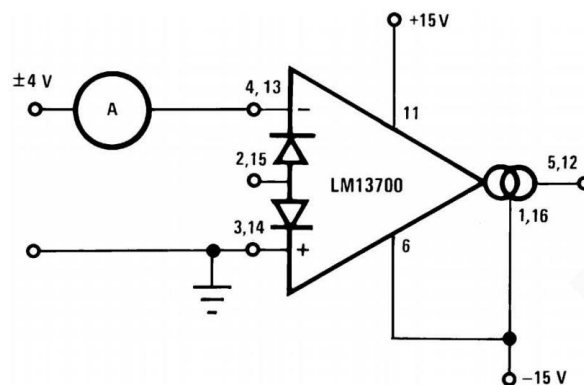
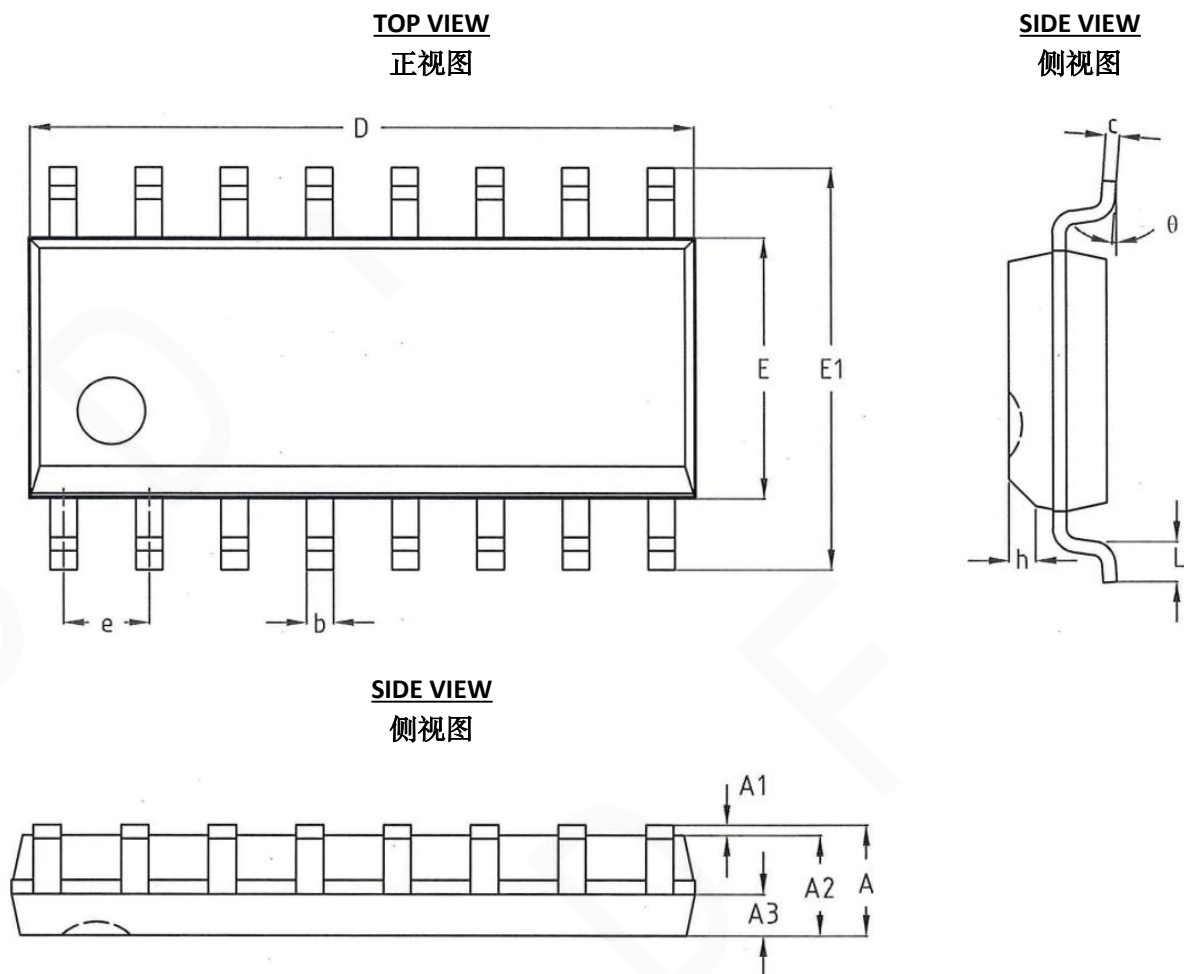


图 26 差分输入电流测试电路

封装机械数据:

SOP16封装

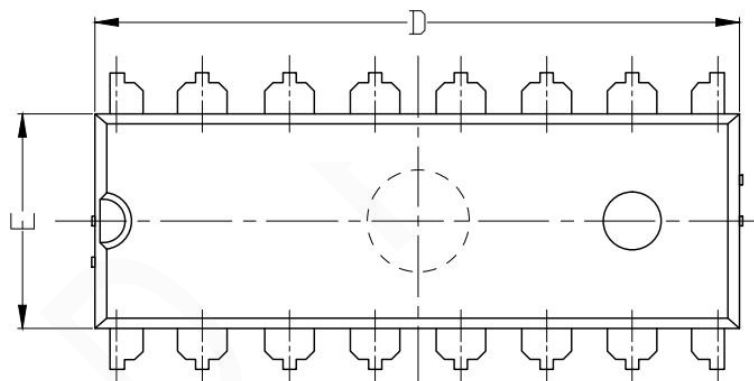


标号	毫米			标号	毫米		
	MIN	NOM	MAX		MIN	NOM	MAX
A	-	-	1.75	E	3.80	3.90	4.00
A1	0.10	-	0.25	E1	5.80	6.00	6.20
A2	1.35	1.45	1.55	e	1.27 BSC		
A3	0.60	0.65	0.70	h	0.30	-	0.50
b	0.35	-	0.50	L	0.40	-	0.80
c	0.19	-	0.25	θ	0°	-	8°
D	9.80	9.90	10.00				

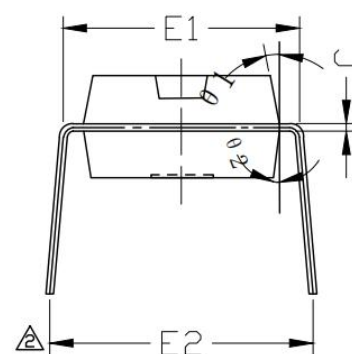
DIP16封装

TOP VIEW

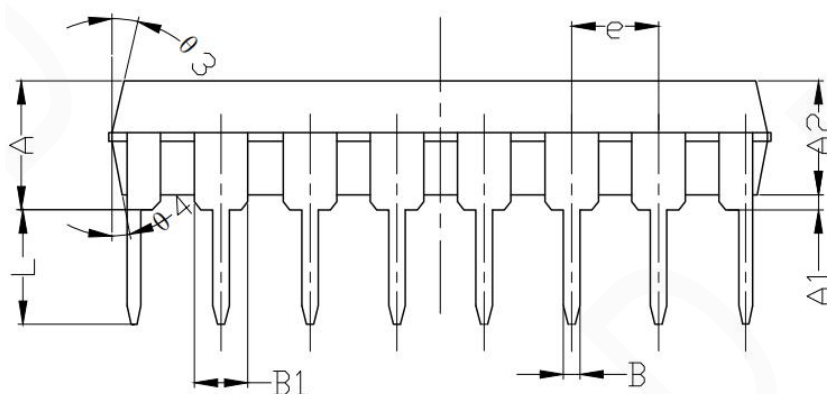
正视图


SIDE VIEW

侧视图


SIDE VIEW

侧视图



标号	毫米			标号	毫米		
	MIN	NOM	MAX		MIN	NOM	MAX
A	3.75	3.90	4.05	E1	7.35	7.62	7.85
A1	0.51	-	-	e	2.54 (BSC)		
A2	3.20	3.30	3.45	L	3.00	3.30	3.60
B	0.38	0.48	0.56	E2	8.00	8.40	8.80
B1	1.52 (BSC)			theta1	9°	-	15°
C	0.20	0.25	0.34	theta2	7°	-	13°
D	18.80	19.05	19.30	theta3	8°	-	14°
E	6.20	6.35	6.50	theta4	5°	-	12°