

全国家用电器维修培训补充读物 22

常用电子电路例解

罗庆扬 罗四维 王德威

电子工业出版社

718
全国家用电器维修培训补充读物22

常用电子电路例解

罗庆扬 罗四维 王德成

电子工业出版社

(京)新登字055号

内 容 简 介

本书汇编了为数繁多的常用电子电路。主要内容有：晶体管放大电路、运算放大器电路、线性电路、非线性电路、模拟开关电路、传感器检测电路。本书所选电路简单、实用，具有很强的资料性，是一本难得的工具书。

本书适于电子技术人员、大专院校师生和广大电子爱好者参考、阅读。

全国家用电器维修培训补充读物22

常用电子电路例解

罗庆扬 罗四维 王德成 编

责任编辑：王小民

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京海淀区云峰厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：14 字数：35.5千字

1994年7月第一版 1994年7月第一次印刷

印数：1—5000 定价：10.00元

ISBN7-5053-2431-4/TN·702

《全国家用电器维修培训教材》编委会

主 编 沈成衡

副主编 王明臣 宁云鹤

编 委 高坦弟 陈 忠 刘学达 段玉平
左万昌 赵文续 张道远 李 军

出版说明

自1986年初中央五部委发出《关于组织家用电器维修人员培训的通知》以来,在各地有关部门的大力支持下,家用电器维修培训工作在全国蓬勃开展起来,并取得了可喜的成果。

为了使家用电器维修培训工作更加系统化、正规化,1987年4月,中国科协、商业部、国家工商行政管理局、劳动人事部、电子工业部、总政宣传部、中国电子学会联合召开“全国家电维修培训工作会议”。会议上,各部委一致指出此项工作的重要意义,同时要求对现行教材进行修改,并编写基础与专业基础教材。遵照此会议精神,全国家电协调指导领导小组办公室按照统一教学计划的要求,组织有一定理论知识和维修实践经验的作者,编写了较为完整的家电维修培训教材,并由科学出版社、电子工业出版社、科学普及出版社、解放军出版社、宇航出版社共同出版。

随着家电维修培训工作的深入开展,应家电维修培训班师生及社会各界读者的要求,全国家电维修培训协调指导领导小组办公室在完成全套教材的出版工作之后,又陆续组织出版了家电维修培训补充读物。迄今为止,已出版二十余种,有:《家用电器维修经验》、《简明英汉家用电器词汇》、《日常家用电器维修、自检、难题详解》、《怎样实现电视调频远距离接收》、《电冰箱、冷藏柜、空调器、电动机维修技术和修理经验》、《最新进口平面直角彩色电视机维修手册》、《实用电视接收天线手册——原理、选用、制作、安装、维护》及《怎样看家用电器电路图》等。

我们出版补充读物的宗旨,是对基本教材拾遗补缺,为培训班师生和不同层次的电子爱好者提供进一步的参考资料,帮助他们深化对基本教材内容的理解和拓宽知识面。因此,在编写过程中,我们注重内容新颖、实用,资料翔实,叙述力求深入浅出,通俗易懂。事实证明,补充读物的出版起到延伸培训教材深度和广度的作用,对提高广大电子爱好者的素质,提高家电维修培训质量都是大有裨益的。

由于家用电器维修培训牵涉面广,学员及广大电子爱好者的水平和要求不同,加之我们水平有限,故补充读物的出版还不能完全满足不同专业、不同层次读者的要求。我们恳切希望全国各地的家电维修培训班的学员、教师以及广大电子爱好者提出宝贵意见,并函寄至北京3933信箱(邮政编码100039)全国家电维修培训协调指导领导小组办公室,在此谨致诚挚谢意。

《全国家用电器维修培训教材》编委会

1993年4月

目 录

1 晶体管放大电路基础

§1.1 晶体管放大电路基础(1)	(2)
§1.2 晶体管放大电路基础(2)	(3)
§1.3 晶体管放大电路基础(3)	(4)
§1.4 晶体管放大电路基础(4)	(5)
§1.5 晶体管放大电路基础(5)	(6)
§1.6 晶体管放大电路基础(6)	(8)
§1.7 FET放大电路基础	(9)

2 运算放大器放大与运算电路基础

§2.1 运算放大器放大和运算电路基础(1)	(16)
§2.2 运算放大器放大和运算电路基础(2)	(17)
§2.3 运算放大器放大和运算电路基础(3)	(19)
§2.4 运算放大器放大和运算电路基础(4)	(20)
§2.5 运算放大器放大和运算电路基础(5)	(21)

3 线性电路

○基本放大/运算电路

○宽频带放大电路

○声频用放大电路

§3.1 使用运算放大器的低频通用放大器	(32)
§3.2 使用运算放大器的加法电路	(35)
§3.3 使用运算放大器的高输入阻抗减法电路	(36)
§3.4 使用低漂移运算放大器AM430B的仪表放大器	(37)
§3.5 使用分立元件低频低噪声通用放大器	(40)
§3.6 使用LF412的电流-电压转换电路	(41)
§3.7 使用运算放大器的宽频带电流-电压转换电路	(42)
§3.8 分立元件和运算放大器组成的宽频带通用放大器	(44)
§3.9 使用分立元件一级放大宽频带运算放大器	(45)
§3.10 使用运算放大器的脉冲检测宽频带(500kHz)放大器	(48)
§3.11 使用运算放大器的脉冲检测宽频带(100kHz)放大器	(50)
§3.12 使用宽频带运算放大器的脉冲测量高增益、宽频带(2MHz)放大器	(52)
§3.13 使用宽频带运算放大器的脉冲检测宽频带(1MHz)仪表放大器	(54)
§3.14 分立元件脉冲检测宽频带(20MHz)放大器	(55)
§3.15 分立元件视频放大器	(56)
§3.16 分立元件的共射-共基差动输入视频放大器	(57)

§3.17	使用宽频带运算放大器的视频放大器	(58)
§3.18	使用专用集成电路(IC)的视频放大器	(60)
§3.19	分立元件差动输入音频前置放大器	(63)
§3.20	高 CMRR 差动输入分立元件音频前置放大器	(65)
§3.21	音频用运算放大器LM833的RIAA均衡器	(68)
§3.22	音频运算放大器NJM2068的伺服RIAA均衡器	(70)
§3.23	分立元件MC前置放大器	(73)
§3.24	分立式音调控制电路	(76)
§3.25	音频运算放大器NE5532的伺服MC前置放大器	(78)
§3.26	使用运算放大器的音调调节电路	(81)
§3.27	使用LM13600型互导放大器的立体声音量控制器	(84)
§3.28	分立式B级推挽50W输出功率放大器	(86)
§3.29	分立元件B级推挽100W输出功率放大器	(88)

4 非线性电路

○比较电路

○理想二极管和整流电路

○非线性运算电路

§4.1	零交比较器	(94)
§4.2	比较器的基准电压电路	(96)
§4.3	双限比较器	(97)
§4.4	使用LM339的4点判别比较器	(98)
§4.5	滞后比较器	(100)
§4.6	理想二极管	(102)
§4.7	绝对值电路	(103)
§4.8	高速绝对值电路	(106)
§4.9	使用模拟开关和比较器的绝对值电路	(109)
§4.10	平均值检波AC—DC转换器	(110)
§4.11	分立元件宽频带平均值检波AC—DC转换器	(111)
§4.12	交流信号的峰值输出电路	(114)
§4.13	脉冲测量峰值保持电路(1)	(116)
§4.14	脉冲测量峰值保持电路(2)	(117)
§4.15	脉冲测量高速型峰值保持电路(1)	(117)
§4.16	脉冲测量高速型峰值保持电路(2)	(119)
§4.17	使用运算放大器的对数转换电路	(121)
§4.18	使用运算放大器的反对数转换电路	(123)
§4.19	使用专用IC的对数转换电路	(124)
§4.20	使用专用IC的高频对数转换电路	(127)
§4.21	使用FET的乘除法电路	(129)
§4.22	使用专用IC的乘除法电路	(130)

§4.23	使用专用IC的4象限乘法电路	(133)
§4.24	使用IC的跨导方式乘除法电路	(135)
§4.25	使用乘法IC的函数运算型线性电路	(136)
§4.26	使用专用IC的RMS—DC转换电路	(139)
5	模拟开关的应用	
§5.1	模拟多路调制器	(144)
§5.2	使用C-MOS开关的霍尔元件补偿抵消型差动检测电路	(146)
§5.3	使用C-MOS开关的单端输入模拟多路调制器	(149)
§4.5	使用C-MOS开关的差动输入模拟多路调制器	(150)
§5.5	斩波运算放大器	(151)
§5.6	使用C-MOS开关的补偿抵消型斩波放大器	(153)
§5.7	使用C-MOS开关的差动检测电路	(154)
§5.8	使用专用IC的差动检测电路	(155)
§5.9	使用C-MOS开关的快速电容方式差动检测电路	(157)
§5.10	使用C-MOS开关的快速电容方式模拟多路调制器	(158)
§5.11	使用转换电容IC的快速电容式差动检测电路	(159)
§5.12	使用转换电容IC的能够正确输出0V的5V单电源工作差动检测电路	(161)
§5.13	使用C-MOS开关的快速电容式补偿抵消型模拟多路调制器	(162)
6	传感器检测电路	
	○霍尔元件	
	○应变片	
	○各种温度传感器	
§6.1	霍尔元件共模电压抑制电路	(168)
§6.2	霍尔元件交流电流计	(168)
§6.3	霍尔元件磁平衡式交流电流表	(170)
§6.4	使用专用模块的简单、高精度应变仪放大器	(173)
§6.5	应变仪型压力传感器电桥电源	(175)
§6.6	压力传感器应变仪放大器	(179)
§6.7	使用低漂移运算放大器的3½位测力计	(181)
§6.8	使用低漂移运算放大器的简易型测力应变仪放大器	(183)
§6.9	使用低漂移运算放大器的仪表放大器型通用应变仪放大器	(185)
§6.10	使用斩波放大器的测力4½位A—D转换器	(186)
§6.11	使用运算放大器的铂测温电阻温度检测电路	(188)
§6.12	使用了转换电容的IC铂测温电阻5V单电源温度检测电路	(190)
§6.13	使用专用IC的热电偶温度检测电路	(193)
§6.14	使用理想二极管的折线逼近式热电偶线性电路	(194)
§6.15	使用热电偶的3½位数字温度计	(195)
§6.16	使用二极管的微机输入温度检测电路	(198)
§6.17	使用热敏电阻(TSR)的电池式数字温度计	(200)

§6.18	使用IC温度传感器的简单3 $\frac{1}{2}$ 位数字温度计	(203)
§6.19	使用铂薄膜温度传感器的电池式3 $\frac{1}{2}$ 位数字温度计	(206)
§6.20	自身发热小的热敏电阻驱动电路	(209)
§6.21	使用热敏电阻的温度等级检测电路	(211)

1 晶体管放大电路基础

§1.1 晶体管放大电路基础(1)

固定偏置方式的晶体管放大电路

图1.1是使用固定偏置方式的晶体管放大电路。

电路很简单,除晶体管外,只使用两个电阻。其中 R_L 为负载电阻, R_B 为偏置电阻。

晶体管型号为2SC372-O。由表1.A可知该晶体管是高频放大用的NPN型晶体管。型号中的O表示晶体管直流放大系数 h_{FE} 。2SC372型有两种,O(橙黄)和Y(黄)。O的 h_{FE} 值为70~140,Y的 h_{FE} 值为120~240。

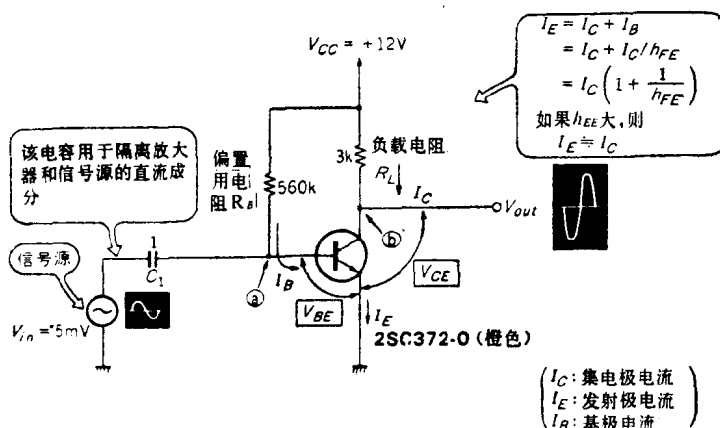


图1.1 固定偏置式晶体管放大电路(1)

一般,①点电压 V_{CE} 等于电源电压 V_{CC} 的1/2时,输出电压幅值最大。由于 $V_{CC}=12V$,所以 $V_{CE}=6V$ 。而此6V称作晶体管的工作点或偏置点。工作点等于 $V_{CC}/2$ 的放大器称作A级工作放大器。

因此,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_L = V_{CC}/2$$

$$\therefore I_C \times R_L = V_{CC}/2 \quad (1.1)$$

基极电流 I_B 与集电极电流 I_C 间的关系为:

$$I_C = h_{FE} \times I_B \quad (1.2)$$

式中 h_{FE} 为前述直流放大系数。

由图1.1可知②点电压

$$V_{BE} = V_{CC} - I_B \times R_B \quad (1.3)$$

V_{BE} 为基极到发射极间的电压,通常为0.7V左右。使晶体管正常动作的 V_{BE} 值为偏置电压。

R_L 为3k Ω ,由1.1式可得 I_C 为2mA。

2SC372-O的 h_{FE} 值为70~140。取其中间值, $h_{FE}=100$ 代入1.2式,得出 $I_B=20\mu A$ 。再将 I_B 代入1.3式,求出 $R_B=570k\Omega$ 。

照片1.1(a)是图1.1电路的工作波形。 R_B 采用560k Ω 。

V_{CE} 约为5.9V，接近设计值6V。

在输入电压 $V_{in}=5\text{mV}$ 时，输出电压 $V_{out}=1.14\text{V}$ ，放大倍数 $A=V_{out}/V_{in}$ ，约为-230。固定偏置方式的放大倍数，可由下式求出，

$$A \approx -\frac{R_L(\Omega)}{26/I_C(\text{mA})} \quad (1.4)$$

将图1.1的数值代入1.4式，得出 $A = -\frac{3000}{26/2} \approx -230$ ，与用照片1.1(a)求出的值一致。

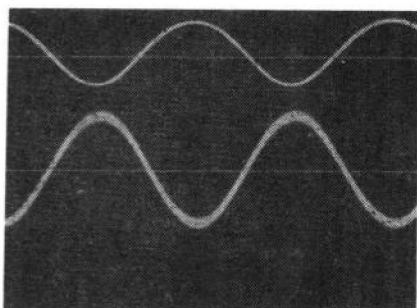
1.4式中的“-”号表示输出和输入相位相反，即输入变大时输出变小。

§1.2 晶体管放大电路基础(2)

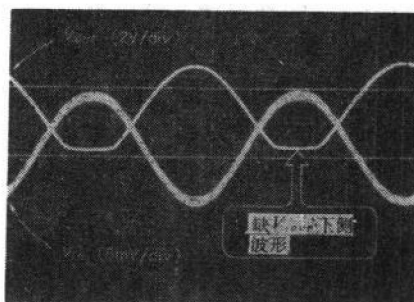
照片1.1(b)是偏置电阻 R_B 改为330k Ω ，工作点为1.8V时的图1.1电路的工作波形。

在照片1.1(a)中当 $V_{in}=5\text{mV}$ 时，输入波形正好被放大，而在照片1.1(b)中， V_{out} 下方已削波，即由于工作点偏离，输出电压将不会增大。

如把工作点增大到6V以上也如此。但这时是 V_{out} 上方被削波。由此可见工作点等于电源电压的1/2时，对输出电压有利。



照片1.1(a) 图1.1电路的工作波形



照片1.1(b) 工作点改变后的图1.1电路工作波形

附：晶体管类型

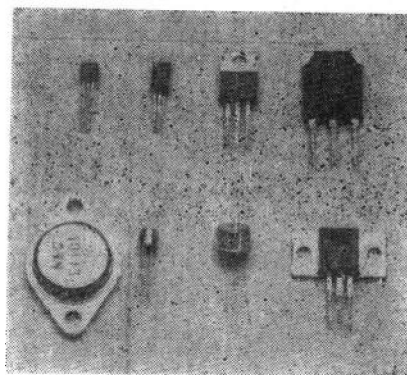
晶体管有NPN型和PNP型两种(如图1.A所示)。二者电流方向相反，而工作原理相同。

由晶体管上所印的型号(如照片1.A中的2SA和2SB)可知是PNP型还是NPN型，是高频管还是低频管。

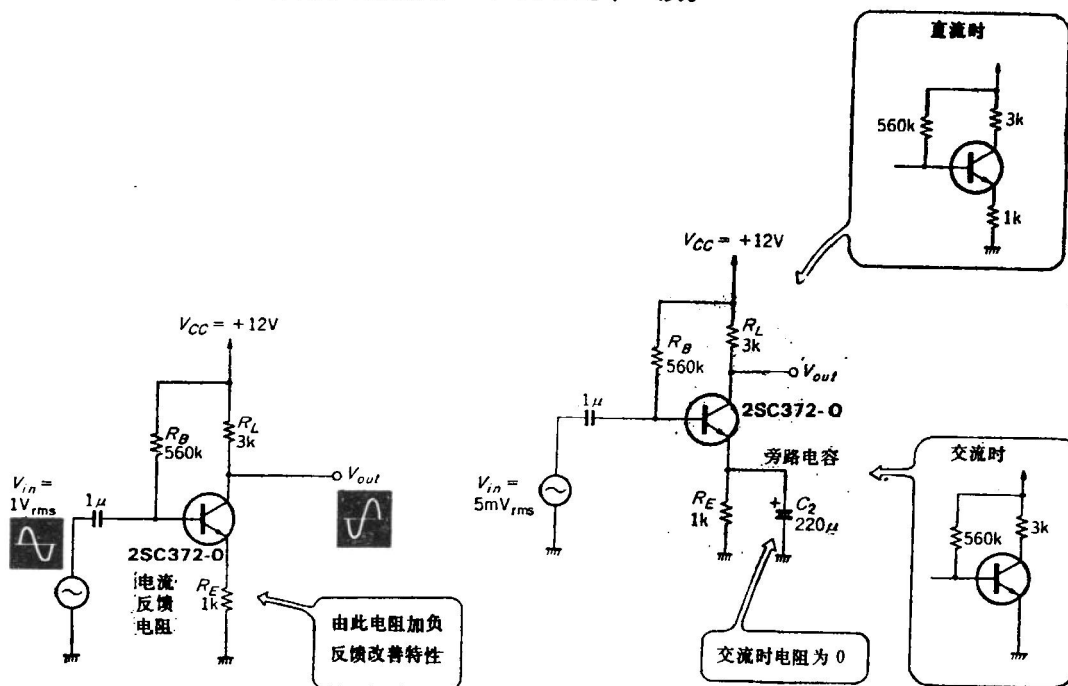
表1.A是晶体管分类表。

表1.A 晶体管分类

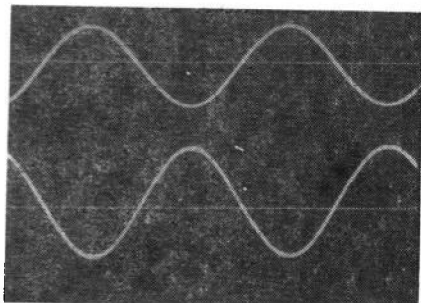
型 号	类 别	用 途
2SA	PNP	高频整流
2SB	PNP	低频
2SC	NPN	高频、整流
2SD	NPN	低频



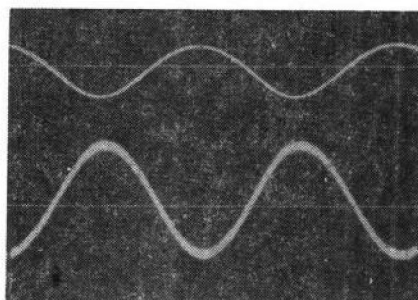
照片1.A 晶体管外形



但是图1.2电路的放大倍数不够大。倘若如图1.3所示,在 R_E 上并联一个大电容 C_2 ,放大倍数就会变大。而在交流时, C_2 将 R_E 短路,其结果与图1.1电路相同(参见照片1.3)。 C_2 称为分流电容。



照片1.2 图1.2电路工作波形



照片1.3 图1.3电路工作波形

§1.4 晶体管放大电路基础(4)

更换晶体管引起工作点偏移的主要原因是晶体管直流电流放大系数 h_{FE} 不同。例如2SC372-O晶体管的 h_{FE} 在70~140范围内。

为此,更换5个晶体管,实测一下图1.1~图1.3电路的工作点变化情况,将其结果列于表1.1中。

表1.1 晶体管工作点(固定偏置式)

电 路 类 别 晶 体 管	图1.1	图1.2	图1.3
1*(V)	5.9	6.7	6.7
2*(V)	4.8	6.1	6.2
3*(V)	4.3	5.8	5.9
4*(V)	4.4	5.8	6.0
5*(V)	5.0	6.2	6.4
偏移量(V) (最大值-最小值)	1.6	0.9	0.8

由表1.1可知,加电流反馈电阻 R_E 的图1.2和图1.3电路比不加 R_E 的图1.1电路偏移减小了1/2。但偏移仍较大,为此还须改变偏置方式。

图1.4是自给偏置式电路。其中, R_L 是负载电阻, R_B 是偏置电阻, R_E 是电流反馈电阻。该电路的放大倍数公式仍为1.5式。

图1.5称为分压偏置式电路,偏置由电阻 R_1 和 R_2 给定。其放大倍数仍可用1.5式表示。

由于 R_E 上的压降,所以工作点为 $\frac{V_{CC}-V_E}{2}$ 时,可获得最大输出电压。

$$\therefore \frac{V_{CC}-V_E}{2} = I_C \times R_L \quad \text{由此式得:}$$

$$I_C = 1.7\text{mA}$$

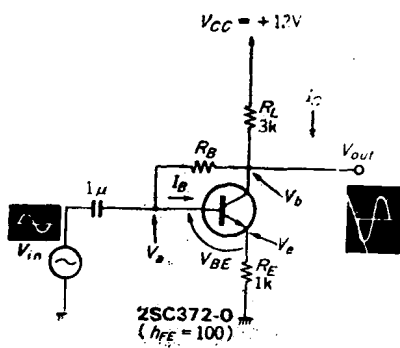


图1.4 自给偏置式晶体管放大电路(4)

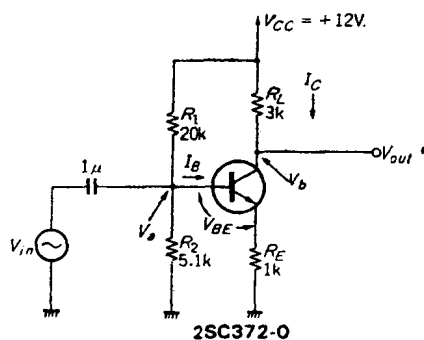


图1.5 分压偏置式晶体管放大电路(5)

$$\therefore V_b = 12V - 1.7mA \times 3k\Omega = 6.9V$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 17\mu A$$

$$V_b = I_B \times R_B + V_{BE} + I_C \times R_E \quad \text{由此式得:}$$

$$R_B = 265k\Omega \quad \text{选 } R_B \text{ 为 } 270k\Omega。$$

I_C 与图1.4的电路相同, 为1.7mA。

$$V_a = I_C \times R_E + V_{BE} = 2.4V$$

若 R_2 为 5.1kΩ, 则由 $V_a = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$ 式求出:

$$R_1 = 20k\Omega$$

更换晶体管, 实测上述两种偏置方式的稳定情况, 如表 1.2 所示。自给偏置方式比固定偏置方式偏压减小了1/2, 分压偏置方式差不多小到1/10。

表1.2 晶体管工作点偏置(自给偏置方式、分压偏置方式)

晶 体 管 \ 电 路 类 别	图 1.4	图 1.5
1*(V)	7.5	7.0
2*(V)	7.2	6.9
3*(V)	7.1	6.9
4*(V)	7.1	6.9
5*(V)	7.3	6.9
偏 移 量 (最大值-最小值)	0.4	0.1

§1.5 晶体管放大电路基础(5)

由于上述单管放大电路的工作点变化较大, 不适于直流信号放大, 故采用差动放大电路。

图 1.6 是基本的差动放大电路。它由两个并列的单管放大电路构成。这种电路的集电极电压 V_{c1} 和 V_{c2} 仍如前述电路一样变动较大。

如果 T_{r1} 和 T_{r2} 的特性很相似,则 V_a 、 V_b 将同样变化。例如, V_a 变化 $+1V$, V_b 也变化 $+1V$,因为输出电压 $V_{out}=V_a-V_b=0V$,即 V_a 的变化与 V_b 的变化相互抵消。这就是差动放大器可以用作直流信号放大的原因。

在图1.6中,取负载电阻 R_{L1} 、 R_{L2} 为 $3k\Omega$ 。则工作点 $V_a=V_b=+6V$ 。因为想以 $0V$ 作为输入信号基准,故取基极电位为 $0V$ 。由于晶体管基极和发射极间电压是 $0.7V$,所以发射极电位为 $-0.7V$ 。因为晶体管 T_{r1} 和 T_{r2} 分别流过 $2mA$ 电流,所以流经发射极电阻 R_E 上的电流为 $4mA$ 。如果取 R_E 为 $3k\Omega$,则:

$$V_{SS} = -0.7V - 4mA \times 3k\Omega = -12.7V$$

表1.2中3*和4*晶体管特性接近,取其作为 T_{r1} 和 T_{r2} 。结果,工作点 $V_a=6.2V$ 、 $V_b=6.0V$ 。

照片1.4是A输入为 $5mA$ 、 $1kHz$ 的正弦波,B输入短路(输入电压为 $0V$)时的输出电压波形。

因为 $V_a=562mV$, $V_b=560mV$,所以晶体管 T_{r1} 的放大倍数为 $-562mV/5mV \approx -112$ (输出和输入信号相位相反), T_{r2} 的放大倍数为 $560mV/5mV = 112$ (输出和输入信号相位相同)。输出电压 V_{out} (V_a-V_b)为 $1122mV$,总的放大倍数为 $-(1122mV/5mV) \approx -224$ 。

由于这个数值与前面计算的值230大致相同。

照片1.5是输入信号为 $1Hz$ 时的输出电压波形,放大倍数也为224。

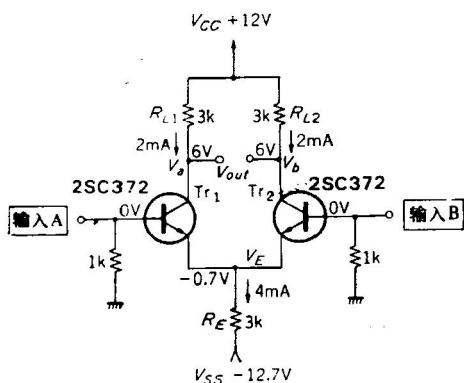
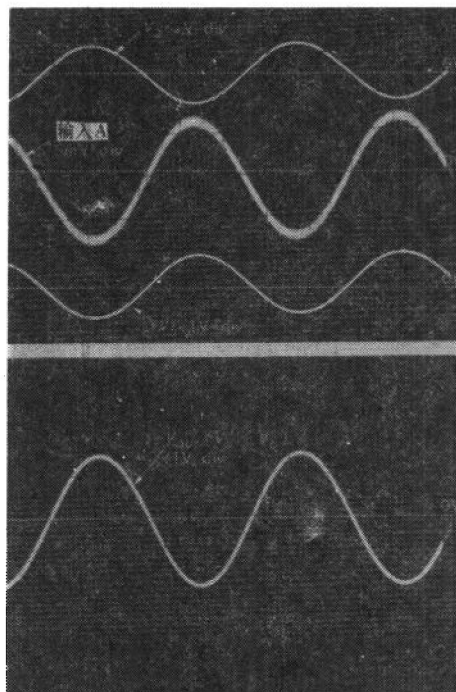
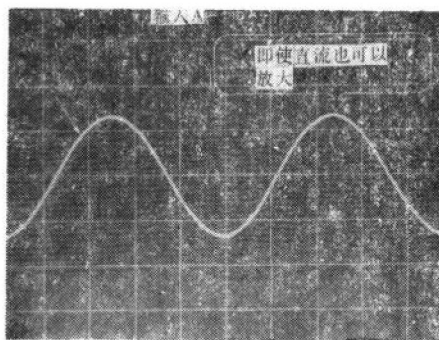


图1.6 基本差动放大电路



照片1.4 图1.6电路的工作波形(交流信号)



照片1.5 图1.6电路的工作波形

§1.6 晶体管放大电路基础(6)

差动放大电路除直流放大稳定外，还有共模放大量小的优点。

所谓共模放大倍数，就是A、B输入相同信号时的放大倍数。如果共模放大倍数为0，则输入噪声对输出没有影响。

前面计算的放大倍数叫作差动放大倍数，与共模放大无关。

因此，为了提高信/噪比，应提高差动放大倍数，降低共模放大倍数。二者之比称作共模抑制比 (CMRR: Common Mode Rejection Ratio)。共模放大倍数 A_c 可用下式求出。

$$A_c = 2R_L / 2R_E \quad (1.6)$$

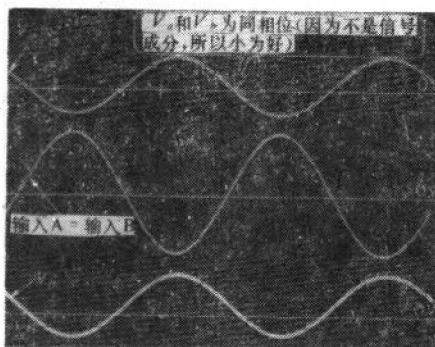
所以图1.6电路的 A_c 等于 -0.5。

照片1.6是A和B都加上50mV正弦波时的波形。

要减小共模放大倍数，加大 R_E 就行。通常使用内阻大的恒流电路来代替 R_E 。

差动放大电路与运算放大器的关系密切。运算放大器的输入部分几乎都由差动放大电路构成。

由于采用了差动放大电路，音频放大的频率范围已经超过了以前的20~20,000Hz范围。差动放大电路还广泛用于稳压电源和测量仪器。



照片1.6 共模放大倍数的测定