

实验十四 函数信号发生器的组装与调试

一、实验目的

- 1、了解单片多功能集成电路函数信号发生器的功能及特点
- 2、进一步掌握波形参数的测试方法

二、实验原理

1、 ICL8038 是单片集成函数信号发生器，其内部框图如图 14-1 所示。它由恒流源 I_1 和 I_2 、电压比较器 A 和 B、触发器、缓冲器和三角波变正弦波电路等组成。

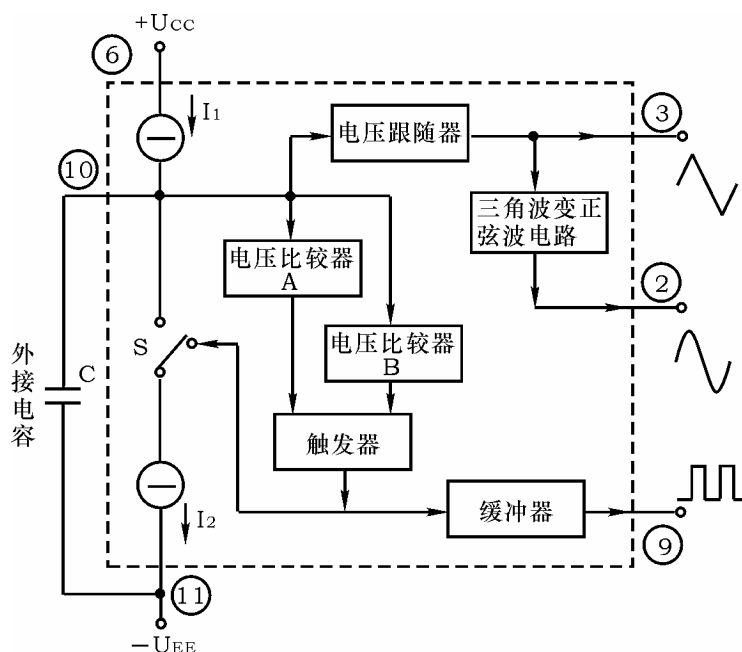


图 14-1 ICL8038 原理框图

外接电容 C 由两个恒流源充电和放电，电压比较器 A、B 的阈值分别为电源电压（指 $U_{CC}+U_{EE}$ ）的 $2/3$ 和 $1/3$ 。恒流源 I_1 和 I_2 的大小可通过外接电阻调节，但必须 $I_2 > I_1$ 。当触发器的输出为低电平时，恒流源 I_2 断开，恒流源 I_1 给 C 充电，它的两端电压 u_c 随时间线性上升，当 u_c 达到电源电压的 $2/3$ 时，电压比较器 A 的输出电压发生跳变，使触发器输出由低电平变为高电平，恒流源 I_2 接通，由于 $I_2 > I_1$ （设 $I_2 = 2I_1$ ），恒流源 I_2 将电流 $2I_1$ 加到 C 上反充电，相当于 C 由一个净电流 I 放电， C 两端的电压 u_c 又转为直线下降。当它下降到电源电压的 $1/3$ 时，电压比较器 B 的输出电压发生跳变，使触发器的输出由高电平跳变为原来的低电平，恒流源 I_2 断开， I_1 再给 C 充电，…如此周而复始，产生振荡。

若调整电路，使 $I_2=2I_1$ ，则触发器输出为方波，经反相缓冲器由管脚⑨输出方波信号。C 上的电压 u_c ，上升与下降时间相等，为三角波，经电压跟随器从管脚③输出三角波信号。将三角波变成正弦波是经过一个非线性的变换网络（正弦波变换器）而得以实现，在这个非线性网络中，当三角波电位向两端顶点摆动时，网络提供的交流通路阻抗会减小，这样就使三角波的两端变为平滑的正弦波，从管脚②输出。

1、ICL8038 管脚功能图

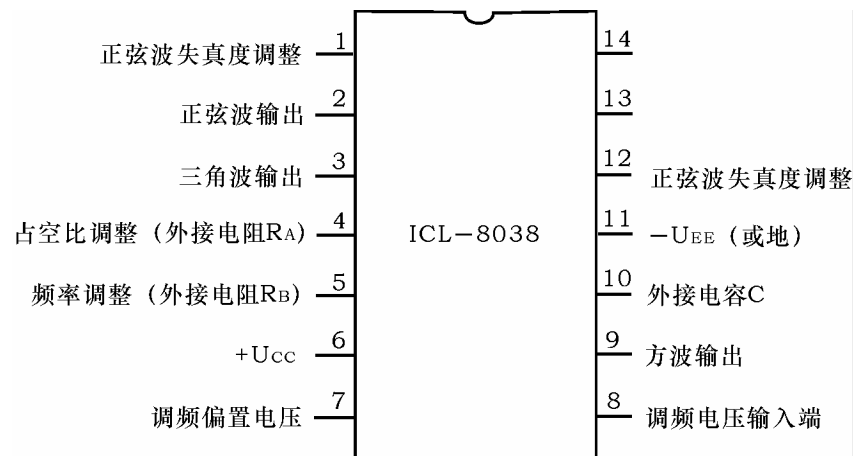


图 14—2 ICL8038 管脚图

电源电压 $\begin{cases} \text{单电源 } 10\sim 30\text{V} \\ \text{双电源 } \pm 5\text{V}\sim \pm 15\text{V} \end{cases}$

2、实验电路如图 14—3 所示

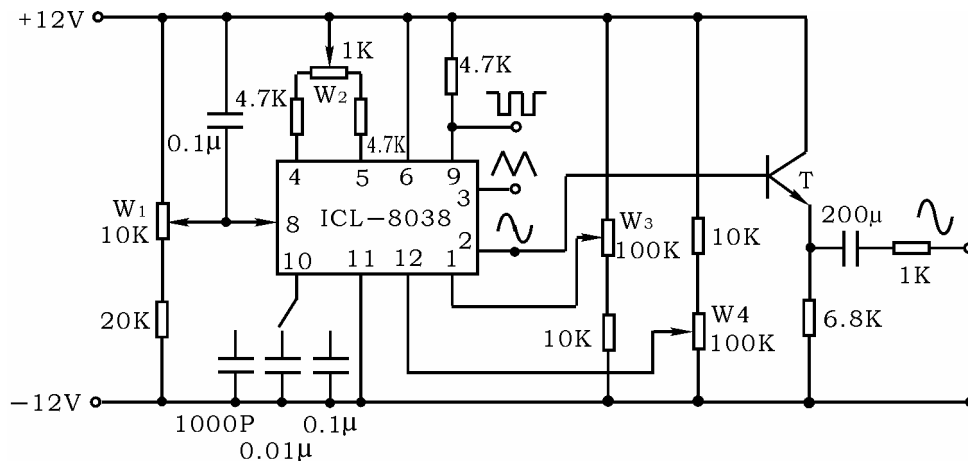


图 14-3 ICL8038 实验电路图

三、实验设备与器件

- | | |
|--------------|-------------------------|
| 1、 ±12V 直流电源 | 2、 双踪示波器 |
| 3、 频率计 | 4、 直流电压表 |
| 5、 ICL8038 | 6、 晶体三极管 3DG12×1 (9013) |
- 电位器、电阻器、电容器等

四、实验内容

- 按图 14-3 所示的电路图组装电路，取 $C=0.01\mu f$ ， W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 均置中间位置。
- 调整电路，使其处于振荡，产生方波，通过调整电位器 W_2 ，使方波的占空比达到 50%。
- 保持方波的占空比为 50% 不变，用示波器观测 8038 正弦波输出端的波形，反复调整 W_3 、 W_4 ，使正弦波不产生明显的失真。
- 调节电位器 W_1 ，使输出信号从小到大变化，记录管脚 8 的电位及测量输出正弦波的频率，列表记录之。
- 改变外接电容 C 的值（取 $C=0.1$ 和 $1000P$ ），观测三种输出波形，并与 $C=0.01\mu f$ 时测得的波形作比较，有何结论？
- 改变电位器 W_2 的值，观测三种输出波形，有何结论？
- 如有失真度测试仪，则测出 C 分别为 $0.1\mu f$ 、 $0.01\mu f$ 和 $1000P$ 时的正弦波失真系数 r 值（一般要求该值小于 3%）。

五、预习要求

- 1、 翻阅有关 ICL8038 的资料，熟悉管脚的排列及其功能。
- 2、 如果改变了方波的占空比，试问此时三角波和正弦波输出端将会变成怎样的一个波形？

六、实验总结

1、 分别画出 $C=0.1\mu f$ ， $C=0.01\mu f$ ， $1000P$ 时所观测到的方波，三角波和正弦波的波形图，从中得出什么结论。

2、 列表整理 C 取不同值时三种波形的频率和幅值。

1、 组装、调整函数信号发生器的心得、体会。

实验十五 压控振荡器

一、实验目的

了解压控振荡器的组成及调试方法

二、实验原理

调节可变电阻或可变电容可以改变波形发生电路的振荡频率，一般是通过人的手来调节的。而在自动控制等场合往往要求能自动地调节振荡频率。常见的情况是给出一个控制电压（例如计算机通过接口电路输出的控制电压），要求波形发生电路的振荡频率与控制电压成正比。这种电路称为压控振荡器，又称为 VCO 或 u-f 转换电路。

利用集成运放可以构成精度高、线性好的压控振荡器。下面介绍这种电路的构成和工作原理，并求出振荡频率与输入电压的函数关系。

1、电路的构成及工作原理

怎样用集成运放构成压控振荡器呢？我们知道积分电路输出电压变化的速率与输入电压的大小成正比，如果积分电容充电使输出电压达到一定程度后，设法使它迅速放电，然后输入电压再给它充电，如此周而复始，产生振荡，其振荡频率与输入电压成正比。即压控振荡器。图 15-1 就是实现上述意图的压控振荡器（它的输入电压 $U_i > 0$ ）。

图 15-1 所示电路中 A_1 是积分电路， A_2 是同相输入滞回比较器，它起开关作用。当它的输出电压 $u_{o1} = +U_z$ 时，二极管 D 截止，输入电压（ $U_i > 0$ ），经电阻 R_1 向电容 C 充电，输出电压 u_o 逐渐下降，当 u_o 下降到零再继续下降使滞回比较器 A_2 同相输入端电位略低于零， u_{o1} 由 $+U_z$ 跳变为 $-U_z$ ，二极管 D 由截止变导通，电容 C 放电，由于放电回路的等效电阻比 R_1 小得多，因此放电很快， u_o 迅速上升，使 A_2 的 u_i 很快上升到大于零， u_{o1} 很快从 $-U_z$ 跳回到 $+U_z$ ，二极管又截止，输入电压经 R_1 再向电容充电。如此周而复始，产生振荡。

图 15-2 所示为压控振荡器 u_o 和 u_{o1} 的波形图。

2、振荡频率与输入电压的函数关系

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{T_1} = \frac{R_4}{2R_1R_3C} \frac{U_i}{U_z}$$

可见振荡频率与输入电压成正比。

上述电路实际上就是一个方波、锯齿波发生电路，只不过这里是通过改变输入电压 U_i 的大小来改变输出波形频率，从而将电压参量转换成频率参量。

压控振荡器的用途较广。为了使用方便，一些厂家将压控振荡器做成模块，有的压控振荡器模块输出信号的频率与输入电压幅值的非线性误差小于 0.02%，但振荡频率较低，一般在 100Kz 以下。

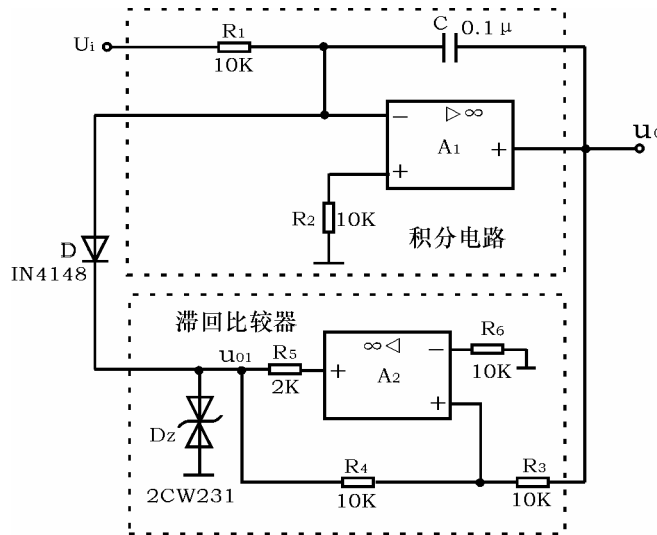


图 15-1 压控振荡器实验电路

三、实验设备与器件

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1、 ±12V 直流电源 | 2、 双踪示波器 |
| 3、 交流毫伏表 | 4、 直流电压表 |
| 5、 频率计 | 6、 运算放大器 $\mu A741 \times 2$ 、 |
| 7、 稳压管 2CW231 $\times 1$ | 8、 二极管 IN4148 $\times 1$ |

电阻器、电容器若干。

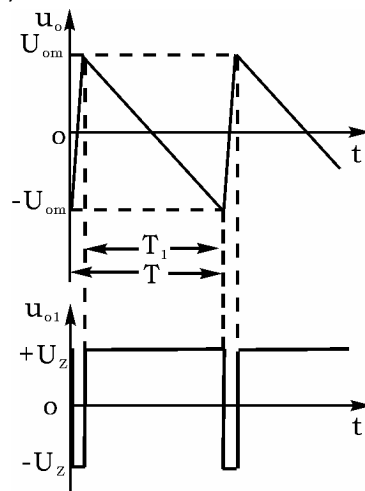


图 15-2 压控振荡器波形图

四、实验内容

- 1、按图 15-1 接线，用示波器监视输出波形
- 2、按下表的内容，测量电路的输入电压与振荡频率的转换关系
- 3、用双踪示波器观察并描绘 u_0 、 u_{01} 波形。

	U_i (V)	1	2	3	4	5	6
用示波器测得	T (ms)						
	f (Hz)						
用频率计测得	f (Hz)						

五、实验总结

作出电压—频率关系曲线，并讨论其结果。

六、预习要求

- 1、指出图 15-1 中电容器 C 的充电和放电回路。
- 2、定性分析用可调电压 U_i 改变 u_0 频率的工作原理。
- 3、电阻 R_3 和 R_4 的阻值如何确定？当要求输出信号幅值为 $12U_{opp}$ ，输入电压值为 3V，输出频率为 3000Hz，计算出 R_3 、 R_4 的

实验十六 低频功率放大器 (I)

— OTL 功率放大器 —

一、实验目的

- 1、进一步理解 OTL 功率放大器的工作原理
- 2、学会 OTL 电路的调试及主要性能指标的测试方法

二、实验原理

图 16-1 所示为 OTL 低频功率放大器。其中由晶体三极管 T_1 组成推动级(也称前置放大级), T_2 、 T_3 是一对参数对称的 NPN 和 PNP 型晶体三极管, 它们组成互补推挽 OTL 功放电路。由于每一个管子都接成射极输出器形式, 因此具

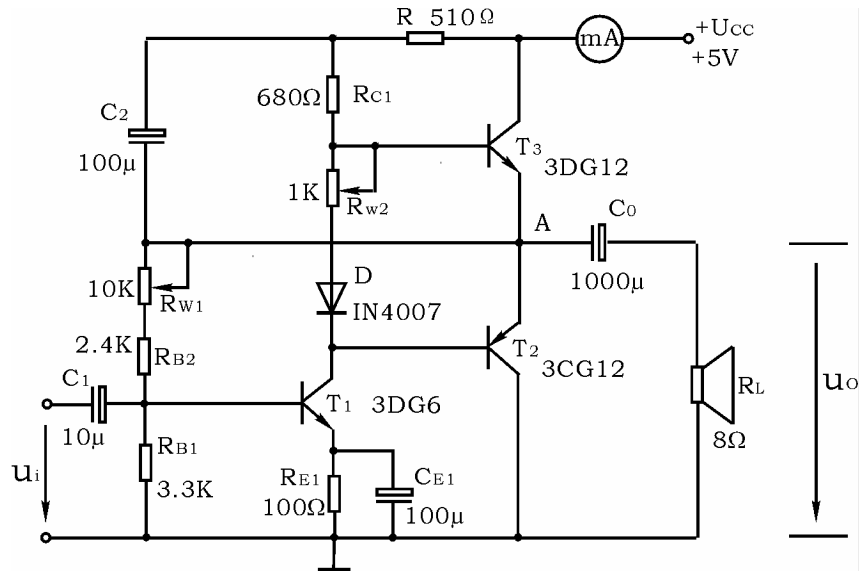


图 16-1 OTL 功率放大器实验电路

有输出电阻低, 负载能力强等优点, 适合于作功率输出级。 T_1 管工作于甲类状态, 它的集电极电流 I_{C1} 由电位器 R_{W1} 进行调节。 I_{C1} 的一部分流经电位器 R_{W2} 及二极管 D , 给 T_2 、 T_3 提供偏压。调节 R_{W2} , 可以使 T_2 、 T_3 得到合适的静态电流而工作于甲、乙类状态, 以克服交越失真。静态时要求输出端中点 A 的电位 $U_A = \frac{1}{2}U_{CC}$, 可以通过调节 R_{W1} 来实现, 又由于 R_{W1} 的一端接在 A 点, 因此在电路中引入交、直流电压并联负反馈, 一方面能够稳定放大器的静态工作点, 同时也改善了非线性失真。

当输入正弦交流信号 u_i 时, 经 T_1 放大、倒相后同时作用于 T_2 、 T_3 的基极, u_i 的正半周使 T_2 管导通 (T_3 管截止), 有电流通过负载 R_L , 同时向电容 C_0 充电,

在 u_i 的正半周, T_3 导通 (T_2 截止), 则已充好电的电容器 C_0 起着电源的作用, 通过负载 R_L 放电, 这样在 R_L 上就得到完整的正弦波。

C_2 和 R 构成自举电路, 用于提高输出电压正半周的幅度, 以得到大的动态范围。

OTL 电路的主要性能指标

3、最大不失真输出功率 P_{om}

理想情况下, $P_{om} = \frac{1}{8} \frac{U_{CC}^2}{R_L}$, 在实验中可通过测量 R_L 两端的电压有效值, 来

求得实际的 $P_{om} = \frac{U_0^2}{R_L}$ 。

2、效率 η

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_E} 100\%$$

P_E 一直流电源供给的平均功率

理想情况下, $\eta_{max} = 78.5\%$ 。在实验中, 可测量电源供给的平均电流 I_{dc} , 从而求得 $P_E = U_{CC} \cdot I_{dc}$, 负载上的交流功率已用上述方法求出, 因而也就可以计算实际效率了。

3、频率响应

详见实验二有关部分内容

4、输入灵敏度

输入灵敏度是指输出最大不失真功率时, 输入信号 U_i 之值。

三、实验设备与器件

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1、 +5V 直流电源 | 5、 直流电压表 |
| 2、 函数信号发生器 | 6、 直流毫安表 |
| 3、 双踪示波器 | 7、 频率计 |
| 4、 交流毫伏表 | |
| 8、 晶体三极管 3DG6 (9011) 3DG12 (9013) | |
| | 3CG12 (9012) 晶体二极管 IN4007 |
| | 8 Ω 扬声器、电阻器、电容器若干 |

四、实验内容

在整个测试过程中, 电路不应有自激现象。

1、静态工作点的测试

按图 16-1 连接实验电路，将输入信号旋钮旋至零 ($u_i=0$) 电源进线中串入直流毫安表，电位器 R_{W2} 置最小值， R_{W1} 置中间位置。接通 +5V 电源，观察毫安表指示，同时用手触摸输出级管子，若电流过大，或管子温升显著，应立即断开电源检查原因（如 R_{W2} 开路，电路自激，或输出管性能不好等）。如无异常现象，可开始调试。

1) 调节输出端中点电位 U_A

调节电位器 R_{W1} ，用直流电压表测量 A 点电位，使 $U_A = \frac{1}{2}U_{CC}$ 。

2) 调整输出极静态电流及测试各级静态工作点

调节 R_{W2} ，使 T_2 、 T_3 管的 $I_{C2}=I_{C3}=5\sim 10\text{mA}$ 。从减小交越失真角度而言，应适当加大输出极静态电流，但该电流过大，会使效率降低，所以一般以 $5\sim 10\text{mA}$ 左右为宜。由于毫安表是串在电源进线中，因此测得的是整个放大器的电流，但一般 T_1 的集电极电流 I_{C1} 较小，从而可以把测得的总电流近似当作末级的静态电流。如要准确得到末级静态电流，则可从总电流中减去 I_{C1} 之值。

调整输出级静态电流的另一方法是动态调试法。先使 $R_{W2}=0$ ，在输入端接入 $f=1\text{KHz}$ 的正弦信号 u_i 。逐渐加大输入信号的幅值，此时，输出波形应出现较严重的交越失真（注意：没有饱和和截止失真），然后缓慢增大 R_{W2} ，当交越失真刚好消失时，停止调节 R_{W2} ，恢复 $u_i=0$ ，此时直流毫安表读数即为输出级静态电流。一般数值也应在 $5\sim 10\text{mA}$ 左右，如过大，则要检查电路。

输出极电流调好以后，测量各级静态工作点，记入表 16-1。

表 16-1 $I_{C2}=I_{C3}= \quad \text{mA}$ $U_A=2.5\text{V}$

	T_1	T_2	T_3
$U_B(\text{V})$			
$U_C(\text{V})$			
$U_E(\text{V})$			

注意：

① 在调整 R_{W2} 时，一是要注意旋转方向，不要调得过大，更不能开路，以免损坏输出管

② 输出管静态电流调好，如无特殊情况，不得随意旋动 R_{W2} 的位置。

2、最大输出功率 P_{om} 和效率 η 的测试

1) 测量 P_{om}

输入端接 $f=1\text{KHz}$ 的正弦信号 u_i ，输出端用示波器观察输出电压 u_o 波形。逐渐增大 u_i ，使输出电压达到最大不失真输出，用交流毫伏表测出负载 R_L 上的电压 U_{om} ，则

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{R_L}。$$

2) 测量 η

当输出电压为最大不失真输出时，读出直流毫安表中的电流值，此电流即为直流电源供给的平均电流 I_{dc} (有一定误差)，由此可近似求得 P_E

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_E}。$$

$= U_{CC} I_{dc}$ ，再根据上面测得的 P_{om} ，即可求出

3、输入灵敏度测试

根据输入灵敏度的定义，只要测出输出功率 $P_o = P_{om}$ 时的输入电压值 U_i 即可。

4、频率响应的测试

测试方法同实验二。记入表 16-2。

表 16-2 $U_i =$ mV

	f_L			f_0			f_H		
f (Hz)					1000				
U_o (V)									
A_v									

在测试时，为保证电路的安全，应在较低电压下进行，通常取输入信号为输入灵敏度的 50%。在整个测试过程中，应保持 U_i 为恒定值，且输出波形不得失真。

5、研究自举电路的作用

$$A_v = \frac{U_{om}}{U_i}$$

1) 测量有自举电路，且 $P_o = P_{omax}$ 时的电压增益

2) 将 C_2 开路， R 短路 (无自举)，再测量 $P_o = P_{omax}$ 的 A_v 。

用示波器观察 1)、2) 两种情况下的输出电压波形，并将以上两项测量结果进行比较，分析研究自举电路的作用。

6、噪声电压的测试

测量时将输入端短路 ($u_i=0$)，观察输出噪声波形，并用交流毫伏表测量输出电压，即为噪声电压 U_N ，本电路若 $U_N < 15\text{mV}$ ，即满足要求。

7、试听

输入信号改为录音机输出，输出端接试听音箱及示波器。开机试听，并观察语言和音乐信号的输出波形。

五、实验总结

1、整理实验数据，计算静态工作点、最大不失真输出功率 P_{om} 、效率 η 等，并与理论值进行比较。画频率响应曲线。

2、分析自举电路的作用。

3、讨论实验中发生的问题及解决办法。

六、预习要求

1、复习有关 OTL 工作原理部分内容。

2、为什么引入自举电路能够扩大输出电压的动态范围？

3、交越失真产生的原因是什么？怎样克服交越失真？

4、电路中电位器 R_{W2} 如果开路或短路，对电路工作有何影响？

5、为了不损坏输出管，调试中应注意什么问题？

6、如电路有自激现象，应如何消除？

实验十七 低频功率放大器（II）

— 集成功率放大器 —

一、实验目的

- 1、了解功率放大集成块的应用
- 2、学习集成功率放大器基本技术指标的测试

二、实验原理

集成功率放大器由集成功放块和一些外部阻容元件构成。它具有线路简单，性能优越，工作可靠，调试方便等优点，已经成为在音频领域中应用十分广泛的功率放大器。

电路中最主要的组件为集成功放块，它的内部电路与一般分立元件功率放大器不同，通常包括前置级、推动级和功率级等几部分。有些还具有一些特殊功能（消除噪声、短路保护等）的电路。其电压增益较高（不加负反馈时，电压增益达 70~80db，加典型负反馈时电压增益在 40db 以上）。

集成功放块的种类很多。本实验采用的集成功放块型号为 LA4112，它的内部电路如图 17-1 所示，由三级电压放大，一级功率放大以及偏置、恒流、反馈、退耦电路组成。

1) 电压放大级

第一级选用由 T_1 和 T_2 管组成的差动放大器，这种直接耦合的放大器零漂较小，第二级的 T_3 管完成直接耦合电路中的电平移动， T_4 是 T_3 管的恒流源负载，以获得较大的增益；第三级由 T_6 管等组成，此级增益最高，为防止出现自激振荡，需在该管的 B、C 极之间外接消振电容。

2) 功率放大级

由 T_8-T_{13} 等组成复合互补推挽电路。为提高输出级增益和正向输出幅度，需外接“自举”电容。

3) 偏置电路

为建立各级合适的静态工作点而设立。

除上述主要部分外，为了使电路工作正常，还需要和外部元件一起构成反馈电路来稳定和控制增益。同时，还设有退耦电路来消除各级间的不良影响。

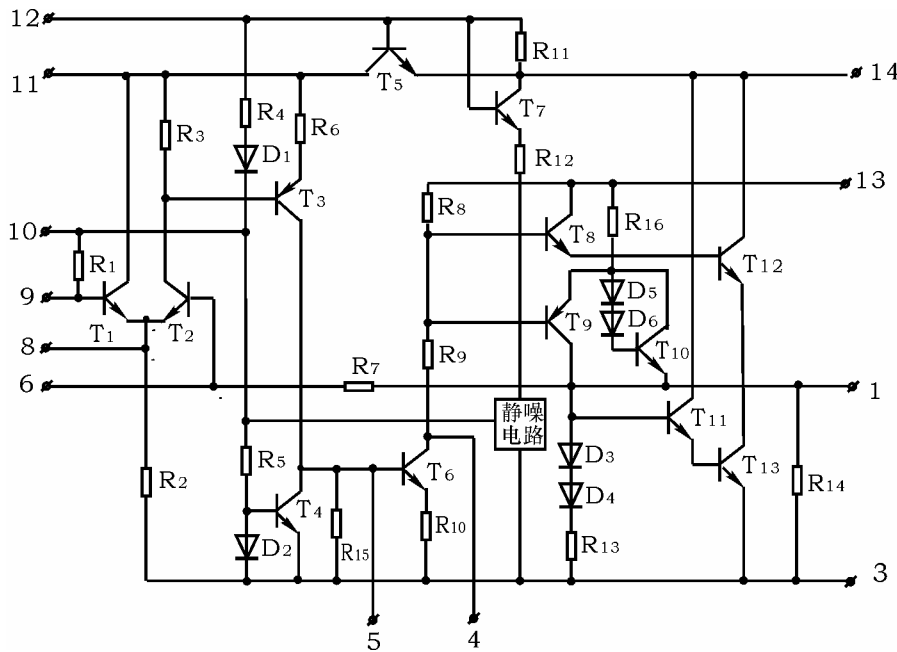


图 17-1 LA4112 内部电路图

LA4112 集成功放块是一种塑料封装十四脚的双列直插器件。它的外形如图 17-2 所示。表 17-1、2 是它的极限参数和电参数。

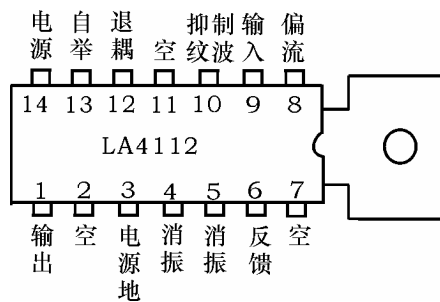


图 17-2 LA4112 外形及管脚排列图

与 LA4112 集成功放块技术指标相同的国内外产品还有 FD403; FY4112; D4112 等，可以互相替代使用。

表 17-1

参 数	符号与单位	额 定 值
最大电源电压	U_{CCmax} (V)	13 (有信号时)
允许功耗	P_0 (W)	1.2
		2.25 (50×50mm ² 铜箔散热片)

工作温度	$T_{opr} (^{\circ}C)$	-20~+70
------	-----------------------	---------

表 17-2

参 数	符号与单位	测试条件	典 型 值
工作电压	$U_{CC} (V)$		9
静态电流	$I_{CCQ} (mA)$	$U_{CC}=9V$	15
开环电压增益	$A_{V0} (db)$		70
输出功率	$P_0 (W)$	$R_L=4\Omega \quad f=1KHz$	1.7
输入阻抗	$R_i (K\Omega)$		20

集成功率放大器 LA4112 的应用电路如图 17-3 所示，该电路中各电容和电阻的作用简要说明如下：

C_1 、 C_9 — 输入、输出耦合电容，隔直作用。

C_2 和 R_f — 反馈元件，决定电路的闭环增益。

C_3 、 C_4 、 C_8 — 滤波、退耦电容。

C_5 、 C_6 、 C_{10} — 消振电容，消除寄生振荡。

C_7 — 自举电容，若无此电容，将出现输出波形半边被削波的现象。

三、实验设备与器件

- | | |
|------------------|----------------|
| 1、+9V 直流电源 | 2、函数信号发生器 |
| 3、双踪示波器 | 4、交流毫伏表 |
| 5、直流电压表 | 6、电流毫安表 |
| 7、频率计 | 8、集成功放块 LA4112 |
| 9、 8Ω 扬声器 | 电阻器、电容器若干。 |

四、实验内容

按图 17-3 连接实验电路，输入端接函数信号发生器，输出端接扬声器。

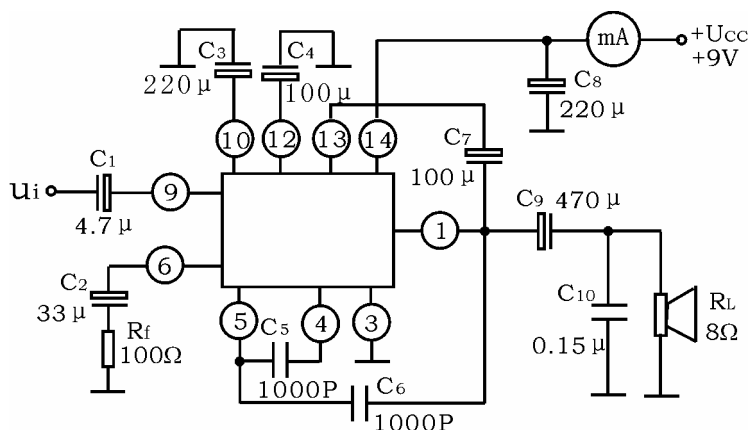


图 17-3 由 LA4112 构成的集成功放实验电路

1、静态测试

将输入信号旋钮旋至零，接通 +9V 直流电源，测量静态总电流及集成块各引脚对地电压，记入自拟表格中。

2. 动态测试

1) 最大输出功率

a、接入自举电容 C_7

输入端接 1KHZ 正弦信号，输出端用示波器观察输出电压波形，逐渐加大输入信号幅度，使输出电压为最大不失真输出，用交流毫伏表测量此时的输出电压 U_{om} ，则最大输出功率

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{R_L}$$

b、断开自举电容 C_7

观察输出电压波形变化情况

2) 输入灵敏度

要求 $U_i < 100\text{mV}$ ，测试方法同实验十六。

3) 频率响应

测试方法同实验十六。

4) 噪声电压

要求 $U_N < 2.5\text{mV}$ ，测试方法同实验十六。

3、试听

五、实验总结

- 1、整理实验数据，并进行分析。
- 2、画频率响应曲线
- 3、讨论实验中发生的问题及解决办法。

六、预习要求

- 1、复习有关集成功率放大器部分内容
- 2、若将电容 C_7 除去，将会出现什么现象？
- 3、若在无输入信号时，从接在输出端的示波器上观察到频率较高的波形，正常否？如何消除？
- 4、如何由 +12V 直流电源获得 +9V 直流电源？
- 5、进行本实验时，应注意以下几点：
 - (1) 电源电压不允许超过极限值，不允许极性接反，否则集成块将遭损坏。
 - (2) 电路工作时绝对避免负载短路，否则将烧毁集成块。
 - (3) 接通电源后，时刻注意集成块的温度，有时，未加输入信号集成块就发热过甚，同时直流毫安表指示出较大电流及示波器显示出幅度较大，频率较高的波形，说明电路有自激现象，应即关机，然后进行故障分析，处理。待自激振荡消除后，才能重新进行实验。
 - (4) 输入信号不要过大。

实验十八 直流稳压电源（I）

— 串联型晶体管稳压电源 —

一、实验目的

- 1、研究单相桥式整流、电容滤波电路的特性。
- 2、掌握串联型晶体管稳压电源主要技术指标的测试方法。

二、实验原理

电子设备一般都需要直流电源供电。这些直流电除了少数直接利用干电池和直流发电机外，大多数是采用把交流电（市电）转变为直流电的直流稳压电源。

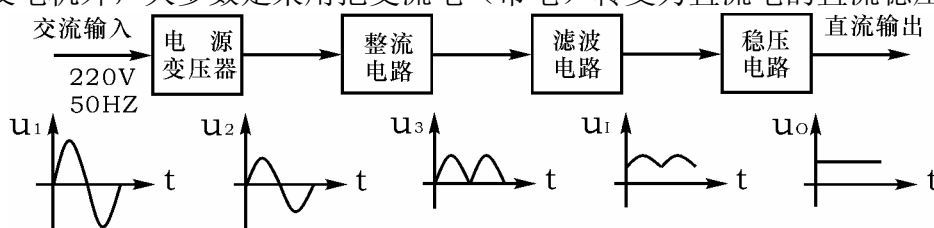


图 18—1 直流稳压电源框图

直流稳压电源由电源变压器、整流、滤波和稳压电路四部分组成，其原理框图如图 18—1 所示。电网供给的交流电压 u_1 (220V, 50Hz) 经电源变压器降压后，得到符合电路需要的交流电压 u_2 ，然后由整流电路变换成方向不变、大小随时间变化的脉动电压 u_3 ，再用滤波器滤去其交流分量，就可得到比较平直的直流电压 u_1 。但这样的直流输出电压，还会随交流电网电压的波动或负载的变动而变化。在对直流供电要求较高的场合，还需要使用稳压电路，以保证输出直流电压更加稳定。

图 18—2 是由分立元件组成的串联型稳压电源的电路图。其整流部分为单相桥式整流、电容滤波电路。稳压部分为串联型稳压电路，它由调整元件（晶体管 T_1 ）；比较放大器 T_2 、 R_7 ；取样电路 R_1 、 R_2 、 R_w ，基准电压 D_w 、 R_3 和过流保护电路 T_3 管及电阻 R_4 、 R_5 、 R_6 等组成。整个稳压电路是一个具有电压串联负反馈的闭环系统，其稳压过程为：当电网电压波动或负载变动引起输出直流电压发生变化时，取样电路取出输出电压的一部分送入比较放大器，并与基准电压进行比较，产生的误差信号经 T_2 放大后送至调整管 T_1 的基极，使调整管改变其管压降，以补偿输出电压的变化，从而达到稳定输出电压的目的。

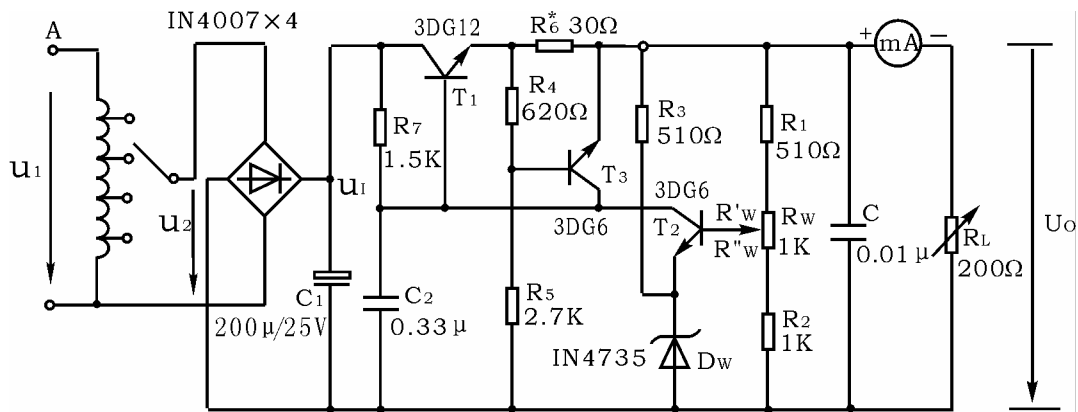


图 18-2 串联型稳压电源实验电路

由于在稳压电路中，调整管与负载串联，因此流过它的电流与负载电流一样大。当输出电流过大或发生短路时，调整管会因电流过大或电压过高而损坏，所以需要调整管加以保护。在图 18-2 电路中，晶体管 T_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 组成减流型保护电路。此电路设计在 $I_{OP} = 1.2I_0$ 时开始起保护作用，此时输出电流减小，输出电压降低。故障排除后电路应能自动恢复正常工作。在调试时，若保护提前作用，应减少 R_6 值；若保护作用迟后，则应增大 R_6 之值。

稳压电源的主要性能指标：

- 1、 输出电压 U_0 和输出电压调节范围

$$U_0 = \frac{R_1 + R_w + R_2}{R_2 + R_w} (U_Z + U_{BE2})$$

调节 R_w 可以改变输出电压 U_0 。

- 2、 最大负载电流 I_{om}

- 3、 输出电阻 R_0

输出电阻 R_0 定义为：当输入电压 U_1 （指稳压电路输入电压）保持不变，由于负载变化而引起的输出电压变化量与输出电流变化量之比，即

$$R_0 = \left. \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0} \right|_{U_1 = \text{常数}}$$

- 4、 稳压系数 S （电压调整率）

稳压系数定义为：当负载保持不变，输出电压相对变化量与输入电压相对变化量之比，即

$$S = \left. \frac{\Delta U_0 / U_0}{\Delta U_1 / U_1} \right|_{R_L = \text{常数}}$$

由于工程上常把电网电压波动 $\pm 10\%$ 做为极限条件，因此也有将此时输出电

压的相对变化 $\Delta U_0 / U_0$ 做为衡量指标，称为电压调整率。

5、纹波电压

输出纹波电压是指在额定负载条件下，输出电压中所含交流分量的有效值（或峰值）。

三、实验设备与器件

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1、可调工频电源 | 2、双踪示波器 |
| 3、交流毫伏表 | 4、直流电压表 |
| 5、直流毫安表 | 6、滑线变阻器 200 Ω /1A |
| 7、晶体三极管 3DG6 \times 2 (9011 \times 2)，3DG12 \times 1 (9013 \times 1) | |
| 晶体二极管 IN4007 \times 4 | 稳压管 IN4735 \times 1 |
| 电阻器、电容器若干 | |

四、实验内容

1、整流滤波电路测试

按图 18-3 连接实验电路。取可调工频电源电压为 16V，作为整流电路输入电压 u_2 。

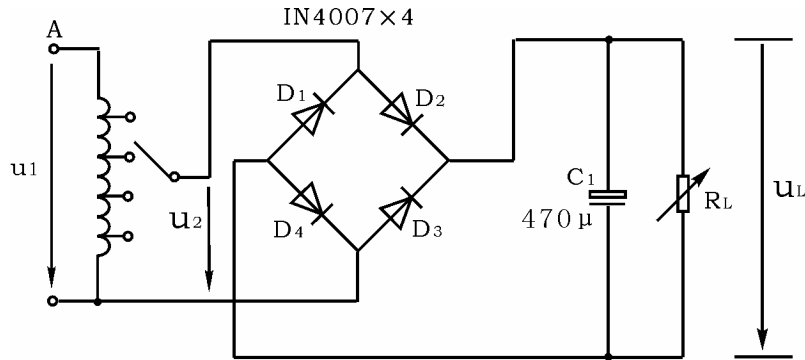


图 18-3 整流滤波电路

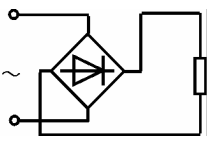
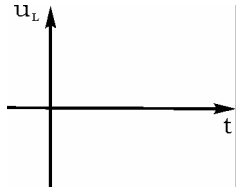
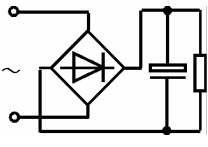
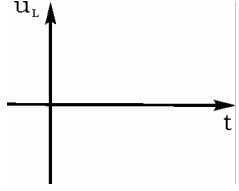
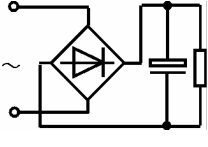
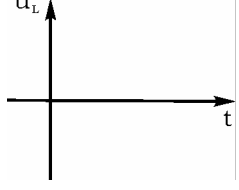
1) 取 $R_L=240 \Omega$ ，不加滤波电容，测量直流输出电压 U_L 及纹波电压 \tilde{U}_L ，并用示波器观察 u_2 和 u_L 波形，记入表 18-1。

2) 取 $R_L=240 \Omega$ ， $C=470 \mu f$ ，重复内容 1) 的要求，记入表 18-1。

3) 取 $R_L=120 \Omega$ ， $C=470 \mu f$ ，重复内容 1) 的要求，记入表 18-1。

表 18-1 $U_2=16V$

电 路 形 式	U_L (V)	\tilde{U}_L (V)	u_L 波形

$R_L=240\ \Omega$				
$R_L=240\ \Omega$ $C=470\ \mu\text{f}$				
$R_L=120\ \Omega$ $C=470\ \mu\text{f}$				

注意

①每次改接电路时，必须切断工频电源。

②在观察输出电压 u_L 波形的过程中，“Y 轴灵敏度”旋钮位置调好以后，不要再变动，否则将无法比较各波形的脉动情况。

2、串联型稳压电源性能测试

切断工频电源，在图 18—3 基础上按图 18—2 连接实验电路。

1) 初测

稳压器输出端负载开路，断开保护电路，接通 16V 工频电源，测量整流电路输入电压 U_2 ，滤波电路输出电压 U_I （稳压器输入电压）及输出电压 U_0 。调节电位器 R_w ，观察 U_0 的大小和变化情况，如果 U_0 能跟随 R_w 线性变化，这说明稳压电路各反馈环路工作基本正常。否则，说明稳压电路有故障，因为稳压器是一个深负反馈的闭环系统，只要环路中任一个环节出现故障（某管截止或饱和），稳压器就会失去自动调节作用。此时可分别检查基准电压 U_z ，输入电压 U_I ，输出电压 U_0 ，以及比较放大器和调整管各电极的电位（主要是 U_{BE} 和 U_{CE} ），分析它们的工作状态是否都处在线性区，从而找出不能正常工作的原因。排除故障以后就可以进行下一步测试。

2) 测量输出电压可调范围

接入负载 R_L （滑线变阻器），并调节 R_L ，使输出电流 $I_0 \approx 100\text{mA}$ 。再调节电位器 R_w ，测量输出电压可调范围 $U_{0\min} \sim U_{0\max}$ 。且使 R_w 动点在中间位置附近时 $U_0 = 12\text{V}$ 。若不满足要求，可适当调整 R_1 、 R_2 之值。

3) 测量各级静态工作点

调节输出电压 $U_0=12V$ ，输出电流 $I_0=100mA$ ，测量各级静态工作点，记入表 18-2。

表 18-2 $U_2=16V$ $U_0=12V$ $I_0=100mA$

	T_1	T_2	T_3
U_B (V)			
U_C (V)			
U_E (V)			

4) 测量稳压系数 S

取 $I_0=100mA$ ，按表 18-3 改变整流电路输入电压 U_2 （模拟电网电压波动），分别测出相应的稳压器输入电压 U_1 及输出直流电压 U_0 ，记入表 18-3。

5) 测量输出电阻 R_0

取 $U_2=16V$ ，改变滑线变阻器位置，使 I_0 为空载、50mA 和 100mA，测量相应的 U_0 值，记入表 18-4。

表 18-3 $I_0=100mA$

表 18-4 $U_2=16V$

测测试试值值				计算值	
U_0 (mA)	U_1 (V)	U_0 (V)	U_0 (V)	R_0 (Ω)	S
14空载				R_{012}	S_{12}
16 50		12	12		
18 100				R_{023}	S_{23}

6) 测量输出纹波电压

取 $U_2=16V$ ， $U_0=12V$ ， $I_0=100mA$ ，测量输出纹波电压 U_0 ，记录之。

7) 调整过流保护电路

a. 断开工频电源，接上保护回路，再接通工频电源，调节 R_w 及 R_L 使 $U_0=12V$ ， $I_0=100mA$ ，此时保护电路应不起作用。测出 T_3 管各极电位值。

b. 逐渐减小 R_L , 使 I_0 增加到 120mA, 观察 U_0 是否下降, 并测出保护起作用时 T_3 管各极的电位值。若保护作用过早或迟后, 可改变 R_6 之值进行调整。

c. 用导线瞬时短接一下输出端, 测量 U_0 值, 然后去掉导线, 检查电路是否能自动恢复正常工作。

五、实验总结

1、对表 18-1 所测结果进行全面分析, 总结桥式整流、电容滤波电路的特点。

2、根据表 18-3 和表 18-4 所测数据, 计算稳压电路的稳压系数 S 和输出电阻 R_0 , 并进行分析。

3、分析讨论实验中出现的故障及其排除方法。

六、预习要求

1、复习教材中有关分立元件稳压电源部分内容, 并根据实验电路参数估算 U_0 的可调范围及 $U_0=12V$ 时 T_1, T_2 管的静态工作点(假设调整管的饱和压降 $U_{CEIS} \approx 1V$)。

2、说明图 18-2 中 U_2, U_1, U_0 及 \tilde{U}_0 的物理意义, 并从实验仪器中选择合适的测量仪表。

3、在桥式整流电路实验中, 能否用双踪示波器同时观察 u_2 和 u_L 波形, 为什么?

4、在桥式整流电路中, 如果某个二极管发生开路、短路或反接三种情况, 将会出现什么问题?

5、为了使稳压电源的输出电压 $U_0=12V$, 则其输入电压的最小值 U_{1min} 应等于多少? 交流输入电压 U_{2min} 又怎样确定?

6、当稳压电源输出不正常, 或输出电压 U_0 不随取样电位器 R_w 而变化时, 应如何进行检查找出故障所在?

7、分析保护电路的工作原理。

8、怎样提高稳压电源的性能指标(减小 S 和 R_0)?

实验十九 直流稳压电源（II）

— 集成稳压器 —

一、实验目的

- 1、研究集成稳压器的特点和性能指标的测试方法。
- 2、了解集成稳压器扩展性能的方法。

二、实验原理

随着半导体工艺的发展，稳压电路也制成了集成器件。由于集成稳压器具有体积小，外接线路简单、使用方便、工作可靠和通用性等优点，因此在各种电子设备中应用十分普遍，基本上取代了由分立元件构成的稳压电路。集成稳压器的种类很多，应根据设备对直流电源的要求来进行选择。对于大多数电子仪器、设备和电子电路来说，通常是选用串联线性集成稳压器。而在这种类型的器件中，又以三端式稳压器应用最为广泛。

W7800、W7900 系列三端式集成稳压器的输出电压是固定的，在使用中不能进行调整。W7800 系列三端式稳压器输出正极性电压，一般有 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V 七个档次，输出电流最大可达 1.5A（加散热片）。同类型 78M 系列稳压器的输出电流为 0.5A，78L 系列稳压器的输出电流为 0.1A。若要求负极性输出电压，则可选用 W7900 系列稳压器。

图 19—1 为 W7800 系列的外形和接线图。

它有三个引出端

输入端（不稳定电压输入端）	标以“1”
输出端（稳定电压输出端）	标以“3”
公共端	标以“2”

除固定输出三端稳压器外，尚有可调式三端稳压器，后者可通过外接元件对输出电压进行调整，以适应不同的需要。

本实验所用集成稳压器为三端固定正稳压器 W7812，它的主要参数有：输出直流电压 $U_0 = +12V$ ，输出电流 L:0.1A，M:0.5A，电压调整率 10mV/V，输出电阻 $R_0 = 0.15\Omega$ ，输入电压 U_1 的范围 15~17V。因为一般 U_1 要比 U_0 大 3~5V，才能保证集成稳压器工作在线性区。

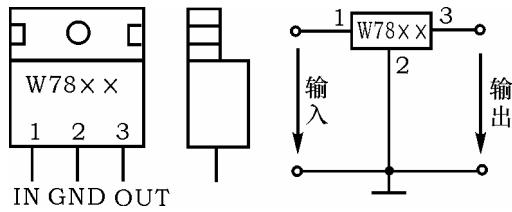


图 19-1 W7800 系列外形及接线图

图 19-2 是用三端式稳压器 W7812 构成的单电源电压输出串联型稳压电源的实验电路图。其中整流部分采用了由四个二极管组成的桥式整流器成品（又称桥堆），型号为 2W06(或 KBP306)，内部接线和外部管脚引线如图 19-3 所示。滤波电容 C_1 、 C_2 一般选取几百~几千微法。当稳压器距离整流滤波电路比较远时，在输入端必须接入电容器 C_3 （数值为 $0.33\mu\text{F}$ ），以抵消线路的电感效应，防止产生自激振荡。输出端电容 C_4 ($0.1\mu\text{F}$) 用以滤除输出端的高频信号，改善电路的暂态响应。

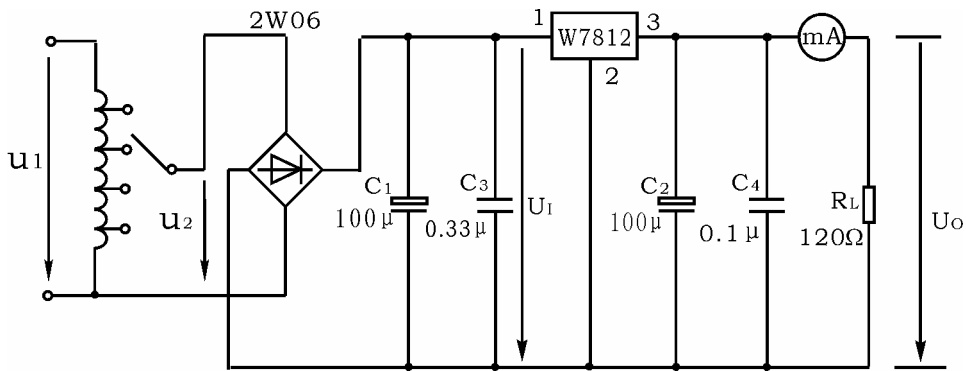


图 19-2 由 W7815 构成的串联型稳压电源

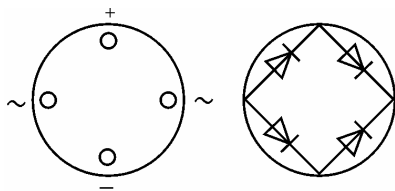


图 19-3(a) 圆桥 2W06

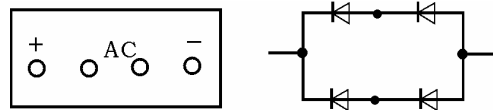


图 19-3(b) 排桥 KBP306

图 19-3 桥堆管脚图

图 19-4 为正、负双电压输出电路，例如需要 $U_{o1} = +15\text{V}$ ， $U_{o2} = -15\text{V}$ ，

则可选用 W7815 和 W7915 三端稳压器，这时的 U_1 应为单电压输出时的两倍。

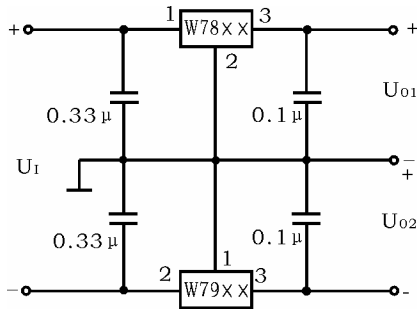


图 19-4 正、负双电压输出电路

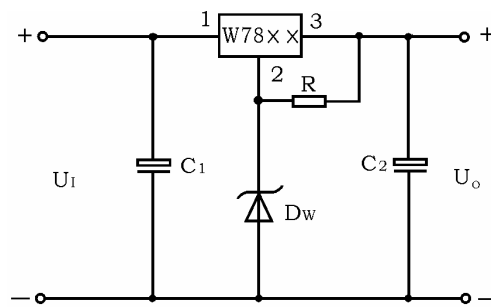


图 19-5 输出电压扩展电路

当集成稳压器本身的输出电压或输出电流不能满足要求时，可通过外接电路来进行性能扩展。图 19-5 是一种简单的输出电压扩展电路。如 W7812 稳压器的 3、2 端间输出电压为 12V，因此只要适当选择 R 的值，使稳压管 D_w 工作在稳压区，则输出电压 $U_o = 12 + U_z$ ，可以高于稳压器本身的输出电压。

图 11-6 是通过外接晶体管 T 及电阻 R_1 来进行电流扩展的电路。电阻 R_1 的阻值由外接晶体管的发射结导通电压 U_{BE} 、三端式稳压器的输入电流 I_i （近似等于三端稳压器的输出电流 I_{o1} ）和 T 的基极电流 I_B 来决定，即

$$R_1 = \frac{U_{BE}}{I_R} = \frac{U_{BE}}{I_i - I_B} = \frac{U_{BE}}{I_{o1} - \frac{I_C}{\beta}}$$

式中： I_C 为晶体管 T 的集电极电流，它应等于 $I_C = I_o - I_{o1}$ ； β 为 T 的电流放大系数；对于锗管 U_{BE} 可按 0.3V 估算，对于硅管 U_{BE} 按 0.7V 估算。

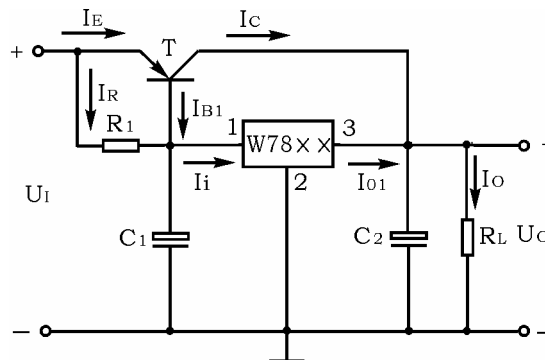


图 19-6 输出电流扩展电路

附：(1) 图 19-7 为 W7900 系列（输出负电压）外形及接线图

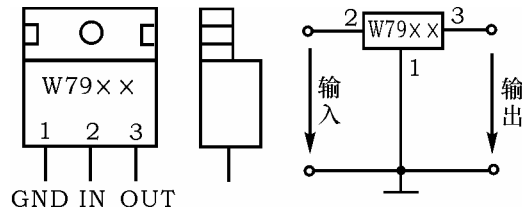


图 19—7 W7900 系列外形及接线图

(2) 图 19—8 为可调输出正三端稳压器 W317 外形及接线图。

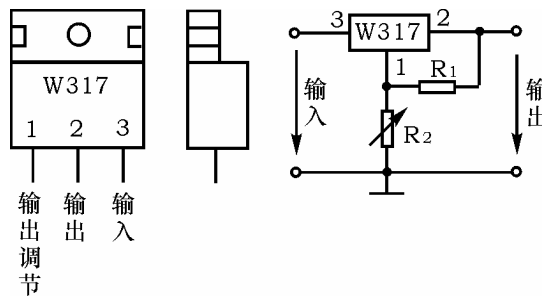


图 19—8 W317 外形及接线图

输出电压计算公式	$U_0 \approx 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$
最大输入电压	$U_{im} = 40V$
输出电压范围	$U_0 = 1.2 \sim 37$

三、实验设备与器件

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1、 可调工频电源 | 2、 双踪示波器 |
| 3、 交流毫伏表 | 4、 直流电压表 |
| 5、 直流毫安表 | 6、 三端稳压器 W7812、W7815、W7915 |
| 7、 桥堆 2W06(或 KBP306) | 电阻器、电容器若干 |

四、实验内容

1、 整流滤波电路测试

按图 19—9 连接实验电路，取可调工频电源 14V 电压作为整流电路输入电压 u_2 。接通工频电源，测量输出端直流电压 U_L 及纹波电压 \tilde{U}_L ，用示波器观察 u_2 ， u_L 的波形，把数据及波形记入自拟表格中。

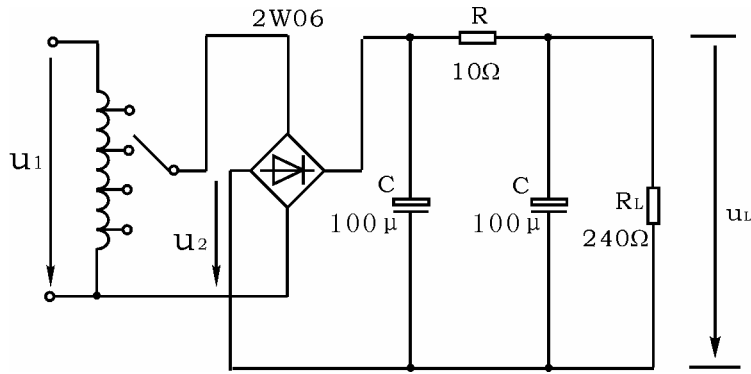


图 19-9 整流滤波电路

2、集成稳压器性能测试

断开工频电源，按图 19-2 改接实验电路，取负载电阻 $R_L=120\Omega$ 。

1) 初测

接通工频 14V 电源，测量 U_2 值；测量滤波电路输出电压 U_1 (稳压器输入电压)，集成稳压器输出电压 U_0 ，它们的数值应与理论值大致符合，否则说明电路出了故障。设法查找故障并加以排除。

电路经初测进入正常工作状态后，才能进行各项指标的测试。

2) 各项性能指标测试

①输出电压 U_0 和最大输出电流 I_{omix} 的测量。

在输出端接负载电阻 $R_L=120\Omega$ ，由于 7812 输出电压 $U_0=12V$ ，因此流过 R_L 的电流 $I_{omix} = \frac{12}{120} = 100mA$ 。这时 U_0 应基本保持不变，若变化较大则说明集成块性能不良。

②稳压系数 S 的测量

③输出电阻 R_0 的测量

④输出纹波电压的测量

②、③、④的测试方法同实验十，把测量结果记入自拟表格中。

* 3) 集成稳压器性能扩展

根据实验器材，选取图 19-4、图 19-5 或 19-8 中各元器件，并自拟测试方法与表格，记录实验结果。

五、实验总结

1、整理实验数据，计算 S 和 R_0 ，并与手册上的典型值进行比较。

2、分析讨论实验中发生的现象和问题。

六、预习要求

1、复习教材中有关集成稳压器部分内容。

2、列出实验内容中所要求的各种表格。

3、在测量稳压系数 S 和内阻 R_0 时，应怎样选择测试仪表？

实验二十 应用实验

— 温度监测及控制电路 —

一、实验目的

- 1、学习由双臂电桥和差动输入集成运放组成的桥式放大电路。
- 2、掌握滞回比较器的性能和调试方法。
- 3、学会系统测量和调试。

二、实验原理

1、实验电路如图 21-1 所示，它是由负温度系数电阻特性的热敏电阻（NTC 元件） R_t 为一臂组成测温电桥，其输出经测量放大器放大后由滞回比较器输出“加热”与“停止”信号，经三极管放大后控制加热器“加热”与“停止”。改变滞回比较器的比较电压 U_R 即改变控温的范围，而控温的精度则由滞回比较器的滞回宽度确定。

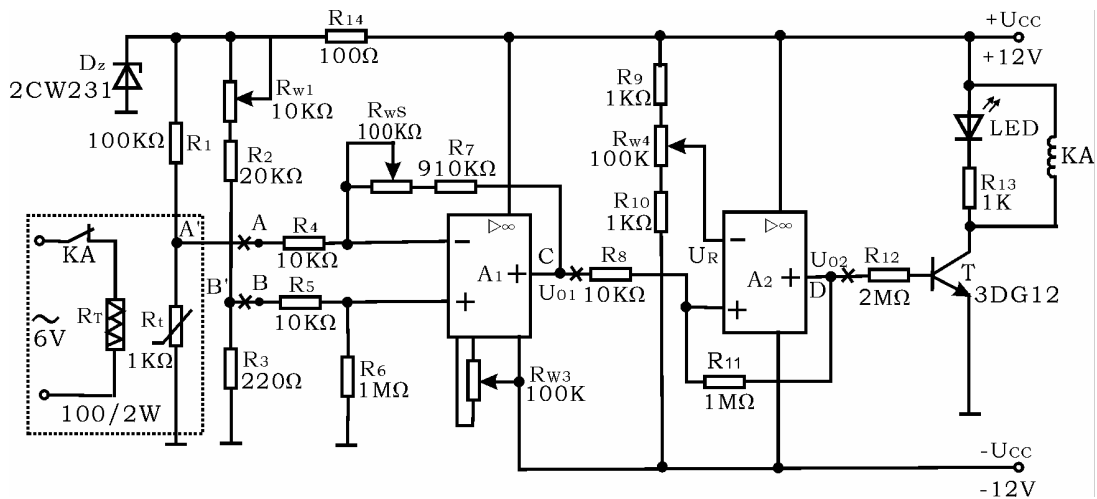


图 21-1 温度监测及控制实验电路

(1)、测温电桥

由 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_{w1} 及 R_t 组成测温电桥，其中 R_t 是温度传感器。其呈现出的阻值与温度成线性变化关系且具有负温度系数，而温度系数又与流过它的工作电流有关。为了稳定 R_t 的工作电流，达到稳定其温度系数的目的，设置了稳压管 D_z 。 R_{w1} 可决定测温电桥的平衡。

(2)、差动放大电路

由 A_1 及外围电路组成的差动放大电路，将测温电桥输出电压 ΔU 按比例放大。

其输出电压

$$U_{O1} = -\left(\frac{R_7 + R_{W2}}{R_4}\right)U_A + \left(\frac{R_4 + R_7 + R_{W2}}{R_4}\right)\left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right)U_B$$

当 $R_4 = R_5$, $(R_7 + R_{W2}) = R_6$ 时

$$U_{O1} = \frac{R_7 + R_{W2}}{R_4}(U_B - U_A)$$

R_{W3} 用于差动放大器调零。

可见差动放大电路的输出电压 U_{O1} 仅取决于二个输入电压之差和外部电阻的比值。

(3)、滞回比较器

差动放大器的输出电压 U_{O1} 输入由 A_2 组成的滞回比较器。

滞回比较器的单元电路如图 21-2 所示, 设比较器输出高电平为 U_{OH} , 输出低电平为 U_{OL} , 参考电压 U_R 加在反相输入端。

当输出为高电平 U_{OH} 时, 运放同相输入端电位

$$u_{+H} = \frac{R_F}{R_2 + R_F}u_i + \frac{R_2}{R_2 + R_F}U_{OH}$$

当 u_i 减小到使 $u_{+H} = U_R$, 即

$$u_i = u_{TL} = \frac{R_2 + R_F}{R_F}U_R - \frac{R_2}{R_F}U_{OH}$$

此后, u_i 稍有减小, 输出就从高电平跳变为低电平。

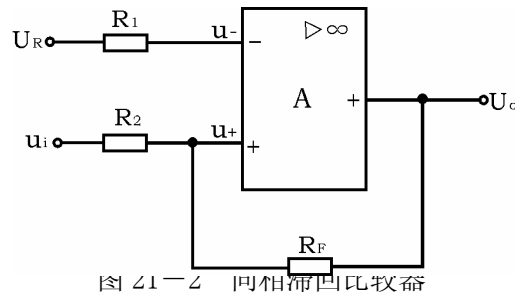


图 21-2 同相滞回比较器

当输出为低电平 U_{OL} 时, 运放同相输入端电位

$$u_{+L} = \frac{R_F}{R_2 + R_F}u_i + \frac{R_2}{R_2 + R_F}U_{OL}$$

当 u_i 增大到使 $u_{+L} = U_R$, 即

$$u_i = U_{TH} = \frac{R_2 + R_F}{R_F}U_R - \frac{R_2}{R_F}U_{OL}$$

此后, u_i 稍有增加, 输出又从低电平跳变为高电平。

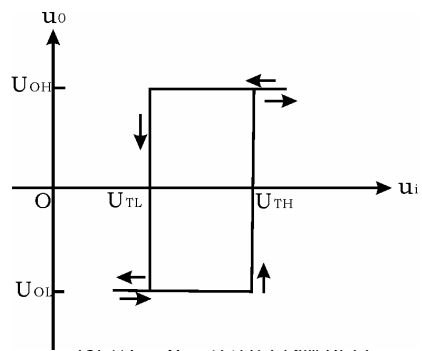


图 21-3 滞回比较器特性

因此 U_{TL} 和 U_{TH} 为输出电平跳变时对应的输入

电平, 常称 U_{TL} 为下门限电平, U_{TH} 为上门限电平, 而两者的差值

$$\Delta U_T = U_{TH} - U_{TL} = \frac{R_2}{R_F}(U_{OH} - U_{OL})$$

称为门限宽度，它们的大小可通过调节 R_2/R_F 的比值来调节。

图 21-3 为滞回比较器的电压传输特性。

由上述分析可见差动放大器输出电压 u_{01} 经分压后 A_2 组成的滞回比较器，与反相输入端的参考电压 U_R 相比较。当同相输入端的电压信号大于反相输入端的电压时， A_2 输出正饱和电压，三极管 T 饱和导通。通过发光二极管 LED 的发光情况，可见负载的工作状态为加热。反之，为同相输入信号小于反相输入端电压时， A_2 输出负饱和电压，三极管 T 截止，LED 熄灭，负载的工作状态为停止。调节 R_{W4} 可改变参考电平，也同时调节了上下门限电平，从而达到设定温度的目的。

三、实验设备

- 1、±12V 直流电源
- 2、函数信号发生器
- 3、双踪示波器
- 4、热敏电阻 (NTC)
- 5、运算放大器 $\mu A741 \times 2$ 、晶体三极管 3DG12、稳压管 2CW231、发光管 LED

四、实验内容

按图 21-2，连接实验电路，各级之间暂不连通，形成各级单元电路，以便各单元分别进行调试。

1、差动放大器

差动放大电路如图 21-4 所示。它可实现差动比例运算。

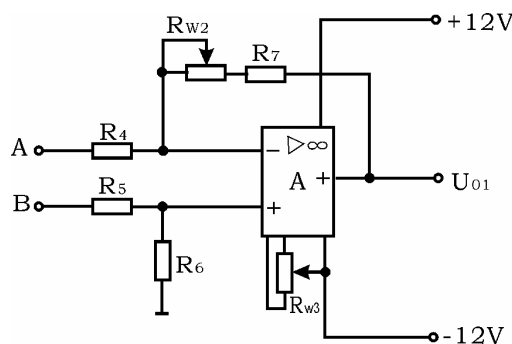


图 21-4 差动放大电路

1)、运放调零。将 A、B 两端对地短路，调节 R_{W3} 使 $U_0=0$ 。

2)、去掉 A、B 端对地短路线。从 A、B 端分别加入不同的二个直流电平。

当电路中 $R_7+R_{W2}=R_6$ ， $R_4=R_5$ 时，其输出电压

$$u_0 = \frac{R_7 + R_{w2}}{R_4} (U_B - U_A)$$

在测试时，要注意加入的输入电压不能太大，以免放大器输出进入饱和区。

3)、将 B 点对地短路，把频率为 100Hz、有效值为 10mV 的正弦波加入 A 点。用示波器观察输出波形。在输出波形不失真的情况下，用交流毫伏表测出 u_i 和 u_0 的电压。算得此差动放大电路的电压放大倍数 A。

2、桥式测温放大电路

将差动放大电路的 A、B 端与测温电桥的 A'、B' 端相连，构成一个桥式测温放大电路。

1)、在室温下使电桥平衡

在实验室室温条件下，调节 R_{w1} ，使差动放大器输出 $U_{01}=0$ （注意：前面实验中调好的 R_{w3} 不能再用）。

2)、温度系数 K (V/C)

由于测温需升温槽，为使实验简易，可虚设室温 T 及输出电压 u_{01} ，温度系数 K 也定为一个常数，具体参数由读者自行填入表格内

表 21-1

温度 T (°C)	室温 °C				
输出电压 U_{01} (V)	0				

从表 21-1 中可得到 $K = \Delta U / \Delta T$ 。

3)、桥式测温放大器的温度—电压关系曲线

根据前面测温放大器的温度系数 K，可画出测温放大器的温度—电压关系曲线，实验时要标注相关的温度和电压的值，如图 21-5 所示。从图中可求得在其它温度时，放大器实际应输出的电压值。也可得到在当前室温时， U_{01} 实际对应值 U_s 。

4)、重调 R_{w1} ，使测温放大器在当前室温下输出 U_s 。即调 R_{w1} ，使 $U_{01}=U_s$ 。

3、滞回比较器

4、滞回比较器电路如图 21-5 所示。

1)、直流法测试比较器的上下门限电平

首先确定参考电平 U_R 值。调 R_{w4} ，使 $U_R=2V$ 。然后将可变的直流电压 U_i 加入比较器的输入端。比较器的输出电压 U_0 送入示波器 Y 输入端（将示波器的“输

入耦合方式开关”置于“DC”，X轴“扫描触发方式开关”置于“自动”。改变直流输入电压 U_i 的大小，从示波器屏幕上观察到当 u_o 跳变时所对应的 U_i 值，即为上、下门限电平。

2)、交流法测试电压传输特性曲线

将频率为 100Hz，幅度 3V 的正弦信号加入比较器输入端，同时送入示波器的 X 轴输入端，作为 X 轴扫描信号。比较器的输出信号送入示波器的 Y 轴输入端。微调正弦信号的大小，可从示波器显示屏上得到完整的电压传输特性曲线。

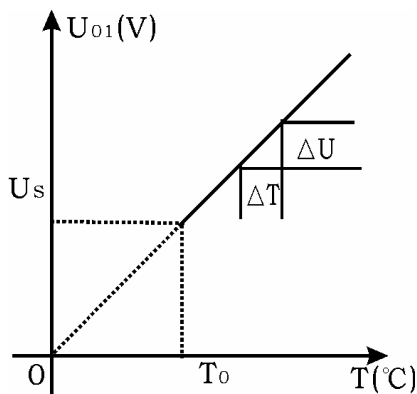


图 21-5 温度—电压关系曲线

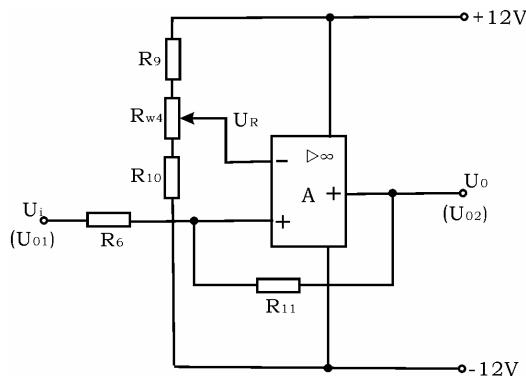


图 21-6 滞回比较器电路

5、温度检测控制电路整机工作状况

1)、按图 21-1 连接各级电路。(注意：可调元件 R_{w1} 、 R_{w2} 、 R_{w3} 不能随意变动。如有变动，必须重新进行前面内容。)

2)、根据所需检测报警或控制的温度 T ，从测温放大器温度—电压关系曲线中确定对应的 u_{o1} 值。

3)、调节 R_{w4} 使参考电压 $U'_R = U_R = U_{o1}$

4)、用加热器升温，观察温升情况，直至报警电路动作报警（在实验电路中当 LED 发光时作为报警），记下动作时对应的温度值 t_1 和 U_{o11} 的值。

5)、用自然降温法使热敏电阻降温，记下电路解除时所对应的温度值 t_2 和 U_{o12} 的值。

6) 改变控制温度 T ，重做 2)、3)、4)、5)、内容。把测试结果记入表 21-2。

根据 t_1 和 t_2 值，可得到检测灵敏度 $t_0 = (t_2 - t_1)$

注：实验中的加热装置可用一个 $100\ \Omega / 2W$ 的电阻 R_T 模拟，将此电阻靠近 R_t

即可。

五、实验总结

- 1、整理实数据，画出有关曲线、数据表格以及实验线路。
- 2、用方格纸画出测温放大电路温度系数曲线及比较器电压传输特性曲线。
- 3、实验中的故障排除情况及体会。

表 10—2

	设定温度 T ($^{\circ}\text{C}$)								
设定 电压	从曲线上查得 U_{01}								
	U_R								
动作 温度	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)								
	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)								
动作 电压	U_{011} (V)								
	U_{012} (V)								

六、预习要求

- 1、阅读教材中有关集成运算放大器应用部分的章节。了解集成运算放大器构成的差动放大器等电路的性能和特点。
- 2、根据实验任务，拟出实验步骤及测试内容，画出数据记录表格。
- 3、依照实验线路板上集成运放插座的位置，从左到右安排前后各级电路。画出元件排列及布线图。元件排列既要紧凑，又不能相碰，以便缩短连线，防止引入干扰。同时又要便于实验中测试方便。
- 4、思考并回答下列问题：
 - 1)、如果放大器不进行调零，将会引起什么结果？
 - 2)、如何设定温度检测控制点？

实验二十一 综合实验

用运算放大器组成万用电表的设计与调试

一、实验目的

- 1、设计由运算放大器组成的万用电表
- 2、组装与调试

二、设计要求

- 1、 直流电压表 满量程 +6V
- 2、 直流电流表 满量程 10mA
- 3、 交流电压表 满量程 6V, 50Hz~1KHz
- 4、 交流电流表 满量程 10mA
- 5、 欧姆表 满量程分别为 $1K\Omega$, $10K\Omega$, $100K\Omega$

三、万用电表工作原理及参考电路

在测量中,电表的接入应不影响被测电路的原工作状态,这就要求电压表应具有无穷大的输入电阻,电流表的内阻应为零。但实际上,万用电表表头的可动线圈总有一定的电阻,例如 $100\mu A$ 的表头,其内阻约为 $1K\Omega$,用它进行测量时将影响被测量,引起误差。此外,交流电表中的整流二极管的压降和非线性特性也会产生误差。如果在万用电表中使用运算放大器,就能大大降低这些误差,提高测量精度。在欧姆表中采用运算放大器,不仅能得到线性刻度,还能实现自动调零。

1、直流电压表

图 22-1 为同相端输入,高精度直流电压表电原理图。

为了减小表头参数对测量精度的影响,将表头置于运算放大器的反馈回路中,这时,流经表头的电流与表头的参数无关,只要改变 R_1 一个电阻,就可进行量程的切换。

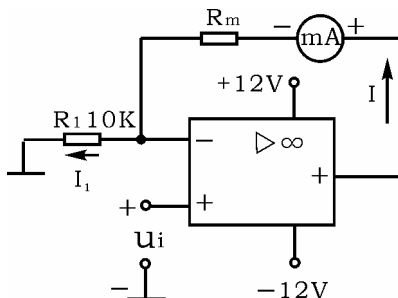


图 22-1 直流电压表

表头电流 I 与被测电压 U_i 的关系为

$$I = \frac{U_i}{R_1}$$

应当指出：图 22-1 适用于测量电路与运算放大器共地的有关电路。此外，当被测电压较高时，在运放的输入端应设置衰减器。

2、直流电流表

图 22-2 是浮地直流电流表的电原理图。在电流测量中，浮地电流的测量是普遍存在的，例如：若被测电流无接地点，就属于这种情况。为此，应把运算放大器的电源也对地浮动，按此种方式构成的电流表就可象常规电流表那样，串联在任何电流通路中测量电流。

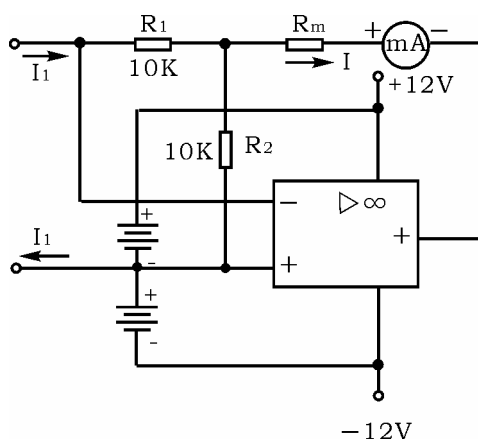


图 22-2 直流电流表

表头电流 I 与被测电流 I_1 间关系为

$$-I_1 R_1 = (I_1 - I) R_2$$

$$\therefore I = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) I_1$$

可见，改变电阻比 (R_1 / R_2) ，可调节流过电流表的电流，以提高灵敏度。如果被测电流较大时，应给电流表表头并联分流电阻。

3、交流电压表

由运算放大器、二极管整流桥和直流毫安表组成的交流电压表如图 22-3 所示。被测交流电压 u_i 加到运算放大器的同相端，故有很高的输入阻抗，又因为负反馈能减小反馈回路中的非线性影响，故把二极管桥路和表头置于运算放大

器的反馈回路中，以减小二极管本身非线性的影响。

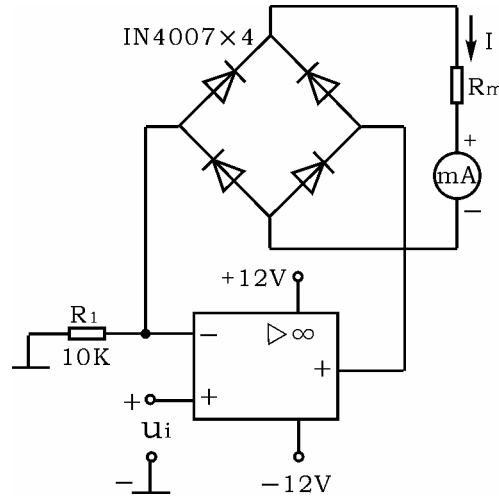


图 22-3 交流电压表

表头电流 I 与被测电压 u_i 的关系为

$$I = \frac{U_i}{R_1}$$

电流 I 全部流过桥路，其值仅与 U_i / R_1 有关，与桥路和表头参数（如二极管的死区等非线性参数）无关。表头中电流与被测电压 u_i 的全波整流平均值成正比，若 u_i 为正弦波，则表头可按有效值来刻度。被测电压的上限频率决定于运算放大器的频带和上升速率。

4、交流电流表

图 22-4 为浮地交流电流表，表头读数由被测交流电流 i 的全波整流平均值

$$I = (1 + \frac{R_1}{R_2}) I_{1AV}$$

I_{1AV} 决定，即

如果被测电流 i 为正弦电流，即

$$i_1 = \sqrt{2} I_1 \sin \omega t, \text{ 则上式可写为}$$

$$I = 0.9 (1 + \frac{R_1}{R_2}) I_1$$

则表头可按有效值来刻度。

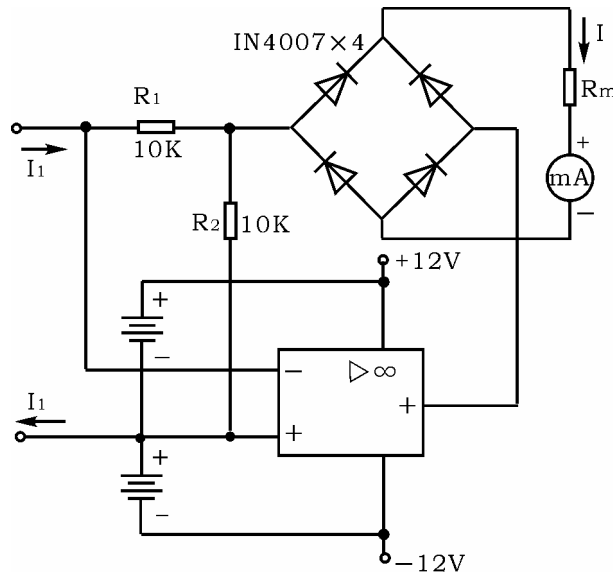


图 22-4 交流电流表

5、 欧姆表

图 22-5 为多量程的欧姆表。

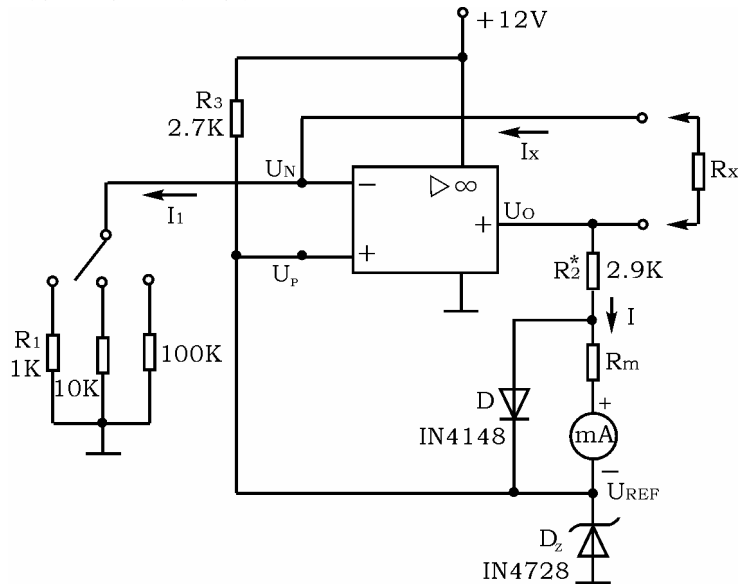


图 22-5 欧姆表

在此电路中，运算放大器改由单电源供电，被测电阻 R_x 跨接在运算放大器的反馈回路中，同相端加基准电压 U_{REF} 。

$$\because U_p = U_N = U_{REF}$$

$$I_1 = I_x$$

$$\frac{U_{REF}}{R_1} = \frac{U_0 - U_{REF}}{R_x}$$

$$\text{即 } R_x = \frac{R_1}{U_{\text{REF}}}(U_0 - U_{\text{REF}})$$

流经表头的电流

$$I = \frac{U_0 - U_{\text{REF}}}{R_2 + R_m}$$

由上两式消去 $(U_0 - U_{\text{REF}})$

$$\text{可得 } I = \frac{U_{\text{REF}} R_x}{R_1 (R_m + R_2)}$$

可见，电流 I 与被测电阻成正比，而且表头具有线性刻度，改变 R_1 值，可改变欧姆表的量程。这种欧姆表能自动调零，当 $R_x = 0$ 时，电路变成电压跟随器， $U_0 = U_{\text{REF}}$ ，故表头电流为零，从而实现了自动调零。

二极管 D 起保护电表的作用，如果没有 D ，当 R_x 超量程时，特别是当 $R_x \rightarrow \infty$ ，运算放大器的输出电压将接近电源电压，使表头过载。有了 D 就可使输出钳位，防止表头过载。调整 R_2 ，可实现满量程调节。

四、电路设计

1、万用电表的电路是多种多样的，建议用参考电路设计一只较完整的万用电表。

2、万用电表作电压、电流或欧姆测量时，和进行量程切换时应用开关切换，但实验时可用引接线切换。

五、实验元器件选择

1、表头 灵敏度为 1mA ，内阻为 $100\ \Omega$

2、运算放大器 $\mu\text{A}741$

3、电阻器 均采用 $\frac{1}{4}\text{W}$ 的金属膜电阻器

4、二极管 $\text{IN}4007 \times 4$ 、 $\text{IN}4148$

5、稳压管 $\text{IN}4728$

六、注意事项

1、在连接电源时，正、负电源连接点上各接大容量的滤波电容器和 $0.01\ \mu\text{f} \sim 0.1\ \mu\text{f}$ 的小电容器，以消除通过电源产生的干扰。

2、万用电表的电性能测试要用标准电压、电流表校正，欧姆表用标准电阻校正。考虑实验要求不高，建议用数字式 $4\frac{1}{2}$ 位万用电表作为标准表。

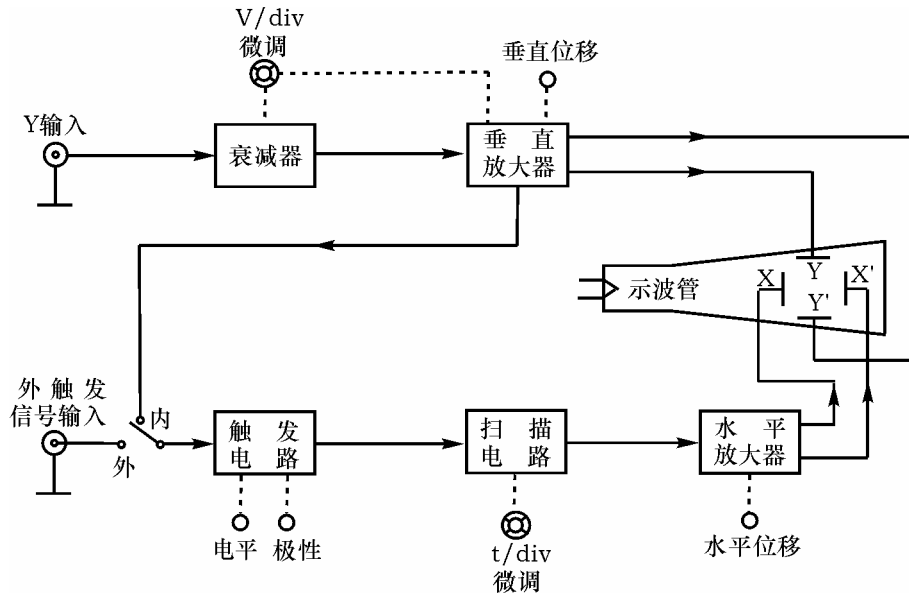
七、报告要求

- 1、画出完整的万用电表的设计电路原理图。
- 2、将万用电表与标准表作测试比较，计算万用电表各功能档的相对误差，分析误差原因。
- 3、电路改进建议
- 4、收获与体会

附录 I 示波器原理及使用

一、 示波器的基本结构

示波器的种类很多，但它们都包含下列基本组成部分，如附图 1-1 所示。



附图 1-1 示波器的基本结构框图

1、主机

主机包括示波管及其所需的各种直流供电电路，在面板上的控制旋钮有：辉度、聚焦、水平移位、垂直移位等。

2、垂直通道

垂直通道主要用来控制电子束按被测信号的幅值大小在垂直方向上的偏移。

它包括 Y 轴衰减器，Y 轴放大器和配用的高频探头。通常示波管的偏转灵敏度比较低，因此在一般情况下，被测信号往往需要通过 Y 轴放大器放大后加到垂直偏转板上，才能在屏幕上显示出一定幅度的波形。Y 轴放大器的作用提高了示波管 Y 轴偏转灵敏度。为了保证 Y 轴放大不失真，加到 Y 轴放大器的信号不宜太大，但是实际的被测信号幅度往往在很大范围内变化，此 Y 轴放大器前还必须加一 Y 轴衰减器，以适应观察不同幅度的被测信号。示波器面板上设有“Y 轴衰减器”（通常称“Y 轴灵敏度选择”开关）和“Y 轴增益微调”旋钮，分别调节 Y 轴衰减器的衰减量和 Y 轴放大器的增益。

对 Y 轴放大器的要求是：增益大，频响好，输入阻抗高。

为了避免杂散信号的干扰,被测信号一般都通过同轴电缆或带有探头的同轴电缆加到示波器 Y 轴输入端。但必须注意,被测信号通过探头 幅值将衰减(或不衰减),其衰减比为 10:1(或 1:1)。

3、水平通道

水平通道主要是控制电子束按时间值在水平方向上偏移。

主要由扫描发生器、水平放大器、触发电路组成。

3.1) 扫描发生器

扫描发生器又叫锯齿波发生器,用来产生频率调节范围宽的锯齿波,作为 X 轴偏转板的扫描电压。锯齿波的频率(或周期)调节是由“扫描速率选择”开关和“扫速微调”旋钮控制的。使用时,调节“扫速选择”开关和“扫速微调”旋钮,使其扫描周期为被测信号周期的整数倍,保证屏幕上显示稳定的波形。

3.2) 水平放大器

其作用与垂直放大器一样,将扫描发生器产生的锯齿波放大到 X 轴偏转板所需的数值。

3.3) 触发电路

用于产生触发信号以实现触发扫描的电路。为了扩展示波器应用范围,一般示波器上都设有触发源控制开关,触发电平与极性控制旋钮和触发方式选择开关等。

二、示波器的二踪显示

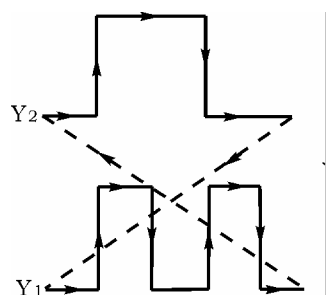
1、二踪显示原理

示波器的二踪显示是依靠电子开关的控制作用来实现的。

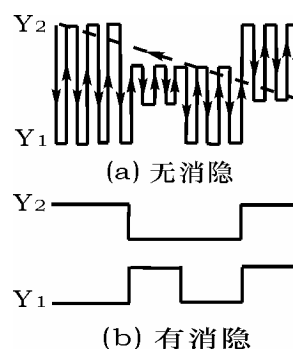
电子开关由“显示方式”开关控制,共有五种工作状态,即 Y_1 、 Y_2 、 Y_1+Y_2 、交替、断续。当开关置于“交替”或“断续”位置时,荧光屏上便可同时显示两个波形。当开关置于“交替”位置时,电子开关的转换频率受扫描系统控制,工作过程如附图 1-2 所示。即电子开关首先接通 Y_2 通道,进行第一次扫描,显示由 Y_2 通道送入的被测信号的波形;然后电子开关接通 Y_1 通道,进行第二次扫描,显示由 Y_1 通道送入的被测信号的波形;接着再接通 Y_2 通道……这样便轮流地对 Y_2 和 Y_1 两通道送入的信号进行扫描、显示,由于电子开关转换速度较快,每次扫描的回扫线在荧光屏上又不显示出来,借助于荧光屏的余辉作用和人眼的视觉暂留特性,使用者便能在荧光屏上同时观察到两个清晰的波形。这种工作方式适宜于观察频率较高的输入信号场合。

当开关置于“断续”位置时,相当于将一次扫描分成许多个相等的时间间隔。在第一次扫描的第一个时间间隔内显示 Y_2 信号波形的某一段;在第二个时间时

隔内显示 Y_1 信号波形的某一段；以后各个时间间隔轮流地显示 Y_2 、 Y_1 两信号波形的其余段，经过若干次断续转换，使荧光屏上显示出两个由光点组成的完整波形如附图 1-3(a) 所示。由于转换的频率很高，光点靠得很近，其间隙用肉眼几乎分辨不出，再利用消隐的方法使两通道间转换过程的过渡线不显示出来，见附图 1-3(b)，因而同样可达到同时清晰地显示两个波形的目的。这种工作方式适合于输入信号频率较低时使用。



附图 1-2 交替方式显示波形



附图 1-3 断续方式显示波形

2、触发扫描

在普通示波器中，X 轴的扫描总是连续进行的，称为“连续扫描”。为了更好地观测各种脉冲波形，在脉冲示波器中，通常采用“触发扫描”。采用这种扫描方式时，扫描发生器将工作在待触发状态。它仅在外加触发信号作用下，时基信号才开始扫描，否则便不扫描。这个外加触发信号通过触发选择开关分别取自“内触发”（Y 轴的输入信号经由内触发放大器输出触发信号），也可取自“外触发”输入端的外接同步信号。其基本原理是利用这些触发脉冲信号的上升沿或下降沿来触发扫描发生器，产生锯齿波扫描电压，然后经 X 轴放大后送 X 轴偏转板进行光点扫描。适当地调节“扫描速率”开关和“电平”调节旋钮，能方便地在荧光屏上显示具有合适宽度的被测信号波形。

上面介绍了示波器的基本结构，下面将结合使用介绍电子技术实验中常用的 CA8020 型双踪示波器。

三、CA8020 型双踪示波器

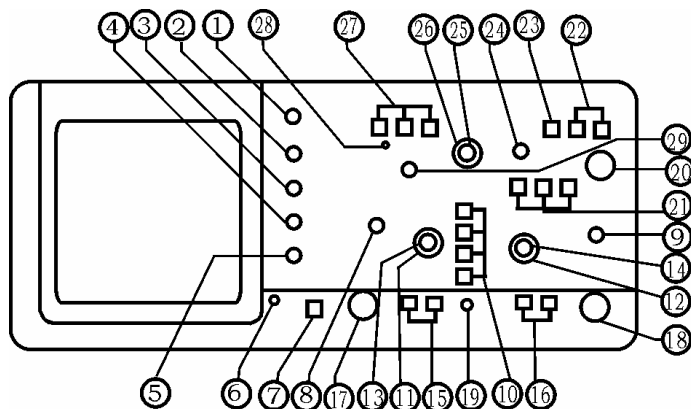
1、概述

CA8020 型示波器为便携式双通道示波器。本机垂直系统具有 $0 \sim 20\text{MHz}$ 的频带宽度和 $5\text{mV}/\text{DIV} \sim 5\text{V}/\text{DIV}$ 的偏转灵敏度，配以 $10:1$ 探极，灵敏度可达 $5\text{V}/\text{DIV}$ 。本机在全频带范围内可获得稳定触发，触发方式设有常态、自动、TV 和峰值自动，尤其峰值自动给使用带来了极大的方便。内触设置了交替触发，可以稳定地显示两个频率不相关的信号。本机水平系统具有 $0.5\text{S}/\text{DIV} \sim 0.2\mu\text{S}/\text{DIV}$ 的扫描

速度，并设有扩展×10，可将最快扫速度提高到 20nS/DIV。

2、面板控制件介绍

CA8020 面板图如附图 1-4 所示



附图 1-4 CA8020 型双踪示波器面板图

序号	控制件名称	功 能
(1)	亮度	调节光迹的亮度
(2)	辅助聚焦	与聚焦配合，调节光迹的清晰度
(3)	聚焦	调节光迹的清晰度
(4)	迹线旋转	调节光迹与水平刻度线平行
(5)	校正信号	提供幅度为 0.5V，频率为 1KHz 的方波信号，用于校正 10：1 探极的补偿电容器和检测示波器垂直与水平的偏转因数
(6)	电源指示	电源接通时，灯亮
(7)	电源开关	电源接通或关闭
(8)	CH1 移位 PULL CH1-X CH2-Y	调节通道 1 光迹在屏幕上的垂直位置，用作 X-Y 显示
(9)	CH2 移位 PULL INVERT	调节通道 2 光迹在屏幕上的垂直位置，在 ADD 方式时使 CH1+CH2 或 CH1-CH2
(10)	垂直方式	CH1 或 CH2：通道 1 或通道 2 单独显示 ALT：两个通道交替显示 CHOP：两个通道断续显示，用于扫速较慢时

		<p>的双踪显示</p> <p>ADD: 用于两个通道的代数和或差</p>
(11)	垂直衰减器	调节垂直偏转灵敏度
(12)	垂直衰减器	调节垂直偏转灵敏度
(13)	微调	用于连续调节垂直偏转灵敏度, 顺时针旋足为校正位置
(14)	微调	用于连续调节垂直偏转灵敏度, 顺时针旋足为校正位置
(15)	耦合方式 (AC-DC-GND)	用于选择被测信号馈入垂直通道的耦合方式
(16)	耦合方式 (AC-DC-GND)	用于选择被测信号馈入垂直通道的耦合方式
(17)	CH1 OR X	被测信号的输入插座
(18)	CH2 OR Y	被测信号的输入插座
(19)	接地(GND)	与机壳相联的接地端
(20)	外触发输入	外触发输入插座
(21)	内触发源	用于选择 CH1、CH2 或交替触发
(22)	触发源选择	用于选择触发源为 INT (内), EXT (外) 或 LINE (电源)
(23)	触发极性	用于选择信号的上升或下降沿触发扫描
(24)	电平	用于调节被测信号在某一电平触发扫描
(25)	微调	用于连续调节扫描速度, 顺时针旋足为校正位置
(26)	扫描速率	用于调节扫描速度
(27)	触发方式	<p>常态 (NORM): 无信号时, 屏幕上无显示; 有信号时, 与电平控制配合显示稳定波形。</p> <p>自动 (AUTO): 无信号时, 屏幕上显示光迹; 有信号时, 与电平控制配合显示稳定波形。</p> <p>电视场 (TV): 用于显示电视场信号。</p> <p>峰值自动 (P-P AUTO): 无信号时, 屏幕</p>

		上显示光迹；有信号时，无须调节电平即能获得稳定波形显示。
(28)	触发指示	在触发扫描时，指示灯亮
(29)	水平移位 PULL×10	调节迹线在屏幕上的水平位置拉出时扫描速度被扩展 10 倍

3、操作方法

1)、电源检查

CA8020 双踪示波器电源电压为 220V±10%。接通电源前，检查当地电源电压，如果不相符合，则严格禁止使用！

2)、面板一般功能检查

A. 将有关控制件按下表置位

控制件名称	作用位置	控制件名称	作用位置
亮 度	居中	触发方式	峰值自动
聚 焦	居中	扫描速率	0.5mS/div
位 移	居中	极 性	正
垂直方式	CH1	触 发 源	INT
灵敏度选择	10mV/div	内触发源	CH1
微 调	校正位置	输入耦合	AC

B. 接通电源，电源指示灯亮，稍预热后，屏幕上出现扫描光迹，分别调节亮度、聚焦、辅助聚焦、迹线旋转、垂直、水平移位等控制件，使光迹清晰并与水平刻度平行。

C. 用 10 : 1 探极将校正信号输入至 CH1 输入插座。

D. 调节示波器有关控制件，使荧光屏上显示稳定且易观察方波波形。

E. 将探极换至 CH2 输入插座，垂直方式置于“CH2”，内触发源置于“CH2”，重复 D 操作。

3)、垂直系统的操作

A. 垂直方式的选择

当只需观察一路信号时，将“垂直方式”开关置“CH1”或“CH2”，此时被选中的通道有效，被测信号可从通道端口输入。当需要同时观察两路信号时，

将“垂直方式”开关置“交替”，该方式使两个通道的信号被交替显示，交替显示的频率受扫描周期控制。当扫速低于一定频率时，交替方式显示会出现闪烁，此时应将开关置于“断续”位置。当需要观察两路信号代数和时，将“垂直方式”开关置于“代数和”位置，在选择这种方式时，两个通道的衰减设置必须一致，CH2 移位处于常态时为 $CH1+CH2$ ，CH2 移位拉出时为 $CH1-CH2$ 。

B. 输入耦合方式的选择

直流（DC）耦合：适用于观察包含直流成份的被测信号，如信号的逻辑电平和静态信号的直流电平，当被测信号的频率很低时，也必须采用这种方式。

交流（AC）耦合：信号中的直流分量被隔断，用于观察信号的交流份量，如观察较高直流电平上的小信号。

接地（GND）：通道输入端接地（输入信号断开），用于确定输入为零时光迹所处位置。

C. 灵敏度选择(V/div)的设定

按被测信号幅值的大小选择合适档级。“灵敏度选择”开关外旋钮为粗调，中心旋钮为细调（微调），微调旋钮按顺时针方向旋足至校正位置时，可根据粗调旋钮的示值(V/div)和波形在垂直轴方向上的格数读出被测信号幅值。

4)、触发源的选择

A. 触发源选择

当触发源开关置于“电源”触发，机内 50Hz 信号输入到触发电路。当触发源开关置于“常态”触发，有两种选择，一种是“外触发”，由面板上外触发输入插座输入触发信号；另一种是“内触发”，由内触发源选择开关控制。

B. 内触发源选择

“CH1”触发：触发源取自通道 1。

“CH2”触发：触发源取自通道 2。

“交替触发”：触发源受垂直方式开关控制，当垂直方式开关置于“CH1”，触发源自动切换到通道 1；当垂直方式开关置于“CH2”，触发源自动切换到通道 2；当垂直方式开关置于“交替”，触发源与通道 1、通道 2 同步切换，在这种状态使用时，两个不相关的信号其频率不应相差很大，同时垂直输入耦合应置于“AC”，触发方式应置于“自动”或“常态”。当垂直方式开关置于“断续”和“代数和”时，内触发源选择应置于“CH1”或“CH2”。

5)、水平系统的操作

A. 扫描速度选择(t/div)的设定

按被测信号频率高低选择合适档级，“扫描速率”开关外旋钮为粗调，中心旋钮为细调（微调），微调旋钮按顺时针方向旋足至校正位置时，可根据粗调旋钮的示值(t/div)和波形在水平轴方向上的格数读出被测信号的时间参数。当需要观察波形某一个细节时，可进行水平扩展 $\times 10$ ，此时原波形在水平轴方向上被扩展 10 倍。

B. 触发方式的选择

“常态”：无信号输入时，屏幕上无光迹显示；有信号输入时，触发电平调节在合适位置上，电路被触发扫描。当被测信号频率低于 20Hz 时，必须选择这种方式。

“自动”：无信号输入时，屏幕上有光迹显示；一旦有信号输入时，电平调节在合适位置上，电路自动转换到触发扫描状态，显示稳定的波形，当被测信号频率高于 20Hz 时，最常用这一种方式。

“电视场”：对电视信号中的场信号进行同步，如果是正极性，则可以由 CH2 输入，借助于 CH2 移位拉出，把正极性转变为负极性后测量。

“峰值自动”：这种方式同自动方式，但无须调节电平即能同步，它一般适用于正弦波、对称方波或占空比相差不大的脉冲波。对于频率较高的测试信号，有时也要借助于电平调节，它的触发同步灵敏度要比“常态”或“自动”稍低一些。

C. “极性”的选择

用于选择被测试信号的上升沿或下降沿去触发扫描。

D. “电平”的位置

用于调节被测信号在某一合适的电平上启动扫描，当产生触发扫描后，触发指示灯亮。

4、测量电参数

1) 电压的测量

示波器的电压测量实际上是对所显示波形的幅度进行测量，测量时应使被测波形稳定地显示在荧光屏中央，幅度一般不宜超过 6div，以避免非线性失真造成的测量误差。

1.1) 交流电压的测量

A. 将信号输入至 CH1 或 CH2 插座，将垂直方式置于被选用的通道。

B. 将 Y 轴“灵敏度微调”旋钮置校准位置，调整示波器有关控制件，使荧光屏上显示稳定、易观察的波形，则交流电压幅值

$$V_{p-p} = \text{垂直方向格数}(\text{div}) \times \text{垂直偏转因数}(\text{V/div})$$

1.2) 直流电平的测量

A. 设置面板控制件，使屏幕显示扫描基线。

B. 设置被选用通道的输入耦合方式为“GND”。

C. 调节垂直移位，将扫描基线调至合适位置，作为零电平基准线。

D. 将“灵敏度微调”旋钮置校准位置，输入耦合方式置“DC”，被测电平由相应 Y 输入端输入，这时扫描基线将偏移，读出扫描基线在垂直方向偏移的格数(div)，则被测电平

$$V = \text{垂直方向偏移格数}(\text{div}) \times \text{垂直偏转因数}(\text{V/div}) \times \text{偏转方向}(+ \text{或} -)$$

式中，基线向上偏移取正号，基线向下偏移取负号。

2)、时间测量

时间测量是指对脉冲波形的宽度、周期、边沿时间及两个信号波形间的时间间隔（相位差）等参数的测量。一般要求被测部分在荧光屏 X 轴方向应占(4~6)div。

2.1) 时间间隔的测量

对于一个波形中两点间的时间间隔的测量，测量时先将“扫描微调”旋钮置校准位置，调整示波器有关控制件，使荧光屏上波形在 X 轴方向大小适中，读出波形中需测量两点间水平方向格数，则时间间隔：

$$\text{时间间隔} = \text{两点之间水平方向格数}(\text{div}) \times \text{扫描时间因数}(\text{t/div})$$

2.2) 脉冲边沿时间的测量

上升（或下降）时间的测量方法和时间间隔的测量方法一样，只不过是测量被测波形满幅度的 10%和 90%两点之间的水平方向距离，如附图 1-5 所示。

用示波器观察脉冲波形的上升边沿、下降边沿时，必须合理选择示波器的触

发极性（用触发极性开关控制）。显示波形的上升边沿用“+”极性触发，显示波形下降边沿用“-”极性触发。如波形的上升沿或下降沿较快则可将水平扩展×10，使波形在水平方向上扩展10倍，则上升（或下降）时间：

$$\text{上升（或下降）时间} = \frac{\text{水平方向格数 (div)} \times \text{扫描时间因数 (t/div)}}{\text{水平扩展倍数}}$$

2.3) 相位差的测量

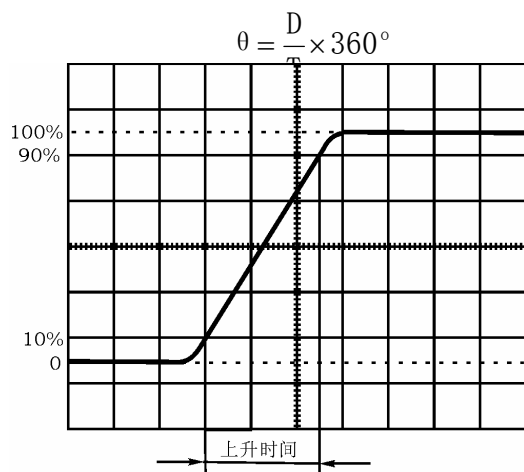
A. 参考信号和一个待比较信号分别饋入“CH1”和“CH2”输入插座。

B. 根据信号频率，将垂直方式置于“交替”或“断续”

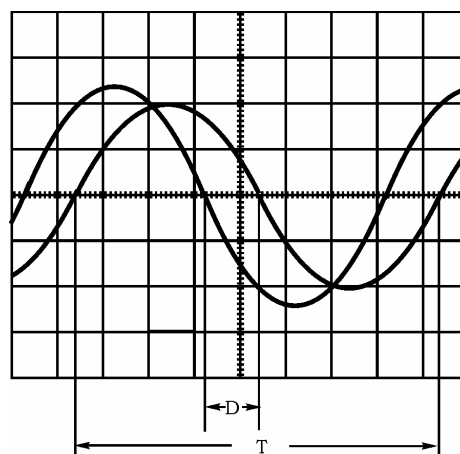
C. 设置内触发源至参考信号那个通道。

D. 将CH1和CH2输入耦合方式置“⊥”，调节CH1、CH2移位旋钮，使两条扫描基线重合。

E. 将CH1、CH2耦合方式开关置“AC”，调整有关控制件，使荧光屏显示大小适中、便于观察两路信号，如附图1-6所示。读出两波形水平方向差距格数D及信号周期所占格数T，则相位差：



附图 1-5 上升时间的测量



附图 1-6 相位差的测量

附录 II 用万用电表对常用电子元器件检测

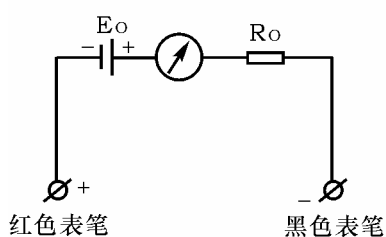
用万用表可以对晶体二极管、三极管、电阻、电容等进行粗测。万用表电阻档等值电路如附图(II)-1所示,其中的 R_0 为等效电阻, E_0 为表内电池,当万用表处于 $R\times 1$ 、 $R\times 100$ 、 $R\times 1K$ 档时,一般, $E_0=1.5V$,而处于 $R\times 10K$ 档时, $E_0=15V$ 。测试电阻时要记住,红表笔接在表内电池负端(表笔插孔标“+”号),而黑表笔接在正端(表笔插孔标以“-”号)。

1、晶体二极管管脚极性、质量的判别

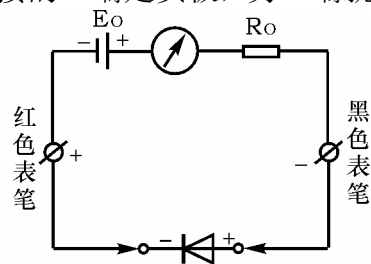
晶体二极管由一个PN结组成,具有单向导电性,其正向电阻小(一般为几百欧)而反向电阻大(一般为几十千欧至几百千欧),利用此点可进行判别。

(1) 管脚极性判别

将万用表拨到 $R\times 100$ (或 $R\times 1K$)的欧姆档,把二极管的两只管脚分别接到万用表的两根测试笔上,如附图II-2所示。如果测出的电阻较小(约几百欧),则与万用表黑表笔相接的一端是正极,另一端就是负极。相反,如果测出的电阻较大(约百千欧),那么与万用表黑表笔相连接的一端是负极,另一端就是正极。



附图 II-1 万用表电阻档等值电路



附图 II-2 判断二极管极性

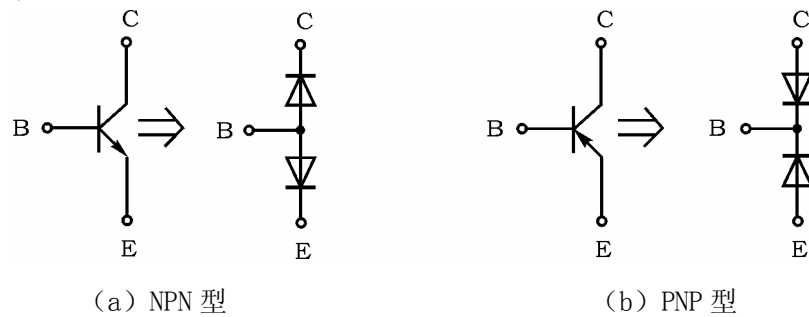
(2) 判别二极管质量的好坏

一个二极管的正、反向电阻差别越大，其性能就越好。如果双向电值都较小，说明二极管质量差，不能使用；如果双向阻值都为无穷大，则说明该二极管已经断路。如双向阻值均为零，说明二极管已被击穿。

利用数字万用表的二极管档也可判别正、负极，此时红表笔（插在“V·Ω”插孔）带正电，黑表笔（插在“COM”插孔）带负电。用两支表笔分别接触二极管两个电极，若显示值在1V以下，说明管子处于正向导通状态，红表笔接的是正极，黑表笔接的是负极。若显示溢出符号“1”，表明管子处于反向截止状态，黑表笔接的是正极，红表笔接的是负极。

2、晶体三极管管脚、质量判别

可以把晶体三极管的结构看作是两个背靠背的PN结，对NPN型来说基极是两个PN结的公共阳极，对PNP型管来说基极是两个PN结的公共阴极，分别如附图II-3所示。



附图 II-3 晶体三极管结构示意图

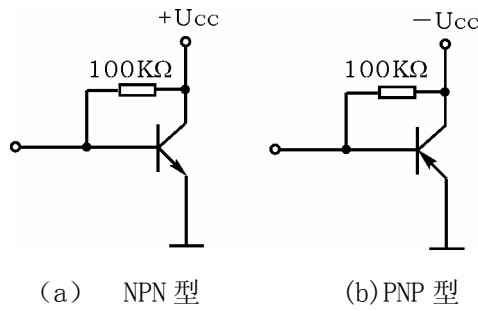
(1) 管型与基极的判别

万用表置电阻档，量程选1K档（或 $R \times 100$ ），将万用表任一表笔先接触某一个电极—假定的公共极，另一表笔分别接触其他两个电极，当两次测得的电阻均很小（或均很大），则前者所接电极就是基极，如两次测得的阻值一大、一小，相差很多，则前者假定的基极有错，应更换其他电极重测。

根据上述方法，可以找出公共极，该公共极就是基极B，若公共极是阳极，该管属NPN型管，反之则是PNP型管。

(2) 发射极与集电极的判别

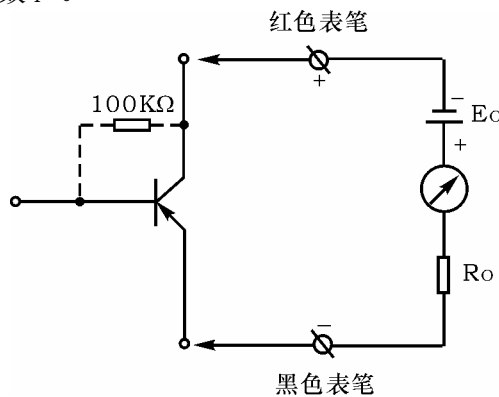
为使三极管具有电流放大作用，发射结需加正偏置，集电结加反偏置。如附图II-4所示。



图附 II -4 晶体三极管的偏置情况

当三极管基极 B 确定后，便可判别集电极 C 和发射极 E，同时还可以大致了解穿透电流 I_{CE0} 和电流放大系数 β 的大小。

以 PNP 型管为例，若用红表笔（对应表内电池的负极）接集电极 C，黑表笔接 E 极，（相当 C、E 极间电源正确接法），如附图 II -5 所示，这时万用表指针摆动很小，它所指示的电阻值反映管子穿透电流 I_{CE0} 的大小（电阻值大，表示 I_{CE0} 小）。如果在 C、B 间跨接一只 $R_B=100K$ 电阻，此时万用表指针将有较大摆动，它指示的电阻值较小，反映了集电极电流 $I_C=I_{CE0}+\beta I_B$ 的大小。且电阻值减小愈多表示 β 愈大。如果 C、E 极接反（相当于 C-E 间电源极性反接）则三极管处于倒置工作状态，此时电流放大系数很小（一般 <1 ）于是万用表指针摆动很小。因此，比较 C-E 极两种不同电源极性接法，便可判断 C 极和 E 极了。同时还可大致了解穿透电流 I_{CE0} 和电流放大系数 β 的大小，如万用表上有 h_{FE} 插孔，可利用 h_{FE} 来测量电流放大系数 β 。

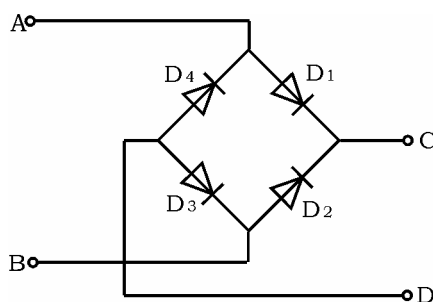


附图 II -5 晶体三极管集电极 C、发射极 E 的判别

3、检查整流桥堆的质量

整流桥堆是把四只硅整流二极管接成桥式电路，再用环氧树脂（或绝缘塑料）封装而成的半导体器件。桥堆有交流输入端（A、B）和直流输出端（C、D），如附图 II -6 所示。采用判定二极管的方法可以检查桥堆的质量。从图中可看出，

交流输入端A-B之间总会有一只二极管处于截止状态使A-B间总电阻趋向于无穷大。直流输出端D-C间的正向压降则等于两只硅二极管的压降之和。因此，用数字万用表的二极管档测A-B的正、反向电压时均显示溢出，而测D-C时显示大约1V，即可证明桥堆内部无短路现象。如果有一只二极管已经击穿短路，那么测A-B的正、反向电压时，必定有一次显示0.5V左右。

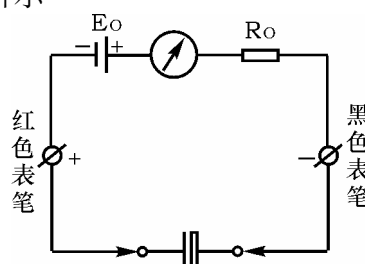


附图 II - 6 整流桥堆管脚及质量判别

4、电容的测量

电容的测量，一般应借助于专门的测试仪器。通常用电桥。而用万用表仅能粗略地检查一下电解电容是否失效或漏电情况。

测量电路如附图 II - 7 所示



附图 II - 7 电容的测量

测量前应先将电解电容的两个引出线短接一下，使其上所充的电荷释放。然后将万用表置于 1K 档，并将电解电容的正、负极分别与万用表的黑表笔、红表笔接触。在正常情况下，可以看到表头指针先是产生较大偏转（向零欧姆处），以后逐渐向起始零位（高阻值处）返回。这反映了电容器的充电过程，指针的偏转反映电容器充电电流的变化情况。

一般说来，表头指针偏转愈大，返回速度愈慢，则说明电容器的容量愈大，若指针返回到接近零位（高阻值），说明电容器漏电阻很大，指针所指示电阻值，即为该电容器的漏电阻。对于合格的电解电容器而言，该阻值通常在 500K Ω 以

上。电解电容在失效时（电解液干涸，容量大幅度下降）表头指针就偏转很小，甚至不偏转。已被击穿的电容器，其阻值接近于零。

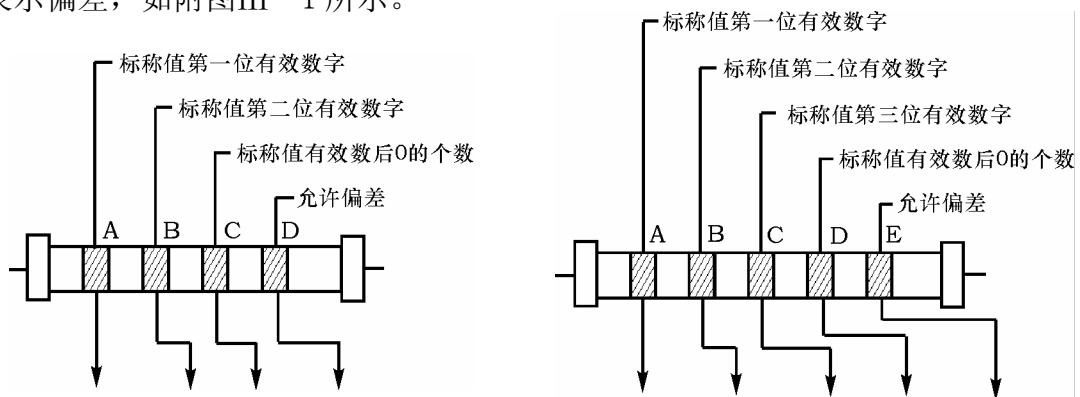
对于容量较小的电容器（云母、瓷质电容等），原则上也可以用上述方法进行检查，但由于电容量较小，表头指针偏转也很小，返回速度又很快，实际上难以对它们的电容量和性能进行鉴别，仅能检查它们是否短路或断路。这时应选用 $R \times 10K$ 档测量。

附录III 电阻器的标称值及精度色环标志法

色环标志法是用不同颜色的色环在电阻器表面标称阻值和允许偏差。

1、两位有效数字的色环标志法。

普通电阻器用四条色环表示标称阻值和允许偏差，其中三条表示阻值，一条表示偏差，如附图III—1所示。



颜色	第一有效数	第二有效数	倍率	允许偏差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	

紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	+50% -20%
金			10^{-1}	±5%
银			10^{-2}	±10%
无色				±20%

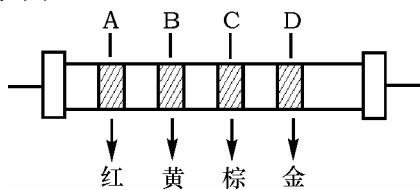
颜色	第一有效数	第二有效数	第三有效数	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	±1%
红	2	2	2	10^2	±2%
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	±0.5%
蓝	6	6	6	10^6	±0.25%
紫	7	7	7	10^7	±0.1%
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	
银				10^{-2}	

图III-1 两位有效数字的阻值色环标志法

附图III-2 三位有效数字的阻值色环标志法

2、三位有效数字的色环标志法。精密电阻器用五条色环表示标称阻值和允许偏差，如附图III-2所示。

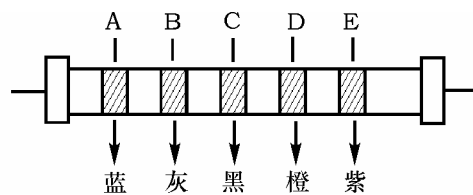
示例：



如：色环 A—红色；B—黄色
C—棕色；D—金色

则该电阻标称值及精度为：

$$24 \times 10^1 = 240 \Omega \quad \text{精度：} \pm 5\%$$



如：色环 A—蓝色；B—灰色；C—黑色
D—橙色；E—紫色

则该电阻标称值及精度为：

$$680 \times 10^3 = 680K \Omega \quad \text{精度：} \pm 0.1\%$$

附录IV 放大器干扰、噪声抑制和自激振荡的消除

放大器的调试一般包括调整和测量静态工作点,调整和测量放大器的性能指标:放大倍数、输入电阻、输出电阻和通频带等。由于放大电路是一种弱电系统,具有很高的灵敏度,因此很容易接受外界和内部一些无规则信号的影响。也就是在放大器的输入端短路时,输出端仍有杂乱无规则的电压输出,这就是放大器的噪声和干扰电压。另外,由于安装、布线不合理,负反馈太深以及各级放大器共用一个直流电源造成级间耦合等,也能使放大器没有输入信号时,有一定幅度和频率的电压输出,例如收音机的尖叫声或“突突……”的汽船声,这就是放大器发生了自激振荡。噪声、干扰和自激振荡的存在都妨碍了对有用信号的观察和测量,严重时放大器将不能正常工作。所以必须抑制干扰、噪声和消除自激振荡,才能进行正常的调试和测量。



附图 4-1

一、干扰和噪声的抑制

把放大器输入端短路,在放大器输出端仍可测量到一定的噪声和干扰电压。其频率如果是 50Hz (或 100Hz),一般称为 50Hz 交流声,有时是非周期性的,没有一定规律,可以用示波器观察到如附图 4-1 所示波形。50Hz 交流声大都来自电源变压器或交流电源线,100Hz 交流声往往是由于整流滤波不良所造成的。

另外，由电路周围的电磁波干扰信号引起的干扰电压也是常见的。由于放大器的放大倍数很高（特别是多级放大器），只要在它的前级引进一点微弱的干扰，经过几级放大，在输出端就可以产生一个很大的干扰电压。还有，电路中的地线接得不合理，也会引起干扰。

抑制干扰和噪声的措施一般有以下几种

1、选用低噪声的元器件

如噪声小的集成运放和金属膜电阻等。另外可加低噪声的前置差动放大电路。由于集成运放内部电路复杂，因此它的噪声较大。即使是“极低噪声”的集成运放，也不如某些噪声小的场效应对管，或双极型超 β 对管，所以在要求噪声系数极低的场合，以挑选噪声小对管组成前置差动放大电路为宜。也可加有源滤波器。

2、合理布线

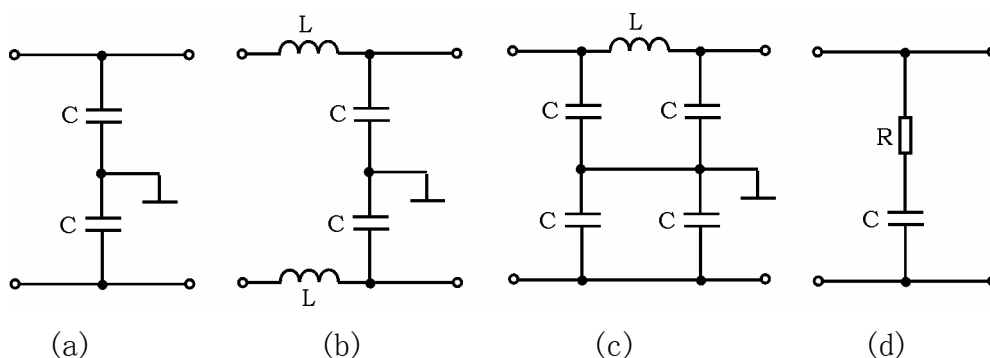
放大器输入回路的导线和输出回路、交流电源的导线要分开，不要平行铺设或捆扎在一起，以免相互感应。

3、屏蔽

小信号的输入线可以采用具有金属丝外套的屏蔽线，外套接地。整个输入级用单独金属盒罩起来，外罩接地。电源变压器的初、次级之间加屏蔽层。电源变压器要远离放大器前级，必要时可以把变压器也用金属盒罩起来，以利隔离。

4、滤波

为防止电源串入干扰信号，可在交（直）流电源线的进线处加滤波电路。附图 4-2(a)、(b)、(c)所示的无源滤波器可以滤除天电干扰（雷电等引起）



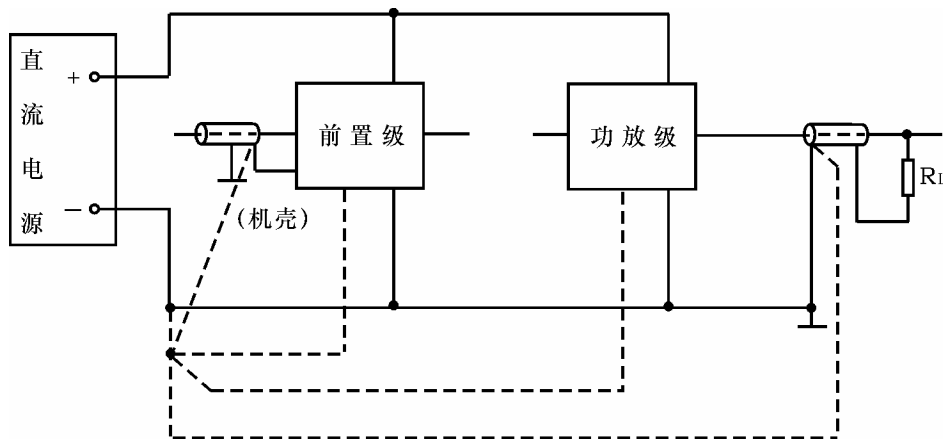
附图 4-2

和工业干扰（电机、电磁铁等设备起、制动时引起）等干扰信号，而不影响 50Hz 电源的引入。图中电感，电容元件，一般 L 为几~几十毫亨，C 为几千微微法。

图(d)中阻容串联电路对电源电压的突变有吸收作用,以免其进入放大器。R和C的数值可选 $100\ \Omega$ 和 $2\ \mu\text{F}$ 左右。

5、选择合理的接地点

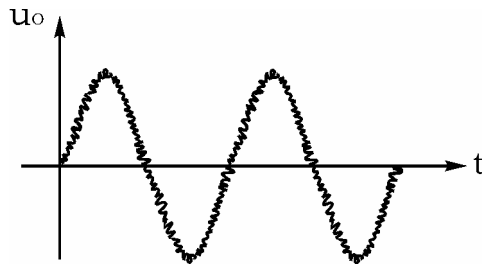
在各级放大电路中,如果接地点安排不当,也会造成严重的干扰。例如,在附图4-3中,同一台电子设备的放大器,由前置放大级和功率放大级组成。当接地点如图中实线所示时,功率级的输出电流是比较大的,此电流通过导线产生的压降,与电源电压一起,作用于前置级,引起扰动,甚至产生振荡。还因负载电流流回电源时,造成机壳(地)与电源负端之间电压波动,而前置放大级的输入端接到这个不稳定的“地”上,会引起更为严重的干扰。如将接地点改成图中虚线所示,则可克服上述弊端。



附图 4-3

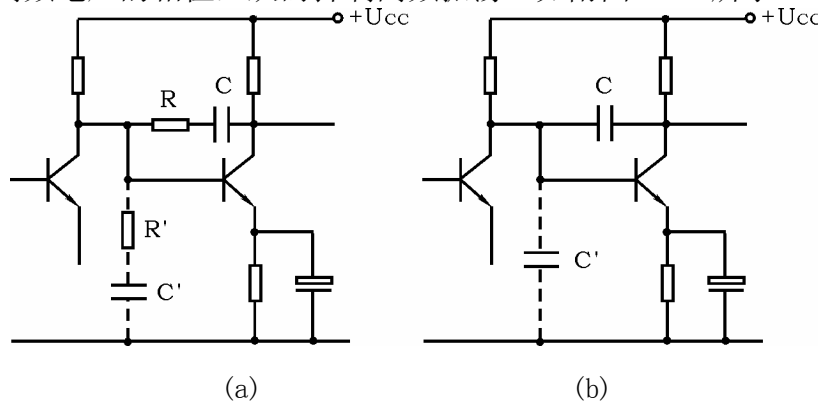
二、自激振荡的消除

检查放大器是否发生自激振荡,可以把输入端短路,用示波器(或毫伏表)接在放大器的输出端进行观察,如附图4-4所示波形。自激振荡和噪声的区别是,自激振荡的频率一般为比较高的或极低的数值,而且频率随着放大器元件参数不同而改变(甚至拨动一下放大器内部导线的位置,频率也会改变),振荡波形一般是比较规则的,幅度也较大,往往使三极管处于饱和和截止状态。



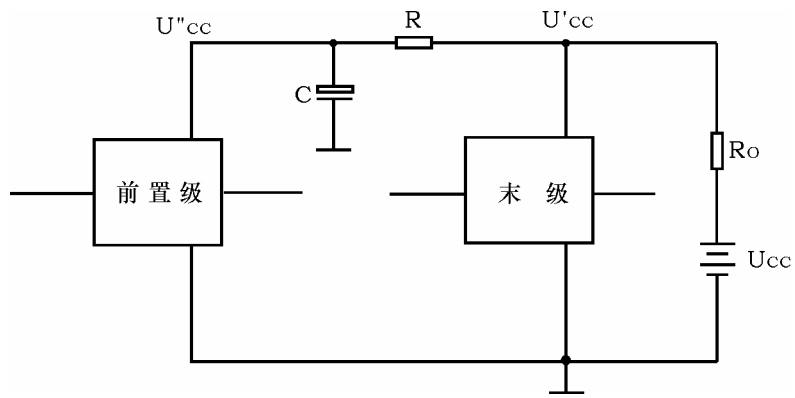
附图 4-4

高频振荡主要是由于安装、布线不合理引起的。例如输入和输出线靠的太近，产生正反馈作用。对此应从安装工艺方面解决，如元件布置紧凑，接线要短等。也可以用一个小电容（例如 1000PF 左右）一端接地，另一端逐级接触管子的输入端，或电路中合适部位，找到抑制振荡的最灵敏的一点（即电容接此点时，自激振荡消失），在此处外接一个合适的电阻电容或单一电容（一般 100PF~0.1 μ F，由试验决定），进行高频滤波或负反馈，以压低放大电路对高频信号的放大倍数或移动高频电压的相位，从而抑制高频振荡（如附图 4-5 所示）。



附图 4-5

低频振荡是由于各级放大电路共用一个直流电源所引起。如附图 4-6 所示，因为电源总有一定的内阻 R_0 ，特别是电池用得时间过长或稳压电源质量不高，使得内阻 R_0 比较大时，则会引起 U'_{CC} 处电位的波动， U'_{CC} 的波动作用到前级，使前级输出电压相应变化，经放大后，使波动更厉害，如此循环，就会造成振荡现象。最常用的消除办法是在放大电路各级之间加上“去耦电路”如图中的 R 和 C，从电源方面使前后级减小相互影响。去耦电路 R 的值一般为几百欧，电容 C 选几十微法或更大一些。



附图 4-6