

第二章 基本电路模块的设计与制作

2.1 三极管基本放大电路的制作

现在以一个最基本的三极管共射极放大电路为例，说明如何进行放大电路的设计与制作。

2.1.1 三极管放大电路设计的原则

三极管放大电路在设计时应符合以下原则：

- (1) 电源的设置应使三极管处于放大状态，即发射结正偏，集电结反偏。
- (2) 输入回路的接法应使输入电压产生变化的电流 i_b ，以 i_b 控制 i_c 。
- (3) 输出回路的接法应当使 i_c 尽可能地流到负载中去，减少其他支路的分流。
- (4) 选择合理的工作点，使放大电路的动态范围尽可能大。
- (5) 采取必要的稳定工作点的措施。

2.1.2 共发射极放大电路的设计

图 2.1 是一个常见的共射放大电路。

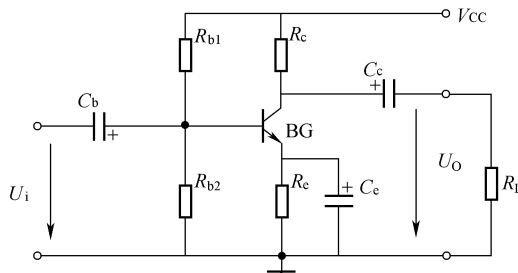


图 2.1 共射放大电路

1. 静态工作点的选取

共射放大电路的放大倍数较高，输出电压与输入电压有反相关系，输入电阻较小而输出电阻较大，常用在前置级、中间级，是最基本的放大电路。

在选取静态工作点时，应满足：

$$\text{硅管: } I_1 = (5 \sim 10) I_B \quad U_B = (1/4 \sim 1/3) V_{CC}$$

$$\text{锗管: } I_1 = (10 \sim 20) I_B \quad U_B = (1/10 \sim 1/4) V_{CC}$$

I_1 为流经 R_{b1} 上的电流， U_B 为三极管的基极电压。

2. 静态工作点的估算

$$U_B = \frac{R_{b2}}{R_{b2} + R_{b1}} V_{CC}$$

$$I_C = I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx \frac{U_B}{R_E}$$

3. 动态参数的计算

(1) 电压放大倍数:

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$$

其中

$$r_{be} = 300\Omega + \beta \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}$$

(2) 输入电阻:

$$r_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

(3) 输出电阻:

$$r_o = R_c$$

2.1.3 电路的制作与测试

1. 元器件清单

根据所给电路进行焊接, 确认无误后进行测试。各元件的型号和参数见表 2.1。

表 2.1 基本放大电路元器件清单

元器件	型号和参数	元器件	型号和参数
R_{b1}	RT14-1/4W-39k Ω	C_c	CD11-16V-10 μ F
R_{b2}	RT14-1/4W-10k Ω	C_e	CD11-16V-10 μ F
R_c	RT14-1/4W-2k Ω	C_b	CD11-16V-10 μ F
R_e	RT14-1/4W-910 Ω	BG	S9013

2. 焊接与测试

该电路无需调试, 只要焊接正确就可正常工作。电路的工作电压取 9V。

(1) 测静态工作点

通电后, 分别测出电路的 I_C 和 U_{CE} , 注意 I_C 可以间接测量, 即先测出 R_C 的电压值 U_{RC} , 再用 U_{RC} 除以 R_C 即可, 这也是工程上测电流的一种简便易行的方法。

(2) 测交流放大倍数

用信号发生器输入峰值为 10mV, 频率为 1kHz 的正弦信号, 在不接负载的情况下用示波器观察输出端的波形并读出其峰值电压, 算出交流放大倍数。如果接负载, 可以发现其交流放大倍数将下降, 下降的幅度与负载大小有关, 负载的阻值越小则交流放大倍数下降的越多。逐渐增大输入信号的幅度, 输出端将出现失真, 说明此时已超出三极管的动态范围。

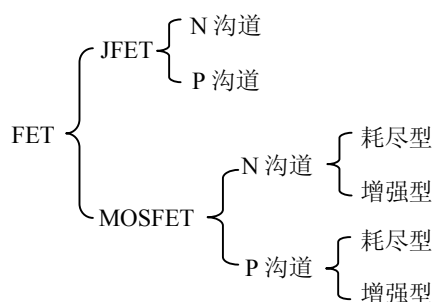
(3) 测放大电路的频率特性

保持输入端信号的峰值电压为 10mV 不变, 逐渐增加输入信号的频率, 可以发现当频率增加到一定值后, 输出信号的幅度开始下降, 当幅度降到最大值的 0.707 倍时, 对应的输入信号的频率就是该放大器的通频带的截止频率。

2.2 场效应管放大电路的设计与制作

场效应管是通过输入信号电压来控制其输出电流大小的，属于电压控制型器件。它具有输入电阻高、噪声低、制造工艺简单、便于大规模集成等优点，已被广泛应用于集成电路中。

根据结构的不同，场效应管分为结型场效应管（JFET）和绝缘栅型场效应管（IGFET）或称为金属—氧化物—半导体场效应管（MOSFET）两大类。



2.2.1 场效应管的主要参数

(1) 开启电压 $U_{GS(th)}$

增强型 MOSFET 的参数，指 u_{DS} 为固定值时（按手册规定，如 10V），使 i_D 等于某一微小电流（如 $10\mu A$ ）时所需的最小 u_{GS} 。

(2) 夹断电压 $U_{GS(off)}$

耗尽型场效应管（含 JFET）的参数，指 u_{DS} 为固定值时（按手册规定，如 10V），使 i_D 减小到某一微小电流（如 $1\mu A$ 或 $10\mu A$ ）时的 u_{GS} 。

(3) 饱和漏极电流 I_{DSS}

耗尽型场效应管的参数，指在 $u_{GS}=0$ 时，使管子出现预夹断时的漏极电流。该参数也是 JFET 管子的最大输出电流。

(4) 跨导 g_m

g_m 指在 u_{DS} 为定值时，漏极电流 i_D 的微变量和引起它变化的 u_{GS} 微变量之比。即

$$g_m = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{u_{DS} = \text{常数}}$$

g_m 指反映了栅源电压对于漏极电流的控制能力，是表征场效应管放大能力的重要参数，单位为西门子（S），也常用毫西（mS）。

(5) 最大漏极电流 I_{DM}

I_{DM} 管子工作时允许的最大电流。

(6) 最大耗散功率 P_{DM}

最大耗散功率 $P_{DM}=u_{DS}i_D$ ，受管子最高工作温度的限制。

(7) 漏源击穿电压 $U_{(BR)DS}$

它是漏、源间所能承受的最大电压，即 u_{DS} 增大到使 i_D 急剧上升时（管子击穿）的 u_{DS} 。

(8) 栅源击穿电压 $U_{(BR)GS}$

它是栅、源间所能承受的最大电压。

其中， I_{DM} 、 P_{DM} 、 $U_{(BR)DS}$ 、 $U_{(BR)GS}$ 为场效应管的极限参数。

2.2.2 场效应管的使用原则

(1) 场效应管输入阻抗很高，栅极基本上不取电流，对于那些只允许从信号源取极小电流的高精度、高灵敏度的检测仪器、仪表等，宜选用 FET 作输入级。

(2) 在场效应管中，只有多子参与导电，所以不易受温度、辐射等外界因素影响，在环境条件变化较大的场合，宜选用 FET。

(3) FET 的噪声比 BJT 小，尤其是 JFET 的噪声更小。对于低噪声、稳定性要求高的线性放大电路，宜选用 JFET。

(4) FET 的源极和漏极若对称，其源漏极可以互换使用。但对于在制造时已将源极和衬底连在一起的 MOS 管，则源极和漏极不能互换。

(5) 在使用时，各极电源极性应按规定接入，特别要注意不要将 JFET 的栅、源电压极性接反，以免 PN 结因正偏过流而烧毁；极限参数不能超过规定值。

(6) 由于 MOS 管的输入电阻极高，栅极少量的电荷就会产生很高的感应电压，造成管子击穿。因此，储存时，应先将各极连在一起；焊接时，烙铁应良好接地，最好是利用烙铁的余热焊接；有条件时带防静电手链操作。

(7) JFET 可以在栅源极开路状态下贮存，可以用万用表检查管子质量；MOS 管不能用万用表检测，必须用专用仪器。

2.2.3 场效应管基本放大电路的设计与制作

和 BJT 一样，FET 放大电路也应通过偏置电路建立一个合适且稳定的工作点，不同的是需要合适的电压而不要偏流。表 2.2 是不同类型场效应管对偏置电压极性的要求。

表 2.2 场效应管偏置电压的极性

类型	u_{GS}	u_{DS}
N 沟道 JFET	负	正
P 沟道 JFET	正	负
增强型 NMOSFET	正	正
增强型 PMOSFET	负	负
耗尽型 NMOSFET	正、零、负	正
耗尽型 PMOSFET	正、零、负	负

图 2.2 是一个分压式共源场效应管放大电路。

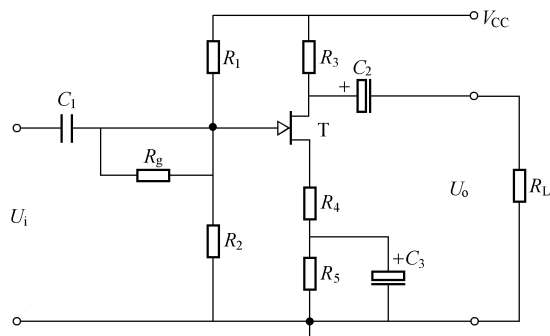


图 2.2 分压式共源场效应管放大电路

可以求出电压增益:

$$A_u = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R_4}$$

其中 $R'_L = R_3 // R_L$,

输入电阻:

$$r_i = R_1 // R_2 + R_g \approx R_g$$

输出电阻:

$$r_o \approx R_3$$

元器件清单见表 2.3。

表 2.3 场效应管放大电路元器件清单

元器件	型号和参数	元器件	型号和参数
R_1	RT14-1/4W-2M Ω	R_5	RT14-1/4W-2k Ω
R_2	RT14-1/4W-47k Ω	C_1	CL11-63V-0.01 μ F
R_g	RT14-1/4W-10M Ω	C_2	CD11-16V-10 μ F
R_3	RT14-1/4W-10k Ω	C_3	CD11-16V-47 μ F
R_4	RT14-1/4W-2k Ω	T	2SK30

按如下过程完成制作:

(1) 对照元器件清单, 用实验板焊接电路, 输出端接 10k Ω 的负载。

(2) 检查无误后接信号源和示波器, 选择正弦波信号, 取频率为 1kHz, 幅度为 10mV, 通电观察示波器的波形, 计算电压增益。

(3) 改变信号源的频率, 测电路的通频带。保持输入端信号的峰值电压为 10mV 不变, 逐渐增加输入信号的频率, 可以发现当频率增加到一定值后, 输出信号的幅度开始下降, 当幅度降到最大值的 0.707 倍时, 对应的输入信号的频率就是该放大器的通频带的截止频率。

2.3 串联型线性稳压电源的制作

串联型线性稳压电源以其电路简单、性能优良、稳压效果好, 而在很多产品和设备中广

泛使用，是一种比较有实用意义的电路。

2.3.1 串联型线性稳压电源的组成

图 2.3 是串联型线性稳压电源的组成框图，有变压器、整流滤波和稳压电路三个环节。

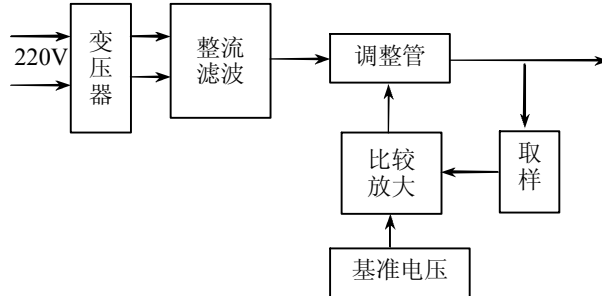


图 2.3 串联型线性稳压电源的组成框图

变压器的作用是将 220V 的市电降压至适当的交流电压，在选择变压器时，一般要考虑两个参数：功率和输出电压。整流电路可为全波整流或桥式整流。滤波一般由电容器完成，其数值与输出电压和输出电流有关，当输出电压在 10V~20V 之间时，工程上可按表 2.4 选择。

调整管一般是一个大功率三极管，选择时主要考虑输出功率，可查阅三极管手册。

表 2.4 滤波电容的容量与整流电流的关系

整流电流 I_o (mA)	50 以下	50~100	100~500	500~1000	1000 左右	2000 左右
滤波电容容量 (μF)	200	200~500	500	1000	2000	4000

2.3.2 串联型线性稳压电源的实际电路

图 2.4 是一个实际的串联型线性稳压电源电路，其中 BG₁、BG₂ 组成复合管，完成稳压调整，BG₃ 为比较放大管，Dz 提供基准电压。

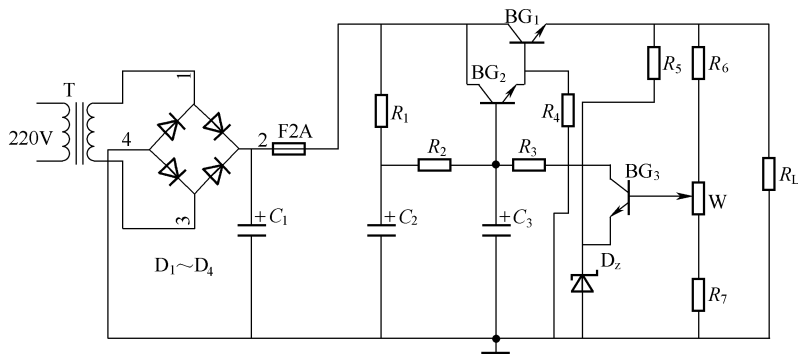


图 2.4 串联型线性稳压电源电路

该电路的工作原理是：当电网电压或负载变化而引起输出电压 U_o 变化时，取样电路取出

输出电压的一部分送入比较放大器 BG_3 与基准电压进行比较, 产生的误差电压经放大后去控制由 BG_1 、 BG_2 组成的调整电路的集-射间电压, 补偿 U_o 的变化, 从而稳定输出电压。

串联型线性稳压电源的主要技术指标如下:

1. 输出电流 I_L (即额定负载电流)

它的最大值决定于调整管的最大允许功耗 P_{CM} 和最大允许电流 I_{CM} 。

2. 输出电压 U_o 及其调节范围。

当基准电压固定后, 改变取样电压的值就可调节输出电压的值。由图 2.4 可算出:

$$U_{Omax} = \frac{R_6 + R_7 + W}{R_7} U_Z$$
$$U_{Omin} = \frac{R_6 + R_7 + W}{R_7 + W} U_Z$$

其中 U_Z 是 D_Z 的稳压值并且不考虑 BG_3 的 U_{BE} 。

3. 稳压系数 S

稳压系数即输出直流电压的相对变化量与输入直流电压的相对变化量之比。

$$S = \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i}$$

通常 S 约为 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 。

4. 输出内阻 r_o

输出内阻是指输入直流电压不变时, 由于负载电流的变化量 ΔI_L 而引起的输出直流电压的变化量 ΔU_o 与 ΔI_L 的比值:

$$r_o = \frac{\Delta U_o}{\Delta I_L}$$

显然, r_o 越小, 则负载变化对输出的直流电压影响越小。

5. 输出纹波电压

直流稳压电源的输出电压并非完全的直流, 其中包含少量的交流成分。通常我们把把在 $U_i=220V$ 时, 在额定输出电流和额定输出电压的情况下测出的交流分量的有效值或峰-峰值称为纹波电压。该电压越小越好。

2.3.3 串联型线性稳压电源的制作与调试

1. 选择元器件

除调整管的集电极耗散功率应满足输出功率的要求外, 本电路对元器件无特殊要求。表 2.5 是图 2.4 电路所需的材料清单。

根据材料清单选择元器件。对于电阻, 应先读色环再用万用表确认, 三极管的管脚应通过万用表自行判别。

2. 焊接

可以用覆铜板制作 PCB 板, 这样可完成一个比较正规的稳压电源的制作, 也可以用实验板做一个简单的验证性电源。根据电原理图进行制作和焊接, 焊接时要注意以下几点:

表 2.5 串联型线性稳压电源元器件清单

元件名称	型号和参数	元件名称	型号和参数
R_1	RT14-1/4W-2k Ω	C_2	CD11-16V-100 μ F
R_2	RT14-1/4W-1k Ω	C_3	CD11-16V-100 μ F
R_3	RT14-1/4W-100 Ω	BG ₁	2SD313F
R_4	RT14-1/4W-120k Ω	BG ₂	9014
R_5	RT14-1/4W-560 Ω	BG ₃	9014
R_6	RT14-1/4W-390 Ω	D ₁	1N4001
R_7	RT14-1/4W-1.2k Ω	D ₂	1N4001
W	1k Ω 电位器	D ₃	1N4001
R_L	RX-30W-10 Ω	D ₄	1N4001
C_1	CD11-32V-2200 μ F	D _Z	稳压管 7V2

(1) 220V 市电的走线要与稳压部分有一定的距离并且位于板子较偏的位置, 最好能够将覆铜用绝缘胶布粘好, 这样可防止在调试时触电的危险。

(2) 为提高输出功率, 调整管要加装散热器, 同时散热器与三极管的接触面要涂导热硅脂。

(3) 整流二极管要悬空焊接, 以利散热。

3. 调试及故障排除

在完成焊接并检查无误后, 可通电调试。

(1) 测输出电压

调节 W, 输出电压应在约 9V~16V 变化, 最终将输出电压固定在 12V。

(2) 带负载能力的估测

在接负载(用一个 30W, 10 Ω 的线绕电阻代替)和不接负载两种情况下分别测输出电压, 两种情况的变化越小说明带负载能力越强。

(3) 测纹波电压

接负载, 用交流毫伏表测出纹波电压。

(4) 稳压过程的观察

用调压器改变输入电压的值, 同时测量调整管的 U_{CE} 和电源的输出电压值, 可以发现当输入电压上升时, 调整管的 U_{CE} 相应上升, 当输入电压下降时, 调整管的 U_{CE} 相应下降, 而输出电压基本不变, 即通过调整 U_{CE} 的变化补偿了输入电压的变化。

4. 故障判断与排除

如果电路出现故障, 应首先分析故障原因再检查相应的元器件。

(1) 输出电压为 0 或很低

此时说明调整管开路或截止。主要原因有: 调整管 BG₁ 开路性损坏; BG₂ 开路导致 BG₁ 截止; R_1 或 R_2 开路导致 BG₁ 截止等。

(2) 不稳压

此时说明调整管饱和或 C、E 极短路。主要原因有: 调整管 BG₁ 短路性损坏; BG₂ 短路导致 BG₁ 饱和; BG₃ 开路性故障导致 BG₁ 饱和等。

2.4 集成运算放大器的应用

运算放大器是最基本的集成放大单元，它实际上是一个具有很高增益的多级直流放大器。理想的运算放大器可以认为其电压放大系数 $A_u=\infty$ ；输入电阻 $r_i=\infty$ ；输出电阻 $r_o=0$ 。

图 2.5 是集成运放的国标符号。

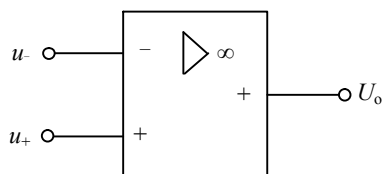


图 2.5 集成运放的国标符号

集成运算放大器的应用非常广泛，按其工作状态可分为线性应用和非线性应用。线性应用的条件是引入了负反馈，其输入、输出信号具有线性关系。非线性应用的条件是开环或引入正反馈，此时运放工作于非线性的限幅状态。

运放的传输特性见图 2.6。其中 BC 段为线性区，AB 和 CD 段为非线性区。

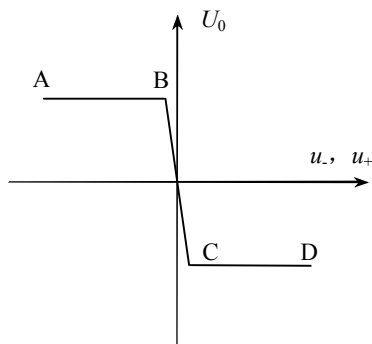


图 2.6 运放的传输特性

对于工作在线性区的运算放大器来说，可以认为 $u_- = u_+$ 即所谓“虚短”；流入输入端的电流 $i_- = i_+ = 0$ ，即所谓“虚断”。

本节分别以两个常用电路的设计与制作介绍运放在这两种状态下的应用。

2.4.1 电压比较器的制作

1. 电压比较器的工作原理

电压比较器是运放在非线性状态下的一个典型应用。

图 2.7 (a) 给出了一个基本单值比较器。输入信号 U_{in} ，即待比较电压，它加到反相输入端，在同相输入端接一个参考电压（门限电平） U_r 。当输入电压 $U_{in} < U_r$ 时，输出为高电平 $+U_{om}$ ；当输入电压 $U_{in} > U_r$ 时，输出为低电平 $-U_{om}$ 。图 2.7 (b) 为其传输特性。

如果取 $U_r=0$ ，即将参考电压端接地，该电路就称为过零比较器。当 U_{in} 接同相端时，称为同相比较器；当 U_{in} 接反相端时，称为反相比较器。

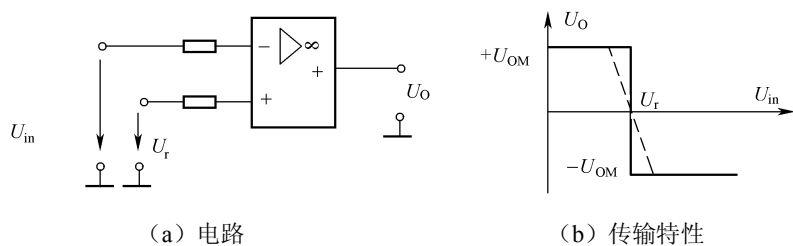


图 2.7 单值电压比较器

上面介绍的比较器的输出电压的幅度为运放的最大电压。如果在输出端接稳压管，就可以得到有限幅的比较器。图 2.8 就是一个双向限幅过零比较器，其输出值为 $\pm U_Z$ 。

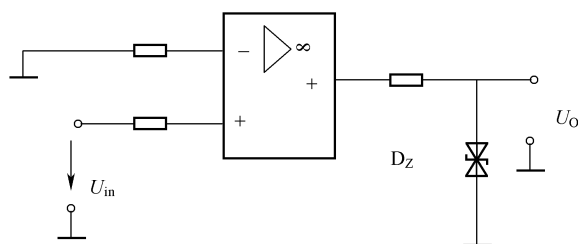


图 2.8 双向限幅过零比较器

2. 滞回比较器

滞回比较器又称为迟滞比较器。

上述图 2.7 和图 2.8 比较器又称为开环比较器。缺点是抗干扰能力差，只要输入电压在 U_r 附近有微小变化时，输出电压就会在 $\pm U_{om}$ 或 $\pm U_Z$ 之间上下跳变，如有干扰信号进入，比较器也容易误翻转。解决办法是适当引入正反馈，构成滞回比较器。图 2.9 为滞回比较器的电路图及传输特性。

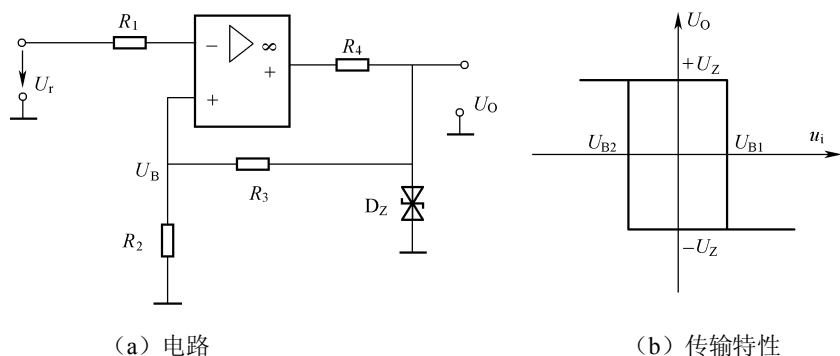


图 2.9 滞回比较器电路及传输特性

当输入电压从小变大，超过 U_{B1} 时，输出由 $+U_Z$ 跳变到 $-U_Z$ 。当输入电压再次从大变小，小于 U_{B2} 时，输出由 $-U_Z$ 跳变到 $+U_Z$ 。

这里：

$$U_{B1} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} U_Z$$

$$U_{B2} = -\frac{R_2}{R_2 + R_3}U_Z$$

$\Delta U = U_{B1} - U_{B2}$ 称为回差, 改变 R_2 、 R_3 的值就可改变回差。

3. 实用滞回比较器的制作

根据图 2.9 电路制作一个滞回比较器, 元器件清单见表 2.6, 如没有 7.5V 双向稳压管, 可以用两个 7.5V 稳压管代替。

表 2.6 滞回比较器材料清单

编号	型号及参数	编号	型号及参数
R_1	RT14-470 Ω	R_4	RT14-1k Ω
R_2	RT14-5.1k Ω	IC	LM324
R_3	RT14-10k Ω	D_Z	7.5V 双向稳压管

该电路比较简单, 无需调整, 只要焊接正确电路均能正常工作。工作电压建议采用 $\pm 9V$, 根据公式可算出 $U_{B1}=3V$, $U_{B2}=-3V$ 。

输入端接幅值为 5V 的正弦波 (从信号发生器获得), 用示波器观察输出端波形。

2.4.2 正弦波发生器的设计与制作

1. 由集成运放构成的文氏电桥振荡电路

图 2.10 是文氏电桥振荡电路, 是一种应用广泛的低频正弦波信号发生器。

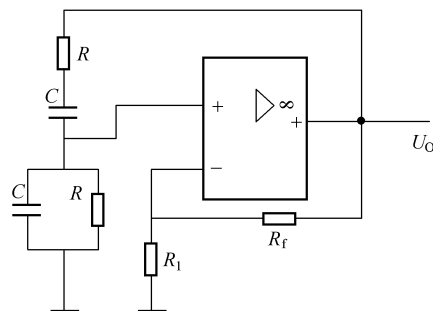


图 2.10 基本文氏电桥振荡电路

图中 R_f 、 R_1 组成深度负反馈, 可决定电路的电压放大倍数, 满足自激振荡的条件。 R 、 C 组成正反馈电路, 具有选频特性, 可决定电路的振荡频率。

该电路的输出频率是:

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

2. 文氏电桥正弦信号发生器的设计

下面设计一个输出频率为 $f_o=1000\sim 2000Hz$ 可调的正弦波信号发生器。要求振幅基本稳定, 波形正负半周基本对称, 无明显失真。

图 2.11 是一个振荡频率可调的文氏电桥正弦波发生器。 R 、 R_{P2} 、 C 组成串、并联网络路形成正反馈支路, 决定了振荡频率; R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_{P1} 和 D_1 、 D_2 形成负反馈支路, 由它们决定起

振的幅值条件和振荡波形的失真程度，其中 D_1 、 D_2 起稳幅作用。根据模拟电路的有关知识，该电路的起振条件为：

$$A_f = 1 + \frac{R_f}{R_1} \geq 3 \quad \text{即} \quad \frac{R_f}{R_1} \geq 2$$

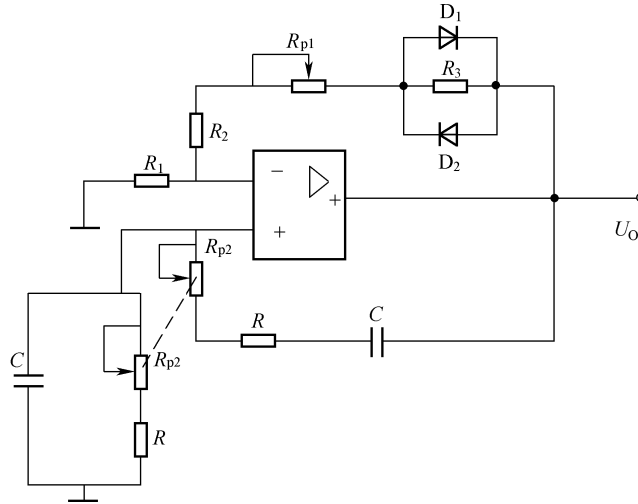


图 2.11 正弦波发生器电原理图

输出频率为：

$$f_o = \frac{1}{2\pi R' C} \quad \text{其中} \quad R' = R_{p2} + R$$

(1) 确定 R' 、 C 的值

由 $f_o = \frac{1}{2\pi R' C}$ 可得

$$R'_{\min} C = \frac{1}{2\pi f_{\max}} = 7.76 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$R'_{\max} C = \frac{1}{2\pi f_{\min}} = 1.59 \times 10^{-4} \text{ s}$$

为使选频网路的选频特性尽量不受运放的输入、输出电阻的影响，应使

$$R_i \gg R' \gg R_o$$

R_i 为运放的输入电阻，一般为几百千欧以上； R_o 为运放的输出电阻，一般在几百欧以下。

如选 $C = 0.01 \times 10^{-6} \text{ F} = 0.01 \mu\text{F}$ ，那么

$$R'_{\max} = \frac{1.59 \times 10^{-4}}{0.01 \times 10^{-6}} = 15.9 \times 10^3 \Omega = 15.9 \text{ k}\Omega$$

$$R'_{\min} = \frac{7.76 \times 10^{-5}}{0.01 \times 10^{-6}} = 7.76 \times 10^3 \Omega = 7.76 \text{ k}\Omega$$

可选 R 为 $7.5 \text{ k}\Omega$ ， R_{p2} 为 $10 \text{ k}\Omega$ 的双联电位器。 C 选择损耗小、稳定性高的聚苯乙烯电容器 CBB-50V-0.01 μF 。

(2) 确定 R_1 、 R_f 的值

由起振条件可知

$$R_f \geq 2R_1$$

可取 $R_f = 2.1R_1$ ，这样既保证起振，又不至于引起较大失真。

另外，还要考虑基本满足运算放大器的直流平衡条件，即

$$R' \approx R_1 // R_f$$

取 $R' = 12\text{k}\Omega$ ，由此可得 $R_1 = 8.13\text{k}\Omega$ ，取标称值 $8.2\text{k}\Omega$ ，且

$$R_f = 2.1R_1 = 18\text{k}\Omega$$

(3) 确定稳幅电路的元件

D_1 、 D_2 的作用是稳幅，在振荡过程中， D_1 、 D_2 交替导通或截止，当外界因素使振幅增大或减小时，二极管的导通电阻将减小或增大，使负载的反馈系数自动增大或减小，从而抑制振幅的变化。

选择 D_1 、 D_2 时应注意两管的特性要基本一致且温度稳定性要好。这里选择开关二极管 1N4148。

由于二极管的非线性会引起波形失真，因此在二极管两端并联一个电阻 R_3 。为兼顾稳幅效果和减小失真，一般取 $R_3 = r_D$ 。假定 $r_D = 5\text{k}\Omega$ ，可暂取 $R_3 = 5.1\text{k}\Omega$ ，如不合适可调整。

(4) R_2 、 R_{P1} 的选择

$$R_2 + R_{P1} = R_f - (R_3 // r_D) = 18 - 5/2 = 15.5\text{ k}\Omega$$

为便于调整， R_2 取 $7.5\text{k}\Omega$ ， R_{P1} 取 $10\text{k}\Omega$ 。

3. 文氏电桥正弦信号发生器的制作与调试

(1) 材料清单

本电路的材料清单见表 2.7。

(2) 制作与调试

按电原理图完成焊接，LM324 的引脚见附录。

工作电压取 $\pm 5\text{V}$ ，输出端接示波器。首先调反馈电阻 R_f ，使电路起振，且波形失真最小。如果波形失真较大，可减小 R_3 的值。如果正负半周幅度相差较大，可另换一只 D_1 或 D_2 ，直至幅度基本相等为止。

表 2.7 文氏电桥正弦信号发生器材料清单

元件名称	型号及参数	元件名称	型号及参数
R	RJ14-0.25W-7.5K Ω	R_{P2}	10K Ω 双联电位器
R_1	RT14-0.25W-8.2K Ω	D_1	1N4148
R_2	RT14-0.25W-7.5K Ω	D_2	1N4148
R_3	RT14-0.25W-5.1K Ω	C	CBB-50V-0.01 μF
R_{P1}	10 K Ω	运放	LM324

在得到基本不失真的正弦波后，可用示波器或频率计测量其频率。如频率偏差较多，可调整 R 或 C 的值。为方便调整，最好固定电容器的值而改变电阻的值，应多备一些电阻供选择。

2.5 数字逻辑电路的设计与制作

数字电路在现代电子系统中地位越来越重要。随着大规模集成电路技术的发展,可编程逻辑器件 CPLD 和 FPGA 在比较复杂的数字系统中的使用越来越频繁,但在中、小规模数字系统中,传统的通用数字芯片仍占主导地位,利用这些芯片进行设计和制作仍然是电类专业学生必须掌握的技能。

2.5.1 基本门电路和逻辑电平规范

1. 基本门电路

门电路是数字电路的基本单元。通常有与门、或门和非门。其电路符号见图 2.11,逻辑关系见表 2.8。

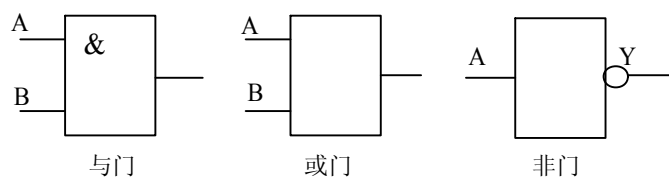


图 2.11 基本门电路符号

表 2.8 逻辑门的输入与输出关系

输入信号		与门	或门	非门
A	B			
0	0	0	0	Y=NOT A
0	1	0	1	
1	0	0	1	
1	1	1	1	

基本门电路是实现各种组合逻辑电路和时序逻辑电路的最基本单元。

2. 逻辑电平的转换

一般数字电路用到的电平形式是 TTL 逻辑电平,除此之外,还有 HTL、ECL、CMOS 等电平形式。

(1) TTL 电平与 HTL 电平的转换

HTL 电路即高值、高抗干扰电路,它的阈值电压比较高(一般在 7~8 V),但由于输入部分是二极管结构,所以速度比较低。通常这种数字集成电路适用于对速度要求不高,但对可靠性要求较高的工业控制设备中。

一般情况下,HTL 数字电路的输出高电平是 $V_{OH} > 11.5V$,输出低电平是 $V_{OL} < 1.5V$,输入短路电流 $I_{IS} < 1.5mA$,输入漏电流 $I_{IH} < 6\mu A$,空载导通电流 $I_{EI} < 6mA$ 。

集成电路 CH2017 可以实现从 TTL 电平向 HTL 电平的转换, CH2016 可以实现从 HTL 电平向 TTL 电平的转换。CH2017 和 CH2016 的引脚见附录。

(2) TTL 电平和 ECL 电平的转换

ECL 电平即发射极耦合逻辑电平, 是一种非饱和型数字逻辑电路, 具有速度快、逻辑功能强、扇出能力强、噪声低、引线串扰小和自带参考源等优点, 广泛应用于数字通信、高精度测试设备和频率合成等场合。

ECL 电路电源一般为 -5.2V (CE10K 系列) 或 -4.5V (CE100K 系列)。输出逻辑高电平分别为 -0.9V 和 -0.955V , 输出逻辑低电平分别为 -1.75V 和 -1.705V 。集成电路 CE1024 可以实现从 TTL 向 ECL 的电平转换, CE1025 可以实现从 TTL 电平向 ECL 电平的转换。CE1024 和 CE1025 的引脚见附录。

(3) TTL 与 CMOS 的电平转换

CMOS 电路具有低功耗、宽工作电压范围、抗干扰能力强、输入阻抗高、扇出能力强的特点, 在要求低功耗的电路中得到广泛应用。

当电源电压为 5V 时, 对于带缓冲门的 CMOS 电路, $V_{\text{IL}} \leq 1.5\text{V}$, $V_{\text{IH}} \leq 3.5\text{V}$ 。

对于不带缓冲门的 CMOS 电路, $V_{\text{IL}} \leq 1\text{V}$, $V_{\text{IH}} \geq 4\text{V}$ 。

对于从 TTL 电平向 CMOS 电平的转换, 由于 TTL 电路输出高电平的规范值为 2.4V , 在电源电压为 5V 时, CMOS 电路的输出高电平大于 3.5V , 这样就造成了 TTL 电路与 CMOS 电路接口上的困难, 解决的办法是在 TTL 电路的输出端与电源接上拉电阻。以最常见 74 系列集成电路为例, 上拉电阻 R 的取值为:

74 系列: $4.7\text{k}\Omega \geq R \geq 390\Omega$ 74H 系列: $4.7\text{k}\Omega \geq R \geq 270\Omega$

74L 系列: $27\text{k}\Omega \geq R \geq 1.5\text{k}\Omega$ 74S 系列: $4.7\text{k}\Omega \geq R \geq 270\Omega$

74LS 系列: $12\text{k}\Omega \geq R \geq 820\Omega$

对于 CMOS 电平向 TTL 电平的转换, 由于 TTL 电路输入短路电流较大, 要求 CMOS 电路在 $V_{\text{OL}}=0.5\text{V}$ 时能给出足够的驱动电流, 因此需要使用 CC4049、CC4050 等作为接口器件, 见图 2.12。

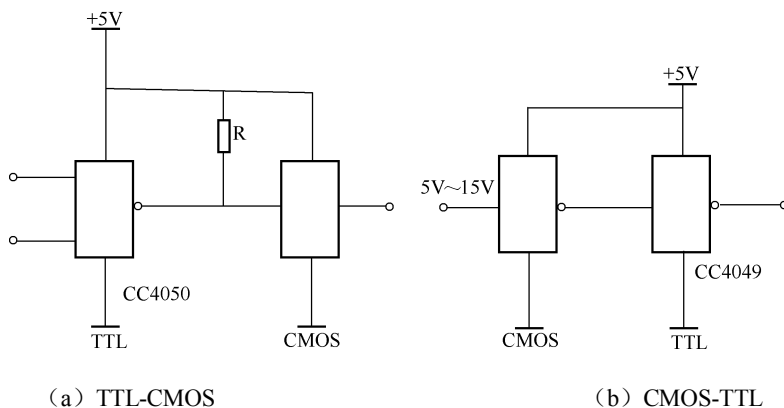


图 2.12 CMOS 与 TTL 之间的电平转换电路

2.5.2 常见数字逻辑芯片

目前最常用的数字逻辑芯片是 74 系列和 4000 系列芯片。表 2.9 和表 2.10 列出了常用 74 系列和 4000 系列芯片的名称及逻辑功能以备查询，具体引脚可查阅相关手册。

表 2.9 常用 74 系列数字逻辑芯片名称及功能

类别	序号	功能	序号	功能
与非门和反相器	7400	四 2 输入与非门	7401	四 2 输入与非门 (OC)
	7403	四 2 输入与非门	7404	6 反相器
	7405	6 反相器 (OC)	7410	三 3 输入与非门
	7412	三 3 输入与非门 (OC)	7413	双 4 输入与非门 (施密特触发)
	7414	6 反相器 (施密特触发)	7418	双 4 输入与非门 (施密特触发)
	7419	6 反相器 (施密特触发)	7420	双 4 输入与非门
	7422	双 4 输入与非门 (OC)	7424	四 2 输入与非门 (施密特触发)
	7426	四 2 输入与非门 (OC、高压输出)	7430	8 输入与非门
74133	13 输入与非门	74134	12 输入与非门 (3 态)	
或非门	7402	四 2 输入或非门	7423	可扩展双 4 输入或非门 (带选通端)
	7425	双 4 输入或非门 (带选通端)	7427	三 3 输入或非门
	74260	双 5 输入或非门		
与门	7408	四 2 输入与门	7409	四 2 输入与门 (OC)
	7411	三 3 输入与门	7415	三 3 输入与门 (OC)
	7421	双 4 输入与门		
缓冲器、驱动器及总线收发器	7406	6 反相缓冲器/驱动器 (OC、高压输出)	7407	6 缓冲器/驱动器 (OC、高压输出)
	7416	6 反相缓冲器/驱动器 (OC、高压输出)	7417	6 缓冲器/驱动器 (OC、高压输出)
	7428	四 2 输入或非缓冲器	7433	四 2 输入或非缓冲器 (OC)
	7434	6 缓冲器	7435	6 缓冲器 (OC)
	7437	四 2 输入与非缓冲器	7438	四 2 输入与非缓冲器 (OC)
	7439	四 2 输入与非缓冲器 (OC)	7440	双四输入与非缓冲器
	74140	双四输入与非线驱动器 (OC)	74240	8 反相缓冲器/线驱动器/线接收器 (3 态)
	74241	8 缓冲器/线驱动器/线接收器 (3 态)	74242	4 总线收发器 (3 态、反相)
	74243	4 总线收发器 (3 态、同相)	74244	8 缓冲器/线驱动器/线接收器 (3 态)
	74245	8 总线收发器 (3 态)	74340	8 缓冲器/线驱动器
	74341	8 缓冲器/线驱动器	74344	8 缓冲器/线驱动器
	74365	6 缓冲器/总线驱动器 (3 态、同相)	74366	6 缓冲器/总线驱动器 (3 态、反相)
	74367	6 缓冲器/总线驱动器 (3 态、同相)	74368	6 缓冲器/总线驱动器 (3 态、反相)
	74425	4 门总线缓冲器 (3 态)	74465	8 总线缓冲器 (3 态、同相门控允许)

续表

类别	序号	功能	序号	功能
缓冲器、驱动器及总线收发器	74466	8 总线缓冲器 (3 态、反相门控允许)	74467	8 总线缓冲器 (同相 4 线和 4 线允许、3 态)
	74468	8 总线缓冲器 (反相 4 线和 4 相允许、3 态)	74540	8 缓冲器/总线驱动器 (3 态、反相)
	74541	8 缓冲器/总线驱动器 (3 态、同相)	74620	8 总线收发器 (3 态)
	74621	8 总线收发器 (OC)	74622	8 总线收发器 (OC)
	74623	8 总线收发器 (3 态)	74638	8 总线收发器 (3 态、OC、反相)
	74639	8 总线收发器 (3 态、OC、同相)	74640	8 总线收发器 (3 态、反相)
	74641	8 总线收发器 (OC、同相)	74642	8 总线收发器 (OC、反相)
	74643	8 总线收发器 (3 态、单反相)	74644	8 总线收发器 (OC、反相)
	74645	8 总线收发器 (3 态、同相)	74795	8 总线缓冲器 (同相门控允许)
	74796	8 总线缓冲器 (反相门控允许)	74797	8 总线缓冲器 (同相 4 线和 4 线允许)
74827	10 缓冲器 (3 态)			
或门	7432	四 2 输入或门		
与或非门	7450	2 输入/3 输入双与或非门	7451	二 2 输入双与或非门
	7453	4 组输入与或非门 (可扩展)	7454	4 组输入与或非门
	7455	2 组 4 输入与或非门	7464	4/2/3/2 输入与或非门
	7465	4/2/3/2 输入与或非门 (OC)		
扩展器	7460	双 4 输入扩展器		
触发器	7470	与输入 JK 正沿触发器 (带清除端、负触发)	7472	与输入 JK 主从触发器 (带预置和清除端)
	7473	双 JK 触发器 (带预置和清除端)	7474	双 D 型正沿触发器 (带预置和清除端)
	7475	4 位双稳态 D 型锁存器	7476	双 JK 触发器 (带预置和清除端)
	7478	双 JK 负沿触发器 (带预置、公共清除和公共时钟端)	74109	双 JK 正沿触发器 (带预置和清除端)
	74110	与输入 JK 主从触发器 (带数据锁定)	74111	双 JK 主从触发器 (带数据锁定)
	74121	单稳多谐振荡器	74122	可再触发单稳多谐振荡器
	74123	双可再触发单稳多谐振荡器	74132	四 2 输入与非施密特触发器
	74174	6D 型触发器 (带清除)	74175	4D 型触发器 (带清除)
	74221	双单稳态多谐振荡器 (带施密特触发器)	74273	8D 型触发器 (带清除)
	74276	4 JK 触发器	74364	8D 触发器 (3 态)
	74374	8D 触发器 (3 态)	74377	8D 触发器
	74378	6D 触发器	74379	4D 触发器
	74422	可再触发单稳多谐振荡器 (带清除)	74423	双可再触发单稳多谐振荡器 (带清除)
	74534	8D 锁存器 (3 态、反相)	74564	8D 触发器 (3 态、反相)

续表

类别	序号	功能	序号	功能
	74574	8D 触发器 (3 态)	74576	8D 触发器
	74577	8D 触发器	74580	8D 锁存器
运算器	7485	4 位幅度比较器	7486	四 2 输入异或门
	74135	4 异或/异或非门	74136	四 2 输入异或门 (OC)
	74180	9 位奇偶数发生器/校验器	74266	四 2 输入异或非门 (OC)
	74280	9 位奇偶数发生器/校验器	74386	四 2 输入异或门
寄存器及移位寄存器	7475	4 位双稳态 D 型锁存器	7477	4 位双稳态锁存器
	74100	8 位双稳态锁存器	74116	双 4 位锁存器
	74164	8 位移位寄存器 (串入并出)	74165	8 位移位寄存器 (并入/互补串出)
	74166	8 位移位寄存器 (串、并入串出)	74198	8 位移位寄存器
	74199	8 位移位寄存器	74256	双 4 位可寻址锁存器
	74259	8 位可寻址锁存器	74278	4 位级联优先寄存器 (输出可控)
	74279	4R-S 锁存器 (双箝位输入、图腾柱输出)	74363	8D 锁存器 (3 态)
	74373	8D 锁存器 (3 态)	74375	4 位双稳态 D 型锁存器
	74533	8D 锁存器 (3 态、反相)	74563	8D 锁存器 (3 态、反相)
74573	8D 锁存器 (3 态)	74674	16 位并入串出移位寄存器	
编码器	74148	8-3 线优先编码器	74348	8-3 线优先编码器 (3 态)
数据选择器	74150	16 选 1 数据选择器 (反相)	74151	8 选 1 数据选择器
	74152	8 选 1 数据选择器	74153	双 4 选 1 数据选择器
	74157	四 2 选 1 数据选择器 (同相)	74158	四 2 选 1 数据选择器 (反相)
	74251	8 选 1 数据选择器 (3 态)	74253	双 4 选 1 数据选择器 (3 态)
	74257	四 2 选 1 数据选择器 (3 态、同相)	74258	四 2 选 1 数据选择器 (3 态、反相)
	74298	4 位 2 选 1 数据选择器 (寄存器输出)	74351	双 8 选 1 数据选择器 (3 态)
	74352	双 4 选 1 数据选择器 (反相)	74353	双 4 选 1 数据选择器 (3 态、反相)
锁相环与压控振荡器	74320	晶体控制振荡器	74324	压控振荡器 (双相输出、允许控制)
	74325	双压控振荡器 (双相输出)	74326	双压控振荡器 (双相输出、允许控制)
	74327	双压控振荡器 (单相输出)	74624	压控振荡器 (双相输出、允许控制)
	74625	双压控振荡器 (双相输出)	74626	双压控振荡器 (双相输出、允许控制)
	74627	双压控振荡器 (单相输出)	74628	压控振荡器 (双相输出、允许控制)
74629	双压控振荡器 (单相输出、允许控制)			
比较器	74518	8 位数值比较器 (OC)	74519	8 位数值比较器 (OC)
	74520	8 位数值比较器	74521	8 位数值比较器
	74522	8 位数值比较器 (OC)		

续表

类别	序号	功能	序号	功能
译码器	74137	3-8 线译码器 (带地址锁存)	74138	3-8 线译码器/多路转换器
	74139	双 2-4 线译码器/多路转换器	74154	4-16 线译码器/多路分配器
	74159	4-16 线译码器/多路分配器 (OC)		
其他	7431	延时单元	7463	6 电流读出接口门
	74120	双脉冲同步器/驱动器	74265	4 互补输出电路
	74942	300Baud 调制解调器 (双电源)	74943	300Baud 调制解调器 (单电源)

表 2.10 常用 4000 系列数字逻辑芯片名称及功能

类别	序号	功能	序号	功能
与非门和反相器	4007	双互补对加反相器	4011	四 2 输入与非门
	4012	双 4 输入与非门	4023	三 3 输入与非门
	4068	输入与门/非门	4069	6 反相器
	4093	四 2 输入与非施密特触发器	4501	双 4 输入与非门、2 输入或/或非门
	4572	6 门 (4 反相器/2 输入或非门/2 输入与非门)	4584	6 施密特触发器 (反相)
或非门、或门、异或门	4000	双 3 输入或非门加 1 输入反相器	4001	四 2 输入或非门
	4002	双 4 输入或非门	4025	三 3 输入或非门
	4030	4 异或门	4070	4 异或门
	4071	四 2 输入或门	4072	双 4 输入或门
	4075	三 3 输入或门	4077	4 异或非门
	4078	8 输入或非/或门	4085	双 2 路 2 输入与或非门
与门	4068	8 输入与门/非门	4073	三 3 输入与门
	4081	四 2 输入与门	4082	双 4 输入与门
缓冲器和驱动器	4009	6 缓冲器/电平变换器 (反相)	4010	6 缓冲器/电平变换器 (同相)
	4041	4 同相/反相缓冲器	4049	6 缓冲器/电平变换器 (反相)
	4050	6 缓冲器/电平变换器 (同相)	4054	4 段液晶显示驱动器
	4055	BCD-7 段译码器/液晶显示驱动器 (频率显示输出)	4056	BCD-7 段译码器/液晶显示驱动器 (可锁存)
	4502	6 反相器/缓冲器 (3 态、带选通端)	4503	6 缓冲器 (3 态)
触发器	4027	双 JK 主从触发器 (带置位和清除端)	4093	四 2 输入与非施密特触发器
	4098	双可再触发单稳态触发器 (带清除端)	40106	6 施密特触发器 (反相)
	40174	6D 型触发器	4538	双精密可再触发单稳态触发器 (带清除端)
	4583	双施密特触发器	4584	6 施密特触发器 (反相)
运算器	4008	4 位二进制超前进位全加器	4063	4 位数值比较器
	40101	9 位奇偶发生器/检验器	4530	双 5 输入过半数逻辑门

续表

类别	序号	功能	序号	功能
运算器	4531	12 位奇偶校验器	4561	“9” 求补器
	4585	4 位数值比较器		
寄存器和锁存器	4006	18 位串入串出静态移位寄存器	4076	4D 型寄存器 (3 态)
	4517	双 64 位静态移位寄存器	4549	近似函数寄存器
	4559	近似函数寄存器	4597	8 位总线兼容锁存器 (3 态)
	4598	8 位总线兼容锁存器 (3 态)	4599	8 位可寻址锁存器
编码器译码器	4532	8 位优先编码器	4555	双二进制 4 选 1 译码器/分配器 (输出 H)
数据选择器和模拟开关	4016	4 双向模拟开关	4019	4 二选一数据选择器
	4051	单 8 通道模拟开关	4052	双 4 通道模拟开关
	4053	三 2 通道模拟开关	4066	4 双向模拟开关
	4067	单 16 通道模拟开关	4097	双 8 通道模拟开关
	4512	8 选 1 数据选择器 (3 态)	4529	双 4 通道/单 8 通道模拟数据开关
	4539	双 4 通道数据选择器	4551	四 2 通道模拟开关
计数器和分频器	40192	可预置十进制可逆计数器 (双时钟)	40193	可预置二进制可逆计数器 (双时钟)
	4510	可预置 BCD 可逆计数器 (单时钟)	4521	24 级分频器
	4534	实时五、十进制计数器	4553	3 数字 BCD 计数器
	4568	相位比较器和可编程计数器	4569	双可预置 BCD/二进制计数器
锁相环	4046	锁相环		

2.5.3 简易抢答器的制作

图 2.13 是一个四路抢答器电路。

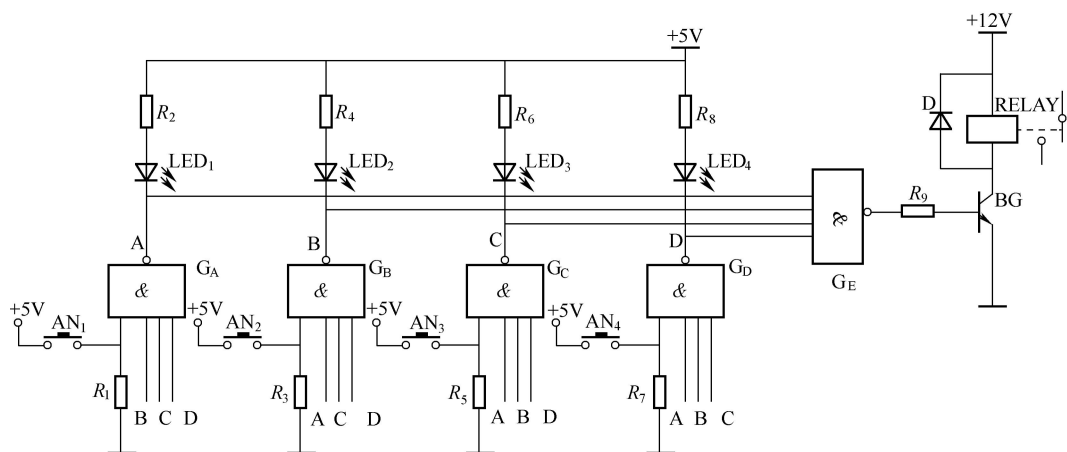


图 2.13 四路抢答器电路原理图

工作原理如下：AN_{1~4}为抢答按钮。当AN_{1~4}未按下时，与非门G_A、G_B、G_C、G_D输出都为高电平，发光二极管LED₁、LED₂、LED₃、LED₄都不亮且与非门G_E输出为低电平，三极管BG截止，继电器（RELAY）不动作，电铃不响。为方便制作，也可以用一个发光二极管代替继电器和保护二极管D供演示，注意发光二极管的方向不要接错。

当某一按钮如AN₁按下，则G_A输出端A为低电平，LED₁亮且三极管BG导通，继电器动作，电铃响。同时，由于A点为低电平，所以G_B、G_C、G_D输出都为高电平，即使其他按钮按下也不起作用，这样就达到了抢答的目的。

该电路的材料清单见表2.11。

表 2.11 四路抢答器材料清单

元件名称	型号及参数	元件名称	型号及参数
R ₁	RT14-1kΩ	R ₂	RT14-300Ω
R ₃	RT14-1kΩ	R ₄	RT14-300Ω
R ₅	RT14-1kΩ	R ₆	RT14-300Ω
R ₇	RT14-1kΩ	R ₈	RT14-300Ω
R ₉	RT14-10kΩ	AN _{1~4}	按钮
LED _{1~4}	发光二极管	D	1N4007
BG	9013	G _A 、G _B	74LS20
G _C 、G _D	74LS20	G _E	74LS20
RELAY	12V 继电器		

2.5.4 双音门铃的制作

555定时器（也称为时基电路）是模拟—数字混合的中规模集成电路，具有电路结构简单、电源电压范围宽等特点，只要外接少量的阻容元器件就可构成单稳态触发器、多谐振荡器和施密特触发器。双极型555的电源电压可取5~16V，输出最大负载电流可达200mA，可直接驱动微电机、指示灯及扬声器等。单极型555的电源电压可取3~18V，但输出最大负载电流为4mA。TTL型单时基电路器件型号最后3位数字为555，双时基电路器件型号的最后3位数字为556；CMOS型单时基电路器件型号的最后4位数字为7555，双时基电路器件型号的最后4位数字为7556。TTL型和CMOS型的逻辑功能和外部引脚排列完全相同。555定时器在脉冲波形的产生与变换、仪器与仪表电路、测量与控制电路、定时和报警以及家用电器与电子玩具等领域都有着广泛的应用。

1. 555定时器的功能

(1) 555定时器的电路结构和引脚排列

图2.14(a)所示为555定时器的内部结构图，(b)图为外部引脚排列图。

由图(a)可以看出，电路基本由四大部分组成。三个5kΩ等值电阻串联组成的分压器，为比较器C₁和C₂提供参考电压；由C₁和C₂组成的比较器用于将输入信号与参考信号进行比较；由G₁和G₂两个与非门组成基本RS触发器；由VT构成放电开关。

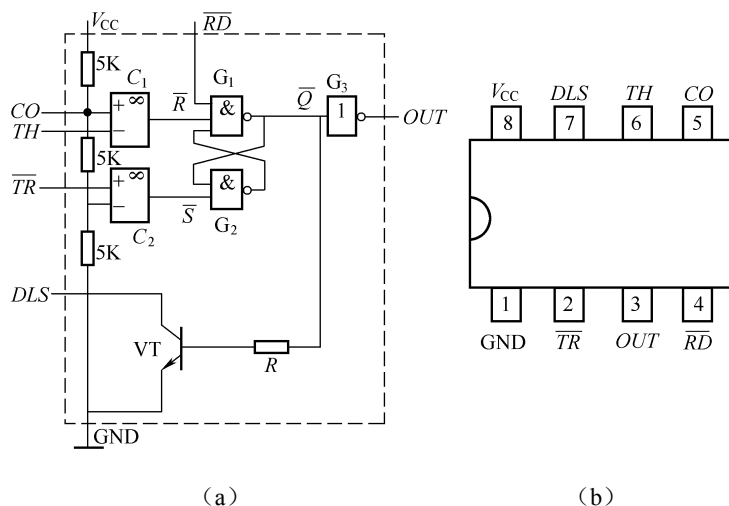


图 2.14 集成 555 定时器的电路结构及引脚排列

图中， CO 端为外部控制电压输入端， TH 端为阈值输入端， \overline{TR} 端为触发输入端， DLS 端为放电端， \overline{RD} 为外部直接复位端， OUT 端为电压输出端。

由图可看出，当 CO 端悬空时，比较器 C_1 的基准电压 $u_{1+} = \frac{2}{3}V_{CC}$ ，而比较器 C_2 的基准电压 $u_{2-} = \frac{1}{3}V_{CC}$ ；而当 CO 端外接控制电压，则可改变两个比较器 C_1 和 C_2 的参考电压大小。如 CO 端直接接外加控制电压 u_{IC} ，则 $u_{1+} = u_{IC}$ ， $u_{2-} = \frac{1}{2}u_{IC}$ 。当 CO 端不用时，一般外接一个 $0.01\mu F$ 的电容器到地，以抑制干扰。

图 2.14 (b) 为引脚排列图，它是一个 8 脚双列直插式结构。

(2) 555 定时器的功能分析

集成 555 定时器的功能取决于在两个比较器的输入端所加信号的电平。

① 直接复位功能

当直接复位输入端 $\overline{RD} = 0$ 时，不管其他输入端是何状态， $\overline{Q} = 1$ ，VT 饱和导通，第 3 脚 OUT 输出低电平。只有 $\overline{RD} = 1$ 时，555 定时器才可实现其他功能。

② 复位功能

当 $U_{TH} > \frac{2}{3}V_{CC}$ 、 $U_{TR} > \frac{1}{3}V_{CC}$ 时，比较器 C_1 输出为 0， C_2 输出为 1，基本 RS 触发器 $\overline{R} = 0$ ， $\overline{S} = 1$ ，完成置 0 功能， $\overline{Q} = 1$ ，VT 饱和导通，第 3 脚 OUT 输出低电平。

③ 置位功能

当 $U_{TH} < \frac{2}{3}V_{CC}$ 、 $U_{TR} < \frac{1}{3}V_{CC}$ 时，比较器 C_1 输出为 1， C_2 输出为 0，基本 RS 触发器 $\overline{R} = 1$ ， $\overline{S} = 0$ ，完成置 1 功能， $\overline{Q} = 0$ ，VT 截止，第 3 脚 OUT 输出高电平。

④ 维持功能

当 $U_{TH} < \frac{2}{3}V_{CC}$ 、 $U_{TR} > \frac{1}{3}V_{CC}$ 时，比较器 C_1 输出为 1， C_2 输出也为 1，基本 RS 触发器

$\bar{R}=1, \bar{S}=1$, 状态保持不变, VT 和第 3 脚 *OUT* 输出状态也保持不变。

综上所述, 列出 555 定时器的功能表如表 2.12 所示。

表 2.12 555 定时器电路功能表

$\bar{R}\bar{D}$	<i>TH</i>	\bar{TR}	<i>OUT</i>	VT
0	×	×	0	导通
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	保持	保持

2. “叮咚”双音门铃

(1) 电路构成

集成 555 定时器构成多谐振荡器时, 适当调节振荡频率, 可构成各种声响电路。图 2.15 所示是由 555 定时器构成的“叮咚”双音门铃电路, 其中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 C_2 和 555 构成多谐振荡器, 4 脚直接复位端外接电容 C_3 到地, 3 脚输出信号驱动扬声器发声。

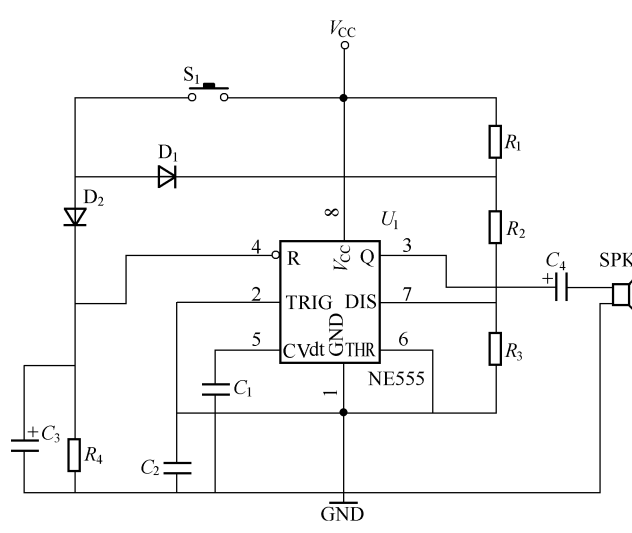


图 2.15 555 定时器构成的双音门铃

(2) 工作原理

当未按下开关 S 时, 由于电容 C_3 的电压为 0V, 即 555 的第 4 脚 (外部直接复位端) 电位为 0, 直接复位端为有效低电平, 555 第 3 脚输出低电平, 门铃不响。

当按下开关 S 时, 电源经 D_2 给 C_3 充电, 由于 D_2 的导电电阻很小, C_3 上的电压很快按指数规律上升到 V_{CC} , 使第 4 脚电位为高电平, 直接复位端不起作用, 555 构成的多谐振荡电路起振。设电容 C_2 的初始电压为 0V, 即 555 定时器 2 脚、6 脚的电压为 0V, 根据 555 定时器

的功能, 3 脚输出高电平, 放电管 VT 截止, 电源经 D_1 、 R_2 、 R_3 对 C_2 充电, 当 u_{C2} 上升 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 时, 3 脚输出低电平, 放电管 VT 导通, 电容 C_2 通过 R_3 、7 脚放电, u_{C2} 按指数规律下降, 当 u_{C2} 下降到 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 时, 3 脚输出高电平, 放电管 VT 又截止, 电源又经 D_1 、 R_2 、 R_3 对 C_2 充电, 如图 2.16 所示, 如此周而复始, 形成自激振荡, 电路发出“叮”的音响, 振荡频率 f_1 由 R_2 、 R_3 、 C_2 决定。

由图 2.16 可知, 多谐振荡器的周期为 $T_1=t_{w1}+t_{w2}$, 其中 t_{w1} 就是电容 C_2 上的电压由 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 按指数规律下降到 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 的时间 (电容放电时间), t_{w2} 就是电容 C_2 上的电压由 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 按指数规律上升到 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 的时间 (电容充电时间), 可以算出

振荡周期为:

$$T_1 = t_{w1} + t_{w2} = 0.7(R_2 + 2R_3)C_2$$

振荡频率为:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0.7(R_2 + 2R_3)C_2}$$

当断开开关 S 时, D_1 、 D_2 截止, R_1 、 R_2 、 R_3 、 C_2 和 555 构成多谐振荡器, 振荡频率 f_2 由 R_1 、 R_2 、 R_3 、 C_2 决定, 同理可得 $f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0.7(R_1 + R_2 + 2R_3)C_2}$, 发出“咚”的音响。同时, C_3 经 R_4 放电, 到第 4 脚电位为 0 时电路停振。电容 C_3 上电压由 V_{CC} 下降到低电平 U_L 的时间为 $t = R_4C_3 \ln \frac{V_{CC}}{U_L}$ 。

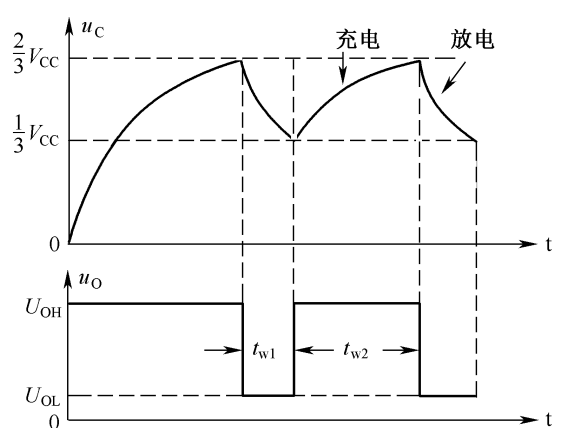


图 2.16 多谐振荡器工作波形

(3) 元器件清单

双音门铃的元器件清单见表 2.13。

表 2.13 元器件清单

位号	元器件	型号	位号	元器件	型号
R_1	电阻器	RT14-30k Ω	C_3	电容器	CD11-47 μ F
R_2	电阻器	RT14-22k Ω	C_4	电容器	CD11-47 μ F
R_3	电阻器	RT14-22k Ω	D_1	二极管	1N4148
R_4	电阻器	RT14-4.7k Ω	D_2	二极管	1N4148
C_1	电容器	独石 0.047 μ F	S_1	按钮	复位按钮
C_2	电容器	独石 0.01 μ F	U_1	555	

2.6 遥控电路的制作

所谓遥控是指对被控对象进行远距离操纵以实现预定的意图。遥控技术可以使操作者对工作在恶劣环境下的被操作对象进行安全操作，也可以对人无法直接操纵的对象进行操作，同时遥控技术也广泛使用在各种家用电器中，大大方便了使用者。

由于遥控电路用途广泛，器件丰富易得，十分适合大学生进行课外制作和科普活动。

2.6.1 遥控系统的基本组成

一个遥控系统，一般包括下面几个环节：指令输入、指令生成、指令发送、指令传输、指令接收、指令解释和指令执行等。

1. 遥控指令的输入

遥控指令的输入一般由按键、按钮或键盘等构成。通过该环节把预先定义的命令输入到有关电路中。

2. 遥控指令的生成

该电路是将输入的指令变换成系统能够识别的命令从而实现对被控对象的操作。这些指令都是以电信号的形式出现的，通常有两类：模拟信号和数字脉冲信号。

3. 遥控指令的发送

该环节是将遥控指令以一定的载体发射出去，如最常见的电视遥控就是通过红外发射管将遥控指令以红外线的形式发送出去。

4. 遥控指令的传输

该环节是将遥控指令传输到接收端，通常可分为有线遥控和无线遥控两大类。其中又以无线遥控更多见。

5. 遥控指令的接收

该环节是接收发送端传来的遥控命令并进行信号的变换、放大和去除干扰等处理。

6. 遥控指令的解释

该电路是遥控指令生成电路的相反过程。主要是判断对被控对象进行怎样的操作或要求被控对象完成怎样的功能。

7. 遥控的执行

该电路是整个遥控系统的终端，是遥控功能的最终完成者。

遥控电路形式多样，目前最常用的有音频遥控、超声波遥控、射频遥控和红外遥控等四大类，本书以红外遥控为例介绍遥控电路的工作原理及其应用。

2.6.2 红外遥控原理

红外遥控是以红外线为载体来传送遥控指令的。红外线的波长介于红光和微波之间，通常认为 $0.77\sim 3\mu\text{m}$ 为近红外区， $3\sim 30\mu\text{m}$ 为中红外区， $30\sim 1000\mu\text{m}$ 为远红外区。红外线在通过云雾尘埃等充满悬浮粒子的空间时不易发生散射，有较强的穿透能力，还具有不易受干扰、易于产生等优点，因而广泛应用于遥控距离不太远、视线无遮挡的场合。

1. 红外发射器件及其驱动电路

最常见的红外发射器件是红外发光二极管（IR LED），目前几种常用 IR LED 的参数见表 2.14。

表 2.14 几种 IR LED 的参数

型号	发射功率 (mW) $I_F=50\text{mA}$	峰值波长 (nm)	U_F (V) $I_F=50\text{mA}$	材料	封装 (mm)	特点
5IR880A	9	880	1.45	GaAlAs	透明 $\Phi 5$	高效高功率
5IR880B	12.25	880	1.45	GaAlAs	透明 $\Phi 5$	高效高功率
5IR2	5	940	1.3	GaAs	透明 $\Phi 5$	经济普通型
5IR3	7	940	1.3	GaAs	透明 $\Phi 5$	经济普通型

最常用的红外发光二极管驱动电路是三极管驱动电路，见图 2.17。

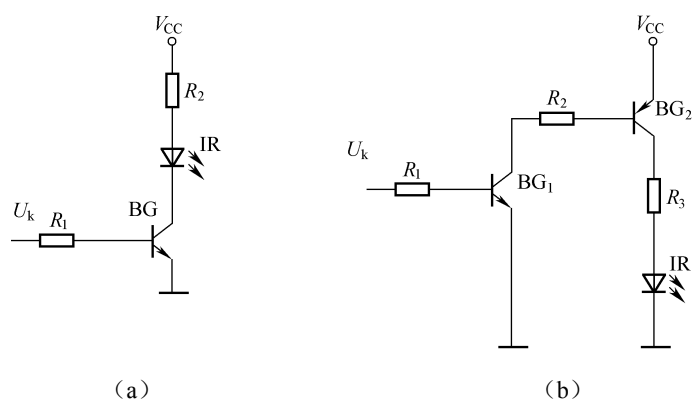


图 2.17 红外发光二极管驱动电路

对于电路 (a)，限流电阻 R_2 的选取主要是考虑红外发射管的最大正向电流 I_F 和导通压降 U_F 。设三极管的饱和压降是 0.3V ，则

$$R_2 = (V_{CC} - U_F - 0.3) / I_C$$

此处， I_C 为三极管的集电极电流，可取为 $(1\sim 2) I_F$ 。 R_1 的选取则应考虑三极管在基极为高电平时能进入饱和状态，即

$$(U_K - U_{BE}) / R_1 > I_C / \beta$$

图 (b) 是一个由 PNP 管和 NPN 管组成的复合驱动电路, 其特点是只要一个较小的电流就可以驱动三极管。而且电阻 R_1 、 R_2 的选取比较随意, 一般 R_1 取 $2\sim 10\text{k}\Omega$, R_2 取 $1\sim 2\text{k}\Omega$ 即可。

2. 红外接收器件

红外接收器件是一种光敏器件, 其作用是将所接收的光信号转变成电信号。最常见的光敏接收器件是光敏二极管。表 2.15 是几种常用的光敏二极管的主要参数。

表 2.15 几种常用的光敏二极管的主要参数

型号	响应光谱 (nm)	光电流 (μA)	暗电流 (nA)	反压 U_R (V)	封装 (mm)
2CU33IR	700~1100	>50	<5	>30	7×7.6, 黑色
2CU35IR	700~1100	>25	<5	>30	5×7.6, 黑色
2CU50IR	700~1100	>10	<10	>30	Φ5, 黑色, 凸镜

红外接收器件所接收的信号一般都很微弱, 需进行放大。根据遥控距离的不同有多种电路形式可供选择。图 2.18 是两种常见的放大电路。

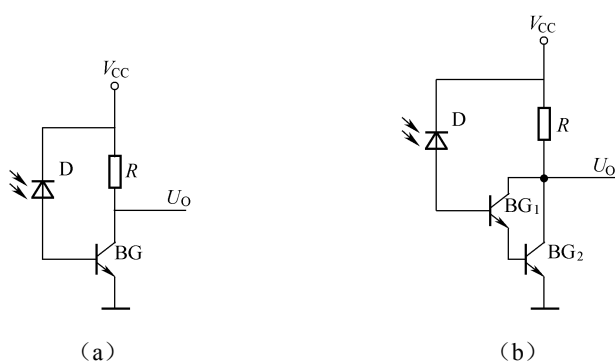


图 2.18 红外接收放大电路

对于图 (a) 来说, R 的选取很重要。一般选 $50\text{k}\Omega$ 左右, 可以较好地满足暗电流时三极管截止, 光电流时三极管饱和的要求。

对于图 (b) 来说, 主要优点是电路的放大倍数更大, 灵敏度比图 (a) 高。

3. 红外遥控信号的调制与解调

红外脉冲信号的波形如图 2.19 所示。其特点是在 $t_1\sim t_2$, $t_3\sim t_4$ 时间有脉冲发生且频率较高, 其余时间没有红外光发生。形如图 2.19 的信号称为已调制信号。采用调制信号传输遥控指令的优点是发射功率大, 抗干扰能力强。在已调制信号中, 信号的包络称为调制信号, 其波形反映了遥控指令的具体内容, 高频脉冲称为载波, 是遥控指令的载体。

图 2.20 是两种常见的红外调制发射电路。

图 (a) 是一种常见的调制电路, 这里与门实际上是一个电子开关。当调制信号为高电平时, 载波通过与门驱动三极管, 使红外发射管 IR 发出与载波同频的红外光。当调制信号为低电平时, 三极管截止, IR 无输出。

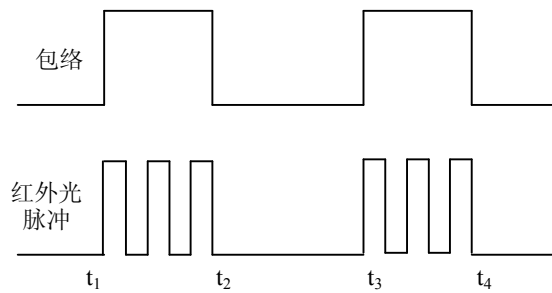


图 2.19 实用红外遥控信号波形

图 (b) 是另一种常见的调制电路, 其原理是利用调制信号控制载波发生器的振荡与否。当调制信号为高电平时, BG_2 导通, 进而 BG_1 饱和导通, 载波发生器获得工作电压, 产生振荡并驱动 BG_3 , 使 IR 发出与载波同频的红外光。当调制信号为低电平时, BG_2 截止, 同时 BG_1 也截止, 载波发生器不振荡, IR 无输出。

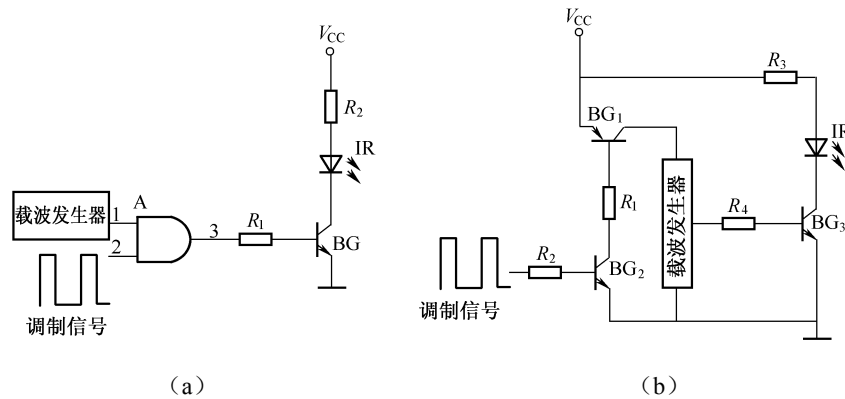
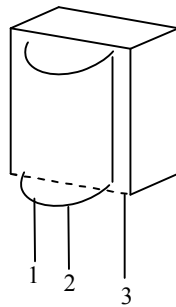


图 2.20 红外调制发射电路

解调电路的作用是从已调信号中取出调制信号, 即信号的包络成分。目前常用的解调电路有专用集成电路 CX20106 和微型红外接收头。两者都具有接收、放大和解调的功能。其中微型红外接收头 (外型见图 2.21) 以其价格低廉、使用方便而备受欢迎。



引脚定义为: 1: 地; 2: 电源 (4.7~5.3V); 3: 信号输出

图 2.21 微型红外接收头

微型红外接收头可以完成从接收、放大、选频到输出的全过程，可接收的脉冲红外调制信号的载频有 32.75kHz、36.7kHz、38kHz、40kHz 四种，当发射器的载频偏离中心频率 1kHz 时，灵敏度有较大下降。

2.6.3 简单红外遥控装置的制作

图 2.22 是一个最简单的脉冲红外发射电路。

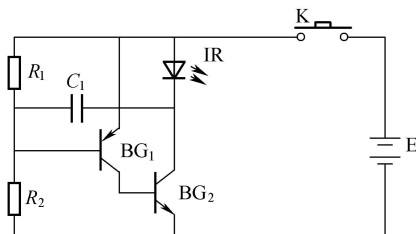


图 2.22 脉冲红外发射电路

BG₁、BG₂、R₁、R₂、C₁ 和红外发射管 IR 组成了振荡电路，BG₂ 同时也是红外发射管的驱动管，振荡频率由 R₁、R₂ 和 C₁ 决定，可以微调 R₂ 的值，使振荡频率约为 38kHz（用示波器测试）。当开关 K 闭合，电路振荡，产生约为 38kHz 的脉冲红外光。发射电路的元件参数见表 2.16。

表 2.16 红外发射电路元器件一览表

元器件	型号及参数	元器件	型号及参数
R ₁	RT14-1/4W-2.2kΩ	IR	5IR2 或 SE303
R ₂	RT14-1/4W-8.2kΩ	BG ₁	9012
C ₁	CT1-63V-0.01μF	BG ₂	9013

图 2.23 是红外接收电路。其中 Receiver 为红外接收头，CD4013 是一个双 D 触发器。关于 CD4013 的引脚可见附录。

在接收电路通电的瞬间，由于 S 端为低，R 为高，故输出端 Q 为低，发光二极管 D₁ 不亮。当红外接收头接收到发射端的红外脉冲信号后，输出端由高电平变成低电平，D 触发器翻转。Q 变成高电平，D₁ 发光。表 2.17 是红外接收电路的元器件及其参数。

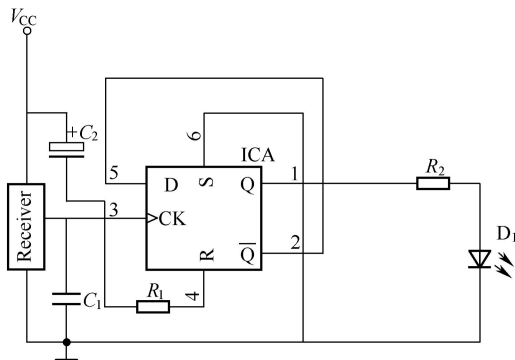


图 2.23 红外接收电路

表 2.17 红外接收电路元器件清单

元器件	型号及参数	元器件	型号及参数
R_1	RT14-1/4W-1k Ω	IC	CD4013
R_2	RT14-1/4W-470 Ω	D_1	发光二极管
C_1	CT1-63V-4700pF	Receiver	红外接收头
C_2	CD11-16V-22 μ F		