

第 2 章 模拟电子技术实验

2.1 单相桥式整流滤波电路

2.1.1 实验目的

- ① 加深对桥式整流电路工作原理的理解。
- ② 了解整流、滤波电路输出电压与输入电压及输出电压与负载电阻的关系。
- ③ 了解滤波电路的作用。
- ④ 掌握桥式整流滤波电路性能指标的测试方法。

2.1.2 实验电路

实验电路如图 2.1 和图 2.2 所示。

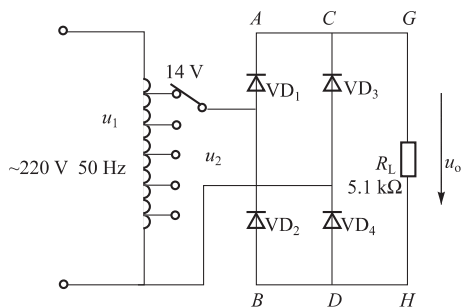


图 2.1 整流电路

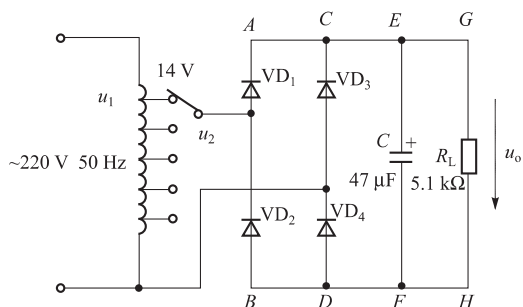


图 2.2 整流滤波电路

2.1.3 实验原理

① 桥式整流电路（如图 2.1 所示），是应用二极管的单向导电性，使得由变压器输出的二次电压经二极管桥式整流电路整流后，在负载上始终得到一个单方向的脉动电压。

② 滤波电路（如图 2.2 所示），是利用储能元件电容的电压（或电流）不能突变的特性，滤掉整流电路输出电压中的交流成分，保留直流成分，从而达到平滑输出电压波形的目的。

2.1.4 实验设备与器材

- ① 双踪示波器，1 台；
- ② 降压变压器，1 台；
- ③ 直流数字电压表，1 台；
- ④ 交流数字毫伏表，1 台；
- ⑤ 直流数字毫安表，1 台；
- ⑥ 整流二极管 IN4007，4 只；
- ⑦ 电解电容 100 μ F/25 V，1 只；
- ⑧ 电阻器 5.1 k Ω ，1 只。

2.1.5 实验内容、步骤和方法

在测试前，首先熟悉实验电路及正确的连线方法，注意变压器的接线，用实验装置台上的交流数字毫伏表测量其变压器输出的二次电压 0 ~ 14 V 挡输出的准确值，即 u_2 的值，记入表 2.1 中。

1. 桥式整流电路的测试

① 按实验电路图 2.1，将 4 只 IN4007 二极管和一只 5.1 k Ω 电阻用连线将其正确连接好，检查无误后，方可将变压器二次输出电压（ u_2 ）14 V 挡接入整流电路，并用实验装置台上的直流数字电压表（20 V 挡）测量整流电路的输出端电压 U_L （测量时表的“+”接 G 点，表的“-”接 H 点），记入表 2.1 中。

② 用示波器观察输出脉动电压的波形，即 U_L (u_o)的波形，将波形图记入表 2.1 中（测试时示波器探头的探针接 G 点，夹子接 H 点）。

③ 断开 C 、 G 两点间的连线，将实验装置台上的直流数字毫安表（20 mA 挡）串接在 C 、 G 两点（表的“+”极接 C 点，表的“-”极接 G 点），测出其输出电流 I_L (I_o)，记入表 2.1 中。

表 2.1 测量的波形和数据

测量项目 电路类别	u_2/V	U_L/V	I_L/mA	u_o （波形）
桥式整流电路				
桥式整流滤波电路				

2. 整流滤波电路的测试

① 按实验电路图 2.2，将实验装置台上的 $100\ \mu\text{F}/25\ \text{V}$ 的电解电容并接在电路中的 E 、 F 两点间（电容的“+”极接 E 点，“-”极接 F 点），用直流数字电压表（ $20\ \text{V}$ 挡）测量电路的输出直流电压 U_L ，方法同上，记入表 2.1 中。

② 方法同上，并将测量的波形和数据一起记入表 2.1 中。

2.1.6 实验报告要求

① 计算输出电压、电流的理论值，并与表 2.1 中的实测值相比较，算出绝对误差。

② 将实测值与理论值（电压、电流、波形）相比较，分析产生误差的原因。

2.1.7 预习与思考

① 复习教材中有关整流、滤波部分的内容。

② 桥式整流电路中，加滤波电容后输出波形有何变化？对平均输出电压值有何影响？

③ 在桥式整流电路中，若有一只二极管反接或电解电容的正负极反接，电路会出现什么问题？

④ 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 的波形？为什么？

2.2 晶体管共射极单管放大电路

2.2.1 实验目的

① 熟悉本实验所用的仪器设备的使用方法及实验电路的原理和连线。

② 学会放大器静态工作点的调试方法，了解并分析静态工作点对放大器性能的影响。

③ 掌握放大器动态工作点的调整及电压放大倍数、输入电阻、输出电阻和最大不失真输出电压的测试方法。

④ 巩固和加深单管放大电路的基本知识。

2.2.2 实验电路

实验电路如图 2.3 所示。

2.2.3 实验原理

图 2.3 为共射极电阻分压式工作点稳定的单管放大器的实验电路图，它的偏置电路是采用 R_{B1} 和 R_{B2} 组成的分压电路，并在发射极中串接电阻 R_E ，以稳定放大器的静态工作点。当放大器的输入端加入输入信号 u_i 后，在放大器的输出端就可得到一个与输入信号 u_i 相位相

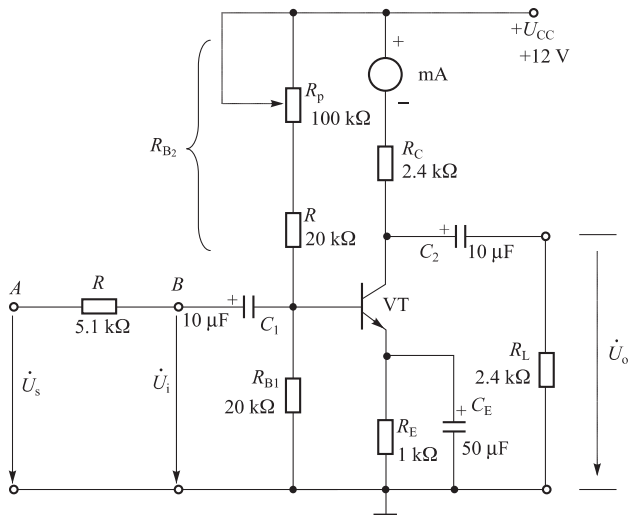


图 2.3 为共射极单管放大实验电路

反，幅度被放大的输出信号 u_o ，从而实现了电压放大。

在图 2.3 电路中，当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于（一般为 5 ~ 10 倍）晶体管 VT 的基极电流 I_B 时，则它的静态工作点可以用以下公式进行估算。

$$\text{基极电压估算式: } U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

$$\text{发射极电流估算式: } I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

$$\text{电压放大倍数估算式: } \dot{A}_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

$$\text{输入电阻估算式: } r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

$$\text{输出电阻估算式: } r_o \approx R_C$$

由于电子元器件性能的分散性比较大，因此在设计和制作晶体管放大电路时，离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元器件的参数，为电路设计提供必要的依据，在完成设计和装配以后，还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质的放大器，必须是理论设计和实验调整相结合的产物。因此，除了学习放大器的理论知识和设计方法外，还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括：放大器静态工作点的测量与调试；消除干扰与自激振荡；放大器各项动态参数的测量与调试等。

1. 放大器静态工作点的测量与调试

(1) 测量静态工作点

测量放大器的静态工作点,应在输入信号 $u_i = 0$ 的情况下进行,即放大器输入端与地端短接,然后用量程合适的直流电压表和直流毫安表分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各极对地的电位 U_B 、 U_C 和 U_E 。一般实验中,避免断开集电极,也可采用测量电压 U_C 或 U_E ,再根据 U_B 或 U_E 值,算出 I_C 的方法。例如,只要测出 U_C ,即可用公式 $I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C}$ 算出

I_C ,由 U_C 确定 I_C (也可根据 $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$ 算出 I_C),同时也能算出 U_{BE} ($U_{BE} = U_B - U_E$)。

为了减少测量误差,提高精度,应选用内阻较高的直流电压表。

(2) 调试静态工作点

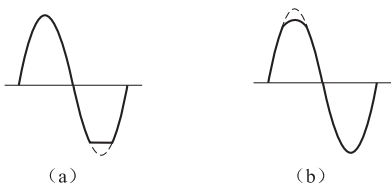


图 2.4 静态工作点对输出电压 (u_o) 波形失真的影响

(a) 饱和失真; (b) 截止失真

调试放大器的静态工作点是指对管子的集电极电流 I_C (或 U_{CE}) 的调整与测试。

静态工作点是否合适,对放大器的性能和输出波形有很大的影响。若工作点偏高,放大器加入交流信号以后,输出电压 u_o 易产生饱和失真(即 u_o 波形的底部被削掉),如图 2.4 (a) 所示;若工作点偏低,放大器的输出电压 u_o 易产生截止失真(即 u_o 波形的顶部被削掉),一般截止失真不如饱和失真明显,如图 2.4 (b) 所示。上述情况都不符合不失真放大的要求,所以在选

定工作点以后还必须进行动态调节,即在放大器的输入端加入一定的输入电压 u_i ,直接用示波器观察输出电压波形是否失真,若产生失真,则应重新调节静态工作点的位置。

改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_B (R_{B1} 、 R_{B2})、 R_E 都会引起静态工作点的变化,但通常用调节基极偏置电阻 R_{B1} (调节 R_p),的方法来改变静态工作点,如减小或增大 R_{B1} (调节 R_p 实现),则可使静态工作点上升或下降。

最后还需说明的是,上述所说的静态工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的,应该是相对信号的幅度而言,如输入信号 u_i 幅度很小,即使工作点较高或较低,也不一定会出现失真。所以说,输出电压的波形失真,实际上是信号幅度与静态工作点设置不合理所致。如需满足较大信号幅度的要求,静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

2. 放大器动态指标测试

放大器的动态指标包括:电压放大倍数、输入电阻,输出电阻,最大不失真输出电压(动态范围)和通频带等。

(1) 电压放大倍数 A_u 的测量

调整放大器到合适的静态工作点,然后加入输入电压 u_i ,在输出电压 u_o 不失真的情况

下, 用交流毫伏表测出 u_i 和 u_o 的有效值 U_i 和 U_o , 则

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(2) 输入电阻 r_i 的测量

为了测量放大器的输入电阻, 按图 2.5 电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知阻值的电阻 R , 在放大器正常工作的情况下, 用交流毫伏表测出 U_S 和 U_i , 则根据输入电阻的定义可得

$$r_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_S - U_i}{R}} = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

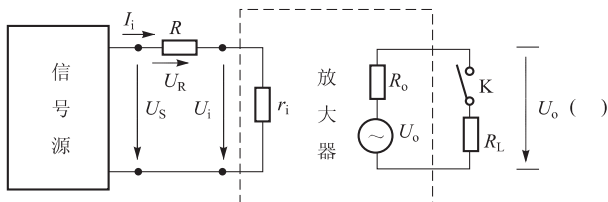


图 2.5 输入、输出电阻测量电路

测量时应注意以下几点:

① 由于电阻 R 两端没有电路公共接地点, 所以测量 R 两端的电压 U_R 时必须分别测出 U_S 和 U_i , 然后按 $U_R = U_S - U_i$ 求出 U_R 的值。

② 电阻 R 的值不宜取得过大或过小, 以免产生较大的测量误差, 通常 R 与 r_i 取同一个数量级, 本实验可取 $R = 3 \sim 5 \text{ k}\Omega$ 。

(3) 输出电阻 r_o 的测量

按图 2.5 电路, 在放大器正常工作条件下, 测出输出端不接负载 R_L (断开 K) 的输出电压 U_o 和接入负载 (合上 K) 后的输出电压 U_L , 根据下式可得

$$U_L = \frac{R_L}{r_o + R_L} U_o$$

即可求出

$$r_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

在测试中应注意, 必须保持 R_L 接入前后信号的大小不变。

(4) 最大不失真的输出电压 $U_{o\text{p-p}}$ 的测量 (最大动态范围)

如上所述, 为了得到最大动态范围, 应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作情况下, 逐渐增大输入信号 u_i 的幅度, 并同时配合调节 R_p (改变静态工作点

位置), 用示波器观察输出信号 u_o 的波形, 当逐渐将输入信号 u_i 的幅度增大到输出信号 u_o 的波形的同时出现削底和削顶失真 (如图 2.6 所示) 现象时, 说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后再逐渐减小输入信号 u_i 的幅度, 使削底和削顶失真同时消失 (反复调节输入信号和 R_p 来实现), 使输出信号幅度最大且不失真 (最大动态范围) 时, 用交流毫伏表测出 U_o (有效值), 或用示波器直接读出最大不失真电压 U_{op-p} , 则动态范围

$$U_{op-p} = 2\sqrt{2}U_o。$$

(5) 放大器幅频特性 (通频带) 的测量

放大器的幅频特性是指放大器的电压放大倍数 A_u 与输入信号频率 f 之间的关系曲线。单管阻容耦合放大电路的幅度特性曲线如图 2.7 所示。

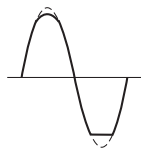


图 2.6 静态工作点正常,
输入信号太大引起的失真

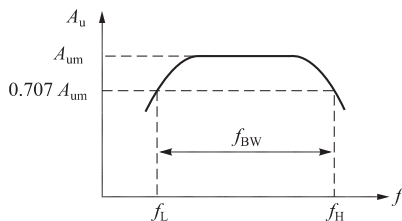


图 2.7 幅频特性曲线

A_{um} 为中频电压放大倍数, 通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频电压放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 倍, 即 $0.707A_{um}$ 所对应的频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H , 则通频带 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

2.2.4 实验设备和器材

- ① 直流稳压电源 (+12 V), 1 台;
- ② 函数信号发生器, 1 台;
- ③ 双踪示波器, 1 台;
- ④ 交流数字毫伏表, 1 台;
- ⑤ 直流数字电压表, 1 台;
- ⑥ 直流数字毫安表, 1 台;
- ⑦ 频率计, 1 台;
- ⑧ 万用表, 1 台;
- ⑨ 晶体三极管 3DG6 或 9011 ($\beta = 50 \sim 100$ 倍), 1 只
(管脚排列如图 2.8 所示);
- ⑩ 电阻、电解电容若干。

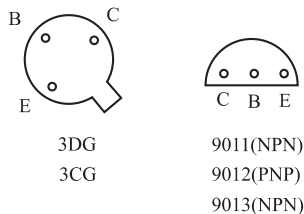


图 2.8 晶体三极管管脚排列

2.2.5 实验内容、步骤与方法

实验电路如图 2.3 所示，为了防止干扰，各仪器的公共接地端必须连在一起，同时信号源、交流数字毫伏表和双踪示波器的信号线应采用专用电缆线或屏蔽线，且屏蔽线的外包金属网应接在公共接地端上。

1. 静态工作点的调试与测量

- ① 接通直流电源前，应先将 R_p 调到最大，函数信号发生器输出旋钮调到零。
- ② 开启直流稳压电源 18 V 组（两路任选一组），将直流数字电压表的 + 接 18 V 直流稳压电源的 +，表的 - 接稳压电源的 -，调节稳压电源的调节旋钮，使直流数字电压表显示为 +12 V（按下 20 V 挡）。

表 2.2 $I_C = 2\text{ mA}$

测 量 值				计 算 值		
U_B/V	U_E/V	U_C/V	$R_{B2}/\text{k}\Omega$	$U_{CE} = U_C - U_E$ (V)	$U_{BE} = U_B - U_E$ (V)	$I_C = (U_{CC} - U_C) / R_C$ (mA)

- ③ 将直流数字毫安表串联在第一级放大器的集电极之间，接通 +12 V 电源（电源 + 极接 + U_{CC} ，电源 - 极接地），调 R_{W1} ，使 $I_C = 2\text{ mA}$ （毫安表显示为 2 mA），即 $U_E \approx 2.0\text{ V}$ 。
- ④ 用直流数字电压表分别测 U_B 、 U_E 、 U_C 及用万用表欧姆 10 k Ω 挡，断电后测量 R_{B2} 值，并计算 U_{CE} 、 U_{BE} 和 I_C 值，记入表 2.2 中。

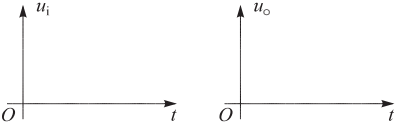
2. 电压放大倍数的测量

- ① 保持已调好的静态工作点。
- ② 开启频率计，测量开关拨到内测。
- ③ 开启函数信号发生器将输出信号调到 1 kHz 10 mV。
- 方法如下。

- ① 按下频段 f_3 按键，调节频率调节旋钮，使频率计上显示为 1 000Hz。
- ② 用连线将函数信号发生器的输出端接交流数字毫伏表的电压输入端（红插孔），函数信号发生器的地接表的 COM 端，按下波形选择按键组的正弦波按键，按下衰减 40 dB 按键，调节幅度调节旋钮，使交流毫伏表显示为 10 mV，这时函数信号发生器的输出信号为正弦波 1 kHz 10 mV 的信号。
- ③ 将 1 kHz 10 mV 的正弦波交流信号输到放大器的 u_i 处（函数信号发生器的输出端与放大器的输入端 u_i 相连，函数信号发生器的地端与放大器的地端相连）。
- ④ 用示波器观察放大器输出电压 U_o 波形，在不失真的条件下，用交流数字毫伏表测量

下述两种情况下的 U_o 值，并用双踪示波器观察 u_o 和 u_i 的相位关系，记入表 2.3 中。

表 2.3 $I_C = 2\text{ mA}$

$R_C/k\Omega$	$R_L/k\Omega$	U_o/V	U_i/mV	$A_u/\text{倍}$	观察记录一组 u_o 和 u_i 相位关系波形图
2.4	∞				
2.4	2.4				

3. 观察静态工作点对输出波形失真的影响
方法：

- ① 置 $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$, $R_L = 2.4\text{ k}\Omega$, $U_i = 0$ (即将信号源输出旋钮旋至零), 调节 R_p 使 $I_C = 2\text{ mA}$, 测出 U_{CE} 的值, 记入表 2.4 中。
- ② 逐渐加大输入信号 u_i , 用示波器观察输出电压 u_o 的波形, 使输出电压 u_o 达到最大不失真, 记录下此时的输入信号 u_i 值, 记入表 2.4 右上角的②位置 $u_i = \underline{\hspace{2cm}}\text{ mV}$ 。
- ③ 保持已调好的输入信号 u_i 不变, 分别调节 R_p 使其增大和减小, 使输出波形出现失真, 分别绘出失真波形, 并用直流毫安表分别测出失真情况下 I_C 和 U_{CE} 值, 且将上述测量值和波形图记入表 2.4 中。

表 2.4

测试条件: ① $I_C = 2\text{ mA}$ 时: $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$, $R_L = 2.4\text{ k}\Omega$, $u_i = 0$;
② 调失真时: $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$, $R_L = \infty$ (断开), $u_i = \underline{\hspace{2cm}}\text{ mV}$.

$I_C\text{ (mA)}$	$U_{CE}\text{ (V)}$	u_o 波形	失真情况	管子工作情况	失真原因
					
2.0					
					

注意：每次测量 I_C 和 U_{CE} 值都要将信号源的输入旋钮调至零，使 $U_i = 0\text{ V}$ （即将放大器输入端与地短接）。

* 4. 测量最大不失真输出电压

方法：置 $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$ ， $R_L = 2.4\text{ k}\Omega$ ，同时调节输入信号幅度（ U_i ）和 R_p ，使输出电压达到最大不失真，用示波器测量输出最大不失真电压值 U_{Op-p} 和用交流数字毫伏表测量输出电压 U_o 值，记入表 2.5 中。

表 2.5

$R_C = 2.4\text{ k}\Omega, R_L = 2.4\text{ k}\Omega$

I_C/mA	U_{im}/mV	U_{om}/V	U_{Op-p}/V

* 5. 测量输入电阻和输出电阻

方法：

（1）测量输入电阻 R_i （实验电路如图 2.5 所示）

置 $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$ ， $R_L = 2.4\text{ k}\Omega$ ， $I_C = 2\text{ mA}$ 。输入 $f = 1\text{ kHz}$ 的正弦波交流信号，在输入电压 U_o 不失真的情况下，用交流数字毫伏表测出 U_S 、 U_i 和 U_L 值，记入表 2.6 中。

（2）测量输出电阻 R_o （实验电路如图 2.5 所示）

保持信号电压 U_S 不变，断开负载电阻 R_L （即 K 断开），测量输出电压 U_o 值，记入表 2.6 中。

表 2.6

$I_C = 2\text{ mA}, R_C = 2.4\text{ k}\Omega, R_L = 2.4\text{ k}\Omega$

U_S/mV	U_i/mV	$r_i = \frac{U_i}{U_S - U_i} R/\text{k}\Omega$		U_L/V	U_o/V	$r_o = \frac{U_o}{U_L - 1} R_L/\text{k}\Omega$	
		测量值	计算值			测量值	计算值

* 6. 测量幅频特性曲线（通频带）

方法：

① 取 $R_C = 2.4\text{ k}\Omega$ ， $R_L = 2.4\text{ k}\Omega$ ， $I_C = 2\text{ mA}$ ，调节输入信号 U_i 和 R_p ，使输出电压 U_o 最大不失真（可通过示波器观察），记下此时的 U_i 值（用交流数字毫伏表测出），记入表 2.7 右上角 $U_i = \underline{\hspace{2cm}}\text{ mV}$ 位置。

② 保持输入信号 U_i 的幅度不变，改变信号源频率 f ，逐点测出相对应的输出电压 U_o ，记入表 2.7 中。

表 2.7

$U_i = \rule{1cm}{0.4pt} \text{ mV}$

f/kHz						1.0					
U_o/V											
$A_u = \frac{U_o}{U_i}/\text{倍}$											

为了取得合适的信号源频率(f)值,可先粗测一下,找出中频范围(可取音频的典型中频频率 1.0 kHz 为起降值进行逐点降频调节),然后再仔细读数。实验中具体的操作方法如下。

调节频率调节旋钮,使信号源的频率 f 从 1 kHz 向低频端逐渐降低,并注意观察输出电压 U_o (用交流数字毫伏表监测),当输出电压 U_o 开始降低时,记下此时输入信号的频率 f 值(用频率计监测),然后再往低调节输入信号源的频率 f ,使输出电压 U_o 下降到 1 kHz 时的 0.707 倍(即 70%),再记下此时输入信号的频率 f (应保持输入信号幅度不变),在这区间范围内多取几个输入信号的频率点(一般取 4~6 个较合适),记下相对应的输出电压 U_o ,记入表 2.7 中;高频端的测试,可以参照低频端的测试方法进行操作,然后根据实验数据,参照实验原理绘制出幅频特性曲线图。

说明:因本次实验内容较多,其中 4、5、6 为选作内容,各专业可根据本专业的专业需要,具体选作。

2.2.6 实验报告要求

- ① 列表整理测量结果,并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入和输出电阻的值与理论值比较(取一组数据进行比较),分析产生误差的原因。
- ② 总结 R_C 、 R_L 及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。
- ③ 讨论静态工作点的变化对放大器输出波形的影响。
- ④ 讨论分析在放大器调试过程中出现的问题。

2.2.7 预习与思考

① 阅读教材中有关单管放大电路的内容并估算实验电路的性能指标。如本实验中所用的三极管为 3DG6,假设 $\beta=100$, $R_{B1}=20\text{ k}\Omega$, $R_{B2}=60\text{ k}\Omega$, $R_C=R_L=2.4\text{ k}\Omega$,试计算:

a. 放大器的静态工作点 (I_B 、 I_C 、 U_{CE}),即:

$$I_B = \frac{U_{CC}}{R_B}; I_C = \beta I_B; U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

b. 放大器的电压放大倍数 A_V ，即：

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(3) 放大器的输入电阻 r_i ，即：

$$r_i = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

(4) 放大器的输出电阻 r_o ，即：

$$r_o = \frac{U_o}{U_L - 1} R_L$$

② 能否使用直流电压表直接测量三极管的 U_{BE} ？为什么实验中要采用测 U_B 、 U_E ，再间接算出 U_{BE} 的方法？

③ 怎样测量 R_{B2} 的阻值？

④ 当调节偏置电阻 R_{B2} ，使放大器输出波形分别产生饱和失真和截止失真时，三极管的管压降 U_{BE} 怎样变化？

⑤ 在测试 A_V 、 r_i 、 r_o 时，怎样选择输入信号幅度的大小和频率？为什么信号频率一般选 1 kHz，而不选 100 kHz 或更高？

⑥ 改变静态工作点对放大器输入电阻 r_i 有否影响？改变外接负载电阻 R_L 对输出电阻 r_o 有否影响？

2.3 场效应管放大电路

2.3.1 实验目的

- ① 了解结型场效应管的性能和特点。
- ② 学会调整和测量场效应管放大电路的静态工作点。
- ③ 学会测量场效应管放大电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。

2.3.2 实验电路

实验电路如图 2.9 所示。

2.3.3 实验原理

场效应管是一种电压控制器件。按结构可分为结型和绝缘栅型两种类型。由于场效应管栅源之间处于绝缘或反向偏置，所以输入电阻很高（一般可达上百兆欧），又由于场效应管是一种多数载流子控制器件，因此热稳定性好，抗辐射能力强，噪声系数小。加之制造工艺

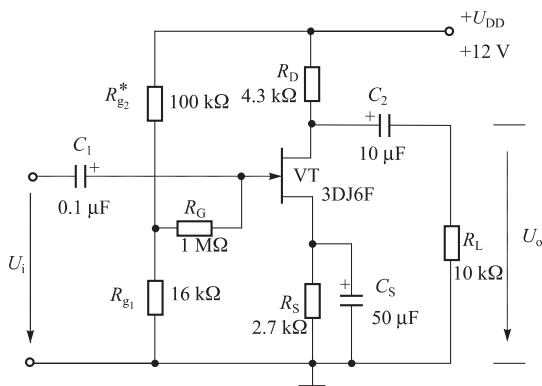


图 2.9 结型场效应管共源极放大电路

较简单，便于大规模集成，因此得到广泛的应用。

1. 结型场效应管的特性和参数

场效应管的特性主要有输出特性和转移特性，如图 2.10 所示为 N 沟道结型场效应管 3DJ6F 的输出特性和转移特性曲线。其直流参数主要有饱和漏极电流 I_{DSS} 和夹断电压 U_P 等。交流参数主要有低频跨导 g_m ：

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \right|_{U_{DS} = \text{常数}}$$

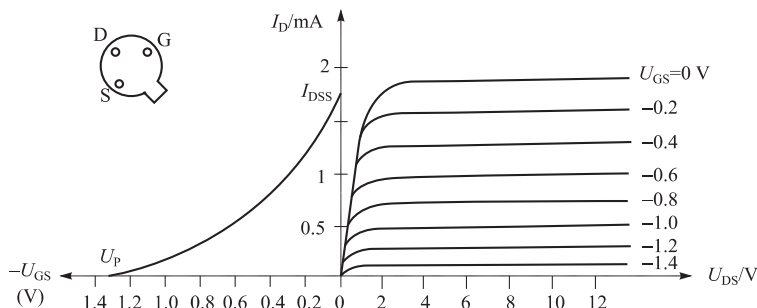


图 2.10 3DJ6F 的输出特性和转移特性曲线

表 2.8 列出的是 3DJ6F 的典型参数值及测试条件。

表 2.8 3DJ6F 的典型参数值

参数名称	饱和漏极电流 I_{DSS}/mA	夹断电压 U_{p}/V	跨导 $g_{\text{m}}/(\mu\text{A}/\text{V})$
测试条件	$U_{\text{DS}} = 10\text{ V}$ $U_{\text{GS}} = 0\text{ V}$	$U_{\text{DS}} = 10\text{ V}$ $I_{\text{DS}} = 50\text{ }\mu\text{A}$	$U_{\text{DS}} = 10\text{ V}$ $I_{\text{DS}} = 3\text{ mA}$ $f = 1\text{ kHz}$
参数值	1 ~ 3.5	< -9	> 100

2. 场效应管放大器性能分析

图 2.9 是结型场效应管组成的共源极放大电路。其静态工作点如下。

$$G-S \text{ 极间电压: } U_{\text{GS}} = U_{\text{G}} - U_{\text{S}} = \frac{R_{\text{g1}}}{R_{\text{g1}} + R_{\text{g2}}} U_{\text{DD}} - I_{\text{D}} R_{\text{S}}。$$

$$\text{漏极电流: } I_{\text{D}} = I_{\text{DSS}} \left(1 - \frac{U_{\text{GS}}}{U_{\text{p}}} \right)^2。$$

$$\text{中频电压放大倍数: } \dot{A}_{\text{u}} = -g_{\text{m}} R'_{\text{L}} = -g_{\text{m}} R_{\text{D}} // R_{\text{L}}。$$

$$\text{输入电阻: } r_{\text{i}} = R_{\text{G}} + R_{\text{g1}} // R_{\text{g2}}。$$

$$\text{输出电阻: } r_{\text{o}} \approx R_{\text{D}}。$$

式中跨导 g_{m} 可由特性曲线用作图法求得，也可用以下公式计算：

$$g_{\text{m}} = -\frac{2I_{\text{DSS}}}{U_{\text{p}}} \left(1 - \frac{U_{\text{GS}}}{U_{\text{p}}} \right)$$

但要注意，计算时 U_{GS} 要用静态工作点处之数值。

3. 输入电阻 r_{i} 的测量方法

由场效应管组成的共源极放大器的静态工作点、电压放大倍数和输出电阻 R_{o} 的测量方法与 2.3 晶体管共射极单管放大器实验中所述的方法相同。其输入电阻 r_{i} 的测量，从原理上讲，也可采用 2.3 晶体管共射极单管放大器实验中所述的方法，但由于场效应管的输入电阻 r_{i} 比较大，如直接测量输入电压 U_{S} 和 U_{i} ，则限于测量仪器的输入电阻有限，必然会带来较大的误差。因此为了减小误差，常利用被测放大器的隔离作用，通过测量输出电压 U_{o} 来计算输入电阻 r_{i} ，其输入电阻 r_{i} 的测量电路如图 2.11 所示。

在放大器的输入端串入电阻 R ，把开关 K 掷向位置 1（即使 $R=0$ ），测量放大器的输出电压 U_{o1} （ $U_{\text{o1}} = A_{\text{u}} U_{\text{S}}$ ）；保持 U_{S} 不变，再把开关 K 掷向位置 2（即接入 R ），测量放大器的输出电压 U_{o2} 。由于两次测量中 A_{u} 和 U_{S} 保持不变，故 $U_{\text{o2}} = A_{\text{u}} U_{\text{i}} = \frac{r_{\text{i}}}{R + r_{\text{i}}} U_{\text{S}} A_{\text{u}}$ ，由此可

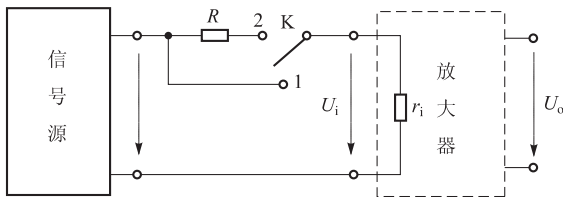


图 2.11 输入电阻测量电路

以求出：

$$r_i = \frac{U_{o_2}}{U_{o_1} - U_{o_2}} R$$

式中， R 和 r_i 不要相差太大，本次实验可取 $R = 100 \sim 200 \text{ k}\Omega$ 。

2.3.4 实验设备与器材

- ① +12 V 直流稳压电源，1 台；
- ② 函数信号发生器，1 台；
- ③ 频率计，1 台；
- ④ 双踪示波器，1 台；
- ⑤ 交流数字毫伏表，1 台；
- ⑥ 直流数字电压表，1 台；
- ⑦ 3DJ6F 结型场效应管，1 只；
- ⑧ 电阻器、电解电容若干。

2.3.5 实验内容、步骤与方法

1. 静态工作点的测量与调整

① 按实验电路图 2.9 连接电路，令 $U_i = 0$ ，接通 +12 V 直流电源，用直流数字电压表测量 U_G （G 极对地）、 U_S （S 极对地）和 U_D （D 极对地）。并检查静态工作点是否在特性曲线放大区的中间部分（一般正常合适的静态工作点的 $U_{DS} \approx \frac{U_{DD}}{2}$ ，也可用直流数字电压表测量 U_{DS} 的值，再查表 2.8 得 3DJ6F 的 I_D 在 1~3.5 mA 范围，本次实验取 $I_D = 1 \text{ mA}$ ，并根据 I_D 和 U_{DS} 的值在输出特性曲线上描出 Q 点的位置，即可判断静态工作点是否在放大区的中间部分）。若静态工作点合适，把 U_G 、 U_S 和 U_D 的测量值记入表 2.9 中。

② 若静态工作点不合适，则适当调整 R_{g_2} 和 R_S ，调整后，再测量 U_G 、 U_S 和 U_D 值，

记入表 2.9 中。

表 2.9 测量值和计算值

测 量 值					计 算 值			
U_G/V	U_S/V	U_D/V	U_{DS}/V	I_D/mA	U_{GS}/V	U_{DS}/V	U_{GS}/V	I_D/mA

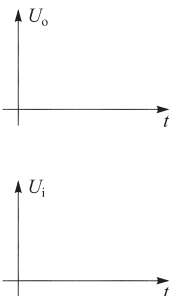
注： $U_{DS} = U_{DD} - (R_D + R_S)I_D$ ； $U_{GS} = U_G - U_S$ ； $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$ 。

2. 电压放大倍数 A_u 、输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 的测量

(1) 电压放大倍数 A_u 和输出电阻 r_o 的测量 ($r_o \approx R_D$)

从函数信号发生器输出一个 $f=1\text{ kHz}$ ， $U_i=30\sim50\text{ mV}$ 的正弦信号，接入放大器的输入端 U_i （函数信号发生器的输出端接放大器的输入端 U_i ，函数信号发生器的地端接放大器的地端），并用示波器监视放大器的输出电压 U_o 的波形。在输出电压 U_o 没有失真的条件下，用交流数字毫伏表分别测量 $R_L=\infty$ 和 $R_L=10\text{ k}\Omega$ 时的输出电压 U_o 。（注意保持输入信号 U_i 幅度不变），记入表 2.10 中。同时用示波器观察 U_i 和 U_o 的波形，也描绘在表 2.10 中的相应位置，并分析它们的相位关系。

表 2.10 电压放大倍数 A_u 和输出电阻 r_o 的测量

测 量 值					计 算 值		选一组 U_i 和 U_o 的波形
测量项目 测量条件	U_i/V	U_o/V	$A_u/\text{倍}$	$r_o/k\Omega$	$A_u = \frac{U_o}{U_i}$ /倍	$r_o \approx R_D$ /kΩ	
$R_L = \infty$							
$R_L = 10\text{ k}\Omega$							

(2) 输入电阻 r_i 的测量

按图 2.11 改接实验电路，选择合适大小的输入电压 U_S （ $U_S \approx 15\sim100\text{ mV}$ ），将开关 K 掷向位置 1，测量 $R=0$ 时放大器的输出电压 U_{o1} ；然后再将开关 K 掷向位置 2（即接入电阻

R) 保持 U_S 不变, 再测量放大器的输出电压 U_{o2} , 根据公式 $r_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R$, 求出 r_i , 记入表 2.11 中。

表 2.11 输入电阻 R_i 的测量

测 量 值			计 算 值
U_{o1}/V	U_{o2}/V	$r_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}}/k\Omega$	$r_i = R_G + R_{g1} // R_{g2}/k\Omega$

2.3.6 实验报告要求

- ① 整理实验数据, 并将 A_u 、 r_i 、 r_o 的实测值与理论计算值进行比较, 分析产生误差的原因。
- ② 把场效应管放大器与晶体三极管放大器进行比较, 总结场效应管放大器的特点。

2.3.7 预习与思考

- ① 复习有关场效应管部分的内容, 并思考在测量场效应管静态工作电压 U_{GS} 时, 能否用直流电压表并接在 G、S 两极测量? 为什么?
- ② 为什么在测量场效应管输入电阻时, 要用测量输出电压的方法?
- ③ 为什么接入负载电阻 R_L 后, 场效应管的电压放大倍数会减小?
- ④ 场效应管放大器输入回路的电容 C_1 为什么可以取小一些 (可取 $C_1 = 0.1 \mu F$)?

2.4 负反馈放大器

2.4.1 实验目的

- ① 加深理解负反馈对放大器性能指标的影响和放大器电路中引入负反馈的方法。
- ② 进一步熟悉放大器静态工作点和各项性能指标的测量方法。

2.4.2 实验电路

实验电路如图 2.12 所示。

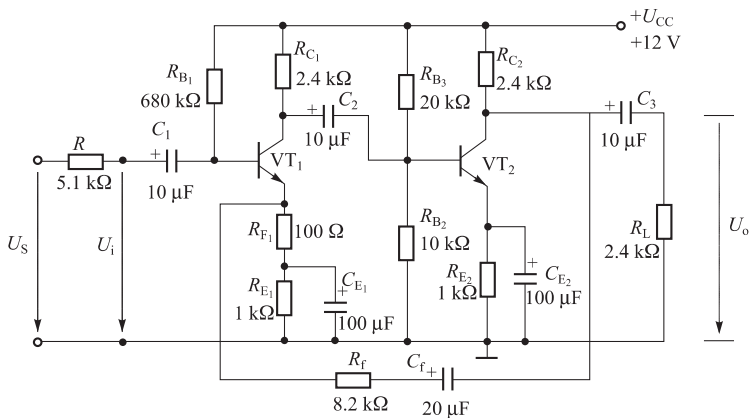


图 2.12 带有电压串联负反馈的两级阻容耦合放大器

2.4.3 实验原理

负反馈在电子电路中有着非常广泛的应用，虽然它会使放大器的放大倍数降低，但能在多方面改善放大器的动态指标，如能稳定放大倍数，改变输入、输出电阻，减小非线性失真和展宽通频带等。因此，几乎所有的实用放大器都带有负反馈。

负反馈放大器有 4 种组态，即电压串联型、电压并联型、电流串联型和电流并联型。本实验以电压串联型负反馈为例，分析负反馈对放大器各项性能指标的影响。

① 图 2.12 为带有电压串联负反馈的两级阻容耦合放大电路，在电路中，通过反馈电阻 R_f 把输出电压 U_o 引回到输入端，加在晶体三极管 V_1 的发射极上，在发射极电阻 R_{F1} 上形成了反馈电压 U_f 。根据反馈的判断法可知，它属于电压串联负反馈。其主要性能指标如下。

$$\text{闭环电压放大倍数: } A_{uf} = \frac{A_u}{1 + A_u F_u}$$

式中， $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 为基本放大器（无反馈时）的电压放大倍数，即开环电压放大倍数； $1 + A_u F_u$ 为反馈深度，它的大小决定了负反馈对放大器性能改善的程度。

$$\text{反馈系数: } F_u = \frac{R_{F1}}{R_f + R_{F1}}。$$

$$\text{输入电阻: } r_{if} = (1 + A_u F_u) r_i。$$

式中， r_i 为基本放大电路的输入电阻。

$$\text{输出电阻: } r_{of} = \frac{r_o}{1 + A_{uo} F_u}$$

式中, r_o 为基本放大器的输出电阻; A_{uo} 为基本放大器在 $R_L = \infty$ 时的电压放大倍数。

② 本实验还需要测量基本放大器的动态参数, 怎样得到无反馈的基本放大器呢? 不能简单地断开反馈回路, 而是要去掉反馈作用, 但又要把反馈网络的影响 (负载效应) 考虑到基本放大器中去, 为此:

a. 在画基本放大器的输入回路时, 因为是电压负反馈, 所以可将负反馈放大器的输出端交流短路, 即令 $U_o = 0$, 此时 R_f 相当于并联在 R_{F1} 上。

b. 在画基本放大器的输出回路时, 由于输入端是串联负反馈, 因此需将反馈放大器的输入端 (V_1 管的射极) 开路, 此时 $(R_f + R_{F1})$ 相当于并接在输出端, 可近似认为 R_f 并接在输出端。

根据上述规律, 于是得到如图 2.13 所示的基本放大器。

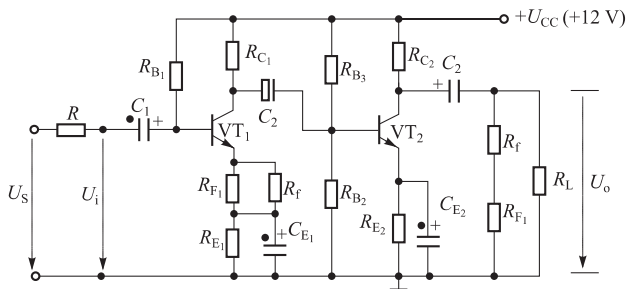


图 2.13 基本放大器

2.4.4 实验设备与器材

- ① 直流稳压电源 (+12 V), 1 台;
- ② 函数信号发生器, 1 台;
- ③ 频率计, 1 台;
- ④ 双踪示波器, 1 台;
- ⑤ 交流数字毫伏表, 1 台;
- ⑥ 直流数字电压表, 1 台;
- ⑦ 晶体三极管 3DG6 或 9013 ($\beta = 50 \sim 100$), 2 只;
- ⑧ 电阻器、电解电容器若干。

2.4.5 实验内容、步骤与方法

1. 静态工作点的测量

按图 2.12 连接实验电路, 取 $U_{CC} = +12\text{ V}$, $U_i = 0\text{ V}$, 用直流数字电压表分别测量第一级、第二级放大器的静态工作点, 记入表 2.12 中。

表 2.12 静态工作点的测量

测量项目 放大级	U_B/V	U_E/V	U_C/V	计算值: $I_C=(U_{CC}-U_C)/R_CI_C/mA$
第一级				
第二级				

2. 基本放大器各项性能指标的测量

按图 2.13 改接实验电路, 即把 R_f 断开后, 将 R_f 并接在 R_{F1} , 再将 R_f+R_{F1} 并接在 R_L 上, 其他连线不动。

① 测量中频电压放大倍数 A_u 、输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 。

a. 从函数信号发生器输出一个频率 $f=1\text{ kHz}$, 信号电压 U_s 约为 5 mV 的正弦信号输入放大器输入端 U_u 处, 并用示波器监视放大器输出电压 U_o 的波形, 在 U_o 不失真的情况下, 用交流数字毫伏表测量 U_s, U_i, U_L (接有负载电阻 R_L), 记入表 2.13 中。

b. 保持信号电压 U_s 不变, 断开负载电阻 R_L (注意 R_f 不要断开), 测量空载 (无 R_L) 时放大器的输出电压 U_o , 记入表 2.13 中。

表 2.13 电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的测量

基本放大器	U_s/mV	U_i/mV	U_L/V	U_o/V	$A_u/\text{倍}$	$r_i/k\Omega$	$r_o/k\Omega$
负反馈放大器	U_s/mV	U_i/mV	U_{Lf}/V	U_{of}/V	$A_{uf}/\text{倍}$	$r_{if}/k\Omega$	$r_{of}/k\Omega$

② 通频带的测量。接上负载电阻 R_L , 保持信号电压 U_s 不变, 参照前面测量幅频特性曲线的方法, 通过增加和减小输入信号的频率, 找出上限频率 f_H 和下限频率 f_L , 记入表 2.14 中。

表 2.14 频带的测量

基本放大器	f_L/kHz	f_H/kHz	$\Delta f/kHz$
负反馈放大器	f_{Lf}/kHz	f_{Hf}/kHz	$\Delta f_f/kHz$

3. 测量负反馈放大器的各项性能指标

将实验电路恢复为图 2.12 的负反馈放大器电路。适当加大信号电压 U_s (约 10 mV),

在输出电压 U_o 波形不失真的情况下，用交流数字毫伏表测量以下项目。

- ① 负反馈放大器的 U_S 、 U_i 、 U_{Lf} （接有负载电阻 R_L ），记入表 2.13 中。
- ② 保持信号电压 U_S 不变，断开 R_L ，测量 U_{of} ，记入表 2.13 中。
- ③ 接上 R_L ，保持信号电压 U_S 不变，按前测通频带的方法，找出上限频率 f_{HF} 和下限频率 f_{LF} ，记入表 2.14 中。

*4. 观察负反馈对非线性失真的改善

负反馈对非线性失真改善的观察从以下两步进行。

① 将实验电路按图 2.13 改接成基本放大器形式，在放大器的输入端（ u_i ）加入一个频率 $f=1\text{ kHz}$ 的正弦信号，在放大器的输出端（ u_o ）接入示波器，逐渐增大输入信号 U_i 的幅度，使放大器的输出电压 U_o 开始出现失真，记下此时输出电压 U_o 的波形和幅度，再用交流数字毫伏表测量并记下此时的输入电压 U_i 的值。

② 将实验电路按图 2.12 改接成负反馈放大器，调节函数信号发生器的输出幅度调节旋钮，使负反馈放大器的输入电压 U_i 值与前述步骤①的 U_i 相同，观察并记下此时放大器输出电压 U_o 的波形和幅度，与上述步骤①的相比较。逐渐增大输入信号的幅度，使输出电压 U_o 的波形幅度与前述步骤①的相同，注意观察 U_o 的波形是否失真。再用交流数字毫伏表测量并记下此时的输入电压 U_i 的值与前述①步骤相比较。

2.4.6 实验报告要求

- ① 将基本放大器和负反馈放大器动态参数的实测值和理论估算值列表进行比较。
- ② 根据实验结果，总结电压串联负反馈对放大器性能的影响。

2.4.7 预习与思考

- ① 复习教材中有关负反馈放大器的内容。
- ② 怎样把负反馈放大器改接成基本放大器？为什么要把 R_f 并接在输入和输出端？
- ③ 如按深负反馈估算，则闭环电压放大倍数 A_{uf} 为多少？和测量值是否一致？为什么？
- ④ 估算基本放大器的 A_u 、 r_i 和 r_o ，估算负反馈放大器的 A_{uf} 、 r_{if} 和 r_{of} ，并验算它们之间的关系。
- ⑤ 如输入信号存在失真，能否用负反馈来改善？

2.5 差动放大器

2.5.1 实验目的

- ① 加深对差动放大器性能及特点的理解。

② 学习差动放大器的主要性能指标的测量。

2.5.2 实验电路

实验电路如图 2.14 所示。

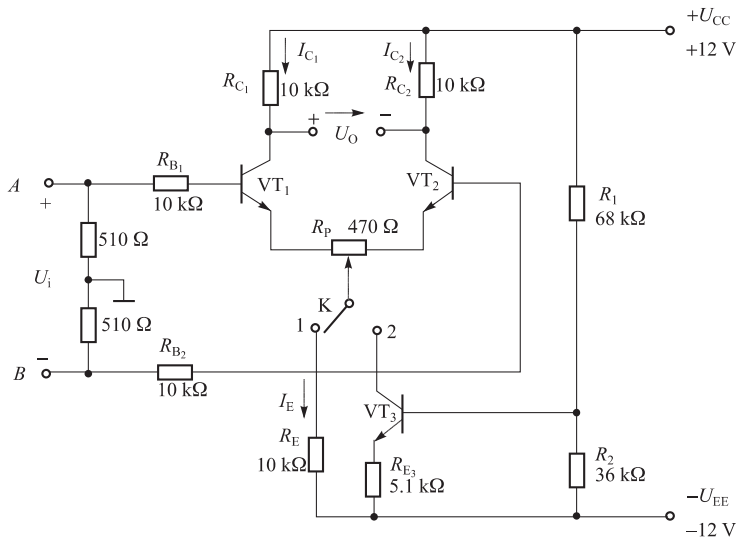


图 2.14 差动放大器实验电路

2.5.3 实验原理

如图 2.14 所示是差动放大器的基本结构，它是由两个参数不同的共射极基本放大电路组成。当开关 K 拨向位置 1 时，构成典型差动放大器。调零电位器 R_p 用来调节 VT_1 、 VT_2 管的静态工作点，使得输入信号 $U_i = 0$ 时（函数信号发生器的幅度调节旋钮调到零），双端的输出电压 $U_o = 0$ 。 R_{E1} 为 VT_1 、 VT_2 两管共用的射极电阻，它对差模信号无负反馈作用，因此不影响差模电压放大倍数，但对共模信号有较强的负反馈作用，为此可以有效地抑制零漂，稳定静态工作点。

当开关 K 拨向位置 2 时，构成具有恒流源的差动放大器。它用晶体管恒流源代替发射极电阻 R_E ，可以进一步提高差动放大器抑制共模信号的能力。

1. 静态工作点的估算

(1) 典型差动放大器（开关 K 拨向位置 1）

$$I_E \approx \frac{|U_{EE}| - U_{BE}}{R_E} \quad (\text{可以认为 } U_{B1} = U_{B2} \approx 0),$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{1}{2} I_E。$$

(2) 恒流源电路 (开关 K 拨向位置 2)

$$I_{C_3} \approx I_{E_3} \approx \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} (U_{CC} + |U_{EE}|) - U_{BE}}{R_{E_3}}$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{1}{2} I_{C_3}。$$

2. 差模电压放大倍数和共模电压放大倍数

当差模放大器的射极电阻 R_E 足够大, 或采用恒流源电路时, 差模电压放大倍数 A_d 由输出方式决定, 而与输入方式无关。

双端输出 ($R_E = \infty$, R_P 在中心位置时):

$$A_d = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = - \frac{\beta R_C}{R_B + r_{be} + \frac{1}{2}(1 + \beta)R_P}$$

单端输出:

$$A_{d1} = \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta U_i} = \frac{1}{2} A_d; \quad A_{d2} = \frac{\Delta U_{C2}}{\Delta U_i} = -\frac{1}{2} A_d$$

当输入共模信号时, 若为单端输出, 则有:

$$A_{C1} = A_{C2} = \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta U_i} = \frac{-\beta R_C}{R_B + r_{be} + (1 + \beta)\left(\frac{1}{2}R_P + 2R_E\right)} \approx -\frac{R_C}{2R_E}$$

当输入共模信号时, 若为双端输出, 在理想的情况下:

$$A_C = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = 0$$

实际上由于元件不可能完全对称, 因此 A_C 也不是绝对等于零。

3. 共模抑制比 CMRR

为了表征差动放大器对有用信号 (差模信号) 的放大作用和对共模信号有抑制能力, 通常也用一个综合指标来衡量, 即共模抑制比:

$$\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right| \text{ 或 } \text{CMRR} = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_C} \right| \text{ (dB)}。$$

差动放大器的输入信号可采用直流信号也可采用交流信号。本实验由函数信号发生器提供一个频率 $f = 1 \text{ kHz}$ 的正弦信号作为输入信号。

2.5.4 实验设备与器材

- ① 直流稳压电源 ($\pm 12\text{ V}$), 1 台;
- ② 函数信号发生器, 1 台;
- ③ 频率计, 1 台;
- ④ 双踪示波器, 1 台;
- ⑤ 交流数字毫伏表, 1 台;
- ⑥ 直流数字电压表, 1 台;
- ⑦ 晶体三极管 3DG6 (或 9011), 3 只, 要求 VT_1 、 VT_2 参数一致;
- ⑧ 电阻器、电解电容器若干。

2.5.5 实验内容、步骤与方法

1. 典型差动放大器性能的测量

按图 2.14 连接实验电路, 开关 K 拨向位置 1, 构成典型的差动放大器。

(1) 静态工作点的测量

① 放大器零点的调节。信号源不接入, 将放大输入端 A, B 与地短接, 将实验装置台上的两组 18 V 可调直流稳压电源按如图 2.15 所示接好线, 并调出 $+12\text{ V}$ 和 -12 V 电压。将调好的 $+12\text{ V}$ 电压接入电路 $+U_{CC}$ 处, -12 V 电压接入电路 U_{EE} 处, 用直流数字电压表测量输出电压 U_o 是否是零, 若不为零, 可调节调零电位器 R_p 的旋钮, 使 $U_o = 0$ 。调节时要仔细观察直流数字电压表的显示值, 力求准确。

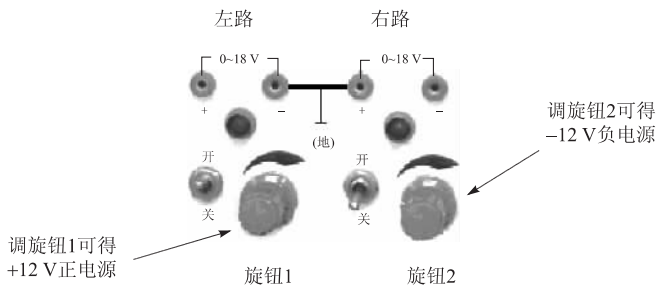


图 2.15 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源的接线图

② 静态工作点的测量。零点调好后, 用直流数字电压表测量 VT_1 、 VT_2 管各电极对地的电位及射极电阻 R_E 两端的电压 U_{RE} , 即 U_{C1} , U_{B1} , U_{E1} , U_{C2} , U_{B2} , U_{E2} , U_{RE} , 记入表 2.15 中。

表 2.15 典型差动放大器静态工作点的测量

测量值	U_{C_1}/V	U_{B_1}/V	U_{E_1}/V	U_{C_2}/V	U_{B_2}/V	U_{E_2}/V	U_{RE}/V
计算值	I_C/mA		I_B/mA		U_{CE}/V		

（2）差模电压放大倍数的测量

断开 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源，将函数信号发生器的输出端接放大器的输入端 A 端，函数信号发生器的地端接放大器的输入端 B 端，使之构成单端输入方式，调节输入信号频率 $f=1\text{ kHz}$ 的正弦信号，并使幅度调节旋钮调到 0 （即 $U_i=0$ ），用示波器监视放大器输出端（集电极 C_1 或 C_2 与地之间）。

接通 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源，调节函数信号发生器幅度调节旋钮，逐渐增大输入信号电压 U_i ，当 U_i 增大到约为 100 mV 时（用交流数字毫伏表监测），在输出电压 U_o 的波形不失真的情况下，用交流数字毫伏表测 U_i 、 U_{C_1} 、 U_{C_2} ，记入表 2.16 中，并观察 U_i 、 U_{C_1} 、 U_{C_2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 改变而变化的情况。

（3）共模电压放大倍数的测量

将放大器 A 、 B 两端用连线短接，信号源接 A 端与地之间，构成共模输入方式，调节输入信号频率 $f=1\text{ kHz}$ ， $U_i=1\text{ V}$ 的正弦信号，在输出电压 U_o 波形不失真的情况下，测量 U_{C_1} 、 U_{C_2} ，记入表 2.16 中，并观察 U_i 、 U_{C_1} 、 U_{C_2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 改变而变化的情况。

表 2.16

测量参数 \ 电路类型	典型差动放大器		具有恒流源差动放大器	
	单端输入	共模输入	单端输入	共模输入
U_i	100 mV	1 V	100 mV	1 V
U_{C_1}/V				
U_{C_2}/V				
$A_{d1}=U_{C_1}/U_i$		/		/
$A_d=U_o/U_i$		/		/
$A_{C_1}=U_{C_1}/U_i$	/		/	
$A_C=U_o/U_i$	/		/	
$CMRR= A_{d1}/A_{C_1} $				

2. 具有恒流源的差动放大电路性能测量

将图 2.14 实验电路中的开关 K 拨向位置 2，构成具有恒流源的差动放大器。

重复 1 中（1）和（2）两步的操作，将测量值记入表 2.16 中。

2.5.6 实验报告要求

① 整理实验数据，列表比较实测值和理论值计算方法，分析误差原因，从以下几方面进行分析。

- a. 静态工作点和差模电压放大倍数。
- b. 典型差动放大电路单端输出时的 CMRR 值与理论值比较。
- c. 典型差动放大电路单端输出时的 CMRR 的实测值与具有恒流源的差动放大器 CMRR 实测值比较。

② 根据实验结果，总结电阻 R_E 和恒流源的作用。

2.5.7 预习与思考

① 根据理论电路的参数，估算典型差动放大器和具有恒流源的差动放大器的静态工作点及差模电压放大倍数（计算时取 $\beta_1 = \beta_2 = 100$ ）。

② 怎样进行静态调零？用什么仪表测输出电压 U_o ？

③ 测量静态工作点时，放大器 A、B 与地应如何连接？

④ 实验中怎样获得双端和单端输入差模信号？怎样获得共模信号？画出 A、B 端与信号源之间的连接图。

⑤ 怎样用交流数字毫伏表测双端输出电压 U_o ？

2.6 集成运算放大电路的基本应用——模拟运算电路

2.6.1 实验目的

① 掌握集成运算放大器的外形特征和管脚排列情况。

② 研究由集成运算放大器组成的比例、加法、减法和积分等基本运算电路的功能及电路的连接方法和电路的测量。

③ 学习集成运算放大器的调零方法。

2.6.2 实验电路

实验电路如图 2.16 ~ 图 2.20 所示。

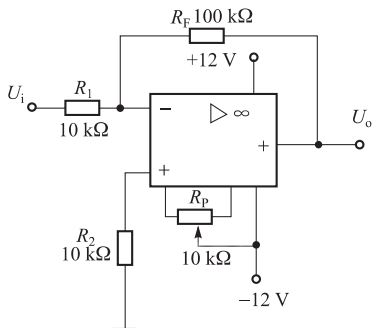


图 2.16 反相比例运算电路

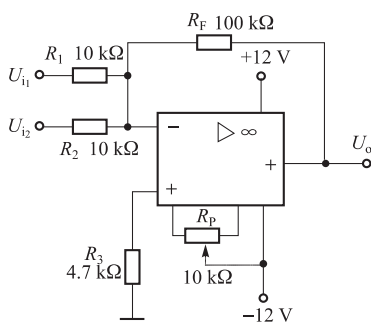


图 2.17 反相加法运算电路

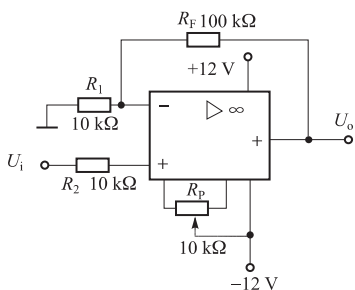


图 2.18 同相比例运算电路

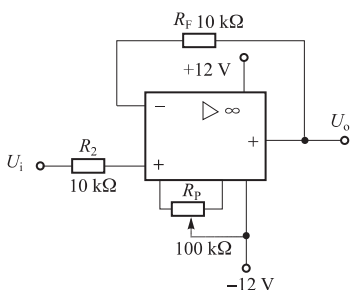


图 2.19 电压跟随器

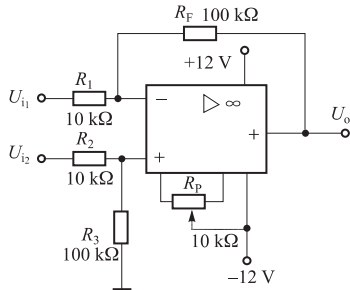


图 2.20 减法运算电路

2.6.3 实验原理

集成运算放大器是一种具有高电压放大倍数的直接耦合多级放大电路。当外部接入不同的线性或非线性器件组成的输入和负反馈电路时，可以灵活地实现各种特定的函数关系。在线性应用方面，可组成比例、加法、减法、积分、微分、对数等模拟运算电路。

1. 理想运算放大器特性

在大多数情况下，将运放视为理想运放，即运放的多项技术指标理想化，使其满足下列条件的运算放大器称为理想运放。

- ① 开环电压增益： $A_{ud} = \infty$ ；
- ② 输入阻抗： $r_i = \infty$ ；
- ③ 输出阻抗： $r_o = 0$ ；
- ④ 带宽： $f_{BW} = \infty$ ；
- ⑤ 失调与漂移均为零。

以上①、②、③项为主要条件

2. 理想运算放大器在线性应用时的两个重要特征

- ① 输出电压 U_o 与输入电压之间的满足关系式：

$$U_o = A_{ud}(U_+ - U_-)$$

式中, U_+ 表示理想运算放大器的同相端的电位; U_- 表示反相输入端的电位; 由于 $A_{ud} = \infty$, 而 U_o 为有限值, 因此, $U_+ - U_- \approx 0$, 即 $U_+ \approx U_-$ (两输入端电位相等), 称为“虚短”。

② 由于 $r_i = \infty$, 故流入运算放大器两个输入端的电流可视为零 (两输入端均无电流), 称为“虚断”。这说明运算放大器对其前级吸取电流很小。

上述两个特性是分析理想运算放大器应用电路的基本原则, 可简化运算放大电路的计算。

3. 基本运算电路

(1) 反相比例运算电路

如图 2.16 所示, 对于理想的运算放大器, 该电路输出电压与输入电压之间的关系为:

$$U_o = -\frac{R_F}{R_1}U_i$$

为了减小输入极偏置电流引起的运算误差, 在同相端 (U_{i+}) 应接入一平衡电阻 R_2 , 即 $R_2 = R_1 // R_F$ 。

(2) 反相加法运算电路

电路如图 2.17 所示, 其输出电压与输入电压之间的关系为:

$$U_o = -\left(\frac{R_F}{R_1}U_{i_1} + \frac{R_F}{R_2}U_{i_2}\right)$$

平衡电阻: $R_3 = R_1 // R_2 // R_F$ 。

(3) 同相比例运算电路

电路如图 2.18 所示, 它的输出电压与输入电压之间的关系为:

$$U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)U_i$$

平衡电阻: $R_2 = R_1 // R_F$ 。

当 $R_1 \rightarrow \infty$ 时, $U_o = U_i$, 即得到图 2.19 的电压跟随器。图中 $R_2 = R_F$, 用以减小漂移和保护作用。一般取 R_F 为 10 k Ω , R_F 太小不起保护作用, 太大则影响跟随性。

(4) 减法运算电路 (差动放大)

电路如图 2.20 所示, 当电路中 $R_1 = R_2$, $R_3 = R_F$ 时, 其输出电压与输入电压之间的运算关系为:

$$U_o = \frac{R_F}{R_L}(U_{i_2} - U_{i_1})$$

2.6.4 实验设备与器材

① 直流稳压电源 (± 12 V), 1 台;

- ② $\pm 5\text{ V}$ 可调直流信号源, 1 台;
- ③ 直流数字电压表, 1 台;
- ④ 集成芯片 $\mu\text{A}741$, 1 片;
- ⑤ 电阻、可调电位器若干。

2.6.5 实验内容、步骤和方法

实验前应根据图 2.21 认清 $\mu\text{A}741$ (LM741) 集成运算放大器各管脚的位置及功能, 切忌把正、负电源极性接反或输出端短路, 否则, 将会损坏集成块。

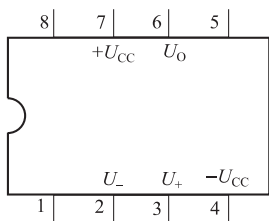


图 2.21 $\mu\text{A}741$ 引脚排列与功能

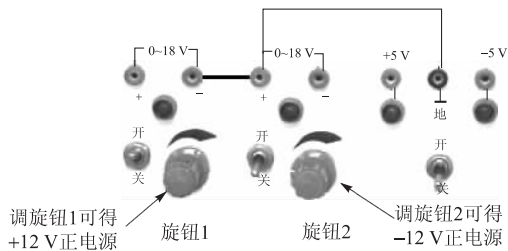


图 2.22 $\pm 12\text{ V}$ 电源输出接线图

1. 反相比例运算放大电路

(1) 正、负电源 ($\pm 12\text{ V}$) 的接线

按图 2.22 电路用连线将左、右两路可调直流稳压电源串接 (即左路 18 V 的 $-$ 极接右路 18 V 的 $+$ 极), 并令公共端接地 (即接 $-5\sim+5\text{ V}$ 的地)。

(2) $\pm 12\text{ V}$ 电源的调节

① $+12\text{ V}$ 电源的调节。用连线将实验台上的直流数字电压表的 $+$ 接左路 $0\sim 18\text{ V}$ 可调调节直流稳压电源的 “ $+$ ” 端 (即 $+12\text{ V}$ 输出端), 调节旋钮 1, 使直流数字电压表显示为 $+12\text{ V}$ (按下 20 V 挡)。

② -12 V 电源的调节。用连线将实验台上的直流数字电压表的 $+$ 接右路 $0\sim 18\text{ V}$ 可调调节直流稳压电源的 “ $-$ ” 端 (即 -12 V 输出端), 调节旋钮 2, 使直流数字电压表显示为 -12 V (按下 20 V 挡)。

(3) 调零

按图 2.16 连接实验电路, 将调好的 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源接入电路 ($+12\text{ V}$ 接 7 脚, -12 V 接 4 脚), 再用连线把两个输入端 (U_{i+} 和 U_{i-}) 对地短路 (即 2 脚、3 脚的输入端接地), 用直流数字电压表 (2 V 挡) 测量输出电压 U_o 是否为零 (测量时表的 $+$ 接 6 脚, 表的 $-$ 接地), 若不为零, 可调节电位器 R_p 的调节旋钮, 使输出电压 $U_o = 0\text{ V}$ 。

(4) 参数测量

① 电路调零后按图 2.16 重新接好实验电路（即除去反相输入端 U_{i-} 对地的短接线，同相输入端 U_{i+} 仍然接地）。

② 测量参数时，用连线将直流信号源（ $-5 \sim +5\text{ V}$ 选其中一路）输出端连到运算放大器的反相输入端（即 2 脚的输出端 U_{i-} ），打开直流信号源的开关和 $\pm 12\text{ V}$ 直流稳压电源的开关，调节直流信号源的调节旋钮，使输入电路 U_{i-} 分别为 -0.1 V 、 -0.2 V 、 -0.3 V 、 -0.4 V 、 0.1 V 、 0.2 V 、 0.3 V 、 0.4 V （用直流数字电压表 2 V 挡检测，测量时，表的 $+$ 接直流信号源 $-5 \sim +5\text{ V}$ 端，表的 $-$ 接地端），再用直流数字电压表 20 V 挡测与 U_{i-} 相对应的输出电压 U_o 值（测量时表的 $+$ 接 6 脚，表的 $-$ 接地）。记入表 2.17 中，并与应用公式计算的结果进行比较，然后计算出 A_u 的值。

表 2.17 反相比例运算放大器的检测数据

U_i/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_o/V	计算值 $U_o = -(R_F/R_1)U_i$								
	实测值								
$A_u = U_o/U_i/\text{倍}$									

2. 同相比例运算放大电路

① 按 2.18 电路图连接好实验电路，实验内容、步骤和方法同 1，然后将测量结果记入表 2.18 中，并与应用公式计算的结果相比较，再计算出 A_u 。

表 2.18 同相比例运算放大器的检测数据

U_i/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_o/V	计算值 $U_o = (1 + R_F/R_1)U_i$								
	实测值								
$A_u = U_o/U_i/\text{倍}$									

* ② 将图 2.18 中的 R_1 断开，得到如图 2.19 电路，即电压跟随器。实验内容、步骤和方法同①，此步实验可作为选作内容。

3. 反相加法运算电路

① 按图 2.17 接好实验电路，检查无误后，方可接通正、负电源（ $\pm 12\text{ V}$ ），输入端 U_{i1}

和 U_{i_2} 对地短接调零（调 R_p ，使输出 U_o 为 0），调零后，断开 U_{i_1} 和 U_{i_2} 对地的短接线。

② 在电阻 R_1 端加入直流信号 U_{i_1} ，在电阻 R_2 端加入直流信号 U_{i_2} ，依实验表 2.19 调整 U_{i_1} 和 U_{i_2} ，用直流数字电压表测出每次与 U_{i_1} 、 U_{i_2} 相对应的输出电压 U_o ，记入表 2.19 中，并与用公式计算的 U_o 的结果比较，然后再计算出 A_u 。

表 2.19 反相加法运算数据

U_{i_1}/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_{i_2}/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_o/V	计算值 $U_o = -(R_F/R_1)(U_{i_1} + U_{i_2})$								
	实测值								
$A_u = U_o/(U_{i_1} + U_{i_2})/\text{倍}$									

4. 减法运算电路

① 按图 2.20 连接实验电路，检查无误后，方可接通正、负电源（ $\pm 12\text{ V}$ ）。两输入端（ U_{i_1} 和 U_{i_2} ）对地短接调零（调输出电压 $U_o = 0$ ，调节 R_p 实现，用直流数字电压表监测 U_o ）。调零后，断开 U_{i_1} 和 U_{i_2} 对地的短接线。

② 在电阻 R_1 端加入直流信号 U_{i_1} ，在电阻 R_2 端加入直流信号 U_{i_2} ，按表 2.20 调整 U_{i_1} 和 U_{i_2} （用直流数字电压表 2 V 挡检测），再用直流数字电压表测出与 U_{i_1} 、 U_{i_2} 相对应的输出电压 U_o ，并与用公式计算的 U_o 的结果比较，再计算出 A_u ，也记入表 2.20 中。

表 2.20 减法运算

U_{i_1}/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_{i_2}/V		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
U_o/V	计算值 $U_o = R_F/R_1(U_{i_2} - U_{i_1})$								
	实测值								
$A_u = U_o/(U_{i_2} - U_{i_1})/\text{倍}$									

2.6.6 实验报告要求

整理实验数据，将理论计算值与实测值进行比较，分析产生误差的原因。

2.6.7 预习与思考

- ① 运算放大器为什么要调零？调零时为什么要将运放电路的输入端对地短路？
- ② 如何改变比例运算电路的比例关系？
- ③ 应如何保证运算电路同相输入与反相输入电阻平衡？
- ④ 为了不损坏集成块，实验中应注意什么问题？

2.7 RC 正弦波振荡器

2.7.1 实验目的

- ① 进一步学习 RC 正弦波振荡器的组成及其振荡条件。
- ② 学会测量、调试振荡器。

2.7.2 实验电路

实验电路如图 2.23 所示。

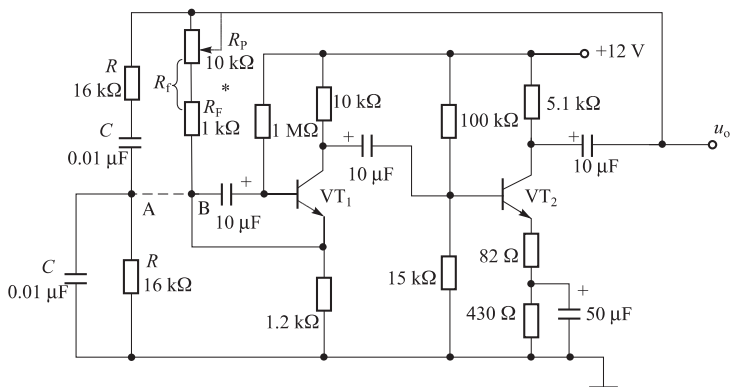


图 2.23 RC 串并联选频网络（文氏桥）振荡器

2.7.3 实验原理

从结构上看，正弦波振荡器是没有输入信号的，带选频网络的正反馈放大器。若用 RC 元件组成选频网络，就称为 RC 振荡器，一般用来产生 $1\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ 的低频信号。一般常用

的 RC 振荡器有三种, 即 RC 移相振荡器、 RC 串并联网络 (文氏桥) 振荡器、双 T 选频网络振荡器。各专业视专业需要可具体选作, 本次实验选作由两级共射极分立元器件组成的 RC 串并联网络 (文氏桥) 正弦波振荡器, 电路图如图 2.23 所示。

$$\text{振荡频率: } f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\text{起振条件: } |\dot{A}\dot{F}| > 1$$

电路特点: RC 串并联网络 (文氏桥) 正弦波振荡器可方便地连续改变振荡频率, 便于加负反馈稳幅, 容易得到良好的振荡波形。

2.7.4 实验设备和器材

- ① 直流稳压电源 ($\pm 12\text{ V}$), 1 台;
- ② 函数信号发生器, 1 台;
- ③ 频率计, 1 台;
- ④ 双踪示波器, 1 台;
- ⑤ 直流数字电压表, 1 台;
- ⑥ 晶体三极管, 2 只 (3DG12 或 9013);
- ⑦ 电阻、电位器、电容器若干。

2.7.5 实验内容、步骤和方法

- ① 按图 2.23 连接实验电路。

② 断开 RC 串并联网络 (断开 A 、 B 两点), 测量静态工作点和电压放大倍数 (与单管放大器方法相同), 自拟表格记录数据。

③ 接通 RC 串并联网络 (接通 A 、 B 两点), 并使电路起振 (可用直流数字电压表 2 V 挡测量 VT_1 管的 U_{BE} 值, 若为负值或小于 0.6 V , 就说明 U_{BE} 出现反偏或浅正偏, 电路已经起振), 如不起振, 应调节 R_f , 使反馈信号 U_f 必须大于放大器输入端初始信号 U_i , 即 $U_f/U_i > 1$, 再用示波器观测输出电压 U_o 的波形, 调节电位器 R_p , 即改变 R_f , 使其获得满意的正弦信号, 自拟表格记录波形及其参数。

- ④ 测量振荡频率, 并与计算值进行比较。
- ⑤ 改变 R 或 C 值, 观察振荡频率变化情况。
- ⑥ RC 串并联网络幅频特性的观察。

RC 串并联网络与放大器断开 (断开 A 、 B 两点), 用函数信号发生器的正弦信号注入 RC 串并联网络, 保持输入信号幅度不变 (约 3 V), 频率由低到高变化, RC 串并联网络输出幅值将随之变化, 当信号源达到某一频率时, RC 串并联网络的输出将达到最大值 (约 1 V), 且输入、输出同相位, 此时信号源频率为:

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

⑦ 由电路给定的参数计算振荡频率，并与实测值比较，分析产生误差的原因。

2.7.6 实验报告

① 由电路给定的参数计算振荡频率，并与实测值比较，分析产生误差的原因。

② 总结 RC 串并联选频网络振荡器的特点。

2.7.7 预习与思考

① 复习材料有关 RC 串并联选频网络振荡器（文氏桥）的结构与工作原理。

② 学会计算实验电路的振荡频率 f_o 。

③ 学会检测振荡器是否起振。

④ 怎样用示波器来测量振荡电路的振荡频率。

2.8 LC 正弦波振荡器

2.8.1 实验目的

① 掌握变压器反馈式 LC 正弦波振荡器的调整和测量方法。

② 研究电路参数对 LC 振荡器起振条件及输出波形的影响。

2.8.2 实验电路

实验电路如图 2.24 所示。

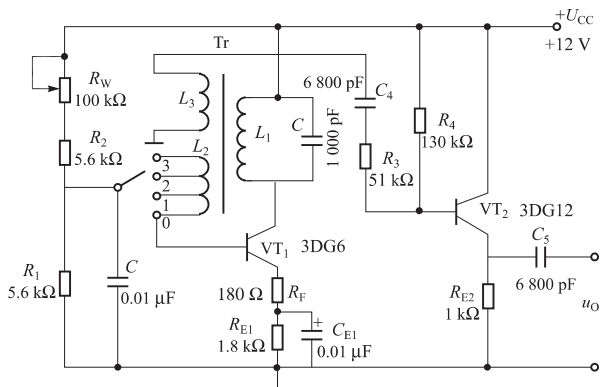


图 2.24 LC 正弦波振荡器实验电路

2.8.3 实验原理

LC 正弦波振荡器是用 LC 元件组成选频网络的振荡器, 一般用来产生 1 MHz 以上的高频正弦信号。根据 LC 调谐回路的不同连接方式, LC 正弦波振荡器又可分为变压器反馈式 (或称互感耦合式)、电感三点式和电容三点式三种。图 2.24 为变压器反馈式 LC 正弦波振荡器的实验电路。其中晶体管 VT_1 组成射极放大电路, 变压器 T_1 的原绕组 L_1 (振荡线圈) 与电容 C 组成调谐回路, 它既作为放大器的负载, 又起选频作用, 副绕组 L_2 为反馈线圈, L_3 为输出线圈。

该电路靠变压器原、副绕组同名端的正确连接 (如图 2.24 所示), 来满足自激振荡的相位条件, 即满足正反馈的条件。在实际调试中可以通过把振荡线圈 L_1 或反馈线圈 L_2 的首末端对调, 来改变反馈极性。而振幅条件的满足, 一是靠合理选择参数, 使放大器建立合适的静态工作点, 二是改变反馈线圈 L_2 的匝数, 或它与 L_1 之间的耦合程度, 以得到足够的反馈量。稳幅是利用晶体管的非线性来实现的。由于 LC 并联谐振回路具有良好的选频作用, 因此输出电压波形一般失真不大。

振荡器的振荡频率由谐振回路的电感和电容决定。

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

式中, L 为并联谐振回路的等效电感 (即考虑其他绕组的影响)。

振荡器的输出端增加一级射极跟随器, 用以提高电路的带负载能力。

2.8.4 实验设备与器材

- ① 直流稳压电源 (+12 V), 1 台;
- ② 双踪示波器, 1 台;
- ③ 频率计, 1 台;
- ④ 交流数字毫伏表, 1 台;
- ⑤ 直流数字电压表, 1 台;
- ⑥ 振荡线圈, 1 个;
- ⑦ 晶体三极管 3DG6 (9011), 1 只, 3DG12 (9013), 1 只;
- ⑧ 电阻、电位器、电容器若干。

2.8.5 实验内容、步骤与方法

1. 实验电路的连接

按图 2.24 连接实验电路。电位器 R_p 顺时针旋转调到最大位置, 振荡电路的输出端接示波器。

2. 静态工作点的调整

① 将调好的 +12 V 直流稳压电源接入电路 U_{CC} 处 (U_{CC} 对地), 调节电位器 R_p , 使输出端得到不失真的正弦波 (即 R_p 居中), 如不起振, 可改变反馈线圈 L_2 的首末端位置, 使之起振。

测量 VT_1 、 VT_2 两管的静态工作点及正弦波的有效值 U_o , 记入表 2.21 中。

② 把电位器 R_p 调小, 观察输出波形 U_o 的变化, 测量有关数据, 记入表 2.21 中。

③ 调大变位器 R_p , 使振荡波形刚刚消失, 测量有关数据, 记入表 2.21 中。

根据以上三组数据, 分析静态工作点对电路起振、输出波形幅度和失真的影响。

表 2.21

	U_B/V	U_E/V	U_C/V	I_C/mA	U_o/V	U_o (波形)
R_p (居中)	V_1					
	V_2					
R_p (小)	V_1					
	V_2					
R_p (大)	V_1					
	V_2					

3. 观察反馈量大小对输出波形的影响

将反馈线圈 L_2 分别置于 “0” (无反馈), “1” (反馈量不足), “2” (反馈量合适), “3” (反馈量过强) 4 种情况, 测量相应的输出电压 U_o 的波形, 记入表 2.22 中。

表 2.22

L_2 位置	“0”	“1”	“2”	“3”
U_o 波形				

4. 验证相位条件

① 改变反馈线圈 L_2 首末端位置, 观察停振现象。

② 恢复反馈线圈 L_2 的正反馈接法, 改变 L_1 的首末端位置, 观察停振现象。

5. 测量振荡频率

调节电位器 R_p 使电路正常起振, 同时用示波器和频率计测量以下两种情况的振荡频率 f_0 , 记入表 2.23 中。

① 谐振回路电容 $C = 1\ 000\ \text{pF}$ 。

② 谐振回路电容 $C = 100\ \text{pF}$ 。

表 2. 23

$C/\mu\text{F}$	1 000	100
f/kHz		

6. 观察谐振回路 Q 值对电路工作的影响

谐振回路两端并入 $R = 5.1\text{ k}\Omega$ 的电阻，观察电阻 R 并入前和并入后的振荡波形的变化情况。

2. 8. 6 实验报告要求

- ① 整理实验数据，并分析讨论。
 - a. LC 正弦波振荡器的相位条件和幅值条件。
 - b. 电路参数对 LC 振荡器起振条件及输出波形的影响。
- ② 讨论实验中发现的问题及解决的办法。

2. 8. 7 预习与思考

- ① 复习教材中有关 LC 振荡器的内容。
- ② LC 振荡器是怎样进行稳幅的？在不影响起振的条件下，晶体三极管的集电极电流是大一些好还是小一些好？
- ③ 为什么可以用测量停振和起振两种情况下晶体管的 U_{BE} 变化，来判断振荡器是否起振？

第 3 章 数字电子技术实验

3.1 常用集成门电路的逻辑功能测试与应用

3.1.1 实验目的

- ① 熟悉数字电路实验台的结构、基本功能和使用方法。
- ② 掌握常用与门、或门、非门和与非门的逻辑功能、测试方法及使用方法。

3.1.2 实验原理

常用的集成门电路有 TTL 门电路和 CMOS 门电路两种，TTL 与 CMOS 门电路内部结构不同，但它们的逻辑功能完全一样，本实验选用常用的 TTL 门电路与门、或门、非门和与非门 4 种，验证逻辑门电路的功能（基本部分）及测试 TTL 与非门的主要参数（发挥部分）。

3.1.3 实验仪器和器材

1. 数字电路实验台
2. 元器件

74LS00（四 2 输入与非门）、74LS20（二 4 输入与非门）、74LS08（四 2 输入与门）、74LS32（四 2 输入或门）各 1 块，导线若干。

3.1.4 实验内容

1. 实验说明
- 1) 数字实验台相关说明

① 数字电路实验台提供 +5 V 的直流电源供用户使用。

② 连接导线时，最好先测量导线的好坏，为了便于区别，最好用不同颜色导线区分电源和地线，一般用红色导线接电源，用黑色导线接地。四 2 输入与非门 74LS20 逻辑功能测试实物接线图如图 3.1 所示。

③ 实验台“16 位逻辑电平输出”模块，由 16 个开关组成，开关往上拨时，对应的输出插孔输出高电平“1”，开关往下拨时，输出低电平“0”。

④ 实验台“16 位逻辑电平输入”模块，提供 16 位逻辑电平 LED 显示器，可用于测试

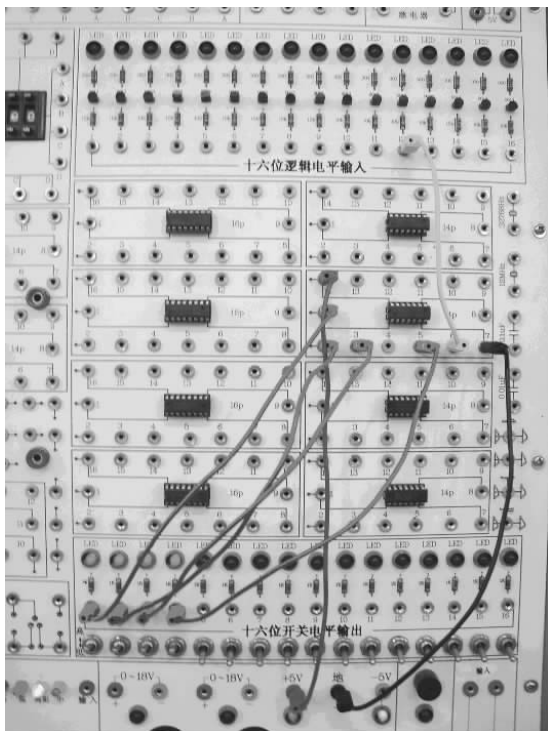


图 3.1 四 2 输入与非门 74LS20 逻辑功能测试实物接线图

门电路逻辑电平的高低，LED 亮表示“1”，灭表示“0”。

⑤ 参看 74 系列门电路芯片管脚编号方法：管脚上有下半月形缺口标记，从缺口下排自左向右顺序编号，上排自右向左顺序编号。一般一个芯片内有若干个基本门电路。

2) TTL 集成电路使用规则说明

① 接插集成块时，要认清定位标记，不得插反。

② 电源电压使用范围为 $+4.5 \sim 5.5 \text{ V}$ ，实验中要求使用 $U_{CC} = 5 \text{ V}$ ，电源极性不允许接错。

③ 闲置输入端处理方法：

a. 悬空，相当于正逻辑 1，对于一般小规模集成电路的数据输入端，实验时允许悬空处理。但易受外界干扰，导致电路的逻辑功能不正常。因此，对于接有长线的输入端，中规模以上的集成电路和使用集成电路较多的复杂电路，所有控制输入端必须按逻辑要求接入电路，不允许悬空。

b. 直接接电源电压 U_{CC} （也可以串入一只 $1 \sim 10 \text{ k}\Omega$ 的固定电阻）或接至某一固定电压（ $+2.4 \sim +4.5 \text{ V}$ ）的电源上，或与某输入端为接地的多余与非门的输出端相接。

c. 若前级驱动能力允许, 可以与使用的输入端并联。

d. 输入端通过电阻接地, 电阻值的大小将直接影响电路所处的状态。当 $R \leq 680 \Omega$ 时, 输入端相当于逻辑 0; 当 $R \geq 4.7 \text{ k}\Omega$ 时, 输入端相当于逻辑 1。对于不同系列的器件, 要求的阻值不同。

e. 输出端不允许并联使用 (集电极开路门 OC 门和三态输出门电路除外)。否则不仅会使逻辑功能混乱, 并会导致器件损坏。输出端不允许直接接地或直接接 +5 V 电源, 否则将损坏器件, 有时为了使后级电路获得较高的输出电平, 允许输出端通过电阻 R 接至 U_{CC} , 一般 $R = 3 \sim 5.1 \text{ k}\Omega$ 。

2. 内容和步骤

1) 基本部分: 验证逻辑门电路的功能

(1) 74LS00 (与非), 74LS20 (与非), 74LS04 (非门, 即反相器), 74LS08 (与门), 74LS32 (或门)

管脚排列如图 3.2 ~ 图 3.4 所示。

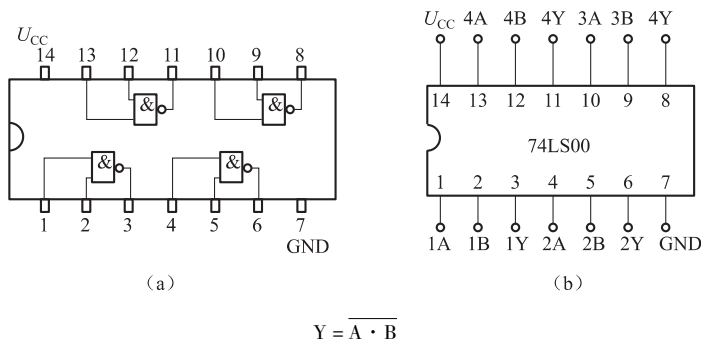


图 3.2 四 2 输入与非门电路 74LS00 管脚排列图

(a) 74LS00 的内部功能及管脚排列; (b) 74LS00 的管脚排列图

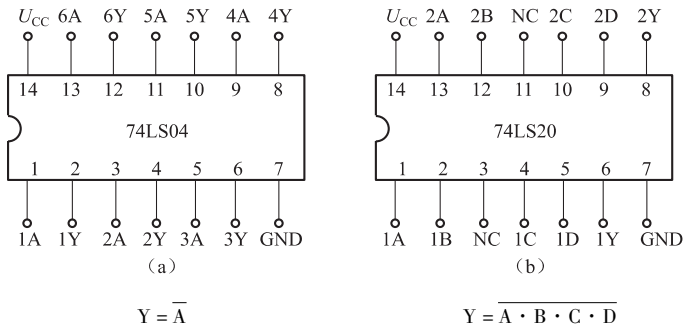
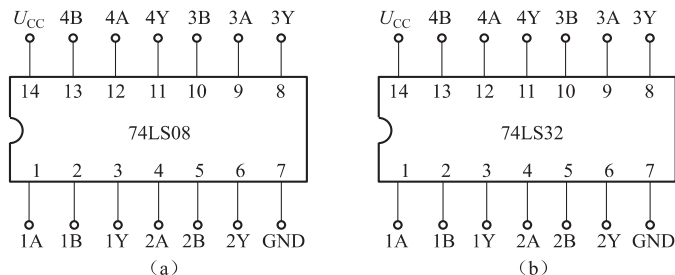


图 3.3 六反相器 74LS04 及四 2 输入与非门 74LS20 管脚排列图

(a) 74LS04 的管脚排列图; (b) 74LS20 的管脚排列图



$$Y = A \cdot B$$

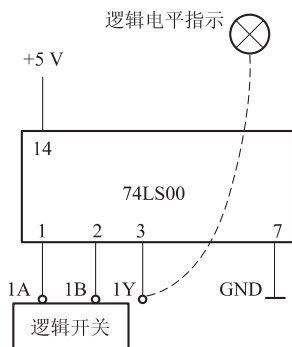
$$Y = A + B$$

图 3.4 四 2 输入与门 74LS08 及四 2 输入或门 74LS32 管脚排列图

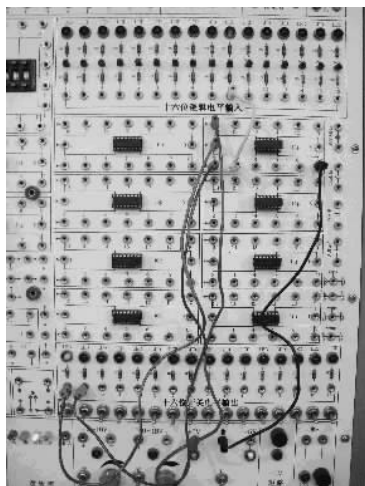
(a) 74LS08 的管脚排列图; (b) 74LS32 的管脚排列图

(2) 测试 74LS00, 74LS20, 74LS08, 74LS32 的逻辑功能

将集成块正确插入实验台的面板上, 注意识别 1 脚位置, 查管脚图, 分清集成块的输入和输出端以及接地、电源端, 参考门逻辑功能测试接线图 3.5 (与非门), 其他逻辑门电路与图 3.5 类似。按表 3.1 要求输入高、低电平, 测出相应输出逻辑电平。



(a)



(b)

图 3.5 与非门 74LS00 逻辑功能测试

(a) 逻辑功能测试接线; (b) 实物接线图

表 3.1 74LS00, 74LS08, 74LS32, 74LS20 逻辑功能测试表

芯片名称	输 入				输 出
	A		B		Y
74LS00	0		0		
	0		1		
	1		0		
	1		1		
74LS08	0		0		
	0		1		
	1		0		
	1		1		
74LS32	0		0		
	0		1		
	1		0		
	1		1		
74LS20	0	0	0	0	
	0	0	0	1	
	0	0	1	0	
	0	0	1	1	
	0	1	0	0	
	0	1	0	1	
	0	1	1	0	
	0	1	1	1	
	1	0	0	0	
	1	0	0	1	
	1	0	1	0	
	1	0	1	1	
	1	1	0	0	
	1	1	0	1	
	1	1	1	0	
	1	1	1	1	

2) 发挥部分：测试 TTL 与非门的主要参数

(1) 主要参数

① 低电平输出电源电流 I_{CCL} 和高电平输出电源电流 I_{CCH} 。与非门处于不同的工作状态，电源提供的电流是不同的。 I_{CCL} 是指所有输入端悬空，输出端空载时，电源提供器件的电流。 I_{CCH} 是指输出端空载每个门各有一个以上的输入端接地，其余输入端悬空，电源提供给

器件的电流。通常 $I_{CCL} > I_{CCH}$ ，它们的大小标志着器件静态功耗的大小。器件的最大功耗 $P_{CCL} = V_{CCL} I_{CCL}$ 。手册中提供的电源电流和功耗值是指整个器件总的电源电流和总的功耗。 I_{CCL} 和 I_{CCH} 测试电路如图 3.6 (a) 和 (b) 所示。

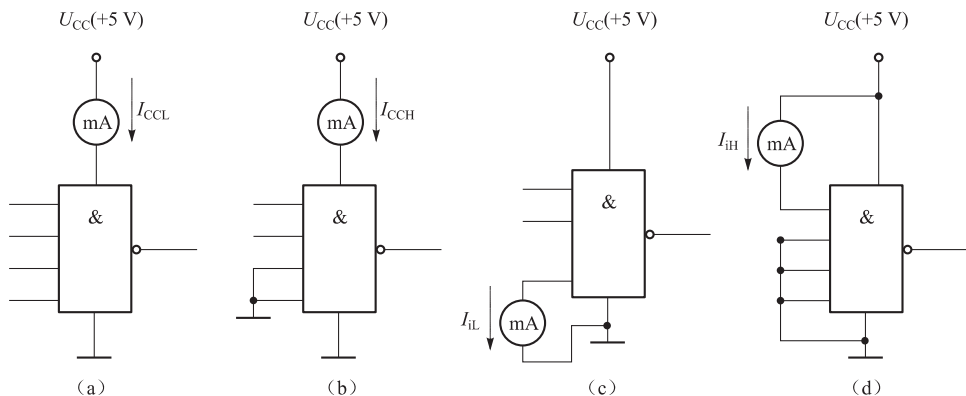


图 3.6 TTL 与非门静态参数测试电路图

(a) I_{CCL} 测试电路; (b) I_{CCH} 测试电路; (c) I_{IL} 测试电路; (d) I_{IH} 测试电路

② 低电平输入电流 I_{IL} 和高电平输入电流 I_{IH} 。

I_{IL} 是指被测输入端接地，其余输入端悬空，输出端空载时，由被测输入端流出的电流值。在多级门电路中， I_{IL} 相当于前级门输出低电平时，后级向前级门灌入的电流，因此它关系到前级门的灌电流负载能力，即直接影响前级门电路带负载的个数，因此希望 I_{IL} 小些。

I_{IH} 是指被测输入端接高电平，其余输入端接地，输出端空载时，流入被测输入端的电流值。在多级门电路中， I_{IH} 相当于前级门输出高电平时，前级门的拉电流负载，其大小关系到前级门的拉电流负载能力，因此希望 I_{IH} 小些。由于 I_{IH} 比较小，难以测量，一般免于测试。 I_{IL} 和 I_{IH} 的测试电路如图 3.6 (c) 和 (d) 所示。

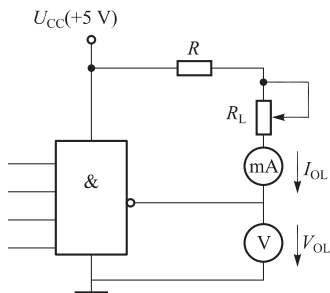


图 3.7 扇出系数测试电路

③ 扇出系数 N_0 。

扇出系数 N_0 是指门电路能驱动同类门的个数，它是衡量门电路负载能力的一个参数，TTL 与非门有两种不同性质的负载，即灌电流负载和拉电流负载，因此有两种扇出系数，即低电平扇出系数和高电平扇出系数。通常 $I_{IL} > I_{IH}$ ，则 $N_{OL} < N_{OH}$ ，因此以 N_{OL} 作为门的扇出系数。

N_{OL} 的测试电路如图 3.7 所示，门的输入端全部悬空，输出端接灌电流负载 R_L ，调节 R_L 使得 I_{OL} 增大， V_{OL} 随之增高， V_{OL} 达到 V_{OLM} （手册中规定低电平规范值为 0.4 V）时的就是允许灌入的最大负载电流，则

$$N_{OL} \frac{I_{OL}}{I_{iL}}, \text{通常 } N_{OL} \geq 8$$

(2) 测试步骤

分别按照图 3.5、图 3.6 接线并进行测试，接测试结果记入表 3.2 中。

表 3.2 测试结果表

I_{CCL}/mA	I_{CCH}/mA	I_{iL}/mA	I_{iH}/mA	$N_{OL} = \frac{I_{OL}}{I_{iL}}$

3.1.5 实验报告要求

- ① 整理实验结果，填入相应表格中，并写出逻辑表达式。
- ② 小结实验心得体会。

3.1.6 预习与思考

- ① 复习 TTL、CMOS 门电路的工作原理。
- ② 熟悉实验用各集成门引脚功能。
- ③ 画出各实验内容的测试电路与数据记录表格。
- ④ 画好实验用各门电路的真值表。
- ⑤ 如何由数字电路实验台上接出直流工作电源 +5 V 和 -5 V？
- ⑥ 各 TTL、CMOS 门电路的闲置输入端该如何处理？

3.2 组合逻辑电路的设计与测试

3.2.1 实验目的

掌握组合逻辑电路的分析设计、测试方法。

3.2.2 实验原理

1. 设计

根据设计要求，制逻辑图。组合逻辑电路的设计一般应以电路简单、所用器件最少为目标，并尽量减少所用集成器件的种类，因此在设计过程中要用到代数法和卡诺图法来化简或转换逻辑函数。

2. 步骤

- ① 分析设计要求，列真值表。根据题意设输入变量和输出函数并逻辑赋值，确定它们相互间的关系，然后将输入变量以自然二进制数顺序的各种取值组合排列，列出真值表。
- ② 根据真值表，写出输出逻辑函数表达式。
- ③ 对输出逻辑函数进行化简：代数法或卡诺图法。
- ④ 根据最简输出逻辑函数式，画逻辑图。最简表达式类型一般为：与或表达式、与非表达式、或非表达式、与或非表达式、其他表达式。
- ⑤ 最后，用实验来验证设计的正确性。

3.2.3 实验仪器与器材

- ① 数字电路实验台。
- ② 元器件：74LS00，74LS20 各 1 块；导线若干（基本部分）。
- ③ CC4011（74LS00），CC4012（74LS20），CC4030（74LS86），CC4081（74LS08），CC4085（74LS85），CC4001（74LS02）（发挥部分）。

3.2.4 实验内容

1. 基本部分

设计一个三人表决电路，当多数人同意时，则表决通过，逻辑 1（灯亮）表示同意通过，逻辑 0（灯灭）表示不同意。

- ① 根据任务要求，列出真值表，见表 3.3。

表 3.3 三人表决电路真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

- ② 由真值表写出逻辑表达式（与非－与非式）。

根据真值表，列出逻辑表达式并且化简变换如下。

$$\begin{aligned}
 Y &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC \\
 &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB \\
 &= B(\overline{A}C + A) + A(\overline{B}C + B) \\
 &= BC + AB + AC \\
 &= \overline{\overline{AB} + \overline{AC} + \overline{BC}} \\
 &= \overline{AB \cdot AC \cdot BC}
 \end{aligned}$$

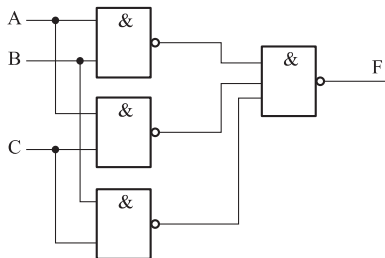


图 3.8 3 人表决电路

③ 根据表达式画出电路图；如图 3.8 所示。

④ 按电路图接线，测试电路的功能。

2. 发挥部分

设计用与非门及用异或门、与门组成的半加器电路。

设计一个一位全加器，要求用异或门、与非门实现。

3.2.5 实验报告要求

- ① 列出实验任务的设计过程，画出设计的电路图。
- ② 对所设计的电路进行实验测试，记录测试结果。
- ③ 思考如果是 4 人表决器，则电路图应该是怎样？
- ④ 小结实验心得体会。

3.2.6 预习与思考

- ① 根据实验任务，要设计组合电路，并根据所给的标准器件画出逻辑电路图。
- ② 如何验证与非门电路是否完好？
- ③ 设计一个对两个两位无符号的二进制数进行比较的电路：根据第一个数是否大于、等于、小于第二个数，使响应的三个输出端中的一个输出为“1”，要求用与门、与非门及或非门实现。

3.3 译码器的使用

3.3.1 实验目的

- ① 掌握二进制译码器的逻辑功能。
- ② 了解各种译码器之间的差异，能正确选择译码器。

- ③ 掌握集成译码器的应用方法。
- ④ 掌握集成译码器的扩展方法。

3.3.2 实验原理

译码器是一个多输入、多输出的组合逻辑电路，它的作用是把给定的代码进行“翻译”，变成相应的状态，使输出通道中相应的一路有信号输出，译码器在数字系统中有广泛的用途，不仅用于代码的转换、终端的数字显示，还用于数据分配，存储器寻址和组合控制信号等。译码器可以分为通用译码器和显示译码器两大类。通用译码器又分为变量译码器和代码变换译码器。

变量译码器常用有 2-4 线、3-8 线和 4-16 线译码器。本实验用 74LS138 译码器进行分析。

3.3.3 实验仪器与器材

- ① 数字电路实验台。
- ② 元器件：74LS138，74LS20 各 1 块，导线若干。

3.3.4 实验内容

1. 实验说明

集成译码器是一种具有特定逻辑功能的组合逻辑器件，本实验以 3-8 线二进制译码器 74LS138 为主，通过实验使读者进一步掌握集成译码器。

(1) 74LS138 管脚及功能

双排直插式集成 3-8 译码器 74LS138 各引脚功能及原理图中惯用画法如图 3.9 所示。由功能表可知：

① 三个使能端 ($\overline{S}_B \overline{S}_C = S_A = 0$) 任何一个无效时，8 个译码输出都是无效电平，即输出全为高电平 1；

② 三个使能端 ($\overline{S}_B \overline{S}_C = S_A = 1$) 均有效时，译码器 8 个输出中仅与地址输入对应的一个输出端为有效低电平“0”，其余输出无效电平“1”；在三个使能端有效条件下，每个输出都是地址变量的最小项 m_i ，考虑到输出低电平有效，输出函数可写成最小项的反，即 $\overline{Y}_i = \overline{S_A \overline{S}_B \overline{S}_C m_i}$ 。如当 $S_A \overline{S}_B \overline{S}_C = 100$ 时，译码器处于工作状态，其中： $\overline{Y}_0 = \overline{A_2 A_1 A_0}$ ， $\overline{Y}_1 =$

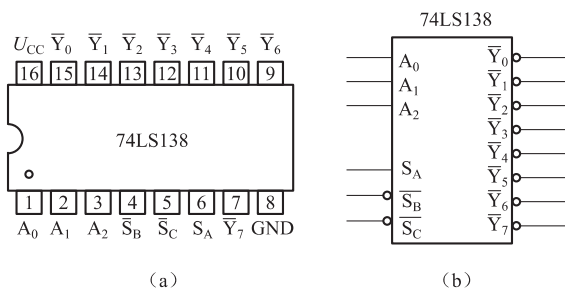


图 3.9 74LS138 管脚排列图和逻辑符号
(a) 74LS138 管脚排列图；(b) 74LS138 逻辑符号

$\overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_2} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_3} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_4} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_5} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_6} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$, $\overline{Y_7} = \overline{A_2} \overline{A_1} \overline{A_0}$ 。74LS138 功能见表 3.4。

表 3.4 74LS138 功能表

S_A	$\overline{S_B}$	$\overline{S_C}$	A_2	A_1	A_0	$\overline{Y_0}$	$\overline{Y_1}$	$\overline{Y_2}$	$\overline{Y_3}$	$\overline{Y_4}$	$\overline{Y_5}$	$\overline{Y_6}$	$\overline{Y_7}$
0	×	×	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
×	1	×	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
×	×	1	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
			0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
			0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
			0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
			1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
			1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
			1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

（2）用 74LS138 和门电路实现组合电路

给定逻辑函数 L 可写成最小项之和的标准式，对标准式两次取非即为最小项非的与非，即 $L = \prod_i \overline{m_i} = \prod_i \overline{y_i}$ 。逻辑变量作为译码器地址变量，即可用 74LS138 和与非门实现逻辑函数 L 。

2. 内容及步骤

1) 基本部分

（1）74LS138 功能测试

① 控制端功能测试。将 74LS138 输出 $\overline{Y_7} \sim \overline{Y_0}$ 接 LED 0/1 指示器，地址 $A_2 A_1 A_0$ 输入接 0/1 开关变量，使能端接固定电平（ U_{CC} 或地）。

$S_A \overline{S_B} \overline{S_C} \neq 100$ 时，任意扳动 0/1 开关，观察 LED 显示状态，记录之。

$S_A \overline{S_B} \overline{S_C} = 100$ 时，按二进制顺序扳动 0/1 开关，使得地址 $A_2 A_1 A_0$ 从 000 依次变化到 111，观察 LED 显示状态，并与功能表 3.4 对照，记录之。

② 按图 3.10 连接电路，测试电路逻辑功能，列出逻辑函数 F 的真值表，在表 3.5 中填入测试结果，LED 灯亮记为“1”，灯灭记为“0”。

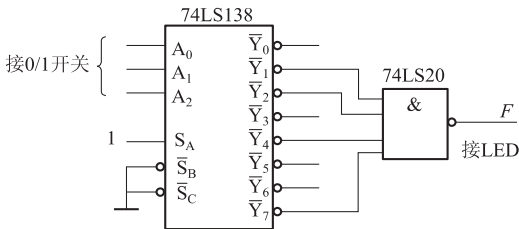


图 3.10 74LS138 逻辑功能测试电路

表 3.5 真值表测试结果

输 入			输 出	
A ₂	A ₁	A ₀	F	LED
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

2) 发挥部分

(1) 用 74LS138 组成一位全加器

如果设 A 为第 i 位加数, B 为第 i 位被加数, C_i 第 $i-1$ 位的进位数, 则第 i 位全加器的逻辑电路如图 3.11 (a) 所示。用 74LS138 和 74LS20 各一块, 按照图 3.11 (a) 接线, 74LS20 输出端 S_o 及 C_o 接 LED 电平指示, 灯亮记为 1, 不亮记为 0, 测试该全加器的功能, 记录 S_o 及 C_o 并且记录在表 3.6 中。

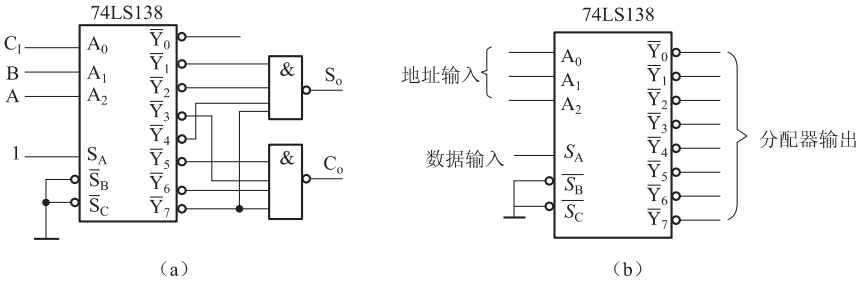


图 3.11 74LS138 组成的全加器和 74LS138 作数据分配器
(a) 74LS138 组成的全加器; (b) 74LS138 作数据分配器

表 3.6 全加器的逻辑功能测试表

输 入			输 出	
A	B	C _i	S _o	C _o
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		

续表

输 入			输 出	
A	B	C _i	S _o	C _o
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

（2）用 74LS138 组成一数据分配器。

74LS138 可以用作数据分配器（又称多路分配器），还能方便地实现逻辑函数。

如图 3.11（b）所示，若在 S_A 端输入数据信息， $\overline{S}_B = \overline{S}_C = 0$ ，地址码所对应的输出是 S_A 数据信息的反码；若从 $\overline{S}_B$ 或 $\overline{S}_C$ 输入数据信息，如从 $\overline{S}_B$ 输入数据信息，令 $\overline{S}_A = 1$ 且 $\overline{S}_C = 0$ ，地址码对应的输出就是 $\overline{S}_B$ 端输入数据信息的原码。若数据信息是时钟脉冲，则数据分配器就成为时钟脉冲分配器。自拟表格，用示波器观察输出信号的波形，记录结果。

3.3.5 实验报告要求

- ① 根据实验任务，画出所需的实验线路，记录表格。
- ② 小结实验心得体会。
- ③ 思考如何用 74LS138 实现 3 人表决电路。

3.3.6 预习与思考

- ① 复习有关译码器和分配器的原理。
- ② 根据实验任务，画出所需的实验线路及记录表格。
- ③ 用 74LS138 和相关门电路实现逻辑函数 $F = B \oplus C$

④ 用 74LS138 构成时序脉冲分配器。参考图 3.11（b），用 74LS138 组成一数据分配器的实验内容和步骤，若时钟脉冲 CP 频率约为 10 kHz，要求分配器输出端 $\overline{Y}_0$ 、 $\overline{Y}_1$ 、 $\overline{Y}_2$ 、 $\overline{Y}_3$ 、 $\overline{Y}_4$ 、 $\overline{Y}_5$ 、 $\overline{Y}_6$ 、 $\overline{Y}_7$ 的信号与 CP 输入信号相同。画出分配器的实验电路，用示波器观察和记录在地址端 A_2 、 A_1 、 A_0 分别取 000 ~ 111 等 8 种不同状态时， $\overline{Y}_0$ 、 $\overline{Y}_1$ 、 $\overline{Y}_2$ 、 $\overline{Y}_3$ 、 $\overline{Y}_4$ 、 $\overline{Y}_5$ 、 $\overline{Y}_6$ 、 $\overline{Y}_7$ 的输出波形，注意输出波形与 CP 输入波形之间的相位关系。

3.4 编码译码及数显电路

3.4.1 实验目的

熟悉编码器、七段译码器、数码管等集成电路的典型应用。

3.4.2 实验原理

编码是用文字、符号或者数字表示特定对象的过程，在数字电路中是用二进制数进行编码的，相应的二进制数叫二进制代码。编码器就是实现编码操作的电路。本实验使用的是优先编码器 74LS147，当输入端有两个或两个以上为低电平时，将对输入信号级别相对高的优先编码，其引脚排列如图 3.12 所示。

译码是编码的逆过程，是指把给定的代码进行“翻译”，变成相应的状态，使输出通道中相应的一路有信号输出。译码器在数字系统有广泛的用途，不仅用于代码的转换、终端的数字显示，还用于数据分配和组合控制信号等。不同的功能可选用不同种类的译码器。

译码器按照功能的不同，一般分为以下三类。

1. 译码器（二进制译码器）

用以表示输入变量的状态，如 2 - 4 线、3 - 8 线、4 - 16 线译码器。以 3 - 8 线译码器 74LS138 为例介绍。

图 3.13 为 74LS138 的引脚图，其中， $A_2A_1A_0$ 为地址输入端， $\bar{Y}_0 \sim \bar{Y}_7$ 为译码器输出端， $S_A \bar{S}_B \bar{S}_C$ 为使能端（只有当 $S_A = 1$ ， $\bar{S}_B \bar{S}_C = 0$ 时，才能进行译码）。

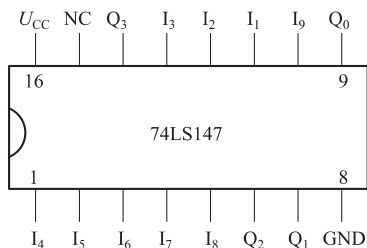


图 3.12 74LS147 引脚排列图

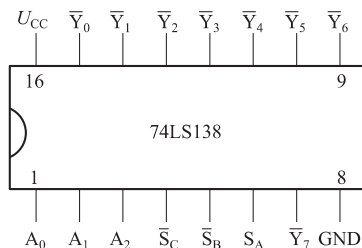


图 3.13 74LS138 引脚排列图

2. 变换译码器

用于同一个数据的不同代码之间的相互变换。这种译码器的代表是 4 - 10 线译码器，它的功能是将 8421BCD 码译为 10 个对象，如 74LS42 等。它的原理与 74LS138 译码器相似，只不过它有 4 个输入端，10 个输出端。4 位输入代码共有 0000 ~ 1111 等 16 种状态组合，其中有