



安徽信息工程学院
Anhui Institute of Information Technology

《模拟电子技术实验》 自编讲义

电气与电子工程学院实验中心制

2022年7月

前 言

本实验讲义是在 2020 级《模拟电子技术实验》自编讲义的基础上修订的，供电气与电子工程学院 2021 级学生使用。

随着专业基础课实验教学改革的不断深化，实验讲义每年都要重新修订，以适应这种变化。

对讲义内容若有不同观点可提出探讨，如有不足之处，恳请批评指正。

目 录

绪论	I
实验一 晶体管共射基本放大电路的设计	1
实验二 射级跟随器的性能测试	7
实验三 差动放大器的测试	10
实验四 负反馈放大器的性能测试	15
实验五 集成运算放大器的基本应用	20
实验六 电压比较器的测试	24
实验七 正弦波振荡器的测试	27
实验八 整流滤波与并联稳压电路的性能测试	31

绪论

一、本课程的学习方法和要求

实验课的学习有别于理论。因此，掌握一个好的学习方法，养成良好的习惯是很有必要的。实验课和其他理论课相比，有着自己的特殊性。实验课除了面对课堂和书本外，还要面对各种各样的仪器。要想完成实验任务，需要了解这些仪器的功能、特点，熟悉其操作规程，掌握正确的使用方法。因此，学生要多接触仪器，通过实际操作。掌握各种仪器的实验方法和技巧。我们的实验都是1人1组，且可提供基本的电子元器件、材料和焊接工具，给学生的训练带来了很多的方便。在学习过程中要求做到以下几个方面：

- 1.不要缺勤、迟到；
- 2.要做到手勤、脑勤，既动手又动脑，避免盲目操作；
- 3.实验中要胆大心细，认真操作，积累经验；
- 4.认真对待实验课的各个教学环节，养成良好的实验习惯；
- 5.遵守实验室的一切规章制度，自觉维护实验秩序，形成一个良好的实验环境。

二、本课程与理论课的联系与区别

“模拟电子技术实验”与“模拟电子技术”有着密切的联系。后者是前者的理论基础，一般是先修的。两者的逻辑思维方式、处理问题的方法和解决问题的手段有很大的区别。一般情况下理论课采用的思维方式、研究对象，是探讨问题在理论上的可行性及解决问题的方法，往往是把一个复杂的问题理想化、抽象化，突出主要矛盾，忽略次要矛盾，解决问题多以数学为工具。实验课采用的思维方式、研究对象，则是如何把一个成熟的理论、一个设计方案付诸实施，注重的

是系统的实用性、可靠性等。解决问题的工具是各种仪器设备，目前更关注的是利用实验手段来分析问题和解决问题的过程和方法。

三、实验课的学习方法

实验课的学习一般分为三个环节：课前预习、课上操作、课后总结，每一个环节都有明确的任务和目的。

1. 课前预习

预习就是要清楚实验内容、实验方法、实验目的和实验要求等，从而进一步制定出实验方案、实验步骤、记录数据的表格，还要通过理论分析、仿真，对实验结果做到心中有数，以便在实验中能及时发现问题，保证实验结果的正确性及理论与实际之间的“一致性”。预习的充分与否直接影响实验的成功与否以及实验结果的正确性。除要课前仿真外，提倡学生在课余时间到实验室提前预做实验。

2. 课堂操作

课上操作是把预定的实验方案付诸实施的过程。在实验过程中，要做到脑勤、手勤，善于发现问题、思考问题并解决问题，对实验的各种测量数据都要详细记录。学生要认识到：课上完成某一实验内容只是一种手段，提高动手能力，增强工程能力，培养善于发现问题及思考问题的习惯，锻炼应变能力才是目的。

3. 课后总结

课后总结主要是以实验报告的形式给出。要做的具体工作是：明确实验目的，掌握实验方法原理，对原始测量数据进行整理，对实验结果进行分析，对实验方法进行归纳改进，找出实验成功的、失败的原因。因此，课后总结，写好实验报告，是一个非常重要的环节。

实验一 晶体管共射基本放大电路的设计

一、实验目的

- (1) 掌握单级阻容耦合晶体管放大电路的设计方法。
- (2) 掌握晶体管放大电路静态工作点的设置与调整方法。
- (3) 熟悉测量放大电路的方法，了解共射极电路的特性及放大电路动态性能对电路的影响。
- (4) 学习放大电路的安装与调试技术。

二、预习要求

- (1) 根据设计任务和已知条件，确定电路方案；
- (2) 按设计任务与要求设计电路图；
- (3) 对设计电路中的有关元器件进行参数计算和选择；
- (4) 进行仿真调试，验证结果。

三、设计任务与要求

1、设计任务

设计一个能够稳定静态工作点的单级阻容耦合晶体管放大电路。

已知以下条件：

- (1) 电压放大倍数： $A_v \geq 30$ ；
- (2) 工作频率范围： $300\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ ；
- (3) 电源电压： $V_{CC} = 9\text{V} \setminus 12\text{V} \setminus 15\text{V}$ ；
- (4) 负载电阻： $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ ；
- (5) 输入信号： $U_i = 10\text{mV}$ (有效值)。

2、设计要求

(1) 根据设计任务和已知条件，确定电路方案，计算并确定电路各元件参数。

- (2) 静态工作点设置合理，电路不失真。
- (3) 电压增益 A_u 等主要性能指标满足设计要求。
- (4) 电路稳定，无故障。

四、设计原理与参考电路

1、放大电路的组成原则

- (1) 放大电路的核心元件是有源元件，即晶体管或场效应管。
- (2) 正确的直流电源电压数值、极性与其他电路参数应保证晶体管工作在放大区，即建立起合适的静态工作点，保证电路不失真。
- (3) 输入信号应能够有效地作用于有源元件的输入回路，即晶体管的 b-e 回路，输出信号能够传输到负载上。

设计电路可参考图 1-1。

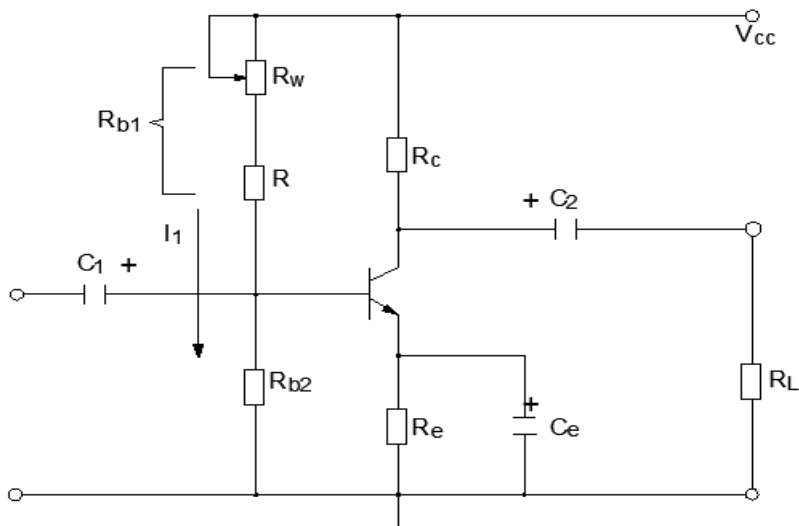


图 1-1 单级阻容耦合晶体管放大电路

2、晶体管放大电路的设计方法

1) 选择电路形式

(1) 单管放大电路有三种可能的接法：共射、共基、共集，其中以共发射极放大电路应用最广。根据指标要求本实验选择共发射级放大电路。

(2) 根据提升直流工作点稳定性的要求, 可选择分压式偏置电路。

(3) 从优化交流参数性能的角度可采用负反馈方式, 一般单级共射放大电路多使用电流串联负反馈。

2) 选择静态工作点

晶体管正常工作状态的确定, 应综合以下因素加以考虑。

(1) 晶体管工作在放大区, 输出特性曲线中间区域;

(2) $I_I \gg I_B$;

(3) 各级静态工作点经验范围: $I_C = 1 \sim 3 \text{mA}$, $U_{CE} = 2 \sim 5 \text{V}$ 。

3) 元件参数的选择

一般工程设计时, 硅管取 $I_I = (5 \sim 10)I_B$, $U_B = (3 \sim 5)\text{V}$; 锗管取 $I_I = (10 \sim 20)I_B$, $U_B = (1 \sim 3)\text{V}$; $I_C = (1 \sim 3)\text{mA}$ 。

(1) 确定电阻 R_e 。

电阻 R_e 可以选取为
$$R_e = \frac{U_E}{I_C} = \frac{U_B - U_{BE}}{I_C}$$

(2) 确定偏置电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 。

电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 可由下面关系式得到

$$R_{b1} = \frac{V_{CC}}{I_1} - R_{b2} \qquad R_{b2} = \frac{U_B}{I_1}$$

(3) 选择集电极电阻 R_c 。

选择集电极电阻 R_c 应考虑两方面的问题, 一是要满足 A_u 的要求,

即

$$\frac{\beta R'_L}{r_{be}} > |A_u|$$

式中, $r_{be} = r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26 \text{mV}}{I_E}$, $R'_L = R_L // R_c$ (R_L 已知),

二是要避免产生非线性失真。

为此,在满足式 $U_{CE} > U_{o,max} + U_{CES}$ 的条件下 ($U_{o,max} = A_u \cdot \sqrt{2}U_i$, U_{CES} 饱和压降一般可取 1V) 先确定晶体管压降 U_{CE} , 再由电路求出 R_c 。

$$R_c = \frac{V_{CC} - U_{CE} - U_E}{I_c}$$

上述电阻值计算得到结果后,可从最接近的系列阻值中选用电阻。

(4) 耦合电容 C_1 、 C_2 和射极旁路电容 C_e 的选择。

耦合电容 C_1 、 C_2 和射极旁路电容 C_e 决定放大电路的下限频率 f_L , 如果放大器的下限频率 f_L 已知, 可按下列表达式估算耦合电容 C_1 、 C_2 和射极旁路电容 C_e 。

$$C_1 \geq (3 \sim 10) / 2\pi f_L (R_s + r_{be})$$

$$C_2 \geq (3 \sim 10) / 2\pi f_L (R_c + R_L)$$

$$C_e \geq (1 \sim 3) / 2\pi f_L \{R_e // [(R_s + r_{be}) / (1 + \beta)]\}$$

R_s 为信号源内阻, 电容 C_1 、 C_2 和 C_e 均为电解电容, 一般经验值为 C_e 选用 $4.7 \sim 10\mu\text{F}$, C_e 选用 $33 \sim 200\mu\text{F}$ 。

五、实验内容及步骤

(1) 按设计任务与要求设计具体电路。

(2) 根据已知条件及性能指标要求, 确定元器件(晶体管可以选择硅管或锗管)型号, 设置静态工作点, 计算电路元件参数并仿真(以上内容要求在实验课前完成)。

(3) 调整元件参数, 使其满足设计要求, 将修改后的元件参数值标在设计的电路图上。

(4) 在实验板上安装电路。检查实验电路接线无误之后接通电源。

(5) 测量静态工作点, 并记录 U_{BEQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 的值, 将实测值与理论计算值进行比较分析。

(6) 测量放大电路的电压放大倍数。

在 A 点接入 $f=1\text{kHz}$, $U_i=10\text{mV}$ (有效值)的输入信号,用示波器观察输入电压波形和负载电阻上的输出电压波形,在波形不发生失真的条件下,用交流毫伏表测输出电压的有效值 U_o ,计算出电压放大倍数。

(7) 在 B 点接入 $f=1\text{kHz}$, $U_i=10\text{mV}$ (有效值)的输入信号,测量电路的输入电阻 R_i ; 在 A 点接入 $f=1\text{kHz}$, $U_i=10\text{mV}$ (有效值)的输入信号,测量输出电阻 R_o 。

(8) 测量最大不失真输出电压幅值。

调节信号发生器,逐渐增大输入信号,同时观察输出电压波形变化,然后测出波形无明显失真的最大允许输入电压和输出电压的有效值,最后计算出最大输出电压幅值。

(9) 观察负载电阻对放大倍数的影响。

将负载电阻更换,重新测量放大电路的电压放大倍数,记录数据(自拟表格)。

(10) ★断开射极旁路电容 C_e ,按上述步骤测量 A_u 、 R_i 和 R_o ,分析所得结果。

六、实验报告

(1) 写出设计原理、设计步骤及计算公式,画出电路图,并标注元件参数值。

(2) 整理实验数据,计算实验结果,画出波形。

(3) 进行误差分析。

(4) 总结提高电压放大倍数采取的措施。

(5) 分析输出波形失真的原因及性质,并提出消除失真的方法。

七、预习与思考

(1) 放大电路在小信号下工作时，电压放大倍数取决于哪些因素？为什么加上负载后放大倍数会变化并与什么有关？

(2) 为什么必须设置合适的静态工作点？

(3) 如何调整交流放大电路的静态工作点？它在哪一点为好(即应是多大才合适)？

(4) 尽管静态工作点合适，但输入信号过大，放大电路将产生何种失真？

(5) 电路中电容的作用是什么？电容的极性应怎样正确连接？

实验二 射级跟随器的性能测试

一、实验目的

- (1) 掌握射极跟随器的特性及测试方法。
- (2) 进一步学习放大器各项参数测试方法。
- (3) 了解单管放大电路的设计方法，进一步熟悉晶体管放大电路工作特性。

二、实验设备与器件

- 1、+12V 直流电源
- 2、函数信号发生器
- 3、数字示波器
- 4、交流毫伏表
- 5、数字万用表
- 6、3DG6×1(或 9013)、电阻器、电容器若干

三、实验内容

按图 2-1 组接电路

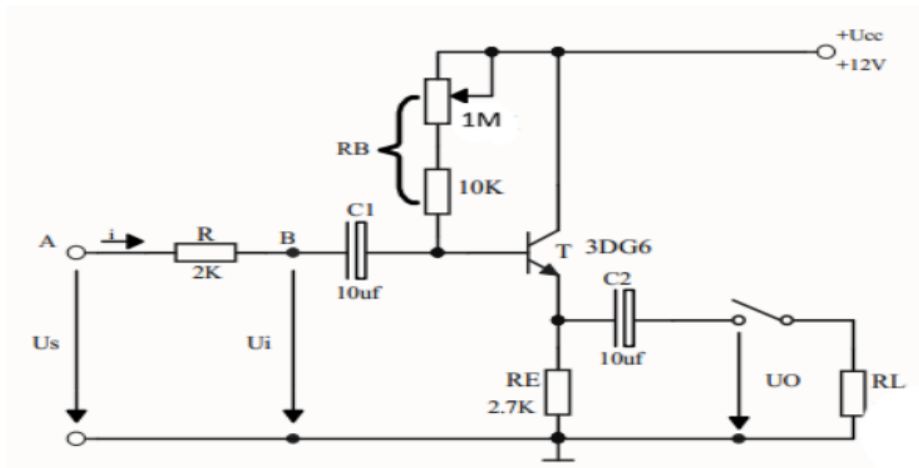


图 2-1 射极跟随器实验电路

1、静态工作点的调整

接通+12V 直流电源，在 B 点加入 $f=1\text{kHz}$ ， $U_{pp}=5\text{V}$ 正弦信号

u_i ，输出端用示波器监视输出波形，反复调整 R_w 及信号源的输出幅度，使在示波器的屏幕上得到一个最大不失真输出波形，然后置 $u_i=0$ ，用直流电压表测量晶体管各电极对地电位，将测得数据记入表 2-1。

表 2-1

	$U_E(V)$	$U_B(V)$	$U_C(V)$	$I_E(mA)$
仿真值				
测量值				

在下面整个测试过程中应保持 R_w 值不变（即保持静工作点 I_E 不变）。

2、测量电压放大倍数 A_v

接入负载 $R_L=1K\Omega$ ，在 B 点加 $f=1KHz$ 正弦信号 u_i ，用示波器观察输出波形 U_o ，在输出最大不失真情况下，用交流毫伏表测 U_i 、 U_L 值。记入表 2-2。

表 2-2

	$U_i(V)$	$U_L(V)$	A_v
仿真值			
测量值			

3、测量输出电阻 R_o

接上负载 $R_L=1K\Omega$ ，在 B 点加 $f=1KHz$ 正弦信号 U_i ，用示波器监视输出波形，测空载输出电压 U_o ，有负载时输出电压 U_L ，记入表 2-3。

表 2-3

	U_0 (V)	U_L (V)	$R_O(K\Omega)$
仿真值			
测量值			

4、测量输入电阻 R_i

在 A 点加 $f=1\text{KHz}$ 的正弦信号 U_S ，用示波器监视输出波形，用交流毫伏表分别测出 A、B 点对地的电位 U_S 、 U_i ，记入表 2-4。

表 2-4

	U_S (V)	U_i (V)	$R_i(K\Omega)$
仿真值			
测量值			

5、测试跟随特性

接入负载 $R_L=1K\Omega$ ，在 B 点加入 $f=1\text{KHz}$ 正弦信号 u_i ，逐渐增大信号 U_i 幅度，用示波器监视输出波形直至输出波形达最大不失真，测量对应的 U_L 值，记入表 2-5。

表 2-5

$U_{PP}(V)$				
$U_i(V)$				
$U_L(V)$				

四、预习与思考

复习射极跟随器的工作原理；分析射极跟随器的性能和特点。

实验三 差动放大器的测试

一、实验目的

- (1) 加深对差动放大器性能及特点的理解。
- (2) 学习差动放大器主要性能指标的测试方法。

二、实验原理

图 3-1 是差动放大器的基本结构。它由两个元件参数相同的基本共射放大电路组成。当开关 K 拨向左边时，构成典型的差动放大器。调零电位器 R_P 用来调节 T_1 、 T_2 管的静态工作点，使得输入信号 $U_i=0$ 时，双端输出电压 $U_o=0$ 。 R_E 为两管共用的发射极电阻，它对差模信号无负反馈作用，因而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，故可以有效地抑制零漂，稳定静态工作点。

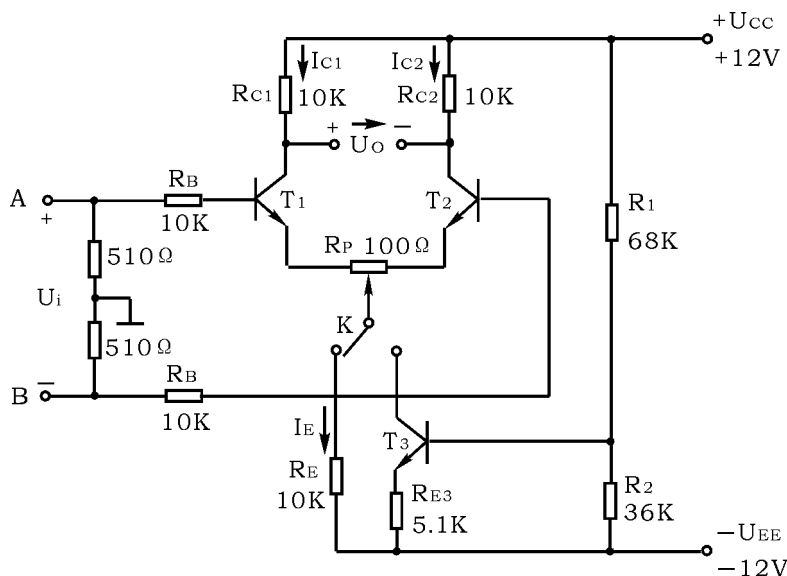


图 3-1 差动放大器实验电路

当开关 K 拨向右边时，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

典型电路

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

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} I_E$$

恒流源电路

$$I_{C3} \approx I_{E3} \approx \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} (U_{CC} + |U_{EE}|) - U_{BE}}{R_{E3}}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} I_{C3}$$

2、差模电压放大倍数和共模电压放大倍数

当差动放大器的射极电阻 R_E 足够大，或采用恒流源电路时，差模电压放大倍数 A_d 由输出端方式决定，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

$$A_{d1} = \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta U_i} = \frac{1}{2} A_d$$

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

当输入共模信号时，若为单端输出，则有

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

若为双端输出，在理想情况下

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

实际上由于元件不可能完全对称，因此 A_c 也不会绝对等于零。

3、共模抑制比 K_{CMR}

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的抑制能力，通常用一个综合指标来衡量，即共模抑制比

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \text{ 或 } K_{CMR} = 20 \text{Log} \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \text{ (dB)}$$

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频率 $f=1\text{KHz}$ 的正弦信号作为输入信号。

三、实验设备与器件

- 1、 $\pm 12\text{V}$ 直流电源
- 2、函数信号发生器
- 3、数字示波器
- 4、交流毫伏表
- 5、数字万用表
- 6、晶体三极管 3DG6 $\times 3$ (或 9014 $\times 3$)，要求 T1、T2 管特性参数一致、电阻器、电容器若干。

四、实验内容

1、典型差动放大器性能测试

按图 3-1 连接实验电路，开关 K 拨向左边构成典型差动放大器。

1) 测量静态工作点

①调节放大器零点

信号源不接入。将放大器输入端 A、B 与地短接，接通 $\pm 12\text{V}$ 直流电源，用**直流电压表**测量输出电压 U_o ，调节调零电位器 R_p ，使 $U_o = 0$ 。调节要仔细，力求准确。

②测量静态工作点

零点调好以后，用直流电压表测量 T_1 、 T_2 管各电极电位及射极电阻 R_E 两端电压 U_{RE} ，记入表 3-1。

表 3-1

	$U_{C1}(V)$	$U_{B1}(V)$	$U_{E1}(V)$	$U_{C2}(V)$	$U_{B2}(V)$	$U_{E2}(V)$	$U_{RE}(V)$
仿真值							
测量值							
计算值	I_{C1} 或 $I_{C2}(mA)$			$U_{CE}(V)$			

2) 测量差模电压放大倍数

将函数信号发生器的输出端(红夹子)接放大器输入 A 端，地端接放大器输入 B 端构成单端输入方式，调节输入信号为频率 $f=1KHz$ 的正弦信号，并使输出旋钮旋至零，用示波器监视输出端（集电极 C_1 或 C_2 与地之间）。

接通 $\pm 12V$ 直流电源，逐渐增大输入电压 U_i （约 $100mV$ ），在输出波形无失真的情况下，用交流毫伏表测 U_i ， U_{C1} ， U_{C2} ，记入表 3-2 中，并观察 U_i ， U_{C1} ， U_{C2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 改变而变化的情况。

3) 测量共模电压放大倍数

将放大器 A、B 端短接，信号源接 A 端与地之间，构成共模输入方式，调节输入信号 $f=1kHz$ ， $U_i=1V$ ，在输出电压无失真的情况下，测量 U_{C1} ， U_{C2} 之值记入表 3-2，并观察 u_i ， u_{C1} ， u_{C2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 改变而变化的情况。（因示波器是 2 通道，可分别观测 u_i 和 u_{C1} 以及 u_i 和 u_{C2} ）

表 3-2

	典型差动放大电路		具有恒流源差动放大电路	
	单端输入	共模输入	单端输入	共模输入
U_i	100mV	1V	100mV	1V
$U_{C1}(V)$				
$U_{C2}(V)$				
$U_0=U_{C1}-U_{C2}$				
$A_d = \frac{U_0}{U_i}$		/		/
$A_c = \frac{U_0}{U_i}$	/		/	
$K_{CMR} = \left \frac{A_d}{A_c} \right $				

2、具有恒流源的差动放大电路性能测试

将图 3-1 电路中开关 K 拨向右边，构成具有恒流源的差动放大电路。重复内容 3-2)、3-3)的要求，记入表 3-2。

五、预习与思考

- 1、测量静态工作点时，放大器输入端 A、B 与地应如何连接？
- 2、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。
- 3、怎样进行静态调零点？用什么仪表测 U_0 ？
- 4、怎样用交流毫伏表测双端输出电压 U_0 ？

实验四 负反馈放大器的性能测试

一、实验目的

加深理解放大电路中引入负反馈的方法和负反馈对放大器各项性能指标的影响。

二、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。

负反馈放大器有四种组态，即电压串联，电压并联，电流串联，电流并联。本实验以电压串联负反馈为例，分析负反馈对放大器各项性能指标的影响。

1、图 4-1 为带有负反馈的两级阻容耦合放大电路，在电路中通过 R_f 把输出电压 u_o 引回到输入端，加在晶体管 T_1 的发射极上，在发射极电阻 R_{F1} 上形成反馈电压 u_f 。根据反馈的判断法可知，它属于电压串联负反馈。

主要性能指标如下：

1) 闭环电压放大倍数

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + A_v F_v}$$

其中 $A_v = U_o / U_i$ 一基本放大器（无反馈）的电压放大倍数，即开环电压放大倍数。

$1 + A_v F_v$ —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。

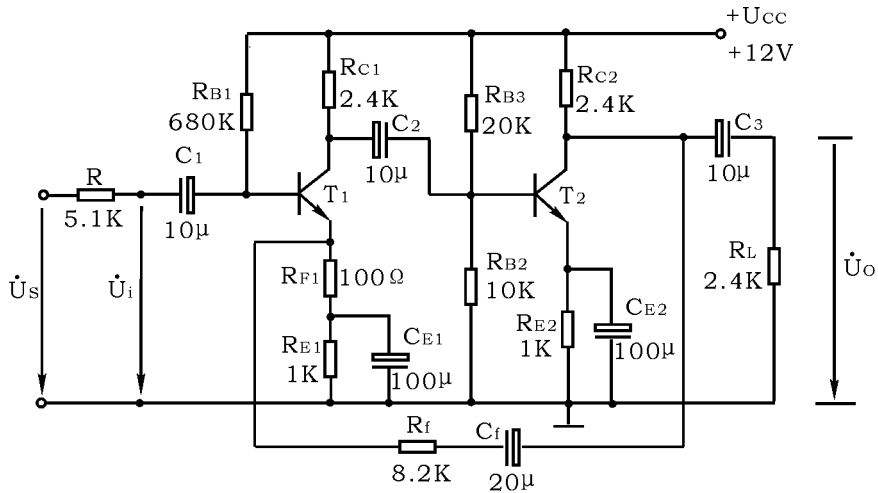


图 4-1 带有电压串联负反馈的两级阻容耦合放大器

2) 反馈系数

$$F_V = \frac{R_{F1}}{R_f + R_{F1}}$$

3) 输入电阻

$$R_{if} = (1 + A_v F_V) R_i$$

R_i —基本放大器的输入电阻

4) 输出电阻

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A_{v0} F_V}$$

R_o —基本放大器的输出电阻

A_{v0} —基本放大器 $R_L = \infty$ 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，怎样实现无反馈而得到基本放大器呢？不能简单地断开反馈支路，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：

1) 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。

2) 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 (T_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，就可得到如图 4-2 所示的基本放大器。

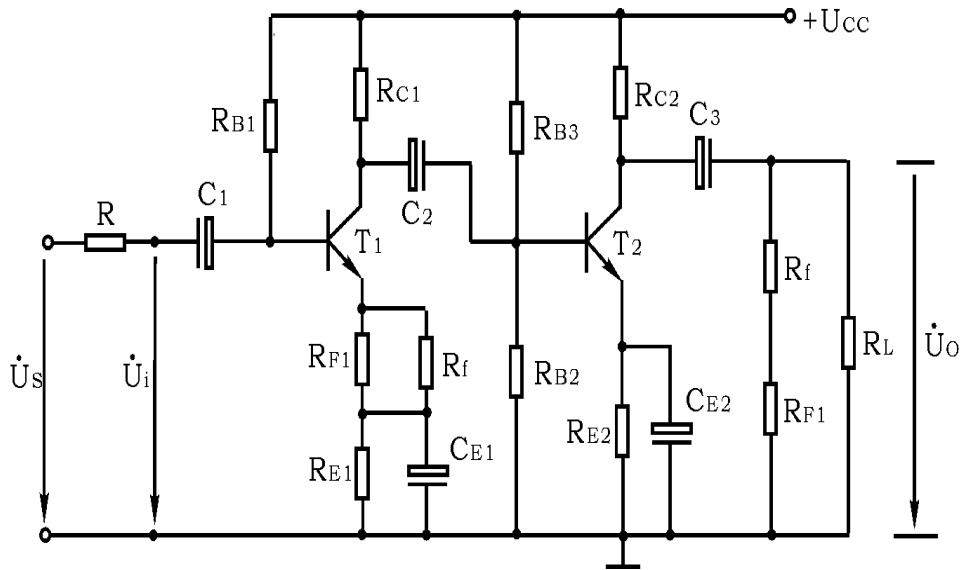


图 4-2 基本放大器

三、实验设备与器件

- | | |
|-------------|--------------|
| 1、+12V 直流电源 | 2、函数信号发生器 |
| 3、数字示波器 | 4、交流毫伏表 |
| 5、直流电压表 | 6、电阻器、电容器若干。 |

四、实验内容

1、测量静态工作点

按图 4-1 连接实验电路，取 $U_{CC}=+12V$ ， $U_i=0$ ，调节第一级电位器，使 T_1 管 $U_E=2.2V$ ；调节第二级电位器，使 T_2 管 $U_E=2.0V$ ；用直流电压表分别测量第一级、第二级的静态工作点，记入表 4-1。

表 4-1

	U_B (V)	U_E (V)	U_C (V)	I_C (mA)
第一级				
第二级				

2、测试基本放大器的各项性能指标

将实验电路按图 4-2 改接，即把 R_f 断开后分别并在 R_{F1} 和 R_L 上，其它连线不动。

1) 测量中频电压放大倍数 A_v ，输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

①以 $f=1\text{KHz}$ ， $U_s=10\text{mV}$ （有效值）的正弦信号输入放大器，用示波器监视输出波形 u_o ，在 u_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测量 U_s 、 U_i 、 U_L ，记入表 4-2。

表 4-2

基本放大器	U_s	U_i	U_L	U_o	A_v	R_i	R_o
	(mv)	(mv)	(V)	(V)			
负反馈放大器	U_s	U_i	U_L	U_o	A_{vf}	R_{if}	R_{of}
	(mv)	(mv)	(V)	(V)			

②保持 U_s 不变，断开负载电阻 R_L （注意， R_f 不要断开），测量空载时的输出电压 U_o ，记入表 4-2。

3、测试负反馈放大器的各项性能指标

将实验电路恢复为图 4-1 的负反馈放大电路。 $U_s=20\text{mV}$ （有效值），在输出波形不失真的条件下，测量负反馈放大器的 A_{vf} 、 R_{if} 和 R_{of} ，记入表 4-2。

1) 实验电路改接成基本放大器形式，在输入端加入 $f=1\text{KHz}$ 的

正弦信号，输出端接示波器，逐渐增大输入信号的幅度，使输出波形开始出现失真，记下此时的波形和输出电压的幅度。

2) 再将实验电路改接成负反馈放大器形式，增大输入信号幅度，使输出电压幅度的大小与 1) 相同，比较有负反馈时，输出波形的变化。

五、预习与思考

- 1、复习教材中有关负反馈放大器的内容。
- 2、负反馈对放大器性能的改善程度取决于反馈深度 $|1+AF|$ ，是否 $|1+AF|$ 越大越好，为什么？
- 3、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？
- 4、如输入信号存在失真，能否用负反馈来改善？

实验五 集成运算放大器的基本应用

一、实验目的

- (1) 研究由集成运放组成的基本运算电路的功能。
- (2) 了解运算放大器在实际应用中应考虑的一些问题。

二、实验仪器及器件

实验电路板、通用运算放大器 LM358、电阻、数字万用表、数字示波器、函数信号发生器、直流稳压电源。

三、实验内容及步骤

a.反相比例运算电路测试

(1) 对照图 5-1 所示的反相比例运算电路，在实验电路板上接入对应阻值电阻和通用运算放大器 LM358，接通 $\pm 12V$ 电源线。

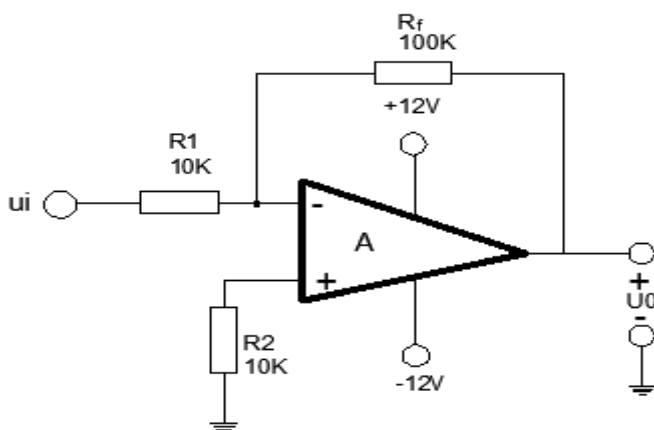


图 5-1 反相比例运算电路

(2) 调节函数信号发生器，使其输出 $f=200\text{Hz}$ ， $U_{pp}=1V$ 的正弦信号。

(3) 将信号接入电路输入端，用示波器测量相应的输出电压 U_{opp} 值，并观测 U_0 、 U_i 的相位关系，填入表 5-1 中。

b.加法器运算电路测试

对照图 5-2 所示的加法器运算电路，在实验电路板上接入对应阻值电阻和通用运算放大器 LM358，接通±12V 电源线。在输入端 U_{i1} 加入 1000Hz， $0.1V_{rms}$ 的正弦波信号，在输入端 U_{i2} 加入 0.1V 的直流信号，用示波器观察输出端 U_0 的波形并填入表 5-1 中。

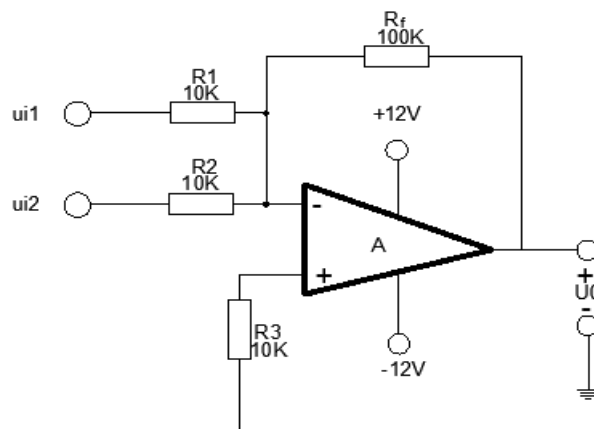


图 5-2 加法器运算电路

c. 同相比例运算电路测试

(1) 对照图 5-3 所示的同相比例运算电路，在实验电路板上接入对应阻值电阻和通用运算放大器 LM358，接通±12V 电源线。

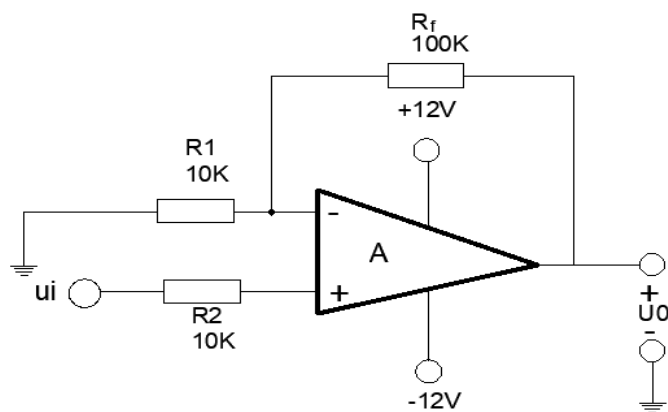


图 5-3 同相比例运算电路

(2) 将 $f=200\text{Hz}$ ， $U_{pp}=1V$ 的正弦波信号接入电路输入端，测量相应的输出电压 U_0 值；并用示波器观测 U_0 、 U_i 的相位关系，填入

表 5-1 中。

d.电压跟随器电路测试

(1) 对照图 5-4 所示的电压跟随器电路，在实验电路板上接入对应阻值电阻和通用运算放大器 LM358，接通±12V 电源线。

(2) 将 $f=200\text{Hz}$ ， $U_{pp}=1\text{V}$ 的正弦波信号接入电路输入端，测量相应的输出电压 U_0 值；并用示波器观测 U_0 、 U_i 的相位关系，填入表 5-1 中。

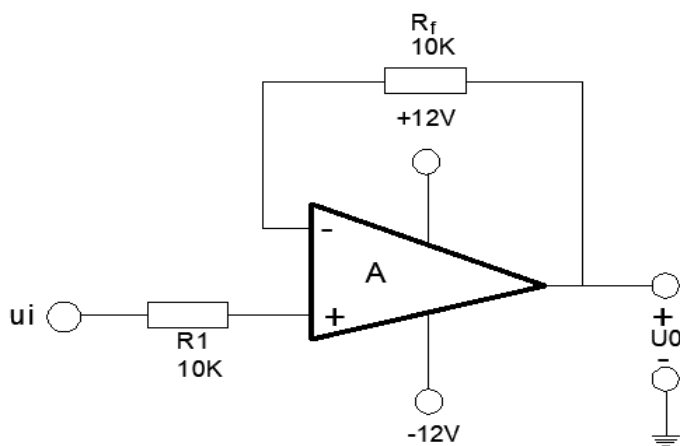


图 5-4 电压跟随器电路

表 5-1

参数 类型	U_{i1}	U_{i2}	$U_i(V)$	$U_o(V)$	A_u		U_i 、 U_0 波形
					实测	理论	见图片
反相比例	/	/					
反相加法器							
同相比例	/	/					
电压跟随器	/	/					

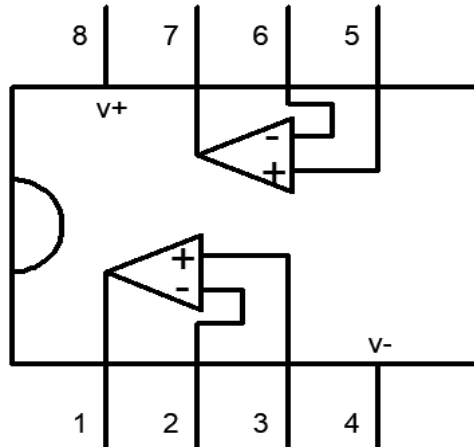


图 5-5 运放引脚图

四、实验报告要求

- 1、总结本实验中四种电路的特点及性能；
- 2、分析理论计算结果和实验测结果误差的原因。

五、预习与思考

- 1、何谓“虚地”与“虚短”？
- 2、计算上述基本运算电路的 U_o 、 A_u 理论值。

实验六 电压比较器的测试

一、实验目的

- (1) 了解电压比较器与运算放大器的性能区别。
- (2) 掌握电压比较器的结构及特点。
- (3) 掌握电压比较器电压传输特性的测试方法。
- (4) 学习比较器在电路设计中的应用。

二、实验仪器及器件

实验电路板、通用运算放大器 LM358、电阻、电容、数字万用表、数字示波器、函数信号发生器、直流稳压电源。

三、实验内容及步骤

1、过零比较器

实验电路如图 6-1 (1) 所示，其中双向稳压管 2DW232 用于限幅，将输出幅度 U_o 限制在 $\pm U_Z$ 。(实验中如果对输出幅度没有要求，双向稳压管可以不接)

- (1) 按图接线， U_i 悬空时测量 U_o 电压。
- (2) 输入信号 U_i 输入 500Hz 幅值为 5V 的正弦波，观察过零比较器输入与输出波形并记录。
- (3) 变 U_i 幅值，观察 U_o 的变化。

2、反相滞回比较器

实验电路如图 6-1 (2) 所示。

- (1) 按图接线， U_i 输入 500Hz 幅值为 5V 的正弦波，观察反相滞回比较器输出波形并记录。
- (2) 保持输入信号不变，将示波器调整至 X-Y 工作方式，输入信号 U_i 接 X 通道，输出信号 U_o 接 Y 通道，测试反相滞回比较器

的传输特性，测其滞回电压 U_{HT} 值，并记录。

*3、同相滞回比较器：实验电路如图 6-1（3）所示。

（1）参照反相滞回比较器，自拟试验步骤及方法。

（2）将结果与反相滞回比较器相比较。

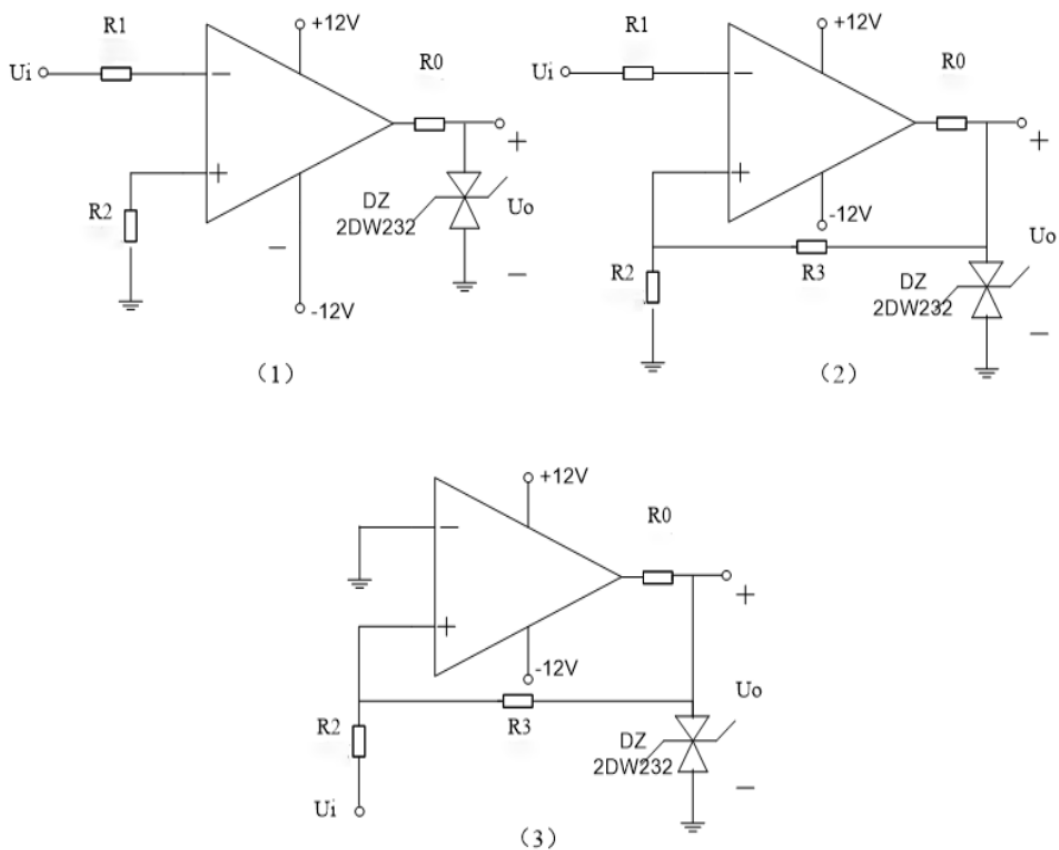
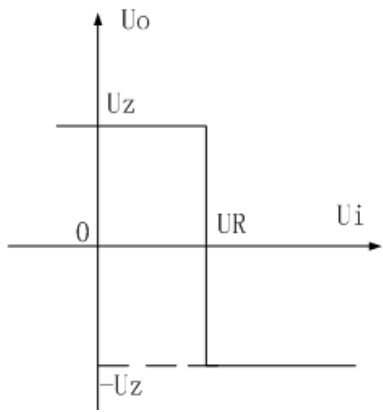
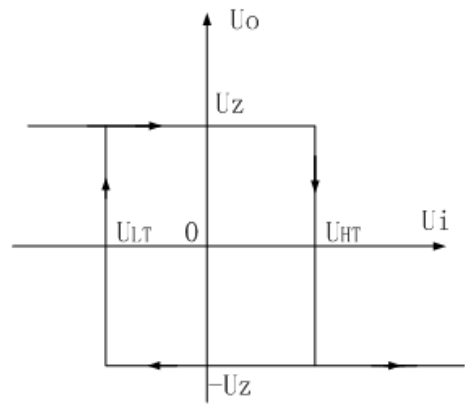


图 6-1 电压比较电路



(1) 无滞回电压比较器传输特性



(2) 有滞回电压比较器传输特性

图 6-2 滞回电压比较器传输特性

实验七 正弦波振荡器的测试

一、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、学会设计并测量和调试 RC 振荡器

二、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 R、C 元件组成选频网络，就称为 RC 振荡器，一般用来产生 1Hz~1MHz 的低频信号。

1、RC 移相振荡器

电路型式如图 7-1 所示，选择 $R \gg R_i$ 。

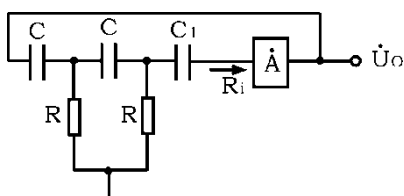


图 7-1 RC 移相振荡器原理图

振荡频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

起振条件放大器 A 的电压放大倍数 $|\dot{A}| > 29$ 。电路特点简便，但选频作用差，振幅不稳，频率调节不便，一般用于频率固定且稳定性要求不高的场合。

频率范围：几赫~数十千赫。

2、RC 串并网络（文氏桥）振荡器

电路型式如图 7-2 所示。

振荡频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

起振条件 $|\dot{A}| > 3$

电路特点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。

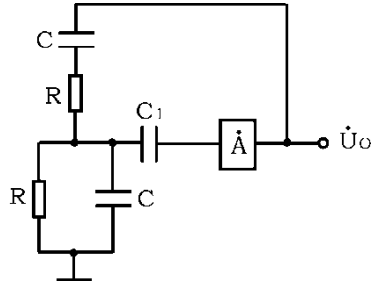


图 7-2 RC 串并网络振荡器原理图

3、双 T 选频网络振荡器

电路型式如图 7-3 所示。

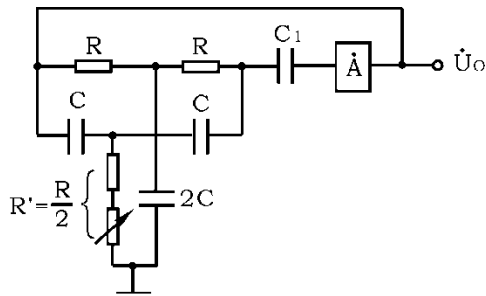


图 7-3 双 T 选频网络振荡器原理图

振荡频率 $f_0 = \frac{1}{5RC}$

起振条件 $R' < \frac{R}{2} \quad |\dot{A}\dot{F}| > 1$

电路特点选频特性好，调频困难，适于产生单一频率的振荡。

注：本设计采用运算放大器组成 RC 正弦波振荡器。

三、实验设备与器件

1、程控直流电源

2、函数信号发生器

- 3、数字示波器
- 4、数字万用表
- 5、集成运放 LM358
- 6、电阻、电容、电位器等

四、实验内容

1、RC 串并联选频网络振荡器

(1) 按照理论计算得出 RC 的设计值后，按图 7-5 连接线路。

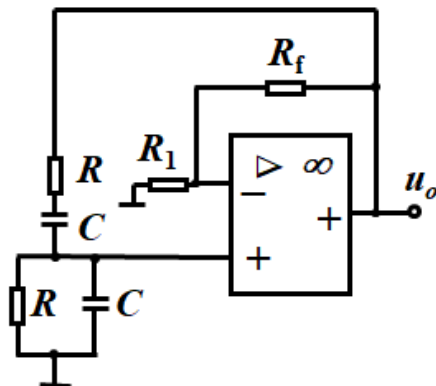


图 7-5 RC 串并联选频网络振荡器

(2) 断开 RC 串并联网路，测量放大器静态工作及电压放大倍数。

(3) 接通 RC 串并联网路，并使电路起振，用示波器观测输出电压 u_o 波形，调节 R_f 使获得满意的正弦信号，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 串并联网路幅频特性的观察

将 RC 串并联网路与放大器断开，用函数信号发生器的正弦信号注入 RC 串并联网路，保持输入信号的幅度不变（约 3V），频率由低到高变化，RC 串并联网路输出幅值将随之变化，当信号源达某一频率时，RC 串并联网路的输出将达最大值（约 1V 左右）。且输入、输出同相位，此时信号源频率为

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

五、实验总结

1、由给定振荡频率计算电路参数，并与实测值比较，分析误差产生的原因。

2、总结三类 RC 振荡器的特点。

六、预习要求

1、复习教材有关三种类型 RC 振荡器的结构与工作原理。

2、如何用示波器来测量振荡电路的振荡频率。

实验八 整流滤波与并联稳压电路的性能测试

一、实验目的

- 1、熟悉单相桥式整流电路。
- 2、观察了解电容滤波作用。了解并联稳压电路。

二、实验仪器

- 1、数字示波器
- 2、交流毫伏表
- 3、数字万用表

三、实验内容及步骤

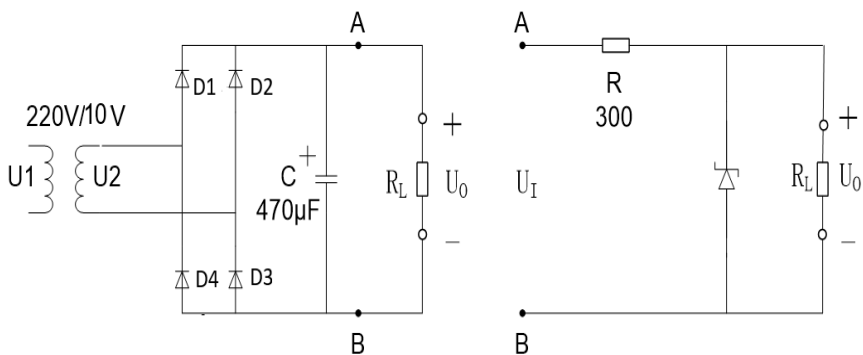


图 8-1 整流滤波与并联稳压电路

1、桥式整流滤波电路

实验电路如图 8-1（1）所示：

（1）在 $R_L = \infty$ 分别由不同的电容接入电路，用直流电压表测 U_o 并纪录。

（2）在 $R_L = 1k\Omega$ 和 $R_L = 300\Omega$ 时，重复上述实验并在表 8-1 记录。

表 8-1 $U_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

	无电容	$47\mu F$	$470\mu F$
$R_L = \infty$			
$R_L = 1k\Omega$			
$R_L = 300\Omega$			

(3) 观察 U_2 波形，在 $R_L=1\text{k}\Omega$ 时，用示波器观察不同电容值下 U_o 波形，记录观察到的波形。

2、并联稳压电路

实验电路如图 8-1 (2)，A、B 两点左侧电路省略，同图 8-1 (1) 中 A、B 两点左侧电路。

电源输入电压不变，负载变化时电路的稳压性能。改变负载电阻 R_L ，使负载 $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{k}\Omega$ ，分别测量 U_o 、 U_R ，并计算电源输出电阻 R_o ，在表 8-2 记录。

表 8-2

R_L	U_i	U_R	U_o	R_o
$R_L=\infty$				
$R_L=1\text{k}\Omega$				

四、实验报告要求

- 1、整理实验数据，并按实验内容计算。
- 2、对表 8-1 中的数据进行全面分析，总结桥式整流、电容滤波电路的特点。

五、预习与思考

- 1、说明图 8-1 中 U_1 、 U_2 、 U_o 的物理意义，并选择合适的测量仪器。
- 2、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？