

电工与电子技术实验指导书

哈爾濱工業大學(深圳)

实验与创新实践教育中心

2019 年 12 月

学生实验守则

实验时应保证人身安全，设备安全，爱护国家财产，培养科学作风。为此，在本实验室应遵守以下守则：

1. 必须按时到指定实验室做实验，不得迟到。
2. 课前必须对所做的实验进行充分预习，并完成预习报告，经指导教师检查合格后，方可进行实验。
3. 应独立完成实验准备工作。在启动设备之前，需经指导教师允许。
4. 实验时，要正确操作，仔细观察，真实记录实验数据的结果。不许喧闹谈笑，不做与实验无关的事情，不动与实验无关的设备，不进入实验无关的场所。
5. 实验中要遵守实验室安全规定及有关操作规程。
6. 仪器设备出现异常时，应及时报告指导教师。发生安全事故时，应立即切断相应的电源、气源等，并听从教师的指导，沉着冷静，不要惊慌。
7. 实验中，如发现仪器设备损坏，应及时报告，查明原因。凡属违反操作规程导致设备损坏的，将追究责任，照章赔偿。
8. 实验完成后，需要由指导教师检查数据。然后整理设备、仪器及实验台，经指导教师检查并签字后方可离开。
9. 实验报告要在规定的时间内交给教师批阅。批阅后的实验报告由学生妥善保管，以备考核。
10. 进入开放实验室做实验时，应提前与实验室管理人员联系，报告自己的实验目的、内容，实验后整理好实验现场，方可离开。

实验设备使用注意事项

1. 连接实验电路时，必须断电。检查确认无误后方可上电。切勿将 380V 电源和 220V 电源接错，以免器件或设备烧毁。
2. 强电实验与弱电实验中使用的导线不同，强电导线端子有绝缘塑料保护，不可将弱电导线用于强电实验中，以免短路或触电。
3. 使用直流稳压电源两个通道分别输出正、负电源时，正电源的负端和电源的正端要连在一起。
4. 若发现设备打开无显示，请检查设备电源是否插好或保险丝是否良好。
5. 可调电阻（电位器）在使用时，须先调至最大值再通电，然后调至需要的阻值。
6. 若发现上电后，芯片发热严重或者供电电源的电源异常增加，应立即断电，然后检查芯片是否损坏，检查电路连接是否正确。
7. 使用电流表时，注意将电流表调至最大档位串联于电路中，再调节档位，避免烧坏仪表。切勿将电流表并联于电路，否则会造成电源短路。
8. 示波器两个测试探头的地端是导通的，所以测试时需要接在电路的同一个“地”的电位点。
9. 函数发生器输出端和发生器的地端在设备内部是导通的，所以在测试时，函数发生器的接地端、示波器探头的接地端都应该接在电路的“地”的同一点。

安全须知

1. 规范着装。为保证实验操作过程安全、避免实验过程中意外发生，学生禁止穿拖鞋进入实验室，女生尽量避免穿裙子参加实验。
2. 实验前必须熟悉实验设备参数、掌握设备的技术性能以及操作规程。
3. 实验时人体不可接触带电线路，接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。
4. 学生独立完成接线或改接线路后必须经指导教师检查和允许，并使组内其他同学引起注意后方可接通电源。实验中如设备发生故障，应立即切断电源，经查清问题和妥善处理故障后，才能继续进行实验。
5. 接通电源前应先检查功率表及电流表的电流量程是否符合要求，有否短路回路存在，以免损坏仪表或电源。特别提醒：实验过程中违反以上任一须知，需再次进行预习后方可再来参加实验；若违反三次及以上，本课程重修。

实验报告撰写要求

1. **预习报告要求：**预习列出该次实验的实验目的、原理以及使用的设备，器件等；绘制实验线路图，并注明仪表量程、电阻器阻值、电源端编号等；理论计算实验要求的数据，并注明相关的实验环境参数与要求；如有要求需要仿真预习的，根据每个实验的要求进行仿真，需要有仿真原理图，仿真参数，仿真结果等。
2. **实验完成后：**实验报告中对实验过程进行描述，对实验数据进行分析 and 整理，说明实验结果与理论是否符合，与预习结果对比是否符合；回答实验指导书中的问答题、思考题；另一方面根据实测数据和在实验中观察和发现的问题，经过自己研究或分析讨论后写出的心得体会。
3. **数据处理中：**必须用坐标纸绘制曲线，用曲线尺或曲线板连成光滑曲线，不在曲线上的点仍按实际数据标出其具体坐标。在同一坐标系下绘制多个曲线时，要用不同的线型或者符号标明。
4. **实验报告：**实验结束后，由班长按照序号排序提交。
5. **温馨提示：**实验及实验报告须独立完成，不得抄袭，一经发现，本课程重修。实验报告撰写过程中如遇预留空白不足，可在该页背面接续。

目 录

实验一 叠加定理与戴维南定理	1
实验二 RLC 串联谐振电路	8
实验三 单管交流电压放大电路	16
实验四 集成运算放大器的应用	22

实验一 叠加定理与戴维南定理

1.1 实验目的

- (1) 学习和掌握常用电工电子仪器仪表的使用方法；
- (2) 掌握电流、电压参考方向的含义及其应用；
- (3) 通过实验验证并加深对叠加定理、戴维南定理的理解；
- (4) 了解戴维南定理是化简复杂电路的一种有效方法。

1.2 实验预习要求

- (1) 复习叠加定理、戴维南定理的理论知识，完成实验报告中的内容。
- (2) 预习实验中所用到的实验仪器的使用方法及注意事项；
- (3) 根据实验电路计算实验中要测试数据的理论值，填入实验报告相关表格中。

1.3 实验仪器与器件

表 1-1 实验仪器与器件列表

名称	数量	型号
直流稳压电源	1 台	DP832A
手持万用表	1 台	Fluke17B+
直流电压表	1 块	30111047
恒流源	1 台	SL1500
电阻	若干	\
电流插孔	3 只	\
电流插孔导线	3 条	\
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm

1.4 实验原理

1.4.1 叠加定理

叠加定理：在线性电路中，几个独立电源共同作用产生的响应等于各个独立电源单独作用时产生响应的代数和。

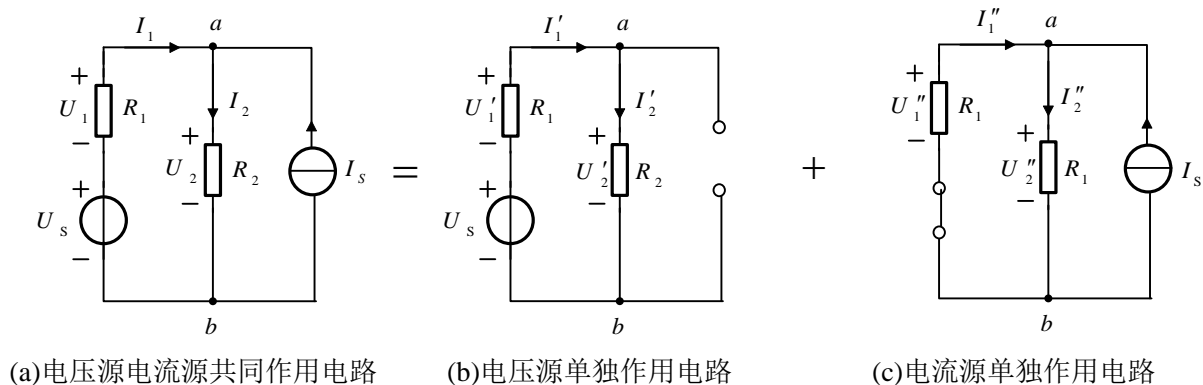


图 1-1 电压源、电流源共同作用与分别单独作用电路

在图 1-1(a)中, 设 U_s 和 I_s 共同作用时, 在电阻 R_1 上产生的电压、电流分别为 U_1 、 I_1 , 在电阻 R_2 上产生的电压、电流分别为 U_2 、 I_2 。当电压源 U_s 不作用, 即 $U_s=0$ 时, 在 U_s 处用短路线代替; 当电流源 I_s 不作用, 即 $I_s=0$ 时, 在 I_s 处用开路代替; 而电源内阻都必须保留在电路中。

(1) 设电压源 U_s 单独作用时引起的电压、电流分别为 U'_1 、 U'_2 、 I'_1 、 I'_2 , 电路如图 1-1(b) 所示。

(2) 设电流源 I_s 单独作用时引起的电压、电流分别为 U''_1 、 U''_2 、 I''_1 、 I''_2 , 电路如图 1-2(c) 所示。

这些电压、电流的参考方向均已在图中标明。验证叠加定理, 即

$$\begin{cases} U_1 = U'_1 + U''_1 \\ U_2 = U'_2 + U''_2 \\ I_1 = I'_1 + I''_1 \\ I_2 = I'_2 + I''_2 \end{cases} \quad (1-1)$$

1.4.2 戴维南定理

戴维南定理: 线性含源一端口网络的对外作用可以用一个电压源串联一个电阻的电路来等效代替。其中电压源的电压等于此一端口网络的开路电压, 而电阻等于从此一端口网络看进去所有独立电源置零后的等效电阻, 如图 1-2 所示。

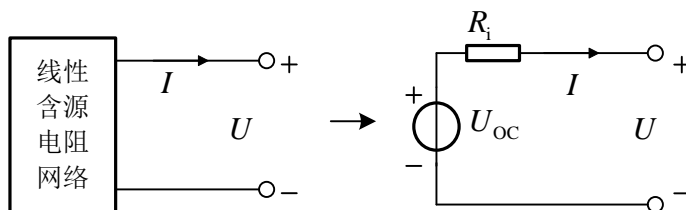


图 1-2 戴维南定理图示

下面介绍测量等效电路参数的实验方法。

(1) 测量开路电压

将一端口网络开路，用电压表直接测量开路电压，如图 1-3 所示。

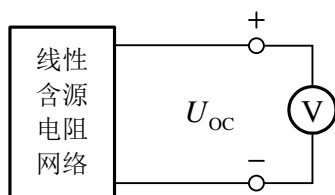
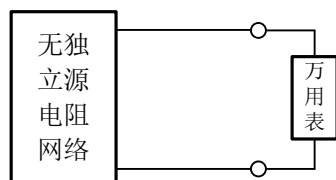


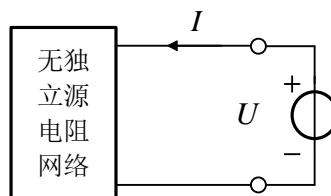
图 1-3 测开路电压示意图

(2) 测量等效电阻

将一端口网络内独立电源置 0，用万用表的欧姆档测出一端口网络的等效电阻，如图 1-4(a)，或在端口处外加一个电压源，通过测量端口电压 U 与电流 I ，计算 $U/I=R_s$ ，如图 1-4(b)。



(a) 用万用表测电阻



(b) 用外加电源法测电阻

图 1-4 测量等效电阻的示意图

1.5 实验步骤

在进行实验操作之前，请对实验仪器及元件进行检测，确保仪器仪表工作正常，元件参数值和电路图所标参数吻合。

检测内容包括：

- 1、直流电压源，直流电流源工作是否正常；
- 2、用万用表检测电流插头的通断；
- 3、根据电路图从元件盒中找到需要的电阻，并用万用表的电阻档（ Ω 档），测量电阻值，确保阻值正确；

完成上述工作后，才能进行实验。

1.5.1 叠加定理

按图 1-5 接线，取直流电压源 $U_s=10V$ ，直流电流源 $I_s=20mA$ ，电阻 $R_1=220\Omega$ ， $R_2=100\Omega$ ，Xs1 和 Xs2 为电流测量插孔，根据图中的电流参考方向，按照电流由“+”端子流入、“-”端子流出的原则，将电流插座接入电路。

注意事项：电压源禁止短路，电流源禁止开路。

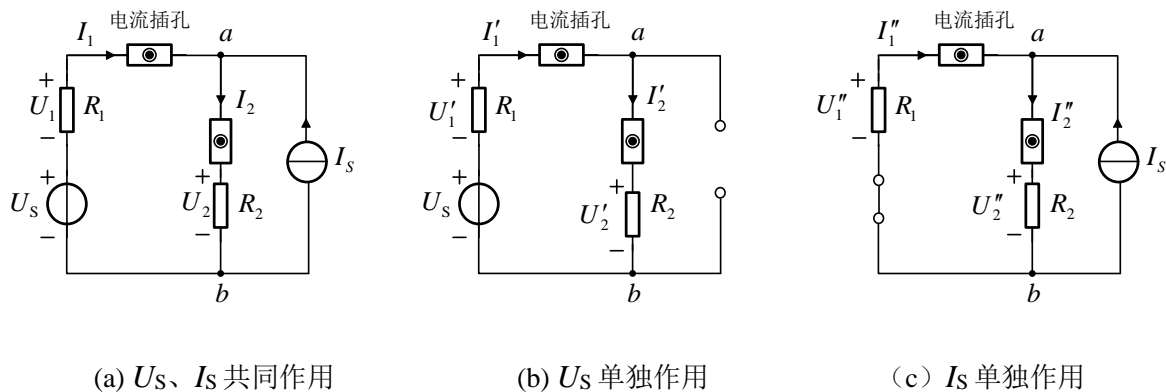


图 1-5 验证叠加原理的实验线路

(1) 当 U_s 、 I_s 共同作用时，测量电路如图 1-5（a）所示。测量各支路电流和电阻元件两端的电压值。

使用实验台上的电流表测量电流，使用万用表的直流电压档测量电压，其数据记入表 1-2 第一行中。

注意：在测量数据时，应按照图中的参考方向测量各电压、电流。既要测试电压、电流的大小，还要判断电压、电流的实际方向是否与参考方向一致，当测量出电压、电流为正值时，说明电压、电流的实际方向与参考方向相同，当测量出电压、电流为负值时，说明电压、电流的实际方向与参考方向相反。

(2) 当电源 U_s 单独作用时，电流源 I_s 开路，将电流源关闭。测量电路如图 1-5（b）所示。

使用实验台上的电流表测量各支路电流，使用万用表的直流电压档测量电阻元件两端的电压记入表 1-2 第二行中。

表 1-2 验证叠加原理实验数据

电压(V)/电流(mA)

测量值	U_s, I_s 共同作用	$U_1 =$	$U_2 =$	$I_1 =$	$I_2 =$
	U_s 单独作用	$U_1' =$	$U_2' =$	$I_1' =$	$I_2' =$
	I_s 单独作用	$U_1'' =$	$U_2'' =$	$I_1'' =$	$I_2'' =$
	计算结果(公式(1-1))				
理论值	U_s, I_s 共同作用	$U_1 =$	$U_2 =$	$I_1 =$	$I_2 =$
	U_s 单独作用	$U_1' =$	$U_2' =$	$I_1' =$	$I_2' =$
	I_s 单独作用	$U_1'' =$	$U_2'' =$	$I_1'' =$	$I_2'' =$
	计算结果(公式(1-1))				

(3) 当电源 I_s 单独作用时，电压源 U_s 置 0。测量电路如图 1-5 (c) 所示。

即电压源支路断开，在这位置上用短接端子短路。使用实验台上的电流表测量各支路电流，使用万用表的直流电压档测量电阻元件两端的电压记入表 1-2 第三行中。

注意事项：

实验中使用的电源一般由电子元件组成的直流电压源或直流恒流源，直接关掉电源后，它们将成为负载，且不满足理想电压源内阻为 0 以及理想恒流源内阻无穷大的要求。因此，在此实验中，当测量某一电源单独作用产生的电压或电流时，其他电源应从电路中去掉，即将移去电压源的支路短路，将移去电流源的支路开路，以满足叠加定理的要求。

1.5.2 戴维南定理

戴维南定理的验证实验电路接线如图 1-6 所示。虚线框内为有源一端口网络，其端口 ab 可以处于开路状态。

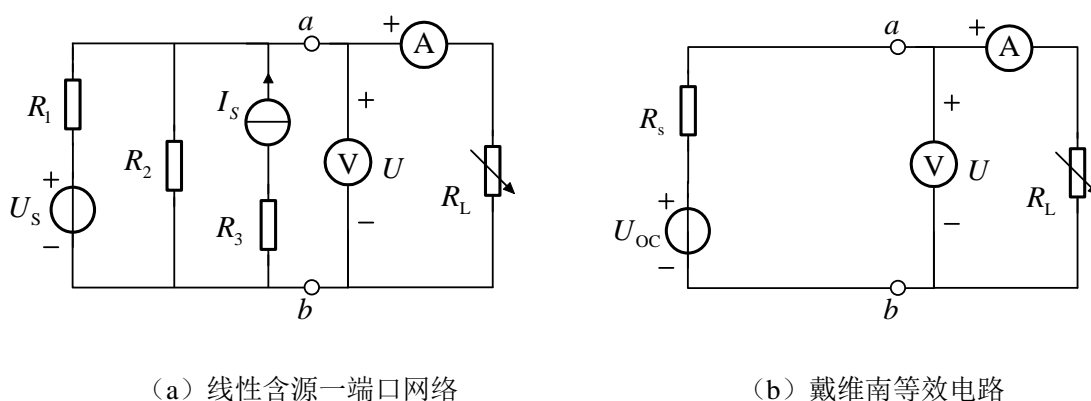


图 1-6 戴维南定理的验证电路

(1) 测量有源一端口网络的等效电路参数

按照图 1-6 (a) 接线， $U_s=10V$ ， $I_s=20mA$ ， $R_1=510\Omega$ ， $R_2=220\Omega$ ， $R_3=100\Omega$ ， R_L 是 0~10k Ω 的可调电阻，按照实验原理 1.4.2 中的测量方法，测量 ab 一端口网络的戴维南等效电路参数，然后计算电路参数，填入表 1-3 中。

表 1-3 线性含源一端口电阻网络等效电路参数测试

等效参数	等效电路参数测量值	等效电路参数计算值
测量开路电压：用万用表直流电压档测量	$U_{oc} =$	$U_{oc} =$
测量等效内阻方法 1：独立电源置 0，用万用表的欧姆档测量。	$R_s =$	$R_s =$
测量等效内阻方法 2：独立电源置 0，在 ab 端口外加 $U_O = 10V$ 的直流电压，测量端口电流 I_O ，则 $R_s = U_O / I_O$ 。	$R_s =$	$R_s =$

(2) 测量有源一端口网络的外特性

将一端口网络接上 $10\text{k}\Omega$ 的可调负载 R_L ，如图 1-6 (a) 所示。调节负载 R_L 值，测量 ab 端口的电压与电流，填入表 1-4 中。

(3) 测定戴维南等效电路的外特性

①用前面测得的含源网络的开路电压 U_{oc} 和等效电阻 R_s 组成戴维南等效电路，如图 1-6 (b) 所示。

②调节负载电阻 R_L ，测量 ab 端口的电压与电流，填入表 1-4 中。

(4) 绘外特性曲线

在同一坐标纸上画出图 1-6 (a) 的一端口网络和图 1-6 (b) 的戴维南等效电路的外特性曲线，分析比较两条曲线，给出结论。

表 1-4 含源一端口网络及等效电路外特性数据

参数	改变 R_L		R_L 最大	R_L 变小	R_L 变小	R_L 变小	R_L 最小
含源一端口网络的外特性	I/mA	理论值					
		测量值		10	20	30	
	U/V	理论值					
		测量值					
等效电路的外特性	I/mA	理论值					
		测量值		10	20	30	
	U/V	理论值					
		测量值					

1.6 注意事项

- (1) 不允许带电接线。
- (2) 先调好电压源和电流源的输出值，电源才能接入电路(用电压表和电流表测量)。
- (3) 实验过程中，不允许带电换线、换元件。
- (4) 电压源不允许短路，电流源不允许开路。
- (5) 测量电压、电流时，电压表要与被测元件并联，电流表要与被测支路串联。
- (6) 做完每一项实验时要请指导老师检查数据，方可进行下一步实验。
- (7) 全部实验完成后，关闭电源，拆除导线，实验用品放回原处，方可离开实验室。
- (8) 遵守实验室的各项规章制度。

1.7 故障分析与检查排除

- (1) 实验中常见故障

- ①连线：连线错，接触不良，断路或短路；
- ②元件：元件错或元件值错，包括电源输出错；
- ③参考点：电源、实验电路、测量仪器之间公共参考点连接错误等。

(2) 故障检查

故障检查方法很多，一般是根据故障类型，确定部位、缩小范围，在小范围内逐点检查，最后找出故障点并给予排除。简单实用的方法是用万用表（电压档或电阻档）在带电或断电状态下检查电路故障。

①**断电检查法**：用万用表的电阻档，在断开电源情况下，根据实验原理，测短路情况：电路某两点应该导通无电阻，电阻档显示电阻为零，即为短路；测开路情况，某两点应该开路，即电阻档显示为无穷大或电阻很大，即为开路。但测得的结果不是这样，则故障即在此两点间。

②**带电检查法**：用万用表的电压档（或电压表），在接通电源情况下，根据实验原理，测量电路某两点之间是否有电压，若某两点之间应该有电压，万用表测不出电压；若某两点不应该有电压，而万用表测出了电压，则故障即在此两点间。

1.8 实验思考题

(1) 在叠加原理验证实验中，通过对实验数据的计算，判别电阻上的功率是否也符合叠加原理？

(2) 电压源和电流源的装置上都有输出值显示，而在实验中为什么要使用电压表和电流表来校准电压源和电流源的输出电压值和输出电流值呢？

1.9 实验报告要求

- (1) 实验步骤、数据处理过程、实验思考题写在实验报告中；
- (2) 原始测量数据需要在课堂上由老师确认。
- (3) 实验数据、曲线等要求手写，用坐标纸画出曲线。
- (4) 实验结果分析及实验结论要根据实验结果得出。
- (5) 实验体会、意见和建议写在实验报告的最后。

实验二 RLC 串联谐振电路

2.1 实验目的

- (1) 通过实验进一步理解 RLC 串联电路的频率特性；
- (2) 了解串联谐振的现象，研究电路参数对串联谐振电路的影响；
- (3) 理解串联谐振电路的选频特性及应用，掌握谐振曲线的测量方法；
- (4) 理解 RC 选频网络选频的实际意义，测量 RC 网络的选频特性；
- (5) 掌握信号发生器和示波器的使用方法。

2.2 实验预习要求

- (1) 复习正弦交流电路串联谐振及频率特性的相关知识，完成实验报告中的内容。
- (2) 预习实验中所用到的实验仪器的使用方法及注意事项；
- (3) 根据实验电路计算实验中要测试数据的理论值，填入实验报告相关表格中。

2.3 实验仪器与器件

表 3-1 实验仪器与器件列表

名称	数量	型号
交流毫伏表	1 台	SM2030A
电感	1 只	10mH*1
电阻	6 只	1 Ω *1、100 Ω *1、510 Ω *1、 2k Ω *1、15k Ω *2
电容	4 只	1 μ F*1、2200pF*1、 0.01 μ F*2
信号发生器	1 台	TFG6960A
示波器	1 台	TEK MSO 2012B
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm

2.4 实验原理

2.4.1 RLC 串联谐振

RLC 串联谐振的频率特性测试电路如图 3-1 所示。在图 3-1 所示的 RLC 串联电路中，当外加角频率为 ω 的正弦电压 \dot{U} 时，电路中的电流为 \dot{I} ，即

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R' + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

式中, $R' = R + r$, r 为线圈电阻。当 $\omega L = 1/\omega C$ 时, 电路发生串联谐振, 谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-1)$$

式 (2-1) 即为产生串联谐振的条件。可见, 改变 L 、 C 或电源频率 f 都可以实现谐振。本次实验是通过改变外加电压的频率使电路达到谐振的。

串联谐振有以下特征:

①谐振时电路的阻抗最小, 而且是纯电阻性的, 即

$$Z_0 = R' + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \Big|_{\omega=\omega_0} = R'$$

此时谐振电流 \dot{I} 与电压 \dot{U} 同相位, 且 $I_0 = U/R'$ 为最大值。

②谐振时有 $U_L = U_C$, 电路的品质因数 Q 为

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L}{R'} = \frac{1}{\omega_0 C R'} = \frac{\sqrt{L/C}}{R'}$$

RLC 串联电路中的电流与外加电压角频率 ω 之间的关系称为电流的幅频特性, 即

$$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R'^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

为了便于比较, 将上式中的电流及频率均以相对值 I/I_0 及 f/f_0 表示, 则

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})^2}}$$

图 2-2 为 I/I_0 与 f/f_0 的关系曲线, 称为通用串联谐振曲线。可见谐振时电流 I_0 的大小与 Q 值无关, 而在其他频率下, Q 值越大, 电流越小, 串联谐振曲线的形状越尖锐, 说明选择性越好。曲线中 $I/I_0 = 1/\sqrt{2}$ 时, 对应的频率 f_2 (上限频率) 和 f_1 (下限频率) 之间的宽度为通频带 Δf , $\Delta f = f_2 - f_1$ 。由图 2-2 可见, Q 值越大, 通频带越窄, 电路的选择性越好。

电路的阻抗角 φ 与频率的关系称为相频特性, 特性曲线如图 3-3 所示。

$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

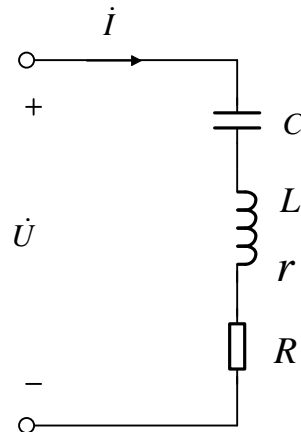


图2-1 R 、 L 、 C 串联电路

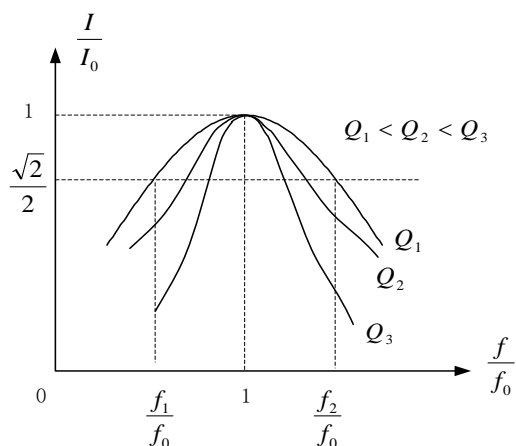


图 2-2 串联谐振曲线

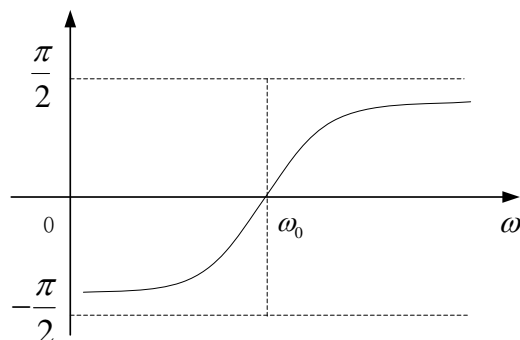
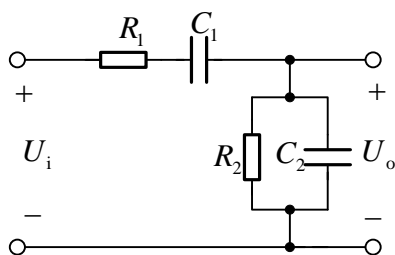


图 2-3 相频特性曲线

2.4.2 RC 选频网络

RC 选频网络由图 3-4 所示的 R_1C_1 串联及 R_2C_2 并联网络组成，该电路输入信号 U_i 的频率变化时，其输出信号幅度 U_o 随着频率的变化而变化。


 图 2-4 RC 选频网络

用 Z_1 表示串联网络的阻抗，用 Z_2 表示并联网络的阻抗，则有输出信号为

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_i \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$
(2-2)

将 Z_1 和 Z_2 代入式 (2-2)，得到

$$\frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_i} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}} = \frac{1}{(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}) + j(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2})}$$

在实验中取 $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$, 则上式变为

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} \quad (2-3)$$

用 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 代入式 (2-3), 得到

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{1}{3 + j(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

若用电压传递系数 K 表示 U_0/U_i 的模值, 则:

$$K = \left| \frac{U_0}{U_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}}$$

对应于不同的频率 $f = \frac{\omega}{2\pi}$, 可以画出 RC 串、并联网络的选频特性曲线, 如图 2-5 所示。

可见, 当频率为 ω_0 时, 幅频特性有最大值 $\frac{1}{3}$, 相频特性为 0。这正是称之为

选频网络的原因所在。图 2-5 中, 当 $\omega > \omega_0$ ($\omega/\omega_0 > 1$) 时, 电路呈感性; 当 $\omega < \omega_0$ ($\omega/\omega_0 < 1$) 时, 电路呈容性; 当 $\omega = \omega_0$ ($\omega/\omega_0 = 1$) 时, $K = K_0 = \frac{1}{3}$, 达到最大值, 所以 $f = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 为谐振频率。

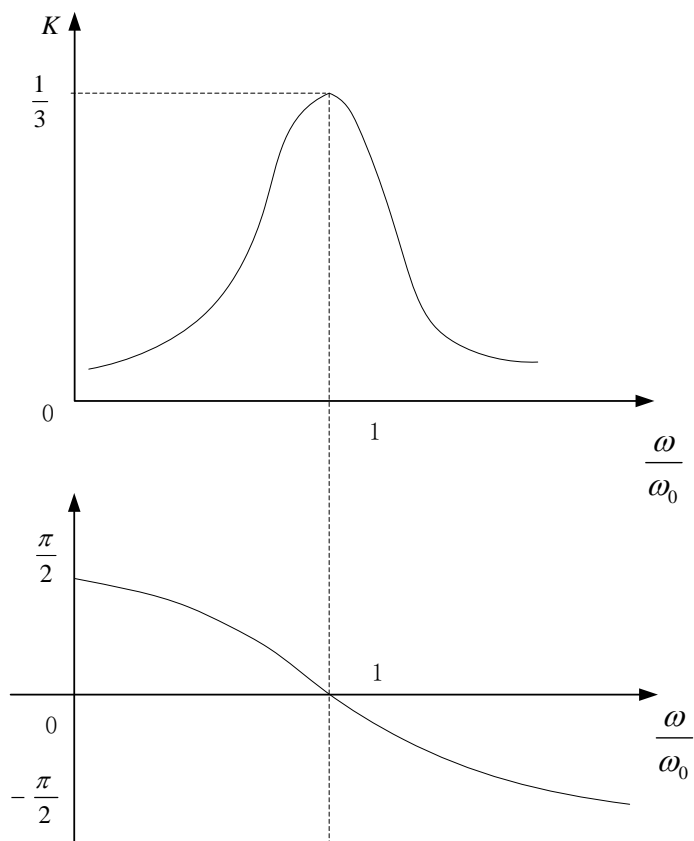


图2-5 RC 选频网络的频率特性

2.5 实验步骤

2.5.1 验证串联谐振电路

按图 2-6 接线, 测量串联谐振时的各项指标。电阻 R 为 51Ω , 电感 L 为 10 mH , 电容 C 为 $0.022\mu\text{F}$, 信号发生器的输出电压保持在 250mV 不变 (用交流毫伏表监测)。用毫伏表测量电阻 R 上的电压, 用示波器观察其波形。细心调节电源的频率, 观察 U_R 的波

形，当 U_R 的波形和输入电压波形同相位时，电路达到谐振状态（调节前先计算谐振频率作为参考）。此时，测量 U_R 、 U_L 、 U_C ，并读取谐振频率 f_0 ，记入表 2-2 中，同时记下元件 R 、 L 、 C 的实际值。

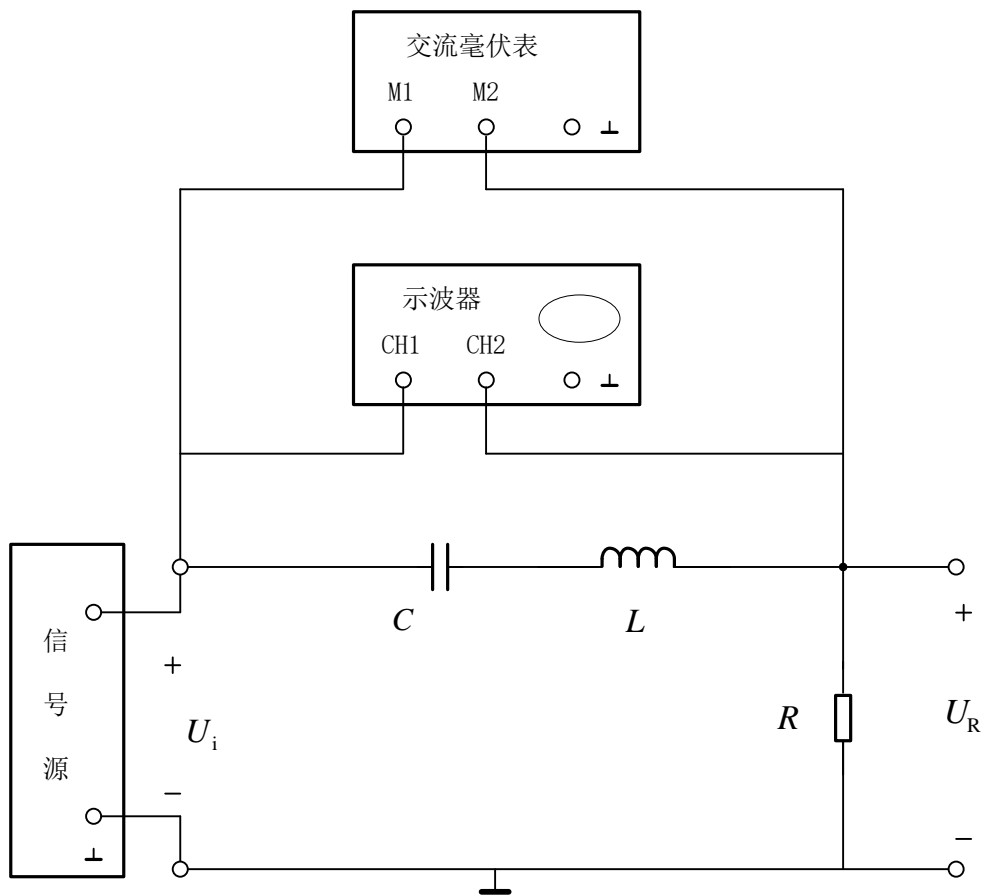


图 2-6 串联谐振实验线路

表 2-2 串联谐振实验数据表格

$R =$	$L =$	$C =$
$U_R =$	$U_L =$	$U_C =$
$f_0 =$	$I_0 = U_R/R =$	$Q =$

2.5.2 测量串联谐振曲线

实验线路为图 2-6，信号发生器输出电压调至 250mV（整个实验，电源电压应保持不变），在谐振频率两侧调节电源的频率（用交流毫伏表监测电源电压为 250mV 不变），分别测量各频率点的 U_R 值，记录于表 2-3（a）中（在谐振点附近要多测几组数据）。再将图 2-6 实验电路中的 R 更换为 100Ω、510Ω，重复上述测量过程，记录于表 2-3（b）中。然后整理数据，用坐标纸画出其谐振曲线。

表 2-3 (a) 测量谐振曲线数据

$U_i = \underline{\hspace{1cm}}$ V

$R=100\Omega$ 、 $L=$ 、 $C=$ 、 $Q=$													
$f(\text{kHz})$	1	2	4	6	8	9	$f_0=$	11	12	14	16	18	20
$U_R(\text{mV})$													
$I(\text{mA})$													
I / I_0													
f / f_0													

表 2-3 (b) 测量谐振曲线数据

$U_i = \underline{\hspace{1cm}}$ V

$R=510\Omega$ 、 $L=$ 、 $C=$ 、 $Q=$													
$f(\text{kHz})$	1	2	4	6	8	9	$f_0=$	11	12	14	16	18	20
$U_R(\text{mV})$													
$I(\text{mA})$													
I / I_0													
f / f_0													

2.5.3 用示波器观察 RLC 串联谐振电路的波形

按图 2-7 接线， R 取 510Ω 。双踪示波器的 CH1 通道与信号源的输出端连接，示波器显示出电路的总电压 u 的波形。双踪示波器的 CH2 通道与电阻 R 连接，示波器显示出电阻 R 上电压的波形，此波形与电路中电流 i 的波形相似，因此可以直接把它看作电流 i 的波形。接线时要注意，示波器和信号发生器的接地端必须连接在一起。信号发生器的输出频率取谐振频率 f_0 ，输出电压取 250mV ，调节示波器使屏幕上获得 2 个波形，将电流 i 和电压 u 的波形描绘下来。再在 f_0 左右各取一个频率点，信号发生器输出电压仍保持 250mV 不变，画出 i 和 u 的波形。

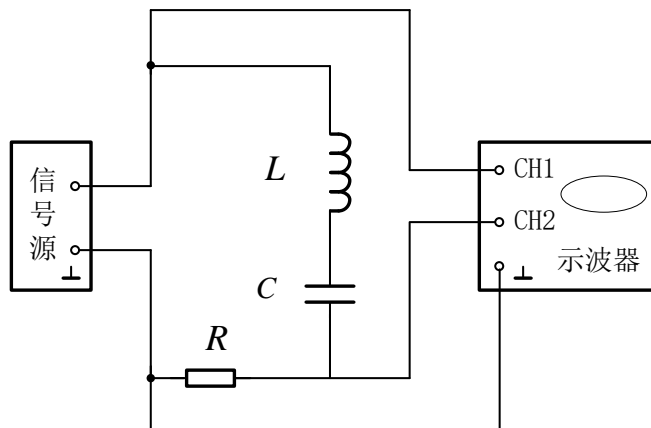


图 2-7 观测电流和电压间相位差实验线路图

调节信号发生器的输出频率，在 f_0 左右缓慢变化，观察示波器屏幕上 i 和 u 波形的相位和幅度的变化，将其波形画入图 2-8 中，并分析其变化原因。

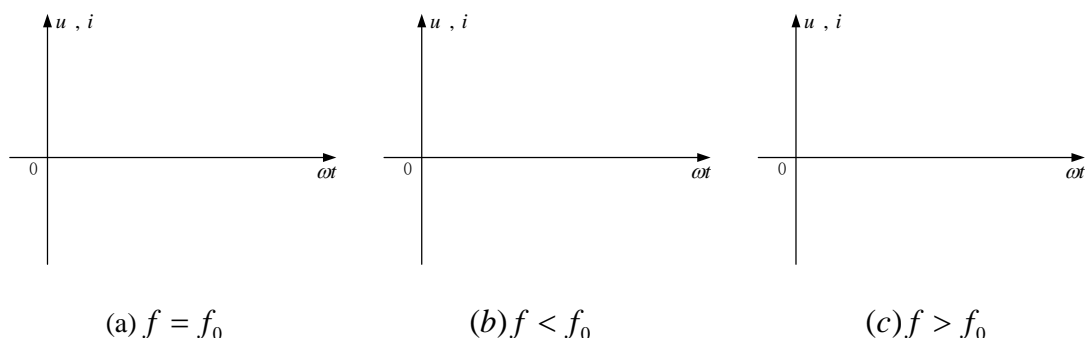


图 2-8 不同频率下的电压与电流波形

*2.5.4 RC 选频网络（选做）

按图 2-9 接线，将信号发生器接到电路的输入端 AD，电路的输出端 CD 接到交流毫伏表上。 R_1, R_2 均为 $15\text{k}\Omega$ ， C_1, C_2 均为 $0.01\mu\text{F}$ 。

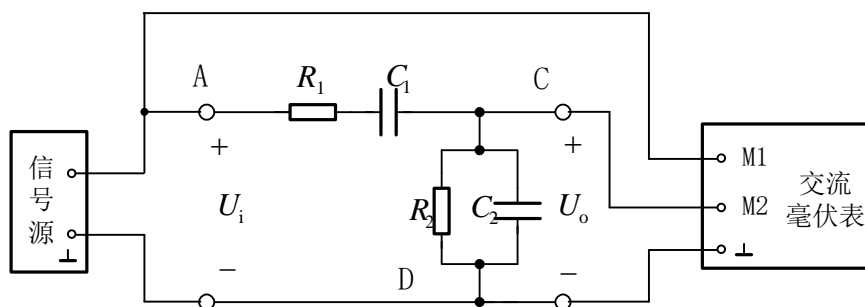


图 2-9 测量选频特性实验线路

保持信号源输出电压 $U_i = 9\text{V}$ ，改变信号源的频率 f ，用交流毫伏表测量相应频率点的输出电压 U_0 ，记录数据填入表 2-4 中。

表 2-4 测量选频特性实验数据

$f(\text{kHz})$	0.1	0.5	0.8	0.9	$f_0 =$	2	4	6	10
$U_0(\text{V})$									
$K=U_0/U_i$									

2.6 注意事项

- (1) 不允许带电接线。
- (2) 先调好电压源和电流源的输出值，电源才能接入电路(用电压表和电流表测量)。
- (3) 实验过程中，不允许带电换线、换元件。

- (4) 信号源、交流毫伏表、示波器和实验电路要**共地**，即设备的黑色接线端要接在一个结点上。
- (5) 做完每一项实验时要请指导老师检查数据，方可进行下一步实验。
- (6) 全部实验完成后，关闭电源，拆除导线，实验用品放回原处，方可离开实验室。
- (7) 遵守实验室的各项规章制度。

2.7 故障分析与检查排除

(1) 实验中常见故障

- ◆ 连线：连线错，接触不良，断路或短路；
- ◆ 元件：元件错或元件值错，包括电源输出错；
- ◆ 参考点：电源、实验电路、测试仪器之间公共参考点连接错误等。

(2) 故障检查

故障检查方法很多，一般是根据故障类型，确定部位、缩小范围，在小范围内逐点检查，最后找出故障点并给予排除。简单实用的方法是用万用表（电压档或电阻档）在带电或断电状态下检查电路故障。

①**断电检查法**：用万用表的电阻档，在断开电源情况下，根据实验原理，测短路情况：电路某两点应该导通无电阻，电阻档显示电阻为零，即为短路；测开路情况，某两点应该开路，即电阻档显示为无穷大或电阻很大，即为开路。但测得的结果不是这样，则故障即在此两点间。

②**带电检查法**：用万用表的电压档（或电压表），在接通电源情况下，根据实验原理，测量电路某两点之间是否有电压，若某两点之间应该有电压，万用表测不出电压；若某两点不应该有电压，而万用表测出了电压，则故障即在此两点间。

③当输入电压和输出**电压波形出现毛刺或载波**时，检查示波器的共地端（黑接线端）是否完好的接到了电路的公共端。

2.8 实验思考题

- (1) 在实验中，可用哪些方法来判断电路发生了串联谐振？

2.9 实验报告要求

- (1) 实验步骤、数据处理过程、实验思考题写在实验报告中；
- (2) 原始测量数据需要在课堂上由老师确认。
- (3) 实验数据、曲线等要求手写，用坐标纸画出曲线。
- (4) 实验结果分析及实验结论要根据实验结果得出。
- (5) 实验体会、意见和建议写在实验报告的最后。

实验三 单管交流电压放大电路

3.1 实验目的

- (1) 掌握晶体管放大电路静态工作点的调试方法。
- (2) 了解静态工作点的改变对放大电路性能的影响。
- (3) 了解饱和失真和截止失真对放大电路输出电压波形的影响。
- (4) 进一步熟悉示波器、低频信号发生器、毫伏表的使用。

3.2 实验预习要求

- (1) 复习共发射极交流电压放大电路的组成、放大原理和指标计算方法。
- (2) 明确本次实验的目的、意义，实验原理，实验电路图；完成所有理论值的计算，填写在实验指导书相应表格中。
- (3) 思考若提高电压放大倍数 A_u ，应采取哪些措施？

3.3 实验仪器与器件

表 3-1 实验仪器与器件列表

名称	数量	型号
直流稳压电源	1 台	DP832A
信号发生器	1 台	TFG6960A
示波器	1 台	TEK MSO 2012B
交流毫伏表	1 台	SM2030A
手持万用表	1 台	Fluke17B+
三极管（NPN）	1 只	9013*1
电阻	若干	20k Ω *2、1k Ω *2、100 k Ω *1、 2.4 k Ω *1、5 k Ω *1
可变电阻器	2 只	220k Ω *1、100 k Ω *1
电容	3 只	10 μ F/35V*2、47 μ F/35V*1
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm

3.4 实验原理

单管交流电压放大电路的最典型电路是共发射极分压偏置式交流电压放大电路，电路如图 3-1 所示。

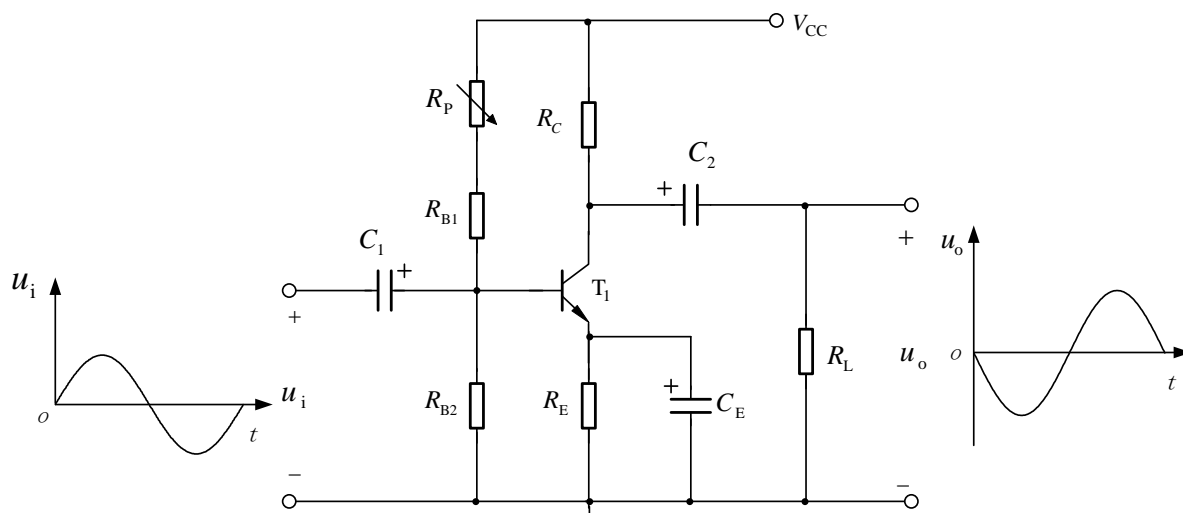


图 3-1 分压偏置式共发射极交流电压放大电路

在图 3-1 中，晶体管为非线性元件，要使放大器不产生非线性失真，就必须建立一个合适的静态工作点，使晶体管工作在放大区。若 Q 点过低 (I_B 小，则 I_C 小， U_{CE} 大)，晶体管进入截止区，产生截止失真； Q 点过高 (I_B 、 I_C 大， U_{CE} 小)，晶体管将进入饱和区，产生饱和失真。调节基极电阻 R_P （电位器）即可调整静态工作点。

图 3-1 中的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}} \quad (3-1)$$

测量电压放大倍数应保证静态工作点在最佳位置，输出电压波形幅度最高且不失真的前提下进行。

3.5 实验步骤

3.5.1 调整静态工作点

实验电路按图 3-2 接线， $R_{B1}=20k\Omega$ ， $R_{B2}=20k\Omega$ ， $R_C=2.4k\Omega$ ， $R_E=1k\Omega$ ， $R_P=100k\Omega$ ， $C_1=10\mu F$ ， $C_2=10\mu F$ ， $C_E=47\mu F$ ， $V_{CC}=12V$ 。

设输入信号 U_i 为正弦信号，其有效值 $U_i=10mV$ ，频率 $f=1kHz$ 。此信号从低频信号源取出，用交流毫伏表监测。直流电压 $12V$ 从直流稳压电源中取出，用万用表的直流电压档监测。

按以下步骤调整静态工作点：

第一步，将 $U_i=10mV$ 输入信号接入电路中，将直流电压 $12V$ 接入电路中。检查电路无误后，接通电源。

第二步，按图 3-2 所示接入示波器，通道 CH1 接放大电路的输入端，通道 CH2 接放大电路的输出端。注意：示波器和直流稳压电源、信号源要共地。

第三步，调节电位器 R_p ，用示波器观察放大电路的输出电压波形，当输出电压幅度最高且不失真时，此时静态工作点位置最佳，即工作点已经调好。

第四步，工作点调好之后，关闭信号源，用万用表的直流电压挡分别测量 U_{BE} 、 U_{CE} 、 V_B 、 V_C 、电位器 R_P 的阻值，并计算 I_B 、 I_C 的数值，将相关数据计入表 3-1 中。

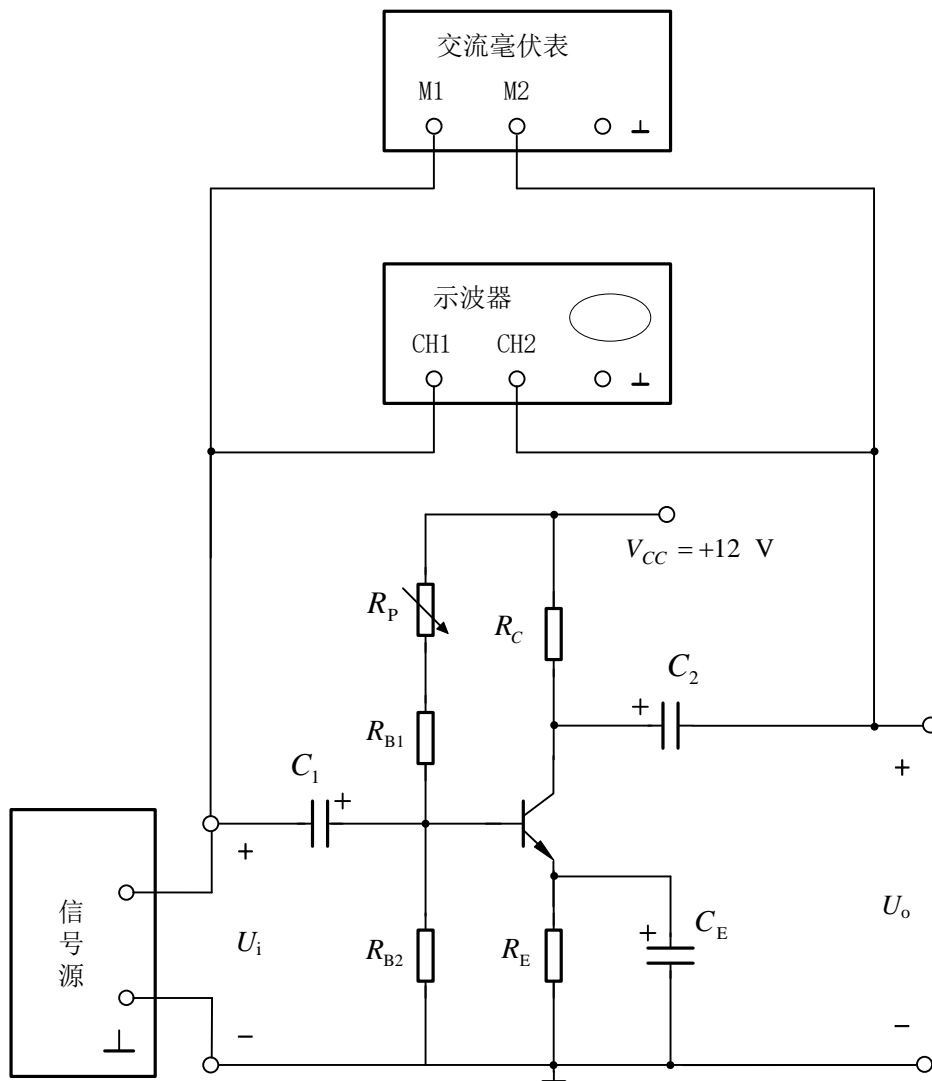


图 3-2 实验电路接线图

表 3-1 静态工作点数据

实测数据					根据实测计算的数据		
U_{BE}/V	U_{CE}/V	V_B/V	V_C/V	$R_P/k\Omega$	$I_B/\mu A$	I_C/mA	β

3.5.2 测量电压放大倍数

在图 3-2 中，当静态工作点测量完毕之后，保持静态工作点不变（ R_P 不变），接通信

号源。保持输入正弦信号电压有效值 $U_i=10\text{mV}$ ，频率 $f=1\text{kHz}$ 不变（用交流毫伏表监测）。分别用交流毫伏表测量负载开路和有载情况下的输出电压 U_o ，计算电压放大倍数填入表 3-2 中。

表 3-2 测量电压放大倍数

条件	$U_i(\text{mV})$	$U_o(\text{V})$	A_u
$R_L = \infty$ (R_P 不变)	10		
$R_L = 10\text{k}\Omega$ (R_P 不变)	10		
$R_L = 1\text{k}\Omega$ (R_P 不变)	10		

3.5.3 观测静态工作点对输出电压波形的影响

实验电路按图 3-2 接线，负载开路。按以下步骤调整静态工作点，测量数据填入表 3-3 中。

表 3-3 静态工作点对输出电压波形的影响

		R_P 合适 $U_i=10\text{mV}$	R_P 减小 $U_i=10\text{mV}$	R_P 最大 $U_i=10\text{mV}$	R_P 合适 U_i 偏大
Q 点	测量参数/V	$U_{\text{CE}} =$	$U_{\text{CE}} =$	$U_{\text{CE}} =$	$U_{\text{CE}} =$
		$U_{\text{BE}} =$	$U_{\text{BE}} =$	$U_{\text{BE}} =$	$U_{\text{BE}} =$
		$V_{\text{B}} =$	$V_{\text{B}} =$	$V_{\text{B}} =$	$V_{\text{B}} =$
	$R_P / \text{k}\Omega$	$R_P=$	$R_P=$	$R_P=$	$R_P=$
	计算静态值	$I_{\text{B}}= \qquad \mu\text{A}$	$I_{\text{B}}= \qquad \mu\text{A}$	$I_{\text{B}}= \qquad \mu\text{A}$	$I_{\text{B}}= \qquad \mu\text{A}$
		$I_{\text{C}}= \qquad \text{mA}$	$I_{\text{C}}= \qquad \text{mA}$	$I_{\text{C}}= \qquad \text{mA}$	$I_{\text{C}}= \qquad \text{mA}$
画输出电压波形					
失真判断					

(1) 最佳静态工作点的情况

按照 3.5.1 节的步骤，调节 R_P ，使静态工作点在最佳位置时，观察输出电压波形，画在表 3-3 中。然后关断信号源，用万用表的直流电压挡测量 U_{BE} 、 U_{CE} 、 V_B 的电压值，计算 I_B 、 I_C ，填入表 3-3 中。

(2) 饱和和失真的情况

将 R_P 的阻值逐渐调小，输入信号保持不变，观察输出电压波形，使波形出现饱和和失真，在表 3-3 中画出输出电压波形。然后关断信号源，用万用表的直流电压挡测量 U_{BE} 、

U_{CE} 、 V_B 的电压值，计算 I_B 、 I_C ，填入表 3-3 中。

(3) 截止失真的情况

首先断开直流电源，更换两个电阻，即 $R_{B1}=100k\Omega$ ， $R_P=220k\Omega$ ，按照 3.5.1 节的步骤，调节 R_P ，将 R_P 的阻值逐渐调大，直至最大，输入信号保持不变，观察输出电压波形，使波形出现截止失真，在表 3-3 中画出输出电压波形。然后关断信号源，用万用表的直流电压挡测量 U_{BE} 、 U_{CE} 、 V_B 的电压值，计算 I_B 、 I_C ，填入表 3-3 中。

(4) 输入信号增大的情况

首先断电更换两个电路元件， $R_{B1}=20k\Omega$ ， $R_P=100k\Omega$ ，按照 3.5.1 节的步骤，输入信号 $U_i=10mV$ ，频率 $f=1kHz$ ，调节 R_P ，使之达到最佳静态工作点。然后逐渐增大 u_i ，注意 $U_i<20mV$ ，观察输出电压波形，使输出电压波形同时出现饱和失真与截止失真，在表 3-3 中画出输出电压波形。用万用表的直流电压挡测量 U_{BE} 、 U_{CE} 、 V_B 的电压值，计算 I_B 、 I_C ，填入表 3-3 中。

3.6 注意事项

- (1) 不允许带电接线。
- (2) 先调好电压源和电流源的输出值，电源才能接入电路(用电压表和电流表测量)。
- (3) 实验过程中，不允许带电换线、换元件。
- (4) 耦合电容的**极性避免接反**，否则会烧毁器件。
- (5) 信号源、交流毫伏表、示波器和实验电路要**共地**，即各设备的黑色接线端要接在一个结点上。
- (6) 做完每一项实验时要请指导老师检查数据，方可进行下一步实验。
- (7) 全部实验完成后，关闭电源，拆除导线，实验用品放回原处，方可离开实验室。
- (8) 遵守实验室的各项规章制度。

3.7 故障分析与检查排除

(1) 实验中常见故障

- ◆ 连线：连线错，接触不良，断路或短路；
- ◆ 元件：元件错或元件值错，包括电源输出端接错；
- ◆ 参考点：电源、实验电路、测试仪器之间公共参考点连接错误等等。

(2) 故障检查

故障检查方法很多，一般是根据故障类型，确定部位、缩小范围，在小范围内逐点检查，最后找出故障点并给予排除。简单实用的方法是用万用表（电压档或电阻档）在带电或断电状态下检查电路故障。

①**断电检查法**：用万用表的电阻档，在断开电源情况下，根据实验原理，测短路情况：

电路某两点应该导通无电阻，电阻档显示电阻为零，即为短路；测开路情况，某两点应该开路，即电阻档显示为无穷大或电阻很大，即为开路。但测得的结果不是这样，则故障即在此两点间。

②**带电检查法**：用万用表的电压档（或电压表），在接通电源情况下，根据实验原理，测量电路某两点之间是否有电压，若某两点之间应该有电压，万用表测不出电压；若某两点不应该有电压，而万用表测出了电压，则故障即在此两点间。

③当输入电压和输出电压波形出现毛刺或载波时，检查示波器的共地端（黑接线端）是否完好的接到了电路的公共端。

3.8 实验思考题

- （1） 当输入信号合适的情况下，晶体管放大电路出现饱和失真或截止失真的原因是什么？电路中应调整哪个元件？
- （2） 如何提高放大电路的电压放大倍数？

3.9 实验报告要求

- （1） 实验步骤、数据处理过程、实验思考题写在实验报告中；
- （2） 原始测量数据需要在课堂上由老师确认。
- （3） 实验数据、曲线等要求手写，用坐标纸画出曲线。
- （4） 实验结果分析及实验结论要根据实验结果得出。
- （5） 实验体会、意见和建议写在实验报告的最后。

实验四 集成运算放大器的应用

4.1 实验目的

- (1) 掌握集成运算放大器的基本运算功能及正确使用。
- (2) 掌握集成运算放大器常用单元电路的设计和调试方法。
- (3) 进一步熟悉示波器、低频信号发生器、毫伏表的使用方法。

4.2 实验预习要求

- (1) 复习集成运算放大器的基本知识。
- (2) 明确本次实验的目的、意义、实验原理、实验电路图；完成所有理论值的计算，填写在实验报告相应的表格中。
- (3) 掌握电源的连接方法。

4.3 实验仪器与器件

表 4-1 实验仪器与器件列表

名称	数量	型号
直流稳压电源	1 台	DP832A
信号发生器	1 台	TFG6960A
示波器	1 台	TEK MSO 2012B
交流毫伏表	1 台	SM2030A
集成运算放大器	1 块	LM741*1
电阻	若干	20kΩ*2、25kΩ*1、10 kΩ*2、47kΩ*1、100kΩ*2
电容	2 只	0.1μF*1、0.01μF*1
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm

4.4 实验原理

集成运算放大器是由高开环电压放大倍数的多级直接耦合放大器组成。它具有体积小、功耗低、可靠性高等优点，广泛应用于信号的运算、处理和测量以及波形的发生等方面。从工作原理上，集成运算放大器可分为线性应用和非线性应用两个方面。在线性工作区内，其输出电压 u_o 与输入电压 u_i 的线性放大的关系为

$$u_o = A_{uo}(u_+ - u_-) = A_{uo}u_i$$

由于集成运算放大器的放大倍数 A_{uo} 高达 $10^4 \sim 10^7$ ，若使 u_o 为有限值，必须引入深度负反

馈，使线性区加宽，构成集成运算放大器的线性运算电路。

在工程应用情况下，将集成运放视为理想运放，就是将集成运放的各项技术指标理想化，满足下列条件的运算放大器称为理想运放，即

- (1)开环电压放大倍数 $A_{uo} = \infty$
- (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

理想运放工作在线性区的分析依据是，输入端的虚短（ $u_+ - u_-$ ），输入端的虚断（ $i_+ = i_- = 0$ ）和输入端的虚地（同相端接地时， $u_- = 0$ ）。

理想运放在非线性区的分析依据是：

$$u_+ > u_-, u_o = +U_{OM}$$

$$u_- > u_+, u_o = -U_{OM}$$

4.5 实验内容

以下所有电路都要使用直流稳压电源的两路电压，向集成运放提供 $\pm 12V$ 的工作电压。

4.5.1 电压跟随器

电压跟随器的实验电路如图 4-1 所示。测试电压跟随器的输出电压可以检查集成运放的好坏。

实验步骤如下：

- (1) 按图 4-1 接线，接通 $\pm 12V$ 直流工作电源。
- (2) 输入信号是直流，使用万用表测量输入电压 U_i 、输出电压 U_o 的大小，填入表格 4-2 中。

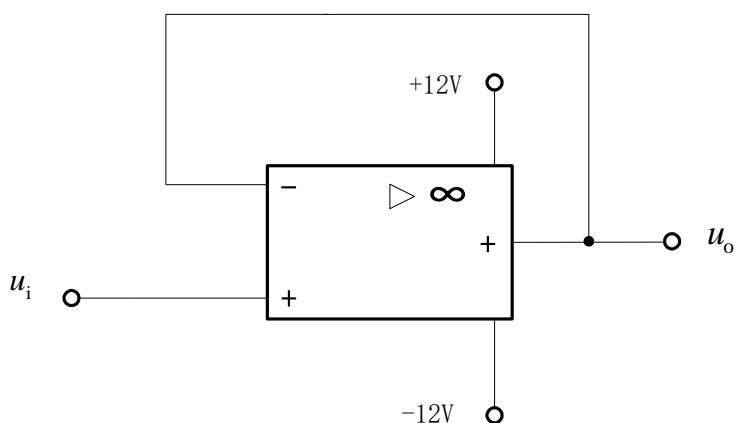


图4-1 电压跟随器

表 4-2 电压跟随器数据

输入电压 U_i (正弦波)	1V
输出电压 U_o (正弦波)	(V)

4.5.2 反相比例运算电路

反相比例电路如图 4-2 所示。实验步骤如下：

- (1) 按图 4-2 接线，接通直流工作电源 $\pm 12\text{V}$ 。
- (2) 输入信号是直流，使用万用表测量输入电压 U_i 、输出电压 U_o 的大小，填入表格 4-3 中。

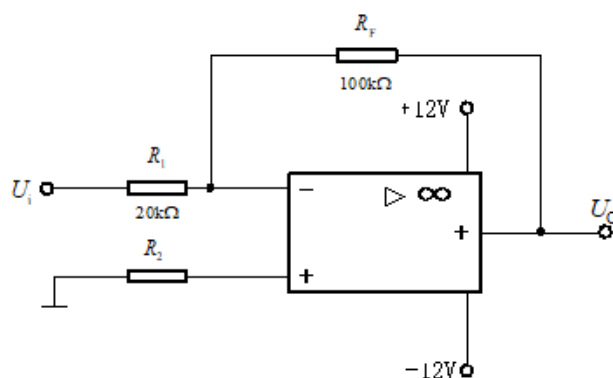


图 4-2 反相比例运算电路

表 4-3 反相比例运算电路

输入电压 U_i/V		0.5	1	1.5	2.0	2.5
输出电压 U_o/V	理论估算值					
	实测值					
	误差					

4.5.3 同相比例运算电路

同相比例电路如图 4-3 所示。

实验步骤如下：

- (1) 按图 4-3 接线，接通直流工作电源 $\pm 12\text{V}$ 。
- (2) 输入信号是直流，使用万用表测量输入电压 U_i 、输出电压 U_o 的大小，填入表格 4-4 中。

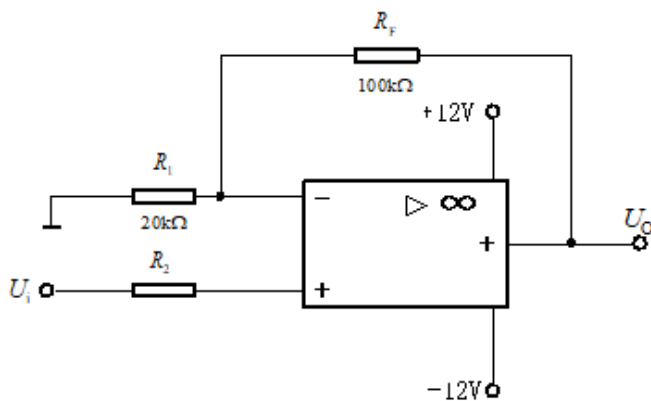


图 4-3 同相比例运算电路

表 4-4 同相比例运算电路

输入电压 U_i/V		0.5	1	1.5	2.0	2.5
输出电压 U_o/V	理论估算值					
	实测值					
	误差					

4.5.4 减法器的设计

按照以下的关系式设计一个减法器，即

$$u_o = 10(u_{i2} - u_{i1})$$

其中， U_{i1} 为反相输入端的输入电压， U_{i2} 为同相输入端的输入电压， U_o 为输出电压。实验步骤如下：

- (1) 画出减法器电路图，按照所设计电路接线，然后接通直流±12V 电源。
- (2) 输入信号是直流，使用万用表测量输入电压 U_{i1} 、 U_{i2} ，输出电压 U_o 的大小，填入表 4-5 中。

表 4-5 减法运算电路 (单位：V)

输入电压 U_i	U_{i1}	0.5	0.5	0.5	0.5
	U_{i2}	1.0	1.5	2	2.5
输出电压 U_o	理论估算值				
	实测值				
	误差				

4.5.5 电压比较器

过零电压比较器如图 4-4 所示。

实验步骤如下：

- (1) 按图 4-4 接线，接通直流 ±12V 电源。
- (2) 输入 u_i 为正弦波信号，其有效值为 1V，频率为 1kHz。
- (3) 用示波器观察输出电压波形，画在图 4-5 中，并在图 4-5 中画出电压传输特性

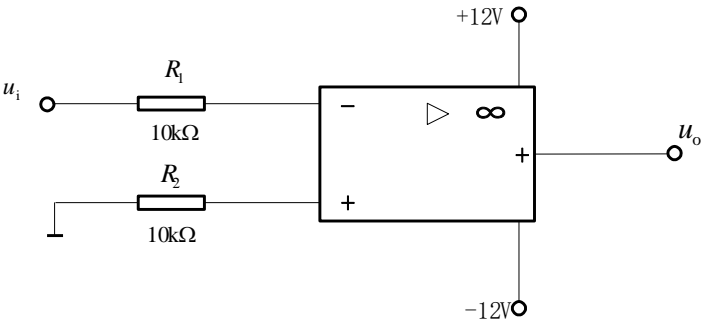


图4-4 电压比较器



图 4-5 电压比较器输出波形和传输特性

4.5.6 矩形波发生器

矩形波发生电路如图 5-6 所示。实验步骤如下：

- (1) 按图 4-6 接线。
- (2) 接通 $\pm 12\text{V}$ 直流电压, 用示波器观察输出电压波形, 并测量周期、频率及幅度, 填入表 4-6 中。
- (3) 按照表 4-6 改变参数后, 使用示波器观察输出波形, 并测量周期、频率及幅度, 填入表 4-6 中。

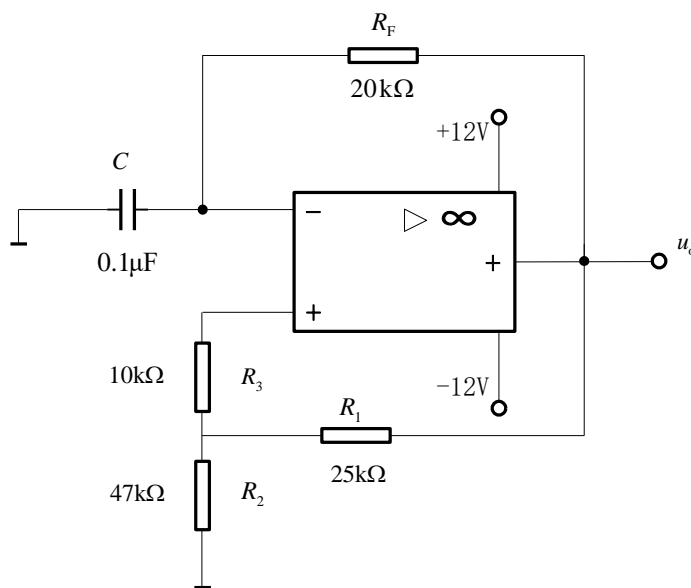


图4-6 方波振荡器

表 4-6 矩形波发生器数据

参数	$R_F=20\text{k}\Omega, R_1=25\text{k}\Omega$ $R_2=47\text{k}\Omega, R_3=10\text{k}\Omega$ $C=0.1\mu\text{F}$	$R_F=10\text{k}\Omega, R_1=25\text{k}\Omega$ $R_2=47\text{k}\Omega, R_3=10\text{k}\Omega$ $C=0.01\mu\text{F}$	$R_F=10\text{k}\Omega, R_1=25\text{k}\Omega$ $R_2=100\text{k}\Omega, R_3=10\text{k}\Omega$ $C=0.01\mu\text{F}$
T			
f			
$U_{\text{OP-P}}$			

4.5.7 积分、微分电路（选做）

- (1) 积分电路

实验电路如图 4-7 所示, 按照电路图中参数选择元器件接好电路。已知 u_i 为方波, 频率为 1kHz , 峰峰值为 2V , 检查好电路后接通 $\pm 12\text{V}$ 电源。用示波器测量 u_i 及 u_o 的波形, 用示波器测量输出电压波形的峰峰值、频率与周期并做记录。

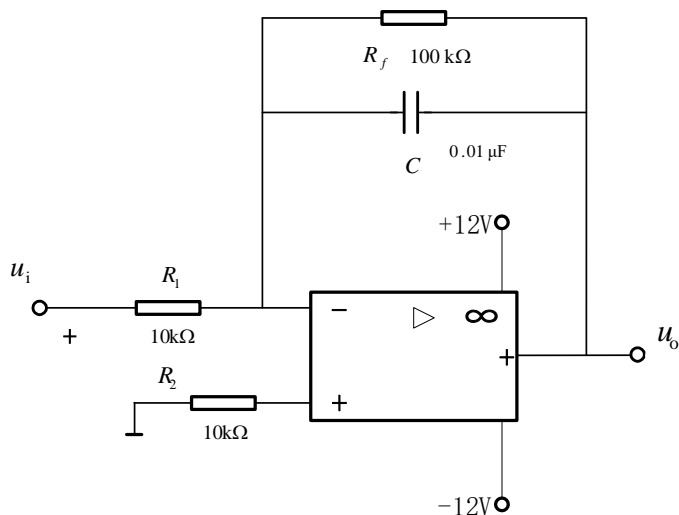


图 4-7 积分电路原理图

（2）微分电路

实验电路如图 4-8 所示，按照电路图中参数选择元器件接好电路。已知 u_i 为方波，频率为 1kHz，峰峰值为 2V，检查好电路后接通 $\pm 12V$ 电源。用示波器测量 u_i 及 u_o 的波形，用示波器测量输出电压波形的峰峰值、频率与周期。

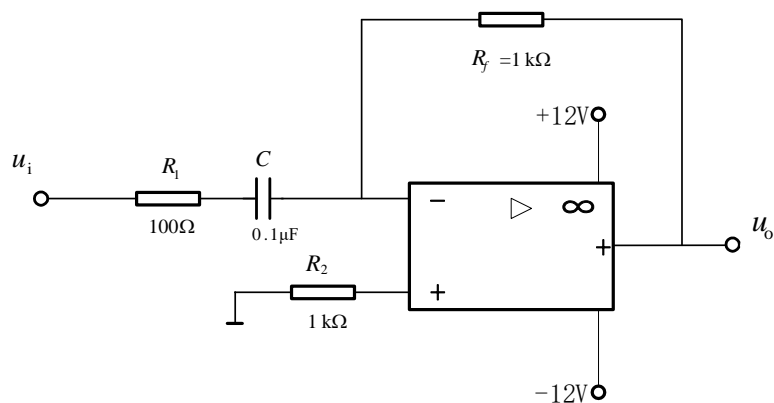


图 4-8 微分电路原理图

4.6 注意事项

- （1）集成运放要正常工作，必须接入直流工作电源。工作电源的正负极性避免接反，否则会烧毁器件。
- （2）集成运放的输出端极性避免接反，否则会烧毁器件。
- （3）不允许带电接线。
- （4）实验过程中，不允许带电换线、换元件。
- （5）信号源、示波器和实验电路要共地，即各设备的黑色接线端要接在一个结点上。
- （6）做完每一项实验时要请指导老师检查数据，方可进行下一步实验。
- （7）全部实验完成后，关闭电源，拆除导线，实验用品放回原处，方可离开实验室。

(8) 遵守实验室的各项规章制度。

4.7 故障分析与检查排除

(1) 实验中常见故障

- ◆ 连线：连线错，接触不良，断路或短路；
- ◆ 元件：元件错或元件值错，包括电源输出端接错；
- ◆ 参考点：电源、实验电路、测试仪器之间公共参考点连接错误等等。

(2) 故障检查

故障检查方法很多，一般是根据故障类型，确定部位、缩小范围，在小范围内逐点检查，最后找出故障点并给予排除。简单实用的方法是用万用表（电压档或电阻档）在带电或断电状态下检查电路故障。

①**断电检查法**：用万用表的电阻档，在断开电源情况下，根据实验原理，测短路情况：电路某两点应该导通无电阻，电阻档显示电阻为零，即为短路；测开路情况，某两点应该开路，即电阻档显示为无穷大或电阻很大，即为开路。但测得的结果不是这样，则故障即在此两点间。

②**带电检查法**：用万用表的电压档（或电压表），在接通电源情况下，根据实验原理，测量电路某两点之间是否有电压，若某两点之间应该有电压，万用表测不出电压；若某两点不应该有电压，而万用表测出了电压，则故障即在此两点间。

③当输入电压和输出电压波形出现毛刺或载波时，检查示波器的共地端（黑接线端）是否完好的接到了电路的公共端。

4.8 实验思考题

- (1) 集成运算电路的输入信号能否无限制的增大？为什么？
- (2) 为了防止集成运放的正、负电源的极性接反而损坏集成运放，应在集成运放的电源端加什么保护电路？请画出保护电路图。

4.9 实验报告要求

- (1) 数据处理过程要写在实验报告上，数据，波形必须手写、手画，原始测量数据在课堂上需要老师确认。
- (2) 实验思考题需要写在实验报告中。
- (3) 实验体会、意见和建议写在实验结论之后。