

集成电路原理及应用

实验指导书

山东理工大学
电气与电子工程学院

目 录

《集成电路原理及应用》实验箱使用说明.....	1
实验一 集成运放参数测试.....	3
实验二 积分电路和微分电路 ($\mu\text{A}741$)	9
实验三 电压比较器 (LM311)	12
实验四 函数信号发生器(ICL8038).....	15

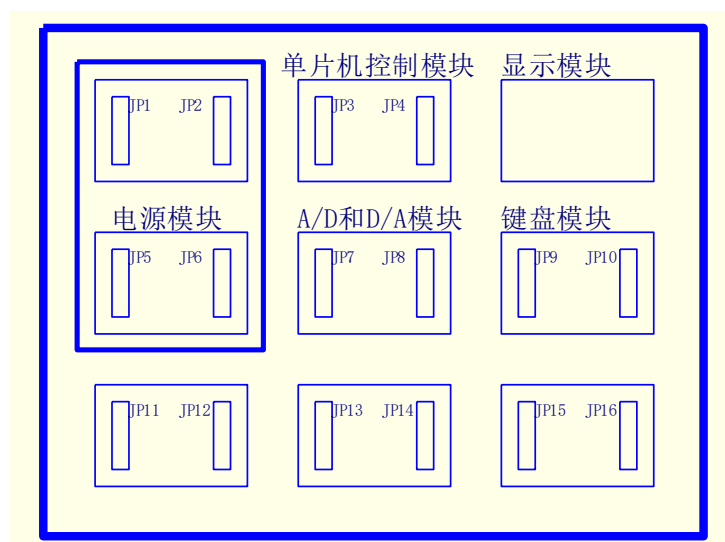
《集成电路原理及应用》实验箱使用说明

《集成电路原理及应用》实验箱是为了配合高等院校师生学习《集成电路原理及应用》课程而制作的，它包括了课程的基本教学实验内容。通过这些实验，对加深课程内容理解将会有很大的帮助。也可在该实验箱的基础上自行开发，掌握更多的实际应用电路，为将来读研究生和走向工作岗位，打下良好的基础。高校教师还可用该实验箱培训学生参加全国大学生电子设计竞赛。

一. 实验箱组成

《集成电路原理及应用》实验箱由实验箱底板、八个实验模块、单片机控制模块、键盘模块和显示模块组成。八个实验模块分别是实验一至实验八的八个实验。

如图一所示，是集成电路原理及应用实验箱面板图。



图一 集成电路原理及应用实验箱面板图

在实验箱面板图中，电源模块、单片机控制模块、显示模块、A/D和D/A模块、键盘模块，这五个模块的位置是固定的。其余模块如：集成运放参数测试、积分电路和微分电路、电压比较器、U/F变换器和F/U比较器、函数信号发生器和集成有源滤波器等六个实验模块，可根据实验需要，安装在JP11、JP12、JP13、JP14、JP15插口上。

二. 实验箱使用说明

实验箱的左侧有220V电源线接口及电源开关，使用时，插上电源接线，闭合电源开关。220V交流电加到电源模块上，电源模块工作，可提供±5V、±12V、±15V、0~30V的直流电压。八个实验模块要正常工作，均需直流电压。做实验时，先将实验模块安装到实验箱底板上。每个实验模块上都配有直流电源开关，将开关打在ON位置，相应的电源指示灯点亮，可按照实验要求，开始做实验。实验结束后，将实验模块上的直流电源开关打在OFF位置，将实验箱左侧的220V电源开关断开。

三. 实验要求

1. 实验前必须预习，认真阅读本次实验指导书的全部内容，明确实验目的，掌握实验原理，理解实验内容及步骤，理解需测试的数据和波形的意义。
2. 准备好实验所需仪器设备、工具和材料等，复习仪器设备的使用方法和注意事项，并在实验中严格遵守，不要损坏仪器设备。
3. 熟悉实验箱及本次的实验模块，熟悉测试点及元器件的位置。
4. 实验中应按要求仔细操作，仔细观察实验现象，并做好记录。
5. 测量数据和调整仪器要认真仔细，注意设备安全和人身安全。
6. 实验过程中，如遇有异常气味和异常现象，应立即切断电源，并报告指导教师，只有在找出故障原因后，方可继续实验。
7. 实验结束后，必须关断电源，整理好实验箱、仪器设备、工具和材料等。

实验一 集成运放参数测试

一. 实验目的

1. 熟悉集成运放的重要参数：输入失调电压 U_{OS} 、输入失调电流 I_{OS} 、差模开环电压增益 A_{ud} 、共模抑制比 $CMRR$ 、输出电压动态范围 U_{oppm} 和单位增益带宽 GW 。
2. 学会用简易方法测量以上参数。
3. 掌握集成运放主要参数的意义及其对应用电路性能的影响。
4. 掌握集成运放调零的方法。

二. 实验仪器

1. 万用表
2. 示波器
3. 信号发生器
4. 集成电路实验箱

三. 实验原理

1. 输入失调电压 U_{OS} 的测试

为使集成运放在零输入时达到零输出，需在其输入端加一个直流补偿电压，这个直流补偿电压的大小即为输入失调电压，两者的方向相反。输入失调电压一般是 mV 数量级。 U_{OS} 越大，说明电路对称程度越差。

本实验采用 $\mu A741$ 集成运放， $\mu A741$ 属于通用 II 型，即中增益运放。其封装采用 8-DIP 和 TO-99 金属封装，管脚及功能为：

2 脚：反相输入端；3 脚：同相输入端；6 脚：输出端；7 脚：正电源端；4 脚：负电源端；8 脚：空脚；1 脚和 5 脚：调零端。需调零时，1 脚和 5 脚之间接入 $100k\Omega$ 的电位器，并将滑动触头接到负电源端；一般使用时 1 脚和 5 脚可悬空。

如图 1-1 所示，是输入失调电压和输入失调电流的测量电路。

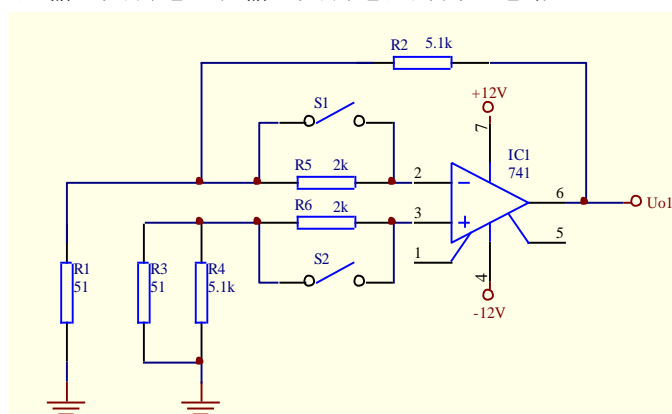


图 1-1 输入失调电压和输入失调电流的测量电路

开关 S_1 、 S_2 闭合时，此时输出电压用 U_{O1} 表示。
闭环电压的放大倍数为

$$A_{uf} = \frac{U_{O1}}{U_{OS}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

输入失调电压为

$$U_{OS} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{O1} = \frac{1}{101} \cdot U_{O1} \quad \text{式 1-1}$$

实际测出的 U_{OS} 一般为 $\pm (1 \sim 20)$ mV，高质量的运放， U_{OS} 在 1mV 以下，其值越小越好。

2. 输入失调电流 I_{OS} 的测试

当集成运放的输入电压为零，输出电压也为零时，两个输入偏置电流的差值，称为输入失调电流，即 $I_{OS} = |I_{B+} - I_{B-}|$ 。

输入失调电流 I_{OS} 主要由输入级差动放大器的两个三极管的 β 值不一致造成的。一般来说，集成运放的偏置电流越大，其输入失调电流也越大。

如图 1-1 所示，测试 I_{OS} 时，将开关 S1、S2 断开，此时输出电压用 U_{O1}' 表示，则

$$I_{OS} = \frac{U_{O1}' - U_{O1}}{A_{uf} \cdot R_5} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_{O1}' - U_{O1}}{R_5} \quad \text{式 1-2}$$

I_{OS} 一般为 1nA \sim 10 μ A，其值越小越好。

3. 差模开环电压增益 A_{ud} 的测试

集成运放工作于线性区时，差模电压输入后，其输出电压变化 ΔU_o 与差模输入电压变化 ΔU_{id} 的比值，称为差模开环电压增益，即

$$A_{ud} = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_{id}}$$

差模开环电压增益一般用 dB（分贝）为单位，则可表示为

$$A_{ud}(\text{dB}) = 20 \lg \left(\frac{\Delta U_o}{\Delta U_{id}} \right) \quad (\text{dB})$$

实际集成运放的差模开环电压增益是频率的函数，所以手册中的差模开环电压增益均指直流（或低频）开环电压增益。为测试方便，通常采用低频（几十 Hz）正弦交流信号进行测量。因集成运放的开环增益很高，难以直接测量，所以一般采用闭环测量法。

如图 1-2 所示，是差模开环电压增益的测量电路。

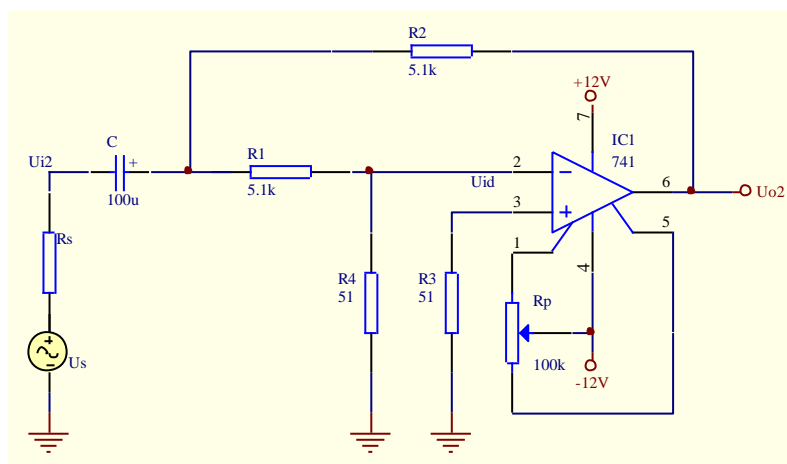


图 1-2 差模开环电压增益的测量电路

在图 1-2 中，通过 R_2 、 R_1 、 R_4 完成直流闭环，抑制输出电压漂移。通过 R_2 、 R_s 实现交流闭环。外加信号经 R_1 、 R_4 分压，使 U_{id} 足够小，以保证运放工作在线性区。 C 为隔直电容。运放的差模开环电压增益 A_{ud} 为

$$A_{ud}(\text{dB}) = 20\lg\left(\frac{\Delta U_{o2}}{\Delta U_{id}}\right) = 20\lg\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_4}\right) \cdot \frac{U_{O2}}{U_{i2}}\right] \cdot (\text{dB}) \quad \text{式 1-3}$$

一般低增益集成运放的 A_{ud} 约为 60~70dB，中增益的 A_{ud} 约为 80dB，高增益的 A_{ud} 约 100dB 以上。

4. 共模抑制比 $CMRR$ 的测试

集成运放工作于线性区时，其差模电压增益 A_{ud} 与共模电压增益 A_{uc} 之比称为共模抑制比，即

$$CMRR = \frac{A_{ud}}{A_{uc}}$$

若以 dB 为单位时， $CMRR$ 可表示为

$$CMRR = 20\lg\left(\frac{A_{ud}}{A_{uc}}\right) (\text{dB})$$

与差模开环电压增益类似， $CMRR$ 也是频率的函数。集成运放手册中给出的参数值均指直流（或低频）时的 $CMRR$ 。

如图 1-3 所示，是共模抑制比 $CMRR$ 的测量电路。

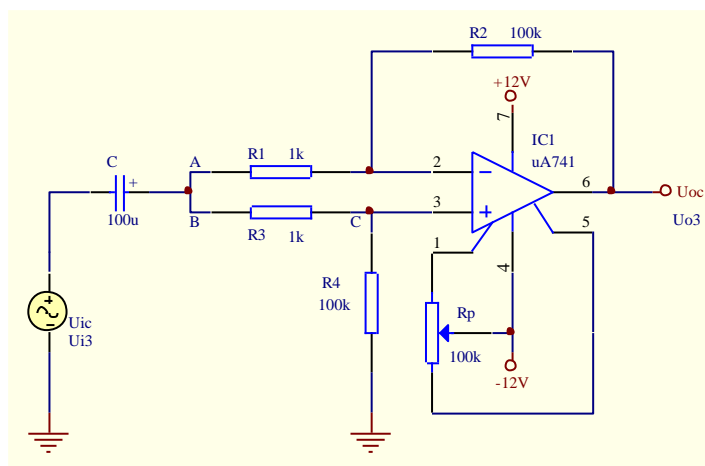


图 1-3 共模抑制比 $CMRR$ 的测量电路

集成运放工作在闭环状态，差模信号的电压增益为： $|A_{ud}| = \frac{R_2}{R_1}$ ，共模信号的电压增益

为： $|A_{uc}| = \frac{U_{oc}}{U_{ic}}$ ，则共模抑制比 $CMRR$ 为

$$CMRR = 20\lg\left(\frac{R_2 U_{ic}}{R_1 U_{oc}}\right) \quad \text{式 1-4}$$

因此，测出 U_{oc} 和 U_{ic} ，即可求出 $CMRR$ 。多数集成运放的 $CMRR$ 的值在 80dB 以上。

5. 输出电压动态范围 U_{oppm} 的测试

输出电压动态范围 U_{oppm} 是指输出电压在不失真条件下所能达到的最大值。一般正、负向的电压摆幅往往并不相同，大多数集成运放的正、负电压摆幅均大于 10V。

如图 1-4 所示，是输出电压动态范围 U_{oppm} 的测量电路。

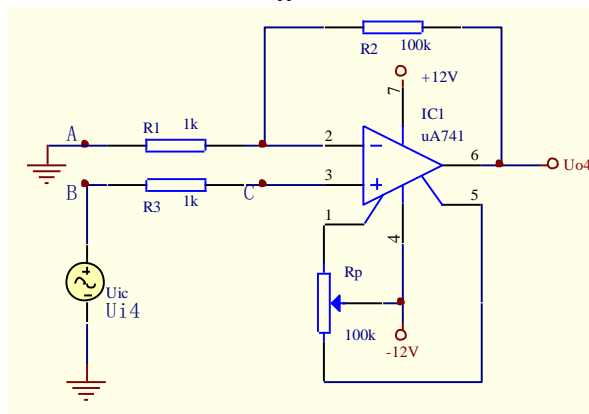


图 1-4 输出电压动态范围 U_{oppm} 的测量电路

6. 单位增益带宽 GW 的测试

单位增益带宽 GW 是指集成运放在闭环增益为 1 倍状态下，当用正弦小信号驱动时，其闭环增益下降至 0.707 倍时的频率。当集成运放的频率特性具有单极点响应时，其单位增益带宽可表示为

$$GW = A_{ud} f \quad \text{式 1-5}$$

集成运放闭环工作时的频率响应主要决定于单位增益带宽 GW ，这个参数是集成运放小信号工作时的频率特性，小信号输出范围约为 $100\sim 200\text{mV}$ 。当集成运放处在大信号工作时，其输入级将工作于非线性区，这时集成运放的频率特性将会发生明显变化。当集成运放具有多极点的频率响应时，其单位增益带宽与开环带宽没有直接关系，此时采用增益带宽乘积参数表示。

如图 1-5 所示，是单位增益带宽 GW 的测量电路。

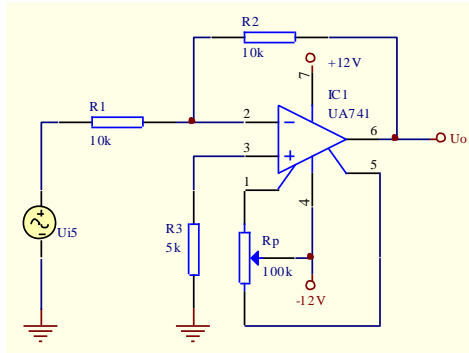


图 1-5 单位增益带宽 GW 的测量电路

四. 实验内容及步骤

将“集成运放参数测试”模块安装在实验箱底板上，合上电源开关。

1. 测试输入失调电压 U_{Os} 和输入失调电流 I_{Os}

- (1) 将开关 S_a 打在 ON 位置。
- (2) 将开关 S_1 、 S_2 闭合（即用短接冒短接），用数字万用表直流电压档，测量输出电压 U_{O1} ，并记录 U_{O1} 数值。
- (3) 将开关 S_1 、 S_2 断开，用数字万用表直流电压档，测量输出电压，此时用 U_{O1}' 表示，并记录 U_{O1}' 数值。
- (4) 将以上数值代入式 1-1 和式 1-2，计算出 U_{Os} 和 I_{Os} 。

注：测试结束后，将开关 S_a 打在 OFF 位置。

2. 测试差模开环电压增益 A_{ud}

- (1) 将开关 S_b 打在 ON 位置。
- (2) 用信号发生器，在输入端 U_{i2} 加入频率为 100Hz ，电压（峰峰值）为 50mV 的正弦波信号。用数字示波器观察 U_{O2} 的输出波形，并记录 U_{i2} 和 U_{O2} 的数值。
- (3) 将以上数值代入式 1-3，计算出 A_{ud} 。

注：测试结束后，将开关 S_b 打在 OFF 位置。

3. 测试共模抑制比 $CMRR$

- (1) 将开关 S_c 打在 ON 位置。开关 S_3 、 S_5 、 S_7 闭合。
- (2) 用信号发生器，在输入端 U_{i3} 加入频率为 100Hz ，电压（峰峰值）为 1V 的正弦波信号。用数字示波器观察 U_{O3} 的输出波形，并记录 U_{i3} 和 U_{O3} 的数值。（注：也可用液晶显示屏读取 U_{O3} 的数值， $U_{O3}-A1$ 。）
- (3) 将以上数值代入式 1-4，计算出 $CMRR$ 。

注：测试结束后，将开关 S_c 打在 OFF 位置。

4. 测试输出电压动态范围 U_{oppm}

- (1) 将开关 S_c 打在 ON 位置。开关 S_4 、 S_6 、 S_8 闭合。
- (2) 用信号发生器，在输入端 U_{i4} 加入正弦波信号，频率为 100Hz ，逐渐增大输入电

压幅度。用数字示波器观察 U_{O4} 的输出波形，直至示波器上显示的输出电压的波形顶部或底部出现失真，此时的输出电压即是输出电压动态范围 U_{oppm} 。

注：测试结束后，将开关 S_c 打在 OFF 位置。

5. 测试单位增益带宽 GW

(1) 将开关 S_d 打在 ON 位置。

(2) 用信号发生器，在输入端 U_{i5} 加入正弦波信号，输入电压（峰峰值）为 100mV，将开关 S_{R2} 闭合，用数字示波器观察放大器的输入、输出信号波形。当输入信号的频率由低

逐渐增高时，电压增益 $A_u = \frac{U_{o5}}{U_{i5}} = 0.707$ 时，所对应的频率即为单位增益带宽。

注：测试结束后，将开关 S_d 打在 OFF 位置。

五. 实验报告要求

1. 阐述测试 U_{OS} 、 I_{OS} 、 A_{ud} 、 $CMRR$ 、 U_{oppm} 、 GW 参数的基本原理和测试方法。
2. 整理实验数据，计算出各项参数，并将实测参数值和指标值进行比较。
3. 通过分析实验数据，得出结论。

六. 思考题

1. 测量输入失调电压 U_{OS} 、输入失调电流 I_{OS} 时，为什么集成运放反相端和同相端的电阻要精选？
2. 测量输入失调电压 U_{OS} 、输入失调电流 I_{OS} 时，为什么要将集成运放的调零端开路？而测量其它参数时，则要对输出电压调零？
3. 选取测试信号频率的原则是什么？
4. 如何判断 $\mu A741$ 运放芯片的好坏？
5. 使用运放芯片时，为什么要调零？如何调零？

实验二 积分电路和微分电路 ($\mu\text{A}741$)

一. 实验目的

1. 学会用集成运放设计积分电路和微分电路, 熟悉电路原理和元件参数的计算。
2. 熟悉积分电路和微分电路的特点、性能, 并会应用。

二. 实验仪器

1. 万用表
2. 示波器
3. 信号发生器
4. 集成电路实验箱

三. 实验原理

1. $\mu\text{A}741$ 芯片简介

$\mu\text{A}741$ 是第二代集成运放的典型代表, 是采用硅外延平面工艺制作的单片式高增益运放。其特点是: 采用频率内补偿, 具有短路保护功能, 具有失调电压调整能力, 具有很高的输入差模电压和共模电压范围, 无阻塞现象, 功耗较低, 电源电压适应范围较宽。它有很宽的输入共模电压范围, 不会在使用中出现“阻塞”, 在诸如积分电路、求和电路及一般的反馈放大电路中使用, 均不需外加补偿电容。

$\mu\text{A}741$ 采用 8-DIP 塑封和 TO-99 金属封装。如表 2-1 所示, 是 $\mu\text{A}741$ 的引脚及功能。

表 2-1 $\mu\text{A}741$ 的引脚及功能

引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能
1	OFFSETNELL	3	+IN	5	OFFSETNELL	7	V+
2	-IN	4	V-	6	OUTPUT	8	NC

2. 积分电路

积分电路或称积分器, 其输出电压和输入电压的积分成线性关系, 广泛应用于扫描电路、A/D 转换和模拟运算等方面。

如图 2-1 所示, 是积分电路和微分电路。

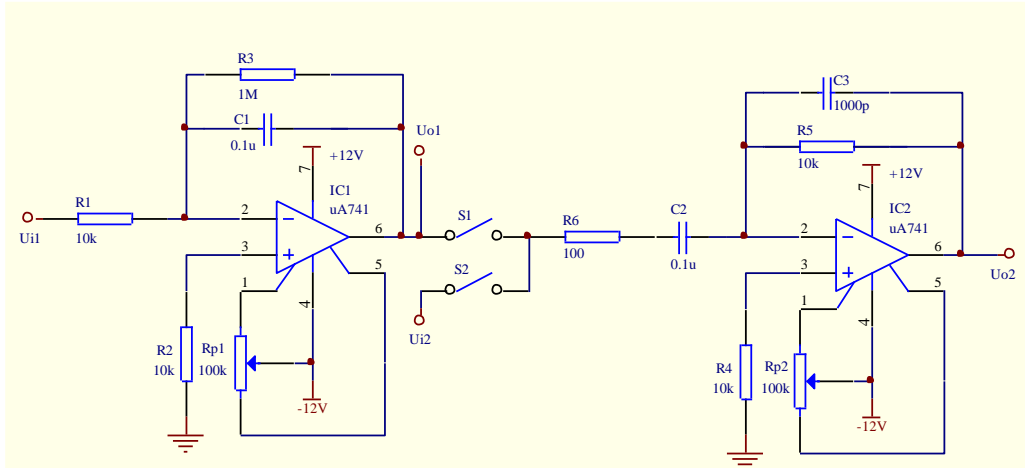


图 2-1 积分电路和微分电路

在图 2-1 中，当开关 S1 断开时，IC1 及其周围元件构成反相型积分器。输出电压与输入电压的关系为

$$u_{o1}(t) = -\frac{1}{R_1 C_1} \int u_{i1}(t) dt \quad \text{式 2-1}$$

3. 微分电路

微分电路或称微分器，其输出电压和输入电压的微分成线性关系，广泛应用于波形变换和模拟运算等方面。

在图 2-1 中，当开关 S1 断开、S2 闭合（即用短接冒短接）时，IC2 及其周围元件构成反相型微分器。输出电压与输入电压的关系为

$$u_{o2}(t) = -R_5 C_2 \frac{du_{i2}(t)}{dt} \quad \text{式 2-2}$$

4. 积分和微分电路

在图 2-1 中，当开关 S2 断开、S1 闭合时，IC1、IC2 及其周围元件构成积分和微分电路。

四. 实验内容及步骤

将“积分电路和微分电路”模块安装在实验箱底板上，合上电源开关。

1. 积分电路

- (1) 将开关 S1 断开。
- (2) 调零：将输入端 u_{i1} 接地，用数字万用表测输出电压 u_{o1} ，调节调零电位器 Rp1，直至 $U_{o1}=0$ （或 $U_{o1} \approx 0$ ）。
- (3) 输入方波信号：①用信号发生器，在输入端 u_{i1} 加入方波信号，频率为 1kHz，电压幅度为 $\pm 2V$ 。用数字示波器观察 u_{i1} 、 u_{o1} 的波形，并记录 u_{i1} 、 u_{o1} 的数值。②输入信号的电压幅度不变，改变频率，观察并记录 u_{i1} 、 u_{o1} 的波形。③输入信号的频率不变，改变电压幅度，观察并记录 u_{i1} 、 u_{o1} 的波形。
- (4) 输入正弦波：①用信号发生器，在输入端 u_{i1} 加入正弦波信号，频率为 160Hz，电压有效值为 1V。用双踪示波器观察 u_{i1} 、 u_{o1} 的波形及相位差，并记录 u_{i1} 、 u_{o1} 的数值。②改变正弦波信号的频率，观察并记录 u_{i1} 、 u_{o1} 的波形及相位差。

2. 微分电路

- (1) 将开关 S1 断开, S2 闭合 (即用短接冒短接)。
- (2) 调零: 将输入端 u_{i2} 接地, 用数字万用表测输出电压 u_{O2} , 调节调零电位器 R_{p2} , 直至 $u_{O2}=0$ (或 $U_{O2}\approx 0$)。
- (3) 输入方波信号: ①用信号发生器, 在输入端 u_{i2} 加入方波信号, 频率为 300Hz, 电压幅度为 $\pm 2V$ 。用数字示波器观察 u_{i2} 、 u_{O2} 的波形, 并记录 u_{i2} 、 u_{O2} 的数值。
- (4) 输入正弦波: ①用信号发生器, 在输入端 u_{i2} 加入正弦波信号, 频率为 160Hz, 电压有效值为 1V。观察并记录 u_{i2} 、 u_{O2} 的波形及相位差。②改变正弦波信号的频率, 观察并记录 u_{i2} 、 u_{O2} 的波形及相位差。

3. 积分和微分电路

- (1) 将开关 S2 断开、S1 闭合 (即用短接冒短接)。
- (2) 输入方波信号: 用信号发生器, 在输入端 u_{i1} 加入方波信号, 频率为 300Hz, 电压幅度为 $\pm 2V$ 。用数字示波器观察 u_{O1} 、 u_{O2} 的波形, 并记录 u_{O1} 、 u_{O2} 的数值。

五. 实验报告要求

1. 画出实验观察到的各种信号波形, 并予以分析。
2. 分析积分时间常数对输出电压斜率的影响。
3. 写出收获和体会。

实验三 电压比较器 (LM311)

一. 实验目的

1. 熟悉单限电压比较器和双限电压比较器的工作原理、电路特性和应用方面。
2. 掌握 LM311 的使用方法和应用电路。
3. 掌握电压比较器设计、测试和调整的方法。

二. 实验仪器

1. 万用表
2. 示波器
3. 信号发生器
4. 直流稳压电源
5. 集成电路实验箱

三. 实验原理

电压比较器的基本功能是实现两个模拟电压之间的电平比较,它是以后输出逻辑电平的高低给出判断结果的一种电路。通常这两个电压中的一个为待比较的模拟信号,另一个为门限电压或参考电压。它的输出是比较结果的数字信号,即高低电平。所以电压比较器是一种模拟信号和数字信号之间的接口电路。电压比较器的这种功能可以用开环状态下工作的集成运放来实现,也可以用专门设计的集成电压比较器来实现。

前者可与放大电路统一,大大减小电路系统中使用的产品型号规格,使用灵活,易于生产各种不同的逻辑电平,有利于大信号比较,在低速、高精度的电压比较时,占有一定的优势。而专用集成电压比较器,输出状态转换速度快,一些高速比较器转换时间很短,仅为 3~5ns,但它的输出逻辑电平大小是固定的。在电路结构上,专用电压比较器除了线性的模拟电路部分之外,还包含有实现要求输出逻辑电平的数字电路部分,它的输出可以直接驱动 TTL、ECL、HTL、NMOS、PMOS 等数字集成电路。

本实验介绍专用集成电压比较器 LM311 的使用方法和应用电路。

1. LM311 芯片简介

LM311 是专用电压比较器芯片,电源电压范围大 ($\pm 5V \sim \pm 15V$)、偏置电流小 (100nA)、失调电流小 (6.0nA)、差分输入电压范围大 ($\pm 30V$)。其输出与 TTL、DTL 及 MOS 电路相容,并可驱动指示灯和继电器。可单电源供电,也可双电源供电,有集电极输出和发射极输出两种形式,还具有外部平衡调节端和选通控制端。

LM311 采用 8-DIP 塑封和 TO-99 金属封装。如表 3-1 所示,是 LM311 的引脚及功能。

表 3-1 LM311 的引脚及功能

引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能
1	GND	3	IN-	5	BALANCE	7	OUT
2	IN+	4	V-	6	BALANCE/STROBE	8	V+

2. 单限电压比较器

如图 3-1 所示，是单限电压比较器。

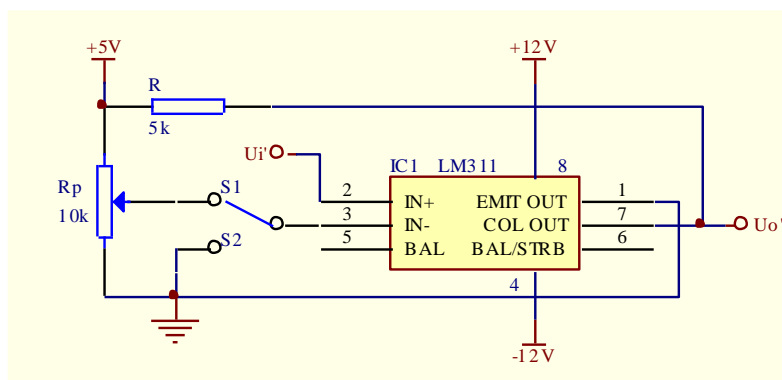


图 3-1 单限电压比较器

(1) 过零电压比较器

当开关 S2 闭合、S1 断开时，是过零电压比较器。当输入电压 $U_i' \geq 0$ 时，输出高电平， $U_o' = 5V$ ；输入电压 $U_i' < 0$ 时，输出低电平， $U_o' = 0$ 。

(2) 任意电平比较器

当开关 S1 闭合、S2 断开时，是任意电平比较器。调节电位器 R_p ，可得到任意参考电位 E_r （注：本电路设计 $0 < E_r \leq 5V$ ）。当输入电压 $U_i' \geq E_r$ 时，输出高电平， $U_o' = 5V$ ；输入电压 $U_i' < E_r$ 时，输出低电平， $U_o' = 0$ 。

3. 窗口电压比较器

窗口电压比较器可用来判断输入信号 u_i 是否位于两个指定电位之间，把其中较小的一个电位称为下门限电位 E_{mL} ，较大的一个电位称为上门限电位 E_{mH} ，二者之差称为门限宽度 ΔE_m 。当输入信号 u_i 落入门限宽度 ΔE_m 之内或“窗口”之内时，为一种逻辑电平（如为高电平），而输入电压在“窗口”之外时，为另一种逻辑电平（如为低电平），具有这种传输特性的比较器称为窗口电压比较器。

如图 3-2 所示，是窗口电压比较器。

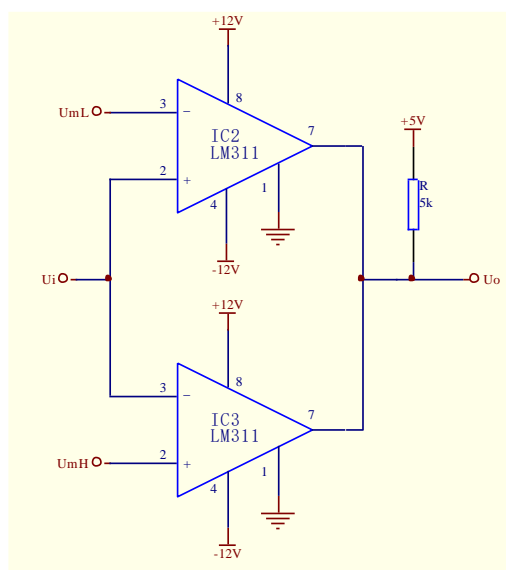


图 3-2 窗口电压比较器

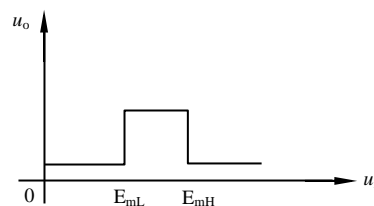


图 3-3 窗口电压比较器的传输特性

在图 3-2 中, IC2、IC3 是专用电压比较器 LM311。LM311 的内部采用发射极接地、集电极开路的三极管集电极输出方式。在使用时, 必须外接上拉电阻。这种电压比较器允许输出端并接在一起。

当输入电压 $U_i < E_{mL}$ ($< E_{mH}$) 时, 比较器 IC2 的输出管截止, 而比较器 IC3 的输出管导通, 此窗口比较器的输出为低电平。

当输入电压 $U_i > E_{mH}$ 时, 比较器 IC2 的输出管导通, 而比较器 IC3 的输出管截止, 此窗口比较器的输出电平为低电平。

只有当输入电压处于窗口电压之内, 即 $E_{mL} < U_i < E_{mH}$ 时, 比较器 IC2 和 IC3 输出管均截止, 窗口比较器输出电平由上拉负载电阻拉向高电平。

电源电压值可根据数字电路要求来确定。此窗口电压比较器的传输特性如图 3-3 所示。

四. 实验内容及步骤

将“电压比较器”模块安装在实验箱底板上, 合上电源开关。

1. 单限电压比较器

(1) 过零电压比较器

①当开关 S2 闭合时 (即用短接冒短接), 用信号发生器在 u_i' 输入端加入频率为 1kHz、电压有效值为 2V 的正弦波信号, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形, 画出传输特性曲线。(注: 也可用液晶显示屏读取 u_o' 的数值, $u_o' - A1$ 。)

②当开关 S2 闭合时, 用信号发生器在 u_i' 输入端加入正弦波信号, 先固定输入信号的频率, 逐渐改变输入信号的电压值, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形; 再固定输入信号的电压值, 逐渐改变输入信号的频率, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形。(注: 也可用液晶显示屏读取 u_o' 的数值, $u_o' - A1$ 。)

(2) 任意电平比较器

①当开关 S1 闭合时 (即用短接冒短接), 调节电位器 R_p , 参考电位 E_r 得到一个数值, 用信号发生器在 u_i' 输入端加入频率为 1kHz、电压有效值为 2V 的正弦波信号, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形, 画出传输特性曲线。(注: 也可用液晶显示屏读取 u_o' 的数值, $u_o' - A1$ 。)

②当开关 S1 闭合时, 调节电位器 R_p , 参考电位 E_r 得到一个数值, 用信号发生器在输入端 u_i' 加入正弦波信号, 先固定输入信号的频率, 逐渐改变输入信号的电压值, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形; 再固定输入信号的电压值, 逐渐改变输入信号的频率, 用双踪示波器观察 u_i' 、 u_o' 的波形。(注: 也可用液晶显示屏读取 u_o' 的数值, $u_o' - A1$ 。)

2. 窗口电压比较器

(1) 用多路输出直流稳压电源给 E_{mL} 、 E_{mH} 提供参考电压, 如取 $E_{mL}=2V$, $E_{mH}=4V$, 用信号发生器在输入端 u_i 加入频率为 1kHz、电压有效值为 10V 的正弦波信号, 用双踪示波器观察输入 u_i 、输出 u_o 的波形, 画出传输特性曲线。

(2) 改变 E_{mH} 、 E_{mL} 上下门限电压的数值, 用双踪示波器观察输入 u_i 、输出 u_o 的波形。

五. 实验报告要求

1. 画出实验观察到输入、输出信号的波形图, 并予以分析。
2. 将实验数据与计算值比较, 若有误差, 分析其原因。
3. 写出收获和体会

实验四 函数信号发生器 (ICL8038)

一. 实验目的

1. 掌握 ICL8038 的特点、功能和应用电路。
2. 熟悉由 ICL8038 构成的函数信号发生器工作原理。
3. 掌握调试函数信号发生器的方法。

二. 实验仪器

1. 示波器
2. 集成电路实验箱

三. 实验原理

1. ICL8038 芯片简介

ICL8038 是精密波形产生与压控振荡器, 它能同时产生正弦波、方波、三角波, 是一种性能价格比高的多功能波形发生器 IC。因为 ICL8038 信号发生器是单片 IC, 所以制作和调试均很简单、方便, 也较实用、可靠, 人们常称其为实用信号发生器。

ICL8038 具有以下主要参数和主要特点:

- ①工作频率范围: 0.001Hz~500kHz。
- ②波形失真度: 不大于 0.5%。
- ③同时有三种波形输出: 正弦波、方波、三角波。
- ④电源: 单电源为+10V~+30V, 双电源为±5V~±15V。
- ⑤足够低的频率温漂: 最大值为 50ppm/°C。
- ⑥改变外接电阻、电容值, 可改变输出信号的频率范围。
- ⑦外接电压可以调制或控制输出信号的频率和占空比。
- ⑧使用简单, 外接元件少。

ICL8038 采用 14-DIP 封装。如表 4-1 所示, 是 ICL8038 的引脚及其功能。

表 4-1 ICL8038 的引脚及其功能

引脚	功能	引脚	功能	引脚	功能
1	SINE WAVE SINADJ ₁	6	V ₊	11	V ₋ OR AND
2	SINE WAVE OUT	7	FM BIAS	12	SINE WAVE SINADJ ₂
3	TRIANGLE OUT	8	FM SWEEP INPUT	13	NC
4	DUTY CYCLE	9	SQUARE WAVE OUT	14	NC
5	FREQUENCY DFADJ	10	TIMING CAPACITOR		

2. 由 ICL8038 构成的函数信号发生器电路原理图

如图 4-1 所示, 由 ICL8038 构成的函数信号发生器电路原理图。

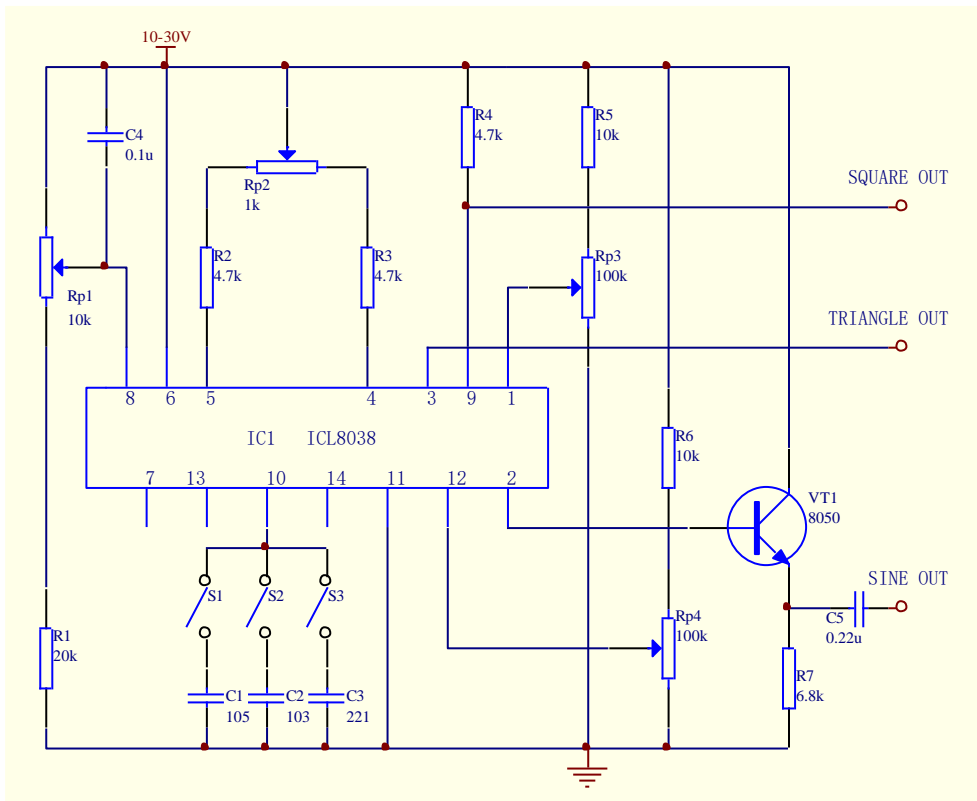


图 4-1 由 ICL8038 构成的函数信号发生器电路原理图

在图 4-1 中，8 脚为调频电压控制输入端。该芯片的方波输出端为集电极开路形式，一般需在正电源与 9 脚之间外接一个电阻，图中 $R_3=4.7K\Omega$ 。电位器 R_{P2} 的作用是调节占空比或调节波形对称性。调节 R_{P1} 、 R_{P2} 、 R_{P3} 可使正弦波的失真度达到较理想的程度，其中，电位器 R_{P1} 的作用是调频偏，电位器 R_{P3} 的作用是调节低频信号对称性。当 R_{P2} 滑动端在中间位置时，若调节 R_{P1} ，即改变正电源+ V_{CC} 与 8 脚之间的控制电压（即调频电压），则振荡频率随之变化，此电路即是一个频率可调的函数发生器。如果控制电压按一定规律变化，则可构成扫频式函数发生器。

调节 R_{P2} 可调节占空比或波形对称性，即可得到脉冲波和锯齿波。当 R_{P2} 的滑动端位于中间位置时，可得到标准的方波和三角波。调节电源电压可调节输出信号的幅度。

四. 实验内容及步骤

将“函数信号发生器”模块安装在实验箱底板上，合上电源开关。

1. 将开关 S_2 闭合（即用短接冒短接），开关 S_1 、 S_3 断开，调整电路，使其处于振荡，产生方波，通过调整电位器 R_{P2} ，使方波的占空比达到 50%，用示波器观测方波输出端的波形。通过调节电位器 R_{P1} ，可调节方波的频率。通过调节电源电压（即调节在“集成稳压电源”模块上电位器“ R_{P1} ”），可调节方波的幅度。

2. 将开关 S_2 闭合，开关 S_1 、 S_3 断开，保持方波的占空比为 50% 不变，用示波器观测正弦波输出端的波形，反复调整电位器 R_{P4} 、 R_{P3} 、 R_{P1} ，使正弦波不产生明显的失真。通过调节电位器 R_{P1} ，可调节正弦波的频率。通过调节电源电压，可调节正弦波的幅度。

3. 将开关 S_2 闭合，开关 S_1 、 S_3 断开，保持方波的占空比为 50% 不变，用示波器观测三角波输出端的波形。通过调节电位器 R_{P1} ，可调节三角波的频率。通过调节电源电压，可调节三角波的幅度。

4. 参考以上 3 个步骤，再分别将开关 S1 闭合（同时开关 S2、S3 断开）、S2 闭合（同时开关 S1、S3 断开）、S3 闭合（同时开关 S1、S2 断开），调整电位器 R_{p2} ，使方波的占空比在 10%~90% 范围内变化，用示波器分别观测方波、正弦波、三角波信号输出端的波形。

5. 参考以上 4 个步骤，分别调节电位器 R_{p1} 、 R_{p2} 、 R_{p3} 、 R_{p4} 。①用示波器分别观测方波、正弦波、三角波的波形变化情况。②用示波器分别记录几组（其中包括电位器置于低端和高端时）方波、正弦波、三角波信号输出端的波形及频率值。

五. 实验报告要求

1. 画出实验步骤 1、2、3 观察到的方波、正弦波、三角波的波形图。
2. 整理实验步骤 4，列出记录表格。
3. 整理实验步骤 5，列出记录表格。
4. 分析讨论以上实验数据。