

电工与电子技术实验目录

1. 叠加定理的验证·····	1
2. 戴维南定理的验证·····	3
3. 常用电子仪器的使用·····	7
4. 一阶电路的响应·····	11
5. 功率因数的提高·····	16
6. 三相电路中电压电流的关系·····	19
7. 单管电压放大器·····	22
8. 基本运算电路·····	26
9. 组合逻辑电路·····	29
10. 时序逻辑电路·····	34

实验一 叠加定理的验证

一、实验目的

1. 验证线性电路叠加定理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

2. 进一步掌握示波器和信号发生器的使用。

二、预习要求

根据图 1 的电路参数，计算各电阻上的电压值，并在表 1 中画出波形。

三、实验原理

在线性电路中，当有两个或两个以上独立电源作用时，任一支路中的电流或电压，等于电路中各独立源单独作用时在该支路产生的电流或电压的代数和。

一个独立源单独作用，意味着其它独立源不作用，不作用的电压源的电压为零，可用短路代替；不作用的电流源的电流为零，可用开路代替。

在图 1 所示电路中，各电阻上的电压 U 等于稳压电源 U_{S1} 单独作用时产生的电压 U' 和信号源 U_{S2} 单独作用时产生的电压 U'' ，即

$$U = U' + U''$$

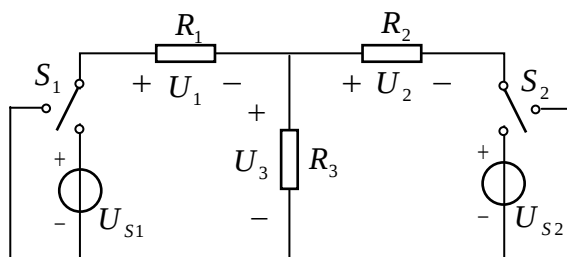


图 1

线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减小 k 倍时，电路的响应（即在电路中各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小 k 倍。

四、实验内容和步骤

1. 实验线路如图1所示。 U_{S1} 为12V电压源， U_{S2} 为可调直流稳压电源，调至+6V，各电阻值自己选定。

2. U_{S1} 电源单独作用（将开关 $S1$ 投向 U_{S1} 侧，开关 $S2$ 投向短路侧）。用直流数字电压表测量各电阻元件两端的电压，同时计算 R_3 的功率 P_{R3} ，数据记入表 1。

表 1

 $R_1 =$ $R_2 =$ $R_3 =$

测量项目 实验内容	$U_{S1}(V)$	$U_{S2}(V)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$U_3(V)$	P_{R3}
U_{S1} 单独作用						
U_{S2} 单独作用						
U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用						
$2U_{S2}$ 单独作用						

3. U_{S2} 电源单独作用（将开关 S_1 投向短路侧，开关 S_2 投向 U_{S2} 侧），重复实验步骤 2 的测量和记录，数据记入表 1。

4. U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用（开关 S_1 和 S_2 分别投向 U_{S1} 和 U_{S2} 侧），重复上述的测量和记录，数据记入表 1。

5. 将 U_{S2} 的数值调至+12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 1。

五、注意事项

1. 电压源不能短路。
2. 测量电压时要注意电压的参考方向。

六、实验报告要求

1. 根据实验数据表格，总结实验结论，验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 回答问题：各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据进行计算并得出结论。

七、实验元器件

电 阻 $2k\Omega$ 3 只

实验二 戴维南定理的验证

一、实验目的

1. 掌握有源二端电路等效参数的一般测量方法。
2. 熟悉直流稳压电源、万用表、实验箱或面包板的使用。
3. 加深对戴维南定理和诺顿定理的理解。

二、预习要求

1. 计算图 6 所示有源二端电路的等效参数。.
2. 回答问题：（1）测量有源二端电路开路电压有哪几种方法？在本实验中你将采用哪种方法？（2）测量等效内阻有哪几种方法？

三、实验原理

1. 任何一个线性含源电路，如果仅研究其中一条支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作是一个有源二端电路（或称为含源一端口电路）。

戴维南定理指出：任何一个线性有源电路，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电动势等于这个有源二端电路的开路电压 U_{OC} ，其等效内阻等于该电路中所有独立源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻 R_O ，如图 2 所示。

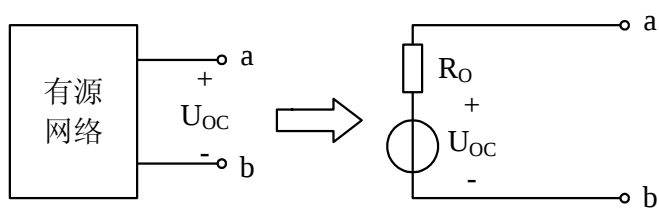


图 2

诺顿定理指出：任何一个线性有源电路，总可以用一个电流源与一个电阻的并联组合来等效代替，此电流源的电流等于这个有源二端电路的短路电流 I_{SC} ，其等效内阻的定义同戴维南定理。

U_{OC} （或 I_{SC} ）和 R_O 称为有源二端电路的等效参数。

2. 有源二端电路等效参数的测量方法

(1) 开路电压、短路电流法测 R_O

在有源二端电路输出端开路时，用电压表直接测其输出端的电压 U_{OC} ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流 I_{SC} ，则等效内阻为

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

如果二端有源电路的内阻很小，若将其输出端口短路，则易损坏其内部元件，因此不宜用此法。

(2) 伏安法测 R_0

用电压表、电流表测出有源二端电路的外特性曲线，如图 3 所示。根据外特性曲线求出斜率 $\tan \phi$ ，则内阻 R_0 为

$$R_0 = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{SC}}{I_{SC}} = \tan \phi$$

也可以先测量开路电压 U_{OC} ，再测量电流为额定值 I_N 时的输出端电压值 U_N ，则内阻为

$$R_0 = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$$

(3) 半电压法测 R_0

如图 4 所示，当负载电压为二端电路开路电压的一半时

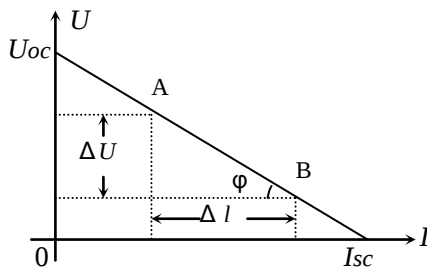


图 3

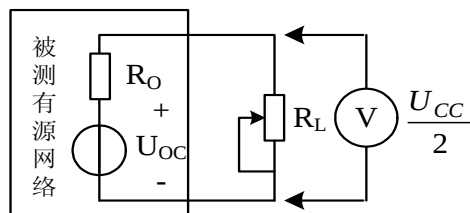


图 4

一半时，负载电阻值即为被测有源二端电路的等效内阻值。

(4) 零示法测 U_{OC}

在测量具有高内阻有源二端电路的开路电压时，用电表直接测量会造成较大的误差。为了消除电压表内阻的影响，往往采用零示法，如图 5 所示，当稳压电源的输出电压与有源二端电路的开路电压相等时，电流表的读数将为零。此时稳压电源的输出电压即为被测有源二端电路的开路电压。

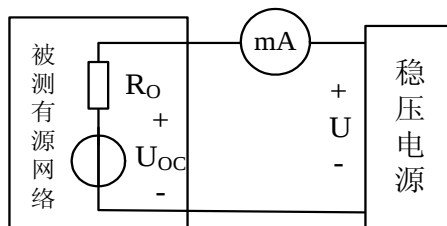


图 5

四、实验内容和步骤

1. 测有源二端电路的等效参数

用开路电压、短路电流法测图 6 所示二端电路的等效参数 U_{OC} 、 R_0 和 I_{SC} ，数据填入表 2 中。

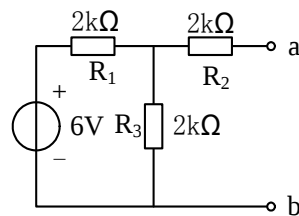


图 6

表2 有源二端电路等效参数测量

	U_{OC} (V)	I_{SC} (mA)	$R_O=U_{OC}/I_{SC}$ (k Ω)	R_1 (k Ω)	R_2 (k Ω)	R_3 (k Ω)
理论值				2	2	2
测量值						

2. 测有源二端电路端口的伏安特性曲线

图6所示二端电路端口接入可变电阻 R_L ，改变 R_L ，测出端口电压和对应的端口电流，数据填入表3中。

表3 有源二端电路端口伏安特性测量

R_L (Ω)	0	1k	2k	5k	10k	∞
U (V)						
I (mA)						

3.画出戴维南等效电路诺顿等效电路。

4. 测戴维南等效电路端口的伏安特性曲线

根据步骤1的测量结果，用电阻箱（或多圈电位器）和直流稳压电源组成戴维南等效电路，测此等效电路端口的伏安特性曲线，数据填入表4中。

表4 戴维南等效电路端口伏安特性测量

R_L (Ω)	0	1k	2k	5k	10k	∞
U (V)						
I (mA)						

五、注意事项

1. 测量时应注意电流表量程的变换。
2. 注意电位器的正确连接。

六、实验报告要求

1. 根据实验步骤2、3测得的数据，在同一坐标系中作出有源二端电路及其戴维南等效电路的端口的伏安特性曲线。
2. 归纳、总结实验结果。

七、实验元器件

电阻箱（或多圈电位器）	10k Ω	1 只
电位器	100k Ω	1 只
电 阻	2k Ω	3 只

实验三 常用电子仪器的使用

一、实验目的

1. 了解电子实验常用电子仪器的性能和用途，掌握其基本的使用方法。
2. 掌握交流信号的有效值、峰值、平均值的测量方法。

二、预习要求

1. 认真阅读附录中示波器、函数发生器、晶体管毫伏表面板旋钮的功能及使用方法，回答问题：（1）示波器有哪些主要用途？（2）函数发生器可以输出哪些信号？它的哪些参量可变？
2. 列出拟测数据的记录表格。

三、实验原理

在电子电路实验中，经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及频率计等，它们与万用电表一起，可以完成对电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用。按照信号流向，以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局，各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图7所示。为防止外界干扰，接线时应注意各仪器的共公接地端要连接在一起，即共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。

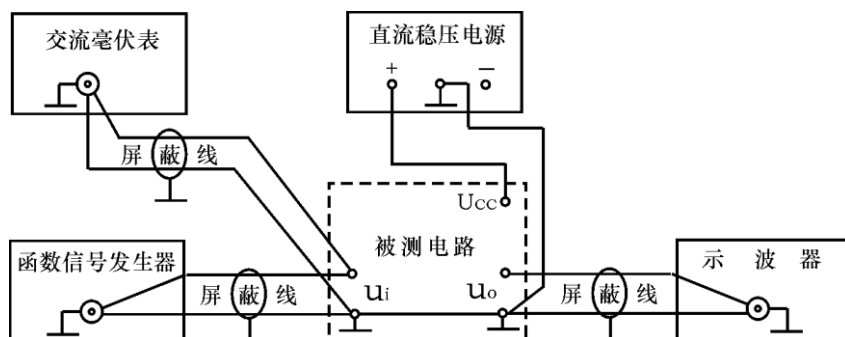


图7 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 模拟示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器，它既能直接显示电信号的波形，又能对电信

号进行各种参数的测量。主要操作步骤如下：

(1) 寻找扫描光迹

将示波器 Y 轴显示方式置“Y₁”或“Y₂”，输入耦合方式置“GND”，开机预热，按下列操作找到扫描线：①适当调节亮度旋钮。②触发方式开关置“自动”。③适当调节垂直（↑）、水平（↔）“位移”旋钮，使扫描光迹位于屏幕中央。（若示波器设有“寻迹”按键，可按下“寻迹”按键，判断光迹偏移基线的方向。）

(2) 双踪示波器一般有五种显示方式，即“Y₁”、“Y₂”、“Y₁+Y₂”三种单踪显示方式和“交替”“断续”两种双踪显示方式，根据信号输入通道和所需观察的信号，选择合适的显示方式。“交替”显示一般适宜于输入信号频率较高时使用，“断续”显示一般适宜于输入信号频率较低时使用。

(3) 为了显示稳定的被测信号波形，“触发源选择”开关一般选为“内”触发，使扫描触发信号取自示波器内部的 Y 通道。

(4) 触发方式开关通常先置于“自动”调出波形后，若被显示的波形不稳定，可置触发方式开关于“常态”，通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压，使被测试的波形稳定地显示在示波器屏幕上。

(5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y 轴灵敏度”开关，使屏幕上显示 2~3 个周期的被测信号波形。在测量幅值时，应注意将“Y 轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。在测量周期时，应注意将“X 轴扫描微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。还要注意“扩展”旋钮的位置。

根据被测波形在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数（div 或 cm）和“Y 轴灵敏度”开关指示值（v/div），即可算得信号幅值 U_{p-p} 的测量值：

$$U_{p-p} = \text{波形高度} \times V/\text{div 读数} \quad (\text{微调旋钮处于校正位置})$$

根据被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数（div 或 cm）和“扫描速率”开关指示值（t/div），即可算得信号周期 T 的测量值：

$$T = \text{两个波峰（或波谷）之间的距离} \times t/\text{div 读数} \quad (\text{微调旋钮处于校正位置})$$

2. 函数信号发生器

函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出电压最大可达 20V_{p-p}。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮，可使输出电压在几毫伏到十几伏范围内连续调节，输出电压的调节范围与衰减按键之间的关系为：

衰 减	输出电压调节范围（峰-峰值）
0dB（两衰减键均不按下）	1~20V
20dB（按下—20dB 键）	0.1~2V
40dB（按下—40dB 键）	10mV~0.2V
60dB（两衰减键均按下）	0~20mV

函数发生器一般含有内测频率计，因此输出信号的频率可直接由显示器读出（外测频率键不按下），频率按键选择与频率调节范围的关系为：

频率按键	1	10	100	1k	10k	100k	1M
频率范围(Hz)	0~2.2	0~22	1~200	15~2.2k	150~22k	1.5k~220k	15k~2.2M

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

3. 毫伏表

交流毫伏表能在其工作频率范围之内测量正弦交流电压的有效值。为了防止过载而损坏，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置上，然后逐档减小量程。确定合适的量程后，在读数前，要对毫伏表进行调零。

四、实验内容和步骤

1. 用机内校正信号对示波器进行自检

在调出扫描基线的基础上，将示波器的校正信号接入Y₁通道，输入耦合置“AC”，将“Y轴灵敏度微调”旋钮置“校准”位置，“Y轴灵敏度”开关置适当位置，读取校正信号幅度；将“扫描速率微调”旋钮置“校准”位置，“扫描速率”开关置适当位置，读取校正信号周期，数据填入自拟的表格中。

2. 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

实验电路如图 8 所示，该电路输出电压平均值 U_{oa} 与输入电压有效值 U_i 之间的关系是（不计二极管上的压降）：

$$U_{oa}=0.45U_i$$

输出电压有效值 U_0 与输入电压有效值之间的关系是：

$$U_0=0.5U_i$$

（1）用函数发生器调出 $U_{p-p}=4V$ 、 $f=1kHz$ 的正弦电压（用示波器 Y1 通道测量）。

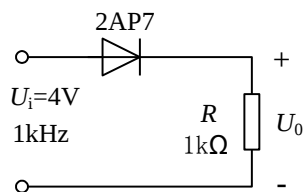


图 8 半波整流电路

(2) 将此信号作为整流电路的输入信号 U_i 接入半波整流电路，仍用示波器 Y_1 通道观察， U_0 接入示波器的 Y_2 通道，分别用示波器的 DC 和 AC 输入耦合方式观察并画出输入和输出电压的波形，标出时间和电压值。

(3) 测量输出电压的平均值 U_{oa}

Y_2 通道输入耦合置 AC，将扫描基线调至 X 轴，则波形的直流段与 X 轴偏离的距离对应的电压值即为输出电压的平均值。

(4) 用晶体管毫伏表测出 U_i 和 U_0 的有效值。

五、注意事项

1. 扭动示波器各旋钮时，要用力适当，以免造成机械损坏。
2. 组装电路时，输入端在左边，输出端在右边，地线在下边，元件要插紧。
3. 用示波器测电压时，微调旋钮要处于校正位置，夹头不要直接夹在元件的引脚上，应另用短导线引出。

六、实验报告要求

1. 记录和整理实验数据，并用坐标纸描绘波形。
2. 计入二极管的正向压降，将所测的实验结果与理论值进行比较，分析误差原因。
3. 回答下列问题：

(1) 有一正弦信号， $f=1\text{kHz}$ ，其峰-峰值 $U_{p-p}=20\text{mV}$ ，输入示波器的 Y_1 通道，若要显示五个完整周期的波形，高度为 4 格，试问示波器扫描速度旋钮、Y 轴灵敏度旋钮应置何档？若此正弦信号经放大电路反相放大 200 倍，为能方便地观测放大后的波形和原波形及其相位关系，放大信号应如何接入示波器？通道选择按钮如何选择？

(2) 若要从函数发生器输出 50mV（峰-峰值）的正弦信号，衰减按钮如何选择？若要输出 5V（峰-峰值）的信号，衰减按钮又该如何选择？

七、实验元器件

二极管	2AP7	1 只
电阻	1k Ω	1 只

实验四 一阶电路响应的研究

一、实验目的

1. 观测 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及全响应。
2. 学习电路时间常数的测量方法。
3. 学习 EWB 软件的使用。

二、预习要求

1. 写出零输入响应和零状态响应的表示式，计算 e^{-1} 、 e^{-2} 、 e^{-3} 、 e^{-5} 。
2. 设计一个微分电路，对于频率为 1KHz 的方波信号，微分输出满足：（1）尖脉冲的幅度大于 1V；（2）脉冲衰减到零的时间 $t < T/10$ 。电容值选取： $C=0.1\mu\text{F}$ 。
3. 阅读第二章 1、2、3 节。

三、实验原理

动态电路的过渡过程是十分短暂的单次变化过程。要用普通示波器观察过渡过程和测量有关的参数，就必须使这种单次变化的过程重复出现。为此，我们利用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号，即利用方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号；利用方波的下降沿作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要方波的周期远大于电路的时间常数，那么电路的响应就和直流电接通与断开的过渡过程是基本相同的。

图 9 所示的 RC 一阶电路的零状态响应[图(b)]和零输入响应[图(c)]分别按指数规律增长和衰减，其变化的快慢决定于电路的时间常数。

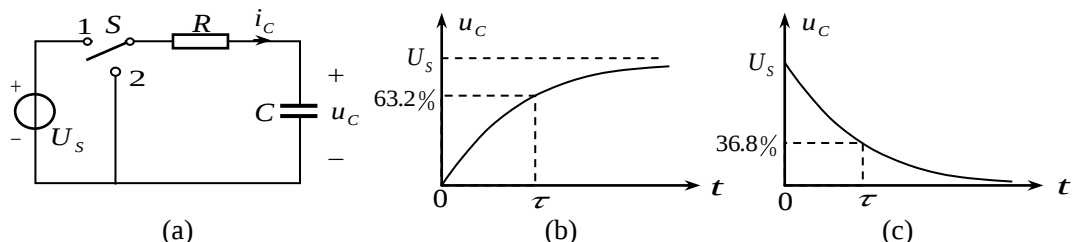


图 9

时间常数的测定方法：

RC 电路充放电的时间常数 τ 可以从响应波形中估算出来。设时间单位 t 确定，对于充电曲线来说，幅值上升到终值的 63.2% 所对应的时间即为一个 τ [图 9(b)]。对于放电曲线，幅值下降到初始值的 36.8% 所对应的时间即为一个 τ [图 9(c)]。调节示波器的“Y 轴灵敏度”的微调旋钮，使波形在垂直方向上显示 5.4 格，这样，3.4 格近似为 63.2%，2 格近似为 36.8%。

微分电路和积分电路是 RC 一阶电路中较典型的电路，它对电路元件参数的输入信号的周期有着特定的要求。一个简单的 RC 串联电路，在方波序列脉冲的激励下，当满足 $\tau \ll T/2$ 时 (T 为方波脉冲的周期)，且由 R 两端的电压作为响应输出，则该电路就是一个微分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入电压的微分成正比。如图 10 所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

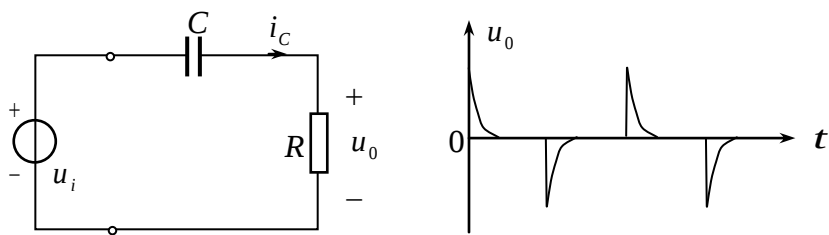


图 10

若将图 10 中的 R 与 C 位置调换一下，如图 11 所示，由 C 两端的电压作为响应输出，则当电路的参数满足 $\tau \gg T/2$ 时，该 RC 电路称为积分电路。因此此时电路的输出信号电压与输入信号电压的积分成正比。利用积分电路可以将方波变成三角波。

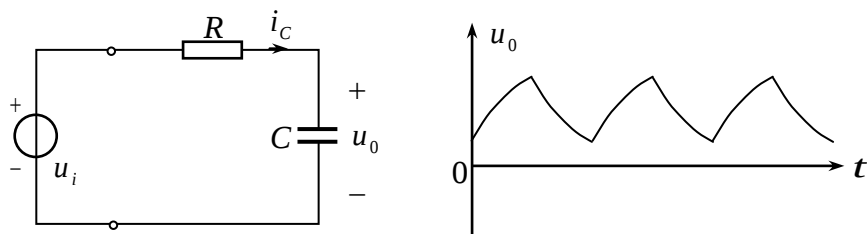


图 11

从输入输出波形来看，微分电路和积分电路均起着波形变换的作用。

四、实验内容和步骤

1. 研究 RC 电路的方波响应。

实验电路如图 12 所示。 $u_i(t)$ 为方波信号发生器产生的周期为 T 的信号电压。 r 为电流取样电阻，要求 $r \ll R$ 。取 $T = 1\text{ms}$ ($f = 1\text{kHz}$)、 $C = 0.1\mu\text{F}$ 、 $r = 51\Omega$ ， R 取 470Ω 、 $5.1\text{k}\Omega$ 、 $51\text{k}\Omega$ ，对应于 $RC \ll \frac{T}{2}$ 、 $RC = \frac{T}{2}$ 、 $RC \gg \frac{T}{2}$ ，与 $u_i(t)$ 对照，观察并描绘出 $u_C(t)$ 和 $i_C(t)$ 的波形，测出 $R = 5.1\text{k}\Omega$ 时电路的时间常数。

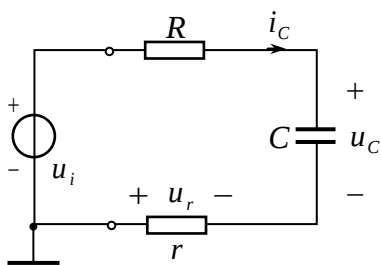


图 12

2. 观察设计的微分电路的输出波形，若满足要求，描绘出输入、输出波形；若不满足要求，调节电阻，使输出满足设计要求。

3. 用 EWB 进行仿真实验，内容与 1、2 相同。

(1) 观察 RC 电路的零输入响应、零状态响应，测量时间常数。

创建如图 13 所示的仿真实验电路，信号发生器设置为方波，参数选择如图 14 所示。

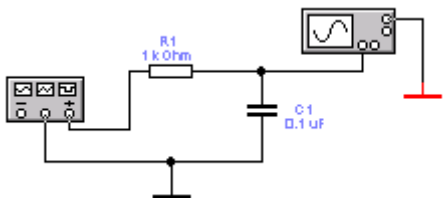


图 13

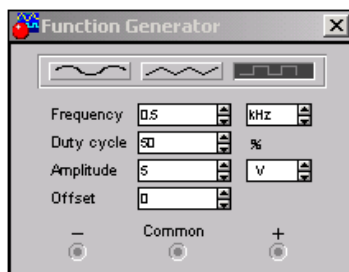


图 14

(2) 调节示波器参数，观察充放电波形，如图 15 所示。方法：打开开关，按“暂停”按钮。

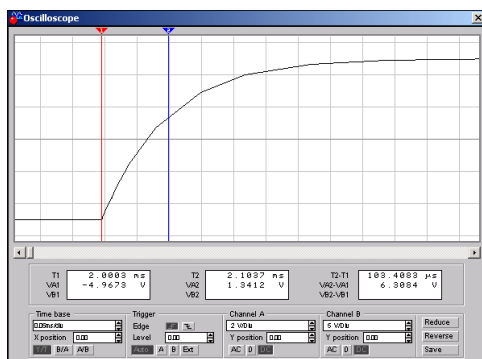


图 15

(3) 测量时间常数

调节扫描速度开关，使示波器显示半个周期的波形，移动示波器上的游标，红色游标对准初值，蓝色游标对准终值的 63.2%，如图 16 所示， $T_2 - T_1$ 即为电路的时间常数。

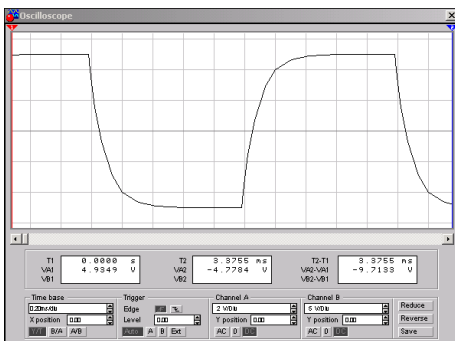


图 16

(4) 观察积分电路的波形。

创建如图 17 所示的仿真实验电路，改变 R 或 C，观察输入和输出波形。

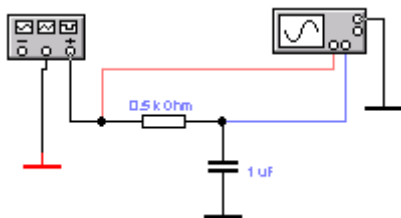


图 17

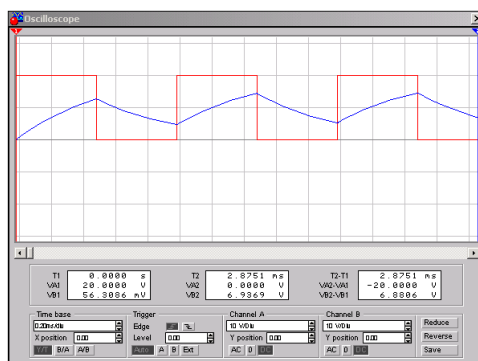


图 18

(5) 观察微分电路的波形。

创建如图 19 所示的仿真实验电路，改变 R 或 C，观察输入和输出波形。

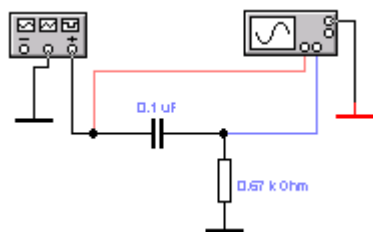


图 19

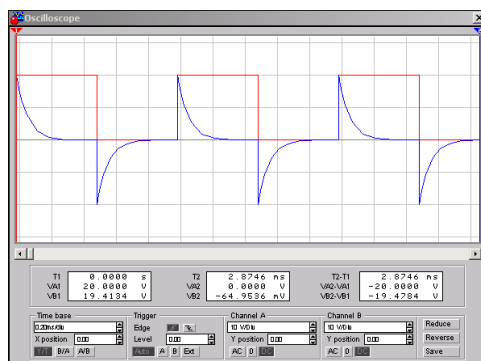


图 20

(6) 观察 RC 电路 $u_C(t)$ 和 $i_C(t)$ 的波形。创建如图 21 所示的仿真实验电路。改变 R 或 C，观察输入和输出波形的变化，记录 $RC = \frac{T}{10}$ 、 $RC < \frac{T}{2}$ 、 $RC = \frac{T}{2}$ 和 $RC > \frac{T}{2}$ 时 $u_C(t)$ 和 $i_C(t)$ 的波形。

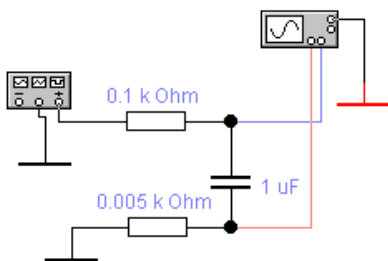


图 21

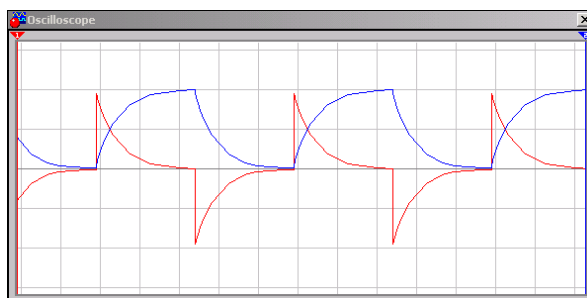


图 22

五、注意事项

1. 观察和测量 $u_C(t)$ 时，示波器线的黑夹子接地。
2. 作定量测定时，“t/div”和“V/div”的微调旋钮应旋至“校准”位置。
3. 测量时间常数时，为减小测量误差，应把波形在 X 方向调到最大。

六、实验报告要求

1. 根据实验观测结果，在同一坐标平面上绘出实验内容 1、2 中 $u_i(t)$ 、 $u_C(t)$ 和 $i_C(t)$ 的波形，标出测得的时间常数。
2. 画出所设计的微分电路及其输入、输出波形。
3. 说明积分波形、微分波形与电路时间常数的关系。

七、实验元器件

电 阻 51Ω 、 470Ω 、 $5.1k\Omega$ 、 $51k\Omega$ 各 1 只
电 容 $0.1\mu F$ 1 只

实验五 功率因数的提高

一、实验目的

1. 研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
2. 掌握日光灯电路的结构和工作原理。
3. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

二、预习要求

1. 查阅资料，掌握日光灯的工作原理。
2. 复习正弦交流电路的有关内容，掌握提高感性负载功率因数的方法。

三、实验原理

图 23 (a) 所示的 RC 串联电路中，在正弦稳态信号 $\dot{U}$ 的激励下， $\dot{U}_R$ 与 $\dot{U}_C$ 保持 90° 的相位差， $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 与 $\dot{U}_C$ 构成一个直角三角形，如图 23 (b) 所示。

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

R 或 C 的值改变时，角 φ 的大小随之改变。

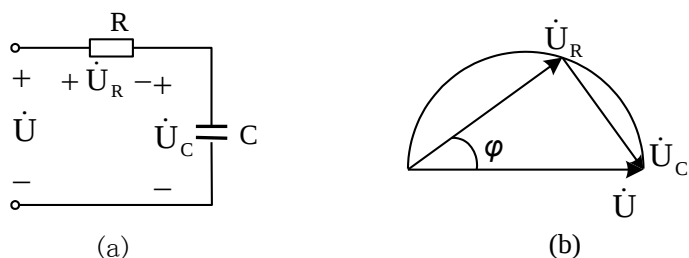


图23 RC串联电路中的电压关系

日光灯电路如图24所示，接通电源后，日光灯点亮前，启辉器闭合，随即又断开，镇流器两端产生很高的感应电压，这个电压和电源电压一起加在灯管的两端，使灯管内的水

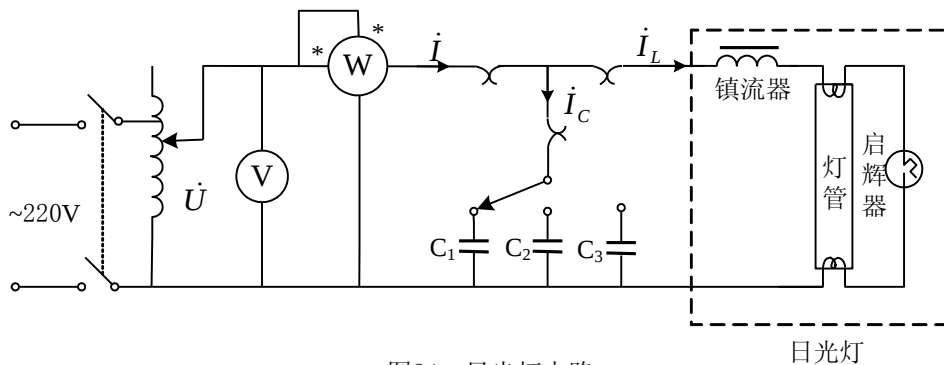


图24 日光灯电路

银蒸汽放电，从而激发荧光粉发出可见光。日光灯点亮后，灯管两端的电压较低，(40W

灯管约为110V），此电压不足以使启辉器闭合，启辉器处于断开状态。

图24所示电路中的电容器是补偿电容器，用以改善电路的功率因数。设日光灯（灯管和镇流器，为感性负载）的功率因数角为 ϕ_0 ，若要将电路的功率因数角提高到 ϕ ，则需并联的电容为

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan \phi_0 - \tan \phi)$$

其中： P 为日光灯的功率， U 为日光灯的工作电压， ω 为市电的角频率。

实验所用功率表的电流端子和电压端子，标有符号 * 者是同名端（或称对应端），接线时应联接在电源的同一端，其正确接法见图25。使用时，为减小测量误差，对于高阻抗负载，由于电压线圈支路分流影响较大，电压线圈应前接，如图25（a）所示；对于低阻抗负载，电流线圈上压降影响较大，电压线圈应后接，如图25（b）所示。

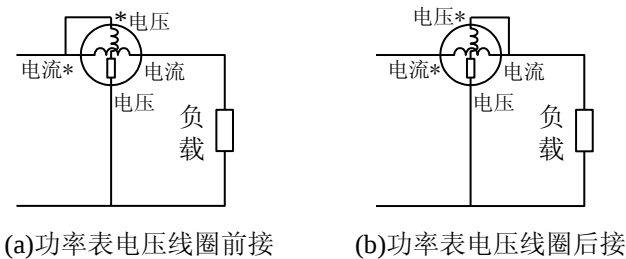


图25 功率表电压电流线圈同名端的接线方法

四、实验内容和步骤

1. 研究正弦稳态交流电路中电压之间的关系

按图 23 (a)接线， R 为 220V、15W 的白炽灯，电容器为 4.7 μ F/450V。经指导教师检查后，接通实验台电源，将自耦调压器输出(即 U)调至 220V。记录 U 、 U_R 、 U_C 的值，数据填入表 5 中。断开电源，将电容器换为 2.2 μ F/450V 的电容器，重新测量并记录 U 、 U_R 、 U_C 的值，数据填入表 5 中。

表 5

C (μ F)	测 量 值			计 算 值		
	$U_{测}$	U_R	U_C	$U_{计} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$	$\Delta U = U_{计} - U_{测}$	$\Delta U / U_{测} (\%)$

2. 日光灯电路功率因数的测量。

按图 24 (a)接线。经指导教师检查后接通实验箱电源，将自耦调压器的输出调至 220V，记下电压表和功率表的读数，用电流表测出三条支路的电流。改变电容值，重新测量，数据记入表 6 中。

表 6

电容值	测 量 数 值						计 算 值	
(μ F)	P(W)	$\cos\varphi$	U(V)	I (A)	I_L (A)	I_C (A)	I(A)	$\cos\varphi$
0								
1								
2.2								
4.7								

五、注意事项

1. 本实验用交流市电 220V，务必注意用电和人身安全。
2. 功率表要正确接入电路。

六、实验报告要求

1. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
2. 根据实验数据，分别绘出电压、电流相量图，验证相量形式的基尔霍夫定律。
3. 说明提高功率因数的原理和方法。

七、实验元器件

电容器 1 μ F/450V 2.2 μ F/450V 4.7 μ F/450V 各 1 只

实验六 三相电路中电压电流的关系

一、实验目的

1. 掌握三相负载作星形联接、三角形联接的方法，验证这两种接法下线电压、相电压及线电流、相电流之间的关系。
2. 充分理解三相四线供电系统中中线的作用。

二、预习要求

复习三相交流电路的有关内容，分析三相星形联接不对称负载在无中线情况下，当某相负载开路或短路时会出现什么情况？如果接上中线，情况又如何？

三、实验原理

三相负载可接成星形（又称“Y”接）和三角形（又称“ Δ ”接）。

三相对称负载作 Y 形联接时，线电压 U_L 是相电压 U_p 的 $\sqrt{3}$ 倍。线电流 I_L 等于相电流 I_p ，即

$$U_L = \sqrt{3}U_p, \quad I_L = I_p$$

在这种情况下，流过中线的电流 $I_0=0$ ，所以可以省去中线。

当三相对称负载作 Δ 形联接时，有 $I_L = \sqrt{3}I_p$ ， $U_L = U_p$ 。

不对称三相负载作 Y 联接时，必须采用三相四线制接法，即 Y_0 接法。而且中线必须牢固联接，以保证三相不对称负载的每相电压维持对称不变。倘若中线断开，会导致三相负载电压的不对称，致使负载轻的那一相的相电压过高，使负载遭受损坏；负载重的一相相电压又过低，使负载不能正常工作。尤其是对于三相照明负载，无条件地一律采用 Y_0 接法。

不对称负载作 Δ 接时， $I_L \neq \sqrt{3}I_p$ ，但只要电源的线电压 U_L 对称，加在三相负载上的电压仍是对称的，对各相负载工作没有影响。

四、实验内容和步骤

1. 三相负载星形联接（三相四线制供电）

按图 26 连接实验电路。三相灯组负载经三相自耦调压器接通三相对称电源，将三相调压器的旋柄置于输出为 0V 的位置（即逆时针旋到底）。经指导教师检查合格后，方可开启实验台电源，然后调节调压器的输出，使输出的三相线电压为 220V。

按表 7 分别测量三相负载的线电压、相电压、线电流、相电流、中线电流及电源与负载中点间的电压，并观察各相灯组亮暗的变化程度。

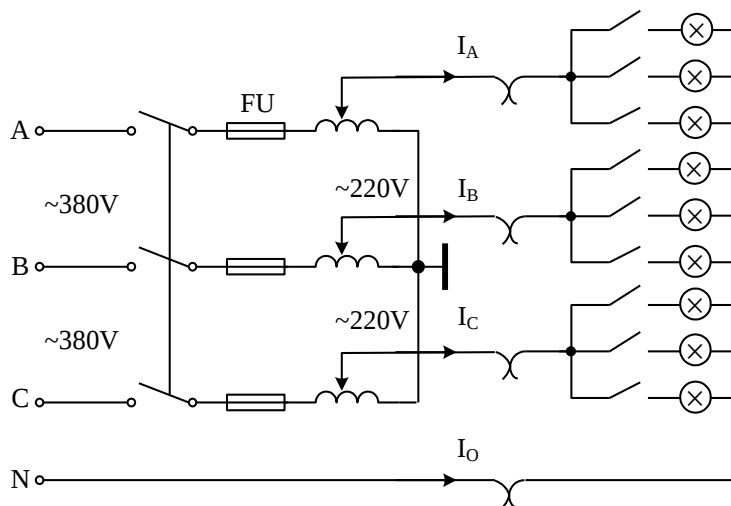


图26 三相负载星形联接
表7

测量数据 实验内容 (负载情况)	开灯盏数			线电流 (A)			线电压 (V)			相电压 (V)			中线 电流 I_0 (A)	中点 电压 U_{N0} (V)
	A 相	B 相	C 相	I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{A0}	U_{B0}	U_{C0}		
Y_0 接平衡负载	3	3	3											
Y接平衡负载	3	3	3											
Y_0 接不平衡负载	1	2	3											
Y接不平衡负载	1	2	3											
Y_0 接B相断开	1		3											
Y接B相断开	1		3											
Y接B相短路	1		3											

2. 负载三角形联接 (三相三线制供电)

按图 27 改接线路, 经指导教师检查合格后接通三相电源, 调节调压器, 使其输出线电压为 220V, 按表 8 的内容进行测试。

表 8

测量数据 负载情况	开 灯 盏 数			线电压=相电压 (V)			线电流 (A)			相电流 (A)		
	A-B 相	B-C 相	C-A 相	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}
三相平衡	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

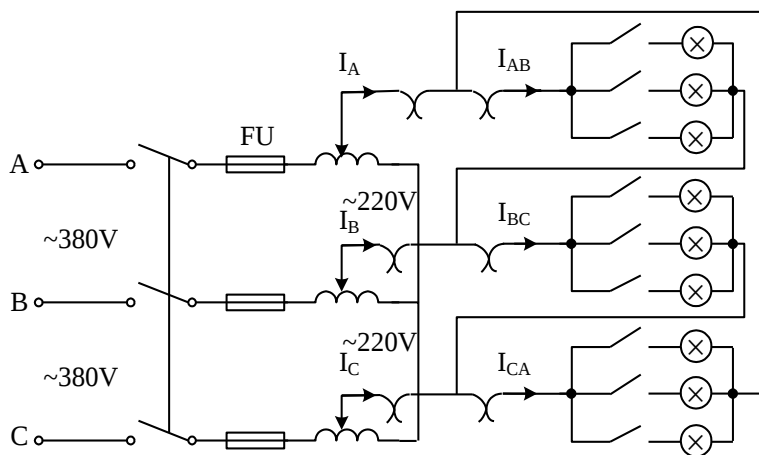


图27 三相负载三角形联接

五、注意事项

1. 本实验采用三相交流市电，线电压为 380V，应穿绝缘鞋进实验室。实验时要注意人身安全，不可触及导电部件，防止意外事故发生。
2. 每次接线完毕，同组同学应自查一遍，然后由指导教师检查后，方可接通电源，必须严格遵守先断电、再接线、后通电；先断电、后拆线的实验操作原则。

六、实验报告要求

1. 用实验测得的数据验证对称三相电路中的 $\sqrt{3}$ 关系。
2. 用实验数据和观察到的现象，总结三相四线供电系统中中线的作用。
3. 不对称三角形联接的负载，能否正常工作？实验是否能证明这一点？
4. 根据不对称负载三角形联接时的相电流值作相量图，并求出线电流值，然后与实验测得的线电流作比较，分析之。
5. 回答问题：本次实验中为什么要通过三相调压器将线电压为 380V 的市电降为线电压为 220V 的电源使用？

实验七 单管电压放大器

一、实验目的

1. 学习调试、测试放大器的静态工作点。
2. 掌握放大器的电压放大倍数和输入、输出电阻的测量方法。
3. 培养查找、排除电路故障的初步能力。

二、预习要求

1. 设三极管 $\beta=220$ ，在工作点 $U_{CE}=6.0V$ ， $I_C=2mA$ ，计算 $R_L=\infty$ 和 $R_L=2k\Omega$ 时放大电路的电压放大倍数和输入、输出电阻，估算放大电路空载时的最大不失真输出电压。
2. 描述当 $U_{ip-p}=0.1V$ ， R_w 分别为 $100k\Omega$ 和 0 时 u_o 的波形，计算对应的 U_{CE} ，指出饱和失真和截止失真。
3. 阅读第一章1~2节，掌握常用电子元器件的识别和简单测试。
4. 使用 EWB 软件进行仿真。取 $\beta=220$ ，求电路的电压放大倍数，并在 $U_{ip-p}=0.1V$ 时，观察 R_w 分别为 $100k\Omega$ 和 0 时的失真波形。

三、实验原理

1. 实验参考电路

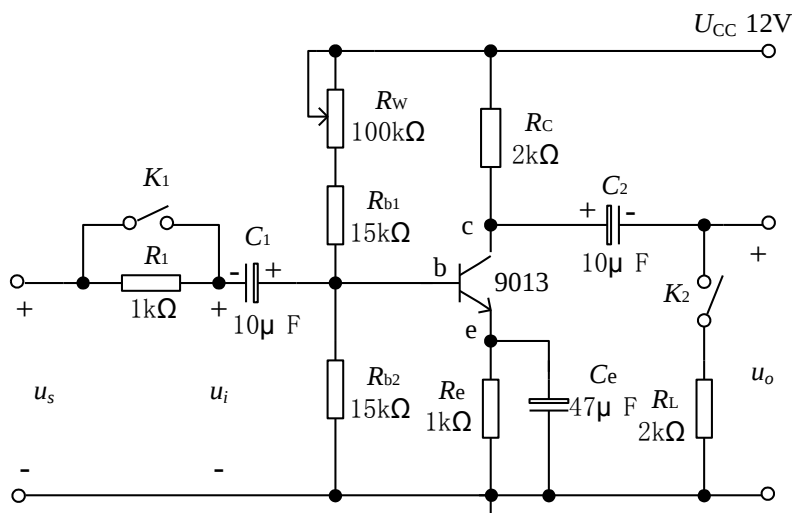


图28 单管电压放大电路

接入 R_{b1} 是为了防止当 R_w 的值过小时，由于 I_B 太大而使 I_C 过大烧坏三极管。

2. 工作原理

静态工作点：

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

$$I_B = \frac{1}{\beta} \frac{U_B - U_{BE}}{R_e}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C - R_e I_E = U_{CC} - (R_C + R_e) \frac{U_B - U_{BE}}{R_e}$$

由此可见，调节 R_W 即可改变 I_B 和 U_{CE} ，从而取得合适的静态工作点。

动态参数：

电压放大倍数：
$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \beta \frac{R_c \parallel R_L}{r_{be}}$$

输入电阻：
$$R_i = R_b \parallel r_{be} = (R_W + R_{b1}) \parallel R_{b2} \parallel r_{be}$$

输出电阻：
$$R_o = R_c$$

电压放大倍数测量：

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

输出电阻的测量：

按图 29 所示测量原理有

$$R_o = \left(\frac{U_{0\infty}}{U_{OL}} - 1 \right) R_L$$

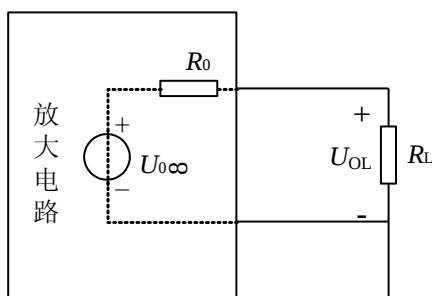


图29 输出电阻测量原理

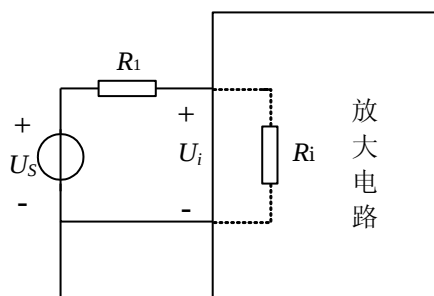


图30 输入电阻测量原理

输入电阻的测量：

按图 30 所示测量原理有

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_1$$

为提高测量精度， R_L 与 R_1 的取值应与 R_o 与 R_i 的值在同一数量级。

四、实验内容和步骤

1. 工作点调测试

接通电源，使 $U_{CC}=12.0V$ （以万用表测量值为准），调节 R_W ，使 $U_{CEQ}=6.0V$ ，测量 U_{BEQ} 、 U_{RC} ，并断线后测量 R_W （电位器不取出），数据记录于表 9 中。

表 9

β	U_{CC}/V	U_{CEQ}/V	U_{BEQ}/V	$I_C (U_{RC}/R_C) /mA$	$R_W/k\Omega$

2. 放大倍数和输出电阻测试

放大器输入 $U_{pp}=10\text{mV}$, $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号, 用示波器观察 u_0 和 u_i 波形的幅值和相位, 在 u_0 不失真的前提下, 用示波器测出 $R_L=\infty$ 和 $R_L=2\text{k}\Omega$ 时的输出电压峰-峰值, 算出电压放大倍数和输出电阻。

由于信号发生器存在内阻, 同时放大器的输入电阻并不是无穷大, 因此, 输入信号电压的测量应在放大器正常工作时进行, 否则会增大测量误差。

3. 输入电阻测试

接入 R_1 , 适当增大信号发生器的输出电压, 在 u_0 不失真时, 用示波器测出 u_s 和 u_i 的峰-峰值, 算出输入电阻。

4. 最大不失真输出电压(空载)的测量

增加放大器的输入电压, 直到 u_0 波形的正或负峰出现一定的削波失真, 调节工作点, 使失真消失, 再增大输入电压, 使失真重新出现, 再调工作点, 如此反复, 直到饱和失真和截止失真同时出现, 此时的不失真输出电压即为放大电路的最大不失真输出电压。

五、注意事项

1. 组装电路时, 注意三极管的三个电极及电容器的正负极不能接错, 否则会损坏元件, 三极管的三个电极要垂直插入面包板孔中。
2. 元件及连线在面包板上一定要插紧, 否则会因接触不良造成电路故障。
3. 测静态工作点时, 要关闭信号源。

六、实验报告要求

1. 认真记录实验数据和波形, 对结果与理论值进行比较, 找出产生误差的原因。
2. 分析在实验内容 4 中的波形变化的原因及性质。
3. 记录在组装和调试电路过程中发生的故障, 说明排除故障的过程和方法。

七、实验元器件

三极管	9013	1 只
电阻	1k Ω 、2k Ω 、15k Ω	各 2 只
电容	10 μF	2 只; 47 μF 1 只
电位器	100k Ω	1 只

附：实验故障分析

本实验可能产生的电路故障主要有以下三个：

1. 调静态工作点时, U_{CE} 不变且与 U_{CC} 相等

分析: $U_{CE}=U_{CC}-I_c(R_c+R_e)=U_{CC}-\beta I_B(R_c+R_e)$, 此故障说明 $I_B=0$ 或 $\beta=0$ 。 $I_B=0$ 意味着基极电路没接通或发射极没接地, $\beta=0$ 意味着三极管损坏。

2. 调静态工作点时, U_{CE} 虽有变化, 但总是小于 6V。

分析: 根据预习的计算结果, 6V 应在 U_{CE} 的变化范围内, 现在 U_{CE} 总是小于 6V, 说明 I_B 总是偏大或 R_c 过大, I_B 偏大意味着 R_b 偏小, 首先检查 R_c 是否为 2k 电阻, 然后再检查 R_W : ①是否为 100k Ω 电位器; ②连接是否正确(边上二个引脚不能连在一起, 否则其变化范围为 0~25k Ω)。

3. 输出电压与计算值相比明显偏小，且与输入信号不完全反相。

分析：工作点调好，说明直流通道已正常工作，现在交流信号输入后，输出信号不正常，说明交流通道有问题，直流通道正常而交流通道有故障，在这个实验中，这种故障就只能出在电容器上，可检查电容器是否反接、损坏或接触不良。

实验八 基本运算电路

一、实验目的

1. 熟悉用运算放大器构成基本运算电路的方法。
2. 掌握非正弦信号电压有效值的测量和计算方法。

二、预习要求

1. 复习由运算放大器组成的反相比例、反相加法、比例减法、比例积分等运算电路的工作原理。
2. 按各实验电路图中的参数，计算实验数据表格中 U_0 的理论值，并根据方波的幅值和频率，计算积分器输出信号的幅值。
3. 阅读第二章第 2 节，计算幅值为 1V 的方波信号用 DA-16 型毫伏表测量时所指示的电压值。

三、实验原理

1. 反相比例器

如图 31 所示，输入输出之间的关系为

$$u_0 = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

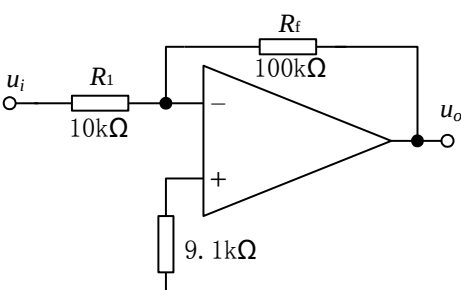


图31 反相比例器

2. 反相加法器

如图 32 所示，输入、输出之间的关系为

$$u_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right)$$

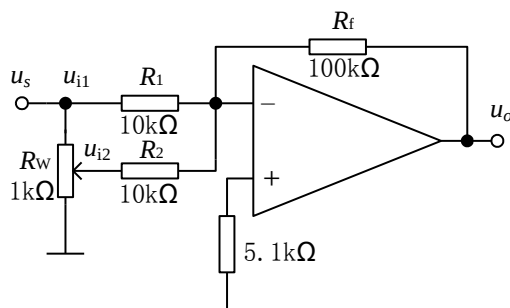


图32 反相加法器

3. 比例减法器

如图 33 所示，当 $R_1=R_2$ 时，输入输出之间的关系为：

$$u_0 = -\frac{R_f}{R_1} (u_{i1} - u_{i2})$$

4. 比例积分器

如图 34 所示，输入信号为方波。 R_f 的作用是通过直流负反馈，减小运放输出端的直流漂移，防止对失调电流的积分而使输出饱和。 R_f 的加入将对电容 C 产生分流作用，从而导致积分误差。为尽量减小误差，一般须满足 $R_f C \gg R_1 C$ ，通常取 $R_f \geq 10R_1$ ， $C < 1\mu F$ 。

由 $i_R = i_C$ 可得， $\frac{u_i}{R_1} = -C \frac{du_o}{dt}$ ，设电容的初始电压为零，输入信号是幅值为 U 的阶跃信号，则有

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_i dt = -\frac{U}{R_1 C} t$$

U 为正值时，输出电压随时间线性下降； U 为负值时，输出电压随时间线性上升。考虑到

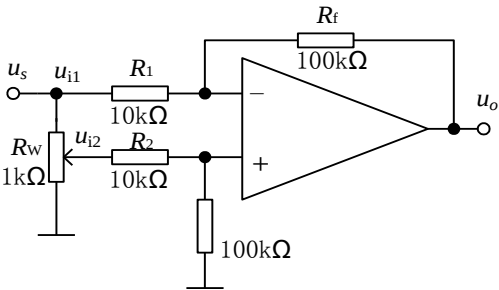


图33 比例减法器

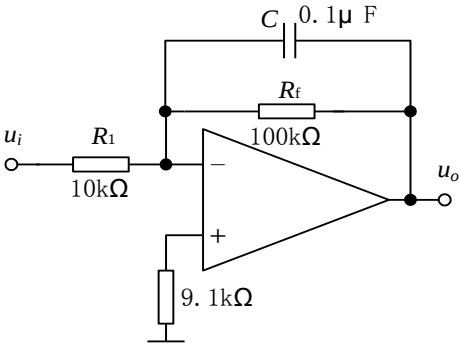


图34 反相比例积分器

电容电压不能突变，因此，与输入信号为方波对应的输出电压是三角波，高电平对应下降段，低电平对应上升段。

四、实验内容和步骤

电源电压调至 12V 后关闭电源，给集成运算放大器接上正负电源线和地线，确认无误后，再接通电源，按如下步骤进行实验。

1. 反相比例运算

按图 31 连线，从信号发生器输入 1kHz 的正弦电压 u_i ，其峰-峰值按表 10 要求，用示波器测量输出电压 u_o 并观察 u_o 与 u_i 的相位关系，数据记录在表 10 中。

表 10

2. 积分运算

U_{opp}	计算值	测量值	$A_f = \frac{U_o}{U_i}$	积分器输入、输出波形 (画在同一坐标中，注明幅值)
U_{ipp}				
100mV				
200mV				
300mV				

在图 31 所示电路的基础上，在 R_f 两端并联一个 $0.1\mu F$ 的电容，输入信号改为频率 1kHz，幅值为 1V 的方波。用示波器观察 u_i 和 u_o 的幅值与相位关系，并用毫伏表测量其电压值。用万用表测量 R_1 的值和 C 的容量。

3. 加法运算

按图 32 连线，输入 1kHz 的正弦波，按表 11 要求调节输入信号的大小，用示波器观察 u_0 与 u_{i1} 的相位关系并测出 u_0 的峰-峰值，数据填入表 11 中。

4. 减法运算

按图 33 连线，实验步骤同内容 3，数据填入表 11 中。

表 11

U_{opp} U_{ipp}	加法器		减法器	
	计算值	测量值	计算值	测量值
$U_{i1pp}=100\text{mV}$ $U_{i2pp}=50\text{mV}$				
$U_{i1pp}=200\text{mV}$ $U_{i2pp}=100\text{mV}$				

五、注意事项

1. 集成运算放大器的各个管脚不能接错，特别是正负电源不能接反，否则将烧坏集成块。
2. 积分器的输入输出波形画在同一坐标中。

六、实验报告要求

1. 记录和整理实验所得数据和波形，并与理论值比较，分析产生误差的原因。
2. 对积分器进行定量的误差分析。

利用毫伏表测出的 u_i 和 u_0 的电压值，通过波形参数转换求出对应的幅值，并考虑反馈电阻 R_f 的分流作用进行误差分析。

（实验所用 M890D 数字万用表测量电容的准确度是 $\pm 6.4\%$ 读数+3）

七、实验元器件

集成运算放大器 $\mu A741$ 1 片

电 阻 10k Ω 、100 k Ω 各 2 只，5.1 k Ω 、9.1 k Ω 各 1 只

电 容 0.1 μ F 1 只

电位器 1 k Ω 1 只

实验九 组合逻辑电路

一、实验目的

1. 掌握编码器、译码器、数据选择器等中规模数字集成电路的性能和使用方法。
2. 掌握七段数码管的使用方法。
3. 用 3 线—8 线译码器和数据选择器设计简单的逻辑电路。

二、预习要求

1. 查阅所用逻辑器件 74LS147、74LS148、74LS48、74LS138、74LS151 的功能表和
外引线排列图。
2. 了解七段数码管的使用方法。
3. 画出实验内容 2、3 的实验电路图。

三、实验原理

数字逻辑电路分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。组合逻辑电路的输出仅与该时刻电路的输入状况有关，而与电路原来的状态无关，组合逻辑电路在组成上的特点是由各种门电路连接而成，并且连接中没有反馈线存在，常用集成组合逻辑电路的类型与参考型号如表 12 所示。

表 12 常用集成组合逻辑电路

名 称	类 型	参考型号
优先编码器	10 线—4 线	74147, 40147
	8 线—3 线	74148, 74348, 4532, 14532
	8 线—8 线	74149
译码器/ 多路分配器	4 线—16 线	74154, 74159, 4514, 4515, 14514, 14515
	BCD—十进制	7442, 74145, 4028
	余 3 码—十进制	7443
	余 3 格雷码—十进制	7444
	3 线—8 线(地址锁存)	74131, 74137, 74237
	3 线—8 线	74138, 74238
代码转换器	双 2 线—4 线	74139, 74155, 74156, 4555, 4556, 14555, 14556
	BCD—二进制	74184, 74484
	二—BCD	74185, 74485
七段译码/驱动器	BCD—七段共阳	7446, 7447, 74246, 74247
	BCD—七段共阴	7448, 74248, 74249, 4511, 14511
加法器	双全加器	74183
	4 位二进制	7483, 74283, 4008
	4 位 BCD	74583, 4560, 14560
	四串行加法器/减法器	74385
数据选择器/ 多路转换器	16 线—1 线	74150, 74250, 4067
	8 线—1 线	74151, 74152, 4051, 4351, 4512, 14512

续表

名 称	类 型	参考型号
数据选择器/ 多路转换器	双 8 线—1 线	74315, 4097
	双 4 线—1 线	4352, 4539, 14529, 14539
	八 2 线—1 线 (有存储)	74604, 74605, 74606, 74607
	六 2 线—1 线	74857
	四 2 线—1 线 (有存储)	74298, 74398, 74399
	四 2 线—1 线	74157, 74158, 74257, 74258, 4019, 4519, 14519
	三 2 线—1 线	4053, 4353
	四双向开关	4016, 4066, 4316
数值比较器	4 位比较	7485, 4063, 4585, 14585
	8 位恒等比较	74518, 74519, 74520, 74521, 74522
	双 8 位比较	74682, 74683, 74684, 74685, 74686

1. 编码、译码、显示电路

图 35 为一基本的编码、译码、显示电路，该电路由 10 线—4 线优先编码器 74LS147、七段译码器/驱动器 74LS48、共阴极七段显示器及反相器 74LS04 组成。七段译码器/驱动器若用 74LS47，则显示器用共阳极的。用万用表可判断共阴、共阳显示器，方法是将万用表置于二极管档，用万用表内部电池阳极对应的表笔接显示器公共端（单个显示器的 3

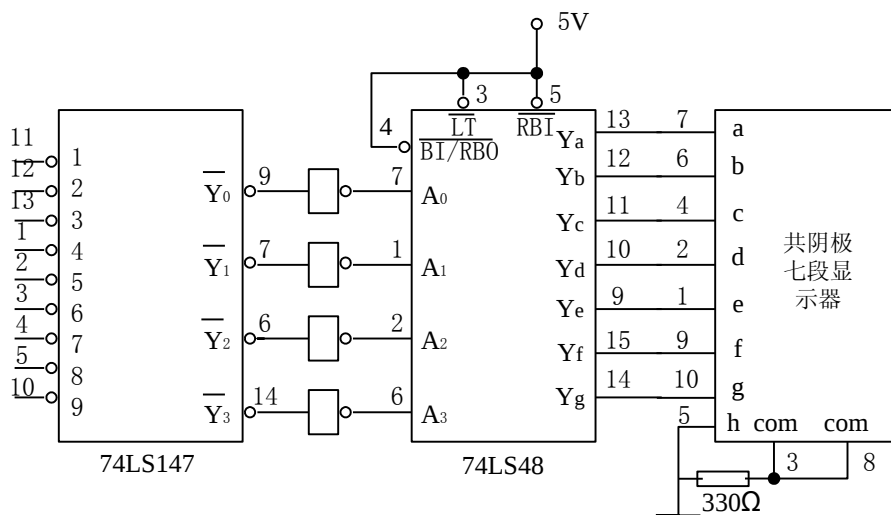


图35 编码、译码、显示电路

和 8 脚，双显示器的 13 和 14 脚)，另一表笔接任一输入端，若显示器亮，则说明该显示器为共阳极的；若显示器不亮，交换表笔后才亮，则说明显示器是共阴极的。

2. 3 线—8 线译码器及应用

3 线—8 线译码器 74LS138 的外引线排列图见教材附录 B，表 13 为其逻辑功能表，可以看出，该译码器有三个控制输入端： G_1 、 $\overline{G}_{2A}$ 、 $\overline{G}_{2B}$ ，当 $G_1=1$ 、 $\overline{G}_{2A}=\overline{G}_{2B}=0$ 时，译码器处于工作状态，否则就禁止译码，所有输出端同时输出高电平，译码器处于工作状态时，输入输出的关系为：

$$\begin{aligned}\bar{Y}_0 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 & \bar{Y}_4 &= A_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 \\ \bar{Y}_1 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 A_0 & \bar{Y}_5 &= A_2 \bar{A}_1 A_0 \\ \bar{Y}_2 &= \bar{A}_2 A_1 \bar{A}_0 & \bar{Y}_6 &= A_2 A_1 \bar{A}_0 \\ \bar{Y}_3 &= \bar{A}_2 A_1 A_0 & \bar{Y}_7 &= A_2 A_1 A_0\end{aligned}$$

由这些关系式，很容易用 74LS138 构成三个变量的逻辑函数产生器，如

$$Z = \bar{A} \bar{B} \bar{C} + \bar{A} \bar{B} C + \bar{A} B \bar{C} + A B C$$

表 13 74LS138 逻辑功能表

输 入					输 出							
G_1	$\bar{G}_{2A} + \bar{G}_{2B}$	A_2	A_1	A_0	$\bar{Y}_0$	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$
×	1	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
0	×	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

只要将输入变量 A、B、C 分别接到 A_2 、 A_1 、 A_0 端，并利用摩根定律进行变换，就可得

$$Z = \overline{\bar{A} \bar{B} \bar{C}} \cdot \overline{\bar{A} \bar{B} C} \cdot \overline{\bar{A} B \bar{C}} \cdot \overline{A B C} = \bar{Y}_0 \bar{Y}_5 \bar{Y}_6 \bar{Y}_7$$

其逻辑图如图 36 所示。

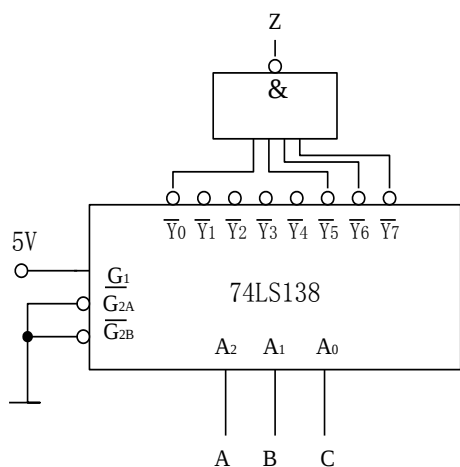


图36 用74LS138构成逻辑函数产生器

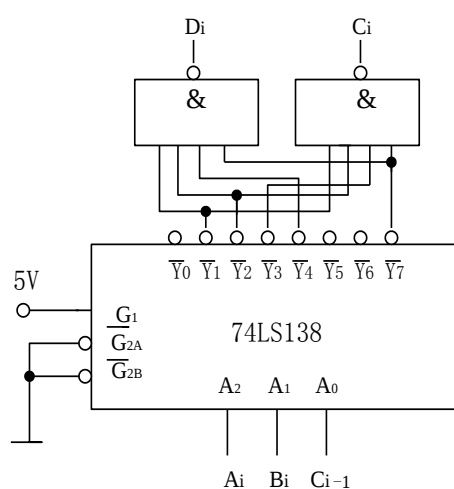


图37 用74LS138构成全加器

用 74LS138 设计一个 1 位全减器，设 1 位全减器的被减数为 A_i ，减数为 B_i ，低位来的借位数为 C_{i-1} ，相减结果，本位差为 D_i ，向高 1 位的借位数为 C_i ，则其真值表如表 14

所示。

表 14 全减器真值表

A_i	B_i	C_{i-1}	D_i	C_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

与 74LS138 的逻辑功能表比较，令 $A_2=A_i$ ， $A_1=B_i$ ， $A_0=C_{i-1}$ ，则有

$$D_i=Y_1+Y_2+Y_4+Y_7=\overline{Y_1}\overline{Y_2}\overline{Y_4}\overline{Y_7}$$

$$C_i=Y_1+Y_2+Y_3+Y_7=\overline{Y_1}\overline{Y_2}\overline{Y_3}\overline{Y_7}$$

其逻辑图如图 37 所示。

3. 数据选择器及其应用

数据选择器主要用作数据传送和逻辑函数发生器，八选一数据选择器 74LS151 的功能表如表 15 所示。

表 15 74LS151 功能表

输入				输出	
A_2	A_1	A_0	$\overline{ST}$	Y	$\overline{W}$
×	×	×	1	0	1
0	0	0	0	D_0	$\overline{D_0}$
0	0	1	0	D_1	$\overline{D_1}$
0	1	0	0	D_2	$\overline{D_2}$
0	1	1	0	D_3	$\overline{D_3}$
1	0	0	0	D_4	$\overline{D_4}$
1	0	1	0	D_5	$\overline{D_5}$
1	1	0	0	D_6	$\overline{D_6}$
1	1	1	0	D_7	$\overline{D_7}$

用 74LS151 实现逻辑函数 $Z=AB+\overline{A}C$ ，令 A_2 、 A_1 、 A_0 分别表示 A、B、C 三个变量，数据选择器的输出表达式为：

$$Y=m_0D_0+m_1D_1+m_2D_2+m_3D_3+m_4D_4+m_5D_5+m_6D_6+m_7D_7$$

而逻辑函数 Z 的最小项表达式为：

$$\begin{aligned} Z &= ABC + AB\overline{C} + \overline{A}BC + \overline{A}\overline{B}C \\ &= \sum m(1,3,6,7) \end{aligned}$$

令 $Y=Z$ ，比较两式可得

$$D_1=D_3=D_6=D_7=1$$

$$D_0=D_2=D_4=D_5=0$$

逻辑图如图 38 所示。

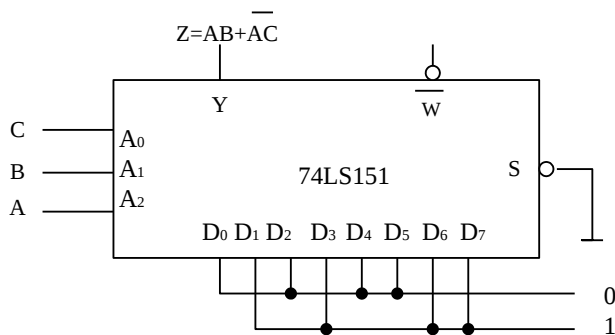


图38 用74LS151构成逻辑函数产生器

四、实验内容

1. 按图 7.2.1 验证编码、译码、显示电路的逻辑功能。
2. 用 74LS138 和与非门构成一个 1 位全加器，用发光二极管指示输出。
3. 用 74LS151 实现一个三人表决电路，赞成用高电平表示，反对用低电平表示（不得弃权），用发光二极管指示结果。

五、注意事项

1. 为防止引入干扰，集成电路的各输入端不要悬空。
2. 用发光二极管指示输出时，要串接 470Ω 的限流电阻。

六、实验报告要求

1. 简述编码、译码、显示电路的工作原理，记录实验结果。
2. 写出全加器和三人表决电路的设计过程，记录实验结果。

七、实验元器件

集成电路 74LS147、74LS48、74LS138、74LS151、74LS04、74LS20 各 1 片
共阴极七段显示器 1 块

实验十 时序逻辑电路

一、实验目的

1. 掌握触发器、计数器、移位寄存器等中规模数字集成电路的性能和使用方法。
2. 掌握构成任意进制计数器的方法。

二、预习要求

1. 查阅所用器件 74LS74、74LS161、74LS192、74LS194 的功能表和外引线排列图。
2. 了解反馈清零法和反馈置数法的原理。
3. 画出实验内容 1、3、4 的实验电路图。

三、实验原理

时序逻辑电路的输出不仅与当前时刻电路的输入状况有关,而且还和电路原来的状态有关,时序逻辑电路中的基本器件是触发器、计数器和寄存器。表 16 列出了常用的触发器、计数器和寄存器的类型和参考型号。

表 16 常用触发器、计数器、寄存器

名称	类型	参考型号
触发器	四 RS 触发器	74279, 4044
	双 D 型触发器	7474, 4013
	四 D 型触发器	74171, 74175, 40175
	八 D 型触发器	74273, 74373, 74377
	双 JK 型触发器	7476, 4027
	四 JK 型触发器	74276, 74376
计数器	十进制同步递增	74160 (异步清除), 74162 (同步清除)
	十进制同步可逆	74168, 74190, 4510, 74192, 40192
	异步二—五—十进制	74196, 7490, 74290
	双十进制异步	74390
	双十进制同步	4518
	4 位二进制同步递增	74161 (异步清除), 74163 (同步清除)
	4 位二进制同步可逆	74164, 74191, 4516, 74193, 40193
	异步二—八—十六进制	74197, 7493, 74293
	双 4 位二进制异步	74393
	双 4 位二进制同步	4520
移位寄存器	4 位双向并入并出	74194, 40194
	4 位右移并出	7495, 74195, 40195, 74395
	双 4 位右移并入并出	4015
	8 位双向并入并出	74198
	8 位右移并出	74199, 74164, 4034
	8 位右移并入串出	74165, 74166, 4014, 4021

1. 触发器

RS 触发器的特征方程为:

$$\begin{cases} Q^{n+1} = S + \overline{R}Q^n \\ RS = 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{D 触发器的特征方程为:} & \begin{cases} Q^{n+1} = D \\ CP \uparrow \end{cases} \\ \text{JK 触发器的特征方程为:} & \begin{cases} Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n \\ CP \downarrow \end{cases} \end{aligned}$$

2. 计数器

计数器可分为同步计数器和异步计数器两大类。在同步计数器电路中，所有的触发器都以计数脉冲为时钟脉冲，应翻转的触发器同时翻转。如 74LS192，74LS161。在异步计数器电路中，有的触发器以计数脉冲为时钟脉冲，有的是以其他触发器的输出作为时钟脉冲，因此它们的翻转有先有后，不是同步的，如 74LS90。

计数器常从零开始计数，所以具有“置零”的功能，通常计数器还有“预置”的功能，通过预置数据于计数器中，可使计数从任意数值开始。

中规模集成计数器多为二进制或十进制，通过反馈清零法和反馈置数法可转换成任意进制的计数器。

(1) 反馈清零法

在计数过程中，将某一个中间状态 N_1 反馈到清除端，使计数器返回到零，重新开始计数。这样可将模较大的计数器作为模较小（模为 N ）的计数器使用。若是异步清除，则 $N_1=N$ ，若是同步清除，则 $N_1=N-1$ 。

(2) 反馈置数法

计数器在计数过程中将中间状态 N_1 反馈到置数端 $\overline{LD}$ ，当计数到 N_1 时，置数端为有效电平，将预先预置的数 N_0 送到输出端，计数器输出 N_0 。若要求计数器的模为 N ，则对同步置数， $N_1=N+N_0-1$ 对异步置数， $N_1=N+N_0$ 。当 $N_0=0$ 时，计数器从零开始计数。

下面介绍几种常用的集成计数器。

(1) 74LS90 异步二—五—十进制计数器

74LS90 是由二进制和五进制计数器构成的十进制计数器，功能表见表 17，外引线排列见附录 B。计数脉冲由 $\overline{CP}_0$ 输入， Q_0 作为输出，则构成二进制计数器；计数脉冲由 $\overline{CP}_1$ 输入， Q_1 、 Q_2 、 Q_3 作为输出，则构成五进制计数器；计数脉冲由 $\overline{CP}_0$ 输入， Q_0 与 $\overline{CP}_1$ 相连， $Q_3 \sim Q_0$ 作为输出，则构成 8421 码的十进制计数器。计数顺序如表 18 所示。

表 17 74LS90 功能表

输 入					输 出			
$\overline{CP}$	R_{0A}	R_{0B}	R_{9A}	R_{9B}	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
×	1	1	0	×	0	0	0	0
×	1	1	×	0	0	0	0	0
×	0	×	1	1	1	0	0	1
×	×	0	1	1	1	0	0	1
↓	×	0	×	0	计数			
↓	0	×	0	×	计数			
↓	0	×	×	0	计数			
↓	×	0	0	×	计数			

表 18 Q_0 与 $\overline{CP}_1$ 连接的计数序列

计数	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

(2) 74LS161 四位二进制同步计数器（异步清除）

74LS161 为带预置功能的二进制同步计数器，其功能表见表 19，外引线排列图见附录 B。15 脚 Q_{CC} 为进位输出端。从功能表中可看到，当 $\overline{C_r}=0$ 时，CP 端无论有无脉冲，计数器立即清零，因此是异步清除。当 $\overline{LD}=0$ 时，计数器随着 CP 脉冲的到来被置数，属同步置数。

表 19 74LS161 功能表

输 入					输出
CP	$\overline{LD}$	$\overline{C_r}$	S_1	S_2	Q
×	×	0	×	×	0
↑	0	1	×	×	置数
↑	1	1	1	1	计数
×	1	1	0	×	保持
×	1	1	×	0	保持

表 20 74LS192 功能表

输 入				输出
Cr	$\overline{LD}$	CPu	CPd	Q
1	×	×	×	0
0	0	×	×	置数
0	1	↑	H	加计数
0	1	H	↑	减计数
0	1	↓	H	保持
0	1	H	↓	保持

用 74LS161 构成十进制计数器，如用反馈清零法，则计数器如图 7.3.1(a)所示连线，当 $Q_3Q_2Q_1Q_0=1010$ 时，通过反馈线强制计数器清零。

由于 1010 状态只是瞬时过渡状态，因此，随着 CP 脉冲的到来，计数器的状态依次是 0, 1, 2, ..., 9, 0 构成十进制计数器。

图 39 (b)是用反馈置数法构成的十进制计数器，当 $Q_3Q_2Q_1Q_0=1001$ （十进制数 9）时， $\overline{LD}=0$ ，此时，计数器的输出仍是 1001，当下一个即第十个 CP 脉冲到来时，计数器才被置数， $Q_3Q_2Q_1Q_0=D_3D_2D_1D_0=0000$ ，计数器输出为 0。

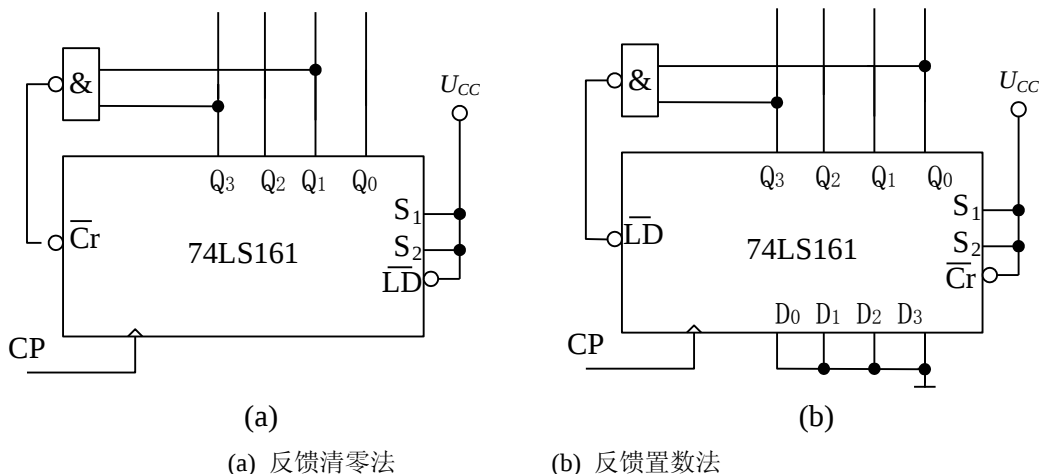


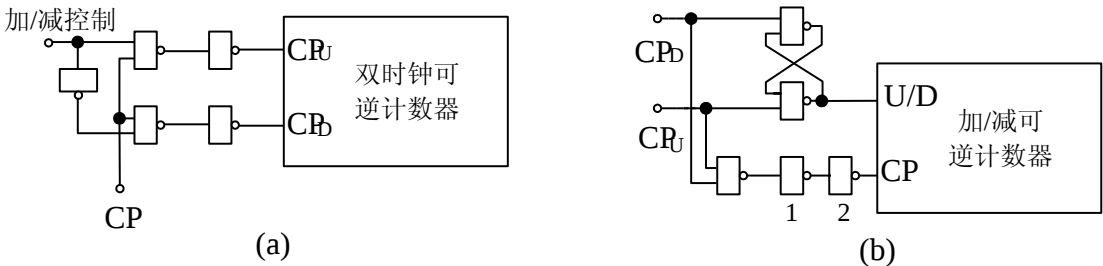
图39 用74LS161构成十进制计数器

(3) 74LS192 可逆计数器

74LS192 是带预置功能的双时钟同步十进制可逆计数器，其功能表见表 20，当清除端 $\overline{Cr}=1$ 时，无论 CP 端有无脉冲，计数器立即清零，因此，是异步清除。当置数端 $\overline{LD}=0$ 时，无论 CP 端有无脉冲，计数器输出 $Q_3Q_2Q_1Q_0=D_3D_2D_1D_0$ ，因此是异步置数。当 $CP_D=1$ 时，计数脉冲从 CP_U 送入，则在 CP 上升沿的作用下，计数器进行加计数，加到 9 (1001) 后，进位输出端 $\overline{CO}$ 由 1 变为 0，下一个脉冲来后，计数器输出变为 0， $\overline{CO}$ 由 0 变为 1，向上一级计数器进位，当 $CP_U=1$ 时，计数脉冲从 CP_D 送入，则计数器进行减计数，减到 0 后，借位输出端 $\overline{BO}$ 由 1 变为 0，下一个脉冲到来后，计数器输出变为 9 (1001)， $\overline{BO}$ 由 0 变为 1，向上一级计数器借位。

(4) 可逆计数器单时钟与双时钟方式的转换

双时钟可逆计数器有二个时钟输入端，而单时钟可逆计数器只有一个时钟输入端，其加、减计数是由一个加/减控制端 U/D 来实现的，当 $U/D=1$ 时，计数器作加法计数，当 $U/D=0$ 时，计数器作减法计数，图 40 为双时钟可逆计数器与单时钟可逆计数器二者之间相互转换的电路图。(b)图中门 1 和门 2 的作用是增加 $\overline{CP_U}$ 和 $\overline{CP_D}$ 到达计数器 CP 端的延迟时间，从而使 U/D 控制端首先转换成加、减法控制电平，而后 CP 端才收到计数脉冲，从而保证计数器的正常工作。



(a)双时钟转换为单时钟 (b)单时钟转换为双时钟
图40 单、双时钟可逆计数器间的转换

3. 移位寄存器

移位寄存器分为单向右移和双向移位两类，每一类中又有并行输入、串行输入、并行输出、串行输出之分。74LS194 为 4 位双向移位寄存器，并具有并行输入、并行输出、串行输入、串行输出的功能，其功能表见表 21。

表 21 74LS194 功能表

输 入										输 出				功能
$\overline{C_r}$	M_1	M_0	CP	D_{SL} (左移)	D_{SR} (右移)	D_0	D_1	D_2	D_3	Q_0^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_3^{n+1}	
0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	0	0	0	清零
1	0	0	×	×	×	×	×	×	×	Q_0^n	Q_1^n	Q_2^n	Q_3^n	保持

1	1	1	↑	×	×	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	并行输入
1	0	1	↑	×	D _{SR}	×	×	×	×	D _{SR}	Q ₀ ⁿ	Q ₁ ⁿ	Q ₂ ⁿ	右移
1	1	0	↑	D _{SL}	×	×	×	×	×	Q ₂ ⁿ	Q ₁ ⁿ	Q ₀ ⁿ	D _{SL}	左移

四、实验内容

1. 测试 D 触发器 74LS74 的功能，并将其连接成四分频电路，用示波器观察输入输出波形。
2. 计数、译码、显示电路。

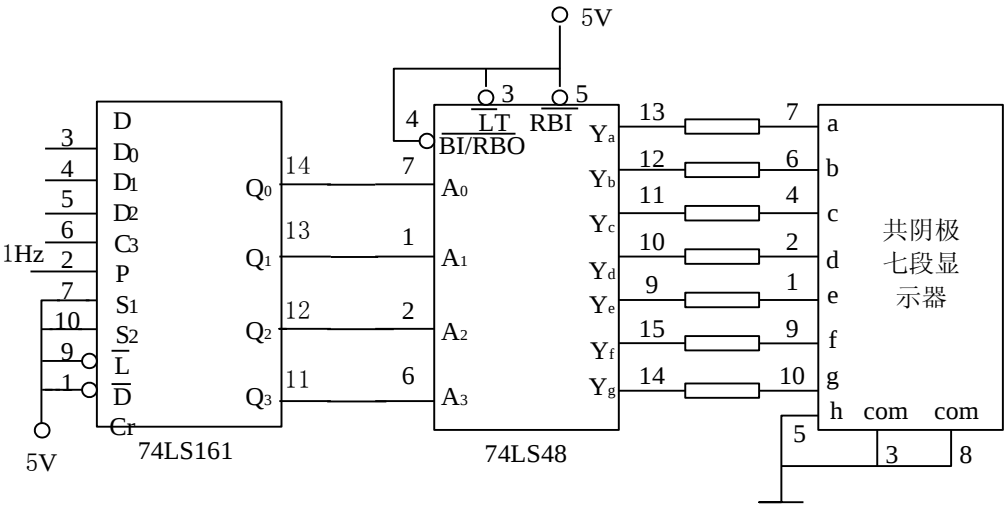


图41 计数、译码、显示电路

按图 41 连线，在电路正常工作后：

- (1) 测试计数器的清零、置数、保持等功能。
- (2) 用反馈清零法将计数器接成 0~9 的十进制计数器。
- (3) 用反馈置数法将计数器接成 1~9 的九进制计数器。
3. 使用 74LS192 设计并组装 24 进制减计数器，要求当十位数字为零时，十位显示器不显示 0。
4. 用 74LS194 设计并组装一个 4 位能自启动的循环移位寄存器，要求输出在任何时刻都有一位且有一位是 1，其余均为 0。

五、注意事项

CP 脉冲由信号发生器的 TTL 输出端输出。

六、实验报告要求

1. 画出用 74LS74 组成四分频电路的连线图，并画出 CP、Q₁、Q₂ 的波形图。

-
2. 简述实验内容 2 的实验原理，记录实验结果。
 3. 画出 24 进制计数器的具体实验电路图，简述其工作原理。
 4. 画出用 74LS194 组成的循环移位寄存器的电路图，简述其工作原理。

七、实验元器件

集成电路 74LS74、74LS161、74LS194、74LS00、74LS04 各一片，74LS48、74LS192 各二片
共阴极七段显示器 2 块