

TIANKE&TIANHUANG

Tianhuang
Teaching Apparatuses
天煌教仪

电子系列实验

模拟电子技术基础

Foundational of Analog Electronics Technology



天煌教仪

杭州天科技术实业有限公司

杭州天煌电器设备厂

第一部分 模拟电路部分

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

1. 学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、信号源、毫伏表等的主要技术指标、性能及正确使用方法。
2. 初步掌握 POS9020 型双踪示波器观察波形和读取波形参数的方法。

二、实验原理

在模拟电子线路实验中，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。它们和万用电表一起，可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种仪器进行综合使用，可以按照信号流向，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线如图 1.1 所示。接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的公共接地端应连接在一起，称为共地。信号源和毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用



图 1.1

电缆线，示波器用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。

1. 示波器

在本书实验附录中已对常用的 POS9020 型双踪示波器的原理和使用方法作了较详细的说明，现着重指出下列几点：

- 1) 开机后，如果找不到光点，可调节亮度旋钮，然后适当调节垂直和水平移位旋钮，将光点移至荧光屏的中心位置。
- 2) “扫描速度”开关(t/cm)位置应根据被观察信号的周期来确定。
- 3) Y 轴灵敏度应根据被测波形的幅度放在适当的档位。
- 4) 示波器显示单个信号时，应根据波形的输入通道，选择适当的显示通道。
- 5) 在测量信号频率和幅度时，“扫描速度”开关和“灵敏度”应置于“校准”位置（顺时针旋到底）。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器按需要可输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出信号电压幅度可由输出幅度调节旋钮进行连续调节。输出信号电压频率可以通过频率分挡开关进行调节，并由频率计读取频率值。

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

3. 交流毫伏表

交流毫伏表只能在其工作频率范围内，用来测量正弦交流电压的有效值。

为了防止过载而损坏仪器，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置处，然后在测量中逐挡减小量程。

三、实验仪器

1. 信号发生器 EM1643
2. 双踪示波器 POS9020
3. 毫伏表 EM2172

四、实验内容及步骤

图 1.2 表示用示波器和毫伏表测量信号的仪器连接图。

1. 测量示波器内的校准信号

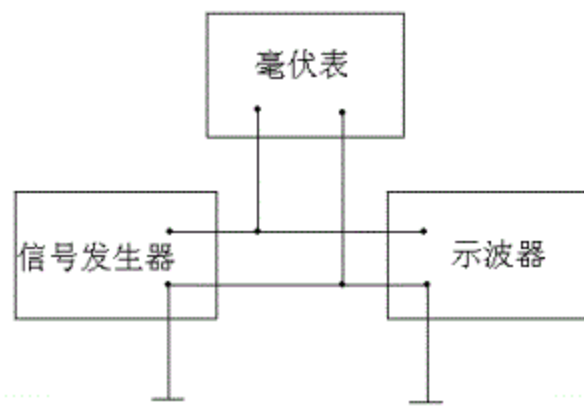


图 1.2

用机内校准信号（方波 $f=1\text{KHz} \pm 2\%$ ，电压幅度 $0.5\text{V} \pm 5\%$ ）对示波器进行自检。

- 1) 调出“校准信号”波形
- 2) 校准“校准信号”幅度

将 y 轴灵敏度微调旋钮置“校准”位置，y 轴灵敏度开关置于适当位置，读取校准信号幅度，记入表 1.1。

	标准值	实测值
幅 度	0.5V (P-P)	
频 率	1KHz	
上升沿时间	$\leq 2\mu\text{S}$	
下降沿时间	$\leq 2\mu\text{S}$	

表 1.1

3) 校准“校准信号”频率

将扫速微调旋钮置“校准”位置，扫速开关置适当位置，读取校准信号周期，记入表 1.1。

4) 测量“校准信号”的上升时间和下降时间

调节“y 轴灵敏度”开关位置及微调旋钮，并移动波形，使方波波形在垂直方向上正好占据中心轴上，且上、下对称，便于阅读。通过扫速开关逐级提高扫描速度，使波形在 X 轴方向扩展（必要时可以利用“扫速扩展”开关将波形再扩展 10 倍），并同时调节触发电平旋钮，从荧光屏上清楚的读出上升

时间和下降时间，记入表 1.1。

2. 用示波器和毫伏表测量信号发生器输出电压

使信号发生器输出信号频率固定为 10KHz，并将信号发生器的幅度旋钮顺时针旋到底。将示波器灵敏度的“微调”旋钮顺时针旋到底。为了保证测量精度，在屏幕上应显示足够高度的波形。为此，应将灵敏度选择开关选在合适的档位。将测量结果记入表 1.2。

信号源“衰减”位置 (dB)	0	20	40	60
示波器灵敏度 (v/cm)				
波形峰到峰高度 (cm)				
峰到峰电压 (v)				
电压有效值 (v)				
EM2172 测量值 (v)				

表 1.2

3. 用示波器测量信号周期

使信号发生器输出信号固定为 3v，将示波器扫描速度的“微调”旋钮顺时针旋到底。为了保证测量精度，屏幕上一个周期应占有足够的水平格数。为此，应将扫描速度开关置于合适的档位。将测量结果记入表 1.3。

信号频率 (kHz)	0.1	5	25	100	500
扫描速度位置 (μs)					
一周期所占水平格数 (cm)					
信号周期 (μs)					

表 1.3

五、实验预习

1. 认真阅读本书附录中的有关内容。
2. 阅读本实验内容和步骤。

六、实验报告

1. 用示波器测量交流信号，如何才能保证示波器所能达到的测量精度？
2. 怎样用示波器测量电流波形？

实验二 晶体管单级低频放大器——共发射电路

一、实验目的

1. 学会放大器静态工作点的调试方法，分析静态工作点对放大器性能的影响。
2. 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的测量方法。
3. 熟悉常用电子仪器及模拟电路设备的使用。

二、实验原理

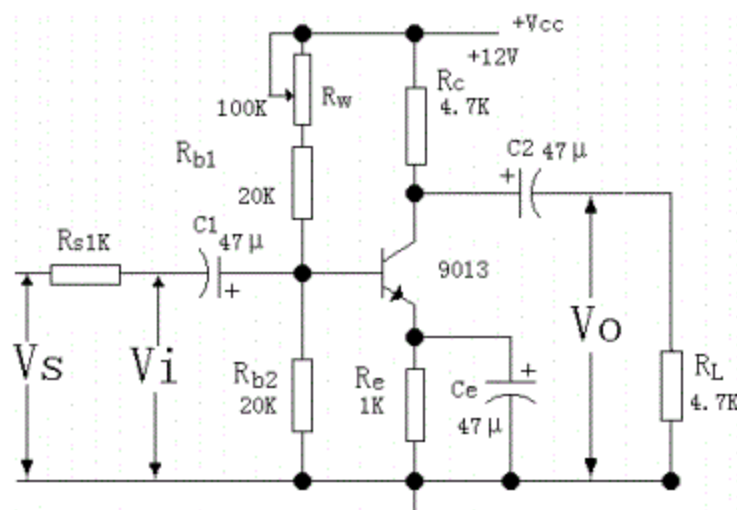


图 2.1 共发射极单管共发射电路

图 2.1 为电阻分压式工作点稳定的单管放大器实验电路图。它的偏置电路采用 R_{b1} 和 R_{b2} 组成的分压电路，并在发射极中接有电阻 R_e ，以稳定电路的静态工作点。当在放大器的输入端加输入信号 V_i 后，在放大器的输出端便可得到一个与 V_i 相位相反、幅值放大的输出信号 V_o ，从而实现了电压放大。

在图 2.1 电路中，当流过偏置电阻 R_{b1} 和 R_{b2} 的电流远大于晶体管 9013 的基极电流 I_B 时（一般 5—10 倍时），则它的静态工作点可用下式估算：

$$V_B \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_e)$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_e} \approx I_C$$

电压放大倍数：

$$A_v = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

输入电阻：

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

输出电阻：

$$R_o \approx R_c$$

由于电子器件性能的分散性较大，因此在设计和制作晶体管放大电路时，离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元件的参数，为电路设计提供必要的依据，在完成设计和联接以后，还必须测量和调试放大器的静态工作点。一个优质放大器，必定是理论设计与实验相结合的产物。因此，除了学习放大器的理论知识和设计方法外，还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括：放大器的静态工作点的测量与调试，消除干扰及放大器各项动态参数的测量与调试等。

1. 放大器静态工作点的测量与调试

1) 静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点，应在输入信号 $V_i=0$ 的情况下进行，即将放大器输入端对地短接，然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表，分别测量晶体管的集电极电流 I_c 以及各电极对地的电位 V_B 、 V_C 和 V_E 。一般实验中，为了避免断开集电极，所以采用测量电压，然后算出 I_c 的方法。例如，只要测量出 V_E ，即可用 $I_C \approx I_E = V_E / R_E$ 算出，同时也能算出 $V_{BE} = V_B - V_E$ ， $V_{CE} = V_C - V_E$ 。为了减小误差，提高测量精度，应选用内阻较高的直流电压表。

2) 静态工作点的调试

静态工作点是否合适，对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高，放大器在加入交流信号后易产生饱和失真，此时 V_o 的负半周将被削底，如图 2.2 (a) 所示；如工作点偏低，则易产生截止失真，即 V_o 的正半周被缩顶（一般截止失真不如饱和失真明显），如图 2.2 (b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试，即在放大器的输入端加入一定的 V_i ，检查输出端电压 V_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足，则应调节静态工作点的位置。

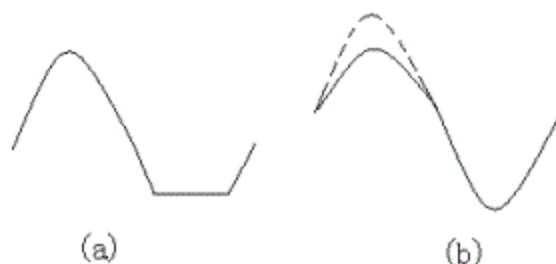


图 2.2 静态工作点对 V_o 波形失真的影响

改变电路参数 V_{CC} 、 R_C 、 R_B (R_{b1} 、 R_{b2}) 都会引起静态工作点的变化，如图 2.3 所示。但通常多采用调节偏置电阻 R_{b1} 的方法来改变电路静态工作点，如减小 R_{b1} ，则可使静态工作点提高等。

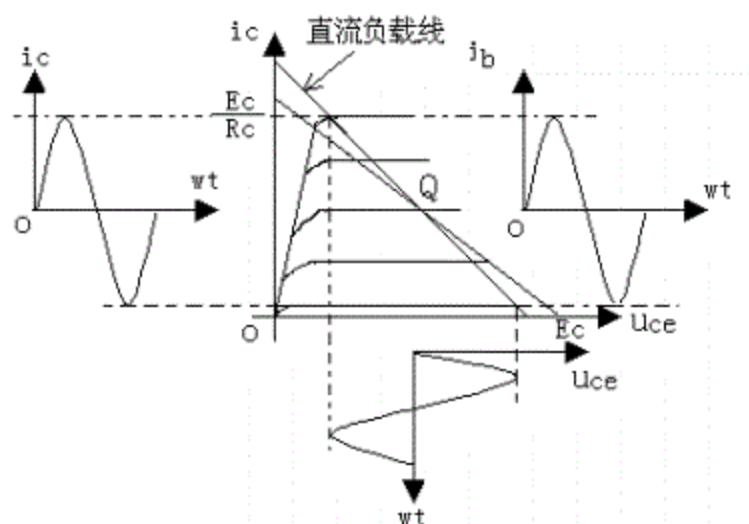


图 2.3 电路参数对静态工作点的影响

最后还要说明的是，上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的，应该是相对信号的幅度而言，如信号幅度很小，即使工作点较高或较低也不一定会出现失真。所以确切的说，产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置不当所致。如需满足较大信号幅度要求，静态工作点应尽量靠近交流负载线的中点。

2. 放大器动态指标测试

放大器动态指标测试有电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压（动态范围）和通频带等。

1) 电压放大倍数 A_v 的测量

调整放大器到合适的静态工作点，然后加入输入电压 V_i ，在输出电压 V_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测出 V_i 和 V_o 的有效值，则

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

2) 输入电阻的测量

放大器的输入电阻的大小，表示该放大器从信号源或前级放大器那里获取多少电流，为前级电路设计提供负载条件。可用串接电阻法测量 R_i ，测量电路如图 2.4。为了测量放大器的输入电阻，即在信号源与放大器输入端之间串接一个已知电阻 R_s ，在放大器正常工作的情况下，用交流毫伏表测出 V_s 和 V_i ，

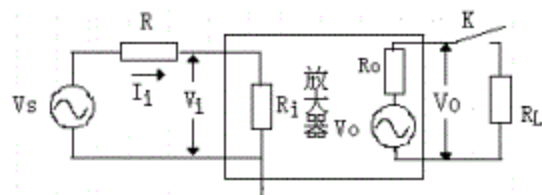


图2.4 输入、输出电阻测量电路

则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{V_s - V_i}{R}} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$

测量时应注意:

1. 由于电阻 R 两端没有电路公共接地点, 而电压表一般测量的是对地的交流电压, 所以, 当测量 R 两端的电压 V_R 时, 必须分别测量 R 两端对地的电压 V_S 和 V_i , 然后再转求出 V_R 。实际测量时, 电阻 R 的数值不宜取得过大, 否则容易引入干扰, 但也不宜取得过小, 否则测量误差较大。通常取 R 与 R_i 为同一数量级比较合适, 本实验取 R 为 $1k\Omega$ 。

2. 测量之前, 毫伏表应该校零, V_S 和 V_i 最好用同一量程档进行测量。

3. 输出端应接上负载电阻 R_L , 并用示波器监视输出波形。要求在波形不失真的条件下进行上述测量。

3) 输出电阻的测量

放大器输出电阻 R_o 的大小能够说明该放大器承受负载的能力。 R_o 越小, 放大器输出等效电路越接近于恒压源, 带负载的能力越强。 R_o 的测量也为后级电路设计提供条件。按图 2.4 电路, 在放大器正常工作的条件下, 测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 V_o 和接入负载后的输出电压 V_{OL} , 根据

$$V_{OL} = \frac{R_L}{R_o + R_L} V_o$$

即可求出 R_o

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{OL}} - 1 \right) R_L$$

在测试中应注意, 必须保持 R_L 接入前后输入信号大小不变。

4) 最大不失真输出电压 V_{opp} 的测量 (最大动态范围)

如上所述, 为了得到最大动态范围, 应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作情况下, 逐步增大输入信号幅度, 并同时调节 R_w (改变静态工作点), 用示波器观察 V_o , 当输出波形同时出现削底和缩顶现象时, 说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号, 使输出波形幅度最大, 且无明显失真时, 用毫伏表测出 V_o (有效值), 则动态范围等 $2\sqrt{2}V_o$ 于或直接用示波器读出 V_{opp} 来。

5) 放大器频率特性的测量

放大器的频率特性是指放大器的电压放大倍数与输入信号频率之间的关系曲线。单管阻容耦合放大器的幅频特性曲线如图 2.5 所示, A_{vm} 为中频电压放大倍数通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频放大 A_{vm} 倍数的倍, $1/\sqrt{2}$ 即 $0.707 A_{vm}$ 所对应的频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H , 则通频带 $f_{BW}=f_H-f_L$, 放大器的幅频特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数 A_v 。为此, 可采用前述测 A_v 的方法, 每改变一个信号频率, 测量其相应的电压放大倍数, 测量时应注意取点要适当, 在低频段与高频段应多测几点。此外, 在改变频率时, 要保持输入信号的幅度不变, 且输出波形不失真。

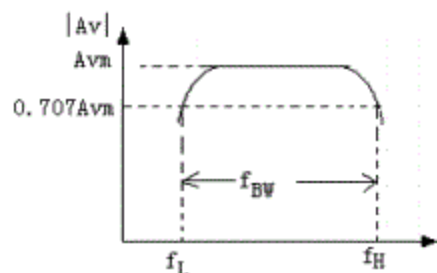


图 2.5 幅频特性曲线

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

按图 2.1 接好电路。将仪器和实验电路正确的连接起来如图 2.6 所示。

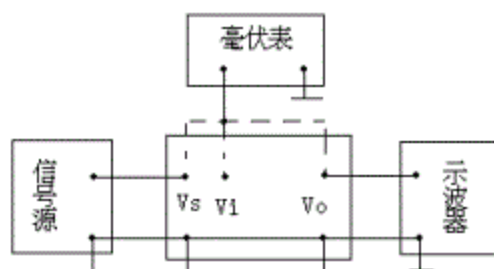


图2.6 仪器连接图

为防止干扰，各仪器的地线必须连接在一起。

1. 测量静态工作点

调节信号发生器，使 $V_i=5\text{mV}$ （用毫伏表测量）， $f=1\text{kHz}$ ，在 $R_L=\infty$ 时用示波器观察输出端 V_o 的波形，反复调节 R_{b1} 以改变工作点的位置，得到输出波形既无饱和失真又无截止失真的最大不失真状态（饱和失真刚好消失）。断开输入信号，用万用表测量静态参数，将数据填入表 2.1 中。

V_B (v)	V_C (v)	V_E (v)	I_C (mA)

表 2.1

2. 测量电压放大倍数

在上述静态条件下，加输入信号 $V_i=5\text{mV}$ ， $f=1\text{kHz}$ ，在下述三种情况下，用毫伏表测量 V_o 的值完成表 2.2。并同时用双踪示波器观察 V_i 和 V_o 的相位关系。

R_C (k Ω)	R_L (k Ω)	V_O (v)	A_v
4.7	∞		
2.4	∞		
4.7	4.7		

表 2.2

3. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置 $R_C=4.7k\Omega$, $R_L=4.7k\Omega$, $V_i=0$, 调节 R_{b1} 使 $I_C=1.5mA$, 测出 V_{CE} 值再逐步加大输入信号, 使输出电压 V_O 足够大但不失真。然后保持输入信号不变, 分别增大和减小 R_{b1} , 使波形出现失真, 绘出 V_O 波形, 并测出失真情况下的 I_C 和 V_{CE} 值, 把结果记入表 2.3 中。每次测量 I_C 和 V_{CE} 值都要将信号源断开。

I_C (mA)	V_{CE} (v)	V_O 波形	失真情况	管子状态
1.5				

表 2.3

4. 测量最大不失真输出电压

置 $R_C=4.7k\Omega$, $R_L=4.7k\Omega$, 按照实验原理 4) 中所述方法, 同时调节电位器 R_{b1} 和输入信号的幅度, 用示波器测量 V_{opp} 和 V_O , 记入表 2.4

I_C (mA)	V_{im} (mv)	V_{om} (v)	V_{opp} (v)

表 2.4

5. 测量输入电阻和输出电阻

置 $R_C=4.7k\Omega$, $R_L=4.7k\Omega$, 调节信号源使 $V_i=5mv$, $f=1kHz$ 的正弦信号, 在输出电压 V_O 不失真的情况下, 用毫伏表测出 V_S , V_i 和 V_{OL} 记入表 2.5。

保持不变 V_i , 断开 R_L , 测量输出电压 V_O , 记入表 2.4。

V_S (mv)	V_i (mv)	R_i (k Ω)	V_{OL} (V)	V_O (v)	R_O (k Ω)
	5mv				

表 2.5

6. 测量幅频特性曲线

取 $R_C=4.7k\Omega$, $R_L=4.7k\Omega$ 。保持输入信号 $V_i=5mv$ 幅度不变, 在输出波形 V_O 不失真的情况下, 改变信号源频率 f , 逐点测出相应的输出电压 V_O , 记入表 2.6。

	f_L	f_O	f_H
f (kHz)			
V_O (v)			
$A_v=V_O/V_i$			

表 2.6

五、实验预习

1. 阅读教材中有关单管放大电路的内容并估算实验电路的性能指标。

假设：9013 的 β 值=100, $R_{b1}=30\text{ k}\Omega$, $R_{b2}=10\text{ k}\Omega$, $R_c=4.7\text{ k}\Omega$,

$R_L=4.7\text{ k}\Omega$ 。

2. 能否用直流电压表直接测量晶体管的 V_{BE} ? 为什么实验中要采用测 V_B 和 V_E , 再间接算出 V_{BE} 的方法?

3. 怎样测量 R_{b1} 阻值?

4. 当调节偏置电阻 R_{b1} , 使放大器输出波形出现饱和或截止失真时, 晶体管压降 V_{CE} 怎样变化?

5. 改变静态工作点对放大器的输入电阻 R_i 是否影响? 改变外接电阻对输出电阻 R_o 是否影响?

六、实验报告

1. 整理实验数据, 进行必要的计算, 列出表格, 画出必要的波形。
2. 讨论 R_b , R_c 和 R_L 的变化对静态工作点、电压增益及电压波形的影响
3. 讨论为提高放大器电压增益应采取那些方法。
4. 讨论静态工作点对放大器输出波形的影响。
5. 根据以上的实验结果, 试设计一个放大器, 要求 $I_C=1.5\text{mA}$, 电压放大倍数为 120, 输入阻抗为 $2\text{ k}\Omega$, 输出电阻为 $2.4\text{ k}\Omega$ 的放大电路。

实验三 场效应管放大器

一、实验目的

1. 了解结型场效应管的性能和特点
2. 进一步熟悉放大器动态参数的测试方法

二、实验原理

场效应管是一种电压控制型器件。按结构可分为结型和绝缘栅型两种类型。由于场效应管栅源之间处于绝缘或反向偏置，所以输入电阻很高（一般达上百兆欧），又由于场效应管是一种多数载流子控制器件，因此热稳定性好，抗辐射能力强，噪声系数小。加之制造工艺简单，便于大规模集成，因此得到越来越广泛的应用。

1. 结型场效应管的特性和参数

场效应管的直流参数主要有饱和漏极电流 I_{DSS} ，夹断电压 V_D 等；交流参数主要有低频跨导

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \big|_{V_{DS} = \text{常数}}$$

表 3.1 列出了 3DJ6F 的典型参数值及测试条件。

参数名称	饱和漏极电流 I_{DSS} (mA)	夹断电压 V_D (v)	跨导 g_m ($\mu A/v$)
测试条件	$V_{DS}=10v$ $V_{GS}=0v$	$V_{DS}=10v$ $I_{DS}=50 \mu A$	$V_{DS}=10v$ $I_{DS}=3mA$ $f=1kHz$
参数值	1—3.5	$< -9 $	>100

表 3.1

场效应管放大器性能分析

图 3.1 为结型场效应管组成的共源放大电路。其静态工作点

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{DD} - I_D R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

中频电压放大倍数

$$A_v = -g_m R'_L = -g_m R_D // R_L$$

输入电阻

$$R_i = R_G + R_{g1} // R_{g2}$$

输出电阻

式中跨导 g_m 可用下面公式计算：

$$R_o \approx R_D g_m = -\frac{2I_{DSS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

注意：计算时 V_{GS} 要用静态工作点处的数值。

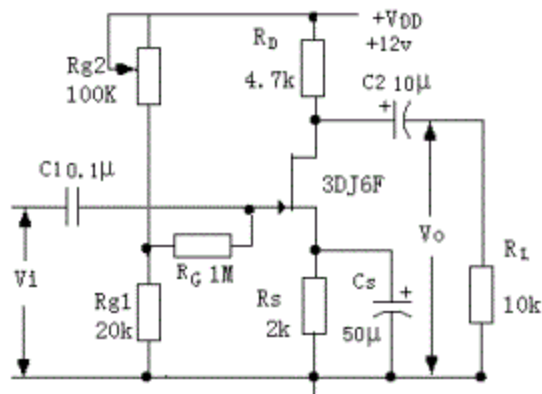


图3.1 结型场效应管共源级放大器

2. 输入电阻的测量方法

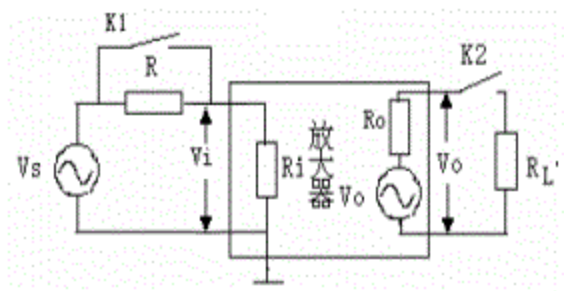


图 3.2 输入输出电阻测量电路

场效应管放大器的静态工作点、电压放大倍数和输出电阻的测量方法，与实验二中的晶体管放大器测量方法相同。其输入电阻的测量，从原理上讲，也可采用实验二中所用的方法，但由于场效应管的 R_i 比较大，如直接测量输入电压 V_s 和 V_i ，则限于测量仪器的输入电阻有限，必然会带来较大的误差。因此为了减小误差，常利用被测放大器的隔离作用，通过测量输出电压 V_o 来计算输入电阻。测量电路如图 3.2 所示。在放大器的输入端串入电阻 R ，把开关 K_1 接上（即使 $R=0$ ），测量放大器的输出电压 $V_{O1}=A_v \times V_s$ ；保持 V_s 不变，再把开关 K_1 断开（即接入 R ），测量放大器的输出电压 V_{O2} ，由于两次测量中 A_v 和 V_s 保持不变，故

由此可以求出

$$R_i = \frac{V_{o2}}{V_{o1} - V_{o2}} R_o$$

$$V_{o2} = A_v V_i = \frac{R_i}{R + R_i} V_s A_v$$

式中 R 和 R_i 不要相差太大，本实验可取 $R=100\sim 200k\Omega$ 。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

本实验所用的仪器连接图同实验二中的图 2.5 一样，信号发生器提供正弦波信号 V_s ，示波器观察输出电压波形，毫伏表测输入、输出电压 V_s 、 V_i 、 V_o 。

1. 按最大不失真输出调试电路的静态工作点。

闭合 K1，断开 K2，在输入端加入 1kHz 正弦波信号，调节 R_{g1} 和 V_s 的幅度，使 V_o 为最大不失真输出。然后去掉输入信号 V_s ，测静态工作点，将结果填入表 3.2 中。

测量值						计算值		
V_G (v)	V_s (v)	V_D (v)	V_{DS} (v)	V_{GS} (v)	I_D (mA)	V_{DS} (v)	V_{GS} (v)	I_D (mA)

表 3.2

1. 电压增益、输入、输出电阻的测量

1) A_v 和 R_o 的测量

在放大器的输入端加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦波信号 $V_i=50\text{mv}$ ，并用示波器监视输出电压 V_o 的波形。在输出电压 V_o 没有失真的条件下，用毫伏表分别测量

$R_L=\infty$ 和 $R_L=10\text{K}\Omega$ 的输出电压 V_o （注意： V_i 保持不变），记入表 3.3。

测量值					计算值	
	V_i (v)	V_o (v)	A_v	R_o (K Ω)	A_v	R_o (K Ω)
$R_L=\infty$						
$R_L=10\text{K}$						

表 3.3

用示波器同时观察 V_i 和 V_o 的波形，描绘出来，并分析它们的相位关系。

2) R_i 的测量

调节信号源使 $V_s=50\text{mv}$ ， $f=1\text{kHz}$ ，将开关 K1 合上，测出 $R=0$ 时的输出电压 V_{O1} ，然后再将开关 K1 断开， V_s 保持不变再测出 V_{O2} ，根据公

$$R_i = \frac{V_{O2}}{V_{O1} - V_{O2}} R \quad \text{式求出 } R_i, \text{ 把结果记入表 3.4}$$

测量值			计算值
V_{O1} (v)	V_{O2} (v)	R_i (K Ω)	R_i (K Ω)

表 3.4

五、预习要求

1. 复习有关场效应管部分内容，了解放大器输入、输出电阻的测量方法。掌握本实验中使用的测试方法。
2. 场效应管放大器输入回路的电容 C_1 为什么可取得小一点（可以取 $C_1=0.1\mu\text{F}$ ）？
3. 为什么测场效应管输入电阻时要用测输出电压的方法？
4. 测静态工作点电压 V_{GS} 时，能否用万用表直接并在两端测量？为什么？

六、实验报告

1. 整理实验数据，将测得的 A_v 、 R_i 、 R_o 和理论计算值进行比较。
2. 把场效应管放大器与晶体管放大器进行比较，总结出场效应管放大器的特点。

实验四 射极跟随器——共集放大器

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

二、实验原理

图 4.1 是共集电极放大器的原理图。由交流通路可见，三极管的负载是接

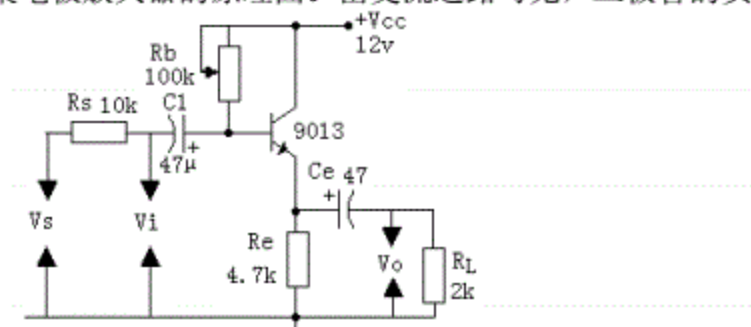


图4.1 射极跟随器实验电路

在发射极上，其输入电压加在基极和地之间，而输出电压取自于发射极和地之间（集电极为交流地），所以集电极为输入输出信号的公共端。

射极输出器是一个电压串联负反馈放大电路，它具有输入阻抗高，输出阻抗低，输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性变化以及输入输出信号同相等特点。

1. 电压放大倍数 A_v 接近于 1

一般 $(1+\beta)(R_e//R_L) \gg r_{be}$ ，故射极输出器的电压放大倍数接近 1 而略小于 1，这是深度电压负反馈的结果。但它的射极电流仍比基极电流大 β 倍，所以它具有一定的电流和功率放大作用。输出电压和输入电压同相。具有良好的跟随特性。

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1+\beta)(R_e//R_L)}{r_{be} + (1+\beta)(R_e//R_L)}$$

2. 输入电阻 R_i 高

图 4.1 电路

$$R_i = r_{be} + (1+\beta)R_e$$

如考虑偏置电阻 R_e 和 R_L 负载的影响，则

$$R_i = R_e // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)]$$

由上式可知射极跟随器的输入电阻 R_i 比共射极单管放大器的输入电阻 $R_i = R_b // r_{be}$ 要高的多。

输入电阻的测试方法同实验二的测试方法。

3. 输出电阻 R_o 低

图 4.1 电路

$$R_o = \frac{r_{be}}{\beta} // R_e \approx \frac{r_{be}}{\beta}$$

如考虑信号源内阻 R_s 和偏置电阻 R_b ，则

$$R_o = \frac{r_{be} + (R_s // R_b)}{\beta} // R_e \approx \frac{r_{be} + (R_s // R_b)}{\beta}$$

由上式可知射极跟随器的输出电阻 R_o 比共射极单管放大器的输出电阻 $R_o \approx R_c$ 小的多。

输出电阻的测试方法同实验二的测试方法。

由于射极输出器的以上特点，使它在电子线路中得以广泛应用。因为它的输入电阻大而被广泛用作测量仪器的输入级，以减小对被测电路的影响；又因它的输出电阻小而常用作多级放大器的输出级，以增强末级带负载的能力；利用其输入电阻大而输出电阻小的特点，又常用它作为中间缓冲级，以达到级间阻抗变换的目的。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 按图 4.1 接好电路，将仪器和实验电路按图 4.2 正确的

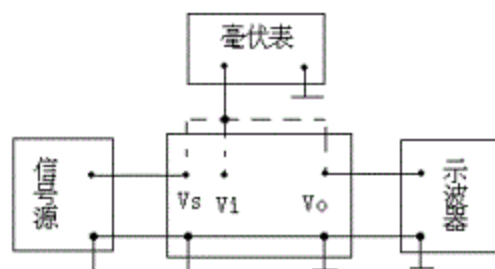


图4.2 仪器连接图

连接起来。

2. 直流工作点的调整

调信号源 EM1643，使 $V_i = 0.2V$ （用毫伏表测量）， $f = 1kHz$ ，接上负载 R_L ，调节 R_b ，输出端用示波器观察波形不失真，然后置 $V_i = 0$ ，用直流电压表测量各晶体管各电极对地的电压，将测得结果记入表 4.1。在整个测试过程中应保持 R_b 值不变（ I_E 不变）。

V_B (V)	V_C (V)	V_E (V)	$I_c = V_E / R_e$ (mA)
)	)	)	

--	--	--	--

表 4.1

3. 测量电压放大倍数 A_v

调信号源 EM1643, 使 $V_i=0.2\text{v}$ (用毫伏表测量), $f=1\text{kHz}$, 接上负载 R_L , 用交流毫伏表测 V_{OL} , 记入表 4.2。

V_i (v)	V_{OL} (v)	$A_v=V_{OL}/V_i$
0.2		

表 4.2

4. 测量输出电阻 R_o

在上述条件下, 断开负载 R_L , 用毫伏表测量 V_o , 完成表 4.3。

V_i (v)	V_{OL} (v)	$R_o = (V_o/V_{OL}-1) R_L$ (k Ω)

表 4.3

5. 测量输入电阻 R_i

在上述条件下, 测量 V_s , 完成表 4.4。

V_s (v)	V_i (v)	$R_i = V_i / (V_s - V_i) \times R_s$ (k Ω)
	0.2	

表 4.4

6. 测试跟随特性

接入负载 R_L , 调节信号源使 V_i 的 $f=1\text{kHz}$, 逐步增大信号幅度, 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 V_{OL} 值, 记入表 4.5 中。

V_i (v)	
V_{OL} (v)	

表 4.5

7. 测试频率响应特性

输入信号 $V_i=0.2\text{v}$, 并保持不变, 改变输入信号频率, 用示波器监视输出波形, 用交流毫伏表测量不同频率下的输出电压 V_{OL} 值, 完成表 4.6。

f (kHz)	
V_{OL} (v)	

表 5.6

五、预习要求

1. 复习射极跟随器的工作原理及其特点。
2. 根据图 4.1 估算共集放大器的静态工作点、电压放大倍数及输入、输出电阻。

六、实验报告

1. 画出实验电路。
2. 将实验数据列成表格, 与计算值进行比较。

实验五 负反馈放大器

一、实验目的

1. 加深理解负反馈对放大器性能的影响。
2. 学习放大器输入、输出电阻的测量方法。
3. 学习负反馈放大器性能的一般测试方法。

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，但它在多方面改善放大器的动态参数，如稳定放大倍数，改善输入、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 5.1 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

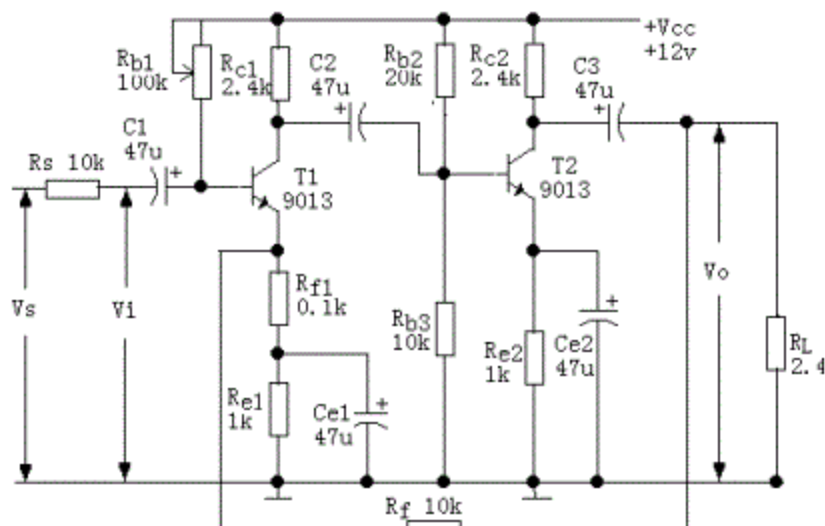


图5.1 电压串联负反馈放大器实验电路

输出电压 V_o 引回到输入端，加在晶体管 T1 的发射极上，在发射极电阻 R_{f1} 上形成反馈电压 V_f 。根据反馈的判断方法可知，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}

其中 $A_v = V_o / V_i$ ——基本放大器（无反馈）的电压放大倍数，即开环电

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

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。

2) 反馈系数 F_v

$$F_v = \frac{R_{f1}}{R_f + R_{f1}}$$

3) 输入电阻 R_{if}

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

R_i ——基本放大器的输入电阻（不包括偏置电阻）

4) 输出电阻 R_{of}

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A_{vo} F_v}$$

R_o ——基本放大器的输出电阻

A_{vo} ——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 $V_o = 0$ ，此时相当于并联在 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, 因此需要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。可近似认为并接在输出端。

根据上述规律, 就可得到所要求的如图 5.2 所示的基本放大器。

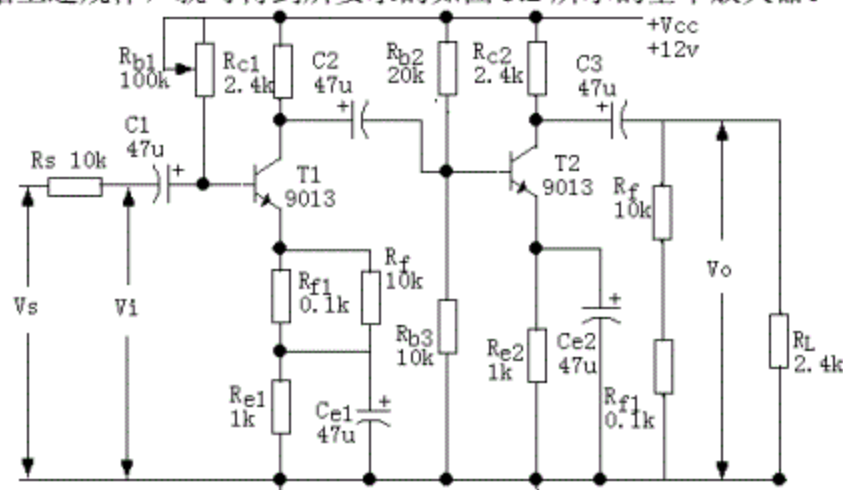


图5.2 基本放大器

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 测量静态工作点

按图 5.1、5.2 连接实验电路, 各仪器连接方法同实验二, 断开负载 R_L , 在 V_i 加入 1mv 、 $f=1\text{kHz}$ 的信号, 调节 R_{b1} , 使输出波形不失真, 断开信号源, 用万用表直流电压档, 测量第一级、第二级的静态工作点, 完成表 5.1。

	V_B (v)	V_C (v)	V_E (v)	I_C (mA)
T_1				
T_2				

表 5.1

2. 测试基本放大器的各项性能指标

将实验电路按图 5.2 连接。

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

在上述静态条件下, 保持 $V_i=1\text{mv}$ 、 $f=1\text{kHz}$ 不变, 用交流毫伏表测量

V_s 、 V_i 、 V_o 及接上负载时的 V_{OL} 的值, 完成表 5.2。

	V_s mv	V_i mv	V_{OL} v	V_O v	A_v	R_i k Ω	R_o k Ω
基 本 放大器		1					
负反馈 放大器		1					

表 5.2

2) 测量通频带

接上 R_L ，保持 V_i 不变，然后增加和减小输入信号的频率，找出上、下限频率 f_H 和 f_L ，记入表 5.3。

	f_H (kHz)	f_L (kHz)	Δf (kHz)
基本放大器			
负反馈放大器			

表 5.3

3. 测试负反馈放大器的各项性能指标

将实验电路变为图 5.1 的负反馈放大器。在第一步的静态条件下，用实验内容 2 中的方法测量负反馈放大器的 A_{v_f} 、 R_{if} 和 R_{of} ，记入表 5.2；测量 f_H 和 f_L ，记入 5.3 表。

4. 观察负反馈对非线性失真的改善

1) 实验电路改接成基本放大器形式，在输入端加入正弦信号，输出端接示波器，逐步增大输入信号的幅度，使输出波形出现失真，记下此时的波形和输入输出电压的幅度。

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

五、预习要求

1. 复习教材中有关负反馈放大器的内容。
2. 按实验电路 5.1 估算放大器的静态工作点 ($\beta=100$, $R_{b1}=100k$)。
3. 估算基本放大器的 A_v 、 R_i 和 R_o ；估算负反馈放大器的 A_{v_f} 、 R_{if} 和 R_{of} ，并验算它们之间关系。
4. 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

六、实验报告

1. 将基本放大器和负反馈放大器实测值和理论值列表进行比较。
2. 根据实验结果，总结电压串联负反馈对放大器性能的影响。
3. 如按深负反馈估算，则闭环电压放大倍数 $A_{v_f}=?$ ，和测量值是否一致？
4. 如输入信号存在失真，能否用负反馈来改善？
5. 怎样判断放大器是否存在自激振荡？如何进行消振？

实验六 集成运放在模拟方面的应用

一、实验目的

1. 掌握集成运算放大器在模拟运算方面的应用。
2. 掌握集成运算放大器的正确使用方法。

二、实验原理

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

本实验采用的集成运放型号为 $\mu A741$ （或 HA17741），引脚排列如图 6.1 所示。它是八脚双列直插式组件，其引脚作用：②脚和③脚为反向输入端和同相输入端，⑥脚为输出端，⑦脚和④脚为正、负电源端，①脚和⑤脚为失调调零端，①⑤脚之间可接入一只 100K 的电位器，并将滑动端接到负电源端。⑧脚

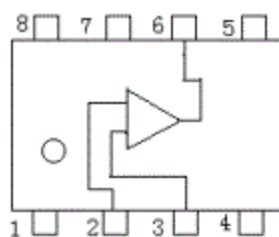


图6.1 $\mu A741$ 管脚图

为空脚。

基本运算电路

1) 反相比例运算电路

电路如图 6.2 所示, 对于理想运放, 该电路的输出电压与输入电压之间的关系为

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} V_i$$

为了减小输入级偏置电流引起的运算误差, 在同相端应接入平衡电阻 $R_2=R_1//R_F$ 。

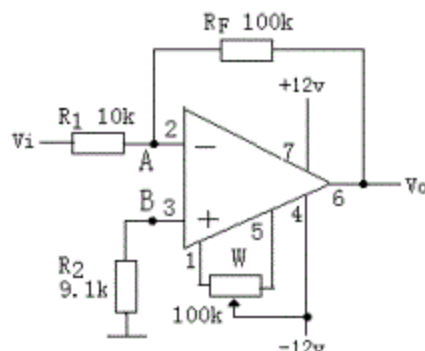


图6.2反相比例运算电路

2) 反向加法电路

电路如图 6.3 所示, 输出电压与输入电压之间关系为(其中 $R_3=R_1//R_2//R_F$)

$$V_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_{i1} + \frac{R_F}{R_2} V_{i2}\right)$$

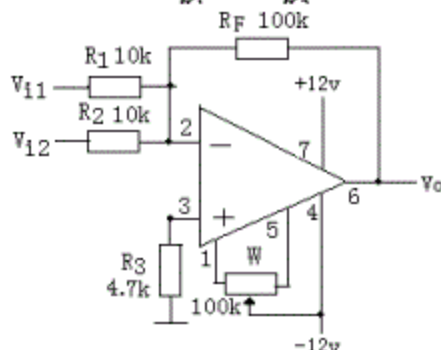


图6.3 反向加法电路

3) 同相比例运算电路

图 6.4 (a) 是同相比例运算电路, 它的输出电压与输入电压之间关系为

$$V_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) V_i$$

当 $R_1=\infty$ 时, $V_o=V_i$, 即得到如图 6.4 (b) 所示的电压跟随器, 图中 $R_2=R_F$, 用以减小漂移和起保护作用。一般 R_F 取 10k, R_F 太小起不到保护作用, 太大影响跟随性。

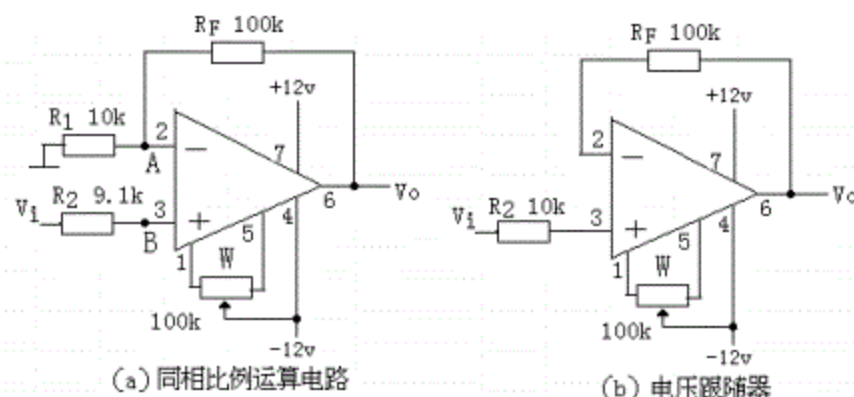


图6.4 同相比例运算电路

4) 差动放大电路(减法器)

对于图 6.5 所示的减法电路, 当 $R_1=R_2$, $R_3=R_F$ 时, 有如下关系式

$$V_o = \frac{R_F}{R_1}(V_{i2} - V_{i1})$$

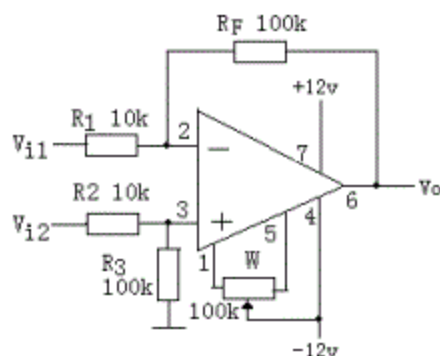


图6.5 减法运算电路

集成运放在使用时应考虑的一些问题

1 输入信号使用交、直流均可, 但在选取信号的频率和幅度时, 应考虑运放的频响特性和输出电压的限制。

2 调零。为提高运算精度, 在运算前, 应首先对直流输出电位调零, 即保证输入为零时, 输出也为零。将同相输入端和反相输入端分别对地短路, 此时输入信号为零, 调节调零电位器, 使运算放大器输出电压为 1mv (用数字万用表直流电压档测量)。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱
- 6 数字万用表

四、实验内容

1. 反相比例运算电路

1) 按图 6.2 连接实验电路, 接通电源+12v 和-12v, 输入端对地短路, 进行调零。

2) 输入 $f=100\text{Hz}$, $V_i=0.2\text{v}$ 的正弦交流信号, 测量相应的 V_o , 并用示波器观察 V_o 和 V_i 的相位关系, 记入表 6.1。

3) 观察 A、B 两点电压的大小，记入表 6.1。

V_i (v)	V_o (v)	V_A (v)	V_B (v)	A_v		V_i 波形	V_o 波形
				实测值	理论值		

表 6.1

2. 同相比比例运算电路

1) 按图 6.4 (a) 连接实验电路。实验步骤同上，将记入表 8.2。

2) 观察 A、B 两点电压的大小，记入表 6.1。

V_i (v)	V_o (v)	V_A (v)	V_B (v)	A_v		V_i 波形	V_o 波形
				实测值	理论值		

表 6.2

2) 将图 6.4 (a) 中 R_1 的断开，得图 6.4 (b) 电路，重复内容 1)

3. 反相加法运算电路

1) 按图 6.3 连接实验电路，首先进行调零。

2) 取 $f=100\text{Hz}$ 的正弦信号，按图 6.6 的方法取得 V_{i1} 和 V_{i2} 。测量

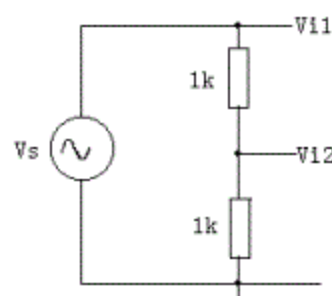


图6.6 分压电路

V_{i1} 、 V_{i2} 和 V_o 的值，记入表 6.3

V_{i1} (v)	V_{i2} (v)	V_o (v)	
		实测值	理论值
0.2			

表 6.3

4. 减法运算电路

1) 按图 6.5 连接实验电路。调零

2) 实验步骤同内容 3，记入表 6.4。

V_{i1} (v)	V_{i2} (v)	V_o (v)	
		实测值	理论值
0.2			

表 6.4

五、预习要求

1. 复习集成运放线性应用部分内容，并根据实验电路参数计算各电路输出电压的理论值。
2. 为了不损坏集成块，实验中应注意哪些问题？
3. 运放的调零能否在开环（无反馈）的状态下进行？
4. 在反相加法器中，如 V_{i1} 和 V_{i2} 均采用直流信号，并选定 $V_{i2} = -1V$ ，当考虑到运算放大器的最大输出幅度($\pm 12V$)时， $|V_{i1}|$ 的大小不应超过多少伏？
5. 为了不损坏集成块，实验中应注意什么问题？

六、实验报告

1. 画出实验电路，整理和分析实验数据，并与理论值进行比较，分析产生误差的原因。
2. 对运放三种输入方式的特点进行小结。
3. 分析讨论实验中出现的现象和问题。
4. A/D 变换器要求其输入电压的幅度为 $0 \sim +5V$ ，现有信号变化范围为 $-5V \sim +5V$ ，试设计一电平抬高电路，将其变化范围变为 $0 \sim +5V$ 。试用两个集成运放集成块设计此电路。

实验七 集成运放在波形产生方面的应用

一、实验目的

1. 了解运放的非线性应用。
2. 学习用运放构成矩形波、三角波和锯齿波发生器的方法。

二、实验原理

由集成运放构成的正弦波、方波和三角波发生器有多种形式，本实验选用最常用的、线路比较简单的几种加以分析。

1. RC 桥式正弦波振荡器（文氏电桥振荡器）

图 7.1 为 RC 桥式正弦波振荡器。其中 RC 串、并联电路构成正反馈支路，

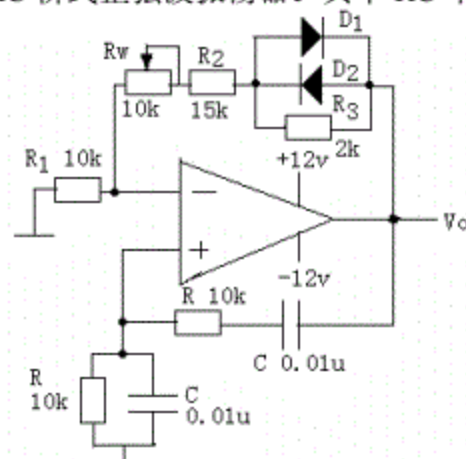


图7.1 RC桥式正弦波振荡器

同时兼作选频网络， R_1 、 R_2 、 R_w 及二极管等元件构成负反馈和稳幅环节。调节电位器 R_w ，可以改变反馈深度，以满足振荡的振幅条件和改善波形。利用两个反向并联二极管 D_1 、 D_2 正向电阻的非线性特性来实现稳幅。 D_1 、 D_2 采用硅管（温度稳定性好），且要求特性匹配，才能保证输出波形正、负半周对称。 R_3 的接入是为了削弱二极管非线性影响，以改善波形失真。

电路振荡频率

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

起振的振幅条件

$$\frac{R_F}{R_1} \geq 2$$

式中 $R_F = R_w + R_2 + (R_3 / r_D)$ ， r_D ——二极管正向导通电阻。

调整反馈电阻 R_F （调 R_w ），使电路起振，且波形失真最小。如不能起振，则说明负反馈太强，应适当加大 R_F 。如波形失真严重，则应减小 R_F 。

改变选频网络的参数 C 或 R ，即可调节振荡频率。一般采用改变电容 C 做频率量程切换，而调节 R 作量程内的频率细调。

2. 方波发生器

由集成运放构成的方波发生器和三角波发生器，一般均包括比较器和 RC

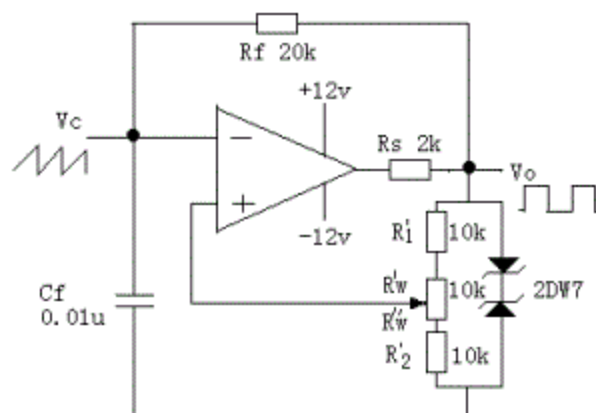


图7.2 方波发生器

积分器两大部分。图 7.2 所示为由滞回比较器及简单 RC 积分电路组成的方波——三角波发生器。它的特点是线路简单，但三角波的线性较差。主要用于产生方波，或对三角波要求不高的场合。

$$\text{该电路的振荡频率 } f_o = \frac{1}{2R_f C_f \ln(1 + \frac{R_2}{R_1})}$$

$$\text{式中 } R_1 = R_1' + R_w' \quad R_2 = R_2' + R_w''$$

$$\text{方波的输出幅值 } V_{om} = \pm V_Z$$

$$\text{三角波的幅值 } V_{cm} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_Z$$

调节电位器 R_w （即改变 R_2/R_1 ），可以改变振荡频率，但三角波的幅值也随之变化。如要互不影响，则可通过改变 R_f （或 C_f ）来实现振荡频率的调节。

3. 三角波和方波发生器

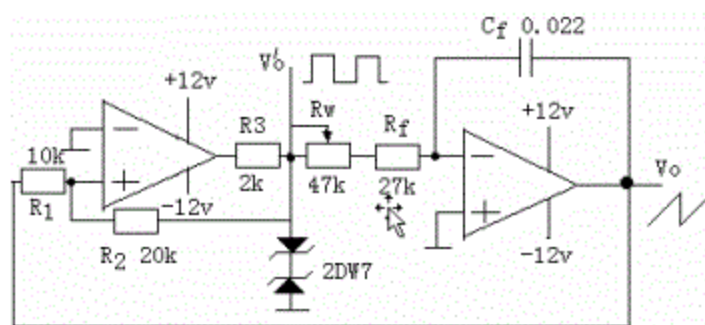


图 7.3 三角波、方波发生器

如把滞回比较器和积分比较器首尾相接形成正反馈闭环系统，如图 7.3 所示，则比较器输出的方波经积分器积分得到三角波，三角波又触发比较器自动反转形成方波，这样即可构成三角波、方波发生器。由于采用运放组成的积分电路，因此可实现恒流充电，三角波线性大大改善。

$$\text{电路的振荡频率 } f_o = \frac{R_2}{4R_1(R_f + R_w)C_f}$$

$$\text{方波的幅值 } V'_{om} = \pm V_Z$$

$$\text{三角波的幅值 } V_{om} = \frac{R_1}{R_2} V_Z$$

调节 R_w 可以改变振荡频率，改变比值 R_1/R_2 可调节三角波的幅值。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号源 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 桥式正弦波振荡器

按图 7.1 连接实验电路，接通 $\pm 12V$ 电源，输出端接示波器。

1) 调节电位器 R_w ，使输出波形从无到有，从正弦波到出现失真。描绘的 V_o 波形，记下临界起振，正弦波输出及失真情况下的 R_w 值，分析负反馈强弱对起振条件及输出波形的影响。

2) 调节电位器 R_w , 使输出电压 V_o 幅值最大且不失真, 用交流毫伏表分别测量输出电压 V_o 、反馈电压 V_+ 和 V_- , 分析研究振荡的幅值条件。

3) 用示波器或频率计测量振荡频率 f_o , 然后在选频网络的两个电阻 R 上并联同一阻值电阻, 观察记录振荡频率的变化情况, 并与理论值进行比较。

4) 断开二极管 D_1 、 D_2 , 重复 2) 的内容, 将测试结果与 2) 进行比较, 分析 D_1 、 D_2 的稳幅作用。

2. 方波发生器

按图 7.2 连接实验电路。

1) 将电位器 R_w 调至中心位置, 用示波器观察并绘出方波 V_o 及三角波 V_c 的波形 (注意对应关系), 测量其幅值及频率, 记下数据。

2) 改变动点的位置, 观察 V_o 、 V_c 幅值及频率变化情况。把动点调至最上端和最下端, 测出频率范围, 记录数据。

3) 将恢复至中心位置, 将一只稳压管断接, 观察 V_o 波形, 分析 D_z 的限幅作用。

3. 三角波和方波发生器

按图 7.3 连接实验电路。

1) 将电位器 R_w 调至合适位置, 用示波器观察并描绘三角波输出 V_o 及方波输出 V_o' , 测其幅值、频率及 R_w 值, 记录数据。

2) 改变 R_w 的位置, 观察对 V_o 、 V_o' 幅值及频率的影响。

3) 改变 R_1 (或 R_2), 观察对 V_o 、 V_o' 幅值及频率的影响。

五、预习要求

1. 复习有关正弦波振荡器、三角波及方波发生器的工作原理, 并估算 7.1、7.2、7.3 电路的振荡频率。

2. 设计实验表格。

3. 为什么在 RC 正弦波振荡器电路要引入负反馈支路? 为什么要增加二极管 D_1 和 D_2 ? 它们是怎样稳幅的?

4. 怎样测量非正弦波电压的幅值?

六、实验报告

1. 正弦波发生器

1) 列表整理实验数据, 画出波形, 把实测频率与理论值进行比较

2) 根据实验分析 RC 振荡器的振幅条件

3) 讨论二极管 D_1 、 D_2 的稳幅作用。

2. 方波发生器

1) 列表整理实验数据, 在同一座标纸上, 按比例画出方波和三角波的波形图 (标出时间和电压幅值)。

3) 分析 R_w 变化时, 对 u_o 波形的幅值及频率的影响。

4) 讨论 D_z 的限幅作用。

3. 三角波和方波发生器

1) 整理实验数据, 把实测频率与理论值进行比较。

2) 在同一座标纸上, 按比例画出三角波及方波的波形, 并标明时间和电压幅值。

3) 分析电路参数变化 (R_1 , R_2 和 R_w) 对输出波形频率及幅值的影响。

实验八 集成运放在信号处理方面的应用

一、有源带通滤波器

一、实验目的

1. 熟悉用运放、电阻和电容组成有源低通滤波器、高通滤波器、带通、带阻滤波器及其特性。
2. 学会测量有源滤波器的幅频特性。

二、实验原理

本实验是用集成运算放大器和 RC 网络来组成不同性能的有源滤波电路。

1. 低通滤波器

低通滤波器是指低频信号能通过而高频信号不能通过的滤波器，用一级 RC 网络组成的称为一阶 RC 有源低通滤波器，如图 8.1 所示。

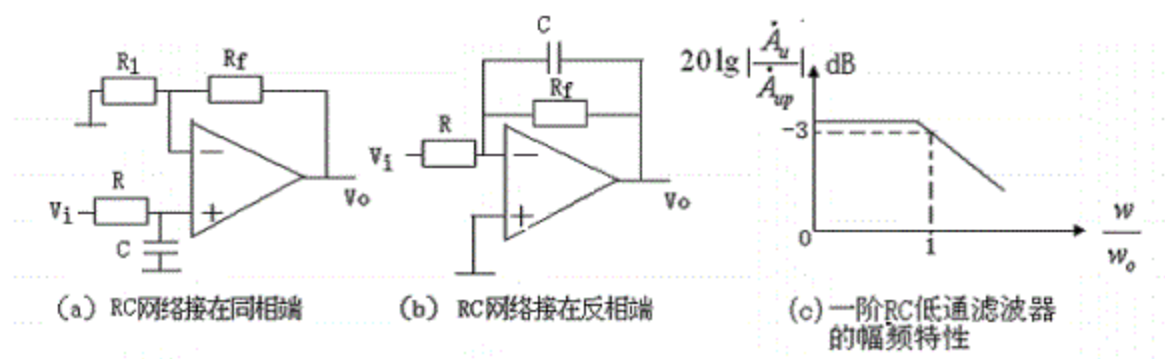


图 8.1 基本的有源低通滤波器

根据“虚短”和“虚断”的特点，可求得图 8.1(a) 电路的电压放大倍数为

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{1 + \frac{R_f}{R_1}}{1 + j \frac{f}{f_o}} = \frac{A_{up}}{1 + j \frac{f}{f_o}}$$

其中

$$A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

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

A_{up} 和 f_o 分别称为通带放大倍数和通带截止频率。

为了改善滤波效果，在图 8.1(a) 的基础上再加一级 RC 网络，且为了克服在截止频率附近的通频带范围幅度下降过多的缺点，通常采用将第一级电容 C 的接地端改接到输出端的方式，如图 8.2 所示，即为一个典型的二阶有源低通滤波器。

这种有源滤波器的幅频特性为

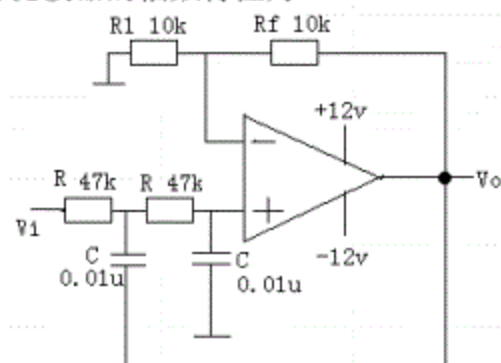


图 8.2 二阶有源低通滤波器

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(SCR)^2 A_{up}}{1 + (3 - A_{up})SCR + (SCR)^2} = \frac{A_{up}}{1 - (\frac{\omega}{\omega_o})^2 + j \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_o}}$$

式中:

$A_{up} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 为二阶低通滤波器的通带增益;

$\omega_o = \frac{1}{RC}$ 为截止频率, 它是二阶低通滤波器通带与阻带的界限频率。

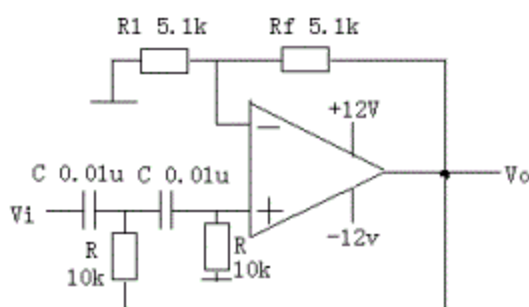
$Q = \frac{1}{3 - A_{up}}$ 为品质因数, 它的大小影响低通滤波器在截止频率处幅

频特性的形状。

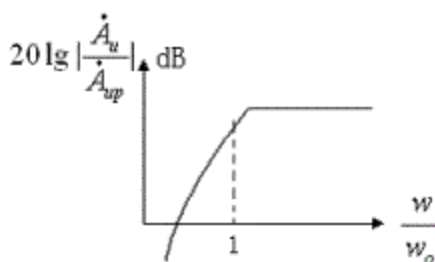
注: 式中 S 代表 $j\omega$

2. 高通滤波器

只要将低通滤波器中起滤波作用的电阻、电容互换, 即可变成有源高通滤波电路, 如图 8.3 所示, 其性能与低通滤波器相反, 其频率响应和低通滤波器是“镜像”关系。



(a) 电路图



(b) 高通滤波器幅频特性

图 8.3 高通滤波器

这种高通滤波器的幅频特性为

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(SCR)^2 A_{up}}{1 + (3 - A_{up})SCR + (SCR)^2} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 A_{up}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 + j \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_o}}$$

式中 A_{up} , ω_o , Q 的意义与前同。

3. 带通滤波器

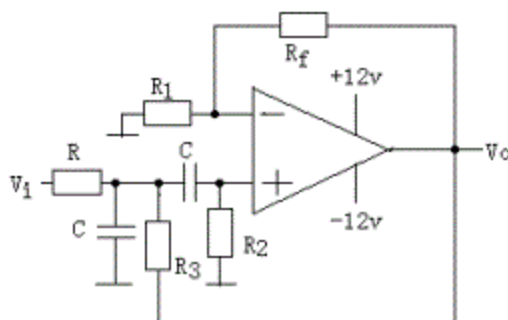


图 8.4 二阶有源带通滤波器

这种滤波电路的作用是只允许在一个范围内的信号通过，而比通频带下限频率低和比上限频率高的信号都被阻断。典型的带通滤波器可以从二阶低通滤波电路中将其中一级改成高通而成。如图 8.4 所示

它的输入输出关系为

$$A = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(1 + \frac{R_f}{R_1})(\frac{1}{\omega_o RC})(\frac{S}{V_o})}{1 + \frac{B}{\omega_o} \frac{S}{\omega_o} + (\frac{S}{\omega_o})^2}$$

$$\text{中心角频率 } \omega_o = \sqrt{\frac{1}{R_2 C^2}(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_3})}$$

$$\text{频带宽 } B = \frac{1}{C}(\frac{1}{R} + \frac{2}{R_2} - \frac{R_f}{R_1 R_3})$$

$$\text{选择性 } Q = \frac{\omega_o}{B}$$

这种电路的优点是改变 R_f 和 R_1 的比例就可改变频宽而不影响中心频率。

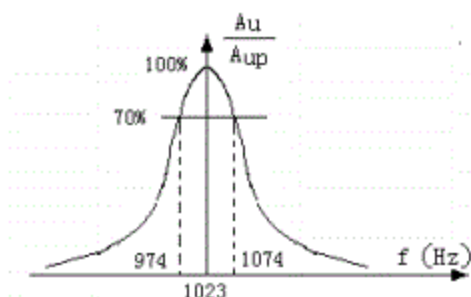


图 8.5 带通滤波器的幅频特性

当 $R=160k$, $R_2=22k$, $R_3=12k$, $R_f=R_1=47k$, $C=0.01 \mu f$ 时, $\omega_o=1023Hz$, 其上限频率为 107Hz, 下限频率为 974Hz, Q 为 10.23, 增益为 2, 其选频特性如图 8.5 所示。

4. 带阻滤波器

这种电路的性能和带通滤波器相反，即在规定的频带内，信号不能通过（或受到很大的衰减），而在其余频率范围内，信号则能顺利通过，电路图见图 8.6，幅频特性见图 8.7。该电路常用于抗干扰设备中。

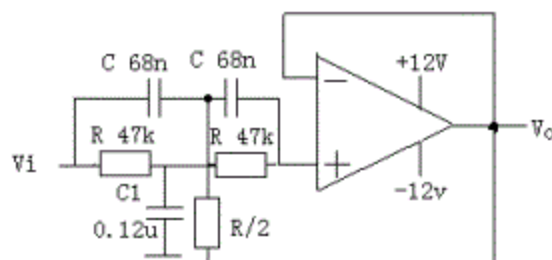


图 8.6 二阶有源带阻滤波器

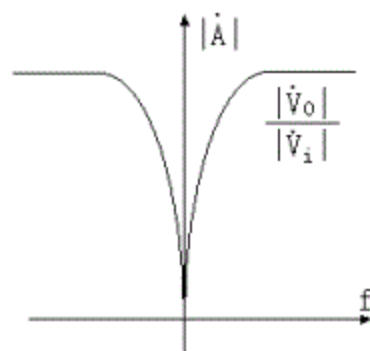


图 8.7 幅频特性

这种电路的输入、输出关系为：

$$\dot{A} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{[1 + (\frac{S}{w_o})^2]A_u}{1 + 2(2 - A_u)\frac{S}{w_o} + (\frac{S}{w_o})^2}$$

式中：

$$A_u = \frac{R_f}{R_1} ; w_o = \frac{1}{RC} , \text{由式可见, } A_u \text{ 愈接近 } 2, |\dot{A}_u| \text{ 愈大, 即起到}$$

阻断范围变窄的作用。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 二阶低通滤波器

实验电路如图 8.2

接通地线及电源。 V_i 接信号源，令其输入信号 $V_i=1v$ 并保持不变，改变其频率，测量输出电压 V_o ，记入表 8.1。

V_i (v)	1
f (Hz)	
V_o (v)	

表 8.1

2. 二阶高通滤波器

实验电路如图 8.3(a)

按表 8.2 的内容测量并记录。

V_i (v)	1

f(Hz)	
Vo(v)	

表 8.2

3. 带通滤波器

实验线路如图 8.4，并按原理说明中的参数选择元器件，测量其频响特性。数据表格自拟。

- (1) 实测电路的中心频率 f_0 。
- (2) 以实测中心频率为中心，测出电路的幅频特性。

5. 带阻滤波器

实验电路如图 8.6 所示的双 T 型 RC 网络。数据表格自拟。

- 1) 实测电路的中心频率
- 2) 测出电路的幅频特性

五、 预习要求

1. 复习教材中有关滤波器内容
2. 计算图 8.2、8.3 的截止频率，8.4、8.6 的中心频率
3. 画出上述四个电路的幅频特性曲线

六、 实验内容

1. 整理实验数据，化除各电路实测的幅频特性
2. 根据实验曲线，计算截止频率、中心频率，带宽及品质因数
3. 总结有源滤波电路的特性

实验九 集成运放在信号处理方面的应用

一电压比较器

一、 实验目的

1. 掌握比较器的电路构成及特点。
2. 学会测试比较器的方法。

二、 实验原理

1. 信号幅度比较器就是将一个模拟的电压信号去和一个参考电压比较，

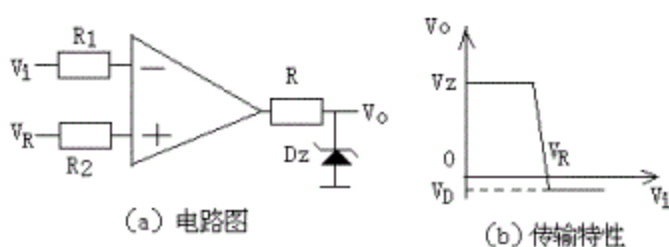


图9.1 电压比较器

在二者幅度相等的附近，输出电压将产生跃变。通常用于越限报警，模数转换和波形变换等场合。此时，幅度鉴别的精确性、稳定性以及输出反应的快速性是主要的技术指标。图 9.1 所示为一最简单的电压比较器， V_R 是参考电压，加在运放的同相输入端，输入电压 V_i 加在反相输入端。

当 $V_i < V_R$ 时，运放输出高电平，稳压管反向稳压工作。输出端电位被其箝位在稳压管的稳定电压，即

$$V_o = V_Z$$

当 $V_i > V_R$ 时，运放输出为低电平，Dz 正向导通，输出电压等于稳压管的正向压降 V_D ，即

$$V_o = -V_D$$

因此，以 V_R 为界，当输入电压 V_i 变化时，输出端反映出两种状态。高电平和低电位。

表示输出电压与输入电压之间关系的特性曲线，称为传输特性。图 9.1 (b) 为图 (a) 比较器的传输特性。

2. 常用的幅度比较器有过零比较器、具有滞回特性的过零比较器（又称为 Schmitt 触发器）、双限比较器（又称为窗口比较器）等。

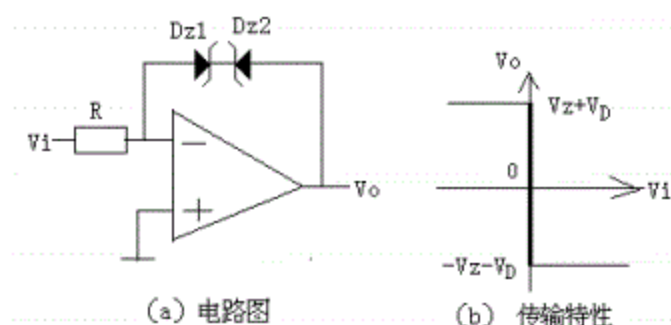


图9.2 过零比较器

- 1) 图 9.2 为简单过零比较器
- 2) 图 9.3 具有滞回特性的过零比较器

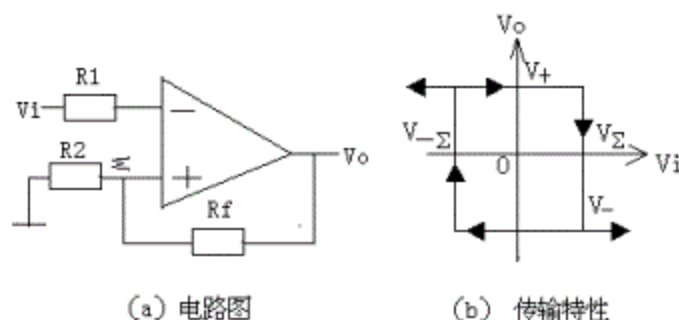


图9.3 具有滞回特性的比较器

过零比较器在实际工作时，如果 V_i 恰好在过零值附近，则由于零点漂移的存在， V_o 将不断由一个极限值转换到另一个极限值，这在控制系统中，对执行机构将是很不利的。为此，就需要输出特性具有滞回现象。如图 9.3 所示，从输出端引一个电阻分压支路，到同相输入端，若 V_o 改变状态， Σ 点也随着改变电位，使过零点离开原来位置。当 V_o 为正（记作 V_+ ）则当 $V_i > V_\Sigma$ 后， V_o

即由正变负（记作 V_- ），此时 V_Σ 变为 $-V_\Sigma$ 。故只有当 V_i 下降到 $-V_\Sigma$ 以下，才能使 V_o 再度回升到 V_+ ，于是出现图（b）中所示的滞回特性。 $-V_\Sigma$ 与 V_Σ 的差别称为回差。改变 R_2 的数值可以改变回差的大小。

3) 窗口（双限）比较器

简单的比较器仅能鉴别输入电压 V_i 比参考电压 V_R 高或低的情况，窗口比较电路是由两个简单比较器组成，如图 9.4 所示，它能指示出 V_i 值是否处在

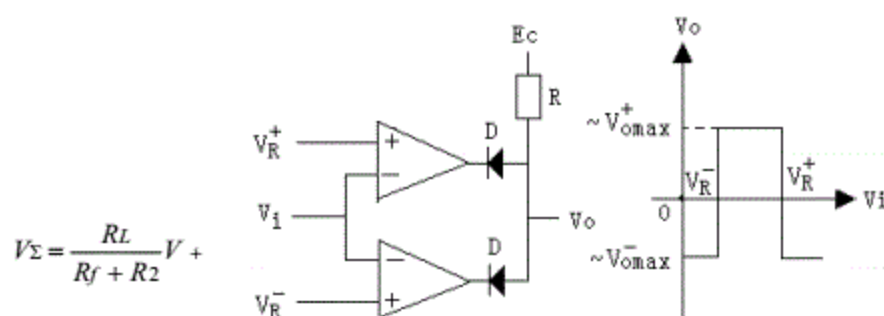


图 9.4 两个简单比较器组成的窗口比较器

之间。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020
2. 信号发生器 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 过零电压比较器

实验电路如图 9.5 所示

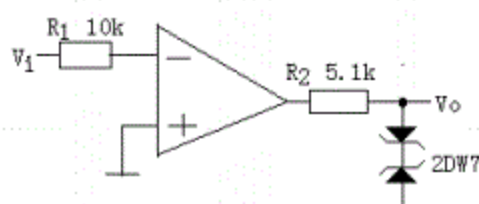


图 9.5 过零比较器

- 1) 接通地线，电源 $\pm 12V$
- 2) 测量 V_i 悬空时的 V_o 电压
- 3) V_i 输入 500Hz、幅值为 2V 的正弦信号，观察 V_i-V_o 的波形并记录。
- 4) 改变 V_i 幅值，测量传输特性曲线。

2. 反相滞回比较器

实验电路如图 9.6 所示

- 1) 按图接线， V_i 接 +5V 可调直流电源，测出 V_o 由 $+V_{omax} \rightarrow -V_{omax}$ 时

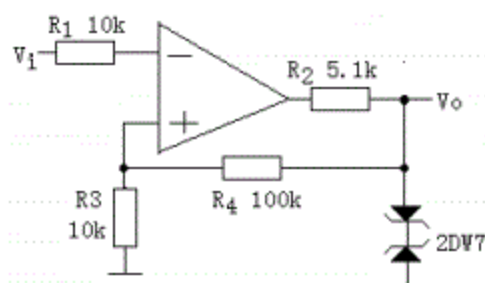


图 9.6 反相滞回比较器

V_i 的临界值。

- 2) 同上, 测出 V_o 由 $-V_{oma} \rightarrow +V_{omax}$ 时 V_i 的临界值。
- 3) V_i 接 500Hz, 峰值为 2v 的正弦信号, 观察并记录 V_i-V_o 波形。将分压支路 100k 电阻改为 200K, 重复上述实验, 测定传输特性。

3. 同相滞回比较器

实验线路如图 9.7 所示

- 1) 参照 2, 自拟实验步骤及方法

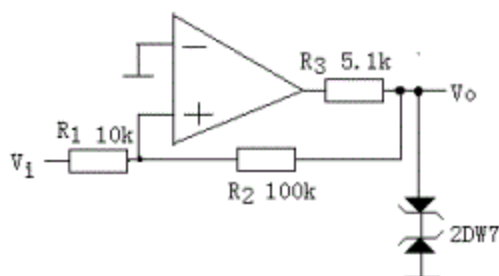


图9.7 同相滞回比较器

- 2) 将结果与 2 相比较

4. 窗口比较器

参照图 9.4 自拟实验步骤和方法测定其传输特性。

五、预习要求

1. 复习教材中的有关比较器的内容。
2. 画出各类比较器的传输特性曲线。

六、实验报告

1. 整理实验数据, 绘制各类比较器的传输特性曲线。
2. 总结几种比较器的特点, 阐明它们的应用。

实验十 LC 正弦波振荡器

一、实验目的

- 1.掌握变压器反馈式 LC 正弦波振荡器的调整和测试方法。
- 2.研究电路参数对 LC 振荡器起振条件及输出波形的影响。

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，而用 L、C 元件组成的选频网络的振荡器则称为 LC 振荡器，用来产生 1MHz 以上的高频正弦信号。根据 LC 调谐回路的不同连接方式，正弦波振荡器又可分为变压器反馈式（或称互感耦合式）、电感三点式和电容三点式三种。图 10.1 为变压器反馈式 LC 正弦波振荡器的实验电路。其中，三极管 T1 组成共射极放大电路，变压器 Tr 的原绕组 L1 与电容 C 组成调谐回路，它既作为放大器的负载，又起选频作用，副绕组 L3 为反馈线圈，L2 为输出线圈。

该电路是靠变压器原、副绕组同名端的正确连接（如图 10.2 中所示），来满足自激振荡的相位条件，即满足正反馈条件。在实际调试中可以通过把振荡线圈 L1 或反馈线圈 L3 的首、尾端对调，来改变反馈极性。而振幅条件的满足，一是靠合理选择电路的参数，使放大器建立合适的静态工作点，其次是改变线圈 L3 的匝数，或它与 L1 之间的耦合程度，以得到足够强的反馈量。稳幅作用是利用晶体管的非线性来实现的。由于 LC 并联谐振回路具有良好的选频作用，因此输出电压波形一般失真不大。

振荡器的振荡频率由谐振回路的电感和电容决定
式中 L 为并联谐振回路的等效电感（即考虑其它绕组的影响）。

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

振荡器的输出端增加一级跟随器，用以提高电路的带负载能力。

三、实验仪器

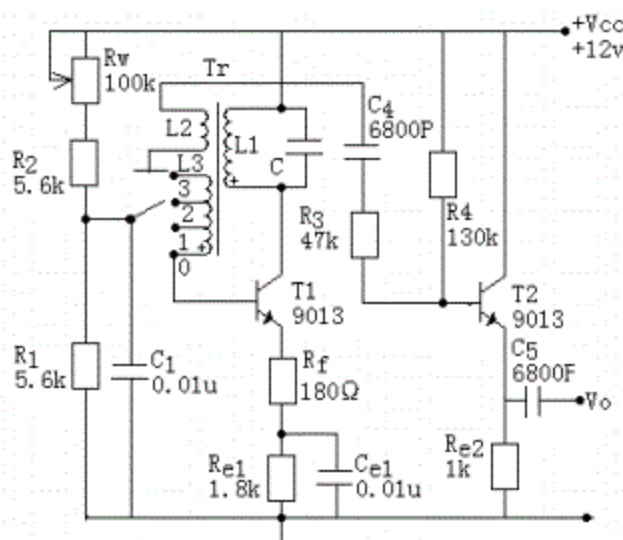


图10.1 LC正弦波振荡器实验电路

1. 双踪示波器 POS9020
2. 频率计 EM1643
3. 毫伏表 EM2172
4. 万用表 MF47
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

按图 10.1 连接实验电路。电位器 R_w 置最大位置，振荡电路的输出端接示波器。

1. 静态工作点的调整

1) 接通电源 $V_{cc}=+12V$ ，调节电位器 R_w ，使输出端得到不失真的正弦波形，如不起振，可改变 L_3 的首末位置，使之起振。测量此时的 V_E 、 V_B 及 I_c ，并测量正弦波的有效值 V_o ，记入表 11.1。

2) 把 R_w 调小，观察输出波形的变化。并测量 V_E 、 V_B 、 I_c 及 V_o 之值，记入表 10.1。

3) 把 R_w 调大，使振荡波形刚刚消失，测量 V_E 、 V_B 、 I_c 及 V_o 之值，记入表 10.1。

	V_B (v)	V_E (v)	I_c (mA)	V_o (v)	V_o 波形
R_w 居中					
R_w 小					
R_w 大					

表 10.1

根据以上三组数据，分析静态工作点对电路起振、输出波形、幅度和失真的影响。

2. 观察反馈量大小对输出波形的影响

置反馈线圈于位置“0”（无反馈）、“1”（反馈量不足）、“2”（反馈量合适）、“3”（反馈量过强）时测量相应的输出电压波形，记入表 10.2。

L3 位置	“1”	“2”	“3”	“4”
V _o 波形				

表 10.2

3.验证相位条件

改变线圈 L3 的首、末端位置，观察停振现象；

恢复 L3 的正反馈接法，改变 L1 的首、末端位置，观察停振现象。

4.测量振荡频率

调节 R_w 使电路正常起振，同时用示波器和频率计测量以下两种情况下的振荡频率 f₀，记入表 10.3。

谐振回路电容 1) C=1000PF 2) C=100PF。

C (PF)	1000	100
f (kHz)		

表 10.3

5.观察谐振回路 Q 值对电路工作的影响

谐振回路两端并入 R=5.1k Ω 电阻，观察 R 并入前后振荡波形的变化情况。

五、实验预习

1.复习教材中有关 LC 振荡器的内容。

2.LC 振荡器是怎样进行稳幅的？在不影响起振的条件下，晶体管的集电极电流是大一点好，还是小一点好？

3.为什么可以测量停振和起振两种情况下晶体管的 V_{BE} 变化，来判断振荡器是否起振？

六、实验报告

1.整理实验数据，并分析讨论

1) LC 正弦波振荡器的相位条件和幅值条件。

2) 电路参数对 LC 振荡器起振条件及输出波形的影响。

2.讨论实验中发现的问题及解决办法。

实验十一 集成功率放大器

一、实验目的

1. 了解功率放大集成块的应用。
2. 学习集成功率放大器基本技术指标的测试。

二、实验原理

集成功率放大器由集成块和一些外部阻容元件构成。它具有线路简单，性能优越，工作可靠，调试方便等优点，已经成为在音频领域中应用十分广泛的功率放大器。

电路中最主要的组件为集成功放块，它的内部电路与一般分立元件功率放大器不同，通常包括前置级、推动级和功率级等几部分。有些还具有一些特殊功能（消除噪声、短路保护等）的电路。其电压增益较高（不加负反馈时，电压增益大于 70~80db，加典型负反馈时电压增益在 40db 以上）。

集成功放块的种类很多。本实验采用的集成功放块型号为 LA4112，它的内部电路由三级电压放大，一级功率放大以及偏置、恒流、反馈、退耦电路组成。

LA4112 集成功放块是一种塑料封装十四脚的双列直插式器件。它的外形如图 11.1 所示。表 11.1、11.2 是它的极限参数和电参数。



图 11.1 LA4112 外形及管角排列图

各引脚功能：1.输出；2.电源地；3.地（基片）；4.5.消振；6.8.反馈；7.11.空脚；9.输入；10.纹波抑制；12.前级电源；13.自举；14.电源。

参数	符号与单位	额定值
最大电源电压	V_{ccmax} (v)	13 (有信号时)
允许功耗	P_o (W)	1.2
		2.25 散热片
工作温度	$ToPr$ ($^{\circ}C$)	-20~70

表 11.1

参数	符号与单位	测试条件	典型值
工作电压	V_{cc} (v)		9
静态电流	I_{ccQ} (mA)	$V_{cc}=9v$	15
开环电压增益	A_{vo} (db)		70
输出功率	P_o (W)	$R_L=4\Omega$ $f=1kHz$	1.7
输入阻抗	R_i (k Ω)		20

表 11.2

与 LA4112 集成功放块技术指标相同的国内外产品还有 FD403、FY4112、D4112 等，可以互相替代使用。

集成功率放大器的应用电路如图 11.2 所示，该电路中各电

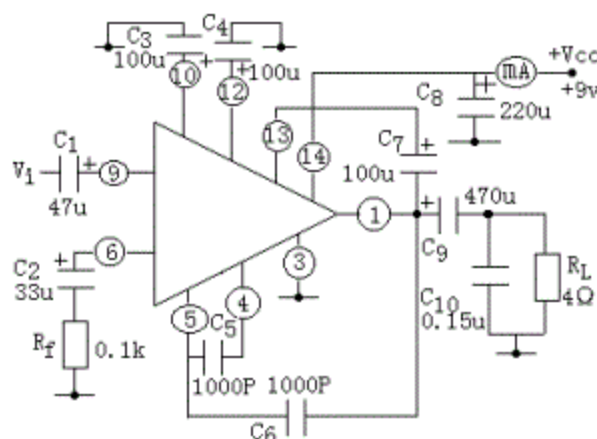


图 11.2 由 LA4112 构成的集成功放电路
容和电阻的作用简要说明如下：

C_1 、 C_9 ——输入、输出耦合电容，隔直作用。

C_2 和 R_f ——反馈元件，它决定了电路的闭环增益。

C_3 、 C_4 、 C_8 ——滤波、退耦电容。

C_5 、 C_6 、 C_{10} ——消振电容，消除寄生振荡。

C_7 ——自举电容，若无此电容，将出现输出波形半边被削波的现象。

集成电路的主要性能指标

1. 最大不失真输出功率 P_{om}

在实验中可通过测量 R_L 两端的电压有效值，来求得实际得 P_{om} 。

$$P_{om} = \frac{V_o^2}{R_L}$$

2. 频率响应

详见实验二。

2. 输入灵敏度

输入灵敏度是指输出最大不失真功率时，输入信号 V_i 之值。

三、实验仪器

1. 双踪示波器 POS9020 2. 信号源 EM1643

3. 毫伏表 EM2172 4. 万用表 MF47

5. 频率计 EM1643 6. 实验箱

四、实验目的

由实验者完成+9v 直流电源的接线后再进行的功能测试。

按图 11.2 接线，连接实验电路。

1. 静态测试

将输入信号调至零，检查电源电压大小及极性是否为+9v。接通+9v 直流电源，测量静态总电流及集成块各脚对地电压，记入自拟表格中。

2. 动态测试

1) 最大输出功率

a. 接入自举电容 C_7

输入端接 1kHz 的正弦信号，输出端用示波器观察输出电压波形，逐渐加大输入信号幅度，使输出电压为最大不失真输出，用交流毫伏表测量此时输出电压 V_{om} ，则最大输出功率

$$P_{om} = \frac{V_{om}^2}{R_L}$$

b. 断开自举电容 C_7

观察输出电压波形变化情况

2) 输入灵敏度

根据输入灵敏度的定义，只要测出输出功率 $P_o = P_{om}$ 时的输入电压值 V_i 即可，本实验要求 $V_i > 100\text{mv}$ 。

3. 频率响应

测试方法同实验二。记入表 11.3。

	f_L	f_o	f_H
f (kHz)		1	
V_o (v)			
A_v			

表 11.3

在测试时，为保证电路安全，应在较低电压下进行，通常取输入信号为输入灵敏度得 50%。在整个测试过程中，应保持 V_i 为恒定值，且输出波形不得失真。

4. 噪声电压的测试

测量时将输入端短路 ($V_i=0$)，观察输出噪声波形，并用交流毫伏表测量输出电压，即为噪声电压 V_N ，本实验若 $V_N < 2.5\text{mV}$ 即满足要求。

5. 试听

五、预习要求

1. 复习有关集成功率放大器部分内容。

2. 用实验箱装置上+12V 直流电源、一片 7809 稳压块及一只 $33\mu\text{F}$ 电容器完成+9V 直流电源设计，画出电路图。

3. 进行本实验时，应注意以下几点

1) 电源电压不允许超过极限值，不允许极性接反，否则集成块将遭损坏。

2) 电路工作时绝对避免负载短路，否则将烧毁集成块。

3) 接通电源后，时刻注意集成块的温度，有时，未加输入信号集成块就发热过甚，同时直流毫安表指示出较大电流及示波器显示出幅度较大，频率较高的波形，说明电路有自激现象，应立即关机，然后进行故障分析、处理。待自激振荡消除后，才能重新进行实验。

3. 输入信号不要过大。

六、实验报告

1. 整理实验数据，并进行分析。

2. 画频率响应曲线

3. 讨论实验中发生的问题及解决办法。

实验十二 直流稳压电源——集成稳压器

一、实验目的

1. 研究集成稳压器的特点和性能指标的测试方法。

2. 了解集成稳压器扩展性能的方法。

二、实验原理

随着半导体工艺的发展，稳压电路也制成了集成器件。由于集成稳压器具有体积小，外接线路简单、使用方便、工作可靠和通用性等优点，因此在各种电子设备中应用十分普遍，基本上取代了由分立元件构成的稳压电路。集成稳压器的种类很多，应根据设备对直流电源来进行选择。对于大多数电子仪器、设备和电子线路来说，通常是选用串联线性集成稳压器。而在这种类型的器件中，又以三端式稳压器应用最为广泛。

三端式集成稳压器的输出电压是固定的，是预先调好的，在使用中不能进行调整。78 系列三端式稳压器输出正极性电压，一般有 5v、6v、9v、12v、15v、18v、24v 七个档次，输出电流最大可达到 1.5A（加散热片）。同类型 78M 系列稳压器的输出电流为 0.5A，78L 系列稳压器的输出电流为 0.1A。若要求负极性输出电压，则可选用 79 系列稳压器。图 12.1 为 7809 的外形和管脚图。它有三个引出端：

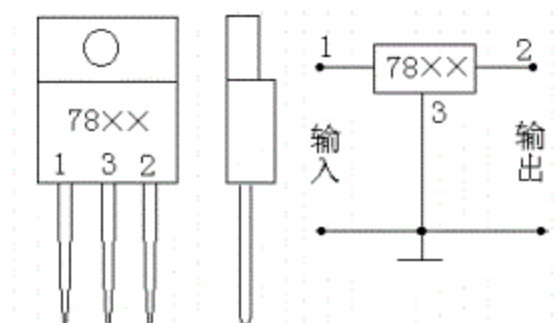


图12.1 7809外形及接线图

1. 输出端（不稳定电压输入端）
2. 公共端
3. 输出端（稳定电压输出端）

它的主要参数有：输出直流电压 $V_o = +9v$ ，输出电流 L:0.1A；M:0.5A, 电压调整率 10mv/v，输出电阻 $R_o = 0.15 \Omega$ ，输入电压 V_I 的范围 12~16v。因为一般 V_I 要比 V_o 大 3~5v，才能保证集成稳压器工作在线性区。

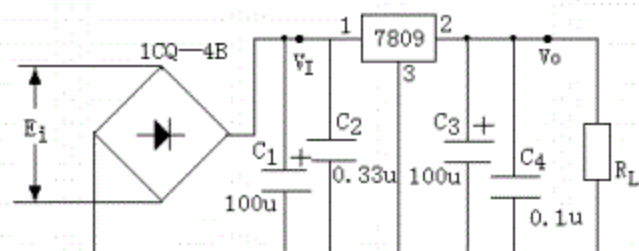


图12.2 由7809构成的串联型稳压电源

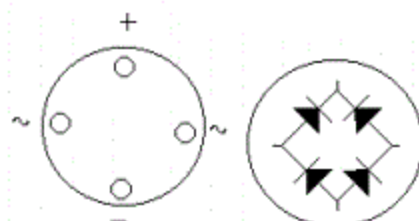


图12.3 1CQ—4B管脚图

图 12.2 是用三端式稳压器 7809 构成的单电源电压输出串联型稳压电源的实验电路图。其中整流部分采用了由四个二极管组成的桥式整流器成品（又称桥堆），型号为 1CQ—4B，内部接线和外部管脚如图 12.3 所示。滤波电容 C_1 、 C_2 一般选取几百~几千微法。当稳压器距离整流滤波电路比较远时，在输入端必须接入电容器 C_3 （数值为 $0.33\mu F$ ），以抵消线路的电感效应，防止自激振荡。输出端电容 C_4 （ $0.1\mu F$ ）用以滤除输出端的高频信号，改善电路的暂态

响应。

当集成稳压器本身的输出电压或输出电流不能满足要求时，可通过外接电路来进行性能扩展。图 12.4 是一种简单的输出电压扩展电路。由 7809 稳压

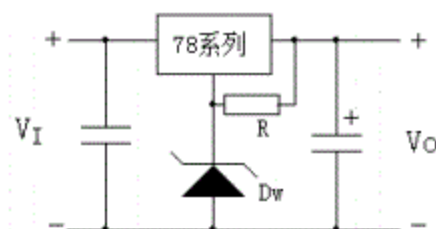


图12.4 输出电压扩展电路

器的 3、2 端间输出电压为 9v，因此只要适当选择 R 的值，使稳压管工作在稳压区，则输出电压 $V_O=9+V_Z$ ，可以高于稳压器本身的输出电压。图 12.5 是通过

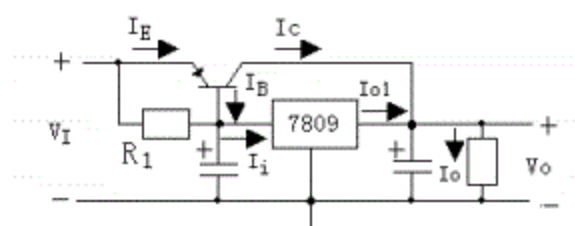


图12.5 输出电流扩展电路

外接晶体管 T 及电阻 R_1 来进行电流扩展的电路。电阻 R_1 的阻值由外接晶体管的发射结导通电压 V_{BE} 、三端式稳压器的输入电流 I_i （近似等于三端稳压器的输出电流 I_{O1} ）和 T 的基极电流 I_B 来决定，即

$$R_1 = \frac{V_{BE}}{I_R} = \frac{V_{BE}}{I_i - I_B} = \frac{V_{BE}}{I_{O1} - \frac{I_c}{\beta}}$$

式中： I_c 为晶体管 T 的集电极电流，它等于 $I_c = I_o - I_{O1}$ ； β 为 T 的电流放大系数；对于锗管 V_{BE} 可按 0.3v 估算，对于硅管 V_{BE} 按 0.7v 估算。

稳压电源的主要性能指标

1. 输出电压 V_o
2. 最大负载电流 I_{om}
3. 输出电阻 R_o

输出电阻 R_o 定义为，当输入电压 V_i （稳压电路输入）保持不变，由于负载变化而引起的输出电压变化量 ΔV_o 与输出电流变化量 ΔI_o 之比，即

$$R_o = \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} | V_i = \text{常数}$$

4. 稳压系数 S（电压调整率）

稳压系数定义为，当负载保持不变，输出电压相对变化量与输入电压相对变化量之比，即

$$S = \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta I_o / I_o} | R_L = \text{常数}$$

由于工程上常把电网电压波动 10% 作为极限条件，因此也有将此时输出电压的相对变化作 $\Delta V_o / V_o$ 为衡量指标，称为电压调整率。

5.纹波电压

输出纹波电压是指在额定负载条件下，输出电压中所含交流分量的有效值（或峰值）。

附：（1）图 12.6 为 79 系列集成块（输出为负）外形及接线图。

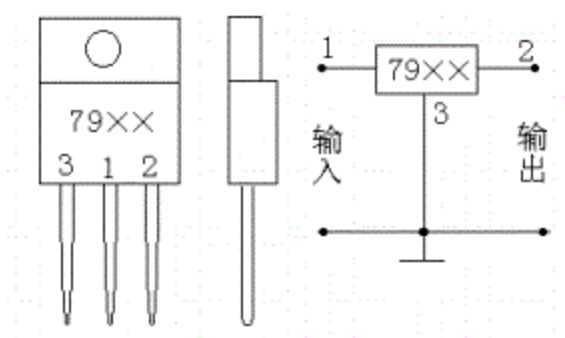


图 12.6 79 系列外形及接线图

（2）图 12.7 为可调输出正三端集成稳压器 317 外形及接线图。

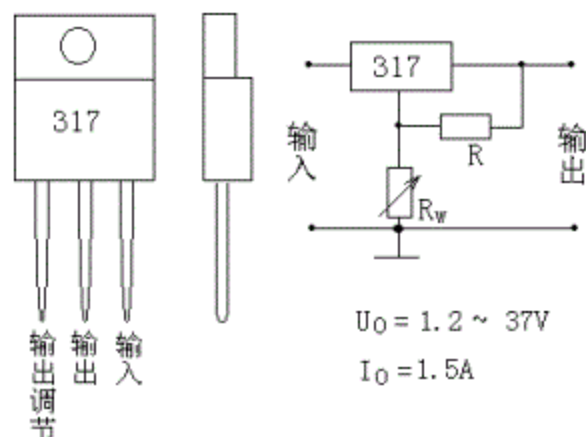


图 12.7 317 外形及接线图

三、实验仪器

1. 可调工频电源
2. 双踪示波器 POS9020
3. 万用表 MF47
4. 交流毫伏表 EM2172
5. 模拟电路实验箱

四、实验内容

1. 整流滤波电路测试

按图 12.8 连接实验电路，取实验箱上工频 14v 电压作为整流电路输入电压

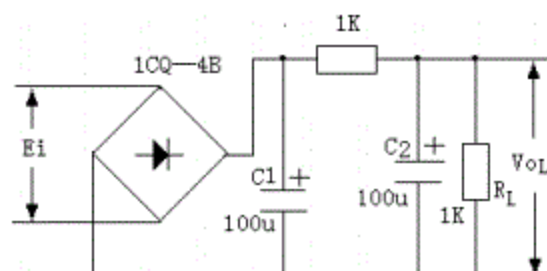


图12.8 整流滤波电路

E_i 。接通工频电源，测量输出端直流电压 V_{oL} 及纹波电压 $V_{oL\sim}$ 。用示波器观察

E_i 、 V_{oL} 的波形，把数据及波形记入表 12.1 中。

E_i (v~)	V_{oL} (v~)	V_{oL} (v_)	E_i 波形	V_{oL} 波形
14				

表 12.1

2.集成稳压器性能测试

断开工频电源，按图 12.2 连接实验电路，取负载电阻 $R_L=0.1k$ 。

1) 初测

接通工频电源，测量 E_i 值，测量滤波电路输出电压 V_i ，集成稳压器输出电压 V_o ，它们的数值应与理论值大致相符，否则说明电路出现了故障。设法找出故障并加以排除。

电路经初测进入正常工作状态后，才能进行各项指标的测试。

2) 各项性能指标测试

①输出电压 V_o 和最大输出电流 I_{omax}

在输出端接负载电阻 $R_L=0.1k$ ，由于 7809 输出电压 $V_o=9v$ ，因此流过 R_L 的电流为 $I_{omax}=9v/100=90mA$ 。这时 V_o 应基本保持不变，若变化较大则说明集成块性能不良。

②稳压系数 S 的测量

$R_L=0.1k$ ，按表 12.2 改变整流电路输入电压 E_i （模拟电网电压波动），分别测出相应的稳压器输入电压 V_i 及输出直流电压 V_o ，记入表 12.2 中。

E_i (v)	V_i (v)	V_o (v)	S
10			$S_{12}=$
14			—
17			$S_{23}=$

表 12.2

③输出电阻 R_o 的测量

取 $E_i=14v$ ，接上和断开负载 R_L ，分别测量输出电压 V_o ，

R_L	V_o (v)	I_o (mA)	R (Ω)
0.1K			
∞			

表 12.3

记入表 12.3 中。

④输出纹波电压的测量

取 $E_i=14v$ ， $R_L=0.1k$ ，测量输入纹波电压 $V_{i\sim}$ ，输出纹波电压 $V_{o\sim}$ ，记入表 12.4。

$V_{i\sim}$ (v)	$V_{o\sim}$ (v)

表 12.4

五、 预习要求

- 1.复习教材中有关集成稳压器部分内容。
- 2.在测量稳压系数 S 和内阻 R_o 时, 应选择怎样的仪表?

六、 实验报告

- 1.整理实验数据。
- 2.分析讨论实验中发生的现象和问题。

第二部分 数字电路部分

实验十三 三态输出门与集电极开路门

一、实验目的

1. 学习中规模集成门电路的使用。
2. 掌握三态输出门的逻辑功能。
3. 学会三态输出门的应用。

二 实验原理

- 1、 三态门是一种特殊的门电路, 它与普通的门电路有所不同, 它的输出

端除了通常为高、低电平两种状态外，还有第三种输出状态—高阻状态，处于高阻状态时，电路与负载之间相当于开路。它有一个控制端（禁止端或使能端）。三态门按逻辑功能及控制方式来分有各种不同类型，本实验所采用的型号是 74LS125 为三态输出四总线缓冲器。

三态门主要用途之一是分时实现总线传输，即用一个传输通道（总线），以选通方式传送多路信息。电路中将若干个三态门输出端直接接在一总线上，使用时，要求只有一个传输信息的 TS 三态输出门控制端处于使能，而其余各 TS 门的控制端均处于禁止态。因为由理论课学习我们知道 TS 门输出端不允许并联使用。所以显然不能同时有两个或两个以上的 TS 门的控制端处于使能。

2、 本实验所用 OC 与非门（集电极开路门）型号为 74LS03(2 输入四与非门)。OC 与非门的输出管的集电极是悬空的，工作时输出端必须通过一只外接电阻 R_L 和电源 V_{CC} 相连接，以保证输出电平符合电路要求。

OC 门的应用主要有以下三个方面

1. 利用电路的“线与”特性，可方便的完成某些特定的逻辑功能。

如下图 13.2 (A) 所示，将两个 OC 与非门输出端直接并联在一起，则它们的输出

$$Y = F_A + F_B = \overline{A_1 A_2} \cdot \overline{B_1 B_2} = \overline{A_1 A_2 + B_1 B_2}$$

即把两个或两个以上 OC 与非门“线与”后，可完成“与或非”的逻辑功能。

2. 实现多路信息采集，使两路以上的信息共用一个传输通道（总线）。
3. 实现逻辑电平的转换，以推动荧光数码管、继电器、MOS 器件等多种数字集成电路。

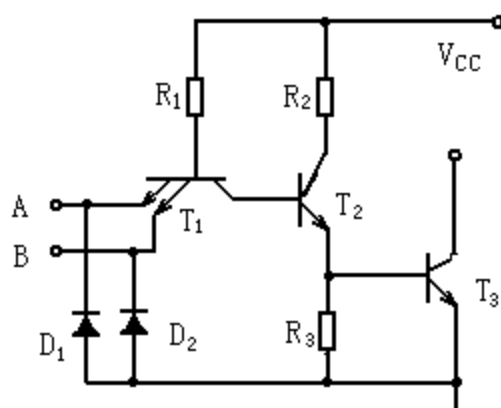


图 13.1 OC 与非门内部逻辑图

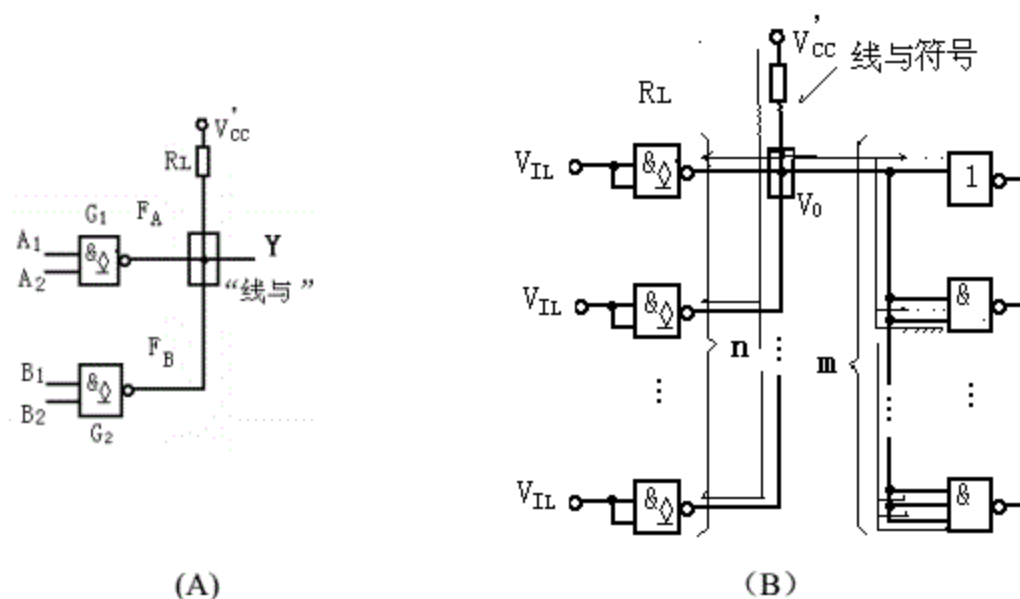


图 13.2

OC 门输出并联运用时负载电阻 R_L 的选择:

图 13.1 (B) 中由 n 个 OC 与非门“线与”驱动有 m 个输入端的 N 个 TTL 与非门, 为保证 OC 与非门输出电平符合逻辑要求, 负载电阻 R_L 阻值的选择范围为:

$$R_L (\max) = \frac{V'_{CC} - V_{OH}}{nI_{OH} - mI_{IH}}$$

$$R_L (\min) = \frac{V'_{CC} - V_{OL}}{I_{LM} - m'I_{IL}}$$

式中: I_{OH} : OC 门输出管截止时 (输出高电平) 的漏电流 (约 50 μ A)

I_{LM} : OC 门输出低电平时允许最大灌入负载电流 (约 20mA)

I_{IH} : 负载门高电平输入电流 (<50 μ A)

I_{IL} : 负载门低电平输入电流 (<1.6mA=

V_{CC}' : R_L 外接电源电压

n : OC 门个数

N : 负载门个数

m : 接入电路的负载门输入端总个数。

R_L 值须小于 $R_{L\max}$, 否则 U_{OH} 将下降, R_L 值须大于 $R_{L\min}$, 否则 U_{OH} 将上升, R_L 的大小会影响输出波形的边沿时间, 在工作速度较高时, R_L 应尽量选择接近 $R_{L\min}$ 。

除了 OC 与非门外, 还有其它类型的 OC 器件, R_L 的选取方法也与此类

同。

三 实验器材

数字电路实验箱；

集成电路芯片 74LS125、74LS126（三态输出四总线缓冲器）

74LS04（或 CD4069）六反相器

74LS03（OC 门的 2 输入四与非门）

集成电路引脚分布如图 13.3 所示：

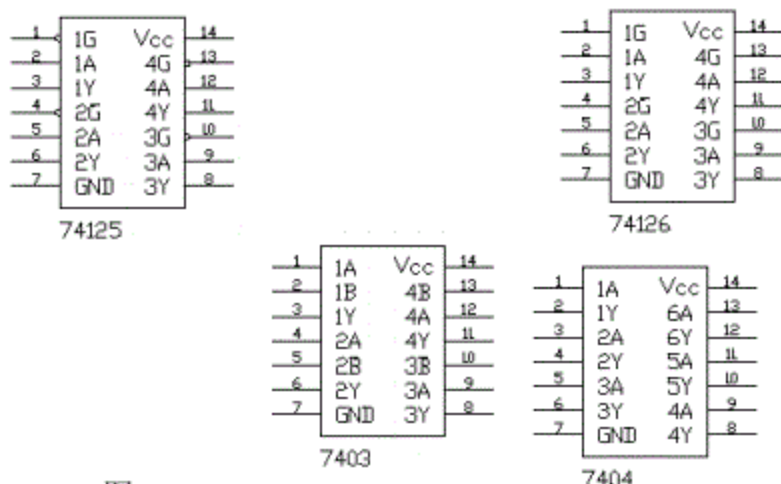


图 13.3

四 实验内容与步骤

1、测试 74LS125 三态门的逻辑功能

将三态门的输入端、控制端分别接逻辑开关，输出端接逻辑笔的输入插口。逐个测试集成电路中的四个门的逻辑功能，记录列表 13.1。

表中 G 为控制端，A 为输入端，Y 为输出端。

输 入		输 出
G	A	Y
0	0/1	
1	0/1	

表 13.1

2、三态门的应用

A. 利用三态门构成数据总线分时传输信息。

将 74LS125 中的四个三态门按图 13.4 连接，各输入端分别加入一路信号，各控制端分别接“逻辑开关 K”，各输出端连接在一起后再接至“逻辑笔”输出插口，先使四个三态门的控制端 G 均为高电平“1”，即输出处于禁止状态，方可接通电源，此时“逻辑笔”黄色指示灯亮，表明“总线”为高阻状态。然后轮流使其中一个门的控制端接低电平“0”，观察逻辑笔指示灯的显示状态（即总线上的状态）。操作时注意，应先使三个三态门处于禁止状态，再让另一个门开始传送数据。即将三态门输入的四路信号分别分时送到总线上（逻辑笔输出插口）。观察并记录实验结果。

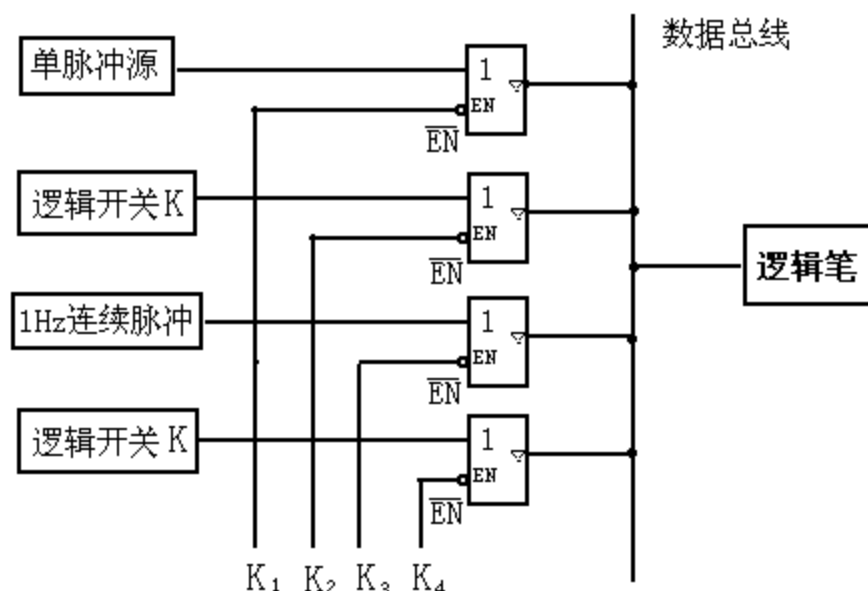


图 13.4

实验记录表 13.2 (表中 $\overline{EN}$ 为各 TS 门控制端)。

$1\overline{EN}$	$2\overline{EN}$	$3\overline{EN}$	$4\overline{EN}$	总线上输出信号

表 13.2

B. 利用三态门实现数据的双向传递

将 74LS125 三态门按图 13.5 连接。两个三态输出缓冲器反并联起来构成双向开关，当 $\overline{EN} = 0$ 时信号向右传送， $A_2 = A_1$ ，当 $\overline{EN} = 1$ 时信号向左传送， $A_1 = A_2$ 。令 A_1 、 A_2 分别为两路不同的信号加入电路中操作观察之。

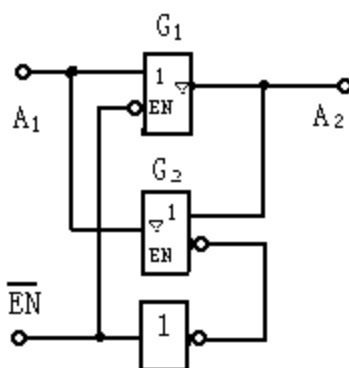


图 13.5

3. TTL 集电极开路与非门 74LS03 负载电阻 R_L 的确定

用两个集电极开路与非门“线与”去驱动一个 TTL 非门 (74LS04)。如图 13.6。

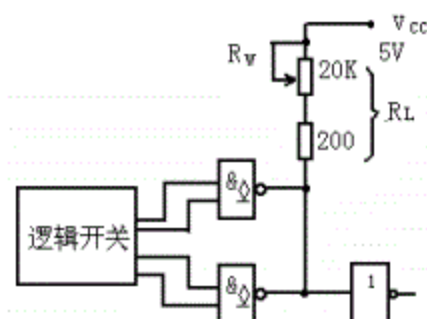


图 13.6

负载电阻由一个 200Ω 电阻和一个 $20K$ 电位器串接而成，取 $V_{CC}=5V$ ， $U_{OH}=3.5V$ ， $U_{OL}=0.3V$ 。接通电源，用逻辑开关改变两个 OC 门的输入状态(逻辑开关分别为 $K_1K_2K_3K_4$)，先使 OC 门“线与”输出高电平，调节 R_W 至使 $U_{OH}=3.5V$ ，测得此时的 R_L 即为 R_{Lmax} ，在使电路输出低电平 $U_{OL}=0.3V$ ，测得此时的 R_L 即为 R_{Lmin} 。

4. 集电极开路门的应用

(1) 用 OC 门实现 $F = A\bar{B} + CD + EF$ ，实验时输入变量允许用原变量和反变量，外接负载电阻 R_L 自取合适的值。

(2) 用 OC 门实现异或逻辑。

(3) 用 OC 门作 TTL 电路驱动 CMOS 电路的接口电路，实现电平转换。

电路如图 13.7

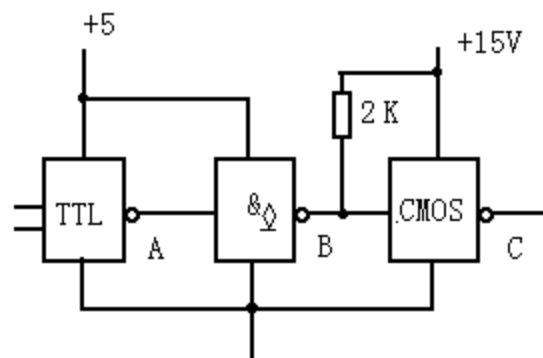


图 13.7

1、在电路输入端加不同的逻辑电平值，用直流数字电压表测量集电极开路与非门及 CMOS 与非门的输出电平值。

2、在电路输入端加 $1KHz$ 方波信号，用示波器观察 A、B、C 各点电压波形幅值的变化。

五 实验预习要求

1. 复习 TTL 集电极开路门和三态输出门的工作原理。
2. 计算实验中 R_L 阻值，并从中确定实验所用 R_L 值。

六 实验报告及思考题

- 1、画出实验电路，并标明有关外接元件的值。
- 2、整理分析实验结果，总结集电极开路门和三态输出门的优缺点。
- 3、在使用总线传输时，能不能同时接有 OC 门和三态门？为什么？

实验十四 译码器及其应用

一 实验目的

1. 掌握译码器的逻辑功能。
2. 学习译码器的应用。

二 实验原理

- 1、 译码器是一个多输入、多输出的组合逻辑电路。它的作用是把给定的代码进行“翻译”，变成相应的状态，使输出通道中相应的一路有信号输出。译码器在数字系统中有广泛的用途，不仅用于代码的转换，终端的数字显示，还用于数据分配，存储器寻址和组合控制信号等。不同的功能可选用不同种类的译码器。

2、 变量译码器（二进制译码器），用以表示输入变量的状态，如 2 线—4 线、3 线—8 线和 4 线—16 线译码器。若有 n 个输入变量，则有 2^n 个不同的组合状态，就有 2^n 输出端供其使用。而每一个输出所代表的函数对应于 n 个输入变量的最小项。以 3 线—8 线译码器 74LS138 为例进行分析，图 14.1 是其内部逻辑图：

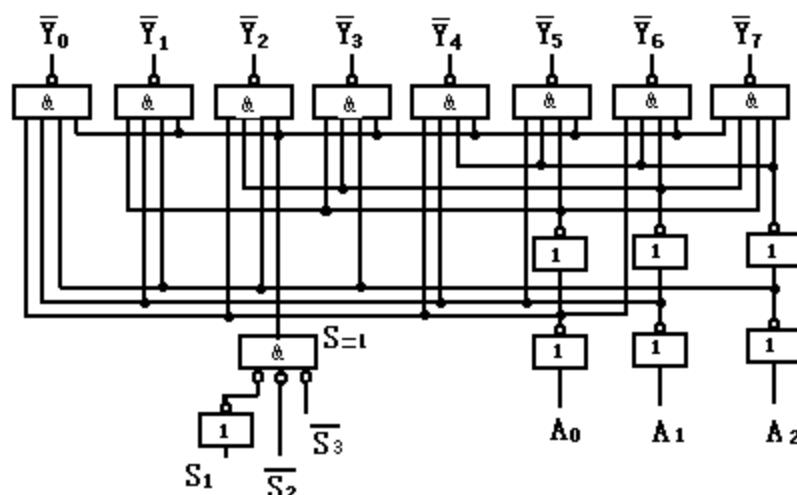


图 14.1 74LS138 3 线—8 线译码器逻辑图

其中 A_0 、 A_1 、 A_2 为地址输入端， $\bar{Y}_0$ — $\bar{Y}_7$ 是译码器输出端， S_1 、 $\bar{S}_2$ 、 $\bar{S}_3$ 是使能端。由 74LS138 的功能可知，当 $S_1 = 1$ ， $\bar{S}_2 + \bar{S}_3 = 0$ 时，译码器使能，地址码把指定的输出端有信号输出（低电平有效为：“0”）。其它所有输出端均无信号输出（输出全为高电平“1”）。当 $S_1 = 0$ ， $\bar{S}_2 + \bar{S}_3 = X$ 时，或 $S_1 = X$ ， $\bar{S}_2 + \bar{S}_3 = 1$ 时，译码器被禁止，所有输出端同时为高电平“1”。集成 3 线—8 线译码器真值表见表 14.1。

输 入			输 出							
S_1	$\bar{S}_2 + \bar{S}_3$	$A_2 A_1 A_0$	$\bar{Y}_0$	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$
X	1	X X X	1	1	1	1	1	1	1	1
0	X	X X X	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

表 14.1

三 实验器材

数字电路实验箱；

集成电路芯片 74LS138、74LS20

集成电路引脚分布如图 14.2 所示：

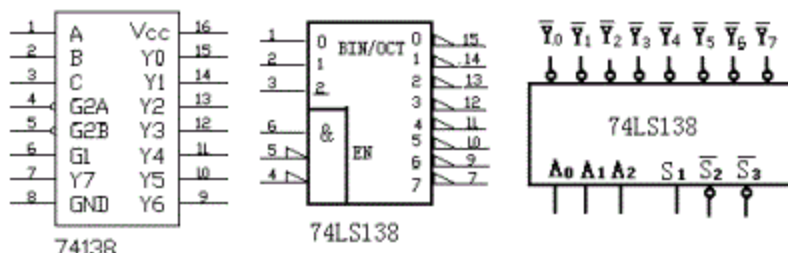


图 14.2

四 实验内容

1、 74LS138 译码器逻辑功能测试

将译码器使能端 S_1 、 $\overline{S_2}$ 、 $\overline{S_3}$ 及地址端（输入变量） A_0 、 A_1 、 A_2 分别接到逻辑开关，八个输出端 $\overline{Y_0}$ —— $\overline{Y_7}$ 依次连接在 0—1 指示器的八个插口上，拨动逻辑开关，按照 74LS138 的功能表逐项测试其逻辑功能。

2、 码器的应用

A 利用译码器做数据分配器

用 74LS138 译码器使能端中的一个输入端输入数据信息器件就成为一个数据分配器（多路分配器），若从 S_1 输入端送入数据（用逻辑开关或单脉冲源作为数据源）， $\overline{S_2} + \overline{S_3} = 0$ ，地址译码器所对应的输出是 S_1 输入数据的反码；若从

S_2 端输入数据（用逻辑开关或连续脉冲源作为数据），令 $S_1=1$ ， $\overline{S_3} = 0$ 时，地址码所对应的输出就是 $\overline{S_2}$ 端数据信息的原码。

根据输入地址变量的不同组合，译出唯一的地址，故可用作地址译码器。接成多路分配器，可将一个信号源的数据信息传输到不同的地点。

B 利用译码器实现逻辑函数

请用 74LS138 译码器和与非门实现下列函数：

$$Z = \overline{ABC} + \overline{A}BC + A\overline{B}C + ABC$$

五 实验预习要求

复习有关译码器和分配器的原理

根据实验任务，画出所需的实验线路及逻辑函数表达式。

六 实验报告

对实验结果进行分析整理，写出实验报告。

实验十五 数据选择器

一 实验目的

1. 掌握数据选择器的工作原理。
2. 学习数据选择器的应用。

二 实验原理

在通信系统中常用一个信息传输通道（信道）来传送多路信息，如图 15.1 所示。图 15.1 的左侧为发送端，其功能是在地址信号的作用下，从多个数据输入端中选择某一路的数据传送至输出端，能完成这一功能的就是数据选择器，（多路调制器或多路开关）常以 DMUX 表示，图 15.1 的右侧为接收端，它在地址信号的作用下，将输入的数据传送至被选中的某个数据输出端，完成这一功能的称为数据分配器（分路器或多路解调器）。

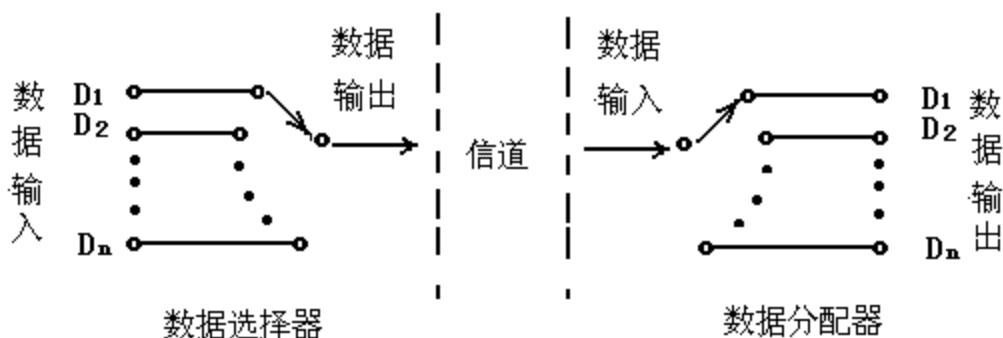


图 15.1

本实验采用双 4 选 1 数据选择器 74LS153，它包含两个完全相同的 4 选 1 数据选择器。两个数据选择器有公共的地址输入端，可从 4 路输入数据中选出所需要的一路信号，送至输出端。

三 实验器材

数字实验箱；

集成电路芯片： 74LS153， 74LS04， 74LS32

集成电路引脚分布如图 15.2 所示：

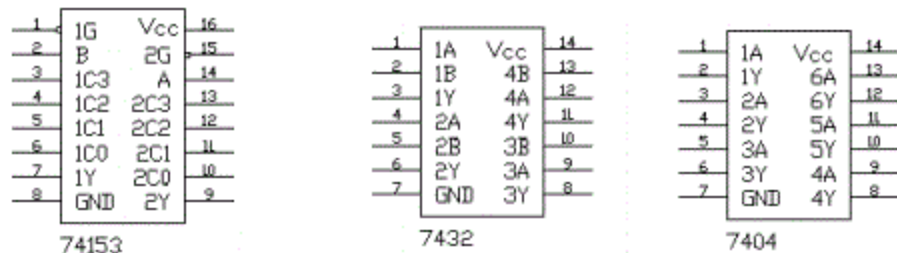


图 15.2

四 实验内容

1、 验证 74LS153 的逻辑功能。

将 74LS153 的两个 4 选 1 数据选择器分别验证。

输入地址变量 BA (A_1A_0)和四个信号输入端 $D_0—D_4$ 接到六个逻辑开关，输出端 Y 接 0—1 指示器，1G、2G ($\overline{S_1}$ 、 $\overline{S_2}$) 分别为左右两个 4 选 1 数据选择器的使能端，均为低电平有效。改变 BA 的取值组合：11、10、01、00 时，检验对应输出的 1Y 是输入中 $D_0—D_4$ 的哪一路信号。然后再验证另一个 4 选 1 数据选择器的逻辑功能，地址变量仍是 BA，注意引脚图，方法同前。

2、 用两个 4 选 1 数据选择器组成一个 8 选 1 数据选择器，按图 15.3 接线：

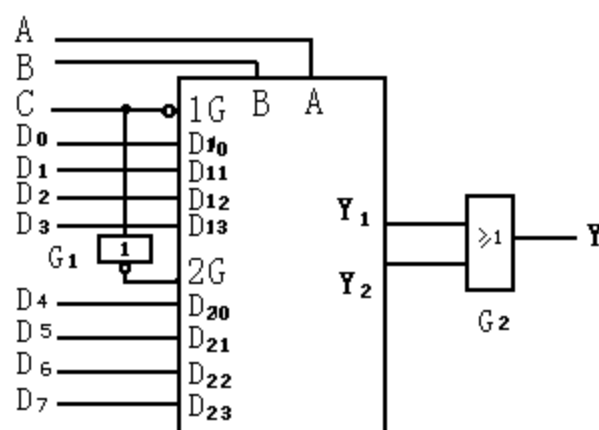


图 15.3

通过实验记录当输入地址变量为 $CBA (A_2A_1A_0) = 000、001、010\cdots$ 时，输出 Y 分别为输入信号 $D_0—D_7$ 中的哪一路？填入表 15.1 中。
(提示： $D_0—D_7$ 的信号可用实验箱中的信号源或逻辑开关代替)。

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

表 15.1

五 实验预习

- 1、 复习数据选择器的原理。
- 2、 弄清楚 4 选 1 数据选择器的各个引脚功能。

六 实验报告

画出实验线路图，整理实验数据并列成表格。

实验十六 组合逻辑电路的设计测试

一 实验目的

1. 掌握组合逻辑电路的设计。
2. 测试验证设计的逻辑电路。

二 实验原理

使用中、小规模集成电路芯片来设计组合电路是最常见的逻辑电路。设计组合电路的一般步骤是：

- 1、 根据设计任务的要求，画出真值表；
- 2、 用卡诺图或逻辑代数化简法求出最简的逻辑表达式；
- 3、 根据逻辑表达式画出逻辑图，用集成电路芯片构成逻辑图；
- 4、 根据逻辑图，在实验箱上搭出具体电路来验证设计的正确性。

三 实验器件

数字逻辑实验箱

集成电路芯片： 74LS00 (CD4011) 74LS20 (CD4012) 等

集成电路引脚分布如图 16.1 所示：

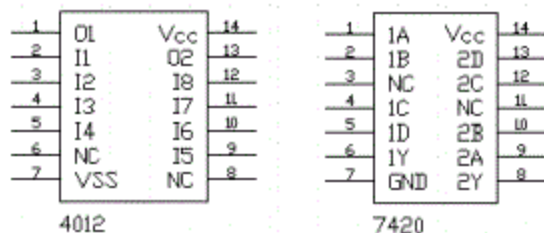


图 16.1

四 实验内容

1. 设计一个四人无弃权表决电路（多数赞成则提案通过）本设计要求采用二输入四与非门实现。

要求按设计步骤进行，直到测试电路逻辑功能符合设计要求为止。

2. 设计一保险箱的数字代码锁，该锁有规定的四位代码：A、B、C、D 的输入端和一个开箱钥匙孔信号 E 的输入端，锁的代码由实验者自编（例如 1001）当用钥匙开箱时 $E = 1$ ，如果输入代码符合该锁设定的代码，保险箱被打开 ($Z_1 = 1$)，如果代码不符，电路将发出报警信号 ($Z_2 = 1$)。要求设计使用最少的与非门来实现，检测并记录设计实验结果。

提示：实验时，锁被打开，可用实验箱上的 LED 点亮表示，在按错代码时，防盗蜂鸣器发出声响报警。

1. 设计一个对两个两位无符号的二进制数进行比较的电路：根据第一个数是否大于、等于、小于第二个数，使相应的三个输出端中的一个输出为“1”。

五 实验预习

根据实验任务要求设计组合电路，并根据所给的芯片画出逻辑图。

六 实验报告

- 1、 写出实验任务的设计过程，画出设计的逻辑电路图。
- 2、 对所设计的电路进行实验测试，记录测试结果。
- 3、 写出组合逻辑电路的设计体会。

实验十七 集成电路触发器及应用

一 实验目的

- 1□ 验证 D、JK 触发器的逻辑功能
- 2□ 设计一单发脉冲发生器，验证其功能

二 实验原理

触发器具有两个稳定状态，用以表示逻辑状态“1”和逻辑状态“0”，在一定的外界信号作用下，可以从一个稳定状态转到另一个稳定状态，它是一个具有记忆功能的二进制信息存储器件，是构成各种是序电路的最基本的逻辑单元。

1、 基本 RS 触发器

由两个与非门交叉耦合构成，电路结构和逻辑符号如 17.1 所示：

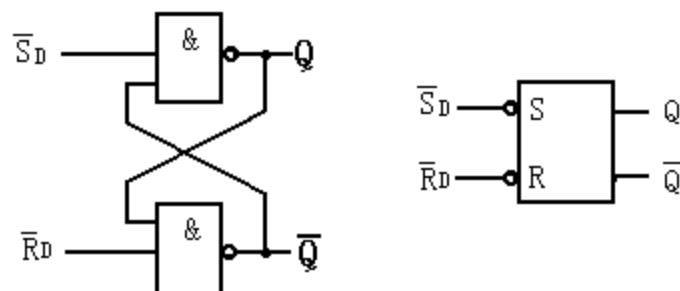


图 17.1

基本 RS 触发器具有置“0”、置“1”和保持三种功能。通常称 $\overline{S_D} = \overline{R_D} = 1$

时的输出状态为保持。另外，基本 RS 触发器也可以用两个“或非门”组成，注意，此时为高电平触发有效。

2、 D 触发器

在输入信号需要为单端的情况，D 触发器用起来最方便，其输出状态的更新发生在 CP 脉冲的边沿（上升沿或下降沿），故又称其为边沿触发器，触发器的状态只取决于 CP 脉冲到来前 D 端的状态，D 触发器的应用很广，可用作数字信号的寄存、移位寄存、分频和波形发生等。并有很多型号可供各种用途的需要而选用。如双 D 的有 74LS74、CD4013，四 D 的有 74LS175、CD4042，六 D 的有 74LS174，八 D 的有 74LS374 等。

3、 JK 触发器

在输入信号为双端的情况，JK 触发器是功能最为完善、使用灵活和通用性较强的一种触发器，型号有 74LS76、74LS112、CC4027 均为双 JK 触发器，它们也属于边沿触发器，使用时需根据给出的引脚分布图判别是上升沿还是下降沿触发，异步置“1”置“0”端是高电平有效还是低电平有效，不用时需接相反的电平。D、JK 触发器逻辑符号如图 17.2 所示：

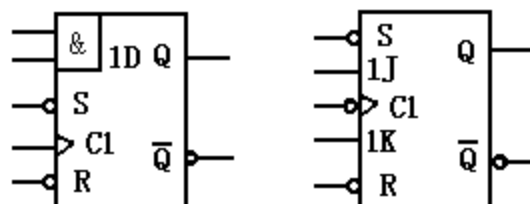


图 17.2

三 实验器件

数字实验箱

集成电路芯片：74LS00（4011）、74LS74（4013）、74LS75、74LS76
74LS112（4027）

电阻： 3.3K×2
集成电路引脚分布如图 17.3 所示：

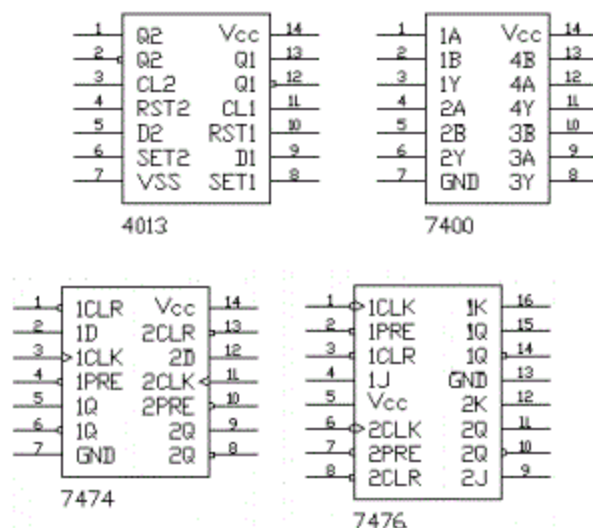


图 17.3

四、实验内容

1. 用基本 RS 触发器组成一个无抖动的开关（单脉冲发生器或称消抖动开关）
电路连接如图 17.4 所示

使用微动开关作为 $\overline{R_D}$ 、 $\overline{S_D}$ 端的控制输入。

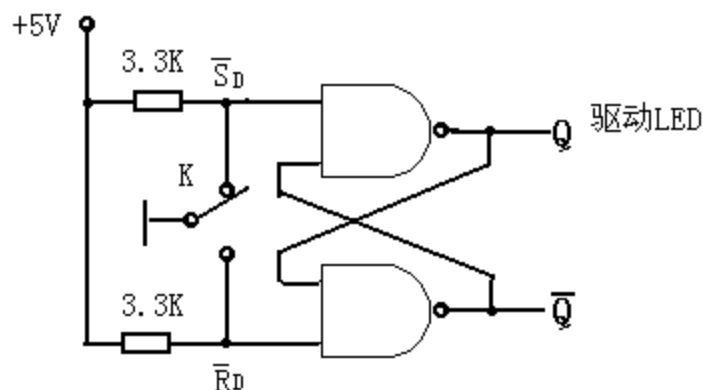


图 17.4

1. 测试双 D 触发器 74LS74 的逻辑功能

- 1、测试 $\overline{R_D}$ 、 $\overline{S_D}$ 的复位、置位功能并记录于表 17.1 中；
- 2、按下表测试，观察触发器输出状态的更新是发生在 CP 脉冲的上升沿（↑）还是下降沿（↓）？并记录于表 17.1。

$\overline{R_D}$	$\overline{S_D}$	D	CP	Q^{n+1}	
				$Q^n=0$	$Q^n=1$

0	1	X			
1	0	X			
1	1	0			
1	1	1			

表 17.1

2. 测试 JK 触发器 74LS76 的逻辑功能

1、将一 JK 触发器的 $\overline{R_D}$ 、 $\overline{S_D}$ 、J、K 端接逻辑开关插口，CP 端接单次冲源，Q、 $\overline{Q}$ 端接到逻辑电平显示插口，要求分别改变 $\overline{R_D}$ 、 $\overline{S_D}$ 、J、K 端状态时观察输出 Q、 $\overline{Q}$ 端状态，并记录于表 17.2 中。

2、按下表要求进行测试，并观察触发器输出更新状态是发生在 CP 脉冲的上升沿（↑）还是下降沿（↓）并记录于表 17.2 中。

$\overline{R_D}$	$\overline{S_D}$	J	K	CP	Q^{n+1}	
					$Q^n=0$	$Q^n=1$
0	1	X	X			
1	0	X	X			
1	1	0	0			
1	1	0	1			
1	1	1	0			
1	1	1	1			

表 17.2

3. 单发脉冲发生器实验

用 74LS74 双 D 触发器，设计一个单发脉冲发生器实验电路。要求将频率为 1Hz 的信号脉冲和手控触发脉冲分别作为两个触发器的 CP 脉冲输入，只要手控脉冲送出一个脉冲（按一下按钮），单发脉冲发生器就送出一个脉冲，该脉冲与手控触发脉冲的时间长短无关。

17.5 图为用双 JK 触发器组成的单脉冲发生器，供设计时参考。

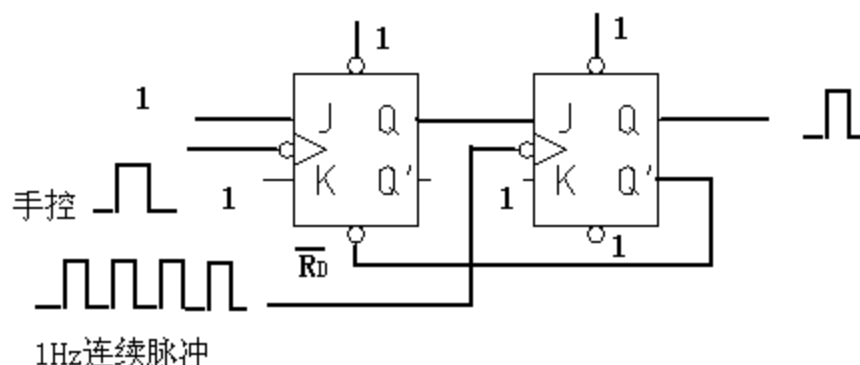


图 17.5

五、实验预习要求

-
- 1、 复习有关 D、JK 触发器的内容；
 - 2、 预习实验电路的工作原理，拟订实验方案。

六、实验报告

列表整理各类触发器的逻辑功能。总结实验结果和实验中发生的问题。

实验十八 移位寄存器

一 实验目的

1. 学习用 D 触发器构成移位寄存器（环行计数器）
2. 掌握中规模集成电路双向移位寄存器逻辑功能及使用方法

二 实验原理

- 1、 用 4 个 D 触发器组成 4 位移位寄存器，将每位即各 D 触发器的输出 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 分别接到四个 0—1 指示器（LED）将最后一位输出 Q_4 反馈接到第一位 D 触发器的输入端，则构成一简单的四位移位环行计数器。
- 2、 移位寄存器具有移位功能，是指寄存器中所存的代码能够在时钟脉冲的

作用下依次左移或右移。对于既能左移又能右移的寄存器称为双向移位寄存器。只需要改变左移、右移的控制信号便可实现双向移位的要求。根据移位寄存器存取信息的方式不同分为：串入串出、串入并出、并入串出、并入并出四种形式。

本实验选用的 4 位双向移位寄存器，型号为 74LS194A（或 CD40194），两者功能相同，其引脚分布图如下图 18.1 所示：

其中 A、B、C、D 为并行输入端，A 为高位依次排列； Q_A 、 Q_B 、 Q_C 、 Q_D 为并行输出端； S_R 为右移串行输入端； S_L 为左移串行输入端； S_1 、 S_0 为操作模式控制端；CLR 为异步清零端；低电平有效；CLK 为 CP 时钟脉冲输入端。74LS194A 有 5 种工作模式：并行输入，右移（ $Q_D \rightarrow Q_A$ ），左移（ $Q_D \leftarrow Q_A$ ），保持和清零。

74LS194 功能表如表 18.1 所示：

CLR	CP	S_1	S_0	工作状态
0	X	X	X	置零
1	X	0	0	保持
1	$\uparrow$	0	1	右移， S_R 为串行输入， Q_A 为串行输出
1	$\uparrow$	1	0	左移， S_L 为串行输入， Q_D 为串行输出
1	$\uparrow$	1	1	并行输入

表 18.1

三 实验器件

数字实验箱

集成电路芯片：74LS74 $\times 2$ （CD4013 $\times 2$ ）；74LS75；74LS76；74LS194A（CD40194）。

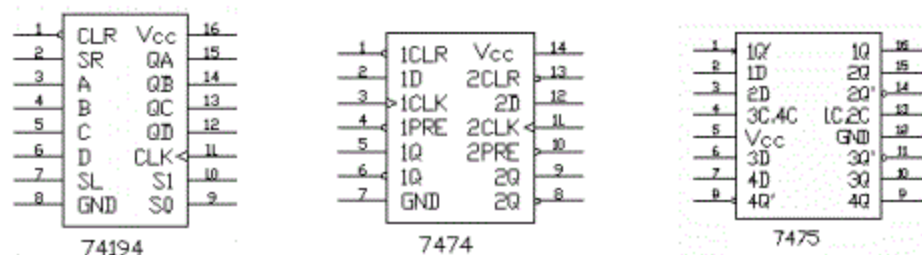


图 18.1

四 实验内容

1. 用 74LS74 组成移位寄存器，使第一个输出端点亮 LED 并使其右移循环。顺序是 FF₁、FF₂、FF₃、FF₄。

A) 1. 用两个 74LS74 按图 18.2 连接：

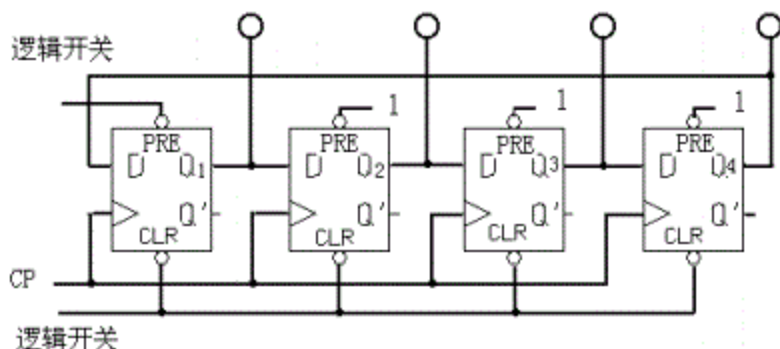


图 18.2

1. CP 时钟输入先不接到电路中（单步脉冲源或连续脉冲源）；
2. 连接线路完毕，检查无误后加+5V 电源；
3. 观察 4 个输出端的 LED 应该是不亮的，如果有亮的话，应按清零端的逻辑开关，（给出一个低电平信号清零后，再将开关置于高电平）即将 4 个 D 触发器输出端的 LED 清零。
4. 将第一个 D 触发器通过预置端（PRE）置“1”（操作时注意先将该逻辑开关给一低电平，然后再回到高电平，此时 LED₁ 应亮。
5. 加入 CP 脉冲信号（手动控制的单步脉冲源或 1Hz 连续脉冲源的信号），此时应看到输出端 LED 发亮的顺序为 LED₁→LED₂→LED₃→LED₄→LED₁，即输出端显示移位循环一个高电平“1”。

B) *测试 74LS194（或 CD40194）的逻辑功能

请按下面要求接线：

$\overline{R_D}$ （CLR）、S₁、S₀、SL、SR、D₃、D₂、D₁、D₀ 分别接到逻辑开关，

Q_D、C_C、Q_B、Q_A 接到 0—1 指示器，CP 脉冲接到单次脉冲源输出插口。

然后请按下表规定的输入状态，逐项进行测试，并将测试结果和功能总结填入表 18.2 中。

清零	模式		时钟	串行		输入			输出				功能
CLR	S ₁	S ₀	CP	SL	SR	D	C	B	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A	
0	X	X	X	X	X	X	X	X					
1	1	1	↑	X	0	D	C	B					
1	0	1	↑	X	1	X	X	X					
1	1	0	↑	1	0	X	X	X					
1	0	0	↑	X	X	X	X	X					

表 18.2

1. 清零:

令 $\text{CLR}(\overline{R_D}) = 0$, 其它输入为任意态, 此时寄存器输出 Q_D 、

Q_C

、 Q_B 、 Q_A 应均为 0 然后使 $\text{CLR}(\overline{R_D}) = 1$ 。即该寄存器为异步复位且响应

$\text{CLR}(\overline{R_D})$ 的低电平。

2. 并行输入:

令 $\text{CLR}(\overline{R_D}) = S_1 = S_0 = 1$, 输入任意 4 位二进制数, 如

D_3 、 D_2 、 D_1 、 $D_0 = abcd$, 加上 CP 脉冲, 观察寄存器输出状态的变化是否发生在 CP 脉冲的上升沿, 输出是否为 $abcd$, 即寄存器在进行装载的功能。

3. 右移:

清零后, 令 $\overline{R_D} = 1$, $S_1 = 0$, $S_0 = 1$, 由右移输入端 SR 送入二进制数码

0100, 在 CP 脉冲上升沿的作用下 (给一次信号按动一次脉冲) 观察输出情况是否将输入信号进行右移, 流向是 $\text{SR} \rightarrow Q_A \rightarrow Q_B \rightarrow Q_C \rightarrow Q_D$ 。如若不是, 请检查并改正为右移传输信号。

图 18.3 为 74LS194 执行右移传输信号逻辑功能:

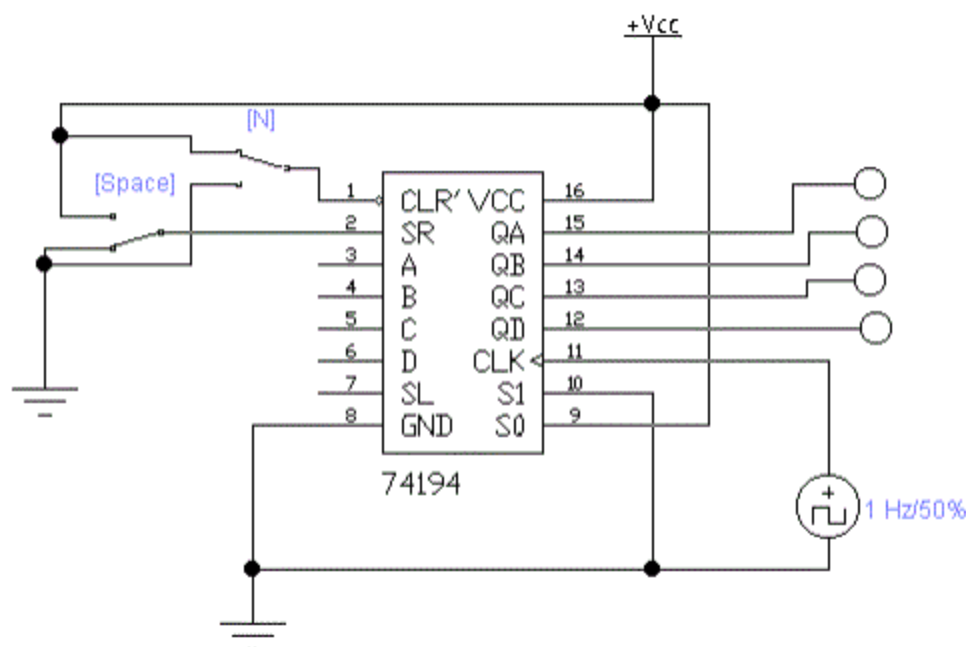


图 18.3

4. 左移:

先清零, 再令 $\text{CLR}(\overline{R_D}) = 1$, $S_1 = 1$, $S_0 = 0$, 由左移输入端 SL 送入二进制

数码 1011, 送一个数加一次脉冲, 在 CP 脉冲上升沿的作用下, 观察输出情况, 是否将输入信号进行左移, 流向是 $\text{SL} \rightarrow Q_D \rightarrow Q_C \rightarrow Q_B \rightarrow Q_A$ 。如若不是, 请检查并改正为左移传输信号。

图 18.4 为 74LS194 执行左移传输信号逻辑功能：

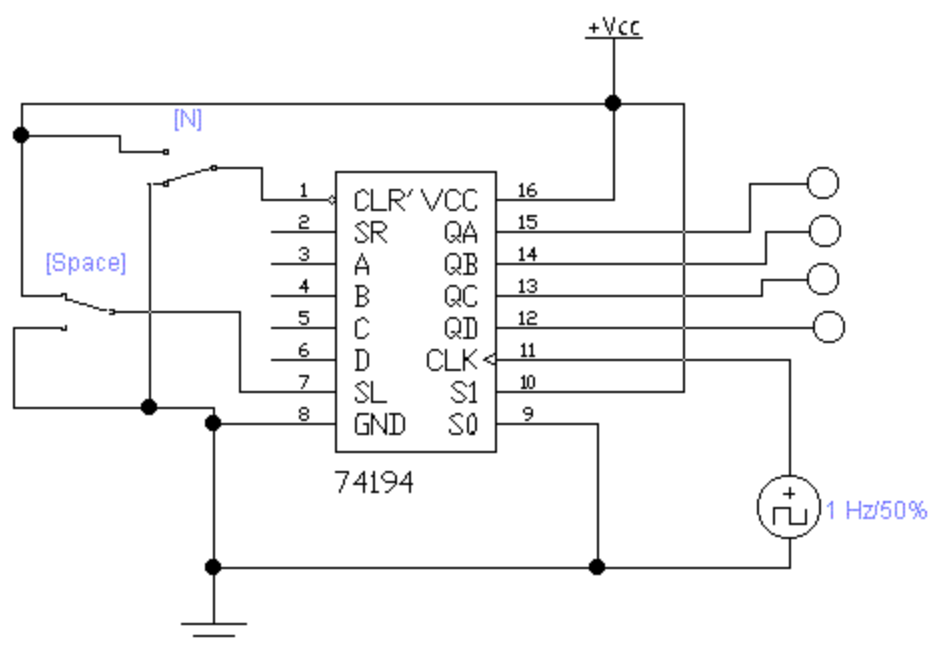


图 18.4

5. 保持：

在寄存器输入端 D_3 、 D_2 、 D_1 、 D_0 预置任意 4 位二进制数码 $abcd$ ，令

$\overline{CLR} (R_D) = 1$ ， $S_1=S_0=0$ ，加一个 CP 脉冲，观察寄存器输出状态 Q_D

、 Q_C 、 Q_B 、 Q_A 是 $abcd$ 还是保持原来状态不变。此时不论有无 CP 到来，输出应保持不变即寄存器实行保持功能。

C) *循环移位

将 74LS194 按图 18.5 连接，CP 端接“单步脉冲源”，并行输入预置数 0100，然后进行右移循环，观察寄存器输出变化，并记录在表 18.3 中。

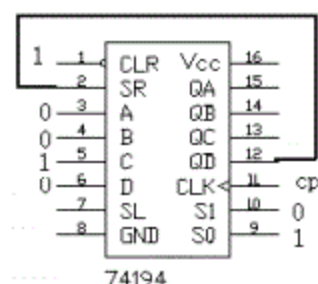


图 18.5

CP	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	0	1	0	0
1				
2				
3				

表 18.3

D* 用 74LS194A 接成多位双向移位寄存器
用两片 74LS194 接成 8 位双向移位寄存器的连接如图 18.6 所示:

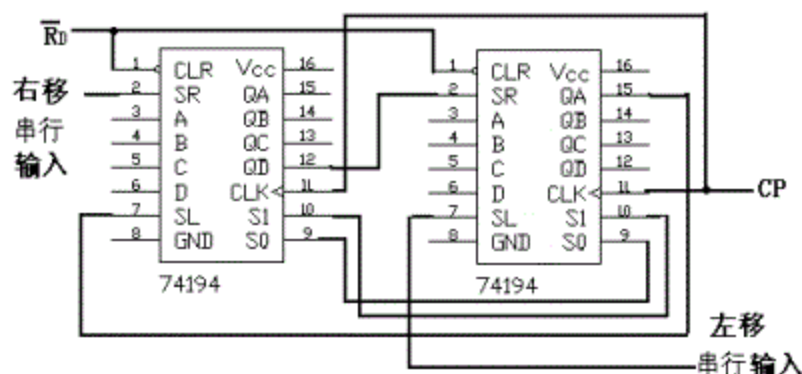


图 18.6

将其第一片的输出最高位 Q_D 接至第二片的右移 S_R 端; 而第二片的输出最低位 Q_A 接到第一片的左移 S_L 端, 同时将两片的 S_1 、 S_0 、 CP 和 CLR 端分别并联连接, 即构成 8 位双向移位寄存器。

五 实验预习要求

1. 复习有关寄存器的内容
2. 查阅 74LS194、74LS74 逻辑线路图; 熟悉其逻辑功能及引脚排列。

六 实验报告

1. 画出实验内容“A”的电路, 写出若要使输出同时循环两个“1”, 即“11”时, 应如何实现。
2. 分析实验结果, 总结移位寄存器 74LS194 的逻辑功能并写入表格功能总结栏。
3. 使寄存器清零, 除采用 CLR 端输入低电平外, 可否采用右移或左移的方法? 可否使用并行输入法? 若可行, 应如何进行操作?

实验十九 计数器

一 实验目的

- 1、掌握中规模集成计数器的逻辑功能及使用方法。
- 2、学习运用集成电路芯片计数器构成 N 位十进制计数器的方法。

二 实验原理

计数器是一个用以实现计数功能的时序器件，它不仅可以用来记忆脉冲的个数，还常用于数字系统的定时、分频和执行数字运算以及其它特定的逻辑功能。

计数器种类很多，按构成计数器中的各个触发器输出状态更新是否受同一个 CP 脉冲控制来分，有同步和异步计数器，根据计数制的不同，分为二进制、十进制和任意进制计数器。根据计数的增减趋势分，又分为加法、减法和可逆计数器。另外，还有可预置数和可编程功能的计数器等。目前，无论是 TTL 还是 CMOS 集成电路，都有品种较齐全的中规模集成计数器芯片。如：异步十进制计数器 74LS90，4 位二进制同步计数器 74LS93，CD4520，4 位十进制计数器 74LS160、74LS162；4 位二进制可预置同步计数器 CD40161、74LS161、74LS163；4 位二进制可预置同步加/减计数器 CD4510、CD4516、74LS191、74LS193；BCD 码十进制同步加/减计数器 74LS190、74LS192、CD40192 等。使用者只要借助于器件手册提供的功能表和工作波形图以及引出端的排列就能正确使用这些器件。

例如 74LS192 同步十进制可逆计数器，具有双时钟输入十进制可逆计数功能；异步并行置数功能；保持功能和异步清零功能。74192 功能见表 19.1 中。

输 入		输 出	注
CR $\overline{LD}$	CP _U CP _D D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	Q ₃ ⁿ⁺¹ Q ₂ ⁿ⁺¹ Q ₁ ⁿ⁺¹ Q ₀ ⁿ⁺¹	

1	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	异步清零
0	0	X	X	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	d ₃	d ₂	d ₁	d ₀	异步置数
0	1	↑	1	X	X	X	X	加	法	计	数	$\overline{CO} = \overline{CP_U Q_3^n Q_0^n}$
0	1	1	↑	X	X	X	X	减	法	计	数	$\overline{BO} = \overline{CP_D Q_3^n Q_2^n Q_1^n Q_0^n}$
0	1	1	1	X	X	X	X	保		持		$\overline{BO} = \overline{CO} = 1$

表 19.1

*表中符号和引脚符号的对应关系:

CR = CLR—清零端;

$\overline{LD}$ = LOAD—置数端 (装载端)

CP_U = UP—加计数脉冲输入端

CP_D = DOWN—减计数脉冲输入端

$\overline{CO}$ —— 非同步进位输出端 (低电平有效)

$\overline{BO}$ ——非同步借位输出端 (低电平有效)

D₃ D₂ D₁ D₀ = D C B A—计数器数据输入端

Q_D Q_C Q_B Q_A—计数器数据输出端

根据功能表我们可以设计一个特殊的 12 进制的计数器, 且无 0 数。如图 19.1 所示: 当计数器计到 13 时, 通过与非门产生一个复位信号, 使第二片 74LS192 (时十位) 直接置成 0000, 而第一片 74LS192 计时的个位直接置成 0001; 从而实现了 1—12 的计数。注: 将第一片 74LS192 的输出 Q_D Q_C Q_B Q_A 接到实验箱中显示译码器的输入端 D、C、B、A; 其它按下图连接即可验证电路的正确性。

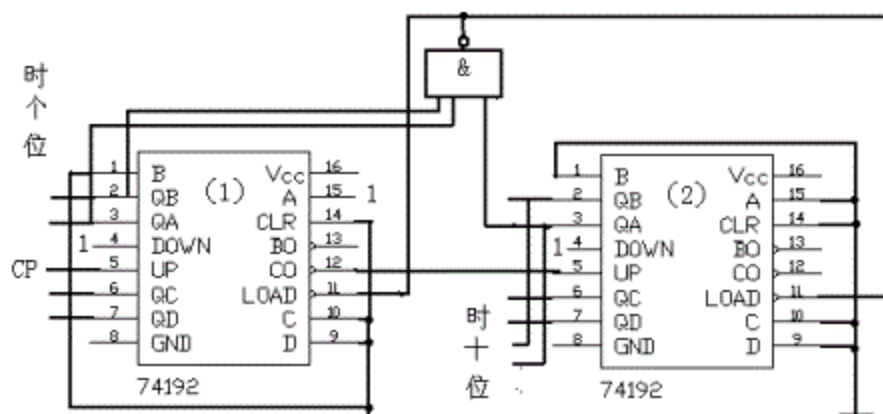


图 19.1

三 实验器件

数字实验箱

集成电路芯片 74LS160×2 ; 74LS192×2; 74LS00 ; 74LS163×2

集成电路引脚如图 19.2 所示

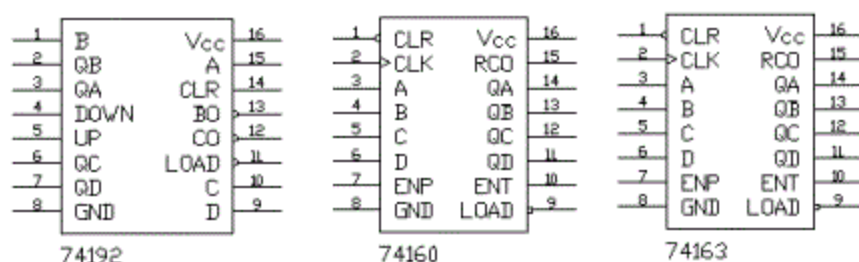


图 19.2

四 实验内容

1. 测试 74LS163 计数器的逻辑功能。

74LS163 为二进制 4 位并行输出的计数器，它有并行装载输入和同步清零输入端。74LS163 的技术参数：

电源电压 $V_{CC}=+5V$ ；

应用、测试温度范围 $0-74^{\circ}C$ ；

输入时钟频率 25MHz；

时钟脉冲宽度 25ns；

清零时钟脉冲宽度 20ns。

74LS163 功能见表 19.2：

输 入									输 出				
$\overline{CLR}$	$\overline{LOAD}$	ENP	ENT	CP	D_3	D_2	D_1	D_0	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	RCO
0	X	X	X	$\uparrow$	X	X	X	X	0	0	0	0	0
1	1		X	$\uparrow$	d_3	d_2	d_1	d_0	d_3	d_2	d_1	d_0	
1	1	1	1	$\uparrow$	X	X	X	X	计				
1	1	0	X	X	X	X	X	X	保				
1	1	X	0	X	X	X	X	X	持				0
									持				

表 19.2

1、根据功能表依次验证 74LS163 的逻辑功能。

2、改变这个二进制计数器为十进制计数器，连接线如下图，即用一个与非门，其两个输入取自 Q_A 和 Q_D ，输出接清零端 $\overline{CLR}$ 。当第九个脉冲结束时， Q_A 和 Q_D 都为“1”信号输出，则与非门输出为低电平“0”加到 $\overline{CLR}$ 端，但因 $\overline{CLR}$ 为同步清零端，此时虽已建立清零信号，并不执行清零，只有第十个时钟脉冲到来后 74LS163 才被清零，这就是同步的意义所在。

并验证你搭的电路如图 19.3 是否如同一个模 10 计数器。

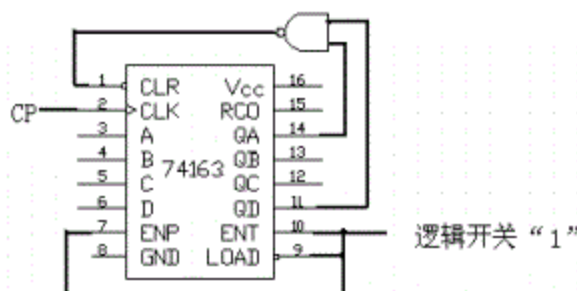


图 19.3

3、用两个 74LS163 连接成一个两位十进制计数器如图 19.4。

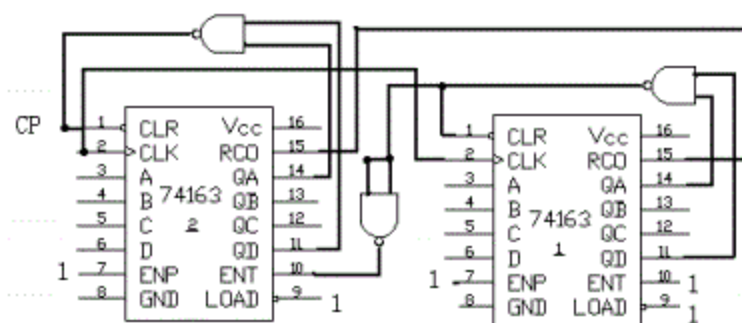


图 19.4

因为在级联同步计数器时,可用低位的计数器的进位端(RCO)加到高位计数器的片选端(ENT或ENP)来完成。因此,如果K级有一个进位输出时,表明它计数计到了最大值。下一级,即K+1级应该被启动,下一个时钟应使K+1级增加1同时K级复位为0,进位输出被清零,电路如图19.4。

2. 测试 74LS192 同步十进制可逆计数器的逻辑功能。

计数脉冲由单次脉冲源提供, 清零端 CLR、置数端 LOAD、数据输入端 A、B、C、D 分别接逻辑开关, 输出端 $Q_D Q_C Q_B Q_A$ 接实验箱中的一个七段显示器件的译码器输入端 A、B、C、D, CO 和 BO 接 0—1 指示器插口, 按 74LS192 的功能表逐项测试并判断该集成电路的逻辑功能。

1、清零

令 $CR=1$ ，其它输入为任意状态，这时 $Q_DQ_CQ_BQ_A=0000$ ，译码数字显示为 0。清零后令 $CLR=0$ 。

2、置数

CLR=0, DOWN 和 UP 为任意态, 数据输入端输入任意一组二进制数, 令 LOAD=0, 观察计数译码显示输出, 预置的功能是否正确, 即输出显示是否为输入的一组二进制数。若是, 则置 LOAD=1。

3、加计数

令 CLR=0, LOAD=DOWN=1, UP 接单次脉冲源, 清零后送入 10 个脉冲, 观察输出状态变化是否发生在 UP (CP_U) 的上升沿。

4、減计数

令 CLR=0, LOAD=UP=1, DOWN (CP_D) 接单次脉冲源, 清零后送入 10 个脉冲, 观察输出状态变化是否为减计数并是否发生在 DOWN 脉冲的上升沿。

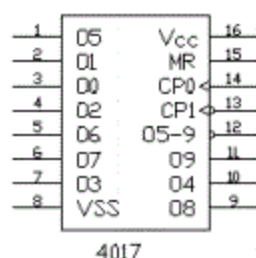
3. 测试 74LS160 计数器的逻辑功能。



图 20.1

2. 集成电路时序脉冲分配器 CD4017

CD4017 是按 BCD 计数/时序译码器组成的分配器。其真值表见表 20.1, 引脚分布图见图 20.2 所示:



CP ₀	CP ₁	MR	输出 n
0	X	0	n
1	1	0	n
↑	0	0	n+1
↓	1	0	n
1	↓	0	n+1
1	↑	0	n
X	X	1	0

图 20.2

表 20.1

CP₀: 时钟

CP₁: 时钟禁止 (

MR: 复位 (RESET 或 CLEAR)

05—9: 进位输出 (CARRY OUT)

4017 特征: 4017B 型是内含译码器的 5 级约翰逊十进制计数器。计数器在时钟禁止输入为低电平时, 在时钟脉冲的上升阶段进位。

时钟禁止输入为高电平时, 时钟被禁止。

关于复位, 通过把复位输入做成高电平, 时钟输入能够独立地进行。

逻辑功能波形图如图 20.3 所示:

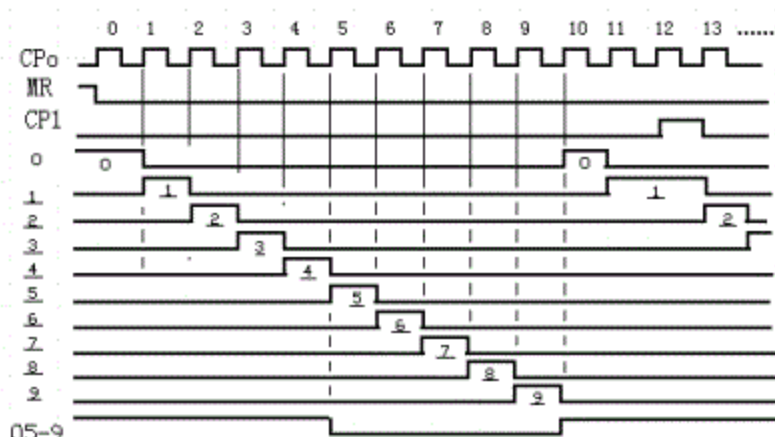


图 20.3 CD4017 波形图

CD4017 应用十分广泛，可用于十进制计数、分频、 $1/N$ 计数 ($N=2-10$ ，只需用一块， $N>10$ 时，可用多块器件级连)。图 20.4 为由两片 CD4017 组成的 60 分频电路：

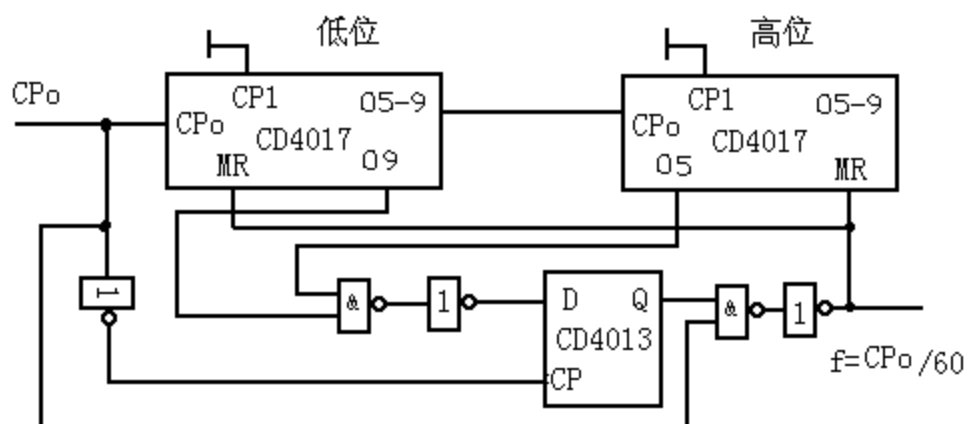


图 20.4

3. 步进电动机的环行脉冲分配器

图 20.5 为某一三相步进电动机的驱动电路示意图：

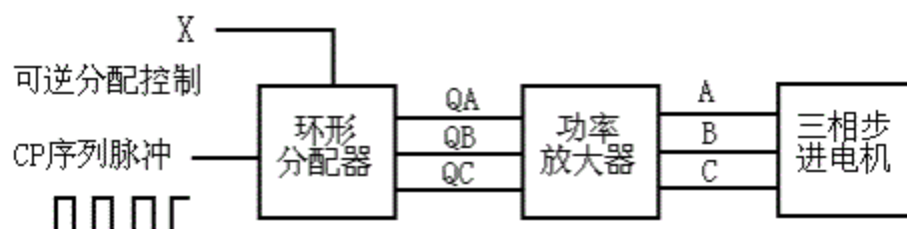


图 20.5

A、B、C 分别表示步进电动机的三相绕组。步进电动机按三相六拍方式运行。即要求步进电动机正转时，控制端 $X = 1$ ，使电机三相绕组的通电顺序为：

$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A$

$100 \rightarrow 110 \rightarrow 010 \rightarrow 011 \rightarrow 001 \rightarrow 101 \rightarrow 100$

要求步进电动机反转时，令控制端 $X = 0$ ，电机三相绕组的通电顺序为：

$A \rightarrow AC \rightarrow C \rightarrow BC \rightarrow B \rightarrow AB \rightarrow A \dots\dots$

按六拍通电方式的脉冲环行分配器，可由三个 JK 触发器构成。如图 20.6 所示：

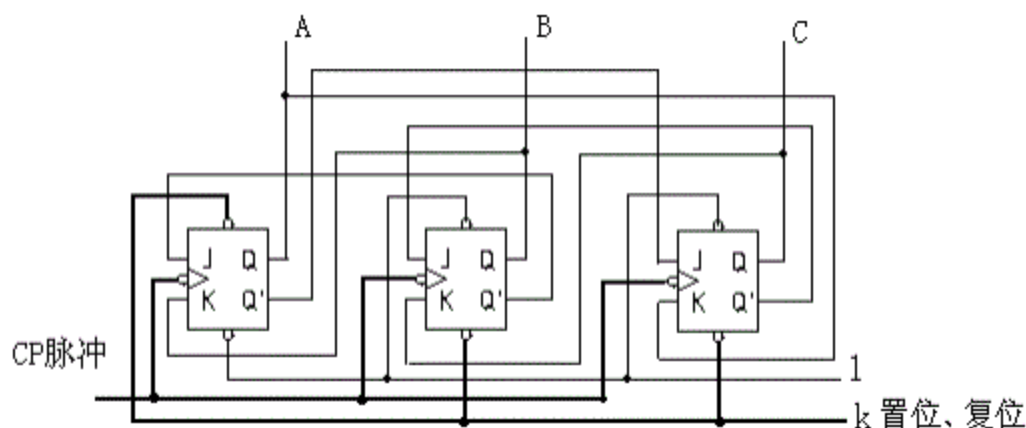


图 20.6

要使步进电动机反转时，脉冲分配器应如何连线？请自行考虑。通常应加有正转脉冲输入控制端和反转脉冲控制端。

三. 实验器件

数字实验箱

双踪示波器

集成电路芯片 CD4017×2; CD4013; CD4011; CD4069。

器件引脚分布图如图 20.7 所示：

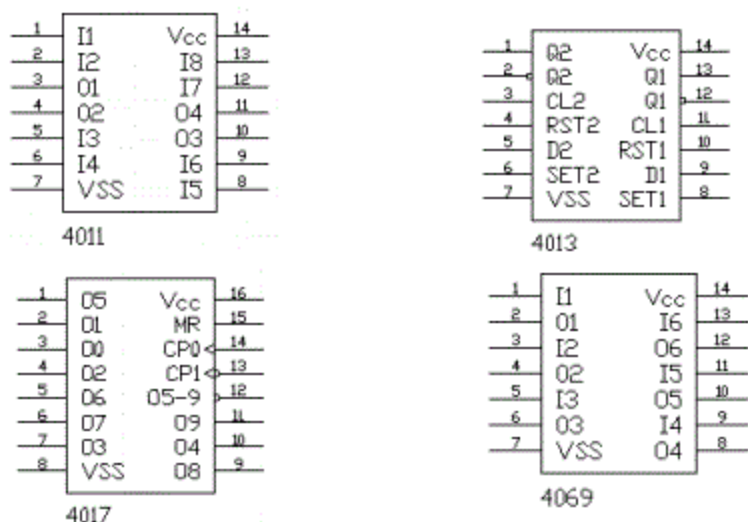


图 20.7

四. 实验内容

1. CD4017 逻辑功能的测试

1、按照 CD4017 引脚分布图，加+5V 电源，CP₁接逻辑开关插口；CP₀接单次脉冲源；0—9 十个输出接到 LED（0—1 指示器插口）按真值表的要求操作各逻辑开关。清零后，连续送出 10 个脉冲信号，观察十个 LED 的显示状态，并记录列表。

2、CP₀改接为 1Hz 连续脉冲信号，观察、记录输出状态。

2. 按 60 分频电路连接线路，用示波器观察、验证该电路的正确性。

3. 按照六拍通电方式的脉冲环行分配器逻辑图，搭试电路并观察电路工作记录写出步进电机正转时的状态图。

4. 参照六拍通电方式的脉冲环行分配器逻辑图，设计一个可逆运行的三相六

拍环行分配器线路，并自拟实验观察方法。

五. 实验预习要求

1. 复习有关脉冲分配器的原理。
2. 按实验任务要求，设计实验电路画出逻辑图。

六. 实验报告

1. 画出实验线路图。
2. 整理实验数据及表格。
3. 总结分析实验结果。

实验二十一 555 集成电路及应用

一 实验目的

1. 熟悉 555 集成电路的电路结构，工作原理及其特点。
2. 掌握 555 集成电路的基本应用。

二 实验原理

555 又称为集成定时器，是一种数字、模拟混合型的中规模集成电路，其应用十分广泛。它是一种产生时间延迟和多种脉冲信号的电路。由于内部电压标准使用了三个 $5K\Omega$ 电阻，故取名为 555 电路。其电路类型有双极型和 CMOS 型两大类，二者的结构与工作原理类似。几乎所有的双极型产品型号最后的三位数码都是 555 或 556，所有的 CMOS 产品型号最后四位数码都是 7555 或 7556，二者的逻辑功能和引脚排列完全相同，易于互换。555 和 7555 是单定时器，556 和 7556 是双定时器。双极型的电源电压范围为：

+5V—+16V，输出的最大负载电流可达 200mA，CMOS 型的电源电压范围为：

+3V—+18V，但输出最大负载电流在 4mA 以下。

555 内部电路结构如图 21.1 及外部引脚排列图 21.2 所示：

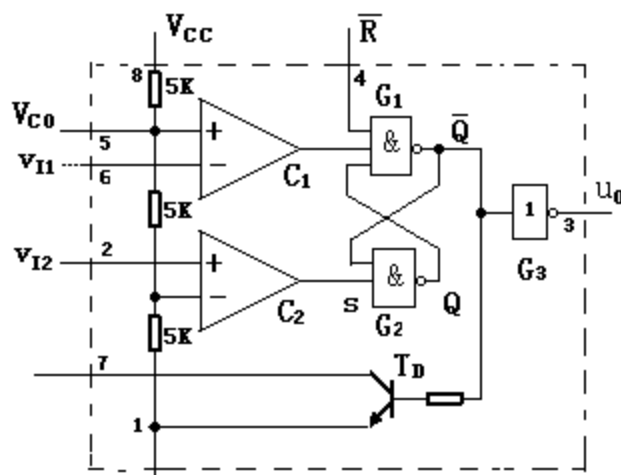


图 21.1



图 21.2

引脚功能：

1：接地； 2：触发端 (V_{I2})； 3：输出端 (u_0)； 4：复位端 ($\bar{R}$)； 5：控制电压端 (V_{C0})； 6：阈值端，比较器 C_1 输入 (V_{I1})； 7：放电端 (u'_0)； 8：电源端 (V_{CC})。

电路由三部分组成：比较器 C_1C_2 为第一部分（参考电压形成电路），基本 RS 触发器为第二部分，集电极开路输出的放电三极管 T_D 和 G_3 为第三部分，输出驱动电路和放电开关管 T_D 、 G_3 作用是提高电路带负载的能力。

555 定时器主要是与电阻、电容构成充放电电路，并由两个比较器来检测电容器上的电压，以确定输出电平的高低和放电开关管的通断。这就很方便地构成从微秒到数十分钟的延时电路，可方便地构成单稳触发器、多谐振荡器、

施密特触发器等脉冲产生或波形变换电路。

三 实验器件

双踪示波器

数字实验箱

函数发生器

集成电路芯片：NE555

电阻、电容若干

555 引脚分布图如图 21.3 所示：

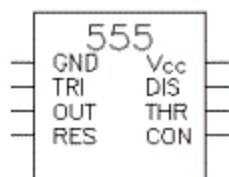


图 21.3

四 实验内容

1. 用 555 定时器设计一个单稳态触发器

电路设计基本原理

单稳态触发器具有稳态和暂稳态两个不同的工作状态。在外界触发脉冲作用下，它能从稳态翻转到暂稳态，在暂稳态维持一段时间之后，再自动返回稳态；暂稳态维持时间的长短取决于电路本身的参数，与触发脉冲的宽度和幅度无关。由于单稳态触发器具有这些特点，常用来产生具有固定宽度的脉冲信号。

按电路结构的不同，单稳态触发器可分为微分型和积分型两种，微分型单稳态触发器适用于窄脉冲触发，积分型适用于宽脉冲触发。无论是哪种电路结构，其单稳态的产生都源于电容的充放电原理。

用 555 定时器构成的单稳态触发器是负脉冲触发的单稳态触发器，且暂稳态维持时间为 $T_w = \ln RC = 1.1RC$ ，即仅与电路本身的参数 R 、 C 有关。

1、按图 21.4 连接，取 $R_1=30K\Omega$ ， $R=100K\Omega$ ， $C=0.1\mu f$ ， $C_1=C_2=0.01\mu f$

输入信号 u_i 由单次脉冲源提供，用双踪示波器观察输入 u_i 、输出 u_o 波形，测定输出波形幅度与暂稳态时间 t_w 。

2、将 R 改变为 $5K\Omega$ ，输入端加 $1KHz$ 的连续脉冲，用双踪示波器观察输入 u_i 、输出 u_o 波形，测定幅度、频率及暂稳态时间 t_w 。

单稳态触发器实验记录在表 21.1 中

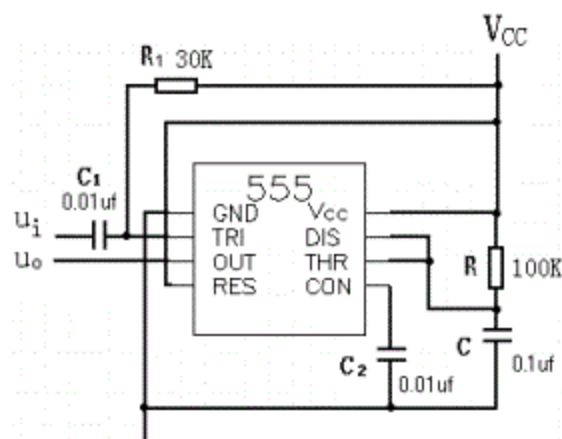


图 21.4 单稳态触发器

单稳	R=100K	R=5K
	C=0.1uF	C=0.1uF
输入波形		
输出波形		
t_w		
输出频率		

表 21.1

2. 555 施密特触发器设计

电路设计基本原理

施密特触发器输出状态的转换取决于输入信号的变化过程，即输入信号从低电平上升的过程中，电路状态转换时，对应的输入电平 V_{T+} 与输入信号从高电平下降过程中对应的输入转换电平 V_{T-} 不同，其中 V_{T+} 称为正向阈值电压， V_{T-} 称为负向阈值电压。另外由于施密特触发器内部存在正反馈，所以输出电压波形的边沿很陡。

用 555 定时器构成的施密特触发器为反向传输的施密特触发器，正向阈值电压和负向阈值电压分别为：

$$V_{T+} = 2/3 V_{CC}$$

$$V_{T-} = 1/3 V_{CC}$$

- 1、按施密特触发器电路图如图 21.5 接线，输入信号接电路输入端 u_i ，由信号源提供，分别为正弦波、三角波，频率为 1KHz。
- 2、用示波器接电路输出端 u_o ，观察输出波形并记录，计算回差电压值。施密特触发器原始记录在表 21.2 中

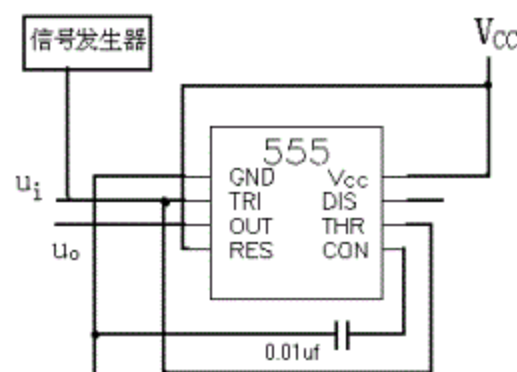


图 21.5 施密特触发器

	输入正弦波	输入三角波
输入波形		
输出波形		
V_{T+}		
V_{T-}		
ΔV_T		

表 21.2

3. 555 多谐振荡器设计

电路设计基本原理

多谐振荡器是一种自激振荡器，在接通电源后，不需要外加触发信号（即没有输入信号），便能自动产生矩形脉冲，由于矩形脉冲中含有丰富的高次谐波分量，所以称为多谐振荡器。

先将 555 定时器构成施密特触发器，再将施密特触发器的输出端经 RC 积分电路接回到它的输入端，即可构成多谐振荡器，且其电容 C 上的电压 V_C 将在 V_{T+} 和 V_{T-} 之间反复振荡。

电容电压 V_C 与输出电压 u_o 的波形如图 21.6 所示：

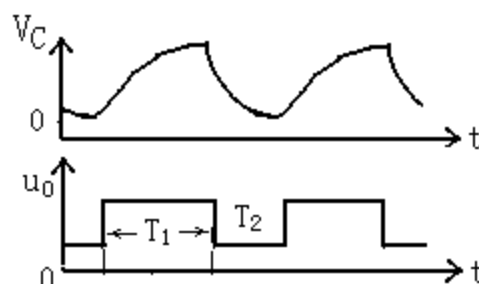


图 21.6 多谐振荡器 V_C 与 u_o 的波形图

$$\text{充电时间: } T_1 = (R_1 + R_2) C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} = (R_1 + R_2) C \ln 2$$

$$\text{放电时间: } T_2 = R_2 C \ln \frac{V_{CC} - V_{T+}}{V_{CC} - V_{T-}} = R_2 C \ln 2$$

振荡周期: $T = T_1 + T_2 = (R_1 + 2R_2) C \ln 2$

振荡频率: $f = \frac{1}{T}$

占空比: $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > 50\%$

- 1、按多谐振荡器图如图 21.7 接线。检查无错则方可通电。
- 2、用示波器检测电路输出波形，并记录频率值与理论计算值比较。

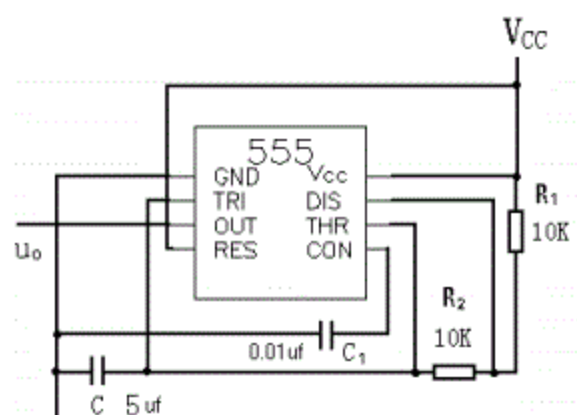


图 21.7 多谐振荡器

多谐振荡器实验原始记录在表 21.3 中:

多谐振荡器	周期	频率
实验测量值		
理论计算值		

五 实验预习要求

1. 复习有关 555 定时器的工作原理和应用。
2. 拟定实验中所需的数据、波形及表格。
3. 预习各项实验的步骤和方法。

六 实验报告

1. 认真画出实验线路图，仔细填写各表格的内容。
2. 分析、总结实验结果。
3. 简述实验体会。

实验二十二 D/A、A/D 转换器

一 实验目的

1. 了解 D/A 和 A/D 转换器的基本工作原理和基本结构
2. 掌握大规模集成电路 D/A 和 A/D 转换器的功能及典型应用

二 实验原理

1. D/A 转换器（简称 DAC）

DAC0832 是采用 CMOS 工艺制成的单片电流输出型 8 位数/模转换器。是美国国家半导体公司（NSC）的产品。器件核心部分采用倒 T 型电阻网络的 8 位乘法式 D/A 转换器（乘法式 D/A 转换器简称 MDAC），该器件不仅可用于一般数字系统和模拟系统之间的接口电路，而且可以直接与 8 位微型计算机接口，如与 8080、8086、Z80、MCS—51 等机型相连，电路内部还包含 TTL 逻辑电平输入的专用电路，因此芯片和 TTL 系列、低压 CMOS 系列相兼容。是目前使用很广泛的一种集成 DAC 器件。

该器件是由倒 T 型 R—2R 电阻网络、模拟开关、运算放大器和参考电压 V_{REF} 四部分组成。电路如图 22.1 所示：

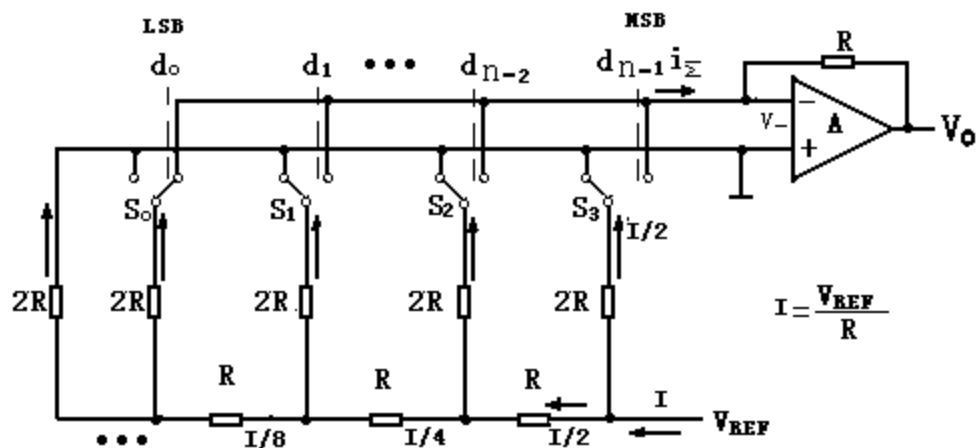


图 22.1 倒 T 型电阻网络 D/A 转换电路

运算输出电压为

$$V_0 = -\frac{V_{REF} R_f}{2^n R} (D_{n-1} 2^{n-1} + D_{n-2} 2^{n-2} + \dots + D_0 2^0)$$

由上式可见，输出电压 V_0 与输入的数字量成正比，这就实现了从数字量到模拟量的转换。

该器件是一个 8 位的 D/A 转换器，有 8 个输入端，每个输入端是 8 位二进制数的一位，有一个模拟输出端，输入可有 $2^8=256$ 个不同的二进制组合，输出为 256 个电压之一，就是说输出电压不是整个电压范围内的任意值，而只能是 256 个可能值。因此该器件由一个 8 位输入寄存器，一个 8 位 D/A 寄存器和一个 8 位 D/A 转换器三部分组成。数据在进入 R—2R 倒 T 型 D/A 转换之前，通过两个独立控制的 8 位锁存器进行传递，即称之为双缓冲方式，因此用途比较灵活，既可以同时保留两组数据（D/A 寄存器保存立即要转换的数据，输入寄存器保留下一组数据）也可以保留后一组数据，用户可根据需要接成不同工作方式。

DAC0832 的功能框图见图 22.2、外引脚排列见图 22.3 所示：

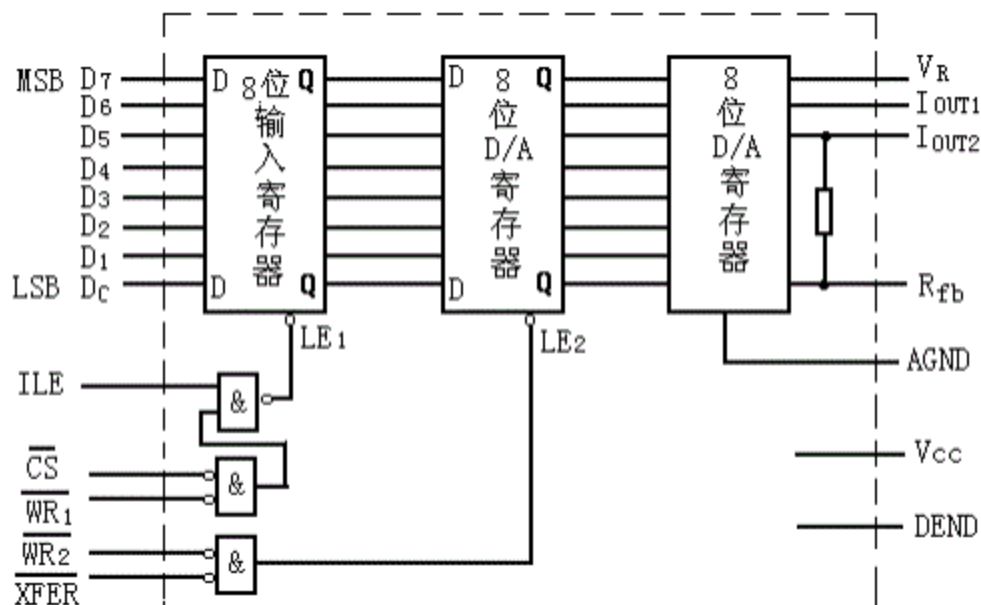


图 22.2

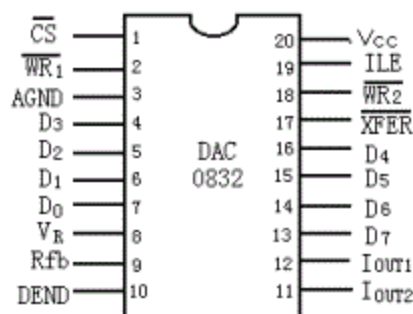


图 22.3

DAC0832 芯片中没有运算放大器，T 型网络的输出是 I_{OUT1} 和 I_{OUT2} 的 MDAC，这里 I_{OUT1} 是正比于参考电压和输入数字量的电流输出， I_{OUT2} 是正比于输入数字量的补码，再使用时需要外接运算放大器，芯片中已设置了反馈电阻 R_{fb} ，只要将引脚接到运放输出端即可。

器件各引脚的功能说明如下：

$\overline{CS}$ ：片选信号，低电平有效，与 $\overline{ILE}$ 组成使能 $\overline{WR}$ ，可将输入数字信号存放到输入寄存器中。

$\overline{ILE}$ ：输入寄存器选通信号。高电平有效，与 $\overline{CS}$ 组成选通 $\overline{WR}_1$ 。

$\overline{WR}_1$ ：数据输入写信号，低电平有效，当 $\overline{WR}_1$ 为高电平时，输入寄存器数据被锁定，要修改此寄存器数据，必须满足 $\overline{WR}_1$ 和 $\overline{CS}$ 为低，而 $\overline{ILE}$ 为高。

$\overline{WR}_2$ ：允许写信号 2，低电平有效。与 $\overline{XFER}$ 组合，使输入寄存器的数据传输出到 D/A 寄存器中。

$\overline{XFER}$ ：数据传递控制信号，低电平有效。它将选通 $\overline{WR}_2$ 。

$D_7 \sim D_0$ ：8 位数字信号输入， D_0 是 LSB， D_7 是 MSB。

I_{OUT1} ：DAC 电流输出 1 端。对应于 DAC 寄存器中全部是“1”的数码， I_{OUT1} 为最大；而全部是“0”的数码， I_{OUT1} 为 0。

I_{OUT2} ：DAC 电流输出 2 端。 $I_{OUT2} + I_{OUT1} = \text{常数}$ 。

R_{fb} ：反馈电阻连接端，用来做外部输出运算放大器的反馈电阻，它与内部 R—2R 网络相匹配。

V_R ：参考电压输入，通常与外部一个精密稳定的电压源相连接，其电压值可以在 $-10 \sim +10V$ 范围内选择。

V_{CC} ：数字电源电压，可在 $+5 \sim +15V$ 范围内选用。

AGND：模拟地。

DGND：数字地。

工作方式及时序

由于 DAC0832 中含两个数据寄存器，从而有可供选择的三种工作方式。

1、双缓冲工作方式 这种工作方式是通过控制信号将输入数据先锁存于输入寄存器中，当需要 D/A 转换时，再将数据由输入寄存器装入 D/A 寄存器中

并进行 D/A 转换。从而达到双缓冲方式。连接图如图 22.4 所示，时序图如图 22.5 所示。

2、单缓冲工作方式 在 DAC0832 两个寄存器中，使其中一个处于常通状态，只控制一个寄存器的锁存或者使两个寄存器同时选通及锁存，这就是单缓冲工作方式。连接图如图 22.6 所示。

3、直通型工作方式 使两个寄存器均处于常通状态，寄存器输出跟随数字输入而变化，D/A 的输出亦随之变化，称为直通型工作方式。连接图如图 22.7 所示。

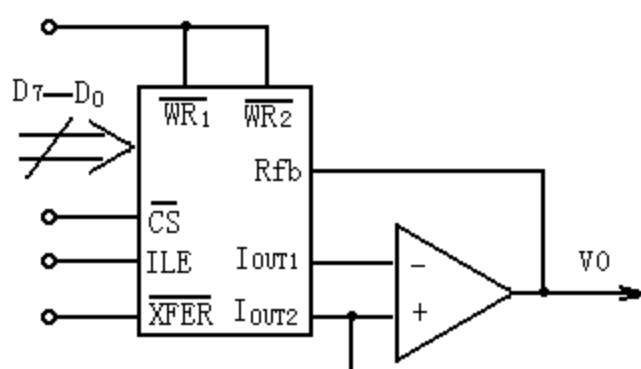


图 22.4 双缓冲工作方式连接图



图 22.5 双缓冲工作方式时序图

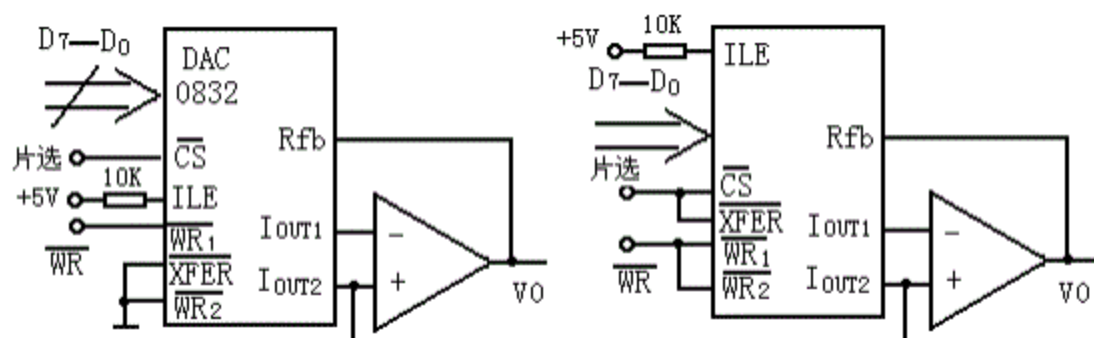


图 22.6 单缓冲工作方式连接图

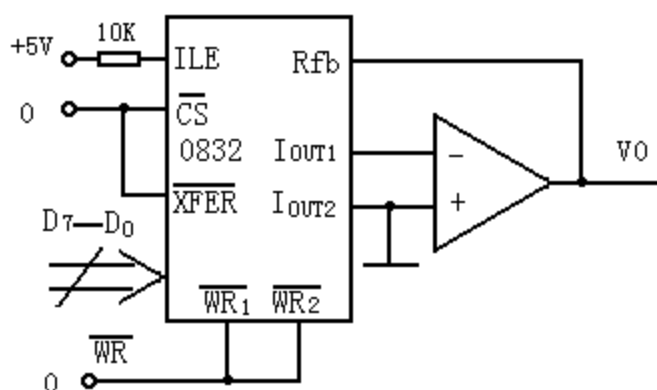


图 22.7 直通型工作方式连接图

2. A/D 转换器 0809

ADC0809 是美国 NSC 公司出品的 CMOS 工艺，8 位单片 A/D 转换器，采用逐次渐近型转换技术。

电路和功能

该器件内有 8 路模拟开关，控制选择 8 个模拟输入通道，且由三位地址信号经锁存、译码来选择。A/D 转换输出信号具有三态缓冲器。电路框图如图 22.8 所示，引脚如图 22.9 所示。

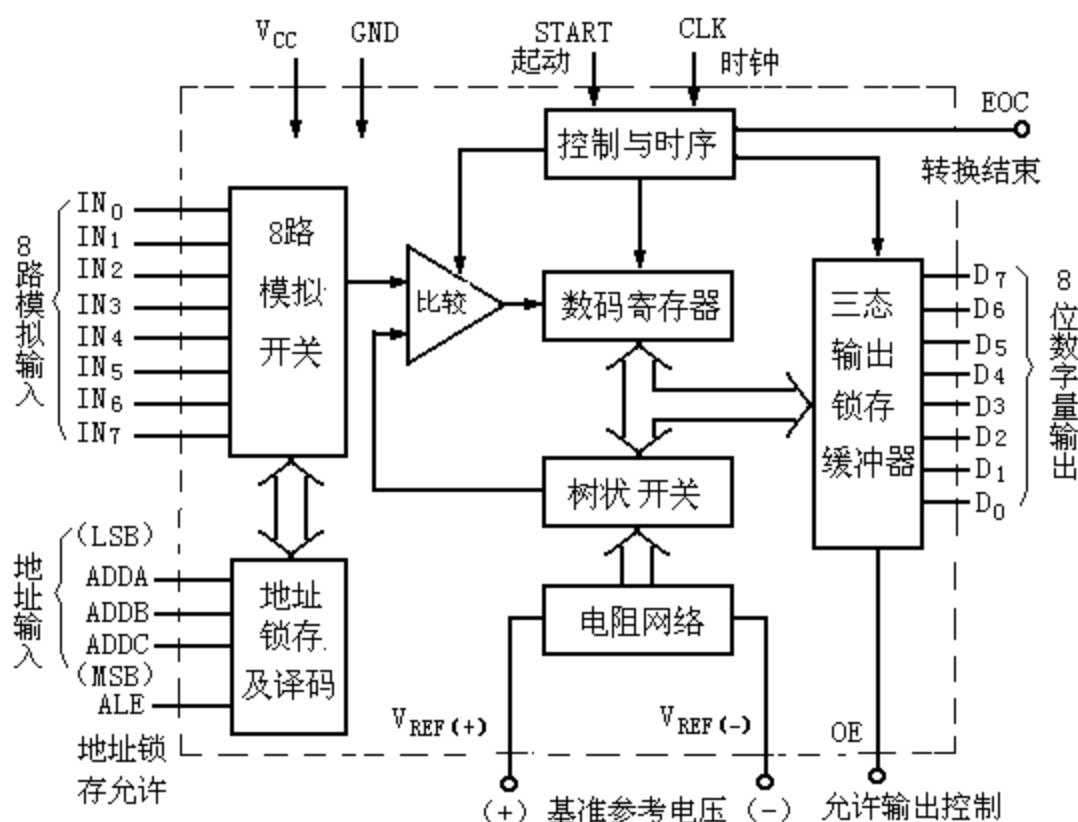


图 22.8 ADC0809 逻辑结构框图

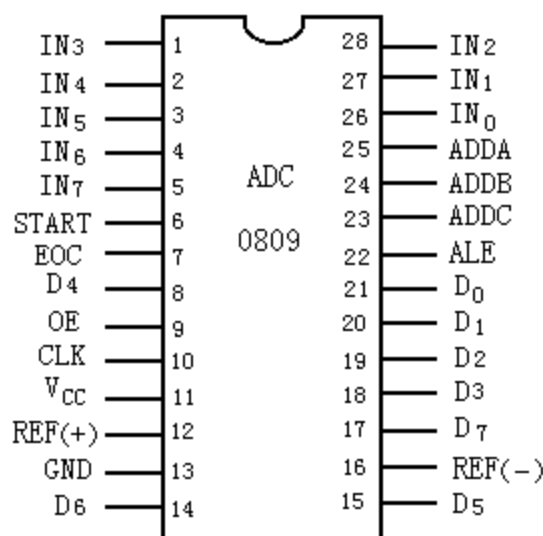


图 22.9 ADC0809 引脚图

IN₇~IN₀: 8 路模拟量输入。

ADDC、ADDB、ADDA: 3 位地址变量, 其中 ADDC 为地址最高位, ADDA 为地址最低位, 三个地址变量的编码状态 000~111 分别选择 IN₀~IN₇ 进行转换。

地址译码与输入选通的关系见表 22.1 所示。

被选模拟通路	地 址		
	C	B	A
IN ₀	0	0	0
IN ₁	0	0	1
IN ₂	0	1	0
IN ₃	0	1	1
IN ₄	1	0	0
IN ₅	1	0	1
IN ₆	1	1	0
IN ₇	1	1	1

表 22.1

ALE: 地址锁存允许信号, 高电平有效。

START: A/D 转换的起动脉冲信号, 上升沿将数码寄存器清零, 下降沿开始进行转换。

CLK: 时钟脉冲输入, 范围是 10~1280KHz, 若 CLK = 500 KHz, 则转换速度为 128us。

D₇~D₀: 输出数据线, 其中是 D₇ 最高位。

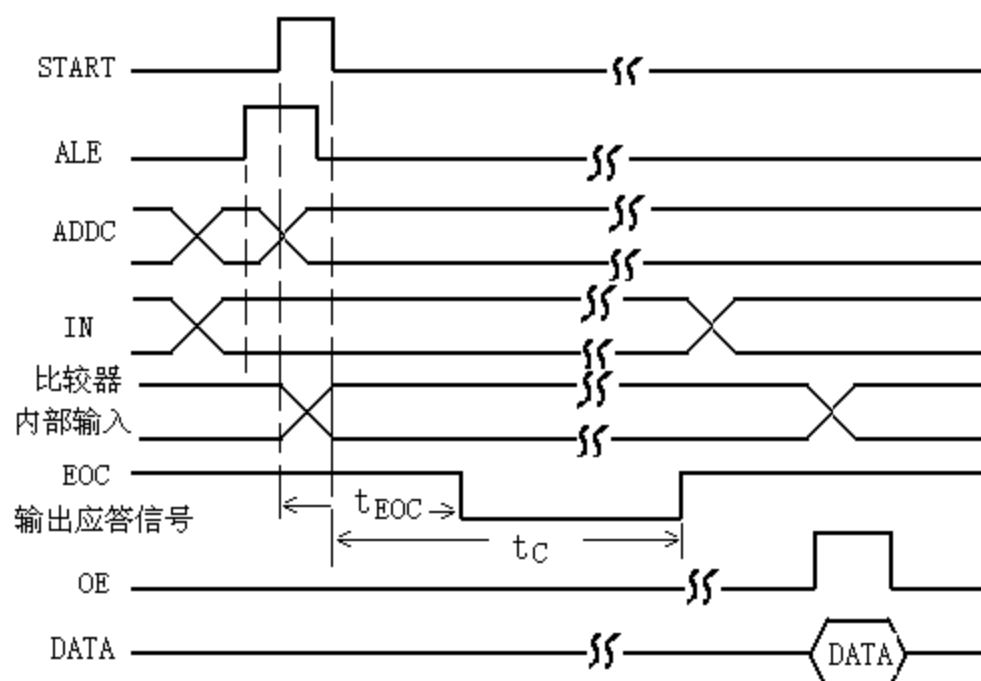
EOC: 转换结束信号, 高电平有效。

OE: 输出允许信号, 输入高电平有效。EOC 为高后, 发出 OE 为高的信号, 打开三态输出锁存缓冲器, 将转换结果输出。

V_{REF (+)}、V_{REF (-)}: 基准参考电压的正端和负端。

应用时序图

ADC0809 的控制时序图如图 22.10 所示。



22.10 ADC0809 时序图

三 实验器件

数字实验箱

直流数字电压表

集成电路芯片 DAC0832, ADC0809, uA741

电位器、电阻、电容若干

集成块引脚分配如图 22.11 所示。

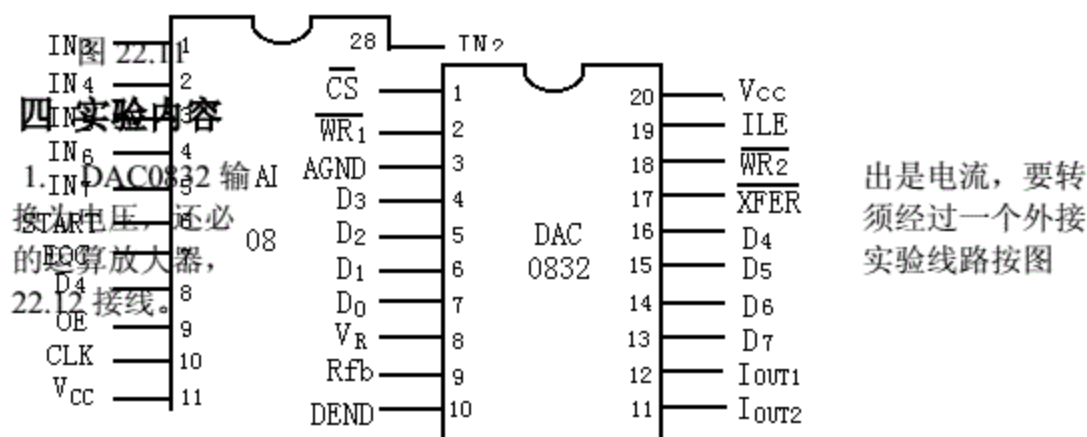
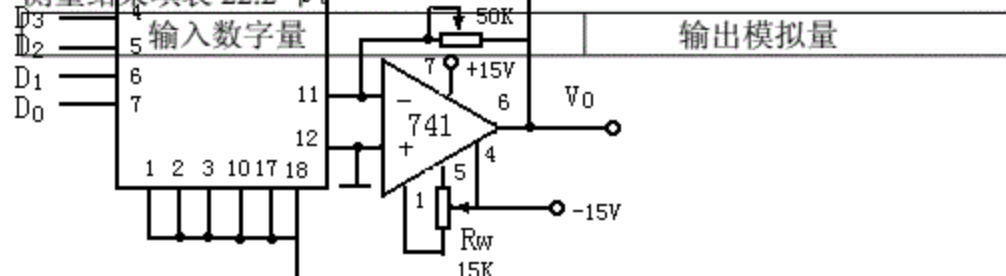


图 22.12 D/A 转换

实验线路

- 1、将 $D_0 \sim D_7$ 接到逻辑开关的输出插口、输出端 V_0 接直流数字电压表。
- 2、 D_7 为 D_0 全置零，调节运放电位器，使运放 uA741 输出为零。
- 3、按下表所列的输入数字信号，用数字电压表测量运放的输出电压 V_0 ，并将测量结果填入表 22.2 中。



D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	V _{CC} =+5V	V _{CC} =+15V
0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	1		
0	0	0	0	0	0	1	0		
0	0	0	0	0	1	0	0		
0	0	0	0	1	0	0	0		
0	0	0	1	0	0	0	0		
0	0	1	0	0	0	0	0		
0	1	0	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	0		
1	1	1	1	1	1	1	1		

表 22.2

- 2 按 ADC0809 实验线路图 22.13 接线，变换结果 D₀~D₇ 接 LED 指示器输入插口，CP 时钟脉冲由脉冲信号源提供，f = 1KHz。ADDC、ADDB、ADDA 地址端

“0”电平接逻辑开关低电平，“1”电平接逻辑开关高电平。按下表要求观察，记录 IN₀~IN₇ 路模拟信号的转换结果，并将结果换算成十进制数表示的电压值，并与数字电压表实测的各路输入电压值进行比较，分析误差原因。

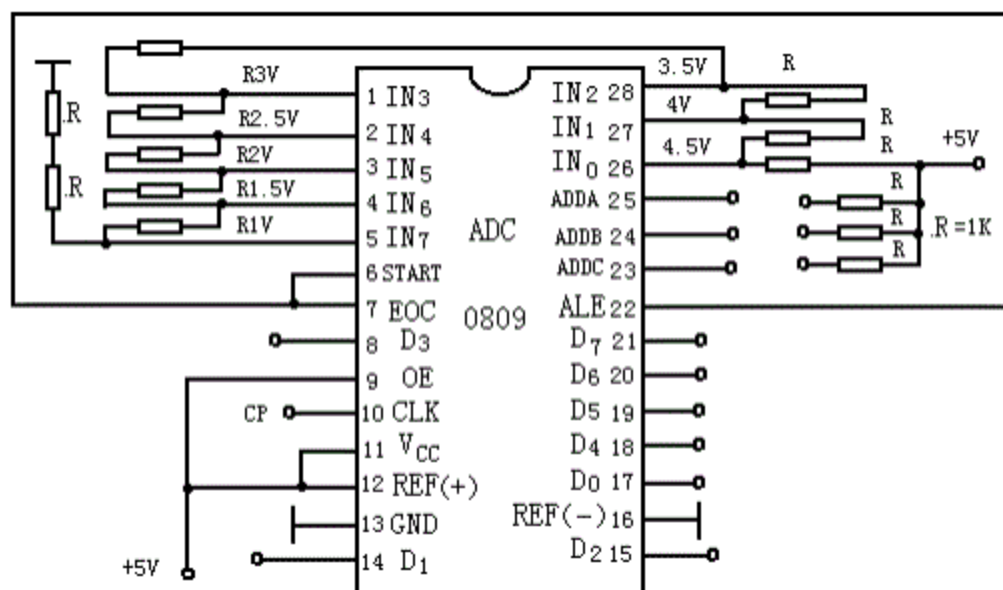


图 22.13 ADC0809 实验线路

测量结果填表 22.3 中。

被选 模拟 通道	输入 模拟 量	地址	输 出 数 字 量								
IN ₀	V _i (V)	A ₂ A ₁ A ₀	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	十进制
IN ₁	4.5	0 0 0									
IN ₂	4.0	0 0 1									
IN ₃	3.5	0 1 0									
IN ₄	3.0	0 1 1									

IN ₅	2.5	1 0 0									
IN ₆	2.0	1 0 1									
IN ₇	1.5	1 1 0									
IN ₈	1.0	1 1 1									

五 实验预习要求

1. 复习 A/D、D/A 转换的工作原理
2. 熟悉 ADC0809、DAC0832 各引脚功能，使用方法
3. 画好完整的实验线路和所需的实验记录表格

六 实验报告

整理实验数据，分析实验结果。

第三部分 综合实验部分

实验二十三 函数信号发生器的组装与调试

一、实验目的

1. 了解单片多功能集成电路函数信号发生器的功能及特点。
2. 进一步掌握波形参数的测试方法。

二、实验原理

1. ICL8038 是单片集成函数信号发生器，其内部框图如图 23.1 所示。它由恒流源 I1 和 I2、电压比较器 A 和 B、触发器、缓冲器和三角波变正弦波电路等组成。

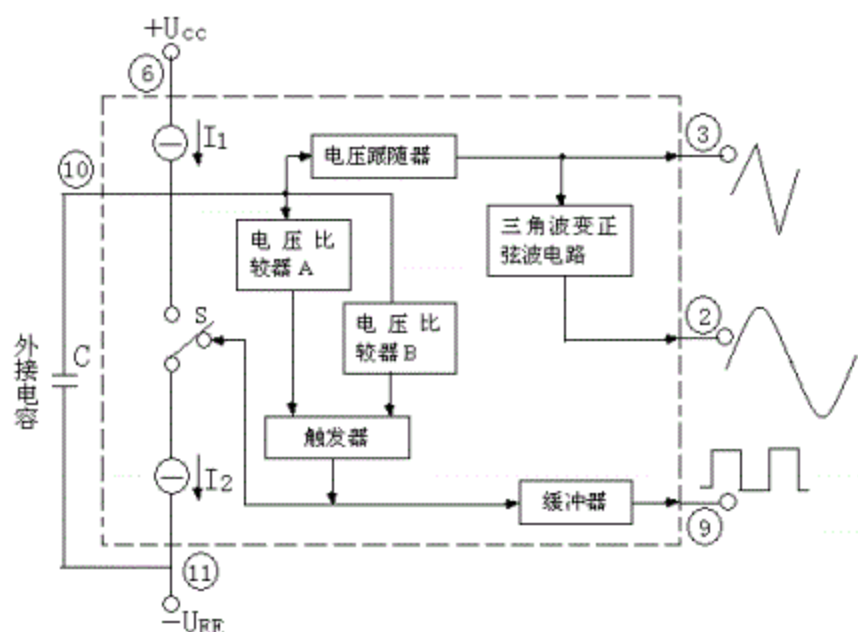


图 23.1 ICL8038 原理框图

外接电容 C 由两个恒流源充电和放电，电压比较器 A、B 的阈值分别为电源电压（指 $U_{CC}+U_{EE}$ ）的 $2/3$ 和 $1/3$ 。恒流源 I_1 和 I_2 的大小可通过外接电阻调节，但必须 $I_2 > I_1$ 。当触发器的输出为低电平时，恒流源 I_2 断开，恒流源 I_1 给 C 充电，它的两端电压 u_c 随时间线性上升，当 u_c 达到电源电压的 $2/3$ 时，电压比较器 A 的输出电压发生跳变，使触发器输出由低电平变为高电平，恒流源 I_2 接通，由于 $I_2 > I_1$ （设 $I_2 = 2I_1$ ），恒流源 I_2 将电流 $2I_1$ 加到 C 上反充电，相当于 C 由一个净电流 I 放电， C 两端的电压 u_c 又转为直线下降。当它下降到电源电压的 $1/3$ 时，电压比较器 B 的输出电压发生跳变，使触发器的输出由高电平跳变为原来的低电平，恒流源 I_2 断开， I_1 再给 C 充电，…如此周而复始，产生振荡。若调整电路，使 $I_2 = 2I_1$ ，则触发器输出为方波，经反相缓冲器由管脚⑨输出方波信号。 C 上的电压 u_c ，上升与下降时间相等，为三角波，经电压跟随器从管脚③输出三角波信号。将三角波变成正弦波是经过一个非线性的变换网络（正弦波变换器）而得以实现，在这个非线性网络中，当三角波电位向两端顶点摆动时，网络提供的交流通路阻抗会减小，这样就使三角波的两端变为平滑的正弦波，从管脚②输出。

2. ICL8038 管脚功能图

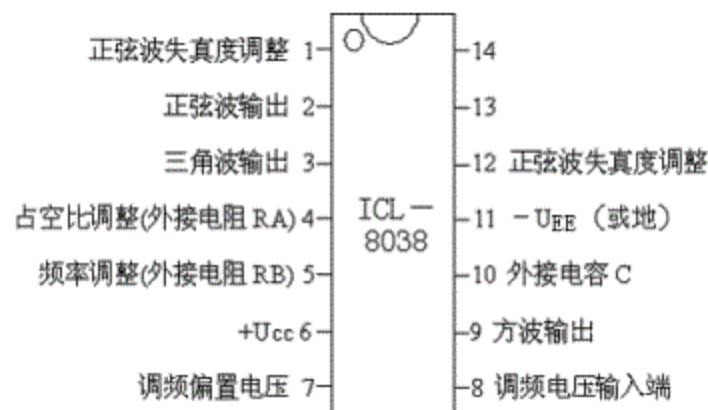


图 23.2 ICL8038 管脚图

电源电压为：

单电源 10~30V 或

双电源 $\pm 5V \sim \pm 15V$

3. 实验电路如图 23.3 所示

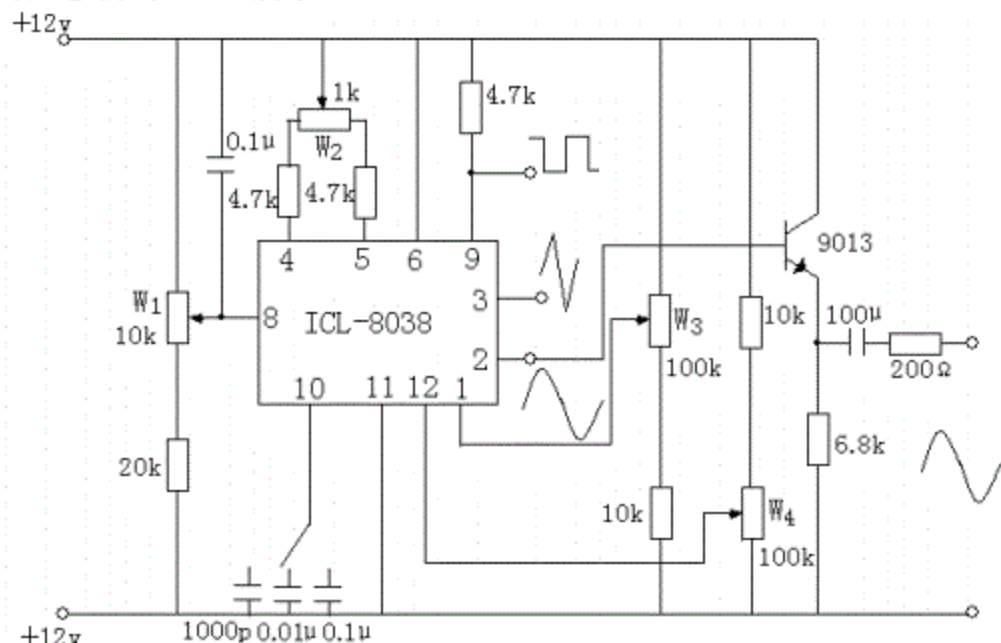


图 23.3 ICL8038 实验电路图

三、实验设备与器件

1. 模拟电路实验箱
2. 双踪示波器
3. 频率计
4. 直流电压表
5. ICL8038、电位器、电阻器、电容器等

四、实验内容

1. 按图 23.3 所示的电路图组装电路，取 $C=0.01\mu f$
2. 调整电路，使其处于振荡，产生方波，通过调整电位器 W_2 ，使方波的占空比达到 50%。
3. 保持方波的占空比为 50% 不变，用示波器观测 8038 正弦波输出端的波形，反复调整 W_3 ， W_4 ，使正弦波不产生明显的失真。
4. 调节电位器 W_1 ，使输出信号从小到大变化，记录管脚 8 的电位及测量输出正弦波的频率，列表记录之。
5. 改变外接电容 C 的值（取 $C=0.1$ 和 $1000P$ ），观测三种输出波形，并与 $C=0.01\mu f$ 时测得的波形作比较，有何结论？
6. 改变电位器 W_2 的值，观测三种输出波形，有何结论？
7. 如有失真度测试仪，则测出 C 分别为 $0.1\mu f$ ， $0.01\mu f$ 和 $1000P$ 时的正弦波失真系数 r 值（一般要求该值小于 3%）。

五、预习要求

1. 翻阅有关 ICL8038 的资料，熟悉管脚的排列及其功能。
2. 如果改变了方波的占空比，试问此时三角波和正弦波输出端将会变成怎样的一个波形？

六、实验报告

-
1. 分别画出 $C=0.1\mu\text{f}$, $C=0.01\mu\text{f}$, 1000P 时所观测到的方波, 三角波和正弦波的波形图, 从中得出什么结论。
 2. 列表整理 C 取不同值时三种波形的频率和幅度值。
 3. 组装、调整函数信号发生器的心得、体会。

实验二十四 电压—频率转换电路

一、实验目的

了解电压—频率转换电路的组成及调试方法

二、实验电路

如图 24.1 所示

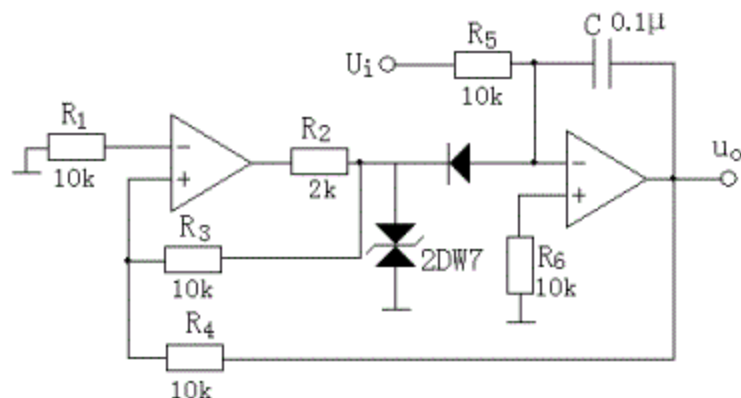


图 24.1 电压—频率转换实验电路

上述电路实际上就是一个方波、锯齿波发生电路，只不过这里是通过改变输入电压 U_i 的大小来改变波形频率，从而将电压参量转换成频率参量。

三、实验设备与器件

1. 模拟电路实验箱
2. 双踪示波器
3. 交流毫伏表
4. 直流电压表
5. 频率计
6. $\mu A741$ 、2DW7、4148 电阻器、电容器若干。

四、实验内容

1. 按图 24.1 接线，用示波器监视 u_o 波形
2. 按下表的内容，测量电路的电压—频率转换关系

	$U_i(V)$	1	2	3	4	5	6
用示波器测量	$T(ms)$						
	$f(Hz)$						
用频率计测量	$f(Hz)$						

五、预习要求

1. 指出图 24.1 中电容器 C 的充电和放电回路。
2. 定性分析用可调电压 U_i 改变 u_o 频率的工作原理。
3. 电阻 R_4 和 R_5 的阻值如何确定？当要求输出信号幅值为 $12U_{p-p}$ ，输入电压值为 3V，输出频率为 3000Hz，计算出 R_4 、 R_5 的值。

六、实验报告

作出电压—频率关系曲线，并讨论其结果。

实验二十五 数显式频率计

一 实验目的

学习了解数字集成电路的应用。

二 实验原理

数显式频率计电路如图所示。IC₄—IC₇ 为十进制加减计数器/译码 /锁存/驱动集成电路 CD40110。CP_U 为加法输入端，当有脉冲输入时，计数器作加法计数；

CP_D 为减法输入端, 当有脉冲输入时, 计数器作减法计数。QC₀ 端为进位输出端, 当计数器作加法计数时, 每计满 10 个数后, QC₀ 端输出一个脉冲, 该脉冲为进位脉冲送入高一位的输入端 CP_U R 端为计数器的清零端。当 R 端加上高电平时, 计数器的输出状态为零, 并使相应的数码管显示“0”值。电路原理如图 25.1 所示。

图 25.1 数显式频率计电路

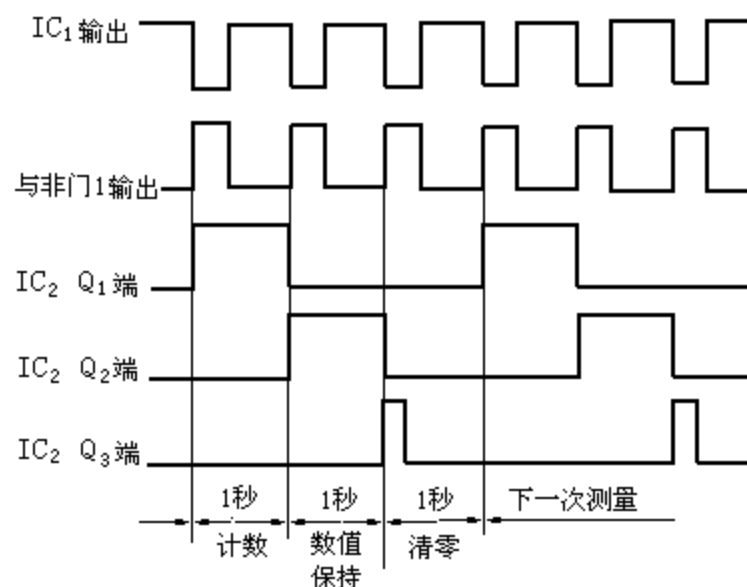


图 25.2 电路波形图

CD40110 功能见表 25.1, 集成块引脚见图 25.3 所示。

输 入					计 数 器	
CP _U	CP _D	$\overline{LD}$	$\overline{CT}$	CR	功 能	显 示
↑	×	L	L	L	加 1	随计数器显示
×	↑	L	L	L	减 1	随计数器显示
↓	↓	×	×	L	保持	保持
×	×	×	×	H	清除	随计数器显示
×	×	×	H	L	禁止	不变
↑	×	H	L	L	加 1	不变
×	↑	H	L	L	减 1	不变

表 25.1

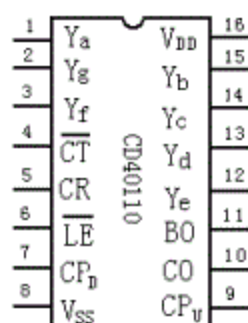


图 25.3

CO: 进位输出

CP_D: 减计数脉冲输入端

CP_U: 加计数脉冲输入端

CR: 清除端

$\overline{CT}$: 计数允许控制端

$\overline{LE}$: 锁存器预置端

V_{DD} : 正电源

V_{SS} : 接地端

Y_a — Y_g : 锁存译码输出端

三 实验器件

数字实验箱

集成电路芯片 7555 4×CD40110 CD4011 CD4017

4×100K、10K、1K、4×300Ω 电阻、100u、1000P

电容若干，二极管 2×1N4148 等。

引脚分配如图 23.4 所示:

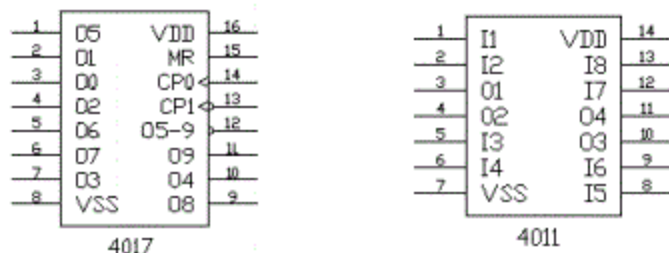


图 25.4

四 实验内容

按电路图搭试并验证。

五 实验预习要求

首先预习读懂电路工作原理，并简述之。

六 实验报告

写出实验体会。

实验二十六 ±12V 双向电压变换器

一 实验目的

1. 学习简单综合电路的搭试。
2. 锻炼实际动手调试的能力。

二 实验原理

双向电压变换器的电路如图 26.1 所示。电路可以将+5V 直流压变换为 $\pm 12\text{V}$ 双向电压。

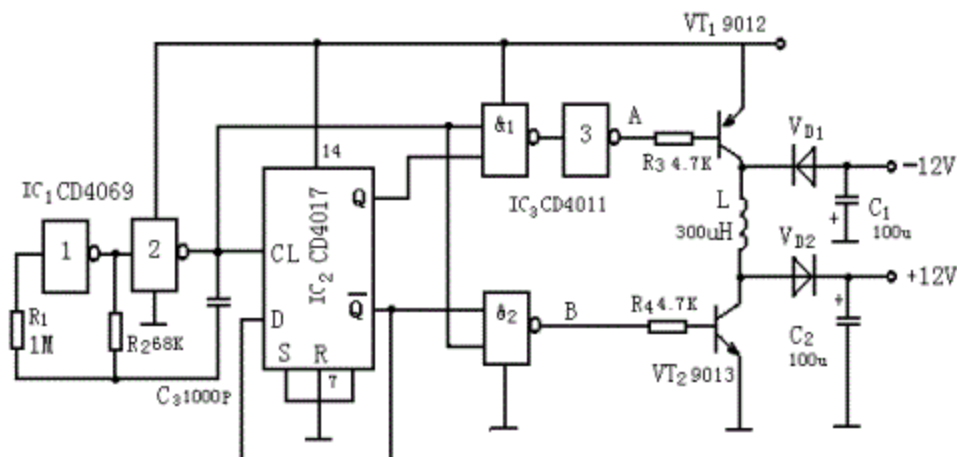


图 26.1 $\pm 12\text{V}$ 双向电压变换器的电路

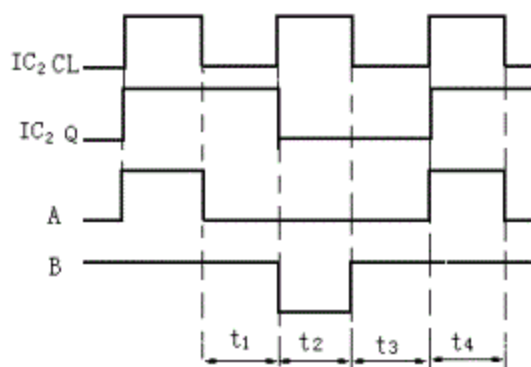


图 26.2 A、B 波形

非门 1、2 组成振荡器，它产生频率为 8KHz ，占空比为 50% 的方波信号。该信号输入给 IC_2 CD4017 触发器的 CL 端，经 IC_2 的二分频，在非门 3 与非门 2 的输出端 A 和 B，便可得到图 24.2 所示的波形，它们在不同的时间有着不同的电平关系，从而形成 VT_1 、 VT_2 工作状态的四个区域。在 t_1 区域， VT_1 和 VT_2 均导通，在 L 上流过一定的电流；在 t_2 区域， VT_1 导通， VT_2 截止，由于 L 上的电流不能突变， t_1 区域段的电流依然维持并通过 VT_1 和 VT_2 流向 C_2 ，在 C_2 上产生正电压；在 t_3 区域， VT_1 和 VT_2 均导通；在 t_4 区域， VT_1 截止， VT_2 导通， t_3 区域段的电流依然维持并通过 VT_2 和 VT_1 向 C_1 充电，因为电流是反向的，所以在 C_2 上产生负电压。

以上过程不断地重复进行，于是在 C_1 和 C_2 上便可得到正负 12V 的电压输出。

三 实验器件

数字实验箱

集成电路芯片

CD4011 CD4017 CD4069

9012 (PNP) 9013 (NPN) 电感: $300\mu\text{H}$

电阻：1M、68K、 $2 \times 4.7K$ ，电容：100u、1000P 若干。
引脚分配如图 26.3 所示：

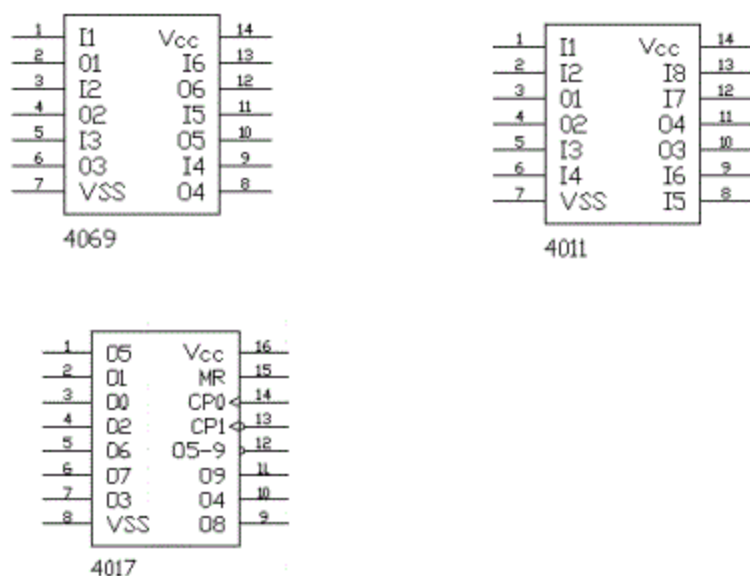


图 26.3

四 实验内容

按电路图搭试电路并验证。

五 实验预习要求

首先预习读懂电路工作原理，并简述之。

六 实验报告

写出实验体会。

附录一 几种常用仪器的使用说明

一、双踪示波器 POS9020

POS9020 型示波器为便携式双通道示波器。本机垂直系统具有 0~20MHz 的

频带宽度和 5mV/DIV~5V/DIV 的偏转灵敏度，配以 10:1 探极，灵敏度可达 50V/DIV。本机在全频带范围内可获得稳定触发，触发方式设有常态、自动、TV 和峰值自动，尤其峰值自动给使用带来极大的方便。内触发设置了交替触发，可以稳定的显示两个频率不相关的信号。本机水平系统具有 0.5S/DIV~0.2mS/DIV 的扫描速度，并设有扩展×10，可将最快扫描速度提高到 20nS/DIV。

1、技术性能

(1) 垂直偏转系统

偏转因数 5mv/DIV~5v/DIV，按 1.2.5 顺序分 10 档。

精度 ±3%

微调范围 ≥2.5:1

上升时间 ≤17.5ns

带宽 (-30dB) DC: 0~20MHz; AC: 10Hz~20MHz

输入阻抗 直接: 1MΩ ±3%, 25pF ±5pF, 经 10:1 探极:

10MΩ ±5%, 10pF ±2pF

最大安全输入电压 400v (DC+AC peak)

垂直方式 CH1, CH2, ALT, CHOP, ADD

(2) 水平偏转系统

扫描时间因数 0.5S/DIV~0.2μS/DIV 按 1.2.5 顺序分 20 档，扩展×10 最快扫描速度 20nS/DIV

精度 ×1: ±3%, ×10: ±8%

微调范围 ≥2.5:1

(3) 触发系统

触 发 灵 敏 度			10MHz	20MHz
	常态或 自动方式	内	1DIV	1.5DIV
		外	0.3v	0.5v
		内	2DIV	
		外	0.5v	

自动方式下限频率 20Hz

外触发输入阻抗 1MΩ, 20pF

外触发输入最大安全电压 160v (DC+AC Peak)

触发源选择 内、外、电源

内触发源选择 CH1, VERTMODE, CH2

触发方式 常态、自动、TV、峰值自动

(4) X—Y 方式

偏转因数 同垂直偏转系统

精度 ±5%

带宽 DC: 0~1MHz; AC: 10Hz~1MHz

相位差 ≤3° (DC~50KHz)

(5) Z 轴系统

灵敏度 5v

频率范围 DC~1MHz

输入电阻 10kΩ

最大安全输入电压 50v (DC+AC Peak)

(6) 校正信号

波形 对称方波

幅度 $0.5\text{V} \pm 2\%$

频率 $1\text{KHz} \pm 2\%$

(7) 示波管

有效工作面 $8 \times 10\text{DIV}$ $1\text{DIV}=10\text{mm}$

加速电压 2000V

发光颜色 绿色

(8) 电源

电压范围 $220\text{V} \pm 10\%$

频率 $50\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$

最大功耗 40W

(9) 物理特性

重量 6.5kg

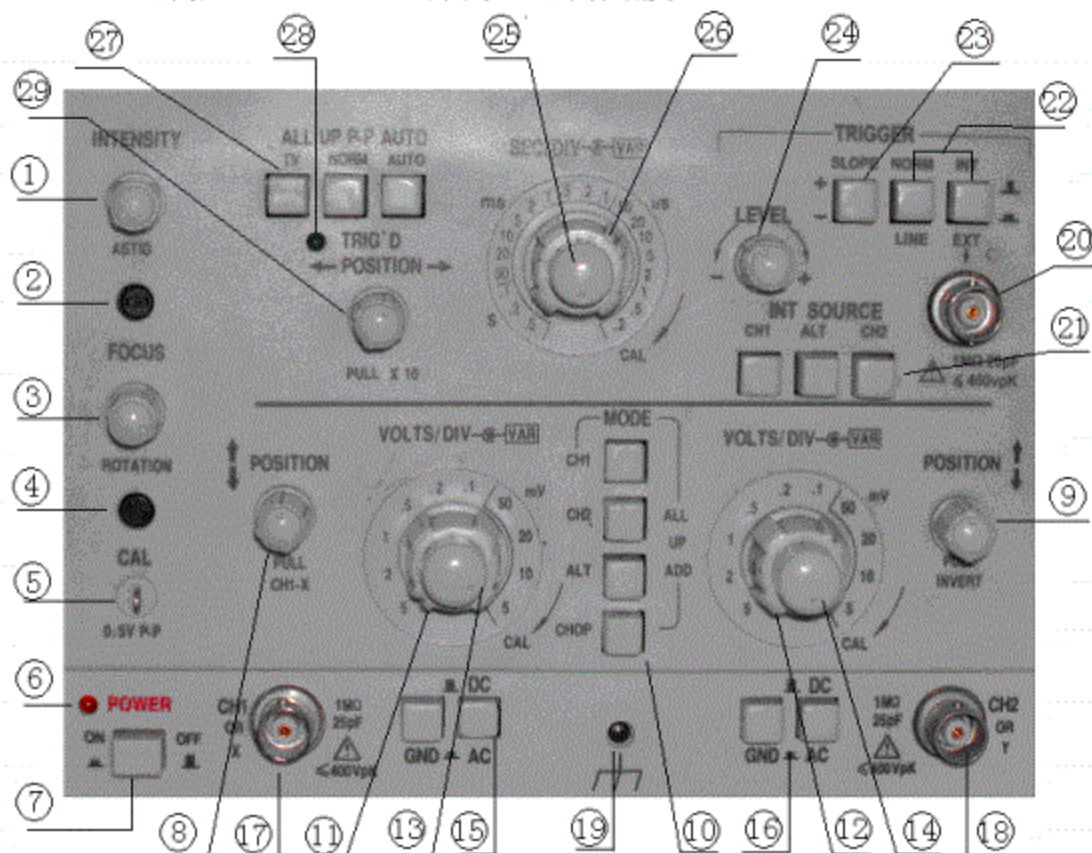
外形尺寸 $310 \times 130 \times 418$ (宽 $\times$ 高 $\times$ 长)

2、操作说明

2.1 控制件位置图见附图 1.1.1

2.2 控制件的作用

- 1) 亮度 (INTEN) 调节光迹的亮度
- 2) 辅助聚焦 (ASTIG) 与聚焦配合, 调节光迹的清晰度
- 3) 聚焦 (FOCUS) 调节光迹的清晰度



附图 1.1.1 前面板控制键位置

- 4) 迹线旋转 (ROTATION) 调节光迹与水平刻度线平行

- 5) 校正信号 (CAL) 提供幅度为 0.5V, 频率为 1KHz 的方波信号, 用于校正 10: 1 探极的补偿电容器和检测示波器垂直与水平的偏转因数
- 6) 电源指示 (POWER INDICATOR) 电源接通时, 灯亮
- 7) 电源开关 (POWER) 电源接通或关闭
- 8) CH1 移位 (POSITION) PULL CH1—X, CH2—Y 调节通道 1 光迹在屏幕上的垂直位置, 用作 X—Y 显示
- 9) CH2 移位 (POSITION) PULL CH1—X, CH2—Y 调节通道 2 光迹在屏幕上的垂直位置, 在 ADD 方式时使 CH1+CH2 或 CH1-CH2
- 10) 垂直方式 (VERT MODE)
CH1 或 CH2: 通道 1 或通道 2 单独显示
ALT: 两个通道交替显示
CHOP: 两个通道断续显示, 用于扫速较慢时的双踪显示
ADD: 用于两个通道的代数和或差
- 11) 电压衰减器 (VOLTS/DIV) 调节垂直偏转灵敏度
- 12) 电压衰减器 (VOLTS/DIV) 调节垂直偏转灵敏度
- 13) 微调 (VARIABLE) 用于连续调节垂直偏转灵敏度, 顺时针旋足为校正位置
- 14) 微调 (VARIABLE) 用于连续调节垂直偏转灵敏度, 顺时针旋足为校正位置
- 15) 耦合方式 (AC—DC—GND) 用于选择被测信号输入垂直通道的耦合方式
- 16) 耦合方式 (AC—DC—GND) 用于选择被测信号输入垂直通道的耦合方式
- 17) CH1 OR X 被测信号的输入插座
- 18) CH2 OR Y 被测信号的输入插座
- 19) 接地 (GND) 与机壳相连的接地端
- 20) 外触发输入 (EXT INPUT) 外触发输入插座
- 21) 内触发源 (INT TRIG SOURCE) 用于选择 CH1、CH2 或交替触发
- 22) 触发源选择 (TRIG SOURCE) 用于选择触发源 INT (内), EXT (外) 或 LINE (电源)
- 23) 触发极性 (SLOPE) 用于选择信号的上升或下降沿触发扫描
- 24) 电平 (LEVEL) 用于调节被测信号在某一电平触发扫描
- 25) 微调 (VARIABLE) 用于连续调节扫描速度, 顺时针旋足为校正位置
- 26) 扫描速率 (SEC/DIV) 用于调节扫描速度
- 27) 触发方式 (TRIG MODE)
常态 (NORM): 无信号时, 屏幕上无显示; 有信号时, 与电平控制配合显示稳定波形
自动 (AUTO): 无信号时, 屏幕上显示光迹; 有信号时, 与电平控制配合显示稳定波形
电视场 (TV): 用于显示电视场信号
峰值自动 (P—P AUTO): 无信号时, 屏幕上显示光迹; 有信号时, 无须调节电平即能得到稳定波形显示

- 28) 触发指示 (TRIG 'D) 在触发扫描时, 指示灯亮
- 29) 水平移位 (POSITION PULL $\times 10$) 调节迹线在屏幕上的水平位置, 拉出时扫描速度扩大 10 倍

2.3 操作方法

2.3.1 电源检查

本示波器电源电压为 $220\pm 10\%$, 接通电源前, 检查电源电压如不符合, 不能打开电源。

2.3.2 面板一般功能检查

(1) 将有关控制件按下表置位

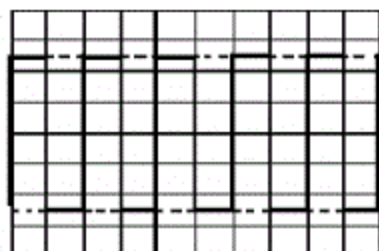
控制件名称	作用位置	控制件名称	作用位置
亮度 (INT)	居中	触发方式	峰值自动
聚焦 (FOCUS)	居中	扫描速率 SEC/DIV	0.5mS
位移 (CH1, CH2, X)	居中	极性 (SLOPE)	正
垂直方式 (MODE)	CH1	触发源	INT
VOLTS/DIV	10mV	内触发源	CH1
微调 (VARIABLE)	校正位置	输入耦合	AC

(2) 接通电源, 电源指示灯亮, 稍候预热, 屏幕上出现光迹, 分别调节亮度、聚焦、辅助聚焦、迹线旋转, 使光迹清晰并与水平刻度平行。

(3) 用 10: 1 探极将校正信号输入至 CH1 输入插座。

(4) 调节 CH1 移位与 X 移位, 使波形与图 3.1 相符合。

(5) 将探极换至 CH2 输入插座, 垂直方式置于 “CH2”, 内触发源置于 “CH2”, 重复 (4) 操作, 得到与附图 1.1.2 相符合的波形。



附图 1.1.2 校正信号波形

2.3.3 亮度控制

调节亮度电位器, 使屏幕显示的光迹亮度适中。一般不要太亮, 以免荧光屏老化, 高亮度的显示一般用于观察低频率的快扫描信号。

2.3.4 垂直系统的操作

(1) 垂直方式的选择

当只需观察一路信号时将 “MODE” 开关置 “CH1” 或 “CH2”, 此时被选中的通道有效, 被测信号可从通道端口输入。当需要同时观察两路信号时, 将 “MODE” 开关置于交替 “ALT”, 该方式使两个通道的信号被交替显示, 交替显示的频率受扫描周期控制。当扫描低于一定频率时, 交替方式显示会出现闪

烁,此时应将开关置于断续“CHOP”位置。当需要观察两路信号代数和时,将“MODE”开关置于“ADD”位置,在选择这种方式时,两个通道的衰减必须一致,CH2移位处于常态时为CH1+CH2,CH2移位拉出时为CH1-CH2。

(2)输入耦合的选择

直流(DC)耦合:适用于观察包含直流分量的被测信号,如信号的逻辑电平和静态信号的直流电平,当被测信号的频率很低时,也必须采用这种方式。

交流(AC)耦合:信号中的直流分量将被隔断,用于观察信号的交流分量,如观察较高直流电平上的小信号。

接地(GND):通道输入端接地(输入信号断开),用于确定输入为零时光迹所处位置。

2.3.5 触发源的选择

(1) 触发源选择

当触发源开关置于电源触发“LINE”,机内50Hz信号输入到触发电路。当触发源开关置于常态触发“NORM”,有两种选择,一种是外触发“EXT”,由面板上外触发输入插座输入触发信号;另一种是内触发“INT”,由内触发源选择开关控制。

(2) 内触发源选择

CH1触发:触发源取自于通道1。

CH2触发:触发源取自于通道2。

VERT MODE触发:当垂直方式开关置于“CH1”时,触发源自动切换到通道1;当垂直方式开关置于“CH2”时,触发源自动切换到通道2;当垂直方式开关置于“ALT”,触发源与通道1、通道2同步切换,在这种状态使用时,两个不相关的信号频率不应相差很大,同时垂直输入耦合方式应置于“AC”,触发方式应置于“AUTO”或“NORM”,当垂直方式开关置于“CHOP”和“ADD”时,内触发源选择应置于“CH1”或“CH2”。

2.3.6 水平系统的操作

(1) 扫描速度的设定

扫描范围从 $0.2\mu\text{S}/\text{DIV}$ ~ $0.5\text{S}/\text{DIV}$ 按1.25进位分20档,微调提供至少2.5倍的连续调节,根据被测信号频率的高低,选择合适的档级,在微调顺时针旋足至校正位置时,可根据开关的示值和波形在水平轴方向上的距离读出被测信号的时间参数,当需要观察波形某一细节时,可进行水平扩展 $\times 10$,此时原波形在水平轴方向上扩展10倍

(2) 触发方式的选择

常态(NORM):无信号输入时,屏幕上无光迹显示;有信号输入时,触发电平调节在适当位置上,电路被触发扫描。当被测信号频率低于20Hz时,必须选择这种方式。

自动(AUTO):无信号输入时,屏幕上有光迹显示;一旦有信号输入时,触发电平调节在适当位置上,电路自动转换到触发扫描状态,显示稳定的波形。当被测信号频率高于20Hz时,最常用这一种方式。

电视场(TV):对电视信号中的场信号进行同步,在这种方式下,被测信号是同步信号为负极性的电视信号,如果是正极性,则可以由CH2输入,借助于CH2移位拉出(PULL INVERT)把正极性转变为负极性后测量。

峰值自动(P-P AUTO):这种方式同自动方式,但无须调节电平即能

同步，它一般使用于正弦波、对称方波或占空比相差不大的脉冲波。对于频率较高的测试信号，有时也要借助于电平调节，它的触发同步灵敏度要比“常态”和“自动”稍低一些。

(3) 极性的选择 (SLOPE)

用于选择被测信号的上升沿或下降沿去触发扫描。

(4) 电平的设置 (LEVEL)

用于调节被测信号在某一合适的电平上启动扫描，当产生触发扫描后，“TRIG'D”指示灯亮。

2.3.7 信号连接

探极操作

POS9020 示波器采用衰减比为 10:1 和 1:1 可转换的探极，为减小探极对被测电路的影响，一般使用 10:1 探极，此时探极的输入阻抗为 $10\text{M}\Omega$ ， 16pF ；衰减比为 1:1 的探极用于观察小信号，但此时输入阻抗已降为 $1\text{M}\Omega$ ，输入电容约为 70pF ，因此在测量时要考虑探极对被测电路的影响和测试的准确性。

为了提高测量精度，探极上的接地和被测电路应尽量采用最短的连接，在频率较低，测量精度不高的情况下，可用前面上接地端和被测电路地连接，以方便测试。

3、示波器测量

3.1 测量前检查

光迹旋转 (TRACE ROTATION)：在正常情况下，屏幕上显示的水平光迹应与水平刻度线平行，但由于地球磁场与其它因素的影响，会使水平迹线产生倾斜，给测量造成误差，因此在测量前应进行下列步骤检查或调整：

- (1) 预置示波器面板上的控制件，使屏幕上获得一根水平扫描线。
- (2) 调节垂直移位使扫描基线处于垂直中心的水平刻度线上。
- (3) 检查扫描基线与水平刻度线是否平行，如不平行，用螺丝刀调整前面板“ROTATION”控制器。

3.2 幅值的测量

3.2.1 峰—峰电压的测量

对被测信号峰—峰电压的测量，步骤如下：

1. 将输入信号输入至 CH1 或 CH2 插座，将垂直方式置于被选用的通道。
2. 设置电压衰减器并观察波形，使被显示的波形在 5 格左右，将微调顺时针旋足（校正位置）。
3. 调节电平使波形稳定（如果峰值自动，无须调节）。
4. 调节扫描控制器，使屏幕显示至少一个波形周期。
5. 调整垂直位移，使波形底部在屏幕某一水平坐标上。
6. 调整水平位移，使波形顶部在屏幕中央的垂直坐标上。
7. 读出垂直方向上两点的格数。
8. 按公式计算电压峰—峰值 (V_{pp})

$$V_{pp} = \text{垂直方向格数} \times \text{垂直偏转因数}$$

例如：附图 1.1.3 中，A—B 两点垂直格数为 5.1 格，使用 1:1 探极的垂直偏转因数为 2V/DIV ，测： $V_{pp} = 2 \times 5.1 = 10.2\text{V}$ 。

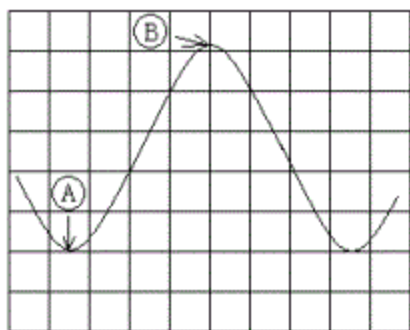


图 1.1.3 峰峰电压的测量

3.2.2 直流电压的测量

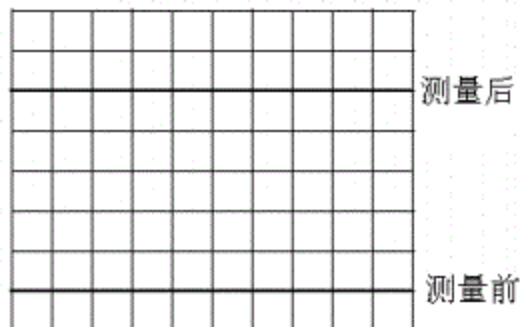
直流电压的测量步骤如下：

1. 设置面板控制器，使屏幕显示一条扫描基线。
2. 设置被选用通道的耦合方式为“GND”。
3. 调节垂直位移，使扫描基线在某一水平坐标上，定义此时电压为零值。
4. 将被测电压输入被选用的通道插座。
5. 将输入耦合置于“DC”，调节电压衰减器，使扫描基线偏移在一个合适的位置上，微调顺时针旋足（校正位置）
6. 读出扫描基线在垂直方向上偏移的格数。
7. 按下列公式计算被测直流电压值

$$V = \text{垂直方向格数} \times \text{垂直偏转因数} \times \text{偏转方向 (+或-)}$$

例如：附图 1.1.4 中，测出扫描基线比原基线上移 5 格，垂直偏转因数 2V/DIV。

$$\text{则 } V = 2 \times 4 \times (+) = 8(V)$$



附图 1.1.4 直流电压测量

3.2.3 代数和迭加

当需要测量两个信号的代数和或差时，可根据下列步骤操作：

1. 设置垂直方式为“ALT”或“CHOP”（可根据信号频率），CH2 移位不要拉出，即 CH2 正极性。
2. 将两个信号分别加入 CH1 和 CH2 输入插座
3. 调节电压衰减器使两个信号的显示幅度适中，调节垂直位移，使两个信号波形处于屏幕中央。
4. 将垂直方式置于“ADD”，即得到两个信号的代数和显示；若需两个信号的代数差，则将 CH2 移位拉出，即可。

3.3 时间测量

3.3.1 时间间隔的测量

对于一个波形中两点间时间间隔的测量，可按如下步骤进行：

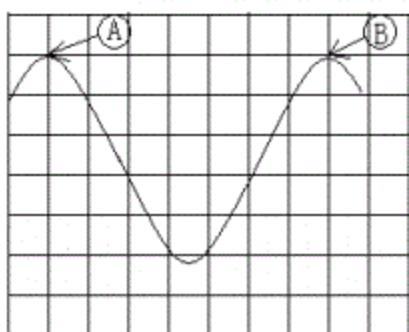
1. 将信号加入 CH1 或 CH2 输入插座，设置垂直方式为被选通道。
2. 调整电平使波形稳定显示（如峰值自动，则无须调节）。
3. 将扫描速度微调顺时针旋足（校正位置），调整扫速控制器，使屏幕上显示 1—2 个信号周期。
4. 分别调整垂直位移和水平位移，使波形中需测量的两点位于屏幕中央水平刻度线上。

5. 测量两点之间的水平刻度，按下列公式计算出时间间隔

时间间隔 (S) = 两点之间水平距离 (格) × 扫描时间因数 (时间/格) / 水平扩展倍数

例：在附图 1.1.5 中，测得 A、B 两点的水平距离为 7 格，扫描时间因数为 $2 \mu\text{S}/\text{DIV}$ ，水平扩展 $\times 1$ ，则：

时间间隔 = $2 \mu\text{S}/\text{DIV} \times 7 / 1 = 14 \mu\text{S}$



附图 1.1.5 时间间隔的测量

3.3.2 周期和频率的测量

由 3.3.1 可知，所测得的时间间隔即为该信号的周期 T，该信号得频率为 $1/T$ 。例如在附图 1.1.5 中 $T = 14 \mu\text{S}$ ，则频率为：

$f = 1/T = 1/14 \mu\text{S} = 71.43\text{kHz}$

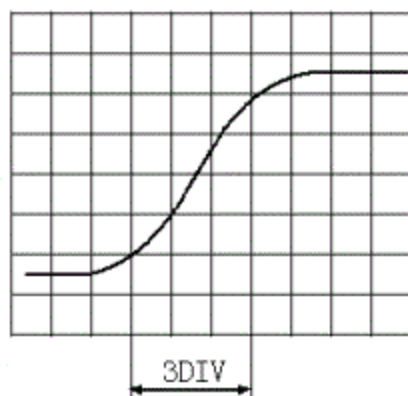
3.3.3 上升或下降时间的测量

3.3.4 上升（或下降）时间的测量方法和时间间隔测量方法一样，只不过是测量被测波形满度的 10% 和 90% 两处之间的水平距离，测量公式为：

上升（或下降）时间 = $\frac{\text{水平距离 (格)} \times \text{扫描时间因数 (时间/格)}}{\text{水平扩展倍数}}$

例：附图 1.1.6 中，波形上升沿的 10% 处至 90% 处的水平距离为 3 格，扫描时间因数 $1 \mu\text{S}/\text{DIV}$ ，水平扩展 $\times 10$ ，根据公式算出：

上升（或下降）时间 = $\frac{1 \mu\text{S} / \text{DIV} \times 3 \text{ DIV}}{10} = 0.3 \mu\text{S}$



附图 1.1.6 上升时间的测量

二、功率函数发生器 EM1643

1、概述

本仪器是一种多功能、6 位数字显示的功率函数发生器。它能直接产生正弦波、三角波、方波、对称可调脉冲波和脉冲波。其中正弦波具有最大为 4.5W 的功率输出。此外仪器还具有 VCF 输入控制、直流电平连续调节和频率计外测频率等功能。仪器外型设计典雅美观，使用操作方便，可应用于学校的教学实验。

2、主要技术指标

参数	型号 1643
波形	正弦波、三角波、方波、脉冲波
频率	0.2HZ——2MHZ
显示	频率计

频率误差 $\leq$	$\pm 1\%$
幅度（最大）	28V _{P-P}
功率 $\geq$	4.5W
衰减器	(-20dB) + (-40 dB)
直流电平	-10V——+10V
占空比	10%——90%
正弦失真	$\leq 2\%$
上升时间 $\leq$	50us

3、仪器面板图见附图 1.2.1

4、仪器面板功能

- 1) 电源开关
- 2) 频率指示
- 3) 占空比调节
- 4) 分档开关：分六个档。
- 5) 调节频率指示：按下时频率指示值为实际值的十分之一。
- 6) 波形选择
- 7) 衰减器
- 8) 外部信号输入端
- 9) 单次控制按钮
- 10) 单次输出
- 11) TTL 输出端
- 12) 功率输出
- 13) 波形输出端
- 14) 频率调节旋钮
- 15) 外部输入信号控制按钮
- 16) 幅度调节旋钮
- 17) 直流偏置控制按钮

三、双通道交流电压表 EM2172

1、概述

EM2172 型毫伏表是一种高性能指针式双通道交流毫伏表。该表采用了高性能电子线路及高可靠性电子元器件，保证了测试的宽量程、高灵敏度，并具有良好的线性和频率特性；采用了先进的光电隔离及磁屏蔽隔离技术，保证了测试的高稳定性。双通道可同时控制或分离控制。可以同时测量实验电路中的两个不同点或两个负载的电压。

2、技术条件

2) 电压测量范围: $300\mu\text{V}\sim 100\text{V}$

3) 测量档位

测量范围分 12 档: 0.3, 1, 3, 10, 100, 300mV, 1, 3, 10, 30, 100V

dB 范围分 12 档:

-70, -60, -50, -40, -30, -20, -10, 0, +10, +20, +30, +40

3) 测量精度: $\pm 3\%$ 满量程

(AT 1kHz OR 400Hz)

4) 频响特性:

10Hz $\sim$ 1MHz $\pm 10\%$

10Hz $\sim$ 500kHz $\pm 5\%$

20Hz $\sim$ 200kHz $\pm 3\%$

(1kHz AS BASE)

5) 输入阻抗

输入电阻: $1\text{M}\Omega$

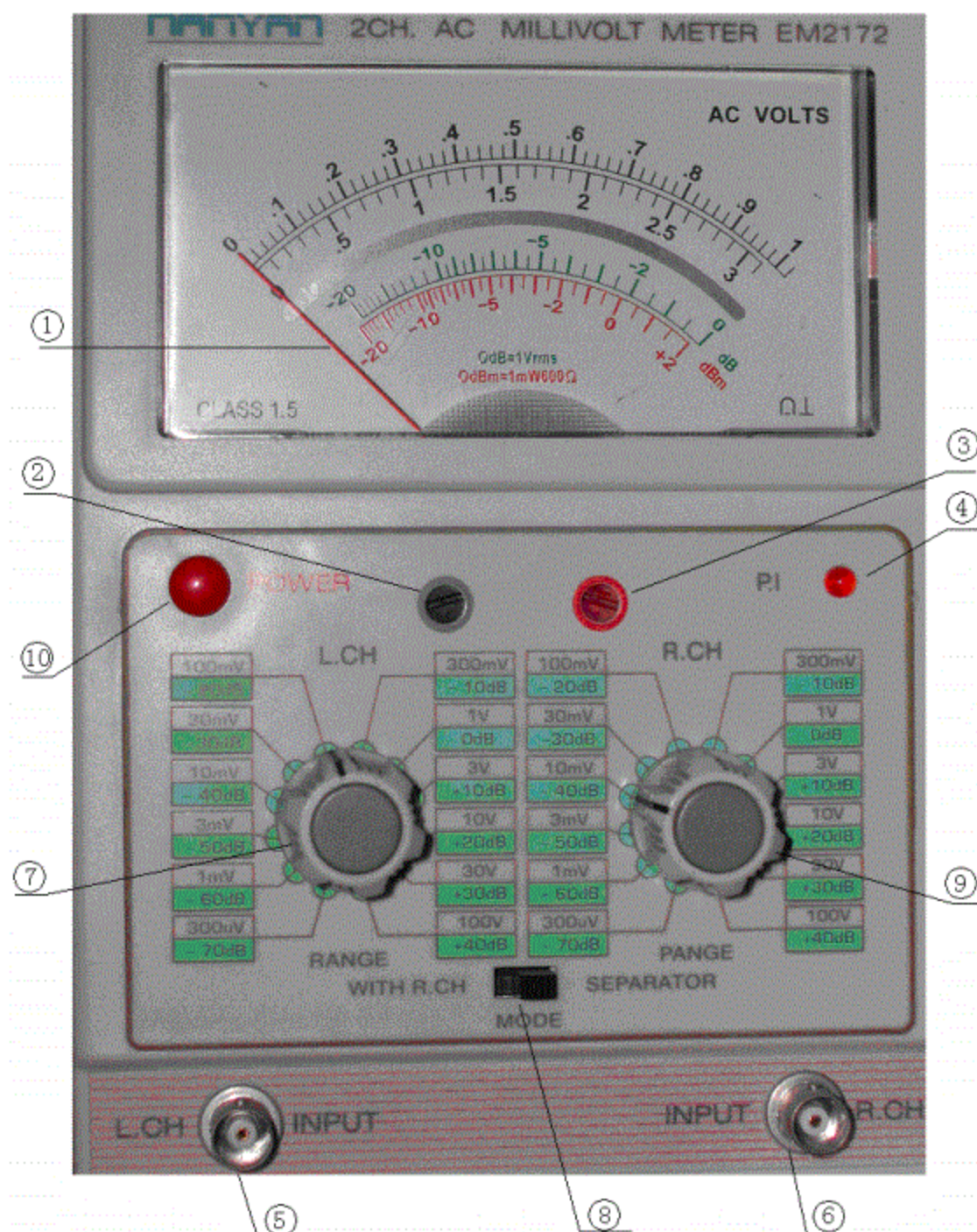
输入电容: 小于 50PF

6) 最大输入电压

AC PEAK + DC = 600 V

7) 噪声: 2% 满量程

3、仪器面板如附图 1.3.1 所示



附图 1.3.1 仪器面板图

4、面板控制说明如下：

- 1) 表头：为一双指针表头，黑指针对应 L.CH 输入，红指针对应 R.CH 输入。
- 2) 3) 指针机械位调整位置：在电源开关关断的情况下，用螺刀调整使指针指零。
- 4) 电源指示灯。
- 5) 6) 左右通道输入插座：被测电压输入插座。
- 7) 9) 左右通道量程开关：12 个档位。
- 8) WITH R.CH/SEPARATOR 开关用于选择毫伏表功能。

a.开关置于 WITH R.CH 位置,此时电压量程是由 R.CH 选择,是使用相同的电压量程控制两个通道的输入测量。

b.开关置于 SEPARATOR 位置,是用 L.CH 选择左通道输入量程, R.CH 选择右通道输入量程。

10) 电源开关。

5、电压测量:

- 1) 左、右通道量程开关应设置在使指针指示在大于 30%满度且小于满度的范围,这样有较高的测试精度。
- 2) 黑指针对应 L.CH INPUT 和 RANGE L.CH, 红指针对应 R.CH INPUT 和 RANGE R.CH。
- 3) 读数时应结合表盘刻度和量程读出。
- 4) 单通道操作时,应将 MODE 置于 SEPARATOR,使用 R.CH 调节量程, L.CH 量程开关应置于最高档位 100V。

6、读数方法:

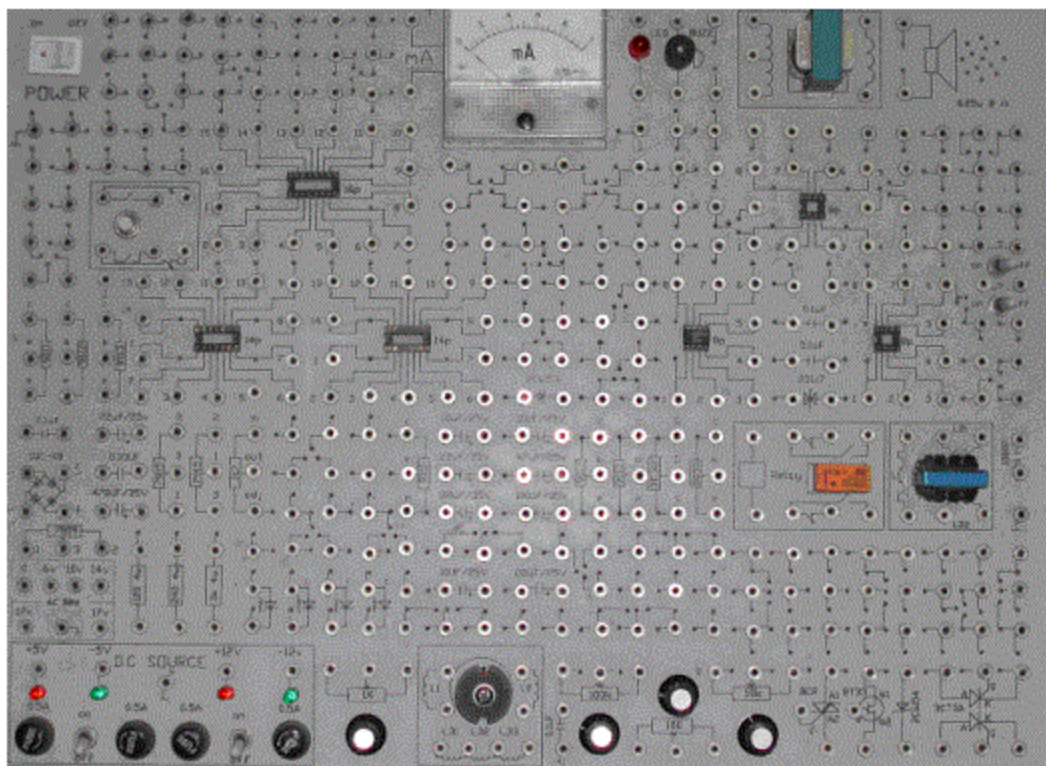
在读取数值时,读取第一或第二条刻度线,凡是档位有 1 读第一条刻度线。例如使用 10v 或 0.1v 档时读取第一条刻度线。凡是有档位有 3 读第二条刻度线。例如使用 30v 或 0.3v 档时读取第二条刻度线。读数时如果指针偏转角度太小,可逆时针旋转量程旋钮,使指针偏转角度变大,重新读数。

7、操作注意事项

- 1) 输入电压极限值:该仪器的最大输入电压是 AC PEAK+DC=600V,不要接入高于此值的电压,否则电路部件可能损坏。
- 2) 当使用输入线路测试时,约 50pF 的电容将跨接到试验电路,锗会影响测试,尤其在高频时。使用较短的测试线可以减小这个电容。
- 3) 为了稳定工作,供电电压波动应保持在标称值的 $\pm 10\%$ 以内。
- 4) 在交流电源接通而仪器暂时不使用时,应置量程开关在高档位,这将避免噪声捡拾并保护毫伏表表头。
- 5) 电压和分贝指示是基于正弦波的平均值,任何正弦波失真将引入误差,其误差值决定输入波形的调制内容。

四、 模拟电路实验箱 THM—1

实验箱装置主要由一块单面敷铜板印刷线路板构成，其正面（非敷铜面）印有清晰的线条、字符，使其功能一目了然。板上设有可靠的各集成块插座、镀银长紫铜针管插座及高可靠、高性能的自锁插件；板上还提供实验必须的直流稳压电源、低压交流电源以及相关的电子、电器元器件等。本实验箱具有实验功能强、资源丰富，使用灵活，接线可靠，操作快捷，维护简单等优点。本实验箱所有的元器件均有较高的可靠性。实验箱面板图见附图 1.4.1。



附图 1.4.1 模拟电路实验箱 THM—1 面板图

一、组成和使用

1. 实验箱的供电

实验箱的后方设有带保险丝管（0.5A）的 220V 单相交流电源三芯插座，箱内设有三只降压变压器，供四路直流稳压电源使用和为实验提供多组低压交流电源使用。

2. 在实验箱的正面印有各元件的图形、线条和字符；反面装有相应的元件。该板面包含以下内容：

1) 正面上方装有电源总开关（POWER，ON/OFF）一只。

2) 高性能双列直插式圆脚插座 6 只（其中 16P 1 只，14P 2 只，8P 3 只）

3) 410 个高可靠的锁紧式、防转、叠插式插座。它们与集成电路插座、镀银针管座以及其它固定器件、线路的连接已设计在电路板上。板正面印有黑线条连接的器件，表示内部（即反面）已经装上器件并连通。这类插件，在插头插入时略加旋转后，即可获得极大的轴向紧锁力，拔出时，只要沿反向略加旋转即可轻松地拔出，而且插头与插头之间可以叠插，从而形成一个立体的布线空间，使用起来极为方便

4) 415 根镀银长紫铜针管插座，供实验时插小型电位器、电阻、电容、二极管及其它电子器件使用（它们与相应的紧锁插座已在印刷线路板一面连通）。

5) 板的反面都已装有与正面符号相对应的电子元器件（如三端稳压器

78××、79××系列、9012、9013 等晶体三极管、二极管、整流桥堆、功率电阻以及可控硅等等元器件)。

6) 装有四只多圈可调的精密电位器 (100 Ω、1k、10k、100k、1W 各一只) 及其它电器, 如继电器 (Reyay), 蜂鸣器 (FUZZ), 发光二极管 (LED), 扬声器 (0.25W, 8 Ω), 振荡线圈, 输出变压器、脉冲变压器、按钮和小型组子开关等等。

7) 满度为 1mA, 内阻为 100 Ω 的直流毫安表一只。

8) 直流稳压电源 (DC SOURCE)

提供±5V, 0.5A 和±12V, 0.5A 四路直流稳压电源, 有相应的电源输出插座及相应的发光二极管指示。四路输出均装有 0.5A 的熔断器作输出保护之用。只要开启电源分开关 ON/OFF, 就有相应的±5V 或±12V 输出指示。

9) 由单独一只降压变压器为实验提供低压交流电源, 在 DC SOURCE 左上方的锁紧插座处输出 6V、10V、14V 及两路 17V 低压交流电源 (AC 50Hz)。只要开启总开关, 就有相应的电压输出。

二、使用时注意事项

1. 使用前应先检查各电源是否正常, 检查步骤为:

1) 开启实验箱上的电源总开关 Power (置于 OFF 端)。

2) 开启直流稳压电源 DC Source 的两组开关 (置于 ON 端), 则与±5V 和±12V 相对应的四只 LED 发光二极管应点亮。

2. 接线前务必熟悉实验板上各元器件的功能、参数及其接线位置, 特别要熟知各集成块插脚引线的排列方式及接线位置。

3. 实验接线前必须断开总电源开关, 严禁带电接线。

4. 接线完毕, 检查无误后, 再插入相应的集成电路芯片才可通电, 也只有断电后, 方可插拔集成芯片。严禁带电插拔芯片。

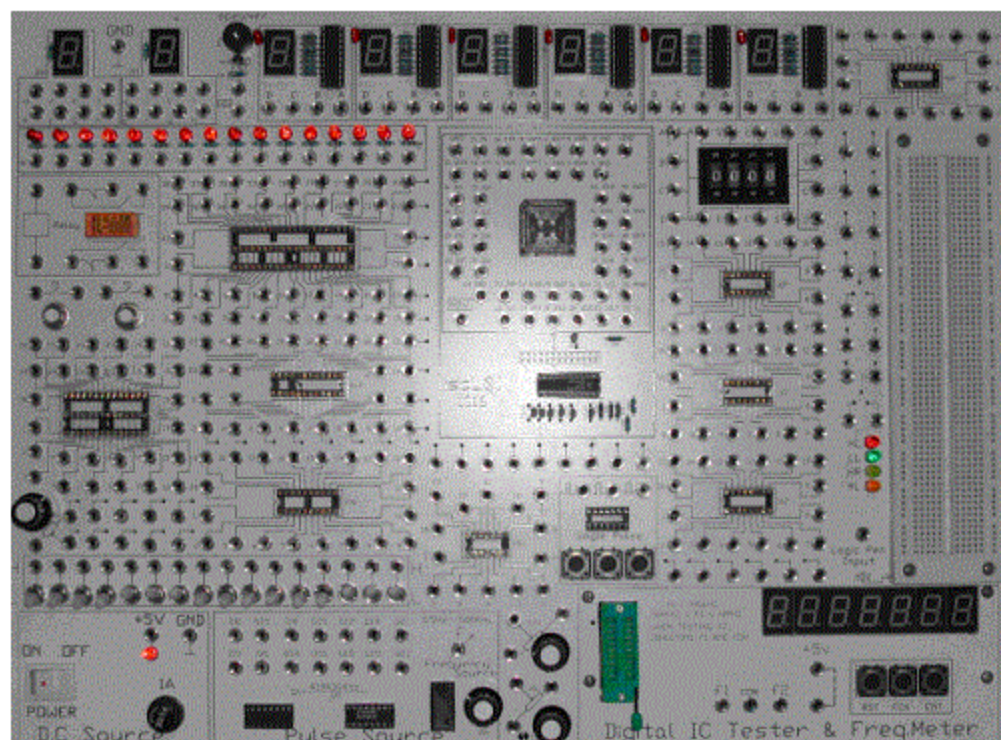
5. 实验始终, 实验板上要保持整洁, 不可随意放置杂物。

6. 实验完毕, 应及时关闭电源开关, 并及时清理实验面板, 整理好连接导线并放置规定位置。

五、数字系统设计实验箱 TH—SZ 型

TH—SZ 型数字系统设计实验箱是根据目前我国“数字电子技术”教学大纲的要求，为配合大专院校学生学习“数字电路”等课程的教学实验课程设计、产品开发以及高层次的数字系统的设计开发实验（包括 ispPLSI 在系统可编程逻辑器件实验）的实验装置。

实验箱面板图见附图 1.5.1。



附图 1.5.1 数字系统实验箱 TH—SZ 型面板图

一、组成和使用

1. 实验箱的供电

实验箱的后方设有带保险丝管（0.5）的 220V 单相电源三芯插座。

2. 两块大型单面敷铜印制线路板,上面丝印有各部件、元器件的图形、线条和字符。该板上包含以下部分内容（简述）：

- (1) 电源总开关
- (2) 高性能双列直插式圆脚集成电路插座 37 只
- (3) 2 只无译码共阴极 LED 数码管
- (4) 6 位十六进制七段译码器与 LED 数码显示器

每一位译码器均采用可编程器件 PAL 设计，具有十六进制全译码功能。显示器采用 LED 共阴极绿色数码管。

- (5) 4 位 BCD 码十进制码拨码开关组。
- (6) 十六个 LED 发光二极管显示器及其电平输入插口

当输入口接高电平时，所对应的 LED 点亮；输入口接低电平时，则熄灭。

- (7) 十六个逻辑开关及相应的开关电平输出插口

当开关拨向“H”时，与之相应对应的输出插孔输出高电平 5V；当开关拨向“L”时，与之相应对应的输出插孔输出低电平 0V。

- (8) 直流稳压电源 DC source

提供+5V/1A 直流稳压电源一路。有相应的电源输出插座及相应的 LED 指示。装有熔断器作短路保护用。只要开启电源总开关 ON/OFF 就有相应的+5V 输出。

实验板上标有“+5V”处，实验时须用导线将+5V 的直流电源引入该处输入插口。

(9) 基准脉冲信号发生器

提供三路防抖键控脉冲信号, 14 个标准频率的方波信号源和一个可用作计数的频率连续可调的脉冲信号源。只要开启电源, 在各个输出插孔即可输出相应的脉冲信号。

A. 三路防抖键控脉冲信号: 每按一次键, 则与之相应的输出插孔即可输出一个正脉冲。

B. 基准脉冲信号源: 是由晶振通过分频电路获得标准频率的方波信号源, 本实验箱设置了 Q_4 、 Q_6 、 Q_8 …… Q_{22} 等共 14 个不同频率的输出插孔, 各输出插孔的频率按下式确定:

$$f_n = \frac{4194304\text{Hz}}{2^n}$$

如 Q_{22} 输出插孔的频率是标准的 1Hz。

C. 频率连续可调的计数脉冲信号源

本信号源能在很宽的范围内 (0.5Hz~500KHz) 调节输出频率, 可用作低频率计数脉冲源; 在中间一段较宽的频率范围则可用作连续可调的方波激励源。

(10) 五功能逻辑笔

它是用可编程逻辑器件 GAL 设计而成, 具有显示五种功能的特点, 要开启电源总开关, 用锁紧线从 “Logic Pen Input” 口接出, 锁紧线的另一端可视为逻辑笔的笔尖, 当笔尖点在电路中的某个测试点, 面板上的 4 个指使灯即可显示出该点的逻辑状态: 高电平 “HL”、低电平 “LL”、中间电平 “ML” 或高阻态 “HR”; 若该点有脉冲输出, 则 4 个指使灯将同时亮, 故有五功能逻辑笔之称。

(11) 多功能智能测试仪

本测试仪是用单片机开发而成的, 其主要功能如下:

- A. 能快速破译集成电路芯片型号。
- B. 可自动列出相同的其他可代用的芯片型号。
- C. 可对集成电路进行动态老化和可靠性检测。

集成电路测试范围为: 74/54LS 系列, 74/54HC/HCT/C 系列, CMOS40××系列, CMOS45××系列及部分常用模拟集成电路, 全部种类达 548 种, 几乎覆盖所有常用的数字集成电路。

- D. 智能化频率测量, 频率测量范围: 1Hz—5MHz。
- E. 周期测量, 周期测量范围: 2 微秒—5 秒, 测量精度: ±1 微秒。
- F. 用作计数器, 对脉冲信号进行计数

本测试仪的显示器采用 7 位共阴极 LDE 数码管。使用方法: 将 +5V 电源接到本测试仪的电源插孔 (按实验板上虚线所示用连接线将 +5V 插口与 +5V 插口连起来), 显示器应显示 “PC” 当按下 “RST” 键后, 也显示 “PC”, 表示已进入测试初始状态。

a. 在显示 “PC” 状态下, 按一下 “ENT” 键, 显示器将显示一闪动的 “正弦曲线” (最后一个数码管显示隐 8 字) 此时只要将集成电路夹于锁紧夹中, 即能显示出该芯片完整的型号, 如 74LS125、CD4046、等, 如有相同功能的其他型号芯片, 将循环显示出本芯片及其他代用芯片的型号。

b. 利用 “a” 使待测芯片放于夹子上一段时间, 这段时间中该芯片的型号显示不变, 则为合格, 否则为不合格, 但应排除同类多型号现象。

操作时应注意: 对于任何功能的实现, 在按 “ENT” 键以前, 不能在锁紧夹上放任何芯片; 放置芯片的规则是将芯片的缺口朝上, 使芯片的第一脚与夹子的第一脚对齐。

c. 在显示 “PC” 状态下, 连续按动 “FCH” 键, 将依次显示如下功能符号:

(74LS、74HC、CD40、CD45、ANG) “F500”、“F1000”、“F5000”、“F10000”、“CCP”、

“COU”，括号内的功能在本装置中未采用。

1、选中“F500”后按“ENT”键，三秒钟后7位显示器全显示“0”，此时进入频率测量状态。将被测信号以“ f_1 ”插口输入，即可对小于350KHz的信号进行频率测量了。所测频率的最低单位为Hz。

2、大于350KHz的频率测量。操作方法同上，只是用键“FCH”选“F1000”、“F5000”、或“F10000”，用来分别测定1M、5M或10M以内的频率。但应注意，此时的被测信号应以“ f_2 ”插口输入，且需用锁紧线将“ f_1 ”插口与“COM”插口连接起来。所测结果的最低单位为Hz。

d. 按“FCH”键至“CCP”，再按“ENT”键，即进入周期测量状态。测量线接线方法与小于350KHz频率测量的方法相同。显示数最低位的单位是微秒。（注意：此功能下，在被测信号输入以前，显示器并不会象测频率那样显示“0”；输入被测信号的频率不应大于500KHz）。

e. 连续按“FCH”键至“COU”，按“ENT”键，即进入计数状态，此时，将脉冲信号输入“ f_1 ”插口，本测试仪即开始对脉冲信号进行计数。再按“EDT”键，测试仪将对脉冲信号进行第二次计数。

(12) 本实验箱还设有ispLSI (1016) 44脚芯片插座（包括资源全开放式实验电路及下载线插座等）。

(13) 实验板上还设有声响信号指示，设有实验用的蜂鸣器（BUZZ）一只，继电器（Relay）一只，多圈电位器3只（10K、47K）碳膜电位器4只（1K、10K、100K、1M）。按键盘2只。

二、使用注意事项

1. 使用前应先检查各电源是否正常，检查步骤为：

(1) 先关闭实验箱的电源开关，然后用随箱的三芯电源线接通实验箱的220V交流电源。

(2) 开启电源总开关，则与直流电源+5V对应的LED应点亮。

(3) 基准脉冲信号发生器的各信号输出插口应有相应的脉冲信号输出。五功能逻辑笔的输入端此时应为高阻态，所以“HR”显示灯应点亮。

(4) 用锁紧线将多功能智能型测试仪处的“+5V”插口与“+5V”插口连接起来，此时，测试仪的显示器应显示“PC”。

(5) 将实验板上方一个“+5V”插口接上“+5V”电源，则6位十六进制7段译码显示器应都显示“F”。

至此，表明实验箱的电源及信号输出等均属正常，可以进入实验。

2. 实验接线前必须先断开总电源与各分电源开关，严禁带电接线。

3. 接线完毕，检查无误后，再插入相应的集成电路芯片方可通电；只有在断电后方可拔下集成电路芯片，严禁带电插拔芯片。

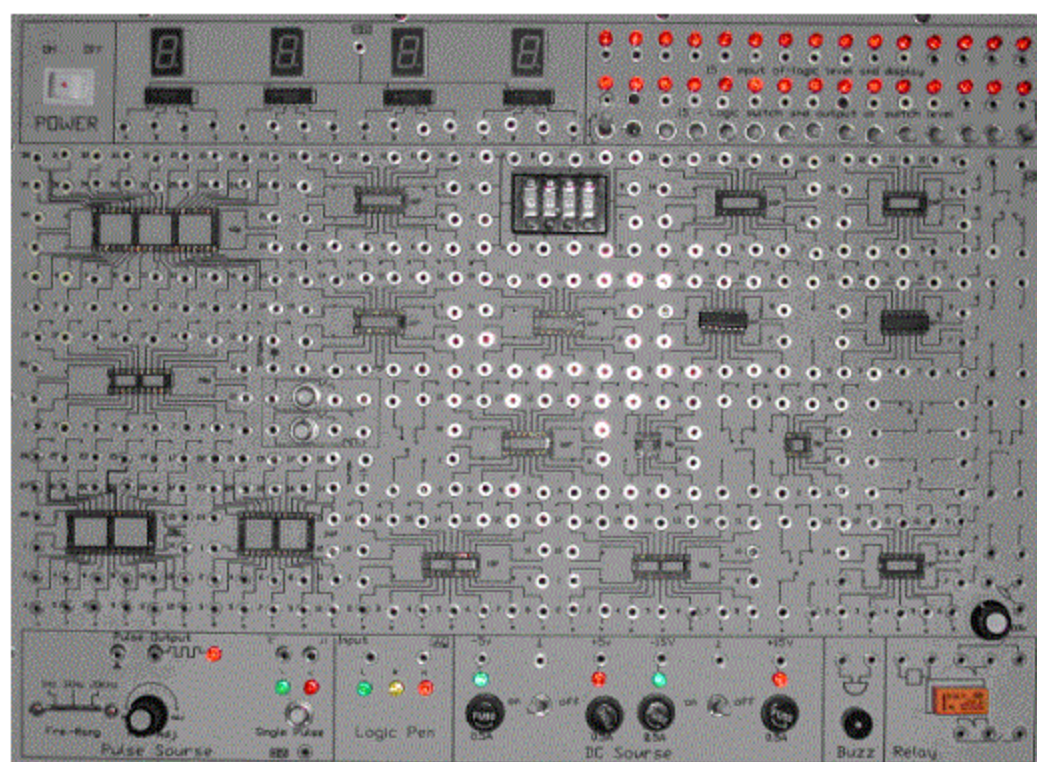
4. 实验始终，板上要保持整洁，不可随意放置杂物，特别是导电的工具和导线等，以免发生短路等故障。

5. 本实验箱上的直流电源及脉冲信号源设计时仅供实验使用，一般不外接其它负载或电路。如作它用，则要注意使用的负载不能超出本电源的使用范围。

6. 实验完毕，及时关闭各电源开关，并清理实验面板。

7. 实验时需用到外部交流供电的仪器，如示波器等，这些仪器的外壳应妥为接地。

*注：附图1.6.2为THD—1型数字系统实验箱面板分布图。



附图 1.6.1 数字系统实验箱 TH—SZ 型面板图

附录二 电路元件的特性和规格

电子电路由无源元件和有源器件组成。无源元件包括电阻器、电容器和电感器，它们只能消耗或储存能量，而不能提供能量。有源器件包括电子管、晶体管和集成电路等，它们能将独立源的能量转换成电路中其它元器件所需要的能量，简言之，它们能提供能量。为了能合理地选择和使用元器件，必须对它们的性能和规格有一个完整的了解。

一、电阻器

1. 电阻器及电位器的命名方法

在选择电阻器时，要查阅手册，寻找符合要求的型号。电阻器的型号由一组字母和数字排列而成，一般分为七个部分，前三部分所表示的具体意义见附表 2.1，第四、五、六和七部分分别用字母或数字表示序号、额定功率、标称阻值和容许误差等级。

附表 2.1 电阻器型号前三部分表示的意义

第一部分 名称		第二部分 材料		第三部分 分类	
符号	意义	符号	意义	符号	意义
R	电阻器	T	碳膜	1	普通
W	电位器	P	硼碳膜	2	普通
		U	硅碳膜	3	超高频
		H	合成膜	4	高阻
		I	玻璃釉膜	5	高温
		J	金属膜	6	精密
		Y	氧化膜	7	精密
		S	有机实芯	8	高压
		N	无机实芯	9	特殊
		X	线绕	G	高功率
		R	热敏	T	可调
		G	光敏	X	小型
		M	压敏	L	测量用
				W	微调
				D	多圈

例如一个标有 **RTX-0.125-5.1k II** 的电阻，表示这是一个小型碳膜电阻，额定功率为 0.125W，电阻标称值为 5.1k Ω ，阻值容许误差等级为 II 级，即 $\pm 10\%$ ，也就是说，这个电阻的实际阻值在 $(5.1-0.51)\text{k}\Omega$ 至 $(5.1+0.51)\text{k}\Omega$ 之间。

电位器的型号与电阻器的型号只有第一个字母不同，其他部分通用。

2. 电阻器的分类

根据电阻器结构的特征，可分为薄膜电阻器、线绕电阻器和热敏电阻器等；从使用功能上可分为固定、可调、半可调电阻器，可调和半可调电阻器又称为电位器。

(1) 薄膜电阻

薄膜电阻是在绝缘材料做的骨架上覆盖上一层导电的碳膜或金属膜而成，在导电膜上刻有控制电阻值大小的螺纹，为了绝缘和防潮；表面涂一层薄漆。

碳膜电阻是使用最广泛的一种电阻，在一般电子线路中都能满足要求。价格便宜，系列值齐全，但允许功率损耗小，误差级别不高，温度系数为负。

金属膜电阻允许功率损耗较大，误差级别高，温度系数有负有正，但价格较高。

(2) 线绕电阻

线绕电阻是将电阻丝绕在绝缘骨架上而成，为保护电阻丝，往往在外面涂上一层耐高温的绝缘层。

线绕电阻的阻值由所用电阻丝的粗细和长度决定，阻值可以做得很精确，稳定性好，允许功率损耗大，但固有电容和电感大，不宜用于高频工作情况。

(3) 电位器

电位器按其电阻体的材料分为碳质、薄膜和线绕三种，性能特点与同样材料的固定电阻器相似，不同的只是电位器有可动触点。

一般电位器的滑动臂只带有一个电阻体，如果带有两个电阻体同时变化，则称为双联电位器。

电位器的阻值和额定功率也是有系列值的，在选用时应加以注意。

(4) 热敏电阻

热敏电阻的电阻值随温度而变，可分为负温度系数和正温度系数热敏电阻两种。

3. 电阻器的主要技术指标

电阻器的主要技术指标有：

(1) 准确度和标称值

(2) 额定功率

(3) 温度系数

(4) 噪声

在一般情况下，主要考虑前两项指标。

4. 电阻器的准确度和标称值

电阻器的准确度用电阻的标称值（电阻器表面所标注的电阻值）与实际值的偏差的百分数来表示。常用电阻器的容许误差等级分为五级，如附表 2.2 所示。

附表 2.2 电阻器容许误差等级

误差等级	005	01	I	II	III
容许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

电阻器的准确度都在电阻器上标明。有的标明误差等级，有的直接标明容许误差的百分数，色环电阻则用最后一道环标明容许误差的等级。

电阻器的标称值是指标准化了的电阻器的电阻值。标称值组成的系列称为标称系列，如附表 2.3 所示。电阻器的标称值必须符合表中所列的数值或所列数值乘以 10^{-n} ， n 为整数。

附表 2.3 电阻器的标称系列

容许误差	系列代号	系列值											
$\pm 5\%$	E ₂₄	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.2
$\pm 10\%$	E ₁₂	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
$\pm 20\%$	E ₆	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						

从附表 2.3 可以看出，标称系列中大部分不是整数。之所以这样规定，是为了保证在同一系列中相邻两个数中较小数的正偏差与较大数的负偏差彼此衔接或有重叠，从而任意阻值的电阻都可以从系列中找到。例如在 E24 系列中，6.2 的正偏差是 $6.2 \times (1+5\%) = 6.51$ ，6.8 的负偏差是 $6.8 \times (1-5\%) = 6.46$ ，在 6.46—6.51 之间有一段重叠。若需要 649 Ω 阻值的电阻，就可以在标称值为 6.2×10^2 和 6.8×10^2 的电阻中挑选出来。

5. 电阻器的准确度和标称值的色环表示法

用色环标注电阻器的准确度和标称值的优点是，电阻被安装在电路中后，从各个角度都能清楚地读出阻值和误差，因而应用较普遍。用色环标注的电阻常被称为“色环电阻”或“色标电阻”。

色环电阻分为四道色环电阻和五道色环电阻，各道色环表示的意义如附表 2.4 和附表 2.5 所示。普通电阻器用四道色环标注法。紧靠电阻器端的为第一色环，其余依次为第二、三、四色环。第一色环表示标称阻值的第一位数字，第二色环表示阻值的第二位数字，第三色环表示这两位数字后应乘的倍率数，第四色环表示阻值的容许误差。也有的普通电阻只有三道色环，这表示该电阻器阻值的容许误差为 $\pm 20\%$ ，附表 2.4 最下一行所列“无色”即表示误差为 $\pm 20\%$ 。

附表 2.4 四色环电阻每道色环表示的意义

色别	第一色环 表示第一数字	第二色环 表示第二数字	第一色环 表示倍数	第一色环 表示容许误差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

附表 2.5 五色环电阻每道色环表示的意义

色别	第一色环 表示第一数字	第二色环 表示第二数字	第一色环 表示倍数	第一色环 表示容许误差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
金			10^{-1}	
银			10^{-2}	

精密电阻器常用五色环标注法。它的第一、二、三色环分别表示标称阻值的前三位数字，第四色环表示这三位数字后应乘的倍率数，第五色环表示阻值的容许误差。

6. 电阻器的额定功率

在标准大气压和一定温度下，电阻器能长期连续负荷而不改变其性能的允许功率称为电阻器的额定功率。选择电阻器的额定功率时，必须使之等于或大于电阻实际消耗的功率，否则长期工作时就会改变电阻的性能或烧毁。

电阻器的额定功率分为 $1/20$ ， $1/8$ ， $1/2$ ， 1 ， 2 ， 4 ， $\dots$ ， 500 等 19 个等级，单位为

W。额定功率一般以数字形式标注在电阻器上，一般电阻器的额定功率越大，体积也越大，额定功率小于 1/8W 的电阻器，由于体积小，往往不标注额定功率。

二、电容器

1. 电容器的型号命名方法

电容器型号的命名方法与电阻器类似，也是由一组字母和数字排列而成，前三部分表示的具体意义如附表 2.6 所示，第三部分数字代表的意义如附表 2.7 所示，第四、五、六和七部分分别表示电容器的序号、耐压、标称容量和容许误差等级。

附表 2.6 电容器型号前三部分表示的意义

第一部分		第二部分		第三部分	
名称		材料		分类	
符号	意义	符号	意义	符号	意义
C	电容	C	高频瓷	1-9 的数字	附见表
		T	低频瓷	T	铁电
		I	玻璃釉	W	微调
		O	玻璃膜	J	金属化
		Y	云母	X	小型
		V	云母纸	S	独石
		Z	纸介	D	低压
		J	金属化纸	M	密封
		B	聚苯乙烯等非有机薄膜	Y	高压
		L	涤纶等极性有机薄膜	C	穿心式
		Q	漆膜	G	高功率
		H	纸膜复合		
		D	铝电容		
		A	钽电容		
		G	金属电解		
		N	铌电解		
		E	其它材料电解		

附表 2.7 电容器第三部分数字代表的意义

种类	1	2	3	4	5	6	8	9
瓷片电容	圆片	管形	叠片	独石	穿心	支柱	高压	
云母电容	非密封	非密封	密封	密封			高压	
有机电容	非密封	非密封	密封	密封	穿心	高压	特殊	
电解电容	箔式	箔式	烧结粉液体	烧结粉固体		无极性		特殊

例如：型号为 CCG1-63V-0.01 μ F 的电容器是一个高功率、高频瓷介电容器，耐压 63V，容量为 0.01 μ F，容许误差等级为 III，即 $\pm 20\%$ 。

2. 电容器的分类

电容器的种类很多。按其容量是否可以调节，分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器；按介质材料的不同，可分为纸介电容器、金属化纸介电容器、薄膜电容器、云母电容器、瓷介电容器、电解电容器等。电解电容器又可分为铝电解、钽电解、金属电解等。

一般来说，电解电容器的电容量较大，有极性（这一点在使用时应特别注意）；纸介和

金属化纸介电容器次之;其他形式的电容器的电容量都较小,无极性。

3. 电容器的主要技术指标

(1) 耐压

电容器的耐压即最大工作直流电压,耐压系列为

6.3, 10, 16, 25, 32*, 40, 5*, 63, 100, 125, 160, 250, 300*, 400, 450., 500. 630, ..., 带“*”者只限电解电容器使用。

(2) 准确度和标称值

电容器的准确度用实际电容量与标称电容量之间的偏差的百分数来表示。电容器的容许误差一般分为七个等级,每个等级对应的容许误差如附表 2.8 所示。

附表 2.8 电容器的误差等级

级别	02	I	II	III	IV	V	VI
容许误差	±2%	±5%	±10%	±20%	+20%	+50%	+100%
					-30%	-20%	-10%

常用固定式电容器的标称容量系列如表 2.9 所列。标称电容量为表中所列数值之一或表中数值再乘以 10 的整数次幂。

附表 2.9 电容量标称系列

名称	允许偏差	容量范围	标称容量系列
纸介电容	±5% ±10% ±20%	100pF~	1.0 1.5 2.2
金属化纸介电容		1 μF	2.3 4.7 6.8
纸膜复合介质电容		1 μF~	1 2 4 6 8
低频(有极性)有机 薄膜介质电容		100 μF	10 15 20 30 50 60 80 100
高频(无极性)有机 薄膜介质电容	±5% ±10% ±20%		E24 E12 E6
瓷片电容 玻璃釉电容 云母电容	±20% 以上		E6
铝、钽、铌、钛电解 电容	±10% ±20% {+50% -20%} {+100% -10%}		1 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8 (容量单位 μF)

电容器容量表示方法一般有直接表示法、数码表示法和色码表示法。具体描述如下:

1. 直接表示法

通常是用表示数量的字母 m (10^{-3})、μ (10^{-6})、n (10^{-9})、和 p (10^{-12}) 加上数字组合表示。例如 4n7 表示 4.7×10^{-9} F=4700pF, 47n 表示 47×10^{-9} F=47000pF=0.047 μF, 6p8 表示 6.8pF。另外,有时在数字前冠以 R, 如 R33, 表示 0.33 μF; 有时用大于 1 的四位数字表示, 单位位 pF, 如 2200 表示 2200pF; 有时用小于 1 的数字表示, 单位为 μF, 如 0.22 为 0.22 μF。

2. 数码表示法

一般用三位数字来表示容量的大小, 单位为 pF。前两位为有效数字, 后一位表示位率, 即乘以 (10^i), i 是第三位数字。若第三位数字为 9, 则乘以 10^{-1} 。如 223 代表

$22 \times 10^3 \text{ pF} = 22000 \text{ pF} = 0.022 \mu\text{F}$ ，又如 479 代表 $47 \times 10^{-1} \text{ pF} = 4.7 \text{ pF}$ 。这种表示方法最为常见。

3. 色码表示法

这种表示方法与电阻器的色环表示法类似，颜色涂于电容器的一端或从顶端向引线侧排列。色码一般只有三种颜色，前两环为有效数字，第三环为位率，单位为 pF。

(3) 绝缘电阻

电容器的绝缘电阻是加到电容器上的直流电压和漏电流的比值。理想电容器的绝缘电阻应为无穷大。电容器的绝缘电阻决定于所用介质的质量和几何尺寸。如果绝缘电阻值低，会使漏电流加大，介质损耗增加，破坏电路的正常工作状态，严重时会造成电容器发热，破坏电介质的特性，导致电容击穿，甚至爆炸。

非电解电容器的绝缘电阻值很大，一般在 $10^6 \sim 10^{12} \Omega$ 。

(4) 损耗

理想电容器是没有能量损耗的，而实际上，在电场的作用下，总有部分电能转化成热能，从而形成损耗。损耗包括金属极板损耗和介质损耗，而小功率电容器主要是介质损耗。

(5) 固有电感和极限工作频率

电容器的固有电感是在高频运用对其影响不能忽略。电容器的技术指标，在一般要求不高的场合，主要考虑第 (1)、(2) 两项指标。

1. 常用电容器

(1) 瓷介电容器

瓷介电容器的主要特点是介质损耗较低，电容量对温度、频率、电压和时间的稳定性都比较好，且价格低廉，应用广泛。瓷介电容器可分为和高压大功率两种。低压小功率电容器有瓷片、瓷管、瓷介独石电容器，主要用于高频、低频电路中。高压大功率瓷片电容器可制成鼓形、瓶形、板形等形式，主要用于电力系统的功率因数补偿、直流功率变换等电路中。

(2) 云母电容器

云母电容器以云母为介质，多层并联而构成。它具有优良的电性能和机械性能，具有耐压范围宽、可靠性高、性能稳定、容量精度高等优点，可广泛用于高温、高频、脉冲、高稳定性电路中。但云母电容器的生产工艺复杂，成本高、体积大、容量有限。

(3) 有机薄膜电容器

有机薄膜电容器最常见有涤纶电容器和聚苯乙烯电容器。涤纶电容器体积小，容量范围大，耐热、耐潮性能好。

(4) 电解电容器

电解电容器的介质是很薄的氧化膜，容量可以做的很大，一般标称容量 $1 \mu\text{F} \sim 1000 \mu\text{F}$ 。电解电容器有正极和负极之分，使用时应保证正极电位高于负极电位；否则电解电容器的漏电流增大，导致电容器过热损坏，甚至爆裂。

电解电容器的损耗比较大，性能受温度影响较大，高频特性较差。电解电容器的品种主要有铝电解电容器、钽电解电容器和铌电解电容器。铝电解电容器价格便宜，容量可以做得比较大，但性能较差，寿命短。一般用在要求不高的去耦、耦合和电源滤波电路中。后两者电解电容的性能要优于铝电解电容器，主要用于温度变化范围大，对频率性能要求高，对产品稳定性、可靠性要求严格的电路中。但这两种电容价格较高。

电容器的种类繁多，性能各异，合理选择电容器是十分重要的。在具体选用电容器时应注意以下问题：1) 根据电路要求选择合适的电容器型号。一般的耦合、旁路，可选用纸介电容器；在高频电路中，应选择云母和瓷片电容器；在电源滤波电路中，应选择电解

电容器。2) 电容器的额定电压。电容器的额定电压应高于电容器两端实际电压的 1~2 倍。尤其对于电解电容器, 一般应使线路的实际电压相当于所选额定电压的 50%~70%, 这样才能发挥电解电容器的作用。3) 电容器的精度等级。对于某些电子电路需要要求高精度的电容器, 例如时间控制等; 而对于大多数电路, 一般没有必要选用高精度电容, 这样可以降低电路成本。4) 电容器的耗损正切角 ($\tan \delta$)。电容器的 $\tan \delta$ 值相差很大, 尤其对高频电路或对信号相位要求严格的电路, 电容器的 $\tan \delta$ 值大小对电路的性能影响较大, 一般希望 $\tan \delta$ 越小越好。

三、电感器

电感器因为使用不够广泛, 因此没有系列化产品。市场上只能买到供在特殊场合下使用的产品, 如收音机中使用的中周变压器、电视机中用的各种电感线圈及在测量上用的标准电感等。使用时, 一般是根据要求自己设计、自己制作或到外面加工定制。

电感线圈是用漆包线或纱包线绕成, 其间可插入铁磁体的一种元件。根据构造不同, 可分为空芯线圈、铁氧体芯线圈、铁芯线圈和铜芯线圈等几种。根据电感量是否可调, 可分为固定式和可调式。

电感器的主要技术指标有:

1. 电感量

电感量由线圈的圈数 N 、截面积 S 、长度 l 、介质磁导率 μ 决定, 当线圈长度甚大于直径时, 电感量为 $L = \mu N^2 S / l$ (H)。

电感量的精确度由用途决定, 一般调谐电路线圈的精确度高, 而耦合线圈、扼流线圈的精确度低。

2. 品质因数

由于线圈存在电阻, 电阻越大性能越差。对具有铁芯的线圈, 将引入插入损耗, 影响线圈的性能。当用在调谐电路中时, 线圈的品质因数决定着调谐电路的谐振特性和效率, 要求它的品质因数约 50—300。耦合线圈的品质因数小得多。作滤波用的线圈, 对品质因数要求不高。

3. 固有电容

电感线圈的圈与圈之间具有分布电容, 在工作频率较高时, 分布电容和损耗将影响线圈的特性, 严重对甚至使其失去电感作用。因此, 固有电容是有害的, 常采用特殊绕法减小固有电容。

四、半导体二极管和三极管

1. 半导体器件型号的命名方法

根据中华人民共和国国家标准, 半导体器件的型号由五部分组成, 各部分所代表的意义如附表 2.10 所示。

附表 2.10 半导体器件的型号及各部分所代表的方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型		用数字表示器件的序号	用汉语拼音字母表示器件的规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管		
		B	P 型锗材料	W	稳压管		
		C	N 型硅材料	Z	整流管		
		D	P 型硅材料	K	开关管		
3	三极管	A	PNP 型锗材料	X	低频小功率		
		B	NPN 型锗材料	G	高频小功率		
		C	PNP 型硅材料	D	低频大功率		

	D	NPN 型硅材料	A	高频大功率		
	E	化合物材料				

例如, 型号为 3AG11C 的三极管为 PNP 型小功率锗材料三极管; 型号为 2DZ16C 的晶体管为硅材料整流二极管。

2. 半导体二极管

2.1 半导体二极管的分类

半导体二极管按其用途分为: 普通二极管和特殊二极管。普通二极管包括整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、快速二极管等; 特殊二极管包括变容二极管、发光二极管、隧道二极管、触发二极管等。

2.2 普通半导体二极管的主要参数

1. 反向饱和电流 I_S

指在二极管两端加入反向电压时, 流过二极管的电流, 该电流与半导体材料和温度有关。在常温下, 硅管为纳安 ($10^{-9}A$) 级, 锗管为微安 ($10^{-6}A$) 级。

2. 额定整流电流 I_F

指二极管长期运行时, 根据允许温升折算出来的平均电流值。目前大功率整流二极管的 I_F 值可达到 1000A。

3. 最大反向工作电压 U_{RM}

指为避免击穿所能加的最大反向电压。目前最高的 U_{RM} 值可达几千伏。

4. 最高工作频率 f_M

由于 PN 结的结电容存在, 当工作频率超过某一值时, 它的单向导电性将变差。点接触式二极管的 f_M 值较高, 在 100MHz 以上; 整流二极管的 f_M 较低, 一般不高于几千赫兹。

5. 反向恢复时间 t_{rr}

指二极管由导通突然反向时, 反向电流由很大衰减到接近 I_S 时所需的时间。对于大功率开关二极管工作在高频状态时, 此项指标很重要。

2.3 几种常用二极管的特点

1. 整流二极管

整流二极管结构主要是平面接触型, 其特点是允许通过的电流比较大, 反向击穿电压比较高, 但 PN 结电容比较大, 一般广泛应用于处理频率不高的电路中。例如整流电路、嵌位电路、保护电路等。整流二极管在使用中主要考虑的问题是最大整流电流和最高反向工作电压应大于实际工作中的值。

2. 快速二极管

快速二极管的工作原理与普通二极管是相同的, 但由于普通二极管工作在开关状态下的反向恢复时间较长, 约 $4\sim 5\mu s$, 不能适应高频开关电路的要求。快速二极管主要应用于高频整流电路、高频开关电源、高频阻容吸收电路、逆变电路等, 其反向恢复时间可达 10ns。快速二极管主要包括肖特基二极管和快恢复二极管。肖特基二极管是由金属与半导体接触形成的势垒层为基础制成的二极管, 其主要特点是正向导通压降小 (约 0.45V), 反向恢复时间短和开关损耗小。但目前肖特基二极管存在的问题是耐压比较低, 反向漏电流比较大。肖特基二极管应用在高频低压电路中, 是比较理想的。快恢复二极管在制造上采用掺金、单纯的扩散等工艺, 可获得较高的开关速度, 同时也能得到较高的耐压。目前快恢复二极管主要应用在逆变电源中作整流元件, 高频电路中的限幅、嵌位等。

3. 稳压二极管

稳压二极管是利用 PN 结反向击穿特性所表现出的稳压性能制成的器件。稳压管的主要

参数有:①稳压值 V_Z 。指当流过稳压管的电流为某一规定值时,稳压管两端的压降。目前各种型号的稳压管其稳压值在 $2\sim 200\text{V}$,以供选择。②电压温度系数 dV_Z/dT 。稳压管的稳压值 V_Z 的温度系数在 V_Z 低于 4V 时为负温度系数值;当 V_Z 的值大于 7V 时,其温度系数为正值;而 V_Z 的值在 6V 左右时,其温度系数近似为零。目前低温度系数的稳压管是由两只稳压管反向串联而成,利用两只稳压管处于正反向工作状态时具有正、负不同的温度系数,可得到很好的温度补偿。例如 $2\text{DW}7$ 型稳压管是稳压值为 $\pm 6\sim 7\text{V}$ 的双向稳压管。③动态电阻 r_Z 。表示稳压管稳压性能的优劣,一般工作电流越大, r_Z 越小。④允许功耗 P_Z 。由稳压管允许达到的温升决定。⑤稳定电流 I_Z 。测试稳压管参数时所加的电流。

稳压管的最主要的用途是稳定电压。在要求精度不高、电流变化范围不大的情况下,可选与需要的稳压值最为接近的稳压管直接同负载并联。在稳压、稳流电源系统中一般作基准电源,也有在集成运放中作为直流电平平移。其存在的缺点是噪声系数较高,稳定性较差。

4. 发光二极管(LED)

发光二极管的伏安特性与普通二极管类似,所不同的是当发光二极管正向偏置时,正向电流达到一定值时能发出某种颜色的光。根据在 PN 结中所掺加的材料不同,发光二极管可发出红、绿、黄、橘及红外光线。在使用发光二极管时应注意两点:一是若用直流电源电压驱动发光二极管时,在电路中一定要串联限流电阻,以防止通过发光二极管的电流过大而烧坏管子,注意发光二极管的正向导通压降为 $1.2\sim 2\text{V}$ (可见光 LED 为 $1.2\sim 2\text{V}$,红外线 LED 为 $1.2\sim 1.6\text{V}$)。二是发光二极管的反向击穿电压比较低,一般仅有几伏。因此当用交流电压驱动 LED 时,可在 LED 两端反极性并联整流二极管,使其反向偏压不超过 0.7V ,以便保护发光二极管。

3. 半导体三极管

3.1 半导体三极管的分类

半导体三极管亦称双极型晶体管,其种类非常多。器件按材料可分为硅管和锗管两类,晶体三极管按导电类型可分为 NPN 型和 PNP 型,按集电结耗散功率的大小可分为小功率管 ($P_{CM}<1\text{W}$) 和大功率管 ($P_{CM}>1\text{W}$);按使用的频率范围可分为低频管 ($f_a<3\text{MHz}$) 和高频管 ($f_a>3\text{MHz}$)。

3.2 半导体三极管的主要参数

共射电流放大系数 β 。 β 值一般在 $20\sim 200$,它是表征三极管电流放大作用的最主要的参数。

反向击穿电压值 $U_{(BR)CE0}$ 。指基极开路时加在 c、e 两端电压的最大允许值,一般为几十伏,高压大功率管可达千伏以上。

最大集电极电流 I_{CM} 。指由于三极管集电极电流 I_C 过大使 β 值下降到规定允许值时的电流(一般指 β 值下降到 $2/3$ 正常值时的 I_C 值)。实际管子在工作时超过 I_{CM} 并不一定损坏,但管子的性能将变差。

最大管耗 P_{CM} 。指根据三极管允许的最高结温而定出的集电结最大允许耗散功率。在实际工作中三极管的 I_C 与 U_{CE} 的乘积要小于 P_{CM} 值,反之则可能烧坏管子。

穿透电流 I_{CEO} 。指在三极管基极电流 $I_B=0$ 时,流过集电极的电流 I_C 。它表明基极对集电极电流失控的程度。小功率硅管的 I_{CEO} 约为 $0.1\mu\text{A}$,锗管的值要比它大 1000 倍,大功率硅管的 I_{CEO} 约为 mA 数量级。

特征频率 f_T 。指三极管的 β 值下降到 1 时所对应的工作频率。 f_T 的典型值约在

$100\sim 1000\text{MHz}$ 之间,实际工作频率 $f < \frac{1}{3}f_T$ 。

4. 几种常用半导体三极管的性能

4.1 常用小功率半导体三极管

常用小功率半导体三极管的特性见附表 2.11 所示。

型号	极限参数			直流参数			交流参数		类型	
	P_{CM} (mW)	I_{CM} (mA)	$V_{CEO}^{(BR)}$ (V)	I_{CEO} (μA)	$V_{CE(sat)}$ (V)	β	f_T (MHz)	C_{ob} (pF)		
CS9011	300	100	18	0.05	0.3	28	150	3.5	NPN	
E						39				
F						54				
G						72				
H						97				
I						132				
CS9012	600	500	25	0.5	0.6	64	150		PNP	
E						78				
F						96				
G						118				
H						144				
CS9013	400	500	25	0.5	0.6	60	150		NPN	
E						60				
F						100				
G						200				
H						400				
CS9014	300	100	18	0.05	0.3	60			NPN	
A						60				
B						100				
C						200				
D						400				
CS9015	310 600	100	18	0.05	0.5	60	50	6	PNP	
A					0.7	60	100			
B						100				
C						200				
D						400				
CS9015	310	25	20	0.05	0.3	28~97	500		NPN	
CS9015	310	100	12	0.05	0.5	28~72	600	2	NPN	
CS9015	310	100	12	0.05	0.5	28~72	700		NPN	
8050	1000	1500	25			85~300	100		NPN	
8550	1000	1500	25			85~300	100		PNP	

附表 2.11 常用小功率半导体三极管的特性见

4.2 常用大功率半导体三极管

大功率三极管具有输出功率大、反向耐压高等特点，主要用于功率放大、电源变换、低频开关等电路中。常用的大功率三极管型号及特性见附表 2.12 所示。

型号		极限参数			直流参数	交流参数
NPN	PNP	P_{CM} (W)	I_{CM} (A)	$V_{(BR)CEO}$ (V)	β	f_T (MHz)
2N2758	2N6226	150	6	100	25~100	1
2N2759	2N6227			120	20~80	

2N2760	2N6228			140	15~60	
2N6058	2N8053	100	8	60	≥ 1000	4
2N8058	2N2754			80		
2N3713	2N3789	150	10	60	≥ 15	4
2N3714	2N3790			80		
2N5832	2N6228			100	25~100	1
2N5633	2N6230			120	20~80	
2N5634	2N6231			140	15~60	
2N6282	2N6285	60	20	60	750~18k	4
2N5303	2N5745	140		80	15~60	200
2N6284	2N6287	160		100	750~18k	4
2N5031	2N4398	200	30	40	15~60	2
2N5032	2N4399			60		
2N6327	2N6330			80	6~30	3
2N6328	2N6331			100		

附表 2.12 常用的大功率三极管型号及特性

5. 使用半导体三极管应注意的事项

(1)使用三极管时，不得有两项以上的参数同时达到极限值。

(2)焊接时，应使用低熔点焊锡。管脚引线不应短于 10mm，焊接动作要快，每根引脚焊接时间不应超过两秒。

(3)三极管在焊入电路时，应先接通基极，再接入发射极，最后接入集电极。拆下时，应按相反次序，以免烧坏管子。在电路通电的情况下，不得断开基极引线，以免损坏管子。

(4)使用三极管时，要固定好，以免因振动而发生短路或接触不良，并且不应靠近发热元件。

(5)功率三极管应加装有足够大的散热器。

五、数字集成电路

5.1 数字集成电路的分类与特点

数字集成电路有双极型集成电路(如 TTL、ECL)和单极型集成电路(如 CMOS)两大类，每类中又包含有不同的系列品种。

5.1.1 TTL 数字集成电路

这类集成电路内部输入级和输出级都是晶体管结构，属于双极型数字集成电路。其主要系列有：

1. 74—系列

这是早期的产品，现仍在使用，但正逐渐被淘汰。

2. 74H—系列

这是 74—系列的改进型，属于高速 TTL 产品。其“与非门”的平均传输时间达 10ns 左右，但电路的静态功耗较大，目前该系列产品使用越来越少，逐渐被淘汰。

3. 74S—系列

这是 TTL 的高速型肖特基系列。在该系列中，采用了抗饱和肖特基二极管，速度较高，但品种较少。

4. 74LS—系列

这是当前 TTL 类型中的主要产品系列。品种和生产厂家都非常多。性能价格比比较高，目前在中小规模电路中应用非常普遍。

5. 74ALS—系列

这是“先进的低功耗肖特基”系列。属于 74LS—系列的后续产品，速度(典型值为 4ns)、

功耗(典型值为 1mW)等方面都有较大的改进,但价格比较高。

6. 74AS—系列

这是 74 S—系列的后继产品,尤其速度(典型值为 1.5ns)有显著的提高,又称“先进超高速肖特基”系列。

总之,TTL 系列产品向着低功耗、高速度方向发展。其主要特点为:

- 不同系列同型号器件管脚排列完全兼容。
- 参数稳定,使用可靠。
- 噪声容限高达数百毫伏。
- 输入端一般有钳位二极管,减少了反射干扰的影响。输出电阻低,带容性负载能力强。

- 采用+5V 电源供电。

5.2 CMOS 集成电路

CMOS 数字集成电路是利用 NMOS 管和 PMOS 管巧妙组合成的电路,属于一种低功耗的数字集成电路。主要系列有:

1. 标准型 4000B/4500B 系列

该系列是以美国 RCA 公司的 CD4000B 系列和 CD4500B 系列制定的,与美国 Motorola 公司的 MC14000B 系列和 MC14500B 系列产品完全兼容。该系列产品的最大特点是工作电源电压范围宽(3~18V)、功耗最小、速度较低、品种多、价格低廉,是目前 CMOS 集成电路的主要应用产品。

2. 74HC—系列

54/74HC—系列是高速 CMOS 标准逻辑电路系列,具有与 74LS—系列同等的工作度和 CMOS 集成电路固有的低功耗及电源电压范围宽等特点。74HCxxx 是 74LSxxx 同序号的翻版,型号最后几位数字相同,表示电路的逻辑功能、管脚排列完全兼容,为用 74HC 替代 74LS 提供了方便。

3. 74AC—系列

该系列又称“先进的 CMOS 集成电路”,54/74AC 系列具有与 74AS 系列等同的工作速度和与 CMOS 集成电路固有的低功耗及电源电压范围宽等特点。

CMOS 集成电路的主要特点有:

- (1)具有非常低的静态功耗。在电源电压 $V_{CC}=5V$ 时,中规模集成电路的静态功耗小于 $100\mu W$ 。
- (2)具有非常高的输入阻抗。正常工作的 CMOS 集成电路,其输入保护二极管处于反偏状态,直流输入阻抗大于 $100M\Omega$ 。
- (3)宽的电源电压范围。CMOS 集成电路标准 4000B/4500B 系列产品的电源电压为 3~18V。
- (4)扇出能力强。在低频工作时,一个输出端可驱动 CMOS 器件 50 个以上输入端。
- (5)抗干扰能力强。CMOS 集成电路的电压噪声容限可达电源电压值的 45%,且高电平和低电平的噪声容限值基本相等。
- (6)逻辑摆幅大。CMOS 电路在空载时,输出高电平 $V_{OH}\geq V_{CC}-0.05V$,输出低电平 $V_{OL}\leq 0.05V$ 。

5.3 数字集成电路的应用要点

5.3.1 数字集成电路使用中注意事项

在使用集成电路时,为了不损坏器件,充分发挥集成电路的应有性能,应注意以下问题。

1. 仔细认真查阅使用器件型号的资料

对于要使用的集成电路，首先要根据手册查出该型号器件的资料，注意器件的管脚排列图接线，按参数表给出的参数规范使用，在使用中，不得超过最大额定值（如电源电压、环境温度、输出电流等），否则将损坏器件。

2. 注意电源电压的稳定性

为了保证电路的稳定性，供电电源的质量一定要好，要稳压。在电源的引线端并联大的滤波电容，以避免由于电源通断的瞬间而产生冲击电压。更注意不要将电源的极性接反，否则将会损坏器件。

3. 采用合适的方法焊接集成电路

在需要弯曲管脚引线时，不要靠近根部弯曲。焊接前不允许用刀刮去引线上的镀金层，焊接所用的烙铁功率不应超过 25W，焊接时间不应过长。焊接时最好选用中性焊剂。焊接后严禁将器件连同印制线路板放入有机溶液中浸泡。

4. 注意设计工艺，增强抗干扰措施

在设计印刷线路板时，应避免引线过长，以防止窜扰和对信号传输延迟。此外要把电源线设计的宽些，地线要进行大面积接地，这样可减少接地噪声干扰。

另外，由于电路在转换工作的瞬间会产生很大的尖峰电流，此电流峰值超过功耗电流几倍到几十倍，这会导致电源电压不稳定，产生干扰造成电路误动作。为了减小这类干扰，可以在集成电路的电源端与地端之间，并接高频特性好的去耦电容，一般在每片集成电路并接一个，电容的取值为 $30\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ ；此外在电源的进线处，还应对地并接一个低频去耦电容，最好用 $10 \sim 50\mu\text{F}$ 的钽电容。

5.3.2 TTL 集成电路使用应注意的问题

1. 正确选择电源电压

TTL 集成电路的电源电压允许变化范围比较窄，一般在 $4.5\text{V} \sim 5.5\text{V}$ 之间。在使用时更不能将电源与地颠倒接错，否则将会因为过大电流而造成器件损坏。

2. TTL 集成电路的各个输入端不能直接与高于 $+5.5\text{V}$ 和低于 -0.5V 的低内阻电源连接。对多余的输入端最好不要悬空。虽然悬空相当于高电平，并不影响“与门、与非门”的逻辑关系，但悬空容易接受干扰，有时会造成电路的误动作。因此，多余输入端要根据实际需要作适当处理。例如“与门、与非门”的多余输入端可直接接到电源 V_{CC} 上；也可将不同的输入端共用一个电阻连接到 V_{CC} 上；或将多余的输入端并联使用。对于“或门、或非门”的多余输入端应直接接地。

对于触发器等中规模集成电路来说，不使用的输入端不能悬空，应根据逻辑功能接入适当电平。

3. 对于输出端的处理

除“三态门、集电极开路门”外，TTL 集成电路的输出端不允许并联使用。如果将几个“集电极开路门”电路的输出端并联，实现线与功能时，应在输出端与电源之间接入一个计算好的上拉电阻。

集成门电路的输出更不允许与电源或地短路，否则可能造成器件损坏。

5.3.3 CMOS 集成电路使用应注意的问题

1. 正确选择电源

由于 CMOS 集成电路的工作电源电压范围比较宽(CD4000R/4500B: $3 \sim 18\text{V}$)，选择电源电压时首先考虑要避免超过极限电源电压。其次要注意电源电压的高低将影响电路的工作频率。降低电源电压会引起电路工作频率下降或增加传输延迟时间。例如 CMOS 触发器，当 V_{CC} 由 $+15\text{V}$ 下降到 $+3\text{V}$ 时，其最高频率将从 10MHz 下降到几十 kHz 。

此外，提高电源电压可以提高 CMOS 门电路的噪声容限，从而提高电路系统的抗干扰能力。但电源电压选的越高，电路的功耗越大。不过由于 CMOS 电路的功耗较小，功耗问

题不是主要考虑的设计指标。

2. 防止 CMOS 电路出现可控硅效应的措施

当 CMOS 电路输入端施加的电压过高(大于电源电压)或过低(小于 0V), 或者电源电压突然变化时, 电源电流可能会迅速增大, 烧坏器件, 这种现象称为可控硅效应。预防可控硅效应的措施主要有:

(1)输入端信号幅度不能大于 V_{CC} 和小于 0V。

(2)要消除电源上的干扰。

(3)在条件允许的情况下, 尽可能降低电源电压。如果电路工作频率比较低, 用+5V 电源供电最好。

(4)对使用的电源加限流措施, 使电源电流被限制在 30mA 以内。

3. 对输入端的处理

在使用 CMOS 电路器件时, 对输入端一般要求如下:

(1)应保证输入信号幅值不超过 CMOS 电路的电源电压。即满足 $V_{SS} \leq V_I \leq V_{CC}$, 一般 $V_{SS}=0V$ 。

(2)输入脉冲信号的上升和下降时间一般应小于数 μS , 否则电路工作不稳定或损坏器件。

(3)所有不用的输入端不能悬空, 应根据实际要求接入适当的电压 (V_{CC} 或 0V), 由于 CMOS 集成电路输入阻抗极高, 一旦输入端悬空, 极易受外界噪声影响, 从而破坏了电路的正常逻辑关系, 也可能感应静电, 造成栅极被击穿。

4. 对输出端的处理

(1)CMOS 电路的输出端不能直接连到一起。否则导通的 P 沟道 MOS 场效应管和导通的 N 沟道 MOS 场效应管形成低阻通路, 造成电源短路。

(2)在 CMOS 逻辑系统设计中, 应尽量减少电容负载。电容负载会降低 CMOS 集成电路的工作速度和增加功耗。

(3)CMOC 电路在特定条件下可以并联使用。当同一芯片上 2 个以上同样器件并联使用(例如各种门电路)时, 可增大输出灌电流和拉电流负载能力, 同样也提高了电路的速度。但器件的输出端并联, 输入端也必须并联。

(4)从 CMOS 器件的输出驱动电流大小来看, CMOS 电路的驱动能力比 TTL 电路要差很多, 一般 CMOS 器件的输出只能驱动一个 LS-TTL 负载。但从驱动和它本身相同的负载来看, CMOS 的扇出系数比 TTL 电路大的多(CMOS 的扇出系数 ≥ 500), CMOS 电路驱动其他负载, 一般要外加一级驱动器接口电路。

5.4 半导体集成电路型号命名

1. 国产半导体集成电路型号命名法 (GB3430—82)

本标准适用于按半导体集成电路系列和品种的国家标准所生产的半导体集成电路(以下简称器件)。

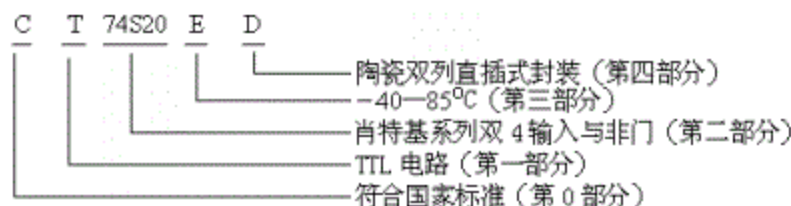
器件的型号由五部分组成, 其五个组成部分的符号及意义见附表 2.13:

第零部分		第一部分		第二部分	第三部分		第四部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件的类型		用阿拉伯数字和字母表示器件的系列和品种代号	用字母表示器件的工作温度范围类型		用字母表示器件的封装形式	
符号	意义	符号	意义		符号	意义	符号	意义

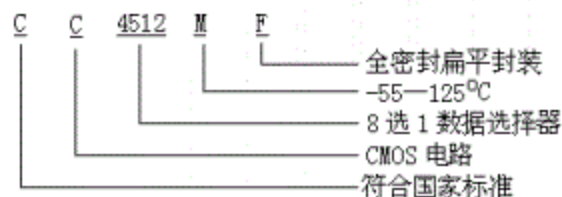
C	中国 制造	T H E C F D W J B M U	TTL HTL ECL CMOS 线性放大器 音响、电视电 路 稳压器 接口电路 非线性电路 存储器 微型电路		C E R M	0~70℃ -40~85℃ -55~85℃ -55~125℃	W B F D P J K T	陶瓷扁平 塑料扁平 全密封扁平 陶瓷直插 塑料直插 黑陶瓷扁平 金属菱形 金属圆形
---	----------	---	--	--	------------------	---	--------------------------------------	--

附表 2.13

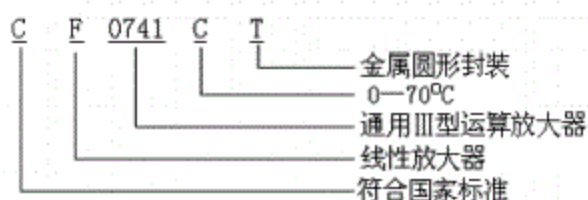
例 1: 肖特基 TTL 双 4 输入与非门



例 2: CMOS 8 选 1 数据选择器 (三态输出)



例 3: 通用运算放大器



2. 国外 TTL 集成电路产品型号命名规则

例: SN 74 (54) LS 08 J

① ② ③ ④ ⑤

说明:

- ① SN: 表示美国德克萨斯公司 (TEXAS) 的标准 TTL 电路;
MC: 表示 MOTOROLA 公司, HD: 日本日立公司等。
- ② 表示工作温度范围 54: -55~+125℃; 74: 0~+70℃。
- ③ 表示系列 例: ALS: 先进的低功耗肖特基 LS: 低功耗肖特基
- ④ 表示品种代号 08: 四重 2 输入与门。138: 译码器。

⑤表示封装材料及封装形式:

J: 陶瓷双列直插式

N: 塑料双列直插式

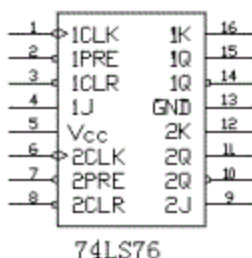
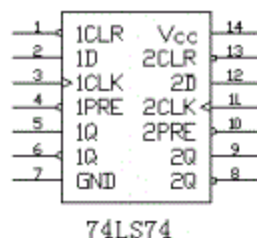
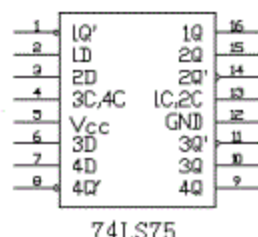
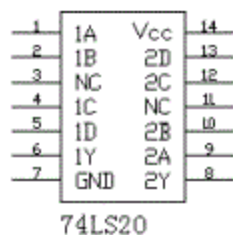
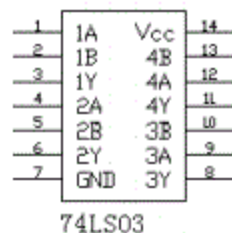
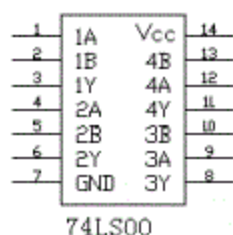
T: 金属扁平形

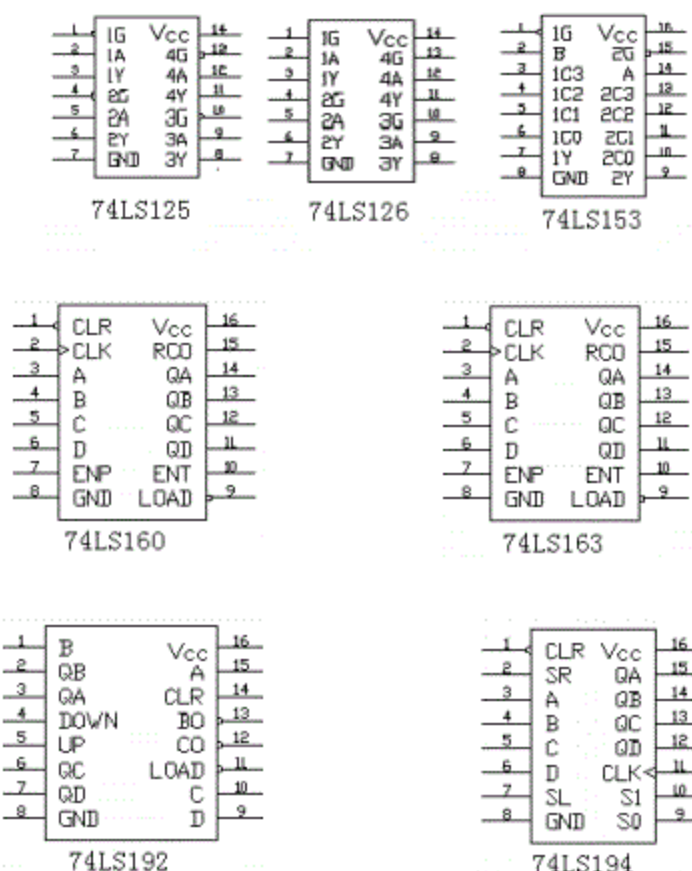
W: 陶瓷扁平形

5.5 部分集成电路引脚排列

1) 74LS 系列 (部分集成电路引脚排列见附图 2.1)

74LS00	四 2 输入与非门	74LS03	OC 门 (四 2 输入与非门)
74LS04	六反相器	74LS20	二双 4 输入与非门
74LS32	四 2 输入或门	74LS74	双 D 触发器
74LS75	四 D 锁存器	74LS76	双 JK 触发器
74LS125	四三态缓冲器	74LS126	四三态缓冲器
74LS138	3 线—8 线译码器	74LS160	同步十进制计数器
74LS163	同步二进制计数器	74LS153	双 4 选 1 数据选择器
74LS192	同步十进制可逆计数器	74LS194	4 位双向移位寄存器



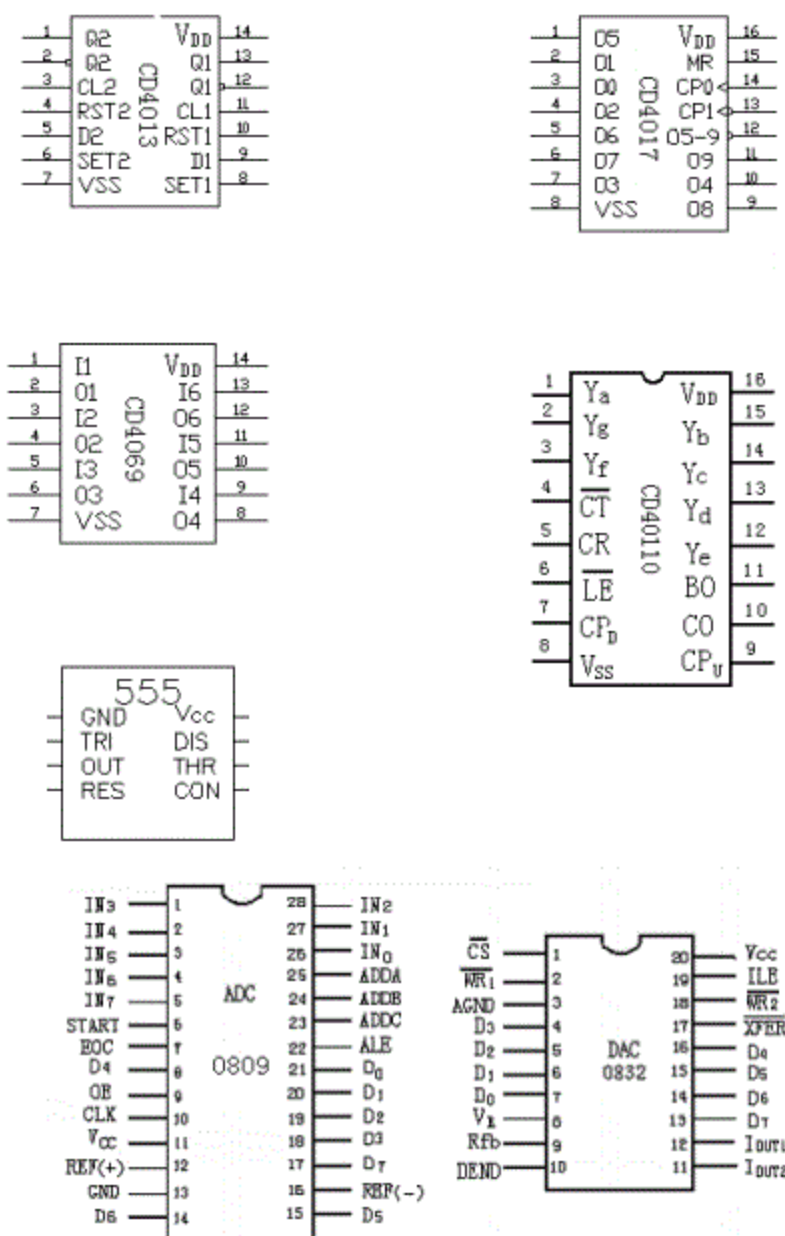


附图 2.1 部分集成电路引脚图

2) CD40 系列（部分集成电路引脚排列见附图 2.2）

- | | | | |
|---------|-------------------|---------|-----------|
| CD4011 | 4 重 2 输入与非门 | CD4012 | 双 4 输入与非门 |
| CD4013 | 双 D 触发器 | CD4069 | 六反相器 |
| CD4017 | BCD 计数/时序译码器 | 7555 | 定时器 |
| CD40110 | 十进制加减计数器/译码/锁存/驱动 | | |
| ADC0809 | A/D 转换器 | DAC0832 | D/A 转换器 |





附图 2.2 部分集成电路引脚图

5.6 TTL 与 CMOS 电路功能相近型号见附表 2.14

CMOS	TTL
4001	7402
4008	74238、7483
4011	7400、7437
4013	7474
4014	74166
4015	7491、74164
4019	74157
4021	74165
4028	7442、7445、74141、74145
4035	74178、7494、74179、74195

4042	7475、7477
4027	7473、74111、7478、74167
4049	7406、7407
4051	74151、74152、7425
40160	74160
40162	74160
40161	74161
40163	74161
4067	74150
4070	7486、74136
4093	74132
4098	74121、74122、74123
4502	74125、74126
4081	7408
4510	74190
4511	7446、7447、7448、7449
4516	74191
4518	7490、74290
4514	7490、74290
4515	74154
4555	74155
4556	74156
40192	74192
40193	74193
40194	74194
40195	74195

附表 2. 14

5. 7 CMOS4000 系列数字集成电路检索见附表 2. 15

序号	型号	品种名称
1	4000	双 3 输入端或非门
2	4001	4×2 输入端或非门
3	4002	双 4 输入端或非门
4	4006	18 位串入—串出移位寄
5	4007	双互补对加反相器
6	4008	4 位超前进位全加器
7	4009	6 反相缓冲/变换器
8	4010	6 同相缓冲/变换器
9	4011	4×2 输入端与非门
10	4012	双 4 输入端与非门
11	4013	双主—从 D 触发器
12	4014	8 位串入/并入—串出移位寄存器
13	4015	双 4 位串入—并出移位寄存器
14	4016	4 联双向模拟开关
15	4017	十进制计数/脉冲分配器
16	4018	可预置 N 进制计数器
17	4019	4 与或选择器
18	4020	14 位二进制串行计数/分频器
19	4021	8 位串入/并入—串出移位寄存器

20	4022	八进制计数 Z/分频器
21	4023	3×3 输入端与非门
22	4024	7 位二进制串行计数/分频器
23	4025	3×3 输入端或非门
24	4026	十进制计数/7 段译码器
25	4027	双 J—K 触发器
26	4028	BCD 码—十进制译码器
27	4029	可预置可逆计数器 (二进制或 BCD)
28	4030	4×2 输入端异或门
29	4031	64 位移位寄存器
30	4032	3 路串联加法器 (正逻辑)
31	4033	十进制计数/7 段译码器
32	4034	8 位通用总线寄存器
33	4035	4 位并人/串人—并出/串出移位寄存器
34	4036	4×8 位随机存取存储器
35	4038	3 路串联加法器 (负逻辑)
36	4039	4 字×8 位随机存取存储器
37	4040	12 位二进制串行计数器/分频器
38	4041	4 同相/反相缓冲器
39	4042	4 锁存 D 触发器
40	4043	4×3 态 R-S 锁存触发器 (“1” 触发)
41	4044	4×3 态 R-S 锁存触发器 (“0” 触发)
42	4045	21 位计数器/缓冲器
43	4046	锁相环
44	4047	单稳态触发器/多谐振荡器
45	4048	8 输入端可扩展多功能门
46	4049	6 反相缓冲/变换器
47	4050	6 同相缓冲/变换器
48	4051	单 8 路模拟开关
49	4052	双 4 路模拟开关
50	4053	3×2 路模拟开关
51	4054	4 位液晶显示驱动器
52	4055	BCD—7 段译码/液晶驱动器
53	4056	BCD—7 段译码/驱动器
54	4059	可编程 I/N 计数器
55	4060	14 位二进制串行计数器/分频器
56	4063	4 位数字比较器
57	4066	4 双向模拟开关
58	4067	单 16 路模拟开关
59	4068	8 输入端与非门/与门
60	4069	6 反相器
61	4070	4 异或门
62	4071	4×2 输入端或门
63	4072	双 4 输入端或门

64	4073	3×3 输入端与门
65	4075	3×3 输入端或门
66	4076	4 线 D 型寄存器
67	4077	4 异或非门
68	4078	8 输入端与非门/或门
69	4081	4×2 输入端与门
70	4082	双 4 输入端与门
71	4085	双 2×2 输入端与或非门
72	4086	4×2 输入端可扩展与或非门
73	4089	二进制比例乘法器
74	4093	4×2 输入端施密特触发器
75	4094	8 位移位/存储总线寄存器
76	4095	3 输入端 J-K 触发器(同相 J-K 输入端)
77	4096	3 输入端 J-K 触发器(反相和同相 J-K 输入端)
78	4097	双 8 路模拟开关
79	4098	双单稳态触发器
80	40100	32 位左移/右移移位寄存器
81	40101	9 位奇偶发生器/校验器
82	40102	8 位可预置同步减法计数器(BCD)
83	40103	8 位可预置同步减法计数器(二进制)
84	40104	TTL 至高电平 CMOS 转换器
85	40105	先进先出寄存器
86	40106	6 施密特触发器
87	40107	双 2 输入端与非缓冲/驱动器
88	40108	4×4 多端口寄存器阵列
89	40109	4 低一高电平位移器
90	40110	十进制加/减计数/锁存/7 段译码/驱动器
91	40160	可预置 BCD 加计数器(异步复位)
92	40161	可预置 4 位二进制加计数器(异步复位)
93	40162	可预置十进制计数器(同步复位)
94	40163	可预置 4 位二进制加计数器(同步复位)
95	40174	6 锁存 D 触发器
96	40175	4 锁存 D 触发器
97	40181	4 位算术逻辑单元/函数产生器(32 个功能)
98	40192	可预置 BCD 加/减计数器(双时钟)
99	40193	可预置 4 位二进制加 Z 减计数器(双时钟)
100	40194	4 位并人/串人一并出/串出双向移位寄存器
101	40195	4 位并人/串人一并出/串出移位寄存器
102	40257	4-2 选 1 数据选择器
103	4500	工业控制单元
104	4501	3 多输入门
105	4502	6 反相缓冲器(3 态输出)
106	4503	6 同相缓冲器(3 态输出)
107	4504	6TTL 或 CMOS 同级移相器

108	4505	64×1 位 RAM
109	4506	双可扩展 A0I 门
110	4507	4 异或门
111	4508	双 4 位锁存 D 触发器
112	4510	可预置 BCD 加/减计数器(单时钟)
113	4511	BCD 一锁存/7 段译码/驱动器
114	4512	8 路数据选择器
115	4513	BCD 一锁存/7 段译码/驱动器
116	4514	4 位锁存/4 线-16 线译码器(输出“1”)
117	4515	4 位锁存/4 线-16 线译码器(输出“0”)
118	4516	可预置 4 位二进制加/减计数器(单时钟)
119	4517	双 64 位移位寄存器
120	4518	双 BCD 同步加计数器
121	4519	4 位与/或选择器
122	4520	双 4 位二进制同步加计数器
123	4521	24 级频率分配器
124	4522	可预置 BCD 同步 1/N 计数器
125	4526	可预置 4 位二进制同步 1/N 计数器
126	4527	BCD 比例乘法器
127	4528	双单稳态触发器
128	4529	双 4 路/单 8 路模拟开关
129	4530	双 5 输入多数逻辑门
130	4531	12 位奇偶数发生器
131	4532	8 位优先编码器
132	4534	实时与译码计数器
133	4536	可编程定时器
134	4537	256×1 静态随机存取存储器
135	4538	精密单稳多谐振荡器
136	4539	双 4 路数据选择器
137	4541	可编程定时器
138	4543	BCD 一锁存/7 段译码/驱动器
139	4544	BCD 锁存—7 段译码/驱动器
140	4547	BCD 一 7 段译码/大电流驱动器
141	4549	连续的近似值寄存器
142	4551	4×2 通道模拟多路传输器
143	4552	256 位 RAM
144	4553	3 位 BCD 计数器
145	4555	双二进制 4 选 1 译码器/分离器(输出“1”)
146	4556	双二进制 4 选 1 译码器/分离器(输出“0”)
147	4557	1—64 位可变节移位寄存器
148	4558	BCD 一 7 段译码器
149	4559	逐次近似值码器
150	4560	“N” BCD 加法器
151	4561	“9” 求补器

152	4562	128 位静态移位寄存器
153	4566	工业时基发生器
154	4568	相位比较器/可编程计数器
155	4569	双可预置 BCD/二进制计数器
156	4572	4 反相器加 2 输入或非门加 2 输入端与非门
157	4573	双可预置运算放大器
158	4574	比较器、线性、双对双运放
159	4575	双/双预置运放/比较器
160	4580	4×4 多端寄存器
161	4581	4 位算术逻辑单元
162	4583	双施密特触发器
163	4584	6 施密特触发器
164	4585	4 位数值比较器

附表 2. 15

第一节 简介

随着集成电路技术的迅速发展,以计算机辅助设计与分析 (Computer Aided Analysis and Design, 简称 CAA 和 CAD) 为基础的电子设计自动化技术 (Electronic Design Automatic 简称 EDA) 已渗透到电子系统和专用集成电路设计的各个环节。

模拟集成电路的仿真工具,是众多 EDA 工具的一个重要组成部分。由于模拟电路在性能上的复杂性和电路结构上的多样性,对仿真工具的精度、可靠性、收敛性以及速度都有相当高的要求。国际上公认的模拟电路通用仿真工具是美国加利福尼亚大学伯克利分校开发的 SPICE 程序。它可以对电路进行直流分析、交流分析、瞬态分析和不同温度分析等。在分析的过程中包括了常用的电子电路各种元器件,如电阻、电容、电感、二极管、双极型晶体管、各种场效应晶体管等半导体器件和数字器件。SPICE 是个多功能的电路模拟平台,它已成为一种工业标准。目前各大 EDA 公司的模拟电路仿真工具都是以 SPICE 为基础实现的。其中以美国原 Meta Software 公司的 HSPICE 和 Microsim 公司的 PSpice 最为流行,PSpice 程序由于收敛性好,适于做系统及电路仿真,其 5.0 以上版本基于 Windows 操作平台,又被称为 PSpice 窗口版,人机交互方便,采用直观的图形输入方式,具有对模拟电路、数字电路以及数模混合电路的仿真能力,在国内外用户十分广泛。而最近几年加拿大 Interactive Image 公司推出的以 SPICE 为基础的仿真工具 Electronic Workbench 以其方便的图形输入方式和直观的仿真过程,受到人们的欢迎。

模拟电路仿真工具是以电路理论、数值计算方法和计算机技术为基础实现的。它采用数学模型和仿真算法,利用计算机的计算、存储和图形处理的高速度和高效率,以电路理论为依据,无需任何元器件,用预先设计出的各种功能的应用程序,取代大量的仪器仪表。电路设计工作者可以通过这些应用程序对电路进行各种分析、计算和校验。一个电路 CAD 工具就相当于一个现代化的电子线路实验室,为电路设计者提供一个创造性的工作环境,不仅能使设计者的设计达到高质量、高可靠性,而且降低了成本,缩短了开发周期。同时使设计者有更多的时间和机会更充分发挥其聪明才智,使设计精益求精。

电路 CAD 技术和工具的优点可归纳如下:

(1) 设计效率高,设计周期短

CAD 工具能在短时间内完成传统的设计方法需要很长时间才能完成的、反复的设计过程。它不但能帮助设计人员根据电路的性能设计电路,而且能通过各种分析功能,实现传统方法中只有小批量投产后才能进行的估计产品合格率等统计规律的模拟。

(2) 提高了设计质量

电路 CAD 工具中精确的电路模型及元器件模型的应用,除了常规模拟外,还可以模拟各种寄生参数的影响,模拟元器件参数变化对电路性能的影响,避免传统方法中因仪器仪表接入而引起的各种插入误差。另外利用 CAD 工具还可以方便地进行多种方案的比较和优选,从而选择最佳设计方案。

(3)降低设计成本

电路 CAD 工具节省了大量的实验样机试制以及批量试投产等设计过程,大大节省了原材料、仪器设备和人力。

(4)充分发挥设计人员的创造性

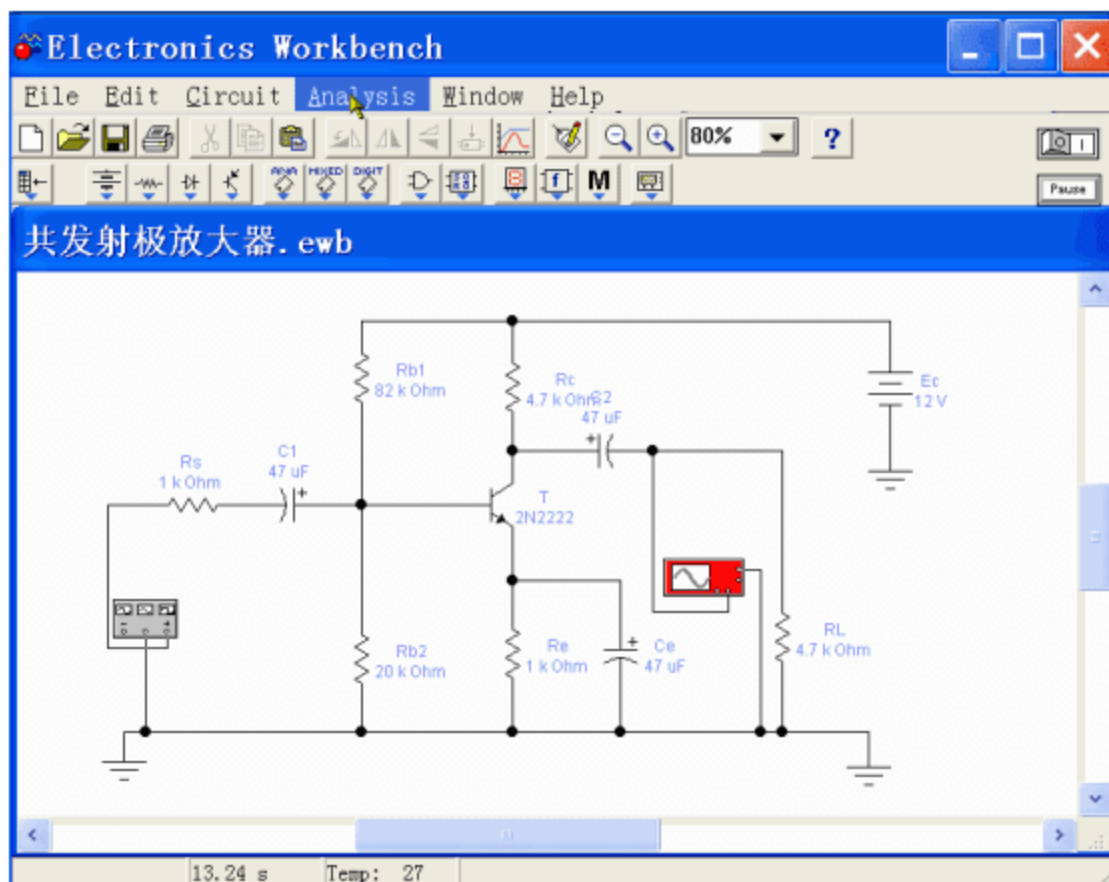
电路 CAD 工具使设计人员从烦琐的计算、查表、绘曲线等事务中解脱出来,以更多的精力从事创造性的设计工作。

由于篇幅所限,本部分将只介绍 Electronic Workbench 仿真工具的基本使用方法。

Electronics Workbench (以下简称 EWB)是一种基于工业标准 SPICE 的电路设计仿真工具。让用户利用友好的图形输入界面,驾驭 SPICE。EWB 有完整的数模混合仿真和波形分析能力,用户可以任意混合连接数字和模拟器件,EWB 自动完成其中的信号转换。用 EWB 进行仿真时,仿真波形随仿真过程的进行而输出,而不是仿真过程结束后才输出。EWB 采用方便快捷的图形输入方式,还可以导入标准 SPICE 网络文件。EWB 可以将设计输出为 PCB 图。

第二节 用户界面总览

EWB 用户界面如附图 3.1 所示。此界面中第一行为软件标题,第二行为菜单,第三行为电路工具栏,第四行为器件箱工具栏。再下面是用户创建电路原理图的电路窗口,窗口右上角显示当前打开的电路原理图文件名,如图中的放大电路.ewb。在用户界面最下面一行是状态栏。在此界面的基础上,用户可以利用相应的命令,再打开子电路窗口、描述窗口、打开的仪表以及分析结果的图形窗口。下面对此界面作简单介绍。



附图 3.1 EWB 用户界面

一、菜单

EWB 用户界面中有六个下拉式菜单，这六个下拉式菜单的一些命令，也可以在工具栏找到。下面简要介绍这六个菜单中的主要功能。

1. File 菜单包含一些对 EWB 创建的电路文件进行各种操作的命令。

在 File 菜单中的 NEW, Open, Save, Save as 的功能与 Windows 应用程序中的用法相似，在这里不用在解释。

Revert To Saved 把电路恢复到你最后一次存储的样子。

Import 导入一个 SPICE 网单文件（文件后缀为.net 或.cir）并将其转换成原理图。

Export 对于 Windows 用户可以将电路文件以下列扩展名存储：

.net, .scr, .cmp, .cir, .cip, .plc,

Print 中可以设置要打印的内容，Print setup 中设置打印纸张大小、来源等。

Install 为 EWB 设立添加产品。

2. Edit 菜单包含一些移动、复制、选择命令，如果某些命令不可用时，此命令暗显示。

3. Circuit 菜单包含一些修正电路某些方面的命令。

Component Properties 给出所选元器件的参数并可修改，也可以在元器件上双击得到。如果由鼠标右键弹出菜单引出，则此缺省特性用于此后此电路图中用到的所有此类型元器件。但不影响已放置的任何元器件。

此命令引起的对话框由所选元器件类型决定，如：

- Label Tab
- Value Tab
- Models Tab
- Schematic Options Tab
- Fault Tab
- Node Tab
- Display Tab
- Analysis Setup Tab

在这些对话框中，用户可以根据需要进行具体设定。

Create Subcircuit 将所选的电路部分编成一个子电路，用于建立一个集成电路。一个子电路可以包含所希望的任何元器件，子电路引向其他元件的引线或节点在电路中将成为子电路图标引线端。

Schematic Options 这一菜单中包括了电路显示方面的控制，如网格的使用、元器件及各种标识的显示与否、电路图中字体的控制等，用户可根据需要设定。

4. Analysis 菜单包括了一些用户用于建立和运行电路分析的命令。

Activate 激活电路（打开电源开关）。激活一个电路时，即开始了计算电路的检测点的数值的一系列数学运算。

电源形状开关保持开（为“1”）直到停止或暂停仿真。用户可以在字发生器中激活一个数字电路。

Pause 和 Resume 暂时地中断或恢复仿真（控制 Pause/Resume 按钮）。如果用户仔细察看波形或改变仪表设置，Pause 是很有用的。

Stop 人工终止仿真，和点击电源开关有同样的效果。

注意：关掉电源开关清除所有数据和仪表显示，并将所有数值复原至初始状态。

5. Window 菜单包含了一些用来控制 EWB 显示窗口的命令。

Arrange 整齐地组织打开的窗口。

Circuit 将电路窗口设置于最前。

Description 打开一个描述窗口（如果描述窗口已打开，将其置于最前）。用户在描述窗口中写入一些文字说明，或从另外的电路描述贴过一些内容。

6. Help 菜单包括一些在线帮助的命令。

二、工具栏

工具栏是一些功能按钮。EWB 提供两个工具栏：一个是用来修正电路的电路工具栏；另一个是包含更下一级工具栏的元器件箱工具栏。

其中电路工具栏的功能都包含在下拉菜单中。

元器件箱工具栏中每个按钮被点击（按下）后，会出现一个悬浮工具栏，包括了这一类型元器件的一些按钮。选中某一个按钮，即选中了这一按钮上所示的元器件，可以将这个选中的元器件放置在电路的窗口中，用来组成电原理图。

元器件箱工具栏的最右边一个按钮，是仪表按钮，选中它将会出现包括示波器、万用表、逻辑分析仪、Bode 绘图仪等仪表按钮的悬浮工具栏，可在其中选择所需的仪表，接于电路中，进行相应的仿真。

三、应用窗口

一个用户应用窗口，可以包括以下一种或全部窗口

- 电路窗口，在此用户创建电原理图
- 子电路窗口，在此用户可以看到子电路的内容
- 描述窗口，在此用户可以输入电路描述的文本
- 打开的仪表，显示出仪表的各项控制
- 一个图形窗口，显示分析结果

四、状态栏

显示出光标指向的元器件或仪表的名称。在仿真过程中，能显示当前的仿真状态和仿真到这一状态的时间。

第三节 EWB 功能简介

一、一般使用功能

EWB 具有与其他软件相似的一般通用使用功能，如选择 Select，全选 Selecting All，拖动 Dragging，去掉选择 Deselecting，移动 Move。这些操作功能与其他软件无太大差别，在 EWB 中被选中的项目为了便于辨认，元器件变为红色而线变粗。

二、对元器件的操作

1. 复制和删除元器件

利用 Select 或直接在元器件上直接点击选中某个元件后，可通过 Edit 菜单中的 Cut、Copy、Paste、Delete 等命令对元器件进行剪切、复制、粘贴、删除等一系列操作。

2. 旋转与反转元器件

利用 Select 或直接在元器件上点击选中某个元器件，可通过 Circuit 菜单中的 Rotate 和 Flip 对器件进行反转、旋转。

注意：被旋转或反转的元器件上的所有连线都将根据需要重新布线，与元器件相关的文字信息，如标识符、数值和模型信息都不会反转。

3. 设置标识、名称、数值模型和参考标志

元器件可以有标识名称、数值（对于简单元器件）、模型（复杂元器件）和参考标识，元器件缺省的标识名称、数值和模型存于缺省电路文件中。用户可以通过以下三种方式进行不同程度的修改。

第一种，选择窗口中电路的元器件，在 Circuit 菜单下选择 Component Properties 命令，或者在电路窗口中双击该元器件，激活 Component Properties 对话框，选择所要修改的栏中所需修改的元器件，后点击 OK，这样修改仅限于所选的单个元器件。

第二种，在工具栏中的元器件按钮上按鼠标右键，在弹出的菜单中选择“特性”，元器件特性对话框出现，选择所要修改的栏进行所需修改，点击 OK。这种修改方式所改参数成为此文件以后所用的此类元器件的缺省值。

第三种，打开缺省电路文件，在工具栏上的元器件按钮上点击鼠标右键，在弹出的菜单中选择“特性”，元器件特性对话框出现，进行所需修改后保存文

件, 修改后的参数成为从此以后创建的所有文件中用此元件时的缺省值。

Circuit 菜单中的 Component Properties 对话框包括几个栏目, 显示出哪些栏目, 这些栏目包含什么内容, 取决于所选元器件, 题目条栏显示出元件的类型。

4. 元器件相连线

鼠标指向一个元件的引线, 使其高亮, 按住鼠标按钮并拖动鼠标, 就拖出一条引线, 将引线引至另外元器件的引线端或仪表的接线处, 当此处为高亮时释放鼠标, 一条引线完成。在这一过程中, 引线自动走直角, 并绕过其他一些元器件和仪表的图标。还有如下有关操作:

(1) 电路中插入元器件

在已画好的电路中插入元器件, 直接将元器件放在连线上, 如果有空间它将自动插入, 如果没有足够空间, 它将仍浮在图上面而没有插入。

(2) 连线之间互联

如果在元器件引线上再引一条线, 当释放鼠标时一个连接点 (connector) 自动产生, 在基本工具栏中, 也有联结点按钮, 使用户可以在一个已存在的电路中插入联结点, 向它进行连线, 或从它引出连线, 一个联接点可以引四条线。联结点没有参考标识。

(3) 删除连线

要删除一条线, 选中它并选择 Edit 中的压 Iete, 或者选中它的一端使其断开联接, 并将其移到电路窗口的空白处, 这样线就会自动消失。

(4) 改变引线颜色

在复杂电路中, 不同彩色的线可以更清楚地加以辨认。而且示波器、逻辑分析仪、绘图仪中的波形的颜色与它们探头的颜色相同, 所以, 可以通过设置探头连线颜色来更容易地分析仪器仪表的显示结果。改变一条线的颜色, 双击此线条就会出现选择颜色的对话框, 选中所需颜色点击 OK。

(5) 拉直引线

电路图中的引线有时会有不必要的迂回和不平, 为了美观可以通过移动这条线或移动这条线所联接的元器件等方法使引线变直, 从而使整个电原理图更加整齐美观。

5. 关于节点的操作

节点是电路中的具有同一参考点电压的区域, 节点可以被显示或隐藏, 取决于 Circuit 菜单中 Schematic Options 对话框中 Show/Hide 栏的选择。节点以矩形框中的标识区别。

要改变节点的特性 (颜色和初始设置), 双击它的矩形标识出现其元器件特性对话框。

6. 控制元器件细节显示

用户可以选择在整个电路或只在选择的部分显示或隐藏电路的标号、数值、参考标识、标点和模型设置。用户还可以控制用来显示标号和数值的字体。

7. 使用子电路

子电路有两种显示方式: 一种是在电路窗口中一个直角矩形子电路图标; 另一种是在子电路窗口中显示出子电路的细节。在子电路窗口中电路的引线在子电路图标中成为接线端。

在电路中加入子电路, 首先在工具栏中点击 Favorite, 按钮, Favorite; 工具栏出现显示出子电路按钮, 将此按钮拖到电路窗口中, 一系列可用的子电

路出现,选择所需的子电路,这一子电路以图标显示,将此图标的引线端与其他元器件相连接。

要打开一个子电路,双击它的图标,子电路窗口出现,子电路窗口可以像其他窗口一样改变形状或关闭。当子电路窗口打开时,用户可以编辑子电路。例如用户可以增加删除元器件或创建一个新的连接线端。子电路的修改将影响当前电路所有此子电路的拷贝。建立新的接线端时,从子电路中某一元件引出连线至子电路窗口的边缘,当一个小框出现时释放鼠标按钮。一个子电路最多可有 128 个引线端。

一个子电路为当前电路所用并保存,可用以下方法之一使子电路为其他电路所用。第一个方法是利用 Edit/Copy 和 Paste,将子电路图标复制到另外的电路;另一方法是将其加入到缺省电路文件中,子电路则可为以后所有新电路所用。

8. 使用模型和库

复杂的元器件有一系列相互作用的数值,共同构造一个模型。元器件有一个缺省的模型,用户可以根据自己电路的需要,修改这个缺省模型。修改复杂的元器件模型需要有 SPICE 模型的知识。

关于 SPICE 工业标准,请参考其它书籍,EWB 的元器件模型都是基于这一标准。元器件模型都存于器件库中。从库中选择一个元器件的模型,首先要选中元器件并在 Circuit 菜单中的 Component Properties 中选择 Model 栏,这时一系列模型库的名单将会出现。当前的库是高亮的,并且它所包含的模型的名单显示在右边栏目中,在此名单中选中你需要的模型并点击 OK。

可以根据“控制元器件细节显示”中的指导在电路窗口中显示模型名称,如果模型是理想的(缺省的),则电路窗口不显示其名称。

注意:缺省模型名为 Ideal,这样它们最简单、最快被仿真。

三、对仪器仪表的操作

每个检测仪表都对应于仪表工具栏中的一个按钮,仪表有两种显示方式:一种是仪表的图标;另一种是打开的仪表,能显示出仪表的各种控制。

1. 使用仪表按钮

在元器件工具箱中点击仪表按钮,将出现仪表工具栏,在此栏中选择所需仪表对应的按钮,将其拖至电路窗口中,就会出现此仪表的图标,将仪表正确地与电路连接。仪表的移动和删除操作与其他元件相同。

2. 打开一个仪表

双击仪表的图标,仪表即被打开,可以在打开的仪表上通过点击按钮,调整控制仪表,如改变单位或数值等,具体视仪表而定。

3. 控制电源开关

通过点击 Power Switch 来打开或关上仪表电源开关。这与 Analysis 菜单中的 Activate 和 Stop 命令作用一致。

当用户激活一个电路,EWB 开始了仿真电路的行为,仿真依赖于电路的结构,电路中所联接的仪表和 Analysis 菜单中 Analysis Option 的设置。仿真时,状态栏 Status Bar 显示出仿真过程或状态。

在仿真过程中用户可以修改电路,例如用户可以移动元器件窗口,改变示波器时基或函数发生器的频率,如果用户进行的修改使仿真无效,例如增加了元器件,改变了数值或改变了仿真类型,仿真过程将自动从新开始。

可以通过点击位于电源开关下面的 Pause/resume 按钮,或者 Analysis 菜

单中 Pause 或 Resume 命令使仿真过程暂停或恢复。

EWB 能够快速仿真一个电路的行为，并且计算每个节点的电压，如果仿真一个电路需要很长时间，并且用户已看到足够情况，可以点击电源开关停止仿真。

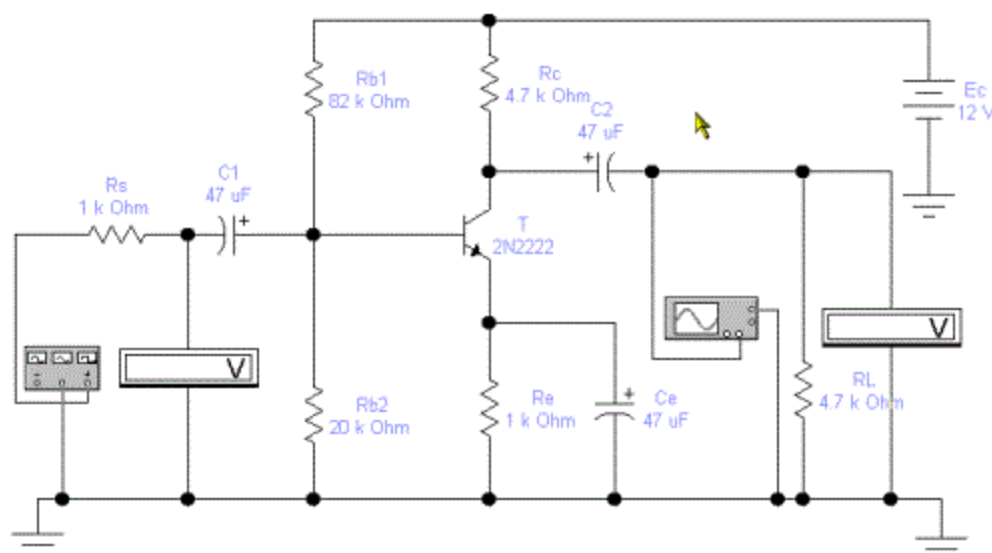
第四节 建立并测试一个模拟电路

在这一节中，我们将带你建立一个共发射极放大电路，如附图 3.2 所示。

一、建立电路

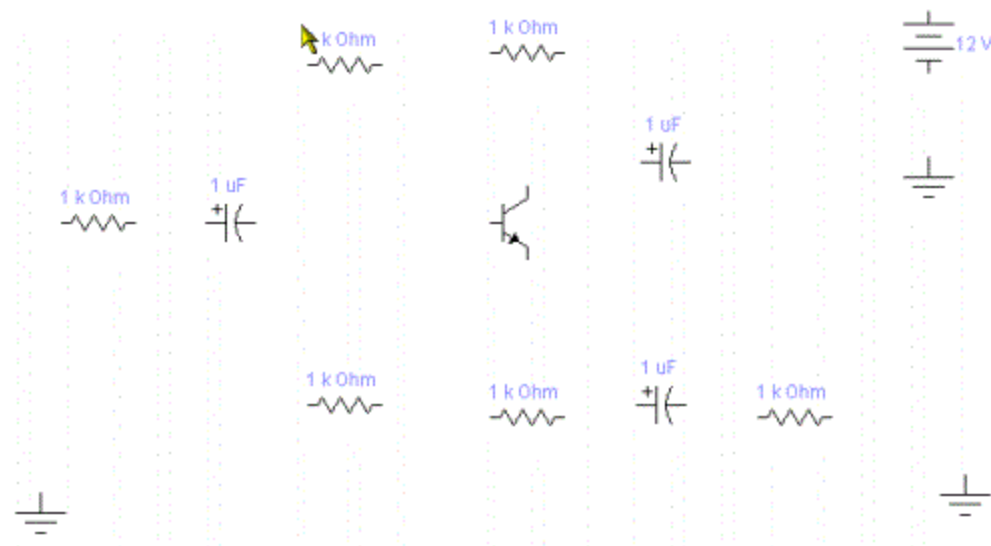
第一步 在电路窗口放置元器件

要建立此电路，需一个三极管、六个电阻、三个电解电容、三个接地点和一个电源。



附图 3.2 共发射极放大电路

- (1) 在 File 中选 NEW 打开一个新电路文件；
- (2) 在元器件工具栏中点击 ，基本元器件工具栏将会出现，在此工具栏中拖出六个电阻和三个电解电容至电路窗口；
- (3) ，源工具栏将出现，拖出电源和地至电路窗口；
- (4) 在元器件工具栏中点击 ，拖出一个 NPN 型三极管；
- (5) 将已拖出的元器件在窗口中大致排列如附图 3.3 所示。



附图 3.3

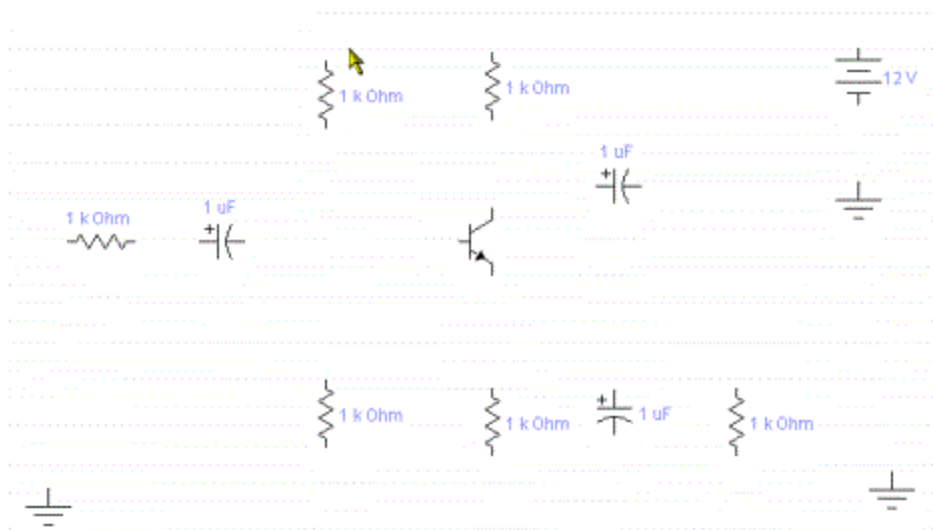
第二步 旋转元器件

旋转电阻、电容使电阻、电容能整齐地连接到电路中。

(1) 点击需要旋转的电阻选中它们，在 Circuit 菜单中选 Rotate（或使用工具按钮）。

(2) 点击需要旋转的电容选中它们，在 Circuit 菜单中选 Rotate（或使用工具按钮）。

电路将如附图 3.4 示：



附图 3.4

说明：如果 Rotate 命令是暗的或按钮不起作用，是元器件没有被选中，在选择之前确认鼠标光标形状是一个手的形状，当元器件被选中时是高亮的。

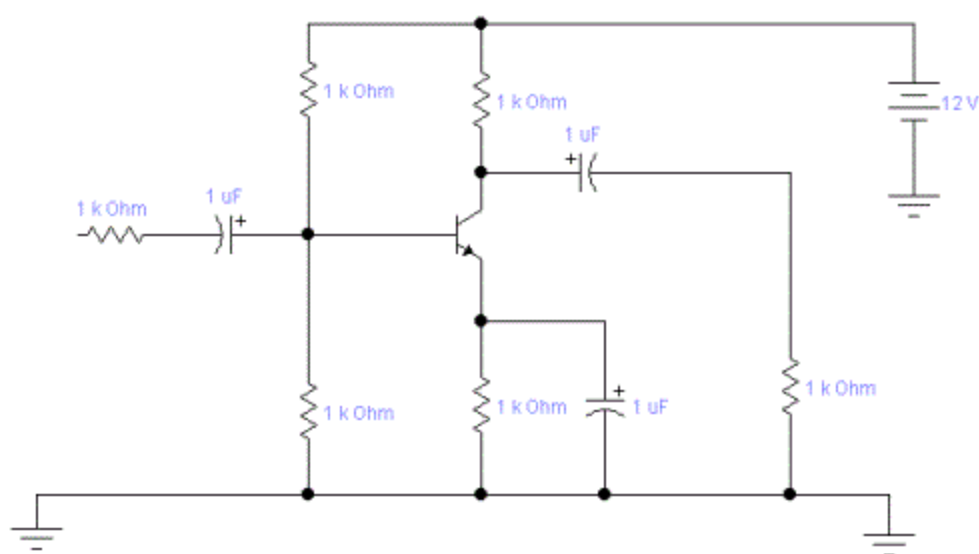
第三步 将元器件连线

大多数元器件有引出短线，称为接线端，当指向引线端时，它变成高亮，将元器件连接起来，即是从一个元件的接线端引出一条线到另一个元件的接线端。

鼠标指向元件的接线端，当光标变成箭头并且接线端变成高亮，说明光标处在选择这个接线端的合适位置。点击并拖出一条线至最上面另一个元件的接

线端。线就连好了。将所有的元件联接起来至电路如附图 3.5 所示。

提示:你可以移动元器件或连线直到得到满意的电路图。有不平整的线可以通过移动元件和导线的方法将其拉直。



附图 3.5

第四步 标注元器件

- (1) 电路中的每个元器件都可以被标注,将节点标为“A”“B”“C”等。
- (2) 双击节点,你就会看到 Circuit 菜单中的 Component Properties 对话框的 Label 栏;
- (3) 在 Label 后空白处键入“A”后点击 OK;把所有节点都进行标注。
- (4) 节点标注后如附图 3.6 所示。

提示:如果元器件的标识 (Label) 被线遮住,可以重新调出 Label 栏,在“A”之前加几个空格,使之更容易辨认。

第五步 设置元器件数值

每个元器件都有预先设置的数值,你可以更改它以符合你的需要。

将电源现在的值改为你所需的 12v。

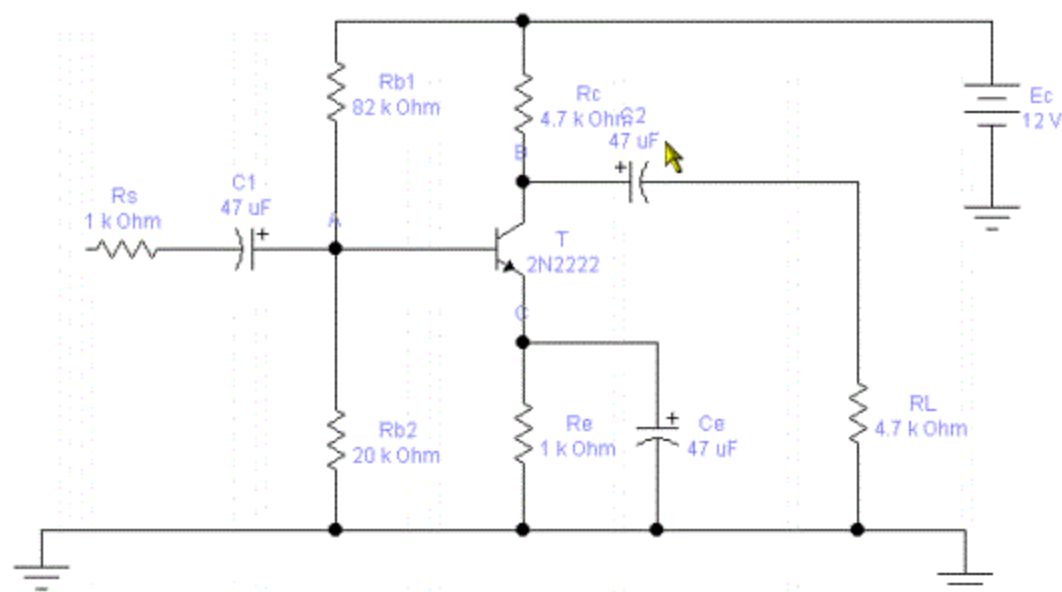
- (1) 双击电源;
- (2) 将数值设定改为 12;
- (3) 点击 OK。

将每一个电阻的值改为需要的值。

- (1) 双击一个电阻;
- (2) 键入需要的大小,并选择 Ω ;
- (3) 点击 OK;
- (4) 对第二个电阻重复以上操作。

按上面方法改变电容和三极管的参数和型号。

电路现在显示为附图 3.6。



附图 3.6

第六步 将电路图存盘

- (1) 选 File 中 Save, 你将看到一个文件存盘对话框;
- (2) 键入一个电路的名字, 例如“共发射极放大器”;
- (3) 点击 OK。

现在你可以对你的电路进行测试了。

二、测试电路

第一步 连接各种仪器、仪表

图 2.2 共发射极电路需要一个示波器、信号源（这两种仪器存放在仪器工具栏中），两只电压表（电压表存在仪表工具栏中）。

- (1) 将示波器、信号源和电压表从工具栏中拖出，放置在电路窗口中合适的位置；
- (2) 在将上述仪器连接到合适的位置上；

最后电路显示如附图 2.2 所示。

第二步 激活电路

可以通过点击位于 EWB 窗口右上角的电源开关激活电路。

如果无任何差错，电压表的应有正确的读数。

如果没有正确的读数，检查电源和电阻的值，并确认电路是否正确联接，电压表是否正确设定。

第三步 将电路存盘

用户可以根据以上思路，在 EWB 中画出较复杂的电路，并在电路中联接 EWB 提供的各种仪表，进行相应分析。

附录四 电路故障分析的基本方法

模拟电路部分

模拟电路类型很多，出现故障也不相同。要迅速准确地查出故障并排除，

要求有一定的基本知识和技能，如：模拟电路基本知识；元器件及单元电路的测试技术；电路的安装等。此外，还需要掌握检修电子电路的基本方法和步骤。

一、检修前的准备

在检查排除故障前，应做好以下准备工作。

- 1.准备好检修工具，包括各种测量仪器。
- 2.准备好检修用的器材和材料，包括元器件、导线等。
- 3.准备好维修资料，包括电路原理图、安装图等。

二、检查故障的基本方法

为了迅速查出故障，提高效率，防止扩大故障，检查工作要有目的、有计划进行。同时还应掌握一些检查故障的基本方法。

1、测试电阻法

测试电阻法分为通断法和阻值法两类。

通断法用于检查电路中连线、保险丝、焊点有无短路、虚焊等故障。也可检查电路中不应连接的点、线之间有无短路故障/实验中使用插件实验板或一些接插件时，常出现接触不良或短路等故障，使用通断法直接测试应连接的元器件引线之间是否通断，可很快查出故障。实验前可用通断法检查所用导线有无短路现象。

阻值法用来测试电路中元器件间电阻值，判断元器件是否正常。例如：电阻器值有无变值、失效、开路；电容器是否出穿或漏电；变压器及其它线圈各绕组间绝缘电阻是否正常，各绕组的直流电阻是否正常；检查各半导体器件或集成组件的引线间有无击穿，各PN结正向之间电阻是否正常等。

测阻值法还可用于对电路的检查，例如，用电阻法直接测量放大器的输入、输出电阻，判断电路有无短路、断路等故障。在接入电源Vcc前，要测试一下Vcc的负载，看有无短路或断路，防止盲目接入电源造成电源或电路的损坏。

应用测电阻法测试电路中的元器件或两点间的电阻值，应在电路无电状态下进行，电路中有关电解电容要先放掉存储的电荷。测试电路中某一器件阻值时，元器件的一个被测引线应从电路中脱开，以防止电路中与其并联的其它元件的影响。

2、测试电压法

检修电路时，在电路内无短路（由电阻法判断）、通电后无冒烟、电流过大、元器件过热等恶性故障的情况下，可接入电源，用测试电压法寻找故障。

测试电压法一般是用电压表测试各有关测试点的电压值，并将实测值与有关技术资料上标定的正常电压值加以比较，进而进行故障判断。有时正常电压即无标定又不是易估算，在条件允许的情况下，可对照正常的相同电路，从正常电路中测得有关各测试点得电压值。

使用测试电压法时应注意：应在规定得状态下进行测试。应按要求使用合适得万用表，以减小测试误差，避免影响被测电路得工作状态。

3、波形显示法

在电路静态工作点正常的情况下，将信号加入电路，用示波器观察电路各测试点的波形，根据所观察到的波形，判断电路故障。这是检查电路故障最有效、最方便的方法。它不仅可以观察波形有无，还可根据波形的频率、幅度、形状等，判断故障原因。

模拟电路中，波形显示最适用于振荡电路和放大电路的故障分析。对于振

荡电路，使用示波器可以直接测试输出有无波形、幅度、频率等是否符合要求。对于放大电路，特别是多级放大电路，用波形显示方法可分别观察各级放大电路的输入、输出波形，根据有无波形、波形幅度，波形的失真等现象，判断各级放大器是否正常，判断级间的耦合元件是否正常。

4、 部件替代法

在判断基本准确的情况下，对个别存在故障的元件或组件，用一个好的元件或部件替代，替代后若能使电路恢复正常，则说明原来的元件或组件存在故障，是电路产生故障的原因。可进一步对替下的元件或组件进行测试、检查。这种方法多用于不易直接测试判断其有无故障的部件。例如，无法测试电容是否正常、晶体管是否击穿、专用集成组件质量好坏时，均可采用替代法。

使用替代法找出故障部件，在安装新部件时应分析产生故障的原因，即分析与此部件相连的外围元器件有无损坏，若有，应先予以排除，以消除故障隐患，防止再次损坏部件。

三、 排除故障的基本步骤

模拟电路故障的检查与排除一般应遵循以下步骤：

1.初步检查

初步检查多采用直观检查法，主要检查以下内容：

- 1) 元器件有无损坏迹象；
- 2) 电源部分是否正常。

若初步检查未发现故障原因，或排除了某些故障电路然不正常，则按下述方法，进一步检查。

2.判断故障部分

首先，查阅电路原理图，按其功能将电路分解成几个部分。明确信号的产生和传递关系及各部分电路间的联系和作用原理，根据所观察到的故障现象分析故障可能出现的部分。查对安装图，找到各测试点的位置，为测试、分析故障做好准备。正确判断出故障部位是能否迅速排除故障的关键。

3.寻找故障所在级

根据以上判断，在可能出现故障的部分中，对各级电路进行检查。检查时用波形显示法对电路进行动态检查。例如：检查振荡电路有无起振；输出波形是否正常；放大电路是否放大信号；输出波形有无失真等。检查可以由后向前，也可以由前向后逐级推进。下面以放大电路为例加以说明。

1) 由前向后逐级推进

将测试信号从第一级输入，用示波器依次观察其后各级电路输入、输出波形。若发现某级电路输入正常而输出波形不正常，则说明此级或下一级存在故障（下级电路出现故障，如输入阻抗变小或为零可影响此级电路的正常工作）。进一步判别时，可将两级电路的耦合元件断开，分别测试两级电路，以确定故障所在级。若前级输出正常而后级输入信号不正常，则耦合元件坏。

2) 由后向前逐级推进

用示波器测试最后一级输出波形。将测试信号由后向前逐级加在各电路的输入端，若在某一级加入信号而无输出信号或输出信号不正常，此电路可能存在故障，可与其它电路分开，进一步判断。

4.寻找故障点

故障确定后，可进一步寻找故障点，即判断具体的故障元器件。检查方法一般采用测电压法，测试电路中各点的静态电压值，根据所测数据，确定这部

分电路是否确有故障并确定故障元件。

确定故障后，切断电源，将损坏元件或可能有故障的元件取下，用电阻法检查。对于不易测试的元件采用替代法进行判断。这样确定故障，并排除故障。

5. 修复电路

找出故障元件后，要进一步分析其损坏的原因，检查与其相关元件或连线等有无故障。在确定其无其它故障后，可更换故障元器件，修复电路。最后进行通电试验，观察电路能否正常工作。

数字电路部分

在实验中，当所安装电路不能完成预期的逻辑功能时，就称电路有故障。数字电路产生故障的原因大致有以下几种：

电路设计不妥；

安装、布线时出现错误；

集成组件功能不正常或使用不当；

实验仪器或实验板不正常。

要迅速地排除电路故障，应掌握排除故障的基本方法和步骤。

模拟电路故障的检查方法（如：测电阻法、测电压法，测波形法）也适用于数字电路。针对数字电路系统中相同基本单元较多、功能特性基本相同这一特点，在检查故障的各种方法中替代法和对比法是较常用的方法。

一、 排除故障的常用方法

1. 查线法

在数字电路实验中，大多数故障是由于布线错误引起的，对于故障电路复查布线，可以检查出部分或全部由布线错误引起的故障。这种方法对于不很复杂的小型电路和布线很有章法的电路是有效的，对较为复杂的电路系统，用查线的方法排除故障是困难的。另外查线法也只能查出漏接或错接的导线，许多故障用查线的方法是不易被发现的。例如，由于导线插入插孔太深形成导线上绝缘层使导线与插孔相互绝缘等。所以检查布线不能作为排除故障的主要手段。

2. 替代法

将已调好的单元组件（或正常的集成组件）替代有故障或有故障嫌疑的相同的单元组件，将其接入电路，可以很快判断出故障原因是否由原单元组件故障所致。在数字电路中相同的单元组件和相同的集成电路很多，而且集成电路多采用插接式连接，检查故障时，替代法是很方便有效的方法。

使用替代法时，用来替代原部件的组件或器件应是正常的；在插拔组件前应先切断电源。

3. 逻辑对比法

当怀疑某一电路存在故障时，可将其状态参数与相同的正常电路一一进行对比。用这种方法可以很快找到电路中的某些不正常状态和参数，进而分析出故障原因，将故障排除。采用逻辑对比法，经常是将电路的真值表、状态转换图列出，与实际测得的电路状态加以比较，进而分析电路有无故障。这种方法在数字电路故障分析中是很重要的方法。

测试状态的方法很多，有测试电压法，逻辑电平测试法和示波器观测等方法。

二、 排除故障的基本步骤

排除故障一般遵循以下步骤：初步检查、观察故障现象、分析故障原因、证实故障原因、排除电路故障。在排除电路故障的全过程中，要坚持用逻辑思维对故障现象进行分析和推理，这是排除故障工作能顺利进行的关键。

1. 初步检查

排除故障时可先对电路进行全面的初步检查，检查内容包括：

布线有无错误，如错接、漏接；

集成电路插接是否牢固、有无松动和接触不良现象；

集成电路电源端对地电压是否正常，即电源是否加入各集成电路；

若电路有置位或复位功能，可检查其能否被正常置位或复位（如置 1 或清 0）；

观察输入信号（如 BCD 码、时钟脉冲等）能否加到实验电路上。

观察输出端有无正常的电平。

通过初步的检查，可能发现并排除部分或全部故障。

2. 观察电路工作情况，搞清故障现象

在初步检查的基础上，按电路的正常工作程序给其加入电源，输入信号，观察电路的工作状态，输入信号最好用逻辑开关、无抖动开关或用手控制的信号源。若电路出现不正常状态，不要急于停机检查，而应重复多次输入信号，观测电路的工作状态。仔细观察并记录故障现象，例如电路总是在某一状态向另一状态转换时，出现异常状态。

3. 对故障进行分析

将故障现象观察、记录清楚之后，关机停电，对所观察到的现象进行分析，根据电路的真值表、状态转换图、所用器件的工作原理和工作条件，判断产生故障的原因。例如，无论给实验电路加如何信号，输出端始终处于高电平，则可能是因为集成电路未正常接地所致；不管将 J—K 触发器输入端 J 和 K 置于什么电平，该触发器却始终处于计数状态（即随时钟脉冲而翻转），那么可能是 J 和 K 端导线接触不良，不能接入正常电平。若电源、地线连线正常，输入端信号也能正常加入，而无正常输出，可能是集成电路组件损坏。

4. 证实故障原因

利用替代法、对比法等方法，证实故障的部件或组件。对一些简单故障，如上述的一些因漏接导线、接地不良等，可将导线重新连接，看电路是否恢复正常。这样便可证实电路故障的确实原因。

5. 排除故障

将确实损坏的器件换掉，将错误的连线纠正，即可使电路正常工作。