

# 模拟电子技术实验指导书

刘久付 编

河海大学电气工程学院  
电工电子实验中心电子学实验室  
二〇〇四年九月

# 目 录

实验一	模拟电路常用仪器仪表的使用	1
实验二	单级低频电压放大电路	4
实验三	两级放大电路	7
实验四	差分放大电路	10
实验五	通用集成运算放大器主要参数的测试	14
实验六	模拟运算电路	17
实验七	积分、微分电路	21
实验八	波形产生电路	23
实验九	集成波形产生电路	25
实验十	精密整流电路	29
实验十一	稳压电源电路	32
实验十二	集成低频功率放大电路	35
实验十三	综合设计实验	38
<b>附 录</b>		
附录一	示波器	39
附录二	函数发生器	50
附录三	交流毫伏表	54
附录四	直流稳压电源	56
参考文献		59

## 实验一 模拟电路常用仪器仪表的使用

### 一、实验目的

- 1、掌握常用电子仪器的使用方法；
- 2、掌握几种典型信号的幅值、有效值和周期的测量。

### 二、实验内容

1、熟悉示波器、函数发生器、交流毫伏表和直流稳压电源等常用电子仪器面板上各控制件的名称及作用。

2、掌握常用电子仪器的使用方法。

①直流稳压电源的使用（DF1701S 型）

a. 将两路可调直流稳压电源独立稳压输出，调节一路输出电压为 10V，另一路也为 10V。

b. 将直流稳压电源输出接为图 1-1 所示正负电源形式；输出直流电压为  $\pm 10\text{V}$ 。

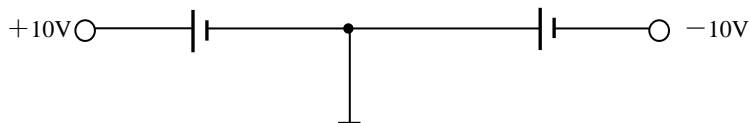


图 1-1 正负电源

c. 将两路可调直流稳压电源串联使用，调节输出稳压值为 30V。

②示波器、函数发生器和交流毫伏表的使用

a. 示波器双踪显示，调出两条扫描线；注意最好将触发方式置于“FIX”并与其它方式进行比较。

b. 校准信号的测试

用示波器显示校准信号的波形，测量该电压的峰峰值、周期和频率；并将测量结果与已知的校准信号峰峰值、周期和频率相比较。

c. 正弦波的测试

用函数发生器产生频率为 1KHz（由 LED 屏幕指示），有效值为 2V（用交流毫伏表测量）的正弦波；再用示波器显示该正弦交流电压波形，测出其周期、频率、峰峰值和有效值；将数据填入表 1-1 中。

表 1-1 实验数据（一）

使用仪器	正 弦 波			
	周 期	频 率	峰峰值	有效值
函数发生器	——			——
交流毫伏表	——	——	——	2V
示 波 器		——		——

d. 包含直流分量的正弦波测试

调节函数发生器，产生一叠加在直流电压上的正弦波。由示波器显示该信号波形，

并测出其直流分量为 1V，交流分量峰峰值为 5V，周期为 1m s，如图 1-2 所示。

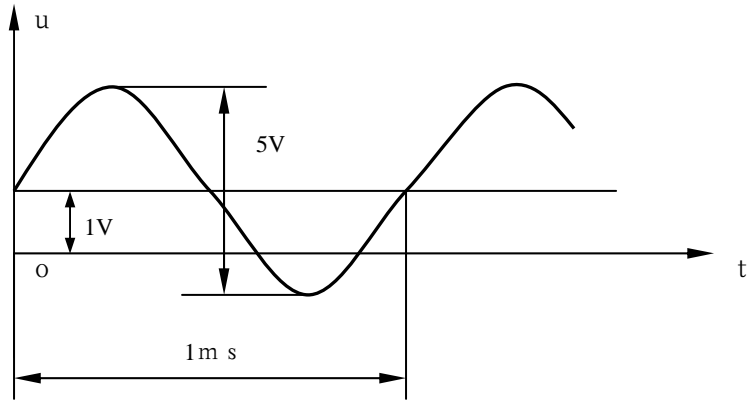


图 1-2 叠加在直流上的正弦波

再用数字万用表（直流电压档）和交流毫伏表分别测出该信号的直流分量和交流电压有效值，用函数发生器测出（由 LED 屏幕指示）该信号的频率。将数据填入表 1-2 中。

表 1-2 实验数据（二）

使用仪器	直流分量	交 流 分 量			
		峰峰值	有效值	周 期	频 率
示 波 器	1V	5V	——	1m s	——
万 用 表		——	——	——	——
交流毫伏表	——	——	——	——	——
函数发生器	——		——	——	

\* e . 相位差的测量

按图 1-3 接线，函数发生器输出正弦波频率为 2 k H z，有效值为 2V（由交流毫伏表测出）。用示波器测量  $u$  与  $u_c$  间的相位差  $\phi$ 。

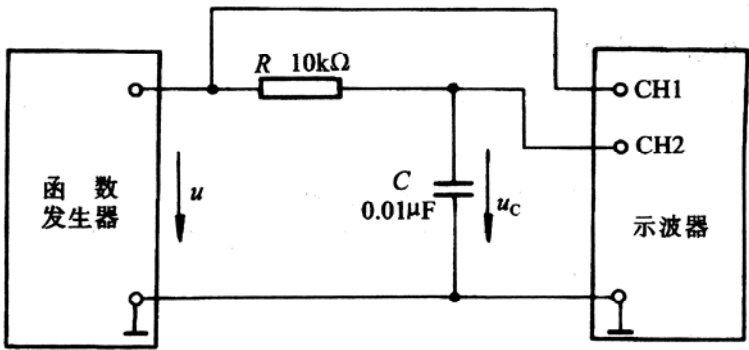


图 1-3 RC 串联交流电路

③几种周期性信号的幅值、有效值及频率的测量

调节函数发生器，使它的输出信号波形分别为正弦波、方波和三角波，信号的频率为  $2\text{ kHz}$ （由 LED 屏幕指示），信号的大小由交流毫伏表测量为  $1\text{ V}$ 。用示波器显示波形，且测量其周期和峰峰值，计算出频率和有效值，将数据填入表 1—3 中。

表 1—3 实验数据（三）

信号波形	函数发生器 频率指示（ $\text{kHz}$ ）	交流毫伏表 指 示（ $\text{V}$ ）	示波器测量值		计算值	
			周期	峰峰值	频率	最大值
正弦波						
方 波						
三角波						

### 三、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

### 四、实验预习要求

- 1、搞清常用电子仪器面板上各控制元件的名称及作用。
- 2、搞清各种常用电子仪器的使用方法。

### 五、思考题

- 1、什么叫扫描、同步，它们的作用是什么？
- 2、使用示波器时，如出现以下情况：①无图像；②只有垂直线；③只有水平线；④图像不稳定，试说明可能的原因，应调整哪些旋钮加以解决？
- 3、用示波器测量电压大小和周期时，垂直微调旋钮和扫描微调旋钮应置于什么位置？
- 4、交流毫伏表在小量程档，输入端开路时，指针偏转很大，甚至出现打针现象，这是什么原因？应怎样避免？
- 5、函数发生器输出正弦交流信号的频率为  $20\text{ kHz}$ ，能否不用交流毫伏表而用数字万用表交流挡去测量其大小？为什么？
- 6、对于方波或三角波，交流毫伏表的指示是否是它们的有效值？

## 实验二 单级低频电压放大电路

### 一、实验目的

- 1、掌握测量放大器的电压放大倍数、频率响应曲线和动态范围的方法；
- 2、测量电路参数变化时对放大电路静态工作点  $Q$ 、电压放大倍数  $A_u$  及输出波形的影响；
- 3、观察三极管静态工作点的变化对放大器性能的影响。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

$E_c=12V$        $R_p=820k\Omega \sim 1M\Omega$        $R_b=100k\Omega$        $R_b=R_p+R_{b'}$   
 $R_c=2K\Omega$        $R_L=2.7k\Omega$        $C_1=C_2=10\mu F/16V$   
 $T: 3DG6$        $\beta=30\sim 50$

#### 2、实验原理图

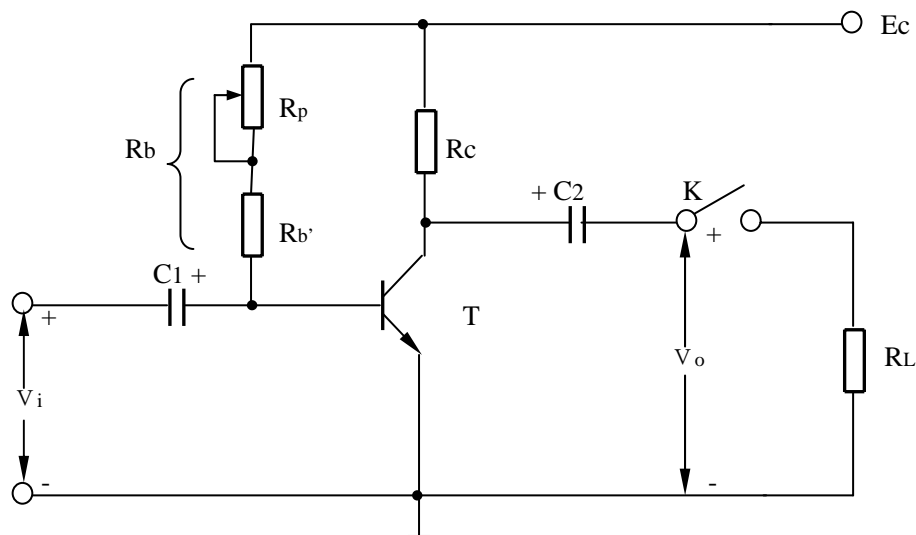


图 2—1 单级低频电压放大电路

为了避免不必要的机壳间的感应和干扰，必须将所有仪器仪表的接地端连在一起，如图 2—2 所示。

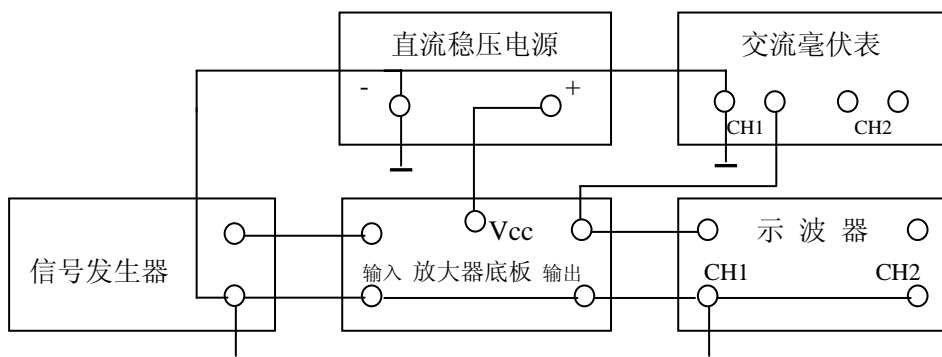


图 2—2 实验连接示意图

### 三、实验内容

1、检查实验底板或实验装置接线无误后，方可打开直流稳压电源开关。

2、观察  $R_p$  对静态工作点、电压放大倍数及输出波形的影响：

①调节  $R_p$  为某一合适的数值可以测量出静态工作点，即分别测出  $U_c$  和  $U_b$ （均对地）的值，然后按下列公式计算静态工作点：

$$I_c = \frac{E_c - U_c}{R_c}$$

②在输出不失真（通过示波器所观测到波形）的范围内，调节  $R_p$ ，选择三个不同的静态工作点，并使输入保持  $V_i=10mV$ ， $f=1kHz$ ，每次相应的测出静态工作点  $U_b$ 、 $U_c$  和  $I_c$  的值以及  $R_L=\infty$  及  $R_L=2.7k\Omega$  时的输出电压  $V_o$  的值，并将所测的数据填入表 2—1 中。分别计算出三个不同静态工作点时相对应的电压增益（应区分不同的负载，即  $R_L=\infty$  及  $R_L=2.7k\Omega$  时），并与理论估算值相比较。

表 2—1 实验数据（一）

$E_c$	$V_i$	调 $R_p$ 使工作 点在放 大区	直流工作点			输 出			
			$U_b$	$U_c$	$I_c$	$R_L=\infty$		$R_L=2.7k\Omega$	
						$V_{o1}$	$A_{u1}$	$V_{oL}$	$A_{uL}$
12V	1kHz 10mV								

估算值按下式计算：

$$A_u = -\frac{\beta R_L'}{r_{be}}$$

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} \quad I_E \approx I_C$$

\*③逐渐减小  $R_p$ ，观察输出波形的变化。当  $R_b$  为最小时（即  $R_p=0$ ），输出波形如何？测量此时的静态工作点。如输出波形仍为不失真的正弦波时，测出  $V_i$  和  $V_o$  并计算  $A_u$ 。

\*④逐渐增大  $R_p$ ，观察输出波形的变化。当  $R_b$  为最大时，输出波形如何？测量此时的静态工作点。如输出波形仍为正弦波时，测出  $V_i$  和  $V_o$  并计算  $A_u$ 。

### 3、动态范围的测量

将函数发生器频率调到 1kHz，调节其输出电压，使其慢慢增大，同时用示波器观察放大器的输出波形是不是不失真（不失真是指波形基本上为正弦波，无明显削波现象，以后不注明，意义均同此）；如波形不失真则再继续增大函数发生器的输出电压；如出现失真，此时调节  $R_p$  改变工作点，如失真能消除，则再次增大函数发生器的输出电压，若失真不能消除则应相应减小函数发生器的输出电压，直到刚好出现不失真，此时的静态工作点就是最大动态范围时的工作点。用交流

毫伏表测出此时的输出电压  $V_o$ ，可求出动态范围，将数据填入表 2—2 中。

$$2V_{om} = 2\sqrt{2}V_o$$

表 2—2 实验数据（二）

$R_L$	$V_o$	$2V_{om}$
2.7 k $\Omega$		

\*4、测量频率响应曲线

保持函数发生器的输出不变，改变函数发生器的频率（由低到高），先大致观察在哪一个上限和下限时幅度下降，在特性的平直部分只测几点，然后在弯曲部分适当的多测几点，每改变一次频率，测一次放大器的输出电压，从 2Hz~800 kHz，计算放大倍数  $A_u$ 。将数据填入表 2—3 中，并画出频率曲线。

表 2—3 实验数据（三）

f(Hz)														
$V_i$	10mV													
$V_o$														
$A_u$														

四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

五、实验预习要求

- 1、掌握小信号低频电压放大器静态工作点的选择原则和放大器主要性能指标的定义及其测量方法。
- 2、复习有关教材射极偏置的单极共射低频放大器的工作原理、静态工作点的估算及  $A_u$  和  $I_c$  的计算。

六、思考题

- 1、静态工作点对放大器的性能有何影响？
- 2、测量过程中，所有仪器的公共端（接地端）要连接在一起，为什么？
- 3、在实验过程中，每次改变工作点（即改变  $R_p$  的值）时， $V_i$  会发生变化吗？为什么？
- 4、在实验电路中，如果电容器  $C_2$  漏电严重，试问当接上负载  $R_L$  后，会对放大器性能产生什么影响？
- 5、比较实验数据与理论估算值，得到什么结论？



## 实验三 两级放大电路

### 一、实验目的

- 1、掌握两级阻容耦合放大电路静态工作点的调整方法；
- 2、掌握两级阻容耦合放大电路电压放大倍数及频率特性的测试方法；
- 3、观察两级阻容耦合放大电路间的联系及相互影响。

### 二、实验电路原理图

#### 1、 电路参数

$E_c=12V$	$R_b=R_{p1}+R_{b1}$	$R_{b1}=100k\ \Omega$
$R_{p1}=820k\ \Omega \sim 1M\ \Omega$	$R_{c1}=2k\ \Omega$	$R_{b2}=10k\ \Omega$
$R_{b3}=2k\ \Omega$	$R_{p1}=10k\ \Omega$	$R_{c2}=2k\ \Omega$
$R_e=2k\ \Omega$	$R_L=2.7k\ \Omega$	$C_1=C_2=C_3=10\ \mu F/16V$
$C_e=500\ \mu F/16V$	$C_i=1\ \mu F/63V$	

#### 3、 实验原理图

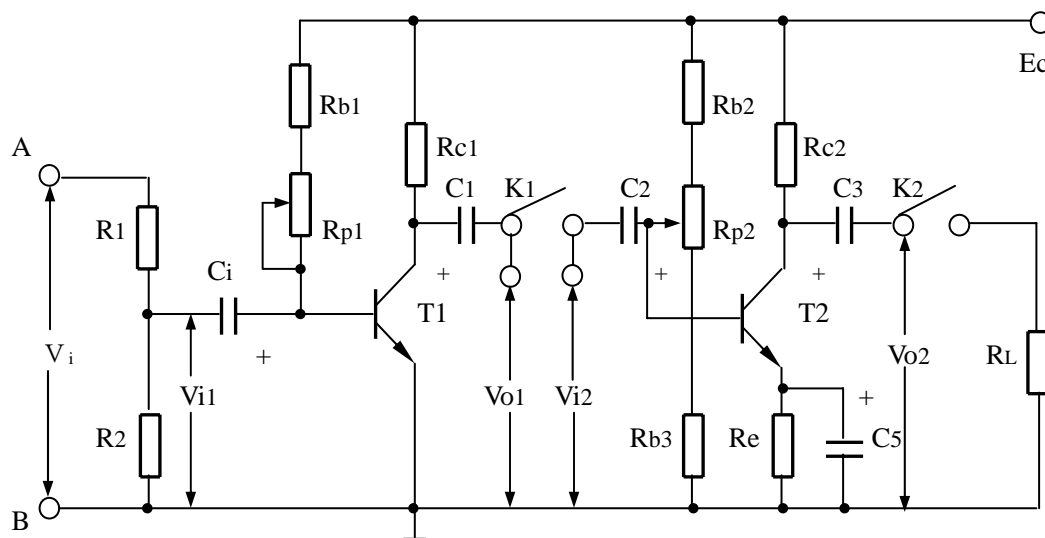


图 3—1 两级放大电路

### 三、实验内容

- 1、按电路图检查实验电路及外部接线无误后方可打开直流稳压电源开关。
- 2、调整静态工作点

接通直流稳压电源，调节  $R_{p1}$ ，使  $U_{c1}=10V$  左右，确定第一级工作点  $Q_1$ 。调节  $R_{p2}$ ，使第二级静态工作点  $Q_2$  大致在交流负载线中心（按电路参数，实验前用图解法求出  $U_{CE2}$  的数值）。

#### 3、测量两级放大电路的电压放大倍数

①合上开关  $K_1$ ，在 A、B 间加输入信号  $V_i=10\ mV$ ，通过  $R_1$ 、 $R_2$  电阻分压后，实际  $V_{i1}=1\ mV$ ， $f=1kHz$ ，用示波器观察一、二级输出电压波形有无失真？若有失

真现象，可以适当调整静态工作点（ $R_{p1}$ 、 $R_{p2}$  微量调节）或减少  $U_c$  使波形不失真为止；若加入输入信号后，输出波形有“寄生振荡”时，应采取如下消振措施消除振荡后再进行实验：将函数发生器、稳压电源等仪器重新整理，连线要尽量短些，各接地点要统一，若振荡仍不能消除可在适当位置（如  $T_2$  的 b、c 极之间）加一小电容（几~几千 PF）进行消振，具体位置、数值由实验确定。

②在输出不失真的情况下，测量并记录各级输出电压并计算输出电压的放大倍数，与理论估算值相比较，将数据填入表 3—1 中。（ $R_L = \infty$ ,  $V_{i1}=1\text{ mV}$ ,  $f=1\text{kHz}$ ）

表 3—1 实验数据（一）

静态工作点					输入、输出电压	电压放大倍数				
第一级		第二级				第一级	第二级	总放大 倍数		
U <sub>B1</sub>	U <sub>C1</sub>	U <sub>B2</sub>	U <sub>C2</sub>	U <sub>E2</sub>		V <sub>i1</sub>	V <sub>o1</sub>	V <sub>o2</sub>	A <sub>u1</sub>	A <sub>u2</sub>

③接入负载电阻  $R_L$ （即合上开关  $K_2$ ），测量并记录各级输出电压并计算输出电压的放大倍数，与上面结果相比较，并与理论估算值相比较，将数据填入表 3—2 中。（ $R_L=2.7\text{k}\Omega$ ,  $V_{i1}=1\text{ mV}$ ,  $f=1\text{kHz}$ ）

表 3—2 实验数据（二）

静态工作点					输入、输出电压			电压放大倍数		
第一级		第二级						第一级	第二级	总放大倍数
U <sub>B1</sub>	U <sub>C1</sub>	U <sub>B2</sub>	U <sub>C2</sub>	U <sub>E2</sub>	V <sub>i1</sub>	V <sub>O1</sub>	V <sub>O2</sub>	A <sub>u1</sub>	A <sub>u2</sub>	A <sub>u</sub>

#### 4、观察前后级间的影响

将放大器的第一级输出与第二级输入断开（即断开开关  $K_1$ ），使两级独立工作，分别测出两个单级放大器输入输出电压（均按单级放大器测试步骤进行），并计算每级的电压放大倍数，将数据填入表 3—3 中。（此时静态工作点同前，输出端均开路），并与级连时比较。

表 3—3 实验数据（三）

第一级			第二级			总放大倍数
输入电压	输出电压	放大倍数	输入	输出	放大倍数	$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}$
$V_{i1}$	$V_{o1}$	$A_{u1}$	$V_{i2}$	$V_{o2}$	$A_{u2}$	$A_u$

#### \*5、测量两级阻容耦合放大器的幅频特性

改变输入信号频率（由低到高）先大致观察在哪一个上限和下限频率时幅度下降，然后保持输入信号  $V_{i1}=1\text{ mV}$ ，测量  $V_o$  值，特性平直部分只测几个点，弯曲部分适当多测几个点。将数据填入表 3—4 中。

表 3—4 实验数据（四）

f(Hz)															
V <sub>i</sub>	1 mV														
V <sub>o</sub>															

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

#### 五、实验预习要求

1、复习多级放大器有关计算放大倍数  $A_u$  的方法，级与级之间的相互影响，频率特性的理论知识。

2、按实验要求估算第一级静态工作点，用图解法确定第二级静态工作点在交流负载线中点的有关数据。

#### 六、思考题

1、各级静态工作点应如何选择？阻容耦合放大器各级之间的静态工作点有无影响？

2、要求提高放大倍数应采取什么措施？

\*3、如何提高上限频率？如何降低下限频率？影响上下限频率的主要环节是什么？

## 实验四 差分放大电路

### 一、实验目的

- 1、通过实验加深理解差分放大电路的基本性能特点；
- 2、通过实验理解失调对差分放大器性能的影响；
- 3、掌握利用 Electronics WorkBench (EWB) 软件的高级分析功能，分析电路的性能，测量电路的指标。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

$$R_1 = R_2 = 100\ \Omega$$

$$R_3 = R_4 = 1\text{k}\ \Omega$$

$$R_5 = 4.5\text{k}\ \Omega$$

$$R_{e1} = R_{e2} = 51\ \Omega$$

$$R_{c1} = R_{c2} = 5.1\text{k}\ \Omega$$

$$R_{w1} = R_{w2} = 500\ \Omega$$

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = \text{PN2222A}$$

#### 2、实验原理图

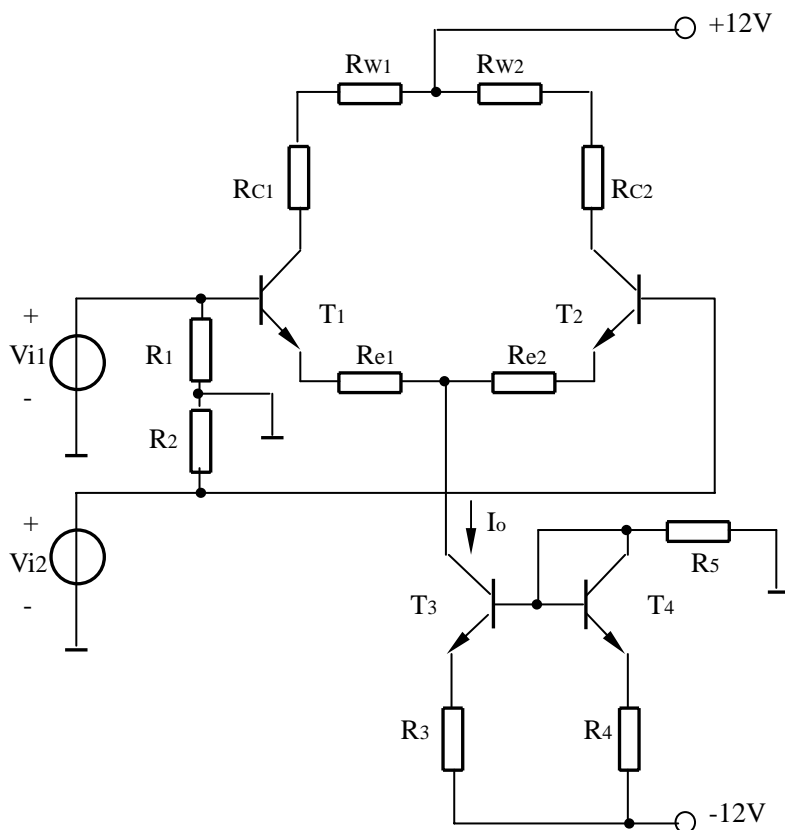


图 4—1 采用恒流源偏置的差分放大器

### 三、实验内容

- 1、在 EWB (Electronics WorkBench) 中根据图 4—1 画出电路图，其中  $T_1 \sim T_4$  各管选用 National 公司的三极管 PN2222A。
- 2、选择 Analysis 菜单下的 DC operating point 菜单项进行直流工作点分析，由此测

出 T1~T4 各管的静态工作点电压和各管的静态工作点电流。为了测量静态工作点电流，可以在相应支路中添加零电压源以简化测量过程。将所测结果记入实验报告。

3、在两输入端分别加入幅度同为 10 mV 、频率同为 1kHz，但相位相反的正弦信号（即加入差模信号），选择 Analysis 菜单下的 Transient Analysis 菜单项进行瞬态分析，在图 4—2 所示的 Transient Analysis 窗口中设定 Start time 为 0s，End time 为 0.0025s，并将两集电极节点加入 Node for analysis。观察两集电极的单端输出波形，读出两电压幅值，比较两者的相位，将测量结果和波形记录在实验报告上，计算出  $A_{vd1}$ 、 $A_{vd2}$  和  $A_{vd}$ 。

4、选择 Analysis 菜单下的 AC Frequency Analysis 菜单项弹出

如图 4—3 所示窗口。设 Start frequency 为 1Hz，End frequency 为 10MHz，Sweep type 为 Decade（即幅频特性的横坐标是对数坐标），Number of points 为 1000（即电路仿真时每 10 倍频取 1000 个采样点），Vertical scale 设为 Decibel（即幅频特性的纵坐标是分贝），将电路输出端的节点号加到 Node for analysis 中。点击 Simulate 按钮进行频率特性分析。观察测出的幅频特性曲线，读出 3 分贝带宽。将波形和测量结果记入实验报告中。

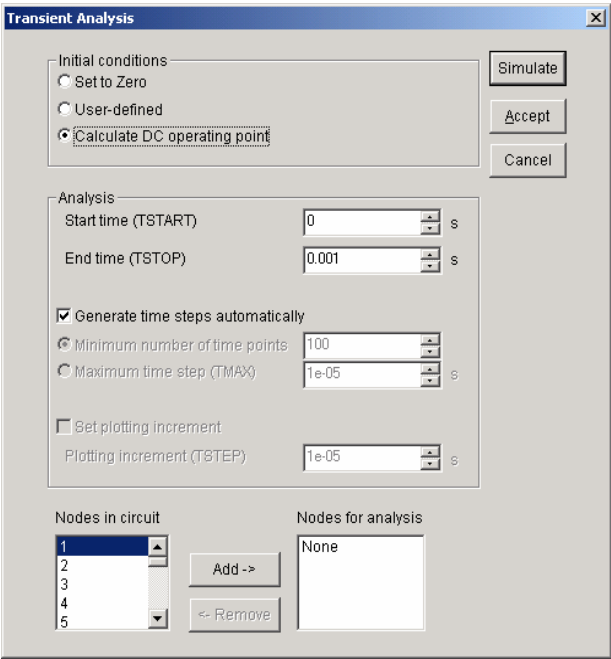


图 4—2 Transient Analysis 参数设置窗口

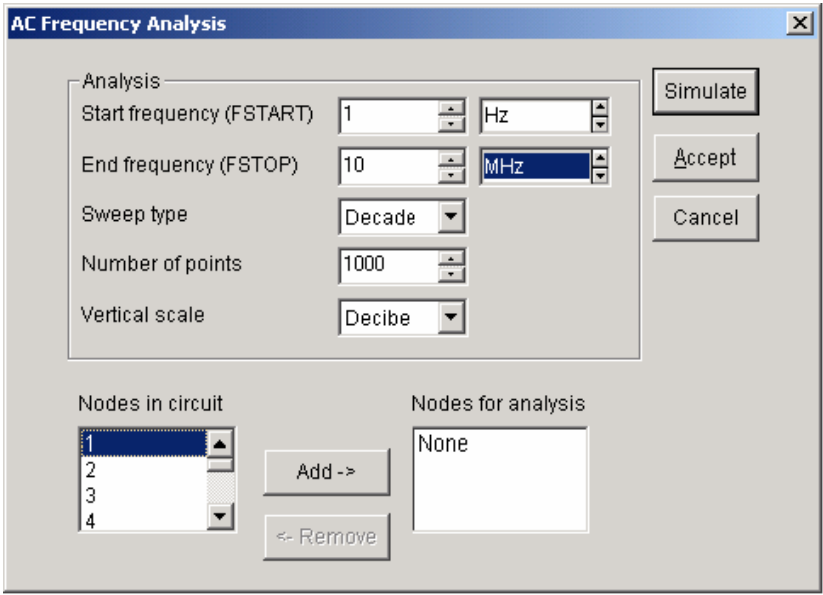


图 4—3 AC Frequency Analysis 参数设置窗口

5、将  $R_5$  改为  $2k\Omega$ ，重复上面 1~4 的内容，并对两次结果进行比较分析。

6、将  $R_5$  改回  $4.5k\Omega$ ， $R_{C1}$  与  $R_{C2}$  改为  $8k\Omega$ ，重复上面 1~4 的内容，并对两次结果进行比较分析。

7、将  $R_{C1}$  与  $R_{C2}$  改回  $5.1k\Omega$  在两输入端都加入幅度为  $150\text{ mV}$ ，频率为  $1\text{ kHz}$  的差模正弦信号，选择 Analysis 菜单下的 Transient Analysis 菜单项进行瞬态分析，观察单端输出的波形，并分析原因。

8、将  $V_{i2}$  改为由  $V_{i1}$  控制的电压源  $E_1$ ，选择 Analysis 菜单下的 Parameter Analysis 菜单项进行直流变量扫描分析。在图 4—4 所示的 Parameter Analysis 窗口中设定 Component 为  $V_{i1}$ ，Parameter 为 Voltage，Start value 为  $-0.2\text{ V}$ ，End value 为  $0.2\text{ V}$ ，Sweep type 为 Linear，Increment step size 为  $0.005\text{ V}$ ，Output Node 为两集电极所在的节点号，Sweep for 为 DC operating point，点击 Simulate 按钮可分析得出差模传输特性曲线，读出差模电压的线性范围，打印出该曲线。

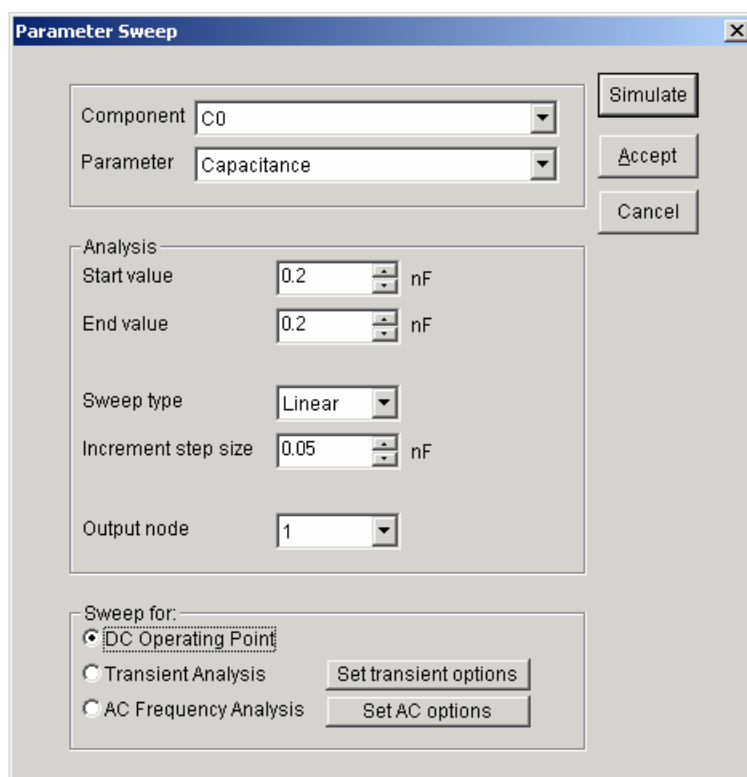


图 4—4 Parameter Sweep 参数设置窗口

9、将  $R_{e1}$  与  $R_{e2}$  改回  $1\Omega$ ，重复第 8 项。

10、将两输入端短接，加入幅度为  $500\text{ mV}$ ，频率为  $1\text{ kHz}$  的共模正弦信号，选择 Analysis 菜单下的 Transient Analysis 菜单项进行瞬态分析，在图 4—2 所示的 Transient Analysis 窗口中设定 Start time 为  $0\text{ s}$ ，End time 为  $0.0025\text{ s}$ ，并将两集电极节点加入 Node for analysis。观察两集电极的单端输出波形，读出两电压幅值，比较两者的相位，将测量结果和波形记录在实验报告上，计算出  $A_{VC1}$ 、 $A_{VC2}$ 、 $A_{VC}$  和  $K_{CMR}$ 。

11、将  $R_{C2}$  值改为  $8\text{ k}\Omega$ ，重复第 10 项，并对结果进行比较分析。

12、将  $Q_2$  的模型中的 Forward current gain coefficient 改为 200，重复第 10 项，比较分析两者结果；再把温度提高到  $75^\circ\text{C}$ ，重复第 10 项，比较分析两者的结果。

13、在 12 中改变  $R_w$  值，对电路进行调零。

#### 四、实验仪器仪表

- |                            |                      |     |
|----------------------------|----------------------|-----|
| 1、计算机                      | Pentium100、内存 32M 以上 | 1 台 |
| 2、Electronics WorkBench 软件 |                      | 1 套 |

#### 五、实验预习要求

- 1、复习差分放大器的工作原理和性能分析方法。
- 2、预习 Electronics WorkBench (EWB) 软件的使用方法。

#### 六、思考题

当  $K_{CMR}$  为有限值，且保持信号源的幅度不变时，试问：在单端输入和双端输入两种情况下，其输出值是否相同？为什么？

## 实验五 通用集成运算放大器主要参数的测试

### 一、实验目的

理解通用运放主要参数的意义，学会其测量方法，为选择运放和设计运放应用电路打下基础。

### 二、实验电路原理图

#### 1、 电路参数

图 5—2:  $R_1=100\text{k}\Omega$

$R_2=1\text{M}\Omega$

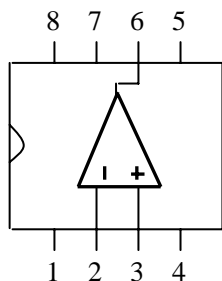
图 5—3:  $R_1=R_3=100\text{k}\Omega$

$R_2=10\text{M}\Omega$

图 5—4:  $R_1=R_3=100\Omega$

$R_2=R_4=100\text{k}\Omega$

#### 2、 实验原理图



1、5—失调调零端；2—反相端；3—同相端；4—负电源端或参考地端；6—输出端；7—正电源端；8—空脚

图 5—1  $\mu\text{A741}$  引脚图

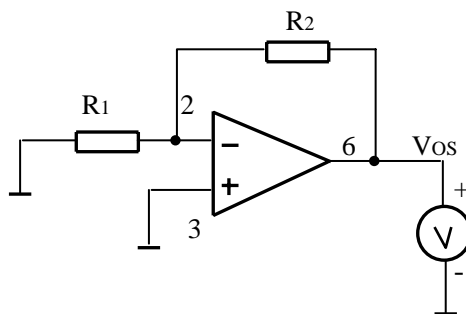


图 5—2 测量  $V_{os}$  的电路图

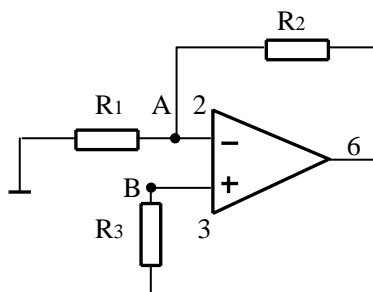


图 5—3 测量  $I_B$  及  $I_{io}$  的电路图

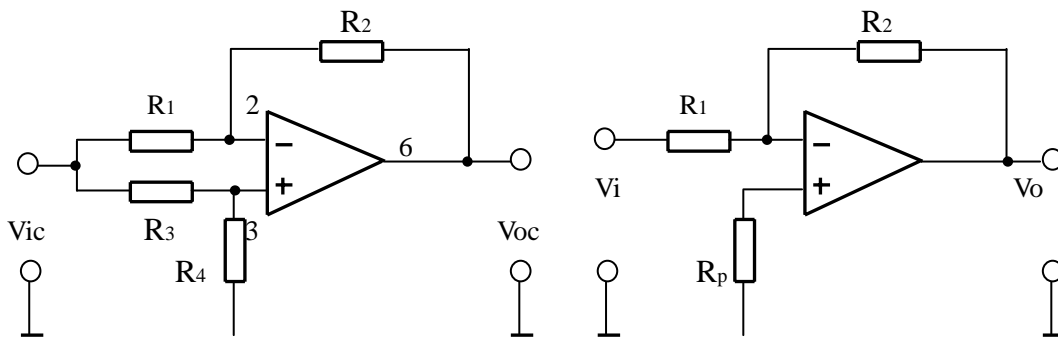




图 5—4 测量运放 KCMR 的电路图

图 5—5 测量运放 GBP 的电路图

### 三、实验内容

本次实验采用  $\mu A741$  型运放，其引脚排列如图 5—1 所示。下面介绍运放主要参数的含义及其测量电路。

#### 1、输入失调电压 $V_{ios}$

理想运放当输入电压为零时，其输出电压也为零，但实际运放当输入电压为零时，其输出端仍有一个偏离零的直流电压  $V_{os}$ ，这是由于运放电路参数不对称所引起的。在室温（25℃）和标准电源电压下，为了使这一输出直流电压  $V_{os}$  为零，必须预先在输入端加一个直流电压，以抵消这一不为零的直流输出电压，这个应加在输入端的电压即为输入失调电压  $V_{ios}$ 。其典型值为  $\pm (1 \sim 10) \text{ mV}$ 。测量输入失调电压的电路如图 5—2 所示。

$$\text{测量依据：闭环增益 } |A_{vf}| = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{输入失调电压 } V_{ios} = \frac{-V_{os}}{|A_{vf}|}$$

#### 2、运放输入偏置电流 $I_{B1}$ 、 $I_{B2}$ 和失调电流 $I_{io}$

运放的输入偏置电流是指运放输入级差分对管的基极电流  $I_{B1}$ 、 $I_{B2}$ 。通常由于晶体管参数的分散性， $I_{B1} \neq I_{B2}$ 。运放的输入失调电流是指当运放输出电压为零时，两个输入端静态电流的差值，即  $I_{io} = I_{B1} - I_{B2}$ 。其典型值为几十至几百纳安。实验测量电路如图 5—3 所示。

$$\text{输入偏置电流 } I_{B1} = \frac{U_A}{R_1} \quad I_{B2} = \frac{U_B}{R_3}$$

据此可算出输入失调电流和输入平均偏置电流  $I_B$  平均为

$$I_{io} = I_{B1} - I_{B2} \quad I_{B\text{平均}} = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

#### 3、共模抑制比 KCMR

运放的共模抑制比是指其差模电压增益  $A_{vd}$  与共模电压增益  $A_{vc}$  之比，即

$$\text{KCMR(dB)} = 20 \lg \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \quad \text{实验电路如图 5—4 所示。}$$

$$\text{差模增益 } |A_{vd}| = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$\text{共模增益 } A_{vc} = \frac{V_{oc}}{V_{ic}}$$

共模抑制比  $K_{CMR}(dB) = 20\lg \frac{A_{vd}}{A_{vc}}$

#### \*4、运放增益-带宽乘积 GBP

运放的增益是随信号的频率而变化的，即输入信号的频率增大，其增益将逐渐减小，然而，其增益与其带宽的乘积是一个常数。所谓运放的带宽是指其输出电压随信号源频率增大而使其下降到最大值的 0.707 倍时的频率范围。实验电路如图 5—5 所示。

测量依据  $|A_{vf}| = \frac{R_2}{R_1}$

增益-带宽积：GBP=A<sub>v</sub> • BW

BW 为运放带宽（即输出电压下降到最大值的 0.707 倍时的频率值）

将 V<sub>ip-p</sub> 调至 0.7V（*f<sub>i</sub>* 取 100Hz），此时 V<sub>op-p</sub> 肯定也是 0.7V（因为是反相器）。

然后逐渐增大 V<sub>i</sub> 的频率 *f<sub>i</sub>*，观测 V<sub>o</sub>，直至 V<sub>op-p</sub>=0.5V，记下此频率值即 BW。亦即

为 GBP 的值（因为 A<sub>v</sub>=1）。

#### 四、实验仪器仪表

- |                            |                      |      |
|----------------------------|----------------------|------|
| 1、计算机                      | Pentium100、内存 32M 以上 | 1 台  |
| 2、Electronics WorkBench 软件 |                      | 1 套` |

#### 五、实验预习要求

- 1、复习运放主要参数的定义，了解通用运放 μA741 的主要参数值范围。
- 2、设计 μA741 运放主要参数测试电路并估算参数。拟定测试所需仪器、仪表及接法、量程等。

#### 六、思考题

- 1、测量失调电压时，观察电压表读数 V<sub>os</sub> 是否始终是一个定值？为什么？
- 2、若 V<sub>os</sub>≠0，如何利用失调调零端将它调至零？调零的原理是什么？一旦将 V<sub>os</sub> 调至零后，它是否再也不会变化了？为什么？

\*3、测 BW 时若将运放反馈阻值比换作  $\frac{R_2}{R_1} = 2$ ，再测 BW 值，试问所得 BW 值与

$\frac{R_2}{R_1} = 1$  时的是否相同？为什么？

## 实验六 模拟运算电路

### 一、实验目的

- 1、深刻理解运算放大器的“虚短”、“虚断”的概念。熟悉运放在信号放大和模拟运算方面的应用；
- 2、掌握反相比值运算电路、同相比值运算电路、加法和减法运算电路的设计方法；
- 3、学会测试上述各运算电路的工作波形及电压传输特性。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

图 6—2:  $R_1 = R_p = 10k\ \Omega$   $R_f = 100k\ \Omega$

图 6—3:  $R_1 = R_p = 10k\ \Omega$   $R_f = 100k\ \Omega$

#### 2、实验原理图

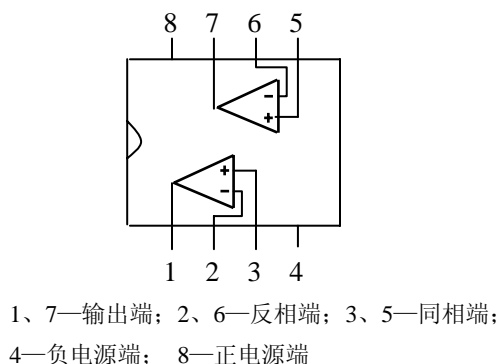


图 6—1 LM358 引脚图

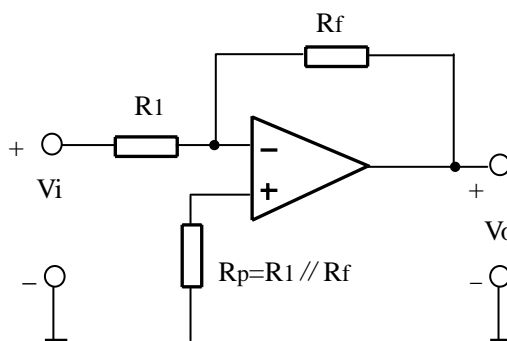


图 6—2 反向比例运算电路

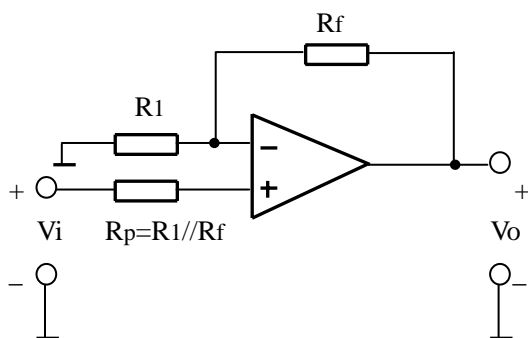


图 6—3 同向比例运算电路

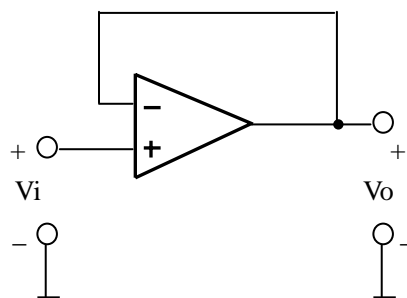


图 6—4 同相跟随器电路

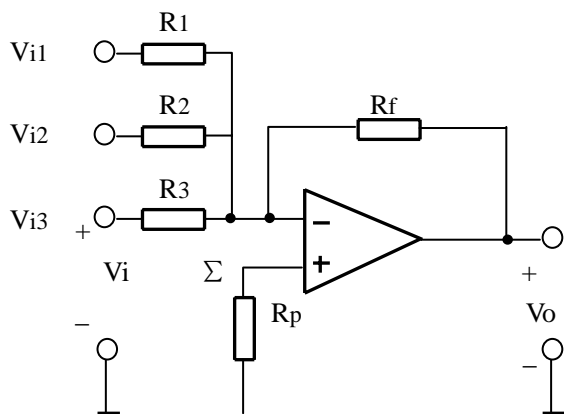


图 6—5 反向加法器

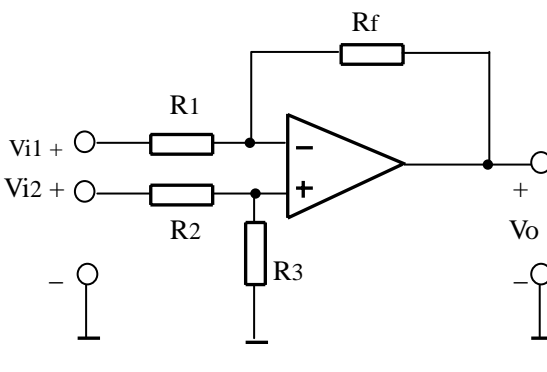


图 6—6 减法运算电路

### 三、实验内容

集成运算放大器是高增益的放大器。在其输出端和输入端之间接入不同的反馈网络，就能实现各种不同的电路功能。当集成运算放大器工作在线性区时，其参数很接近理想值，因此在分析这类放大器时应抓住以下两个重要特点，便可使得分析这类问题时变得十分简便。

第一，由于理想运放的开环差模输入电阻为无穷大，输入偏置电流为零，所以不会从外部电路索取任何电流，故流入放大器反相输入端和同相输入端的电流  $I_i=0$ 。

第二，由于理想运放的开环差模电压增益为无穷大，那么当输出电压为有限值时，差模输入电压  $|V_- - V_+| = |V_o|/|A_o| = 0$ ，即  $V_- = V_+$ 。

#### 1、反相输入比例运算电路

电路如图 6—2 所示。信号  $V_i$  由反相端输入，所以  $V_o$  与  $V_i$  相位相反。输出电压经  $R_f$  反馈到反相输入端，构成电压并联负反馈电路。 $R_1$  为闭环输入电阻， $R_p$  为输入平衡电阻，输出阻抗为

$$Z_o = \frac{R_o}{1 + AF} \quad (R_o \text{ 为运放的输出电阻})$$

该电路的闭环电压放大倍数为

$$A_{vf} = -\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

按图 6—2 接线，输入信号为 1kHz、正弦，有效值分别为 10mV、15mV、20mV，测出它们分别对应的输出  $V_o$ ，算出  $A_{vf}$ ，并与理论值比较，将数据填入表 6—1 中。

表 6—1 实验数据（一）

$V_i$ (mV)	10	15	20
$V_o$			
$A_{vf}$			
$A_{vf}$ 理论			

测量出该电路的动态范围，将数据填入表 6—2 中。

表 6—2 实验数据（二）

$V_i$	$V_o$	$2V_{om}$

当  $R_f=R_1$  时，运算电路的输出电压等于输入电压的负值，称为反相器。

## 2、同相输入比例运算电路

电路如图 6—3 所示。它属于电压串联负反馈电路，其输入阻抗高，输出阻抗低，具有放大及阻抗变换作用，通常用于隔离或缓冲级。在理想条件下，其闭环电压放大倍数为

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

按图 6—3 接线，输入信号为 1kHz、正弦，有效值分别为 10mV、15mV、20mV，测出它们分别对应的输出  $V_o$ ，算出  $A_{vf}$ ，并与理论值比较，将数据填入表 6—3 中。

表 6—3 实验数据（三）

$V_i$ (mV)	10	15	20
$V_o$			
$A_{vf}$			
$A_{vf}$ 理论			

测量出该电路的动态范围，将数据填入表 6—4 中。

表 6—4 实验数据（四）

$V_i$	$V_o$	$2V_{om}$

图中当  $R_f=0$  或  $R_1=\infty$  时， $A_{vf}=1$ ，即输出电压与输入电压大小相等、相位相同，称为同相电压跟随器。电路如图 6—4 所示。

## \*3、加法运算电路

电路如图 6—5 所示。在反相比值运算电路的基础上增加几个输入支路便构成了反相加法运算电路。在理想条件下，由于  $\Sigma$  点为“虚地”，三路输入电压彼此隔离，各自独立的经输入电阻转换为电流，进行代数和运算，即当任一输入  $V_{ik}=0$  时，则在其输入电阻  $R_k$  没有压降，故不影响其它信号的比例求和运算。

总输入电压为

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_{i1} + \frac{R_f}{R_2}V_{i2} + \frac{R_f}{R_3}V_{i3}\right)$$

其中,  $R_p=R_1//R_2//R_3//R_f$ 。当  $R_1=R_2=R_3=R_f$  时,  $V_o=-(V_{i1}+V_{i2}+V_{i3})$

#### \*4、减法运算电路

电路如图 6—6 所示。当  $R_2=R_1$ ,  $R_3=R_f$  时, 可由叠加原理得

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

当取  $R_1=R_2=R_3=R_f$  时,  $V_o=V_{i2}-V_{i1}$ 。实现了减法运算。常用于将差动输入转换为单端输出, 广泛地用来放大具有强烈共模干扰的微弱信号。要实现精确的减法运算, 必须严格选配电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_f$ 。此外,  $V_{i2}$  使运放两个输入端上存在共模电压

$V_- \approx V_+ = V_{i2} \frac{R_3}{R_2 + R_3}$ , 在运放  $K_{CMR}$  为有限值的情况下, 将产生输出运算误差电压,

所以必须采用高  $K_{CMR}$  的运放以提高电路的运算精度。

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

#### 五、实验预习要求

1、复习集成运放有关模拟运算应用方面的内容, 弄清各电路的工作原理。

2、设计反相比例运算电路, 要求  $|A_{vf}| = 10$ ,  $R_i \geq 10k\Omega$ 。确定各元件值并标注在实验电路上。

3、设计一模拟运算电路, 满足关系式

$$V_o = -2V_{i1} + 3V_{i2}$$

其中  $V_{i1}$ 、 $V_{i2}$  为直流输入电压。

#### 六、思考题

1、理想运算放大器具有哪些特点?

2、运放用作模拟运算电路时, “虚短”、“虚断”能永远满足吗? 试问: 在什么条件下“虚短”、“虚断”将不再存在?

## 实验七 积分、微分电路

### 一、实验目的

- 1、了解运放在信号积分、微分和一阶有源滤波方面的应用电路及参数的影响；
- 2、掌握积分、微分和一阶有源滤波电路的设计、调试方法。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

图 7—1:  $R = R_p = 100k\ \Omega$   $C = 0.01\ \mu F$

图 7—2:  $R = R_p = 100k\ \Omega$   $C = 0.01\ \mu F$

#### 2、实验原理图

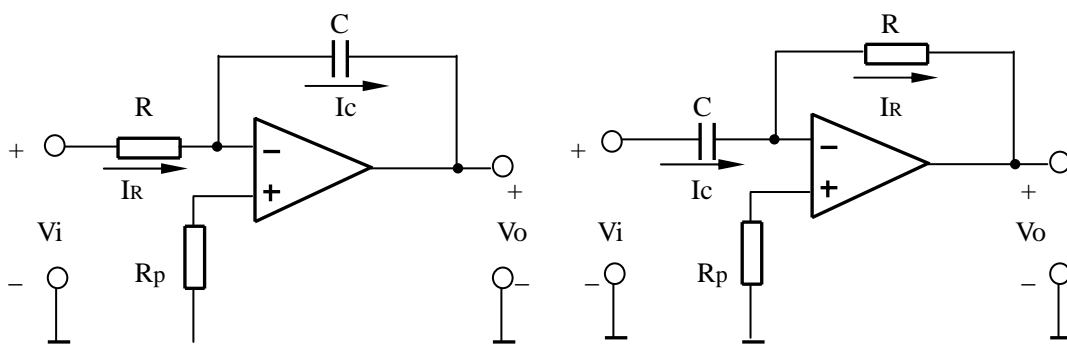


图 7—1 积分电路

图 7—2 微分电路

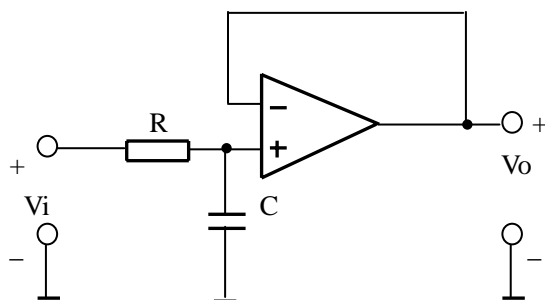


图 7—3 一阶有源滤波电路

### 三、实验内容

#### 1、积分电路

电路如图 7—1 所示。由“虚短”条件：

$$V_i = R I_R \quad V_o = -\frac{1}{C} \int_0^t I_C dt$$

又由“虚断”条件：

$$I_R = I_C$$

则有:

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} V_i dt + \text{常数}$$

设充电起始时刻 C 上不带电, 则式中的常数为零, 输出电压为输入电压对时间的积分, 负号表示相位相反。

当输入占空比为 50% 的方波时, 其积分后输出为三角波。

## 2、微分电路

电路如图 7—2 所示。由于

$$V_o = -RI_R \quad I_R = I_C = C \frac{dV_i}{dt}$$

于是有

$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

即输出电压等于输入电压对时间的微分。

当输入为三角波时, 其微分后输出占空比为 50% 的方波。

## \*3、一阶有源滤波

电路如图 7—3 所示。一个一阶 RC 低通滤波环节加一个电压跟随器即构成一个一阶有源低通滤波电路。与无源滤波相比较, 由于电压跟随器的隔离作用, 使滤波电路的输出电压不会随负载变化而变化, 有极强的带负载能力, 同时使得 R、C 值的选取不受负载变化范围的影响。该电路的转折频率为

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

高通滤波器只需将 R、C 位置互换即可。

## 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

## 五、实验预习要求

熟悉由运放构成的基本积分电路、微分电路和一阶有源滤波电路的工作原理, 设计满足实验内容要求的有关电路, 并估算电路参数。

## 六、思考题

在图 7—1 所示的基本积分电路中, 为了减小积分误差, 对运放的开环增益、输入电阻及输入失调电流有什么要求?



实验八 波形产生电路

一、实验目的

- 1、加深理解 RC 正弦波振荡器的工作原理、基本思路、起振条件及稳定条件，了解负反馈对振荡波形的影响；
- 2、掌握振荡频率的计算及测量方法；
- 3、学会电路底板的设计、制作、安装，并进一步熟悉焊接技术。

二、实验电路原理图

1、 电路参数

$R=10\text{k}\Omega$                        $C=0.01\mu\text{F}$                        $R_{e1}=1\text{k}\Omega$                        $R_f=4.7\text{k}\Omega$

2、 实验原理图

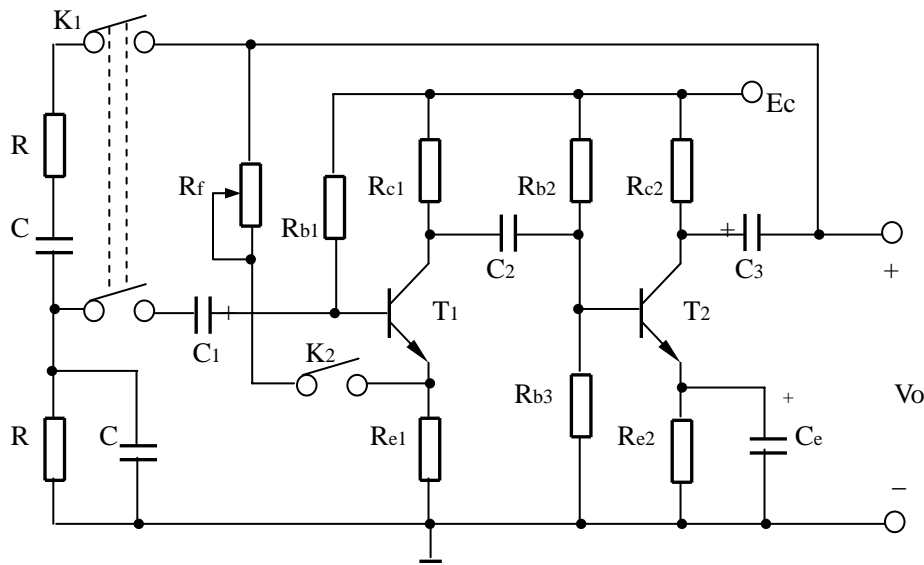


图 8—1 RC 正弦波振荡电路

三、实验内容

- 1、电路如图 8—1 所示。图中 R、C 串并联选频网络构成正反馈支路，Rf、Re1 构成负反馈支路，电位器 Rf 用于调节负反馈深度以满足起振条件和改善波形。
- 2、将电路接上+12V 电源，正反馈开关 K1 和负反馈开关 K2 全部合上，将示波器接到振荡器输出端，调节电位器 Rf 以改变负反馈大小并观察输出波形的变化，观测在负反馈分别为最小和最大时的输出波形，并将观测到的波形（波形的大概形状）记录在表 8—1 中。

表 8—1 实验数据（一）

负反馈深度	Vo 的波形
最 小	
最 大	

- 3、适当调节电位器 Rf，使电路产生振荡，输出为稳定的最大不失真的正弦波：

①用“李沙育图形法”测量出正弦波振荡器的实际振荡频率  $f_{\text{实}}$  并记录，并与理论振荡频率相比较，分析出现误差的原因。（RC 振荡器的理论振荡频率  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ ，改变 R 或 C 的值就可以改变振荡器的振荡频率）。测量步骤如下：

- a.将被测信号接入示波器 CH1 通道；
- b.将函数发生器输出的正弦波送入示波器的 CH2 通道；
- c.按下示波器的“X—Y”按钮（即 X—Y 工作方式）；
- d.调整函数发生器的频率  $f_x$ ，在示波器屏幕上显示一椭圆，读取函数发生器所显示的频率即为被测信号的频率  $f_{\text{实}}$ 。

②测量负反馈放大电路的电压放大倍数  $A_{vf}$  及反馈系数  $F$ 。

测量出振荡器的输出  $V_o$  的有效值，断开 RC 串并联选频网络与放大电路输入之间的开关 K1，在放大器的输入端加入和振荡器的振荡频率相同的信号，使输出波形的有效值与原来（开关 K1 断开前）振荡时的有效值相同，测出此时的  $V_i$ 、 $V_f$  和  $V_o$ ，断开振荡器的负反馈开关 K2、电源及信号后测量  $R_f$  和  $R_{e1}$  的值，并将数据填入表 8—2 中。

表 8—2 实验数据（二）

$V_i$	$V_o$	$V_f$	$A_{vf}$	$R_f$	$F = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f}$

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

#### 五、实验预习要求

- 1、认真预习本实验内容，弄清各电路的工作原理及电路中各元件的作用。
- 2、根据电路元件参数，预先计算有关电路的振荡频率（或周期），以便与测量值比较。

#### 六、思考题

当振荡为正弦波时，负反馈系数  $F$  的理论值应为多少？并与测量值进行比较，说明误差产生的原因？

## 实验九 集成波形产生电路

### 一、实验目的

- 1、了解集成运算放大器在信号产生方面的应用；
- 2、掌握由集成运放构成正弦波发生器、方波发生器和三角波发生器电路的设计和调试方法以及振荡频率和输出幅度的测量方法。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

图 9—1:  $R_1 = R_2 = R_f = R_o = 10k\ \Omega$        $C_1 = C_2 = 0.01\ \mu F$        $R_w = 100k\ \Omega$

$D_1 = D_2 = 2AP11$

图 9—2:  $R_1 = R_2 = R_3 = 10k\ \Omega$        $R_o = 1k\ \Omega$        $R_w = 100k\ \Omega$

$C = 0.1\ \mu F$        $D_z = 2DW7$

图 9—3:  $R_o = 1k\ \Omega$        $R_1 = R_w = 10k\ \Omega$        $R_2 = R_w = 20k\ \Omega$        $C = 0.022\ \mu F$

#### 2、实验原理图

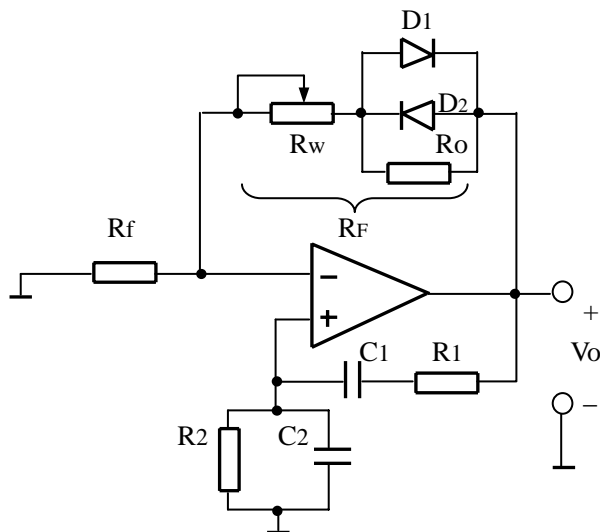


图 9—1 RC 正弦波发生器电路

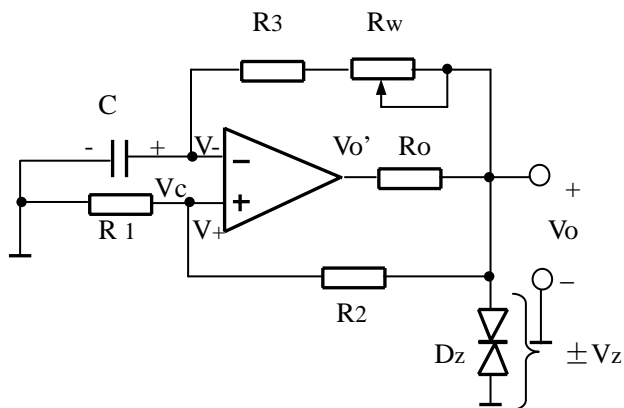


图 9—2 方波发生器电路

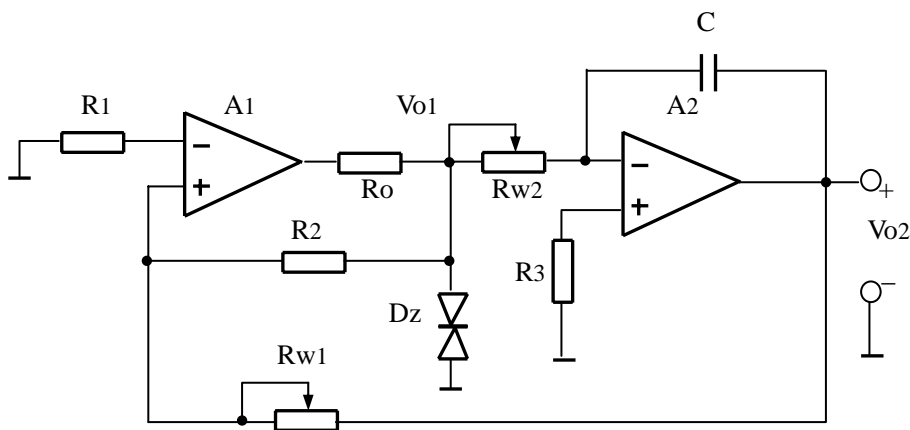


图 9—3 三角波发生器电路

### 三、实验内容

在工程实践中，广泛使用各种类型的信号发生器，从波形分类，有正弦波信号发生器和非正弦波信号发生器。从电路结构上看，它们是一种不需要外加输入而自行产生信号的输出电路。依照自激振荡的工作原理，采取正、负反馈相结合的方法，将一些线性和非线性元件与集成运放进行不同的组合或进行波形变换，即能灵活地构成各具特色的信号波形发生电路。

#### 1、正弦波信号发生器

①正弦波信号发生器电路如图 9—1 所示。图中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  串并联选频网络构成正反馈支路， $R_f$ 、 $R_f$  构成负反馈支路，电位器  $R_w$  用于调节负反馈深度以满足起振条件和改善波形，并利用二极管  $D_1$ 、 $D_1$  正向导通电阻的非线性来自动地调节电路的闭环放大倍数以稳定波形的幅值。即当振荡刚建立时，振幅较小，流过二极管的电流也小，其正向电阻大，负反馈减弱，保证了起振时振幅增大；但当振幅过大时，其正向电阻变小，负反馈加深，保证了振幅的稳定。二极管两端并联电阻  $R_o$  用于适当削弱二极管的非线性影响以改善波形的失真。

②将电路接上  $\pm 5V$  电源，将示波器接到振荡器输出端，调节电位器  $R_w$  以改变负反馈大小并观察输出波形的变化，观测在负反馈分别为最小和最大时的输出波形，并将观测到的波形（波形的大概形状）记录在表 9—1 中。

表 9—1 实验数据（一）

负反馈深度	$V_o$ 的波形
最 小	
最 大	

③适当调节电位器  $R_w$ ，使电路产生振荡，输出为稳定的最大不失真的正弦波：

A、用“李沙育图形法”测量出正弦波振荡器的实际振荡频率  $f_{\text{实}}$  并记录，并

与理论振荡频率相比较，分析出现误差的原因。(RC 振荡器的理论振荡频率

$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ ，改变 R 或 C 的值就可以改变振荡器的振荡频率)。测量步骤如下：

- a.将被测信号接入示波器 CH1 通道；
- b.将函数发生器输出的正弦波送入示波器的 CH2 通道；
- c.按下示波器的“X—Y”按钮（即 X—Y 工作方式）；
- d.调整函数发生器的频率  $f_x$ ，在示波器屏幕上显示一椭圆，读取函数发生器所显示的频率即为被测信号的频率  $f_{实}$ 。

B、测量负反馈放大电路的电压放大倍数  $A_{vf}$  及反馈系数  $F$ 。

测量出振荡器  $V_i$ 、 $V_f$  和  $V_o$  的有效值，断开振荡器的电源及信号后测量  $R_F$  和  $R_f$  的值，并将数据填入表 9—2 中。

表 9—2 实验数据（二）

$V_i$	$V_o$	$V_f$	$A_{vf}$	$R_F$	$F = \frac{R_f}{R_F + R_f}$

\*2、方波信号发生器

①一个由运放组成的简单方波发生器电路如图 9—2 所示。 $R_1$ 、 $R_2$  组成正反馈，电路的输出  $V_o$  只能取  $V_Z$  或  $-V_Z$ ， $V_o$  极性的正负决定着电容 C 上是充电或放电。

②输出电压幅度由双向稳压管 2DW7 限幅所决定，并保证了输出方波正负幅值的对称性， $R_o$  为稳压管的限流电阻。由  $V_+$ 、 $V_-$  比较的结果可决定输出电压  $V_o$  的取值，即  $V_- > V_+$ ， $V_o = -V_Z$ ； $V_- < V_+$  时  $V_o = V_Z$ 。由分析知，该方波的周期为

$$T = 2(R_3 + R_w)C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2}) \quad \text{而} \quad f = \frac{1}{T}$$

③可见，方波频率不仅与负反馈回路  $R_3$ 、 $R_w$ 、C 有关，还与正反馈回路  $R_1$ 、 $R_2$  的比值有关，调节  $R_w$  即能调整方波信号的频率。

④用示波器观察  $V_o$ 、 $V_-$  的波形，并测量其电压峰-峰值，画出波形。

⑤调节  $R_w$ ，观察波形频率变化规律，分别测量  $R_w$  调至最大和最小时的方波频率  $f_{min}$  和  $f_{max}$ ，并与理论值比较。

\*3、三角波信号发生器

①将一方波信号接至积分器的输入端，则可从积分器的输出端获得三角波。电路如图 9—3 所示。图中 A1 构成一个滞回比较器，其反相端经  $R_1$  接地，同相端

电位  $V_+$  由  $V_{o1}$  和  $V_{o2}$  共同决定，即

$$V_+ = V_{o1} \frac{R_{w1}}{R_2 + R_{w1}} + V_{o2} \frac{R_2}{R_2 + R_{w1}}$$

②当  $V_+ > 0$ ， $V_{o1} = +V_z$ ；当  $V_+ < 0$ ， $V_{o1} = -V_z$ 。

③A2 构成反相积分器。假设电源接通时， $V_{o1} = -V_z$ ， $V_{o2}$  线性增加，当

$$V_{o2} = R_{w1} V_z / R_2 \text{ 时}$$

$$V_+ = -V_z \frac{R_{w1}}{R_2 + R_{w1}} + \frac{R_2}{R_2 + R_{w1}} \left( \frac{R_{w1}}{R_2} V_z \right) = 0$$

④A1 的输出翻转， $V_{o1} = +V_z$ 。同样，当  $V_{o2} = -R_{w1} V_z / R_2$  时， $V_{o1} = -V_z$ ，这样不断地反复，便可得到方波  $V_{o1}$  和三角波  $V_{o2}$ 。其三角波峰值和周期为：

$$V_{o2m} = \frac{R_{w1}}{R_2} V_z \quad T = 4 \frac{R_{w1}}{R_2} R_{w2} C$$

⑤可见调节  $R_{w1}$ 、 $R_{w2}$ 、 $R_2$ 、 $C$  均可改变振荡频率，本实验电路通过调整  $R_{w1}$  改变三角波的幅度，调整  $R_{w2}$  改变积分到一定的电压所需的时间，即改变周期。

⑥用示波器观察  $V_{o1}$ 、 $V_{o2}$  波形，调整  $R_{w1}$  观察幅值变化，调整  $R_{w2}$  观察频率变化。并定性的画出  $V_{o1}$ 、 $V_{o2}$  的波形。

⑦测量三角波幅值范围和频率范围是否满足设计指标要求。

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

#### 五、实验预习要求

- 1、认真预习本实验内容，弄清各电路的工作原理及电路中各元件的作用。
- 2、根据电路元件参数，预先计算有关电路的振荡频率（或周期），以便与测量值比较。
- 3、自拟实验数据表。

#### 六、思考题

试推导方波发生器振荡频率公式。

# 实验十 精密整流电路

## 一、实验目的

- 1、了解精密半波整流电路及精密全波整流电路的电路组成、工作原理及参数估算；
- 2、学会设计、调试精密全波整流电路，观测输出、输入电压波形及电压传输特性。

## 二、实验电路原理图

### 1、 电路参数

图 10—2:  $R = 10k\Omega$   $D_1 = D_2 = 4148$

### 2、实验原理图

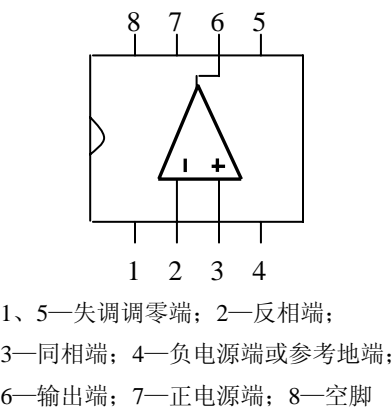


图 10—1  $\mu A741$  引脚图

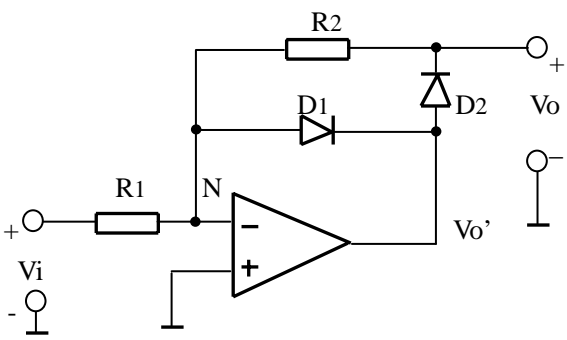


图 10—2 精密半波整流电路

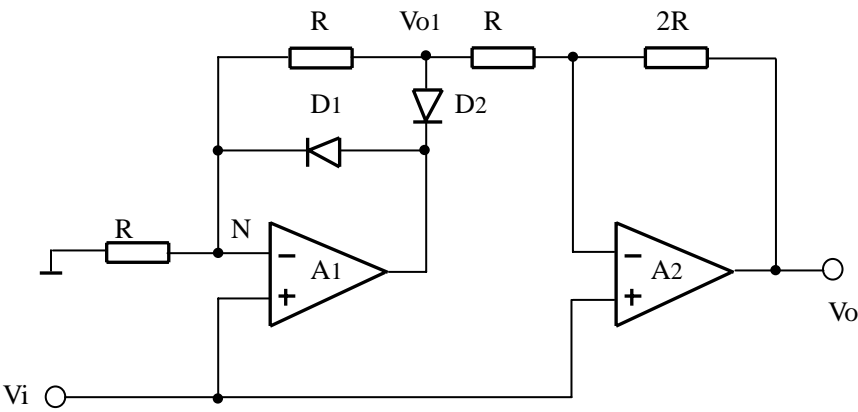


图 10—3 精密全波整流电路

## 三、实验内容

利用二极管的单向导电性，可以组成半波及全波整流电路。但由于二极管存在正向导通压降、死区压降、非线性伏安特性及温度漂移，故当用于对弱信号进行整流时，必将引起明显的误差，甚至无法正常整流。如果将二极管与运放结合起来，将二极管置于运放的负反馈回路中，则可将上述二极管的非线性及温漂等影响降低至可以忽略的程度，从而实现对弱小信号的精密整流或线性整流。

- 1、图 10—2 给出了一个精密半波整流电路。当输入  $V_i > 0$  时， $V_o' < 0$ ，二极管  $D_1$

导通、D2 截止，由于 N 点“虚地”，故  $V_o \approx 0$  ( $V_o' \approx -0.6V$ )。当输入  $V_i < 0$  时， $V_o' > 0$ ，

二极管 D2 导通、D1 截止，运放组成反相比例运算器，故  $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$ ，若  $R_1 = R_2$ ，则

$V_o = -V_i$ 。电路的输出电压可表示为：

$$V_o = \begin{cases} 0 & V_i > 0 \\ -V_i & V_i < 0 \end{cases}$$

这里只需极小的输入电压  $V_i$ ，即可有整流输出，例如，设运放的开环增益为  $10^5$ ，二极管的正向导通压降为  $0.6V$ ，则只需输入为  $|V_i| = \frac{0.6V}{10^5} = 6\mu V$  以上，即有整流输出

了。同理，二极管的伏安特性的非线性及温漂影响均被压缩了  $10^5$  倍。

2、图 10—3 给出了一个精密全波整流电路。当输入  $V_i > 0$  时，二极管 D1 导通、D2 截止，故  $V_{o1} = V_N = V_i$ 。运放 A2 为差分输入放大器，由叠加原理知：

$$V_o = V_{o1} \left(-\frac{2R}{R}\right) + V_i \left(1 + \frac{2R}{R}\right) = -2V_i + 3V_i = V_i$$

当输入  $V_i < 0$  时，二极管 D2 导通、D1 截止，此时运放 A1 为同相比例放大器：

$$V_{o1} = V_i \left(1 + \frac{R}{R}\right) = 2V_i$$

同样由叠加原理可得运放 A2 的输出为：

$$V_o = V_{o1} \left(-\frac{2R}{R}\right) + V_i \left(1 + \frac{2R}{R}\right) = -4V_i + 3V_i = -V_i$$

故最后可将输出电压表示为：

$$V_o = \begin{cases} V_i & V_i > 0 \\ -V_i & V_i < 0 \end{cases}$$

即

$$V_o = |V_i|$$

即输出电压为输入电压的绝对值，故此电路又称为绝对值电路。

3、按图 10—3 设计并实际实现精密整流电路，电源为  $\pm 5V$ ，输入正弦电压的频率  $f_i$  取  $100Hz$ ，幅度从  $10mV \sim 1V$  调节，实测并记录电路的输出电压  $V_o$ ，并以示波器观测并记录其电压传输特性  $V_o \sim V_i$ 。调节输入电压的幅度，找出输出的最大值  $V_{omax}$  并记录。

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台



5、数字万用表

UT56

1 台

#### 五、实验预习要求

熟悉精密整流电路的组成、工作原理及参数估算，考虑如何测量其电压传输特性。

#### 六、思考题

- 1、精密整流电路中的运放工作在线性区还是非线性区？为什么？
- 2、图 10—3 所示电路为什么具有很高的输入电阻？

# 实验十一 稳压电源电路

## 一、实验目的

- 1、进一步加深理解串联型稳压电路的工作原理；
- 2、学习串联型稳压电源技术指标的测量方法。

## 二、实验电路原理图

### 1、 电路参数

$R_1=4.7k\Omega$      $R_2=1k\Omega$      $R_3=33\Omega$      $R_4=5.1\Omega$      $R_5=510\Omega$   
 $R_6=100\Omega$      $R_7=200\Omega$      $R_p=220\Omega$      $R_8=110\Omega$      $R_L=470\Omega$   
 $C_1=470\mu F/25V$      $C_2=100\mu F/25V$   
 $D_1\sim D_4=IN4001$      $D_z=2CW54$   
 $T_1=3DD5B$      $T_2=T_3=3DG6$

### 2、实验原理图

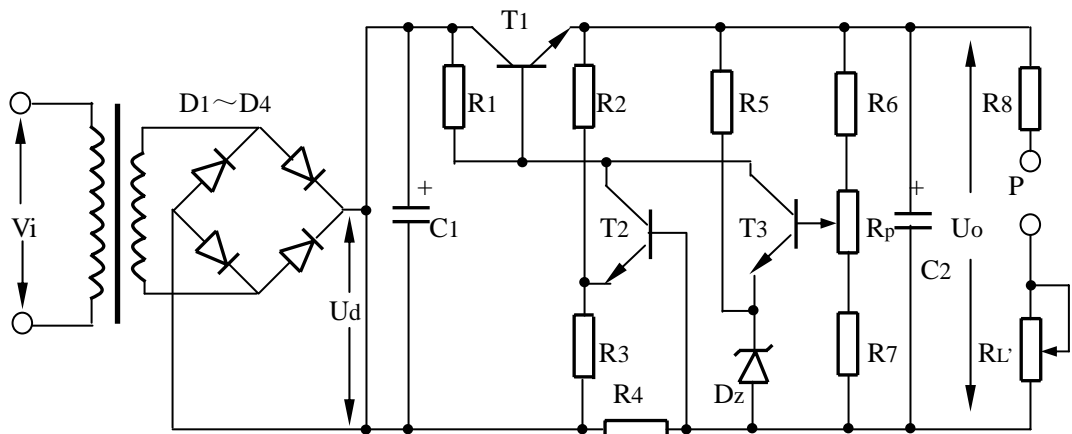


图 11—1 串联型稳压电源电路

## 三、实验内容

1、电路如图 11—1 所示。稳压电源变压器的初级接入调压器（需模拟电网电压波动 $\pm 10\%$ ），其手柄应置于 0V 的位置。检查接线无误后方可闭合调压器原边的电源开关。

### 2、测量稳压电源输出电压 $V_o$ 的调节范围

不接负载，即 P 点断开（即电流表不串联在回路中，后同），旋转调压器手柄，使加在稳压电源变压器的初级电压  $V_i=220V$ 。调节  $R_p$  观察输出电压是否可以改变，输出电压可改变时，依次测量  $U_o$ 、 $U_d$  和调整管  $T_1$  的管压降  $U_{CE1}$  最大值和最小值，并将数据填入表 11—1 中。

表 11—1 实验数据（一）

测量值 $R_p$ 位置	$U_d$	$U_{CE1}$	$U_o$
$R_p$ 左旋到头			
$R_p$ 右旋到头			

### 3、测量稳压电源的外特性

调节调压器使  $V_i=220V$ ，P 点断开时调  $R_p$  使  $U_o=12V$ ，然后将 P 点用电流表短接，接入负载  $R_L$  ( $R_L=R_8+R_L'$ )，依次改变负载电阻  $R_L$ ，测量相应的  $U_o$ ，并将数据填入表 11—2 中。

表 11—2 实验数据（二）

$U_o$ (V)						
$R_L$ ( $\Omega$ )						
$I_L=U_o/R_L$						

### 4、测量稳压电源的稳压系数 $S_r$ 、电压调整率和电流调整率

#### ①测量稳压系数 $S_r$ 和电压调整率

调节调压器使  $V_i=220V$ ，调节  $R_p$  使  $U_o=12V$ ，调节  $R_L'$  使  $I_L=100mA$ ，旋转调压器手柄使  $V_i$  分别变化  $\pm 10\%$ ，测量出对应的  $\Delta U_d$ 、 $\Delta U_o$ ，计算稳压系数  $S_r$

( $S_r=\frac{\Delta U_o}{U_o} / \frac{\Delta U_d}{U_d}$  及电压调整率 ( $\frac{\Delta U_o}{U_o}$ )，并将数据填入表 11—3 中。

表 11—3 实验数据（三）

$U_o$ 测量值	198V	220V	242V
$U_o$		12V	
$U_d$			
$S_r$			
$\Delta U_o/U_o$			

#### ②电流调整率

调节调压器使  $V_i=220V$ ，调节  $R_p$  使  $U_o=12V$ ，此时  $I_L=0mA$  (P 点断开时)。调节  $R_L'$  使  $I_L=100mA$ ，测量此时的  $U_o$ ，并将数据填入表 11—4 中。

表 11—4 实验数据（四）

$I_L$ 测量值	$U_o$	$\Delta U_o/U_o$
0 mA		
100mA		

### \*5、短路保护实验

将稳压电源输出端对地短路，测量表 11—5 中所列参数并数据填入表中。

表 11—5 实验数据（五）

	$U_o$	$U_d$	$U_{CEI}$	$R_L$	$I_L=U_o/R_L$
短路前					
短路后					

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台

#### 五、实验预习要求

- 1、复习串联型稳压电源电路的工作原理。
- 2、复习稳压电源电路技术指标的意义及计算方法。
- 3、实验前应拟订出本实验测量时所应使用的仪器仪表及测量方案。

#### 六、思考题

- 1、如何测量整流器和稳压电源的输出电阻？
- 2、整流滤波电路输出电压是否会随负载变化？为什么？
- 3、稳压电源的稳压电路是如何稳定输出电压的？

## 实验十二 集成低频功率放大电路

### 一、实验目的

1、通过对低频集成功率放大器电路的设计、安装和调试，掌握 OTL 功率放大器的工作原理；

2、熟悉低频线性集成组件的正确选用和外围电路元件参数的选择方法；

3、掌握集成低频功率放大器特性指标的测量方法。

### 二、实验电路原理图

#### 1、电路参数

$$R_L=8\ \Omega \quad V_{CC}=+6V \quad C_4=51\sim 200pF/16V \quad C_5=560pF/16V$$

$$C_2= C_3= C_6=100\sim 200\ \mu F/16V$$

#### 2、实验原理图

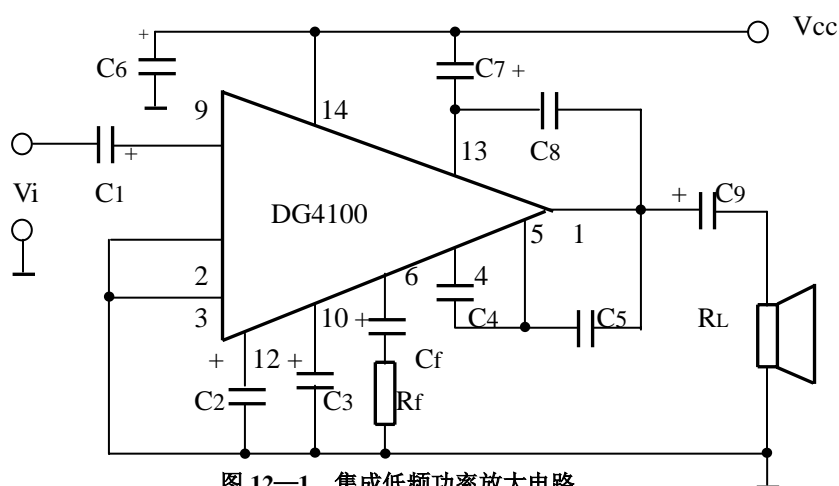


图 12—1 集成低频功率放大电路

### 三、实验内容

由 DG4100 集成功放构成的低频功率放大器参考电路如图 12—1 所示。其  $C_1$ 、 $C_9$  分别为输入输出耦合电容， $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_6$  为电源滤波电容， $C_4$ 、 $C_5$  为相位补偿电容， $C_8$  为自举电容， $C_7$  用于滤除高频分量以改善音质， $C_f$ 、 $R_f$  为反馈元件。各元件参数选择依据可参照以下方案进行估算。

#### 1、负载 $R_L$ （扬声器）

由指标要求的额定功率和  $V_{CC}$  值，取

$$\frac{(\frac{1}{2}V_{CC}/\sqrt{2})^2}{R_L} \geq P_L$$

$$R_L \leq \frac{V_{CC}^2}{8P_L}$$

#### 2、负反馈端元件 $R_f$ 和 $C_f$

$R_f$  的大小决定了低频功率放大器增益  $A_{vf}$  和反馈深度  $F$  的大小。

$$R_f \leq \frac{R_{11}}{|A_{vf}| - 1} \quad (R_{11}=20k\Omega, \text{ 为组件内反馈电阻})$$

$C_f$  为隔直电容, 在  $f_L$  时应保证反馈电压增益不变。取

$$C_f \geq \frac{1}{2\pi f_L R_f}$$

### 3、输入输出耦合电容 $C_1$ 、 $C_9$

考虑放大器低频响应的效果, 取

$$C_1 = \frac{3 \sim 5}{2\pi f_L R_i} \quad (R_i=12 \sim 20k\Omega \text{ 为组件输入电阻})$$

$$C_9 = \frac{2 \sim 3}{2\pi f_L R_L} \quad (R_L \text{ 为负载电阻})$$

### 4、自举电容 $C_8$

$C_8$  与组件内的隔离电阻  $R_{10}$  构成自举电路, 为保证低频时的自举作用, 取值应大一些, 则

$$C_8 = \frac{3 \sim 5}{2\pi f_L R_{10}} \quad (R_{10}=100\Omega)$$

### 5、相位补偿电容 $C_4$ 和 $C_5$

$C_4=51 \sim 200pF$ , 在测试中调整。 $C_5=560pF$ , 过大将影响功放的频率响应要求。

### 6、高频滤波电容 $C_7$

该电容通过  $C_8$ 、 $C_9$  并接在负载  $R_L$  两端, 取

$$\frac{1}{2\pi f_L R_L} \geq C_7 \geq \frac{1}{2\pi f_H R_L}$$

### 7、测量功率放大器的性能指标

用  $8\Omega$  ( $2W$ ) 功率电阻作为负载  $R_L$ , 对电路进行调整与测试。测试前, 首先用示波器观察输出电压波形, 逐渐增大输入信号  $V_i$ , 观察波形无自激振荡方可进行下述测量。若出现高频自激, 可适当加大补偿电容或合理调整元件分布位置使自激消除。

#### ①测量最大不失真输出功率 $P_{omax}$

提示: 函数发生器输出  $1kHz$  正弦信号, 用示波器观察波形。交流毫伏表测量输出电压。

$$P_{o\max} = \frac{V_{o\max}^2}{R_L} \quad (V_{o\max} \text{ 为最大输出正弦波的有效值})$$

②测量电压增益 $|A_v|$ 和输入灵敏度  $V_i$

调整输入信号  $V_i$ ，使得输出功率为 0.5W，测量  $V_i$  和  $V_o$ ，计算 $|A_v|$ 和  $P_o$  值。

③观察反馈深度对增益的影响

在上述测量的基础上，改变  $R_f$  值为  $2R_f$ ，测量 $|A_v|$ ，并与 $|A_v|$ 比较；若将  $R_f$  断开，用示波器观察将发生什么现象？然后恢复  $R_f$ 。

④测量效率  $\eta$

在输出功率为 0.5W 的条件下，用万用表电流档（提示：初测应置于最大量程）串入电源  $V_{CC}$  端，测得总平均电流  $I$ ，则

$$\eta = \frac{P_o}{V_{CC} I}$$

⑤观察自举作用

将自举电容断开，测量最大不失真输出功率  $P'_{omax}$ ，并与  $P_{omax}$  比较作出理论解释。

⑥测量上、下限截止频率

恢复自举电容元件，自拟数据表格进行测量。

提示：保持输入信号  $V_i$  恒定，在 20Hz~40kHz 频率范围内选 10 个点测量。

⑦试听

用收录机作为信号源，功放输出接音箱（ $R_L$  断开），试听放音效果。

#### 四、实验仪器仪表

1、通用示波器	CS4125A	1 台
2、交流毫伏表	DF2170A	1 台
3、函数发生器	DF1641B	1 台
4、直流稳压电源	DF1701S	1 台
5、数字万用表	UT56	1 台
6、收录机		1 台

#### 五、实验预习要求

复习功率放大器的工作原理，按指标要求，估算外电路各参数值，画出实验电路，并标注元件编号和元件参数值。

#### 六、思考题

当电路产生自激振荡时可以采取哪些措施解决，但对放大器的其它性能是否有影响？

## 实验十三 综合设计实验

### 一、实验目的

- 1、掌握综合实验的能力；
- 2、复习所学内容，综合所学知识。

二、综合设计的题目应结合实验时的条件，在教师的指导下根据当时的实际情况来确定。



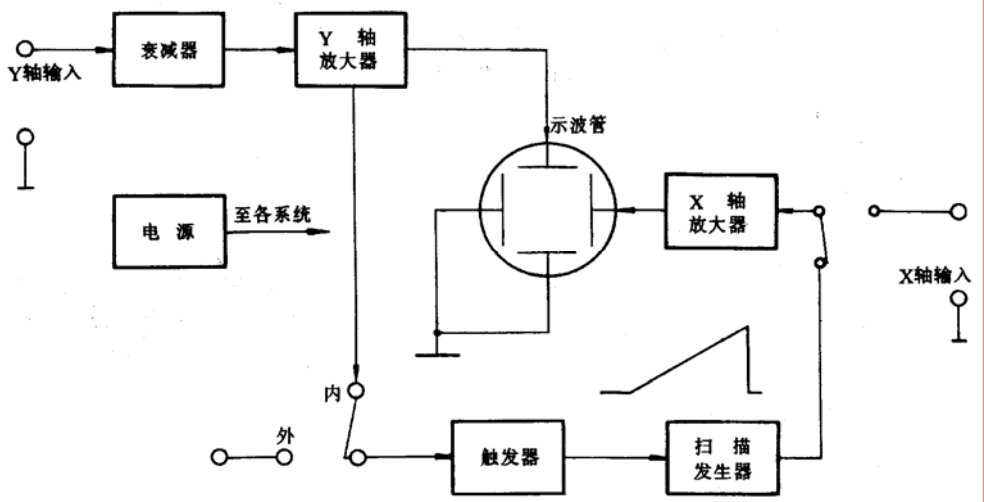
# 附录

## 附录一 示波器

### 一、示波器的组成及工作原理

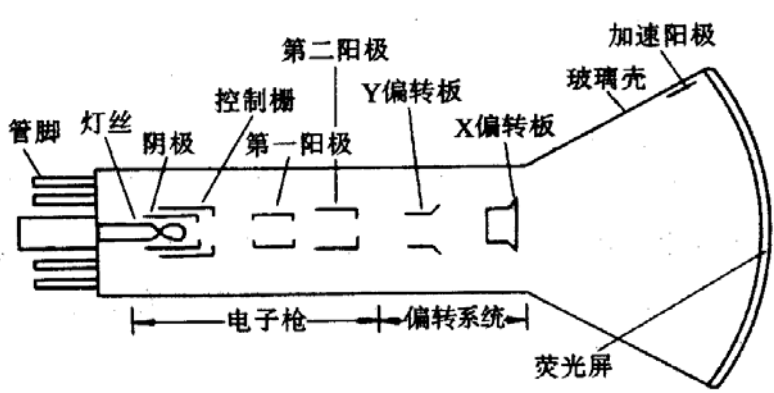
#### 1、示波器的组成

示波器主要由 Y 轴（垂直）放大器、X 轴（水平）放大器、触发器、扫描发生器、示波管及电源六部分组成，其方框图如附图 1—1 所示。



附图 1—1 示波器组成框图

示波管是示波器的核心。它的作用是把所观察的信号电压变成发光图形。示波管的构造如附图 1—2 所示，它主要由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。



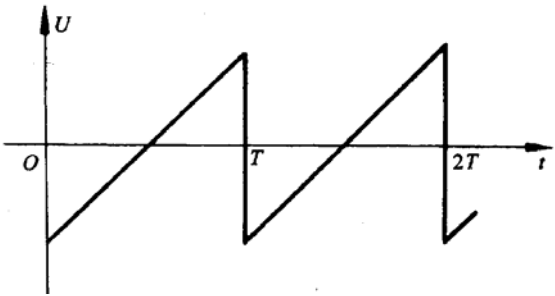
附图 1—2 示波管的构造

电子枪由灯丝、阴极、控制栅极、第一阳极和第二阳极组成。灯丝通电时加热阴极，使阴极发射的电子聚焦成一束，并且获得加速，电子束射到荧光屏上就产生光点。

调节控制栅极的电位，可以改变电子束的密度，从而调节光点亮暗的程度。偏转系统包括 Y 轴偏转板和 X 轴偏转板两个部分，它们能将电子束按照偏转板上的信号电压作出相应的偏转，使得荧光屏上能绘出一定的波形。荧光屏是在示波管顶端内壁涂有一层荧光物质制成的，这种荧光物质受高能电子束的轰击会产生辉光，而且还有余辉现象，即电子束轰击后产生的辉光不会立即消失，而将延续一段时间。之所以能在荧光屏上观察到一个连续的波形，除了人眼的残留特性外，还利用了荧光屏余辉现象。

示波管的灵敏度比较低，如果偏转板上的电压不够大，就不能明显地观察到光点的移位。为了保证有足够的偏转电压，Y 轴放大器将被观察的电信号加以放大后送至示波管的 Y 轴偏转板。

扫描发生器的作用是产生一个周期性的线性锯齿波电压（扫描电压），如附图 1—3 所示。该扫描电压可以由扫描发生器自动产生，称自动扫描，也可在触发器来的触发脉冲作用下产生，称触发扫描。



附图 1—3 扫描电压

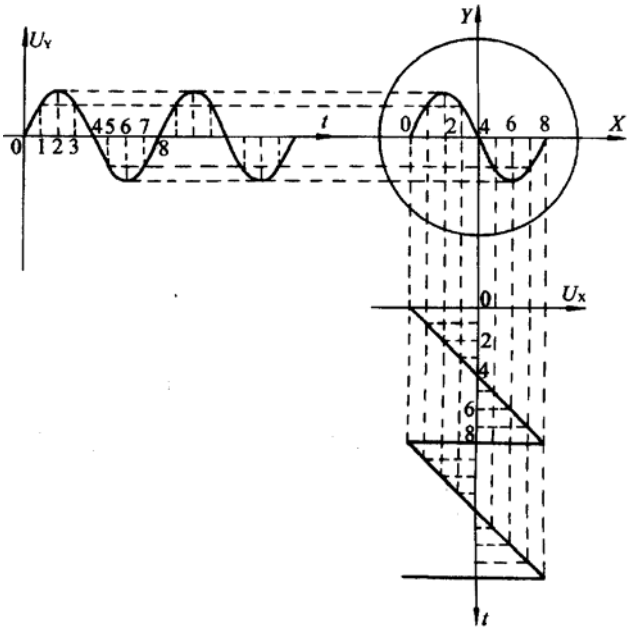
X 轴放大器的作用是将扫描电压或 X 轴输入信号放大后送至示波管的 X 轴偏转板。

触发器将来自内部（被测信号）或外部的触发信号经过整形，变为波形统一的触发脉冲，用以触发扫描发生器。若触发信号来自内部，称为内触发；若来自外来信号则称为外触发。

电源的作用是将市电 220V 的交流电压转变为各个数值不同的直流电压，以满足各部分电路的工作需要。

## 2、示波器的基本工作原理

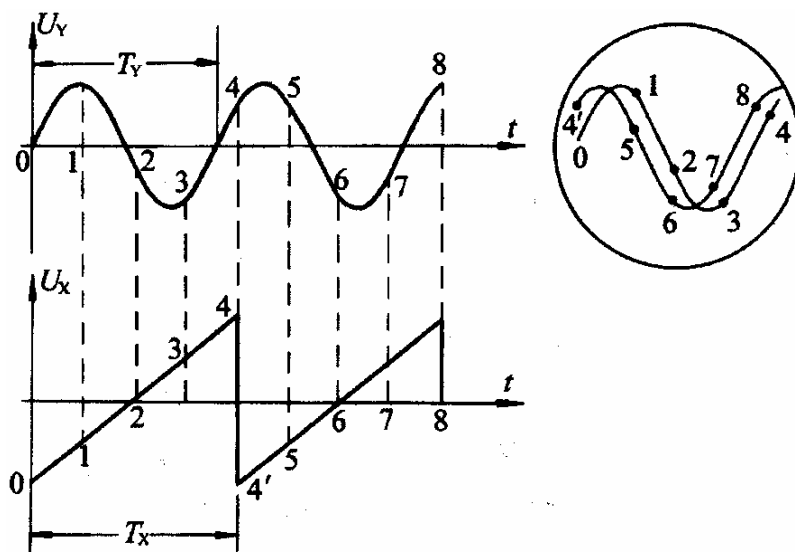
如果仅在示波管 X 轴偏转板加有幅度随时间线性增长的周期性锯齿波电压时，示波管屏面上光点反复自左端移动至右端，屏幕上就出现一条水平线，称为扫描线或时间基线。如果同时在 Y 轴偏转板上加有被观察的电信号，就可以显示电信号的波形。显示波形的过程如附图 1—4 所示。



附图 1—4 显示波形的原理

为了在荧光屏上观察到稳定的波形，必须使锯齿波的周期  $T_x$  和被观察信号的周期  $T_y$  相等或成整数倍关系。否则稍有相差，所显示的波形就会向左或向右移动。例如，当  $T_y < T_x < 2T_y$  时，第

一次扫描显示的波形附图 1—5 中的 0~4 所示，而第二次扫描显示的波形如附图 1—5 中 4'~8 所示。两次扫描显示波形不相重合，其结果是好像波形不断向左移动。同理，当  $T_x < T_y < 2T_x$  时，显示波形不断向右移动。为使波形稳定而强制扫描电压周期与信号周期成整数倍关系的过程称为同步。



附图 1—5  $T_y < T_x < 2T_y$  时波形向左移动

## 二、CS4125A 型双踪示波器

### 1、面板按键及功能说明

#### (1) CRT

显示范围为垂直轴 8div (80mm)，水平轴 10 div (100mm)。为使显示信号与刻度间不会产生视差，采用了标示于荧幕内侧的刻度。此外在刻度的左端则标示有测定相应时间的%记号。

#### (2) POWER

将此电源开关按下即为开启电源，再按一次即为关闭电源。

#### (3) 电源批示灯

当电源开启时指示灯则点亮。

#### (4) CAL 端子

为校正用电压端子，使用于校正电压，可得到 1V<sub>p-p</sub> 正极性，约 1kHz 方波信号输出。

#### (5) INTEN

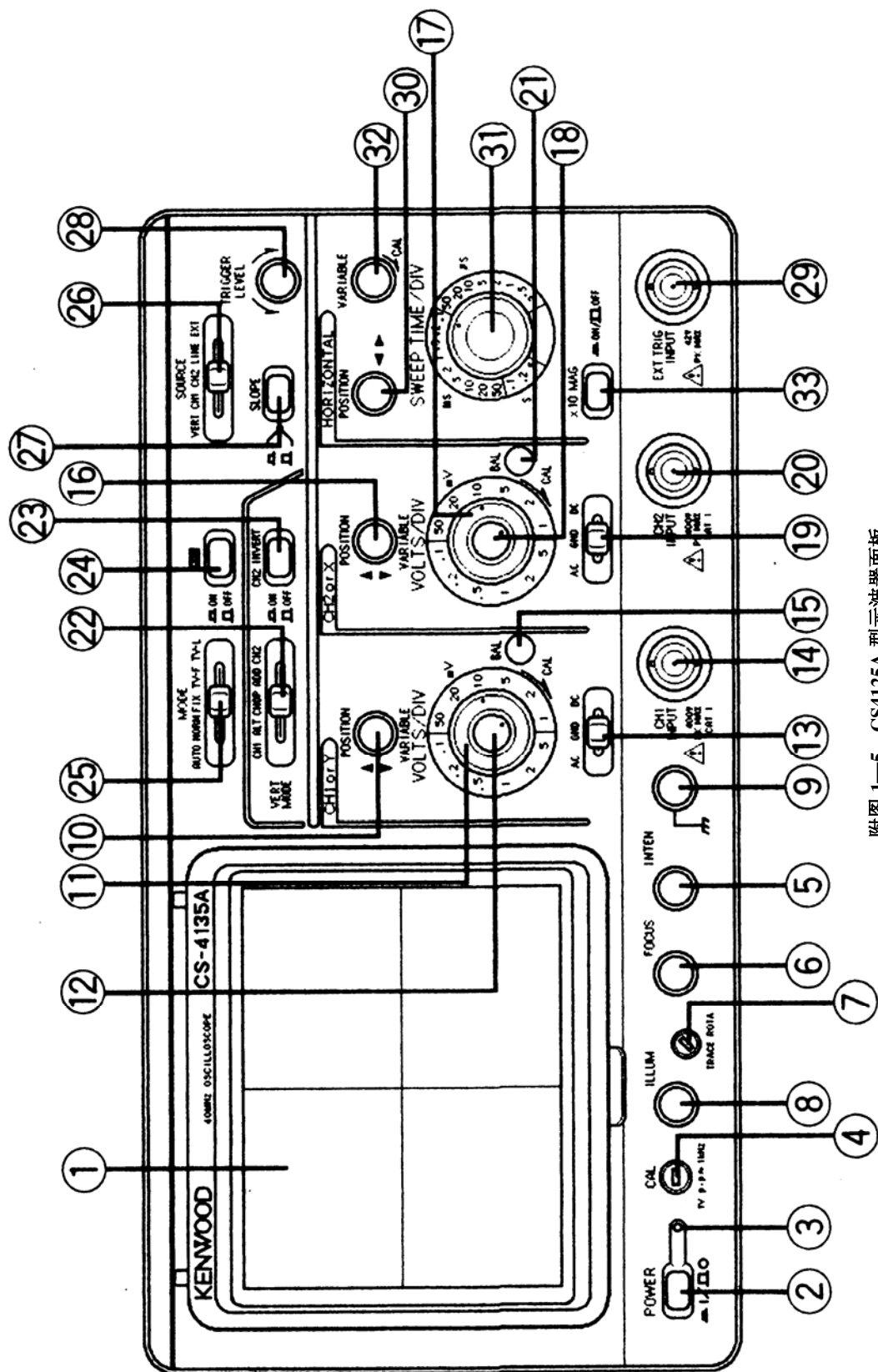
调整显示扫描线的亮度旋钮。

#### (6) FOCUS

为聚焦调整旋钮，可调整得到清晰的显示信号。

#### (7) TRACE ROTA

可调整扫描线的水平倾角。当扫描线受地磁作用影响时，可用调整螺丝刀将扫描线调整至与中央的水平轴刻度线平行。



附图 1—5 CS4125A 型示波器面板

(8) 刻度照明

控制 CRT 格子刻度线的亮度旋钮。

(9) GND 端子

为接地的端子，与其它仪器间取得相同的接地时使用。

(10) POSITION

可用以调整屏幕上 CH1 通道波形的垂直位置旋钮，在 X—Y 方式时可作为 Y 轴位置调整用。

(11) VOLTS/DIV

为可用以设定 CH1 通道垂直轴衰减，此旋钮可在 1-2-5 档间切换。将 VARIABLE 旋钮旋至 CAL 位置时，可得到正确的垂直轴的衰减度。在 X—Y 状态下则成为 Y 轴衰减旋钮。

(12) VARIABLE

为 CH1 通道垂直轴衰减微调旋钮。在范围内可对 VOLTS/DIV 作连续调整。向右旋至 CAL 位置可得到已校正的值。在 X—Y 状态下作为 Y 轴的衰减微调旋钮。

(13) AC-GND-DC

可用以选择 CH1 通道垂直轴输入信号的开关。

AC: 输入信号为交流，其直流成分则被除去。低频-3dB 衰减点在使用 1:1 探针或同轴电缆时为 10Hz 以下，若使用修正过的 1:10 探针则在 1Hz 以下。

GND: 将垂直输入端接地，则可用以确认其接地电位。输入阻抗对 GND 为  $1M\Omega$ ，而输入信号则未接地。在此 MODE 下由于防止扫描线跳动电路的作用，当自 GND 切换为 AC 时，可防止 TRACE 位置作急速改变。

DC: 输入信号包括直流分量，故可同时观测其直流成分。在 X—Y 状态时，则成为 Y 轴的输入切换开关。

(14) CH1 INPUT

为 CH1 通道的垂直输入端子。在 X—Y 状态时则为 Y 轴输入端子。

(15) BAL

调整 CH1 通道的 DC 平衡。此机器在出厂时已调好，但会随周围温度发生变化，在旋转 VOLTS/DIV 时，为防止扫描线上下移动，用螺丝刀等调整。

(16) POSITION

可用以调整屏幕上 CH2 通道波形的垂直位置。

(17) VOLTS/DIR

为 CH2 通道的垂直轴衰减旋钮，其作用如同 CH1 通道的 VOLTS/DIV 旋钮，在 X—Y 状态下则成为 X 轴的衰减旋钮。

(18) VARIABLE

为 CH2 通道垂直轴的衰减微调旋钮。其作用如同 CH1 通道的微调旋钮。在 X—Y 状态下则为 X 轴的衰减微调旋钮。

(19) AC-GND-DC

可用以选择 CH2 通道垂直输入信号的开关。其作用如同 CH1 通道的 AC-GND-DC 开关，在 X—Y 状态时则成为 X 轴的输入切换器。

(20) CH2 INPUT

为 CH2 通道垂直轴的输入端子，在 X—Y 状态时则成为 X 轴的输入端子。

(21) BAL

是 CH2 通道的 DC 平衡调整旋钮。CH2 通道的调整方法与 CH1 通道相同，使用螺丝刀等工具来调整。

(22) VERT MODE

可用以选择垂直轴通道的开关，方式如下

CH1: 显示 CH1 通道的输入信号。

CH2: 显示 CH2 通道的输入信号。

ALT: 每次扫描交替显示 CH1 通道和 CH2 通道的输入信号。

CHOP: 与 CH1 通道及 CH2 通道输入信号的频率无关，而以 250kHz 在两通道间切换显示。

ADD: 显示 CH1 通道及 CH2 通道输入信号的合成波形 (CH1+CH2)。但在 CH2 设定为 INVERT 状态时，则显示 CH1 通道与 CH2 通道输入信号之差。

(23) CH2 INVERT

当按下此开关时，CH2 通道输入信号极性被反相。

(24) X—Y

当按下此开关时，则 VERT MODE 的设定变为无效，而将 CH1 通道变为 Y 轴，CH2 通道变为 X 轴的 X—Y 轴示波器。

(25) MODE

可用以选择 TRIGGER 的开关，方式如下：

AUTO: 由 TRIGGER 信号启动扫描，若无 TRIGGER 信号时则显示扫描线。

NORM: 由 TRIGGER 信号启动扫描，但与 AUTO 不同的是，若无正确的 TRIGGER 信号则不显示扫描线。

FIX: 将同步 LEVEL 加以固定。此时同步与 TRIGGER LEVEL 无关。

TV-F: 将复合图象信号的垂直同步脉冲分离出来与 TRIGGER 电路结合。

TV-L: 将复合图象信号的水平同步脉冲分离出来与 TRIGGER 电路结合。

(26) SOURCE

用以选择 TRIGGER 信号来源的开关。

VERT: TRIGGER 信号源由 VERT MODE 加以选择。其方式如附表 1—1 所示：

附表 1—1 TRIGGER 信号源

VERT	TRIGGER 信号源
CH1	CH1
CH2	CH2
ALT	由 CH1 及 CH2 交替作用
CHOP	CH1
ADD	CH1、CH2 的合成信号

(27) SLOPE

用以选择触发扫描信号 SLOPE 极性的开关。未按下此开关时在 TRIGGER 信号的上升沿时被触发，按下此开关时在 TRIGGER 信号的下降沿时被触发。

### (28) TRIGGER LEVEL

为调整 TRIGGER LEVEL 时使用的旋钮。可用以设定在 TRIGGER 信号波形 SLOPE 的那一点上被触发而开始进行扫描。

### (29) EXT TRIG

为外部 TRIGGER 信号的输入端子。将 SOURCE 钮设定在 EXT 时，此端子即成为 TRIGGER 信号的输入端子。

### (30) POSITION

可用以调整所显示波形水平位置的旋钮。在 X—Y 状态时则成为 X 轴的位置调整旋钮。

### (31) SWEEP TIME/DIR

为扫描时间切换旋钮。可在  $0.2 \mu\text{s}/\text{div} \sim 0.5\text{s}/\text{div}$  之间以 1-2-5 档调整，共有 20 种变化。当 VARIABLE 向右旋至 CAL 位置时则成为校正指示值。

### (32) VARIABLE

为扫描时间的微调旋钮。可在 SWEEP TIME/DIR 之间各段作连续变化，向右旋至 CAL 位置时，可得到已被校正的值。

## 2、使用方法

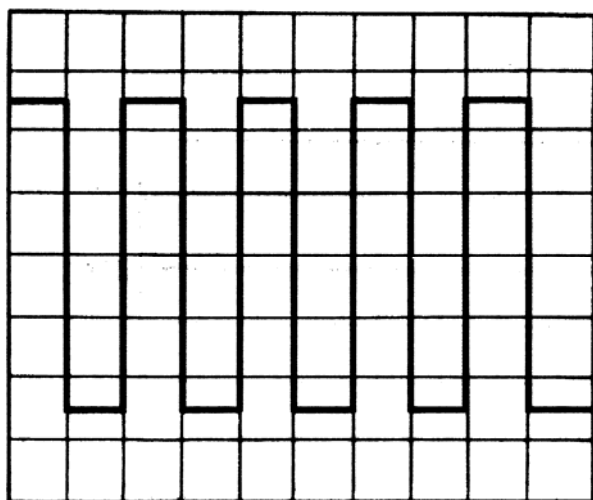
### (1) 基本操作要点

①显示水平扫描基线：将示波器输入耦合开关（AC-GND-DC）置于地（GND），垂直工作开关（VERT MODE）置于交替（ALT），扫描方式开关（MODE）置于固定（FIX），扫描时间旋钮（SWEEP TIME/DIV）置于  $0.5\text{ms}/\text{DIV}$ ，此时在屏幕上应出现两条水平扫描基线。如果没有，可能是辉度太暗，或是垂直、水平位置不当，应加以适当调节。

②用本机校准信号检查：将 CH1 通道输入端由探头接至校准信号输出端（CAL），按附表 1—2 所示调节面板上的开关、旋钮，此时屏幕上应出现一个周期函数的方波，如附图 1—6 所示。若探头采用 1:1，则波形在垂直方向应占 5 格，波形一个周期在水平方向应占 2 格，此时说明示波器工作正常。

附表 1—2 用校准信号检查时，开关、旋钮的位置

控制件名称	作用位置	控制件名称	作用位置
亮度 INTEN	中间	输入耦合方式 AC-GND-DC	AC
聚焦 FOCUS	中间	扫描方式 SWEEP MODE	FIX
位移（三只） POSITION	中间	触发极性 SLOPE	
垂直工作方式 VERT MODE	CH1	扫描时间 SWEEP TIME/DIV	$0.5\text{ms}$
电压灵敏度 VOLTS/DIV	$0.2\text{V}$	触发源 SOURCE	CH1
微调（三只） VARIABLE	顺时针到底		



附图 1—6 用校准信号检查

③观察被测信号：将被测信号接至 CH1 通道输入端，（若需同时观察两个被测信号，则分别接至 CH1 通道、CH2 通道的输入端），面板上开关、旋钮位置参照附表 1—2，且适当调节 VOLTS/DIV，SWEEP TIME/DIV 等旋钮，使在屏幕上显示稳定的被测信号波形。

## （2）测量

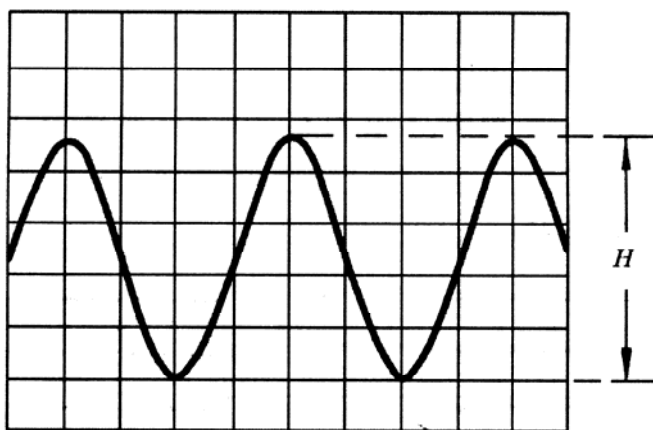
### ①电压测量

在测量时应把垂直微调旋钮（VARIABLE）顺时针旋至校准位置（CAL 处），这样可以按 VOLTS/DIV 的指示值计算被测信号的电压大小。由于被测信号一般含有交流和直流两种分量，因此在测试时应根据下述方法操作：

#### a. 交流电压的测量

当只测量被测信号的交流分量时，应将 Y 轴的输入耦合开关（AC-GND-DC）置 AC 位置，调节 VOLTS/DIV 旋钮使屏幕上显示的波形幅度适中，调节 Y 轴的位移旋钮，使波形显示值便于读取，如附图 1—7 所示。根据 VOLTS/DIV 的指示值和波形在垂直方向的高度 H（DIV），被测交流电压的峰—峰值可由下式算出

$$V_{pp} = V/DIV \times H$$



附图 1—7 交流电压的测量

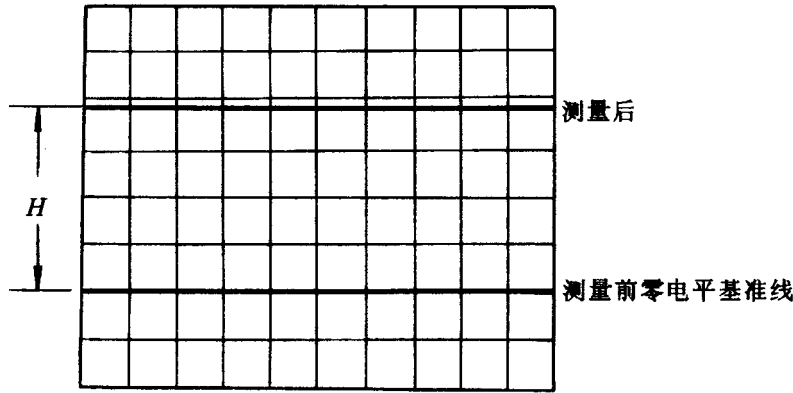
#### b. 直流电压的测量

当需要测量信号的直流分量和含直流分量的电压时，应先将 Y 轴输入耦合方式开



关 (AC-GND-DC) 置 GND 位置, 扫描方式开关 (MODE) 置于 FIX 位置, 调节 Y 轴位移旋钮使扫描基线在某一合适的位置上, 此时扫描基线即为零电平基线, 再将 Y 轴输入耦合开关 (AC-GND-DC) 置于 DC 位置。参看附图 1—8, 根据波形偏离零电平基准线的垂直距离  $H$  (DIV) 及 VOLTS/DIV 的指示值, 可以算出直流电压的数值。

$$U = V/DIV \times H$$



附图 1—8 交流电压的测量

### ②时间测量

对信号的周期或信号任意两点间的时间参数进行测量时, 首先水平微调旋钮 (VARIABLE) 必须顺时针旋至校准位置 (CAL)。然后, 调节有关旋钮, 显示出稳定的波形, 再根据信号的周期或需测量的两点间的水平距离  $D$  (DIV), 以及 SWEEP TIME/DIV 旋钮的指示值, 由下式计算出时间:

$$T = \text{SWEEP TIME}/DIV \times D$$

#### a. 周期的测量

参看附图 1—9, 如波形完成一个周期, A、B 两点间的水平距离  $D$  为 8 (DIV), SWEEP TIME/DIV 设置在 2ms/DIV, 则周期为:

$$T = 2\text{ms}/DIV \times 8DIV = 16\text{ms}$$

#### b. 脉冲上升时间的测量

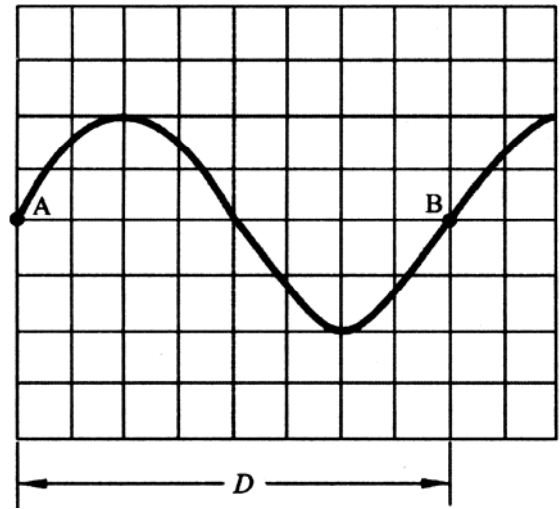
参看附图 1—10, 如波形上升沿的 10% 处 (A 点) 至 90% 处 (B 点) 的水平距离  $D$  为 1.8DIV, SWEEP TIME/DIV 置于  $1 \mu\text{s}/DIV$ , 那么可计算出上升时间为:

$$tr = 1 \mu\text{s}/DIV \times 1.8DIV = 1 \mu\text{s}$$

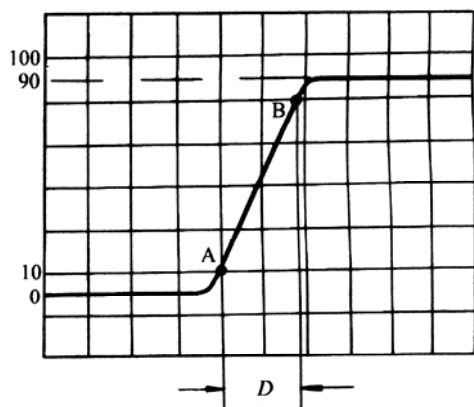
#### c. 脉冲宽度的测量

参看附图 1—11, 如波形上升沿 50% 处 (A 点) 至下降沿 50% 处 (B 点) 间的水平距离  $D$  为 5 格, SWEEP TIME/DIV 开关置于 0.1ms/DIV, 则脉冲宽度为:

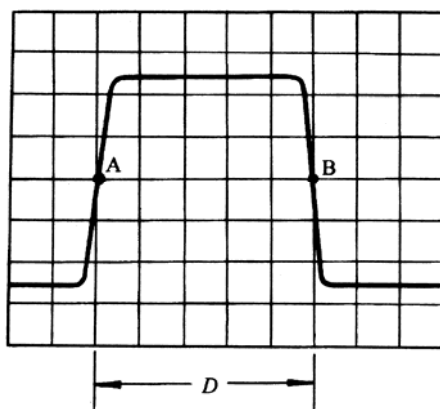
$$Tp = 0.1\text{ms}/DIV \times 5DIV = 0.5\text{ms}$$



附图 1—9 周期的测量



附图 1—10 脉冲上升时间的测量



附图 1—11 脉冲宽度的测量

### ③频率测量

对于周期性信号的频率测量，可先测出该信号的周期  $T$ ，再根据公式：

$$f = \frac{1}{T}$$

计算出频率的数值。式中： $f$  为频率（Hz）， $T$  为周期（S）。

例如，测出信号的周期为 16ms，那么频率为：

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16 \times 10^{-3}} = 62.5 \text{ Hz}$$

### ④测量两个同频信号的相位差

采用双踪显示，在屏幕上显示出两个信号的波形。由于一个周期  $360^\circ$ ，因此，根据信号一个周期在水平方向上的长度  $L$ （DIV），以及两个信号波形上对应点（A、B）间的水平距离  $D$ （DIV），参看附图 1—12，由下式可计算出两信号间的相位差：

$$\phi = \frac{360^\circ}{L} \times D$$

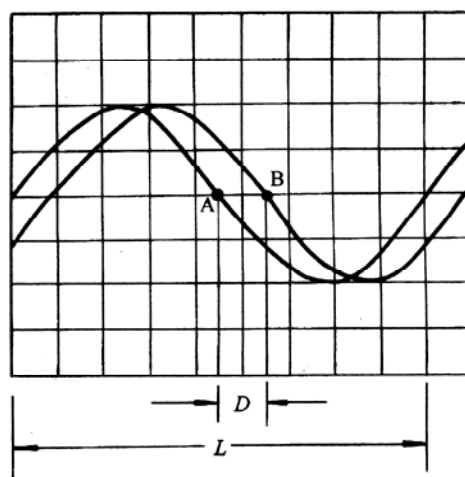
通常为读数方便起见，可调节水平微调旋钮（VARIABLE），使信号的一个周期占 9（DIV），那么每格表示的相角为  $40^\circ$ ，相位差为：

$$\phi = 40^\circ / \text{DIV} \times D$$

例如，附图 1—12 中，信号一个周期占 9 格，两个信号对应点 A、B 间水平距离为 1 格，则相位差为

$$\phi = 40^\circ / \text{DIV} \times 1 \text{ DIV} = 40^\circ$$

### 3、使用注意事项



附图 1—12 两同频率信号的相位差的测量

为了安全、正确地使用示波器，必须注意以下几点：

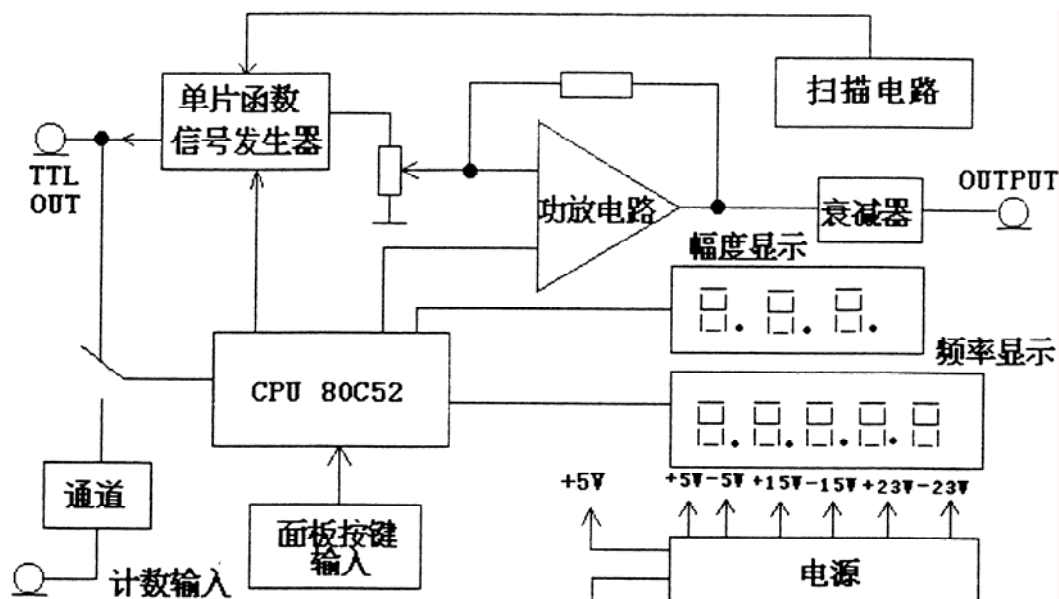
- ①使用前应注意电网电压是否与仪器要求的电源电压一致。
- ②显示波形时，亮度不宜过亮，以延长示波管的寿命。若中途暂时不观测波形，应将亮度调低。
- ③定量观测波形时，应尽量在屏幕的中心区域进行，以减小测量误差。
- ④被测信号电压（直流加交流的峰值）的数值不应超过示波器允许的最大输入电压。
- ⑤调节各种开关、旋钮时，不要过分用力，以免损坏。
- ⑥探头和示波器应配套使用，不能互换，否则可能导致误差或波形失真。

## 附录二 函数发生器

函数发生器是一种能够产生多种波形的信号发生器。它的输出可以是正弦波、方波或三角波，输出电压的大小和频率都可以方便地调节，所以它是一种用途广泛的通用仪器。

### 一、函数发生器的组成及工作原理

函数发生器常用电路的组成框图如附图 2—1 所示。



附图 2—1 函数发生器组成框图

它主要由波形发生电路、单片机智能控制电路、频率计数通道、功率放大器和电源组成。波形发生电路由 MAX038 函数发生器及频率、占空比控制电路组成，波形的选择、频率、占空比的调节都是由单片机来控制；单片机智能控制电路由单片机 80C52、面板按键输入、频率、幅度显示器及其它各种控制信号的输出及指示电路组成。其主要是控制输出信号的波形，调节函数信号的频率，测量输出信号或外部输入信号的频率并显示，显示输出波形的幅度；频率计数通道由宽带放大器及方波整形器组成，主要用于外测频率时对于信号的放大整形；功率放大器电路采用双通道形式，整个功放电路具有倒相特性，使电路具有非常高的压摆率和良好的稳定性。

### 二、DF1641B 型函数发生器

#### (一) 面板操作键及功能说明

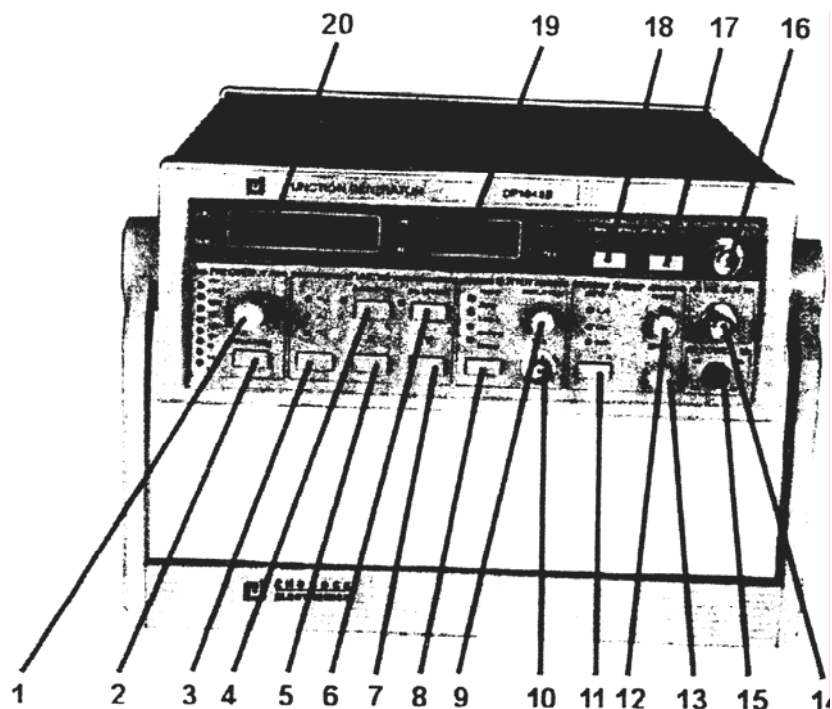
DF1641B 型函数发生器面板如附图 2—2 所示。

#### 1、频率调节

频率调节旋钮，顺时针调节使输出信号的频率提高，逆时针方向调节反之。当缓慢地调节此旋钮时，频率的变化率约为 0.1%，同时能根据调节的速率不同，能自动调整步进量。

#### 2、频率范围选择 (RANGE Hz)

按住此按键，频率倍乘将从低→高→低循环，当所需频段的指示灯亮时，释放此键即可，按一下此键可改变信号的频段。与“1”配合选择输出信号频率。



附图 2—2 函数发生器前面板图

### 3、波形选择

按住此按键可选择正弦波、三角波或方波，同时与此对应的指示灯亮。与“4”、“5”、“7”配合使用可选择正向或负向斜波，正向或负向脉冲波。

### 4、对称度 (SYMMETRY)

对称度控制按键，指示灯亮时有效。对称度调节范围为 20:80~80:20。

### 5、对称度直流偏置调节按键

当对称度控制（指示灯亮）有效时或直流偏置（指示灯亮）有效时，按此按键可以改变波形的对称度或直流偏置。若对称度和直流偏置指示灯同时亮时，则此按键对最后一次选择的功能有效。

### 6、直流偏置 (DC OFFSET)

输出信号直流偏置控制按键，指示灯亮有效。直流偏置调节范围为-10V~+10V。

### 7、对称度直流偏置调节按键

主要功能同“5”，但调节方向与“5”相反。

### 8、输出衰减

按此按键，可选择输出信号幅度的衰减量，分别为 0dB、20dB、40dB、60dB。同时与此对应的指示灯亮。

### 9、输出幅度调节 (AMPLITUDE)

函数波形信号输出幅度调节旋钮与“8”配合，用于改变输出信号的幅度。

## 10、电压输出 (OUTPUT)

函数波形信号输出端，阻抗为  $50\ \Omega$ ，最大输出幅度为  $20V_{p-p}$ 。

## 11、扫描选择对数/线性/外扫描

扫频方式选择按键，按一下按键可分别选择对数扫频、线性扫频以及外接扫频。

## 12、扫频宽度 (WIDTH)

扫频宽度调节旋钮，当仪器处于扫频状态时调节该旋钮，用以调节扫频宽度。

## 13、扫描速率 (SPEED)

扫描速率调节旋钮，调节此旋钮用以改变扫描速率。

## 14、TTL 输出 (TTL OUT)

TTL 电平的脉冲信号输出端，输出阻抗为  $50\ \Omega$ 。

## 15、电源开关 (POWER)

按下此开关，机内电源接通，整机工作。此键释放为关掉整机电源。

## 16、计数器输入 (INPUT)

信号从此端输入。与“17”配合使用。

## 17、衰减/低通滤波器 (ATT20dB LPF)

当计数器选择外接时，当输入信号幅度较大时，按一下此键 ATT20dB 指示灯亮有效。再按一下则 LPF 灯亮（带内衰减，截止频率约为  $100kHz$ ）。

## 18、内接/10MHz/100MHz (10MHz/100MHz)

频率计的内侧、外侧选测按键，当 10MHz、100MHz 灯都不亮时为测量内部信号源的频率。当选择外测时，10MHz 灯亮时外测频率范围为  $10Hz\sim 10MHz$ ；100MHz 灯亮时外测频率范围为  $10MHz\sim 100MHz$ 。如输入端无信号，约 10 秒后，频率计显示为 0。

## 19、输出信号幅度显示

显示输出信号幅度的峰峰值（空载）。若负载阻抗为  $50\ \Omega$  时，负载上的值应为显示值的二分之一。当需要输出幅度小于幅度电位器置于最大时的  $1/10$ ，建议使用衰减器。 $V_{p-p}$ ， $mV_{p-p}$  输出电压幅度的峰峰值指示，灯亮有效。

## 20、频率显示

显示输出信号的频率或外测频率信号的频率。GATE 灯闪烁时，表示频率计正在工作，当输入信号的频率高于  $100MHz$  时，OV.FL 灯亮。Hz、kHz 为频率单位指示，灯亮有效。

### （二）、使用方法

#### 1、初步检查

①检查电源是否满足仪器的要求 ( $220V\pm 22V$ )。

②将占空比控制按键、电压输出衰减按键、频率测量内/外按键均置于释放；波形选择按键选择某一波形；频率范围按键选择某一范围；输出幅度调节旋钮置于适中位置。

③将电压输出插座与示波器 Y 轴输入端连接。

④开启电源开关，LED 屏幕上有数字显示，示波器上可观察到信号的波形，此时说明函数发生器工作基本正常。

#### 2、三角波、方波、正弦波的产生

①电源开关按下。

占空比控制按键、电压输出衰减按键、频率测量内/外按键均置于释放。

②按照所需要产生的波形，按下波形方式选择按键选择三角波、方波或正弦波。

③按照所需要产生信号频率，按下频率范围选择按键进行适当的选择。

④调节输出幅度调节旋钮，可改变输出电压的大小，本仪器空载时最大输出电压峰峰值为 20V。若需输出电压较小时，应按下电压输出衰减按键。

⑤若需输出信号具有某一大小的直流分量，则将电平控制按键按下，调节电平旋钮即可。

### 3、TTL 输出

由 TTL 输出端可以有方波输出，产生方法同 2，输出信号的频率可以改变。

#### (三)、主要技术特性

##### 1、频率范围

0.3Hz~3MHz，分七档 5 位 LED 显示。

##### 2、输出波形

正弦波、三角波、方波。

##### 3、失真

10Hz~100kHz 不大于 1%。

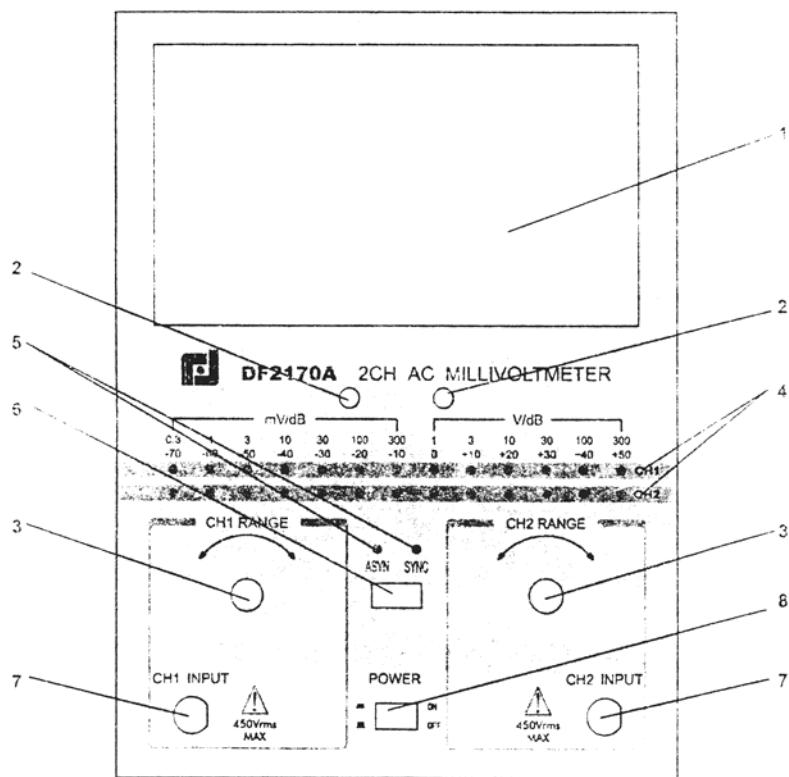
##### 4、输出电压

负载开路时，最大输出电压峰峰值为 20V。

### 附录三 交流毫伏表

#### 一、面板操作键及功能说明

面板职附图 3—1 所示。



附图 3—1 DF2170A 交流毫伏表面板图

各部分说明如下：

- 1、表头。
- 2、机械零位调整。
- 3、量程开关。
- 4、量程指示。
- 5、同步、异步/CH1、CH2 指示。
- 6、同步、异步/CH1、CH2 选择按键。
- 7、通道输入。
- 8、电源开关。
- 9、通道 2 监视输出。
- 10、通道 1 监视输出。
- 11、通道监视输出。
- 12、接地方式选择开关。
- 13、电源插座。



## 二、使用方法及注意事项

1、机械调零：仪表接通电源前，应检查指针是否在零点，如果不在零点，应调节机械零调节螺丝，使指针位于零点。

2、正确选择量程：应按被测电压的大小合适地选择量程，使仪表指针偏转至刻度的  $\frac{1}{3}$  以上区域。如果事先不知被测电压的大致数值，应先将量程开关置在大量程，然后再逐步减小量程。

3、正确读数：根据量程开关的位置，按对应的刻度线读数。

4、当仪表输入端连线开路时，由于外界感应信号可能使指针偏转超量程，而损坏表头。因此，测量完毕时，应将量程开关置在大量程。

## 三、主要技术特性

### 1、交流电压测量范围

$100\ \mu\text{V} \sim 300\text{V}$ 。共分 12 档量程：1、3、10、30、100、300mV、1、3、10、30、100、300V。

### 2、输入电阻

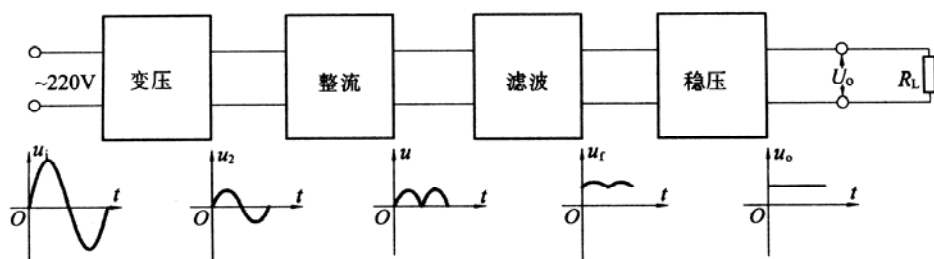
在 1kHz 时，输入阻抗约为  $2\text{M}\Omega$ ，输入电容不大于 20pF。

## 附录四 直流稳压电源

直流稳压电源是将交流电转变为稳定的、输出功率符合要求的直流电的设备。各种电子电路都需要直流电源供电，所以直流稳压电源是各种电子电路或仪器不可缺少的组成部分。

### 一、直流稳压电源的组成及工作原理

直流稳压电源通常是由电源变压器、整流电路、滤波器和稳压电路四部分组成，其原理框图如附图 4—1 所示。



附图 4—1 直流稳压电源组成框图

各部分的作用及工作原理：

- 1、电源变压器：将交流市电电压（220V）变换为符合整流需要的数值。
- 2、整流电路：将交流电压变换为单向脉动的直流电压。
- 3、滤波器：将脉动的直流电压中交流分量滤去，形成平滑的直流电压。

小功率整流、滤波电路，通常采用桥式整流、电容滤波。

4、稳压电路：其作用是当交流电网电压波动或负载变化时，保证输出直流电压稳定。简单的稳压电路可采用稳压管来实现，在稳压性能要求高的场合，可采用串联反馈式稳压电路。目前，市场上通用的集成稳压电路也相当普遍。

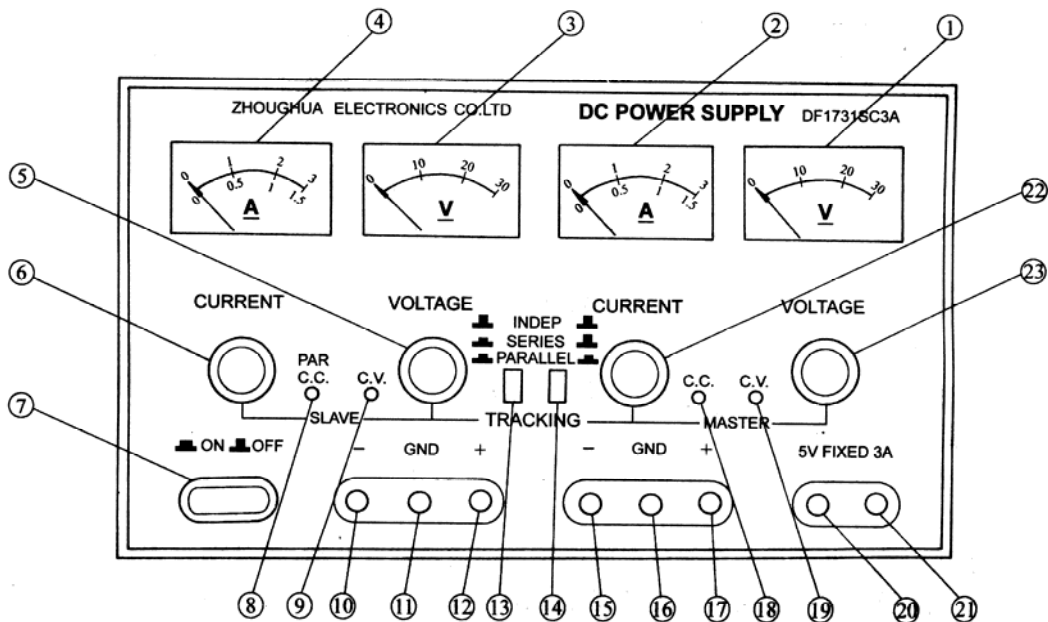
### 二、DF1701S 型直流稳压、稳流电源

DF1701S 型直流稳压、稳流电源是一种有四路输出的高精度直流稳定电源。其中两路为输出可调、稳压与稳流可自动转换的稳定电源，另两路为输出电压固定为 5V 的稳压电源。两路可调电源可以单独或者进行串联、并联运用。

#### 1、面板各元件名称及功能说明

DF1701S 型直流稳压、稳流电源面板如附图 4—2 所示。

- (1) 主路电压表：指示主路输出电压值。
- (2) 主路电流表：指示主路输出电流值。
- (3) 从路电压表：指示从路输出电压值。
- (4) 从路电流表：指示从路输出电流值。
- (5) 从路稳压输出调节旋钮：调节从路输出电压值（最大为 30V）。
- (6) 从路稳流输出调节旋钮：调节从路输出电流值（最大为 3A）。
- (7) 电源开关：此开关被按下时，电源接通。
- (8) 从路稳流状态或两路电源并联状态指示灯：当从路电源处于稳流工作状态或两路电源处于并联状态时，此指示灯亮。



附图 4—2 DF1701S 型稳压、稳流电源面板

- (9) 从路稳压指示灯：当从路电源处于稳压工作状态时，此指示灯亮。
- (10) 从路直流输出负接线柱：从路电源输出电压的负极。
- (11) 机壳接地端。
- (12) 从路直流输出正接线柱：从路电源输出电压的正极。
- (13) 两路电源独立、串联、并联控制开关。
- (14) 两路电源独立、串联、并联控制开关。
- (15) 主路直流输出负接线柱：主路电源输出电压的负极。
- (16) 机壳接地端。
- (17) 主路直流输出正接线柱：主路电源输出电压的正极。
- (18) 主路稳流状态指示灯：当主路电源处于稳流工作状态时，此指示灯亮。
- (19) 主路稳压状态指示灯：当主路电源处于稳压工作状态时，此指示灯亮。
- (20) 固定 5V 直流电源输出负接线柱。
- (21) 固定 5V 直流电源输出正接线柱。
- (22) 主路稳流输出调节旋钮：调节主路输出电流值（最大为 3A）。
- (23) 主路稳压输出调节旋钮：调节主路输出电压值（最大为 30V）。

## 2、使用方法

### ①两路可调电源独立使用

将两路电源独立、串联、并联开关（13）和（14）均置弹起位置，为两路可调电源独立使用状态。此时，两路可调电源分别作为稳压源、稳流源使用，也可在作为稳压源使用时，设定限流保护。

可调电源作为稳压电源使用：

首先将稳流调节旋钮（6）和（22）顺时针调节到最大，然后打开电源开关（7），调节稳压输出调节旋钮（5）和（23），使从路和主路输出直流电压至所需要的数值，

此时稳压状态指示灯（9）和（19）亮。

可调电源作为稳流电源使用：

打开电源开关（7）后，先将稳压输出调节旋钮（5）和（23）顺时针调节到最大，同时将稳流输出调节旋钮（6）和（22）逆时针旋到最小，然后接上负载电阻，再顺时针调节稳流输出调节旋钮（6）和（22），使输出电流至所需要的数值。此时稳压状态指示灯（8）和（18）亮。

可调电源作为稳压电源使用时，任意限流保护值的设定：

打开电源，将稳流输出调节旋钮（6）和（22）逆时针旋到最小，然后短接正、负输出端，并顺时针调节稳流输出调节旋钮（6）和（22），使输出电流等于所要设定的值。

### ②两路可调电源串联——提高输出电压

先检查主路和从路电源的输出负载线端与接地端间是否有联接片相联，如有则应将其断开，否则地两路电源串联时将造成从路电源短路。

将从路稳流输出调节旋钮（6）顺时针旋到最大，将两路电源独立、串联、并联开关（13）按下，（14）置于弹起位置，此时两路电源串联，调节主路稳压输出调节旋钮（23），从路输出电压严格跟踪主路输出电压，在主路输出正端（17）与从路输出负端（10）间最高输出电压可达 60V。

### ③两路可调电源并联——提高输出电流

将两路电源独立、串联、并联开关（13）和（14）均按下，此时两路电源并联，调节主路稳压输出调节旋钮（23），指示灯（8）亮。调节主路稳流输出调节旋钮（22），两路输出电流相同，总输出电流最大可为 6A。

## 3、使用注意事项

①仪器背面有一电源电压（220V/110V）变换开关，其所在位置应和市电 220V 一致。

②两路电源串联时，如果输出电流较大，则应用适当粗细的导线将主路电源输出负端与从路电源输出正端相连。在两路电源并联时，如输出电流较大，则应用导线分别将主、从电源的输出正端与正端、负端与负端相联接。以提高电源工作的可靠性。

③该电源设有完善的保护功能（两路固定 5V 电源具有可靠的限流和短路保护，两路可调电源具有限流保护），因此当输出发生短路时，完全不会对电源造成任何损坏。但是短路时电源仍有功率损耗，为了减少不必要的能量损耗和机器老化，所以应尽早发现短路并关掉电源，将故障排除。

## 参 考 文 献

- (1)李桂安主编. 电工电子实践初步. 南京: 东南大学出版社, 1999
- (2)王尧主编. 电子线路实践. 南京: 东南大学出版社, 2000
- (3)袁越等编. 电子技术基础实验与常用电子仪器. 南京. 2002