

吉林大学自编教材

# 《电路理论》实验指导

陈万忠 刘 斌 程 禹 康文炜 编

吉林大学教材发行与调配中心  
2019 年 11 月

# 目 录

一、实验要求.....	1
二、实验项目.....	3
实验一 电阻元件的伏安特性研究.....	3
实验二 基尔霍夫定律与电位研究.....	6
实验三 电源外特性与叠加定理.....	9
实验四 戴维南定理与诺顿定理.....	13
实验五 电源等效变换.....	17
实验六 示波器和信号发生器使用.....	21
实验七 一、二阶电路响应.....	24
实验八 RLC 串联谐振电路.....	29
实验九 日光灯实验及功率因数提高.....	34
三、附录 常用电子仪器性能及使用方法.....	38
附录一 电工测量与常用电测仪表基本知识.....	38
附录二 常用电子仪器和设备的性能和使用介绍.....	42

---

# 一、实验要求

## （一）实验课目的

电路理论实验指导书是我院本科学生《电路》和《电路分析基础》课程的配套教材。电路理论课程是一门重要的以理论应用性与技术实践性为鲜明特点的基础课，电路实验是整个教学过程的重要组成部分。本书共选编了个 12 个实验，实验任务的安排由浅入深、由易到难，从验证性的实验任务逐渐过渡到综合性实验任务。通过实验达到以下目的：

1. 进一步掌握和巩固所学的理论知识，培养运用基本理论分析、处理实际问题的能力；
2. 进行实验基本技能的实习和训练；
3. 掌握电压表、电流表、万用表、功率表等电工仪表的正确使用方法，学会使用示波器、信号发生器、晶体管稳压电源等电子仪器；
4. 学会正确读取和处理实验数据、分析实验结果、编写实验报告；
5. 培养实事求是、严肃认真的科学作风和良好的实验习惯。

## （二）实验课要求

### 1. 实验前准备

（1）认真预习、仔细阅读实验指导书和有关理论知识，明确实验的目的、任务，了解实验的基本理论，实验线路及完成实验的方法，步骤；清楚实验中将会观察到的现象、需要记录的数据和注意事项。

（2）认真听取指导教师关于仪器设备的使用方法，搭接实验线路的注意事项等有关内容的讲解和介绍。

### 2. 实验过程中的注意事项

（1）接线前适当安排好实验仪器仪表的位置，一般以便于接线、操作和读数为原则。接线应安排合理、清楚整齐，导线的粗细长短要适当，接线不宜过于集中于某一点，接线柱松紧要拧得适度。

### （2）查线

线路接好后，各组同学首先自检，然后请教师检查，经教师检查无误后，方可接通电源进行实验。

### (3) 实验

通电后，首先观察仪器仪表的工作状态是否正常、量程是否合适、操作是否方便，如发现异常现象，应立即关断电源，查找原因。

如通电后情况正常，则按照实验内容和步骤，有目的的调整参数；注意观察、分析各仪器仪表的变化情况，认真读取各需要的数据。如发现数据有错误，可重新测量。若测量某一特性曲线时，在曲线的弯曲部分应多取几个测量点，曲线平滑部分可少取几个测量点。

在实验过程中，不能只埋头于操作和读数，应随时观察线路和仪表的工作情况，如有发光、发热、声音、气味等异常现象，应立即切断电源，检查故障及原因。

在实验过程中，严谨触摸金属裸露部分，养成良好的实验习惯，确保人身安全。

实验工作结束后，先断开电源，然后再拆线、实验设备复原归位、整理导线和清理桌面。

### (三) 实验数据整理

实验结果和记录的数据，需经老师签字后方能生效，并作为编写实验报告的依据。实验结果和数据一经确定，不得随意涂改。

### (四) 实验报告编写

编写实验报告，是对实验结果的归纳、总结、分析和提高，学生在每次实验后都必须独立完成这项工作。实验报告的编写按每个实验的要求认真填写。

### (五) 实验过程中，听从指导教师的指导，保持实验室的清洁。

## 二、实验项目

### 实验一 电阻元件的伏安特性研究

实验日期：201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者：\_\_\_\_\_

#### 一、实验目的

1. 学会识别常用电路元件的方法；
2. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法；
3. 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

#### 二、原理说明

任一二端元件的特性可用该元件上的端电压  $U$  与通过该元件的电流  $I$  之间的函数关系  $U=f(I)$  来表示，即用  $U-I$  平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1. 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1-1 中 a 所示，该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

2. 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态，其灯丝电阻随着温度的升高而增大，通过白炽灯的电流越大，其温度越高，阻值也越大，一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍，所以它的伏安特性，如图 1-1 中 b 曲线所示。

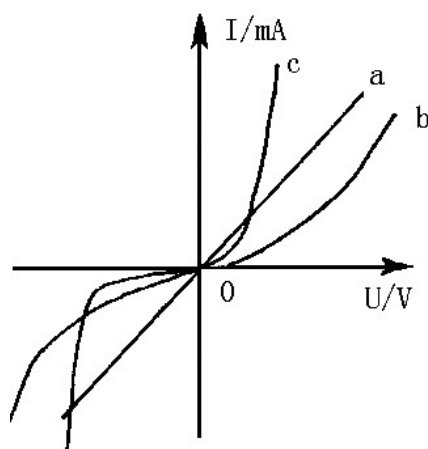


图 1-1 伏安特性曲线

3. 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其特性如图 1-1 中 c 曲线。

正向压降很小（一般的锗管约为  $0.2\sim 0.3\text{V}$ , 硅管约为  $0.5\sim 0.7\text{V}$ ）, 正向电流随正向压降的升高而急骤上升; 而反向电压从零一直增加到十多至几十伏时, 其反向电流增加很小, 粗略地可视为零。可见, 二极管具有单向导电性, 但反向电压加得过高, 超过管子的极限值, 则会导致管子击穿损坏。

### 三、实验设备

1. 万用表
2. 直流毫安表
3. 稳压电源
4. 电阻箱

### 四、实验内容

测定线性电阻、发光二极管和小灯泡的的伏安特性曲线。

1. 按图 1-2 接线, 调节稳压电源的输出电压  $U_s$ , 从 0 伏开始缓慢地增加, 一直调至 5V (用万用表监测), 调整可变电阻, 记录线性电阻器、发光二极管的每对电压和电流数据, 填到表 1-1 和表 1-2 中。

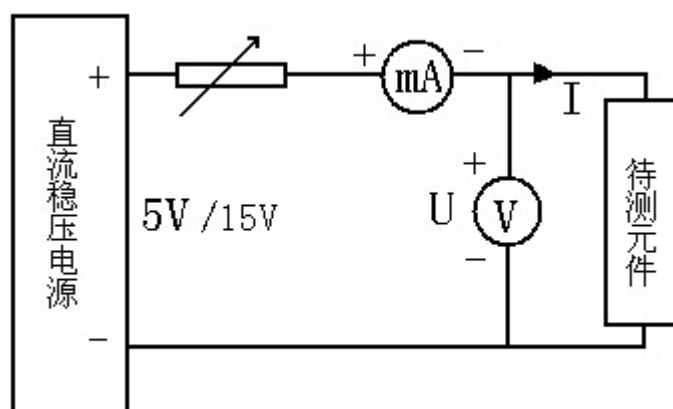


图 1-2 实验原理图

2. 按图 1-2 接线不变, 待测元件换成小灯泡, 调节稳压电源的输出电压  $U_s$ , 从 5 伏开始缓慢地增加, 一直调至 15V (用万用表监测), 调整可变电阻, 记录小灯泡的每对电压和电流数据, 填到表 1-3 中。

## 五、实验数据

表 1-1 电阻  $R=12\ \Omega$  伏安特性测量数据 ( $U_s=5V$ )

电流 $I(mA)$	250	220	200	150	120	80	50	30	20	10
电压 $U(V)$										

表 1-2 发光二极管伏安特性测量数据 ( $U_s=5V$ )

电流 $I(mA)$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
电压 $U(V)$										

表 1-3 小灯泡伏安特性测量数据 ( $U_s=15V$ )

电流 $I(mA)$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
电压 $U(V)$										

## 六、实验报告

1. 根据各实验结果数据,在坐标纸上绘制出光滑的伏安特性曲线(正向特性,均要求画在同一张图中,可取为不同的比例尺);
2. 根据实验结果,总结、归纳被测各元件的特性;
3. 必要的误差分析;
4. 心得体会及其他。

坐标纸粘贴处

## 实验二 基尔霍夫定律与电位研究

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 验证基尔霍夫定律；
2. 加深对参考方向的理解；
3. 了解电位的相对性和电压与电位的相互关系；
4. 学习与掌握多支路的连接与布局。

### 二、实验原理

基尔霍夫定律是电路理论中的基本定律，它包括了电路中电流和电压分别遵循的基本规律。

1. 基尔霍夫第一定律（电流定律）：对集总电路中的任一节点，在任一时刻，流入（或流出）该节点的电流的代数和恒等于零。数学表达式为

$$\sum I = 0。$$

2. 基尔霍夫第二定律（电压定律）：对集总电路中的任一回路，在任一时刻，该回路在规定绕行方向下各部分电压的代数和恒等于零。数学表达式为

$$\sum U = 0。$$

3. 电流与电压的参考方向：参考方向是为了计算电路的方便而人为设定的。在计算结果中若某支路电流或某元件电压为负值，则表明其真实方向与参考方向相反；若为正值则真实方向与参考方向一致。

4. 电位与电位差：在电路中，电位的参考点选择不同，各节点电位也相应改变，而任意的节点间的电位差则不变，即任意两节点间电压与参考点选择无关。

### 三、实验内容

1. 验证基尔霍夫定律。

参考电路与元件参数如图 2—1 所示。

（1）按图 2—1 所示的实验电路调准电源、连接各元件、接通电源、观察电流表指针偏转是否正常。如果电流表指针逆时针偏转时，应切断电源调换该表接线（其读数记为负值）；然后重新接通电源，将  $R_3$  调至  $160\Omega$ ，将  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  测得值记入表 2—1 中。

（2）将  $R_3$  调到  $320\Omega$  重新测量  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 。



(3) 实验电路仍如图 2—1 所示，按表 2—2 要求测量各支路电压。

2. 测量电路中各节点电位 测量电路中各节点电位时，可直接沿用图 2—1 电路，不必另行搭接电路。现分别以 a 点和 f 电作为电位参考点（零电位）测量电路各节点电位，并将测量的结果记入表 2—3 中。通过计算检验电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

#### 四、实验仪器与设备

- |           |     |
|-----------|-----|
| 1. 直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 直流电压表  | 1 块 |
| 3. 直流毫安表  | 1 块 |
| 4. 实验电路板  | 1 块 |

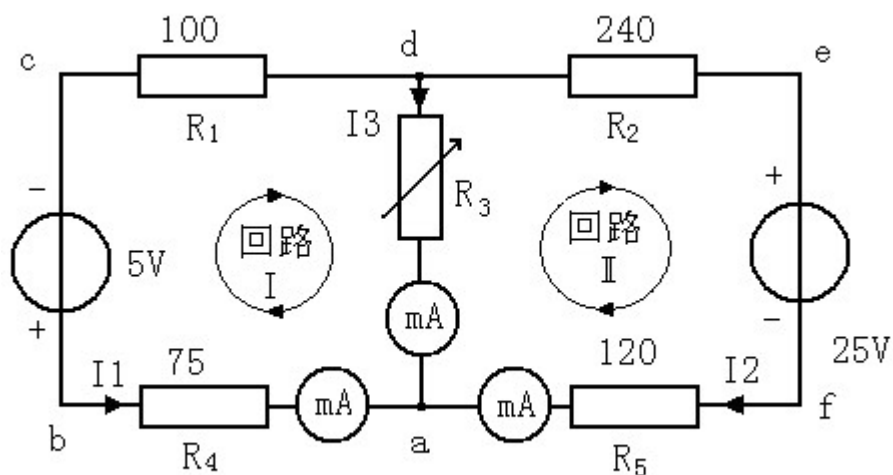


图 2—1 实验原理图

#### 五、注意事项

1. 接线前，应将双路稳压电源输出分别调整到给定的  $U_{a1}$ 、 $U_{s2}$  值，然后关断电源。待实验电路接好后再分别启动  $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ 。
2. 做实验任务 1 时，合闸瞬间要密切注视各电流表指针偏转情况，要及时更换表的极性，防止损坏仪表或打弯指针。
3. 测量电压、电位时，电压表测量笔应接触对应节点，避免只测量电阻元件电压。而遗漏电流表的（内阻）电压。

## 六、实验数据

表 2-1

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\Sigma I$
$R_3=160\ \Omega$				
$R_3=320\ \Omega$				

表 2-2

		$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{cd}$	$U_{da}$	$\Sigma U$
回路 I	$R_3=160\ \Omega$					
	$R_3=320\ \Omega$					
		$U_{ad}$	$U_{de}$	$U_{ef}$	$U_{fa}$	$\Sigma U$
回路 II	$R_3=160\ \Omega$					
	$R_3=320\ \Omega$					

表 2-3

$R_3 = \quad \Omega$	$\Phi_a$	$\Phi_b$	$\Phi_c$	$\Phi_d$	$\Phi_e$	$\Phi_f$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{cd}$	$U_{da}$	$U_{de}$	$U_{ef}$	$U_{fa}$
零电位 a	0												
零电位 f						0							

## 七、实验结论

## 八、实验结果分析

## 实验三 电源外特性与叠加定理

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 了解直流电压源、电流源外特性及测试方法；
2. 验证叠加定理；
3. 进一步掌握直流稳压电源的使用方法。

### 二、实验原理

1. 电压源的外特征：电压源的源电压  $u(t)$  是确定的时间函数。与流过电压源的电流大小无关，电流的大小取决于外电路。如果是恒定直流电压源，则其源电压为一定值  $U_s$ 。其外特征如图 3—1a 所示。实际电压源一般都含有内阻，随着外电路电流的增大，电源的端电压减小。它的外特征如图 3—1b 所示。实际电压源可用一个电压源  $U_s$  和电阻  $R_s$  串联组合模型来模拟。显然  $R_s$  越大，图 3—1a、b 两曲线的夹角  $\theta$  也越大，实际电压源端电压随电流变化也越大。随着电子工业的发展，晶体管、集成电路稳压电源广泛使用，它的外特性接近电压源的外特性。

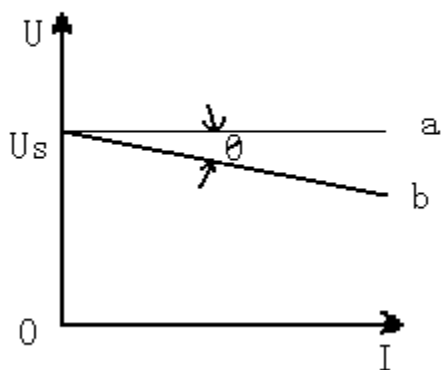


图 3—1

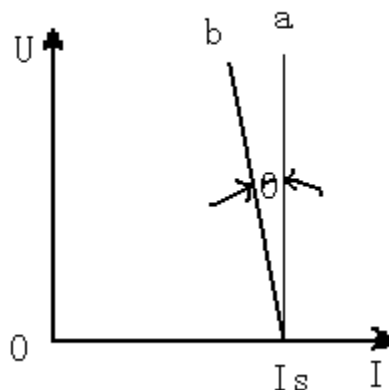


图 3—2

对于电压源外特性的测试问题，一般用稳压电源的外特性近似替代电压源的外特性；用稳压电源与一电阻串联后的外特性，来模拟实际电压源的外特性。但在测试时，外电路电流不应超过稳压电源的电流。

2. 电流源外特性：电流源的源电流  $i(t)$  也是确定的时间函数，与其端电压大小无关，端电压的大小取决于外电路。如果是恒定直流电流源，则源电流为一定值

$I_S$ ，其外特性如图 3—2a 所示。实际电流源一般都含有内电导  $G_S$ ，随着端电压的增高，对外电路提供的电流减小。其外特性如图 3—2b 所示。实际电流源，可用一个电流源  $I_S$  和一个电导  $G_S$  相并联组合的模型来模拟。显然  $G_S$  越大，图 3—2a、b 两曲线的夹角  $\theta$  也越大，晶体管电流源的外特性，在额定电流、输出电阻范围内，与电流源外特性近似。据此，在测试电流源外特性时，用晶体管电流源外特性近似代替电流源外特性；用晶体管电流源并联一电导  $G_S$  后的外特性，来模拟实际电流源的外特性。

### 三、实验内容

#### 1. 电压源外特性测试

按图 3—3 所示电路进行接线，调节  $R_L$  测量电流、电压并记于下表 3—1 中。

#### 2. 电流源外特性测试

按图 3—4 所示电路接线，调节  $R_L$  测量电流、电压并记于下表 3—1 中。

3. 按图 3—5 所示电路接线测量各支路电流，将数据记录于表 3—2 中。

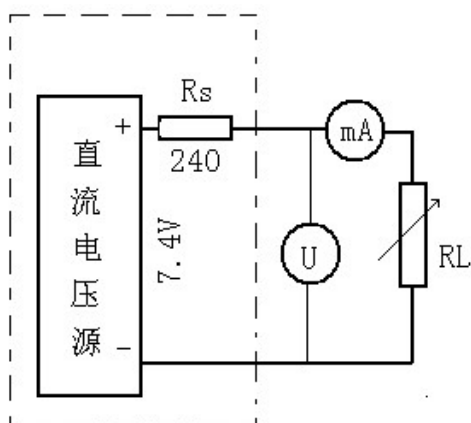


图 3—3

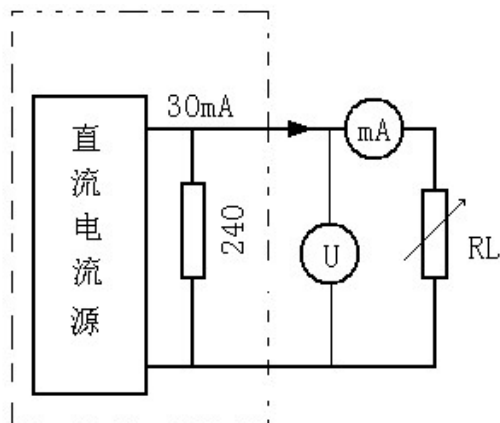


图 3—4

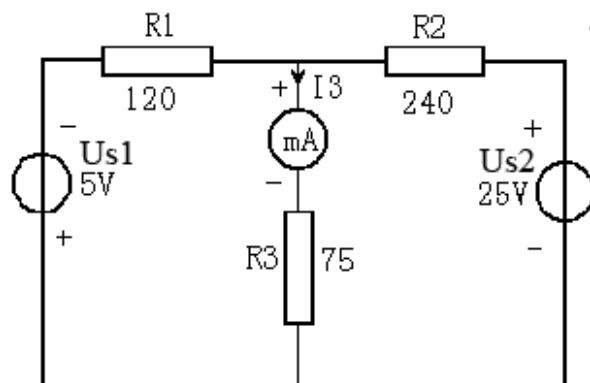


图 3—5

#### 四、实验仪器与设备

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 双路直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 可调晶体管电流源 | 1 台 |
| 3. 直流毫安表    | 1 块 |
| 4. 直流毫安表    | 1 块 |
| 5. 直流电压表    | 1 块 |
| 6. 实验电路板    | 1 块 |

#### 五、注意事项

- 1 电压源、电流源和各电阻元件的容量要配套，并与仪表量程相适应。
- 2 调节稳压电源输出电压时，应并联一块电压表，并以电压表读数为准。稳压电源上的电压表指示数只做参考（监视用）。
- 3 做叠加定理实验时，注意电压源和电流源的极性与参考方向一致。

#### 六、实验数据

表 3-1

	$R_L(\Omega)$	1000	800	600	400	200	0
$U_S=7.4V$	$U(V)$						
	$I(mA)$						
$I_S=30mA$	$U(V)$						
	$I(mA)$						

表 3-2

	$U_{S1}$ 单独作用	$U_{S2}$ 单独作用	共同作用
测量值	$I'_3 =$	$I''_3 =$	$I_3 =$
计算值			
误差(%)			

## 七、实验曲线

画出实际电压和实际电流源外特性曲线

## 八、实验结果分析

分析叠加定理试验中误差来源

## 实验四 戴维南定理与诺顿定理

实验日期 201\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 验证戴维南定理与诺顿定理；
2. 学习测量含源一端口电阻网络的等效入端电阻方法，掌握电压源、电流源等效变换条件。

### 二、实验原理

#### 1. 戴维南定理

任一线性含源一端口网络，对端口以外的电路来说，可以用一条含电压源与电阻串联的支路来等效代替。该电压源的源电压等于含源一端口网络的开路电压  $U_{oc}$ ，其内阻  $R_o$  等于含源一端口网络化为无源网络后的入端电阻  $R_i$ 。

#### 2. 诺顿定理

任一线性含源一端口网络，对端口以外的电路来说，可以用一条由电流源与电导并联复合支路来等效代替。该电流源的源电流等于含源一端口网络的短路电流  $I_{oc}$  其内电导  $G_o$  等于含源一端口网络化为无源网络后入端电阻  $R_i$  的倒数，即

$$G_o = 1/R_i。$$

戴维南定理、诺顿定理从不同角度，把现行含源一端口网络概括为一个等效电源。分别称为戴维南等效电路和诺顿等效电路，它们相互等效变换条件为

$$G_o = 1/R_o, \quad I_s = U_s/R_o \quad (R_o = R_i)$$

含源一端口网络等效变换如图 4—1 所示。

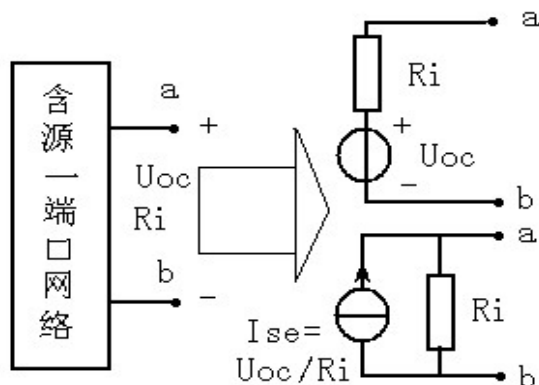


图 4—1

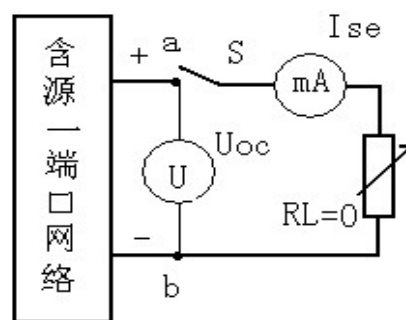


图 4—2

### 3. 含源一端口网络等效入端电阻 $R_i$ 的测量方法

含源一端口网络等效入端电阻  $R_i$  的测量方法很多，其中最简单又方便的是开路、短路法。开路、短路法即用电压表（高内阻）直接测量网络端口 a、b 电压  $U_{oc}$ ；用电流表（内阻很小可视为零）直接接网络 a、b 端测出电流，由  $U_{oc}$ 、 $I_{oc}$  计算出  $R_i$ 。但此法必须在短路电流  $I_{oc}$  值小于含源一端口网络允许范围内进行。其他方法学生可在预习中思考，实验中安排操作。 $R_i$  测试电路如图 4—2 所示。

## 三、实验内容

1 测量含源一端口网络等效入端电阻  $R_i$  和对外电路伏安特性。实验接线参考电路如图 4—3 所示，测量数据记录于表 4—1。

2 根据任务 1 测出的  $U_{oc}$ 、 $R_i$ ，用电压源与电阻串联支路等效含源一端口网络，重复测试对外电路伏安特性，并将测试结果记录于表 4—1。电路图如图 4—3b 所示。

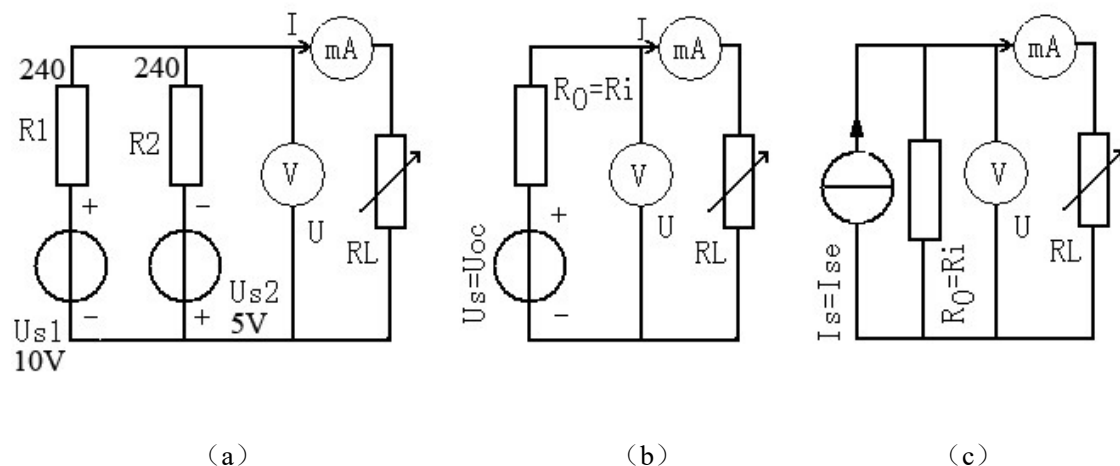


图 4—3

3 根据任务 1 测出的  $I_{sc}$ 、 $R_i$ ，用电流源并联电阻  $R_i$  电路等效含源一端口网络，重复测试对外电路伏安特性，并将测试结果记录于表 4—1。电路图如图 4—3c 所示。

根据表 4—1 数据在同一坐标纸上绘制三条外特征曲线，并进行分析比较。

提示：三条外特性曲线进行分析比较，必须散着等效，即满足  $U_s = U_{oc}$ ， $I_s = I_{sc}$ ， $I_{sc} = U_{oc} / R_i$ 。在设计实验各参数时，只有电流源受到限制，可调电



压源、电阻等均易满足。如电流源技术指标为： $I_s = 0 \sim 30\text{mA}$ （可调）负载电阻 $\leq 500\Omega$ ，则以 $R_i \geq 500\Omega$ 去选定含源一端口网络参数 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $U_{a1}$ 、 $U_{a2}$ 及仪表。

#### 四、实验器材与设备

1. 直流稳压电源	1 台
2. 可调电流源	1 台
3. 直流毫安表	1 块
4. 直流电压表	1 块
5. 可变电阻箱	1 只
6. 实验电路板	1 块

#### 五、注意事项

1. 实验预操作中注意 $I_{sc}$ 值是否在 $30\text{mA}$ 以下，在于 $30\text{mA}$ 时，应重新给定 $U_{a1}$ 、 $U_{a2}$ 或调整 $R_1$ 、 $R_2$ 值。以免中途调整参数。
2. 调整电流源电流时，应参照图4—3c将 $G_0$ 断开，待 $I_s$ 调到所需值后再接入 $G_0$ 。
3. 测量 $U_{oc}$ 和 $I_{sc}$ 时应尽可能准确，因为它们将直接影响等效电路的搭接和测量质量。

#### 六、实验数据

表 4—1

Uoc(V)=		Isc(mA) =				Ri=Uoc/Isc(Ω)=			
RL 设定值		1000	800	600	400	200	100	0	开路
含源一端口网络 (图 4-3a)	U(V)								
	I(mA)								0
电压源等效 (图 4-3b)	U(V)								
	I(mA)								0
电流源等效 (图 4-3c)	U(V)								
	I(mA)	0							

## 七、 实验曲线

## 八、 实验结果分析

1、分析比较三条曲线

2、影响测量 $U_{oc}$ 和 $I_{sc}$ 精度的因素有哪些？如何提高测量精度？

## 实验五 电源等效变换

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 通过实验了解电流源及其外特性；
2. 掌握电流源与电压源进行等效变换的条件。

### 二、原理与说明

#### 1. 电流源

电流源是电压源以外的另一种形式的电源，它以电流的形式向外电路提供电能。理想电流源向外电路提供的电流是定值  $I_s$  或一定的时间函数  $i_s(t)$ ，而与其端电压的大小无关；理想电流源端电压的确定取决于与之相联接的外电路。其伏安特性曲线如图 5—1 所示。

理想电流源是不存在的，实际电流源向外电路提供的电流是随着端电压的升高略有下降的。端电压越高，电流下降得越多；反之，端电压越低通过外电路的电流越大；当端电压为零时（外电路短路），流过外电路的电流为电流源的值。实际电流源可以用一个理想电流源  $I_s$  和一个电阻  $R_s$  并联组合的电路模型来表示，其模型及伏安特性曲线如图 5—2 所示。

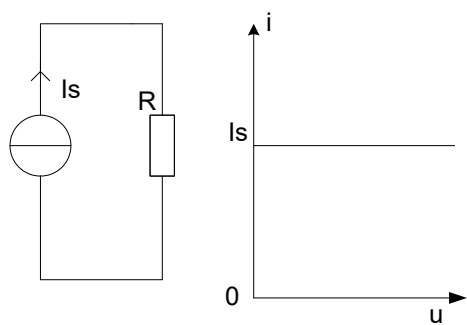


图 5—1

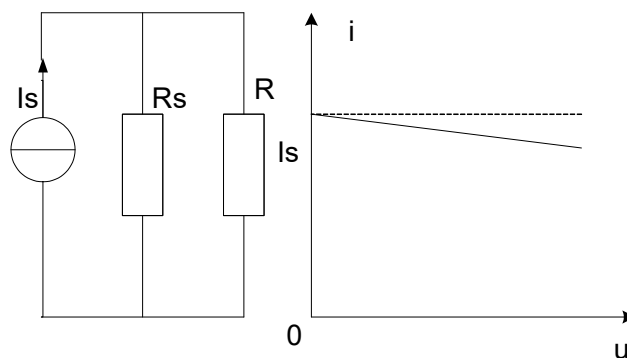


图 5—2

某些器件的伏安特性具有电流源的性质，如硅光电池、晶体三极管等。本实验中的电流源是用 JIS—1 型双路可调恒流源。规格为 0~30mA。

#### 2. 电源的等效变换

一个实际的电源，就其外部特性而言。既可以看成是一个电压源，也可以看成是一个电流源。例如：一个电压源和一个电流源分别与相同阻值的外电阻  $R$  相接，如图 5—3 所示。

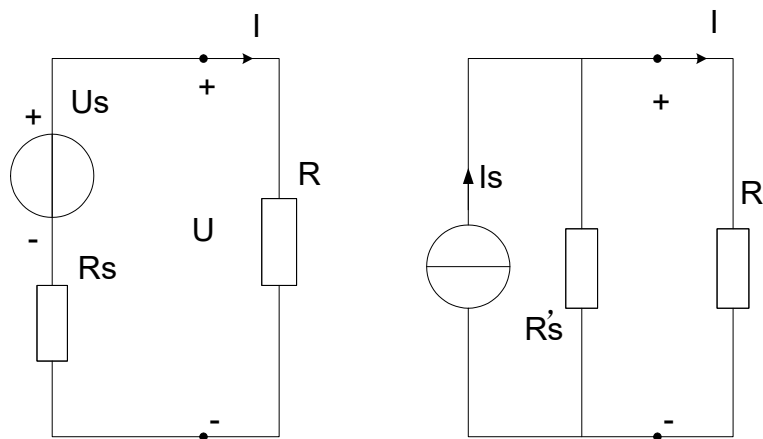


图 5—3

从图 5—3 中所示的电压源电路来看，电阻  $R$  两端的电压  $U$  和流过  $R$  的电流  $I$  的关系可表示为

$$U = U_s - IR_s$$

$$I = \frac{U_s - U}{R_s} = \frac{U_s}{R_s} - \frac{U}{R_s}$$

对于图 5—3 中所示的电流源电路，电阻  $R$  两端的电压  $U$  和流过  $R$  的电流  $I$  的关系可表示为

$$U = I_s R'_s - IR'_s$$

$$I = I_s - \frac{U}{R'_s}$$

如果使两种电源的参数满足

$$\frac{U_s}{R_s} = I_s$$

$$R_s = R'_s$$

则电压源，电流源所联接的  $R$  两端的电流与电压完全相同，也就是说，在这样条件下两种电源的外电路特性是完全等效的。

### 三、实验内容

1. 按照 JIS—1 型双路可调恒流源的使用说明书，学会其使用方法。
2. 电源的等效变换

可将图 5—4 的电路等效成为图 5—5 的电路，调节  $R_L$  将测得的  $R_L$  相对应的电流电压值填入表 5—1 中。

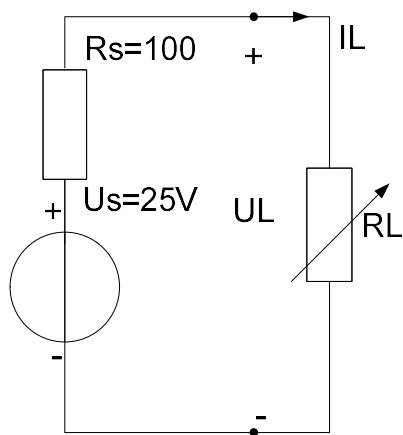


图 5—4

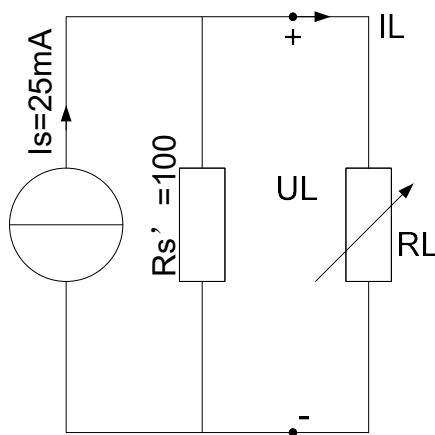


图 5—5

### 四、实验仪器与设备

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| 1. 直流稳压电源 (0—30V 双路) | 1 台 |
| 2. 可调电流源 (0—30mA 双路) | 1 台 |
| 3. 直流毫安表 (多量程)       | 1 块 |
| 4. 直流电压表 (多量程)       | 1 块 |
| 5. 可变电阻箱             | 1 个 |
| 6. 实验电路板             | 1 块 |

### 五、注意事项

- 1 注意等效电路的极性。
- 2 调节电源值，电压源应开路，电流源应短路进行。

## 六、实验数据

表 5—1

调定值	$R(\Omega)$	200		400		600		800		1000	
测量值	$U_s$ 电路	$U_L$	$I_L$	$U_L$	$I_L$	$U_L$	$I_L$	$U_L$	$I_L$	$U_L$	$I_L$
测量值	$I_s$ 电路										
误差	%										

## 七、实验结果分析

分析测量误差

## 实验六 示波器和信号发生器使用

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 了解示波器和信号发生器的性能、面板控制键的作用及调节方法；
2. 学习方波、三角波、正弦波等信号调制与波形显示方法。

### 二、实验原理

1. 示波器及信号发生器的工作原理介绍见附录；
2. 本实验学习使用示波器和函数脉冲发生器、其性能及面板各控制键的使用方法见附录。

### 三、实验内容

1. 熟悉示波器面板主要旋钮（或按键）使用说明：将显示方式开关置于  $CH_1$  或  $CH_2$  单踪显示，扫描时间调  $0.1ms$  档上，触发方式选为自动，同步方式钮与显示方式开关置于相对应位置；调节  $CH_1$  或  $CH_2$  位移和 X 位移旋钮，观察屏幕上扫描线的移动情况，使扫描线位于屏幕中央；调节辉度、聚焦，观察扫描线亮度和聚焦的变化情况，使扫描线成为亮度适中，均匀光滑的一条纤细的光迹。

2. 方波、三角波、正弦波的调整与显示。

（1）方波、三角波、正弦波的调整。

对照附录函数信号发生器面板上旋钮编号和作用，熟悉使用。

利用函数脉冲信号发生器波形选择按钮所置的不同位置，即可对所选波形、幅度和频率进行调整。例如调整  $500H_z$ 、 $3V$  的方波：可将频率挡级调到 100、调整频率旋钮，数码显示为 500，输出幅度旋钮在中间位置，由输出插孔得到的即为  $500H_z$ 、大约  $3V$  的方波信号（准确的幅值可通过示波器配合信号发生输出幅度微调进行）。三角波、正弦波的调制过程大致与上述方法调制步骤相同。

（2）方波、三角波、正弦波的示波器显示及测量。

将信号由  $CH_1$  接入示波器，置 DC—AC 输入选择开关于 AC 位置，调整 y 幅度旋钮，显示适当的幅度。

3. 利用示波器测量方波、三角波、正弦波的示波器显示及测量。

对于示波器屏幕上显示的方波、三角波及正弦波，如果将扫描速度微调和波

形幅度显示微调或顺时针旋到头（校准位置），适当调节  $t/DIV$  和  $V/DIV$ ，即可利用一个周期波形在屏幕棋盘上所占的格数测量其周期、频率和幅值。

4. 按表 7—1 所设项目调整各波形，用示波器进行显示，测量，记录各所要求的数据。

5. 两种或两个波同时显示。

如果将显示方式开关置于“交替位置”，则屏幕上可同时显示，调节和测量来自  $CH_1$  和  $CH_2$  两个通道的信号波形。通常情况下，一个通道可以用于监视某被测电路的激励源电压信号，另一个通道用来显示支路或元件响应的电压信号。

#### 四、实验仪器与设备

- |            |     |
|------------|-----|
| 1. 示波器     | 1 台 |
| 2. 函数脉冲发生器 | 1 台 |

#### 五、注意事项

1. 本项实验内容较多、仪器结构复杂，应认真预习实验内容，参看附录有关部分；
2. 不准随意调动仪器的按键和旋钮，以免损坏仪器。

#### 六、实验数据

表 7—1

测量项目		v/div 值	U 峰值 倍数	U 峰 值	t/div 值	T 显 示 格 数	T(ms)	f(Hz)
调制 波形	正弦波 (500Hz)							
	三角波 (1000Hz )							
	方波 (2000Hz )							



## 七、思考与讨论

1. 如何利用示波器测量正弦信号的周期  $T$ ;
2. 若示波器屏幕上的信号波形偏向右上方，应调节哪些旋钮才能使波形位于屏幕中央？
3. 若屏幕显示的波形幅度过小，波形过宽，应怎样调节才能使波形的幅度和宽度适中？

## 实验七 一、二阶电路响应

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 观测电路参数对一、二阶电路响应的影响；
2. 了解动态电路响应的基本规律和特点。
3. 学习判定电路动态过程的性质。

### 二、原理与说明

1. RC 串联电路的微分方程及响应凡是可以一阶微分方程描述的电路称为一阶电路。由线性元件 R、C 串联组合的一阶电路如图 8—1 所示（ $U_s$  为直流电压源）。

根据基尔霍夫电压定律，电路  $u_c(t)$  为求解量微分方程为：

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = U_s$$

根据已知条件的不同，其电路的响应可为：

- (1) 零状态响应（K 接于 1 点时  $u_c(0) = 0$ ）。
- (2) 零输入响应（K 接于 2 点时  $u_c(0) \neq 0$ ）。
- (3) 完全响应（K 接于 1 点时  $u_c(0) \neq 0$ ）。

RC 串联电路的响应，其实质是元件 C 充放电的过程。充放电的快与慢取决于电路本身的时间常数  $\tau$ （ $\tau = RC$ ）。

#### 2. RLC 串联电路的微分方程及响应。

凡是可以二阶微分方程描述的电路称为二阶电路。由线性元件 R、L、C 串联组合的典型二阶电路如图 8—2 所示。

根据基尔霍夫电压定律，以  $u_c(t)$  为求解量微分方程为：

$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} = U_s$$

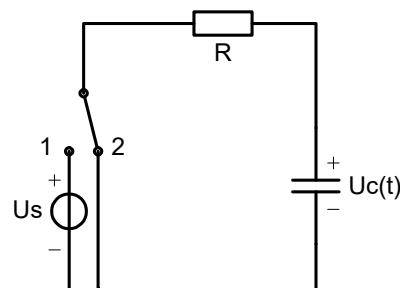


图 8-1

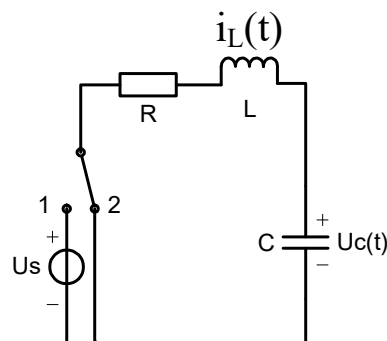


图 8-2

根据不同的已知条件，电路响应可分为三种情况：

(1) 若  $U_s \neq 0$ ，是一常量或一确定的时间函数，而  $u_C(0)=0$ ， $i_L(0)=0$ ，电路的响应为零状态响应。

(2) 若  $U_s = 0$ ，而  $u_C(0)$ ， $i_L(0)$  都不为零或不都为零时，电路响应为完全响应。

## 2. 过度过程的性质（暂态过程）

RLC 串联电路，无论零输入响应，还是零状态响应，电路过度过程的性质，完全由微分方程的特征根来决定，即

$$LCp^2 + RCp + 1 = 0$$

$$P_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$
$$= -a \pm \sqrt{a^2 - \omega_0^2}$$

$$\text{式中 } a = \frac{R}{2L}, \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

可见  $a$  与  $\omega_0$  的相对大小有关：

(1) 如果  $a > \omega_0$ （即  $R > 2\sqrt{L/C}$ ，则  $P_{1,2}$  为两个不相等的负实根，电路的过渡过程为过阻尼非震荡过程）。

(2) 如果  $a < \omega_0$ （即  $R < 2\sqrt{L/C}$ ，则  $P_{1,2}$  为一对共轭复根，电路的过渡过程为欠阻尼的震荡过程）。

(3) 如果  $a = \omega_0$ （即  $R = 2\sqrt{L/C}$ ，则  $P_{1,2}$  为两个相等的负实根，电路的过渡过程为临界过阻尼的非震荡过程）。

改变电路参数  $R$ 、 $L$  或  $C$ ，均可使电路发生上述三种不同性质的过程。

## 三、实验内容与方法

### 1. 实验内容与方法

因为过渡过程是短暂的一次过程，如果用普通示波器来观察这一过程，就必须使过程周期性地重复出现。本实验采用信号发生器输出的矩形脉冲电压作为测试电路和示波器  $CH_1$  通道的输入，只要使脉冲宽度  $\Delta = \frac{T}{2}$  远大于过渡过程持续的时间，那么，脉冲电压的前半周作用时，电路为零状态响应；在脉冲电压的后半周作用时，电路为零输入响应，用调节  $R$  或  $C$  的办法，改变电路的时间常数

（一阶）或相应的性质（二阶电路），就可观测到不同的响应的光迹。

## 2. RC 串联电路电容电压响应。

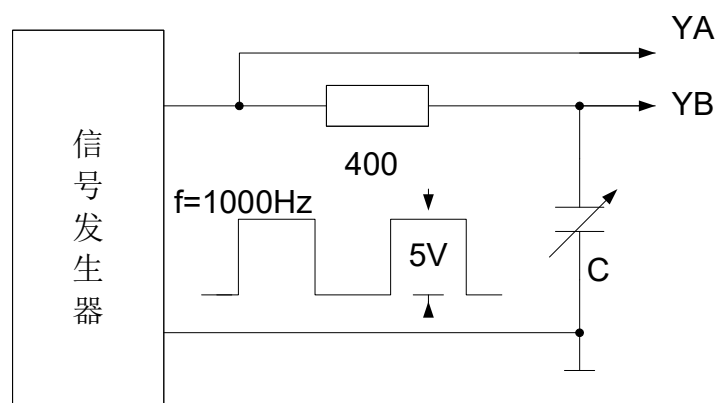


图 8-3

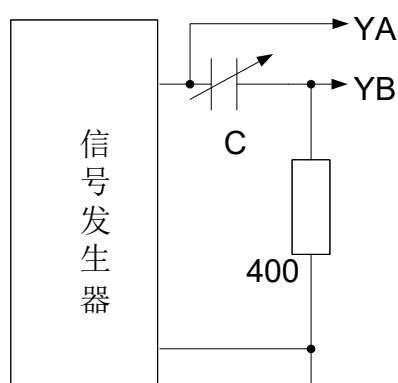


图 8-4

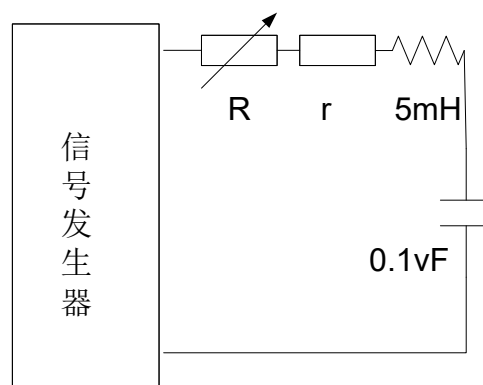


图 8-5

实验电路如图 8-3 所示。电路与示波器  $CH_1$  通道输入的矩形脉冲电压信号由信号发生器供出，其参数为： $f=1000\text{Hz}$ ， $U=5\text{V}$ 。 $CH_2$  通道的输入信号由电容元件两端取得。适当调节示波器两 Y 通道的幅度旋钮（ $v/div$ ）和扫描旋钮（ $t/div$ ），使屏幕上显示的  $CH_1$  通道矩形波和  $CH_2$  通道电容电压响应波形的幅度和宽度适中（两通道  $v/div$  的指示值相同，微调旋钮都处于“校准”位置，矩形脉冲至少出现两个周期）。再调节 Y 通道的位移旋钮，使两波形处于屏幕的中间位置（对其、对正）。然后按数值 0.1、0.33、0.47 调节 C，将观测到的两波形绘于坐标纸上。

## （2）RC 串联电路电容电流响应波形

实验电路如图 8—4 所示。调节方法与要求同（1），将观测到的波形绘于坐标纸上。

### 3. RLC 串联电路响应

实验电路如图 8—5 所示。调整矩形脉冲波参数为  $f = 500\text{Hz}$ ， $U = 5\text{V}$ 。示波器  $CH_1$  或  $CH_2$  通道任选其一，分别以  $u_C(t)$ ， $u_L(t)$  和  $u_R LC(t)$  作为输入，按数值 10、100、200 调节  $R_0$  绘制观测到的各响应波形：

## 四、实验仪器与设备

1. XJ1631A 函数脉冲发生器	1 台
2. COS5020 二踪示波器	1 台
3. 电感箱	1 个
4. 电容箱	1 个
5. 电阻箱	1 个
6. 实验电路板	1 块

## 五、注意事项

1. 示波器输入探头与实验电路联接时，注意公共接地点不能接错，防止信号被短路。
2. 信号发生器输出的方波信号波形，要用示波器进行监测，防止波形失真。
3. 在观察  $U_C(t)$ 、 $i_C(t)$ 、 $U_R LC(t)$  波形时，由于大幅度地调节  $R$  或  $C$ ，因此要相应调节示波器  $Y_A$ 、 $Y_B$  通道输入放大器衰减按钮，防止波形畸变。

## 六、实验数据

绘制各响应波形至少要满足一个半周期。

## 七、思考与讨论

1. 在某一频率方波作用下的 RC 串联电路中，适当调节 R 或 C，用示波器观察的响应波形可能呈现几种响应状态？
2. 对于 RC 串联电路，示波器观察显示的  $u_C(t)$  与  $i_C(t)$  波形有何明显不同？为什么？
3. 在某一频率方波作用下，用示波器观察 RLC 串联二阶电路响应轨迹时，调节 R 对波形有何影响？
4. 在什么样情况下电路达到稳态的时间最短？

## 实验八 RLC 串联谐振电路

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

1. 观察谐振现象，加深对串联谐振特点的理解；
2. 学习测 R、L、C 串联谐振曲线的方法；
3. 掌握低频信号发生器、晶体管毫伏表的使用方法。

### 二、实验原理

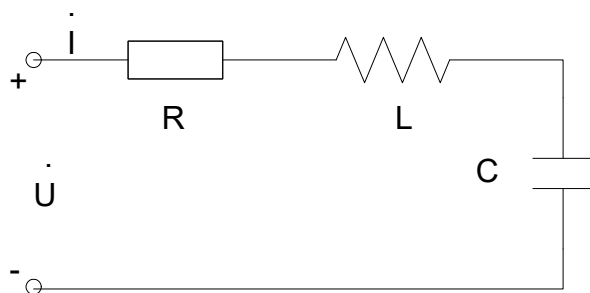


图 11-1

1. 对于图 11—1 所示的 R、L、C 串联电路，其复阻抗为

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX = z\varphi$$

当  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$  时，电路处于谐振状态，谐振角频率为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

由上式可见，串联谐振频率  $f_0$  完全由电路的参数 L、C 决定，与电阻 R 无关。在  $f$ 、L、C 三个量中，不论调节哪一个量（另两个量固定）都可能使电路满足谐振条件而产生谐振。

本实验采用两种调节方法，使电路产生谐振，一固定 L、C 而调节电源频率 f 实现；意识固定电源频率 f(50Hz)和 L，调节 C 实现。在调试电路过程中测试谐振曲线。

## 2. 串联电路处于谐振时的主要特点

(1) 由于回路总电抗  $X_0 = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} L = 0$ ，所以，回路阻抗  $Z_0 = R$  为最小值，

阻抗角  $\varphi = 0$ ，使回路呈纯电阻性。

(2) 由于回路电流  $\dot{I}$  与外施电压  $\dot{V}$  同相位，所以当  $\dot{V}$  一定时电流为最大值 ( $\dot{I} = \dot{V}/R$ )。

(3) 由于  $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ ，所以电感两端的电压  $U_L$  与电容两端的电压  $U_C$ ，在数值上相等，相位上相反。

此时， $U_L$  或  $U_C$  与外施电压  $U$  之比称为品质因数  $Q$ ，即：

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

在 L 和 C 为定值的条件下，Q 值仅仅决定回路电阻的大小。

3. 串联谐振电路的频率特性 当回路参数一定时，由于外施电压频率的变化（幅值不变），将引起回路阻抗的变化，即阻抗为频率的函数。此时，把回路电流、各元件端电压的大小及外施电压与电流之间的相位差随频率变化的性质，统称为回路的频率特性。其中，前者称为幅频特性，后者称为频相特性。本实验中只研究幅频特性。

(1) 回路电流的大小与外施电源频率的关系称为电流的幅频特性，表明这种关系的特性曲线为串联谐振曲线，其表达式为：

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

当电路的 L、C 保持不变时，改变电阻 R 的大小，可得到不同的 Q 值时电流的谐振曲线，显然 Q 值越高，曲线越尖锐，电路的频率选择性越好。

为了反映一般情况，通常研究电流比  $I/I_r$  与角频率比  $\omega/\omega_0$  之间的函数关系，并称为电流的通用幅频特性。其表达式为：



$$\frac{I_V}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

式中， $I_0$  为谐振时电路的电流。

(2) 电感元件上的电压  $U_L$  和电容元件电压  $U_C$  的谐振曲线图形与  $Q$  值也有很大关系，当  $Q > 0.707$  时， $U_0$  和  $U_L$  才能出现峰值，并且  $U_0$  的峰值出现在  $\omega_0$  之前， $U_L$  的峰值出现在  $\omega_0$  之后。 $Q$  值越高出现峰值的点离  $\omega_0$  越近，同时峰值也越大，其表达式分别为

$$U_L = \omega LI = \frac{\omega LU}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

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

4. 串联谐振现象，在无线电接收机、仪器仪表中有着广泛的应用。例如通过使电路产生谐振的方法，把需要的频率  $f_0$  的信号，从含有不同频率（含  $f_0$ ）的信号源中选择出来。谐振频率取决于回路的  $L$ 、 $C$ ，通过调节  $L$  或  $C$  的数值，可达到选择不同频率信号的目的。本实验除了采用固定  $L$  和  $C$  调节  $f$  达到谐振外，还要采用固定  $f$  和  $L$  调节  $C$  达到谐振。

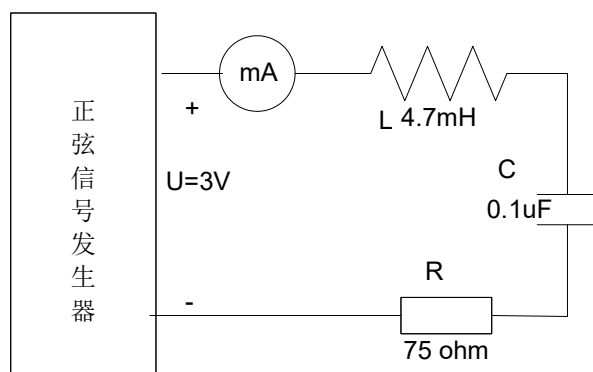


图 11-2

### 三、实验内容

1. 实验电路如图 11—2 所示，固定  $R$ 、 $L$ 、 $C$  值不变，保持外电压  $U$  的幅值（或有效值）恒定，按表 11—1 给定的参数数据调节其频率  $f$ ，测量不同频率

时的  $I$ 、 $U_C$ 、 $U_L$  值，绘制电流谐振和  $U_L$ 、 $U_C$  随  $f$  变化的曲线。

2. 将图 11—2 所示电路中的  $R$  改为  $75\Omega$ ，重复上述内容测量。

#### 四、实验仪器与设备

- |              |     |
|--------------|-----|
| 1. 低频正弦信号发生器 | 1 台 |
| 2. 电子毫伏表     | 1 块 |
| 3. 电容箱       | 1 只 |
| 4. 电感箱       | 1 只 |
| 5. 电阻箱       | 1 只 |
| } (或实验板 1 块) |     |
| 6. 双踪示波器     | 1 台 |
| 7. 调压器       | 1 台 |
| 8. 交流电流表     | 1 块 |
| 9. 交流电压表     | 1 块 |

#### 五、注意事项

1. 外施电源（信号发生器输出）电压  $U$  的大小，要使谐振时回路中出现的最大电流不超过信号发生器的额定电流，以免损坏信号发生器或使输出信号波形失真。

2. 在改变  $f$  或调节电路参数时，要保持外施电压的有效值不变。

3. 由于  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$  的值相差较大，而且这三个量在实验过程中变化也较大，因此在测量时要随时更换毫伏表的量程并注意校准调零。

4. 注意在谐振曲线峰值点附近多测几组数据。

#### 六、实验数据

$f/\text{KHz}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_L(\text{V})$										
$U_C(\text{V})$										
$U_R(\text{V})$										
$I(\text{mA})$										

通过实验确定谐振频率  $f_0$ 、 $I(f_0)$ 、 $U_C(f_0)$  和  $U_L(f_0)$  计算  $Q$  值。

## 七、思考与讨论

1. 如何判断 RLC 串联电路达到谐振状态?
2. 谐振时是否存在  $U_R = U_S$ 、 $U_C = U_L$  关系?
3. 对于 RLC 串联谐振电路, 可以采用什么办法使电路达到谐振状态?

## 实验九 日光灯实验及功率因数提高

实验日期 201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 同组者\_\_\_\_\_

### 一、实验目的

- 1 了解提高功率因数的意义和方法；
- 2 观察并联谐振现象和特点；
- 3 了解日光灯结构原理、观察启动过程。

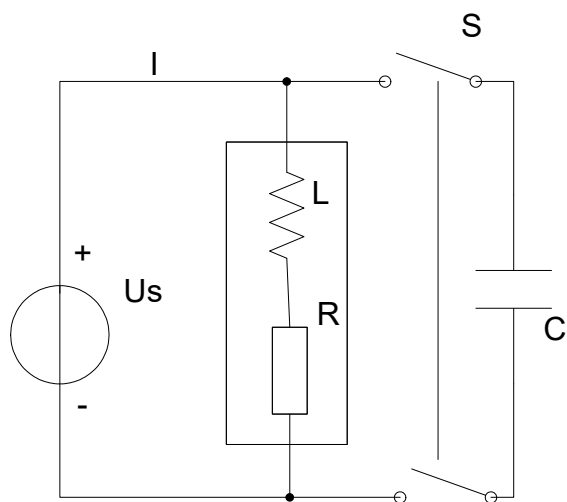


图 12-1

### 二、实验原理

1. 功率因数提高的意义 在正弦电路中，有功功率（平均功率） $P$  往往不等于视在功率  $S$ ，只有在纯电阻（含谐振状态）电路中两者才相等。只要电路有电抗存在，电路中就存在着磁场能量或电场能量与电源能量之间的交换。

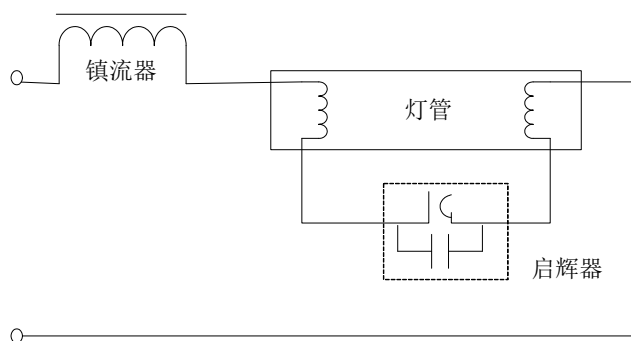


图 12-2

当电源电压、负载功率一定时，功率因数越低，电流就越大，使得输电线路损耗增加、电源设备容量不能充分利用，而且供电质量也下降。因此，提高负载功率因数，对降低电能损耗，提高输电效率和供电质量有着重要作用。

2. 提高功率因数的方法 在实际电路中，用电负载多为感性，如电机、电器、日光灯等，它们的功率因数较低（0.5~0.8）。提高功率因数的方法，不能用改变负载的结构和工作状态实现。简单又易实现的方法，是在负载端并联电容器。

图 12—1 所示电路，当电容 C 并入前，负载电流中含有感性无功电流，并联电容就是为取得无功电流去补偿感性无功电流，使无功能量在负载端直接交换，不再经过输电线路与电源交换。因此，改变电容 C 的值就能得到不同的补偿，以提高负载端的功率因数。

本次实验分别用日光灯和感性电感线圈作为研究对象。日光灯虽属电感性负载，但含有铁芯，它与线性电感负载有一定差别，实验中细心观察，分析。

### 3. 日光灯电路结构和工作原理简要说明

（1）日光灯电路结构 日光灯电路，由灯管、启动器、镇流器组成，如图 12—2 所示。灯管：灯管是一根内壁涂有荧光物质的细长玻璃管（或环形）；在管的两端各装一组灯丝电极，电极上涂有受热后易于发射电子的氧化物；管内抽成真空后，在注入微量惰性气体和汞。

启辉器：启辉器（跳泡）相当于一个自动开关。它由一个充气二极管和一个并联小电阻组成，内部的二电极，一个为固定电极，另一个为可动电极（由双金属片做成 U 型），此二电极间有一定间隙，通过双金属片 U 型电极的变形和复位，使二电极接通和分离。

镇流器：镇流器是一个带有铁芯电感线圈。它起调整灯管电压和限制灯管电流的作用。

（2）日光灯工作过程 当日光灯电路与电源（220V）接通时，由于日光灯尚未工作，电源电压全部加在启动器上（启动器与灯管并联），因启动器起辉电压低（灯管起辉电压约 500V、启动器起辉电压约 140V），启动器放电，启动器放电发热使双金属 U 型电极变形而接通电路。此时，启动器、镇流器、灯管两组灯丝通有电流（启动电流），此电流加热灯管灯丝（有利于电子发射）为日光灯起辉创造条件。当 U 型电极的变形接通电路后，启动器放电停止，并开始冷却。当双金属 U 型电极冷却到一定程度后，便收缩复位，即把已接通的电路突

然切断。在电路被切断瞬间，电路中电流突变为零，镇流器两端产生一个较大的自感电压。此自感电压与电源电压叠加作用于灯光，使灯管放电导通并伴随放出射线，射线在管壁荧光物质上激发出近似日光的灯光。镇流器在灯管放电后起限流作用，并维持灯管稳定工作。

### 三、实验内容

1. 用电压表、电流表、瓦特表测量日光灯在额定电压时等效参数。接线可按图 12—1 所示电路，但开关 S 应打开、 $C=0$  方可进行实验。观察启动过程，测量数据记入表 12—1。

2. 实验电路如图 12—3 所示，接通开关 S，调节电容 C ( $0, 1, 2, \dots, 6\mu F$ )，测量 I、P 随电容变化的相应值记入表中，并根据测量和计算结果作电流、功率、功率因数随电容变化曲线。

### 四、实验仪器与设备

1. 日光灯 (12~40W)	1 套
2. 交流电压表	1 块
3. 交流电流表	3 块
4. 瓦特表 (代功率因数)	1 块
5. 电容箱	1 只
6. 实验元件板 (或分立线性电感线圈、电阻)	1 块
7. 自耦调压器	1 台

### 五、注意事项

1. 此实验电压高、电流大、接好电路后须经老师检查无误方可接通电源。
2. 电容箱接入电路前应使  $C=0$ ；
3. 测量  $P_D$  时应将瓦特表接于 L 和 D 之间， $P_L = P - P_D$ ；
4. 在拆除实验线路时，应先切断电源，稍停后将电容器放电 (可用导线将电容器短路，然后再拆线)。
5. 电容箱直流工作电压应大于 400V。

## 六、实验数据

在进行实验任务时，应调出并记录使电路端电流  $I$  呈最小值所对应的电容  $C$  值，计算该状态下的功率因数。

测量值							计算值			
$U(V)$	$U_o(V)$	$U_L(V)$	$P(W)$	$P_D(W)$	$P_L(W)$	$I(mA)$	$R_L(\Omega)$	$L_L(H)$	$R_D(\Omega)$	$\cos\phi$

## 七、实验结果分析

1. 电容并入后，日光灯支路的电流、电压、功率是否改变？
2. 启辉器与灯管始终并联在一起，在相同电压作用下为什么不同时放电？
3. 利用日光灯电路进行功率因数提高实验时，为什么通电前并接于灯管与镇流器的可变电容必须置于零值而不能置于高容值档？
4. 用电容补偿法提高感性电路的功率因数，其实质是使电路处于\_\_\_\_\_状态，使电路端口处电流\_\_\_\_\_，使设备的视在功率（容量）\_\_\_\_\_设备的有功功率。

## 三、附录 常用电子仪器性能及使用方法

### 附录一 电工测量与常用电测仪表基本知识

#### 一、电工测量与电测仪表的分类

##### （一）电工测量

电工测量，就是应用电磁现象的基本规律对电压、电流、电阻、电功率、相位、磁通密度等等电磁量进行测量，测量的工具就是电工仪表。

由于电工测量具有许多突出的优点，如电工测量仪表准确度高，测量范围广，体积小，重量轻，使用方便，容易实现遥测、遥控，连续测量和自动测量等。它不仅可以对电磁量进行测量，还可以通过传感器对非电磁量进行测量。因此，电工测量在生产、科研等各个领域都得到广泛应用。

##### （二）电测仪表的分类

1. 按仪表的工作原理分类 可分为：磁电系、电动系、动磁系、感应系、静电系、振簧系、热电系、整流系、数字系等等仪表。

2. 按被测量的名称（或单位）分类 可分为：电流表（安培表、毫安表和微安表）、电压表（伏特表、毫伏表和微伏表）、功率表（瓦特表）、电度表、相位表（功率因数表）、频率表、欧姆表、兆欧表、磁通表以及具有多种功能的万用表等。

3. 按被测量电流的性质分类 可分为：直流表、交流表和交直两用表。

4. 按使用方式分类 可分为：开关板电工仪表和便携式仪表。便携式仪表准确度较高，适于实验室使用。

5. 按仪表的准确度等级分类 可分为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 等七级。

此外，按仪表对电磁场的防御能力分为 I、II、III、IV 四级；按仪表的使用场合条件分 A、B、C 三组。在选择仪表时，要针对具体情况和要求选用。

#### 二、电测仪表的几项技术指标

##### （一）误差

误差是具体衡量测量结果准确程度的标准，它的大小，决定着测量结果与被测量实际值的接近程度。



1. 绝对误差 电测仪表指示值  $A_x$  与实际值  $A_0$  之差称为绝对误差, 用符号  $\Delta$  表示。有  $\Delta = A_x - A_0$

2. 相对误差 绝对误差  $\Delta$  与实际值  $A_0$  之间的比值的百分数称为相对误差, 用符号  $\gamma$  表示。有  $\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{A_x - A_0}{A_0} \times 100\%$

3. 引用误差 绝对误差  $\Delta$  与仪表测量上限  $A_m$  比值的百分数称为引用误差, 用符号  $\gamma_m$  表示, 有  $\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$

从误差的定义中可以看出, 绝对误差  $\Delta$ , 只说明测量过程中差生的偏差, 不足以衡量仪表本身的准确性能; 相对误差  $\gamma$  能够衡量仪表性能, 但用同一仪表、测量同一量时, 由于被测量实际值  $A_0$  大小不同,  $\gamma$  为一变数; 引用误差  $\gamma_m$ , 避免了以上问题。根据国家标准 GB776—76《电测量指示仪表通用技术条件》规定, 引用误差用来表示仪表的基本误差, 并用它来表示仪表的准确度等级。

考虑到仪表在测量中绝对误差的变化(有大有小, 有正有负), 为使引用误差(也称允许误差)含义更加明确, 常用下式表示。  $\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$

式中,  $\Delta_m$  为最大绝对误差。

## (二) 仪表的准确度

仪表在规定条件下工作时, 在它的标度尺工作部分所有刻度上, 可能有出现的基本误差的百分值, 称为仪表的准确度等级。各等级的指示仪表, 在规定条件下使用时, 其基本误差不超过表 1—1 中规定的数值。

表 1—1 仪表准确度等级和允许基本误差值

仪表准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 5.0$

通常 0.1 和 0.2 级仪表用作标准表 0.5 至 1.5 级仪表用于实验室测量, 1.5 至 5.0 级仪表用于工程测量、监视。

## (三) 仪表的恒定性

仪表的恒定性, 是指测量仪表在外界条件不变的前提下, 指示值随时间能保持多长的不变性。通常直读仪表用变差来衡量, 而校量仪器则用上述两者来衡

量。

1. 变差 在不变外界条件下, 进行重复测量时, 对应于被测量实际值, 重复读数可能出现的差值。记作  $\Delta_y$ 。

对于一般电测指示仪表, 升降变差不应超过仪表的基本误差。

对于能耐受机械作用力的仪表, 小型、微型仪表, 可用直流进行检验的磁系、铁磁电动系仪表, 其指示值的升降变差, 不应超过相应的基本误差值的 1.5 倍。

2. 稳定性 度量器或测量仪器的参数或指示值, 在受不可控的和稳定的外界变化因素影响后, 保持自己的数值或示值的一种性能。稳定性常用不稳定度来表示。

#### (四) 仪表的灵敏度

仪表的灵敏度, 是仪表能够测量的最小被测量值。在直读仪表中常用 V/格或 A/格表示。

### 三、电测仪表的选择与正确使用方法

#### (一) 对电测仪表的要求

1. 有足够的准确度;
2. 变差小;
3. 稳定性好;
4. 仪表本身消耗功率小;
5. 要具有适合于被测量的灵敏度;
6. 有良好的读数装置, 一般要求刻度均匀, 对不均匀刻度, 标尺上应标黑点 “•”, 表示从黑点起, 才是该标尺的 “工作部分”;
7. 有足够的绝缘电阻, 耐压和过载能力。

#### (二) 电测仪表的正确使用方法

1. 根据需要, 正确选仪表种类、型号与规格;
2. 应满足电测仪表的正常工作条件;
3. 仪表应按规定的位置放置;
4. 仪表应远离外电磁场;
5. 使用前校准仪表零位;
6. 测量时应注意正确读书, 如读数时应使视线与仪表标尺平面垂直, 并读取足够的位数。

#### 四、常用电测仪表的符号和标记

由于电测仪表种类繁多，结构、性能各异，使用中要求不一，为便于正确选用，将常用电测仪表的符号和标记，列入表 1—2 中。

表 1—2 常用电测仪表有关符号

仪表名称和符号							
被测量	仪表名称		符号	被测量	仪表名称		符号
电流	安培表		A	功率	瓦特表		W
	毫安表		mA	电阻	欧姆表		$\Omega$
电压	伏特表		V	频率	频率表		$H_z$
	毫伏表		mV	相位	相位表		$\varphi$
仪表工作原理符号							
类型	符号	类型	符号	类型	符号	类型	符号
磁电系		电磁系		电动系		感应系	
电流种类符号							
直流		交流（单相）		直流和交流		三相交流	
仪表准确度等级（以指示值百分数表示）符号							
0.1%	0.2%	0.3%	1.0%	1.5%	2.5%	5.0%	
							
代表工作位置符号							
水平放置			垂直放置		与水平面斜 某一角度	$\angle 60^\circ$	
仪表绝缘强度符号							
不进行绝缘强度试验		试验电压 500V		试验电压 2000V		危险	
							

## 附录二 常用电子仪器和设备的性能和使用介绍

### 一、EM1713S 稳压电源

#### 1. 概述

EM1713S 为双路 32V/3A 直流源，具有主从跟踪功能，恒压、恒流功能，任何外部使用状态都不会损坏。。

#### 2. 技术性能

- I：0-32V 0-3A 连续可调 稳压稳流
- II：0-32V 0-3A 连续可调 稳压稳流
- I、II 路可主从跟踪、可并联或串联使用
- 稳压、稳流自动转换，采用电流恒定保护方式。
- 输出调节分辨率：CV 20mV（典型值） CC 50mV（典型值）
- 跟踪误差： $5 \times 10^{-3} + 2\text{mV}$
- 电源：220V  $\pm 10\%$  50Hz  $\pm 4\%$
- 冷却方式：自然通风冷却
- 体积：305×197×152（mm） 质量：约 6.5Kg 可靠性：MTBF（e）：  
 $\geq 2000$  小时

#### 3. 使用方法

EM1713S 主要由两组相同、独立、可调整的直流电源供应器组成，从前面板的 TRACKING 选择开关可选择三种模式：独立输出、串联输出或并联输出。当在独立模式（INDEP）状态时，每组电源供应器的输出电压、电流为独立分离输出，而其输出端子到机壳或输出端子到输出端子的隔离度（ISOLATED）有 300V。当在追踪模式（TRACKING）状态时，CH1 和 CH2 两个输出端会自动的连接成串联模式（SERIES）或并联模式（PARALLEL），不需另外从输出端接任何导线；在串联模式时，调整 CH1 输出电压（+）即有等量的 CH2 电压（-）输出；并联模式时，调整 CH1 输出电流，则 CH1 输出端即有二倍的电流输出。

每一组电源供应器是一个完全晶体管化（Transistorized），可调式的恒压及恒流源，在最大输出额定电流时，提供了满刻度额定的输出电压或连续调整输出范围内任何定点电压，对相当大负载可作一恒压源，对非常小的负载可作一恒流源。当供给恒压源时（独立模式或追踪模式），前面板的电流调节器可限制输出

电流（Current Limit）(超载或短路)。当供给恒流源时（只有在独立模式时）前面板的电压调节器可限制最大（上限）电压输出；也就是当输出电流达到预定值时，可自动将电压稳定性转变为电流稳定性，反之亦然，当输出电压达到预定值时，可自动将电流稳定性转为电压稳定性。

每一组电源供应器（CH1、CH2），前面板都有一组仪表量测输出电压或电流。使用面板控制开关操作追踪模式时，机器内部会自动连接到自动追踪模式的状态。

若使用在音频线路，仪器内部提供了连续（Continuous）或动态（Dynamic）负载的连接器，当连接器（J111 和 J309）接到“ON”的位置时，即可停工给音响放大器很稳定的直流电源。

## 二、SFG-1013 信号发生器

### 产品叙述

SFG-1013 是根据 DDS（直接数字合成技术）和 FPGA 芯片设计的函数信号发生器。输出频率范围 0.1Hz~3MHz，可输出正弦波、方波、三角波和 TTL 输出。

### 主要规格

(正弦波, 方波)

频率范围

(三角波) 0.1Hz~1MHz

频率分辨率 0.1Hz 最大

频率稳定度  $\pm 20 \text{ ppm}$

频率精确度  $\pm 20 \text{ ppm}$

频率老化率  $\pm 5 \text{ ppm / 年}$

幅度范围 10Vp-p (50  $\Omega$  负载)

输出阻抗 50  $\Omega \pm 10\%$

衰减器 -40dB  $\pm 1\text{dB} \times 1$

直流偏移  $<-5\text{V} \sim +5\text{V}>$  (50  $\Omega$  负载)

占空比控制范围 25% to 75% below 1MHz (方波适用)

显示器 6-位 LED 显示

输出控制 开关切换

### 正弦波

谐波失真 规格应用于最大电平至

1/10 电平值且 TTL 关闭

-55dBc, 0.1Hz ~ 200kHz

-40dBc, 0.2MHz ~ 2MHz

-35dBc, 2MHz ~ 3MHz

### 平坦度

(最大幅度 1kHz 时间)  $< \pm 0.3\text{dB}$ , 0.1Hz ~ 1MHz

$< \pm 0.5\text{dB}$ , 1MHz ~ 2MHz

$< \pm 1\text{dB}$ , 2MHz ~ 3MHz

### 三角波

线性度  $\geq 98\%$ , 0.1Hz ~ 100kHz;  $\geq 95\%$ , 100kHz ~ 1MHz

### 方波

对称性 5% 周期 +4ns to 0.1Hz ~ 100kHz

上升/下降时间  $\leq 100\text{ns}$  在最大输出. (50  $\Omega$  负载)

### TTL 输出

电平  $\geq 3\text{V}_{\text{pp}}$

扇出 20 TTL 负载

上升/下降时间  $\leq 25\text{ns}$

### 总体

### 操作环境

室内使用, 海拔 ~ 2000m

环境温度  $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

相对湿度: 高达 80% 在  $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

高达 70% 在  $35^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

安装等级 II

污染度 2

### 电源

AC 240V/220V/110V $\pm 10\%$ , 50/60Hz

### 存放环境

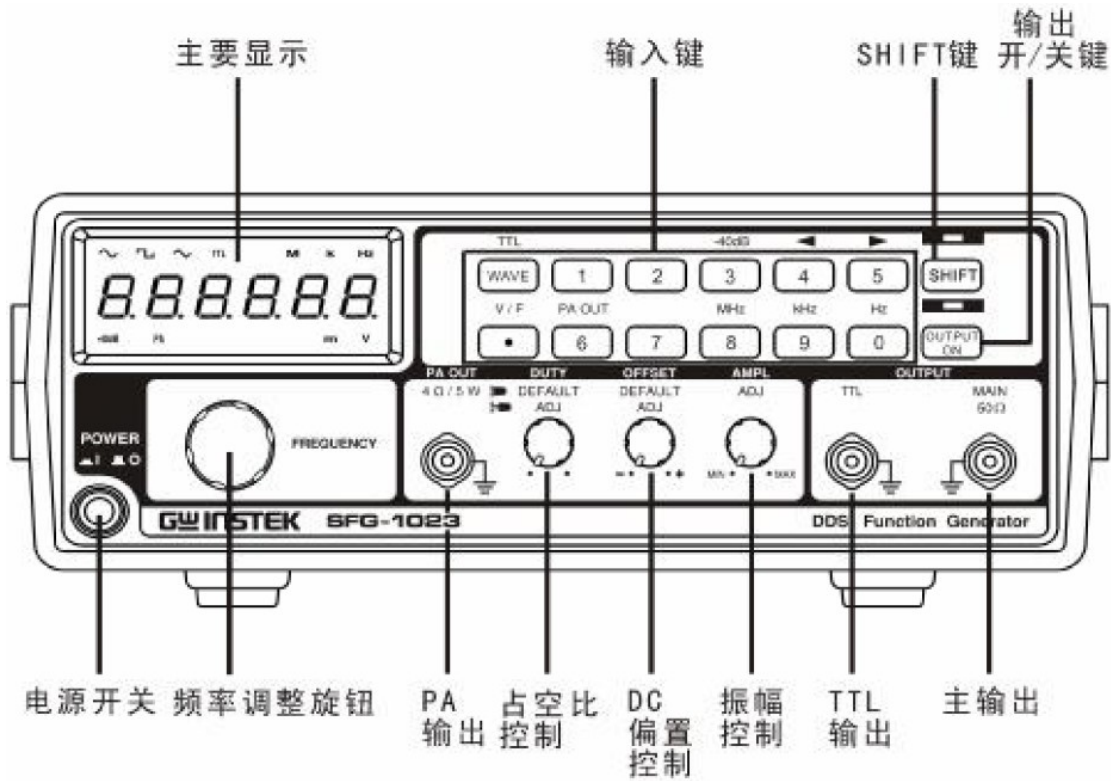
温度  $-10^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ; 湿度 70% (最大)

附件

操作手册×1，电源线×1，测试线 ， GTL-101×1

体积和重量 251(W)×91(H)×291(D) mm， 约 2.1kg

前面板

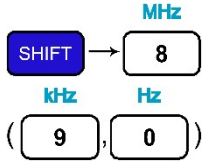
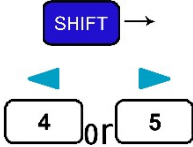
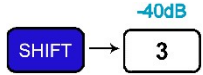





主要显示

7 段 LED		显示频率和电压
TTL 指示器	<b>TTL</b>	指示 TTL 输出是否动作
波形指示器		指示输出波形：正弦,方波和三角波
频率指示器	<b>M k Hz</b>	指示输出频率,单位为 MHz,kHz, 或 Hz
电压单位	<b>m V</b>	指示电压单位：mV 或 V
-40dB 指示器	<b>-40dB</b>	指示-40dB 衰减器是否动作

输入键




波形键		选择波形：正弦，方波，和三角波
产生 TTL		开启 TTL 输出
数字键		输入频率

频率单位选择		选择频率单位: MHz, kHz,或 Hz
光标选择		左右移动光标, 修正频率数值位置
-40dB 衰减		调节衰减振幅为-40dB
频率/电压显示选择		在频率和电压间可切换显示
Shift 键		选择输入键的第二功能键,当按下 Shift 键时,LED 灯就会亮。
输出开/关键		输出 ON/OFF 切换,当输出键状态为 ON 时,LED 灯亮。






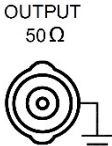
## 其他

频率调整旋钮		增大(顺时针旋转) 或减小(逆时针旋转) 频率。
主输出		输出正弦,方形和三角形波 BNC (同轴电缆接插件)。50 Ω 的输出阻抗
TTL 输出		输出 TTL 波形, BNC (同轴电缆接插件) 终端。
振幅控制		设定正弦波, 方波或三角波的幅度, 逆时针旋转 (减少) 或顺时针旋转 (增加)
DC 偏置控制		 当拉起按钮,设置正弦波,方波和三角波形的直流偏压范围。逆时针旋转 (减少) 或顺时针旋转 (增加)。加 50Ω 负载时, 范围在-5V ~ +5V 之间。



占空比控制		 当拉起此钮时，可以在 25%到 75% 范围内调整方波或 TTL 的 Duty。逆时针旋转（减少）或顺时针旋转（增加）。
电源开关		切换主电源 On/Off，关于电源供给顺序。

## 产生波形

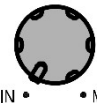
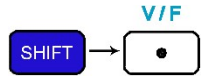
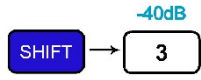
正弦波/方波/三角波		1. 重复按下波形选择键就会在显示器中显示相应的波形。   正弦波  方波  三角波
		2. 按下输出键 LED 显示就会打开。
		3. 波形从主端口输出。 振幅为 10Vp-p(接 50 $\Omega$ 负载时)。 振幅为 20Vp-p(不接负载时)。

## 设置频率


输入频率		使用数字键输入波形频率
	1.2MHz	
	37kHz	
	45Hz	
编辑频率		左光标键使光标左移 
		右光标键使光标右移。 

		逆时针旋转频率旋钮以减小频率 闪烁 100.0 → 99.0
		顺时针旋转频率旋钮以增大频率 闪烁 100.0 → 101.0

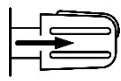

### 设置振幅

设置振幅	AMPL  MIN • • MAX	顺时针旋转旋钮,增大振幅;逆时针旋转旋钮,减小振幅。 50 $\Omega$ 输出阻抗下的范围在 2mVpp ~ 10Vpp 之间。
观察幅度		按下 Shift + • (V/F),会显示电压幅度(振幅),重复此操作,则返回至频率显示。 ~ k Hz ~ 1.0000 → 02.57 V
-40dB 衰减		按下 Shift 按钮,再按 3(-40dB),主输出将会衰减,并且显示屏上的-40dB 指示灯将会亮。 ~ k Hz 1.0000 -40dB


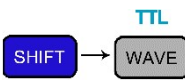
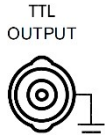
### 设置占空比（方波）

调节占空比	DUTY  ADJ	拉出占空比旋钮,顺时针(增大),逆时针(减小)占空比,初始值设置为 50%。
范围	25% ~ 75%	

### 设置偏置

产生偏置		SFG 能够对正弦波,方波,三角波增加或减少偏移量,从而改变波形的电压偏移量。 拉出偏移量旋钮以打开偏移量的设置。
调整偏置	OFFSET  ADJ	顺时针旋转此按钮(增大位置),逆时针旋转此按钮(减小位置)。
范围	-5V ~ +5V 对于 50 $\Omega$ 负载输出。	

## 产生 TTL

选择 TTL		1. 按下输出键，LED 灯亮（只有输出在 ON 状态下时，TTL 才会开启）。
		2. 按下 Shift 键，然后按下 Wave 键，TTL 指示灯将会出现在显示屏上。
		3. 波形产生与 TTL 输出端，幅度： $\geq 3V_{p-p}$ 。

## 三、DSO5072P 示波器

### 特点概述：

1GSa/s 的实时采样率和 25GSa/s 的等效采样率；带宽 70MHz—200MHz；集成 USB Host，支持 U 盘存储、USB 接口系统升级；7 寸 64K 色 TFT 真彩液晶屏。

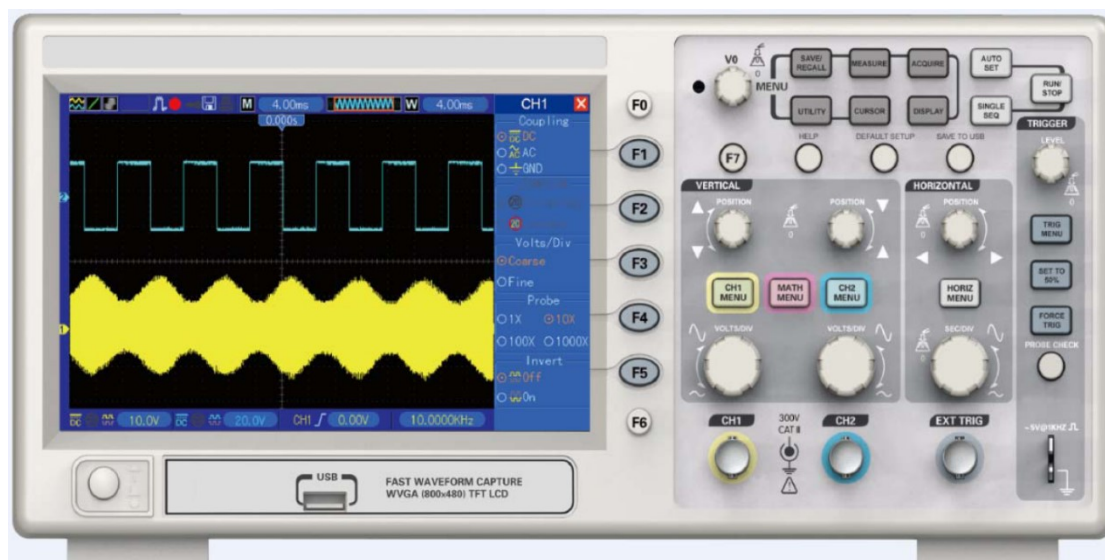
### 技术指标：

型号	DSO5072P
模拟带宽	70MHz
实时采样	1GSa/s
等效采样	25GSa/s
记录长度	40K
时基范围（s/div）	4nS/div-80S/div
通道间延时	500ps
垂直系统	
AD 转换器	8bit 分辨率，两通道同时采集
垂直灵敏度	2mV/div~5V/div（在 BNC 输入处）
垂直位移范围	$\pm 50V(5V/div), \pm 40V(2V/div \sim 500mV/div),$
	$\pm 2V(200mV/div \sim 50mV/div) \pm 400mV(20mV/div \sim 2mV/div)$
上升时间 (在 BNC 处)	$\leq 5ns$
直流增益精度	2mV/div~5mV/div $\pm 4\%$ (采样或平均值采样)；
	10mV/div~5V/div $\pm 3\%$ (采样或平均值采样)
触发系统	
触发灵敏度 (边沿触发类型)	直流：CH1/CH2(典型值) 从直流到 10MHz 为 1 格，从 10MHz 到 100M 为 1.5 格；从 100MHz 到 200MHz 为 2 格；
	EXT（典型值） 从直流到 40MHz 为 200mV
	EXT/5（典型值） 从直流到 40MHz 为 1V
	交流：衰减 10Hz 以下信号
	高频抑制：>80kHz 时将衰减信号
	低频抑制：<150kHz 时将衰减信号
	噪声抑制：减小触发灵敏度
触发电平范围	内部(ch1、ch2)：距显示屏中心 $\pm 8div$
	外部 (EXT)： $\pm 1.2V$ 外部衰 5 (EXT/5)： $\pm 6V$
触发电平精确度	内部 (ch1、ch2)： $\pm (0.3div \times V/div)$ (距屏幕中心 $\pm 4div$ 范

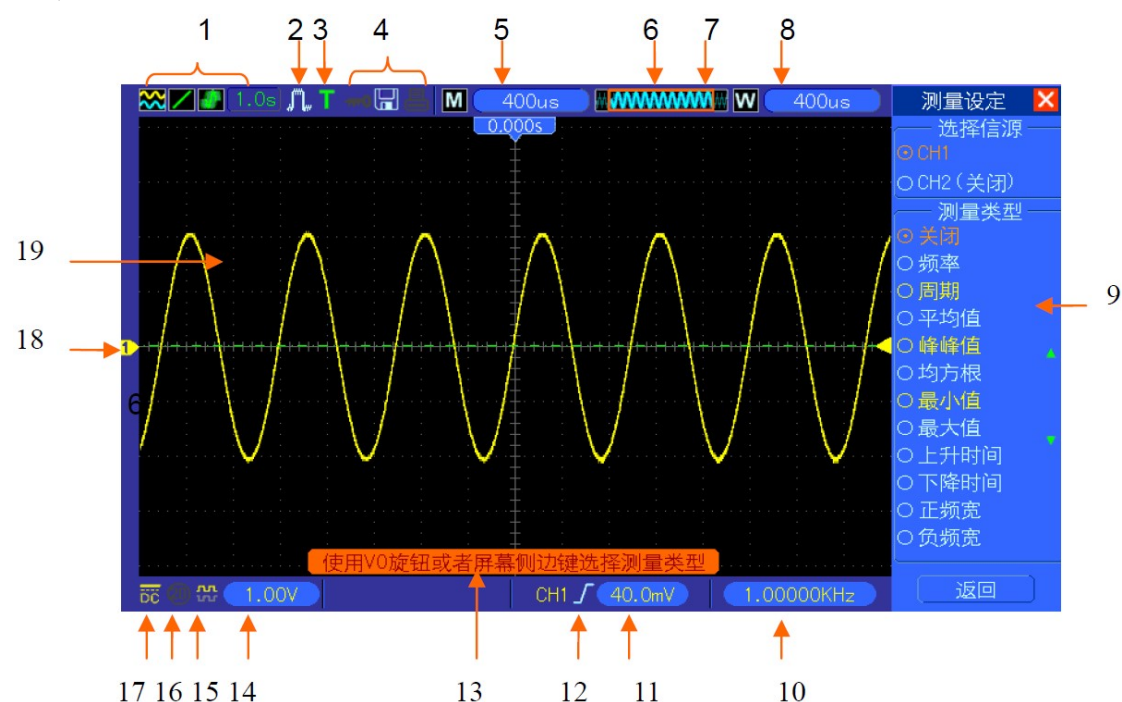
(典型的)	围内)
当上升和下降时间 $\geq 20\text{ns}$	外部 (EXT): $\pm(6\%\text{设定值}+40\text{mV})$
	外部衰 5(EXT/5): $\pm(6\%\text{设定值}+200\text{mV})$
释抑范围	100ns-10s
触发类型	
边沿触发	上升沿, 下降沿
脉宽触发	触发模式: (大于、小于、等于、不等于) 正脉宽, (大于、小于、等于、不等于) 负脉宽; 脉冲宽度范围: 20nS-10S
视频触发	信号制式: 支持标准的 NTSC、PAL 和 SECAM 广播制式; 行视范围: 1-525 (NTSC) 和 1-625 (PAL/SECAM)
斜率触发	触发模式: (大于、小于、等于、不等于) 正斜率, (大于、小于、等于、不等于) 负斜率; 设置时间: 20nS – 10S
超时触发	起始沿: 上升沿, 下降沿; 设置时间: 20ns-10s
交替触发	内部触发: 边沿、脉宽、视频、斜率
触发频率计数器	读数分辨率: 6 位
	精度 (典型): $\pm 30\text{ppm}$ (包括所有频率参考误差和 $\pm 1$ 计算误差)
	频率范围: 交流耦合、从最小 10Hz 到额定带宽
测量	
光标测量	手动模式: 光标间的电压差 $\Delta V$ ; 光标间的时间差 $\Delta T$ ; $\Delta T$ 的倒数, 以 Hz 为单位 ( $1/\Delta T$ )
	追踪模式: 波形点的电压值和时间值
自动测量 (32 种)	频率、周期、平均值、峰峰值、均方根、最大值、最小值、上升时间、下降时间、正频宽、负频宽、上升沿相位差、下降沿相位差、正占空比、负占空比、底端值、顶端值、中间值、幅值、过冲、预冲、周期平均值、周期均方值、下降沿过冲、上升沿预冲、BWIDTH、FRF、FFR、LRR、LRF、LFR、LFF
显示	
显示类型	7" TFT 16 位真彩液晶屏
显示分辨率	800*480 分辨率
对比度	16 档可调且屏幕显示调节进度条
接口	USB 主从接口
电源	
电源电压	100-120VAC RMS( $\pm 10\%$ ), 45Hz 到 440Hz, CAT II
	120-240VAC RMS( $\pm 10\%$ ), 45Hz 到 66Hz, CAT II
功耗	<30W
保险丝	2A, T 级, 250V
机械规格	
尺寸	长: (313mm) 宽: (108mm) 高: (142mm)
重量	不含包装: 2.08KG

## 基本操作

示波器的前面板分为若干功能区，以下内容将概要介绍示波器前面板上的各种控制按钮和旋钮，以及屏幕上显示的有关信息内容和有关的测试操作。下图显示了数字示波器前面板。



## 显示区



### 1. 示波器设置状态信息

: YT 模式

: XY 模式

: 矢量显示








: 点显示

: 灰色表示自动余辉,绿色表示开启余辉,开启余辉后改图标后面将显示




## 余辉时间

2.不同采样模式：采样、峰值、平均

3.触发状态表示下列信息：

-  示波器采集预触发数据
-  所有预触发数据均已被获取，示波器已准备就绪接受触发。
-  示波器已检测到一个触发，正在采集触发后信息。
-  示波器处于自动方式并正采集无触发下的波形。
-  示波器以扫描方式连续地采集并显示波形数据。
-  示波器已停止采集波形数据。
-  示波器已完成单次序列的采集。

4.示波器工具图标

-  ：变亮表示键盘锁定，上位机通过 USB 控制示波器键盘锁定
-  ：变亮表示 U 盘已经连接，灰色则没有。
-  ：USB 从口连接到计算机时变亮，否则灰色。

5.主时基读数显示

6.主时基视窗

7.显示扩展窗口在数据内存中的位置和数据长度







8.扩展窗口（当前波形窗口）时基

9.操作菜单，对应不同的功能键，菜单显示信息不相同

10.频率计数显示

11.当前波形的垂直位置

12.当前波形的触发类型

-  ： 上升沿的“边沿”触发。
-  ： 下降沿的“边沿”触发。
-  ： 行同步的“视频”触发。
-  ： 场同步的“视频”触发。
-  ： “脉冲宽度”触发，正极性。
-  ： “脉冲宽度”触发，负极性

13.弹出式信息提示

14.触发电平数值

15.波形是否反相图标

16.20 兆带宽限制，变亮说明开启，灰色表示关闭

17.通道耦合标记

18.通道标记

19.当前波形显示窗口

**XY 格式：**

XY 格式用来分析相位差，如那些由李沙育图形所描述的相位差。该格式相对通道 2 的电压来划分通道 1 的电压，其中通道 1 为水平轴，通道 2 为垂直轴。示波器使用未触发的“取样模式”并将数据显示为点。取样速率固定为 1MS/s。示波器可以在任何取样速率下按正常 YT 模式采集波形。您可以在 XY 模式下查看相同的波形。要进行此操作，停止采集并将显示格式改变为 XY.下表列出部分控制操作在 XY 格式如何运用。

控制操作	在XY格式下是否可用
CH1“伏/格”和“垂直位置”	控制水平刻度和位置
CH2“伏/格”和“垂直位置”	控制连续设置垂直刻度和位置
基准波形或波形数学计算	不可用
光标	不可用
自动设置（将显示格式重新设置为YT）	不可用
时基控制	不可用
触发控制	不可用

**水平控制系统**

可以使用水平控制来设置波形的两个视图，每个视图都具有自己的水平刻度和位置。水平位置读数显示屏幕中心位置处所表示的时间（将触发时间作为零点）。改变水平刻度时，波形会围绕屏幕中心扩展或缩小。靠近显示屏右上方的读数以秒为单位显示当前的水平位置。M 表示“主时基”，W 表示“视窗时基”。示波器还在刻度顶端用一个箭头图标来表示水平位置。





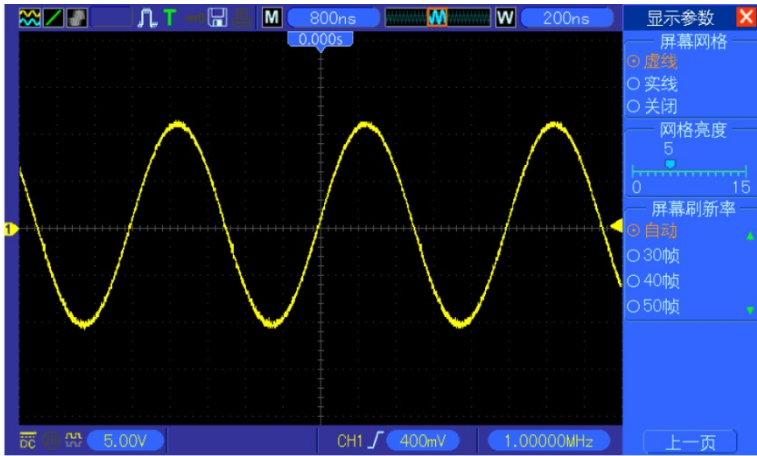
1. “水平位置”旋钮：旋转该按钮可以控制触发相对于屏幕中心的位置。  
按下该旋钮可以使触发点复位，即回到屏幕中心。

AN：用来将水平位置设置为零。

2. “HORIZ MENU” 水平菜单按钮，菜单内容详细如下表：

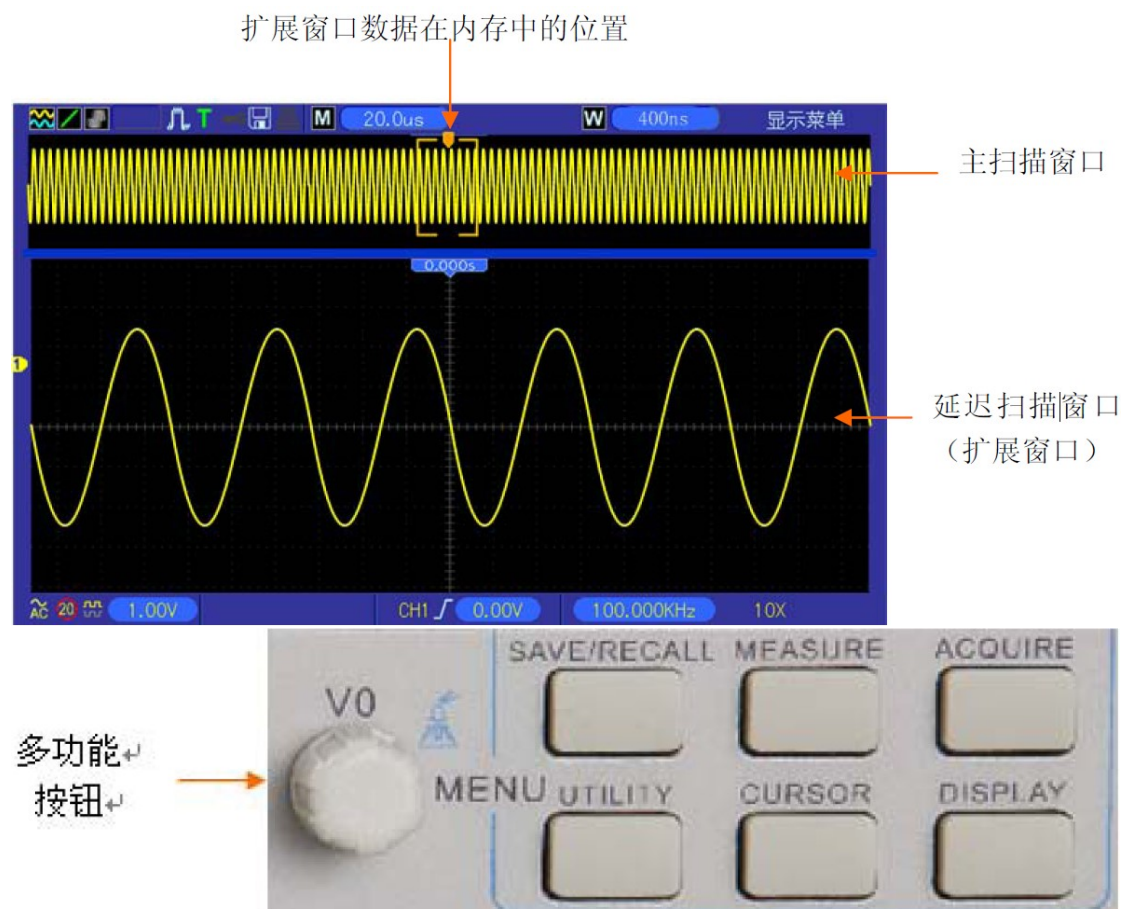
选项	设定	说明
窗口类别	单窗口 双窗口	在默认状态下用单窗口模式显示。窗口方式如图。 选中后示波器显示双窗口模式，在该模式下，屏幕的上半部分为主扫描窗口，下半部分为延迟扫描窗口。
缩放窗控制	缩放标尺 移动标尺	缩放标尺：选中此菜单，通过多功能旋钮V0可缩放主扫描窗口，最大倍数为40000倍。 移动标尺：选中此菜单，通过多功能旋钮V0可以在主扫描窗口中高边扩展窗口标尺位置。
自动播放	无	该功能在双窗口模式下有效，按下该菜单对应按钮扩展窗口位置将从当前位置开始，从左到右以移动的速度自动滑动，扩展窗口中将显示对应位置的波形，直到主扫描窗口的最右端停止（仅1000系列支持）。
释抑时间	无	选中该菜单后可以通过多功能旋钮来调节触发释抑时间，调节范围100ns-10s,在选中该菜单情况下，按下多功能旋钮释抑时间归为初始值100ns.

单窗口模式





### 双窗口模式（全屏）



3. “秒/格”时基旋钮：用来改变水平时间刻度，水平放大或压缩波形。如果停止波形采集（使用“运行/停止”或“单次序列”按钮实现），“秒/格”控制就会扩展或压缩波形。在双窗口模式下，该旋钮只缩放主扫描窗口时基。

注意：

- 1、关于触发释抑的介绍将在触发中描述，只有DSO5000P系列可以支持双窗口模式在双窗口模式下，按多功能键F7可以进行波形自动巡航播放。
- 2、在单、双窗口模式下，右侧菜单可以隐藏，只要按下多功能键F0即可实现菜单隐藏和开启。

### 扫描模式显示（滚动模式）

当“秒/格”控制设置为80ms/格或更慢，且触发模式设置为“自动”时，示波器就进入扫描采集模式。在此模式下，波形显示从左向右进行更新。在扫描模式期间，不存在波形触发或水平位置控制。

### 垂直控制

可以使用垂直控制来显示和删除波形，调整垂直刻度和位置、设置输入参数、以及进行数学计算。每个通道都有单独的垂直菜单，可以对每个通道进行单独设置菜单描述如下。

1. “垂直位置”旋钮：旋转该按钮在屏幕上下移动通道波形，在双窗口模式中同时控制两个窗口波形的移动，两个窗口的波形移动方向相同，且按照一定的比例关系。按下该按钮波形回到屏幕垂直位置中间。两个通道分别对应两个旋钮。



2. (CH1、CH2) MENU 菜单：显示“垂直”菜单选择项并打开或关闭对通道波形显示。

选项	设定	说明
耦合方式	直流 交流 接地	“直流”通过输入信号的交流和直流成分。 “交流”阻挡输入信号的直流分量，并衰减低于10HZ的信号。 “接地”断开输入信号。
20MHz带宽限制	开启 关闭	打开带宽限制，以减少显示噪声；过滤信号，减少噪声和其他多余高频分量。
伏 / 格	粗调 细调	选择“伏、格”旋钮的分辨率。粗调定义一个1-2-5序列。细调降分辨率改为粗调设置间的小步进。
探头衰减	1X、10X、 100X 、 1000X	根据探极衰减系数选取其中一个值，以保持垂直标尺读数。使用1 X探头时带宽减小到6MHZ。
波形反相	正常 反相	相对于参考电平反相（倒置）波形。

#### 接地耦合

使用接地耦合可以显示一个零伏特波形。在内部，通道输入与零伏特参考电平连接。

#### 伏/格细调

在细调分辨率设定中，垂直刻度读数显示实际的伏/格设定。只有调整了“伏/格”控制后，将设定改变为粗调的操作才会改变垂直刻度。

#### 取消波形显示

要从显示屏上取消一个波形,可按下菜单按钮,以便通道显示它的垂直菜单。再次按下菜单按钮就可以取消波形,在双窗口模式中取消波形时两个窗口对应通道的波形同时消失。不必显示一个通道波形,就可以将它用作触发信源或用于数学运算。

3. “伏/格” 旋钮

控制示波器如何放大或衰减通道波形的信源信号,屏幕上显示波形的垂直尺寸随之放大或减小(按下这个按钮,也可以进行粗调和细调的切换)。

4.MATH MENU(数学菜单)按钮: 显示波形的数学运算, 具体功能如下。

“数学” 菜单包括每个运算的信源选项。

运算	信源选项	注释
+	CH1+CH2	通道1和通道2相加
—	CH1-CH2	从通道1的波形中减去通道2的波形
	CH2-CH1	从通道2的波形中减去通道1的波形
X	CH1 x CH2	通道1的波形乘以通道2的波形
/	CH1/CH2	通道1的波形除以通道2的波形
	CH2/CH1	通道2的波形除以通道1的波形
FFT	CH1或CH2	窗口有: Hanning、Flattop、Rectangular 三种选择
FFT		缩放: 可以调节缩放按钮来调节观察窗口 缩放比例: ×1, ×2, ×5, ×10

注: 选中菜单(有效菜单)均以橙色高亮显示。

功能菜单选择按钮

在仪器面板最上部,用细线框住的六个按键,见[图 X]所示。它们的主要作用是用来调出有关的设置菜单。



保存/调出: 显示设置和波形的“保存/调出菜单”。

测量: 显示自动测量菜单。

采集: 显示“采集参数”。

辅助功能: 显示“辅助功能菜单”。

光标: 显示“光标菜单”。

显示: 显示“显示菜单”。

保存/调出

按下“存储/调出”按钮可以存储或调出示波器设置或波形。

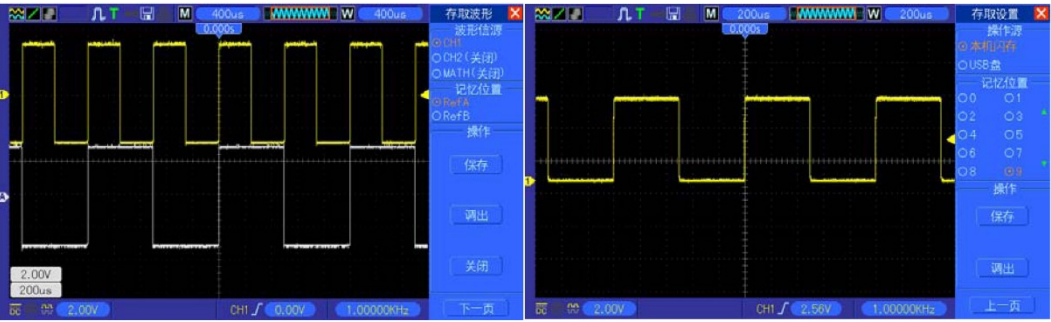
第一页为存取波形菜单

选项	设置	说明
存取波形		
波形信源	CH1 、CH2关闭 、MATH关闭	选择显示波形进行存储。
记忆位置	RefA 、RefB	选择存储或调出波形的参考位置。
操作	保存	将信源波形存储到选定的参考位置。
	调出 、关闭	显示或消除显示屏上的基准波形。

按“下一页”，进入存取设置菜单

选项	设置	说明
存取设置		
操作源	本机闪存 、USB盘	可以把当前的示波器设置保存到USB存储设备或者示波器的内存中。
记忆位置	0到9	指定要将示波器当前波形设置储存在其中或从其中调出的存储的波形位置。选中这个选项的时候，可以通过VO旋钮选择。
操作	保存	完成存储操作。
	调出	调出存储在由“设置”字段中选定的位置处的示波器设置。可按下“默认设置”按钮将示波器初始化为已知设置。

波形菜单如下：



波形存取菜单界面，上图中白色波形就是调出保存在 **RefA** 的波形

设置存取设置菜单界面，可存储 **9** 组设置

**注意：**如果在最后一次更改后等待 **5 秒钟**，示波器就会存储当前设置。在下次接通电源时，示波器会调出此设置。

测量

按下“测量”按钮可以进行自动测定。有三十二种测量类型。一次最多可以显示八种。

在该菜单模式下，可以通过 **V0** 多功能旋钮来旋选择未指定项，当红色箭头停留在某个未指定项的时候，按下 **V0** 旋钮或者 **F6** 功能键就可以进入测量设定

菜单。进入测量设定菜单后就可以根据菜单来选择测量类型，测量设定描述如下：

选项	设置	说明
选择信源	CH1 、 CH2	选择测量信源。
测量类型		
1	频率	通过测定第一个周期，计算波形的频率。
2	周期	计算第一周期的时间。
3	平均值	计算整个记录的算术平均电压。
4	峰峰值	计算整个波形最大和最小峰值间的绝对差值。
5	均方根	计算整个波形的实际均方根值测定。
6	最小值	检查当前视窗内所有点的波形记录并显示最小值
7	最大值	检查当前视窗内所有点的波形记录并显示最大值
8	上升时间	测定波形第一个上升边沿的10%和90%间的时间。
9	下降时间	测定波形第一个下降边沿的90%和10%电平之间的时间。
10	正频宽	测定波形第一个上升边沿和附近的下降边沿50%电平之间的时间。
11	负频宽	测定波形第一个下降边沿和附近的上升边沿50%电平之间的时间。
12	底端值	波形平底至GND（地）的电压值。
13	顶端值	波形平顶至GND（地）的电压值。
14	中间值	波形顶端值到底端值的50%。
15	幅值	波形顶端至底端的电压值。
16	过冲	波形最大值与顶端值之差与幅值的比值。
17	预冲	波形最小值与底端值之差与幅值的比值。
18	上升沿相位差	通道一的第一个上升沿和通道二的第一个上升沿的时间差。
19	下降沿相位差	通道一的第一个下降沿和通道二的第一个下降沿的时间差。
20	正占空比	正脉宽与周期的比值。
21	负占空比	负脉宽与周期的比值。
22	周期平均值	计算第一个完整周期的算术平均电压。
23	周期均方值	计算波形第一个完整周期的实际均方根值。
24	下降沿过冲	下降沿过冲
25	上升沿预冲	上升沿预冲
26	BWIDTH	突发式脉冲持续时间。
27	FRF	通道的第一个上升沿和通道二的第一个下降沿的时间差。
28	FFR	通道一的第一个下降沿和通道二的第一个上升沿的时间差。
29	LRR	通道一的第一个上升沿和通道二的最后一个上升沿时间差。
30	LRF	通道一的第一个上升沿和通道二的最后一个下降沿的时间差。
31	LFR	通道一的第一个下降沿和通道二的最后一个上升沿的时间差。
32	LFF	通道一的第一个下降沿和通道二的最后一个下降沿的时间差。
	关闭	不进行任何测量。

当选中测量类型时，可以通过 V0 旋钮或者 F3、F4 功能键选择测量类型，菜单项如下图：



图中大字体显示的就是对应的测量结果

进行测量：对于一个波形(或多个波形中分开的波形)，一次最多可以显示八个自动测量。波形通道必须处于“打开”（显示的）状态，以便进行测量。对于基准波形或数学波形，或在使用 XY 或扫描模式时，无法进行自动测定。

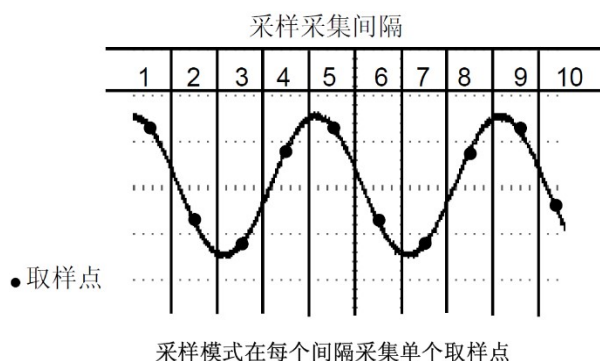
### ACQUIRE(采集)

按下“采集”按钮设置采集参数。

选项	设置	说明
采样类型	实时采样、等效采样	采用实时数字技术采集波形。 采用等效采样技术重建波形。
采集方式（实时）	采样、峰值、平均	采样用于采集和精确显示多数波形； 峰值用于检测毛刺并减少假波现象可能性。 平均值用于减少信号显示中的随机或不相关的噪声。平均值的数目是可选的。
平均次数（实时）	4、16、64、128	选择平均值的数目，可以通过F3、F4两个按键选择平均次数。
存储深度（实时）	4K、20K、40K	可选择不同的存储深度。

采样：对于带宽 100MHZ 的示波器型号，最大采样速率为 1GS/s，采样率不够的时基采用正弦插值算法插入点，产生一个完整的波形记录（默认 4K）。





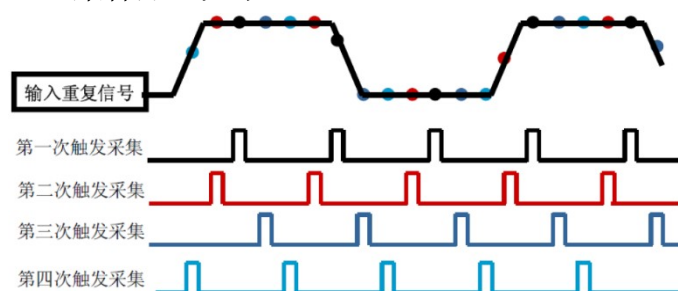
**峰值：**使用峰值模式来检测 10ns 内的毛刺并限制假波现象的可能性。该模式在“秒/格”设定为 4 微秒/格或更慢时间有效。如果将“秒/格”设置设为 4 微秒/格或更快，采集模式会变为“取样”，因为取样速率足够快，从而无需使用“峰值”模式。示波器不显示该模式变为“取样”模式的信息。

**平均：**使用“平均”采集模式减少要显示信号中的随机噪声或不相关噪声。在采样模式下采集数据，将大量波形进行平均。选择采样数（4、16、64 或 128）来平均波形。

**停止采集：**运行采集时，波形显示是活动的。停止采集（按下运行/停止按钮）将冻结显示。在任一模式中，波形显示可以用垂直和水平控制缩放或定位。

**等效采样：**即重复采样模式，该方式可以细致的观察重复的周期信号，使用等效采样可以得到比实时采样高很多的 40ps 分辨率，相当于 25GSa/s 的采样率。

采样原理如下：



如上图所述，以较低的采样率对输入信号（周期可重复）多次采样，然后按照采样点出现的时间先后顺序排列采样点，还原波形。

## UTILITY(辅助功能)

按下“辅助功能”按钮可以显示“辅助功能”菜单，菜单项描述如下：

菜单项	说明
系统信息	弹出的对话框显示示波器型号软硬件版本，序列号等相关内容。
程序升级	首先要插入装有升级程序的U盘，左上角的磁盘的图标变高亮，按下程序升级按钮，出现软件升级对话框，按下F6进行升级，F2取消。

保存波形	首先插入U盘，左上角的磁盘的图标变高亮，按下这个按钮，可以看到波形停顿一下，执行保存操作，在U盘的：pic_x文件夹下就能找到保存的波形数据。X代表按下次数，每按一次生成相应的一个文件夹，如按一下，就是pic_1，按两下就有两个文件pic_1，pic_2。
自动校正	按下该菜单，出现自校正对话框，按F6确认执行自校正，按F4取消。
高级功能	蜂鸣器设置和时间设置 按下该按钮出现蜂鸣器设置和时间设置对话框，旋转V0可以选择在两种设置间切换（可以看到黑色框的移动）；选择好设置项后（黑色框停留处），按下V0 旋钮，黑色框变红，再旋转V0 旋钮就可以设置开/关或时间，完成设置后再次按下V0 退出并保存设置。

自校正：自校正程序可以使示波器的精度最优化，以适于环境温度。为了尽量可能精确，如果环境温度的变化达到 5 摄氏度或 5 摄氏度以上时，则应进行自校正。按照显示屏上的指示进行操作。

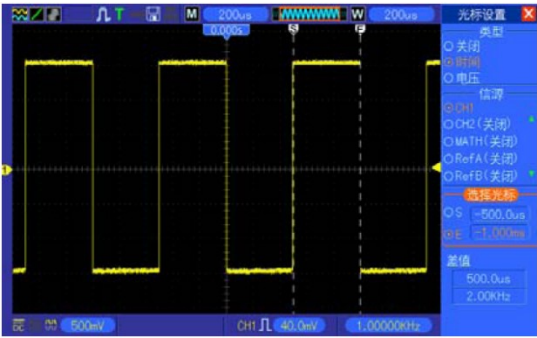
注：按下任一前面板菜单按钮都可以取消状态显示，并进入相应的功能菜单。

### 光标

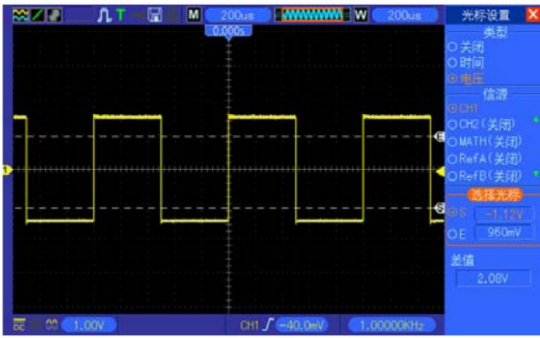
按下“光标”按钮，显示“光标设置”菜单。

选项	位置	说明
类型	关闭、电压、时间	选择并显示测量光标；“电压”测量幅值和“时间”测量以及频率。
信源	CH1、CH2、MATH、REFA、REFB	选择波形进行光标测量。 用读数显示测量值。
选择光标	S、E	S光标1，E光标2，高亮时表示选中，选中光标可以自由移动，都选中高亮时，可一起移动两个光标，光标后面的方框显示光标的当前位置。
差值	显示增量	在此菜单下的方框内显示光标的测量结果

移动光标：按下“选择光标”旁的功能键，选择好光标，调节多功能旋钮 V0 可以移动相应的光标，只有在“光标菜单”显示时才能移动光标，其他菜单界面下光标不移动。



时间光标



电压光标

### 显示

波形显示的获得取决于仪器上的许多设定值。一旦获得波形，即可进行测量。同样，这些波形的不同形式的显示也提供了波形的重要信息。



波形显示分为单窗口模式和双窗口模式，具体操作见水平系统部分。

按下“显示”按钮，出现“显示参数”菜单。

选项	设置	说明
显示类型	矢量、点	矢量设置将填充显示中相邻采样点间的空白；点设置只显示采样点。
余晖时间	关闭、0.2S-8S可选，也可以选择无限持续	设定保持每个显示的采样点显示的时间长度。
格式	YT、XY	YT格式显示相对于时间（水平刻度）的垂直电压；XY格式显示每次在通道1和通道2采样的点，通道1的电压或电流确定点的X坐标（水平），而通道2的电压或电流确定Y坐标（垂直）。请参考下面关于XY格式的详细说明。
对比度		0-15共16个等级调节，以进度条方式显示；按F5选中该菜单，通过多功能旋钮调节。
屏幕网格	虚线、实线、关闭	关闭时只有屏幕中间的水平坐标和垂直坐标显示。
网格亮度		0-15共16档可调，以进度条方式显示。

#### 快速执行按钮



**AUTOSET(自动设置):** 自动设置示波器控制状态、以产生适用于输出信号的显示图形。请参看以下表格有关自动设置的具体内容。

**SINGLE SEQ(单次数序):** 采集单个波形，然后停止。

**RUN/STOP(运行/停止):** 连续采集波形和停止采集波形的切换，停止状态下。

**HELP(帮助):** 显示帮助设置菜单。

**DEFAULTSETUP(默认设置):** 调出多数厂家的选项和控制设置。请参看以下表格有关自动设置的具体内容。

**存入 U 盘:** 可以将屏幕上的显示全部保存到 USB 存储设备中，相当于计算机的截屏功能。

#### 多功能旋钮和多功能按钮



**V0:** 多功能旋钮，在不同的菜单项下（具体查看每个菜单的操作），支持菜单项选择（MEASURE）、光标移动、电平移动（斜率触发）；按下该旋钮可支持数据复位（触发释抑、超时时间、斜率时间）、选中菜单确定等多种功能，操作极为方便。

F7: 单窗口模式下按此键, 可在虚线框和十字架显示框切换两个模式切换。  
双窗口模式下按下此键波形自动巡航播放。



F0: 菜单消隐/开启键, 按下该按钮, 屏幕右侧的菜单项消失, 示波器全屏显示; 再次按下后菜单出现。

F1-F5: 这 5 个按键作为多功能键, 再每个菜单模式下, 负责选择屏幕中对应得菜单项, 如在 UTILITY 菜单下, F1-F5 分别对应“系统信息” - “高级功能”。

F6: 该功能键主要起到翻页和确定作用, 如“下一页”、“上一页”, 按下自校正时, 出现的自校正对话框中会有“按 F6 按键确认……”等字样。

### 信号连接端口

在仪器面板最下端的三个信号接口和一对金属电极。如图所示。



- 1.CH1、CH2: 通道波形显示所需的输入连接器。待测信号由此连接输入。
- 2.EXT TRIG (外部触发): 外部触发源所需的输入连接器, 外部的触发信号由此连接输入。
- 3.探极补偿器: 电压探极补偿器的输出与接地。用来调整探极与输入电路的匹配。探极补偿器接地和 BNC 屏蔽连接到地面。请勿将电压源连接到这些接地终端。