

目录

电路原理实验室学生守则	1
实验的基本技能及要求	2
实验一 三端变阻器	4
实验二 万用表电路的计算与校验	9
实验三 含有非独立电源的电路的研究	16
实验四 交流电路参数的测定	22
实验五 RLC 串联电路的幅频特性和谐振现象	26
实验六 RC 电路频率特性的研究	29
实验七 星形负载三相电路	34
实验八 电路过渡过程的研究	37
实验九 用模拟计算机求电路方程的解	42
实验十 电路原理的实验设计	49
附录 1 DP832 可编程线性直流电源使用说明书	52
附录 2 SM2030A 型双输入交流毫伏表使用说明书	57
附录 3 TFG1005T DDS 函数信号发生器使用说明书	61
附录 4 8795B1 数字电参数测量仪使用说明书	64
附录 5 HG4181 数字相位计简易说明书	68
附录 6 SA5051 数字万用表使用说明书	71

电路原理实验室学生守则

实验时保证人身安全、设备安全、爱护国家财产、培养良好的科学作风。为此，应遵守下列守则：

- (一) 严守纪律，按时开始实验。做完实验在得到教师许可后方可离开实验室。
- (二) 接通电源前必须请教师检查电路。
- (三) 严禁带电拆线、接线。
- (四) 非本次实验用的设备器材，未经教师允许不得动用。
- (五) 发生事故要保持镇定，迅速切断电源，并向教师报告。
- (六) 若自己增加实验内容，须事先征得教师同意。
- (七) 保持实验室整洁、安静，实验室内不得吸烟、喧哗、乱扔杂物。
- (八) 实验如未通过，必须补做。

实验基本技能及要求

实验课是培养科学技术人员的重要环节。通过实验应提高实验的基本技能和解决实际问题的能力，巩固所学的理论知识，培养良好的科学作风。

一、实验目的

1. 巩固和扩展所学的理论知识，培养分析和解决实际问题的能力。
2. 进行实验技能的训练，掌握常用电工仪器设备的原理及使用方法。
3. 对实验结果进行合理的分析与处理。
4. 养成良好的实验习惯，培养严谨的科学作风。

二、安全操作训练和科学作风培养

1. 估算实验中使用的电气设备，如变压器、调压器等，容量是否满足实验所需量。
2. 注意各种仪表的保护措施：如检流计、磁通计用毕要短路；多量程电表如万用表用毕应将量程放在最安全处，即交流电压最大量程挡上。
3. 接线：最后接电源部分，接完后要仔细复查。拆线时则应先拆电源部分。
4. 接完线路开始实验前应作如下的准备工作：
 - (1) 应使整个电路处在最安全状态。例如，稳压电源、调压器或三端变阻器应放在无输出电压的位置上，或放在使线路中电流最小的位置上。
 - (2) 电压表、电流表的量程应放在经过估算的一挡或最大量程挡上。
5. 接通电源前要得到教师 and 同组人的允许。每次开始操作前应同组人打招呼。
6. 要养成预操作习惯(在实验前先操作和观察一下)，其目的在于：
 - (1) 观察电路的运行状况，如仪表指示是否正常。
 - (2) 观察所测电量的变化趋势，以便确定实验曲线的取点。
 - (3) 找出变化的特殊点，作为取数据时的重点。
 - (4) 熟悉操作步骤。
7. 重视原始记录，同组人要复写。记录者要成为本实验小组的组织者，负责画表记录。原始记录应包括：实验名称、被测量的数据、单位；仪器名称、型号、实验室编号；实验者及同组者姓名、日期等。记录数据要有适当的有效数字，错记要按规定的方法修改。

三、实验的基本技能及要求

1. 实验前的预习

- (1) 了解有关实验的目的、原理、接线，明确实验步骤及注意事项。
- (2) 对实验所用的仪器设备及使用方法作初步了解。
- (3) 对实验结果进行预估，明确测量项目，设计原始记录表格等。
- (4) 做出预习报告。

预习报告主要包括下列内容：

- (a) 实验目的；
- (b) 实验内容；
- (c) 实验线路图；
- (d) 必要的预习计算。

2. 实验的进行

(1) 接线

(a) 合理安排元器件、仪表的位置，接线该长则长、该短则短，达到接线清楚、容易检查、操作方便的目的。

(b) 接线要牢固可靠。

(c) 先按电路图的主回路接线，再接并联支路。

(2) 合理取点。应通过预操作先掌握被测曲线趋势并找出特殊点，再合理取点，使曲线能真实反映客观情况。

(3) 正确、准确地读取电表的指示值。

(a) 合理选择量程。应力求使电表的指针偏转大于 $\frac{2}{3}$ 满量程。因为在同一量程中，指针偏转越大读数越准确。

(b) 在电表量程与表面分度一致时，可以直读。如不一致时，可读分度数，即记下指示的格数，再进行换算。在读表时要读出足够的有效数字，不要少读，但也不要多读。

3. 实验报告

实验报告分预习报告和终结报告。其中预习报告在实验前完成，终结报告在实验后完成。终结报告应包括下列内容：

(1) 实验数据整理(一般采用表格形式)及计算举例。

(2) 做出实验曲线、相量图等。实验曲线应配合实验结果的有效数字，合理选择曲线坐标的比例尺，避免夸大或淹没实验结果的误差。

(3) 给出实验结论，并讨论回答有关问题，总结收获体会。

以上说明是一份较完整的实验报告内容的大致范围。同学们不一定拘泥于一定的格式，但必须包括以下三个方面：

(a) 为什么做此实验。

(b) 怎样进行实验，要指明关键问题所在。

(c) 实验得到了怎样的结果。

实验报告规定一律用 16 开纸张，前面应有专用的实验报告封皮，最后附有实验原始数据(原始记录上应有教师签字)。实验报告必须装订好以免散失、脱落，并按要求时间交给教师。

实验一 三端变阻器

一、实验目的

1. 以三端变阻器的调节特性为例，了解在使用变阻器时如何进行综合考虑；
2. 用实验的方法研究三端变阻器的分压特性；
3. 学习分析和处理实验数据的方法；
4. 学习画实验曲线。

二、实验说明

1. 三端变阻器的技术规格

在实验电路和仪器设备中经常用到带有可动端的三端变阻器，用以调节负载电压、电流。

常用的三端变阻器有滑线电阻、三端十进电阻单元以及仪器中常用的电位器等。它们的共同特点是是有三个接线端，其中一端是可动端。图 1.1 是三端变阻器的电路符号。

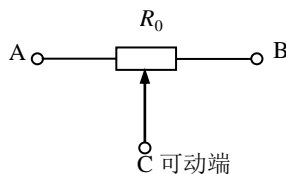


图 1.1 三端变阻器的电路符号

三端变阻器的技术规格有两个参数：(1) 阻值 R_0 ；(2) 电流容量 I_0 或允许功率 P_0 。电流容量表示该三端变阻器在工作时各部分允许通过的最大电流，如超过此值，变阻器就要过热甚至烧毁。允许功率 P_0 和电流容量 I_0 的意义类似，这是因为 R_0 、 I_0 和 P_0 之间有下列关系：

$$I_0^2 R_0 = P_0 \quad \text{或} \quad I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R_0}}$$

即由 R_0 和 P_0 可求得 I_0 。

2. 三端变阻器的联接方式

通常有如下联接方式：

(1) 如果电源是电压源，常采用图 1.2 的两种接法，即分压器式和变阻器式。后者是两端接法。

图 1.2 中 U_S 是电压源； I_0 是电源供出的电流； R_0 是三端变阻器的总电阻值；

R_1 、 R_2 分别是可动端与两固定端间的电阻值，即 $R_1+R_2=R_0$ ； U_{fz} 是负载电压； R_{fz} 是负载电阻； I_{fz} 是负载电流。

电路接法的选择取决于需要，图 1.2(a)多用于负载电流远小于 I_0 ，且要求有较宽的负载电压调节范围，特别是要求从零伏开始的情况。图 1.2(b)是作两端变阻器使用，这时变阻器中流过的电流就是负载电流 I_{fz} ，因此可充分利用变阻器的电流容量，但可能调节的电压范围较窄。

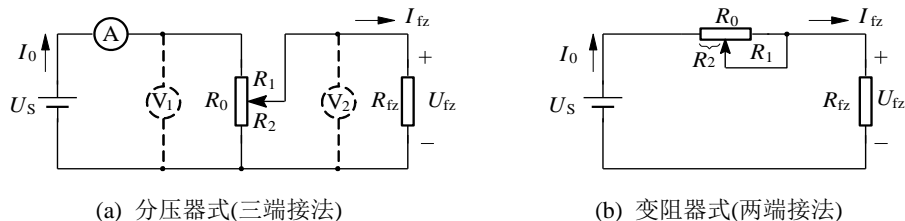


图 1.2 三端变阻器的联接方式

(2) 如果电源是电流源，则常用图1.3的接法。图中 I_0 是电流源的电流值，由图有

$$I_{fz} = \frac{R_2}{R_{fz} + R_0} I_0$$

这种接法的特点是：只要 R_{fz} 固定，则 I_{fz} 与 R_2 成正比关系，即可以线性地调节负载电流值。

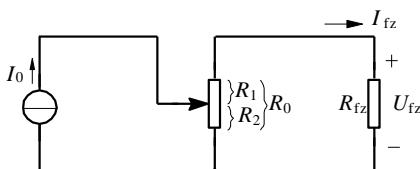


图 1.3 电源是电流源时常用的连接方式

3. 三端变阻器采用分压器接法时的技术要求

由图 1.2(a)可知， R_{fz} 上的电压为

$$U_{fz} = \frac{R_{fz} R_2}{R_0 (R_2 + R_{fz}) - R_2^2} U_S$$

可见除非 $R_{fz} \rightarrow \infty$ (即开路)，否则 U_{fz} 不会随 R_2 的改变作线性变化。此外，变阻器各部分中流过的电流也不同， R_1 部分中流过的电流较大，即电源电流 I_0 。

$$I_0 = \frac{R_{fz} + R_2}{R_0 (R_2 + R_{fz}) - R_2^2} U_S$$

因此，对于图 1.2(a)的分压器接法在选择三端变阻器时要注意如下的技术要求：

(1) 对调压特性的一个基本要求是：通过调节 R_2 ，能很容易的调出所需要的 U_{fz} (图 1.4 中的曲线 1)，但当 R_0 和 R_{fz} 的阻值配置不恰当时，会发生变阻器可动端在某些位置上移动一点时， U_{fz} 变化很大，甚至使电压很难调准(图 1.4 中曲线 2 的 AB 段)，这种情况是应该避免的。

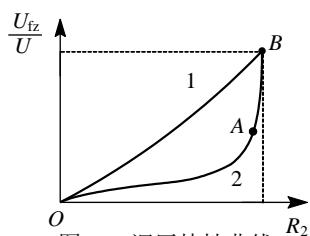


图 1.4 调压特性曲线

(2) 变阻器要经济耐用，务使变阻器的任何部分在任何情况下所通过的电流不超过允许值。

(3) 电源输出的电流必须比较小。因为接入分压电阻 R_0 后，电源要增加输出不流经负载的额外电流。因此， R_0 要选得尽可能大一些。

事实上这些要求常是相互矛盾的，使用变阻器时须综合考虑。

4. 实验要求

通过本实验，同学应能了解分压器的调压特性及调压特性与有关因素的关系，并利用所取的有限实验数据，经处理后得出在普遍情况下供选择分压器用的有益结果。

为了充分发挥实验数据的作用，便于取得更一般的指导实践的结果，有必要对所取得的有限数据进行处理。有时还得将处理后的数据画成曲线以便一目了然，且便于比较。

本实验要求画一些通用曲线，画法见其后的实验曲线作法简介。

三、实验任务

1. 预习计算

采用图 1.2(a)的分压器电路， R_0 为 $10 \times 100\Omega$ 三端变阻器，即变阻器有十挡，每挡为 100Ω ，每挡允许的功率容量为 $1W$ ；负载 $R_{fz}=100\Omega$ ，允许功率为 $1W$ 。预习计算并校核分压器中的最大电流是否超过每挡允许值(电源电压为 $2V$)。

2. 实验课任务

(1) 对于图 1.2(a)的电路，令 $R_0=10 \times 100\Omega$ ，电源电压 $U_S=2V$ 。取四种不同负载情况下的数据(即改变变阻器的可动端，记下负载电压 U_{fz})，填入下列数据表格。四种负载情况分别为 $R_{fz}=\infty$ 、 $10k\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 100Ω 。实验时 U_{fz} 为电压表 V_2 的读数(实验时电压表 V_1 、 V_2 为同一块表)，电流表用以监视电流 I_0 。

$R_0=10 \times 100\Omega$, $U_s=2V$ (用电压表 V_1 保持)

$R_2 (\Omega)$ U_{fz} $R_{fz} (\Omega)$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
∞											
10k											
1k											
100											

(2) 在图 1.2(a)的电阻 R_1 上并联固定电阻 R , 令 $R=R_{fz}=100\Omega$ (图 1.5), $U_s=2V$, 记录 U_{fz} 随 R_2 变化的数值。

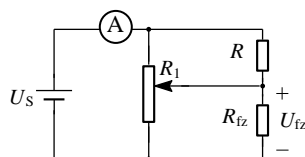


图 1.5 在图 1.2(a)电路 R_1 上并联 R

四、实验设备

变阻器	$10 \times 100\Omega$, 0.1A	1 个	} 电路实验箱
负载电阻	100Ω , 1W	2 个	
	1000Ω 、 10000Ω , 1W	各 1 个	
稳压电源		1 台	
电压表、电流表 (数字多用表)		各 1 块	

五、注意事项

必须看清变阻器的固定端、可动端。接线时, 电源应接在两个固定端之间, 切勿接错线路导致电源被短路而烧毁。

六、思考题

- 对于图 1.2(a)及图 1.5 电路, 设 $y = \frac{U_{fz}}{U_s}$, $x = \frac{R_2}{R_0}$, $K = \frac{R_{fz}}{R_0} = 0.1$, 写出函数 $y=f(x)$, 求出导数 $\frac{dy}{dx}$, 算出 $x=0$ 、0.1、0.2、……各点的 $\frac{dy}{dx}$ 值, 画出曲线, 从而讨论图 1.5 电路相对于图 1.2(a)电路的优缺点。

- 对于图 1.2(a)电路, 试说明为了得到实用的调压特性, 应如何选取 R_{fz}/R_0 的值?

七、终结报告要求

- 在同一图上画出任务(1)中分压器在四种负载情况下的通用调压特性曲线, 并

作出结论：为使调压特性在 $R_2/R_0=0.5$ 时能有 $U_{fz}/U_S>0.4$ ，比值 R_{fz}/R_0 应如何选取？

2. 实验结论、收获。

八、实验曲线作法简介

以下几项说明供画曲线时参考：

1. 画曲线时注意取哪个变量作横坐标，哪个变量作纵坐标；哪些是常量，哪些是参变量。本实验中 U_S 和 R_0 都是不变的常量； R_2 和 U_{fz} 是变量。所谓调压特性就是指 U_{fz} 对应于 R_2 的曲线，但不同的 R_{fz} 将给出不同的曲线，所以 R_{fz} 称作参变量。

2. 如将 $U_{fz} \sim R_2$ 曲线的两坐标分别除以 U_S 及 R_0 ，即用 U_{fz}/U_S 和 R_2/R_0 代替原来的两变量，可以获得三端变阻器通用调压特性曲线。新变量 U_{fz}/U_S 和 R_2/R_0 都是无量纲的量，都在 0 到 1 之间变化。注意：参变量也应改为 R_{fz}/R_0 。

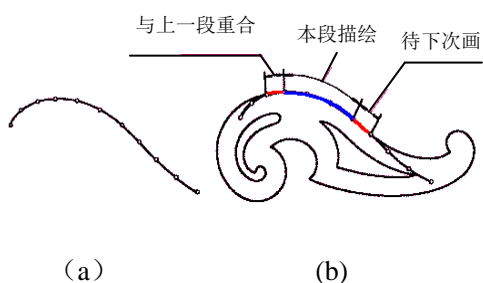
3. 坐标的比例尺也要作适当选择。比例尺太大则作图的准确度将超过实验的准确度，太小又不能充分反映实验结果的准确度。建议用 16 开方格纸来画图。

选比例尺时还应注意读数的方便，即要考虑以多少小格代表 1。如选得不当，在读 0.5 或 0.3 等时将可能发生困难。

4. 绘制曲线时应注意，不同曲线要分别注示，且数据点要用不同的记号标明，如：“*”、“。”、“•”、“Δ”等。曲线要连续光滑，遇点而止，过点而出，尽可能利用曲线板。由于实验中有各种误差，某些点不恰好落在平滑曲线上是正常的，个别点离曲线过远，应分析原因，可重测或在画曲线时舍去。

5. 坐标轴上应明确标出所代表的变量、数值、单位等。在图上的适当位置应标明曲线名称、绘者姓名、日期等。

6. 曲线板的用法



- (1) 先徒手用细线将各点连成曲线（如图（a）所示）；
- (2) 选择曲线板上曲率合适的部分，分段描绘（如图（b）所示）；
- (3) 注意：在画每一分段时，前后连接处应各有一小段重复，以保证所连各段曲线的光滑过渡。

实验二 万用表电路的计算与校验

一、实验目的

1. 了解万用表电流挡、电压挡及欧姆挡电路的原理与设计方法；
2. 了解欧姆挡的使用方法；
3. 初步掌握校验电表的方法。

二、实验说明

1. 万用表简介

万用表是测试工作中最常用的电表之一，用它可以进行电压、电流和电阻等多种物理量的测量，每种测量还有几个不同的量程。

万用表的内部组成从原理上分为两部分：即表头和测量电路。表头通常是一个直流微安表，它的工作原理可归纳为：表头指针的偏转角与流过表头的电流成正比。在设计电路时，只考虑表头的满偏电流 I_m 和内阻 R_i 值就够了。满偏电流是指表针偏转满刻度时流过表头的电流值，内阻则是表头线圈的铜线电阻。表头与各种测量电路联接就可以进行多种电量的测量。通常借助于转换开关可以将表头与这些测量电路分别联接起来，就可以组成一个万用表。本实验分别研究这些电路。

2. 电流挡电路

满偏电流为 I_m 的表头接上分流电路就可以扩展它的电流量程。例如在图 2.1 的电流表电路中，表头电阻为 R_i ，分流电阻为 R_s ，则量程由 I_m 扩展为

$$I_N = \frac{R_i + R_s}{R_s} I_m = n I_m \quad \left(n = \frac{R_i}{R_s} + 1 \right) \quad (1)$$

即扩大了 n 倍。 n 的大小取决于电阻比值 R_i/R_s 。这时表头的刻度(本实验中为 $0 \sim 100\mu\text{A}$)就可以改按 $0 \sim I_N$ 的电流量程来刻度了。

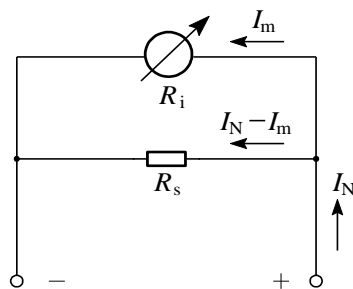


图 2.1 电流表电路

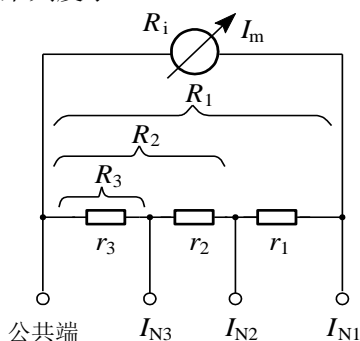


图 2.2 多量程电流表

在多量程电流表中，用的是环形分流器电路(图 2.2)。如果要设计一个量程分别 I_{N1} 、 I_{N2} 、 I_{N3} 的三个量程的电流表，可以证明

$$R_1 I_{N1} = R_2 I_{N2} = R_3 I_{N3} \quad (2)$$

所以

$$R_3 = R_1 \frac{I_{N1}}{I_{N3}}, \quad R_2 = R_1 \frac{I_{N1}}{I_{N2}}, \quad R_1 = \frac{R_i I_m}{I_{N1} - I_m}$$

3. 电压挡电路

表头(I_m , R_i)串上电阻 R 就构成了直流电压表, 如图 2.3 所示。该电压表的量程为

$$U_N = (R_i + R) \cdot I_m$$

电压量程 U_N 的数值由电阻 R 的大小决定。当被测电压 U_x 等于量程电压 U_N 时, 流过表头的电流 I_x 刚好等于 I_m 使表头满偏, 所以表头可改按 $0-U_N$ 量程内的电压来刻度。配置多个不同的电阻就可以构成多量程电压表(图 2.4)。

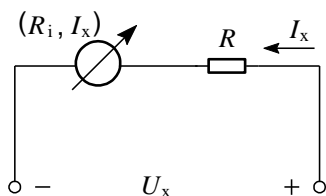


图 2.3 直流电压表

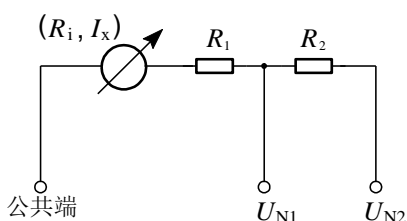


图 2.4 多量程电压表

电压表的内阻越高, 从被测电路取用的电流越少, 则被测电路受到的影响越小。

电压表的这种内阻性能习惯上用一个由总内阻除以量程电压($\frac{R_i + R}{U_N} = \frac{1}{I_m}$)而得出的

“每伏欧姆(Ω/V)数”来表征。对同一个电压表的各个量程而言, 它们的每伏欧姆数都是一样的。

4. 欧姆挡电路

表头配上干电池(电势 E)就形成欧姆表。图 2.5 是一种最简单的欧姆表线路。由下式可见, 被测电阻 R_x 越大, 则线路电流越小。用表头测出线路电流 I_x 即可间接反映电阻 R_x 的数值。

$$I_x = \frac{E}{(R_i + R_1) + R_x}$$

式中 R_1 是一个限流电阻, 它的作用是当 $R_x=0$ 时(表的外接端“短路”)时, 流过表头的最大电流刚好等于 I_m 而使指针正达满偏, 即

$$I_m = \frac{E}{R_i + R_1} \quad \left(\text{或 } R_1 = \frac{E}{I_m} - R_i \right)$$

在这种线路中, 表头改为欧姆刻度时, 具有图 2.6 所示的反向刻度特性, 即 $R_x=0$ 时, 刻度是指针的满偏位置; $R_x \rightarrow \infty$ 时, 刻度是指针的零偏转位置。而 R_x 为从 0 到 ∞ 之间的任何值时, 刻度都包含在上述刻度范围之内。

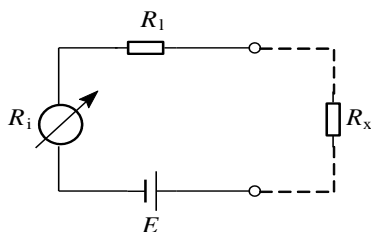


图2.5 最简单的欧姆表路

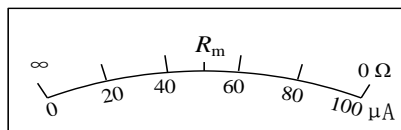


图2.6 万用表欧姆刻度

当被测电阻 R_x 等于 $(R_i + R_l)$ 时, $I_x = \frac{I_m}{2}$, 表针恰好指在正中间, 所以就叫这个半偏处的刻度值为“中值电阻(R_m)”, 它也就是从被测电阻两端往表内部看的欧姆表的内阻。

$$R_m = R_i + R_l = \frac{E}{I_m}$$

从万用表欧姆刻度上可以看出, 只在中值电阻附近 $\frac{2}{3}$ 的度盘范围内, 刻度分布才比较合理, 读数时易于准些。因此使用欧姆表时有必要选择合适的中值电阻, 即所谓的选择量程, 以保证测量的准确度。

设选择一个中值电阻 R_{m1} , 其值小于图 2.5 中的中值电阻 R_m , 则 $R_x=0$ 时的电流 $I_N(=\frac{E}{R_{m1}})$ 就大于表头的满偏电流 I_m , 因此必须给表头并上一个分流电阻 R_s (见图 2.7), 使表头的电流等于 I_m , 而串接的限流电阻 R_l 则必须满足欧姆表的内阻等于中值电阻

R_{m1} 的要求, 即 $R_l = R_{m1} - \frac{R_i R_s}{R_i + R_s}$

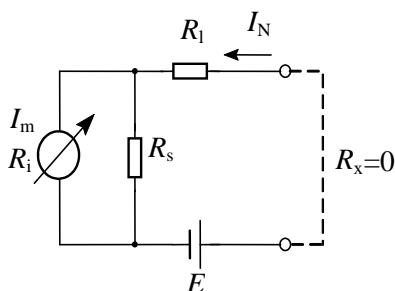


图 2.7 改进后的欧姆表电路

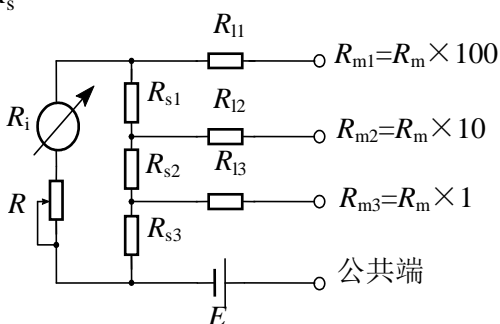


图 2.8 三量程的欧姆表电路

实际上万用表的欧姆挡通常是设计成多量程的, 而各量程的中值电阻则成十倍地增减, 以便使用同一个欧姆刻度。图 2.8 是三量程的欧姆表电路, 设计时给定 R_m 、 E 、 R_i 、 R 值, 先算出环形分流电阻器的三个电阻 R_{s1} 、 R_{s2} 、 R_{s3} , 再算出三个限流电阻 R_{l1} 、 R_{l2} 、 R_{l3} 。

欧姆表内的干电池电势并不稳定，用久了会逐渐下降(例如从 1.5V 降到 1.3V 以下)，在测量相同数值的 R_x 时，流过表头的电流就不一样，这当然会造成测量误差。为此，在欧姆表电路中，给表头串联了一个可调电阻 R (图 2.8)，以便在 E 降低时适当减小 R 值以减少上述误差。所以使用欧姆表进行测量前，要先将 R 调到合适的数值。调节方法是：将表的外接端钮短路，再调 R 使指针指向零 Ω 刻度。这就是所谓的“欧姆挡调零”预操作，在使用欧姆表进行测量时，都必须进行此项预操作。

5. 电表的校验

用电表进行测量总有一定的误差。电流表、电压表误差校验的线路分别如图 2.9、图 2.10 所示。图中 A_x 、 V_x 为被校表， A_0 、 V_0 为标准表。

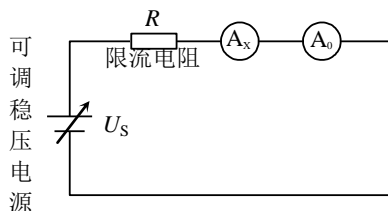


图 2.9 电流表校验电路

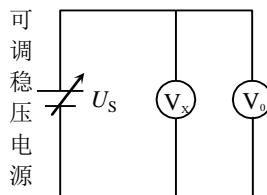


图 2.10 电压表校验电路

将被校表的指示值 α_x 与标准表指示的“实际值” α 之间的差值称为绝对误差 Δ ：

$$\Delta = \alpha_x - \alpha$$

将绝对误差加一个负号，就是所谓的校正值 c

$$c = -\Delta = \alpha - \alpha_x$$

在高准确度的电表中，常附有校正曲线，以便采取“加”校正值的办法来提高测量结果的准确度。

电表的准确度是由“准确级”来说明的。我国生产的模拟电表的准确级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。准确级 α 的定义是

$$\alpha \geq 100 \frac{\Delta_m}{\alpha_m}$$

其中 Δ_m 是电表的绝对最大误差； α_m 是电表的量程。所以， α 值越小，准确度越高。反映测量误差的大小，准确度愈高，测量误差就愈小，反之亦然。

校表时要注意如下要求：

- (1) 标准表的准确度要比被校表的准确度高两级，例如必须用 0.2 级标准表去校 1.0 级表，用 1.5 级标准表校 5.0 级表等。

(2) 校验时要在指针偏转单向上升, 然后单向下降的条件下进行, 以便观察表头的摩擦情况。即上升时把被校表指针从零点调到正指主要分度(指有数字的分度), 若指针调过了头, 应退回到零点重新上升。从最大值下降也一样, 若调过了头, 应退回到最大点重新下降。在被校表的每一主要分度上读出标准表相应的度数, 计算出校正值, 即可制作校正曲线。以被校表读数为横坐标, 以上升、下降两次校正值的平均值为纵坐标所作曲线即为校正曲线。曲线上各点间应以直线连接, 成一折线。坐标比例尺应合适, 以便应用。

三、实验任务

1. 预习计算

(1) 设计电流挡电路。给定一直流微安表表头, 它的满偏电流 $I_m=100\mu\text{A}$, 内阻 $R_i=2\text{k}\Omega$ 。电流挡电路的量程为 $1/5/10\text{mA}$, 计算各电阻的数值。

(2) 设计电压挡电路。表头数据同上。电压表量程为 $1/5\text{V}$, 计算各电阻的数值。

(3) 设计欧姆挡电路。表头数据同上。电源 $E=1.5\text{V}$, 欧姆挡电路的中值电阻分别为 $R_m \times 1$ 、 $R_m \times 10$ 、 $R_m \times 100$ ($R_m=100\Omega$), 计算各电阻的数值。计算时, 表头支路电阻规定为 $R_i+R=5\text{k}\Omega$ 。

(4) 计算欧姆表刻度。表头度盘共有 50 格($\alpha_m=50$), 为了改按欧姆刻度, 要计算下列各欧姆值(R_x)应该刻在哪些分格上。计算公式为

$$\alpha = \frac{R_m}{R_m + R_x} \alpha_m \text{ (格)} \quad (R_m = 100\Omega)$$

将计算结果填入下表中。

$R_i (\Omega)$	0	10	20	40	60	80	100	150	200	300	500	1k	2k	10k	∞
α (格)							25.0								

按照上面的计算结果, 将下面的表盘(图 2.11)标上欧姆刻度。

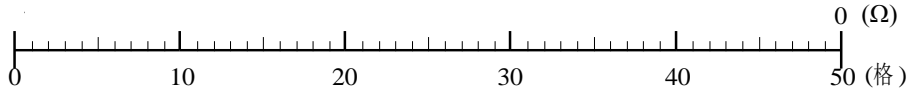


图 2.11 表盘

2. 实验课任务

(1) 组成中值电阻分别为 100Ω 、 $1\text{k}\Omega$ 和 $10\text{k}\Omega$ 的欧姆表, 并进行校验。

a. 按图 2.8 组成欧姆挡电路, 各挡测量前应分别调零。

b. 用已知的可变电阻箱校验各挡中值电阻(令 $E=1.5\text{V}$), 将结果填入下表中。

		$R \times 1$	$R \times 10$	$R \times 100$
电阻箱电阻值 $R_{\text{中}} (\Omega)$		100	1k	10k
欧姆表读数	R (格)			
	R (Ω)			
相对误差 $\beta = \frac{R - R_{\text{中}}}{R_{\text{中}}} \times 100\%$				

c. 令 $E=1.3\text{V}$ ，重复上述测量。

d. 测量二极管的极性和正、反向电阻。

(2) 组成电流量程为 $1/5/10\text{mA}$ 的电流表，并对 5mA 量程进行校验。

按图 2.9 连接电流表的校验电路。其中，稳压电源输出 $0\sim 30\text{V}$ 可调电压，限流电阻 $R = 1\text{k}\Omega$ 。

以下为电流表校验表格，将实验数据填在表格中。

	名 称	型 式	等 级	量 程	实验室编号
被校表					
标准表					

被校表读数 (mA)		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
标准表读数 (mA)	读数渐增					
	读数渐减					
校正值 (mA)	读数渐增					
	读数渐减					
平均校正值 (mA)						

(3) 组成电压量程为 $1/5\text{V}$ 的电压表，并对 5V 量程进行校验。

按图 2.10 连接电压表的校验电路。稳压电源输出 $0\sim 30\text{V}$ 可调电压，电压表用 5V 量程进行校验。自行设计数据表格。

四、 实验设备

直流稳压电源	1 台
万用表综合实验箱	1 台
电流表 5mA (使用数字万用表直流电流档)	1 块
电压表 5V (使用数字万用表直流电压档)	1 块
可变电阻箱 $10 \times (1\text{k} + 100 + 10 + 1)\Omega$	1 个

五、 思考题

若二极管的最大允许电流为 3mA ，用自制欧姆表的哪些量程测量二极管的极性才能防止其被烧毁？(提示：欧姆挡的公共端为电流流出端)。

六、终结报告要求

1. 分别计算 $E = 1.5V$ 、 $1.3V$ 时，各挡测量中值电阻的相对误差。
2. 总结使用欧姆挡的注意事项。
3. 做电流表的校验报告，绘制校正曲线。
4. 做电压表的校验报告，绘制校正曲线。
5. 实验结论
6. 收获。

万用表实验台面板如图 2.12 所示。



图 2.12 万用表实验台面板

实验三 含有非独立电源的电路的研究

一、实验目的

1. 加深对非独立电源的特性的理解；
2. 通过理论分析和实验验证掌握含有非独立电源的线性电路的分析方法。

二、实验说明

在分析电子电路时将广泛地遇到非独立电源(电压源或电流源)，这类电源有时也称为受控源。和独立电源不同的是，该电压源的电压(或电流源的电流)不是独立的，而是受电路中其他支路的电压(或电流)的控制。当控制量为电压(或电流)时，按控制量和受控源的不同，非独立电源一般可分为四种即：电压控制的电压源、电流控制的电压源、电压控制的电流源和电流控制的电流源。它们的电路符号分别示于图 3.1(a)、(b)、(c)、(d)中。

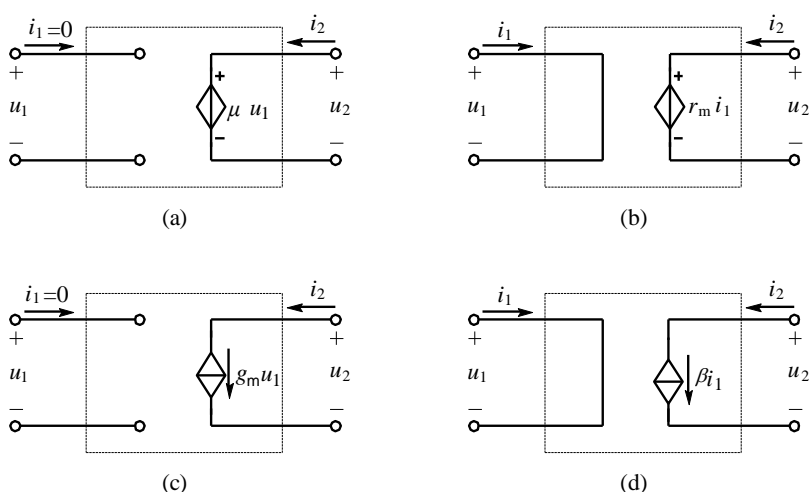


图 3.1 四种受控源

由图 3.1 可见，一个非独立电源可用一个含有两个支路的二端口来表示，其中支路 2 表示受控源(电压源或电流源)，支路 1 表示控制支路及控制量。在图 3.1(a)中支路 1 是断开的，它的两端的电压为 u_1 ，支路 2 有一电压源，其电压 $u_2 = \mu u_1$ ，即受控于电压 u_1 ，因此是一个电压控制的电压源。在图 3.1(b)中支路 1 是短路的，流经其中的电流为 i_1 ，而支路 2 中的电压源，其电压为 $u_2 = r_m i_1$ ，即受控于电流 i_1 ，因此是一个电流控制的电压源。与此类似，图 3.1(c)和(d)分别是电压控制的电流源和电流控制的电流源，表示其特性的方程分别是 $i_2 = g_m u_1$ 和 $i_2 = \beta i_1$ 。

如果在表示非独立电源的特性关系中,比例系数 μ 、 r_m 、 g_m 和 β 是常数,这样的非独立源便是线性元件。含有线性非独立电源及其他线性元件的电路仍是线性电路。分析含有非独立电源的电路可以先将非独立电源当作独立源,列写电路的方程式,再将含有非独立电源的特性方程代入,用控制支路的电压(电流)表示含有非独立电源的电压(电流),由此得出的方程便可解出电路中的各未知电压、电流。

对含有非独立电源的线性电路,叠加定理、戴维南定理等也都是适用的。

在本实验中将通过对一个含有电压控制的电压源的线性电路的研究,掌握这类电路的分析和实验方法。

本实验所用的电压控制的电压源是一个由运算放大器构成的比例器(图 3.2),在理想情况下($A \rightarrow \infty$),它的输入电压 u_1 与输出电压 u_2 有以下关系:

$$u_2 = -\frac{R_2}{R_1} u_1$$

如果 R_1 足够大,就可以将它看作图 3.3 的电压控制的电压源,其中 $\mu = -R_2/R_1$ 。应注意,对于实际的运算放大器, u_2 的大小是有限制的,只有 u_2 不超过规定的范围,上述的关系式才成立。

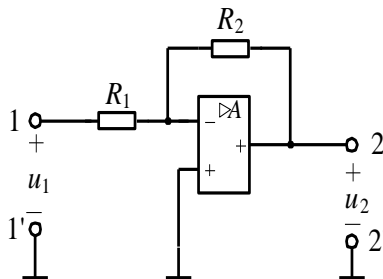


图 3.2 由运放构成的比例器

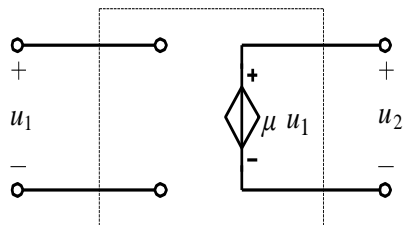


图 3.3 图 3.2 R_1 足够大时等效电路

三、实验任务

1. 预习计算

将非独立电源接入图 3.4 的电路,其等效电路如图 3.5 所示。对图 3.5 电路用以下三种方法分别求出电压 u_{bc} (其中 μ 可按 $\mu = -R_2/R_1 = -2$ 估算):

- (1) 列写电路方程求解。
- (2) 用叠加定理求解。
- (3) 用戴维南定理求解。

写出求解过程，并将解得的结果填写在下表中。

求解方法	求解结果
列写电路方程	$u_{bc} =$
叠加定理	U_{S1} 作用, $U_{S2}=0$ 时 $u'_{bc}=$ $U_{S1}=0$, U_{S2} 作用时 $u''_{bc}=$ U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用时 $u_{bc}=u'_{bc}+u''_{bc}=$
戴维南定理	等效电势 $U_0=$ 等效内阻 $R_0=$ $u_{bc}=$

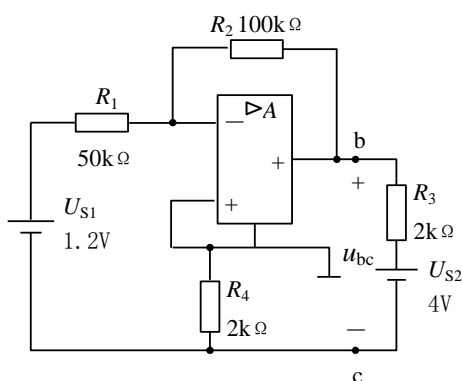


图 3.4

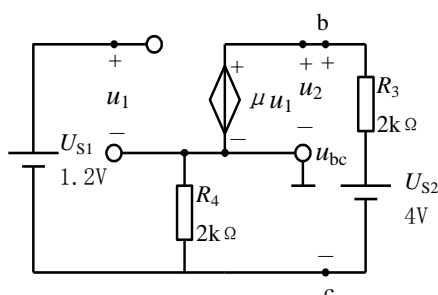


图 3.5

2. 实验课任务

(1) 测定所用的非独立源的特性，即确定其比例系数 μ 及适用的电压范围。测量线路如图 3.2 所示，其中 $R_1=50k\Omega$, $R_2=100k\Omega$ 。要求在不同的 u_1 情况下测量 u_2 。 μ 应为一常数，但因测量电表有一定误差，所以实验所得 μ 有一定差异。在本实验条件下，如差异超过 2%就认为这个非独立源已经超出了线性范围。比例系数应取线性范围内的平均值。

实验记录表格由同学自己拟定。

(2) 实验测定电压 u_{bc} 的实验线路及电路参数如图 3.4 所示。分别用三种方法测量电压 u_{bc} ：

- 1) 直接法；
- 2) 叠加法，即分别测量 U_{S1} 、 U_{S2} 单独作用时的电压 u'_{bc} 、 u''_{bc} ，则 $u_{bc}=u'_{bc}+u''_{bc}$ ；
- 3) 戴维南等效电路法，即分别测出图中端口 bc 左端电路的戴维南等效电路中的开路电压 U_0 和等效电阻 R_0 ，再由等效电路算出 u_{bc} 。

将测量结果列表并加以比较。

在应用戴维南定理时，需要分别测出开路电压 U_0 和等效内阻 R_0 。其中 U_0 可将 bc 处开路而测出，测 R_0 的方法可用加压求流或通过测量开路电压和短路电流而得到。实验中这两种方法容易造成非独立电源过载以致超出线性范围。

本实验可采用如下的“半偏法”测 R_0 ：

在开路端钮 bc 处接一可变电阻 R_L ，并测出 bc 两端电压 u_L 。从戴维南等效电路图 3.6 看，有

$$\text{当改变 } R_L \text{ 使 } u_L = U_0 \frac{R_L}{R_0 + R_L} \quad \text{所以} \quad R_0 = R_L \frac{U_0 - u_L}{u_L}$$

$u_L = \frac{1}{2} U_0$ 时，此时

的 R_L 值即等于等效内阻 R_0 ，而此时电压表的读数为端口开路时电压值的一半，因此称此法为半偏法。这个方法还有一个好处，即测量各个电压用的是同一块电压表，由电压表带来的误差计算时可以在很大程度上相互抵消。

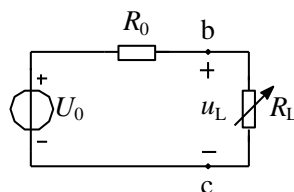


图 3.6

四、实验设备

电路实验箱 (压控电压源及电阻 R_3)	1 套
直流数字电压表	1 块
直流稳压电源(二路输出)	2 台
电阻箱(R_4)	1 个

五、注意事项

当用叠加法测量时，切不可将不作用的电源的输出端子直接短路。

六、思考题

如果仔细观察，实测的 bc 端开路电压的绝对值(戴维南定理中的 U_0)总比按图 3.5 预习计算的结果小，为什么？

七、终结报告要求

1. 用实测的 μ 值按图 3.5 计算 u_{bc} (三种方法)。
2. 将上述计算结果与实验测量值进行比较，分析产生误差的原因。
3. 实验结论
4. 收获。

八、说明

1. 本实验所用的运算放大器的主体是 LF347 运算放大器件。它有较强的输入阻抗和较低输出阻抗。

含有运算放大器的电路是一种有源网络，它需要外接+9V 和-9V 两组电源才能正常工作，电源极性不能接错。

运算放大器具有一个输出端和两个输入端。实验盒上标有符号“+”者为同相输入端，其输出电压极性与输入电压的极性相同。标有符号“-”者为反相输入端，其输出电压极性与输入电压的极性相反。

作为受控源的运算放大器的输出端不能与“地”端短接，输入电压不能超过额定值。

2. $\mu = -R_2/R_1$ 的说明。图 3.7 是接成比例器的运算放大器。如果放大器的输入阻抗很大，可以认为电阻 R_1 和 R_2 中的电流一样，有

$$i = \frac{u_1 - u_2}{R_1 + R_2}$$

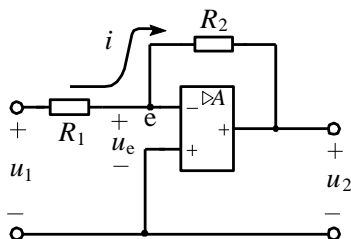


图 3.7 接成比例器的运算放大器

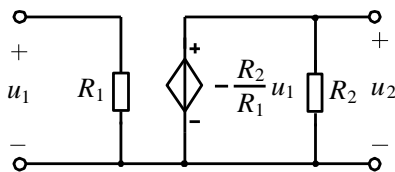


图 3.8 图 3.7 近似等效电路

此时放大器的反向输入端的电压为 u_e

$$u_e = u_1 - \frac{u_1 - u_2}{R_1 + R_2} R_1 \quad (1)$$

同时

$$u_2 = -A u_e = -A \left(u_1 - \frac{u_1 - u_2}{R_1 + R_2} R_1 \right)$$

由此得到

$$u_1 R_2 = -u_2 \left(\frac{R_1 + R_2}{A} + R_1 \right)$$

当 A 很大时，忽略 $(R_1 + R_2)/A$ 一项不会引起比测量仪器更大的误差。因此，

$$\mu = \frac{u_2}{u_1} \approx -\frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

将 $u_2 = -Au_e$ 代入(1)式也可以得到

$$u_e \approx u_1 \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{A} \approx 0$$

即在实用中 e 点电压趋于零，称作“虚地点”。实际上把这点电压视为零也不致引起太大误差，而解电路的工作却简化很多。这时图 3.7 电路可近似等效为图 3.8 的非独立源电路。图中 R_2 并联在受控电压源上(忽略放大器的输出阻抗)，因此可以将其去掉而不会影响其他支路电流； R_1 为非独立源的输入电阻。本实验中，在很多情况下 R_1 中的电流比其他支路中的电流小很多而可以忽略；但是在某些情况下忽略 R_1 会带来明显的误差。同学们可以自己判断哪些步骤中不宜将它忽略。

实验四 交流电路参数的测定

一、实验目的

1. 学习用电参数测试仪（交流电压表、电流表和功率表）测量交流电路参数的方法；

2. 加强正弦交流电路相量的概念；

3. 学习正确使用自耦调压器的方法。

二、实验说明

1. 三表法测阻抗

交流电路的阻抗 Z 的等值参数可以利用伏特表、安培表和功率表和频率计来测定。我们知道，阻抗可表示为 $Z=|Z| \angle \varphi=R+jX$ 。测出此阻抗两端的电压、流过其中的电流以及所消耗的功率 P ，即可按下列公式计算出：

$$|Z| = \frac{U}{I}, \quad R = \frac{P}{I^2}$$

$$X = \pm \sqrt{|Z|^2 - R^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}$$

$$\varphi = \pm \cos^{-1} \frac{P}{UI}$$

其中“+”号用于感性情况；“-”号用于容性情况。

如所测的是感性元件，则

$$X = \omega L = 2\pi fL \quad \text{或} \quad L = \frac{X}{\omega}$$

如所测的是容性元件，则

$$X = -\frac{1}{\omega C} \quad C = -\frac{1}{\omega X}$$

图 4.1 是实验时用的测量电路图，其中 T 为调压器，用以调节实验电压和电流。

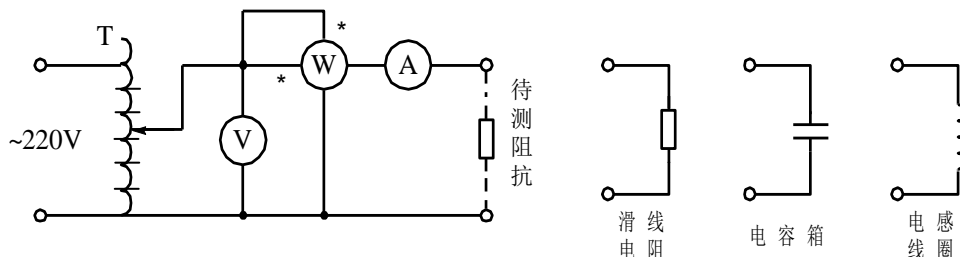


图 4.1 实验时用的测量电路图

2. 相量图的画法

将基尔霍夫电压定律和电流定律应用于图 4.2 所示电路，有

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$

这些电压、电流的数值可分别用电压表、电流表读出。根据上述关系可画相量图，相量求和的几何表示方式是作平行四边形。对于图 4.2 电路，我们可以取某一阻抗的电压

或电流为参考相量，如 \dot{U}_2 (\dot{I}_R 与之同相)。

根据各支路阻抗的性质(如纯电阻的电压和电流同相，含有电阻的电感线圈的电流滞后于电压以一定的角度等)来确定各电压和电流间的相位关系；而图中三个电压或三个电流的相对相位关系则由它们所形成的封闭三角形确定。这样，知道了电路中一个阻抗上的电压和电流之间的相位关系，就可以将电路中各元件的电压相量和电流相量画在同一个相量图上。

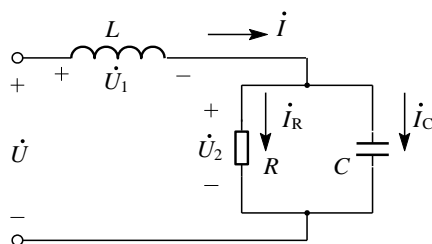


图 4.2 R、L、C 串并联实验电路

三、实验任务

1. 预习任务

学习正确使用调压器及电参数测量仪（见附录）。

2. 实验课任务

(1) 分别测量滑线电阻、电感线圈及电容器的参数。

分别将滑线电阻、电感线圈及电容箱接入图 4.1 的实验电路。调节电流 I ，使之分别为 0.8A 和 1.0A，测量出相应的电压 U 和功率 P 值。

(2) 将上述滑线电阻、电感线圈及电容箱组成图 4.2 电路，测量该电路在电流 I 分别为 0.8A 和 1.0A 时的 P 、 U 、 U_2 等量。

四、实验设备

单相自耦调压器	220V/0-250V， 2kVA	1 台
电参数测量仪		1 台
滑线变阻器	320Ω/1A (约用 160Ω)	1 个
电感线圈	约 0.5H (1, 6 端)	1 个
电容箱		1 个

五、注意事项

1. 注意调压器的正确接线, 调节时必须观察伏特表、安培表和功率表以保证其勿超量程。
2. 本实验中, 通过滑线电阻和电感线圈的电流不要超过 1A。
3. 使用功率表时, 必须保证其电压、电流均不超过额定值并正确连接同名端。
4. 换接被测元件时, 要将调压器退回零伏并拉闸切断电源。

六、思考题

1. 如果调压器的输入端、输出端接反了, 会发生什么情况?
2. 如何根据 I 、 U 、 P 的实验结果直接计算电感线圈的并联等值电路(图 4.3)的参数?
3. 如何判断被测阻抗是容性还是感性?
4. 对于纯电阻、电感和电容元件, 如何简化测量方式?

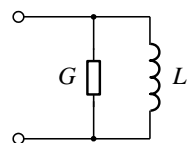


图 4.3
电感线圈的并联等值电路

七、终结报告要求

1. 计算任务 (1) 中滑线电阻 (作为固定电阻用) 的电阻 R 、电感线圈的等效参数 R_L 和 L 以及电容的等效参数 R_C 和 C , 并取两次结果的平均值作为最后的测量结果。
2. 计算实验任务 (2) 中的总阻抗 $|Z|$ 、 φ 的值, 并取其平均值。
3. 用任务 (1) 测得的参数代入下式计算阻抗

$$|Z|\angle\varphi = R_L + jX_L + \frac{R(jX_C)}{R + jX_C}$$

与任务(2)测量结果比较, 并计算 Z 的误差

$$|Z|\text{的相对误差} = \frac{|Z|_{\text{实测}} - |Z|_{\text{计算}}}{|Z|_{\text{实测}}} \times 100\%$$

$$\varphi\text{的绝对误差} = \varphi_{\text{实测}} - \varphi_{\text{计算}}$$

4. 以任务(2)电流 $I=1A$ 时实测的 \dot{U}_2 为参考相量, 用相量法计算并验证

$$|\dot{U}|_{\text{实测}} \approx |\dot{U}_1 + \dot{U}_2|_{\text{计算}}, \quad |\dot{I}|_{\text{实测}} \approx |\dot{I}_R + \dot{I}_C|_{\text{计算}}$$

5. 在坐标纸上画出 \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 、 \dot{U} 、 \dot{I} 、 \dot{I}_R 和 \dot{I}_C 的相量图(各量的正方向如图 4.2 所示)。
6. 实验结论与收获。

八、关于调压器的说明

调压器是用来把交流电压从额定值 220V 变为任意电压值(一般为 0~250V)的设备。图 4.4 是调压器的电路图及外型图。

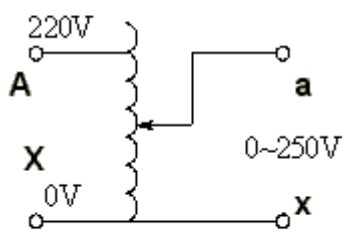


图 4.4 调压器的电路及外型图

在使用调压器时应首先看一下铭牌，搞清输入输出端、输出电压的调节范围和最大允许电流等。接线时不要把输入端和输出端接反，否则会造成电源短路或烧毁调压器。使用时还应养成如下的良好习惯：合闸前检查手柄是否在输出为零伏的位置；合闸后从零伏开始逐渐增大输出电压，并同时监视各仪表是否正常；实验读数完成后将手柄转回零伏位置。

实验五 R、L、C 串联电路的幅频特性和谐振现象

一、实验目的

1. 测量 RLC 串联电路的幅频特性；
2. 研究串联谐振现象及电路参数对谐振特性的影响。

二、实验说明

1. 电路中频率的改变会引起电抗的改变，从而引起阻抗的改变。如果维持电源电压不变，则电路中电流的大小会随频率而改变。

在 RLC 串联电路(见图 5.1)中，总的输入阻抗及电流为

$$Z = |Z| \angle \varphi = R + j(X_L + X_C) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$
$$I = \frac{U_i}{|Z|} = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

由此可以看出电流的大小随频率的变化关系。

2. 在某一频率下， $X_L = -X_C$ ，即 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ ，这时电流达到最大值 $I_0 = \frac{U_i}{R}$ 。这一现象称为“谐振”。此时的谐振角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

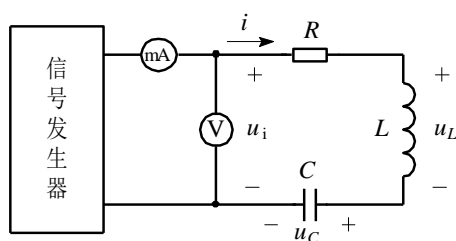


图 5.1 RLC 串联电路

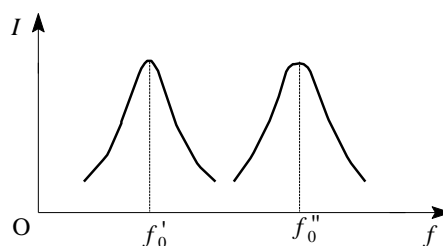


图 5.2 谐振曲线

图 5.1 是实验线路图，其中信号发生器作为电源，输出频率可变的正弦电压。

图 5.2 是两个电路的谐振曲线， LC 大的谐振频率小(f'_0)， LC 小的谐振频率大(f''_0)。

3. 从选择性来看，要求 $I(f)$ 曲线越尖锐越好，即在谐振频率附近，阻抗要灵敏地随频率而变化。常用品质因数 Q 来表示电路选择性的好坏。 Q 为谐振时电感电压 U_L 或电容电压 U_C 与电源电压之比，即

$$Q = \frac{U_L}{U_i} = \frac{U_C}{U_i} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$$

或

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{1}{\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_1}{\omega_0}}$$

式中, ω_1 和 ω_2 为谐振曲线上 $\frac{I}{I_0} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 的点所对应的角频率又称转折频率。(见图 5.3)。

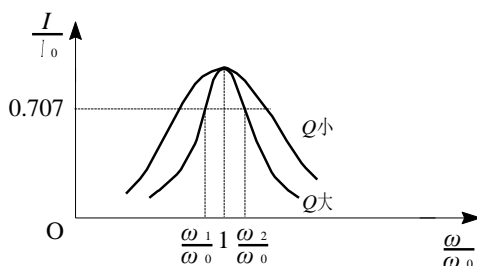


图 5.3 转折频率示意

三、实验任务

1. 预习任务

- (1) 熟悉数字毫伏表和信号发生器的使用方法。
- (2) 估算实验课任务中各组参数的谐振频率 f_0 及谐振时的电流 I_0 。

2. 实验课任务

- (1) 用图 5.1 线路测 RLC 串联电路的幅频特性 $I(f)$ 。测出谐振频率 f_0 、谐振时电流 I_0 、电容电压 U_{C0} 及电感电压 U_{L0} 。给定参数为: $R=5\Omega$, $C=0.5\mu\text{F}$, $L\approx 100\text{mH}$, 电源电压维持 1V 不变。数据表格自拟。
- (2) 改变电阻 R , 使 $R=80\Omega$, 其他参数同任务(1)。重复任务(1)。
- (3) 改变电容 C , 使 $C\approx 1\mu\text{F}$, 其他参数同任务(1)。测 f_0 、 I_0 、 U_{C0} 、 U_{L0} 。
- (4) 在实验箱分解电路输入端, 输入方波信号 $X_I(t)$, 频率 202Hz , 峰峰值 $V_{PP}=1\text{V}$, 用示波器观察输入、输出波形情况并记录。(条件 1. 将选频开关全部置 on, 2. 将合成开关置 on, 3. 将分解开关置 off)。

四、实验设备

谐波发生器	1 台
SM2030A 型双输入交流毫伏表	1 块
数字多用表	1 块
TPG1005T DDS 函数信号发生器	1 台
TBS-1202B 示波器	1 台

五、思考题

在 RLC 串联电路中, 谐振时电流最大, 问这时 U_L 、 U_C 是否最大? 若不是, 问频率 ω_C 为多少时 U_C 最大? 频率 ω_L 为多少时 U_L 最大? ω_C 、 ω_L 和 ω_0 有什么关系?

(提示: $\omega_C \omega_L = \omega_0^2$)。

六、终结报告要求

1. 根据 $Q = \frac{U_{C0}}{U_i}$ 及 $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}}$ 计算 Q 值。

R_{eq} 为输入端的等效电阻。本实验电路中除固定电阻 R 以外, 电感线圈的也有一定的电阻值, 所以总的等效电阻为:

$$R_{eq} = \frac{U_i}{I_0}$$

2. 画出任务 (1)、(2) 的电流谐振曲线 $I/I_0 \sim f$ 。
3. 推导 $Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$ 的表达式。
4. 实验结论。
5. 收获。

实验六 RC 电路频率特性的研究

一、实验目的

1. 研究 RC 电路的频率特性。
2. 初步了解文氏电路的应用，组成正弦波振荡器。
3. 练习用对数坐标作曲线。

二、实验说明

1. 文氏电路

在谐振实验里，研究了 RLC 电路的频率特性。本实验研究 RC 串并联选频电路(文氏电路)的频率特性，图 6.1(a)为文氏电路。在输入端输入幅度恒定的正弦电压 \dot{U}_i ，在输出端得到输出电压 \dot{U}_o ，分别表示为：

$$\dot{U}_i = U_i \angle \varphi_i, \quad \dot{U}_o = U_o \angle \varphi_o$$

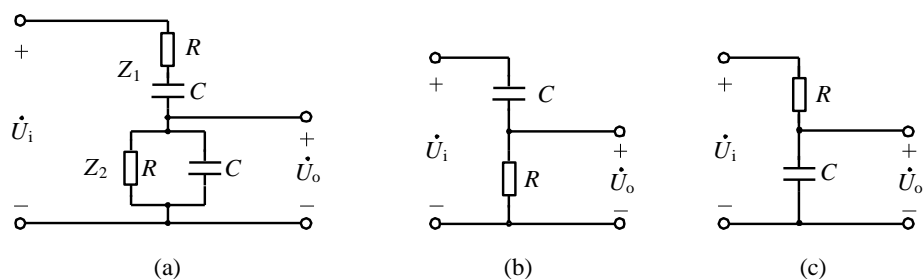


图 6.1 文氏电路及在低频、高频下的近似等效电路

当正弦电压 \dot{U}_i 的频率变化时， \dot{U}_o 的变化可从两方面来看。在频率较低的情况下，即当 $\frac{1}{\omega C} \gg R$ 时，图 6.1(a) 电路可近似成如图 6.1(b) 所示的低频等效电路。 ω 愈低， \dot{U}_o 的幅度愈小，其相位愈超前于 \dot{U}_i 。当 ω 趋近于 0 时， $|\dot{U}_o|$ 趋近于 0， $\varphi_o - \varphi_i$ 接近 $+90^\circ$ 。而当频率较高时，即当 $\frac{1}{\omega C} \ll R$ 时，图 6.1(a) 电路可近似成如图 6.1(c) 所示的高频等效电路。 ω 愈高， \dot{U}_o 幅度也愈小，其相位愈滞后于 \dot{U}_i 。当 ω 趋近于 ∞ 时， $|\dot{U}_o|$ 趋近于 0， $\varphi_o - \varphi_i$ 接近 -90° 。由此可见，当频率为某一中间值 f_0 时， \dot{U}_o 不为零，且 \dot{U}_o 与 \dot{U}_i 同相。

我们把输出电压和输入电压的比称为网络函数，记作 $H(j\omega) = |H(j\omega)|/\underline{\varphi}$ 。其

中 $|H(j\omega)| = \frac{U_o}{U_i}$ ， $\varphi = \varphi_o - \varphi_i$ 。 $|H(j\omega)|$ 和 φ 分别为电路的幅频特性和相频特性，它们的

曲线见图 6.2。当频率 $f=f_0=1/2\pi RC$ 时， $|H(j\omega)|$ 有极大值， $\varphi=0$ ，经过计算， $|H(j\omega)|$ 的最大值为 $1/3$ 。因此，这种电路具有选择频率的特点，它被广泛地用于 RC 振荡器的选频网络。

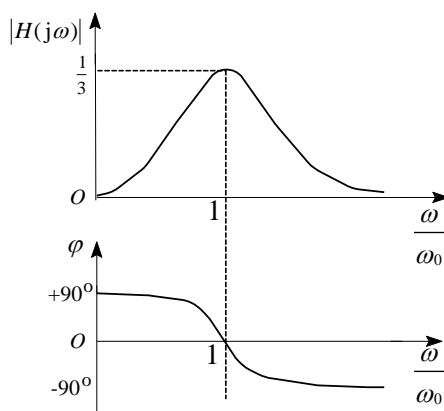


图 6.2 文氏电路的幅频特性和相频特性

2. 文氏电路 f_0 的测定

前面提到，当文氏电路的电源频率 $f=f_0=1/2\pi RC$ 时，其输入电压和输出电压之间的相位差为零，即 $\varphi=0$ ，因此 f_0 的测定就转化为输入电压和输出电压相位差的测定。

(1) 用示波器观察李萨育图形的方法定 f_0

我们知道，如果在示波器的垂直和水平偏转板上分别加上频率、振幅和相位相同的正弦电压，则在示波器的荧光屏上将得到一条与 X 轴成 45° 的直线。

实验线路如图 6.3 所示，给定 U_i 为某一数值，改变电源频率，并逐渐改变 X、Y 轴增益，使荧光屏上出现一条直线，此时的电源频率即为 f_0 。

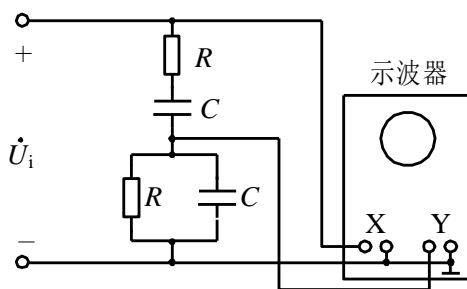


图 6.3 用示波器观察李萨育图形

(2) 用相位计测相位差的方法定 f_0

图 6.4 是用相位计测相位的实验接线示意图。在相位计的两对输入端分别接入 RC 网络的输入电压(电源电压)和输出电压, 此时相位计指示即为两个电压的相位差。调节输入电压的频率, 使相位计的读数为零。此时的电源频率即为 f_0 。此电路也是测量幅频特性和相频特性的实验电路。

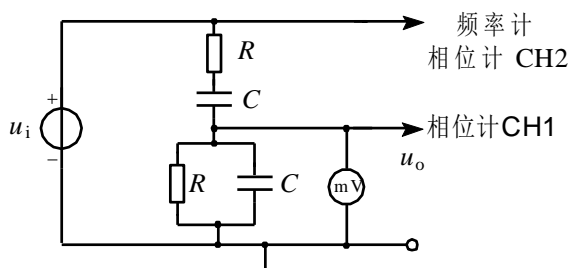


图 6.4 用相位计测相位的实验接线图

3. 利用文氏电路组成正弦波振荡器

RC 正弦波振荡器一般由选频网络、反馈网络和放大器组成。图 6.5 是由文氏电路和运算放大器构成的正弦波振荡器示意图。

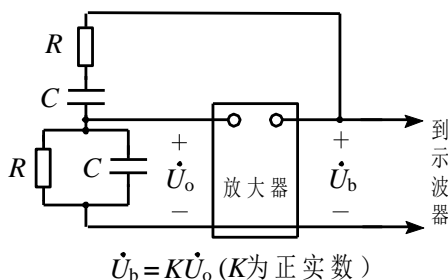


图 6.5 正弦波振荡器示意图

在电路满足相位平衡条件(反馈信号与输入信号同相), 幅值平衡条件 $\dot{A}\dot{F} \geq 1$ (其

中 \dot{A} 为放大器的放大倍数, \dot{F} 为反馈网络的反馈系数), 而放大器的工作点又正常的情况下, 即能产生正弦波振荡。

正弦波振荡器的起振是依靠电路中的选频网络, 从电路元件中的噪声电压或电源接通瞬时的过渡过程中选出符合相位平衡条件的振荡频率, 在满足起振条件 $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ 的情况下, 振荡幅度由小到大而建立起来的。振荡建立起来以后, 在 RC 串并联选频网络振荡电路中, 用负反馈电路来实现稳幅。即 $|\dot{A}\dot{F}|$ 由大于 1 变成等于 1, 使振荡稳定下来。通过理论计算, RC 串并联网络振荡电路中放大器的放大倍数为 $|\dot{A}| \geq 3$ 。

三、实验任务

1. 预习计算

(1) 根据给定参数 $C=0.047\mu\text{F}$ 和 $R=3.3\text{k}\Omega$, 计算 f_0 及此频率时的 $|H(j\omega)|$ 及 φ 。

(2) 画出测量频率特性的线路, 说明要测量哪几个物理量。输出端要接一台示波器, 监视电压波形使其保持正弦(以下各实验类似)。

2. 实验课任务(保持 $U_i = 3\text{V}$)

(1) 用示波器观察李萨育图形的方法定 f_0 , 并用交流毫伏表测 f_0 时的 U_i 、 U_o 。

(2) 测幅频特性 $|H(j\omega)|$ 及相频特性 φ 。建议测 10~15 个点, 频率由 $0.1f_0$ 到 $10f_0$ 。

(3) 利用文氏桥组成图 6.5 所示的正弦波振荡器。放大器的放大倍数 K 可以稍加调节, 调节放大倍数 K , 使示波器上出现正弦波形, 从示波器上读出此正弦波的频率, 用交流毫伏表测量放大器输入、输出电压。

四、实验设备

电路实验箱(文氏电路及放大器盒)	1 套
信号发生器	1 台
直流稳压电源	1 台
交流毫伏表	1 块
TBS-1202B 示波器	1 台

五、思考题

简述使用示波器的四要素, 并指明它们所对应的按键和旋钮?

六、终结报告要求

1. 用半对数坐标纸画 $|H(j\omega)| \sim f$ 及 $\varphi \sim f$ 曲线。
2. 说明由文氏桥组成的正弦波振荡器中, 振荡频率与电路参数的关系。
3. 实验结论。
4. 收获。

七、本实验中示波器使用说明

1. 观察李萨育图形操作步骤:

- (1) 打开电源开关。
- (2) 按下 CH1, CH2 开关, 分别将 CH1、CH2 的探头电压调节为衰减 $1\times$ 。
- (3) 根据屏幕右侧菜单调节 CH1, CH2 的位置为中间, 使屏幕中出现两条扫描线。
- (4) 根据屏幕下方显示调节 CH1, CH2 电压为 2V/div 左右, 时间为 $500\mu\text{s/div}$ 左右。
- (5) 接入两路正弦波形, 调节触发电平及触发菜单使波形稳定, 调节垂直和水平

旋钮将波形调整为合适大小。

(6) 按下“辅助功能”键，按下屏幕右侧的“辅助功能”菜单中的“显示”，在“显示”中找到“格式 YT”将其转换为“格式 XY”来观察李萨育图形。

(7) 可以通过调节“垂直”和“水平”的标度调节图形大小。

2. 用示波器中的测相位的功能测相位差：

(1) 打开电源开关。

(2) 按下 CH1, CH2 开关，分别将 CH1、CH2 的探头电压调节为衰减 $1\times$ 。

(3) 根据屏幕右侧菜单调节 CH1, CH2 的位置为中间，使屏幕中出现两条扫描线。

(4) 根据屏幕下方显示调节 CH1, CH2 电压为 $2V/div$ 左右, 时间为 $500\mu s/div$ 左右。

(5) 接入两路正弦波形，调节触发电平及触发菜单使波形稳定，调节垂直和水平旋钮将波形调整为合适大小。

(6) 按下“测量”。按下“测量”菜单中的“CH1”，转动“多功能旋钮”找到“相位”，按下“多功能旋钮”选择“CH1-CH2”。

实验七 三相电路

一、实验目的

1. 观察平衡星形负载(有中线或无中线时)的线电压 U_l 和相电压 U_p 在数值上的关系。
2. 观察不平衡星形负载(有中线时)中线电流 I_0 和三个线电流 I_l (即 I_p) 的关系。
3. 研究不平衡星形负载(无中线时)中点电压位移 ($U_{00'}$)。
4. 学习用电参数测量仪测量三相电路功率的方法。

二、实验说明

在三相电路中,负载的联接方式有星形联接和三角形联接。星形联接时根据需要可以采用三相三线制或三相四线制供电,三角形联接时只能用三相三线制供电。本实验只提供一个电参数测量仪,它可替代原有的电压表、电流表、功率表。钳型电流互感器钳在某线上可测该线电流,试笔触接到电路的不同位置可测出电路各部分的电压,配合电流互感器和试笔的不同位置可测量有关的功率,注意“同极性端”。

由于实验时还不清楚三根电源线的相序关系,可暂时先将它们分别标为 1、2、3,实验后即可根据实验结果决定它们的相序关系,也就是先设定一根电源线作为 A 相,然后再决定余下的两根电源线哪一根是 B 相,哪一根是 C 相。

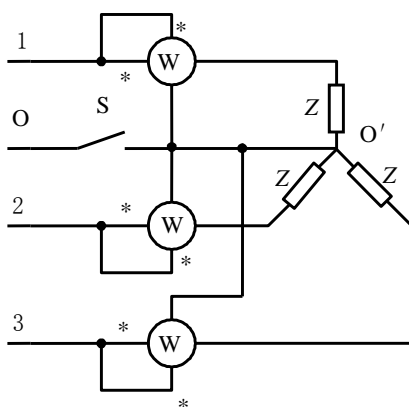


图 7.1 星型接法

三、实验任务

1. 预习任务:

画出星形负载三相电路的原理图, 并将电表画在图中。功率表要标出同极性端, 明确如何判断功率表的读出数值是正还是负。

2. 实验课任务:

实验中星型负载分为下列四种情况:

- (1) 平衡星形负载: 每相各为三个 100W 、 510Ω 的电阻并联。
- (2) 有中线的不平衡星形负载: 第一相为四个 100W 、 510Ω 的电阻并联, 第二相为三个 100W 、 510Ω 的电阻并联, 第三相为两个 100W 、 510Ω 的电阻并联。
- (3) 无中线的不平衡星形负载: 负载分布如(2)所述, 断开中线。
- (4) 无中线的不平衡星形负载: 第一相为 $6\mu\text{F}$ 的电容, 第二、三相各为两个 100W 、 510Ω 的电阻并联。

实验任务如下:

- (1) 对以上四个电路, 都要求测出三个线电压 U_{12} 、 U_{23} 、 U_{31} ; 三个相电压 $U_{10'}$ 、 $U_{20'}$ 、 $U_{30'}$; 三个线电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。此外, 对第一、二个电路要求测出中线电流 I_0 , 对第三、四个电路要求测出中点位移电压 $U_{00'}$ 。
- (2) 对第四个电路用三表法测三相功率 $P_{10'}$ 、 $P_{20'}$ 、 $P_{30'}$, 以及用二表法(分别以 1、2、3 相为公共端接线测三次)测三相总功率, 并核算两种方法测量的结果。
- (3) 选做: 对第二个电路用三表法测三相功率 $P_{10'}$ 、 $P_{20'}$ 、 $P_{30'}$, 以及用二表法测出功率 $P_{13}+P_{23}$, 并核对 $P_{10'}+P_{20'}+P_{30'}$ 是否等于 $P_{13}+P_{23}$ 。如不等, 加测 $P_{0'3}$, 结果如何?
- (4) 观察实验: 无中线的不平衡星形负载(相序仪): 第一相为 $0.5\mu\text{F}$ 电容, 第二、三相各为一个 220V 、 60W 的灯泡。观察灯泡的亮度, 从而判断出电源的相序, 即 1、2、3 三条线各相当于 A、B、C 三相中的哪一相。

四、实验设备

三相负载电阻箱	1 个
电容箱	1 个
电参数测量仪	1 台

五、思考题

1. 对于上述四种负载情况, 哪些电路满足 $U_1 = \sqrt{3}U_p$ 的数值关系? 第二个电路的负载是不平衡的, 为什么仍满足 $U_1 = \sqrt{3}U_p$ 的关系? 第三个电路和第二个电路的负载情况相同, 为何 $U_1 \neq \sqrt{3}U_p$?

2. 核算第二个电路中的 I_0 是否满足和 $I_1+I_2+I_3$ 相等。核算第四个电路二功率表法和三功率表法所测出的三相总功率是否相等。

3. 用电参数测量仪测功率时，如何判断同名端？

4. 照明负载用三相四线制，中线上是否装保险丝？为什么？

六、终结报告要求

1. 计算第四个电路的中点位移电压和三个相电压，并与实验结果作比较。

实验中的三相电源实际上略有不平衡，为计算简单，可以将它们看作是由数值为

$$|U_p| = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} \text{、相位相差 } 120^\circ \text{ 的三个相电压组成的平衡三相电源。}$$

2. 用圆规和直尺作无中线星形负载实验结果中电压的位形图(比例尺大约为 1cm 相当于 20V 比较合适，位形图上不必画箭头)。

3. 实验结论

4. 收获。

七、三相负载电阻箱

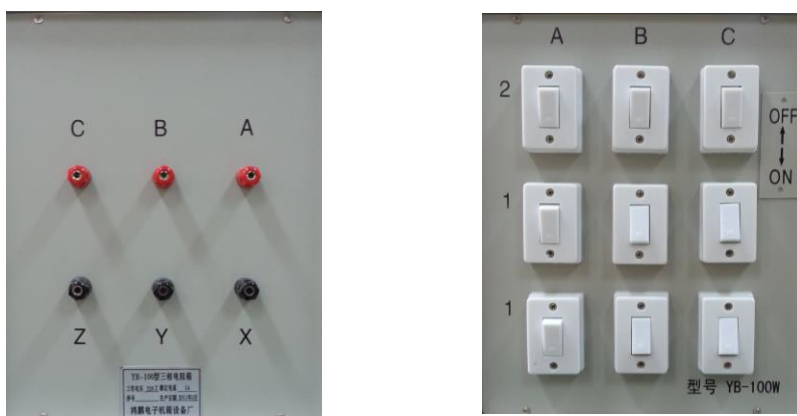


图 7.2 三相负载电阻箱的前后面板

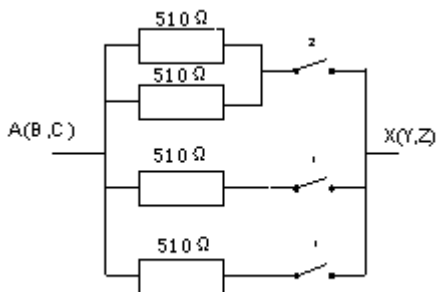


图 7.3 三相负载电阻箱内部连接

实验八 电路过渡过程的研究

一、实验目的

1. 研究 RC 微分电路和积分电路的过渡过程；
2. 研究 RLC 二阶电路的过渡过程。

二、实验说明

1. 用示波器研究微分电路和积分电路

(1) 微分电路在脉冲技术中有广泛的应用。在图 8.1 电路中，

$$u_o = Ri = RC \frac{du_C}{dt} \quad (1)$$

即输出电压 u_o 与电容电压 u_C 对时间的导数成正比。当电路的时间常数 $\tau = RC$ 很小、 $u_C \gg u_o$ 时，输入电压 u_i 与电容 u_C 电压近似相等

$$u_i \approx u_C \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得

$$u_o \approx RC \frac{du_i}{dt} \quad (3)$$

即当 τ 很小时，输出电压 u_o 近似与输入电压 u_i 对时间的导数成正比，所以称图 8.1 所示电路为“微分电路”。

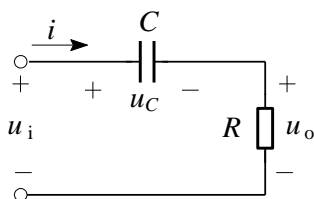


图 8.1 微分电路

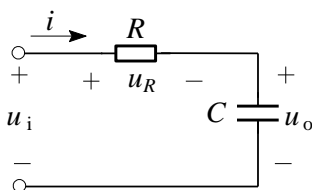


图 8.2 积分电路

(2) 积分电路。将图 8.1 电路中的 R 、 C 位置对调，就得到图 8.2 电路。电路中

$$u_o = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int \frac{u_R}{R} dt = \frac{1}{RC} \int u_R dt \quad (4)$$

即输出电压 u_o 与电阻电压 u_R 对时间的积分成正比。

当电路的时间常数 $\tau = RC$ 很大、 $u_R \gg u_o$ 时，输入电压 u_i 与电阻电压 u_R 近似相等，即

$$u_i \approx u_R \quad (5)$$

将式(5)代入式(4)得

$$u_o \approx \frac{1}{RC} \int u_i dt \quad (6)$$

即当 τ 很大时, 输出电压 u_o 近似与输入电压 u_i 对时间的积分成正比, 所以称图 8.2 所示电路为“积分电路”。

2. RLC 电路的过渡过程。

(1) 将图 8.3 电路接至直流电压, 当电路参数不同时, 电路的过渡过程有不同的特点:

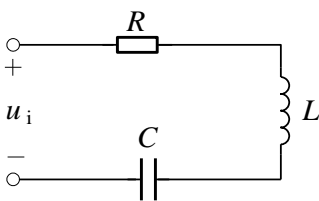


图 8.3

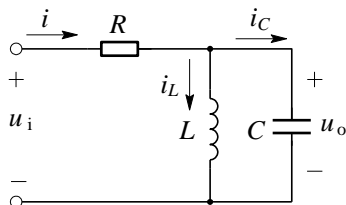


图 8.4

当 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 过渡过程中的电压、电流具有非周期的特点。

当 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 过渡过程中的电压、电流具有“衰减振荡”的特点: 此时衰减系数 $\delta = \frac{R}{2L}$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 是在 $R=0$ 情况下的振荡角频率, 习惯上称为无阻尼振荡电路的固有角频率。在 $R \neq 0$ 时, 放电电路的固有振荡角频率 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ 将随 $\delta = \frac{R}{2L}$ 的增加而下降。

当电阻 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 有 $\delta = \omega_0$, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 0$, 过程就变为非振荡性质了。

(2) 将图 8.4 电路接至直流电压, 当电路参数不同时, 其过渡过程也有不同的特点:

当 $R < \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 响应是非振荡性质的;

当 $R > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 响应将形成衰减振荡, 这时电路的衰减系数 $\delta = \frac{1}{2RC}$ 。

3. 如何用示波器观察电路的过渡过程

电路中的过渡过程, 一般经过一段时间后便达到稳态。由于这一过程不是重复的, 所以无法用普通的阴极示波器来观察(因为普通示波器只能显示重复出现的、即周期

性的波形)。为了能利用普通示波器研究一个电路接到直流电压时的过渡过程,可采用下面方法。

在电路上加一个周期性的“方波”电压(图 8.5)。它对电路的作用可以这样来理解:在 t_1 、 t_3 、……等时刻,输入电压跳变为 $\frac{1}{2} U_0$,这相当于使电路突然与一个直流电压 $\frac{1}{2} U_0$ 接通;在 t_2 、 t_4 、……等时刻,输入电压又由 $\frac{1}{2} U_0$ 跳变为 $-\frac{1}{2} U_0$,这相当于使电路输入端突然与一个直流电压 $-\frac{1}{2} U_0$ 接通。由于不断地使电路接通 $\frac{1}{2} U_0$ 与 $-\frac{1}{2} U_0$,电路中便出现重复性的过渡过程,这样就可以用普通示波器来观察了。如果要求在方波作用的半个周期内,电路的过渡过程趋于稳态,则方波的周期应足够大。

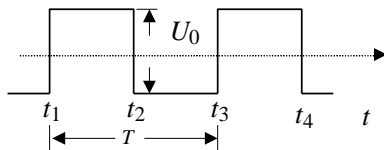


图 8.5 “方波”电压

三、实验任务

1. 预习任务

(1) 已知图 8.1 电路中, u_i (方波脉冲)的周期 $T=1\text{ms}$, 电阻 $R=10\text{k}\Omega$, 计算 $\tau=0.02T$, $\tau=0.1T$, $\tau=T$, $\tau=10T$ 四种情况下的电容值。画出 $\tau=0.02T$ 及 $\tau=10T$ 两种情况下稳态时输出电压的波形(画两个周期)。

(2) 已知图 8.2 电路中, u_i (方波脉冲)的周期 $T=1\text{ms}$, 电阻 $R=10\text{k}\Omega$, 计算 $\tau=5T$, $\tau=0.1T$ 时两种情况下的电容值。画出 $\tau=5T$ 时输出电压稳态时的波形(画两个周期)。

(3) 已知图 8.3 所示的 RLC 串联电路中, $L=0.5\text{H}$, $C=0.1\mu\text{F}$, 输入信号为 10ms 的方波脉冲, 定性画出 $R=1\text{k}\Omega$ 及 $R=6\text{k}\Omega$ 两种情况下 u_C 的波形。

2. 实验任务

(1) 按图 8.1 接线, $R=10\text{k}\Omega$, 接入 $T=1\text{ms}$ 的方波脉冲, 观察并描绘 $\tau=0.02T$, $\tau=0.1T$, $\tau=T$, $\tau=10T$ 四种情况下 u_i 及 u_o 的波形。

(2) 按图 8.2 接线, $R=10\text{k}\Omega$, 接入 $T=1\text{ms}$ 的方波脉冲, 观察并描绘 $\tau=5T$, $\tau=0.1T$ 两种情况下 u_i 及 u_o 的波形。

(3) 按图 8.3 电路接线, $L=0.5\text{H}$, $C=0.1\mu\text{F}$, 接入 $T=10\text{ms}$ 的方波脉冲, 观察并描绘 $R=1\text{k}\Omega$ 及 $R=6\text{k}\Omega$ 两种情况下的 u_o 波形。记录必要的的数据, 以便决定衰减系数和振

荡频率。

(4) 按图 8.4 电路接线, $L=0.5\text{H}$, $C=0.1\mu\text{F}$, 接入 $T=10\text{ ms}$ 的方波脉冲, 观察并描绘 $R=3\text{ k}\Omega$ 及 $R=500\text{ }\Omega$ 两种情况下的 u_o 波形。记录必要的数, 以便决定衰减系数和振荡频率。

四、实验设备

双踪示波器	1 台
信号发生器	1 台
电容箱	1 个
电阻箱	1 个
电感线圈	1 个

五、思考题

对比图 8.3 和图 8.4 两个电路的特性, 电路元件的参数对电路响应的影响有什么不同?

六、终结报告要求

1. 将实验任务(1)、(2)、(3)、(4)中记录的波形整理在方格纸上。
2. 总结微分电路和积分电路的区别。
3. 实验任务(1)中有哪些与预习分析有差异的现象, 如何分析?
4. 根据实验任务(3)中取得的数据, 求出衰减系数 δ 和阻尼振荡角频率 ω_d , 再根据 R 、 L 、 C 参数算出 δ 和 ω_d , 并进行比较。
5. 根据实验任务(4)中取得的数据, 求出衰减系数 δ 和阻尼振荡角频率 ω_d , 再根据 R 、 L 、 C 参数算出 δ 和 ω_d , 并进行比较。
6. 实验结论
7. 收获。

七、说明

由衰减振荡曲线 $f(t) = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_d t + \theta)$ 的图形决定衰减系数 δ 和振荡频率 ω_d 的方法(见图 8.6), T 可以直接从示波器上读出, 则

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T}$$

又衰减振荡曲线相邻两个最大值的比有如下关系,

$$\frac{U_{m1}}{U_{m2}} = e^{\delta T}$$

由此算得

$$\delta = \frac{1}{T} \ln \frac{U_{m1}}{U_{m2}}$$

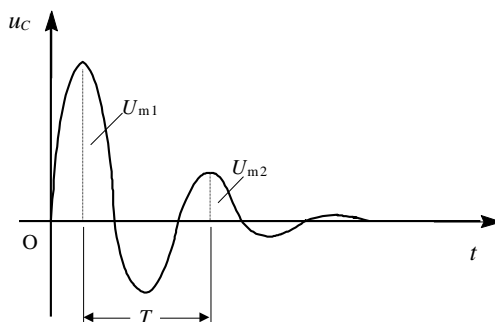


图 8.6 衰减振荡曲线

实验九 用模拟计算机求电路方程的解

一、实验目的

学习用模拟计算机进行电模拟运算。

二、实验说明

模拟计算机是由含运算放大器的基本运算部件组成的，它可以对模拟量进行运算。将一些基本运算部件按要求连接起来，使模拟计算机电路的输出方程和所要研究的某系统的输出变量的微分方程完全相同。这样，模拟计算机电路输出变量的动态过程就是所研究系统的微分方程的解答。

1. 常用的基本运算部件

常用的基本运算部件有比例器、比例求和器、积分器和积分求和器，见图 9.1～图 9.4 所示。

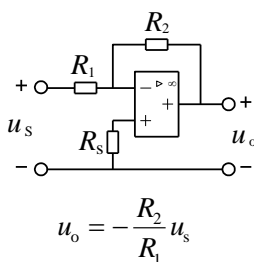


图9.1 比例器

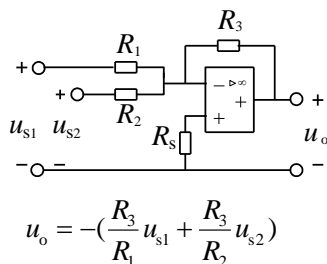


图9.2 比例求和器

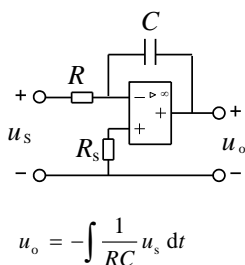


图 9.3 积分器

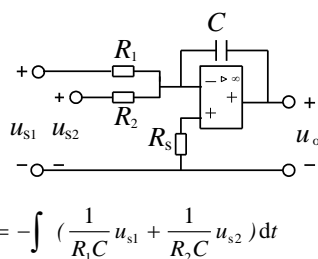


图 9.4 积分求和器

2. 说明

设某系统以输出变量 y 描述的方程是一个四阶常系数线性微分方程，如下

$$\frac{d^4 y}{dt^4} + a \frac{d^3 y}{dt^3} + b \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ey = f E$$

式中 a 、 b 、 c 、 e 、 f 是常数； E 是输入直流电压。

(1) 设计模拟计算机电路框图如图 9.5 所示。

将上式改写为

$$\frac{d^4 y}{dt^4} = -a \frac{d^3 y}{dt^3} - b \frac{d^2 y}{dt^2} - c \frac{dy}{dt} - ey + f E \quad (1)$$

将上式等号两边积分，得

$$\frac{d^3 y}{dt^3} = \int (-a \frac{d^3 y}{dt^3} - b \frac{d^2 y}{dt^2} - c \frac{dy}{dt} - ey + f E) dt \quad (2)$$

由方程式(2)可见，将方程式(1)等号右边五项求和后积分就得到 $\frac{d^3 y}{dt^3}$ ，这个运算可由积分求和器实现。再将 $\frac{d^3 y}{dt^3}$ ， $\frac{d^2 y}{dt^2}$ ， $\frac{dy}{dt}$ 依次积分可得 $\frac{d^2 y}{dt^2}$ ， $\frac{dy}{dt}$ ， y 。该功能可由三个积分器分别来实现。比例求和器完成了 $(-b \frac{d^2 y}{dt^2} - ey)$ 的运算。图 9.5 即是能完成方程式(1)模拟运算的模拟计算机电路框图，参数的选择如图 9.5 中所示。

应注意运算放大器若用反相输入端情况下，则输入和输出之间有反相的关系。运算放大器工作时，其同相输入端“+”与地之间应接电阻，阻值为反相输入端所接全部电阻的并联值。

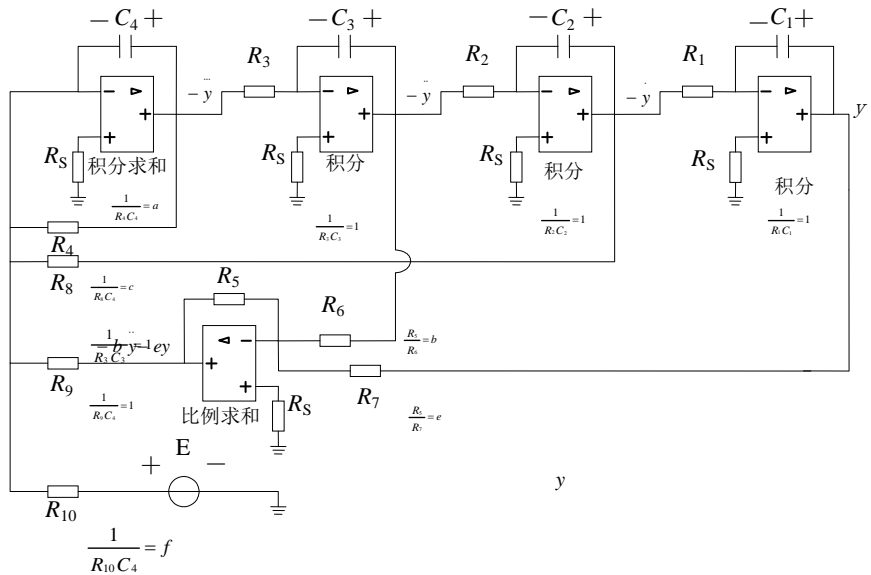


图 9.5 完成式(1)模拟运算的模拟计算机电路框图

(2) 起始值 $y(0)$, $\dot{y}(0)$, $\ddot{y}(0)$ 的设置

$$(\dot{y} = \frac{dy}{dt}, \ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \dddot{y} = \frac{d^3 y}{dt^3})$$

由于运算放大器“+”端和“-”端电位相同（虚短路）。由图 9.5 得

$$y(t) = u_{c1}(t)$$

$$\dot{y}(t) = -u_{c2}(t)$$

$$\ddot{y}(t) = u_{c3}(t)$$

$$\dddot{y}(t) = -u_{c4}(t)$$

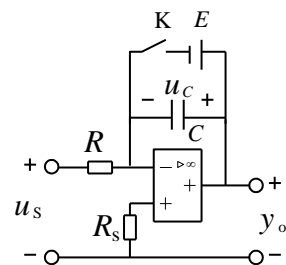


图 9.6 起始值设置电路

在 $t = 0$ 瞬间

$$y(0) = u_{c1}(0)$$

$$\dot{y}(0) = -u_{c2}(0)$$

$$\ddot{y}(0) = u_{c3}(0)$$

$$\dddot{y}(0) = -u_{c4}(0)$$

由上式可见，只要在电容上设置起始条件即可。

例如 $y(0) = E$ ，则可如图 9.6 设置起始值。图中 K 为常开触点，由按钮控制。当按下按钮时触点(开关)闭合，使 $u_c = E$ ，当按钮松开(设 $t = 0$)时，触点打开，动态过程开始，保证了 $u_c(0) = E$ 。其他初始条件可照此设置，不再赘述。

(3) 时间比例尺的应用

模拟机所模拟的动态过程有快有慢，对于过渡过程时间大于 30 秒的慢过程，测量仪器可以用电压表和秒表；对于过程时间较短的快过程，则须使用专用仪器：录波仪或光线示波器等进行测量。也可用时间比例尺把快过程的微分方程变为慢过程的方程，然后用电压表及秒表测量测完后对实验结果进行处理。

设快过程的微分方程为

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a \frac{dy}{dt} + by = cE \quad (3)$$

如果想把过渡过程时间放慢 K 倍，则设

$$t = \frac{\tau}{K}$$

代入方程(3)，得到慢过程的微分方程为

$$\frac{d^2 y}{d\tau^2} + a' \frac{dy}{d\tau} + b'y = c'E \quad (4)$$

其中 $a' = \frac{a}{K}$, $b' = \frac{b}{K^2}$, $c' = \frac{c}{K^2}$ 。

将方程(4)实验结果中的时间除以 K , 即为方程(3)的实验结果。

三、实验任务

1. 预习计算

给定三个系统的微分方程和起始条件分别为

$$\ddot{y} + 0.2\dot{y} + 0.25y = 0.25E \quad (5)$$

初值 $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$, 电压源 $E = 1.5V$

$$\ddot{y} + 20\dot{y} + y = 0 \quad (6)$$

初值 $y(0) = 1.5V$, $\dot{y}(0) = 0$

$$\ddot{y} + 2\dot{y} + 25y = 0 \quad (7)$$

初值 $y(0) = 1.5V$, $\dot{y}(0) = 0$

(1) 计算方程(5)中 $y(t)$ 的解析表达式。并计算出前三个极值点的数值及到达极值点和 $1.5V$ 点的时间。

(2) 计算方程(6)中 $y(t)$ 的解析表达式, 并计算出 $y(t)$ 为 $1.5V$, $1.3V$, $1.1V$, $0.9V$, $0.7V$ 和 $0.5V$ 对应的时间 t 。

(3) 使用时间比例尺(令 $K=10$), 将快过程的微分方程(7)变为慢过程的方程, 计算该方程中的 $y(t)$ 的表达式, 并计算出前三个极值点的数值及到达极值点和 $0V$ 点的时间。

(4) 给定 $C_1 = C_2 = 1 \mu F$, 确定其他元件的参数, 分别画出求解微分方程式(5)、式(6)慢过程方程解的模拟计算机电路框图。

2. 实验课任务

(1) 检查各运算放大器的性能。可用图 9.7 跟随器电路完成。

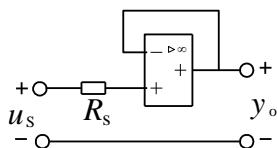


图 9.7 跟随器

(2) 组成方程(5)的模拟机电路，设置初始条件，在输出端接示波器，垂直标度设为 0.5V/div ，水平标度设为 5s/div ，按动“运行/停止”键，使记录波形完整地保持机在荧光屏上，配合使用示波器的光标功能，绘制 $y(t)$ 波形并记录数据。(应记录极值点的数值及到达极值点和 1.5V 点的时间)。

$y(t)$ (V)	0	1.5	$y_{\max 1}(\quad)$	1.5	$y_{\min 2}(\quad)$	1.5	$y_{\max 3}(\quad)$	1.5
t_1 (s)								

(3) 组成方程(6)的模拟机电路，设置初始条件，记录绘制 $y(t)$ 的波形所需的数据(由初始值 1.5V 起取点记录时间，直至 0.5V)

(4) 组成慢过程方程的模拟机电路，设置初始条件，记录绘制 $y(t)$ 波形的数据。(应记录极值点的数值及到达极值点和 0V 点的时间)。

四、实验设备

模拟机实验箱	1 个
数字万用表（检查线路用）	1 台
稳压电源	1 台
数字示波器	1 台

五、思考题

1. 在模拟计算机中，如何设置初始条件 $x(0)=1.5\text{V}$ ， $\dot{x}(0)=0$ ？（ 1.5V 由稳压电源供给）
2. 为测响应 y ，示波器应接在电路中什么地方？

六、注意事项

1. 运算放大器所需电源已接入放大器电路。
2. 在接线过程中，用万用表的欧姆档检查连线的通短。
3. 模拟机实验箱上有二排标为 1、2、3 的接线端子，旁边有一个按钮。它是一组由按钮控制的常开和常闭开关，开关状态如图 9.8 所示，当不按按钮时，开关状态为 (a) 图，按下按钮时，开关状态为 (b) 图。可用万用表的欧姆档检查各接线端子的状态。

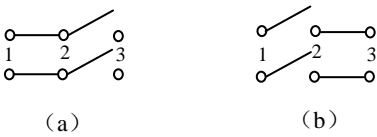


图 9.8 开关状态

七、实验报告要求（自己设计数据处理表格）

1. 对于欠阻尼过程

(1) 根据实验结果求出该系统的衰减系数 $\delta_{\text{实}}$ 和阻尼振荡角频率 $\omega_{\text{实}}$ （方法可参见实验八电路过渡过程的研究的说明）。

(2) 计算三个极值点 $y(t)$ 的相对误差。

$$\beta = \frac{y_{\text{理}} - y_{\text{实}}}{y_{\text{实}}}$$

(3) 在方格纸上定性画出 $y(t)$ 的波形。

2. 对于过阻尼过程

分别计算实验测得的 t 时刻的 $y(t)$ 的理论值，并计算相对误差。

八、示波器使用步骤

1. 打开电源开关。

2. 按一下“自动设置”键。

3. 调节“垂直标度”旋钮，将垂直倍率设为 0.5V/DIV。

4. 调节“水平标度”旋钮，将水平扫描时间设为 5S/DIV。

5. 将通道 1 的探头夹子连接在被测量处，按两次“运行/停止”键。

6. 当观察到水平扫描线由左向右的出现在荧光屏上时，按动（或释放）模拟计算机上的开关按键。

7. 当被测量的波形完全被记录在荧光屏上时，按一次“运行/停止”键，以便将被记录波形完整地保持在荧光屏上。

8. 按“光标”键并应用光标菜单键选择测量电压或时间。

模拟机面板布置图如图 9.9 所示。

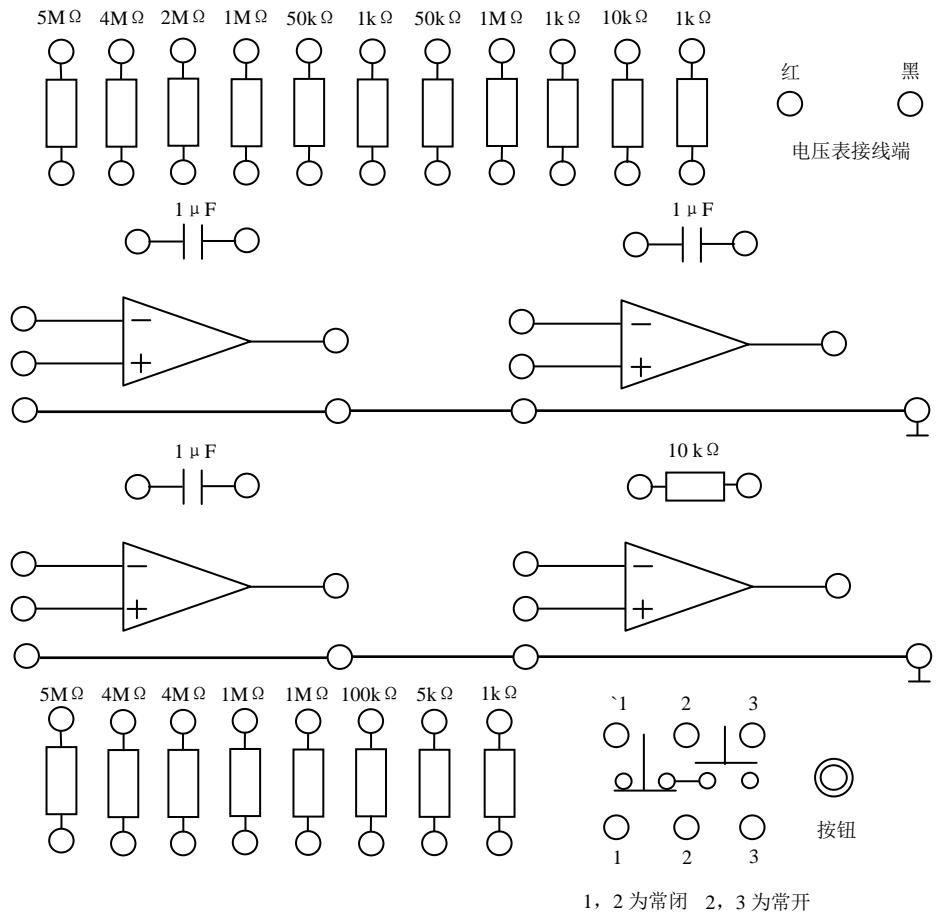


图 9.11 模拟机面板布置图

实验十 电路原理的实验设计

A 类 给《电路原理实验》增加选做实验

实验内容：

给已有的《电路原理实验》增加选做内容，自己设计线路及电路参数并完成实验。新增部分应该与原有的实验相关联并采用原实验的仪器设备，应具有一定的技巧性。可以参考《电路原理》课程中的习题。

B 类 实验内容可涉及以下 6 个方面

1. 利用微安 (μA) 表和电路元件的各种串并联电路，设计一个测量仪器（测量目标自行选择）。
 2. 非线性电路的研究。（非线性元件的伏安特性的测量及研究、非线性振荡、混沌及分岔）
 3. 滤波器电路的研究 低通、高通、带通、带阻。（RC、RLC、有源、开关电容）
 4. 波形的分解与合成：
 - a) 周期信号分解为正弦波（利用变压器产生的高次谐波）。
 - b) 占空比不同的矩形波，测量各次谐波的幅值及总有效值。
 5. 电网中的谐波的产生及相应的消除方法。
 6. 感性负载，非线性负载对功率因数的影响及功率因数的提高方法。
- ***也可以自选《电路》课及有关的内容作题目***

C 类 研究实验

研究流程

一、查阅资料

了解目前国内外电路原理研究的动态，确定研究的目的、意义及研究的范围。

二、立题：（电路原理和电路原理实验课所含内容）

确立要研究的课题，立题的基本原则是：

1. 目的性、应用性：通过该研究工作究竟要解决什么问题，题目不要过繁过大，能解决 1—2 个问题即可。
2. 创新性：他人未解决或有待改进，尚未得出结论的问题。可以通过研究提出新的电路、新实验技术、新的方法、对原有技术提出补充或修改。
3. 科学性、可行性：对所研究的课题，首先要有一个设想，然后设计实验去证实

设想是否正确。

三、实验设计

实验设计就是研究计划和实验实施方案的制定及实验方法的确立。必须根据所立课题的目的要求、预期结果，结合专业和统计学的要求，制定出相应的实验内容、实验电路、实验方法和实验仪器设备。

1. 实验设计的内容

(1) 实验的方案、计划及技术路线

(2) 实验方法与实验步骤

主要是进行实验的具体方法和步骤，同一个实验也可选用几种方法进行预实验，最后确定一个最合适的方法。

(3) 所需的仪器和设备

2. 实验设计的要求

(1) 应在电路原理理论的基础上，通过阅读相关文献或根据以往电路原理实验中所观察到的现象或从电路原理课程习题中产生的问题来选定研究题目。

(2) 立题后对该课题有关的基本理论继续深入学习，认真推敲，制定出合理的实验方案，确保完成该课题各项目标。

(3) 在设计实验方案时，应根据实验室所提供的仪器设备并根据自己所学的知识和对查阅资料的深入了解，制定切实可行的实验方案，尽量采用简易的实验方法。

四、实验过程

1. 实验观察、记录：记录的方式可以是文字、数字、表格、图形、照片或录像等。结果的记录必须做到系统、客观、真实和准确，特别要注意原始记录的原始性和真实性。

2. 实验结果的分析：处理原始数据时，必须坚持真实性、客观性的原则，根据实验结果去修正假说得出正确结论。

3. 实验结果的表示方法：可以以表格、变化的曲线、柱形图、照片和录像的方式表达实验结果。

五、研究（实验）的结论

科学研究经过立题、实验设计、实验、获得原始数据、数据分析处理，就可以根据处理好的数据得出结论，这个结论要对原提出的假说和预期的目的做出说明，同时要对实验中出现的问题或发生的新现象，并参照收集到的资料进一步做出理论解释、说明，结论的内容必须严谨、精练、准确。

实验指导书的书写格式如下：

一、实验目的

(1) 通过实验了解基本原理。

(2) 学会使用实验所需的仪器

二、实验原理与说明：陈述实验的理论和基本原理

三、实验任务与方法：分步列出详细的实验任务内容、实验电路和实验方法

四、所需仪器及仪器的使用方法：开列出实验所需的所有器材、包括测试仪器及元件；并编写使用仪器的简易使用说明书。

五、问题与思考：根据实验内容、实验过程和实验资料数据提出有关的问题，引导学生得出实验的结论

六、注意事项：在实验中应该特别引起注意的事项，如人身安全，仪器安全等方面。

七、报告要求：提出对实验报告在格式，内容的要求。

交报告时间及要求

实验报告应在 16 周以前交给任课教师。

完成实验的原始数据应有开放实验室老师的签字，并附于报告后。

做实验地点：

仪器与计量开放实验室（中央主楼 3 楼 320，正对东边楼梯）电话：62782536

开放实验室开放时间：

1~18 周，周一~周五

上午 9: 00~12: 00，下午 2: 30~6: 00，晚上 7: 00~10: 00

实验小组人员限定：

每组 1~3 人

附录 1 DP832 可编程线性直流电源使用说明书

一、概述

DP832是一款高性能的可编程线性直流电源。拥有清晰的用户界面，优异的性能指标，多种分析功能，多种通信接口，可满足多样化的测试需求。

主要特色： 人性化设计：

- 3.5英寸的TFT显示屏，可同时显示多个参数和状态
- 支持中英文界面及中英文输入
- 新颖精巧的工业设计，便捷的操作
- 具有波形显示功能，能够实时动态的显示输出电压/电流波形，配合数字显示的电压、电流和功率值，使用户对仪器的输出状态和趋势一目了然
- 具有表盘显示功能，模拟传统电源显示方式，用表盘指针指示当前输出状态
- 具有在线帮助系统，方便获取帮助信息

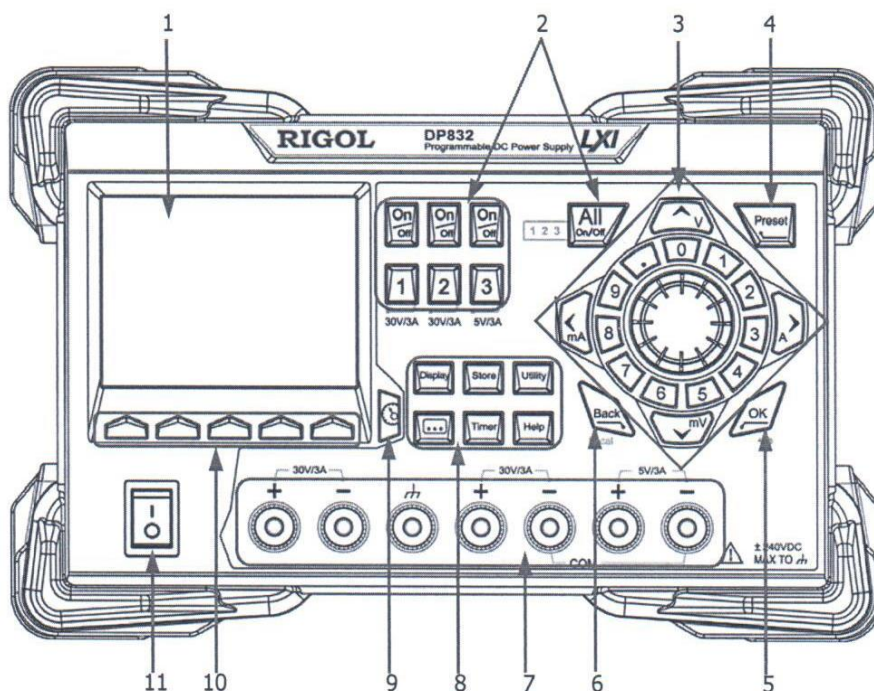


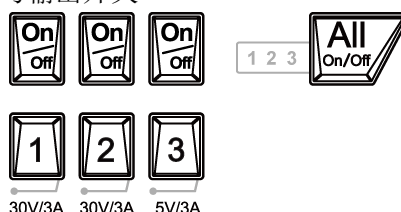
图 1 DP832 可编程线性直流电源前面板






二、面板说明

1. LCD

3.5英寸的TFT显示屏，用于显示系统参数设置、系统输出状态、菜单选项以及提示信息等。

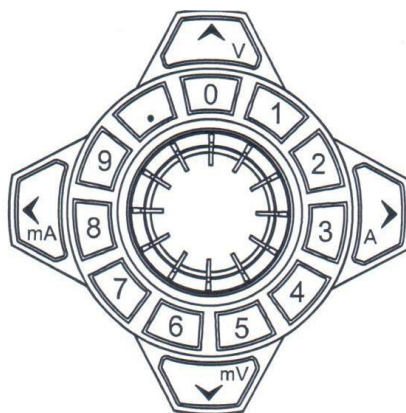
2. 通道（档位）选择与输出开关



-  按下该键，选择通道 1 为当前通道并可设置该通道的电压、电流、过压 / 过流保护等参数。
-  按下该键，选择通道 2 为当前通道并可设置该通道的电压、电流、过压 / 过流保护等参数。
-  按下该键，选择通道 3 为当前通道并可设置该通道的电压、电流、过压 / 过流保护等参数。
-  按下该键，可打开或关闭对应通道的输出。
-  按下该键，仪器弹出是否打开所有通道输出的提示信息，按确认可打开所有通道的输出。再次按该键，关闭所有通道的输出。

3. 参数输入区

参数输入区如下图所示，包括方向键（单位选择键）、数字键盘和旋钮。



(1) 方向键和单位选择键

方向键：用于移动光标位置；设置参数时，可以使用上/下方向键增大或减小光标处的数值。单位选择键：使用数字键盘输入参数时，用于选择电压单位（V、mV）或电流单位（A、mA）。

(2) 数字键盘

圆环式数字键盘：包括数字0-9和小数点，按下按键，可直接输入数字或小数点。

(3) 旋钮

设置参数时，旋转旋钮可以增大或减小光标处的数值。浏览设置对象（定时参数、延时参数、文件名输入等）时，旋转旋钮可以快速移动光标位置。

4.

用于将仪器所有设置恢复为出厂默认值，或调用用户自定义的通道电压，电流配置。

5.

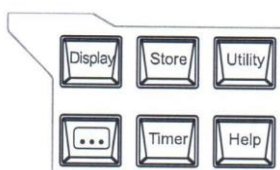
用于确认参数的设置。

6.

用于删除当前光标前的字符。

7. 输出端子

8. 功能菜单区




按下该键进入显示参数设置界面，可设置屏幕的亮度、对比度、颜色亮度、显示模式和显示主题。此外，您还可以自定义开机界面。



按下该键进入文件存储与调用界面，可进行文件的保存、读取、删除、复制和粘贴等操作。存储的文件类型包括状态文件、录制文件、定时文件、延时文件和位图文件。仪器支持内外部存储与调用。



按下该键进入系统辅助功能设置界面，可设置远程接口参数、系统参数、打印参数等。此外，您还可以校准仪器、查看系统信息、定义  键的调用配置、安装选件等。



按该键进入高级功能设置界面，可设置录制器、分析器（选件）、监测器（选件）和触发器（选件）的相关参数。



按下该键进入定时器与延时器界面，可设置定时器和延时器的相关参数以及打开和关闭定时器和延时器功能。



按下该键打开内置帮助系统，按下需要获得帮助的按键，可获取相应的帮助信息。

9. 显示模式切换键



可以在当前显示模式和表盘模式之间进行切换。

10. 菜单键



与其上方的菜单一一对应，按下任一菜单键选择相应菜单。

11. 电源开关键

三、操作说明

DP832 电源提供如下三种输出模式：恒压输出（CV）、恒流输出（CC）和临界模式（UR）。1. 恒压输出



(1) 连接通道输出端子 将负载与相应通道的前面板通道输出端子连接。

(2) 打开电源开关键，启动仪器。

(3) 选择通道 根据需要输出的电压值，选择合适的输出通道。按对应的通道选择键，此时，显示屏突出显示该通道、通道编号、输出状态及输出模式。



(4) 设置电压

方法1 按 **电压** 菜单键，使用左/右方向键移动光标位置，然后旋转旋钮快速设置电压值，默认单位为V。选择需要设置的位后，也可以使用上/下方向键来修改相应位的数值，默认单位为V。

方法2 按 **电压** 菜单键，使用数字键盘直接输入所需的电压数值，然后按菜单键 **V** 或 **mV** 或单位选择键  或  选择指定单位或者按 **OK** 键输入默认的单位V。输入过程中，按 **Back** 键可删除当前光标前的字符；按 **取消** 菜单键，可取消本次输入。

(5) 设置电流

方法1 按 **电流** 菜单键，使用左/右方向键移动光标位置，然后旋转旋钮快速设置电流值，默认单位为A。选择需要设置的位后，您也可以使用上/下方向键来修改相应位的数值，默认单位为A。

方法2 按 **电流** 菜单键，使用数字键盘直接输入所需的电流数值，然后按菜单键 **A** 或 **mA** 或单位选择键  或  选择指定单位或者按 **OK** 键输入默认的单位A。

输入过程中，按 **Back** 键可删除当前光标前的字符；按 **取消** 菜单键，可取消本次输入。

(6) 设置过流保护

按 **过流** 菜单键，设置合适的过流保护值，然后打开过流保护功能。当实际输出电流大于过流保护值时，输出自动关闭。

(7) 打开输出

打开对应通道的输出，用户界面将突出显示该通道的实际输出电压、电流、功率以及输出模式（CV）。

(8) 检查输出模式

恒压输出模式下，输出模式显示为“CV”，如果输出模式显示为“CC”，您可适当增大电流设置值，电源将自动切换到CV模式。

2. 恒流输出

(1) 连接通道输出端子

请参考“恒压输出”中的“连接通道输出端子”正确连接负载与相应通道的前面板通道输出端子。

(2) 打开电源开关键，启动仪器。

(3) 选择通道

根据需要输出的电流值，选择合适的通道，按对应的通道选择键，此时，显示屏突出显示该通道、通道编号、输出状态及输出模式。

(4) 设置电压

按 **电压** 菜单键，设置所需的电压值（设置方法请参考“恒压输出”中的“设置电压”）。

(5) 设置电流

按 **电流** 菜单键，设置所需的电流值（设置方法请参考“恒压输出”中的“设置电流”）。

(6) 设置过压保护

按 **过压** 菜单键，设置合适的过压保护值（设置方法请参考“恒压输出”的“设置电压”），然后打开过压保护功能（按**过压** 菜单键可切换打开或关闭过压保护功能）。当实际输出电压大于过压保护值时，输出自动关闭。

(7) 打开输出

打开对应通道的输出，用户界面将突出显示该通道的实际输出电压、电流、功率以及输出模式（CC）。

(7) 检查输出模式

恒流输出模式下，输出模式显示为“CC”，如果输出模式显示为“CV”，您可适当增大电压设置值，电源将自动切换到CC模式。

附录 2 SM2030A 型双输入交流毫伏表使用说明书

一、概述

SM2030A 数字交流毫伏表采用了单片机控制和VFD 显示技术,结合了模拟技术和数字技术,适用于测量频率5Hz~3MHz, 电压50 μ V~300V 的正弦波有效值电压。具有量程自动/手动转换功能,能以有效值、峰峰值、电压电平、功率电平等多种测量单位显示测量结果。有两个独立的输入通道,有两个显示行,能同时显示两个通道的测量结果,也能以两种不同的单位显示同一个通道的测量结果。能同时显示量程转换方式、量程、单位等多种操作信息。

二、技术指标

1. 测量范围

交流电压: 50 μ V ~ 300V

dBV: -86dBV~50dBV(0dBV=1V)

dBm: -83dBm~52dBm(0dBm=1mW 600 Ω)

Vpp: 140 μ V~850V

2. 量程: 3mV, 30mV, 300mV, 3V, 30V, 300V

3. 频率范围 : 5Hz~3MHz

4. 电压测量误差: (23 \pm 50C)

电压测量误差

频率范围	电压测量误差
\geq 5Hz—100Hz	\pm 2.5%读数 \pm 0.8%量程
>100Hz—500kHz	\pm 1.5%读数 \pm 0.5%量程
>500kHz—2MHz	\pm 2%读数 \pm 1%量程
>2MHz—3MHz	\pm 3%读数 \pm 1%量程
>3MHz—5MHz	\pm 4%读数 \pm 2%量程

5. 输入电阻: 10M Ω

6. 输入电容: 30pF

7. 供电电源: 频率: 50 (1 \pm 5%)Hz ; 电压: 220(\pm 10%)V; 功率: \geq 20VA

三、面板控制功能

1. 前面板

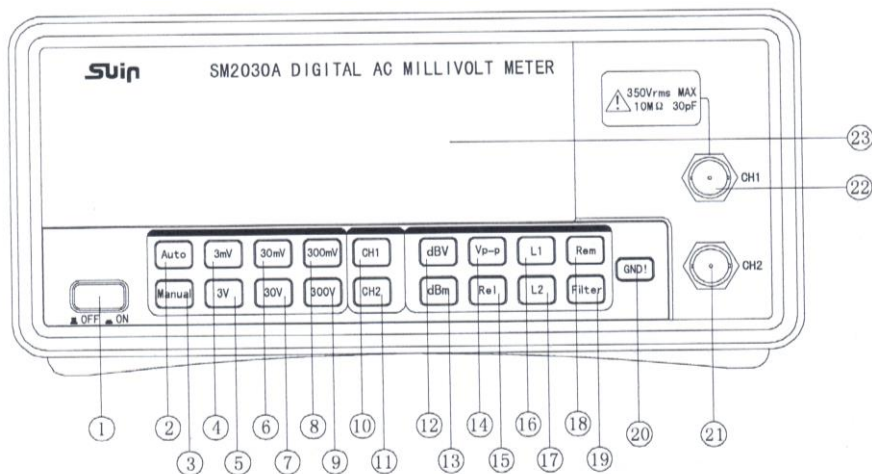


图1 前面板

每个键上都有指示灯，用以指示当前状态。

(1) **【ON/OFF】** 键：电源开关。

(2)~(3) **【Auto】** 键、**【Manual】** 键：选择改变量程的方法，两键互锁。按下 **【Auto】** 键，切换到自动选择量程。在自动功能，当输入信号大于当前量程的约13%，自动加大量程；当输入信号小于当前量程的约10%，自动减小量程。按下 **【Manual】** 键切换到手动选择量程。使用手动（Manual）量程，当输入信号大于当前量程的13%，显示 OVL 应加大量程；当输入信号小于当前量程的8%，显示 LOWER，必须减小量程。手动量程的测量速度比自动量程快。

(4)~(9) **【3mV】** 键~ **【300V】** 键：手动量程时切换并显示量程。六键互锁。

(10)~(11) **【CH1】** 键、**【CH2】** 键：选择输入通道，两键互锁。按下 **【CH1】** 键选择 CH1 通道；按下 **【CH2】** 键选择 CH2 通道。

(12)~(14) **【dBV】** 键~ **【Vpp】** 键：把测得的电压值用电压电平、功率电平和峰值表示，三键互锁，按下任何一个量程键退出。**【dBV】** 键：电压电平键，0dBV=1V。**【dBm】** 键：功率电平键，0dBm=1mW，600Ω。**【Vpp】** 键：显示峰-峰值。

(15) **【Rel】** 键：归零键。记录“当前值”然后显示值变为：测得值-“当前值”。显示有效值、峰峰值时按归零键有效，再按一次退出。\\

(16)~(17) **【L1】** 键、**【L2】** 键：显示屏分为上、下两行，用 L1、L2 键选择其中的一行，可对被选中的行进行输入通道、量程、显示单位的设置，两键互锁。

(18) **【Rem】** 键：进入程控，再按一次退出程控。

- (19)【Filter】键：开启滤波器功能，显示5 位读数。
- (20)【GND!】键：接大地功能。连续按键2 次，仪器处于接地状态,（在接地状态，输入信号切莫超过安全低电压！谨防电击！！！）再按一次，仪器处于浮地状态。
- (21)CH1：输入插座。
- (22)CH2：输入插座。
- (23)显示屏： VFD显示屏。

2.后面板

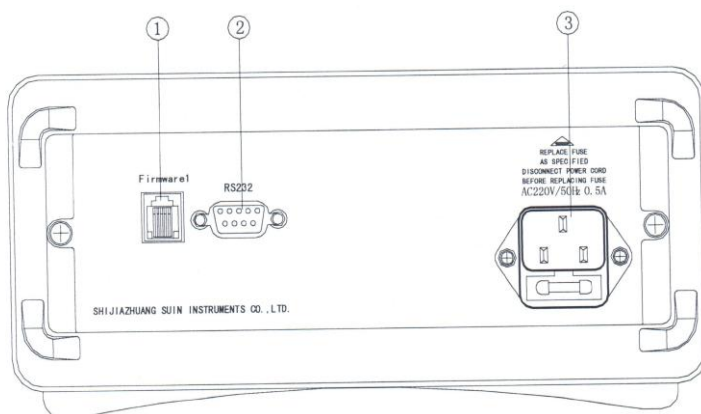


图2 后面板

- (1) Firmware1接口：编程口。
- (2) RS232插座：RS232程控接口。
- (3) 220V/50Hz 0.5A 插座：带保险丝和备用保险丝电源插座。

四、基本操作

1. 开机

按下前面板上的电源开关按钮，电源接通。仪器进入初始状态。

2. 预热

精确测量需预热 30 分钟以上。

3. 选择输入通道、量程和显示单位。

(1) 按下【L1】键，选择显示器的第一行，设置第一行有关参数：

a. 用【CH1】/【CH2】键选择向该行送显的输入通道。

b. 用【Auto】/【Manual】键选择量程转换方法。

使用手动“Manual”量程时，用【3mV】~【300V】键手动选择量程，并指示出选择的结果。使用自动“Auto”量程时，自动选择量程。

c. 用【dBV】、【dBm】、【Vpp】键选择显示单位，默认的单位是有效值。

(2) 按下【L2】键，选择显示器的第二行，按照和第一行相同的方法设置第二行有关参数。

4. 输入被测信号

SM2030A 有两个输入端，由 CH1 或 CH2 输入被测信号，也可由 CH1 和 CH2 同时输入两个被测信号。

5. 读取测量结果。

6. 关机后再开机，间隔时间应大于 10 秒。



附录 3 TFG1005T DDS 函数信号发生器使用说明书

一、概述：

TFG1000 系列 DDS 函数信号发生器采用直接数字合成技术 (DDS)，具有快速完成测量工作所需的高性能指标和众多的功能特性。其简单而功能明晰的前面板设计和液晶显示界面更便于操作和观察。

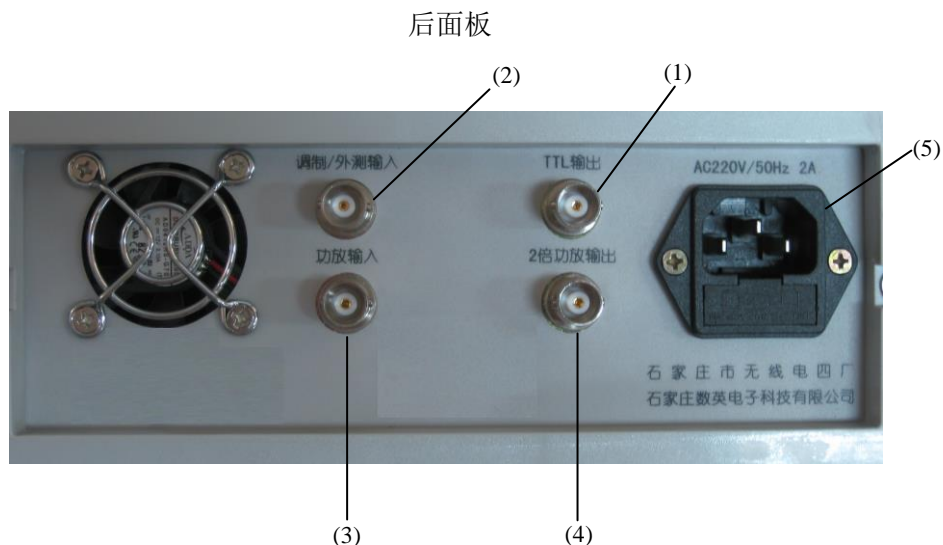
二、性能指标：

1. 波形： 可以输出 16 种波形
2. 频率精度： 频率精度可达到 10^{-5} 数量级
3. 频率分辨率： 全范围频率分辨率 20mHz
4. 波形精度： 输出波形由函数计算值合成，波形精度高，失真小
5. 方波特性： 可以设置精确的方波占空比
6. 输出特性： 两路独立输出，可准确设置两路的相位差
7. 计算功能： 可以选用频率或周期，幅度有效值或峰峰值
8. 操作方式： 全部按键操作，中文菜单显示，直接数字设置或旋钮连续调节
9. 功率放大： 可以选配功率放大器，输出功率可以达到 7W

三、面板：

前面板





- 1.TTL 输出
4.2 倍功放输出
- 2.调制/外测输入
5. AC220V 电源插座
- 3.功放输入

四、键盘说明：

仪器前面板上共有 20 个按键（见前面板图），键体上的字表示该键的基本功能，直接按键执行基本功能。键上方的字表示该键的上档功能，首先按【Shift】键，屏幕右下方显示“S”，再按某一键可执行该键的上档功能。20 个按键的基本功能如下：

【频率】【幅度】键：频率和幅度选择键。

【0】【1】【2】【3】【4】【5】【6】【7】【8】【9】键：数字输入键。

【. / -】键：在数字输入之后输入小数点，“偏移”功能时输入负号。

【MHz】【kHz】【Hz】【mHz】键：双功能键，在数字输入之后执行单位键功能，同时作为数字输入的结束键。不输入数字，直接按【MHz】键执行“Shift”功能，直接按【kHz】键执行“A 路”功能，直接按【Hz】键执行“B 路”功能。直接按【mHz】键可以循环开启或关闭按键时的提示声响。

【<】【>】键：光标左右移动键。

五、基本操作：

1.A 路参数设定 按【A 路】键，选择“A 路单频”功能

A 路频率设定：设定频率值 3.5kHz

【频率】【3】【.】【5】【kHz】

A 路频率调节：按【<】或【>】键可移动数据上边的三角形光标指示位，左右转动旋钮可使指示位的数字增大或减小，并能连续进位或借位，由此可任意粗调或细调频率。其他选项数据也都可用旋钮调节，不再重述。

A 路周期设定：设定周期值 25ms

【Shift】【周期】【2】【5】【ms】

A 路幅度设定：设定幅度值为 3.2V

【幅度】【3】【.】【2】【V】

A 路幅度格式选择：有效值或峰峰值

【Shift】【有效值】或【Shift】【峰峰值】

A 路常用波形选择：A 路选择正弦波，方波，三角波，锯齿波

【Shift】【0】，【Shift】【1】，【Shift】【2】，【Shift】【3】

A 路占空比设定：A 路选择方波，占空比 65%

【Shift】【占空比】【6】【5】【Hz】

A 路衰减设定：选择固定衰减 0dB (开机或复位后选择自动衰减 AUTO)

【Shift】【衰减】【0】【Hz】

A 路偏移设定：在衰减选择 0dB 时，设定直流偏移值为一 1V

【Shift】【偏移】【—】【1】【V】

A 路频率步进：设定 A 路步进频率 12.5Hz

按【菜单】键选择“步进频率”，按**【1】【2】【.】【5】【Hz】**，然后每按一次**【Shift】【^】**，A 路频率增加 12.5HZ，每按一次**【Shift】【v】**，A 路频率减少 12.5Hz。

2.B 路参数设定 按【B 路】键，选择”B 路单频”功能，B 路的频率，周期，幅度，峰峰值，有效值，波形，占空比的设定和 A 路相类同。

B 路谐波设定：设定 B 路频率为 A 路频率的一次谐波

【Shift】【谐波】【1】【Hz】

B 路相移设定：设定 A B 两路的相位差为 90°

【Shift】【相移】【9】【0】【Hz】

附录 4 8795B1 数字电参数测量仪使用说明书

一、概 述

8795B1 的设计采用了先进的 32 位高速处理器和双路 24 位 AD 转换器，具有高精度、宽动态范围、结构紧凑灵巧等特点，可以测量电压、电流、有功功率、频率、功率因数、电压谐波、电流谐波。

二、仪器主要性能及技术参数

8795BI 数字电参数测量仪的测试对象为 45Hz~65Hz 交流电压、电流信号，具体技术参数如下

表 1

参数	测量范围	工作误差	分辨率	备注
电 压	5~600V	$\pm(0.4\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 量程})$	0.1V	短时间过载：1.2 倍
电 流	15mA~20A		0.1mA	短时间过载：1.2 倍
功 率	$U \cdot I \cdot PF$	功率因数 >0.5 $\pm(0.4\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 量程})$ 功率因数 <0.5 ： $\pm(0.6\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 量程})$	0.001W	下限 5mW(0.005W)
功率因数	0.1~1	± 0.01	0.001	电压幅值高于 10% 量程 电流幅值高于 1% 量程
频 率	45~65Hz	0.1% 读数	0.01Hz	电压幅值高于 10% 量程
谐 波	1~50 次谐波	B 级		频率范围：45~65Hz

输入方式：电压电流均为浮置输入；电压输入阻抗约 $2M\Omega$ ；

5A 电流输入档阻抗约 $1m\Omega$ 0.1A 电流输入档阻抗约 $10m\Omega$ 。

测量信号最大峰值：电压电流均为最大量程的 1.6 倍；

A/D 转换：速率约 8k/秒，24 位，电压、电流同时采样；

显示更新：约 3 次 / 秒；

继电器触点容量：250VAC，3A，阻型

三、仪器使用说明

1. 8795B1 仪表前面板操作使用说明

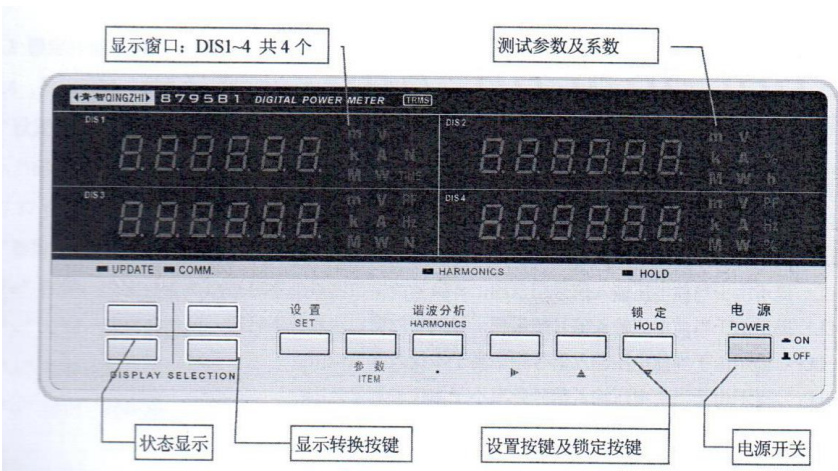


图 1 8795B1 仪表前面板示意图

(1) 显示窗口：四个显示窗口分别可以显示以下测试参数（见表 2）

指示灯	参数	单位	M（毫）、k（千）、M（兆）灯为数量级指示灯： 1M=1000k; 1k=1000; 1m=0.001
V	电压	伏特	
A	电流	安培	
W	有功功率	瓦	
Hz	频率	赫兹	
PF	功率因数		
V(谐波状态)	电压谐波绝对值	伏特	
V%	电压谐波相对值		
A(谐波状态)	电流谐波绝对值	安培	
A%	电流谐波相对值		

(2) 下图 26 字符为所有英文字母显示示例



(3) 显示特殊字符含义:

U-LO: 提示当前电压输入信号太小, 不能测量电压频率;

-OL-: 提示由于当前显示数据超过显示范围;

U-OL: 提示由于当前电压输入信号超量程, 导致当前窗口测量值不可知;

A-OL: 提示由于当前电流输入信号超量程, 导致当前窗口测量值不可知;

F--OL: 提示由于当前电压输入信号频率高于本仪表测量范围;

F-LO: 提示由于当前电压输入信号频率小于本仪表测量范围;

FERR: 提示当前频率范围超出了, 仪表测量范围。

----: 提示换量程, 需等待电路稳定。

(4) 状态指示灯

UPDATE	运行状态指示灯	正常运行时, 连续闪烁指示
COMM	通讯状态	正常通讯时, 连续闪烁指示
HOLD	显示保持	将当前测量值锁定, 仅用于显示值
HARMONICS	谐波状态	仪表处于谐波查看状态

(5) 功能按键: 包括普通显示选择、谐波显示、设置、锁定共四部分。

a. 普通显示选择按键: 共 4 个, 用于分别选择各显示窗口的内容。

常规显示: 显示窗口 1、2 可以在 V、A、W 中切换;

显示窗口 3、4 可以在 V、A、W、PF、Hz 中切换。

b. 谐波显示按键: 共 3 个

在谐波状态: 窗口 1 显示 OR.01 (01 表示谐波次数)

窗口 2 显示 V (电压谐波绝对含量) → V% (电压谐波相对含量)

窗口 4 显示 A (电流谐波绝对含量) → A% (电流谐波相对含量)

窗口 3 同正常状态的窗口 3。

谐波分析键: 启动或退出谐波显示。

“^”按键: 在谐波状态, 循环增加谐波显示次数。

“√”按键: 在谐波状态, 循环减小谐波显示次数。

c. 锁定按键: 保持当前测试的数据在显示屏上不再更新, 但是通讯数据不能被锁定。

d. 设置按键: 共 6 个, 用于对仪表参数的设置。

“设置”: 进入或退出参数设定状态。进入参数设定状态后, 窗口 1 显示 “SET” 字符, 窗口 2 显示当前参数, 窗口 3 显示当前参数设置序号, 窗口 4 显示当前参数值。再次按下该键, 仪表会进入 37.37 设置项, 询问退出时是否保存更改。

“参数”按键: 用于设置参数的翻页。

“.”按键: 改变设置参数的当前值的小数点位置。

“>”按键: 循环右移位, 改变设置参数的当前数码管 (闪烁位) 位置。

“^”按键: 循环增加设置参数的当前闪烁位的值。

“√”按键: 循环减小设置参数的当前闪烁位的值。

2. 仪表后面板的接线使用说明

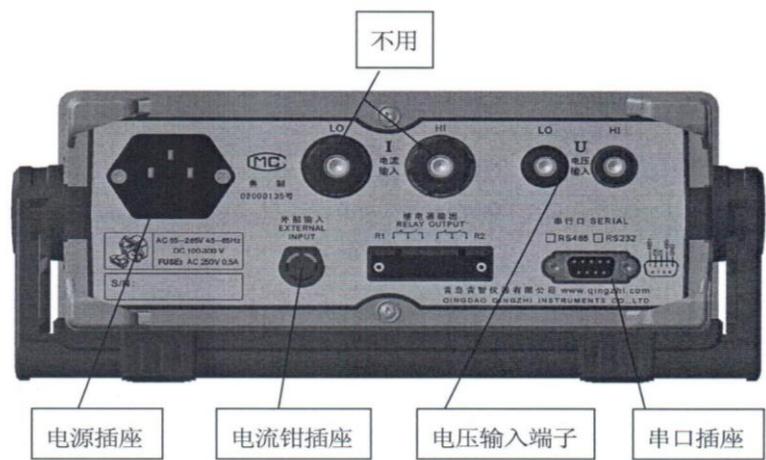


图 2 后面板示意图

- (1) 后面板由以下几部分组成：电源插座、电压输入端子、电流钳插座、串口插座。
- (2) 电源插座是仪表工作的电源输入。插座的下方必须放入保险丝，保险丝的规格为 250V 0.5A。
- (3) 电压端子、电流钳插座为连接测量回路的输入端。
- (4) 其中，串口和继电器输出是可选部件。



图 3 钳型电流互感器

附录 5 HG4181 型数字相位计使用说明书

一、概述

HG4181 型智能数字相位计如图 1 所示，是一种可测正弦波、方波、三角波三种波形的测相仪器，由于采用微处理器控制及自动换档，所以，在使用时具有最简单的操作。



图 1 HG4181 数字相位计

二、技术要求

1. 量程： $-180.00^{\circ} \sim +180.00^{\circ}$ 。
2. 频率范围：10Hz \sim 250KHz。
3. 相位测量误差：当被测两路同为正弦波信号，失真低于 0.17% 且输入幅度有效值 100Hz \sim 50kHz 为 1V（不含 50kHz）50kHz \sim 100kHz 为 3V 时，在基准条件下，不同频率的相位误差为：

100Hz \sim 500Hz	$\pm 0.5^{\circ}$ ；
500Hz \sim 5kHz	$\pm 0.1^{\circ}$ ， $\pm \varphi / 100 \times 0.25^{\circ}$ （当被测角度 $\varphi \leq 1^{\circ}$ 时精度为 $\pm 0.5^{\circ}$ ）；
5kHz \sim 20kHz	$\pm 1^{\circ}$ ；
20kHz \sim 100kHz	$\pm 1.2^{\circ}$ 。
4. 影响误差：
 - (1) 温度附加误差： $0.03^{\circ} / ^{\circ}\text{C}$ ；
 - (2) 幅相误差：500Hz \sim 5kHz 时，每变化 20dB 不大于 1° 。当某一路输入幅度小于 200mV 时再附加 1.5° 。
5. 分辨力： 0.05° 。
6. 读数稳定度：100Hz \sim 1kHz 为 $\pm 0.5^{\circ}$ ，1 \sim 100kHz 为 $\pm 0.1^{\circ}$ 。
7. 显示与极性：四位半数字和小数点组成并自动显示正、负极性，显示数字的单位为度。
8. 输入阻抗：10V 以下为 $1\text{M}\Omega$ ，10V 以上为 $10\text{k}\Omega$ 。输入幅度：50mV \sim 120V。
- 9 电源电压：220V $\pm 10\%$ ，频率 50Hz $\pm 5\%$ 。

三、工作原理

两路信号通过参考通道、信号通道各自的放大/衰减器、输出经检相后进行电压滤波、输入 A/D 转换器，经微处理器进行数据处理后送入显示器。

四、使用说明

1. 仪器通电前,应先进行外观检查,确认外观无损伤及控制开关正常后,在技术条件下通电工作。当环境温度大于 20℃时,打开后面板的风扇开关。

2. 开机后, 首先将波形选择置在被测信号波形的正确位置,由图 2 所示。若测正弦波、三角波选择在正弦和三角波位置,若测方波选择在方波位置。然后将被测信号通过参考输入端子和信号输入端子, 便可进行相位测量了。

3. 在测量时,由图 2 所示,“参考”信号超前指示灯与显示角度的正极性(正极性符号“+”省略不显示)同步显示, 被测“信号”超前指示灯与显示角度的“-”极性同步显示。若“参考”指示灯亮,说明“参考”端的信号超前于被测端信号;若被测“信号”指示灯亮,说明被测端信号超前于“参考”端信号一个大于 180° 的角度。由于本仪器的量程为 $\pm 180.00^\circ$,所以大于 180° 的正角以小于 180° 的负角显示,如 340° 显示为-20°。若两指示灯同时亮说明两信号的相差为 0°。

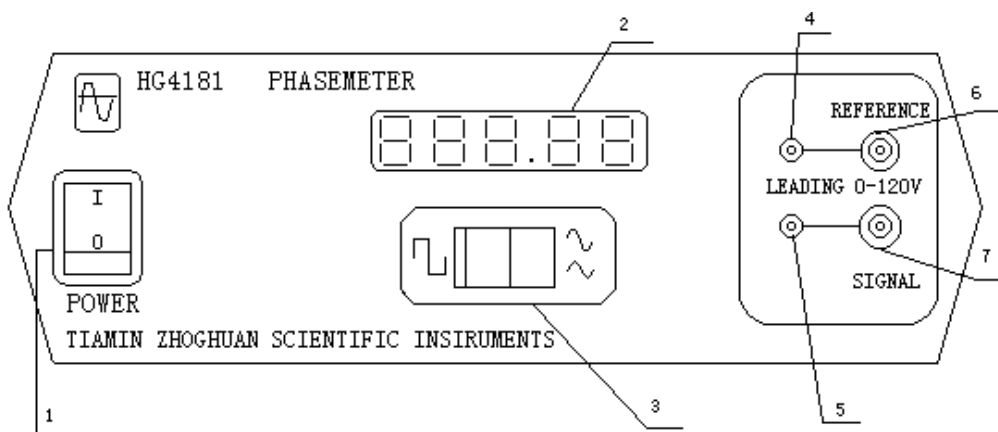


图 2 前面板示意图

- 1 电源开关 2 数字显示 3 波形选择开关 4 参考信号超前指示灯
5 被测信号超前指示灯 6 参考信号输入端 7 被测信号输入端

(4) 在刚开机或在测量中由于外界某种电干扰导致锁定现象, 请按一下复位开关即可正常工作, 见图 3。

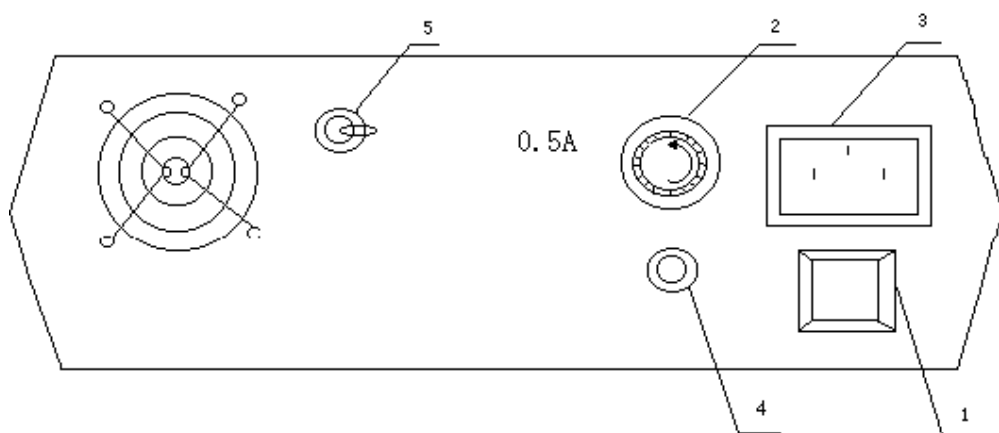


图 3 后面板示意图

1 复位开关 2 保险管座 3 电源插座 4 接地端子 5 风扇开关

5. 在不使用时,要把该机处于非通电状态,并存放在室内通风良好的环境中存放,对长期没有使用的仪器,使用前,应在常温环境中恢复一定时间后方可开机使用。

附录 6 SA5051 数字万用表使用说明书

一、概述

SA5051 型号的数字万用表是一款快速、高精度、多功能，精确自动测量电压、电流、电阻、频率、电容等的测试仪器，简洁的前面板，简单的操作方式，快捷方便的满足测量需求。

二、直流电压档

1. 直流电压测量

电压范围： 100mV，1V，10V，100V，1000V

最大分辨率：1 μ V

输入保护： 1000V (MAX)

2. 测量方法：

(1) 连接红色测试导线到INPUT HI 端，黑色测试导线到LO 端。

(2) 按下【V—】键，测量直流电压，并且按键灯被点亮。

(3) 按下【 \wedge 】或【 \vee 】键，手动选择电压测量范围。按下【AUTO】键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电压超过当时的范围，按下【 \wedge 】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下【AUTO】键选择自动量程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过1000V 的直流电压到输入端，否则仪器损坏。

三、直流电流档

1. 直流电流测量

电流范围：1A，10A

最大分辨率：10 μ A

输入保护：10A，250V 保险丝

2. 测量方法：

(1) 连接红色测试导线到10A 端，黑色测试导线到LO 端。

(2) 按下【I—】 键，测量直流电流，并且按键被点亮。

(3) 按下【 \wedge 】或【 \vee 】 键，手动选择期望的电流测量范围。按下【AUTO】键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电流超过当时范围，按下【 \wedge 】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下【AUTO】键选择自动量程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过10A 的直流电流到输入端，否则仪器损坏。

四、交流电压挡

1. 交流电压测量

电压范围： 100mV, 1V, 10V, 100V, 750V

最大分辨率： 1 μ V

输入保护： 750Vrms (MAX)

2. 测量方法：

(1) 连接红色测试导线到INPUT HI 端，黑色测试导线到LO 端。

(2) 按下【V \sim 】键，测量交流电压，并且按键灯被点亮。

(3) 按下【 \wedge 】或【 \vee 】键，手动选择电压测量范围。按下【AUTO】键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电压超过当时的范围，按下【 \wedge 】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下【AUTO】键选择自动量程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过750Vrms 的交流电压到输入端，否则仪器损坏。

五、交流电流挡

1. 交流电流测量

电流范围： 1A, 10A

最大分辨率： 10 μ A

输入保护： 10A, 250V 保险丝

2. 测量方法

(1) 连接红色测试导线到 INPUT HI 端，黑色测试导线到 LO 端。

(2) 按下【I \sim 】键，测量交流电流，并且按键灯被点亮。

(3) 按下【 \wedge 】或【 \vee 】键，手动选择电流测量范围。按下【AUTO】 键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电流超过当时的范围，按下 【 \wedge 】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下 【AUTO】键选择自动程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过 10A 的交流电流到输入端，否则仪器损坏。

六、电阻的测量

1. 两线电阻

(1) 电阻测试

两线电阻测量是容易组成的，它对于大多数测量情况产生足够好的结果。内部电流源给出已知的测试电流到被测电阻。然后测量未知电阻上的电压，用欧姆定律计算未知电阻并显示结果。当测量低电阻时，测试线的电阻将引起误差。对于两线欧姆读数，典型的测试线引起 0.5 到 2 Ω 的读数误差。可以用【ZERO】键来校正这个误差。

- 选择两线欧姆功能。
- 短接测试线，显示测试线电阻阻值。

- 测试线保持短接，按下【ZERO】按键，仪器显示 0Ω

2. 两线电阻测量

电阻范围： 100Ω， 1kΩ， 10kΩ， 100kΩ， 1000kΩ, 10MΩ， 100MΩ

最大分辨率： 1mΩ

输入保护： 1000V（MAX）

3. 测量方法：

(1) 连接红色测试导线到 INPUT HI 端，黑色测试导线到 LO 端。

(2) 按下【Ω2】键，测量二线电阻，并且按键灯被点亮。

(3) 按下【∧】或【∨】键，手动选择电压测量范围。按下【AUTO】键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电阻超过当时的范围，按下【∧】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下【AUTO】键选择自动量程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过 1000V 的电压到输入端，否则仪器损坏。

4. 四线电阻测量

电阻范围： 100Ω， 1kΩ， 10kΩ， 100kΩ， 1000kΩ, 10MΩ， 100MΩ

最大分辨率： 1mΩ

输入保护： 300V（MAX）

5. 测量方法：

(1) 连接两对红色测试导线到 INPUT HI 和 SENSE 端，两对黑色测试导线到 LO 端。

(2) 按下【Ω4】键，测量四线电阻，并且按键灯被点亮。

(3) 按下【∧】或【∨】键，手动选择期望的电压测量范围。按下【AUTO】键锁定自动量程范围，并且按键灯被点亮。

(4) 显示屏中如果“OVER”被点亮，说明测量电阻超过当时的范围，按下【∧】键选择更高量程，直到显示正常读数为止，或者按下【AUTO】键选择自动量程。

(5) 读取显示数据。

注意：决不允许输入超过 300V 的电压到输入端，否则仪器损坏。

七、面板说明

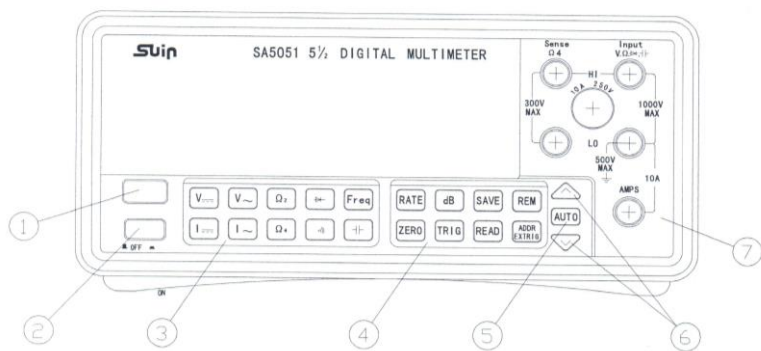


图 1 前面板

- ① USB 接口 ② 电源开关 ③ 基本功能区 ④ 辅助功能区
⑤ 自动按键 ⑥ 手动按键 ⑦ 信号输入区

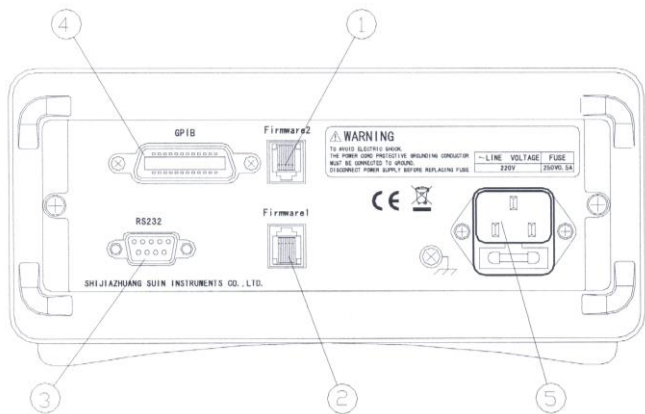


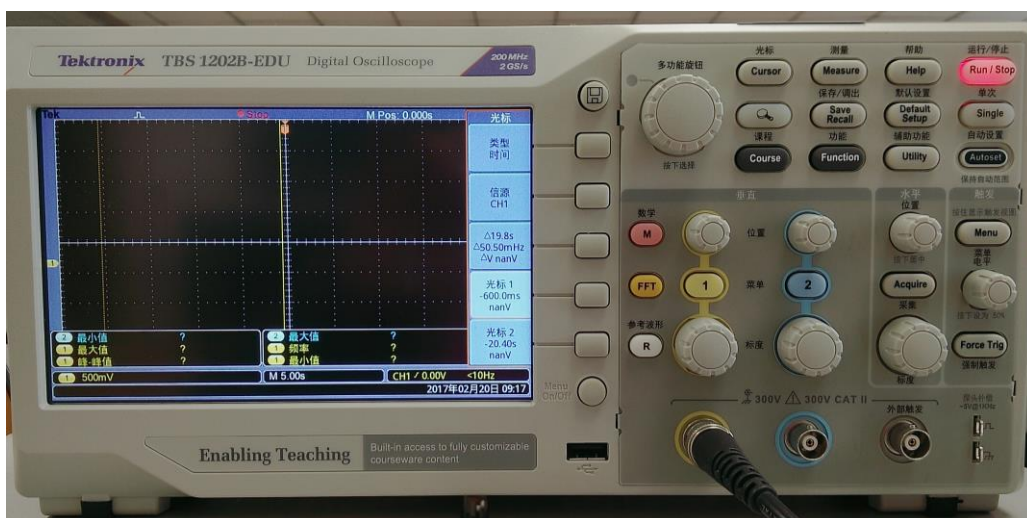
图2 后面板

- ① 程序输入口1 ② 程序输入口2 ③ RS232 接口
④ GPIB 接口 ⑤ 电源插座

附录 7 TBS 1202B 示波器的简易操作

一、概述

TBS1000B-EDU 系列数字存储示波器是专为满足当今大专院校的需求而设计的。它是第一个使用创新的全新课件系统的示波器，课件信息直接显示在示波器显示屏上，可以用来提供分步说明、背景理论、提示和技巧，或为学生编制实验工作文档提供一种高效的方式。仪器包括 7 英寸 WVGA TFT 彩色显示器、高达 2GS/s 的采样率、50MHz - 200MHz 带宽、双通道频率计数器和标配五年保修等等，使得 TBS1000B-EDU 成为面向教育事业的业内价值最高的入门级示波器。



一、垂直系统（VERTICAL）

1. 使用垂直位置旋钮控制信号的垂直显示位置。
2. 当转动垂直位置旋钮，指示通道地（GROUND）的标识跟随波形上下移动。
3. 如果通道耦合方式为直流，可以通过观察波形与信号地之间的差距来快速测量信号的直流分量。
4. 如果耦合方式为交流，信号里面的直流分量被滤除。这种方式方便使用更高的灵敏度显示信号的交流分量。
5. 可以通过波形窗口下方的状态栏显示的信息，确定任何垂直档位的变化。
6. 转动垂直标度旋钮改变“Volt/div（伏/格）”垂直档位，可以发现状态栏对应通道的档位显示发生了相应的变化。
7. 按 **①**、**②** 屏幕显示对应通道的操作菜单、标志、波形和档位状态信息。再按一次关闭当前选择的通道。

二、水平系统（HORIZONTAL）

1. 转动水平标度旋钮改变“s/div（秒/格）”水平档位，可以发现状态栏对应通道的档位显示发生了相应的变化。水平扫描速度从2.5ns至50s，以1—2.5—5 的形式步进。
2. 当转动水平位置旋钮调节触发位移时，可以观察到波形随旋钮而水平移动。
3. 按菜单按键，显示采集菜单。
在此菜单下，可以选择“采样”、“峰值检测”、“平均”

三、触发系统（TRIGGER）

1. 使用电平旋钮改变触发电平设置。
2. 按下电平旋钮，可以发现屏幕上出现一条与选择信源相同颜色的触发线以及触发标志，随旋钮转动而上下移动。停止转动旋钮，此触发线和触发标志会在约 5 秒后消失。在移动触发线的同时，可以观察到在屏幕上触发电平的数值发生了变化，更可以通过按下该旋钮作为设置触发电平恢复到零点的快捷键。