

中等职业学校电工电子专业教学用书

电工基础实验指导

主 编 仇 超



华东师范大学出版社

华东师范大学出版社

DIANGONGJICHUSHIYANZHIDAO

电工基础实验指导

中等职业学校电工电子专业教学用书

主 编 仇 超

主 审 钱金法

图书在版编目(CIP)数据

电工基础实验指导/仇超主编,一上海:华东师范大学出版社,2007.11

中等职业学校教学用书

ISBN 978-7-5617-5670-6

I. 电… II. 仇… III. 电工试验-专业学校-教学参考资料 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 177311 号

电工基础实验指导

中等职业学校电工电子专业教学用书

主 编 仇 超
责任编辑 翁春敏
编辑助理 李 琴
装帧设计 蒋 克

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号
邮编 200062

营销策划 上海龙智文化咨询有限公司
电 话 021-62228271 62228272
传 真 021-62228343

印 刷 者 华东师范大学印刷厂
开 本 787×1092 16 开
印 张 5.75
字 数 125 千字
版 次 2007 年 12 月第 1 版
印 次 2007 年 12 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5617-5670-6/TM·023
定 价 7.40 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请与华东师范大学出版社中等职业教育分社联系
电话:021-62228271 62228272)

前 言

《电工基础实验指导》是中等职业学校电工电子专业教学用书《电工基础》的配套教材,是培养中等职业学校应用型、技能型人才的一门重要课程。作为电类专业的一门实践课,也可以根据实际情况单独使用。

本书主要介绍了电工实验的基本理论和实验方法,由5章内容构成。

第1章为预备知识,主要介绍电工测量的基本知识、实验数据处理方法、基本电工仪表的使用方法。

第2章为常用电工测量仪表,主要介绍常用的电工仪表如稳压电源、万用表(指针式、数字式)、兆欧表、信号发生器、毫伏表、示波器等常规使用方法。

第3章为基础实验,包含13个基础性的、采用传统手段的电工实验,每个实验方案都经过实践检验,降低了学习的难度,具有很好的操作性,可满足《电工基础》课程配套教学需要。

第4章为虚拟实验,力求在实验方法上有所创新,主要采用计算机仿真手段,对一些难度稍大的综合性实验进行设计,着力于学生自学能力的培养和创新意识的提高。

第5章综合实验,主要介绍一些拓展性实验,力求开拓相关专业学生视野、提高实践动手能力。

本书在内容选材上既考虑了实验教学与理论教学的相关性,又注意了使其具有一定的独立性;既有基本理论和方法,又有必要的实验操作和步骤,具有很强的操作性。教师可根据教学具体要求和教材特点选择一部分实验在课内进行,其余部分可由学生在实验室开放时间里自行完成。

具体安排如下:

教 学 内 容	课 时	教 学 方 式
第 1 章	2	讲授
第 2 章	4	讲授、演示、自学
第 3 章	26	讲授、实验
第 4 章	8	实验(可课外进行)
第 5 章	10~16	实验(可课外进行)

本书由仇超老师担任主编,并负责全书的内容结构安排、工作协调及统稿工作。具体分工为:马剑老师编写了实验一至实验六、实验九,与仇超老师合作编写实验十六至实验二十;战崇玉老师编写了实验七、实验八、实验十至实验十五;其余部分由仇超老师编写。全书由钱金法老师审稿。

因时间仓促,难免存在错误及不妥之处,希望读者在使用时多提宝贵意见。

编 者

2007. 12

出版发行 华东师范大学出版社

地址 上海市静安区南京西路312号 邮编 200062

电话 021-62228271 62228272

电子邮箱 jts@ecnp.com.cn

开 本 787×1092 16开

印 张 5.75

版 次 2007年12月第1版

印 次 2007年12月第1次

定 价 7.40元

书 号 ISBN 7-309-05671-6

印刷 上海书刊印刷厂

目 录

第1章 预备知识

1.1 电工测量概述	1
1.2 基本电工仪表的使用	3
1.3 测量数据处理	6

第2章 常用电工测量仪表

2.1 HY3003D-3A 直流稳压电源	8
2.2 MF47 型万用表	10
2.3 MY61 型数字多用表	11
2.4 ZC25 型兆欧表	12
2.5 XD7 型信号发生器	13
2.6 TC2290A 型交流毫伏表	15
2.7 VP-5220D/C 示波器	16
2.8 QJ23 型直流单臂电桥	19

第3章 基础实验

3.1 实验一 电位、电压的测定	20
3.2 实验二 电阻伏安特性的测定	22
3.3 实验三 基尔霍夫定律的验证	25
3.4 实验四 戴维宁定理的验证	28
3.5 实验五 叠加原理的验证	31
3.6 实验六 惠斯通电桥及其应用	33

3.7 实验七 互感电路测量	36
3.8 实验八 三表法测量交流电路等效参数	40
3.9 实验九 日光灯电路及功率因数的提高	43
3.10 实验十 三相交流电路电压电流的测量	46
3.11 实验十一 三相电路功率测量	49
3.12 实验十二 电压源与电流源的等效变换	51
3.13 实验十三 RLC 串联谐振电路	54

第4章 虚拟实验

4.1 实验十四 RC 一阶电路响应的测试	58
4.2 实验十五 二阶动态电路响应的研究	65

第5章 综合实验

5.1 实验十六 受控源的研究	69
5.2 实验十七 单相电度表的校验	73
5.3 实验十八 照明电路的安装	76
5.4 实验十九 单相变压器的特性试验	80
5.5 实验二十 三相异步电动机运行线路安装	83

1.1 电工测量概述

一、电工测量的概念

对各种电量和磁量的测量称为电工测量,所用的仪器仪表称为电工仪表。

二、电工测量的类型

- (1) 电量的测量。如对电压、电位、电流、电功率的测量。
- (2) 电路参数的测量。如对电阻、电感、电容等的测量。
- (3) 电路性能的测量。如对日光灯电路功率因数的测量。
- (4) 电信号波形参数的测量。如对电容器充放电特性的测量,并画出特性曲线。

三、电工测量的方法

常用的电工测量方法有三种:直接测量、间接测量、组合测量。

1. 直接测量

在测量中,用选定的测量仪表直接对被测量进行测定,从而得到被测量的值的方法称为直接测量。例如用电流表串联在电路中测电流就是直接测量。

2. 间接测量

对于被测量不便于直接测定,或直接测量该电量的仪器不够准确时,则可以先测量与被测量有某种关系的电量,再通过相应的计算公式算出被测量,这种测量方式称为间接测量。例如用伏安法测电阻,就是测出电阻上的电压与电流的值,然后利用欧姆定律 $R = U/I$ 间接算出电阻值。

3. 组合测量

有些情况下被测量有多个,它们之间以不同的组合方式出现,可以根据直接测量、间接测量的数据及被测量与测量数据之间的函数关系,通过联立求解各函数关系式来确定被测量的数值,这种测量方式称为组合测量。

四、电工测量的误差

测量误差根据它们的性质与特点可分为三大类,即系统误差、偶然误差和疏失误差。

1. 系统误差

在同一测量条件下,对同一量进行多次测量时,如果误差值保持恒定或按某种规律变化,则称这种误差为系统误差。

系统误差产生的原因有:

- (1) 工具误差:测量时所用的装置或仪器仪表本身的偏差、缺陷而引起的误差。
- (2) 环境误差:由于周围环境不合乎测量工具技术要求而引起的误差。
- (3) 方法误差或理论误差:由于测量方法不完善或测量所用理论根据不充分而引起的误差。
- (4) 人为误差:由于测试人员的能力、技术水平、习惯等个人因素等而引起的误差。

减少系统误差的措施:

- (1) 适当提高仪表精确度,减少仪器仪表本身引起的误差。
- (2) 采用更合理的测量及计算方法。

2. 偶然误差

偶然误差也称随机误差。

在测量中,在相同的条件下多次重复测量,而误差值的大小、符号均发生变化,无法控制和预知误差的大小,这就是偶然误差。这种误差主要是由于各种随机因素引起的,如测量区域电磁场的微变、热起伏、空气扰动、大地微震,测量人员的心理或生理的某些变化等。

偶然误差有时大,有时小,有时正,有时负,无法消除,无法控制。但在同样条件下,对同一量进行多次测量,可以发现偶然误差是服从统计规律的,呈正态分布。

减小偶然误差的措施就是增加测量的次数,取多次测量值的算术平均值作为测量结果。测量次数越多误差越小。

3. 疏失误差

疏失误差也称为粗大误差。

疏失误差主要是由于测量者在测量过程的疏忽所造成的。例如读数错误、记录错误、测量时发生未察觉的异常情况等等。这种误差应该是可以避免的。

有了疏失误差的数据会严重歪曲测量结果,不具有存在的意义,应该重新测量。

减少疏失误差的措施:提高测量人员的责任心。

五、测量误差的表示方法

测量误差常用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差

被测量的测量值 X 与被测量的实际值(即真值) A 之差称为绝对误差,用 Δ 表示。

$$\Delta = X - A$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。绝对误差的符号有正负之分: $X > A$, 则 $\Delta > 0$; $X < A$, 则 $\Delta < 0$ 。

虽然实际值 A 客观存在,但一般无法确切得到,在实际计算中可以将一些数值近似认为是实际值,如理论真值、指定真值、高级标准仪器测量的指示值等。

例:用一电压表测量电压,其读数为 221 V ,而标准表读数(认为是实际值)为 220 V ,其绝对误差为:

$$\Delta = X - A = 221 - 220 = +1\text{ V}$$

2. 相对误差

相对误差 γ 是指绝对误差 Δ 与被测量实际值 A 的百分比值,它通常用百分数 γ 表示,即:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A} \times 100\% = \frac{X - A}{A} \times 100\%$$

用绝对误差很难衡量测量结果的误差大小,而相对误差可以很好地反映测量误差的大小,反映测量的精确度。

1.2 基本电工仪表的使用

一、电流表

电流表是由微安表或毫安表表头并联适当的分流电阻构成的,并联不同的电阻,可以得到不同的量程(如图 1-2-1)。

在实际使用中应根据被测量的大小选择适当的量程,从而能安全使用仪表并能得到较精确的测量数据。

电流表在电工测量中分为直流电流表、交流电流表两类。

电流表的内阻很小,测量时应串联在被测电路中。若不慎并联在电路两端,电流表将被烧毁。

直流电流表在使用中还要注意接线柱的正确连接,要使电流从“+”接线柱流进、从“-”接线柱流出,否则可能会损坏电表。

如图 1-2-2 是电工实验装置中的电流表部分。

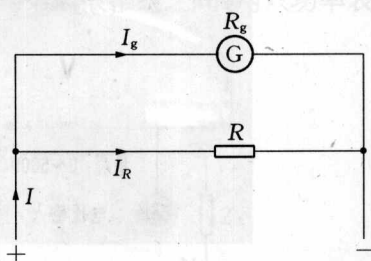


图 1-2-1 电流表原理

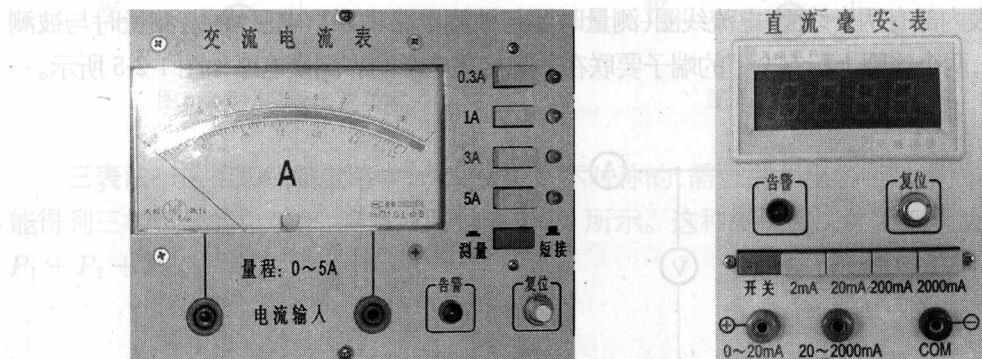


图 1-2-2 实验装置中的电流表

二、电压表

在电流表表头上串联适当的分压电阻就可将电流表改装成电压表(如图 1-2-3),串联的分压电阻阻值不同,电压表的量程也不同。

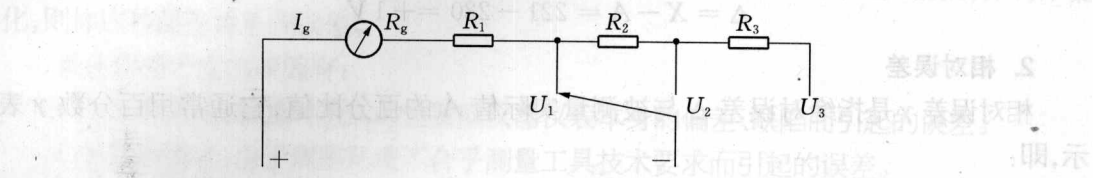


图 1-2-3 电压表原理

在使用中要注意根据被测量数据选择正确的测量量程。

电工测量中的电压表也有直流、交流之分。

电压表的内阻很大,在实际使用中应将电压表并联在被测电路两端使用。

直流电压表在使用中还要注意接线柱的正确连接,要使电路的高电位点接“+”接线柱、低电位点接“-”接线柱。如图 1-2-4 是实验装置中的电压表部分。

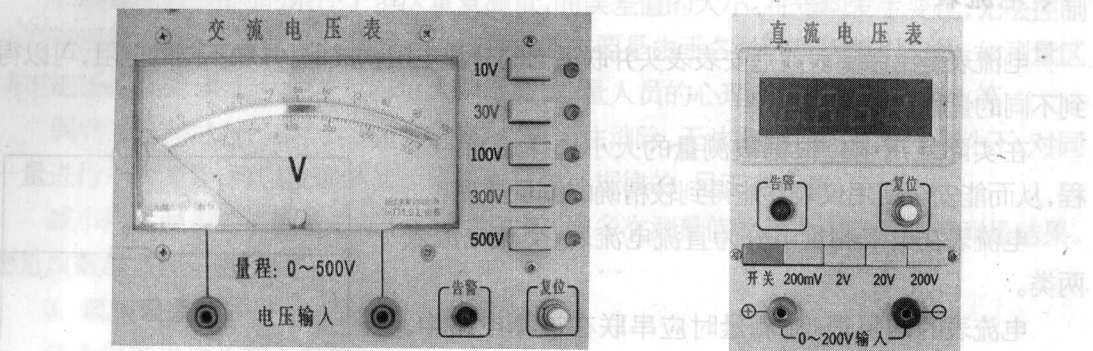


图 1-2-4 实验装置中的电压表

三、功率表

1. 功率表的内部结构

功率表内部有两个线圈:电流线圈(测量时要与被测电路串联)、电压线圈(测量时与被测电路并联),两个线圈上标有“*”的端子要联在一起接在电源端。测量电路如图 1-2-5 所示。

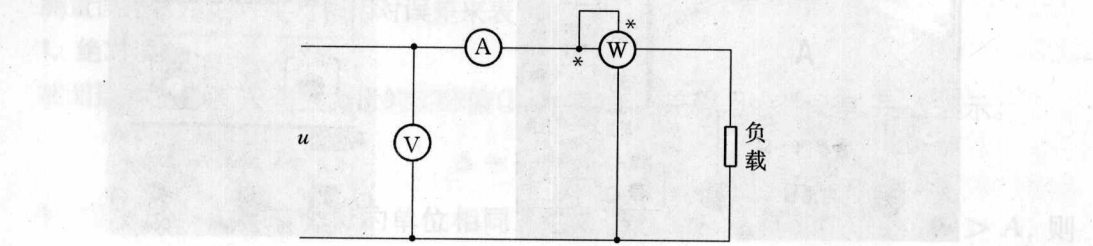


图 1-2-5 功率表测量电路

功率表在电路中可以测量电路的有功功率,还可以测量电路的功率因数。如图 1-2-6 是实验装置中的功率表部分,如图 1-2-7 是某功率表外形。

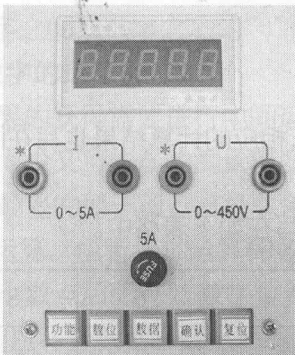


图 1-2-6 实验装置中的功率表

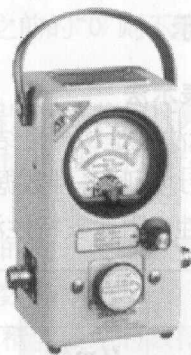


图 1-2-7 功率表

2. 三相功率的测量

一表法 三相四线制电路中,若负载是对称的,只要测出一相负载的功率,然后再乘以 3,就可得到三相负载的总功率,这种测量方法称为一表法。

二表法 对于三相三线制电路,不论负载对称与否,都可用如图 1-2-8 所示的线路来测量总功率,这种测量方法称为二表法。两只功率表的接线方法是:两只功率表的电流线圈分别串联在任意两根相线中,而电压线圈则分别并联在本端线与第三根相线之间,两只功率表的读数之和就是三相电路的总功率。即 $P = P_1 + P_2$ 。

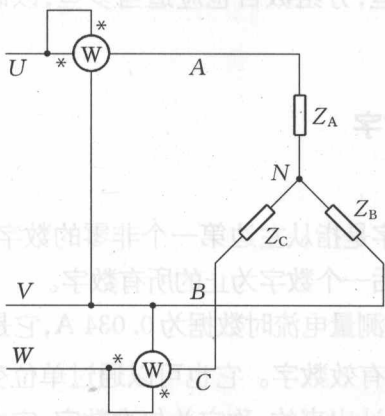


图 1-2-8 二表法测功率

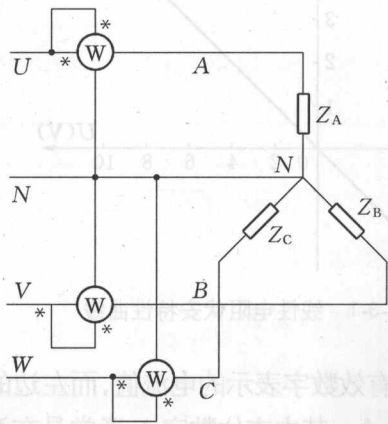


图 1-2-9 三表法测功率

三表法 三相四线制电路中,负载一般是不对称的,需分别测出各相功率后再相加,才能得到三相负载的总功率,测量线路如图 1-2-9 所示。这种测量方法称为三表法。即 $P = P_1 + P_2 + P_3$ 。

1.3 测量数据处理

一、数据表示

1. 表格表示法

表格表示法就是将测量结果填写在一个表格中,相应的计算结果也写在同一个表格中,表格可以清楚地反映各种数据及其变化趋势。

例如,线性电阻伏安特性测定实验,实验数据填写在如下表格中。

	$U(\text{V})$	0	2	4	6	8	10
$R = 200\ \Omega$	$I(\text{mA})$						
$R = 2\ 000\ \Omega$	$I(\text{mA})$						

2. 图解表示法

图解表示法就是根据实验数据画出若干条反映实际情况的曲线,并对该曲线进行定量的分析。它可以清晰直观地反映相关物理量之间的关系。

如图 1-3-1 为线性电阻元件的伏安特性曲线。

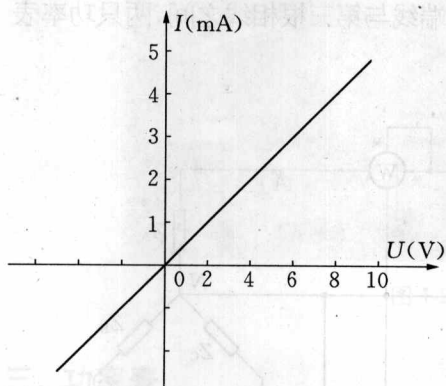


图 1-3-1 线性电阻伏安特性曲线

为了画出一条符合客观规律的曲线,应该选择好坐标系,选择好适当的坐标分度。对非线性曲线,在曲线斜率大和变化规律重要的地方,测量点应适当选密些,分组数目也应适当多些,以确保准确性。

二、有效数字

1. 定义

有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。

例如,在测量电流时数据为 0.034 A,它是由 3、4 两个有效数字表示的电流值,而左边的两个 0 不是有效数字。它也可以通过单位变换写成 34 mA。其中末位数字 4,通常是在测量该量时估计出来的,称它为欠准数字,它左边的各有效数字均是准确数字。准确数字和欠准数字都是测量结果不可少的有效数字。

2. 有效数字的正确表示

(1) 有效数字中只应留一位欠准数字,因此在记录测量数据时,只有最后一位有效数字是欠准数字。这样记取的数据,表明被测量可能在最后一位数字上变化 ± 1 单位或者下一位数字变化 ± 5 单位。

例如,用一只量程为 50 V 的电压表测量电压,读数为 41.4 V。该结果是用三位有效数字表示的,前两位数字是准确的,而最后一位 4 是欠准数字。因为它是根据最小刻度估读出

来的,可能有 ± 1 的误差,所以测量结果可以表示为 $(41.4 \pm 0.1)\text{V}$ 。

(2) 可以用 10 的方幂来表示一个数据,10 的方幂前面的数字都是有效数字。例如 $10.34 \times 10^3 \Omega$, 则表明它的有效数字为 4 位。

(3) 在数字之间或数字之后的“0”算作有效数字,在数字之前的“0”则不算有效数字。

3. 有效数字的运算

当测量结果的获得需要进行中间运算时,有效数字位数保留太多将使计算变得复杂;而有效数字保留太少又可能影响测量精度。究竟保留多少位才恰当,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般取舍规则如下:

(1) 加减运算。由于参加运算的各项数据必为相同单位的同一类物理量,故精度最差的数据也就是小数点后面有效数字位数最少的数据(如无小数点,则为有效位数最少者)。因此,在运算前应将各数据小数点后的位数进行处理,使之与精度最差的数据相同,然后再进行运算。

(2) 乘、除运算。运算前对各数据的处理仍以有效数字位数最少的为准,与小数点无关。所得积和商的有效数字位数取决于有效数字位数最少的那个数据。

(3) 乘方及开方运算。运算结果应比原数据多保留一位数字。

(4) 对数运算。对数运算前后的有效数字位数相等。

(5) π 、 $\sqrt{2}$ 等常数,具有无限位数的有效数字,在运算时可根据需要取适当的位数。

AS-0	
三、操作方法 AS-0	V 08-0
1. 双路可调电源独立运行	
2. 双路可调电源串联运行	
AS-0	
AS-0	

2.1 HY3003D-3A 直流稳压电源

一、主要性能指标

输入电压:220 V/110 V AC±10%; 50 Hz/60 Hz±2 Hz。

输出电压和电流范围(双路可调电源)见表 2-2-1。

表 2-2-1 HY3003D-3A 可调输出电压

输出电压范围	输出电流范围
0~30 V	0~2 A
	0~3 A
	0~5 A
0~50 V	0~2 A
	0~3 A

固定输出:5 V(±2.5%);输出电流:3 A。

二、面板介绍

1. 电源前面板

如图 2-1-1 所示。

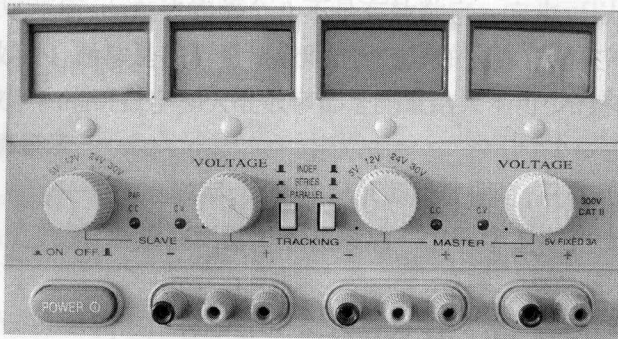


图 2-1-1 HY3003D-3A 稳压电源前面板

旋钮主要有:

- ◆ 从路电压调节旋钮:调节从路输出电压;
- ◆ 从路电压波段开关:选择从路输出电压范围;
- ◆ 主路电压调节旋钮:调节主路输出电压;
- ◆ 主路电压波段开关:选择主路输出电压范围,见表 2-2-2;
- ◆ 控制开关。

表 2-2-2 HY3003D-3A 各挡可调输出电压范围

挡 位	输出电压范围	误差范围
5 V 挡	0~5 V	$\pm 0.5\text{ V}$
12 V 挡	5~12 V	$\pm 0.5\text{ V}$
24 V 挡	12~24 V	$\pm 0.5\text{ V}$
30 V 挡	24~30 V	$\pm 0.5\text{ V}$

2. 后面板

主要有两个旋钮:

- ◆ 主路电流调节旋钮——调节主路输出电流;
- ◆ 从路电流调节旋钮——调节从路输出电流。

三、操作方法

1. 双路可调电源独立运行

调节控制开关,使电源主、从两路工作在独立运行状态。主、从两路可单独输出电压和电流。

调节主、从电压波段开关和电压旋钮,可改变主、从两路输出电压范围。调节后面板电流调节旋钮可分别改变主、从两路限流输出电流的大小。主、从两路输出电压和电流可以从相应的液晶显示屏上显示出来。

2. 双路可调电源串联运行

调节控制开关可使电源主、从两路工作在串联运行状态。在这种模式下,从路输出电压和从路输出电流将自动跟踪主路输出电压和主路输出电流,此时前面板从路电压调节旋钮处于无效状态。

双路可调电源串联运行最大输出电压将为主、从两路电压之和。主路输出正端为电源输出正接线端,从路输出负端为电源输出负接线端。

当电源输出达到从路限流保护值时,从路的稳流指示 CC 灯将点亮,此时从路的输出电压将不再跟随主路的电压变化。从路电压调节旋钮仍处于无效状态。

3. 双路可调电源并联运行

调节控制开关可使电源主、从两路工作在并联运行状态。此时,前面板从路电压调节旋钮和后面板从路电流调节旋钮均处于无效状态。顺时针调节主路电压调节旋钮,主、从两路

的输出电压将保持一致变化,此时从路电源稳流指示灯点亮。改变后面板主路电流调节旋钮可同时改变主、从两路的输出电流。双路可调电源并联运行最大输出电流将为主、从两路电流之和。

4. 固定 5 V、3 A 输出

输出电压为 5 V,输出电流为 3 A,电压、电流均不可调。输出电压、电流均无显示。

2.2 MF47 型万用表

一、MF47 型万用表主要性能

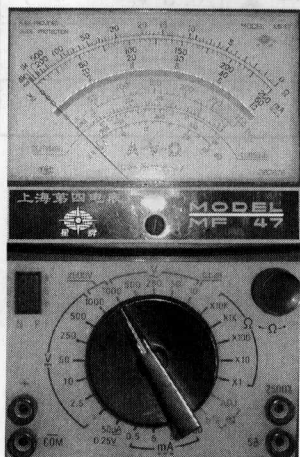


图 2-2-1 MF47 型万用表面板

MF47 型万用表面板如图 2-2-1 所示。

直流电流测量:量程 $50\ \mu\text{A}\sim 10\ \text{A}$ (六个量程)。

直流电压测量:量程 $0.25\ \text{V}\sim 2\ 500\ \text{V}$ (九个量程)。

交流电压测量:量程 $10\ \text{V}\sim 2\ 500\ \text{V}$ (六个量程)。

直流电阻测量:分 $R\times 1$ 、 $R\times 10$ 、 $R\times 100$ 、 $R\times 1\ \text{K}$ 、 $R\times 10\ \text{K}$ 挡。

还有直流电容测量、电感测量,负载电压、负载电流参数测量,音频电平 dB 测量,电池电力测量。

可提供标准电阻箱。

二、MF47 型万用表使用

在使用前应检查电表指针是否在机械零位,进行机械调零。安装相应的 2 号电池、叠层电池各一,红、黑表棒分别插入+、-插孔内,做好测量准备。

1. 直流电流测量

通过表棒将万用表串入被测电路。

使用 $50\ \mu\text{A}\sim 500\ \text{mA}$ 量程时,转换开关转到相应挡位。使用 $10\ \text{A}$ 量程时要将红表棒插入 $10\ \text{A}$ 插孔,转换开关转到 $500\ \text{mA}$ 量程上。

2. 直流电压测量

电表与被测电路并联。

使用 $0.25\ \text{V}\sim 1\ 000\ \text{V}$ 量程时,转换开关转到相应挡位。使用 $2\ 500\ \text{V}$ 量程时,要将红表棒插入 $2\ 500\ \text{V}$ 插孔,转换开关转到 $1\ 000\ \text{V}$ 量程上。

3. 交流电压测量

电表与被测电路并联。

使用交流 $10\ \text{V}\sim 1\ 000\ \text{V}$ 量程时,转换开关转到相应挡位。使用交流 $2\ 500\ \text{V}$ 量程时,要将红表棒插入 $2\ 500\ \text{V}$ 插孔,转换开关转到交流 $1\ 000\ \text{V}$ 量程上。

4. 直流电阻测量

测量电阻前应先切断电路电源;测量电容时要对电容放电后再测量。