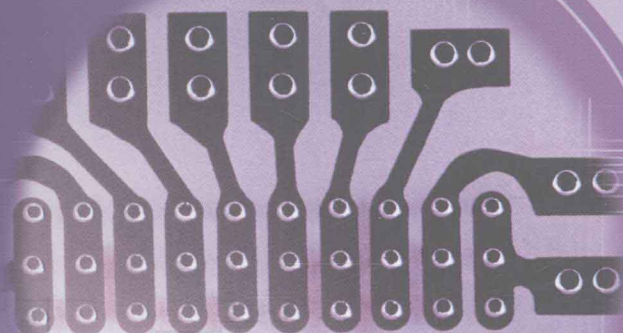




普通高等教育“十二五”规划教材 电工学系列教材

电工学实验教程

吴春俐 孙静 申燕 主编



DIP-1



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
电工学系列教材

电工学实验教程

主编 吴春俐 孙 静 申 燕
主审 宋君烈



机械工业出版社

本书是根据教育部《电工学课程教学基本要求》，在多年教学实践经验的基础上，结合本校电工电子实验室的最新实验设备编写而成的。

本书内容共分两部分。上篇是基础篇，包括常用实验仪器仪表的使用、Multisim 7 电路仿真软件及其应用、常用电子元器件的识别、手工锡焊技术等。下篇是实验篇，包括电工技术实验、电子技术实验和电工实践技能训练。实验内容突出了设计性和综合性。部分内容除硬件实验外，还要求用 Multisim 7 软件进行电路仿真实验，实现虚实互动。其中电工技术实验包括直流电路、交流电路、暂态过程、三相异步电动机的控制等实验；电子技术实验包括模拟电子、数字电子、通用逻辑阵列等实验。电工实践技能训练包括电路的设计、焊接与调试实验，如二极管与晶体管特性测试、数字仪表的设计与校验、电阻温度计的电路设计与标定、数字万用表的焊接、调试与校验等。附录包括部分实验装置及实验用集成电路芯片介绍。

本书可作为高等院校电工学课程实验教学用书，也可供有关专业科技人员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学实验教程/吴春俐, 孙静, 申燕主编. —北京: 机械工业出版社, 2011. 10

普通高等教育“十二五”规划教材. 电工学系列教材
ISBN 978-7-111-35940-1

I. ①电… II. ①吴…②孙…③申… III. ①电工技术-实验
- 高等学校-教材 IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 193647 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 徐 凡 责任编辑: 徐 凡

版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.5 印张 · 257 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35940-1

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在多年教学经验的基础上,根据教育部高等学校教学指导委员会制定的《电工学课程教学基本要求》所规定的实验项目并结合最新实验设备和实验教学要求编写而成的。为了与面向 21 世纪电工学课程内容和课程体系的改革同步,本着培养具有高素质人才的教育思想,我们改革了传统的电工学实验方式,采用了“软硬兼施,虚实互动”的现代化实验手段,在原有基础上增加了电路仿真实验和一些综合设计性实验。

电工学实验是电工学课程重要的实践教学环节。实验目的不仅仅是验证基本理论知识,更重要的是通过实验加强学生的实验手段和实践技能,培养学生分析问题、解决问题和应用知识的能力,充分放手让学生自行设计、模拟仿真、自主实验,做到实验与仿真相结合,真正培养学生的独立动手实践能力和应用计算机进行仿真实验的能力,全面提高学生的综合素质。

随着计算机和现代电子技术的快速发展,电子元器件、集成电路以及实验设备不断更新换代。为适应现代化实验教学的要求,力求在验证性实验的基础上,增加一些创新性、设计性综合实验,进而使非电专业的学生学会设计电路,并会使用仿真软件对电路进行仿真;学会识别和使用常用的电子元器件、电子仪器仪表以及电气设备;掌握手工锡焊技术等基本的电工实践技能。为此,本实验教程中介绍了常用电子元器件的识别、电工电子仪器仪表的使用、手工锡焊技术、Multisim 7 电路仿真软件的应用等内容。书中含有许多电子元器件、仪器仪表及最新的电工实验台、电子技术综合实验仪等实物图片,使学生在实验前有一个充分的感性认识,熟悉所用的实验仪器设备,能够认知、识别主要电子元器件。只有课前做好充分的预习,课堂上才能做到有的放矢,进而提高实验效率和实验质量。

本书的基础篇,介绍一些与实验相关的预备基础知识,如常用实验仪器仪表的使用方法、Multisim 7 电路仿真软件的基本操作、常用电子元器件的识别及手工锡焊技术等,要求学生实验课前必须认真仔细阅读,了解和掌握相关仪器设备和电路仿真软件的正确使用方法,以便在实验过程中能顺利地独立操作。

本书是由多年从事电工学理论教学和实验教学的一线教师在综合教学实践经验基础上编写的。吴春俐编写了第 1、3、4 章,第 5 章,第 7 章中的实验 1、实验 4 及附录 A;孙静编写了第 6 章及附录 B;申燕编写了第 2 章,第 7 章中的实验 2、实验 3,杨桦、郑世才、李露、刘泽军等参与了部分章节的编写并提供了实验仪器的相关资料,全书由吴春俐组织编写和统稿。荣西林和孙江对该书的编写提出了宝贵意见和建议,本书由宋君烈审阅,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者编写水平有限,书中难免存在错误、不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

上篇 基 础 篇

第1章 常用实验仪器仪表的使用	2	2.2 仿真软件界面及各部分功能简介	23
1.1 MS8215 型数字万用表	2	2.3 创建电路原理图的基本操作	29
1.2 C65 型直流毫安表	4	2.4 虚拟仪器的使用	31
1.3 T51 型交直流毫安表	5	2.5 Multisim 7 仿真软件的应用举例	39
1.4 EM1719A 型直流稳压电源	5	第3章 常用电子元器件的识别	46
1.5 D51 型功率表	7	3.1 色环电阻	46
1.6 DF1930 型交流数字毫伏表	9	3.2 电位器	48
1.7 DA—16 型晶体管交流毫伏表	10	3.3 电容器	49
1.8 GFG—8016G 型低频信号发生器	12	3.4 二极管	51
1.9 SG1692P 型数字合成功率信号发生器	13	3.5 晶体管	53
1.10 VP—5220D 型 20MHz 双踪示波器	17	第4章 手工锡焊技术	57
第2章 Multisim 7 电路仿真软件及其应用	23	4.1 电烙铁的正确使用	57
2.1 概述	23	4.2 手工焊接的操作姿势	58
		4.3 手工锡焊的基本步骤	59
		4.4 手工锡焊的技术要点	60
		4.5 印制电路板及元器件的焊接	62

下篇 实 验 篇

实验须知	68	实验10 三相异步电动机的Y-Δ降压启动控制	90
实验安全用电规则	68	第6章 电子技术实验	92
第5章 电工技术实验	69	实验1 晶体管单级放大电路	92
实验1 直流电路	69	实验2 阻容耦合两级放大电路	94
实验2 单相交流电路的研究	72	实验3 集成运算放大器的基本运算功能	97
实验3 荧光灯电路及功率因数的提高	75	实验4 集成运算放大器的应用(1)	100
实验4 交流电路中的串联谐振	78	实验5 集成运算放大器的应用(2)	103
实验5 电阻、电容移相电路	80	实验6 整流、滤波及稳压电路	106
实验6 三相交流电路	82	实验7 集成稳压电源	109
实验7 线性电路的暂态分析	84	实验8 晶闸管应用电路	111
实验8 三相异步电动机的继电器—接触器控制	87	实验9 基本门电路	115
实验9 三相异步电动机的顺序控制	89	实验10 组合逻辑电路的分析与设计	117
		实验11 表决电路的设计	119

实验 12	触发器逻辑功能测试	120			
实验 13	移位寄存器和环形寄存器	123			
实验 14	计数器的设计	125			
实验 15	集成计数器	128			
实验 16	计数、译码、显示电路	129			
实验 17	555 定时器组成的振荡 电路	133			
实验 18	555 定时器应用电路的 设计	135			
实验 19	抢答器的设计	137			
实验 20	通用阵列逻辑 GAL 实现基本门 电路的功能模拟实验	138			
实验 21	通用阵列逻辑 GAL 实现基本触 发器的功能模拟实验	140			
第 7 章	电工实践技能训练	142			
实验 1	二极管与晶体管的特性测试	142			
实验 2	数字仪表的设计与校验	144			
实验 3	电阻温度计电路的设计与标 定	146			
实验 4	数字万用表的焊接、调试与 校验	148			
附录		151			
附录 A	部分实验装置介绍	151			
附录 B	实验用集成电路芯片介绍	158			
参考文献		162			

上篇 基础篇

第 1 章 常用实验仪器仪表的使用

1.1 MS8215 型数字万用表

数字万用表（或多用表）同指针式万用表一样，是一种多用途仪表，它能测量电阻、直流或交流的电压与电流，并能对电容器、二极管进行测试。数字万用表有多种型号，目前实验室使用的是 MS8215 型数字万用表，下面以此为例介绍数字万用表的使用方法。

1. 面板说明

MS8215 型数字万用表面板如图 1-1-1 所示。

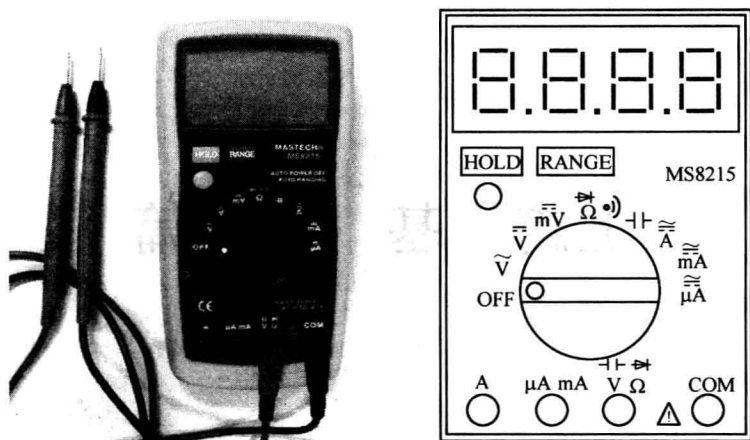


图 1-1-1 MS8215 型数字万用表的面板

其功能特点如下：

- 1) 此表为 $3\frac{3}{4}$ 位液晶显示，最大读数为“1999”，扩展最大读数为“2999”（用闪动的“1”代表最高位的“2”）。
- 2) 此表能自动显示极性，能自动切换量程。
- 3) 在进行测量时，四个表笔插孔只有两个可以插入表笔。黑表笔插入“COM”插孔，红表笔根据被测电量插入其他三个插孔中的一个。例如，测量“安培级（A）”电流时，红表笔插入 A 插孔；测量“微安（ μA ）级”或“毫安（mA）级”电流时，红表笔插入 μA mA 插孔；测量电压、电阻时，红表笔插入 V Ω 插孔。

2. 使用方法

- 1) 万用表不用时，电源开关（旋转开关）应置于 OFF 位置。
- 2) 测试之前，应先拔下表笔，再将旋转开关置于被测电量的位置，最后把表笔插入相应的插孔中。

- 3) 测试表笔插孔旁的△符号，表示被测电压不应超出规定值。
- 4) 万用表显示器的显示符号如图 1-1-2 所示，其含义见表 1-1-1。

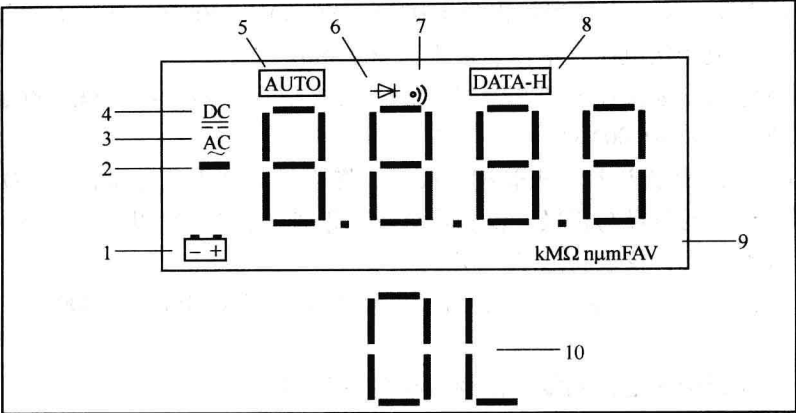


图 1-1-2 万用表显示器的显示符号

表 1-1-1 万用表显示器的显示符号含义

号码	符号	含 义
1		电池电量低,应尽快更换电池
2	-	负输入极性
3	AC	交流输入指示,有效值
4	DC	直流输入指示
5	AUTO	仪表在自动模式下,会自动选择具有最佳分辨力的量程
6		仪表在二极管测试模式下
7		仪表在通断测试模式下
8	DATA-H	仪表在读数保持(HOLD)模式下
9	V,mV A,mA,μA Ω,kΩ,MΩ	V:伏特,电压的单位;mV:毫伏,1×10 ⁻³ 或0.001 伏特 A:安培,电流的单位;mA:毫安,1×10 ⁻³ 或0.001 安培;μA:微安,1×10 ⁻⁶ 或0.000001 安培 Ω:欧姆,电阻的单位;kΩ:千欧,1×10 ³ 或1000 欧姆;MΩ:兆欧,1×10 ⁶ 或1000000 欧姆
10	OL	对所选择的量程来说,输入过高

5) 仪表的功能按键及操作:

①黄色圆按键 (在 HOLD 键下面): 转换开关挡位在“Ω”时, 此按键选择电阻测量、二极管测试或通断测试; 转换开关挡位在“mA”或“μA”时, 此按键选择直流或交流电流; 开机通电时按住此键, 取消电池节能功能。

②HOLD 键: 转换开关在任何挡位时, 按住 HOLD 键进入或退出读数保持模式。

③RANGE 键: 转换开关在“ $\tilde{V}$ ”、“ $\bar{V}$ ”、“A, mA, μA”、“Ω”挡位时, 按 RANGE 键进入手动量程状态; 按 RANGE 键可以逐步选择适当的量程 (对所选择的功能挡); 持续按住 RANGE 键超过 2s 会回到自动量程模式。

6) 转换开关挡位的功能及量程:

“ $\bar{V}$ ”，测量交流电压，本仪表量程为 400.0mV、4.000V、40.00V、400.0V 和 1000V（交流电压 400.0 mV 量程只存在于手动量程模式内）。

“ $\bar{V}$ ”，测量直流电压，本仪表量程为 4.000V、40.00V、400.0V 和 1000V。

“ $\overline{mV}$ ”，测量直流毫伏电压，本仪表量程为 400.0mV。

“ Ω ”，用黄色圆按键选择电阻测量模式，本仪表量程为 400.0 Ω 、4.000k Ω 、40.00k Ω 、400.0k Ω 、4.000M Ω 和 40.00M Ω 。

“ $\rightarrow$ ”，用黄色圆按键选择二极管测试模式，黑表笔和红表笔分别插入 COM 孔与 V 孔，再分别连接到二极管的负极与正极，仪表将显示二极管的正向偏置电压，大小在 0.5 ~ 0.8V 之间；若表笔极性接反，仪表将显示 “OL”。

“ $\dashv$ ”，电容测量，本仪表量程为 50.00nF、500.0nF、5.000 μ F、50.00 μ F 和 100.0 μ F。

“ $A \cong$ ”，直流或交流电流测量，范围为 0.01 ~ 10.00A。

“mA $\cong$ ”，直流或交流电流测量，范围为 0.01 ~ 400mA。

“ $\mu A \cong$ ”，直流或交流电流测量，范围为 0.1 ~ 4000 μ A。

1.2 C65 型直流毫安表

C65 型 0.5 级磁电系直流毫安表用于直流电路中电流的测量，也可作为校验较低准确度等级仪表的标准表。图 1-1-3 为其实物照片，其主要技术特性如下：

1) 电流量程分八挡：1.5mA、3mA、7.5mA、15mA、30mA、75mA、150mA、300mA。

2) 标度尺长度：约 110mm，标度是均匀的，为 100 分格。

3) 仪表准确度等级：0.5 级。

4) 阻尼响应时间：不超过 4s。

5) 温度影响：当环境温度由 $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 变化 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 时，改变量 $\leq 0.5\%$ 。

6) 位置影响：仪表自水平位置向任一方向偏离 5° 时，其指示值的改变不超过上量程的 $\pm 0.25\%$ 。

7) 外磁场影响：仪表加强度为 0.4kA/m 直流均匀外磁场，且在最不利的方向下由此引起仪表指示值的改变不超过基准值的 1.5%。

使用注意事项：

1) 仪表应水平放置，并尽可能远离大电流导线、极强磁性物质。

2) 接入仪表前应切断电源，按被测量电流选择相应的导线，将仪表可靠地接入线路中，并注意接线的“极性”。

3) 测量前利用表盖上的零位调节器将仪表的指针准确地调到标度尺的零位，并根据被测电流的大小将转换开关转到相应的量程上，尽可能先用较大的量程，以免使仪表过载。

4) 为提高测量精度，减小测量误差，当指针偏转小于上量程的 50% 时，可将转换开关转到较小的量程上再次测量。

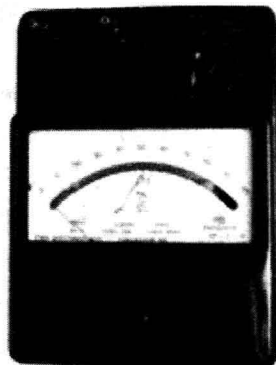


图 1-1-3 C65 型直流毫安表

1.3 T51 型交直流毫安表

T51 型交直流毫安表为可携式电磁系仪表,用于直流电路及频率标准范围从 45 ~ 65Hz 的交流电路中电流的精密测量,也可作校验较低准确度等级仪表的标准表。仪表选用于环境温度为 $(23 \pm 10)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 25% ~ 80%,且空气中不含有能引起仪表腐蚀的环境中。图 1-1-4 所示为 0.5 级 T51 型交直流毫安表,其主要技术指标如下:

1) 电流量程选择,分 250mA、500mA、1000mA 三挡。

2) 标度尺长度约为 110mm,满刻度数为 100。

3) 仪表准确度等级为 0.5 级。

要根据被测电流的大小来确定合适的电流量程挡位。选择原则是:被测电路的电流大小不能超过毫安表相应挡的量程。T51 型交直流毫安表的使用注意事项与 C65 型直流毫安表基本相同。

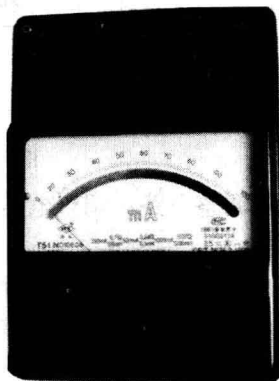


图 1-1-4 T51 型交直流毫安表

1.4 EM1719A 型直流稳压电源

直流稳压电源是教学、科研及实验中经常使用的直流电源,是一种高精度宽调节的电源装置。直流稳压电源有好多种,其实都大同小异,只要仔细阅读使用说明书或认真观察并弄懂电源面板上的各部件的功能,正确操作,就能安全使用各种直流稳压电源。

目前实验室使用的 EM1719A 型双路直流稳压电源,两路都具有恒压、恒流功能且这两种模式可随负载变化而进行自动转换。另外,本电源具有串联主—从工作功能,Ⅰ路为主路,Ⅱ路为从路,在跟踪状态下,从路的输出电压随主路的变化而变化,这对于需要对称且可调双极性电源的场合特别适用。Ⅰ、Ⅱ路每一路均可输出 0 ~ 32V、0 ~ 2A 连续可调的直流电压、电流。串联工作或串联跟踪工作时可输出 0 ~ 64V、0 ~ 2A 或 0 ~ $\pm 32\text{V}$ 、0 ~ 2A 的单极性 or 双极性电源。每一路输出均有数字电表指示输出参数,使用方便,不怕短路。

1. 工作原理

EM1719A 型直流稳压电源的原理框图如图 1-1-5 所示。由整流、差动放大、调整电路、保护电路等构成。整流、滤波后的电压经调整元件接到输出端,由于某种原因(电网波动或负载变化)引起输出电压 U_o 变化时,由取样环节将 U_o 的变化显示出来,并加到差动放大环节上,然后调整比较放大控制中的晶体管集电极电流的变化,以调节调整管的电压增大或减小,达到调节输出电压 U_o 的目的。

1) 换挡原理:由于输出电压 U_o 的变化范围是 0 ~ 32V,所以采用变压器二次侧输出的交流电压通过换挡后加至整流、滤波环节,此过程由换挡电路及驱动电路完成,根据输出电压大小自动换挡。

2) 恒压、恒流工作的相互转换:恒压工作时,电压比较放大器对调整管处于优先控制状态。当恒压工作的输出电流达到恒流点设定值时,恒流比较放大器对调整管处于优先控制

状态, 电路的工作模式由恒压转换成恒流。

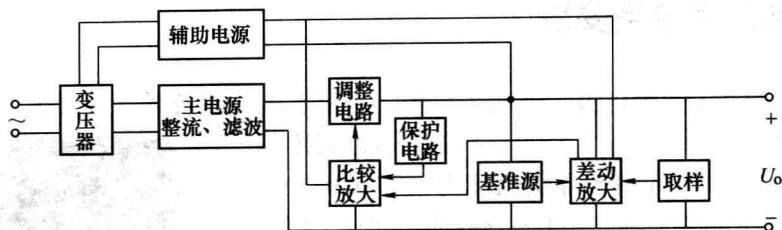


图 1-1-5 EM1719A 型直流稳压电源的原理框图

3) 调整电路: 调整电路是串联线性调整器, 由误差放大器控制使之对输出参数进行线性调整。

4) 比较放大器: 比较放大器相对于调整电路其馈电方式为全悬浮式, 该电路的优点是调整范围大、精度高、电路简单、可靠性高, 不怕过载或短路。

5) 基准源: 由 2DW7C 的零温度系数基准电压稳压管构成, 电路简单可靠, 精度和稳定度都较高。

6) 指示电路: 由两块高灵敏度数字式电表组成, 可由面板上的直键开关控制, 对输出电压或电流进行指示, 其指示精度为 2.5%。

2. 面板说明

EM1719A 型直流稳压电源的面板如图 1-1-6 所示。其主要功能如下:

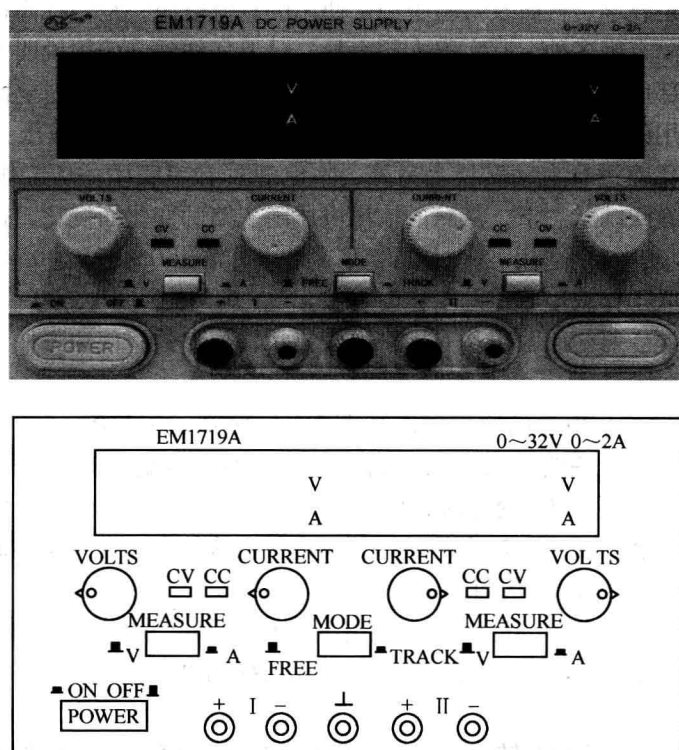


图 1-1-6 EM1719A 型直流稳压电源面板

- 1) 数字式电表：显示屏上的数字显示输出电压或电流，量纲由指示灯指示。
- 2) 电压调节 (VOL TS)：调整恒压输出值。
- 3) 电流调节 (CURRENT)：调整恒流输出值。
- 4) 跟踪工作 (MODE)：串联跟踪工作按钮（按下）。
- 5) 独立工作：非跟踪工作 (MODE 按钮抬起)。
- 6) 接地端：机壳接地接线柱。

3. 使用方法

1) 直流稳压电源的交流电源为 ~220V、50Hz，机壳接地；电源 (POWER) 按钮按下时是开启电源，再次按下抬起时是关闭电源。

2) 面板上根据功能色块分布，I 区内的按键 (MEASURE) 为 I 路仪表指示功能选择，按下时指示该路输出电流，抬起时指示该路输出电压；II 路和 I 路相同。

3) 按键 (MODE) 是跟踪 (TRACK) 和独立 (FREE) 选择开关，按下时，在 I 路输出负端至 II 路输出正端之间加一根短接线（短接片），开启电源后，整机即工作在主—从跟踪状态。

4) 恒定电压的调节 (VOL TS 旋钮)，在输出端开路时调节；恒定电流的调节 (CURRENT 旋钮)，在输出端短路时调节设定。

1.5 D51 型功率表

1. 工作原理

功率表（又称瓦特计）可以交流或直流两用，具有较高的准确度和灵敏度。

功率表原理结构与接线图如图 1-1-7 所示，它具有两个线圈，匝数少而导线粗的为电流线圈，匝数多而导线细的为电压线圈，它的功率计算公式为

$$P_w = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

当电流和电压是直流时，功率为

$$P_w = UI$$

当电流和电压是正弦交流时，功率为

$$P_w = UI \cos \varphi$$

式中， φ 为电压 u 和电流 i 的相位差。

图 1-1-5 中，带“*”号的接线端子代表两线圈的公共端子，测量时要用导线将其连接起来，电压线圈要与被测电路（或元件）并联，电流线圈要与被测电路串联。

2. 使用方法

下面以实验所用的 D51 型功率表为例介绍使用方法，其他型号功率表的使用与其基本类似。D51 型功率表属于高功率因数 ($\cos \varphi = 1$) 功率表，图 1-1-8 为其实物照片，左侧两个接线端子为电压接线端子，紧挨它的是电压量程换挡旋钮，有“+”、“-”两组各四个量程；右侧两个接线端子为电流接线端子，紧挨它的是两个电流量程换挡旋钮。

(1) 功率表的量程选择

电压量程选择，分 75V、150V、300V、600V 四挡，有“+”、“-”两组量程。

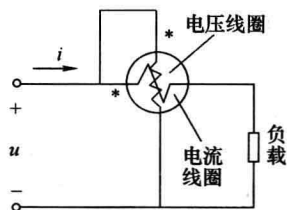


图 1-1-7 功率表接线图

电流量程选择,分 0.5A、1A 两挡。

量程的选择要根据被测电路电压、电流的大小来确定合适的电压、电流挡位。选择原则是:被测电路的电压、电流的大小不能超过所使用功率表的电压、电流相应挡的量程,否则会烧坏仪表的线圈。当功率表指针反偏时,将电压量程旋钮转到另一组相应的量程挡。测量前若仪表的指针没有准确地对准标度尺的零位,则可以利用表盖上的零位调节器进行调整。

(2) 功率表的具体接线方法

为使用方便、安全,实验室测量功率时,将电流接线端子接电流表插头,然后将电流插头插入串接在被测试电路的电流插孔盒中(即相当于功率表的电流线圈串在被测电路中)。而电压端子接红、黑两测试表笔,测量时将两个电压测试表笔跨接在被测电路的两端,可不必再连接公共端子“*”。在测试过程中,如发现表盘指针反向偏转,则调换电压测试表笔的位置即可。(有关电流插孔盒和电流表插头的使用方法参见实验篇电工技术实验 2)

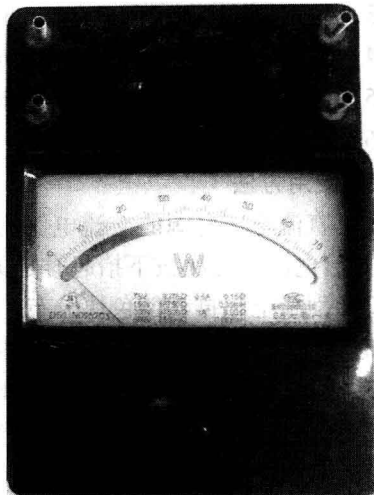


图 1-1-8 D51 型功率表

(3) 功率表的读数

把所使用的功率表的电压、电流相应挡的量程值相乘,乘积数即为满刻度功率值。例如,测量时功率表的电压量程选 300V、电流量程选 1A,则功率表的满刻度对应的功率为 300W。若功率表表盘上的满刻度数为 75,表盘指针所指的刻度数乘以 4 才是被测电路的功率值。若测量时功率表指示的刻度数为 30,则表示功率为 120W。所以,当选用不同的电压、电流量程时,表盘上每个刻度所代表的功率是不相同的,需要经过计算才能得到所测电路的功率值。

注意:为保证功率表的使用安全,仅考虑功率表的读数不超过量程是不够的,必须保证被测电流和电压都不得超过量程。

3. 两瓦计法测三相总功率的连接电路与工作原理

图 1-1-9 所示为两瓦计法的三相功率测量接线图,其中以 L_2 线为基准,两个功率表的电压线圈分别跨接于 L_1 、 L_2 线间和 L_3 、 L_2 线间,电流线圈分别串接于 L_1 、 L_3 线中,两个功率表读数的总和即为三相负载的总功率。

证明如下:

在三相电路中,若三相负载是星形联结,则各相负载的电压可分别以 u_1 、 u_2 、 u_3 表示。若三相负载是三角形联结,可用一个等效的星形联结的负载来代替,则 u_1 、 u_2 、 u_3 表示代替以后三相电路各相负载的电压。两瓦计的 u 和 i 瞬时表达式为

$$p_1 = u_{12} i_1 \quad p_2 = u_{32} i_3 \quad p = p_1 + p_2 = u_{12} i_1 + u_{32} i_3$$

假定三相负载是无中性线的星形联结,则

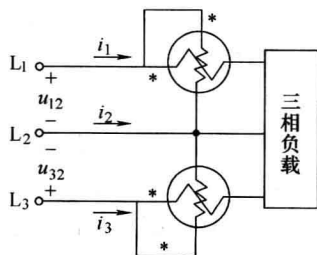


图 1-1-9 两瓦计法接线图

$$p = (u_1 - u_2)i_1 + (u_3 - u_2)i_3 = u_1i_1 + u_3i_3 - u_2(i_1 + i_3) = u_1i_1 + u_2i_2 + u_3i_3$$

其平均功率为

$$P = U_1I_1\cos\varphi_1 + U_2I_2\cos\varphi_2 + U_3I_3\cos\varphi_3$$

因此,两个功率表的读数总和就是三相负载的总功率。当然以 L_1 线或 L_3 线为基准也可以,如果以 L_1 线为基准,则两个功率表的电压线圈分别跨接于 L_2 、 L_1 线间和 L_3 、 L_1 线间,电流线圈分别串接于 L_2 、 L_3 线中,这和用三个功率表分别测量三个单相功率然后叠加起来是等效的。同理,用两瓦计法测量三角形联结负载功率也不难证明是可行的。但需要注意的是,两瓦计法不适用于测量有中性线的不对称星形联结负载的功率。

1.6 DF1930 型交流数字毫伏表

1. 概述

DF1930 型交流数字毫伏表适用于测量频率 5Hz ~ 2MHz, 电压 100 μ V ~ 300V 的正弦有效值电压。该仪器采用 4 位数字显示, 精度高, 频率影响误差小, 输入阻抗高。有电压、dB、dBm 三种显示方式, 能自动转换量程, 使用方便。

2. 工作特性

1) 交流电压测量范围: 100 μ V ~ 300V, 量程分为 3mV、30mV、300mV、3V、30V、300V。

2) dB 测量范围: -79 ~ +50dB (0dB = 1V)。

3) dBm 测量范围: -77 ~ +52dBm (0dBm = 1mV, 600 Ω)。

4) 固有误差: $\pm 0.5\%$ 读数 ± 6 个字 (1kHz 为基准)。

5) 最高分辨力: 1 μ V。

3. 使用方法

DF1930 型交流数字毫伏表的面板如图 1-1-10 所示。

1) POWER: 电源开关, 按下为接通电源, 抬起为关断电源。

2) PRESET RANGE: 量程换挡键, 当测量方式为“MAN”(手动转换量程)时, 用于改变量程。按一下“◀”开关, 向小量程方向跳一档, 按一下“▶”开关, 向大量程跳一档。

3) AUTO/MAN: 测量方式选择键, 开机时处于“AUTO”(自动转换量程)状态。按一下该开关, 转换到“MAN”(手动转换量程)状态, 再按一下该开关, 又回到“AUTO”状态。各种状态在面板上有相应的指示灯显示。

4) V/dB/dBm: 显示方式选择键, 开机时处于电压显示(V 或 mV)方式。每按一下该开关, 仪器便在 V、dB、dBm 三种显示方式之间切换。

5) INPUT: 被测信号输入端, 所测交流电压不得大于 450V。

6) OVER: 过量程或欠量程指示灯, 当测量方式处于“MAN”, 显示数字(整数)大于 3100 或小于 290 时, 该指示灯亮, 表示当前量程不合适。

7) AUTO: 该灯亮时表示当前处于自动转换量程状态。

8) MAN: 该灯亮时表示当前处于手动转换量程状态。

9) 显示窗口右侧的四个量程指示灯, 其中一个亮表示当前的量程, 指示灯右侧的字符

为显示单位。窗口下面的六个指示灯为量程指示灯。

10) 显示窗口为4位数码管,当被测电压超出测量范围时其显示数字会闪烁,表示该数据无效。

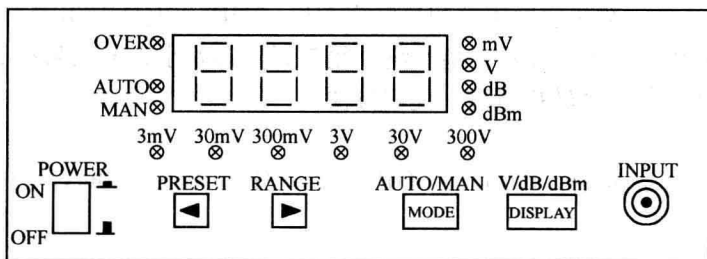


图 1-1-10 DF1930 型交流数字毫伏表面板

1.7 DA—16 型晶体管交流毫伏表

1. 概述

DA—16 型晶体管交流毫伏表是放大—检波式全晶体管化的毫伏表,测量精确度高,具有高灵敏度和高稳定性的特性;在电路上采用了大信号检波,使仪器有良好的线性,而且噪声对测量影响很小。该仪器频带宽,从 20Hz ~ 1MHz;采用二级分压,测量电压范围广,从 100 μ V ~ 300V。电表刻度指示为正弦波有效值。面板如图 1-1-11 所示。

2. 技术性能

- 1) 测量交流电压范围: 100 μ V ~ 300V。
- 2) 量程: 1mV、3mV、10mV、30mV、100mV、300mV、1V、3V、10V、30V、300V 共十一挡。
- 3) 测量电平范围: -72 ~ +32dB (0dB = 0.775V)。
- 4) 被测电压频率范围: 20Hz ~ 1MHz。
- 5) 频率响应: 20Hz ~ 100kHz, 误差不大于 3%; 100kHz ~ 1MHz, 误差不大于 5%。

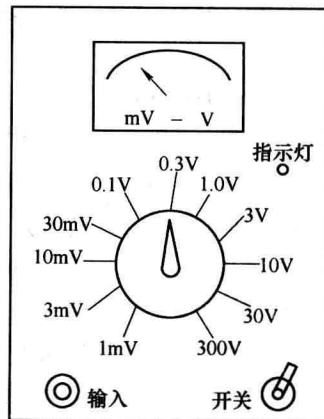


图 1-1-11 DA—16 型晶体管交流毫伏表面板

6) 输入阻抗: 在 1kHz 时输入电阻约为 $1.5\text{M}\Omega$ 。输入电容: 在 $1\text{mV} \sim 0.3\text{V}$ 时约为 70pF (包括接线电容在内), $1 \sim 300\text{V}$ 时约为 50pF 。

7) 噪声: 输入短路时, 电表指示不大于 1 小格。

8) 电源: $220\text{V} \pm 22\text{V}$, $50\text{Hz} \pm 2.5\text{Hz}$, 功率为 3W 。

3. 工作原理

(1) DA—16 型晶体管交流毫伏表原理框图

如图 1-1-12 所示。

(2) 原理简介

1) 输入级: 该毫伏表输入级采用输入阻抗高、输出阻抗低的射极跟随器。由于高阻分压器频率响应不易做好, 故此电路将 0.3V 以下信号变换成低阻抗电压进行分压, 对大于 0.3V 的信号, 为避免输出失真及烧坏晶体管, 在前级衰减后进入射极跟随器。

2) 放大器: 放大器是采用多只晶体管, 电压增益约为 60dB 。第一级也采用射极跟随器, 以减小对前级低阻分压器的影响, 放大器有反馈式线性补偿, 有效地克服了检波二极管的非线性及温度影响, 改善了该毫伏表的频率响应特性。

3) 检波器: 由于放大器采用了以恒流源为负载的复合放大电路, 因此放大器有很大的开环增益, 又由于引入了深度负反馈, 因此具有良好的检波线性。

4) 18V 稳压电源: 18V 稳压电源由二极管桥式整流及 7818 三端稳压器等组成, 输出 $+18\text{V}$ 直流电压, 该稳压器稳定性好, 纹波小, 完全可满足 DA—16 型晶体管交流毫伏表整个电路的要求。

4. 使用方法

(1) 说明

- 1) 该毫伏表的电源电压为 $220\text{V} \pm 22\text{V}$ 。
- 2) 被测电压为纯正的正弦波, 若电压波形有过大的失真可引起读数不准。
- 3) 测量前, 将该毫伏表放置适当的挡级, 以免过载太大烧坏晶体管。
- 4) 测量精度以该毫伏表表面垂直放置于 (有的毫伏表要求水平放置) 测试台为准。
- 5) 所测交流电压不得大于 300V 。
- 6) 用本电压表测市电, 相线接输入端, 中性线接地, 不能接反; 测量 36V 以上电压时, 应注意机壳带电。

7) 在 1mV 高灵敏度挡级时, 零位少许上升为正常, 不影响测量使用。

(2) 交流电压的测量

- 1) 仪器在接通电源之前, 先观察指针是否在零位上, 如果不在零位上应调到零位。
- 2) 将量程开关预置于 300V 挡。
- 3) 接通电源, 数秒钟内指针有所摆动, 然后稳定。
- 4) 输入被测信号, 将量程开关逆时针转动, 便可按挡级及指针位置读出被测电压值。

说明: 无论是数字式交流毫伏表还是指针式交流毫伏表, 使用方法基本一样。使用时只需要注意到两点: 一是测量时量程不要超限, 二是能准确地读出所测数据。

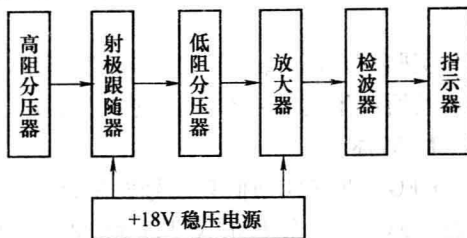


图 1-1-12 DA—16 型晶体管交流毫伏表原理框图