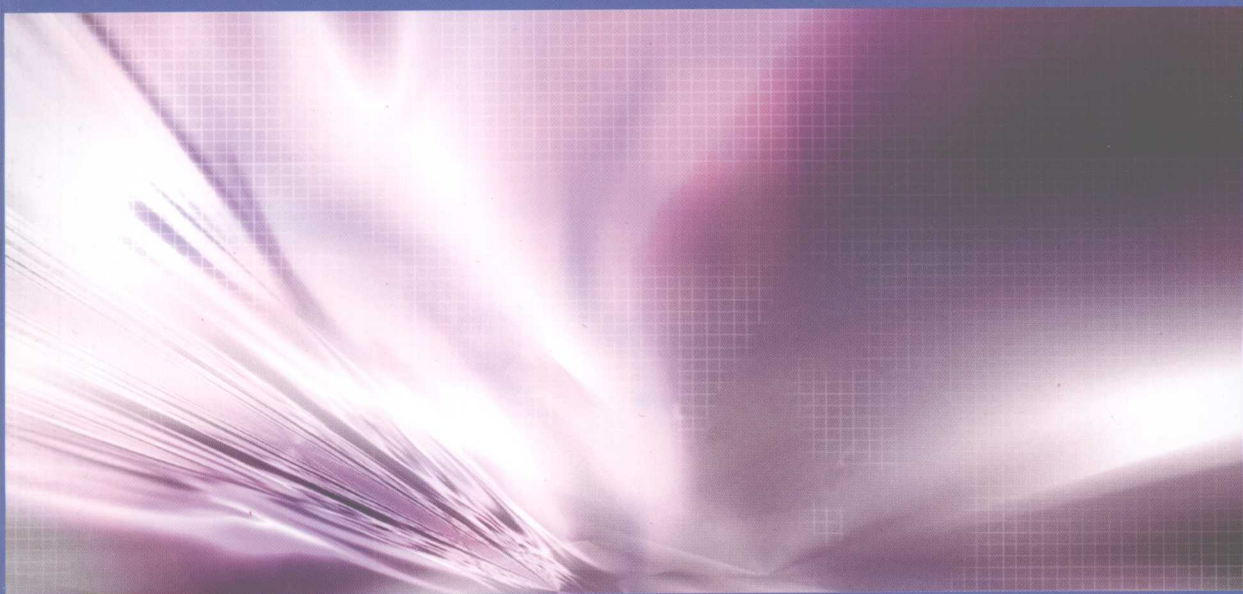




普通高等教育“十一五”规划教材

电路分析实验 与学习指导

王艳松 何新霞 马文忠 编



中国石油大学出版社



普通高等教育“十一五”规划教材

电路分析实验 与学习指导

王艳松 何新霞 马文忠 编

中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路分析实验与学习指导/王艳松等编. —东营:中国石油大学出版社, 2007. 10

ISBN 978-7-5636-2302-0

I. 电… II. 王… III. ①电路分析—实验—高等学校—教学参考资料②电路理论—高等学校—教学参考资料
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 152171 号

书 名: 电路分析实验与学习指导
作 者: 王艳松 何新霞 马文忠

责任编辑: 宋秀勇 刘 清 (电话 0546—8392139)
封面设计: 李 东

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: yibian8392139@163.com
排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心
印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392139)
开 本: 185×260 印张: 18.5 字数: 474 千字
版 次: 2007 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 28.80 元

前言

本书是校级“十一五”规划教材,作为电气信息类(自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、计算机科学与技术、通信工程)和测控技术与仪器专业“电路分析”课程的实验教材和配套学习指导。

本书共分三部分。

第一部分为电路分析实验。内容包括:电路实验基础知识、常用电子仪器仪表、实验项目。电路实验基础知识介绍了实验的意义、目的和基本要求,实验测量方法和误差分析。常用电子仪器仪表介绍了与电路分析实验有关的仪器、仪表的使用方法。实验项目由直流电路实验模块、动态电路实验模块、交流电路实验模块、频域分析实验模块和电路仿真实验模块构成,共包括验证性实验、综合实验和设计实验 26 个。

第二部分为电路学习指导。内容包括:电路的基本概念和基本定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析、电路定理、一阶电路、二阶电路、相量法、正弦稳态电路的分析、含有耦合电感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路和信号的频谱、拉普拉斯变换、网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络、非线性电路简介。每章都包含学习要点、典型例题分析和习题三个部分。

第三部分为附录。内容包括:2005 年、2006 年和 2007 年中国石油大学研究生入学考试试题(A 卷)、期中考试模拟题 1 套、期末考试模拟题 2 套和 04 级期末考试题。学生通过做历年考试试题和模拟题,能够较好地检验学习效果,提高分析问题的能力。

本书在内容的组织和编写上具有以下特点:

1. 注重电路学习中知识点的归纳和总结,通过大量典型例题加强了学习辅导,并提供了大量的习题供学生练习。

2. 电路实验教程和学习指导融为一体。将电路理论分析与技能培养有机结合,不仅帮助学生理解所学的电路基础理论知识,更重要的是提高学生应用电路基本理论分析问题和解决问题的能力,培养学生严谨的科学作风。所选择的实验和学习指导内容的难易程度覆盖了不同层次的教学要求,有利于帮助不同层次的学生掌握电路基本原理和基本实验技能,提高学生的实验操作能力和实验设计能力。

3. 加强学生实验技能和创新能力培养。为满足不同专业、不同层次学生对实

验技能和创新能力的要求。从实验内容分为验证性实验、综合性实验和设计性实验,所编实验项目多于实验课学时,为有能力的学生提供创新和研究性学习的空间。

参加本书编写工作的有王艳松(第一篇的第1、5章,第二篇的第5、7、8、9、10章及附录)、何新霞(第一篇的第2、3、4章,第二篇的第1、2、3、4、6章)、马文忠(第一篇的第6、7、8章,第二篇的第11、12、13、14、15、16章)。张磊也参加了本书部分章节的编写。全书由王艳松任主编,负责全书的统稿和定稿工作;何新霞和马文忠任副主编,协助主编的工作。

本书由中国石油大学(华东)刘润华教授仔细审阅,并提出了许多宝贵意见。编写过程中还得到中国石油大学(华东)信息与工程学院电气工程及其自动化系各位老师的精心指导与帮助,谨在此致以衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,衷心欢迎读者,特别是使用本书的教师和同学们批评、指正,并提出改进意见。

编者

2007年9月

目 录

第一篇 电路分析实验

第 1 章 绪论	(3)
1.1 实验基本要求	(3)
1.2 基本测量与误差	(4)
1.3 测量结果的处理	(6)
第 2 章 常用电子仪器、仪表	(8)
2.1 模拟万用表	(8)
2.2 数字万用表	(11)
2.3 直流稳压电源	(13)
2.4 函数信号发生器	(15)
2.5 示波器	(17)
2.6 电子管毫伏表	(21)
2.7 单相功率表	(22)
第 3 章 直流电路实验	(25)
实验一 基本元件伏安特性测试	(25)
实验二 基尔霍夫定律的研究	(28)
实验三 叠加定理的研究	(29)
实验四 戴维南定理的研究	(31)
第 4 章 动态电路实验	(34)
实验一 常用电子仪器使用	(34)
实验二 一阶电路的研究	(36)
实验三 二阶电路的研究	(38)
第 5 章 交流电路实验	(41)
实验一 R, L, C 元件频率特性的测试	(41)
实验二 感性负载电路功率因数的提高	(43)
实验三 RLC 串联电路的频率特性和谐振现象的研究	(46)
实验四 阻容移相和选频网络的设计	(47)
实验五 交流电路中互感的观察与测试	(48)
实验六 三相电路的研究	(51)
实验七 三相电路功率的测量	(54)

第 6 章 频域分析实验	(58)
实验一 二端口网络参数的测定	(58)
实验二 滤波器的设计	(59)
实验三 回转器测试	(61)
第 7 章 Multisim 电路仿真分析软件概述	(63)
7.1 Multisim7 用户界面	(63)
7.2 电路仿真实例	(67)
第 8 章 电路仿真分析实验	(72)
实验一 基尔霍夫定理的 Multisim 仿真分析	(72)
实验二 受控源电路的 Multisim 仿真分析	(73)
实验三 常用电路分析法的 Multisim 仿真分析	(75)
实验四 叠加定理的 Multisim 仿真分析	(77)
实验五 等效电源定理的 Multisim 仿真分析	(79)
实验六 动态电路的 Multisim 仿真分析	(81)
实验七 谐振电路的 Multisim 仿真分析	(83)
实验八 三相电路的 Multisim 仿真分析	(85)
实验九 变压器电路的 Multisim 仿真分析	(87)

第二篇 电路分析学习指导

第 1 章 电路模型和电路定律	(91)
1.1 学习要点	(91)
1.2 典型例题	(98)
1.3 习题	(101)
第 2 章 电阻电路的等效变换	(104)
2.1 学习要点	(104)
2.2 典型例题	(111)
2.3 习题	(113)
第 3 章 电阻电路的一般分析	(117)
3.1 学习要点	(117)
3.2 典型例题	(119)
3.3 习题	(123)
第 4 章 电路定理	(126)
4.1 学习要点	(126)
4.2 典型例题	(131)
4.3 习题	(136)
第 5 章 一阶电路	(140)
5.1 学习要点	(140)
5.2 典型例题	(146)
5.3 习题	(154)

第 6 章 二阶电路	(157)
6.1 学习要点	(157)
6.2 典型例题	(158)
6.3 习题	(160)
第 7 章 相量法	(161)
7.1 学习要点	(161)
7.2 典型例题	(164)
7.3 习题	(165)
第 8 章 正弦稳态电路的分析	(166)
8.1 学习要点	(166)
8.2 典型例题	(172)
8.3 习题	(181)
第 9 章 含有耦合电感的电路	(185)
9.1 学习要点	(185)
9.2 典型例题	(190)
9.3 习题	(193)
第 10 章 三相电路	(196)
10.1 学习要点	(196)
10.2 典型例题	(198)
10.3 习题	(201)
第 11 章 非正弦周期电流电路和信号的频谱	(203)
11.1 学习要点	(203)
11.2 典型例题	(206)
11.3 习题	(208)
第 12 章 拉普拉斯变换	(211)
12.1 学习要点	(211)
12.2 典型例题	(214)
12.3 习题	(217)
第 13 章 网络函数	(219)
13.1 学习要点	(219)
13.2 典型例题	(220)
13.3 习题	(222)
第 14 章 电路方程的矩阵形式	(224)
14.1 学习要点	(224)
14.2 典型例题	(226)
14.3 习题	(231)
第 15 章 二端口网络	(236)
15.1 学习要点	(236)
15.2 典型例题	(242)
15.3 习题	(245)

第 16 章 非线性电路简介	(249)
16.1 学习要点	(249)
16.2 典型例题	(251)
16.3 习题	(253)
第三篇 附 录	
中国石油大学(华东)2005 年硕士研究生入学考试试题(A 卷)	(257)
中国石油大学(华东)2006 年硕士研究生入学考试试题(A 卷)	(262)
中国石油大学(华东)2007 年硕士研究生入学考试试题(A 卷)	(267)
期中考试模拟试题	(272)
期末考试模拟试题 1	(277)
期末考试模拟试题 2	(281)
04 级期末考试题	(286)

第一篇

电路分析实验

第1章 绪论

1.1 实验基本要求

科学实验是人们获得知识和进行科学研究的重要手段。电路实验课是电气信息类专业基础实践课程。电路实验的目的是巩固学生的电路理论知识,加强基本实验技能,促进研究性学习,为培养学生实验创新能力和学习后续专业知识,打下良好的实践基础。

一、实验教学目标

根据电路实验大纲的要求,通过电路实验课,学生应在实验技能上达到下列要求:

1. 正确使用常见的电工仪表和电子仪器,掌握基本的电工测试技术。
2. 掌握元器件的使用和电路的设计方法。
3. 应用电路理论和实验测试方法设计实验方案,掌握实验电路接线和排除一般电路故障的方法。
4. 认真观察实验现象,正确读取、处理实验数据;注重应用理论对实验结果进行分析和解释。

二、实验基本要求

电路分析实验课以电路分析理论课为基础,以各种仪器设备为工具,应用实验手段来分析问题和处理问题。摆脱以往的实验教学与理论教学在内容上的一一对应,侧重实验技能、实验方法和实验经验的积累,突出实验能力和创新能力的培养。实验课不同于理论课,要完成实验任务,达到实验目的,首先应熟悉各种仪器的功能、特点,掌握其使用方法,其次应掌握如何运用所学理论指导具体操作。实验课的学习一般分为三个环节。

1. 课前预习

实验能否顺利进行和收到预期效果,很大程度上取决预习准备工作是否充分。因此,要求实验之前仔细阅读实验教材及有关参考资料,明确实验目的、实验必备的理论知识、实验内容、实验要求及注意事项等。根据实验任务和要求制定出实验方案、实验步骤、测量数据的记录表格。还应通过理论分析和计算对实验结果做到心中有数,以便及时发现实验中的问题,保证实验结果的正确性。写出包含实验目的、实验原理、实验仪器和设备、实验电路、实验内容步骤、记录表格和注意事项的预习报告,为进入实验室有条不紊地进行实验提供依据,也为实验后进行总结提供原始资料。

2. 实验操作

实验操作是在实验室将所设计的实验方案付诸于实施的整个实验过程。包括熟悉、检查及使用实验仪器仪表与实验元器件,连接实验线路,实际测试、记录数据及实验后的整理工作等。

(1) 仪器仪表与元器件

实际应用中的仪器及元器件不同于书本中的理想元件,同一性质的仪器有型号、用途及外观形状等差别,同一性质的器件有材质、功率、用途及体积大小等区别。电路实验中使用低频或直流仪器仪表和普通用途的中、小功率元器件。

(2) 连接实验电路

连接实验电路是进行实验并取得正确结果的第一步,至关重要。

① 实验对象的摆放,应遵循布局合理、操作方便、连线简单的原则,对于信号频率较高的实验,还应注意干扰问题。

② 实验连线的顺序是先按电路图的主回路接线,再接并联支路。

(3) 电路的故障检测

实验中常常会因为导线接触不良或损坏、元器件值错误和使用电压、电流或功率超过器件允许的额定值等因素影响电路的正常工作,严重时还会烧坏仪表及元器件。实验中不但要完成所有的实验任务,还应初步掌握电路故障检测、排除的方法,这是基本实验技能。故障检测的方法根据工作环境、使用仪器的不同,一般有以下几种:

① 断电检测法:当电路中电压较高,出现故障时,应立即切断电源,用万用表相应功能挡检查器件的好坏、导线的通断、电源是否正常等。

② 带电检测法:在电压较低的交、直流电路实验中,如发现电路故障,可用电压表首先检查电源供电是否正常,然后测量电路中有关节点的电位或某两点间的电压值是否正常,根据测量结果分析并找出故障部位。

③ 示波器检测法:用示波器观察电路中相关点的电压波形、有关元器件管脚的信号波形和工作点电压是否正常,分析并找出故障原因。

实验中可能出现一些不可预料的故障,为保证实验顺利进行,对电路正常工作的电压、电流和信号波形应有一定的了解。另外,面对已出现的电路故障,应立即切断电源,保护现场,冷静分析故障原因,准确排除电路故障。

3. 课后总结

对实验过程进行分析和总结,撰写实验报告的主要工作是实验数据的处理。此时,要充分发挥曲线和图表的作用,其中的公式、图表、曲线应有编号、名称等,以保证叙述条理的清晰。为了保证整理后的数据的可信度,实验报告中必须保留有教师签名的原始数据。实验报告最重要的部分是实验结论,它是实验的成果,对此结论必须有科学的根据和来自理论及实验的分析。在预习报告的基础上,完善实验报告的内容,添加实验数据的整理和分析、实验结论、回答问题。此外,报告中还应包括实验中发现的问题、现象及事故的分析、实验收获及心得体会等。

实验报告一律采用实验报告纸,并填写以下几项内容:

实验名称: _____

班级: _____ 组别: _____

实验者: _____

实验日期: _____ 成绩: _____

1.2 基本测量与误差

不论在日常生活中,还是在科学实验中,测量都具有普遍的重要意义,它是进行科学实验的必备技能。测量方法正确、测量结果真实,可以使人们顺利达到预定目标,如果在测量上出

现问题,可能会将人们引入歧途,得出一个与事实不符的错误结论。在实际测量中我们获得的信息通常为两种:一种是期望得到的直接信息;一种是隐含在当前获取的信息中,尚需进一步的处理及提取。

电路的基本测量内容如下:

- (1) 电路参数的测量,如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数等。
- (2) 电量的测量,如电流、电压、功率等。
- (3) 电信号波形参数的测量,如频率、周期、相位、幅值等。

1. 测量误差

只要进行测量,得到的测量值和真值之间就会产生一定的误差,称为测量误差。测量误差按其表示方式可分为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

$$\Delta x = x - x_0$$

式中, Δx 为绝对误差; x 为测量值,即仪器的测出值; x_0 为真值,是客观存在的,但通常得不到,一般用理论值或精度较高的仪器测量值代替。绝对误差与测量值具有相同的单位,不能正确反映测量的精确度。

(2) 相对误差

① 实际相对误差。实际相对误差是指绝对误差与实际真值之比,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

② 示值相对误差。示值相对误差是指绝对误差与仪表测量的指示值之比,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

③ 满度相对误差。满度相对误差是指绝对误差与仪表满度值之比,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

常用电工仪表的等级就是按满度相对误差分级的。因此,在选用仪表时不要用大量程去测量小电量,并且测量值与仪表的满刻度值越接近,测量越准。测量电流、电压时,指针应尽可能接近于满刻度的 $2/3$ 以上,测量电阻时,指针应尽可能接近于该挡的中心刻度线,以使测量误差尽可能小。

2. 测量方法与测量精度

一个物理量的测量可以选择不同的测量方法来实现。常见的测量方法有直接测量法、间接测量法、组合测量法。

① 直接测量法,它利用电工仪器仪表直接对被测量进行测量。如用电压表测量元件两端的电压,用电流表测量某支路的电流。

② 间接测量法,它是利用当前直接测试的量与被测量之间的已知函数关系或某种约束关系所进行的测量。如测试电阻元件消耗的功率,可测量其端电压及流过它的电流来测定元件消耗的功率。

③ 组合测量,是指兼用直接测量和间接测量的方法。

测量精度的高低与下列因素有关:

① 所用仪器。选取合适的测量仪器,同时合理选取仪表的量程,是获得正确实验结果的前提。因此,选用仪表时一定要注意其技术参数、适用范围。仪器的等级越高,如果使用不当

也达不到应有的效果。如用毫伏表测直流电压,用数字万用表测大于 1 kHz 的交流信号,都不会得到正确的结果。

② 数值读取。当使用模拟仪表进行测量时,测量结果通常用刻度给出,因此读数时要有正确的姿势,当仪表指针与分刻度线不重合时,应凭目估读一位欠准数字。当表针漂移或抖动时,应先找出原因,排除后再读数。

对于数字式仪表,首先要调整好仪器的量程,使读数有一个正确的有效位数,以保证精度。

③ 有效数位的处理。在测量中或实验后的数据处理时要使同一项测量保持相同的测量精度即它们的小数点后面的数位相同。每一测量数据的最后一位是欠准数据。

④ 测量取点。在许多测量中,测量的目的不单单是为了获得一个或几个量值,而是要在测量数据的基础上得到某些量之间的关系曲线。因此,应在实验前对曲线的变化趋势有所了解,使测量的数据点必须足够多。曲线的线性段数据可适当少些,但非线性段和突变处测量数据点应足够多。

1.3 测量结果的处理

从实验目的出发,电路分析实验一般分为两类:一类是对电路的工作状态进行测试分析;另一类是对电路的工作特性进行测试分析。仅获得实验测量数据远达不到实验目的,必须在原始测量数据的基础上,通过对实验数据的加工、整理、分析得到实验结论。

对实验测量数据的处理方法通常有两种:列表法和曲线法。

一、列表法

列表法就是将测取的原始数据进行整理分类后放在一个特制的表格里,其目的是将所有数据有序地放在一起,既可以使实验结果一目了然,也为对其进行分析提供方便。

用列表法能否达到上述目的,制表是关键,因此制表时要注意以下问题:

(1) 项目齐全。即原始数据、中间数据、最终结果,以及理论值、误差分析等不可缺项。

(2) 项目名称简练易懂。项目名称可采用字母或文字,但一定要符合习惯。有量纲的要给出单位,间接量要给出计算公式;如果公式不易在表中给出,可在表后用加注的方法给出。

(3) 测试条件明确。对大多数测试,都是在特定条件下进行的,因此,只有当给出测试条件时,测试结果才有意义。当测试条件不变时,可以把测试条件放在表格里;也可以放在表格外明显的地方,如右上角。

(4) 制表规范、合理,易读懂,表达的信息完整。制表可能会被认为是一件简单的事情,但是要制出一种非常有效的表格,全面、正确地反映实验情况,则必须经过认真考虑、仔细斟酌,才能达到目的。

二、曲线法

表达实验结果的曲线通常有两种类型。

1. 特性曲线

用列表法可以把所有的实验数据有序地集中在一起,以便对其进行观察和分析。但在研究器件、电路的特性时(如伏安特性、频率特性),仅有数据表格还不能准确地反映出电路的变化规律。原因是:一般电路的变化规律是连续的,而在表格中的数据却是有限的、间断的。因

此,这就需把表格中的数据作为点的坐标放在坐标系中,然后用线段将这些点连接起来,形成一条曲线。用这样的方法绘制曲线叫做描点法。用特性曲线描述实验结果,具有直观完整、可获取更多信息的优点,但在绘制时要注意以下几点:

(1) 建立完备且合适的坐标系。完备,是指坐标轴的方向、圆点、刻度、函数变量及单位俱全;合适,是指坐标轴刻度的比例大小合适,它决定了曲线图形的大小。

(2) 测量时要将所有的特殊点(如最大点、最小点、零点等)取到,此外应按照曲率小的地方多取、曲率大的地方少取的原则,取足够数量的点。

(3) 绘制曲线时,可剔除坏点(坏点可以标在图上,但曲线不用通过该点,只供分析时用)。坏点是指因操作或其他原因引起的测量结果与理论不符、脱离正常规律的点。

(4) 曲线要光滑,粗细一致。特性曲线的绘制,原则上是用线段逐一将各点连接起来,但由于取点不可能无限多,再加上有测量误差的存在,这样绘出的曲线往往是一段段折线。此时允许在理论的指导下,按照函数的变化规律去处理曲线,即曲线可以不通过所有的测量点,这和处理数据时取平均值是一个道理。

2. 响应曲线

在实验室进行实验,对电路测量可看成是用仪器对电路进行求解。测量结果有的只是一个数值,但大多数情况则是一个函数(波形)。

为了记录测量结果,就必须从测量仪器(多为图形显示仪器)上将其画下来。绘制的近似程度直接影响着测量结果的准确程度,因此在画图时一定要保持和原图一致或对应成比例。在绘制时,要注意做到以下几点:

(1) 首先将响应曲线的位置、大小调整合适,使曲线处在一个既携带了全部信息又便于绘制的状态。

(2) 绘制时使用坐标纸(因一般显示屏上有坐标格)。先在坐标纸上标出与图形对应的一些点(具有一定特点),然后再对这些点进行连线。当两点之间曲线的曲率较小、不易连接时,可在这两点之间再插入点。

(3) 考虑是否建立坐标系。一旦建立坐标系,其刻度要与曲线的变量幅度对应起来。

(4) 当一个坐标系中有多条曲线时,要对这些曲线加文字说明,并用不同的线型或颜色加以区别。

(5) 绘制出的曲线要光滑。

另外,还有一些图形,如后面要学到的相位测量,其测量结果不是和整个图形有关,而只是和图形上个别点有关。这时对图形的调整要把注意力放在与结果有关的点上,绘制时要把这些点的位置找准,因为其他部分只会影响图形的美观而不会影响测量结果。

第2章 常用电子仪器、仪表

2.1 模拟万用表

万用表是一种多功能的仪表,可用来测量交直流电压、电流及电阻等。它的类型很多,其电路和测量范围各有差异。但从原理上讲,万用表主要有一个微安表(俗称表头)和不同的测量线路组成。

一、MF-10 万用表

1. 面板上操作旋钮及功能

MF-10 型万用表面板图见图 2-1。



图 2-1 MF-10 型万用表面板图

(1) 机械调零旋钮。使用万用表前观察指针是否指在机械零点,若不指零,调节机械调零旋钮使其指零。

(2) 测试插孔:

*:公共地插孔,黑表笔插入孔。

+:测量电压和电流时的红表笔接入插孔。

Ω:测量电阻时的红表笔插入插孔。

(3) 转换开关:测量范围转换开关,用于选择量别和量程。

(4) Ω 调零旋钮:为准确地测量电阻值,在测量电阻之前,将表笔短接,调节 Ω 调零旋钮使表针满偏转,指在零刻度上,这个过程称为电气调零。