

DIANQI KONGZHI
YIDIANTONG

电气控制

一点通



战祥森 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



将优质清洁能源送达各地？

ABB正在帮助建设世界上距离最远的离岸风电场。采用ABB环保型输电技术，这座装机容量400兆瓦的风电场预计每年可减少150万吨二氧化碳的排放量并提升电网稳定性。作为世界风能行业最大的电气元件与服务供应商之一，ABB拥有多种技术采用可再生能源应对气候变化。欲了解更多，请登录 www.abb.com.cn

当然能实现。

用电力与效率
创造美好世界™

ABB

电气控制一点通

战祥森 编著



机械工业出版社

本书在知识结构的安排上充分体现职业教育特色,面向就业,以突出实践技能为主线,介绍了电气控制技术的方法和思路,并结合作者的实践经验对一些电气线路进行了讲解。本书共分6章,主要包括常用电工仪表、低压电器、继电器—接触器控制电路、典型生产机械电气控制分析、直流电动机、特种电动机、可编程控制器基本应用等内容。本书既有实用性,又有系统性,内容全面,同时还增加了对先进电器设备的介绍。书中配有许多插图,方便学生直观学习。

本书可作为职业技术学院、技师学院电气自动化、机电一体化等机电类专业的教材,也可作为机电行业岗位培训教材和机电爱好者自学及相关专业工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制一点通/战祥森编著. —北京:机械工业出版社,2012.11
ISBN 978-7-111-40121-6

I. ①电… II. ①战… III. ①电气控制-职业教育-教材
IV. ①TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第248179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:牛新国 责任编辑:牛新国 版式设计:霍永明
责任校对:张薇 封面设计:马精明 责任印制:张楠
北京四级青印刷厂印刷

2013年1月第1版第1次印刷
184mm×260mm·13印张·320千字
0001—3000册
标准书号:ISBN 978-7-111-40121-6
定价:38.00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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以培养应用型技能人才为根本目标，以电气自动化、机电一体化技术专业工作岗位的能力需求为依据，突出技术应用性和针对性，强化实践能力培养，兼顾理论教学、技能培训、职业资格鉴定考核等内容。全书共分6章，主要内容包括常用电工仪表、交流异步电动机、变压器、直流电动机、特种电动机、可编程序控制器等部分。每章都结合实际，具有很强的实用性，章后配有习题以提升能力。

本书编者具有多年的生产现场经验和职业技术学校教学、职业技能鉴定培训考核经验，在总结多年经验的基础上，编写了本书。本书具有以下几个特点：

(1) 本书将电动机原理和维修及电气控制有机结合为一体，做到简洁明了，重点突出，提高了教学效率和学习效率。

(2) 市面上能够通俗实用的介绍电工常用仪表、仪器的书尚少，而其使用又是广大电工电子从业者的基本功。为了更好地适应职业技术学校的教学需求，突出职业技术教育的特色，本书融合了常用电工仪表内容，使读者在不借助其他参考书或说明书的情况下，能够学会常用仪表的使用。

(3) 本书从以能力为本位的角度出发，努力打造轻松的学习环境，精炼简易的图解教学，以崭新的视角方式将理论与实践有机地结合起来，并以图文并茂的方式呈现给读者。

(4) 本书力求概念解释通俗化、动手能力兴趣化，适于职业学校的学生、电工电子初学者、农村电工、农村劳动力转移技能培训及相关操作、维修人员阅读。

(5) 在特种电动机一节中，根据当前实际情况，加入了直线电动机的内容，以便读者能更好地了解。

(6) 本书使基本知识、基本技能和国家职业资格鉴定考核内容有机地结合，为顺利获得中、高级职业资格证书和进一步提升奠定了基础。

本书在编写过程中，参考了一些有关的著作和文献，也查阅了网络上的一些知识资料，在此对这些著作文献和资料的作者表示衷心的感谢。

本书可作为职业技术学院自动化等电类专业及机电类专业的教学用书，也可作为从事电工技术、电力拖动技术，及农村劳动力转移技能培训及相关操作、维修人员学习使用。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中错误和不足之处在所难免，敬请广大使用者批评指正，来信请寄至 gzzzf@126.com。

编者

2012年6月

目 录

前言

第 1 章 电工常用仪表及电工工具 1

- 1.1 万用电表的使用 1
- 1.2 晶体管毫伏表的使用 3
- 1.3 示波器的使用 4
- 1.4 钳形电流表的使用 7
- 1.5 直流电桥的使用 8
- 1.6 绝缘电阻表的使用 10
- 1.7 接地电阻表的使用 12
- 1.8 电参数测量仪 13
- 1.9 单相及三相电度表的使用 14
 - 1.9.1 单相电度表 14
 - 1.9.2 三相电度表 15
- 1.10 其他常用电工工具 16
- 本章小结 19
- 习题 19

第 2 章 三相交流异步电动机及 电气控制 21

- 2.1 三相交流异步电动机的结构 21
 - 2.1.1 结构 21
 - 2.1.2 三相异步电动机的工作原理 22
 - 2.1.3 三相异步电动机的铭牌及绕组
连接方式 24
- 2.2 三相交流异步电动机定子绕组的
维修 25
 - 2.2.1 基本知识 25
 - 2.2.2 三相四极 24 槽单层链式绕组 26
 - 2.2.3 三相两极 24 槽单层同心式
绕组 27
- 2.3 三相异步电动机定子绕组首尾端的
判别方法 27
- 2.4 常用低压电器的认识 29
 - 2.4.1 开关类电器 29
 - 2.4.2 主令电器 31
 - 2.4.3 熔断器 33
 - 2.4.4 交流接触器 34
 - 2.4.5 热继电器 36

- 2.4.6 时间继电器 38
- 2.5 三相异步电动机的点动控制电路 39
 - 2.5.1 刀开关控制的直接起动电路 39
 - 2.5.2 电气控制基本知识概述 40
 - 2.5.3 点动控制电路 41
- 2.6 三相异步电动机的点动加自锁控制
电路 42
 - 2.6.1 自锁控制电路 43
 - 2.6.2 具有过载保护的自锁控制电路 45
 - 2.6.3 点动加自锁控制电路 47
- 2.7 三相异步电动机的正反转电路 48
 - 2.7.1 接触器联锁的正反转控制电路 49
 - 2.7.2 双重联锁的正反转控制电路 50
 - 2.7.3 自动往返电路 51
- 2.8 三相异步电动机的顺序控制 52
 - 2.8.1 按钮控制的顺序控制电路 53
 - 2.8.2 时间继电器控制的顺序控制
电路 54
- 2.9 三相异步电动机的多地控制 55
- 2.10 三相异步电动机的减压起动控制 56
 - 2.10.1 笼型异步电动机直接起动 56
 - 2.10.2 笼型异步电动机的减压起动 56
- 2.11 三相异步电动机的调速控制 61
 - 2.11.1 变极调速 61
 - 2.11.2 变频调速 63
 - 2.11.3 改变电动机的转差率调速 65
- 2.12 三相异步电动机的制动控制 67
 - 2.12.1 机械制动 67
 - 2.12.2 电气制动 68
- 2.13 单相异步电动机 71
- 2.14 几种常用的电气控制电路举例 75
 - 2.14.1 L-3 车床 75
 - 2.14.2 电动葫芦 76
 - 2.14.3 Z3040 型摇臂钻床电气控制 78
 - 2.14.4 M7120 型平面磨床概述 80
- 本章小结 83
- 习题 83

第 3 章 变压器基础知识	87	4.8.1 能耗制动	136
3.1 变压器的用途和分类	87	4.8.2 反接制动	138
3.2 变压器的原理	88	4.8.3 回馈制动	139
3.3 电力变压器的基本结构	90	4.8.4 电动机的四象限运行	140
3.4 变压器的同名端和联结组标号	94	4.9 直流电动机的综合应用实例	141
3.4.1 同名端的含义	94	本章小结	143
3.4.2 三相变压器的联结组别号	95	习题	143
3.5 变压器的工作特性	98	第 5 章 特种电机	146
3.5.1 电压调整率和外特性	98	5.1 步进电动机	146
3.5.2 变压器的效率特性	99	5.1.1 步进电动机的工作原理	147
3.6 其他常用变压器	100	5.1.2 步进电动机的分类	148
3.6.1 电压互感器	100	5.1.3 步进电动机的主要技术指标与 型号说明	149
3.6.2 电流互感器	101	5.1.4 步进电动机的驱动电源	150
3.6.3 自耦变压器	103	5.2 测速发电机	151
3.6.4 电焊变压器	104	5.2.1 直流测速发电机的工作原理	152
3.6.5 整流变压器	105	5.2.2 交流测速发电机的工作原理	153
3.7 电力变压器常规检修与维护	106	5.3 伺服电动机	154
3.8 小型变压器线圈的绕制	108	5.3.1 直流伺服电动机	154
本章小结	111	5.3.2 交流伺服电动机	155
习题	111	5.4 直线电动机	157
第 4 章 直流电动机及电气控制	113	5.4.1 直线异步电动机的分类和结构	157
4.1 直流电动机的结构	113	5.4.2 直线异步电动机的工作原理	158
4.2 直流电机的工作原理	117	5.4.3 直线异步电动机的应用举例	159
4.2.1 直流发电机的工作原理	117	本章小结	160
4.2.2 直流电动机工作原理	118	习题	161
4.3 直流电机的铭牌及励磁方式	118	第 6 章 可编程序控制器基础知识	162
4.3.1 直流电机的铭牌	118	6.1 可编程序控制器的基础知识	162
4.3.2 直流电机的励磁方式	119	6.2 FX2N 系列 PLC 编程元件	166
4.4 直流电动机的基本方程式及机械 特性	122	6.2.1 FX2N 系列 PLC 编程元件分类和 编号	166
4.4.1 基本平衡方程式	122	6.2.2 FX 系列 PLC 型号	170
4.4.2 直流电动机的机械特性	123	6.3 可编程序控制器的基本指令	171
4.5 电力拖动系统稳定运行及负载的转矩 特性	125	6.4 可编程序控制器的基本指令应用	177
4.5.1 负载的转矩特性	125	6.5 可编程序控制器的步进指令	182
4.5.2 电力拖动系统稳定运行	127	6.6 PLC 应用指令基本知识	187
4.6 直流电动机的起动	127	6.6.1 部分功能指令简介	187
4.6.1 全压起动	128	6.6.2 运料小车控制实例	191
4.6.2 电枢回路串电阻起动	128	6.7 FX 系列 PLC 编程软件的应用	193
4.6.3 减压起动	129	本章小结	195
4.7 直流电动机的调速及反转	130	习题	195
4.7.1 直流电动机的调速	130	附录 三菱 FX 系列 PLC 功能 指令一览表	197
4.7.2 直流电动机的反转	135	参考文献	202
4.8 直流电动机的制动	136		



第 1 章 电工常用仪表及电工工具

学习目标

1. 了解常用电工测量仪表的结构和工作原理。
2. 掌握常用电工测量仪表的正确使用方法。
3. 掌握单相及三相电度表的正确使用方法。
4. 掌握常用电工工具的使用方法。

电路中的各个物理量（如电压、电流、功率、电能及电路参数等）的大小，除用分析与计算的方法外，还常用电工测量仪表测量。电工测量技术的应用主要有以下优点：

- (1) 电工测量仪表的结构简单，使用方便，并有足够的精确度。
- (2) 电工测量仪表可以灵活地安装在需要进行测量的地方，有的还可实现自动记录。
- (3) 电工测量仪表可实现远距离的测量。
- (4) 能利用电工测量方法对非电量进行测量。

1.1 万用电表的使用

万用电表简称万用表，是一种多功能、多量程的便携式电工仪表，一般的万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻等。有些万用表还可以测量电容、功率、晶体管共射极直流放大系数 h_{FE} 等，所以万用表是电工必备的仪表之一。

其基本结构由磁电系测量机构（简称表头）、测量线路和转换开关等组成。万用表可分为指针式万用表和数字式万用表。以下以 MF47 型万用表为例（它是具有 24 档旋转开关的高灵敏度指针式万用表），介绍万用电表的使用。

1. 使用方法

在使用前应检查仪表的指针是否在机械零位，如不在零位，用小螺钉旋具调节表盖上的调零旋钮，使指针指在零位上。

在使用前，打开后面电池盖板，装入 1.5V 和 9V 电池，将红黑表笔分别插入“+”及“COM”插孔内，即可以使用。电表的外形如图 1-1 所示。

(1) 直流电流测量（DCmA）。测量 0.05 ~ 500mA 时，转换开关至所需电流档位，将电表串联在电路中，电流从红表笔流入，从黑表笔流出（红表笔接高电位，黑表笔接低电位）。在不能确定电流大小的情况下，先用最高档位测量，若指针偏转角度太小，再换用较小档测量。测量 10A 电流时，应将红表笔插入 10A 插孔内，转换开关在 500mA 档位，然后将电表串入电路中。

(2) 交流、直流电压测量（ACV, DCV）。测量交流 10 ~ 1000V 或直流 0.25 ~ 1000V 时，先将转换开关打至所需档，直接进行测量即可（测量直流电压时，要注意红表笔接高

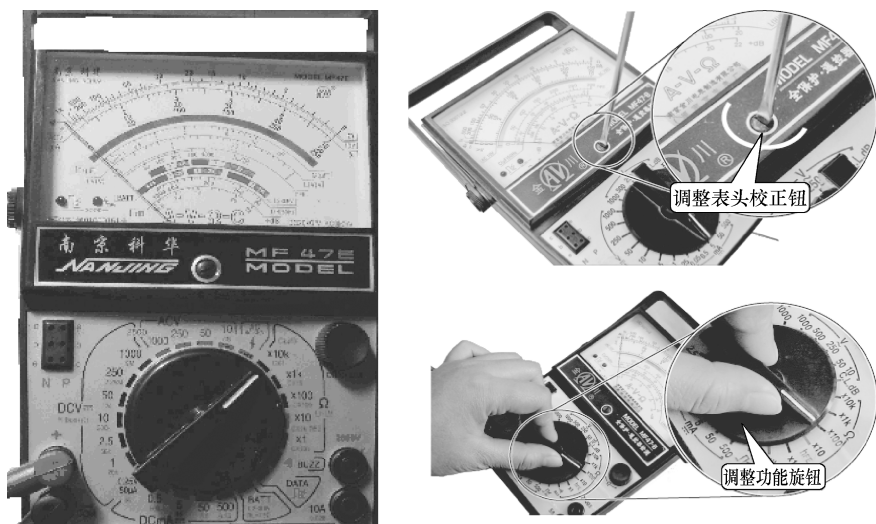


图 1-1 指针式万用表外形、调零及转换开关

电位端，若无法弄清电位的高低点，可以选用高电压档，用两表笔很快地碰一下两测试点，看指针的偏转方向，从而找出高低电位点。测量 2500V 电压时，开关分别放在交流 1000V 或直流 1000V 档上。交流 10V 档表盘上设有专用刻度线，50V 以上电压和直流电压同刻度线。

(3) 直流电阻测量 (Ω)。转换开关打至所需电阻档，将两表笔短接，转动欧姆调零旋钮，进行调零 (见图 1-2)，使指针对准欧姆刻度 0 位置上，即可进行测量，所读数据与档位指示为倍数关系。

测量电路中的电阻时要先切断电源，如电路中有高电压或大容量电容时应先进行放电，然后才能测量。

(4) 晶体管直流放大倍数测量 (h_{FE})。转换开关至 $R \times 10h_{FE}$ 处，用与欧姆档相同方法进行调零，然后将 NPN 型或 PNP 型晶体管对应插入 N 或 P 插孔内 (见图 1-3)，指针指示值即为该管的直流放大倍数。如指针大于 1000 时应检查：①是否插错管脚。②晶体管是否已坏。

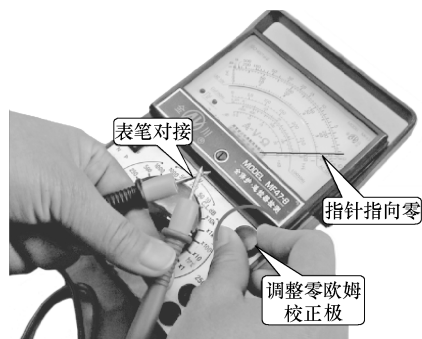


图 1-2 测量电阻零欧姆校正

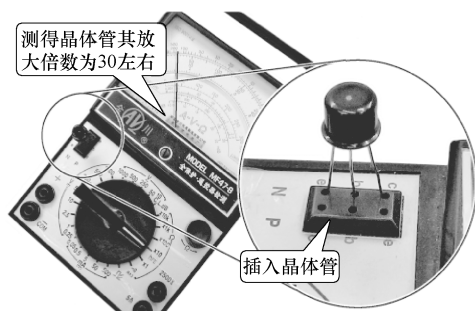


图 1-3 检测晶体管放大倍数

(5) 交流 220V 相线俗称火线判别 (测电笔功能)。将仪表旋至 220V 相线判别功能档位，将红、黑表笔分别插入 220V 插孔内，此时红色指示灯应亮，将其中任意一根表笔拔

出,若红色指示灯继续点亮,则此时和万用表相连的那一个插孔为相线。使用此档时,如果发光二极管亮度不足应及时更换9V电池,以免发生误判。

2. 注意事项

- (1) 在进行欧姆调零时,若指针不能调到零位,应更换电池。
- (2) 测量电压或电流时,不能带电变换档位,以免烧坏开关。
- (3) 测量未知电压或电流时,应选择最高档位测量,再降至合适档位测量。
- (4) 测量高压时,要站在绝缘板上,并单手操作,另一只手不要触摸被测物。
- (5) 测量完毕后,要将档位开关扳到交流电压最高档位上。

3. 万用表的常见故障及检修方法

万用表发生故障时,首先检查外部元件,如表笔、引线、插孔等,外部故障的可能性排除后,再检查内部。检查的一般方法如下(见表1-1)。

(1) 检查主要部件,如表头是否损坏,游丝是否卡住,转换开关是否接触不良等。若是只有某一档位故障,则应重点检查该档的零件,看是否有断线、接触不良、电阻值增大等情况。

(2) 检查交直流电压及直流电流档的一般顺序是从一个表笔插孔经各元件到另一个插孔,检查电阻线路的方法是从内附电池的正极经各元件回到电池的负极。

表 1-1 常见故障分析

故障位置	故障现象	可能产生的原因
表头	晃动表头时,指针显示不正常	表头动圈被异物卡住或有锈迹
直流电流档	无指示	1. 表头被短路 2. 表头线圈开焊 3. 表头串联的电阻开焊或损坏 4. 转换开关接触不良
直流电压档	无指示	电压部分开关公共点脱焊,或开路或电阻损坏
	某档无指示或不准确	分压电阻开路或损坏
交流电压档	指针轻微摆动,指示值很小	整流器击穿
	读数减小一半左右	整流器部分损坏,全波整流变成半波整流
电阻档	调零时,指针不能调到零位	1. 电池容量不足 2. 转换开关接触电阻变大
	无指示	断线或开关接触不良

1.2 晶体管毫伏表的使用

晶体管毫伏表是电工电子实验中经常用到的仪器。本实验以EM2171型单通道晶体管毫伏表为例介绍其使用方法和注意事项。

1. EM2171的技术参数

(1) 电压测量范围: $100\mu\text{V} \sim 300\text{V}$ 。仪器共分12个档位,为1mV、3mV、10mV、30mV、100mV、300mV、1V、3V、10V、30V、100V、300V。

分贝量程：-60dB、-50dB、-40dB、-30dB、-20dB、-10dB、0dB、+10dB、+20dB、+30dB、+40dB、+50dB。

(2) 电压测量的频率范围：10Hz~2MHz

(3) 输入阻抗：1mV~300mV，输入电阻 $\geq 2\text{M}\Omega$ ；
1V~300V，输入电阻 $\geq 8\text{M}\Omega$ 。

(4) 仪表测量值为交流电压的有效值。

2. 仪表外形及档位开关（见图 1-4）

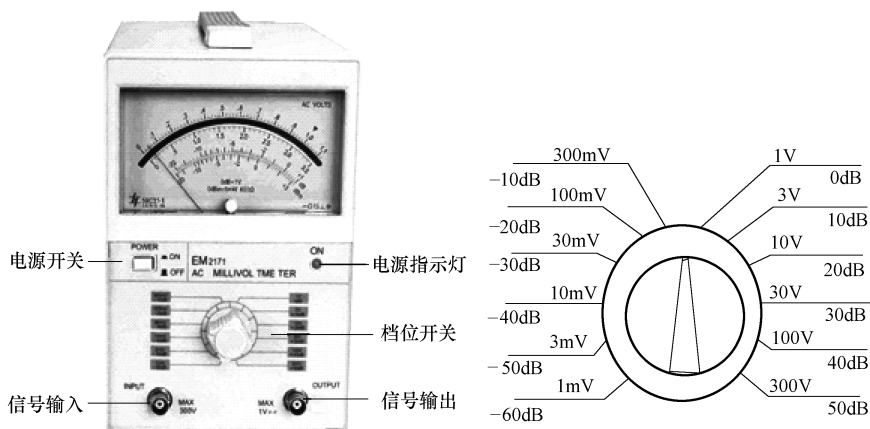


图 1-4 档位开关及仪表外形

3. 使用方法

(1) 测量毫伏表表面和水平面垂直。

(2) 通电前，调整电表的机械零位。

(3) 接通电源，待电表的指针摆动数次至稳定后，即可进行测量。

(4) 测量时，应正确选择档位，若无法确定量程时，应先用大量程粗测后再选择合适档位进行精测。

(5) 读取数据时，应根据档位读取，特别注意有衰减时要应用公式衰减倍数等于 $20\lg A$ 进行计算。

1.3 示波器的使用

示波器是一种在工农业生产、科学研究和教学实验等各个领域有着广泛应用的测量仪器。它可以直接观察电信号的波形，与其他仪器配合使用，可以测量电压的大小和频率、相位差、电流和电功率等。一切能转化为电压的电学量和非电学量，都可以用示波器来观察和测量。EM6510 单踪示波器外形如图 1-5 所示。

1. 面板操作说明

(1) 电源开关。此开关按下（低），电源接通，电源指示灯点亮，预热后，仪器即可进行正常工作。再按一下此开关，电源关断。

(2) 辉度调节旋钮。可以通过顺时针及逆时针旋转来调节轨迹的亮度。

(3) 聚焦调节旋钮。可以通过顺时针及逆时针旋转来调节轨迹的清晰度。

(4) 校准信号。提供 0.5V, 1kHz 的标准方波信号, 用来对仪器进行校准。

(5) 轨迹旋转。扫描线水平角度校正, 扫描线不水平时使用。

(6) 垂直移位旋钮。可以通过顺时针及逆时针旋转来调整轨迹在屏幕中的垂直位置。

(7) 水平移位旋钮。可以通过顺时针及逆时针旋转来调整轨迹在屏幕中的水平位置。

(8) V/div。调节垂直偏转灵敏度档位开关(即在垂直方向上每一格的读数)。

(9) DC、 \perp 、AC 档位。用于选择被测信号馈入至垂直通道的耦合方式。

(10) 垂直输入。垂直通道的输入插孔。

(11) T/div。扫描速度选择档位开关。

(12) 扫描微调旋钮。顺时针旋到底时为校准位置。

(13) 电平。调节被测信号触发点电平, 使信号波形稳定。

(14) 水平输入。水平信号或外触发信号的输入插孔。

(15) 内、外档位。用于选择触发信号源。内: 内部触发。外: 用外接触发信号。

(16) 自动、TV、触发。扫描方式选择。

(17) +、-。触发极性选择。

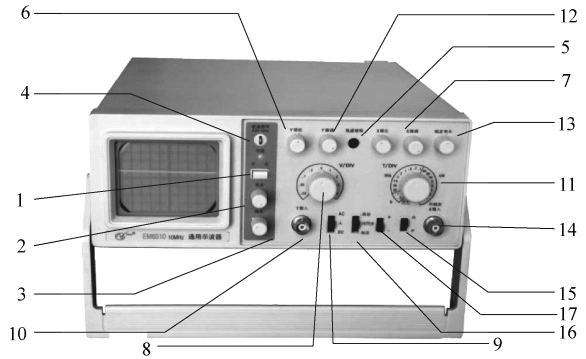


图 1-5 EM6510 单踪示波器外形

2. 使用方法 (交流信号的测量)

(1) 接通电源, 电源指示灯亮, 预热, 屏幕中出现光迹, 调节旋钮, 使光迹居中, 亮度适中清晰。

(2) 接线。通过连接线将本机校准信号输入至垂直通道。

(3) 校准。接入本机校准信号, V/div 和 T/div 开关分别放在 0.2V/div 档位和 0.5ms/div 档位, 调节电平及微调旋钮, 使波形稳定, 调节 X 和 Y 方向移位, 方波垂直幅值占 5 格, 水平轴上占 2 格, 使波形如图 1-6 所示。

(4) 垂直系统的输入耦合方式开关置于 AC, V/div 和 T/div 开关根据信号的幅度和频率置于合适的位置, 微调置于校准位置, 调节触发电平, 使波形稳定, 如图 1-7 所示。

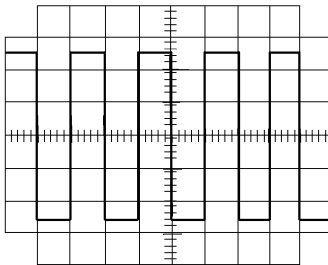


图 1-6 校准波形

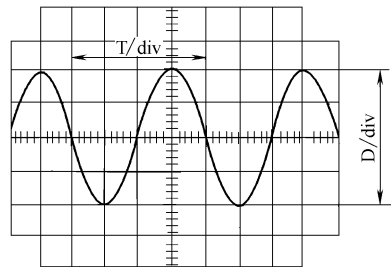


图 1-7 信号波形

(5) 根据屏幕的坐标刻度,被测信号波形峰-峰值为 $D\text{div}$,若此时仪器 V/div 处于 $0.1\text{V}/\text{div}$ 档,且探极处于 $X1$ 位置,则被测信号的峰-峰值为: $V_{p-p} = 0.1\text{V}/\text{div} \times D\text{div} = 0.1 \times 4 = 0.4\text{V}$,其有效值为 $U = V_{p-p}/2\sqrt{2}$,其一个周期水平时间为 $T\text{div}$,若此时仪器 T/div 处于 $0.2\text{ms}/\text{div}$ 档,则被测信号的周期为: $T = 0.2\text{ms}/\text{div} \times 4 = 0.8\text{ms}$,频率为 $f = 1/T$ 。

(6) 将信号发生器、毫伏表和示波器按图 1-8 方法连接,测量并填表 1-2。

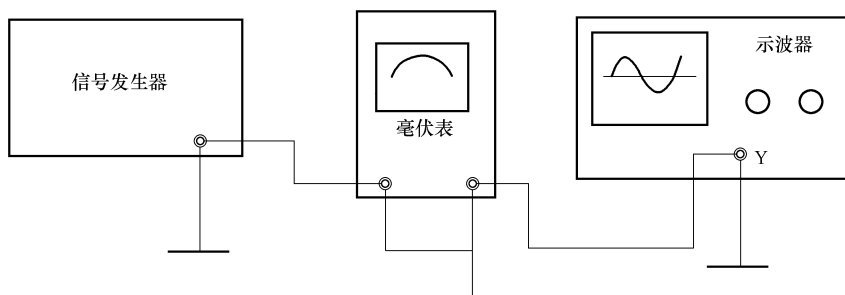


图 1-8 信号发生器、毫伏表和示波器连接方法

表 1-2 信号波形电压及频率数据记录

f/Hz	U/V	电压测量				频率测量			
		S /(V/div)	H / div	V_{p-p} / V	$\frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}}$ / V	T /(V/div)	L / div	T_Y / ms	F / Hz
500	0.5								
1000	1								
20000	2								

3. 注意事项

(1) 在要求读数时,应将信号波形尽量调大,以减小读数时的误差,但要在屏幕上至少显示一个完整的波形。

(2) 要注意毫伏表的分贝衰减,在计算时要按照 $20\lg A$ 进行倍数计算。

4. 常见故障 (见表 1-3)

表 1-3 常见故障

故障现象	故障原因	解决方法
开机后无显示,电源指示灯不亮	1. 电源线未接好 2. 电源熔丝损坏	1. 将电源线重新接好 2. 更换合适的熔丝
开机后电源指示灯亮,但无亮点	1. 亮度旋钮开得太暗 2. X 或 Y 移位设置得太偏 3. 扫描方式处于触发方式,且无同步信号输入	1. 顺时针旋转亮度旋钮 2. X 或 Y 移位旋至适中位置 3. 扫描方式置于“自动”位置
输入信号后无信号波形显示	1. 输入方式开关处于“ \perp ” 2. 输入信号小而衰减设置过大 3. 探头或连接线未接好	1. 输入方式开关置于 AC 或 DC 位置 2. 转动衰减开关,选择合适的灵敏度 3. 重新连接探头或连接线
输入波形不能稳定显示	1. 触发源选择不对 2. 触发电平未调好	若非用外信号触发,触发源应选“内”

1.4 钳形电流表的使用

钳形电流表是一种可以非常方便地测量交流电流大小的设备。它和其他电流表最大的区别之处就是在测量交流电流的过程中，不需将电表接入电路中，而是利用电磁感应原理将被测电路（即变压器的一次侧）的电流磁感应到电表中（二次侧），测出电流的大小。在实际测量中，应用非常方便。有的钳形电流表用外接表笔和转换开关相配合，还具有测量交直流电压及直流电阻的功能。

1. 钳形电流表的分类

从读数显示方式来分，有指针式和数字式两大类；从测量电压来分，有低压钳形电流表和高压钳形电流表；从测量功能来分，包括普通交流钳形电流表、交直流两用钳形电流表、漏电钳形电流表、带万用表的钳形电流表等。下面所讲到的就是一种指针式普通交流钳形电流表。数字式表和指针式表工作原理基本一致，不同的是采用液晶显示屏显示测量数字，能够记忆测量结果，可以先测量后读数。

2. 钳形电流表的组成

用来测量交流电流的钳形电流表主要由电流互感器、整流电路、磁电系电流表、量程转换开关及测量电路组成，如图1-9所示。其互感器的铁心有一活动部分在钳形表的上端，并与手柄相连。

3. 工作原理

使用时按动手柄使活动铁心张开，将通有被测电流的导线放入钳形铁心中，然后松开手柄使铁心闭合。此时载流导体相当于互感器的一次侧（只一匝），铁心中的磁通在二次绕组（多匝）中产生感应电流，通过整流电路之后，电流表指示出被测电流的数值大小。电流表的量程可由钳形电流表的转换开关来实现。

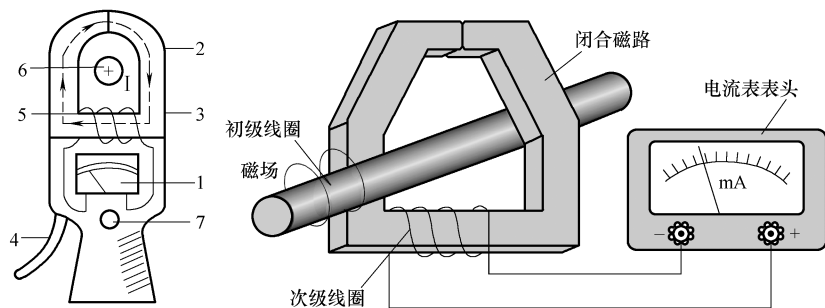


图1-9 钳形电流表工作原理

1—电流表 2—电流互感器 3—铁心 4—手柄 5—二次绕组 6—被测电流 7—档位开关

4. 使用方法

- (1) 钳形电流表准确度等级不高，常用于对测量要求不高的场合。
- (2) 测量时将导线夹在钳口中间，使铁心的磁场均衡，以减少测量误差。
- (3) 测量前应根据被测电路的电流大小，选择相应的测量量程；当被测电路的电流难以估算时，应将量程开关置于最大测量量程。
- (4) 测量时应对应选择量程开关所置量程的标度尺。

(5) 所选的量程应能使指针指示在标度尺刻度的 $1/2 \sim 2/3$ 以上, 以减小测量时产生的误差。

(6) 当被测量频率较低或正弦波有较大失真时, 钳形电流表误差较大。

(7) 钳形电流表钳口的两个接触面应保持清洁和良好接触。若有污垢, 可用汽油擦净, 若接触不良, 可重复开合几次。

(8) 当被测电流较小, 指针偏转太小时, 可将被测导线在钳口多绕几圈, 所测数据只需除以在钳口所绕圈数, 就可反映被测电流值, 即实际电流 = 钳表读数/圈数。

(9) 测量完毕后, 应将钳形电流表量程开关置于最高测量量程。

(10) 测量大电流后再测量小电流时, 为了准确, 要把钳表的钳口开合几次消除大电流所产生的剩磁, 再进行小电流测量。

5. 使用钳形电流表时应注意的问题

(1) 由于钳形电流表要接触被测线路, 所以测量前一定要检查表的绝缘性能是否良好, 即外壳无破损, 手柄清洁干燥。

(2) 测量时, 应注意身体各部分与带电体保持安全距离。

(3) 钳形电流表不可测量裸导体的电流。

(4) 严禁在测量进行过程中切换钳形电流表的档位; 若需要换档时, 应先将被测导线从钳口退出再更换档位。

(5) 严格按电压等级选用钳形电流表。低电压等级的钳形电流表只能测低压系统中的电流, 不能测量高压系统中的电流。严禁将低压钳形电流表用于 380V 以上电路的电流测量。

1.5 直流电桥的使用

在一般实验中用万用表测量电阻, 但测量值不够精确。在工程上要求较准确测量电阻时, 常用直流单臂电桥 (也称惠斯顿电桥)。其主要特点是灵敏度和测试精度都很高, 而且使用方便。

1. 电桥工作原理

图 1-10 是惠斯顿电桥电路。四个电阻 R_1 (R_x)、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 称作电桥的四个桥臂, 组成四边形 abcd。对角 bd 之间连接检流计 G, 构成“桥”, 用以比较桥两端的电位。当 b 和 d 两点的电位相等时, 检流计 G 指零, 即 $I_G = 0$, 电桥达到了平衡状态。此时有

$$U_{ab} = U_{ad}, U_{bc} = U_{dc}$$

即

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_4$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_3$$

两式相除, 得

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

或者

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

上两式表明, 当电桥达到平衡时, 电桥相邻臂电阻之比相等, 或者说电桥相对臂电阻之

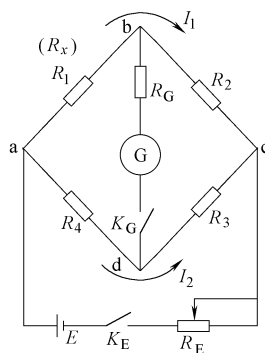


图 1-10 惠斯顿电桥原理图

乘积相等。若 R_2 、 R_3 、 R_4 为已知，则待测电阻 R_1 (R_x) 可由下式求出：

$$R_1 = \frac{R_2}{R_3} R_4 = R_x$$

通常称上式为平衡条件，称 R_1 为测量臂， R_2 、 R_3 为比例臂， R_4 为比较臂。所以电桥由四臂（测量臂、比较臂和比例臂）、检流计和电源三部分组成。与检流计串联的限流电阻 R_G 和电键 K_G 都是为在调节电桥平衡时保护检流计，不使其在长时间内有较大电流通过而设置的。

比值的选取：令比值 $R_2/R_3 = N$ ，则

$$R_1 = N \cdot R_4 = R_x$$

通常取 N 为 10 的整数次方，例如，取 N 等于 0.01、0.1、1、10、100、1000 等。这样，就可以很方便地计算出 R_x 。

2. (QJ23 型直流电阻电桥) 使用方法

(1) 准备：卸下电桥背面铭牌，在电池盒内装入 2 节 1.5V 2 号干电池和 1 节 9V 叠层电池，装上铭牌；检查外接指零仪接线端钮是否正确短接；对指零仪进行机械调零，使指针与表面“0”线重合。

(2) 测量电阻前可用万用表粗测一下电阻值。

(3) 将被测电阻器接到“RX”两接线柱上。

(4) 将 B、G 打到内接（“B”用来接通电源，“G”用来接通检流计）。然后调零。

(5) 根据待测电阻的粗略值（万用表测出的数值），选定合适的比例臂的数值，使电桥平衡时，比较臂的四个旋钮都能用上（测出四位有效数字）。若 R_x 为数百欧，比例臂应选 0.1。若 R_x 为数千欧。比例臂应选 1。其他以此类推。

(6) 将比例臂旋钮旋到 R_x 的粗略值上。

进行测量，先按下按钮“B”，再点按按钮“G”（即按一下立即放开），迅速观察检流计指针偏转方向，指针如偏向“+”一边，则应增加 R_s 值，如偏向“-”一边，则应减小 R_s 的值。直到点按按钮“G”时，检流计指针不动为止。此时比例臂 R_4 的数值乘以倍率 (R_2/R_3) 的数值就是被测电阻 R_x 的数值。即被测电阻器阻值为 $R_x = \text{倍率} \times \text{测量盘示值}$ 。

(7) 测量时，有时会遇到下列情况：旋钮置于某一位置时，检流计指针都不指零。如旋钮置于 4 时，指针偏向“+”方 2 格，旋钮置 5 时，指针偏向“-”方 6 格，说明测量值最后一位在 4 和 5 之间某一值，这时可根据指针“+”“-”偏转格数大小来取其中一个值。如上述情况，则取 4 不取 5。

(8) 使用完毕应将“B”和“G”按钮松开。（先放开“B”，再放开“G”。这样操作可防止在测量电感性元时损坏检流计）。

3. 注意事项

(1) 在进行阻值测量时，不应让“ $\times 1000\Omega$ ”测量盘示值为 0，使测量盘有足够读数位数，以确保测量精度。

(2) 指零仪偏转方向：电桥设计时规定，指零仪偏转方向与测量盘旋转方向（顺时针或逆时针）应保持一致；

(3) 测量过程中“B”、“G”按钮应尽量间断使用，以延长桥路干电池寿命。若指零仪工作电流为 3mA，由于没有自动关机功能，故其平均功耗极小。