



中等职业学校电子信息类教材 **实用电子技术专业**

维修电工技术

(第三版)

马效先 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

维修电工技术

(第三版)

马效先 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是中等职业学校教材,主要内容包括电工基础理论知识、电子元器件基本知识和维修电工基本操作。重点介绍了常用低压电器、常用电子仪表、变压器、三相电动机的应用和电气线路的安装与维修。

本书适合中等职业技术学校、电工培训班作为教材使用,也可作为初高中文化水平人员自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工技术(第三版)/马效先编著. —北京:电子工业出版社,2002.1

中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

ISBN 7-5053-6238-0

I. 维… II. 马… III. 电工—维修—专业学校—教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 074907 号

丛 书 名: 中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

书 名: 维修电工技术(第三版)

编 著 者: 马效先

责任编辑: 徐 堃 徐德霆

特约编辑: 韦学纯

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京兴华印刷厂

装 订 者: 三河市双峰装订厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.5 字数: 408 千字

版 次: 2002 年 1 月第 3 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6238-0
TN·1379

印 数: 5 000 册 定价: 18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组

组长：

姚志清(原电子工业部人事教育司副司长)

副组长：

牛梦成(教育部职成教司教材处处长)

蔡继顺(北京市教委职教处副处长)

李 群(黑龙江省教委职教处处长)

王兆明(江苏省教委职教办主任)

陈观诚(福建省职业技术教育学会副秘书长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

吴金生(电子工业出版社副社长)

成员：

褚家蒙(四川省教委职教处副处长)

尚志平(山东省教学研究室副主任)

赵丽华(天津市教育局职教处处长)

潘效愚(安徽省教委职教处处长)

郭菊生(上海市教委职教处)

翟汝直(河南省教委研究室主任)

李洪勋(河北省教委职教处副处长)

梁玉萍(江西省教委职教处处长)

吴永发(吉林省教育学院职教分院副院长)

王家诒(上海现代职业技术学校副校长)

郭秀峰(山西省教委职教处副处长)

彭先卫(新疆教委职教处)

李启源(广西教委职教处副处长)

彭世华(湖南省职教研究中心主任)

许淑英(北京市教委职教处副处级调研员)

姜昭慧(湖北省职教研究中心副主任)

张雪冬(辽宁省教委中职处副处长)

王志伟(甘肃省教委职教处助理调研员)

李慕瑾(黑龙江教委职教教材站副编审)

何雪涛(浙江省教科院)

杜锡强(广东省教育厅职业与成人教育处副处长)

王润拽(内蒙古自治区教育厅职成处处长)

秘书长：

林 培(电子工业出版社)

出版说明

职业教育的教育质量和办学效益,直接关系到我国 21 世纪劳动者和专门人才的素质,关系到经济发展的进程。要培养具备综合职业能力和全面素质,直接在生产、服务、技术和管理第一线工作的跨世纪应用型人才,必须进一步推动职业教育教学改革,确立以能力为本位的教学指导思想。在课程开发和教材建设上,以社会和经济需求为导向,从劳动力市场和职业岗位分析入手,努力提高教育质量。

电子工业出版社受国家教育部的委托,负责规划、组织并出版全国中等职业学校计算机技术、实用电子技术和通信技术三个专业的教材。电子工业出版社以电子信息产业为背景,以本行业的科技力量为依托,与教研、教学第一线的教研人员和教师相结合,已组织编写、出版计算机技术、实用电子技术及通信技术专业的教材 100 余种,受到了广大职业学校师生的好评,为促进职业教育做出了积极的努力。

随着科学技术水平日新月异,计算机、电子、通信技术的发展更是突飞猛进,而职业教育直接面向社会、面向市场,这就要求教材内容必须密切联系实际,反映新知识、新技术、新工艺和新方法。好的教材应该既要让学生学到专业知识,又能让学生掌握实际操作技能,而重点放在学生的操作和技能训练方面。在这一思想指导下,电子工业出版社根据《职业教育法》及劳动部颁发的《职业技能鉴定规范》,在教育部等相关部门的领导下,会同电子信息行业的专家、教育教研部门研究人员以及广大中等职业学校的领导和教师,在深入调查研究的基础上,制定了三个专业的指导性教学计划。该计划强调技能培养,充分考虑各学校课程设置、师资力量、教学条件的差异,突出了“宽基础多模块、大菜单小模块”灵活办学的宗旨。

新版教材具有以下突出的特点:

1. 发挥产业优势,以本行业的科技力量为依托,充分适应中等职业学校推行的学业证书和职业资格证书的双证制度,突出教材的实用性、先进性、科学性和趣味性。
2. 教材密切反映电子信息技术的发展,不断推陈出新。实用电子技术专业教材突出数字化、集成化技术;计算机技术专业教材内容涉及多种流行软件及实用技术;通信技术专业教材反映通信领域的先进技术。
3. 教材与中等职业学校开设的专业课程相配套,注意贯穿能力和技能培养于始终,精心安排例题、习题,在把握难易、深广度时,以易懂、广度优先,理论原理为操作技能服务,够用即可。
4. 教材的编写一改过去又深又厚的模式,突出“小模块”的特点,为不同学校依据自己的师资力量和办学条件灵活选择不同专业模块组合提供方便。

另外,为满足广大中等职业学校教师的教学需要,我们还将根据每种教材的具体情况推出配套的教师辅助参考书以及供学生使用的上机操作/练习指导书。

随着教育体制改革的进一步深化,加之科学技术的迅猛发展,编写中等职业学校教材始终是一个新课题。希望全国各地中等职业学校的广大师生多提宝贵意见,帮助我们紧跟职业教育和科学技术的发展,不断提高教材的编写质量,以便更好地为广大师生服务。

全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组

2000 年 5 月

全国中等职业学校电子信息类教材编审委员会

名誉主任委员：

杨玉民(原北京市教育局副局长)

主任委员：

马叔平(北京市教委副主任)

副主任委员：

邢 晖(北京市教科院职教所副所长)

王家诒(上海现代职业技术学院副校长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

韩广兴(天津广播电视大学高级工程师)

[实用电子技术编审组]

组长：

刘志平(北京市职教所教研部副主任)

副组长：

陈其纯(苏州市高级工业学校特级教师)

杜德昌(山东省教学研究室教研员)

白春章(辽宁教育学院职教部副主任)

张大彪(河北师大职业技术学院电子系副主任)

王连生(黑龙江省教育学院职教部副教授)

组员：

李蕴强(天津市教育教研室教研员)

孙介福(四川省教科所职教室主任)

沈大林(北京市回民学校教师)

朱文科(甘肃省兰州职业中专)

郭子雄(长沙市电子工业学院高级教师)

金国砥(杭州中策职业高级中学教研组长)

李佩禹(山东省家电行业协会副秘书长)

邓 弘(江西省教委职教处助理调研员)

刘 杰(内蒙古呼和浩特市第一职业中专教师)

高宪宏(黑龙江省佳木斯市职教中心)

朱广乃(河南省郑州市教委职教室副主任)

黄亲民(上海现代职业技术学校)

目 录

第一章 电工基础理论知识	(1)
第一节 基本定律	(1)
第二节 磁场和磁路	(3)
第三节 单相正弦交流电	(7)
第四节 三相正弦交流电	(9)
第二章 电工常用工具 and 材料	(14)
第一节 电工常用工具	(14)
第二节 常用绝缘材料	(23)
第三节 常用导电材料	(27)
第四节 特殊导电材料	(35)
第五节 常用安装材料	(38)
第三章 常用低压电器	(49)
第一节 低压刀开关	(49)
第二节 低压断路器	(54)
第三节 低压熔断器	(63)
第四节 主令电器	(67)
第五节 交流接触器	(74)
第六节 继电器	(80)
第七节 电磁铁	(91)
第四章 维修电工基本操作	(93)
第一节 钳工和焊接基本操作	(93)
第二节 导线连接的基本操作	(93)
第三节 室内配线的基本操作	(102)
第四节 电子元器件的检测	(109)
第五节 电力工程电路图	(114)
第六节 电工应用识图	(124)
第五章 常用电工仪表	(131)
第一节 电工仪表概述	(131)
第二节 常用电工仪表的工作原理	(134)
第三节 几种常用的电流表、电压表和功率表	(137)
第四节 万用表	(142)
第五节 钳形电流表、摇表和电度表	(150)
第六章 变压器	(158)
第一节 三相变压器的工作原理和铭牌	(158)

第二节	变压器的接线方式	(163)
第三节	变压器的维护和故障处理	(164)
第四节	几种特殊变压器	(166)
第七章	三相异步电动机	(172)
第一节	三相异步电动机的构造和工作原理	(172)
第二节	三相异步电动机的铭牌	(176)
第三节	三相异步电动机的起动	(179)
第四节	三相异步电动机的调速和制动	(181)
第五节	电动机的维护与检修	(185)
第八章	其他常用电动机	(190)
第一节	直流电动机	(190)
第二节	单相电动机	(193)
第九章	电气线路安装与维修	(199)
第一节	电线和电缆的选择	(199)
第二节	低压配电箱	(202)
第三节	照明电路图	(208)
第四节	照明线路安装与维修	(223)
第五节	接地装置安装与维修	(242)
第十章	安全用电	(249)
第一节	安全用电常识	(249)
第二节	触电紧急救护	(250)

第一章 电工基础理论知识

第一节 基本定律

一、欧姆定律

在一段不含电动势只有电阻的电路中,如图 1-1 所示,流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端电压 U 成正比,与电阻成反比。这个结论叫做部分电路欧姆定律。用公式表示为:

$$I = \frac{U}{R}$$

式中, U 的单位为伏(V), I 的单位为安(A), R 的单位为欧(Ω)。

从公式看出,如果电压 U 一定,那么电阻 R 越小,通过电阻的电流 I 越大;反之,当电阻 R 越大时,通过电阻的电流 I 越小。

欧姆定律还可以写成:

$$U = IR$$

从公式可以看出,电路中电阻 R 一定时,若电流越大则电阻两端的电压越大;反之,电流越小则电阻两端的电压越小。

在一个闭合电路中,电流 I 与电源电动势 E 成正比,与电路中的电阻成反比。因电源具有一定内阻,为了分析方便,常把实际电源画成由纯电动势 E 和内阻 r 相串联的电路,如图 1-2 所示。这时,通过回路的电流 I 为:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

上式为全电路欧姆定律的数学表达式。

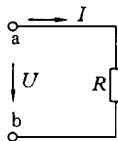


图 1-1 只含电阻的支路

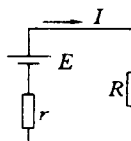


图 1-2 含电源和电阻的闭合电路

欧姆定律揭示了电路中的电压、电流和电阻三个基本物理量之间的关系。在实际应用中,只要知道其中任意两个量,就可以通过欧姆定律计算出第三个量。

需要特别指出,欧姆定律是电工学、电子学中最基本的定律,也是最重要的定律,是维修电工必须熟练掌握的知识点。应用欧姆定律,通过电压、电流、电阻三个物理量状态来分析电路,解决维修电工在实际操作中遇到的问题,具有特别重要的指导意义。

二、电功、电功率

1. 电功

在负载两端接上电源,电场力使电荷移动形成电流,电场力做了功,也叫电流做功,这就是电功。电流做功的过程就是电能转变成其他形式能量的过程。电流通过灯泡,将电能转换成光能、热能;电流通过电动机,将电能转换成机械能。

如果负载电阻两端所加电压为 U ,在时间 t 内通过负载电阻的电量为 Q ,产生的电流为 I ,根据电压定义式 $U = \frac{W}{Q}$ 则有:

$$W = QU$$

又因为

$$Q = It$$

所以

$$W = UIt$$

式中, U 的单位为伏(V), I 的单位为安(A), t 的单位为秒(s),电功 W 的单位为焦(J)。

上式说明,电流在一段电路上所做的功,与这段电路两端的电压、电路中的电流和通电时间成正比。

根据欧姆定律可以推导出:

$$W = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

式中, R 为负载电阻,单位为欧(Ω)。

2. 电功率

电流在单位时间内所做的功叫电功率。如果在时间 t 内,电流通过负载所做的功为 W ,则电功率 P 为:

$$P = \frac{W}{t}$$

若负载电阻值为 R ,加在其两端的电压为 U ,通过的电流为 I ,可得:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

式中, U 的单位为伏(V), I 的单位为安(A), R 的单位为欧(Ω),电功率 P 的单位为瓦(W)。

功率的单位还有毫瓦(mW)和千瓦(kW),它们之间的换算关系是:

$$1\text{W} = 1000\text{mW}$$

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

在电力工程中常用的电功单位叫度(kWh),1度等于1千瓦小时,即:

$$1\text{度} = 1\text{千瓦} \cdot \text{小时} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

3. 焦耳-楞次定律

电流通过电阻时做功,电阻会发热,将电能转换成热能,这种现象叫做电流的热效应。实验证明,电流通过导体时产生的热量与电流的平方、导体的电阻和通电时间成正比,这就是焦耳-楞次定律,可用下式表示:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

式中,电流的单位为安(A),电阻的单位为欧(Ω),时间的单位为秒(s)。 Q 表示热量,单位为焦(J)。

实际应用中,热量 Q 用“卡”作单位,1 焦=0.24 卡,上式可变为:

$$Q = 0.24 I^2 R t (\text{卡})$$

需要注意的是,焦耳-楞次定律只适用于纯电阻电路,即只适用于电能全部转换成热能的情况。

三、基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律又称节点电流定律,该定律总结了通过电路中任一节点的各个支路电流的关系。三条或三条以上支路的连接点称为节点。如图 1-3 所示,电路中 a、b、c 和 d 点,就是这个电路的四个节点。根据电流连续性原理,即电路中的节点不能有电荷堆积,因此任一瞬间流入节点的电流必等于流出节点的电流。在图 1-4 所示的电路中,对于节点 a 可以写出:

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

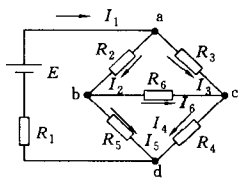


图 1-3 电路中的节点

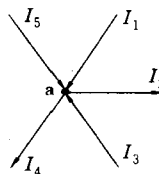


图 1-4 节点与支路电流

如果规定流出节点电流取正值,流入节点电流取负值,则上式可写成:

$$(-I_1) + I_2 + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

就是说任一瞬间,电路中任一节点上各支路电流的代数和恒等于零,这就是节点电流定律。

四、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律又称回路电压定律,该定律总结了电路的任一回路中各部分电压的关系。

电路中的任一闭合路径叫做回路。如图 1-5 所示,acdba、aefb、ba、cefdc 都是回路。根据能量守恒定律,电场力推动单位正电荷从电路某一点出发,沿任一闭合路径绕行一周,再回到该点时,电场力所做的功等于零。即沿任一回路所升高的电位总和必等于沿此回路降低的电位总和。因此任一瞬间,电路中任一回路各段电压的代数和恒等于零,即:

$$\sum U = 0$$

这就是回路电压定律。

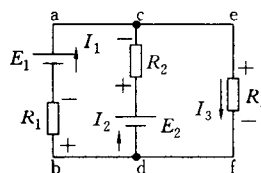


图 1-5 电路中的回路

第二节 磁场和磁路

一、磁场

1. 磁场、磁场方向和磁力线

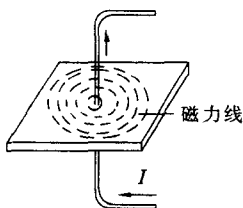
当把两个同性磁极或异性磁极相互靠近时,它们表现出相排斥或相吸引,它们之间的作用

力就是磁力。磁体周围存在一个磁力作用的空间,叫做磁场。

磁场可用磁力线来表示。磁力线是在磁场中画出一系列有方向的曲线,曲线上每点的切线方向就是该点的磁场方向。

2. 电流产生的磁场

电和磁是不可分割的整体。实验表明,当直导线通以电流时也会产生磁场,如图 1-6 所示。



在与导线垂直的平面上,磁力线是以导线为圆心的一系列同心圆。越靠近导线,磁力线越密,表明磁场越强;反之,离导线越远,磁力线越疏,磁场越弱。当改变导线中的电流方向时,磁力线的形状不变,但磁力线的方向改变。磁力线方向与产生磁场的电流方向之间的关系可用右手螺旋定则来判定,即用右手握住直导线,使拇指指向电流方向,其余四指所指的方向就表明磁力线的方向,如图 1-7

图 1-6 通电导线周围的磁场 (a)所示。

通电螺线管的磁力线方向也可用右手螺旋定则来判定,即右手握着螺线管,四指所指的方向为线圈中电流方向,拇指所指的方向就是螺线管线圈内磁力线的方向,如图 1-7(b)所示。

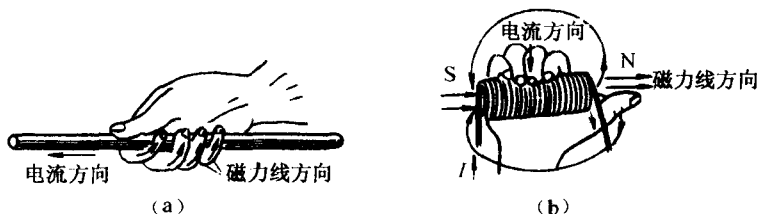


图 1-7 右手螺旋定则

3. 磁感应强度和磁场强度

(1) 磁感应强度 穿过某一截面的磁力线总数叫磁通。通过与磁场相垂直的单位面积内的磁通称为磁感应强度,又称为磁通密度,它是描述磁场中某点磁场的强弱和方向的物理量,用符号 B 表示。

磁感应强度是一个矢量,磁场中某点的磁感应强度的方向就是磁场中该点磁力线的方向,其大小等于与磁场相垂直的单位长度的导体通以单位电流时所受电磁力的大小,即:

$$B = \frac{F}{IL}$$

式中, F 为电磁力,单位是牛顿(N), I 的单位是安培(A), L 为磁场中导体有效长度,单位是米(m), B 的单位是特斯拉(T)。

实际应用中采用磁感应强度较小的单位——高斯(G)。特斯拉与高斯的换算关系为:

$$1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 特斯拉}$$

需要说明,磁感应强度的大小不仅取决于产生这个磁场的电流大小、载流导体的形状,而且和磁场中介质材料的性质有关。

不同介质对磁场的影响不同,磁场中介质材料对磁场的影响程度是用磁导率 μ 来表示的。在其他条件相同的情况下,介质的 μ 值越大,则磁感应强度越大,磁场越强;反之 μ 值越小,则磁感应强度越小,磁场也越弱。可见,磁导率是衡量物质导磁性能好坏的物理量。

(2) 磁场强度 磁场中某点的磁感应强度的大小和其介质磁导率的比值叫做该点的磁场强度,用符号 H 表示,即:

$$H = \frac{B}{\mu}$$

式中, B 的单位是特斯拉(T), μ 的单位是亨/米(H/m), H 的单位是安/米(A/m)。

磁场强度也是表征磁场性质的物理量, 也是一个矢量, 其方向与该点的磁感应强度方向相同。但是磁场强度与介质无关, 而磁感应强度与介质有关。引入磁场强度这个物理量, 能使磁场的分析计算大大简化。

二、铁磁物质的磁特性

根据物质磁性能的不同, 把物质分为两类: 一类是在磁场中能显著增强磁场作用的物质, 叫做铁磁物质, 其磁导率远远大于真空磁导率, 如铁、钴、镍及某些合金等都属于这一类; 另一类是在磁场中对磁场的影响非常微弱的物质, 叫做非铁磁物质, 其磁导率与真空磁导率相近, 如铜、银、木材、空气等。

铁磁物质所增强的磁场比真空中的磁场要强几千以至几万倍。我们把铁磁物质在磁场中能够增强磁场的现象, 叫铁磁物质的磁化。铁磁物质的磁化特性广泛应用于电工技术的各个方面。

三、磁路、磁势和磁阻

1. 磁路

图 1-8(a) 所示为电磁铁的磁路。当线圈中通以电流后, 大部分磁力线(磁通)沿铁心、衔铁和工作气隙构成回路, 这部分磁通成为主磁通; 另外一小部分磁通没有经过工作气隙和衔铁, 而经空间自成回路, 这部分磁通成为漏磁通。

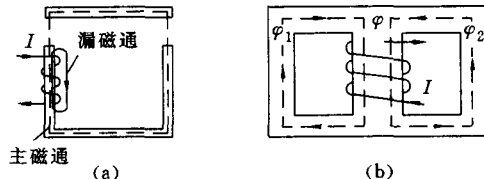


图 1-8 磁路

磁通经过的闭合路径叫做磁路。磁路分为无分支磁路(见图 1-8(a))和有分支磁路(见图 1-8(b))。在无分支磁路中, 通过每一横截面的磁通均相等。在有分支磁路中, 若左右结构对称, 而且线圈绕在中间铁心柱上, 磁通的分布也对称。总磁通在分支处分成两个相等磁通, 即:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{\varphi}{2}$$

2. 磁势

通电线圈产生的磁通与线圈匝数和通过的电流成正比。其中通过线圈的电流和线圈匝数 N 的乘积称为磁势, 用符号 E_m 表示, 单位是安匝, 即:

$$E_m = IN$$

3. 磁阻

磁通通过磁路时所受的阻力称为磁阻, 用符号 R_m 表示。磁阻的大小与磁路的长度 L 、横截面积 S 和磁路材料的磁导率 μ 有关, 即:

$$R_m = \frac{L}{\mu S}$$

式中, μ 的单位为亨/米(H/m), L 的单位为米(m), S 的单位为米²(m²), R_m 的单位为 1/亨(1/H)。

四、磁场对电流的作用力

实验表明, 通电直导体在磁场中会受到磁场的作用力。磁场对载流导体的作用力称为电磁力, 也称安培力。

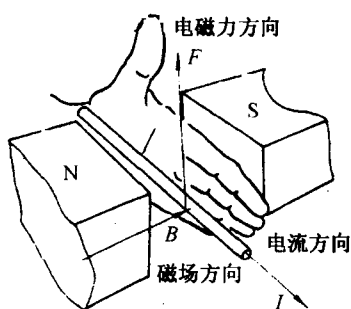


图 1-9 左手定则

电磁力的方向可以用左手定则来判断。如图 1-9 所示, 平伸左手, 拇指与其他四指垂直, 使磁力线穿过掌心, 四指所示为电流方向, 这时拇指的方向就是电磁力的方向。

在匀强磁场中, 载流导体所受电磁力的大小, 可由下面的公式计算:

$$F = BIL\sin\alpha$$

式中, B 为磁感应强度, 单位是特(T); I 为导体中的电流, 单位是安(A); L 为磁场中导体的有效长度, 单位是米(m); α 是通电导体与磁场方向之间的夹角, 单位是度; F 为电磁力, 单位是牛(N)。

电磁力在人们的生产和生活中应用广泛, 电动机就是根据这一原理制造的。

五、电磁感应

在一定条件下, 利用磁场产生电流的现象称为电磁感应。电磁感应现象中产生的电动势称为感应电动势, 产生的电流称为感生电流。

如图 1-10(a) 所示, 当导体 ab 在磁场中作切割磁力线运动时, 导体中就会产生感应电动势, 包括 ab 在内的闭合回路将产生感生电流。感应电动势的方向可以用右手定则来判断: 将右手掌伸平, 拇指与其他四指垂直, 使掌心迎向磁力线, 若拇指指向导体运动的方向, 则四指的指向就是导体内感应电动势的方向, 如图 1-10(b) 所示。

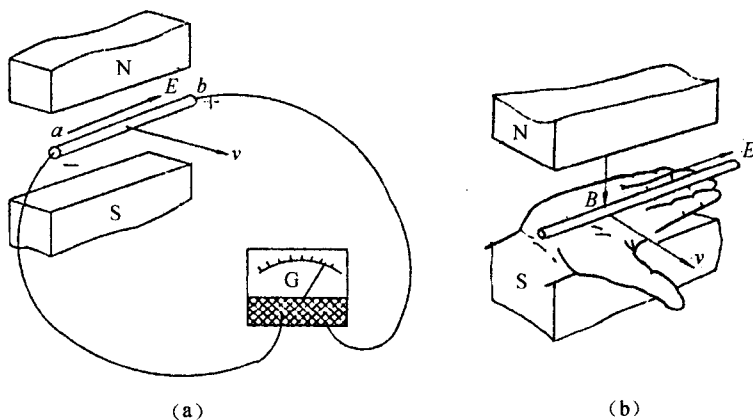


图 1-10 电磁感应和右手定则

感应电动势的大小可用下式计算：

$$E = BLv \sin \alpha$$

式中, E 为感应电动势, 单位是伏(V); B 为匀强磁场的磁感应强度, 单位是特斯拉(T); L 为导体的有效长度, 单位是米(m); v 为导体的运动速度, 单位是米/秒(m/s); α 为导体运动方向与磁力线方向之间的夹角, 单位是度。

实验表明, 穿过线圈回路的磁通即与线圈回路交链的磁通发生变化时, 线圈中就会产生感应电动势, 感应电动势的方向与线圈回路交链的磁通是增加还是减少有关。

第三节 单相正弦交流电

大小和方向都随时间作周期性变化的电流或电压叫做交流电。根据电流或电压随时间变化的规律可把交流电分为正弦交流电和非正弦交流电。我们把电流或电压随时间按正弦规律变化的交流电称为正弦交流电。正弦交流电按相数可分为单相正弦交流电和三相正弦交流电。这里首先介绍单相正弦交流电的基本知识。

一、正弦交流电的周期、频率和角频率

交流电变化一周所用的时间称为周期, 用字母 T 表示, 单位是秒(s)。

交流电每秒内变化的周期数叫做频率, 用字母 f 表示, 单位为赫兹(Hz), 简称赫。

周期与频率的关系为：

$$T = \frac{1}{f}$$

我国交流供电的标准频率为 50Hz, 称为工频。

交流电在一周中变化的角度为 360° 或 2π 弧度, 单位时间内变化的角度称为角频率, 用字母 ω 表示, 单位是弧度/秒。角频率、周期、频率的关系为：

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

频率、周期和角频率都是反映交流电变化快慢的物理量。

为了便于电路的分析, 可把电流或电压随时间变化的规律用数学式子表示出来, 图 1-11 中所示电压瞬时值的函数式为：

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

式中, U_m 是交流电压最大值, ω 是角频率, ϕ 称为初相角。习惯上称这三个量为正弦量的三要素, 知道三要素后, 就可确定正弦量的表示式。

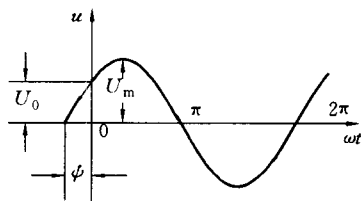


图 1-11 正弦电压

二、初相角和相位差

1. 初相角

在图 1-11 中, $u = U_m \sin(\omega t + \phi)$ 的 $(\omega t + \phi)$ 是一个角度, 它是时间的函数, 对应于确定的时间 t , 有一个确定的角度。所以, $(\omega t + \phi)$ 是表示正弦交流电压在 t 时刻的角度, 称为相位或相角。不同的相位对应着不同的瞬时值。通常把起始时的相位, 即 $t=0$ 时的相位叫做初相位或初

相角,图 1-11 中 ϕ 为初相位。

2. 相位差

两个频率相同的正弦交流电的相位之差叫做相位差,用 $\Delta\psi$ 表示。如两个同频率的正弦交流电压 u_1 和 u_2 ,其函数式为:

$$u_1 = U_m \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$u_2 = U_m \sin(\omega t + \phi_2)$$

则它们之间的相位差

$$\Delta\psi = (\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2$$

可以看出,两个同频率的正弦交流电的相位差,就是初相位之差。

三、交流电的有效值

在实际应用中,交流电的大小不是用它的最大值,而是用有效值来计算的。

交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的。在相同时间内,让交流电和直流电通过同样阻值的电阻,如果它们产生的热量相等,则该直流电流值称为交流电流的有效值。换句话说,交流电流的有效值,就是与它热效应相当的直流电流值。用同样的方法还可以确定交流电压的有效值。

正弦交流电流的有效值用大写字母 I 表示,电压的有效值用大写字母 U 表示。实践和理论证明,正弦交流电的有效值与最大值之间存在如下关系:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707U_m$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707I_m$$

四、交流电的功率

1. 瞬时功率

在交流电路中,电流和电压都是随时间变化的,所以电路上消耗的电功率也是随时间变化的,在某一时刻,其瞬时功率 p 等于电压瞬时值 u 与电流瞬时值 i 的乘积,即:

$$p = ui$$

2. 平均功率

在实际应用中,通常电路中的功率不是指瞬时功率,而是指瞬时功率在一周期内的平均值,称为平均功率,也叫有功功率,用大写字母 P 表示。

对于纯电阻电路,平均功率的大小等于其瞬时功率最大值的一半,也等于电阻电路中电压有效值与电流有效值的乘积,即:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} U_m I_m \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{2} U \cdot \sqrt{2} I \\ &= UI \end{aligned}$$

平均功率反映了电阻实际消耗的功率,我们说电灯泡的功率是 100 瓦、电阻丝的功率是 1 千瓦都是对平均功率而言的。

对于纯电感电路或纯电容电路,只存在电能和磁场能的周期性转换,并不消耗能量,因此在一个周期内其瞬时功率的平均值等于零,也就是说,纯电感电路或纯电容电路的平均功率等于零。

3. 无功功率

在纯电感电路或纯电容电路中,其电能和磁场能周期性转换的最大速率用无功功率来表示,用字母 Q 表示无功功率,则有:

$$Q = U_L I = I^2 \times L = \frac{U_L^2}{X_L}$$

或

$$Q = U_C I = I^2 \times C = \frac{U_C^2}{X_C}$$

式中,无功功率的单位是乏尔,简称乏,用符号 Var 表示。

4. 功率因数

通常,正弦交流电的有功功率 P 用下式表示:

$$P = S \cos \varphi$$

或

$$P = UI \cos \varphi$$

式中, P 为有功功率,单位是瓦特; S 为视在功率,单位是伏安; φ 为电路中总电压与总电流的相位差,单位是度; $\cos \varphi$ 为功率因数。

功率因数 $\cos \varphi$ 为电路中有功功率与视在功率的比值,即 $\cos \varphi = \frac{P}{S}$,其大小表示电源功率被利用的程度。功率因数越大,表示电源发出的电能转换成热能或机械能越多,而与电感或电容之间相互交换的能量即无功功率越少。对于某一电源设备,其视在功率表示它所能输出的最大有功功率的数值,但负载上能否得到这样大的有功功率还取决于负载的性质。对于纯电阻性负载,如电灯、电炉,则 $\cos \varphi = 1$,负载上得到的有功功率就等于电源供出的视在功率;对于感性负载,如日光灯、异步电动机,则 $0 < \cos \varphi < 1$,这时负载上得到的有功功率只是电源供出的视在功率的一部分,可见电源的容量没有被充分利用,是不经济的。

第四节 三相正弦交流电

一、三相交流电动势的产生

三相正弦交流电是三个单相正弦交流电按一定方式进行的组合。这三个单相正弦交流电的频率相同,最大值相等,相位互差 120° 。

图 1-12 所示是三相发电机的原理示意图。图中,构成转子绕组是三个互成 120° 的线圈,一个线圈为一相,三个线圈组成的发电机就是三相发电机。

三相发电机的三个线圈是相同的,这三个线圈称为三相绕组,由 AX、BY、CZ 组成。A、B、C 称为绕组始端,X、Y、Z 称为绕组末端。三个绕组在转子中的空间位置彼此相差 120° 。当转子以角速度 ω 匀速旋转时,由于穿过三个绕组的磁通量的变化,三个绕组中都会感应出随时间按正弦规律变化的交流电动势。