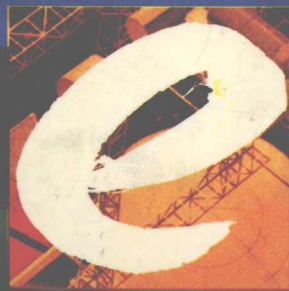


教育部规划教材



中等职业学校电子信息类教材 实用电子技术专业

电动机的结构 与维修

杜德昌 主编
董明晓 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>

教育部规划教材

中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

电动机的结构与维修

杜德昌 主编
董明晓 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据实用电子技术专业教学计划和原劳动部、原机械工业部颁发的电工《职业技能鉴定规范(考核大纲)》和《工人技术等级标准》编写的,主要内容包括:电动机维修基础、电动机的结构与工作原理、电动机绕组的排列、电动机结构的维修、电动机绕组的维修、电动机修复后的试验与安装等六部分。本书以理论知识的讲授为主线,着重于操作技能的培养,力求紧密结合生产的实际。

本书内容深入浅出、简明扼要、通俗易懂、图文并茂,是各类中等职业技术教育学校必不可少的专业教材,也可以作为家电培训和军地两用人才培训教材。

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

电动机的结构与维修/杜德昌主编 - 北京:电子工业出版社,1999.9

中等职业学校电子信息类教材 实用电子技术专业

ISBN 7-5053-5263-6

I. 电… II. 杜… III. ①电动机-结构②电动机-维修IV. TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 13690 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: 电动机的结构与维修

主 编: 杜德昌

主 审: 董明晓

责任编辑: 应月燕

特约编辑: 于 平

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 河北省涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <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: 10.75 字数: 275 千字

版 次: 1999 年 9 月第 1 版 2000 年 6 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5263-6
G·428

印 数: 7000 册 定价: 14.00 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

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技术学校计算机技术与实用电子技术两个专业的教材。电子工业出版社以电子工业为背景,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、出版计算机技术专业 and 实用电子技术专业的教材 70 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,计算机和电子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,会同电子行业的专家、教育教研部门研究人员以及广大职业学校的领导和教师,在深入调查研究的基础上,制定了两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. 教材密切反映电子技术、特别是计算机技术的发展,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。
3. 教材与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,编写职业技术学校教材始终是一个新课题。希望全国各地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。

全国中等职业技术学校电子信息类教材工作领导小组
1998 年 12 月

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）

秘书长：

林培（电子工业出版社）

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校副校长）

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）

黄新民（上海现代职业技术学校）

徐治乐（广州市电子职业高级中学副校长）

李玉全（特邀）

[计算机技术编审组]

组长：

吴清萍（北京市财经学校副校长）

副组长：

史建军（青岛市科协计算机普及教育中心副主任）

钟葆（上海现代职业技术学校教研组长）

周察金（四川省成都市新华职业中学教研组长）

组员：

刘逢勤（郑州市第三职业中专教研组长）

戚文正（武汉市第一职教中心教务主任）

肖金立（天津市电子计算机职业中专教师）

严振国（无锡市电子职业中学教务副主任）

魏茂林（青岛市教委职教室教研员）

陈民宇（太原市实验职业中学教研组长）

徐少军（兰州市职业技术学校教师）

白德淳（吉林省冶金工业学校高级教师）

陈文华（温州市职业技术学校教研组长）

邢玉华（齐齐哈尔市职教中心学校主任）

谭枢伟（牡丹江市职教中心学校）

谭玉平（石家庄第二职教中心副校长）

要志东（广东省教育厅职业教育研究室教研员）

张昌林（特邀）

刘士杰（特邀）

前 言

本书是根据原电子工业部颁发的中等职业技术学校实用电子技术专业教学计划和原劳动部、机械工业部颁发的电工《职业技能鉴定规范(考核大纲)》和《工人技术等级标准》编写的,经全国中等职业学校电子信息类教材审查委员会审查通过的,供全国中等职业技术教育学校实用电子技术类专业的学生使用。

本书是中等职业技术学校实用电子技术类专业的一门主干课程,主要内容包括:电动机维修基础、电动机的结构与工作原理、电动机绕组的排列、电动机结构的维修、电动机绕组的维修、电动机修复后的试验与安装等六部分。主要介绍了维修电动机所涉及的基础知识的概念和定律;维修基本操作常用工具的结构和使用方法;交、直流电动机绕组的概念和排列方式,绕组的重绕以及改绕的简单计算;电动机结构的原理和主要部件的维修技术,电动机常见故障及其处理方法;修复后的电动机整体检查和绝缘耐压、空载运行、温升超速试验等。在每一章的后面附有本章小结和复习思考题,对于技能性较强的操作部分,均安排了技能训练课题,便于学生加深对理论知识的理解,培养学生的实际动手能力。

本书以理论知识的讲授为主线,着重于电动机维修技能的培养,力求紧密结合教学和生产的实际。在文字的表述上力求深入浅出、简明扼要、通俗易懂,并尽可能多的采用插图,以求直观形象。

本教材的总教学课时定为 90 学时,其中,理论教学 72 学时,技能训练 18 学时,各部分内容的课时分配建议如下:

序号	教 学 内 容	理论教学	技能训练
一	电动机维修基础	14	2
二	电动机的结构与工作原理	10	
三	电动机绕组的排列	12	
四	电动机结构的维修	10	4
五	电动机绕组的维修	18	8
六	电动机修复后的试验与安装	8	4
合计		90	

本书由山东省教学研究室组织济南市部分职业学校的教师编写,由杜德昌主编,参加编写的有李守玲、刘建华、王晓缜、卢世萍、张兴华、董洁、毕思国。全书承蒙山东省建筑工程学院机电系董明晓副教授审阅,在此谨表示诚挚的感谢。

由于编写经验不足,加之时间仓促,教材中不足之处,诚望广大读者提出宝贵意见,以便进一步修改完善。

编 者

1998 年 12 月

目 录

第一章 电动机维修基础	(1)
第一节 电磁基础知识	(1)
一、电路	(1)
二、磁路	(1)
三、电磁定律	(2)
四、单相正弦交流电	(4)
五、三相交流电	(7)
第二节 电动机维修常用工具与仪表	(9)
一、通用电工工具	(9)
二、专用电工工具	(12)
三、电动机维修常用仪表	(13)
第三节 电动机维修常用的材料	(18)
一、电磁线	(18)
二、绝缘材料	(21)
三、电刷	(24)
四、引接线	(25)
五、轴承	(25)
第四节 三相异步电动机的选择	(26)
一、三相异步电动机的铭牌	(26)
二、三相异步电动机的选择	(27)
本章小结	(30)
复习思考题	(30)
技能训练	(32)
第二章 电动机的结构与工作原理	(33)
第一节 三相异步电动机的结构	(33)
一、定子	(33)
二、转子	(34)
三、气隙	(36)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(36)
一、旋转磁场的产生	(36)
二、转子转动的原理	(37)
三、电动机的转矩	(38)
四、转差率	(39)
第三节 单相异步电动机的结构与工作原理	(39)
一、单相异步电动机的结构	(39)

二、单相异步电动机的工作原理	(39)
三、几种常见的单相异步电动机	(40)
第四节 直流电动机的结构与工作原理	(42)
一、直流电动机的结构	(42)
二、直流电动机的工作原理	(44)
三、直流电动机的分类	(45)
本章小结	(46)
复习思考题	(47)
第三章 电动机绕组的排列	(48)
第一节 绕组的基本概念	(48)
一、绕组和绕组展开图	(48)
二、槽数和磁极数	(48)
三、极距和节距	(49)
四、电角度	(50)
五、每极每相槽数	(50)
六、相带	(50)
第二节 三相异步电动机绕组的排列	(50)
一、单层绕组	(50)
二、双层绕组	(54)
第三节 单相交流电动机绕组的排列	(59)
一、单层绕组	(59)
二、双层绕组	(62)
第四节 直流电动机绕组的排列	(63)
一、电枢绕组的形式和主要参数	(63)
二、绕组的排列	(65)
本章小结	(67)
复习思考题	(68)
第四章 电动机结构的维修	(69)
第一节 电动机的拆装	(69)
一、电动机的拆卸	(69)
二、电动机的装配	(71)
第二节 转动部分的机械故障与维修	(73)
一、转子的故障与维修	(73)
二、转轴的故障与维修	(75)
三、轴承的故障与维修	(76)
四、集电装置的故障与维修	(78)
五、转子的平衡	(81)
第三节 固定部分的维修	(82)
一、电动机定子铁心的维修	(82)
二、定子机壳的维护	(82)

三、机座、端盖裂縫的维修	(82)
第四节 电动机常见故障及其修理方法	(83)
一、交流电动机常见故障与处理	(83)
二、直流电动机常见故障与处理	(84)
本章小结	(86)
复习思考题	(86)
技能训练	(86)
第五章 电动机绕组的维修	(90)
第一节 三相异步电动机绕组的重绕	(90)
一、记录原始数据	(90)
二、拆除旧绕组	(91)
三、制作绕线模	(92)
四、线圈的绕制	(95)
五、嵌线操作	(96)
六、接线与焊接	(97)
七、绕组检查与试验	(98)
八、绕组的浸漆与烘干	(99)
第二节 三相异步电动机绕组改绕的简单计算	(101)
一、绕组数据的确定	(101)
二、改变导线规格的计算	(102)
三、改极计算	(104)
四、改压计算	(106)
五、单速电动机改为多速电动机的计算	(107)
第三节 单相异步电动机定子绕组重绕	(110)
一、极数的确定	(110)
二、绕组的形式	(110)
三、绕组匝数的确定	(110)
四、线径的选取	(111)
第四节 三相异步电动机绕组故障的检修	(113)
一、定子绕组故障的检修	(113)
二、转子绕组故障的检修	(118)
本章小结	(121)
复习思考题	(123)
技能训练	(124)
第六章 电动机修复后的检查与试运转	(129)
第一节 电动机的整体检查	(129)
一、电动机装配质量的检查	(129)
二、绕组直流电阻的测量	(130)
三、绝缘电阻的测量	(130)
第二节 绝缘耐压试验	(132)

一、绕组对机壳的耐压试验	(132)
二、绕组相互间的绝缘试验	(133)
第三节 空载运转试验	(134)
一、三相交流电动机的空载试验	(134)
二、直流电动机的空载试验	(135)
第四节 温升超速试验	(135)
一、温升试验	(135)
二、超速试验	(137)
第五节 三相异步电动机的安装	(138)
一、电动机机座的安装	(138)
二、电动机的校正	(139)
三、电动机传动装置的安装与校正	(139)
四、电动机操作开关的安装	(139)
五、控制开关的安装	(140)
六、熔断器的安装	(140)
七、电压表和电流表的安装	(140)
八、电动机接线盒的接线	(140)
本章小结	(141)
复习思考题	(142)
技能训练	(142)
附录 A Y系列(IP44)小型三相鼠笼式异步电动机主要技术数据	(145)
附录 B 中华人民共和国工人技术等级标准	(148)
附录 C 中华人民共和国职业技能鉴定规范	(153)

第一章 电动机维修基础

第一节 电磁基础知识

一、电路

1. 电路的基本概念

电路是由电源、负载、导线和控制元件构成的电流路径,以实现电器设备的预定功能。

(1) 电源

把其它形式的能转为电能的装置叫电源,它是电路中的能源。常见的电源有干电池、蓄电池和交、直流发电机等。

(2) 负载

电源的负载也叫用电器,它是把电源提供的电能,通过作功而转化为其它形式的能的装置。例如:电灯、电、电动机等。

(3) 导线

连接电源与负载的金属线叫导线,常用铜或铝材料制成,它是电能的传输通道。

(4) 控制元件

又叫开关,用于控制电路的通断状态,常用开关有拉线开关、闸刀开关、按钮开关等。

2. 电路的状态

电路的状态通常有三种,即通路、断路和短路。

通路也叫闭路,是指电路形成闭合状态,电路中有电流通过。

断路也叫开路,是指电路断开,不会有电流通过。

短路也叫捷路,可分为两种情况:一是电源的两极被一导线连接而直接形成回路;二是电路中某一部分负载两端被导线连接而使该部分短路。无论哪种短路,对电源和电路设施都是十分有害的,因此,在电路中必须装有熔丝等保护设施,以防短路。

二、磁路

1. 磁路的概念

磁通经过的闭合路径称为磁路。由于磁场的磁感线是闭合曲线,所以,磁路可由不同介质或真空构成。如图 1-1 所示为变压器中的硅钢铁心,当线圈中通以电流时,主磁通通过铁心、衔铁

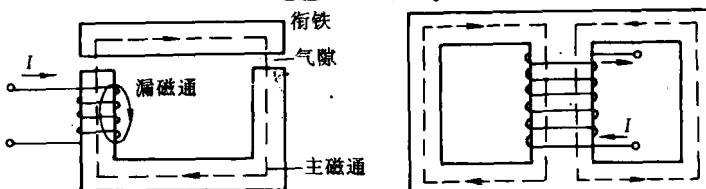


图 1-1 硅钢铁心磁路

右手螺旋管定则

通电线圈产生的磁场的强弱与线圈中放入的介质有关。当线圈中放入某介质时，磁场大为增强；若放入另一类介质时，磁场可能略有削弱。

铁和工作气隙构成回路；而漏磁通可通过空气自成回路。磁路也像电路一样，分为有支路磁路和无支路磁路，如图 1-2 和 1-3 所示。

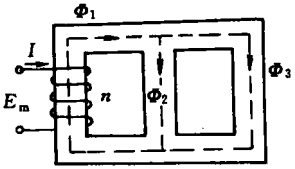


图 1-2 有支路磁路

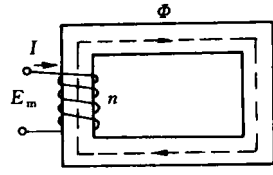


图 1-3 无支路磁路

2. 磁路的欧姆定律

通过磁路的磁通与激发磁通的磁势成正比，与磁路的磁阻成反比，这一规律称为磁路的欧姆定律。用公式表示为

$$\Phi = E_m / R_m$$

- 式中 E_m ——激发磁通的磁势，单位是安(A)；
- R_m ——磁阻，单位是每亨(1/H)；
- Φ ——磁通，单位是韦(Wb)。

三、电磁定律

1. 安培定律

将一长度为 L 的导线垂直放入一匀强磁场中，当导线中通以电流 I 时，该导线将受到磁场对它的作用力，称为安培力。安培力的大小可通过安培定律来描述：载流导线在磁场中所受到的安培力与磁场的磁感应强度 B 、导线的有效长度 L 和导线内部的电流强度 I 这三者的乘积成正比，这一结论称为安培定律，用公式表示为：

$$F = BIL$$

- 式中 B ——磁感应强度，也叫磁通密度，单位是特斯拉(T)；
- I ——电流强度，单位是安培(A)；
- L ——导线的有效长度，单位是米(m)；
- F ——导线所受的安培力，单位是牛顿(N)。

磁感应强度是单位面积内的磁通，所以磁感应强度又称为磁通密度 $B = \frac{\Phi}{A}$

安培力的方向可用左手定则来判断：伸开左手，拇指与其他四指垂直，并与手掌在同一平面内，手心对准 N 极，让磁感线垂直穿过手心，四指指向电流方向，大拇指所指的方向就是安培力的方向。

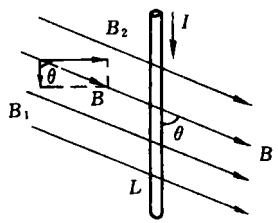


图 1-4

必须指出：式中 L 为导线的有效长度，其有效二字的含义有两点：一是导线必须完全处在磁场中；二是导线必须与磁场方向垂直，若二者不垂直，而呈角度 θ ，如图 1-4 所示，则有效长度为导线 L 在垂直于磁场方向上投影的长度 $L\sin\theta$ ，所以，安培定律的一般形式为

$$F = BIL\sin\theta$$

2. 电磁感应定律

电磁感应定律的内容是：当穿过闭合电路的磁通量发生变化

即 $\Phi = BS$
分为两种情况：
1. S 变 B 定
2. B 变 S 定

能够反映磁场特性的物理量叫磁感应强度

单位时间内磁通量的变化量

磁场的强度的定义： $H = \frac{B}{\mu}$ μ 的单位 H/m

时，电路中就会产生感生电动势和感生电流，感生电动势的大小与穿过闭合电路的磁通量的变化率成正比，这就是法拉第电磁感应定律。具体可分为以下两种情况。

(1) 导线与磁场的相对运动 (面积的变化)

$\Phi = BA$

如图 1-5 所示： L 为闭合电路中一段导线，当 L 在匀强磁场中以速度 v 向右或向左运动时， L 要切割磁力线，造成穿过闭合电路的磁力线条数(磁通量 Φ)减少或增多，这两种情况下，检流计指针均发生偏转，说明电路中产生感生电流和感生电动势。如果 L 沿磁力线方向移动，则不切割磁力线，穿过回路的磁力线条数不变，即 Φ 不变。

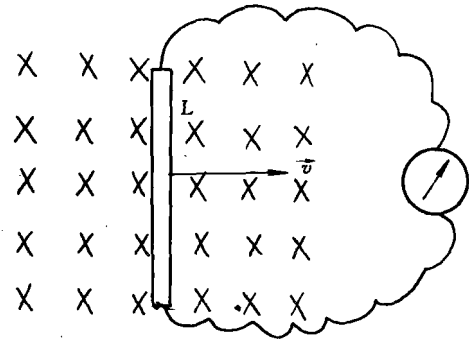


图 1-5

通过对以上实验的分析可得出：在导线切割磁力线这类电磁感应现象中，所产生的感生电动势的计算公式为

$E = BLv \sin\theta$

式中， θ 为速度方向与磁场方向之间的夹角，而 $v \sin\theta$ 为导线切割磁力线的有效速度。上述公式用文字叙述如下：闭合电路中一段导线在磁场中切割磁力线时，导线内所产生的感生电动势与磁场的磁感应强度、导线的有效长度和导线切割磁力线的有效速度的乘积成正比。

在实际应用中，以上各物理量均采用国际单位： B ——特(T)； L ——米(m)； v ——米/秒(m/s)。

(2) 磁场的变化

在图 1-6 所示的实验中，线圈 A 插在线圈 B 中静止，当开关 S 闭合或断开的瞬间，线圈 A 中的电流发生从无到有或从有到无的变化，该电流的磁场亦发生相应变化，使穿过线圈 B 的磁通量发生变化，电流计指针发生偏转，说明该瞬间线圈 B 中产生了感生电动势和感生电流。

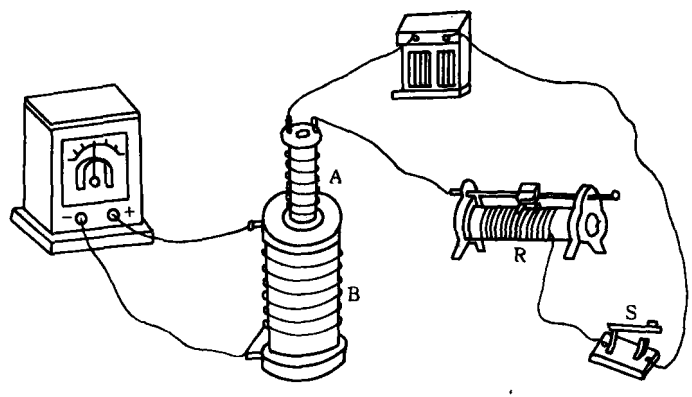


图 1-6

通过进一步的实验证明，线圈中感生电动势可由下式算出：

$E = N \Delta\Phi / \Delta t$

式中， $\Delta\Phi / \Delta t$ ——穿过线圈的磁通量的变化率，单位 W/s；

N ——线圈 B 的匝数。

上述公式可用文字叙述：当穿过线圈的磁通量发生变化时，线圈内就产生感生电动势。其电动势的大小与穿过线圈的磁通量的变化率成正比，这就是法拉第电磁感应定律。

四、单相正弦交流电

1. 正弦交流电的概念

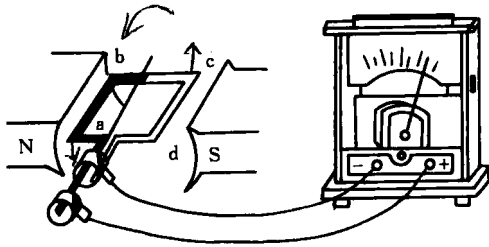


图 1-7

在图 1-7 所示的实验中，当矩形线框在匀强磁场中以角速度 ω 沿逆时针方向匀速转动时，线框中便产生感生电动势。电动势的表达式为：

$$e = 2BLv\sin(\omega t + \varphi)$$

式中， e 为感生电动势的瞬时值。

设 $2BLv = E_m$ ，则上式变为：

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可见，该电动势是按正弦规律变化的，称为正弦交流电动势。而 E_m 为正弦函数的振幅，称为电动势的最大值。

矩形线框内产生电动势后，便形成一个电源，若与负载构成闭合回路，则电路中便产生电流：

$$i = e/R = E_m/R \sin(\omega t + \varphi)$$

设 $E_m/R = I_m$ ，则电流表达式为：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

该电流在负载电阻两端产生的电压降为：

$$u = iR = I_m R \sin(\omega t + \varphi)$$

设 $I_m R = U_m$ ，则电压表达式为：

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

因此，电动势、电压和电流都是按正弦规律变化的，称之为正弦交流电，正弦交流电的波形图像为一正弦曲线，如图 1-8 所示。

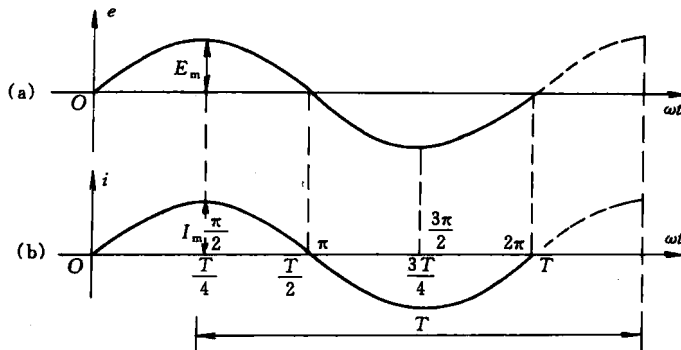


图 1-8

2. 正弦交流电的三要素

正弦交流电的有效值(或最大值)、周期(或频率)、相位(或相位差)这三个参数是表征交流

电特点的三个物理量，称为交流电的三要素。

(1) 有效值

交流电的大小和方向均随时间作周期性变化，在实际中常用有效值来表示交流电的大小。有效值是这样定义的：让交流电和某一数值的直流电分别通过两个等值的电阻，如果在相同的时间内两电阻产生的热量相同，则将该直流电的值称为这一交流电的有效值。

举例说明：若某一交流的有效值为 10A，则说明它相当于 10A 的直流电电流。

有效值通常用不加角标的英文大写字母表示，如：电动势为 E ，电压为 U ，电流为 I 。

交流电的有效值与最大值的关系为：

$$E = E_m / \sqrt{2} \quad U = U_m / \sqrt{2} \quad I = I_m / \sqrt{2}$$

我们通常所说的电压 220V、380V，均是指交流电的有效值。

(2) 周期和频率 T, f (画圈)

交流电是按正弦规律进行周期性变化的，为反应其变化的快慢，我们引入周期和频率的概念。

交流电完成一次全变化所需要的时间叫作一个周期，用“ T ”表示，单位是秒 (s)，显然，一个周期就是矩形线框在匀强磁场中旋转一周所用的时间。交流电的周期越小则说明它变化越快。

交流电在 1 秒内完成的周期性全变化的次数叫作交流电的频率，用 f 表示，单位是赫兹 (Hz)，显然，交流电的频率越高，说明它变化越快。

周期与频率是从不同角度反应交流电的同一特性，它们的关系为：

$$T = 1/f \text{ 或 } f = 1/T$$

在交流电的表达式中， ω 叫作交流电的角频率，是指交流电每秒变化的电角度，亦即矩形线框匀速转动的角速度，其单位为弧度/秒 (rad/s)，角频率与频率、周期的关系为：

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

在工农业生产中，通常我们所使用的工频交流电的周期为 0.02s，频率为 50Hz，角频率为 314rad/s。

(3) 相位和相位差 ϕ

在交流电的表达式中， $(\omega t + \varphi)$ 叫作交流电的相或相位，用 ϕ 表示，相位用来比较交流电的变化步调。

$t=0$ 时的交流电的相位叫作初相位，而两个同频率的交流电的相位之差叫作相位差。例如两个正弦交流电动势分别为：

$$\begin{aligned} e_1 &= E_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) \\ e_2 &= E_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2) \end{aligned}$$

它们之间的相位差为：

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

由式中可以看出：两同频率的交流电的相位差等于它们的初相位之差，相位差的意义在于比较同频交流电的步调。

若 $\Delta\phi > 0$ ，则 $\phi_1 > \phi_2$ ，说明 e_1 超前 e_2 一个 $(\varphi_1 - \varphi_2)$ 角度，即 e_1 达到最大值较 e_2 早，如图 1-9 (a) 所示。

若 $\Delta\phi < 0$ ，则 $\phi_1 < \phi_2$ ，说明 e_1 落后 e_2 。

若 $\Delta\phi = 0$ ，则 $\phi_1 = \phi_2$ ，说明二者同相，即二者同时达到最大值，如图 1-9 (b) 所示，这种