

高职高专“十二五”规划教材

工业电器及自动化

GONGYE DIANQI
JI ZIDONGHUA

李丽霞 主编 汤光华 主审



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

工业电器及自动化

李丽霞 主编

汤光华 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分七个模块,内容包括电工基础、电子技术基础、常用电工仪表与安全用电、常用电机与电器、检测仪表及控制装置、过程控制系统、集散控制系统基础等。

本书可作为高职高专院校石油、化工、轻工、冶金、制药、机械等专业的教学用书,也可作为同类企业的员工培训教材,同时可供从事相关行业的电类、自动化类、仪器仪表类等自动化工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业电器及自动化/李丽霞主编. —北京:化学工业出版社, 2013.2

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-16095-9

I. ①工… II. ①李… III. ①电器-自动化-高等职业教育-教材 IV. ①TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 304305 号

责任编辑: 张建茹

文字编辑: 云雷

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 张辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10¼ 字数 248 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是编者将多年的高职高专的教育教学经验和企业员工培训经验、积累和收集的资料整理,编写而成的。

本书在编写的过程中,立足高职高专教育人才培养目标,结合企业员工培训要求,依据“必需、够用”为度的职业教育理念,本着“精选内容,打好基础,培养能力”的精神,对“电工电子技术”和“化工仪表及自动化”两门课程进行整合。在知识的讲解上,力求用简练的语言,尽可能地减少理论推导及分析。全书集理论阐述、技能培训与应用能力培养为一体,采用模块式编写,方便理实一体化教学的实施,每个模块均配有考核内容与配分、思考题与习题练习,以帮助读者学习后自我评估。

全书共分七个模块,内容包括电工基础、电子技术基础、常用电工仪表与安全用电、常用电机与电器、检测仪表及控制装置、过程控制系统、集散控制系统基础及附录等。

本书可作为高职高专石油、化工、轻工、冶金、制药、机械等专业的教学用书,也可作为同类企业的员工培训教材,也可供从事相关行业的电类、自动化类、仪器仪表类等自动化工程技术人员阅读参考。参考学时为50~70学时。其中打*号的内容为选学内容。

本书由李丽霞主编,中盐株洲化工集团公司谭琳、湖南化工职业技术学院刘纪平、何涛参与编写工作。其中模块一中课题一和课题二、模块二、模块五由李丽霞编写,模块三、模块四由刘纪平编写,模块六、模块七由何涛编写,模块一中课题三由谭琳编写。全书由李丽霞统稿,汤光华主审。

本书在编写过程中,得到了中盐株洲化工集团公司、湖南智成化工有限公司、湖南海利化工股份有限公司等多家企业的专家及领导的支持,并提出了许多宝贵的意见,编者在此表示感谢。同时在编写过程中,参考和引用了大量的文献,对这些参考文献的作者和单位表示感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2012年10月

目 录

模块一 电工基础	1
【学习目标】	1
【课题一】直流电路	1
一、电路的基本概念	1
二、电路的主要物理量	2
三、欧姆定律	5
四、基尔霍夫定律	5
五、电气设备额定值	6
【课题二】电容和磁场	7
一、电容和电容器	7
二、电流的磁场	7
三、铁磁材料	9
四、电磁感应	9
【课题三】交流电路	10
一、正弦交流电	10
二、三相正弦交流电路	12
【考核内容与配分】	14
【思考题与习题】	14
模块二 电子技术基础（*）	15
【学习目标】	15
【课题一】常用半导体器件	15
一、半导体二极管	15
二、半导体三极管	16
【课题二】直流稳压电源	19
一、整流电路	19
二、滤波电路	20
三、稳压电路	21
【课题三】放大电路	22
一、共射极基本放大电路	22
二、多级放大电路	24
三、运算放大器	25
【考核内容与配分】	26
【思考题与习题】	26

模块三 常用电工仪表与安全用电	28
【学习目标】	28
【课题一】常用电工仪表	28
一、万用表	28
二、钳形电流表（*）	30
三、兆欧表（*）	30
【课题二】安全用电	33
一、供电系统	33
二、触电事故	34
三、触电急救	35
【考核内容与配分】	36
【思考题与习题】	36
模块四 常用电动机与电器	38
【学习目标】	38
【课题一】常用低压电器	38
一、低压配电电器	38
二、低压控制电器	40
【课题二】三相异步电动机及控制电路	45
一、三相异步电动机的基本结构及工作原理	45
二、三相异步电动机的运行特性	49
三、三相异步电动机的铭牌	51
四、三相异步电动机的基本控制电路	52
五、三相异步电动机的降压启动控制电路	54
六、三相异步电动机的制动控制电路	55
【课题三】单相异步电动机	58
一、单相异步电动机的结构及工作原理	58
二、单相异步电动机的应用	59
【课题四】变压器	61
一、变压器的结构及工作原理	61
二、变压器的种类及特性	65
三、变压器的铭牌	68
【考核内容与配分】	70
【思考题与习题】	70
模块五 检测仪表及控制装置	72
【学习目标】	72
【课题一】检测技术基础	72
一、测量的基本知识	72

二、检测仪表的基础知识	73
【课题二】压力检测仪表	74
一、弹簧管压力表	75
二、差压（压力）变送器	76
三、压力检测仪表的选择及安装	76
【课题三】物位检测仪表	80
一、静压式液位计	80
二、浮力式物位计	82
【课题四】流量检测仪表	83
一、差压式流量计	84
二、转子流量计	86
三、电磁流量计	87
【课题五】温度检测仪表	88
一、热电偶温度计	89
二、热电阻温度计	94
三、常用温度显示仪表	95
【课题六】成分分析仪表	99
一、成分分析仪表的基本知识	99
二、常见成分分析仪表	101
【课题七】执行器	104
一、执行器的组成	104
二、气动薄膜调节阀（气动薄膜执行器）	105
三、辅助装置	109
【考核内容与配分】	112
【思考题与习题】	112
模块六 过程控制系统	114
【学习目标】	114
【课题一】过程自动控制系统的基本知识	114
一、过程自动控制系统的概念	114
二、过程自动控制系统的过渡过程和品质指标	115
三、过程自动控制系统的对象特性	118
【课题二】简单控制系统	119
一、简单控制系统的组成	119
二、控制方案的确定	119
三、控制符号图	120
【课题三】复杂控制系统	123
一、常见复杂控制系统的控制方案	123
二、锅炉的过程控制	126
【考核内容与配分】	129

【思考题与习题】	129
模块七 集散控制系统基础	130
【学习目标】	130
【课题一】集散控制系统的基本知识	130
一、集散控制系统的基本组成和特点	130
二、集散控制系统的结构与功能	131
三、集散控制系统的通信网络	133
四、集散控制系统的软件体系	136
【课题二】常见集散控制系统	136
一、中控 JX-300XP 系统	136
二、HOLLiAS-MACSV 系统	140
【考核内容与配分】	148
【思考题与习题】	148
附录	149
附录一 常用热电偶、热电阻分度表	149
附录二 仪表校验记录单	153
参考文献	155

模块一 电工基础

【学习目标】

通过本模块学习,了解电路的组成及其作用,理解电路的常见基本物理量的概念及计算,能看懂简单电路图,分析计算简单直流电路,了解电气设备额定值的意义;理解电容的概念,掌握电容器的充放电特性;理解磁场主要物理量,熟练掌握电流的磁效应分析以及磁场对电流作用力的计算,理解电磁感应现象及产生的条件,熟练掌握楞次定律和电磁感应定律,能分析自感和互感等磁场现象;理解正弦交流电基本物理量(三要素)的概念,熟练掌握正弦交流电的解析式表示法、波形图表示法;了解三相正弦交流电的概念及三相供电方式,掌握三相对称负载星形连接和三角形连接的三相电路中电压与相电压、线电流与相电流之间的关系,熟练掌握对称三相电路的分析和计算。

【课题一】

直流电路

一、电路的基本概念

1. 电路

如图 1-1 (a) 所示,用开关和导线将干电池和小灯泡连接起来,只要合上开关,有电流流过,小灯泡就会亮起来。像这样电流流通的路径称为电路。在实际应用中,将电器件和电气设备按照一定的方式连接在一起,形成各种电路。

分析电路时,往往是对电路模型进行分析计算,而不是实际电路,可将电路中的理想元件用常用的电气符号代替,使电路图得到简化,如图 1-1 (a) 中的电路用图 1-1 (b) 表示。常用理想元件及符号如表 1-1 所示。

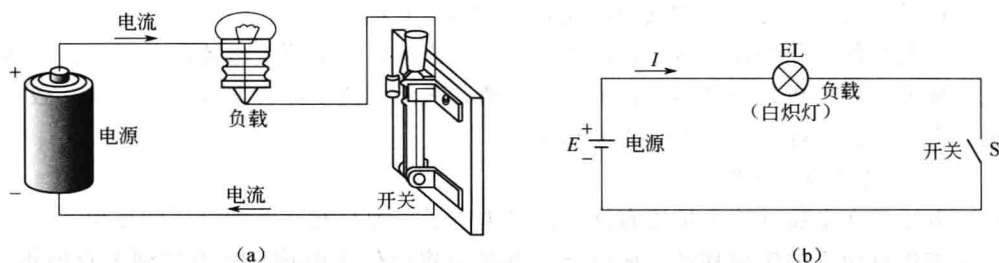
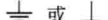


图 1-1 照明电路

表 1-1 常用理想元件及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	 或 
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

2. 电路组成

电路由电源、负载和中间环节（包括连接导线、控制保护设备）组成。

① 电源：为电路提供电能的设备和器件。是将非电能形态的能量转换成电能，例如，发电机、电池等。

② 负载：使用（消耗）电能的设备和器件，是将电能转换成其他形态能量。例如，电动机、照明灯等。

③ 连接导线：将电器设备和元器件按一定方式连接起来，传送信号、传输电能。

④ 控制保护设备：保证电路安全、可靠地工作（例如控制电路通、断的开关及保障安全用电的熔断器），而且使电路自动完成某些特定工作。

3. 电路的状态

① 通路（闭路）：电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元器件获得一定的电压和电功率，进行能量转换。

② 开路（断路）：电路中没有电流通过，又称为空载状态。

③ 短路：电源两端的导线直接相连接，输出电流过大，对电源来说属于严重过载，如没有保护措施，电源或电器会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器、保险丝等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果。

二、电路的主要物理量

1. 电流

电路中电荷沿着导体的定向运动形成电流，其方向规定为正电荷流动的方向，其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量，称为电流强度（简称电流），用符号 I 表示。

在国际单位制中，电流的单位是 A（安培）。常用的电流单位还有 mA（毫安）、 μA （微安）、千安（kA）等，它们与安培的换算关系为： $1\text{ mA}=10^{-3}\text{ A}$ ， $1\text{ }\mu\text{A}=10^{-6}\text{ A}$ ， $1\text{ kA}=10^3\text{ A}$ 。

若电流的大小和方向都不随时间变化，称为稳恒电流，简称 DC（直流）。若电流的大小和方向都随时间而变化，称为交变电流，简称 AC（交流）。

在较为复杂的电路中往往难以确定电流的实际方向，可先假定电流的参考方向，然后根据电流的参考方向分析计算电路。若电流为正值，表示电流实际方向与参考方向一致；若电流为负，表示电流实际方向与参考方向相反。

2. 电压、电位和电动势

（1）电压 在金属导体中虽然有许多的自由电子，但只有在外加电场的作用下，这些自由电子才能作有规则的定向移动形成电流。电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，称为 a、b 两点间的电压，用 U_{ab} 表示。

在国际单位制中,电压的单位为伏特,简称伏,用V表示。常用的电压单位还有mV(毫伏)、kV(千伏)等,它们与伏的换算关系为:1 mV=10⁻³ V, 1 kV=10³ V。

电压的方向为正电荷在电场中的受力方向,从高电位指向低电位,即电压降的方向。在较为复杂的电路中往往对电压的实际方向难以判断,可先假定电压的参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;反之,为负值。

(2) 电位 在电路中任选定一个参考点,则电路中某一点与参考点之间的电压即为该点的电位。电位用字母V表示,不同点的电位用字母V加下标表示。例如,V_A表示A点的电位值。电位的单位也是V(伏)。

各点电位已知后,就能求出任意两点(A、B)间的电压。电压就是两点之间的电位之差。

例如,V_A=5V, V_B=3V,那么A、B之间的电压为U_{AB}=V_A-V_B=(5-3)V=2V

电位、电压、电流的关系和水位、水压、水流的关系有相似之处。如水管中A处比B处水位高,则A、B之间形成了水压,水管中的水便由A处向B处流动;在电源外部通路中,A处比B处电位高,则A、B之间形成了电位差即电压,电流便由A处向B处流动。

电位的值与参考点的选择有关,而电压与电位参考点的选择无关。

(3) 电源电动势(电动势) 外力克服电场力把单位正电荷从负极移到正极所做的功称为电动势。电动势一般用符号E表示,单位为V(伏)。

电动势的方向规定由电源负极指向电源正极。

3. 电阻

(1) 电阻的概念 导体对电流的阻碍作用称为电阻,用符号R表示。在国际单位制中,电阻的单位为欧姆,简称欧,用Ω表示。经常用的电阻单位还有kΩ(千欧)、MΩ(兆欧),它们与Ω的换算关系为:1kΩ=10³Ω, 1MΩ=10⁶Ω。

实际电路中,例如灯泡、电热炉等电器都可看成电阻,对电流呈现阻碍作用。电阻是耗能元件,将电能转化为光能、热能等其他形式的能。

(2) 电阻定律 导体的电阻是导体本身的一种性质。它的大小决定于导体的材料、长度和横截面积,可按式计算:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ——材料电阻率,国际单位制为Ω·m(欧姆·米);

l——导线长度,国际单位制为m(米);

S——导线横截面积,国际单位制为m²(平方米)。

【例 1-1】 直径为1mm,长度为1km的铜线电阻是多少?

解 导线横截面积 $S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3.14 \times \left(\frac{1 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 = 7.85 \times 10^{-7} (\text{m}^2)$

已知铜的电阻率 $\rho = 1.7 \times 10^{-8} (\Omega \cdot \text{m})$

则铜线电阻为 $R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{10^3}{7.85 \times 10^{-7}} = 21.7 (\Omega)$

(3) 电阻与温度的关系 电阻元件的电阻值大小通常与温度有关。一般来说,金属的电阻随温度升高而增大;电解液、半导体的电阻值随着温度的升高而减小;而有些合金如锰铜合金和镍铜合金的电阻几乎不受温度的影响,常常用来制作标准电阻。

利用某些材料对温度的敏感特性，可以制成热敏电阻。电阻值随温度升高而增大的热敏电阻称为正温度系数的热敏电阻，简称 PTC（Positive Temperature Coefficient）电阻，PTC 电阻可用于小范围的温度测量、过热保护和延时开关等。电阻值随温度升高而减小的热敏电阻称为负温度系数的热敏电阻，简称 NTC（Negative Temperature Coefficient）电阻，应用于温度测量和温度调节，或用来抑制小型电动机、电容器和白炽灯在通电瞬间所出现的大电流（冲击电流），还可以作为补偿电阻，对具有正温度系数特性的元件进行补偿。

（4）电阻参数的色环标注 两位及三位有效数字色环标记，如图 1-2 和图 1-3 所示。

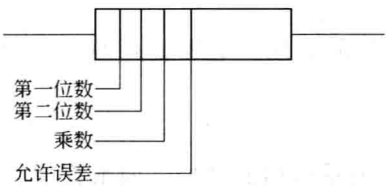


图 1-2 两位有效数字色标

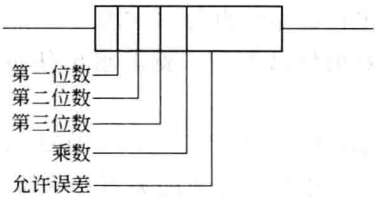


图 1-3 三位有效数字色标

色环表示的意义如表 1-2 所示。

表 1-2 色环表示的意义

颜 色	有效数字	乘 数	允许偏差/%	工作电压/V
银色		10^{-2}	± 10	
金色		10^{-1}	± 5	
黑色	0	10^0		4
棕色	1	10^1	± 1	6.3
红色	2	10^2	± 2	10
橙色	3	10^3		16
黄色	4	10^4		25
绿色	5	10^5	± 0.5	32
蓝色	6	10^6	± 0.25	40
紫色	7	10^7	± 0.1	50
灰色	8	10^8		63
白色	9	10^9	$+ 50, - 20$	
无色			± 20	

4. 电能与电功率

（1）电能 电能即电功，电场力所做的功就是电路所消耗的电能。在国际单位制中电能的单位为焦耳，简称焦，用 J 表示。在实际应用中常以 kW·h（千瓦时）（习惯上称度）作为电能的单位。1 kW·h 在数值上等于功率为 1kW 的用电器工作 1h 所消耗的电能。

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

（2）电功率 用电设备单位时间里所消耗的电能叫做电功率 P。在国际单位制中电功率的单位为瓦特，简称瓦，用 W 表示。

纯电阻电路中
$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

三、欧姆定律

1. 基本概念

① 内电路：电源本身的电流通路。如图 1-4 中左边虚框内电路。 E 为电源的电动势， R_0 为电源的内部电阻。

② 外电路：电源以外的电流通路。 R 为电源外部连接的电阻（负载）， U 为外电路两端电压。

③ 全电路：内电路和外电路的总称。图 1-4 所示为全电路。

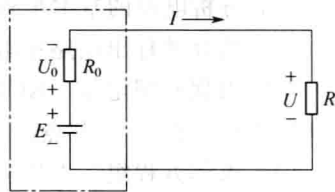


图 1-4 全电路

2. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律 对于外电路，在电路电压一定的情况下，电路电阻越大，电路中电流就越小。

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

(2) 全电路欧姆定律 可见电源内阻 R_0 越小，可以更多地向外电路提供电流（电能）。

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

外电路两端电压 $U = RI = E - R_0 I = \frac{R}{R_0 + R} E$ ，显然，负载电阻 R 值越大，其两端电压 U 也越大。当 $R \gg R_0$ 时，则 $U = E$ ；当 $R \ll R_0$ 时（相当于短路），则 $U = 0$ ，此时一般情况下的电流（ $I = E/R_0$ ）很大，电源容易烧毁。

【例 1-2】 如图 1-4 所示，已知电源电动势为 24V，电源内阻为 0.4Ω ，负载电阻为 11.6Ω ，试求电路中的电流和负载端电压。

解 电路中的电流
$$I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{24}{0.4 + 11.6} = 2 \text{ (A)}$$

负载端电压
$$U = RI = 2 \times 11.6 = 23.2 \text{ (V)}$$

四、基尔霍夫定律

应用欧姆定律可以求解一般电路，但复杂电路的求解必须应用基尔霍夫定律（或其他求解复杂电路的定理）。

1. 基尔霍夫第一定律——电流定律（KCL）

① 支路：一段不分岔的电路。

② 节点：有三条或三条以上支路的连接点。

③ 基尔霍夫第一定律：任一瞬时电路在节点上电流的代数和为零，即 $\sum I = 0$

基尔霍夫第一定律也可描述为流入节点电流的代数和等于流出节点电流的代数和。

如图 1-5 电路中节点 A 的 KCL 方程为 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ 或 $I_1 + I_2 = I_3$ 。

④ 基尔霍夫电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

2. 基尔霍夫第二定律——电压定律（KVL）

① 回路：在电路中由支路组成的任一闭合路径。

② 基尔霍夫第二定律：任一瞬时沿回路绕行一周，所有电动势的代数和等于所有电压降的代数和，即

$$\sum E = \sum U$$

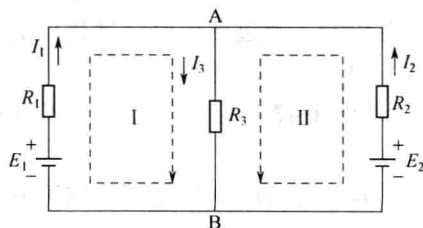


图 1-5 电路分析示意图

或

$$\sum E = \sum RI$$

如图 1-5 电路中回路 II 的 KVL 方程为 $E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$ 。

③ 基尔霍夫电压定律可以推广应用于开路电路。

3. 分析电路的基本步骤

① 选择并标出电路中电流、电压参考方向；

② 根据欧姆定律、KCL、KVL 列出方程式，电路中有 n 个节点时，可以列出 $n-1$ 个 KCL 方程，有 m 个节点时，可以列出 m 个 KVL 方程；

③ 求解方程组，求出电路中各参数。

【例 1-3】 在图 1-5 所示电路中，已知 $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ， $R_3 = 15\Omega$ ， $E_1 = 180\text{ V}$ ， $E_2 = 80\text{ V}$ ，求各支路中的电流。

解 应用 KCL 对节点 A 列写电流方程 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

应用 KVL 对回路列写电压方程式 $E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$

$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

代入参数

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$180 = 5 I_1 + 15 I_3$$

$$80 = 10 I_2 + 15 I_3$$

解联立方程可得 $I_1 = 12\text{ A}$ ， $I_2 = -4\text{ A}$ ， $I_3 = 8\text{ A}$

求得结果中 I_1 和 I_3 为正值，说明电流的实际方向与参考方向一致； I_2 为负值，说明电流的实际方向与参考方向相反。

五、电气设备额定值

1. 额定值

电气设备在正常工作时对电流、电压和功率具有一定限额，电气设备安全工作时所允许的最大电流、最大电压和最大功率分别称为它们的额定电流、额定电压和额定功率。额定值是指导使用者正确使用电气设备的主要依据。

(1) 额定值表示方法

① 利用铭牌标出（如电动机、电冰箱、电视机的铭牌）；

② 直接标在该产品上（如电灯泡、电阻）；

③ 从产品目录中查到（如半导体器件）。

(2) 额定状态 应用中电气设备的实际值（电压、电流和功率等）等于额定值时的工作状态称为额定状态。提醒注意的是电气设备使用时的实际值并不一定等于该设备的额定值。

2. 过载与欠载

过载指实际值超过额定值，反之，欠载则指实际值低于额定值。

从应用的角度来说，额定值有着十分重要的意义，它说明了电气设备正常工作应受到的一些限制。超过额定值（过载）很容易烧坏电器，因此一般不允许出现，但远离额定值（欠载）也是不科学的。

【例 1-4】 标有 100Ω 、 4 W 的电阻，如果将它接在 20 V 或 40 V 的电源上，能否正常工作？

解 ① 在 20 V 电压作用下时

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{20^2}{100} = 4(\text{W})$$

该值等于额定功率,因此在 20V 的电源电压时可以正常工作。

② 在 40V 电压作用下时,同理可得

$$P = \frac{40^2}{100} = 16(\text{W})$$

16 W > 4 W, 此时该电阻消耗的功率已经大大超过其额定值,这种过载情况极易烧毁电阻,使其不能正常工作。应更换阻值相同,额定功率大于或等于 16 W 的电阻。

【课题二】

电容和磁场

一、电容和电容器

1. 电容器

两个彼此靠近又相互绝缘的导体,就构成了一个电容器。这对导体叫电容器的两个极板。在电路中的符号为—||—。

电容器的种类很多,按其电容量是否可变,可分为固定电容器和可变电容器。固定电容器的电容量是固定不变的,它的性能和用途与两极板间的介质有关,一般常用的介质有云母、陶瓷、金属氧化膜、纸介质、铝电解质等;电容量在一定范围内可调的电容器叫可变电容器。电解电容器是有正负极之分的,使用时不可将极性接反,否则会将电解电容器击穿。

电容器是储存和容纳电荷的装置,也是储存电场能量的装置。电容器每个极板上所储存的电荷的量叫电容器的电量。将电容器两极板分别接到电源的正负极上,使电容器两极板分别带上等量异号电荷,这个过程叫电容器的充电过程。用一根导线将电容器两极板相连,两极板上正负电荷中和,电容器失去电量,这个过程称为电容器的放电过程。

2. 电容

电容器所带电量与两极板间电压之比,称为电容器的电容量,简称电容,用符号 C 表示。

如图 1-6 所示,当电容器极板上所带的电量增加或减少时,两极板间的电压 U 也随之增加或减少,但 Q 与 U 的比值是一个恒量,不同的电容器, Q/U 的值不同。

$$C = \frac{Q}{U}$$

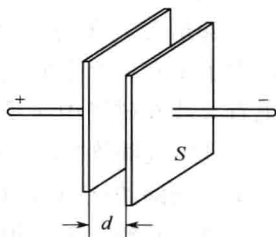


图 1-6 平行板电容器图

电容反映了电容器储存电荷能力的大小,它只与电容本身的性质有关,与电容器所带的电量及电容器两极板间的电压无关。

国际单位制中电容的单位为法拉,简称法,用 F 表示,常用的单位为 μF (微法)、 pF (皮法),它们的换算关系为: $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$ 。

二、电流的磁场

1. 磁场

磁场是磁体周围存在的一种特殊物质,磁体通过磁场发生相互作用。

磁场的大小和方向可用磁感线来形象的描述:磁感线的疏密表示磁场的强弱,磁感线的切线方向表示磁场的方向。条形磁铁磁感线如图 1-7 所示。

磁感线有以下特点。

① 磁感线的切线方向表示磁场方向，其疏密程度表示磁场的强弱。

② 磁感线是闭合曲线，在磁体外部，磁感线由 N 极出来，绕到 S 极；在磁体内部，磁感线的方向由 S 极指向 N 极。

③ 任意两条磁感线不相交。

2. 电流的磁效应

通电导线周围存在着磁场，说明电可以产生磁，由电产生磁的现象称为电流的磁效应。

直线电流所产生的磁场方向可用安培定则来判定，方法是：用右手握住导线，让拇指指向电流方向，四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。如图 1-8 所示。

环形电流的磁场方向也可用安培定则来判定，方法是：让右手弯曲的四指和环形电流方向一致，伸直的拇指所指的方向就是导线环中心轴线上的磁感线方向。如图 1-9 所示。

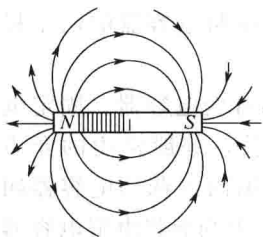


图 1-7 条形磁铁磁感线

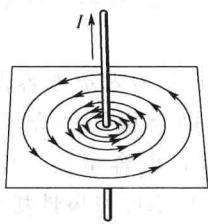


图 1-8 通电直导线的磁场方向

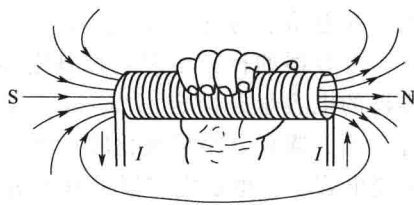


图 1-9 通电螺线管的磁场方向

3. 磁场对电流的作用力

磁场对放置于其中的直线电流有力的作用，这个力称为安培力。

安培力的大小与磁感应强度成正比，与导体中电流成正比，与导体在磁场中的有效长度成正比，还与导体与磁场方向的夹角有关，公式为 $F = BIl \sin \theta$ 。

安培力 F 的方向可用左手定则判定，方法是：伸出左手，使拇指跟其他四指垂直，并都跟手掌在一个平面内，让磁感线穿入手心，四指指向电流方向，大拇指所指的方向即为通电直导线在磁场中所受安培力的方向。如图 1-10 所示。

通电线圈放在磁场中将受到磁力矩的作用。一矩形线圈 $abcd$ 放在匀强磁场中，如图 1-11 所示，线圈的顶边 ad 和底边 bc 所受的磁场力 F_{ad} 、 F_{bc} 大小相等，方向相反，在一条直线上，彼此平衡；而作用在线圈两个侧边 ab 和 cd 上的磁场力 F_{ab} 、 F_{cd} 虽然大小相等，方向相反，但不在一条直线上，产生了力矩，称为磁力矩。这个力矩使线圈绕 OO' 转动，转动过程中，随着线圈平面与磁感线之间夹角的改变，力臂在改变，磁力矩也在改变。当线圈平面

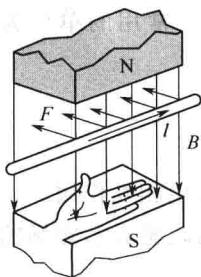


图 1-10 左手定则

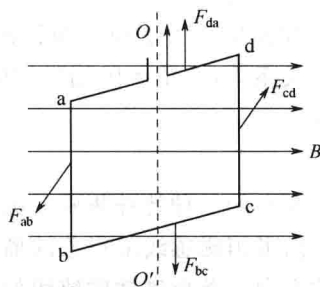


图 1-11 磁场对通电矩形线圈的作用

与磁感线平行时,力臂最大,线圈受磁力矩最大;当线圈平面与磁感线垂直时,力臂为零,线圈受磁力矩也为零。万用表就是根据上述原理工作的。

三、铁磁材料

本来不具备磁性的物质,由于受磁场的作用而具有了磁性的现象称为该物质被磁化。只有铁磁性物质才能被磁化。

铁磁性物质是由许多被称为磁畴的磁性小区域组成的,每一个磁畴相当于一个小磁铁。如图 1-12 (a) 所示,当无外磁场作用时,磁畴排列杂乱无章,磁性相互抵消,对外不显磁性;如图 1-12 (b) 所示,当有外磁场作用时,磁畴将沿着磁场方向作取向排列,形成附加磁场,使磁场显著加强。不同的铁磁性物质,磁化后的磁性不同。有些铁磁性物质在撤去磁场后,磁畴的一部分或大部分仍然保持取向一致,对外仍显磁性,即成为永久磁铁。

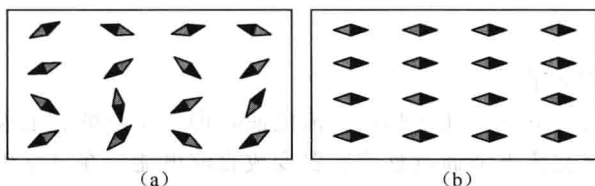


图 1-12 铁磁性物质的磁化

铁磁性物质被磁化的性能,被广泛地应用于电子和电气设备中,如变压器、继电器、电机等。

四、电磁感应

在一定条件下,由磁产生电的现象,称为电磁感应现象,产生的电流叫感应电流。

如图 1-13 所示,当将磁铁插入或拔出线圈时,穿过线圈中的磁通发生了变化,回路中就有感应电动势和感应电流产生。

1. 法拉第电磁感应定律

感应电动势的大小与穿过线圈磁通的变化率成正比。

2. 楞次定律

感应电流所产生的磁场方向,总是阻碍原磁通的变化。当原磁通增加时,感应磁通与原磁通方向相反,以阻碍原磁通的增加;当原磁通减小时,感应磁通与原磁通方向相同,以阻碍原磁通的减小,这种现象称为楞次定律。

根据楞次定律判断出感应电流磁通方向,然后根据右手螺旋定则,右手握住线圈,大拇指指向感应磁通的方向,则四指指向的就是感应电流的方向。

3. 自感现象

当线圈中的电流变化时,线圈本身就产生了感应电动势,这个电动势总是阻碍线圈中电流的变化。这种由于线圈本身电流发生变化而产生电磁感应的现象叫自感现象,简称自感。

自感现象在各种电器设备和无线电技术中有着广泛的应用。日光灯的镇流器就是利用线圈自感的一个例子。

4. 互感现象

由于一个线圈的电流变化,导致另一个线圈产生感应电动势的现象,称为互感现象。如图 1-14 所示。利用互感可以将能量或信号从一个线圈传递到另一个线圈,可以制成常见的变压器。