

中专技工学校试用教材

电 工 学

周士国 主编

中国商业出版社

中专技校适用教材

电 工 学

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国商业出版社

(京)新登字 073 号

图书在版编目(CIP)数据

电工学/周士国编著. —北京:中国商业出版社,1995. 2
ISBN 7-5044-2322-1

I. 电… I. 周… II. 电工—理论 N. TM1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13113 号

责任编辑:金 贤 张 辉
装帧设计:郭同桢 胡 卫

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销
中发蚌埠书刊发行公司激光照排
中国石油报社印刷厂印刷

1994 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 3 次印刷
787×1092 毫米 32 开 12.75 印张 插页:1 274 千字
印数:14001—22000 册 定价:12.80 元

* * * *

(如有印装质量问题可更换)

编审说明

本书由原商业部系统中专教材委员会组织全国部分中专学校、技工学校电工学教师,根据部颁全日制普通中专学校、技工学校教学计划和部颁理工科非电类专业《电工学教学大纲》编写而成。经教材委员会审定和国内贸易部教育司推荐,可作为全日制普通中专、技校理工科非电类专业电工学教材。

本书按照教学大纲的要求,精选课程内容,主要具备以下特点:

一、遵循中等专业学校、技工学校培养目标,正确处理了理论同实践的关系,适当加强了实践知识的训练,同生产实际的结合比较紧密。

二、正确处理了知识实用性和超前性的关系。选用了 Y 系列电动机和应用广泛的 CJ20 系列接触器;对符合 IEC 国际电工标准的 CJX1、CJX2 系列产品也作了介绍。

三、电气图形符号、文字符号和电气制图分别采用国家新标准 GB4728—84(85)、GB7159—87 和 GB6988—86,并列出现用新旧图形符号、文字符号对照表,以便读者查阅。

四、正确处理了知识系统性和专业需要的关系。书中凡标有“*”符号的内容,可供不同专业的需要加以选择,而标有“△”符号的内容,可供学生课外阅读。

五、本书与《工业电子学》(非电类)(商业版)紧密配套,能较好地满足该课程基础理论知识的需要。

全书深浅适宜,概念准确,体系严谨,图文并茂,不但可以用作教材,亦可供企事业单位工程技术人员自学参考。

参加本书编写的有曹永强(绪论、第四章和附录二)、欧阳轩昂(第一章)、刘锡章(第二、八章)、孙亦祥(第三章)、周世国(第五、六、七章和附录三)。由周世国主编,武汉食品工程学院朱先平教授主审。书中插图由唐旭绘制。参加本书审稿会议的还有教材委员会秘书长齐允尊(高讲)、教材委员毛新成(讲师)和牛兆元(高讲)。任桂兰、刘竞成、贺才良、黄超美和白蕊等同志也应邀参加了审稿会。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

《电工学》编审组

一九九四年七月

目 录

绪 论	(1)
第一章 直流电路	(4)
§ 1-1 电路的基本概念	(4)
§ 1-2 欧姆定律·电阻	(11)
§ 1-3 电阻的串联与并联	(19)
§ 1-4 电路的工作状态	(25)
§ 1-5 克希荷夫定律	(30)
§ 1-6 电路中电位的计算	(36)
§ 1-7 电压源和电流源	(41)
§ 1-8 叠加原理	(49)
§ 1-9 戴维南定理	(50)
§ 1-10 电容器及其充电和放电	(55)
小 结	(65)
第二章 电磁现象和磁路	(70)
§ 2-1 电流的磁场	(70)
§ 2-2 磁场的基本物理量、全电流定律	(72)
§ 2-3 电磁感应	(80)
§ 2-4 铁磁材料的磁性能和用途	(93)
§ 2-5 磁路与磁路的欧姆定律	(99)
* § 2-6 直流电磁铁	(106)
小 结	(110)
第三章 单相正弦交流电路	(113)
§ 3-1 正弦交流电的概念	(113)
§ 3-2 正弦交变电动势的产生	(117)

§ 3-3	正弦交流电的有效值	(128)
§ 3-4	正弦交流电的旋转矢量表示法	(131)
§ 3-5	交流电路引言	(139)
§ 3-6	纯电阻电路	(140)
§ 3-7	纯电感电路	(146)
§ 3-8	纯电容电路	(153)
§ 3-9	电阻和电感串联的电路	(159)
§ 3-10	电阻、电感和电容的串联电路	(165)
§ 3-11	电感性负载与电容器并联的电路	(174)
§ 3-12	谐振电路	(180)
§ 3-13	交流电磁铁	(191)
小 结		(194)
第四章	三相交流电路	(198)
§ 4-1	三相对称电动势的产生	(198)
§ 4-2	三相发电机绕组的连接法	(200)
§ 4-3	三相负载的星形连接	(205)
§ 4-4	三相负载的三角形连接	(211)
§ 4-5	三相电功率	(216)
小 结		(220)
第五章	变压器	(223)
§ 5-1	概述	(223)
§ 5-2	单相变压器的工作原理	(224)
* § 5-3	单相变压器绕组的同名端及测定	(232)
△ § 5-4	三相变压器	(237)
§ 5-5	几种特殊用途的变压器	(240)
小 结		(247)

第六章 交流电动机	(249)
§ 6-1 三相异步电动机的基本构造	(249)
§ 6-2 三相异步电动机的工作原理	(253)
§ 6-3 转差率、转子各量与转差率的关系	(263)
§ 6-4 异步电动机的电磁转矩	(268)
§ 6-5 异步电动机的机械特性	(272)
§ 6-6 异步电动机的起动	(275)
§ 6-7 异步电动机的调速、反转和制动	(282)
§ 6-8 异步电动机的铭牌与选择	(288)
§ 6-9 异步电动机的常见故障与维修	(295)
△ § 6-10 单相异步电动机	(296)
小 结	(300)
第七章 低压电器和基本的控制线路	(305)
§ 7-1 概述	(305)
§ 7-2 控制电器和保护电器	(306)
§ 7-3 鼠笼式电动机点动、直接起动、 正反转的控制线路	(323)
* § 7-4 两台鼠笼式电动机联锁的控制线路	(334)
§ 7-5 时间继电器和鼠笼式电动机 Y-△降压起动的控制线路	(337)
* § 7-6 行程开关和限位控制线路	(344)
* § 7-7 鼠笼式电动机能耗制动控制线路	(349)
* § 7-8 鼠笼式多速电动机 有级调速控制线路	(351)
* § 7-9 常用机床控制线路	(354)
小 结	(366)

第八章 发电 输电 配电 安全用电	
节约用电.....	(369)
§ 8-1 发电、输电、配电概况	(369)
§ 8-2 安全用电	(375)
§ 8-3 节约用电	(384)
小 结.....	(387)
附录一 电工常用物理量国际单位制(SI)	(389)
附录二 本书的文字符号表.....	(389)
附录三 几种低压电器的技术数据.....	(393)
参考文献.....	(396)

绪 论

一、电能的应用

电能在现代工业、农业、交通运输、国防技术以及日常生活中应用愈来愈广泛。目前,电气化程度的高低,已成为衡量一个国家生产技术水平的主要标志之一。

在工业生产中,凡是电力网络到达之处,几乎都采用电动机拖动生产机械。如各种金属加工机械、起重机械、通风机械、输送机械、纺织机械以及粮食、饲料、油脂、食品加工机械等。

在交通运输方面,电气机车、市内电车要靠电力来牵引,其他运输设备,如轮船、飞机、汽车等也都装有许多电气设备。

在日常生活中,电灯、电话、电影、电视以及无线电广播等都设有电气装置,需要采用电工技术。

在国防技术、自动控制领域,电工技术的应用也十分普遍。例如,生产过程中所涉及到的一些物理量(流量、压力、温度、料位等)都可用电工的方法进行测量并实现自动调节,从而实现生产过程的自动化。

随着生产和科学技术的发展,电子技术得到了广泛的应用。电子计算机的问世,使社会生产力得到了变革性的发展,利用它不仅能解决数学计算问题,而且还能解决各种逻辑问题。总之,一切现代科技的发展无不与电能的应用有着密切的联系。

二、电能的特点

电能之所以得到非常广泛的应用,是由于它具有以下重要特点:

(一) 易于转换

自然界储藏的水能(水力发电)、热能(火力发电)、化学能(电池)、原子能(原子能发电)可以很方便地转换为电能。同时,电能又可以很方便地转变为其它形式的能量,以应用于不同的场合。例如,利用电动机把电能转变为机械能,利用电炉把电能转变为热能,利用电灯把电能转换为光能等。

(二) 输送经济,分配方便

高电压远距离输送电能损失小、效率高,因而可以充分地应用电力资源,同时电能也很容易分配到各个用电设备上。

(三) 易于控制、测量和调整

由于电器设备的准确迅速,且不受控制距离的约束,如果大量采用电工技术,生产过程的自动化程度将会大大提高。

三、电气化对实现我国现代化的作用

建国以来,我国电气事业发展非常迅速,发电量逐年增长,发电质量逐渐提高。300MW 双水内冷发电机的制成,刘家峡、葛洲坝等大型水电站的建设,500KV 超高压输电线路的架设并跨越长江,通讯试验卫星的发射成功,银河巨型电子计算机的研制成功,微型计算机的推广普及等等无不标志着我国电气事业正以雄健的步伐向世界先进行列迈进。

电气化是实现生产过程自动化的前提,新的生产力的高度发展是与电气化密不可分的,实现自动化可以大大提高劳动生产率,提高产品质量,改善劳动条件,减轻劳动强度,电气化对科学研究和文化教育的发展也起着强有力的推动作用。

因此,电气化对于加速社会主义现代化建设,提高人民的物质和文化生活水平,实现四个现代化,具有极其重要的意义。

四、电工学的研究对象、学习目的和学习方法

电工学是研究电磁现象基本规律及其应用的科学。

电工学是一门技术基础课,它的内容包括电工基础、电机与电力拖动等。它是非电类理工专业的必开课程,其学习目的是:使学生在已有的物理知识的基础上,掌握电工技术的基本理论、基本知识和基本技能;初步受到电工计算和电工实验技能的基本训练,并能正确使用专业生产中常见的各种电气设备,为学习专业课程,从事工程技术工作和进一步钻研新技术打下基础。

电工学是一门理论性较强,而且和生产实际有密切联系的课程,为了学好本课程,应注意以下几点:

(一)要牢固掌握基础理论知识,必须循序渐进、全面系统地学习。要弄清抽象概念的物理意义,在进行数学推导和计算时,就要掌握数学推导的物理基础和方法,切忌死记硬背。

(二)要把理论与实践紧密结合起来,联系实际来思考理论问题,就必须重视实验,通过实验巩固和验证所学到的理论,并学会基本的电工操作技能。

(三)要掌握好重点。对非电类理工专业工程技术人员必须具备的电工知识,要切实掌握,再结合专业需要深入学习其它有关内容。也就是说,首先要注意通用性,然后才能具有一定的针对性。

(四)通过习题、课外作业、实验报告等,掌握必要的电工计算技能和熟悉电路分析的基础知识。

第一章 直流电路

§ 1-1 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是电流的通路,它是由电气设备或元件组成的。工作电流的大小和方向随时间作周期性变化的电路称为交流电路,工作电流的大小和方向均不随时间变化的电路称为直流电路,本章只讨论直流电路。

电路的结构,有的简单,有的复杂。一个电路不论其结构的复杂程度如何,都可以看成是由三个部分组成,即:电源、负载以及连接电源和负载的中间环节。图 1-1 为一个手电筒电路,其中干电池为电源,灯泡为负载,连接导线和开关为中间环节。

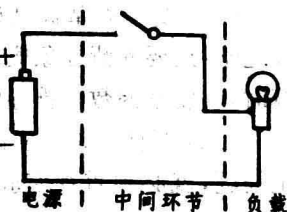


图 1-1 手电筒电路

电源是供应电能的设备,它把其它形式的能量转换为电能。例如,干电池把化学能转换为电能,发电机把机械能转换为电能。

负载是取用电能的设备,它把电能转换为其它形式的能量。例如,灯泡把电能转换为光能和热能,电动机把电能转换

为机械能。

中间环节主要起传递、分配和控制电能的作用。有的中间环节,还配置有保护电路器件及测量电路中电量的装置。中间环节接电源的端子,称为电路的输入端,中间环节接负载的端子,称为电路的输出端。

对电源来说,由负载和中间环节组成的电流通路称为外电路,电源内部的电流通路称为内电路。

二、电路的基本物理量

(一) 电动势、电压和电流

在电源内部有一种力(例如干电池的化学力,发电机的磁场力,统称为局外力,用 $F_{\text{外}}$ 表示),使正、负电荷分别向电源两端聚集,如图

1-2 所示。我们把聚集有正电荷的一端称为电源的正极,用符号“+”表示;把聚集有负电荷的一

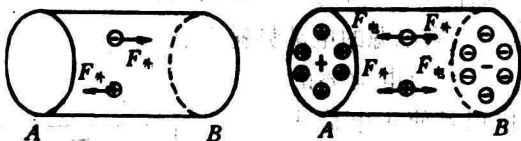


图 1-2 电荷受到局外力和电场力

端,称为电源的负极,用符号“-”表示。

随着电荷的聚集,电源内部便产生了电场。电场力(用 $F_{\text{电}}$ 表示)对电荷的作用与局外力的作用相反,它阻碍电荷向两端聚集。当 $F_{\text{电}}$ 增大到与 $F_{\text{外}}$ 相等时,电源两端的正、负电荷就不再继续增多。这时,电源两端聚集了一定数量的电荷,若把电路接通,则在电场力的作用下,正电荷由电源正极通过外电路流向电源负极,负电荷由电源负极通过外电路流向电源正极。由于电荷的移动,使电源两端的正、负电荷减少,局外力又

大于电场力,在局外力的作用下,电源内部的正电荷由负极流向正极,负电荷由正极流向负极,电场力与局外力的相反作用使电源内部电荷移动处于动态平衡状态,于是在电源内部建立了稳定电场。电路中有连续稳定的电流。

在电源内部,局外力把单位正电荷从电源负端(即 B 端)移到正端(即 A 端)克服电场力所做的功,称为电源电动势,用 E 表示,即

$$E = \frac{W_{BA}}{Q} \quad (1-1)$$

式中 Q 为 $F_{\text{外}}$ 移动的总电荷量, W_{BA} 是 $F_{\text{外}}$ 移动 Q 电荷量所做的功。

电动势的单位是伏特,简称伏(V)。如果局外力把 1 库仑〔简称库(C)〕电量从 B 端移到 A 端所做的功是 1 焦耳〔简称焦(J)〕,则电源的电动势就等于 1 伏。

因为电动势的作用是使正电荷从低电位端移到高电位端,如图 1-3 中的 E 所示。所以规定电动势的方向是由低电位端指向高电位端。由于正电荷在

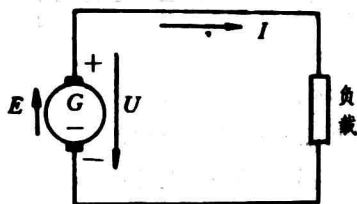


图 1-3 电动势、电压和电流的方向

电源的“+”端具有的电位能最高,在电源的“-”端具有的电位能最低,所以电源的“+”端具有高电位,而“-”端具有低电位。因此电动势的方向是由电源的“-”端指向电源的“+”端。可见,在电动势的方向上,电位是逐点升高的。

根据分析和计算电路的需要,我们引入电动势参考方向的概念,参考方向又叫假定正方向,简称正方向。正方向是我们事先规定分析问题的标准,它是可以任意选择的。规定了正方向以后,电动势是一个代数量,可正、可负。

在外电路中,正电荷受电场力的作用由电源的“+”端,通过负载,移向电源的“-”端;正电荷的电位能逐渐减小,电能被转换成其它形式的能量。

电场力把正电荷从 A 端移到 B 端所做的功 W_{AB} 与被移动电量 Q 的比值称为 A 、 B 两端间的电压,用 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

由上式可知, A 、 B 两端间的电压,在数值上就等于电场力把单位正电荷从 A 端移到 B 端所做的功。

电压的单位也是伏。较大的单位是千伏(KV), $1KV = 10^3V$,较小的单位是毫伏(mV), $1mV = 10^{-3}V$ 。如果电场力把 1 库电量从 A 端移到 B 端所做的功是 1 焦,则 A 、 B 两端间的电压就等于 1 伏。

电压的实际方向规定为高电位端指向低电位端,亦即电源的“+”端指向“-”端,如图 1-3 中的 V 所示。可见,在电压的方向上,电位是逐点降低的。

如同规定电动势的正方向一样,电压的正方向也是在分析与计算电路问题时引入的,它与电压的实际方向是两个不同的概念,电压的正方向原则上可以任意选取。

电路上某两端间的电压,就是这两端间的电位差,电位用 φ 表示,例如,负载两端间的电压 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$,若负载两端的电压愈高,即负载两端间的电位差愈大,则单位正电荷通过

负载所放出的能量也愈大。

电荷有规则的运动即形成电流。习惯上规定用正电荷移动的方向来表示电流的方向。因此,在外电路中,电流的方向是由高电位端指向低电位端;在内电路中,电流的方向是由低电位端指向高电位端。如图 1-3 所示。金属导体中的电流,是导体内部的自由电子(带负电荷)在电场力作用下有规则的运动形成的,自由电子的移动方向与电流规定方向相反,但这不会影响电路的分析和计算。和电动势、电压一样,在分析计算问题时引入电流正方向的概念,在规定了正方向之后,电流的值是一个代数量。

如果电流的大小和方向均不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流。电流的大小又称为电流强度,对直流而言,其电流强度(I)是用单位时间(t)内通过导体横截面的电量(Q)来表示的,即:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

电流的单位是安培,简称安(A)。如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库,则此导体中的电流为 1 安。

在一条无分支的电路上,不论各段导体横截面的大小如何,在同一时间内,流经各段导体的电流相等。也就是说,流过电源与负载的电流是同一个电流。

(二) 电能和电功率

电流通过电路时,电路内发生了能量的转换。

在电源内,局外力不断克服电场力对正电荷做功,从而使正电荷的电位能升高。正电荷在电源内获得了能量,把非电能转换成电能。在外电路中,正电荷在电场力作用下,不断地通