



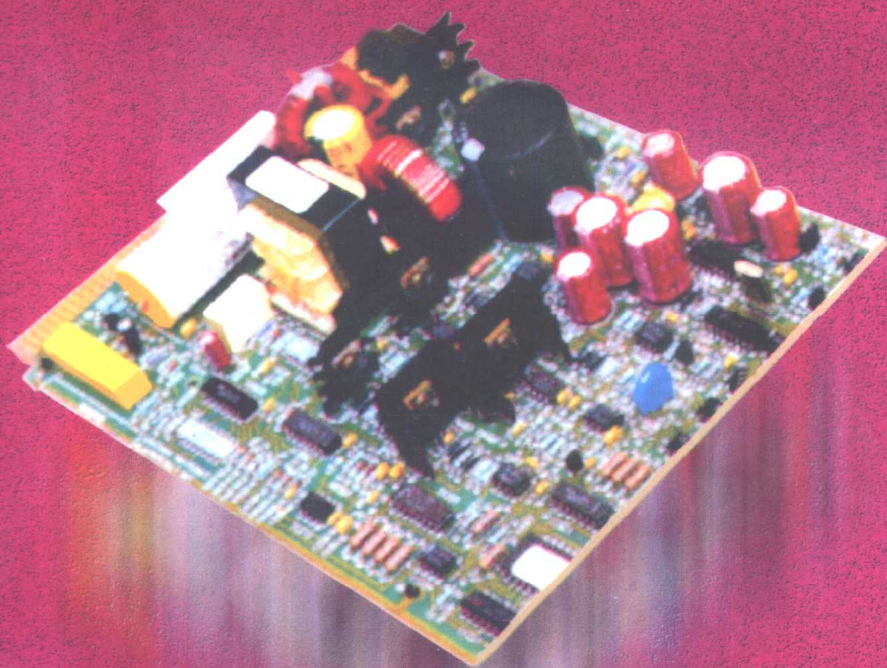
国家教委中等专业学校规划教材

非电专业通用

电工学与工业电子学

(第五版)

徐国和 编



高等教育出版社

国家教委中等专业学校规划教材

非电专业通用

电工学与工业电子学

(第 五 版)

徐国和 编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 摘 要

本书主要内容有:直流电路、正弦交流电路、磁路和变压器、交流电动机、直流电动机、电力拖动、晶体二极管和整流滤波电路、晶体三极管和交流放大电路、集成运算放大器、稳压调压电路、脉冲数字电路、应用实例和读图练习。

本书与第四版相比,作了较大的改动,尤其是工业电子学部分近于重新编写,使之更具有先进性,适应电子技术的发展。

图书在版编目(CIP)数据

电工学与工业电子学/徐国和主编. —5版. —北京:高等教育出版社,
1993.5(1996重印)

ISBN 7-04-004186-3

I. 电… II. 徐… III. ①电工学②工业电子学 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 01038 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店上海发行所

印 刷 江苏省丹阳市第三彩色印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1961年7月第1版 1993年5月第5版

印 张 19.5

印 次 1999年7月第8次印刷

字 数 440 000

定 价 15.80 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

本书常用文字符号一览表

电路			
电动势	E, e	磁导率	μ
电压	U, u	磁常数	μ_0
电阻	R, r	剩磁感应	B_r
电源内电阻, 信号源内电阻	R_0, r_s	矫顽磁力	H_c
电流	I, i	磁阻	R_m
电激流	I_s	起动电流	I_{st}
电导	G	空载电流	I_0
超导体转变温度	T_c	变比	k
电功率、有功功率	P	效率	η
电功(电能)	W	电机及其拖动	
电位	V	转速	n
开路电压	U_{oc}	磁极对数	p
短路电流	I_{sc}	转差率	s
频率	f	临界转差率	s_c
电角频率	ω	转矩、电磁转矩	T
周期	T	最大转矩	T_m
相位角	α	起动转矩	T_{st}
相位差	φ	负载阻转矩	T_L
磁通	Φ	空载转矩	T_0
电感	L	铜损耗	p_{Cu}
电容	C	铁损耗	p_{Fe}
电量	Q, q	机械(摩擦)损耗	p_{fr}
时间常数	τ	励磁电流	I_f
电抗	X	反电动势	E_c
阻抗	Z	电枢电流	I_a
有功电压	U_c	接地电阻	R_c
无功电压	U_r	人体电阻	R_h
瞬时功率	p	二极管及整流滤波电路	
无功功率	Q	电子型半导体	N
视在功率	S	空穴型半导体	P
品质因数	Q	最大整流电流	I_{FM}
谐振频率, 谐振角频率	f_0, ω_0	最高反向工作电压	U_{RM}
线电压, 线电流	U_L, I_L	反向击穿电压	U_{BR}
相电压, 相电流	U_p, I_p	整流电压、电流的平均值	U_o, I_o
磁路和变压器		二极管截止时承受的最高反向电压	U_{rm}
磁感应强度	B	动态电阻	r_d
磁场强度	H	三极管及放大器	
		电源电压: 集电极, 基极	U_{CC}, U_{BB}

基极电流(静态)	I_b
(交流瞬时值,有效值)	i_b, I_b
(总量)	i_B
集电极电流(静态)	I_c
(交流瞬时值,有效值)	i_c, I_c
(总量)	i_C
发射极电流(静态)	I_E
(交流瞬时值,有效值)	i_e, I_e
(总量)	i_E
电流放大系数	β
集-射极反向漏电流(穿透电流)	I_{CEO}
集-基极反向漏电流	I_{CBO}
发射结电压	U_{BE}
管压降	U_{CE}
饱和管压降	U_{CES}
集电极最大允许电流	I_{CM}
集-射极击穿电压	$U_{(BR)CEO}$
集电极最大耗散功率	P_{CM}
基区电阻	r_B
共射极三极管输入电阻	r_{BE}
输入电阻	r_i
输出电阻	r_o
电压放大倍数	A_u, A
无负反馈时电压放大倍数	A_0
有负反馈时电压放大倍数	A_f
栅-源极电压(栅压)	U_{GS}
漏-源极电压	U_{DS}
漏极电流	I_D
开启电压	U_{TH}
夹断电压	U_{off}
跨导	g_m
饱和漏极电流	I_{DSS}
反馈系数	F
输出电压漂移	ΔU_{od}
输入电压漂移	ΔU_{id}
差模输入信号电压	ΔU_{id}
共模输入信号电压	ΔU_{cd}
开环输入电阻	r_{id}
共模抑制比	K_{CMR}
输入失调电压	U_{IO}
最大输出电压	U_{opp}

稳压、调压电路

稳定电压	U_Z
稳定电流	I_Z
最大稳定电流	I_{ZM}
阳极电压、电流	U_A, I_A
控制极电压、电流	U_G, I_G
正向阻断峰值电压	PFV
反向阻断峰值电压	PRV
正向平均电流	I_F
正向平均电压	U_F
维持电流	I_H
控制极触发电压、电流	U_{GI}, I_{GI}
控制角(移相角)	α
导通角	θ
峰点电压	U_P
谷点电压	U_V

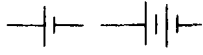
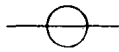
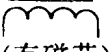
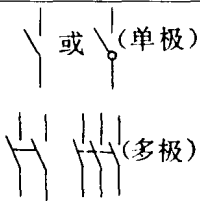
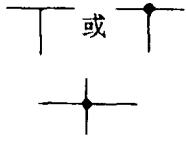
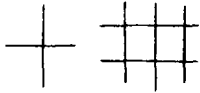
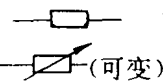
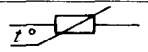
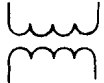
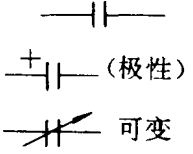
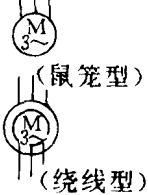
数字电路·实例与读图

脉冲宽度	t_w
脉冲幅度	A
二进制	B
十进制	D
门电路输出	Y
触发器输出	Q
时钟脉冲	CP
数模转换	D/A
模数转换	A/D
热敏电阻	R_t
(平均)传输延迟时间	t_d

[常用下标]

电源	S
负载	L
输入	i, I
输出	o, O
开路	o, OC
短路	SC
初始, 内部, 空载	0
正向	F
反向	R
额定值	N
可变电阻(电位器)	ρ
未知(待测)量	x
最大值	m、M、max
最小值	min

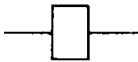
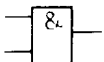
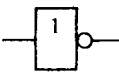
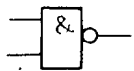
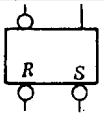
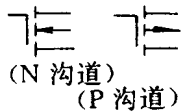
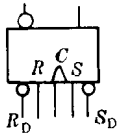
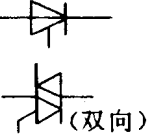
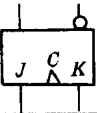
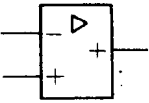
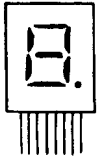
本书常用图形符号一览表^①

器件名称	图形符号	代表文字	器件名称	图形符号	代表文字
电池 电池组		E 或 U	电感器	 ^②	L
恒压源		E 或 U	(有磁芯)		
恒流源		I_s 或 I	灯		EL(照明灯) HL(信号灯)
开关		S SA(选择或 控制开关) SB (按钮开关)	扬声器		B
导线连接			熔断器		FU
导线不连接 (跨越)			电压表		PV
电阻器		R 或 r	电流表		PA
热敏电阻		R_t	检流计		G
电位器		R_p	变压器 (单相、双绕组)		Tr TP(脉冲变压器)
电容器		C	电流互感器		TA
			直流电动机		M
			交流电动机		
			三相 交流电动机		

① 本书常用图形符号采用电气图形符号新国家标准；代表文字除少数例外(如二极管沿用 D、三极管沿用 T、变压器沿用 Tr 等)也采用新国家标准。

② 电感线圈符号中半圆数目不得少于 3 个。

续

器件名称	图形符号	代表文字	器件名称	图形符号	代表文字
接触器线图		KM	与门		G
继电器线圈		KA KT(时间继电器)	或门		
热继电器驱动器件		FR	非门		
二极管		D	与非门		
稳压二极管		D _z			
三极管	 (NPN 型) (PNP 型)	T	基本 RS 触发器		F
绝缘栅场效应管(增强型)	 (N 沟道) (P 沟道)		同步 RS 触发器		
晶闸管	 (双向)	T (简称 SCR)	JK 触发器		
运算放大器		N	发光数码管		

前 言

本书是在国家教育委员会职业技术教育司指导下,根据全国中等专业学校电工学与工业电子学课程组和高等教育出版社共同制订的1986~1990年教材规划,对本人编写、1985年10月高等教育出版社出版的中专工科非电专业少学时通用《电工学》(第四版)进行修订,为第五版,书名改称《电工学与工业电子学》。

1986年11月在株洲召开的教学大纲审订会讨论通过了“工科非电专业少学时(130学时)电工学与工业电子学教学大纲”,国家教委于1987年3月审批后,同年4月高等教育出版社出版发行。1988年11月,全国中专电工学与工业电子学课程组在福州召开工作会议,根据电子技术迅速发展的新形势,讨论通过了“中专非电专业多学时《工业电子学教学大纲》(80学时)使用说明”,这份“使用说明”,经国家教委职教司中专处同意,刊载于1990年10月高等教育出版社出版的中专非电专业通用《工业电子学》(王祥黎 辜节中 张深基 何建业合编)的首页。本教材是按照上述教学大纲、并参照上述使用说明进行修订的。

本教材(第五版)与第四版相比,作了较大的改动,尤其是工业电子学部分,几乎是另起炉灶、重新编写。概括地说,本版的改动主要有以下几点:

1. 电工学部分——第一章直流电路对教材的系统作了较大的修改。将单相和三相交流电路合并为一章,即第五版的第二章正弦交流电路,内容也作了一些精简和调整。删去原第二章电磁,将其中部分内容放在变压器之前讲述,即第五版第三章磁路和变压器。第五版第四章交流电动机、第五章直流电动机、第六章电力拖动,内容上都作了不同程度的精简、补充、调整和更新。

2. 工业电子学部分——第七章晶体二极管·整流滤波电路和第八章晶体三极管·交流放大电路,是在讲了二极管之后紧接着讲述整流滤波电路,讲了三极管之后接着讲述放大电路,这样便于“管路结合”;半导体掺杂特性的内部机理和载流子微观运动分析等,都适当简化;整流电路删去双半波整流,只讲半波和桥式全波整流,且以后者为重点;放大器的两种分析方法——图解法和小信号等效电路法,虽然都讲,但图解法主要用来求静态工作点,小信号等效电路法主要用来估算电压放大倍数,只讲直流负载线,不讲交流负载线;增加了场效应管及其放大电路;负反馈放大器主要讲分压式串联电流负反馈放大器和射极输出器;功率放大器主要讲互补对称式(OTL与OCL)。因集成运算放大器应用日广,故作为重点单列一章(第九章),内容有所增强。原书第十一章正弦波振荡器删去,第五版仅在第八章最后一节正反馈中简单介绍正弦波振荡器,且作为选学内容。将原书第十二章晶体管直流稳压电源中的稳压部分和第十三章晶闸管及其应用合并为第五版的第十章稳压、调压电路,内容有所精简。第五版第十一章脉冲数字电路,与第四版相比,系统和内容上都有很大变动,主要有两点:一是几乎不讲分立元件电路而侧重于集成电路,(仅在最初讲基本逻辑门电路时用分立元件电路说明“与”、“或”、“非”逻辑的实现,而从TTL与非门之后就只讲集成数字电路和器件);二是略讲或不讲内部

电路结构,而侧重于外部逻辑功能。

第五版第十二章应用实例和读图练习,比第四版有所加强和更新。这部分的篇幅在第四版中约占4%,而在本版中则约占6%。

3. 其它方面——删去原书每章之后的“小结”。思考题与习题有增有删,总量有所减少。图形符号与代表文字采用新的国家标准。

修订后,仍保持了原书的某些特点,如:全书总体结构上系统性较强,前后呼应,自成一体,而各个部分(章或单元)又有相对的独立性,便于不同专业选用;概念清楚,说理明白,重点比较突出,难点适当分散,深入浅出,通顺易懂,便于自学;等等。第五版在“理论上相对地不完整,强化实践性教学”方面作了一些新的探索和尝试,例如,在理论、论证、内部机理、定量分析和计算等方面有所降低和删减,而常用元器件的外部功能和正确合理地使用等方面的实用知识则有所加强;注意在理论方面贯彻“少而精”的原则,而对一些应用型内容,则适当拓宽其知识面,即有控制地掌握“广而浅”的原则,所谓“广”,也不是贪多求全,而是从常见常用或发展趋势上来考虑的。这些尝试还有待于广大读者在教与学的实践中加以鉴定。

根据前述教材规划,为与本书配套同时编写出版了《教学指导书》,内容有:各章教材教法要点提示;参考材料;几种参考性学期授课计划等。本教材的编写意图和使用方法,在该指导书中有较详细的介绍。

本教材仍由原编者、中国石油化工总公司兰州化工学校徐国和编写;由株洲铁路电机学校赵承荻主审。修订初稿曾经全国中专电工学与工业电子学课程组第一届成员罗挺前(河北化工学校)、王喆(福建机电学校)、张志明(抚顺煤炭工业学校)以及武汉水运工业学校张友汉等老师审阅。修订过程的几次书稿承蒙北京轻工业学院孙骆生和汕头大学黄义源两位老师全部或部分审阅。使用过本教材第四版的许多老师和同学、参加1988年8月在烟台举办的本教材(第四版)研讨会和培训班的老师们都曾对本教材提出过不少宝贵意见,特别是河北纺织工业学校詹子龄老师多次来信对本书的修订提出了许多中肯的意见和建议。对主审和参加审稿的老师,对关心本书的广大师生,对给予本书编写工作大力支持的化工部教育司、高等教育出版社电工编辑室、中国石化总公司兰州化工学校等有关方面,编者谨致衷心的感谢。

编者思想与业务水平有限,书中难免有不妥和不足之处,殷切期望广大师生和读者不吝批评指正。来信请寄北京高等教育出版社电工编辑室(邮编100009)转。

编 者

1991年12月

目 录

本书常用文字符号一览表	1	3-4 简单磁路的概念	79
本书常用图形符号一览表 ^①	3	3-5 电磁铁	80
前言	1	3-6 涡流	81
绪论	1	3-7 变压器的基本构造	81
第一章 直流电路	3	3-8 变压器的空载运行	83
1-1 电源和负载	3	3-9 变压器的负载运行	85
1-2 电气设备的额定值	10	3-10 变压器的功率和效率	86
1-3 电路的工作状态	12	3-11 三相变压器	87
1-4 电路中的电位计算	14	3-12 特殊变压器	89
1-5 电路的基本定律	15	思考题	92
1-6 有源电路的等效变换	19	习题	93
1-7 直流电桥	23	第四章 交流电动机	94
思考题	25	4-1 概述	94
习题	26	4-2 三相异步电动机的基本构造	94
第二章 正弦交流电路	29	4-3 旋转磁场的产生	96
2-1 概述	29	4-4 异步电动机的运转原理	99
2-2 正弦量的基本概念	30	4-5 转差率	100
2-3 正弦量的矢量图示法	31	4-6 异步电动机的工作过程	101
2-4 正弦量的相加和相减	33	4-7 异步电动机的转矩特性	102
2-5 交流电的有效值	35	4-8 异步电动机的起动	104
2-6 交流电路中的三种基本元件·电容器 的充放电	36	4-9 异步电动机的调速、制动和反转	108
2-7 纯电阻电路	42	4-10 异步电动机的功率损耗和效率	110
2-8 纯电感电路	44	4-11 三相异步电动机的铭牌	111
2-9 纯电容电路	47	4-12 单相异步电动机	112
2-10 R 、 L 、 C 串联电路	49	4-13 同步电动机	115
2-11 线圈与电容器并联的电路	54	思考题	118
2-12 谐振	57	习题	118
2-13 三相交流电源	60	第五章 直流电动机	120
2-14 三相负载的星形连接及中线的作用	63	5-1 概述	120
2-15 负载的三角形连接	66	5-2 直流电动机的基本原理	120
2-16 三相电功率	67	5-3 直流电动机的构造和励磁方式	121
思考题	69	5-4 直流电动机的工作过程和机械特性	124
习题	70	5-5 直流电动机的起动、调速和反转	126
第三章 磁路和变压器	73	思考题	127
3-1 概述	73	习题	127
3-2 磁导率	74	第六章 电力拖动	128
3-3 铁磁物质的磁化和反复磁化	76	6-1 概述	128
		6-2 选择电动机的一般原则	128
		6-3 常用的低压控制与保护电器	130

6-4 鼠笼式异步电动机的接触控制	136	10-6 可控整流电路	228
6-5 鼠笼式异步电动机的自动控制	140	10-7 晶闸管的触发电路	232
6-6 安全用电	144	10-8 晶闸管交流调压	234
6-7 节约用电	147	思考题	235
思考题	148	习题	235
习题	148	第十一章 脉冲数字电路	237
第七章 晶体二极管·整流滤波电路 ..	150	11-1 概述	237
7-1 概述	150	11-2 基本逻辑门电路	238
7-2 PN 结	150	11-3 组合逻辑门电路	245
7-3 晶体二极管	152	11-4 集成触发器	249
7-4 单相整流电路	154	11-5 计数器	254
7-5 滤波电路	157	11-6 译码器与数码显示	257
思考题	160	* 11-7 模拟量和数字量的相互转换	261
习题	161	思考题	266
第八章 晶体三极管·交流放大电路 ..	162	习题	267
8-1 概述	162	第十二章 应用实例和读图练习	269
8-2 晶体三极管的结构及放大作用	162	12-1 读图方法	269
8-3 晶体三极管的特性曲线	166	12-2 绕线式电动机起动的自动控制线路 ..	270
8-4 晶体三极管的主要参数	168	12-3 无触点控制元件及其应用	271
8-5 基本放大电路	170	12-4 气相色谱仪中的温度控制线路	276
8-6 放大器的基本分析方法	173	12-5 通用电子计数器	277
8-7 静态工作点的设置与稳定	177	12-6 石英电子钟逻辑电路	278
8-8 多级电压放大器	181	12-7 数字转速计	279
8-9 放大器中的负反馈	184	12-8 可编程序控制器简介	283
8-10 场效应管及其放大电路	191	思考题	285
8-11 功率放大器	193	习题	285
* 8-12 正反馈放大器	196	附录一 淘汰的电动机及其代用产品	
思考题	198	主要项目	288
习题	199	附录二 半导体器件型号命名和主要	
第九章 集成运算放大器	203	参数	289
9-1 概述	203	(一) 国产半导体二极管、三极管的型号组成	
9-2 直接耦合放大器	203	及其意义	289
9-3 差动放大电路	206	(二) 半导体二极管主要参数	290
9-4 运算放大器的主要参数和工作特点 ..	210	(三) 半导体三极管主要参数	291
9-5 运算放大器的基本运算电路	212	(四) 场效应管主要参数	293
9-6 集成运算放大器应用举例	215	(五) 晶闸管主要参数	294
思考题	218	附录三 集成电路型号命名和主要参数 ..	295
习题	218	(一) 国产半导体集成电路的型号组成及其意义 ..	295
第十章 稳压、调压电路	220	(二) 国产 TTL 集成电路型号命名规则	296
10-1 概述	220	(三) 国产 CMOS 集成电路型号简介	296
10-2 硅稳压管及简单稳压电路	220	(四) 数字集成电路常用系列品种代号摘录	297
10-3 串联型晶体管稳压电源	222	(五) 通用集成运算放大器主要参数	297
10-4 集成稳压电源	224	(六) 三端集成稳压器主要参数	297
10-5 晶闸管	225	习题答案	298
		主要参考书目	302

绪 论

一、电的应用和特点

现代工业、农业、交通、通信、国防以及日常生活中,电的应用极为广泛。电气化的程度已成为衡量一个国家生产技术和综合国力的主要标志之一。

电的应用有两大方面:一是作为一种能量——**电能**来应用;另一是作为一种信息——**电信号**——来应用。(通常把电压、电流等电量的变化统称为电信号。)

电的应用极其广泛的原因,是由于它具有下列一些重要特点:

1. 转换容易。作为能量,电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子核能等转换而来,成为廉价的动力来源;而且电能又很容易转换成人们需要的其它各种形式的能量,如机械能、热能、光能、化学能等。作为信息,电信号与各种非电信号(如温度、压力、流量等的变化)之间的相互转换也很容易实现。

2. 传输方便。作为能量,高电压远距离输送电能时,损失小、效率高;并且容易分配到各个用电设备上去。作为电信号,不但可在线路中迅速、稳定、准确地传输,而且可用电磁波的形式在空间传播。

3. 便于控制和测量。电能或电信号的有关量值便于准确而迅速地进行控制和测量,利用电信号还可对电量以及各种非电量进行遥控和遥测,这些都为自动化生产提供了必要的有利条件。

作为电能的应用,电动机、电热器、电光源、电焊、电解与电镀等等,在生产和生活中早已十分普及。作为电信号的应用,生产检测与控制、科技实验与探测、通信与广播、电影与电视等等,也日益广泛。

随着生产和科学技术的高度发展,要求人们能迅速而准确地计算和处理日益浩繁的各种数据和信息。电子计算机就是应用电信号来模拟、存储、传送、处理和控制各种数据和信息的。由于半导体大规模集成电路的问世,极大地促进了微型电子计算机的发展,为在生产与生活中普及运用电子计算机、实现高度自动化和发展人工智能,开拓了广阔的道路。

二、电气化对我国社会主义建设的作用

我国建国以来,党和政府非常重视电气化事业的发展,电气工业体系已日臻完备,产品的种类和数量日益增多,质量逐步提高。全国总装机容量 1990 年达 1.35 亿千瓦,为 1949 年的 73 倍;全国发电量 1990 年达 6,180 亿度,为 1949 年的 144 倍,即现在两天半的发电量就等于 1949 年全年的发电量。根据十年(1991~2000 年)规划,到 2000 年,我国年发电量将达 11,000 亿度。^①

^① 1997 年发电量已达到 11,000 亿度,提前三年实现了十年规划的目标;比 1978 年增长 3.4 倍,由世界第七位升至第二位。

300 MW 双水内冷发电机的制成;刘家峡、葛洲坝、二滩、三峡枢纽工程等大型水电站和秦山、大亚湾核电站的建设;500 kV 超高压输电线路的架设并跨越长江;银河巨型电子计算机研制成功;微型计算机的软件开发和普及应用;通信卫星多次成功发射并载誉国际市场;超导研究的某些方面已居世界领先地位等等;标志着我国电气化事业正迈向世界先进行列。

电气化是生产过程自动化的前提,实现自动化可以大大提高劳动生产率,改进产品质量,改善劳动条件和减轻劳动强度。电气化对科学技术和文化教育的发展也起着有力的推动作用。因此,电气化对于加速我国社会主义建设,实现四个现代化,具有十分重大的意义。

三、学习电工学与工业电子学的目的和方法

电工学与工业电子学是一门技术基础课程,其内容包括电工基础、电机及其拖动、模拟电子技术、数字电子技术等。

工科中专非电专业设置这门课程的目的是:使学生在物理知识的基础上,掌握电工与电子技术最低限度的基础理论知识,初步受到必要的简单计算和基本技能的训练,能正确使用本专业生产中常见的电气设备,为从事工程技术工作以及进一步提高打下必要的基础。

电工学与工业电子学是一门理论性和实用性都比较强、与生产实际有密切联系的课程,因此在学习中应注意以下几点:

1. 要牢固掌握基础理论知识,必须循序渐进、温故知新,注意各部分知识的内在联系。对抽象的概念要弄清其物理意义;作数学推演和运算时,注意掌握推演和运算过程的物理含义及分析方法,不要死记硬背。

2. 要理论与实际紧密结合。既要联系实际地思考理论问题,又要学会利用理论来分析实际问题。必须重视实验,通过实验巩固和加深对书本知识的理解,并学会一些基本的电工电子技术操作技能和仪表使用等。

3. 要掌握好重点。对教学大纲中规定的“三基”内容,即一个非电专业的工程技术人员必须具备的电气知识,应切实掌握;在这个共同的基础上,再结合专业需要学习有关的某些内容。也就是说,首先要注意通用性,然后才能有一定的针对性。

4. 进课堂或实验室之前应作好必要的预习;课堂专心听讲、积极思维,可作简要的课堂笔记;实验时要认真仔细,动手动脑,遵守规程,注意安全。课后及时复习,在复习的基础上自学某些内容,并独立完成课外作业、实验报告等;整个学习过程中,随时注意培养和提高自己的分析问题、解决问题以及自学的能力。

第一章 直流电路

1-1 电源和负载

电气设备的运行需要电流,因此要构成电路,电路就是电流通过的路径。

电流可分为直流与交流两种。方向保持不变的电流称为**直流电流**,通称**直流**。方向和大小都保持不变的电流称为**恒定电流**,通常也简称为**直流**。方向和大小随时间作周期性变化而且在一周期内的平均值等于零的电流称为**交变电流**,通称**交流**。

本章讨论的直流电路,是指电路中通过恒定电流。

1. 电路的组成和电流的方向

电路由电源、负载、输电导线与控制设备等组成。图1-1是最简单的直流电路图,它由干电池、小灯泡、输电导线和开关所构成。我们常把负载、输电导线和开关等统称为**外电路**;而把电源内部称为**内电路**。

要分清电源和负载的本质区别:在电路中把非电能转换成电能的设备称为电源;而把电能转换成非电能的设备称为负载。例如:将蓄电池与灯泡接成电路时,蓄电池是电源;而蓄电池充电时接到充电设备上,它将电能转变为化学能贮存起来,这时蓄电池就成为负载了。

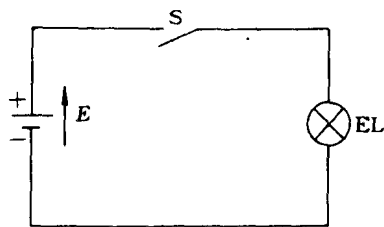


图 1-1 简单的直流电路

人们规定:正电荷移动的方向为电流的**实际方向**。即,在外电路中电流从电源的正极流向负极;而在内电路中,电流从电源的负极流向正极。

简单电路中电流实际方向容易按电源极性来判定。在比较复杂的电路中,电流方向往往难于直观判断。为了分析计算电路的需要,我们引入参考正方向的概念。

电流在导体中流动的实际方向有两种可能,任意选取其中一个方向作为参考标准,称之为**参考正方向**,简称**正方向**。设电路中某一未知电流的正方向已经选定,如果求得此电流为正值,说明电流的实际方向与选定的正方向一致;若求得此电流为负值,说明电流的实际方向与选定的正方向相反。可见,电流的正方向是预先任意标定的,正方向一经标定,电流值的正负也随之确定;若不标定正方向,讨论电流值的正负便没有意义了。

如图 1-2 所示,实线箭头表示电流的参考正方向,虚线箭头表示电流的实际方向。可知,图(a)电流为正值;图(b)电流为负值。

2. 电源

(1) 电路的能源和信号源 电路的作用一般可分为两类:一类是能量的转换、传输、分配和利用;另一种是电信号的产生、传送、处理和接收。前者的电源是指电路中的能源,例如图

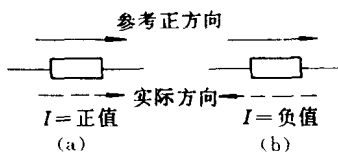


图 1-2 参考正方向

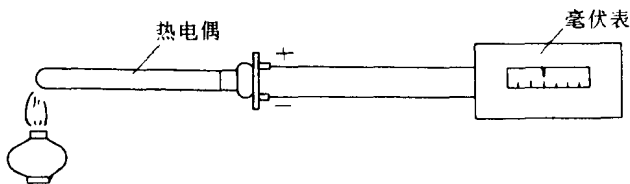


图 1-3 热电偶测温电路

1-1 中的干电池就是驱动小灯泡工作的能源；而后者的电源主要指的是信号源，例如图 1-3 用热电偶测量温度的电路中，热电偶把热能转换为电能，但其能量很小，不能作为能源，它产生的温差电动势可作为反映热端温度的电信号，因此它是一种信号源，与它连接的毫伏电压表是接收信号的负载，将温差电动势的毫伏数刻成温度，就可指示所测的温度。

但须指出，以传递、处理和接收电信号为主要任务的电路中，一般除有信号源外，还需要驱动电路工作的能源。例如，收音机、电视机等都需要供给工作电源。

本书电工学部分讨论的电路，属于前一类，因此所说的电源主要是指电路中的能源。而在工业电子学部分讨论的电路则属于后一类，电路的工作对象和研究重点是电信号，同时也讨论电路工作需用的能源。

(2) 电源的外特性 电源内部存在一种非静电力，称为**电源力**，它能使电源内部导体中的正负电荷分离，形成正、负两极，两极间具有一定的电位差。电源的**电动势**，在数值上等于电源力把单位正电荷从电源负极经过内电路移到电源正极所作的功；也就等于电源两极间开路（未接外电路）时的电位差。[物理学中常将**电位**称作**电势**；电位差称作**电势差**。]

电动势的实际方向，规定由电源负极指向正极，即由低电位指向高电位（电位升）。接通外电路后，电流由电源负极通过电源内部流向正极，可见**电源中的电流与电动势同向**。电动势的参考正方向也可任意选取，当实际方向与正方向一致时，电动势为正值，反之，为负值。

具有电动势 E 、内电阻 R_0 的电源与外电路接通后，全电路中就有电流 I 通过；设外电路的电阻为 R ，则有全电路的欧姆定律，这在物理学中已经学过：

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-1)$$

上式也可写成如下形式：

$$U = E - R_0 I \quad (1-2)$$

式中 $U = RI$ ，是外电路的端电压，简称**路端电压**。若忽略连接导线的电阻， R 只是负载的电阻，则 U 就是负载的端电压。

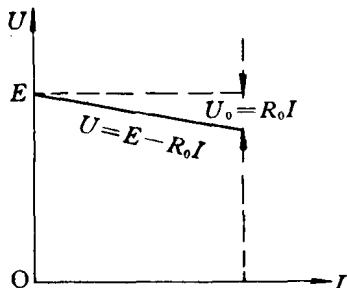


图 1-4 电源的外特性

反映路端电压 U 与电路中电流 I 之间关系的曲线： $U = f(I)$ ，称为电源的外特性曲线，简称**电源外特性**。一般 E 和 R_0 都是常量，按式(1-2)的函数关系可以绘出电源的外特性曲线，它是一条直线，如图 1-4 所示。该直线在纵坐标上的截距就等于电源的电动势 E 。内电阻愈大的电源，其外特性愈陡；反之，内阻愈小，外特性愈接近于水平直线。

(3) 电压源和电流源

具有不变的电动势和较低内阻的电源称为电压源。大多数实际电源如干电池、铅蓄电池及一般直流发电机都可视为电压源。

若电源的内阻 $R_0 \approx 0$, 可忽略不计, 即认为电源供给的电压总是等于它的电动势, 其外特性是 $U = E$ 这样一条水平直线, 如图 1-5 所示。这只是一理想的情况, 实际电源不可能如此。我们把具有不变电动势且内阻为零的电源称为**理想电压源**, 或简称**恒压源**。恒压源的代表符号如图 1-6 所示。

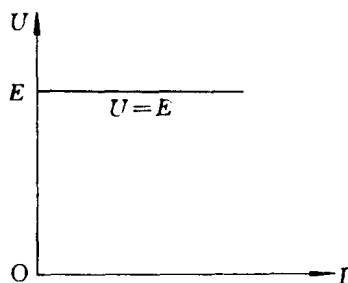


图 1-5 理想电压源的外特性

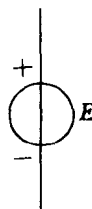


图 1-6 理想电压源的代表符号

电动势为 E 、内阻为 R_0 的电压源可以等效为恒压源 E 和内阻 R_0 串联, 如图 1-7 所示。

一般用电设备所需的电源, 多数是需要它输出较为稳定的电压, 这要求电源的内阻越小越好, 也就是要求实际电源的特性与理想电压源尽量接近。

但是, 并非在任何情况下都是要求电源的内阻越小越好。某些特殊场合, 却要求电源具有很大的内阻, 这是因为高内阻的电源能够输出一个较稳定的电流。

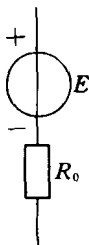


图 1-7 电压源等效为理想电压源 E 与内阻 R_0 串联

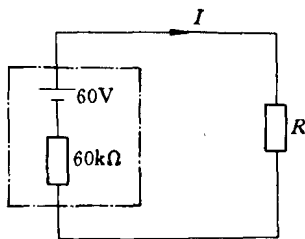


图 1-8 高内阻电源示例

例如, 将 60 V 蓄电池串联一个 $60\text{ k}\Omega$ 的高电阻, 如图 1-8 的虚线框中所示, 即构成一个最简单的高内阻电源。它对于低阻负载, 基本上具有稳定的电流输出。当负载电阻 R 在零至几百欧的范围内变化时, 电源输出的电流

$$I = \frac{60}{60000 + R} \approx 0.001\text{ A} \approx 1\text{ mA}$$

几乎保持不变。可见, 当低电阻的负载在一定范围内变化时, 具有高内阻的电源输出的电流基本上恒定, 电源内阻越高, 输出电流越接近于恒定。

我们把内阻为无限大、能输出恒定电流 I_s 的电源称为**理想电流源**或**恒流源**。恒流源输出的恒定电流 I_s 通常称为**电激流**。恒流源的代表符号如图 1-9 所示。

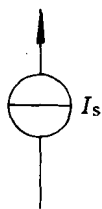


图 1-9 理想电流源的代表符号

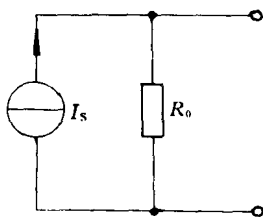


图 1-10 电流源定义为理想电流源 I_s 与内阻 R_0 并联

恒流源与恒压源一样,都属理想状态,实际上都是不存在的。实际电流源的性能只是在一定范围内接近于理想电流源。例如,晶体三极管工作于放大状态时就接近于恒流源。

把电激流为 I_s 的恒流源与电阻 R_0 并联的电路定义为**电流源**,如图 1-10 所示。

这样定义电流源是有根据的,因为可以证明:恒流源与电阻并联的电路同恒压源与电阻串联的电路之间,在满足一定关系的条件下是可以互相等效的。

3. 负载

(1) 负载的端电压 电流流过负载时,在负载两端产生电位降,也称为**电压**或**电压降**。电流的入端电位高,出端电位低,这就反映了在负载中有电流能量转换为其它能量。

电压的实际方向规定为电位降的方向,即由电流的入端指向出端。可见,**负载上的电压与电流同向**。电压的参考正方向也可任意选取,当实际方向与正方向一致时,电压为正值,反之,为负值。

(2) 电阻 直流电路中的负载性质主要是电阻性的,构成电阻的材料主要是导体,而且大多是金属导体。

我们把导体的端电压 U 和流过该导体电流 I 的比值称为该导体的电阻:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-3)$$

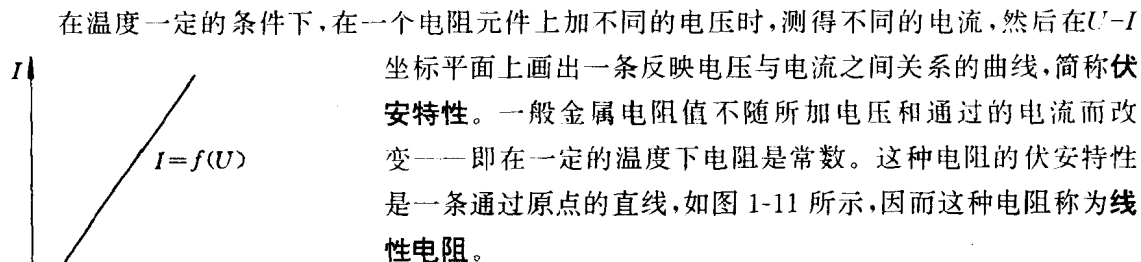


图 1-11 线性电阻的伏安特性

如果在式(1-3)中的电阻 R 值是常数,该式所表明规律就是**欧姆定律**,可见欧姆定律只适用于线性电阻。

推广来说,凡遵守欧姆定律的电气元件,称为**线性元件**;由电源和线性元件组成的电路称为**线性电路**。本书电工学部分只讨论线性电路。

另一类电阻,其阻值随电压或电流的变化而改变,即其电压与相应电流的比值不是常数,称之为**非线性电阻**。例如,晶体二极管的正向电阻就是非线性的,它的伏安特性如图 1-12 所