

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century



电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

王晓敏 刘建新 主 编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

中国轻工业出版社 中国轻工业出版社



电工电子技术

中国轻工业出版社 中国轻工业出版社

中国轻工业出版社 中国轻工业出版社



中国轻工业出版社 中国轻工业出版社

TM/127

2008

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century



电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

主 编 王晓敏 刘建新
编 写 蔡德玲 袁 勇
何朝阳 张若愚
赵永东
主 审 孙肖子 王松林



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分为十章，主要内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、交流电动机、电工测量与安全用电、半导体器件基础、晶体管电路基础、数字电路基础、组合逻辑电路和时序逻辑电路。每章均配有相关内容的实验实训和习题。本书注重教材内容的实用性、先进性和连续性，重点阐明器件、电路、系统的工作原理，强调分析、应用与实验实训技能，在讲解理论的同时结合应用实例，并注意反映当前电工电子技术领域的新知识、新工艺、新方法。

本书可作为高职高专、成人高校、本科院校的二级职业技术学院和民办高校机电类等工科专业的教学用书，也可作为职业培训教材或相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 王晓敏, 刘建新主编. — 北京: 中国电力出版社, 2008

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6311 - 0

I. 电… II. ①王…②刘… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 183566 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http: //jc. cepp. com. cn)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 510 千字

定价 29.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

现代科学技术的飞速发展,推动不同学科的相互交叉与渗透,并引发了几乎所有工程领域的技术革命与改造。美国《技术评论》认为,有10种新兴技术在不远的将来会产生巨大影响。这些技术是全新的,很快就可以改变计算、医疗、制造、运输和能源基础设施,它们分别为:无线传感器网络、可注入组织工程、纳米太阳能电池、机电一体化技术、网格计算、分子成像、纳米印刷刻蚀、软件保证、糖原组学和量子密码术。

机电一体化是以机械技术和电子技术为主体,多门技术学科相互渗透、相互结合的产品,是正在发展和逐渐完善的一门新兴的边缘学科。目前,机电一体化技术思想已被普遍接受和采用。机电一体化技术体系正在不断地发展和完善。国民经济建设和发展迫切需要大量掌握机电一体化技术的人才来改造传统产业,研究和开发新一代机电一体化产品以改善出口产品结构,增强中国产品在国际市场上的竞争力。

电工电子技术是一门实践性很强、覆盖面很广的机电类等工科专业基础课程,机电一体化、机械制造、数控技术、模具技术等专业对电工与电子技术的需求越来越迫切,本书主要是为这些机电类等工科专业三年制和五年制高职生编写的电工与电子技术基础课教材。

电工电子技术教材的编写遵循以下原则:

(1) 注重教材内容的实用性。本教材在满足高职教育对理论深度要求的前提下,使讲述内容尽量深入浅出、精练易懂,避免复杂的理论推导,将定量分析转化为定性说明,以适应机电类专业学生使用;重点阐明器件、电路、系统的工作原理,强调分析、应用与实验实训技能。

(2) 注重教材内容的先进性。内容上反映电工电子技术必需的基础知识和在机电领域的基础应用,接近工程实际,在讲解理论的同时结合应用实例,并注意反映当前电工电子技术领域的新知识、新工艺、新方法,使课程学习与生产实际有机地结合起来。

(3) 注重教材内容的连续性。本课程是一门综合性的基础课,它包括了电工基础、电机、电气控制、电子技术及安全用电等内容,在章节的编排和叙述上尽量做到前后衔接,方便教学。

本书的第1、2、3章由三峡电力职业学院王晓敏副教授编写,第4章由中国葛洲坝集团机械船舶有限公司赵永东工程师编写,第5章由三峡电力职业学院张若愚副教授编写,第6、7章由湖北教育学院物理与电子信息系刘建新副教授编写,第8章由三峡电力职业学院何朝阳教师编写,第9章由三峡电力职业学院蔡德玲高级讲师编写,第10章由三峡电力职业学院袁勇讲师编写。全书由三峡电力职业学院王晓敏副教授负责统稿,由西安电子科技大学孙肖子、王松林教授主审。

在本教材的编写过程中,我们得到了三峡电力职业学院领导的大力支持,同时获得了学

院机械系、教务处领导的具体帮助，在此表示衷心的感谢；三峡电力职业学院 2006 5741 班的李佳同学为本教材作了部分文字录入及图文编辑工作，在此一并感谢；本书在编写过程中参考了一些电工、电器、电子等科技书目，引用了部分文献材料，在此一并向有关文献的作者表示诚挚的谢意。

由于作者的水平所限，时间仓促，书中不妥及疏漏之处在所难免，恳切希望专家学者和读者不吝指教。

编者

2007 年 8 月

目 录

前言

上 篇 电 工 技 术

第1章 直流电路	1
1.1 电路及其基本物理量	1
1.2 电路基本元件及其伏安特性	6
1.3 电源及其等效变换	11
1.4 直流电路的基本分析方法	14
1.5 直流电路实验实训	27
本章小结	31
习题	32
第2章 正弦交流电路	37
2.1 正弦交流电的基本概念	37
2.2 正弦交流电路分析	45
2.3 三相交流电路	59
2.4 电路的过渡过程	66
2.5 正弦交流电路实验实训	76
本章小结	78
习题	80
第3章 磁路与变压器	83
3.1 磁路的基本概念	83
3.2 磁路定律与电磁感应	87
3.3 变压器	93
3.4 变压器工作原理与特性	95
3.5 特殊用途变压器	101
3.6 磁路与变压器实验实训	104
本章小结	107
习题	108
第4章 交直流电动机	110
4.1 直流电动机结构与工作原理	110
4.2 异步电动机结构与工作原理	116
4.3 三相异步电动机转矩与特性	121

4.4 特殊电机	127
4.5 电动机实验实训	135
本章小结	137
习题	139
第5章 电工测量与安全用电	141
5.1 电工测量仪表的一般知识	141
5.2 电流与电压的测量	145
5.3 功率与电能的测量	151
5.4 万用表与兆欧表的使用	155
5.5 电力系统概述	160
5.6 安全用电常识	163
5.7 电工测量实验实训	170
本章小结	175
习题	176

下 篇 电 子 技 术

第6章 半导体器件基础	177
6.1 半导体基础知识	177
6.2 晶体二极管	180
6.3 晶体三极管	185
6.4 场效应晶体管	191
6.5 晶闸管	196
6.6 半导体基础实验实训	200
本章小结	202
习题	203
第7章 晶体管电路基础	205
7.1 基本放大电路	205
7.2 集成运算放大器	217
7.3 功率放大电路	225
7.4 负反馈放大电路	231
7.5 直流稳压电源	234
7.6 晶体管电路实验实训	250
本章小结	251
习题	252
第8章 数字电路基础	255
8.1 数字电路概述	255
8.2 数制和码制	256
8.3 逻辑代数基本知识	262

8.4 逻辑代数定律和应用	264
本章小结	270
习题	270
第9章 组合逻辑电路	273
9.1 逻辑门电路	273
9.2 集成逻辑门电路	276
9.3 组合逻辑电路的分析和设计	280
9.4 加法器	283
9.5 编码器	284
9.6 译码驱动显示电路	286
9.7 组合逻辑电路实验实训	290
本章小结	292
习题	293
第10章 时序逻辑电路	295
10.1 触发器	295
10.2 时序逻辑电路简介	300
10.3 计数器和寄存器	304
10.4 半导体存储器	309
10.5 时序逻辑电路实验实训	316
本章小结	321
习题	322
参考文献	325

上篇 电 工 技 术

第 1 章 直 流 电 路

1.1 电路及其基本物理量

1.1.1 电路

电路是电流的流通路径,它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状,又称网络。多数情况下,电路和网络这两个术语是通用的。

电路的一种作用是实现电能的传输和转换,另一种作用是实现信号的处理。由于不同的电路工作目的不尽相同,人们常将电路分为强电和弱电两大系统。

强电系统电路的主要目的是作能量的传输和转换,如发配电、输变电、电力拖动、电热及电气照明电路。这些电路流过的电流大、产生的电压高、传输与消耗的功率大,对这些电路的使用控制不当易引起较大的设备损坏事故或严重的人身伤害事故。

弱电系统电路的主要目的是作电路信号的传递和处理,如无线电通信、大型生产设备的控制系统、电子计算机系统、电视机、收录机电路等。它们大多用来作音像电信号、文字的传送与接收、生产过程的自动调节与数据处理。这些电路传递的功率与强电系统相比很小,但电路组成的复杂程度却是强电系统无法比拟的。

图 1-1 所示为简单电路的示意图,它由以下三部分组成。

1. 电源

电路中提供电能或信号的器件称为电源。如蓄电池将化学能转换成电能,发电机把机械能转换成电能。电源的符号如图 1-1 (b) 中所示, E 为电源的电动势,它表示电源进行能量转换的能力。必要时电源可用理想电压源 U_S 或理想电流源 I_S 来代表。

2. 负载

电路中吸收电能或输出信号的器件称为负载。若负载所消耗的电能被转换为热能,这种负载就称为电阻性负载,如常见的灯泡、电炉、电烙铁等。如果将电能转换成磁场能,则这种负载就称为电感性负载,如工业上常用的变压器、电动机等。如果将电能转换成电场能,则这种负载就称为电容性负载,如电子电路中常用的电容器。

3. 传输控制器件

在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件,用于传输、控制和分配电流。

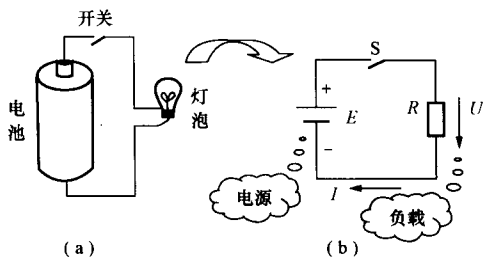


图 1-1 简单电路示意图

(a) 实物图; (b) 电路图

在较复杂的电路中,为了了解电路的工作情况,还需要在电路中安装各种测量仪表。为了保障电路的正常工作,还需增加各种保护装置。这些设备常作为传输设备的辅助装置以配合控制电流的传输。

在表达电路原理时,常用各种理想电路元件来替代实际电路中的电气设备或元器件。理想电路元件及其图形符号见表 1-1。

表 1-1 理想电路元件及其图形符号

元件名称	模型符号	元件名称	模型符号
电阻 R		电池 E	
电感 L		理想电压源 U_s	
电容 C		理想电流源 I_s	

1.1.2 电路图

按照国家或国际统一规定的符号绘制出电路连接情况的图形称为电路图。人们常把按规范画出的电路图称为“国际通用的工程语言”。

利用电路图可以了解电路的结构、连接方法和电路中各个元件的作用,以便进行安装、检修和调整。工程使用的图纸一般分为电气原理图和线路安装图两种。原理图只表示线路的接法,不反映电路的几何尺寸和各元件的实际形状,它主要用于分析电路的工作原理。安装图既要反映电路的接法,还要画出有关部分的装置与结构以及实际安装位置,所以安装图主要在工程安装和检修时使用。

绘制电路图时,其图形符号和图线的绘制方法都应按国家颁布的“电气技术国家标准”统一绘制。

1.1.3 电路的基本物理量

1. 电流

在图 1-1(a)中,当灯泡发光时,说明灯泡中通过了电流。当电动机转动起来时,说明电动机中通过了电流。人们虽然用肉眼看不见电流,但通过光热效应或电磁效应感受到了它的存在。

通常把电荷有规则的定向运动称为电流。多数情况下,电流由在金属导线中移动的自由电子组成。但电流不一定总是电子流,其它的载流子也可在一定条件下形成电流,如电解液中正负离子的运动,导电气体中离子和电子的混合运动等。

习惯上常把正电荷移动的方向规定为电流的方向。但在金属导体中实际移动的是带负电荷的电子,电解液中负离子的流动方向也是从负极到正极。为了分清它们之间的区别,规定在电源外部电流从正极流到负极,按此规定的电流方向作为正向惯用电流方向;在电源外部从负极到正极的电子流称为电子流方向。在今后的理论分析和工程实际应用中,规定采用正

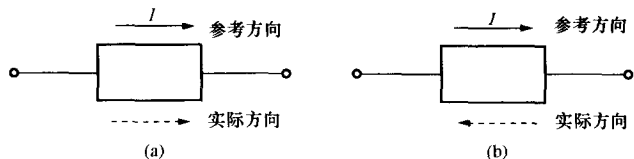


图 1-2 电流参考方向与实际方向

(a) $I > 0$ 时; (b) $I < 0$ 时

向惯用电流方向作为参考方向(所谓参考方向,系指为了定量计算而事先假定的方向),并在图上用箭头将其正方向标定出来,如图 1-2 所示。

电流的大小用电流强度表示。电流强度在数值上等于在单位时间内通

过导体某一截面的电荷量,其符号为 Q , 电流强度的单位是 A (安培)。如果在每秒内流过导体横截面 6.25×10^{18} 个电子,其电流强度为 1A。电流强度也常简称为电流。

电流的单位除 A 外,在测量计算大电流时更多使用 kA (千安)、MA (兆安) 作单位,在测量计算小电流时用 mA (毫安)、 μA (微安) 作单位。它们之间的关系是: $1\text{kA} = 10^3\text{A}$, $1\text{MA} = 10^6\text{A}$, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在工程设备上,作用于通信、电视技术、电子技术装置上的电流,一般在 mA、 μA 级;作用于电气设备、动力装置上的电流一般在 A、kA 级。

电流常分直流和交流两种形式。当电流的量值和方向都不随时间变化时,称为直流电流,简称直流。直流电流常用 I 表示。量值和方向随时间作周期性变化的电流,称为交流电流,常用 i 表示。若交流电流的变化符合正弦函数规律,就称它为正弦交流电。平时常见的交流电多数为正弦交流电,正弦交流电在工农业生产方面有着极其广泛的应用。

2. 电压

当让图 1-1 (a) 中的灯泡长时间发光时,可以观察到一段时间后灯泡的亮度开始暗淡下来,最后即使让电路保持通路状态,灯泡也无法发光。人们通常以为这是电池没电了,实际上,这种情况说明电源已无足够的能量推动电流从灯丝上流过做功了。

通常把衡量电场力移动电荷做功能力的物理量称之为电压,其符号表示为 U 。在电场的作用下,正电荷从电源正极通过连接导线流向负极,在电荷的移动过程中,电场力做了功。设在 A 点到 B 点的距离内被移动的电荷有 1C (库仑),电场力做的功为 1J (焦耳),则 AB 两点之间的电压值为 1V (伏特)。V 是电压的单位。此外,测量高电压时还用 kV (千伏) 作单位,而在微电子技术中常用 mV (毫伏)、 μV (微伏) 作单位,它们之间的关系是: $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

电压的方向规定从高电位点指向低电位点。在直流负载上电压的实际方向总是和电流的方向一致,量值和方向都不随时间变化的直流电压,用 U 表示。量值和方向随时间变化的交流电压,用 u 表示。电压的参考方向如图 1-3 所示。

3. 电动势

在电压作用下,正电荷从电源正极经负载流到负极,形成电流。为了维持连续不断的电流,移到电源负极的正电荷还需逆着电场方向继续移向电源正极,此过程需要外力克服电场力做功。如电池中化学反应产生的化学力、发电机中电磁感应产生的电磁力、热电偶中热电效应产生的力,这些外力称为非电场力。

通常把衡量非电场力移动电荷做功能力的物理量称为电源电动势,其符号用 E 表示。电动势的单位也是 V,与电压单位相同。电动势的方向与电压相反。它的参考方向(正方向)规定为:在电源内部由低电位点指向高电位点,如图 1-4 所示。

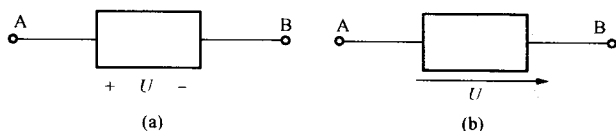


图 1-3 电压的参考方向

(a) + - 表示法; (b) 箭头表示法

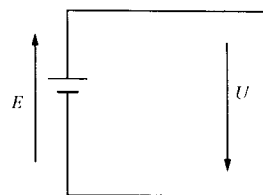


图 1-4 电动势的参考方向

电源具有电动势的同时产生电压。由于非电场力在电源内部做功,电动势只存在于电源内部。而电压除了在电源外部存在外,还存在于电源内部。因为当电源流过电流时,需要克服电源内阻做功。所以,一般电源两端电压总是小于电动势。只有当负载开路时,电源两端电压才与电动势相等。

4. 电位

电位的概念常用于电子线路、设备安全接地等问题中,作电气性能的比较分析和计算。在这些电路中设有参考点或“接地”点,这些点上电位规定为零。当电路中某点“接地”时,电路中的其它各点与接地点之间的电压值,就是其它各点的电位值,电路中 A、B 两点间的电压就等于 AB 两点间的电位差。

电位的单位是 V。为了与电压相区别,电位的符号常用 V 表示。

强电系统电路常选择大地作零电位点,零电位点的符号用 $\perp$ 表示。但有时零电位点不一定是大地,电路中的“接地”符号也不一定表示该点真的与大地连接。如许多电子仪器和通信设备中,常把金属机壳或电路公共接点的电位规定为零电位,而这公共接点往往也称为“接地”。

在电路中进行电位计算时,若电路中没有接地点,可任意假设一个参考点作零电位点。当参考点确定之后,电路中的其它各点电位值就确定了。参考点选择不同,各点电位值就不同。由于电位具有相对性,只有首先在电路中确定零电位点后,讨论计算电路各点的电位才有意义。

由此看出,虽然电位和电位差同属电压的概念,但电位指的是某点对参考点的电压,而电位差指的是某两点间的电压。当参考点改变时,电位的数值随之改变,而电位差的绝对值并不随之而改变。电路中两点间的电压值是固定的,不会因参考点的不同而改变。

5. 电能和电功率

电流一段时间内在电路中做的功称为电功。电功表达了一段时间内电路所消耗的电能;电能用 W 表示,单位是 J (焦耳),其表达式为

$$W = UIt \quad (1-1)$$

式 (1-1) 表示在时间 t 内电场力将电量为 Q 的电荷移动一段距离做的功。

电流在单位时间内做的功称为电功率,用 P 表示,单位是 W (瓦特)。在电路两端加上 1V 电压,通过的电流为 1A 时,电功率等于 1W,所以

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-2)$$

电功率的单位除 W 外,还使用 kW (千瓦)、MW (兆瓦)、mW (毫瓦)、 μ W (微瓦) 作单位。它们的关系是: $1\text{kW} = 10^3\text{W}$, $1\text{MW} = 10^6\text{W}$, $1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$, $1\mu\text{W} = 10^{-6}\text{W}$ 。

当负载电阻为 R 时,它消耗的功率的计算式为

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

电气设备的功率既与电压有关,也与电流有关。在工作电压确定后,电流越大,设备所消耗的功率就越多。各设备所消耗的功率都不应超过规定值,否则设备会因过热而受到损坏。

根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质。

当 U 和 I 的实际方向相同, 电流由元件的“+”端流入、“-”端流出, 表明该元件取用(消耗)了功率, 是负载性质。

当 U 和 I 的实际方向相反, 电流由元件的“-”端流入、“+”端流出, 表明该元件发出了功率, 是电源性质。

由以上分析可知, 在电路中当某一元件上的电压和电流的实际方向一致时, $P > 0$, 该元件消耗功率, 是负载性质, 如图 1-5 (a) 所示。如电压和电流的实际方向相反时, $P < 0$, 该元件发出功率, 是电源性质, 如图 1-5 (b) 所示。

1.1.4 电路的工作状态

电路的工作状态分为通路、开路和短路三种情况。在不同的电路状态下电压、电流等物理量会有很大的变化, 如图 1-6 所示。

1. 通路

电源与负载连通的电路称为通路。在正常的通路状态下, 开关处于接通状态, 电源提供的是额定电压, 电路中流过正常的工作电流, 负载的能量转换符合规定需求, 如图 1-6 (a) 所示。

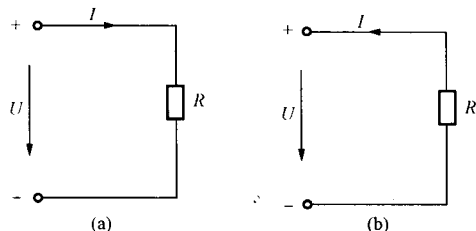


图 1-5 电源与负载的判别

(a) 负载性质; (b) 电源性质

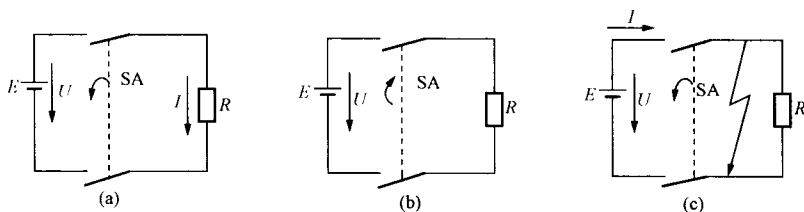


图 1-6 电路的三种状态

(a) 通路; (b) 开路; (c) 短路

2. 开路

电源与负载没有接成通路时, 称为开路。除开关断开能使电路开路外, 负载或线路上某处断线也能使电路开路。前者属正常开路, 后者属故障开路。开路状态下, 电路中没有电流, 负载无法实现能量转换, 由于电源无电能输出, 人们称之为空载, 如图 1-6 (b) 所示。

3. 短路

当负载或电源两端被电阻很小的导线连通时, 称为短路。多数情况下短路都属不正常的故障状态。由于此时电路对电流的阻力大大削弱, 线路上流过比正常状态大许多倍的短路电流。为防止短路电流烧坏线路和设备, 通常在电路中加入熔断器或其它保护装置对负载与电源进行短路保护。

4. 负载的工作效率

负载在进行能量转换过程中, 导线电阻因电流热效应产生损耗。若再考虑其它一些无功损耗, 就使负载的输出功率小于电源提供的功率。负载的输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比称为负载的工作效率, 用符号 η 表示, 其表达式为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1-3)$$

显然,输出功率总是小于输入功率,所以任何用电设备的工作效率总是小于1。

5. 额定值与工作状态

额定值是制造厂为了使机电设备能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。

机电设备在使用时,电压、电流、功率的实际值不一定等于额定值。电器使用时的实际值不等于额定值的主要原因有:

- (1) 电器受外界影响,如电压波动等;
- (2) 负载变化时,电流、功率通常不一定处于额定工作状态。

为了在安全工作的前提下提高负载的工作效率,要求机电设备尽量工作在额定状态中。如果设备工作时,每个参数都满足额定值,就称设备工作在满载状态;若输出功率低于额定功率,就称设备工作在轻载状态;当输出功率高于额定功率时,设备的工作状态为超载或过载。轻载或过载都不属于设备正常的工作状态,过载严重时,易出现设备烧毁的事故。

机电设备的额定值常用附有下列“N”的符号表示,如 U_N 表示额定电压, I_N 表示额定电流, P_N 表示额定功率。例如:一台电力变压器,铭牌上标有“高压、10000V,低压、400V;低压侧额定电流 808A,额定容量 560kVA”。它表明当该变压器高压侧接 10000V 的输电线路时,低压侧输出额定电压 400V,流向负载的最大电流允许有 808A,此时它的额定总功率(视在功率)为 560kVA。

机电设备的额定值实际上只是一个设计值,表明设备长期正常工作时允许各参数变化的界限。实际工作中,机电设备不一定恰好在额定状态下工作,实际的工作电流和输出功率决定于负载的需要,而不是决定于设备本身的额定值。额定值只是规定了一个设备长期正常工作的使用条件。作为设备的使用人员,任务之一就是要尽力使设备工作时不违反这些条件。

1.2 电路基本元件及其伏安特性

1.2.1 电阻元件

当电子在金属导线中移动时,会因电子与原子、电子与电子之间相互碰撞等原因受到阻力。这种阻力限制了电荷的流动。为了维持电流,就必须克服阻力做功。阻力效应不仅存在于金属导体中,导电液体和导电气体同样存在对电流的阻力。通常把这些对电流流动表现出的阻力统称为电阻。分析电路时,就用电阻元件作为理想电路元件来反映电阻器、电灯、电炉等实际电路元器件消耗电能的性质。为简单起见,常将电阻元件直接称为电阻。

电阻用 R 表示,单位是 Ω (欧姆)。

当电路上加 1V 的电压,而电路上流过 1A 电流时,这时电路上的电阻为 1 Ω 。

在测量较大电阻时,多数采用 k Ω (千欧)或 M Ω (兆欧)作单位,其对应关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

常见的导线电阻值一般在零点几欧到几欧之间。白炽灯或一般电器的电阻在 10 Ω ~1k Ω 之间。电子设备中的电阻值范围更广。而绝缘物质的电阻可高达 10M Ω 甚至 1kM Ω 以上。

不同的材料对电流显现不同的阻力,原因是材料的原子结构和分子结构各不相同,同时材料本身的形状大小也对电阻有影响。实验证明:导体材料的电阻与导体长度成正比,与导体的横截面积成反比,还与导体的材料性质有关。用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-4)$$

式中 L ——导体长度, m;

S ——导体截面积, mm^2 ;

ρ ——导体材料的电阻系数,通称电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电阻率在计算各种材料的电阻值时常常用到。它的数值表示的是长 1m, 截面为 1mm^2 的导体在一定温度下的电阻值。表 1-2 列出了几种常用材料在 20°C 时的电阻率。

表 1-2 几种材料在 20°C 时的电阻率

纯金属	银	0.016
	铜	0.017
	铝	0.029
	钨	0.053
	铁	0.1
合金	锰钢 (85%铜、12%锰、3%镍)	0.44
	康铜 (54%铜、46%镍)	0.50
	铝铬铁电阻丝	1.2
半导体	硒、锗、硅等	$10^2 \sim 10^{13}$
绝缘体	赛璐璐	10^{11}
	电木、塑料	$10^{16} \sim 10^{20}$
	橡胶	$10^{10} \sim 10^{20}$

【例 1-1】 一根铜芯线长为 30m, 横截面面积为 1.5mm^2 , 求其电阻值是多少?

解 查表可知, $\rho = 0.01786 (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$

$$\text{则 } R = \rho \frac{L}{S} = 0.01786 \frac{30}{1.5} = 0.357 (\Omega)$$

电阻率越小, 导线上的电流损耗越小。从电阻率和导线材料的经济成本等方面综合考虑, 我国多采用铜或铝作导线材料。铜的电阻率比铝小, 在导线截面相同时, 铜导线允许流过的电流比铝导线大得多, 见表 1-3。线路设计安装时, 需要根据导线上流过电流的数值来选择导线的截面。

表 1-3 照明用电的各种绝缘导线

导线种类	线芯截面积 (mm^2)	根数及直径 (mm)	安全电流 (明装) (A)	允许接用负载 (电压 220V) (W)
铝 线	2.5	1/1.76	12	2400
	4.0	1/2.24	19	3800
	6.0	1/2.73	27	5400
	10.0	7/1.33	46	9200

续表

导线种类	线芯截面积 (mm ²)	根数及直径 (mm)	安全电流 (明装) (A)	允许接用负载 (电压 220V) (W)
铜 线	1.0	1/1.12	6	1200
	1.5	1/1.37	10	2000
	2.0	1/1.60	12.5	2500
	2.5	1/1.76	15	3000
	4.0	1/2.24	25	5000
	6.0	1/2.73	35	7000
	8.0	7/1.25	53.7	10740
	10.0	7/1.33	60	12000
软 线	0.41	14/0.19	2	400
	0.67	23/0.19	3	600
	1.16	40/0.19	5	1000
	2.03	70/0.19	10	2000

电阻的倒数称为电导，是表征材料导电能力的一个参数，用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-5)$$

电导的单位是 S (西门子)，简称西。

1.2.2 电容元件

电容元件是反映存储电荷产生电场，储存电场能量这一物理现象的理想电路元件。

电容元件的模型符号如表 1-1 所示。电容元件简称为电容，电路中用符号 C 表示，单位是 F (法拉)。由于实际应用中 F 单位太大，电容常用的单位还有 μF (微法) 和 pF (皮法)， $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

电容元件电容量的定义为：若电容元件两端电压为 u ，两极板将出现等量异性电荷，并在两极板间形成电场，电容元件极板上所存储的电荷为 q ，则极板上所带电荷量 q 与两极板间电压 u 的比值，称为电容元件的电容量，简称为电容，即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-6)$$

在电路中只有当电容元件两端电压发生变化时，电路中才有电流通过，电压变化越快，电流也越大。当电容元件两端施加直流电压 U 时，因电压的变化率为 0，故电流也为 0，因此电容元件对于直流稳态电路相当于断路，也就是说电容元件有隔断直流的作用。

电容在电路中只是储存电场能量，电容储存的电场能量与元件在该时刻所承受的电压的平方成正比。电容元件不消耗能量，它是一种具有储存电场能量的元件。可以利用电容的这一特性进行电能的交换。

1.2.3 电感元件

一个理想的电感元件可以假设为由一根电阻为零的导线绕制而成的线圈。由电磁感应定律可知，当电流 i 流过该线圈时，将在线圈周围产生磁场。当电流变化时，磁场也随之变化，从而在该线圈自身内产生感应电动势。这种线圈内电流变化在线圈自身内产生感应电动势的现象叫自感现象。