



中国石油大学(华东)远程与继续教育系列教材

电动钻机电气控制

ELECTRIC CONTROLS
FOR ELECTRIC DRIVE RIGS

主 编 王心刚

中国石油大学出版社



 中国石油大学(华东)远程与继续教育系列教材

D

电动钻机电气控制

主 编 王心刚

副主编 王永军 贺 利

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电动钻机电气控制/王心刚主编. —东营:中国石油
大学出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-5636-2689-2

I. 电… II. 王… III. 钻机—电气控制 IV. TE922

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 147386 号

书 名: 电动钻机电气控制
作 者: 王心刚

责任编辑: 宋秀勇 刘 清(电话 0546—8392139)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian8392139@163.com

印 刷 者: 山东省东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本: 185×260 印张:18.75 字数:480 千字

版 次: 2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 48.00 元

中国石油大学(华东)
远程与继续教育系列教材编审委员会

主 任：王瑞和

副主任：齐高岱 刘衍聪

委 员：戴俊生 邱正松 刘雪暖 崔学政 李雷鸣
 署恒木 刘润华 梁 鸿 吕巍然 李书光
 孙秀丽 王建军 王天虎 马国刚

总 序

从1955年创办函授夜大学至今,中国石油大学成人教育已经走过了从初创、逐步成熟到跨越式发展的50载历程。50多年来,我校成人教育紧密结合社会经济发展需求,积极开拓新的服务领域,为石油、石化企业培养、培训了10多万名本专科毕业生和管理与技术人才,他们中的大多数已经成为各自工作岗位的骨干和中坚力量。我校成人教育始终坚持“规范管理、质量第一”的办学宗旨,坚持“为石油石化企业和经济建设服务”的办学方向,赢得了良好的社会信誉。

自2001年1月教育部批准我校开展现代远程教育试点工作以来,我校以“创新教育观念”为先导,以“构建终身教育体系”为目标,整合函授夜大学教育、网络教育、继续教育资源,建立了新型的教学模式和管理模式,构建了基于卫星数字宽带和计算机宽带网络的现代远程教育教学体系和个性化的学习支持服务体系,有效地将学校优质教育资源辐射到全国各地,全力打造出中国石油大学现代远程教育的品牌。目前,办学领域已由创办初期的函授夜大学教育发展为今天的集函授夜大学教育、网络教育、继续教育、远程培训、国际合作教育于一体的,在国内具有领先水平、在国外有一定影响的现代远程开放教育系统,成为学校高等教育体系的重要组成部分和石油、石化行业最大的成人教育基地。

为适应现代远程教育发展的需要,学校于2001年9月正式启动了网络课程研制开发和推广应用项目,斥巨资实施“名师名课”教学资源精品战略工程,选拔优秀教师开发网络教学课件。随着流媒体课件、WEB课件到网络课程的不断充实与完善,建构了内容丰富、形式多样的网络教学资源超市,基于网络的教学环境初步形成,远程教育的能力有了显著提高,这些网上教学资源的建设与研发为我校远程教育的顺利发展起到了支撑和保障作用。相应地,作为教学资源建设的一个重要组成部分,与网络教学课件相配套的纸质教材建设就成为一项愈来愈重要的任务。根据学校现代远程教育发展规划,在“十一五”期间,学校将推进精品课程、精品网络课件和教材建设工作,通过立项研究方式启动远程与继续教育系列教材建设工作,选聘石油石化行业和有关石油高校专家、学者参与系列教材的开发和编著工作,计划用5年的时间,以石油、化工等主干专业为重点,陆续推出成人学历教育、岗位培训、继续教育三大系列教材。系列教材将充分吸收科学技术和成人教育教学改革最新成果,体现现代教育思想和远程教育教学特点,具有先进性、科学性和远程教育教学的适用性,形成纸质教材、多媒体课件、网上教学资料互为补充的立体化课程学习包。

为了保证“远程与继续教育系列教材”编写出版进度和质量,学校成立了专门的远程与继续教育系列教材编审委员会,对系列教材进行严格的审核把关,中国石油大学出版社也对系列教材的编辑出版给予了大力支持和积极配合。目前,远程与继续教育系列教材的编写还处于探索阶段,随着我校现代远程教育的进一步发展,新课程的开发、新教材的编写将持续进行,本系列教材的体系也将不断完善。我们相信,有广大专家、学者们的共同努力,一定能够创造出适合现代远程教育教学和学习特点、体系新、水平高的远程与继续教育系列教材。

编委会

2006 年 10 月

前 言

20 世纪 90 年代以来,为了使我国的石油工业满足国民经济日益增长的需要,国家提出了“利用国内外两种资源和开发国内外两个市场”的发展战略。我国的石油钻机在标准化水平、技术和制造水平及研究开发能力、产品质量和品种等方面又有了较大的提高和发展。近几年,国产电驱动钻机发展迅速,控制水平从早期的模拟控制上升到目前国际流行的典型三级控制,即上位监控级、PLC 过程控制级和全数字级构成通信网络。全数字式控制技术以可编程控制器(PLC)为控制中心,应用全数字控制单元,结合现场总线通信技术和工控机、触摸屏等数字化装置形成较为完善的控制方案。其主要特点是单元采用微处理器实现软件控制,具有完善的故障自诊断、运行、显示和保护功能,同时全数字控制系统各控制环节的参数可实时调整,以满足钻井工艺的新要求和钻井工况的实时变化。

在电动钻机电气控制系统中,以模拟电子技术和 PLC 技术综合应用为基础的电动钻机电气控制技术已经成熟,该类型的电动钻机的应用,极大提高了钻井操作的安全性,并有效提高了钻井效率,是目前应用中较为广泛的钻井机械。

电动钻机电气控制技术控制系统多,控制技术发展快,本书所述部分只是模拟电子技术控制系统。本书从电动钻机的实际应用出发,介绍了在电动钻机电气控制系统中常用的电子线路基础知识、交直流电动机和交流发电机的基本原理与应用技术,重点分析了电动钻机电气控制技术应用实例。

本书由王心刚主编,负责全书的策划、组织、统稿和定稿,并编写了第8、9、10、11章。参加编写的还有王永军(4、5、6章)、贺利(1、2、3章)、郭曙光(7章)。在本书编写过程中李芳、游永智、郭亮、李霞等也参加了部分编写、校对、绘图等工作。在前期调研中,海尔海斯(西安)控制技术有限公司李育良总工和王年周总工提供了有关资料,并就电动钻机的电气控制和 PLC 技术应用方面给予指导,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 8 月

目 录

第 1 章 电路的基本知识	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 描述电路的基本物理量	(3)
1.3 电路的基本元件	(6)
1.4 电路的基本定律	(9)
1.5 电路的分析方法	(11)
1.6 正弦交流电路	(19)
1.7 三相交流电路	(28)
第 2 章 电子元件及其应用电路	(34)
2.1 半导体基本知识	(34)
2.2 二极管	(36)
2.3 三极管	(42)
2.4 基本放大电路	(47)
2.5 电力电子器件	(56)
2.6 整流电路	(64)
2.7 触发电路	(74)
第 3 章 集成运算放大器及其应用	(79)
3.1 集成运算放大器	(79)
3.2 集成运算放大器的线性应用	(83)
3.3 集成运算放大器的非线性应用	(89)
3.4 555 定时器及其应用	(97)
第 4 章 直流电机	(103)
4.1 直流电机的结构及工作原理	(103)
4.2 直流电动机的运行特性	(108)
4.3 直流电动机的启动、调速、制动	(119)
第 5 章 三相异步电动机	(129)
5.1 三相异步电动机基本结构、原理及机械特性	(129)
5.2 三相异步电动机的启动、调速、制动	(141)
第 6 章 同步发电机	(149)
6.1 同步发电机介绍	(149)
6.2 同步发电机的运行	(158)
6.3 交流发电机的并联运行	(161)
第 7 章 可编程控制器	(171)
7.1 S7-300PLC 硬件资源及内部寻址方式	(171)
7.2 S7-300PLC 模块介绍	(174)

7.3 STEP 介绍	(177)
第 8 章 电动钻机电气传动系统	(182)
8.1 柴油发电机组控制单元(GEN 柜)	(183)
8.2 直流控制单元(SCR 柜)	(184)
8.3 司钻控制台及 PLC 系统	(185)
8.4 交流电动机控制中心(MCC)	(186)
8.5 电磁刹车控制器	(187)
第 9 章 电动钻机交流控制系统	(188)
9.1 交流控制系统概述	(188)
9.2 速度调节(频率调节器)	(191)
9.3 电压调节	(200)
9.4 系统保护	(208)
9.5 功率限制电路	(211)
9.6 接地故障检测	(217)
9.7 同步装置控制原理	(219)
9.8 交流系统试验	(223)
9.9 发电机组(GEN 柜)操作	(227)
9.10 常见故障、排除原理和方法	(229)
第 10 章 电动钻机直流控制系统	(232)
10.1 系统功能与要求	(232)
10.2 可控硅整流电路	(232)
10.3 浪涌抑制电路	(238)
10.4 直流动力系统	(238)
10.5 直流控制组件	(239)
10.6 皮带轮防滑原理与实现	(252)
10.7 绞车能耗制动原理与实现电路	(256)
10.8 电磁涡流刹车原理	(261)
10.9 直流控制装置启动操作(SCR 柜)	(263)
10.10 直流控制系统功能试验	(265)
10.11 常见故障、排除原理和方法	(268)
第 11 章 电动钻机其他控制系统	(272)
11.1 司钻控制台	(272)
11.2 PLC 系统	(274)
11.3 工况指配逻辑	(278)
11.4 速度控制	(279)
11.5 风机控制和报警装置	(280)
11.6 交流电动机控制中心(MCC)	(280)
11.7 司控台功能试验	(282)
11.8 司钻控制台操作方法	(282)
11.9 司钻台常见故障及排除方法	(285)
附录 电控系统缩写字母注释	(286)

第1章 电路的基本知识

1.1 电路与电路模型

实际电气装置种类繁多,几何尺寸也相差甚大。为了分析研究实际电气装置的需要和方便,常采用模型化的方法,即用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际的器件,从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

1.1.1 电路的组成

电路是由电工、电子器件根据功能需要,按照某种特定方式连接而成的。简单地说,电路就是电流流过的路径。不管是简单的电路(如手电筒电路),还是复杂的电路(如电力系统),都可以分为电源、负载、中间环节三部分。如图 1.1.1 所示。

电源是把非电能转换成电能,并向外提供电能的装置,如蓄电池、发电机等。负载是将电能转换成其他形态能量的用电设备,如电动机、照明灯和扬声器等。中间环节是连接电源和负载的部分,担负着传输和分配电能及信号的作用。

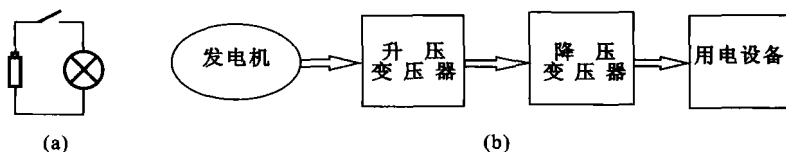


图 1.1.1 电路示意图

(a) 手电筒电路; (b) 电力系统

1.1.2 电路的作用

电路的作用主要有两个:一是传输和转换电能,如图 1.1.1 所示;二是传递和处理信号,如图 1.1.2 所示。在图 1.1.2 中,电路中的电源(电压、电流)代表一定信息,因此又称为信号源。

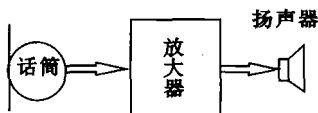


图 1.1.2 扩音机示意图

1.1.3 电路模型

构成电路的实际电路元件如发电机、变压器、电动机、晶体管以及各种电阻器和电容器等,

它们的电磁性质较为复杂。例如白炽灯除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,又表现出电感性。但电感量很小,可忽略不计。于是可认为白炽灯是一个电阻元件。为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,将实际元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看做理想电路元件。由一些理想电路元件组成的电路,称为实际电路的模型,电路分析中所说的电路就是实际电路的模型。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件。例如手电筒其实际电路元件有干电池、灯泡、开关和筒体,电路模型如图 1.1.3 所示。灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R_L ;干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;筒体和开关是连接干电池和灯泡的中间环节,其电阻忽略不计,认为是一个无电阻的理想导体。

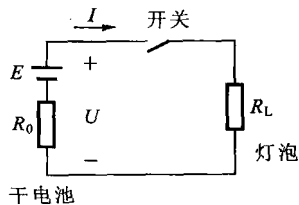


图 1.1.3 手电筒的电路模型

1.1.4 电路的三种状态

1. 有载状态

电源与负载接通,构成回路,称为有载状态。如图 1.1.4 所示,此时电路中有电流。

$$\text{电路中的电流为} \quad I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

$$\text{负载两端的电压为} \quad U = IR_L = E - IR_0$$

有载状态时的功率关系如下:

$$\text{电源电动势输出的功率为} \quad P_E = EI$$

$$\text{电源内阻损耗的功率为} \quad P_{R_0} = I^2 R_0$$

$$\text{负载吸收的功率为} \quad P = I^2 R_L = P_E - P_{R_0}$$

$$\text{功率平衡关系为} \quad P_E = P + P_{R_0}$$

通常我们讲负载增加是指电路的输出功率增加,或电源的输出电流增加,而不是指负载电阻增加。

2. 开路状态

电源与负载断开,称为开路状态,又称空载状态。如图 1.1.5 所示,此时电路中电流为零,负载不工作 $U = IR_L = 0$,而开路处的端电压 $U_s = E$ 。电源电动势输出的功率 $P_E = 0$ 。

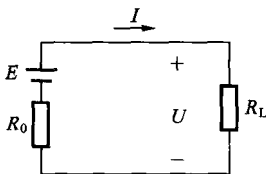


图 1.1.4 电路有载工作

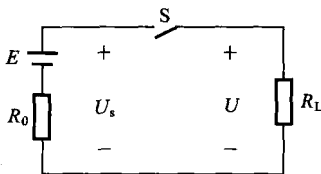


图 1.1.5 电路开路

3. 短路状态

短路是指电路某两点由一个电阻值可以忽略不计的导体直接接通的工作状态。短路可能发生在负载两端或电路的任何处,也可能发生在电源或负载(例如电动机)的内部。若短路发生在电源两端,如图 1.1.6 所示,此时短路电流很大,可能烧毁电源。所以电源短路是一种严重的故障,应尽量避免。因此这种短路又称为“短路故障”,我们常说的短路指的是短路故障。

为预防短路故障的危害扩大,通常在电路中接入熔断器或自动断路器。但不能说所有的短路都是短路故障。为了达到某种特定目的而有意短路,常称为“短接”。例如电焊机利用短路产生大电流,从而在焊条与工件间引弧进行焊接;电动机启动时电流很大,可将并联在电流表上的开关合上,将电表短路,电动机启动电流不通过电流表,从而对电表起到保护作用,启动完毕将该开关断开。

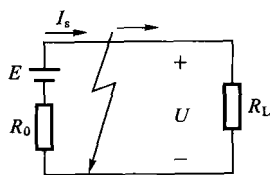


图 1.1.6 电路短路

1.2 描述电路的基本物理量

1.2.1 电量

电量是表示带电物体所带电荷数量多少的一个物理量。用 Q 或 q 表示,单位:库仑(C)。

一个电子的基本电量 $= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$1 \text{ C} = 6.25 \times 10^{18}$ 基本电量

1.2.2 电流

电流是指电荷在电场作用下的定向运动,其大小称为**电流强度**,简称**电流**,用 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

电流的单位:安[培](A)、千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}; \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

电流的流动具有方向性,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的真实方向。在分析电路时往往很难事先确知电流的真实方向。为了分析计算的需要,常在电路元件上假定一个电流的方向作为电流的正方向或参考方向,如图 1.2.1 所示的箭头。正方向的选择与标定具有任意性,并不代表电路中的实际物理过程。但是,在标定正方向的情况下,电流成为代数量,若 $i > 0$,就意味着电流的真实方向与正方向一致;若 $i < 0$,则意味着电流的真实方向与正方向相反。

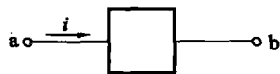


图 1.2.1 电流正方向的标定

电流分为直流电流和交流电流。直流电流是不随时间变化的恒定电流,用 I 表示,如图 1.2.2(a)所示。在实际使用中,把方向不变、大小随时间改变的整流电流称为广义的直流,如图 1.2.2(b)所示。交流电流是大小和方向随时间变化的电流,用 i 表示,如图 1.2.2(c)、(d)所示。

1.2.3 电压

电压是电场力把单位正电荷由高电位点(a点)移向低电位点(b点)所做的功。

$$U_{ab} = \frac{dw}{dq} = V_a - V_b \quad (1.2.2)$$

电压的单位:伏(V)、千伏(kV)、毫伏(mV)。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}; \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

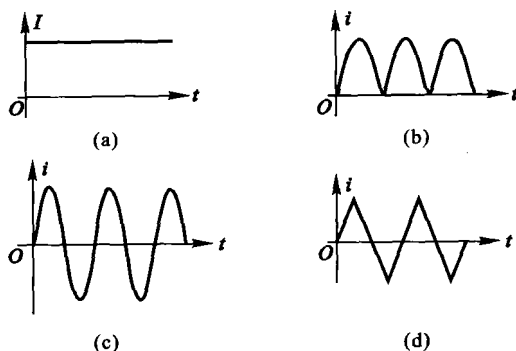


图 1.2.2 几种典型电流的波形

电压的实际方向是从高电位点指向低电位点,与电流方向一致。在电路分析中,与标定电流正方向类似,常标以“+”、“-”表示电压的**正极性或参考方向**。在图 1.2.3 中,a 点标“+”,极性为正,称为高电位;b 点标“-”,极性为负,称为低电位。也可用箭头表示电压参考方向,箭头的方向为高电位端指向低电位端。这种选定也具有任意性,并不能确定真实的物理过程。一旦选定了电压正方向后,若 $u > 0$,则表明电压的真实极性与选定的正方向一致,反之则相反。

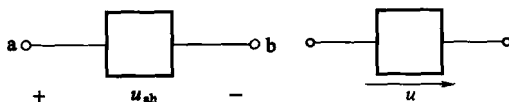


图 1.2.3 电压的正方向

电路中电流的正方向和电压的正方向在选定时都具有任意性,二者彼此独立。但是,为了分析电路方便,常把元件上的电流与电压的正方向取为一致,称为**关联参考方向**。如图 1.2.4 所示,电流从元件标以“+”的端点流入,从“-”端流出。我们约定,除电源元件外,所有元件上的电流和电压都采用关联参考方向。非关联参考方向如图 1.2.5 所示,电源元件通常采用非关联参考方向。

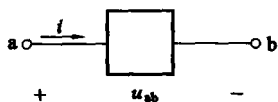


图 1.2.4 关联的电流、电压参考方向

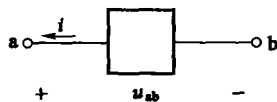


图 1.2.5 非关联的电流、电压参考方向

1.2.4 电位

若任取一点 b 作为参考点,则由某点 a 到参考点 b 的电压称为 a 点的**电位**,用 V_a 表示。电位参考点可以任意选取,常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。在一个连通的系统中只能选择一个参考点。参考点电位为零,在电路中用符号“ $\perp$ ”表示。

电压与电位的**关系**为:a、b 两点之间的电压等于这两点电位之差,即

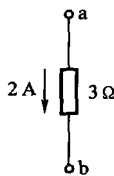


图 1.2.6 电位与参考点的关系

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.2.3)$$

在图 1.2.6 中,若选择 b 点为参考点,即 $V_b = 0 \text{ V}$,则 a 点的电位是 $V_a = 6 \text{ V}$;若选择 a 点为参考点,即 $V_a = 0 \text{ V}$,则 b 点的电位为 $V_b = -6 \text{ V}$ 。而 a、b 两点间的电压,不管是以 a 还是 b 为参考点, $U_{ab} = 2 \times 3 = 6 \text{ V}$ 。由此可见,电路中参考点选得不同,各点的电位值随之改变,但任意两点间的电压值是不变的。因此,各点电位的高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

1.2.5 电动势、电源

电源是利用非电场力把正电荷由负极移动到正极,在电路中将其他形式能量转换成电能。电动势是衡量这种能量转换大小的物理量,它只存在电源内部,用 E 表示。电动势的方向:在电源内部由负极指向正极。电动势的单位与电压相同。电动势参考方向的标注同电压,不同的是用箭头标注时,箭头指向高电位,而在电压的参考方向表示时,箭头指向低电位。

1.2.6 电路中的功率

将电能转换成其他形式的能量叫做电流做功,简称电功。如:发光、发热、机械能等,用 W 表示,即

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1.2.4)$$

单位:焦[耳](J),在实际工作中,用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)。它们之间的关系为

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电流在单位时间内所做的功,称为电功率。用 P 表示,即

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.2.5)$$

单位:瓦(W)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}; \quad 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

电功率表示消耗电能的快慢。以灯泡为例,电功率越大,灯泡越亮。灯泡的亮暗由电功率决定,不是由所通过的电流、电压、电能决定。

在图 1.2.7(a)中,元件的电流和电压取关联参考方向,则该元件的功率为

$$p = u \cdot i \quad (1.2.6)$$

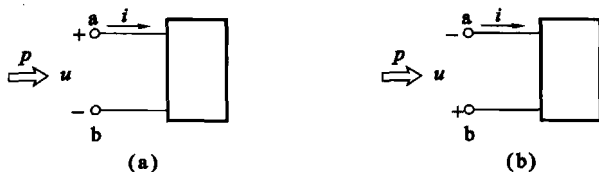


图 1.2.7 元件吸收的功率

(a) 关联参考方向下; (b) 非关联参考方向下

按式(1.2.6)计算的结果,若 $p > 0$,意味着元件吸收或消耗功率,起负载作用;若 $p < 0$,则意味着元件提供或产生功率,起电源作用。

如果元件的电流和电压取非关联参考方向,如图 1.2.7(b)所示,该元件的功率为

$$p = -u \cdot i \quad (1.2.7)$$

按式(1.2.7)计算的结果,若 $p > 0$,意味着元件吸收或消耗功率,起负载作用;若 $p < 0$,则

意味着元件提供或产生功率,起电源作用。

各种电气设备的电压、电流及功率都有一个额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的条件下正常运行而规定的正常允许值。高于额定值运行,影响设备的寿命,甚至出现事故;低于额定值运行,不仅得不到正常合理的工作状况,而且也不能充分利用设备的能力。因此,应尽量使电气设备工作在额定状态。额定值通常标在电气设备或元件的铭牌或写在产品说明书中,使用时应充分考虑额定数据。例如,一盏 220 V、40 W 电灯,它的额定电压是 220 V,额定功率是 40 W。使用时,电压、电流和功率的实际值不一定等于额定值,这是一个重要的概念。

1.3 电路的基本元件

1.3.1 电阻元件

电阻器、白炽灯、电炉等实际器件的主要特性是消耗电能,在一定条件下,可用电阻元件作为模型。理想电阻元件是一个由欧姆定理描述其电压电流关系的线性二端元件。电阻元件的符号如图 1.3.1(a)所示。在端电压和电流取关联方向时,电压与电流之间呈线性关系,可表示为

$$u = Ri \quad (1.3.1)$$

式中, R 为电阻元件的参数,反映元件阻碍电流流过的能力,为实常数,单位为欧[姆], Ω 。

电阻元件的伏安特性还可以用 $u-i$ 平面的一条直线来表示,如图 1.3.1(b)所示。它是一条通过坐标原点的直线,其斜率为 R 。

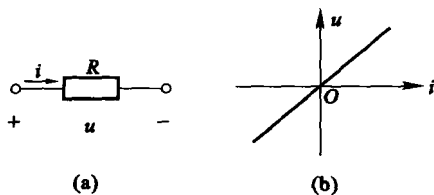


图 1.3.1 电阻元件的符号及伏安特性曲线

(a) 电阻元件的符号; (b) 电阻元件的伏安特性曲线

在端电压和电流取非关联方向时,电压与电流之间的关系可表示为

$$u = -Ri \quad (1.3.2)$$

电阻元件的伏安特性也可表示为

$$i = \frac{1}{R}u = Gu \quad (1.3.3)$$

式中, G 称为电阻元件的**电导**,反映元件导通电流的能力,单位为西[门子], S 。

在电压和电流取关联方向时,电阻元件的功率为

$$p = u \cdot i = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1.3.4)$$

1.3.2 电容元件

实际的电容器是由两金属极板中间隔以绝缘介质组成的。当有电流向电容器的极板上传输电荷时,它的极板之间就建立起电场,同时也必然储存电场能量。电容元件就是电容器的模型,其电路符号如图 1.3.2 所示。

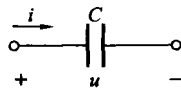


图 1.3.2 电容元件的符号

如果一个二端元件,它储存的电荷 q 和端电压 u 之间的关系满足方程

$$q = Cu \quad (1.3.5)$$

则称该二端元件为**线性电容元件**。式中, C 是电容参数,为实常数,单位:法[拉](F)、微法(μF)、皮法(pF)。它们之间的关系为

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

当电压与电流取关联方向(见图 1.3.2)时,电压为正值,电容两极板上储存大小相等、极性相反的电荷。当极板上电压 u 发生变化时,所储存的电荷量也要发生变化,在电路中就会产生电流。电压和电流的关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.3.6)$$

由上式可见,电容的电流正比于两端电压的变化率,即 $i \propto \frac{du}{dt}$ 。当电容两端电压为恒定电压时,电容的电流 $i = 0$,此时电容相当于开路。因此,电容具有隔直通交的作用。

电容元件在 t 时刻储存的电场能量为

$$w_c(t) = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1.3.7)$$

上式说明,当电容元件的端电压升高时,电场能量增大,此时电容器从外电路取用电能;当电压降低时,电场能量减小,即电容器向外电路回输电能。因此,电容元件是储能元件,它本身并不消耗电能。

1.3.3 电感元件

用导线绕制的电感线圈,通入电流将产生磁通 Φ ,并建立磁场,在线圈中也必然储存磁场能量。电感元件是电感线圈的模型,其电路符号如图 1.3.3 所示。

如果一个二端元件,它的磁链 Ψ 与其电流 i 之间的关系满足方程

$$\Psi = Li \quad (1.3.8)$$

则称该二端元件为**线性电感元件**。式中, L 是电感参数,为实常数,单位:亨[利](H)、毫亨(mH)、微亨(μH)。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H}$$

当电感上的电压、电流取关联方向时,由法拉第电磁感应定律得

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.3.9)$$

由上式可见,电感电压正比于电流的变化率,即 $u \propto \frac{di}{dt}$ 。如果电流 i 不随时间变化,为恒

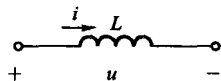


图 1.3.3 电感元件的符号