

XIAN
DAI
DIAN
QI
KONG
ZHI
JI
SHU

国防工程管理专业培训教材

现代电气控制技术

徐 斌 成 曙 编著

陕西科学技术出版社

国防工程管理专业培训教材

现代电气控制技术

徐 斌 成 曙 编著

陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制技术/徐斌,成曙编著. —西安:陕西
科学技术出版社,2006.10

国防工程管理专业培训教材

ISBN 7-5369-4147-1

I. 现... II. ①徐... ②成... III. 电气控制—技术
培训—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 118519 号

出版者 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

发行者 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印刷 西安长缨印刷厂

规格 787mm×1092mm 16 开本

印张 16.38

字数 389 千字

版次 2006 年 10 月第 1 版

2006 年 10 月第 1 次印刷

定价 240.00 元(全套)

版权所有 翻印必究

《国防工程管理专业培训教材》编委会

主 任：申福生

副主任：程德志 何增路

委 员：吴 明 姚志刚 颜景栋 付崇山

李 斌 陶玖平 黄 轶 金建平

王 锐 雷新亚 张金城 李艾华

王旭东

内容简介

本书从实际工程应用出发,介绍和讲解了电路基础知识和现代电气控制技术的基本理论。全书共6章。第1章介绍交直流电路的基本理论;第2章阐述磁路的基本知识、变压器和电动机的基本原理和使用维护;第3章叙述常用电工仪表的基本原理和电压、电流、功率的测量方法;第4章介绍常用低压控制电器;第5章分析基本电气控制线路;第6章概述可编程控制器。

本书主要作为二炮部队阵管分队及电力维护分队进行电工理论培训的教材,也可作为修理所、修配厂电工专业人员的参考用书。

前 言

随着中国特色军事变革的深入推进和军事斗争准备工作的不断加强,知识和技术已成为提高部队战斗力的主导因素。当前,二炮部队正处在一个建设和发展的关键时期,不能紧跟形势、抓住机遇,培养造就大批适应部队信息化建设的高素质新型军事人才,对贯彻落实军队新时期人才战略方针,全面提升部队战斗力,确保二炮部队作战使命能否顺利达成,具有十分重要的意义。

导弹阵地作为二炮作战之依托,是构成二炮战斗力的三大要素之一,良好的阵地综合保障能力是部队作战训练和武器装备安全贮存的重要基础。阵地保障专业门类多、技术复杂,保障的整体性、技术性、协同性和程序性强,对官兵的综合素质要求高。因此,抓紧抓好阵地管理专业人才培养和强化阵地管理专业技术培训,不仅是全面落实二炮人才资源开发战略的重要措施,也为驾驭未来战争、实现打赢目标和为部队作战训练提供强有力的技术保障奠定了坚实的人才基础。

阵地管理专业技术培训教材作为阵管官兵技术培训、人才队伍建设的技术基础,其培训内容和手段必须与部队阵地设施设备技术现状和实装训练需求同步,并适度超前。20世纪90年代,二炮装备部阵管通用装备部组织工程学院为部队编写了阵地管理专业培训系列教材(全套8册),在基层人才培训工作中发挥了重要的作用。时至今日,随着二炮阵地建设和专项整治工作的不断推进,技术更新已成为阵地工程配套建设的主流,大量新设备、新技术、新工艺、新材料在阵地工程中得到了应用,先进的管理理论、维修理论和科学方法也在阵地管理中得到了充分体现。设备系统的改进和智能化、自动化程度的不断提高,对阵管官兵的专业理论水平和使用维修技能相应提出了更新、更高的要求。为适应当前迅猛的军事技术变革、贯彻新的军事训练大纲精神、积极落实二炮阵管法规要求,2004年6月,二炮装备部阵管通用装备部组织工程学院阵地管理工程教研室启动了阵地管理专业培训系列教材的修编任务。

本次编写修订是在原系列教材基础上,根据部队阵地设施设备技术现状和实装训练需求,结合有关新设备、新系统、新技术、新理论的发展,删减教材中的陈旧内容,增补反映技术装备现状的新内容,优化调整内容安排,以适应二炮阵管官兵技术培训与实装训练的实际需要。新教材将原《阵地给排水系统及设备》《坑道通风与空气调节》《制冷原理与除湿机》《柴油机构造与使用》《电机电器与电工仪表》《阵地电站》《变配电设备与运行》等7本教材的名称进行了适当调整,维持原《阵地设备管理》教材名称不变,新编《阵地技术防范系统》《阵地信息采集与计量技术》《阵地设施使用与维护》等3本教材,每本修订教材在具体内容上都进行了优化调整。除技术性的优化调整外,增加了康明斯柴油机、PLC可编程控制器、阵地管理法规、新型除湿机、阵地技术防范系统、自动检测与计量、阵地设施维护、渗漏水治理等内容。修订后的教材共11册,全面系统地涵盖并有机构成了部队阵地管理专业训练所需的主要内容,也可供其他军兵种国防工程管理单位官兵学习和参考。

该套教材内容涉及水、风、电、控、管等各个方面,涵盖了阵地维护管理的全部专业,在

继承的基础上又有创新,系统性、科学性、专业性、实践性都很强。教材以基本概念为基础,以使用维修为重点,以培养技能为目的,突出了新技术、新设备在阵地工程中的应用,并具有一定的前瞻性。教材文字规范、图文并茂、简洁易懂,实用性和操作性强,便于部队官兵学习、使用和掌握。

教材参编人员认真总结了多年来阵管人才培养和专业技术培训的成功经验,消化吸收了教学、科研、学术、训练方面的研究成果,同时认真学习国家、军队有关专业技术标准和新时期阵管法规,积极查阅资料和认真组织调研,在阵管业务机关和各兄弟单位大力支持下,历时两年圆满完成了阵地管理专业技术培训系列教材的修订编写和出版任务。陕西科学技术出版社在本书出版过程中给予了大力支持、指导,在此一并表示衷心感谢!

阵地管理专业训练系列教材的修订出版,是二炮阵地管理工作中重要的基础性建设,必将对阵管工作产生全面而深远的积极影响。该套教材配发部队后,不仅为提升阵地综合保障能力提供了技术支撑,为阵管官兵实施科技练兵和立足岗位成才提供了专业指导,对部队建设和阵管人才培养也必将起到积极的促进作用。

二炮阵地管理专业人才培养工作任重道远,按照新型高素质军事人才培养的高标准、高要求衡量,系列教材难免存在不足,敬请各位专家和广大读者批评指正。

《国防工程管理专业培训教材》编委会主任 申福生

2006年9月

目 录

1 交直流电路	(1)
1.1 电路及基本物理量	(1)
1.2 基尔霍夫定律及应用	(16)
1.3 单相正弦交流电路	(21)
1.4 三相交流电路	(55)
2 电动机	(76)
2.1 磁场和磁路	(76)
2.2 单相变压器	(89)
2.3 仪用互感器	(94)
2.4 特殊变压器	(96)
2.5 三相异步电动机的结构及铭牌数据	(98)
2.6 三相异步电动机的工作原理	(102)
2.7 三相异步电动机的运行特性	(105)
2.8 单相异步电动机	(109)
2.9 直流电动机	(113)
2.10 三相异步电动机使用和维护	(121)
3 电气测量	(126)
3.1 电工指示仪表概述	(126)
3.2 电流、电压及功率的测量	(135)
3.3 万用表	(140)
3.4 兆欧表	(152)
3.5 感应系电度表	(155)
4 常用低压控制电器	(159)
4.1 概述	(159)
4.2 刀开关、自动开关和熔断器	(163)
4.3 主令电器	(169)
4.4 接触器	(173)
4.5 继电器	(177)
5 基本电气控制线路	(191)
5.1 电气控制线路的绘制	(191)
5.2 三相异步电动机的启动控制线路	(195)
5.3 三相异步电动机的正反转控制线路	(207)
5.4 三相异步电动机制动控制线路	(209)

5.5	三相异步电动机调速控制线路	(220)
5.6	其他典型控制线路	(229)
6	可编程序控制器概述	(232)
6.1	PLC 的产生和定义	(232)
6.2	PLC 的应用和发展	(235)
6.3	PLC 的分类	(238)
6.4	PLC 的系统组成	(240)
6.5	PLC 与继电器控制系统的区别	(243)
6.6	PLC 的工作原理	(244)
6.7	PLC 的编程语言和程序结构	(247)
附录	电气控制线路中常用图形符号和文字符号	(250)

1 交直流电路

直流电路是最基本及较为简单的电路,我们从此入手来学习“电工技术”。本章首先介绍电路的基本物理量、电路模型、电路的工作状态、电位的计算等,然后讨论基尔霍夫定律和常用电路的分析方法。接下来研究单相正弦交流电路,最后简单介绍三相交流电路。

1.1 电路及基本物理量

1.1.1 电路的作用与组成部分

电路是各种电气器件按一定方式连接起来组成的总体,它提供电流通过的路径。电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。按工作任务划分,电路的功能有两类:第一类功能是进行能量的转换、传输和分配。最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1-1 所示,其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。发电机是电源,电池也是常用的电源;电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等;输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。电路的另一种功能是传递和处理信号。输入的信号叫做激励(或信号源),输出的信号叫响应,中间部分便是对信号进行处理的一些器件。例如扩音机电路,输入的声音经话筒转换为相应的电信号,通过电子管或晶体管等元件组成的放大器放大后输出去推动扬声器(负载)发声。

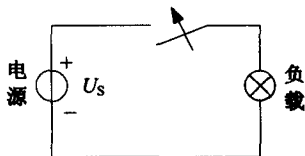


图 1-1 电路的组成

1.1.2 电路的基本物理量

(1) 电流

带电质点有规则的运动形成电流。在金属导体中,能够自由运动的是带负电的自由电子,它们在电场力作用下,逆着电场方向作有规则的运动,便形成电流。在电解液中,带电质点是带正电和带负电的正、负离子。在电场力作用下,正、负离子分别向两个方向有规则地运动,都形成电流。

表征电流强弱的物理量叫电流,电流在数值上等于单位时间内通过导体某一截面的电荷量,表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

如果电流不随时间而变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流称为恒定电流,简称直流,简写作 DC,直流常用大写字母 I 表示。式(1-1)在直流时改写为

$$I = \frac{q}{t}$$

如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流,简写作 AC。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向。例如图 1-2 所示电路,不经计算,很难确定经过 R_3 的实际电流方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的方向,称正方向或称参考方向。所选的电流参考方向并不一定与电流的实际方向一致,当电流实际方向与参考方向一致时,电流为正值;如果两者相反,则电流为负值,如图 1-3(a)、(b)所示。图中方框加两个端钮,表示任一两端元件。

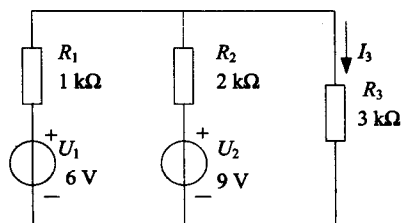


图 1-2 电流的参考方向

电流正方向在电路图中用箭头或用双下标的变量来表示,如图 1-3(a)、(b)所示。今后在电路中所标注的电流方向都是参考方向,不一定是电流的实际方向。在未标定参考方向的情况下,电流的正负值是毫无意义的。

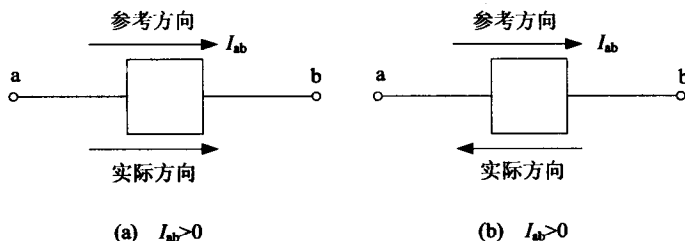


图 1-3 用箭头表示电流的参考方向

在国际单位制中,电流的单位是安培(A)。计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。 $1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}$ 。

(2) 电压

电压是衡量电场力做功能力的物理量,它在数值上等于单位正电荷受电场力作用从电路的某一点 a 移到另一点 b 所做的功 W_{ab} ,或等于单位正电荷顺着电场的方向从某一点 a 移到另一点 b 所失去的能量 W_{ab} 。如图 1-4 所示,电压 U_{ab} 的表示式如下

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

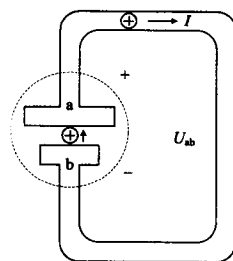


图 1-4 电荷的回路

电压总是对两点之间而言,所以用双下标 ab 表示,前一个下标 a 代表起点(正电荷运动的起点),后一个下标 b 代表终点。电压的方向则由起点指向终点,也可用箭头在图上标明或在起点标以正号(正极),终点标以负号(负极)表示。

如果电压的大小和极性都不随时间而变,则这样的电压称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示;如果电压的大小和极性都随时间变化,则称这样的电压为交流电压,其瞬时值用小写字母 u 表示。

计算较复杂电路时,电压与电流一样,实际方向较难确定。计算分析电路时,也设立电压参考方向,用正、负值表示实际方向与参考方向的关系。电压正值表明电压的实际方向与参考方向一致;电压负值说明电压的实际方向与参考方向相反。假设电压、电流的参考

方向,都是任意的,彼此可互相独立假设,但为方便起见,我们常采用关联参考方向。关联参考方向是指假定的电压正极到负极的方向也是电流假定的流动方向,即电流与电压降参考方向一致,如图 1-5(a)所示。这样,在电路图上就只需标出电流的参考方向或电压参考极性中任何一种,如图 1-5(b)、(c)所示。

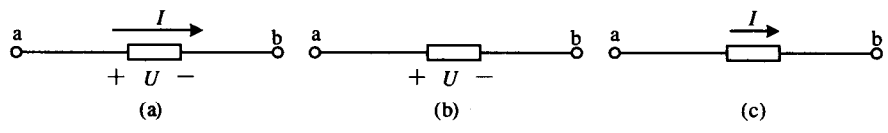


图 1-5 关联参考方向

若电压与电流的参考方向不一致,则称非关联参考方向,如图 1-6 所示。我们熟知的欧姆定律的表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR$$

这是在 U 、 I 关联参考方向下的结论。若 U 、 I 非关联,欧姆定律的表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR$$

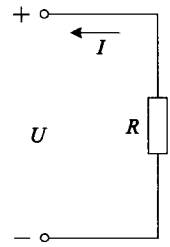


图 1-6 非关联参考方向

负号表示为当电压的参考方向与实际方向一致时,电流参考方向与电流的实际方向相反。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),也可用千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)表示。 $1\text{kV}=10^3\text{V}$, $1\text{V}=10^3\text{mV}$, $1\text{V}=10^6\mu\text{V}$ 。

(3) 电动势

电动势是衡量外力做功能力的物理量。如图 1-4 所示,外力克服电场力把正电荷从“—”极(b 点)搬运到“+”极(a 点)所做的功 W_{ab} ,与被搬运的电荷量 q 的比值,称为 a 与 b 两点间的电动势,用 E_{ab} 表示,即

$$E_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \tag{1-3}$$

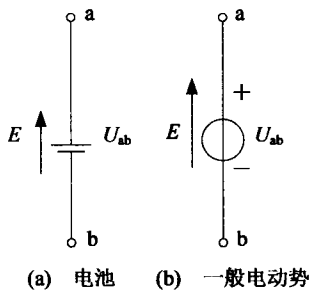


图 1-7 电动势的实际方向

在发电机中,外力由原动机(内燃机、水轮机、汽轮机)提供,推动发电机转子切割磁力线产生电动势。在电池中,则由电极与电解液接触处的化学反应而产生。外力克服电场力所做的功,使电荷得到能量,把非电能转化为电能。

电动势的实际方向,规定为负极指向正极,即为外力推动正电荷运动的方向,也可用箭头在电路图中标明。电动势的实际方向与电压实际方向相反,如图 1-7(a)、(b)所示。

电动势的国际单位用伏特(V)表示,与电压一样。

(4) 电位

电场中或电路中的某一点到参考点之间的电压,称作该点的电位。参考点也称零电位点。所以电位还可以这样定义:在电场中电场力 W_{ao} 把单位正电荷从某一点 a 移到零电位点 o 所做的功就是等于该点的电位。例如 a 点的电位为

$$V_a = \frac{W_{ao}}{q} = \frac{Fdl}{dq} \quad (1-4)$$

式中: F 表示电场力, l 是从 a 点到零电位点 o 之间的任一路径。

电路中任何一点的电位值是与参考点相比较而得出的, 比其高者为正, 比其低者为负。电位与电压同单位, 用伏特(V)表示。

电位与电压在表达形式上虽有区别, 但从本质上来讲是相同的。电路中两点之间的电压就是这两点间的电位差值; 而电路中某点的电位, 则是该点到参考点之间的电压。电位是一个相对量, 它与参考点的选取有关, 而电压是一个绝对量, 在电路中某两点之间的电压是一定的, 它与参考点的选择无关。

(5) 电功率

在直流电路中, 根据电压的定义, 电场力所做的功, 也即电荷在流动过程中所放出的电能或电路转换的能量是

$$W = qU = IUt \quad (1-5)$$

电能的国际单位是焦耳(J), 实际上, 电能的单位常用千瓦时(kW·h, 即“度”)。

电功率表示电路中的某一段所吸收或产生能量的速率。数值上是单位时间内电场力所做的功, 用 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = IU \quad (1-6)$$

若电压、电流为非关联参考方向, 则

$$P = -IU$$

如果用式(1-6)计算, 则 $P > 0$ 为吸收功率(负载或称耗能元件); $P < 0$, 则为产生功率(电源或贮能元件)。对电阻元件而言, 由于其电压与电流实际方向总是一致的, 所以电阻元件永远是吸收功率的, 具体表达式为

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

如果电压 u 和电流 i 是随时间而变化的, 则功率也随时间而变, 这时“瞬时功率”用小写字母 p 表示。

$$p(t) = i(t)u(t)$$

例 1-1 求图 1-8(a)、(b)的 U_{ab} 以及图 1-8(c)的 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 。

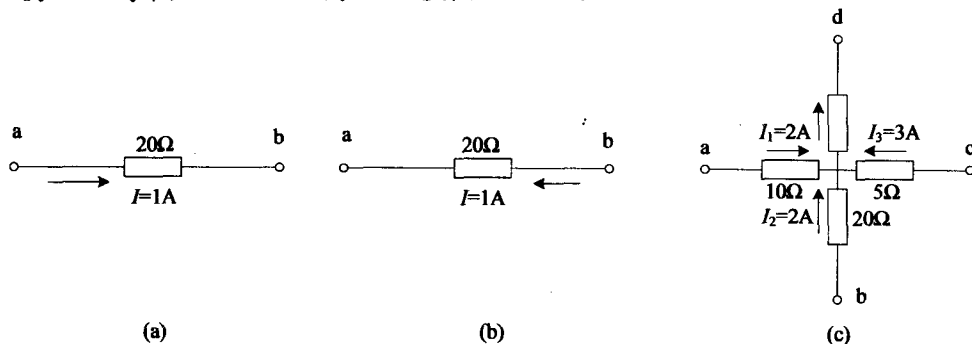


图 1-8 例 1-1 的图

解:图(a): U_{ab} 、 I 是关联参考方向

$$U_{ab} = IR = 1A \times 20\Omega = 20V$$

图(b): U_{ab} 、 I 是非关联参考方向

$$U_{ab} = -IR = -1A \times 20\Omega = -20V$$

图(c): $U_{ab} = 2A \times 10\Omega + (-2A \times 20\Omega) = -20V$

$$U_{bc} = 2A \times 20\Omega + (-3A \times 5\Omega) = 25V$$

$$U_{ac} = 2A \times 10\Omega + (-3A \times 5\Omega) = 5V$$

例 1-2 试计算图 1-9 所示各元件吸收或产生的功率。其电压、电流为:

图(a): $U = -1V$, $I = 2A$; 图(b): $U = -3V$, $I = 1A$ 。

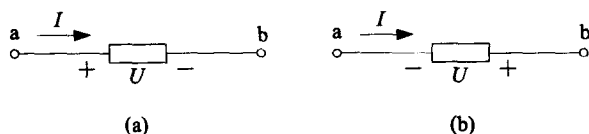


图 1-9 例 1-2 的图

解:图(a): I 与 U 是关联参考方向, $P = UI = (-1)V \times 2A = -2W$, $P < 0$, 产生 2W 的功率。

图(b): I 与 U 是非关联参考方向, $P = -UI = -(-3)V \times 1A = 3W$, $P > 0$, 消耗 3W 的功率。

1.1.3 电路模型

(1)理想电路元件

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成,电路可能是简单的,也可能是复杂的。例如一个白炽灯,它除具有消耗电能,具有电阻性质以外,还会产生磁场,具有电感性。

理想电路元件简称电路元件,通常采用的电路元件有:电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。前三种元件均不产生能量,称为无源元件,后两种电源元件是电路中提供能量的元件,称为有源元件。元件有线性和非线性之分,线性元件的参数是常数,与所施加的电压和电流无关。

1)电阻元件。

电阻元件是反映电流热效应的电路元件。在图 1-10(a)中,电压 U 和电流 I 的参考方向相同, R 是线性电阻元件,其电压、电流关系是

$$U = IR \quad (1-7)$$

这个关系称为欧姆定律, R 称为电阻,表示电阻元件特性的参数,图 1-10(b)所示为其伏安特性。

2)电感元件。

电感元件是反映电流周围存在磁场,储存磁场能量这一物理现象的电路元件,相当于一个电阻为零的线圈。

电流 i 通过电感元件 L 时,将在线圈周围产生磁场。当电流 i 变化时,磁场也随之变

化,并在线圈中产生自感电动势 e_L ,如图 1-11 所示。各电量参考方向一致时

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad \text{或} \quad u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-8)$$

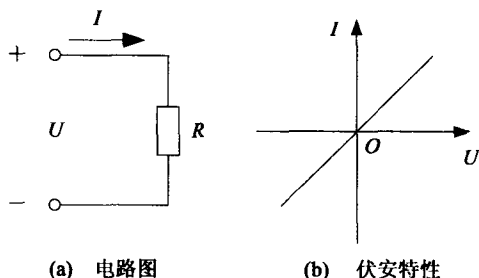


图 1-10 电阻元件

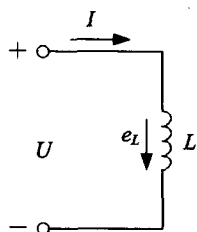
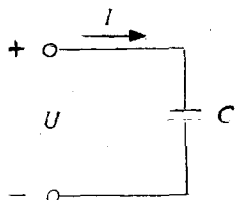


图 1-11 电感元件伏安特性

式(1-8)表明电感元件两端的电压,与它的电流对时间的变化率成正比,比例常数 L 称为电感,是表示电感元件特性的参数。当电压 u 的单位为 V,电流 i 的单位为 A 时,电感 L 的法定计量单位为亨利,简称亨(H)。

式(1-8)表明,电感元件任一瞬间电压的大小并不取决于这一瞬间电流的大小,而是与这一瞬间电流的变化率成正比。电感电流变化越快,电压越大;电感电流变化越慢,电压越小。若电感元件虽有电流,而电流不变,则其电压为零,这时电感元件如同零电阻,即电感元件相当于短路。

3) 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电路元件。图 1-12 中,电容器是由绝缘很好的两块金属板构成,当在电容元件两端加电压时,两块极板上将出现等量的异性电荷,并在两极板间形成电场。电容器极板上的电荷量 Q 与外加电压 U 成正比,即

$$Q = CU$$

式(1-12)中:比例常数 C 称为电容,是表征电容元件的参数。当电压的单位为伏特(V),电荷量的单位为库仑(C)时,则电容量的单位为法拉(F)。 $1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$ 。

当电容上的电压 U 和电流 I 的参考方向一致时

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-9)$$

上式表明,电容元件上的电流,与它两端上的电压变化率成正比。也就是说,电容元件任一瞬间电流的大小并不取决于这一瞬间电压的大小,而取决于这一瞬间电压变化的大小。电容电压变化越快,电流越大;电容电压变化越慢,电流越小。若电容元件上虽然有电压但电压不变化,则其电流为零,电容元件相当于开路。

4) 理想电压源。

理想电压源是一种能产生并能维持一定输出电压的理想电源元件,又称恒压源。理想电压源在电路中的图形符号如图 1-13(a)所示。其中 U_s 为电压源电压,“+”,“-”号表示参考极性。

如果电压源的电压是定值 U_s , 则称之为直流电压源。图 1-13(c) 是直流电压源的伏安特性。根据电压源所连接的外电路, 如果电流的实际方向由低电位端流向高电位端, 则理想电压源发出功率, 如图 1-13(a)。如果电流的实际方向由高电位端流向低电位端, 则理想电压源吸收功率, 如图 1-13(b), 这时, 理想电压源是电路的负载, 如蓄电池被充电。理想电压源上的电流可为任意值, 其值由外电路决定。

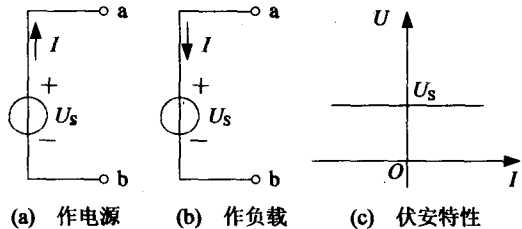


图 1-13 理想的电压源

5) 理想电流源。

理想电流源是一种能产生并能维持一定输出电流的理想电源元件, 又称恒流源。图 1-14(a) 表示理想电流源的图形符号。理想电流源不能开路, 否则其两端的电压值为无限大, 理想电流源两端的电压值由外电路决定。若理想电流源两端电压的实际方向与电流方向相反, 则理想电流源发出功率, 如图 1-14(a)。若理想电流源两端电压的实际方向与电流方向相同, 则理想电流源吸收功率, 如图 1-14(b)。图 1-14(c) 表示理想电流源的伏安特性。

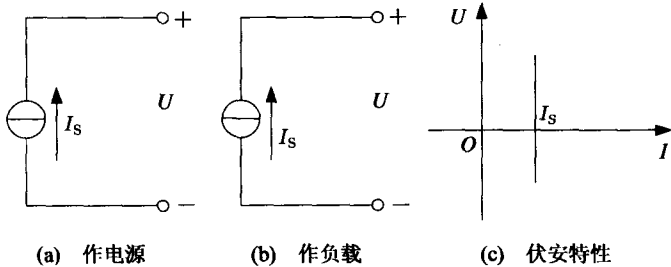


图 1-14 理想电流源

(2) 实际电源的两种模型

1) 电压源。

理想电压源实际上是不存在的, 电源内部总是存在一定电阻, 称之为内阻。例如电池是一个实际的直流电压源, 当接上负载有电流通过时, 内阻就会有能量损耗, 电流越大, 损耗越大, 输出端电压就越低。这个电池就不具有恒定电压输出的特性。由此可见, 实际电压源可以用一个理想电压源 U_s 和内阻 R_0 相串联的电路模型来表示, 如图 1-15(a) 的点

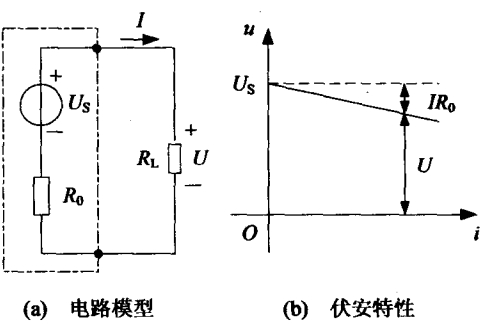


图 1-15 实际电压源

划线框。图中 R_L 为负载, 即电源的外电路。分析该电路的功率平衡情况, 有

$$U_s I = UI + I^2 R_0$$

$$U_s = U + IR_0 \tag{1-10}$$

即

上式说明,实际电压源端电压 U 低于理想电压源的电压 U_s ,其原因是存在内阻压降 IR_0 。图 1-15(b)所示为实际直流电压源的伏安特性曲线,由曲线可以看出, IR_0 越小,其特性越接近理想电压源。工程中常用的稳压电源及大型电网等工作时,输出电压基本不随外电路变化,在一定范围内可近似看作理想电压源。

2) 电流源。

理想电流源实际上是不存在的,由于内阻的存在,电流源的电流并不能全部输出,有一部分将在内部分流。实际电流源可用一个理想电流源 I_s 与内电阻 R'_0 并联的电路模型来表示。图 1-16(a)的点划线框表示一个实际电流源的电路模型。显然,实际电流源输出到外电路的电流 I 小于理想电流源电流 I_s ,其原因是内电阻 R'_0 上产生分流 $I_1=U/R'_0$,写成表达式

$$I_s = I + \frac{U}{R'_0} \quad (1-11)$$

图 1-16(b)是实际直流电流源的伏安特性,实际电流源的内电阻 R'_0 越大,内部分流越小,其特性就越接近理想电流源,晶体管稳流电源及光电池等器件在一定范围内可近似看作理想电流源。

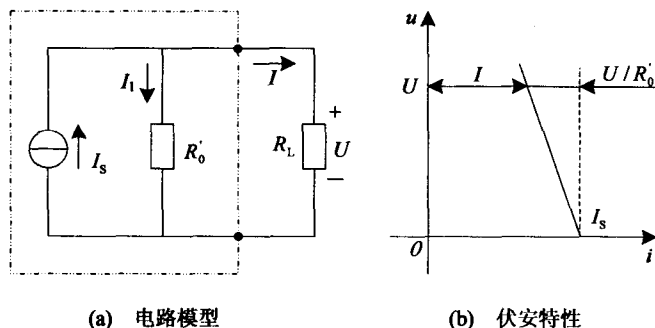


图 1-16 实际电流源

实际使用电源时,我们应注意以下三点:

①实际电工技术中,实际电压源,简称电压源,常是指相对负载而言具有较小内阻的电压源;实际电流源,简称电流源,常是指相对负载而言具有较大内阻的电流源。

②实际电压源不允许短路。由式(1-10)可看出,当负载电阻 R_L 很小甚至为零时,端电压 U 为零,这种情况叫电源短路。短路电流 $I_{sc}=U_s/R_0$,由于一般电压源的 R_0 很小,短路电流将很大,会烧毁电源,这是不允许的。平时,实际电压源不使用时应开路放置,因电流为零,不消耗电源的电能。

③实际电流源不允许开路处于空载状态。由式(1-11)可看出,负载电流 I 愈小,内阻上电流 (I_s-I) 就愈大,内部损耗 $(I_s-I)^2 R'_0$ 就愈大,所以不应使实际电流源处于空载状态。空载时,电源内阻把电流源的能量消耗掉,而电源对外没送出电能。实际电流源不使用时,应短路放置,因实际电流源的内阻 R'_0 一般都很大,电流源被短路后,通过内阻的电流很小,损耗很小;而外电路短路后电压为零,不消耗电能。

(3) 实际电源的等效变换