



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

建筑设备工程 ——建筑电气

主编 / 王莉力

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书分为电工技术、建筑电气与实训环节三大部分。第一部分主要包括电路基础概念,常用低压电气与控制电路,电子技术基础知识;第二部分主要内容有建筑供电与配电,电气照明,建筑电气安全技术,智能建筑电气;第三部分为实训环节,主要介绍了电阻元件伏安特性的测绘,基尔霍夫定律的验证,戴维南定理,单相交流串联电路,三相电路电压、电流的测量,三相鼠笼式异步电动机正反转控制等六个实验。为配合教学,各章配有难易程度和数量都较适当的习题与思考题。

本书可作为高等职业院校、成人高校的建筑类非建筑电气专业教学用书,也可供从事建筑行业工程技术人员和相关专业人员的参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程.建筑电气/王莉力主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-81133-171-4

I.建… II.王… III.①房屋建筑设备-高等学校:技术学校-教材②房屋建筑设备:电气设备-高等学校:技术学校-教材 IV.TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 018773 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.5
字 数 264千字
版 次 2008年2月第1版
印 次 2008年2月第1次印刷
定 价 25.00元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
委 员	季永青	罗东明	施祝斌	唐汝元
	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛	
	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	刘义菊	刘国范	闫世杰	李长禄
	杨永明	张亦丁	张学库	陈良政
	肖锦清	林文华	季永青	罗东明
	胡启祥	施祝斌	钟继雷	唐永刚
	唐汝元	郭江平	晏初宏	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

前 言

随着科学技术的发展,传统的建筑行业发生了深刻变化,建筑工程设备自动化已成为现代化建筑的一个重要组成部分。建筑业已发展成为一门综合性的技术科学。无论是在建筑施工、建筑照明、采暖通风、给排水等建筑类各个专业中都离不开电能的控制,所以非建筑电气专业的建筑专业技术人员掌握一定的强、弱电及建筑设备自动化的基础知识是非常必要的。以往各专业的电学知识只是在“建筑设备工程”课程中讲述,这已经远远不能满足建筑行业的需求,所以我们将“建筑设备工程”分为“暖通与给排水”、“建筑电气”两部分讲授,以满足建筑业发展的需求。

本教材以培养应用型人才为目标,以技术技能培养为本位,以基础理论够用为度,主要介绍了电工基础知识、低压电气设备、电子技术、建筑电气供电与配电、建筑电气照明、建筑安全技术、智能建筑电气技术等知识。同时为加强学生动手能力的培养和训练,增加了实验内容。

本书适于作高职高专建筑类非电专业的学生“建筑电气技术”课程的教材,也可以作为中等职业技术学校教材,同时可供相关领域的工程技术人员参考使用。

全书共分为8章,参考教学时数为30~45学时,可根据教学需要适当删减内容。

参加本书具体编写的有哈尔滨职业技术学院郑翹(第1章至第3章、第5章、第8章);王莉力(第4章、第6章、第7章)。全书由王莉力统稿。全书由哈尔滨理工大学王哈力教授担任主审。

由于我们的水平有限,编写时间仓促,书中难免出现错误和不妥之处,恳请使用本书的广大师生、读者批评指正。同时谨向被引用的各参考文献的作者表示真诚的敬意和谢意。

编 者
2008年2月

目 录

第 1 章 建筑电气的电工基础	1
1.1 直流电路	1
1.2 直流电路的基本分析方法	10
1.3 单相正弦交流电路	16
1.4 三相正弦交流电路	28
习题与思考题	35
第 2 章 常用低压电气设备及其控制电路	39
2.1 磁路与变压器	39
2.2 三相异步电动机	43
2.3 常用的低压控制电器	46
2.4 三相异步电动机的基本控制电路	52
习题与思考题	56
第 3 章 建筑电气的电子技术基础	57
3.1 半导体二极管和三极管	57
3.2 数字电路的基本知识	69
习题与思考题	77
第 4 章 建筑供电与配电	79
4.1 电力系统概述	79
4.2 民用建筑及建筑施工现场供电	84
4.3 建筑工地负荷计算	87
4.4 低压供电系统	91
4.5 低压供电线路导线的选择	96
4.6 常用低压电器的选择及配电保护装置	101
习题与思考题	108
第 5 章 建筑电气照明	110
5.1 电气照明的基础知识	110
5.2 照明电光源	113
5.3 照明器	117
5.4 照明设备安装	120
习题与思考题	123
第 6 章 建筑电气安全技术	124
6.1 人体触电预防	124
6.2 接地与接零	128
6.3 低压配电系统的保护	132
6.4 建筑防雷	136
习题与思考题	141

第7章 智能建筑技术	142
7.1 智能建筑概述	142
7.2 建筑设备自动化系统(BAS)	146
7.3 建筑中的通信自动化系统(CAS)	150
7.4 建筑中的办公自动化系统(OAS)	157
习题与思考题	161
第8章 实验技能训练	162
实验一 电阻元件伏安特性的测绘	162
实验二 基尔霍夫定律的验证	163
实验三 戴维南定理	165
实验四 交流串联电路的研究	167
实验五 三相电路电压、电流的测量	169
实验六 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	170
附录	174
参考文献	189

第1章 建筑电气的电工基础

本章主要介绍直流电路和单相、三相交流电路的基本概念、基本定律及基本分析方法。这些内容是电工学的重要理论基础,也是以后学习建筑电器、建筑供电及建筑照明的工作原理和分析计算的基础。

1.1 直流电路

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路的组成

电路是由许多电气设备或电器元件按一定方式组合起来的电流的通路。比较复杂的电路呈网状,也常被称为网络。

电路主要具有两个功能:一是在电路中随着电流的流动,它能实现电能与其他能量的转换、分配和传输,例如,发电厂的发电机将热能、水能等转变为电能,通过变压器、输电线路等输送到建筑工地,在那里电能又被转换为机械能(搅拌机)、光能(照明)等;二是用来实现信号的传递与处理,还可以实现对信息测量和存储,例如,电脑、电视可以实现对信号的处理及信息的储存,并将电信号转换为清晰的图像和声音。

不管电路的结构是简单还是复杂,电路都由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是提供电能的设备,电源的作用是将非电能转换成电能,如发电机、电池等,它是电路运行的能量源泉。

负载是用电设备,负载的作用是将电能转换成非电能,如电视机、电灯、电动机等,是电路中的主要耗能器件。

中间环节是连接电源和负载的部分,起到传输、分配、控制和处理电能或电信号的作用,如输电线、开关、保护设备等。

如图1-1(a)是一个手电筒的实际电路。

根据电路中电流的性质不同,电路可分为直流电路和交流电路。如果电路中的电压和

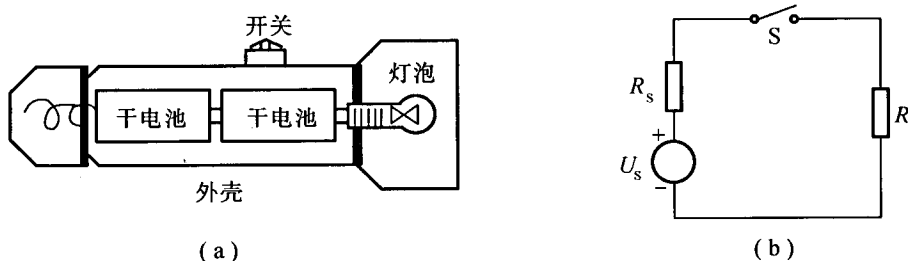


图1-1 手电筒电路图

电流不随时间变化,则这种电路称为直流电路;如果电路中的电压和电流随时间变化,则这种电路称为交流电路

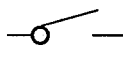
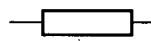





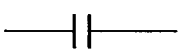
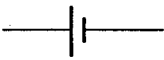
2. 电路模型与理想电路元件

为了便于理论研究,揭示电路的内在规律,根据实际电气设备和器件的主要物理特性进行理想化和简单化处理,从而建立的物理模型或数学模型被称为理想电路元件。

常见元件图形符号见表 1-1。以后的章节中就可以用这些元件或它们的组合模拟实际电路中的电气设备和器件。

由理想电路元件组成的电路称为电路模型。手电筒电路的电路模型如图 1-1(b)所示。干电池用电动势 U_0 表示,内电阻用 R_0 表示,灯泡电阻用 R 表示,开关用理想开关 S 表示。

表 1-1 常见元件图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
开关		电阻		电压	
导线		电感		电流源	
连接的导线		电容		电池	

1.1.2 电路的主要物理量

在进行电路理论的研究过程中常涉及到一些基本物理量,如电荷、磁通(磁通链)、电流、电压、电动势、能量和电功率,它们的基本单位见表 1-2。

电压、电流是客观存在的物理现象,是电路中最基本的物理量,也是具有方向的物理量,首先理解电压、电流的定义和其关于方向(或称为极性)规定并在电路中进行相应的标注,才能列出求解电路问题的计算方程。

表 1-2 物理量的基本单位

物 理 量	符号表示	基本单位
电荷	Q	库仑(C)
磁通(链)	Φ	韦伯(Wb)
电流	I	安培(A)
电压(电动势)	U	伏特(V)
能量	W	焦耳(J)
功率	P	瓦特(W)



1. 电流

电荷的定向移动形成电流。衡量电流大小的量是电流强度,简称电流。所以电流既是一种物理现象,又是一个物理量。电流强度在量值上等于单位时间内通过导体某一截面的电荷量,用符号 i 表示。即

$$i = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中 i —— dq 在极短时间 dt 内通过导体某一截面 S 的电荷量。

若电流大小和方向随时间变化的电流被称为交变电流,简称为交流(AC)。

若电流的量值和方向不随时间变化,即 q 等于定值,则这种电流称为直流(恒定)电流,简称为直流(DC)。直流电流常用大写的字母 I 表示,即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

通常规定,正电荷的运动方向为电流的实际方向。由于电路中实际运动的是电子,所以电流的方向是电子移动的反方向。

在国际单位制(SI)中,若电荷的单位为库仑(C),时间的单位为秒(s),则电流的单位为安[培](A),即若 1 s 内通过某处的电荷量为 1 C,则电流为 1 A。在计量较小的电流时,电流强度单位是 mA(毫安), μ A(微安)。它们的关系为

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

电流方向的表示方法有两种:用箭头表示;用双下标表示。如 I_{ab} (表示电流从 a 流向 b), I_{ba} (表示电流从 b 流向 a)。

2. 电位与电压

(1) 电位 电荷在电场或电路中具有一定的能量,电场力将单位正电荷从某一点沿任意路径移到参考点所做的功称为该点的电位或电势。电位是一个相对物理量,任意一点的电位都是相对参考点而言的。所以计算电位首先要选择好参考点,参考点的电位一般规定为零。某点电位比参考点高,该点电位为正,反之为负。参考点一般指定电路中接地或接机壳的点。

电路中任一点的电位(如 A 点)可用 U_A 或 u_A 表示。

(2) 电压 电路中 A, B 两点间的电位差称为电压 U_{AB} ,即将单位正电荷从 A 点移到 B 点电场力所做的功。例如, A, B 两点的电位分别为 U_A, U_B ,则两点之间的电压 U_{AB} 为

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-3)$$

$$U_{AB} = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

式中 W ——电场力所做的功。

按电压随时间变化的情况,可分为直流电压与交流电压。当电压的大小和方向不随时间变化时,称为直流(恒定)电压,通常用大写字母 U 表示。

在国际单位制中,电位、电压的单位是:伏[特](V),简称伏。若电场力将 1 C(库仑)正电荷由 A 点转移到 B 点时所做的功为 1 J(焦耳),则 A, B 两点间的电压为 1 V。电压的单位还有 μ V, mV 和 kV。它们的关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$$

电压表明了单位正电荷在电场力作用下转移时所做的功,也就是转移过程中电能的减少,而减少电能体现为电位的降低,电压的实际方向是电位降低的方向。

电压方向的表示方法有三种:用+、-号表示相对极性的正负;用箭头表示电压降的方向(从正极指向负极);用双下标表示,如 U_{AB} (表示正极为A,负极为B), U_{BA} (表示正极为B,负极为A)。

3. 电动势

电动势是一个描述电源内部特性的物理量。从电源外电路看,正电荷在电场力的作用下,从高电位向低电位移动,形成了电流,即电源使电荷移动做功。为了使电流维持下去,电源必须依靠其他非电场力(如电池的化学能、发电机的机械能)把正电荷从电源的低电位端(负极)移到高电位端(正极),这时非电场力对电荷做了功,而非电场力对电荷做功的大小就用电动势来衡量。非电场力也称为电源力。电源电动势等于电源力将单位正电荷从负极移到正极所做的功,用符号 E 表示。

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-5)$$

电动势是衡量外力做功能力的物理量,表明了单位正电荷在电源力作用下转移时增加的电能,而增加电能体现为电位的升高(从低电位点到高电位点),所以电动势的方向是电位升高的方向,规定为在电源内部由低电位端(“-”极)指向高电位端(“+”极),可见电动势的实际方向与电压实际方向相反。电动势的单位也是伏[特](V)。

按电动势随时间变化的情况,可分为直流电动势与交流电动势。如果电动势的大小和方向都不随时间变化时,称为直流(恒定)电动势,通常用大写字母 E 表示。

4. 电功率

在电路中,正电荷受电场力作用从高电位流向低电位,在转移过程中电能减少。减少电能意味着电能转换为其他形式的能量,即被电路吸收(消耗)。将电能转换的速率称为电功率,简称为功率。即电功率就是电场力在单位时间内所做的功,用符号 p 表示,即

$$p = \frac{w}{t} \quad (1-6)$$

$$\text{由于 } u = \frac{w}{q}, i = \frac{q}{t}$$

$$p = ui \quad (1-7)$$

上式表明,电路元件所吸收的电功率等于元件中的电压和电流的乘积。当元件上的电压和电流为直流电压 U 和直流电流 I 时,电功率通常用大写字母 P 表示。依据欧姆定律,可得出负载电阻 R 消耗的电功率

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

在国际单位制中,若时间的单位为秒(s),功的单位为焦耳(J)时,功率的单位为瓦特(W),即若1秒内电场力所做的功为1J,则电功率为1W。可见上式中当电压和电流的单位分别取伏[特](V)和安[培](A)时,功率的单位为瓦特(W)。还可以采用千瓦(kW)或毫瓦(mW)表示。它们的关系是

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$$

5. 电能

电能是指一段时间内电路所消耗的能量。

$$W = Pt \quad (1-9)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦[耳],符号为J,它等于功率1W的用电设备在1s内消耗的电能kW·h。在实际应用时还采用千瓦时作为电能的单位,它等于功率1kW的用电设备在1h(3600s)内消耗的电能,简称为1度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$$

1.1.3 电流和电压的参考方向

在电路的分析计算中,流过某一段电路或某一元件的电流实际方向或两端电压的实际方向往往不知道,我们可以任意假定一个电流方向或电压方向,当假定的电流方向或电压方向与实际方向一致取正,相反取负。假定的电流、电压方向称作电流、电压的参考方向。

1. 电流的参考方向

如图1-2所示,当电流的参考方向与实际方向一致时, $I > 0$;当电流的参考方向与实际方向相反时, $I < 0$ 。



图1-2 电流的方向

2. 电压的参考方向

如图1-3所示,当电压的参考方向与实际方向一致时, $U > 0$;当电压的参考方向与实际方向相反时, $U < 0$ 。

当电流的方向与电压方向选取一致时,称为关联参考方向,如图1-4所示。



图1-3 电压的方向

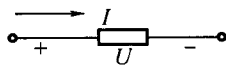


图1-4

1.1.4 电路的基本定律

1. 欧姆定律

欧姆定律是最基本的电路定律。它的基本定义为流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。在电流、电压的关联参考方向下,欧姆定律的表达式为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-10)$$

R 为该段电路的电阻。当电压一定时,电阻越大,则电流越小,所以电阻对电流起着阻碍的作用。电阻 R 的单位是欧姆(Ω),常用电阻的单位还有 $\text{k}\Omega$ (千欧), $\text{M}\Omega$ (兆欧)等,即

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega$$

如果电路中电压与电流的参考方向选择不一致,如图1-5所示,这时该电阻上欧姆定律的表达式为

$$U = -RI \quad (1-11)$$

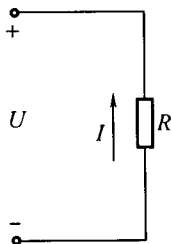


图1-5 非关联参考方向下的欧姆定律

所以在应用欧姆定律时,一定要注意电压与电流的参考方向是否一致,在非关联参考方向下,表达式中有一个负号。

如果电阻是一个与流过它的电流无关的常数,这样的电阻称为线性电阻。线性电阻上电压与电流之间的关系遵从欧姆定律,其伏安特性曲线是一条过原点的直线,如图 1-6 所示。一般所分析的电路中的电阻未加特别说明,都属于线性电阻。

凡是电压与电流之间的关系不具有这样一条直线关系的电阻都称为非线性电阻。如图 1-7 所示的半导体二极管的伏安特性曲线表明二极管属于非线性电阻。

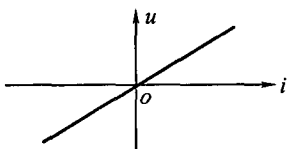


图 1-6 线性电阻的伏安特性

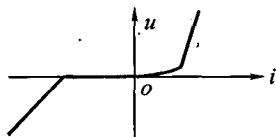


图 1-7 二极管的伏安特性

2. 基尔霍夫定律

在电路中,常会遇到有两个以上含有电源的支路组成的多回路电路,像这种不能运用电阻串、并联分析方法将它化简成无分支单回路的电路称为复杂电路,复杂电路的分析除用电阻串、并联的化简和欧姆定律来求解外,还需用基尔霍夫定律。基尔霍夫定律从电路结构上描述了电路中电流和电压的约束关系,与各元件的性质无关。为便于介绍基尔霍夫定律,结合图 1-8 介绍几个术语。

支路:几个二端元件串联而成的没有分支的一段电路称为支路。图 1-8 中共有 3 条支路,分别是 acb , adb , aeb 。流过支路的电流称为支路电流,支路两端之间的电压称为支路电压。

节点:电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为节点。图 1-8 中共有两个节点,它们是 a 点和 b 点。

回路:由几条支路构成的闭合路径称为回路,即回路就是一个闭合的电路。图 1-8 中共有 3 个回路,分别是 $aebca$, $adbca$, $adbca$ 。

网孔:网孔是回路的一种,是未被其他支路分割的单孔回路,即回路内部不另含有支路。图 1-8 中共有两个网孔,分别是 $aebca$, $adbca$ 。

(1) 基尔霍夫电流定律

流入某处某一电荷量的电荷,必须同时从该处流出同一电荷量的电荷,这一结论称为电流的连续性原理。基尔霍夫电流定律就是电流的连续性原理在电路中的体现,是用来确定连接在同一节点上各支路电流之间的关系的定律,也称为基尔霍夫第一定律,缩写为 KCL。

基尔霍夫电流定律:电路中的任一节点,在任意时刻,流入该节点的全部支路电流之和等于流出该节点的全部支路电流之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-12)$$

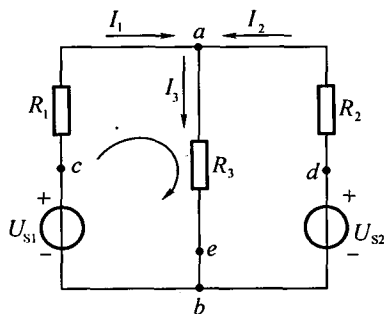


图 1-8 基尔霍夫定律举例

KCL又可等价地描述为:电路中任一节点,在任意时刻,流经该节点的全部支路电流的代数和恒等于零,即

$$\sum_{k=1}^b I_k = 0 \quad (1-13)$$

式中 b ——该节点上的支路个数;

I_k ——回路中第 k 个支路的电流。

上式中,按电流的参考方向列写方程,规定流入节点的电流取“+”号,流出节点的电流取“-”号。也可作相反规定,结果是等效的。图1-8中,对于节点 a 有

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{即} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

KCL通常用于节点,但是也可以把它推广运用于电路的任一包围几个节点的封闭面,根据电流连续性原理对于一个封闭面,电流必须是连续的,所以通过该封闭面电流的代数和也应等于零,即流出封闭面的电流等于流入封闭面的电流。在分析电路时,必须先假定电流的参考方向,在图上明确标示出来,然后再列写方程。流入节点和流出节点一律以参考方向为准。

例1-1 如图1-9所示,列出图中各节点的KCL方程。

解 取流入节点的电流为正

$$\text{节点 } a \quad I_1 - I_4 - I_6 = 0$$

$$\text{节点 } b \quad I_2 + I_4 - I_5 = 0$$

$$\text{节点 } c \quad I_3 + I_5 + I_6 = 0$$

$$\text{以上三式相加: } I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

由此可见,可以把KCL推广运用于封闭面。

(2)基尔霍夫电压定律

电荷在电场中从一点移到另一点时,它所具有能量的改变量只与这两点的位置有关,与移动的路径无关。电路中,在任一时刻,从任一节点出发经过两个不同的路径到达另外一个节点,电压相同。基尔霍夫电压定律就是电压与路径无关这一性质在电路中的体现,是用来确定连接在同一回路中各支路电压之间的关系定律,也称为基尔霍夫第二定律,简称KVL。如图1-10所示电路中的一个回路 $abcd$,各支路电压的参考方向如图示,各电压为 u_1, u_2, u_3 。由节点 a 开始经路径 ab 到达另外一个节点 b ,其电压为 $u_{ab} = u_1$ 。而从节点 a 出发经

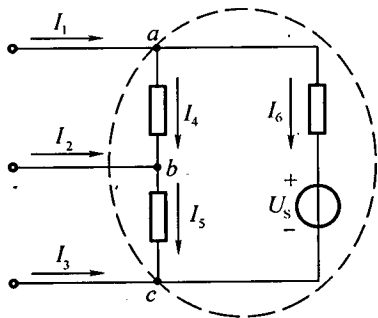


图1-9 例1-1电路图

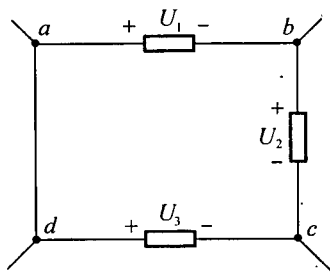


图1-10 KVL说明电路

过另一路径 $adcb$, 电压为各支路电压的代数和为 $u_{ab} = u_3 - u_2$ 。

$$\text{即} \quad u_1 = u_3 - u_2 \quad (1-14)$$

$$\text{上式变换为} \quad u_1 + u_2 - u_3 = 0$$

基尔霍夫电压定律: 对于电路中的任一回路, 在任意时刻, 沿任一闭合路径绕行一周, 回路上的各支路电压的代数和恒等于零。即

$$\sum_{k=1}^b U_k = 0 \quad (1-15)$$

式中 b ——该回路所包含的支路个数;

U_k ——回路中第 k 个支路的电压。

如果回路中电阻元件两端的电压改用电阻与电流得乘积来表示, 电源电压用电动势表示, 则上式还可以表示为

$$\sum RI = \sum U_s \quad (1-16)$$

图 1-8 所示电路中, $aebca$ 回路由式 (1-15) 可列出

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_s$$

应用基尔霍夫电压定律分析计算时, 要首先假设回路得绕行方向。电压、电流的参考方向与回路绕行方向一致时取正号, 相反时取负号。电动势的参考方向与回路绕行方向一致时取负号, 相反时取正号。

例 1-2 如图 1-11 所示, 所有回路按顺时针方向绕行一周, 请列出 KVL 方程。

解 对回路 I 列写 KVL 方程: $U_2 + U_3 = U_1 + U_4$ 或 $-U_1 + U_2 + U_3 - U_4 = 0$

对回路 II 列写 KVL 方程: $U_5 + U_6 = U_7 + U_3$ 或 $U_5 + U_6 - U_7 - U_3 = 0$

对回路 III 列写 KVL 方程: $U_2 + U_5 + U_6 = U_7 + U_4 + U_1$ 或 $-U_1 + U_2 + U_5 + U_6 - U_7 - U_4 = 0$

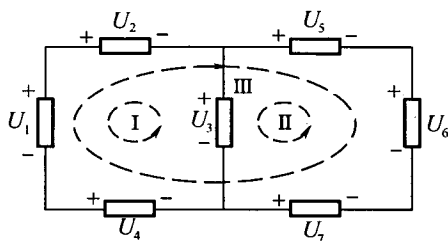


图 1-11 例 1-2 电路图

1.1.5 电路的工作状态

电源电路具有三种工作状态: 开路、短路及有载工作状态。这三种工作状态可能是正常工作状态, 也可能是故障状态。

1. 有载状态

电源与线性电阻元件构成闭合回路, 开关闭合, 电路中有电流流过, 此时电路处于正常的有载工作状态, 如图 1-12(a) 所示。处于有载状态时电路具有下列特征

$$U = IR = U_s - IR_s$$

$$P = UI = I^2 R = \left(\frac{U_s}{R_0 + R} \right)^2 R$$

2. 短路

短路是指电源的两个输出端短接在一起, 如图 1-12(b) 所示。发生短路时电流不再流经负载, 回路中只有阻值极小的内阻 R_s , 因此, 这时电流相当大, 称为短路电流 I_{sc} 。发生短

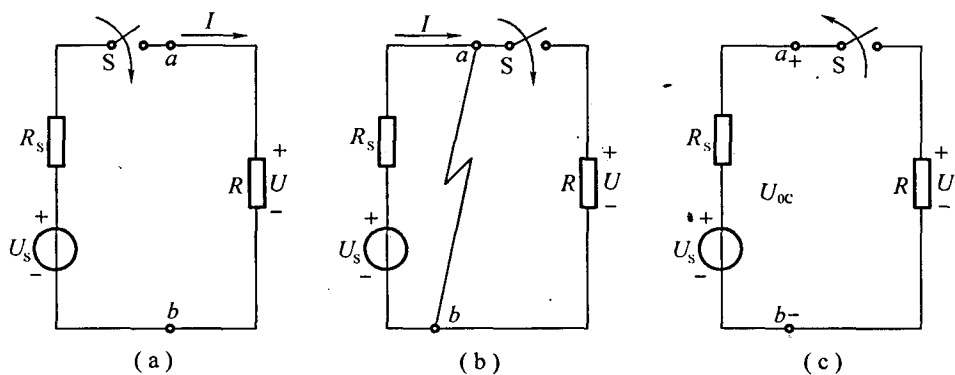


图 1-12 电路的工作状态

(a)有载状态;(b)短路状态;(c)开路状态

路时,电源的输出端电压为零,电源产生的电功率全部消耗在内阻上。

$$U = 0, I = \frac{U_s}{R_s} = I_{sc} \text{ (短路电流)}$$

$$P_s = I_{sc}^2 R_s \quad P = 0$$

短路是一种严重的事故,会对电源及线路上的其他设备造成严重损坏,因此常在电路中串联保险、自动断路器等保护设备,以发生短路时快速切断回路,保障电路的安全。

当然短路事故是应当尽量避免的,但有时在调试、检查设备或为了对设备进行某些保护时也常常采用短路的方式,这种情况则为正常短路。

3. 开路

当电源与负载没有形成回路时,电路处于开路状态。如图 1-12(c)所示,此时电路中的电流为零,因此电源内阻及负载上都没有电压降,这时电源的端电压称为空载电压 U_{oc} ,它等于电源的电动势 U_s ,而电源输出的电功率为零。

$$I = 0, U = U_s = U_{oc} \text{ (开路电压)}, P = 0$$

当电路开路是由于开关断开引起的时,这是正常开路,如果是由于电路中线路上的接触不良或元件的损坏造成的开路,则为故障开路。

任何一个实际的电气设备,为了使其能安全可靠、经济运行,引入了电气设备额定值,就是电气设备在电路的正常运行状态下能承受的电、允许通过的电流以及它们吸收和产生功率的限额。常用下标 N 表示,如 U_N, I_N, P_N 等。当设备按照其额定值运行时,称为额定工作状态,也称为满载运行,未达到额定值的运行称为欠载运行,超过额定值则为超载。设备应尽量工作在额定状态,以达到最佳的技术经济效能,而欠载及超载状态则应尽量避免,特别是长时间或过量超载,常常会烧坏电源或用电设备,所以在使用电气设备时一定要注意不要超过其额定值。

例 1-3 某工地的照明负载为 20 盏 220 V, 100 W 的白炽灯,问在点燃 20 盏灯和点燃 10 盏灯的情况下,电源提供给照明负载的总电流及总功率分别是多少? 电源所带照明负载的总电阻分别是多少? 如果每日照明 10 小时,则 20 盏灯每月照明用电量为多少?

解 因为白炽灯的额定电压为 220 V,所以它们应全部并联在 220 V 的电网上,每盏灯

流过的额定电流为： $I_N = P_N / U_N = 100 / 220 \text{ A} = 0.45 \text{ A}$

20 盏灯时照明负荷的总电流为： $I_1 = 20 \times I_N = 20 \times 0.45 = 9 \text{ A}$

电源提供的总功率： $P_1 = U_N I_1 = 220 \times 9 = 1980 \text{ W}$

照明负荷的总电阻： $R_1 = U_N / I_1 = 220 / 9 = 24.4 \Omega$

10 盏灯时照明负荷的总电流为： $I_2 = 10 \times I_N = 10 \times 0.45 = 4.5 \text{ A}$

电源提供的总功率： $P_2 = U_N I_2 = 220 \times 4.5 = 990 \text{ W}$

照明负荷的总电阻： $R_2 = U_N / I_2 = 220 / 4.5 = 48.9 \Omega$

按每月 30 天计，则 20 盏灯的用电量为： $W = P_1 t = 1.98 \times 10 \times 30 = 594 \text{ kW} \cdot \text{h}$

可见，点燃的电灯越多，电源提供的电流及功率越多，这时称为负载的增加，但此时所带负载的电阻却在减小，所以，负载的增加是指功率的增加而不是电阻的增加，电源所带负载越多则总的负载电阻越小。

1.2 直流电路的基本分析方法

1.2.1 电阻的连接及等效变换

1. 等效变换的概念

在对电路进行分析计算时，将多个元件组成的电路简化为只有少数几个元件或者一个元件组成的电路，并确保未被化简电路的电压和电流保持不变，这种变换称为等效变换。

如图 1-13 所示电路， N_1 和 N_2 通过两个端钮和外部电路相连，它们的内部电路不一定相同，如果电压和电流的关系完全相同，则说明两个端口电路是等效的。

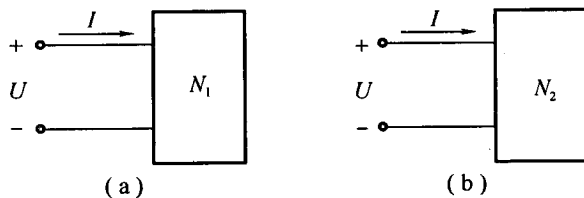


图 1-13 等效电路

2. 串联电阻的计算

两个或两个以上的电阻一个接一个地顺序相连，就称为电阻的串联。串联电路的一个重要特点就是在串联电阻中流过的是同一个电流。电阻串联后可用一等效电阻来代替。

如图 1-14 所示电路，设 N_1 和 N_2 两个电路均由线性电阻组成，其内部不含独立电源，则

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-17)$$

经等效变换后，在同一个电压 U 的作用下，电流 I 保持不变，所在的串联电路中，等效电阻等于各个串联电阻之和。

当多个电阻串联时，其各自电压为