

高等学校适用教材

电工与电子技术

DianGong

Yu DianZi JiShu

侯文 忻尚芝 主编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校适用教材

图章副编(CIP)数据

ISBN 978-7-5026-3043-3

电工与电子技术

要 點 容 內

本书共分11章。第1章为绪论，介绍电工与电子技术的发展概况、应用范围及学习方法。第2章为直流电路，介绍电路的基本概念、基本定律及基本计算方法。第3章为交流电路，介绍正弦交流电的基本概念、基本定律及基本计算方法。第4章为三相交流电路，介绍三相交流电的基本概念、基本定律及基本计算方法。第5章为电动机，介绍三相异步电动机的基本结构、工作原理及基本计算方法。第6章为变压器，介绍变压器的基本结构、工作原理及基本计算方法。第7章为继电器-接触器控制，介绍继电器的基本结构、工作原理及基本计算方法。第8章为可编程控制器，介绍可编程控制器的基本结构、工作原理及基本计算方法。第9章为变频器，介绍变频器的基本结构、工作原理及基本计算方法。第10章为电力电子技术，介绍电力电子技术的基本概念、基本定律及基本计算方法。第11章为单片机，介绍单片机的基本结构、工作原理及基本计算方法。

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/侯文,忻尚芝主编. —北京:中国计量出版社,2009.7

高等学校适用教材

ISBN 978-7-5026-3042-3

I. 电… II. ①侯…②忻… 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(2009)第 083923 号

内 容 提 要

本书是为非电类本科专业设置的“电工电子学”课程而编写的教材。全书共分 11 章,包括电路基础、电工设备、模拟电子技术和数字电子技术等内容。详细介绍了电路的基础知识、电路的基本分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态分析、变压器与交流电动机、半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器及应用、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路的知识。

本书重点突出,概念清晰,用简明易懂的语言来叙述各部分的内容。编写过程中考虑到不同专业的实际需要,在保证“电工电子学”课程基本要求的情况下,对部分内容做了拓展,供教师选讲和读者自学参考。

本书适合作为非电类理工科本科学生的专业教材,也可作为相关专业读者自学的参考用书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×960mm 16 开本 印张 18.75 字数 343 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000 定价:35.00 元

编 委 会

主 编 侯 文 忻尚芝

编 委 蒋 玲 李玉凤 夏 耘

易映萍 忻尚芝 侯 文

前言

本书是为非电类本科专业设置的“电工电子学”课程而编写的教材。

随着高等院校教学改革的深入,专业设置的宽度增大,而每门课程的学时数在删减。因此,需要有新的教材与之相适应,本书就是在这种背景下编写的。

本教材力求做到简明扼要,原理与应用相结合,知识覆盖面较宽,取材以工程实践所需的电工电子学的基本概念、基本应用和基本技能为主。全书共分11章,包括电路基础、电工设备、模拟电子技术和数字电子技术4部分内容。在电路基础部分,加强了基础训练及其应用,避免一些复杂电路的计算;在电工设备部分,重点介绍了变压器和三相异步电动机的原理和使用方法;在模拟电子技术部分,加强了运算放大器和功率放大器的应用介绍,尽量减少分立元件电路的定量分析;在数字电子技术部分,着重介绍了数字逻辑电路的设计思想和应用。编写过程中考虑到不同专业的实际需要,在保证“电工电子学”课程基本要求的情况下,对部分内容做了拓展,供教师选讲和读者自学参考。本书充分考虑学生的自学需要,力求做到重点突出、概念清晰、用简明易懂的语言来叙述各部分的内容。本教材的参考学时为64学时,实验内容单独设课。

参加本书编写工作的有蒋玲(第1、2章)、李玉凤(第3、4章)、侯文(第5、6章)。夏耘(第7章、第8章1~6小节)、易映萍(第8章7小节、第9章)、忻尚芝(第10、11章)。侯文负责第一、二部分电工技术的统稿,忻尚芝负责第三、四部分电子技术的统稿。

在本书编写过程中,得到了钱伟康、刘华、钱建秋老师和电工电子教研室其他老师的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,以及时间仓促,不当之处及错误在所难免,诚请使用本书的师生和读者批评指正。电子邮箱:wenhou@citiz.net

编者

2009年3月于上海理工大学

目 录

第 1 章	电路的基础知识	1
1.1	电路和电路模型	1
1.2	电路的基本物理量及其参考方向	2
1.3	欧姆定律	6
1.4	电路的工作状态	8
1.5	基尔霍夫定律	11
	习 题	15
第 2 章	电路的基本分析方法	18
2.1	电阻电路的等效变换	18
2.2	电压源与电流源及其等效变换	21
2.3	支路电流法	26
2.4	结点电压法	29
2.5	叠加定理	31
2.6	戴维宁定理	33
	习 题	36
第 3 章	正弦交流电路	41
3.1	正弦量的基本概念	41
3.2	复数	45
3.3	电路定律的相量形式	48
3.4	RLC 串联的交流电路	56
3.5	阻抗的串联和并联	65
3.6	电路的谐振	69
	习 题	74
第 4 章	三相交流电路	78
4.1	三相电源	78
4.2	三相电路的分析	81
4.3	三相功率	89
	习 题	92
第 5 章	电路的暂态分析	94
5.1	暂态原因与换路定律	94

	5.2 RC 电路的暂态分析及三要素法	97
	5.3 RL 电路的暂态分析及三要素法	103
	习 题	107
第 6 章	变压器与交流电动机	110
	6.1 交流铁心线圈电路	110
	6.2 变压器	112
	6.3 三相交流异步电动机	117
	习 题	131
第 7 章	半导体二极管和三极管	134
	7.1 半导体的基础知识	134
	7.2 PN 结	136
	7.3 半导体二极管	138
	7.4 半导体三极管	146
	习 题	154
第 8 章	基本放大电路	157
	8.1 共发射极基本放大电路的组成	157
	8.2 放大电路的静态分析	160
	8.3 放大电路的动态分析	163
	8.4 静态工作点的稳定	173
	8.5 射极输出器	179
	8.6 多级放大电路	182
	8.7 互补对称功率放大电路	185
	习 题	193
第 9 章	集成运算放大器及应用	198
	9.1 直接耦合多级放大电路的零点漂移现象	198
	9.2 差分式放大电路	199
	9.3 集成运放概述	210
	9.4 理想集成运放的线性应用	215
	9.5 理想集成运放的非线性应用	224
	习 题	227
第 10 章	门电路和组合逻辑电路	235
	10.1 基本逻辑运算及门电路	236
	10.2 逻辑代数	238
	10.3 逻辑函数化简	242

	10.4 组合逻辑电路的分析	248
	10.5 两种常用的组合逻辑电路	250
	10.6 组合逻辑电路的一般设计方法	253
	习 题	256
第 11 章	触发器和时序逻辑电路	260
	11.1 触发器	260
	11.2 时序逻辑电路分析	268
	11.3 时序逻辑电路设计	272
	习 题	275
附 录		280
	附录 A 国际单位制(SI)的词头	280
	附录 B 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数	281
	附录 C 元器件的型号与性能简介	281
	附录 D Y 系列电动机技术数据	284
	附录 E 半导体分立器件型号命名方法	285
	附录 F 美国标准信息交换码(ASC II)	286
	附录 G 常用逻辑符号对照表	286
参考文献		290

第1章 电路的基础知识

本章讨论的问题

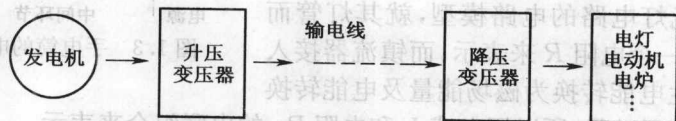
- 电路按功能可分为几类？什么是电路模型？
- 在电路分析中为什么要设定电压、电流的参考方向？什么是关联参考方向？
- 电位与电压的区别是什么？
- 如何判断元件在电路中是发出功率还是吸收功率？
- 什么是电路的有载工作状态？电气设备额定值的意义是什么？
- 什么是基尔霍夫定律？

1.1 电路和电路模型

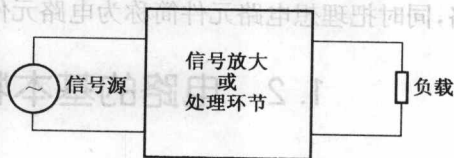
1.1.1 电路的功能和组成

电路是由电气设备或器件按一定的方式连接起来的电流的通路。

电路的功能主要有两类。一类是以电能的生产、传输、分配和消耗为主的电力电路。在电力系统中，发电机组把热能、水能、原子能转换成电能，通过变压器、输电线路输送和分配到户，用户则根据需要将电能转换为机械能、光能和热能等。其示意图如图 1.1 所示。



另一类电路是信号电路其示意图如图 1.2 所示，它用于电信号的产生、变换和处理。通过电路元件将信号源的信号变换或加工成所需的输出信号。如收音机和电视机，通过接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换成相应的电信号，然后通过电路将信号进行传递和处理（调谐、变频、检波、放大等），送



到扬声器和显像管,还原为原始信息。

电路虽然繁简不一,但作为电路的基本组成必须具有电源(或信号源)、负载和中间环节。通常把由非电能转换为电能的供电设备称为电源,将非电信号转换为电信号的器件称为信号源。用电设备和器件称为负载,常见的有电灯、电动机、扬声器等。中间环节起传输、分配和控制电能的作用,最简单的中间环节就是开关和导线,而实际电路的中间环节可能是相当复杂的。

不论电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,我们将电源或信号源称为激励,在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

电气设备和器件种类繁多,即使是很简单的电气设备,在工作时所发生的物理现象也是很复杂的。例如一个实际的线绕电阻器,电流通过时,除了对电流呈现阻力外,还会产生微弱的磁场,因而具有电感的性质。

为了便于对实际电路进行分析和用数学表达式精确地描述,将实际元器件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看成理想电路元件。除了理想电阻元件 R 之外,还有电感元件 L 、电容元件 C 以及理想电源等。由一些理想电路元件所组成的电路,称为实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。

例如手电筒的实际电路中含有干电池、电珠、开关和筒体,图 1.3 所示为手电筒的电路模型,电路中表示电珠的电阻元件参数为 R ;干电池是电源元件,其参数为电压 U_s 和内阻 R_0 ;包括开关的筒体是连接干电池与电珠的中间环节。

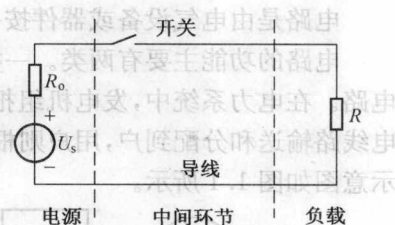


图 1.3 手电筒的电路模型

又如日光灯电路的电路模型,就其灯管而言,可近似用一个电阻 R 来表示,而镇流器接入电路时将发生电能转换为磁场能量及电能转换为热能两种物理过程,所以用电感 L 和电阻 R_L 的串联组合来表示。

今后本书所讲述的电路一般均为由理想电路元件构成的电路模型而非实际电路,同时把理想电路元件简称为电路元件。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

1.2.1 电流

电荷在电场作用下做有规则的定向运动称为电流,其大小等于单位时间内通

过导体横截面的电荷量。

电流的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电流,用大写字母 I 表示。在交流电技术中,用 i 表示电流的瞬时值, I 表示有效值(均方根值)。

国际单位制中,电流的单位为安培,简称为安,用字母 A 表示。在电力系统中,电流的单位常为几安培、几十安培甚至更大;而在电子技术中经常遇到较小的电流,是以 mA(毫安)或 μA (微安)为单位来计算的。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。对于比较复杂的直流电路,往往事先不能确定电流的实际方向;对于交流电,电流的实际方向是随时间而变化的,也无法在电路图中标出它的实际方向。为方便电路分析,常任意选择一个方向作为电流的参考方向(在电路图中用箭头表示)。所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的参考方向与电流的实际方向一致时,电流值为正,如图 1.4 (a)所示;若与电流的实际方向相反,则电流值为负,如图 1.4 (b)所示。因此,在参考方向选定之后,电流值才有正负之分。

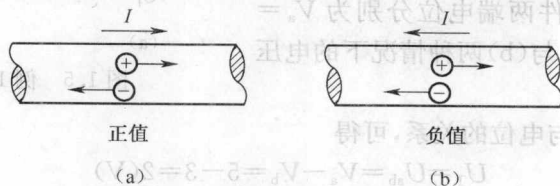


图 1.4 电流的参考方向

1.2.2 电位与电压

电路中某点的电位定义为电场力把单位正电荷由该点移至参考点所做的功。

在分析电路尤其是电子线路时,常常需要计算电路中某点的电位。为了确定某点的电位,必须事先在电路中选定某一点作为“参考点”。参考点的电位通常规定为零。由此可见,电路中某点的电位就是该点到参考点的电压。在电位计算中应注意以下两点:

(1) 参考点选取的不同,电路中各点的电位也不同,也就是说,某一点的电位与参考点的选取密切相关。

(2) 参考点选取的不同,并不影响两点之间电压的大小,即两点之间电压的大小与参考点的选取无关。

电路中 a、b 两点间的电压定义为电场力把单位正电荷由 a 点移至 b 点所做的功。

电压的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电压,用大写字母 U 表示。在交流电技术中,用 u 表示电压的瞬时值, U 表示有效值(均方根值)。

国际单位制中,电压的单位为伏特,简称为伏,用字母 V 表示。在测量中也可用 kV(千伏)、mV(毫伏)和 μV (微伏) 为单位表示。

在电路中 a, b 两点间的电压常称为 a, b 两点间的电位差。

在电路中 a, b 两点间的电压常称为 a, b 两点间的电位差。式(1.1)中 V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

电压的实际方向规定由高电位处指向低电位处,即电位降低的方向。

与电流的参考方向类似,电压的参考方向也可以任意选取,两点之间的电压参考方向可以用正(+)、负(-)极性表示,正极指向负极的方向就是电压的参考方向;也可用一个箭头表示电压的参考方向;还可用双下标表示电压,如 U_{ab} 表示 a, b 之间的电压参考方向由 a 指向 b。同样,所选的参考方向并不一定就是电压的实际方向。当电压取得的值为正值时,说明电压的实际方向与参考方向一致,否则说明两者相反。

例 1.1 图 1.5 所示电路是某复杂电路的一部分,已知元件两端电位分别为 $V_a = 5\text{V}$, $V_b = 3\text{V}$, 求(a)与(b)两种情况下的电压 U_1, U_2 。

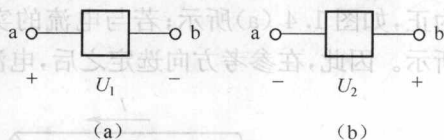


图 1.5 例 1.1 的图

解: 根据电压与电位的关系,可得

$$U_1 = U_{ab} = V_a - V_b = 5 - 3 = 2(\text{V})$$

$$U_2 = U_{ba} = V_b - V_a = 3 - 5 = -2(\text{V})$$

求得的 U_1 为正值,说明电压的实际方向与参考方向一致; U_2 为负值,说明电压的实际方向与参考方向相反。

对一个元件,电流参考方向和电压参考方向可以相互独立地任意确定,但为了方便起见,通常将其取为一致,称关联参考方向;如不一致,称非关联参考方向,如图 1.6 所示。

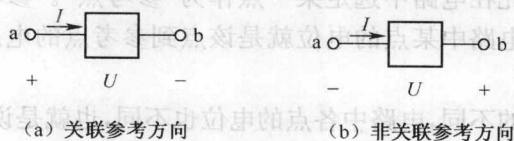


图 1.6 参考方向的关联性

1.2.3 电源的电动势

电动势是电源力克服电场力把单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功。电动势的单位也是伏特(V)。大小和方向都不随时间变化的电动势称为直流电动势,用大写字母 E 表示。大小和方向随时间变化的电动势称为交变电动势,用

小写字母 e 表示电动势的瞬时值, E 表示有效值(均方根值)。

电动势的实际方向与电压实际方向相反,规定在电源内部由低电位指向高电位。电动势的参考方向也可用箭头、双下标或“+、-”极性表示。

1.2.4 电功率

电场力在单位时间内所做的功称为电功率,简称功率。

当一个元件上的电流、电压满足关联参考方向时,功率计算为

$$P=UI$$

而当一个元件上的电流、电压为非关联参考方向时,功率计算为

$$P=-UI$$

元件上的功率有吸收和发出两种可能,用功率计算值的正负相区别。当 $P>0$ 时表示元件吸收功率,起负载的作用;当 $P<0$ 时表示元件发出功率,起电源的作用。

若电流的单位为安培(A),电压的单位为伏特(V),则功率的单位为瓦特(W),简称瓦。

例 1.2 已知元件的电流参考方向如图 1.7 所示, $I=-5\text{A}$, 吸收功率 20W , 计算 U_{ab} 并判断 a, b 两点哪点电位高, 哪点电位低。

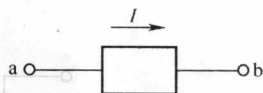


图 1.7 例 1.2 的电路

解: 元件上电压 U_{ab} 与电流的参考方向一致, 有

$$P=U_{ab}I$$

$$U_{ab}=\frac{P}{I}=\frac{20}{-5}=-4(\text{V})$$

因为 $U_{ab}<0$, 所以 b 点电位高, a 点电位低。

例 1.3 如图 1.8 所示电路中, 四个元件代表电源或负载。电流与电压的参考方向如图所示。已知 $U_1=10\text{V}$, $U_2=4\text{V}$, $U_3=6\text{V}$, $U_4=-6\text{V}$, $I_1=-6\text{A}$, $I_3=-2\text{A}$, $I_4=4\text{A}$, 计算各元件的功率, 判别哪些元件是电源? 哪些元件是负载? 分析电路的功率平衡关系。

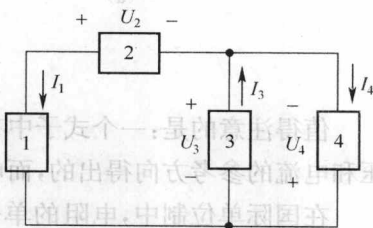


图 1.8 例 1.3 的电路

解: 元件 1 电压与电流的参考方向一致, 有

$$P_1=U_1I_1=10\times(-6)=-60(\text{W}) \text{ 发出功率, 是电源;}$$

元件 2 电压与电流的参考方向非关联, 有

$$P_2=-U_2I_1=-4\times(-6)=24(\text{W}) \text{ 吸收功率, 是负载;}$$

元件 3 电压与电流的参考方向非关联, 有

$P_3 = -U_3 I_3 = -6 \times (-2) = 12(\text{W})$ 吸收功率, 是负载;

元件 4 电压与电流的参考方向非关联, 有

$P_4 = -U_4 I_4 = -(-6) \times 4 = 24(\text{W})$ 吸收功率, 是负载;

$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$ 满足功率平衡的关系。

1.3 欧姆定律

线性电阻元件电压和电流取关联参考方向下, 在任何时刻流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这就是欧姆定律。对图 1.9(a) 的电路, 欧姆定律可用下式表示。

$$\frac{U}{I} = R \quad (1.2)$$

当线性电阻元件在电压和电流取非关联参考方向如图 1.9(b) 和 1.9(c) 时, 则得

$$-\frac{U}{I} = R \quad (1.3)$$

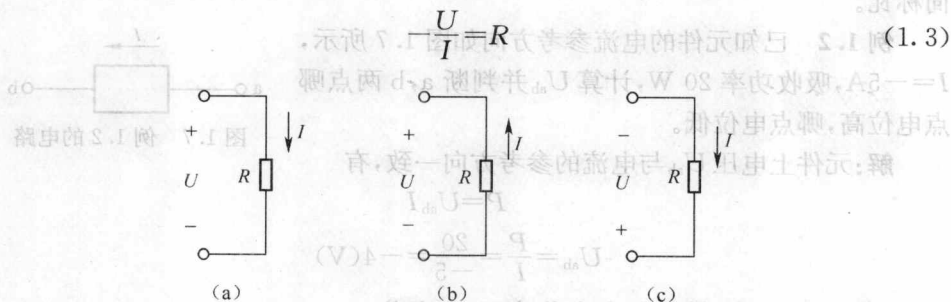


图 1.9 欧姆定律

值得注意的是: 一个式子中有两套正负号, 式(1.2)与(1.3)中的正负号是由电压和电流的参考方向得出的, 而电压和电流本身还有正值与负值之分。

在国际单位制中, 电阻的单位是欧姆, 简称欧, 用 Ω 表示。根据实际的需要, 电阻的单位可以分别用 Ω , $\text{k}\Omega$ (千欧) 和 $\text{M}\Omega$ (兆欧) 来度量。

线性电阻的伏安特性曲线如图 1.10 所示, 是一条通过原点的直线。电阻值可由直线的斜率来确定。满足欧姆定律的电阻元件均为线性电阻元件。如果伏安特性曲线不是直线, 则称为非线性电阻元件。通常所指的电阻元件, 都是线性电阻元件。

电阻元件也可以用另一个参数——电导 G 来表示, 电阻的倒数称为电导

$$G = \frac{1}{R}$$

电导的单位是西门子,简称西,用S表示,
 $1\text{S}=1/\Omega$ 。

在电压和电流取关联参考方向下,由功率的定义,电阻元件消耗的功率为

$$P=UI=RI^2=GU^2$$

电流通过电阻时要产生热效应,即消耗一定的电能,并转换成热能。而热能向周围空间散去,不可能再直接转换为电能回到电源。可见,电阻中的能量转换过程是不可逆的。

例 1.4 如图 1.11 所示电路,试用欧姆定律求电流 I 。

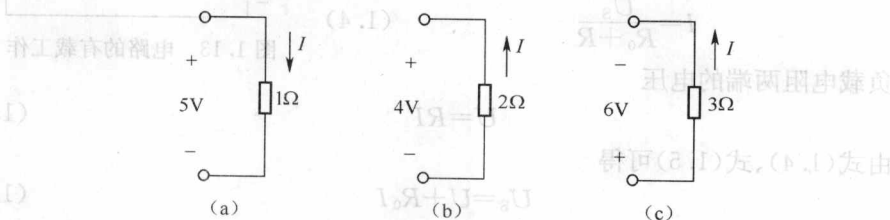


图 1.11 例 1.4 的电路

解:由图 1.11(a)可知,电压与电流的参考方向一致,有

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{1} = 5(\text{A})$$

由图 1.11(b)可知,电压与电流的参考方向非关联,有

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{4}{2} = -2(\text{A})$$

由图 1.11(c)可知,电压与电流的参考方向一致,有

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{3} = 2(\text{A})$$

例 1.5 如图 1.12 所示电路,已知 a, b 两点的电位分别为 $V_a=6\text{V}$, $V_b=12\text{V}$, $I=-2\text{A}$, 计算电阻值 R 。

解:由电压与电位的关系可知

$$U_{ab} = V_a - V_b = 6 - 12 = -6(\text{V})$$

由式(1.2)可得

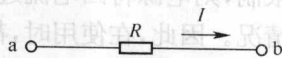


图 1.12 例 1.5 的电路

$$R = \frac{U_{ab}}{I} = \frac{-6}{-2} = 3(\Omega)$$

1.4 电路的工作状态

电路工作时,有开路、有载、短路三种状态。

1.4.1 有载工作状态

图 1.13 中,当开关 S 闭合时,接通电源和负载,电源向负载提供电能,负载消耗电能,这种状态就是电路的有载工作状态。

根据欧姆定律,电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (1.4)$$

负载电阻两端的电压

$$U = RI \quad (1.5)$$

由式(1.4)、式(1.5)可得

$$U_s = U + R_0 I \quad (1.6)$$

即

$$U = U_s - R_0 I \quad (1.7)$$

由式(1.4)、式(1.7)可以看出,当电源电压和内阻一定时,负载电阻越小,电流越大,而电源两端电压 U 越小。

式(1.6)两边同乘以 I ,则得功率平衡方程式

$$U_s I = UI + R_0 I^2 \quad (1.8)$$

即

$$P_s = P + P_0 \quad (1.9)$$

式(1.8)、(1.9)中, $P_s = U_s I$ 为电源产生的功率; $P = UI$ 为电源输出的功率; $P_0 = R_0 I^2$ 为内阻消耗的功率。因此,电路在有载工作状态下,电压源 U_s 产生的功率等于电源内阻消耗的功率与负载消耗的功率之和。

当负载电阻减小时,负载电流将随之增加,电源输出功率也将增加,若不能加以限制,则电源将因电流过大而被烧毁。对于电气设备或电路元件也同样存在类似情况。因此,在使用时,都要明确规定使用数据,这些数据就是额定值。

额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。额定值主要指的是电压、电流、功率、工作温度等。若使用时超过额定值,则会损坏电气设备;若使用时电压和电流远低于额定值,则又得不到正常合理的工作情况,而且也不能充分利用设备的能力。所以我们在使用时,一定要充分考虑额定数据。

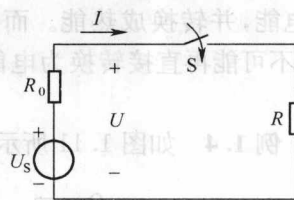


图 1.13 电路的有载工作

额定电压用 U_N 表示,额定电流用 I_N 表示,额定功率用 P_N 表示。一般电气设备或元件的额定值标在铭牌上或写在说明书上。例如一把电烙铁标有 220V 45W,那么也就是说它的额定电压是 220V,就不能接到 380V 的电压上。

必须注意的是,电气设备或元件的电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。在额定电压下工作,负载电流小于额定值时称为轻载;负载电流等于额定值时称为满载;负载电流大于额定值时称为过载。

例 1.6 有一额定值为 220V 40W 的电灯,接在 220V 的直流电源上,试求通过电灯的电流和电灯电阻。如果每晚用 4h,则一个月消耗多少电能?

解: 根据

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.18(\text{A})$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{40} = 1210(\Omega)$$

一个月消耗电能

$$W = Pt = 40 \times 4 \times 30 = 4.8(\text{kW} \cdot \text{h})$$

1.4.2 开路工作状态

当开关断开时,电源没有向负载供电,电路中输出电流为零,此时电路处于开路状态或空载状态(如图 1.14 所示)。这时电源的端电压 U 在数值上等于电源的电压 U_s 。这个电压叫做开路电压或空载电压,用 U_{∞} 表示。由于输出电流为零。因此,电路

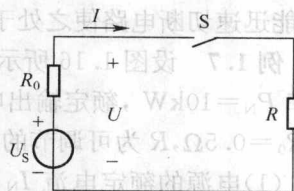


图 1.14 电路的开路状态

不输出功率。

如上所述,电路开路时的特征有

$$I = 0$$

$$U = U_{\infty} = U_s$$

$$P = 0$$

1.4.3 短路工作状态

当电源的两端由于某种原因被连在一起时,电路处于短路状态(如图 1.15 所示)。短路点电阻为零,电流有捷径可以流通,不再流过负载。在此状态下,电路中电流只通过电源内阻 R_0 ,电流将达到很大数值,这个电流称为短路电流,用 I_{sc} 表示。即

$$I_{sc} = \frac{U_s}{R_0}$$

电源短路时由于外电路的电阻为零,所以电源的端电压也为零,电源电压 U_s