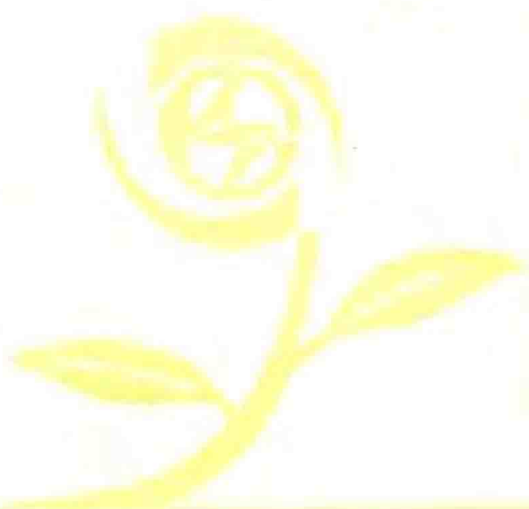


高等学校试用教材

电工技术

电工学 I



阎美利 编
邱化雪 编

重庆大学出版社

电工技术 (电工学 I)

何荣祖 邓佑玺 编

责任编辑 张裕庆

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 410千

1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷

印数: 1—6000

标准书号: ISBN 7-5624-0164-0 定 价: 4.15元
TM·9



内 容 提 要

本书是根据高等学校工科基础课程教学指导委员会电工学课程指导小组，1986年5月福州扩大会议制定的高等工业学校本科非电类专业电工课程教学基本要求（已经国家教委审批）和1986~1990年教材规划的精神编写的。

为适应教学改革的要求，本书的内容除包括传统的电路理论、电机与接触继电器控制外，还增加了有关供电照明与安全用电等内容，加强了系统的分析方法，注重理论的实际应用，每章中均有例题和习题。

本书可供工科院校非电专业、计算机及其应用专业，以及职工大学的非电专业用作教材或参考书，本书经适当选择，也可供非电专业的工程技术人员和中、高级电工参考。

前 言

本书是根据高等学校工科基础课程教学指导委员会电工学课程指导小组1986年5月福州扩大会议拟定并经国家教委审批的《电工技术》、《电子技术》和《电路及电子技术》三门课程的教学基本要求的内容,着重考虑了高等院校非电类各有关专业的实际需要,本着“打好基础、精选内容、逐步更新、有利教学”的方针编写的。总学时约120学时(包括实验20至30学时)。

本书共十七章,第一章至第五章为电路基础部分;第六、第七两章为变压器及电机部分;第八章为供电、照明及安全用电部分;第九章至第十四章为模拟电子技术部分;第十五章至第十七章为数字电子技术部分。通过本书的学习,达到掌握有关电工、电子技术的基本知识、基本理论和基本技能的要求。各章附有例题和习题,供读者复习和巩固基本概念,锻炼解题技巧和培养运算能力。

本书作为高等院校非电类各专业的试用教材,各专业可根据具体学时安排,选学其中有关章节。本书经适当选择,也可用作高级电工培训教材以及供非电类专业的工程技术人员参考,书末有附录,便于应用中查阅。

本书共分Ⅰ、Ⅱ两册。Ⅰ册包括一至八章,第一、二、三、四章由何荣祖编写,第五、六、七、八章由邓佑玺编写。Ⅱ册包括九至十七章,第九、十、十一、十四章由李加奇编写,第十二、十三、十五、十六、十七章由杜家信编写。

本书在编写过程中得到了中国科技情报所重庆分所《电工技术》杂志主编张裕庆的大力支持,提出了许多有益的建议并审阅全书。副编审:潘宏祥、刘文琳、刘家桢和胡容同志也参加了本书的编辑工作。重庆建筑工程学院机电系张志远、曾德秀两位老师和何训威、万雪冰两位同志参加了本书插图绘制工作,并提出了不少宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平不高,业务理论知识有限,特别是对电工课程教学指导委员会、电工学教学指导小组拟定的电工课程教学基本要求还领会不深,缺乏编写教材的经验,因此,书中难免存在缺点和错误,殷切希望读者提出批评和意见。

编者 1987年10月

目 录

前言

第一章 电路的基本概念和分析方法	(1)
§1-1 电路	(1)
1-1-1 电路的模型	(1)
1-1-2 电路的变量	(2)
1-1-3 电路的功率	(5)
1-1-4 电路的工作状态	(7)
1-1-5 电路元件	(7)
§1-2 电路的基本定律	(12)
1-2-1 克希荷夫电流定律 (KCL)	(12)
1-2-2 克希荷夫电压定律 (KVL)	(13)
§1-3 网络的等效变换	(14)
1-3-1 电阻的串联和并联	(14)
1-3-2 独立电源及其等效变换	(17)
1-3-3 受控电源及其等效变换	(20)
§1-4 线性电路的基本性质	(23)
§1-5 电阻电路的基本分析方法	(25)
1-5-1 简单电路的分析与计算	(25)
1-5-2 支路电流法	(27)
1-5-3 回路电流法	(28)
1-5-4 节点电压法	(30)
§1-6 非线性电阻电路的图解分析法	(32)
§1-7 含源二端网络等效电源定理	(34)
1-7-1 戴维南定理	(34)
1-7-2 诺顿定理	(37)
§1-8 最大功率传输定理	(38)
习 题	(39)
第二章 电路的暂态响应	(46)
§2-1 换路定则	(46)
§2-2 一阶电路的暂态响应	(48)
2-2-1 零输入响应	(48)
2-2-2 零状态响应	(51)
2-2-3 完全响应	(53)
§2-3 求一阶电路的三要素法	(55)
§2-4 一阶RC电路对矩形波的影响	(57)
2-4-1 微分电路	(57)
2-4-2 积分电路	(57)
§2-5 应用拉普拉斯变换求电路的暂态响应	(58)
2-5-1 拉氏变换的定义方程	(58)

2-5-2 电路元件及电路定律的运算形式	(61)
2-5-3 用拉氏变换求电路的暂态响应	(62)
习题	(64)
第三章 正弦交流电路	(68)
§3-1 正弦电量的基本概念	(68)
3-1-1 正弦交流电的特征及表示法	(68)
3-1-2 正弦电量的矢量表示法	(71)
3-1-3 正弦电量的相量表示法	(73)
§3-2 基本元件电路的相量表示	(76)
3-2-1 电阻电路	(76)
3-2-2 电感电路	(77)
3-2-3 电容电路	(79)
§3-3 正弦交流电路的相量分析	(81)
3-3-1 RLC串联电路、复阻抗	(81)
3-3-2 RLC并联电路、复导纳	(83)
§3-4 正弦交流电路的功率	(87)
3-4-1 瞬时功率	(87)
3-4-2 有功功率、无功功率与视在功率	(87)
§3-5 提高功率因数的意义和方法	(90)
§3-6 谐振电路	(93)
3-6-1 串联谐振	(93)
3-6-2 并联谐振	(96)
习题	(99)
第四章 非正弦交流电路	(103)
§4-1 非正弦周期波的合成与分解	(103)
4-1-1 非正弦周期波的合成	(103)
4-1-2 非正弦周期波的分解	(104)
§4-2 非正弦交流电路的计算	(106)
§4-3 非正弦周期电量的有效值、平均值及功率	(111)
4-3-1 有效值和平均值	(111)
4-3-2 非正弦周期电量的功率	(113)
习题	(115)
第五章 三相交流电路	(117)
§5-1 概述	(117)
§5-2 三相交流电动势	(117)
§5-3 三相电源的联接	(119)
5-3-1 三相电源的星形联接	(119)
5-3-2 三相电源的三角形联接	(121)
§5-4 三相负载	(122)
5-4-1 三相负载的星形联接	(122)
5-4-2 三相负载的三角形联接	(125)
§5-5 三相电路的功率	(127)
5-5-1 三相电路功率的计算	(127)
5-5-2 三相电路有功功率的测量	(128)

习题	(133)
第六章 磁路和变压器	(134)
§6-1 磁场的基本物理量	(134)
6-1-1 磁感应强度 B	(134)
6-1-2 磁通 ϕ	(134)
6-1-3 磁导率 μ	(135)
6-1-4 磁场强度 H	(135)
§6-2 磁路和磁路的基本定律	(136)
§6-3 交流铁心线圈电路	(140)
§6-4 电磁铁	(144)
6-4-1 直流电磁铁	(144)
6-4-2 交流电磁铁	(146)
§6-5 变压器的构造	(148)
6-5-1 铁心	(149)
6-5-2 绕组(线圈)	(149)
§6-6 变压器的工作原理	(150)
6-6-1 变压器的空载运行	(150)
6-6-2 变压器的负载运行	(152)
§6-7 变压器的运行特性	(153)
6-7-1 变压器的外特性和电压调整率	(153)
6-7-2 变压器的损耗和效率	(154)
§6-8 单相变压器的极性	(154)
6-8-1 单相变压器的极性	(155)
6-8-2 单相变压器极性的测定	(155)
§6-9 三相变压器	(156)
§6-10 变压器的铭牌	(158)
6-10-1 型号	(158)
6-10-2 额定容量	(158)
6-10-3 额定电压	(158)
6-10-4 额定电流	(158)
6-10-5 阻抗电压	(159)
6-10-6 温升	(159)
§6-11 特殊变压器	(159)
6-11-1 自耦变压器	(159)
6-11-2 仪用互感器	(161)
习题	(163)
第七章 异步电动机及其控制	(164)
§7-1 异步电动机的构造和铭牌	(164)
7-1-1 异步电动机的构造	(164)
7-1-2 异步电动机的铭牌	(165)
7-1-3 异步电动机的选择	(167)
§7-2 三相异步电动机的工作原理	(169)
7-2-1 旋转磁场	(169)
7-2-2 异步电动机的工作原理	(171)

§7-3 异步电动机的电路	(173)
7-3-1 定子电路	(173)
7-3-2 转子电路	(173)
§7-4 异步电动机的电磁转矩和机械特性	(176)
7-4-1 电磁转矩	(176)
7-4-2 机械特性	(178)
§7-5 异步电动机的起动	(180)
7-5-1 异步电动机的起动性能	(180)
7-5-2 异步电动机的起动方法	(181)
§7-6 异步电动机的调速	(184)
7-6-1 改变电源频率	(184)
7-6-2 改变定子绕组的磁极对数	(185)
7-6-3 改变转子电路中的串联电阻	(185)
§7-7 单相异步电动机	(186)
§7-8 异步电动机的继电接触控制	(189)
7-8-1 低压控制电器	(189)
7-8-2 基本单元控制电路	(192)
7-8-3 异步电动机的保护电路	(199)
习题	(200)
第八章 供电、照明和安全用电	(202)
§8-1 电力系统简述	(202)
§8-2 工业企业供电系统	(203)
8-2-1 变电所和配电系统	(203)
8-2-2 负荷计算	(207)
8-2-3 施工工地临时供电	(209)
§8-3 导线截面的选择	(210)
8-3-1 根据发热条件选择导线截面	(210)
8-3-2 根据允许电压损失选择导线截面	(211)
8-3-3 按经济电流密度选择导线截面	(212)
§8-4 照明	(213)
8-4-1 照明供电系统	(213)
8-4-2 室内导线敷设	(214)
8-4-3 电光源和照明器	(215)
8-4-4 照明计算	(219)
§8-5 安全用电	(223)
8-5-1 概述	(223)
8-5-2 保护接地	(224)
8-5-3 保护接零	(225)
8-5-4 重复接地	(226)
8-5-5 工作接地	(227)
§8-6 电气防火和防爆	(228)
8-6-1 引起电气火灾和爆炸的原因	(228)
8-6-2 燃烧和爆炸	(228)
8-6-3 电气防火和防爆	(229)

8-6-4 电气火灾的扑灭.....	(230)
§8-7 静电防护.....	(230)
8-7-1 静电的产生和消失.....	(230)
8-7-2 静电的危害.....	(230)
8-7-3 静电安全防护.....	(232)
§8-8 建筑物防雷.....	(232)
8-8-1 雷电的形成及危害.....	(232)
8-8-2 建筑物的防雷分类.....	(233)
8-8-3 建筑物防雷措施.....	(234)
习题	(235)
附录 I 常用电工图形和文字符号摘录	(237)
附录 I 绝缘导线明敷时的允许载流量	(239)
附录 II 各种照明器单位面积安装功率	(240)

第一章 电路的基本概念和分析方法

电工技术广泛应用于生产实践、科学研究和日常生活中。各类电气设备、电子仪器、家用电器等都是由各种各样的电路组成，这些电路所涉及的基本规律、基本理论和方法，无论是对后续内容如电子电路、电机的学习或是作为工程技术人员应具备的知识，都具有普遍意义，因此掌握电路的分析方法是很重要的。

本章首先在物理学的基础上进一步讨论电路中最基本的概念（电流、电压、和电功率等），电路的基本元件，基本规律和应用；其次讨论线性电路的几种普遍使用的分析计算方法和功率传输等问题。

§1-1 电路

1-1-1 电路的模型

在生产实践和日常生活中经常遇到各种电器设备，例如电灯、电动机、电池、开关及输电线等，它们是各种电路的组成部分。图1-1是最简单的电路组成例子。当图中开关闭合后，电路中就有电流流动，灯泡就发光，表明电路在正常工作。

从这个简单例子可清楚地看到，电路主要是由电源、负载以及中间环节等三个主要部分组成。各种复杂电路也都是由这三个部分组成。这三个部分的主要功能各不相同，电源是产生电能或电信号的装置（如发电机、电池、信号发生器等），主要任务是将非电能转换成电能或者提供所要求的电信号。负载是指各种类型用电设备（如电灯、电动机等），主要任务是把电能转换成非电能，例如：电灯将电能转变为热能、光能，电动机则将电能转变为机械能等。中间环节包括传输导线、控制开关和一些保护设备以及它们的组合，主要任务是传递、控制电能或电信号。

由上述可见，各种电路的主要功能是实现能量的输送、转换和控制，或者是实现信息的传送、处理和贮存。例如：照明电路或动力电路是用来完成电能转换的任务；计算机电路是用来完成将数字信息进行运算后，产生并输出新信息的任务。

图1-1所示的电路，是由一些实际器件组成的实际电路，这在电路的分析计算中很不方便，特别是研究复杂电路时更是如此。电路分析计算的直接对象是电路模型，组成电路模型的是一些把实际部件经理想化后的抽象元件，它们能反映实际部件的主要电磁性能。例如：在图1-1中的灯泡，作为理想元件，被认为只是一种反映电能转换成热能、并消耗电能的电阻元件(R)，而忽略了其他因素；电池作为理想电压源(U_s)，只是反映产生恒定电压的电源，而电源内阻(R_s)与负载电阻 R 相比要小得多，可略去不计；作为中间环节的导线，当较短时，可认为导线电阻很小，被看成理想导体。这样图1-1实际部件组成的电路可绘成由理想元件组成的电路模型，如图1-2所示。

虽然理想元件只是实际部件的近似模型，并非实际部件本身，但是在一定的条件下根据

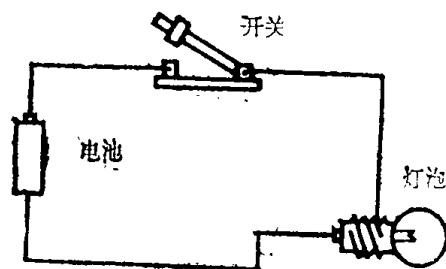


图1-1 由实际部件组成的电路

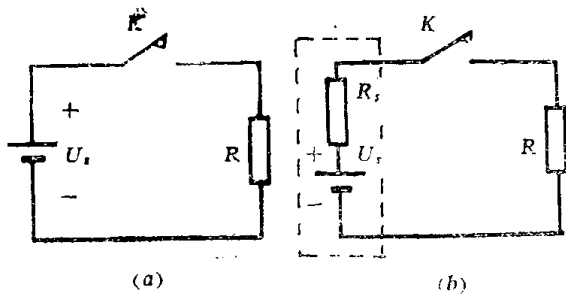


图1-2 电路模型

1-1-2 电路的变量

电流、电压、电位、电动势和电功率是电路的几个重要物理量，在物理学中已学习过，但为了更好地学习电工技术这门课程，仍然有必要作重点的回顾，求得温故知新。

1. 电流

电流是电路分析中一个重要物理量。电流是电场中的电荷，在外力作用下作有规则的定向移动。电流的大小和方向一般地是随时间而变化的。我们把单位时间内通过导体横截面积的电荷量来表示电流的强度，衡量电流的大小。设 Δt 秒内，有 Δq 库仑的电量穿过导体横截面，取比值 $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ ，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限，就得到某一瞬时电流的大小，用字母 i 表示，即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流 i 一般是时间的函数，即其大小和方向都随时间变化，这种电流称为交变电流或交流电流（简称为AC）。若大小是相等的，方向也不随时间变化，则称为恒定电流或直流电流（简称为DC），用字母 I 表示。直流是在时间 t 秒内有电荷 Q 库仑通过导体横截面的电流，即

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

在国际单位制中电流的计量单位为安培，简称安（A）。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

工程上还常用毫安（mA）、微安（ μA ）、千安（kA）作单位，视计量大小而定。各单位之间的关系为：

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

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

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

电流的方向，习惯上规定为正电荷运动的方向。但在分析计算电路过程中，往往是一开始难于确定并标出电流的真实方向，因此有必要引入“参考方向”或“正方向”概念。电流的参考方向是可以任意选定的，在电路图中用箭头标出，如图1-3所示，以此方向为准进行计算，如果所得的电流是正值，例

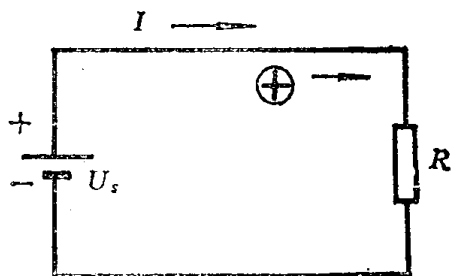


图1-3 电流的参考方向

如： $I = 5\text{A}$ ，就表示电路中的电流真实方向与参考方向相同；如果所得的电流是负值，例如： $I = -5\text{A}$ ，就表示电路中的电流真实方向与参考方向相反。

由此可见，所谓电流的正与负，是与参考方向有关的，没有选定的参考方向，论正、负就没有意义了。

2. 电压

电路分析的另一个基本变量是电压。电路中的电荷在电场力的作用下运动，表征电场对电荷做功的能力的物理量称为电压，用字母 U （表示直流电压）或 u （表示交流电压）来表示。电场力把单位正电荷从电路的一点（如图1-4中的a点）移到另一点（如图1-4中的b点）时，电荷将获得或失去能量，

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

式中 dq 是从电路的a点移动到b点的电量，单位为库仑， dw 是电荷在移动过程中所获得或失去的能量，就是a、b两点的能量差。单位为焦耳(J)。如图1-4所示。如果正电荷在移动过程中失去能量，则a点为高能位，即高电位，为正，b点为低能位，即低电位，为负；反之a点为低能位，b点为高能位。a、b两点的电位差也称为a、b两点间的电压。

一般说电压也是时间函数，即大小和极性都是随时间而变化的，这种电压称为交流电压；大小和极性不随时间变化的，称为恒定电压或直流电压。

在电路分析过程中，电路某两点间电压的真实极性，如同电流一样也很难确定，也必须引入“参考极性”的概念。用“+”“-”符号标于电路图中（如图1-4的 U_{ab} ），“+”号表示高能位端，“-”号表示低能位端。选定参考极性后，如果计算的结果电压 U_{ab} 为正值时，则认为该电压的真实极性与参考极性相同，a点为高能位点，b点为低能位点；如果 U_{ab} 为负值，则认为该电压的真实极性与参考极性相反。在未标明参考极性的情况下，论电压的正负也是没有意义的。电压参考极性又称为参考方向或正方向，有时用箭头标出，由“+”指向“-”。

在国际单位制中，电压的计量单位是伏特，简称伏(V)。此外还常用毫伏、(mV)、微伏(μV)及千伏(kV)作为电压单位，视计量大小而定。各单位之间的关系为：

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

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

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

在分析和计算电路时，为了方便，常常是把电流和电压的参考方向选成一致，即电流的参考方向与电压的参考极性相一致，如图1-5所示。这样，在电路图中只需要标出其中一种参考方向即可知道另一种参考方向。例如：标出电压的“+”和“-”，则电流的参考方向就知道是从“+”指向“-”。

3. 电动势

与电压相对应的物理量是电动势。前面谈到过在图1-4中a、b两端点之间的电压是表示电场力使正电荷从a点（电源的正端）

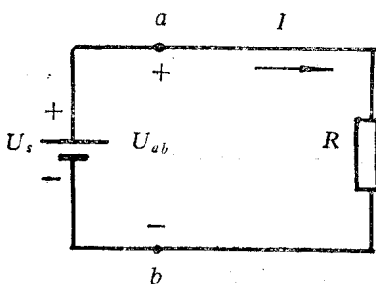


图1-4 电压的参考极性

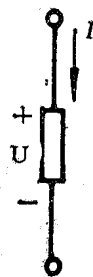


图1-5 电流和电压的关联参考方向

沿 aRb 向 b 点（电源的负端）移动的能力，正电荷在移动过程中失去能量。电场力的形成是靠电源内部的非静电力将正电荷从负极移到正极的结果，非静电力移动正电荷所作的功，就称为电源的电动势，以字母 E 表示，其单位与电压的单位相同，也是伏特。理想电源的电动势的大小与电源不接外电路 R 时的端电压相等，即 $U_S = E$ 。电动势的参考方向是电源内部正电荷运动的方向，即从负极指向正极，如图1-6所示。而电源的电压参考方向则是从正极指向负极。两种参考方向不要混淆。

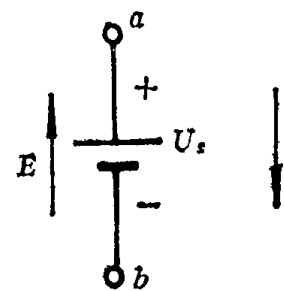


图1-6 电源的电动势与电压的关系

在以后的学习中，对理想电源，我们更多的是使用电源电压 U_S ，不使用电源电动势。

4. 电位

电路中任意两点之间的电压就是两点电位之差。若 a 点的电位用 V_a 表示， b 点的电位用 V_b 表示，则 a 、 b 之间的电压可表示为

$$U_{ab} = V_a - V_b \tag{1-4}$$

下标 ab 表示 a 点电位高于 b 点电位， U_{ab} 为正值；反之 U_{ab} 为负值，即

$$-U_{ab} = U_{ba} = V_b - V_a$$

电位的单位也是伏特。

在计算电位时，要先在电路中任选一点作参考点，并在图中标以符号“ $\perp$ ”，然后进行计算。不选定参考点，谈论某点电位高低是没有意义的。

例1-1 计算图1-7(a)所示的电路中，分别取 a 、 d 为参考点时， a 、 b 两点的电位及 a 、 b 两点间的电压。

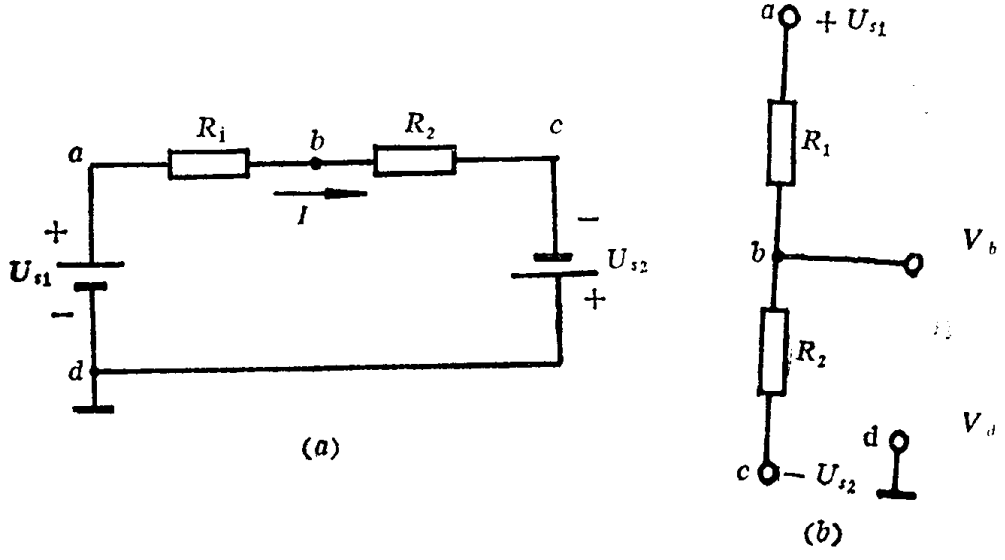


图1-7 电位及电路的简化

解： (1) 若选 d 点为参考点 ($U_d = 0$)，则 a 、 b 点的电位和 a 、 b 点间的电压分别为

$$\begin{aligned} V_a &= V_a - V_d = V_{ad} = V_{s1} \\ V_b &= V_b - V_d = V_{bd} = -V_{ab} + V_{s1} \\ V_{ab} &= V_a - V_b = V_{s1} - V_b = R_1 I \end{aligned}$$

故有 $V_b = V_{s1} - R_1 I$

(2)如果选取a点为参考点,则a、b点电位是

$$V_a = 0$$

$$V_b = V_b - V_a = -R_1 I$$

而电压是

$$U_{ab} = -U_{ba} = R_1 I$$

由此例分析可见:(1)电路中某一点的电位跟参考点有关,说明电路中各点电位是相对的,视参考点而定,只有选定参考点后,电路中各点电位才能确定,不选定参考点,谈论电位大小是没有意义的。(2)电路中任两点的电压与参考点如何选取无关系。因此,计算电位时,必须先选定一点作参考点,并标出符号“⊥”,然后再进行计算。

考虑到电子电路的习惯,常把电源、信号输入和输出的公共端接在一起作为参考点,电源不再使用电池的符号表示,而改为标出其电位的极性及数值,并且与参考点相联的一极不再标出,这样图1-7(a)就可绘成图1-7(b)所示。按照这种作图法,图面更清晰,作图更简便,我们应该熟悉它。

例1-2 计算图1-8(a)所示电路中当K断开或接通时a点的电位。

解: 设电源电压的参考极性及各元件参数如图1-8所示。

(1)当K断开时,根据关联参考方向的概念,可以认为电路电流方向如图1-8(b)所示,若沿 U_{s1} 路径计算a点电位 V_a ,则为 V_a 加上 U_{ca} ,即 $V_a = V_c - U_{ca} = U_{s1} - R_1 I$,根据闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{U_{s1} + U_{s2}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 + 10}{(2.5 + 2.5 + 20) \times 10^3} = 0.8 \times 10^{-3} (\text{A})$$

故得 $V_a = 10 - 2.5 \times 10^3 \times 0.8 \times 10^{-3} = 8 (\text{V})$

若沿 U_{s2} 路径计算 V_a ,则为

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ab} + U_{bc} - U_{s2} = R_3 I + R_2 I - U_{s2} \\ &= (20 + 2.5) \times 10^3 \times 0.8 \times 10^{-3} - 10 = 8 (\text{V}) \end{aligned}$$

(2)当K接通时,电路如图1-8(c)所示,与上面一样,可沿两条路径计算:

若沿 U_{s1} 路径计算,则为

$$V_a = U_{s1} - R_1 I$$

而电流

$$I = \frac{U_{s1}}{R_1 + R_3} = \frac{10}{(2.5 + 20) \times 10^3} \approx 0.444 \times 10^{-3} (\text{A})$$

故得 $V_a = 10 - R_1 I = 10 - 2.5 \times 10^3 \times 0.444 \times 10^{-3} \approx 8.9 (\text{V})$

若沿 R_3 路径计算

$$V_a = R_3 I = 20 \times 10^3 \times 0.444 \times 10^{-3} \approx 8.9 (\text{V})$$

通过本例的计算可看到:只要参考点选定了,电路中任一点的电位就为定值,与所选的计算路径无关。

1-1-3 电路的功率

前面说过,电路中正电荷移动时将获得或失去能量,这个能量从式(1-3)得

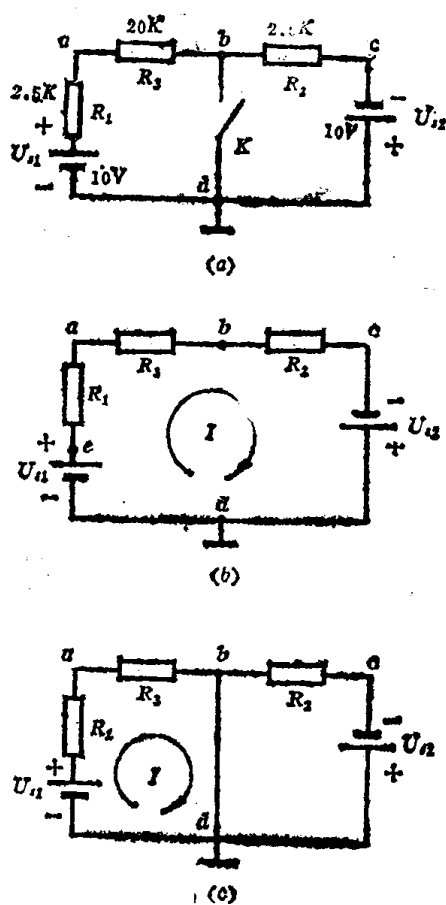


图1-8 例1-2图

$$dw = u \cdot dq \quad (1-5)$$

这样在单位时间内正电荷所消耗的电功率为

$$P = \frac{dw}{dt} = u \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$\text{即} \quad P = u \cdot i \quad (1-6)$$

$$\text{在直流的情况下为} \quad P = U \cdot I \quad (1-7)$$

在国际单位制中,当电压的单位为伏特,电流的单位为安培时,功率单位为瓦特,简称瓦(W)。有时用千瓦(kW)来表示功率的单位。

功率是一个标量。但因电压和电流都有方向,故在关联参考方向下,功率有正、负值,这要视计算结果而定。如果对某段电路计算功率的结果为正值,表示该段电路是消耗或吸收功率;反之表示该段电路是产生功率,供给电路的其余部分。图1-9中各方框代表电路元件(电阻、电源),它们的端电压和电路电流的参考方向都标于图中,若 $U_1 = 5V$, $U_2 = -3V$, $U_3 = 8V$, $I = 2A$,则各元件的功率分别计算如下:

对元件1:

$P_1 = -U_1 I = -10(W)$, 为负值,表明元件1产生功率;

对元件2:

$P_2 = U_2 I = -6(W)$, 为负值,表明元件2产生功率;

对元件3:

$P_3 = U_3 I = 16(W)$, 为正值,表明元件3消耗功率。

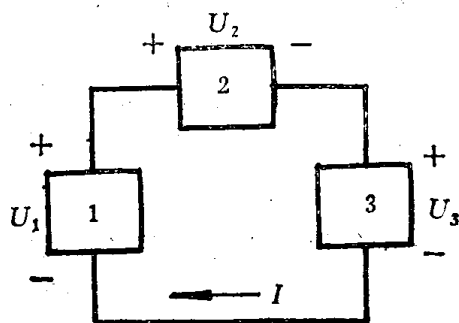


图1-9 计算功率的方框图

由计算可知电路中各元件消耗的功率总和与产生的功率总和是相等的。这是很重要的结论,是功率守恒原理在电路中的体现,对任何电路均有普遍意义。

功率 P 是能量的平均转换率。对发电设备(电源)而言,功率是单位时间内所产生的电能;对用电设备(负载)而言,功率则是单位时间内所消耗的电能。若用电设备的功率为 P ,使用的时间为 t ,则该设备所消耗的电能为

$$W = Pt = UIt \quad (1-8)$$

若功率的单位为瓦,则电能的单位为焦耳(J);若功率的单位为千瓦,则电能的单位为千瓦·时(kW·h),或称为“度”。一度电就是指一千瓦·时的电能。

例1-3 设图1-2(b)电路(重绘于图1-10) $U_s = 12V$, $R_s = 1\Omega$, $R = 11\Omega$, 求(1)电路的电流 I 及负载 R 的端电压 U ;

(2)各元件的功率;

(3)一旦负载 R 短路时,电路中的电流 I_{sc} 。

解: (1)根据闭合回路欧姆定律得电路的电流

$$I = \frac{U_s}{R_s + R} = \frac{12}{12} = 1(A);$$

负载电阻 R 的端电压为 $U = RI = 11(V)$;

(2)各元件的功率:

$$P_R = UI = RI^2 = 11(W), \text{消耗功率};$$

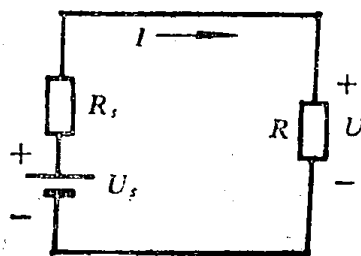


图1-10 例1-3图

$$P_{RS} = U_{RS} I = R_S I^2 = 1(\text{W}), \text{消耗功率};$$

$$P_S = -U_S I = -12(\text{W}), \text{因 } U_S \text{ 与 } I \text{ 为非关联参考方向, 故为产生功率}。$$

(3)当负载短路时, 电路电流为

$$I_{SC} = \frac{U_S}{R_S} = 12(\text{A})$$

1-1-4 电路的工作状态

对于图1-1电路, 当开关接通后, 电源与负载联成闭合回路, 灯泡发光, 表明电路处于正常工作状态; 若电源与负载断开, 灯泡不发光, 则表明电路处于开路状态; 若电源两端因某种原因被导线直接连通, 表明电路处于短路状态。在分析电路时, 都要注意到这三种工作状态。

1. 额定工作状态

电气设备的铭牌上所标出的电压、电流、功率的数值(例如某单相电动机的电压是220V, 电流是4.5A, 功率是1kW), 称为该电气设备的额定值。额定值是制造厂家对设备的使用规定, 以求得该设备在使用时处于最优良的条件下运行。当电流或电压超过额定值时, 设备的绝缘材料因温度的升高或绝缘层的破坏而受到损坏; 而当电流或电压远低于额定值时, 设备不能正常工作, 不能充分发挥设备的能力。总之, 电气设备在额定工作状态下运行时, 效率高、寿命长、安全可靠。否则会降低设备的效率、降低寿命乃至损坏设备, 这是值得注意的。

2. 空载状态

对于例1-3中图1-10电路, 在正常工作状态下, 电路方程为

$$U = U_S - R_S I \quad (1-9)$$

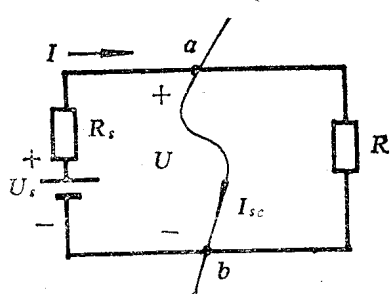
在空载状态下, 即电源无负载的状态下, $I = 0$, 此时路端电压正好等于电源的电压, 即

$$U = U_S \quad (1-10)$$

此时 $P = 0$, 表明电源不向负载提供功率。

3. 短路状态

对于图1-2(b)电路, 由于某种原因, a、b两点连接在一起, 如图1-11, 相当于负载短接(即 $R = 0$), 于是 $U = 0$, 此时电路的电流仅由 R_S 来限制, 即



$$I = I_{SC} = \frac{U_S}{R_S}$$

通常 R_S 很小, 故电流将很大, 称为短路电流。电路的这种状态称为短路状态。在短路状态下, 电源产生的功率全部由电源内阻 R_S 消耗, 导致电源温度迅速升高而毁坏。因此, 电路的短路状态是一种极严重事故, 应给予足够重视, 尽力防止发生。

防止短路事故的发生, 通常是在电路中安装可靠的中间环节, 如熔断器、自动断路器等, 以便在事故发生时能自动切断电路, 保护电气设备和供电线路。

1-1-5 电路元件

我们已经知道, 任何一个实际电路都可以抽象成由一些理想元件组成的电路模型。这些理想元件, 只能表征一定的物理性质, 即代表一种主要特性参数, 故又称为单一参数元件。

电阻(R)、电容(C)及电感(L) 是电路的三个主要特性参数元件,它们分别代表 电路中消耗 电能特性的参数元件、储存电场能量的参数元件以及储存磁场能量的参数元件。下面对这三种电路元件作进一步的讨论。

1. 电阻

电阻元件的符号如图1-12所示。在关联参考方向下,电阻两端电 压和流过电阻的电流之间的关系为

$$i = \frac{u}{R} \tag{1-11}$$

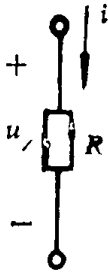


图1-12 电阻元件

称为电阻元件的特性方程式,即欧姆定律。 R 为电阻元件参数,如果 u 的单位为伏特, i 的单位为安培,则 R 的单位为欧姆,简称欧(Ω)。电阻的倒数为 电导,以 字母 G 或 g 表示。

$$G = \frac{1}{R} \tag{1-12}$$

电导的单位是西门子,简称西(S)。

于是式(1-11)可以写成另一形式:

$$i = Gu \tag{1-13}$$

若电阻值 R 是恒定不变的常数,不随电流、电压和频率的变化而变化,则此电阻称为线 性电阻,该电阻元件称为线性电阻元件。一般常用的电阻器因其主要特性参数是电阻,可以 认为是线性电阻元件。

表示一个电路元件的电压与电流之间关系的 曲线图,称为该元件的伏安特性曲线。线性 电阻元件的伏安特性是一条 经过 $u-i$ 座 标原 点的一条直线,如图 1-13(a) 所示。非线性 电阻元件的伏安特性则是一条曲线,如图1-13(b) 所示。

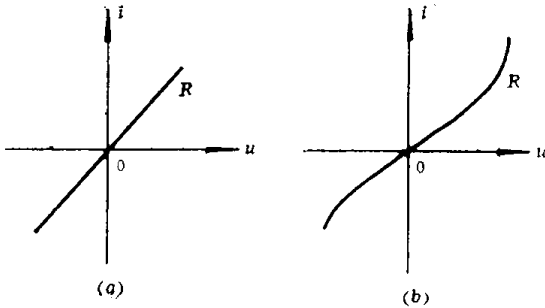


图1-13 电阻元件的伏安曲线

由 (1-11) 式或 (1-13) 式可知,某时刻 t ,电阻元件的电压 u 值突然发生变化,则电流 i 即随之改变,反之亦然。这种变化与 电 阻 元 件原来的工作状态(某时刻 t 以前的工作状态)无关。因此电阻元件是一种瞬态元件。此时的 功率称为瞬时功率。

$$p = ui = Ri^2 = \frac{1}{R}u^2 \tag{1-14}$$

上式中的 u 、 i 总是在关联参考方向下,所以 $p > 0$,表明电阻元件总是消耗功率的,是一种耗 能元件。

2. 电容

由物理学知道,电容器的极板上总是聚集电荷的,电荷量总与外加的电压成正比的,即

$$q = cu_c \tag{1-15}$$

q 与 u_c 的关系如用 $q-u_c$ 平面曲线表示时,是一条通过原点的直线,则这电容器称为线性 电 容 元件。式中的比例常数 c 称为电容量,简称为电容。其单位是法拉,简称法 (F),有时还以微 法 (μF)、皮法 (pF) 作单位,

$$1\mu F = 10^{-6}F$$

$$1pF = 10^{-12}F$$