



高职高专创新教材

电子信息系列

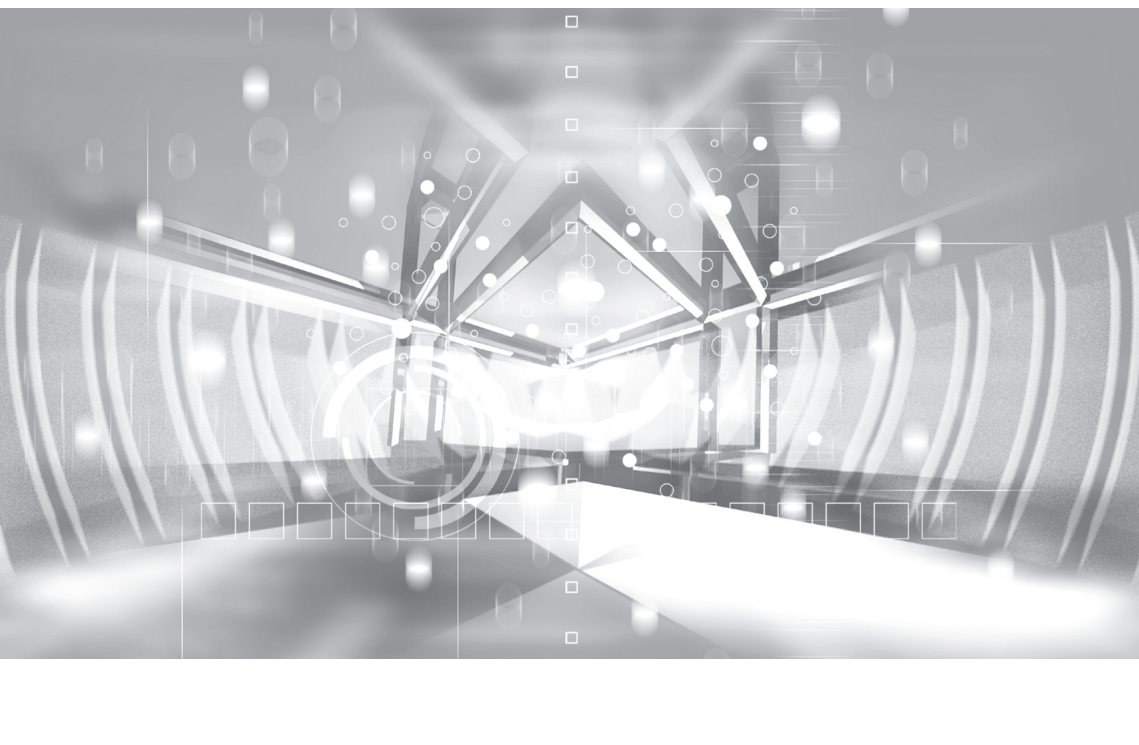
电工与电子技术

高职高专创新教材编审委员会编

孙福成 主 审

陈 岩 主 编

张 铎 副主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/高职高专创新教材编审委员会编. —武汉: 武汉大学出版社, 2011. 3

高职高专创新教材

ISBN 978-7-307-08565-7

I. 电… II. 高… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 ②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 035992 号

责任编辑:汤林芯

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:三河市鑫鑫科达彩色印刷包装有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:364千字

版次:2011年3月第1版 2016年7月第4次印刷

ISBN 978-7-307-08565-7/TM·22 定价:33.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高职高专创新教材·电子信息系列

编审委员会

主 任 刘文娟

副 主 任 施红英 刘炳国

委 员 (按姓氏笔画为序)

于 春	卞 克	王怀宇
白秉旭	石朝晖	孙会双
孙淑荣	刘 莉	刘临江
刘立国	刘 刚	刘 坤
吴 方	李新竹	李 飞
宋 阳	赵慧欣	邱仁凤
陈秋霞	远红娟	胡登纯
徐伟伟	夏新建	梁大鹏

内 容 简 介

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的指导思想,参考教育部最新颁布的《电工与电子技术》教学大纲和课程标准,以及高职高专“以提高学生就业竞争力为导向,突出技能训练,培养实用型人才”的人才培养目标编写而成的。本书内容全面,体例新颖,实用性强。

全书共分为13章,主要包括:直流电路、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、磁路与变压器、电动机及其控制、继电器—接触器控制系统、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管电路、基本门电路与组合逻辑电路和触发器与时序逻辑电路。

本书既可作为高职高专电类相关专业的教材和教学参考书,也可作为成人院校、职业技能培训教材,还可供工程技术人员参考阅读。

前 言

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的指导思想,参考教育部最新颁布的《电工与电子技术》教学大纲和课程标准,以及高职高专“以提高学生就业竞争力为导向,突出技能训练,培养实用型人才”的人才培养目标编写而成的。本书内容全面,体例新颖,实用性强。本书既可作为高职高专电类相关专业的教材和教学参考书,也可作为成人院校、职业技能培训教材,还可供工程技术人员参考阅读。

本书在结构、内容安排等方面,吸收了编者多年来在教学改革、教材建设等方面取得的经验体会,力求全面体现高等职业教育的特点,满足当前教学的需求。本书的编写特点主要体现在以下几个方面:

(1)采用任务趋动的方式撰写。根据非电类电工电子技术教学的特点,在教材内容选取上,以“必需、够用”的基本概念、基本分析方法为主,舍去复杂的理论分析,辅之以适量的思考分析与提醒,内容层次清晰,循序渐进,让学生对基本理论有系统、深入地理解,为以后的持续学习奠定基础。

(2)注重将理论讲授与实践训练相结合。理论讲授贯穿其应用性,实践中有理论、有方法,以基本技能和应用为主,易学易懂易上手,具有工程应用性。

(3)在内容安排上,注重吸收新技术、新内容和新思路。

(4)注重分析问题、解决问题能力的培养。如增加了选择、调试使用电子仪表仪器、设计电子线路的内容,增加了有关电气控制线路的常用基本知识、安全用电知识等。

(5)全书涉及电工、电子技术基础、常用低压控制电气与应用等知识,是根据电工电子技术基础知识的特点,按照高职高专教育要求,融知识、能力、技能和实用等方面为一体而做的一次有益探索。

本书共有13章,其中电工部分包括第1章~第6章,分别为直流电路、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、磁路与变压器、电动机及其控制、继电器—接触器控制系统;电子部分包括第7章~第13章半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、晶闸管电路、基本门电路与组合逻辑电路和触发器与时序逻辑电路,适用于多学时教学。

由于编写时间仓促且教材涉及面较宽,加之编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

第一篇 电工部分

第 1 章 直流电路	2	本章小结	71
任务 1 认识电路和电路模型	2	本章习题	71
任务 2 电路的基本物理量	3		
任务 3 电路的基本定律	10	第 4 章 磁路与变压器	73
任务 4 电压源、电流源及其等效变换	14	任务 1 初步认识磁性物质的磁性能	73
任务 5 直流电路的基本分析方法	17	任务 2 变压器的基本结构与工作原理	77
技能训练:直流电路电位的测量	23	任务 3 认识三相变压器	81
本章小结	25	技能训练:单相变压器空载和短路实验	86
本章习题	26	本章小结	89
		本章习题	89
第 2 章 单相正弦交流电路	29		
任务 1 初步认识正弦交流电	29	第 5 章 电动机及其控制	91
任务 2 单一参数正弦交流电路分析	34	任务 1 初步认识三相异步电动机	
任务 3 RLC 串并联交流电路分析	40	的基本结构与工作原理	91
任务 4 安全用电技术	46	任务 2 三相异步电动机的控制	95
技能训练:常用电子仪器的使用	51	本章小结	98
本章小结	55	本章习题	99
本章习题	55		
第 3 章 三相正弦交流电路	58	第 6 章 继电器—接触器控制系统	100
任务 1 认识三相交流电	58	任务 1 认识常用低压电器	100
任务 2 分析三相电源的连接电路	60	任务 2 常用的基本控制线路分析	108
任务 3 分析三相负载的连接电路	63	本章小结	117
任务 4 三相交流电路的功率计算	69	本章习题	118

第二篇 电子部分

第 7 章 半导体器件	120	任务 2 半导体二极管的结构与特性	123
任务 1 初步认识半导体与 PN 结	120	技能训练:二极管的检测	129

任务 3 半导体三极管的结构与特性·····	130	本章习题·····	203
技能训练:三极管的检测·····	135		
本章小结·····	136		
本章习题·····	136		
第 8 章 基本放大电路 ·····	139	第 11 章 晶闸管电路 ·····	205
任务 1 共射放大电路分析·····	139	任务 1 初步认识晶闸管·····	205
任务 2 分压式偏置共射放大电路分析·····	148	任务 2 晶闸管可控整流电路分析·····	208
任务 3 共集与共基放大电路分析·····	151	技能训练:晶闸管可控整流电路·····	214
任务 4 多级放大电路的耦合方式 与动态分析·····	155	本章小结·····	218
任务 5 差动放大电路分析·····	159	本章习题·····	219
技能训练:共射极单管放大电路·····	164		
本章小结·····	167	第 12 章 基本门电路与组合逻辑电路 ·····	220
本章习题·····	168	任务 1 初步认识数字电路与逻辑代数·····	220
第 9 章 集成运算放大器 ·····	171	任务 2 认识基本逻辑门电路·····	226
任务 1 初步认识集成运放·····	171	任务 3 组合逻辑电路的分析与设计·····	228
任务 2 放大电路中的负反馈·····	175	技能训练 1:组合逻辑电路的分析与设计 ·····	231
任务 3 集成运放构成的基本运算电路分析 ·····	182	技能训练 2:门电路逻辑功能及测试·····	233
任务 4 集成运放的非线性应用·····	185	本章小结·····	233
技能训练:集成运放的应用——模拟运算电路 ·····	187	本章习题·····	234
本章小结·····	190	第 13 章 触发器与时序逻辑电路 ·····	235
本章习题·····	190	任务 1 初步认识触发器·····	235
第 10 章 直流稳压电源 ·····	194	任务 2 寄存器工作原理分析·····	240
任务 1 整流电路分析·····	194	任务 3 555 定时器的基本知识与应用·····	244
任务 2 滤波电路分析·····	198	技能训练 1:触发器逻辑功能测试·····	246
任务 3 稳压管稳压电路分析·····	200	技能训练 2:脉冲信号的产生和变换·····	248
本章小结·····	203	任务 4 数/模和模/数转换器的结构 与工作原理·····	249
		本章小结·····	252
		本章习题·····	252
		参考文献 ·····	254

第一篇

电工部分

在“电工与电子技术”课程中,电工部分主要包括六章内容:直流电路、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、磁路与变压器、电动机及其控制、继电器—接触器控制系统。涵盖了电路的基本概念、基本定律、基本分析方法、单相正弦交流电路、三相交流电路及安全用电常识、磁路与变压器、电动机及其控制、继电器—接触器控制系统等相关内容。本部分将为学习专业知识和实际操作技能奠定基础。

通过本篇的学习,应掌握电工学的基本概念、基本定律、控制系统和基本操作技能,从而具备机电技术应用专业的高素质劳动者和中初级专门人才所需的电工技术基本知识及基本技能,初步具有解决生产中和生活中出现的与电有关的实际问题的能力。



第 1 章

直流电路

任务 1 认识电路和电路模型

任务描述：了解电路的基本组成元件；

熟悉如何将实际电路用电路模型表示。

任务分析：电路是各种电气元器件按一定的方式连接起来的总体。在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在。本任务将主要介绍电路和电路模型。

阶段 1 电路

电路是各种电气元器件按一定的方式连接起来的总体。在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在。从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

如图 1-1 所示，用导线将干电池、开关、灯泡连接起来，只要合上开关，有电流流过，灯泡就会亮起来。像这种电流流通的路径称为电路。电路一般由 4 部分组成：一是提供电能的装置，称为电源；二是消耗或转换电能的装置，称为负载；三是在电路中起连接作用的部分，称为导线；四是控制电路的导通和断开的装置，称为开关。

电路的主要功能有 2 类：一类是进行能量的转换、传输和分配。例如，供电电路可将发电机发出的电能经传输电线传输到各个用电设备，再由用电设备转换成热能、光能、机械能等。另一类是实现信息的传递和处理。例如，计算机电路、电话电路、扩音机电路等。

★ 动画



电路组成及各部分功能

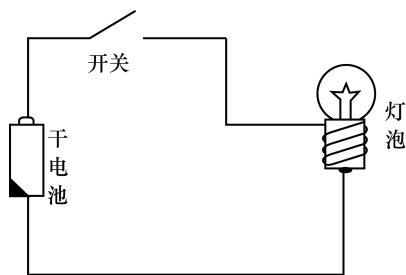


图 1-1 手电筒电路示意图

阶段 2 电路模型

一个实际的元件,在电路中工作时,所表现的物理特性不是单一的。例如,一个实际的绕线电阻,当有电流通过时,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线的周围产生磁场,因而兼有电感器的性质。同时还会在各匝线圈间存在电场,因而又兼有电容器的性质。所以,直接对由实际元件和设备构成的电路进行分析和研究,往往很困难,有时甚至不可能。

为了便于对电路进行分析和计算,我们常把实际元件加以近似化、理想化,在一定条件下忽略其次要性质,用足以表征其主要特征的“模型”来表示,即用理想元件来表示。例如,“电阻元件”就是电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件的理想元件,称为模型。因为在低频电路中,这些实际元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能,所以用“电阻元件”这样一个理想元件来反映其消耗电能的特征。同样,在一定条件下,“电感元件”是线圈的理想元件,“电容元件”是电容器的理想元件。

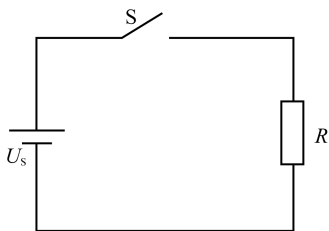


图 1-2 手电筒电路模型

由理想元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。图 1-2 是图 1-1 所示实际电路的电路模型。

任务 2 电路的基本物理量

任务描述: 了解电路的基本物理量的意义、单位和符号;

掌握电流与电压正方向的确定方法和电路中电位的计算方法;

掌握电功与电功率的计算方法;

掌握电路的三种工作状态及其状态特征。

任务分析: 电流、电压和电功率都是电路中的基本物理量,也是研究电路基本规律的关键。本任务将主要介绍电路中的基本物理量。

阶段 1 电流

电流是电路中既有大小又有方向的基本物理量,其定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的大小即电流强度,简称电流,其单位为安培(A)。

电流主要分为 2 类:一类为大小和方向均不随时间变化的电流,称为恒定电流,简称直流(简写 DC),用大写字母 I 表示;另一类为大小和方向均随时间变化的电流,称为变化电流,用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变化电流称为交变电

流,简称交流(简写 AC),也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图 1-3 所示。其中,图 1-3 (a)为直流,图 1-3(b)和(c)为交流。一般规定,电流的方向为正电荷运动的方向。

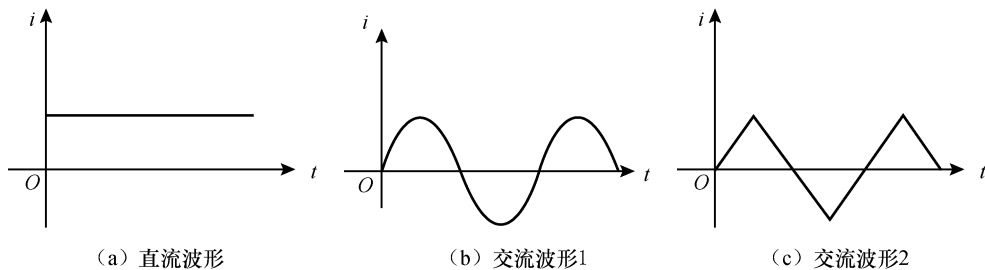


图 1-3 常见的电流波形

在分析较复杂电路时,由于无法确定电流的实际方向,或电流的实际方向在不断地变化,所以我们引入了“参考方向”的概念。

参考方向是一个假想的电流方向。在分析电路前,须先任意规定未知电流的参考方向,然后根据电流的参考方向列方程求解。若计算结果 $i > 0$,则表明电流的实际方向与电流的参考方向一致,如图 1-4(a)所示;若 $i < 0$,则表明电流的实际方向和电流的参考方向相反,如图 1-4(b)所示。这样,我们就可以在选定的参考方向下,根据电流的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。

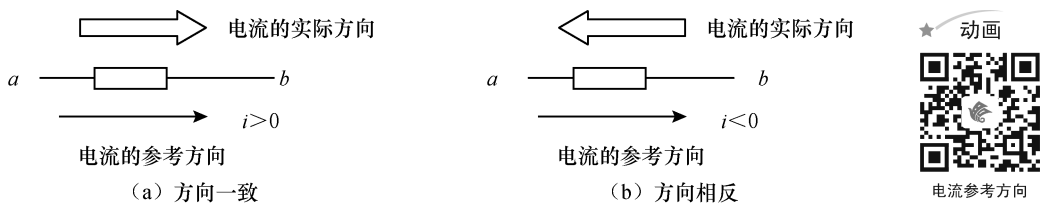


图 1-4 电流的参考方向与实际方向

阶段 2 电压与电位

1. 电压

电压是电路中既有大小又有方向的基本物理量。就像水压能使静止的水按一定方向流动一样,电压能使导体中电子按一定方向运动。电路中 A, B 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。若电场力做正功,则电压的实际方向从 A 到 B ,两点之间的电压用 U_{AB} 表示。电压的单位为伏特(V)。

其中,直流电压用大写字母 U 表示,交流电压用小写字母 u 表示。在计算较复杂电路时,常常对电压的实际方向难以判断,因此也要先设定电压的参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;反之,为负值。

电压的参考方向有 3 种表示方法,如图 1-5 所示。

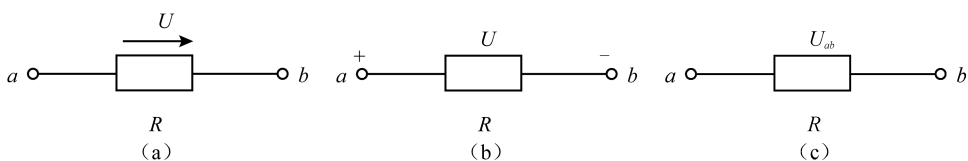


图 1-5 电压的参考方向

提醒

电压的实际方向为正电荷在电场中的受力方向。在选择电压的参考方向时,如果已知电流的参考方向,则电压的参考方向最好选择与电流的一致。两者一致时称为关联参考方向,不一致时称为非关联参考方向。

2. 电位

电位是电路分析中的重要概念,用大写字母 V 表示。电路中每一点都有一定的电位。电路中某点电位的高低都是相对于电路的参考点而言的。电路中某点的电位也可看作是该点与参考点之间的电压,换言之,电路中某两点间的电压等于这两点之间的电位差,即

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-1)$$

显然电位的单位与电压的一样,也是伏特(V)。

电路中各点电位的高低进行比较时,须先选定一个共同的参考点。原则上讲,参考点可任意选定,参考点的电位通常设为零,故参考点又叫零电位点或零点。电力工程中常选大地为参考点,在电子线路中则常以多数支路汇集的公共点为参考点,此公共连接点一般与机壳相连,通常称之为“地点”。参考点在电路图中用符号“⊥”标示。实际上,电路中某点到参考点之间的电压就等于该点的电位值。例如,图 1-6 中的一 $6V$ 电位点,实际上是标明该点较参考点的电位低 $6V$; $+10V$ 电位点则说明该点的电位较参考点的高 $10V$,即电位有高低正负之分,且均相对参考点电位而言。

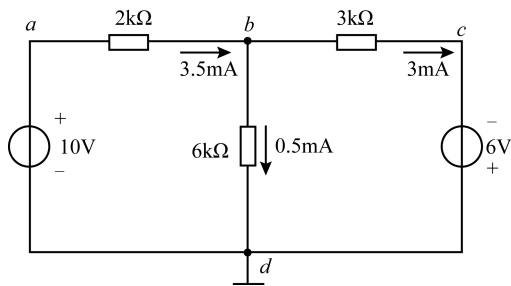


图 1-6 例 1.1 图

3. 电位计算

对电工与电子技术中的电路进行分析,常常要利用电位的概念使其分析过程简化,因此理解和掌握电位的概念及电位的计算方法很有必要。

计算电路中各点的电位时,应首先选定电路中某点作为参考点,并用符号“⊥”标示。下面举例说明电位的计算方法。

【例 1.1】 电路如图 1-6 所示,当分别以 d, b 作为参考点时,求 U_{ab}, U_{bc} 和 U_{ca} 。

解:(1)当以 d 点为参考点,即令 $V_d = 0$ 时,有

★ 动画



电位的概念

$$V_a = 10\text{V}$$

$$V_b = 6 \times 0.5 = 3\text{V}$$

$$V_c = -6\text{V}$$

则

$$U_{ab} = V_a - V_b = 10 - 3 = 7\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 3 - (-6) = 9\text{V}$$

$$U_{ca} = V_c - V_a = -6 - 10 = -16\text{V}$$

(2)若以 b 点为参考点,即令 $V_b = 0$ 时,有

$$V_a = 3.5 \times 2 = 7\text{V}$$

$$V_c = -3 \times 3 = -9\text{V}$$

$$V_d = -0.5 \times 6 = -3\text{V}$$

则

$$U_{ab} = V_a - V_b = 7 - 0 = 7\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 - (-9) = 9\text{V}$$

$$U_{ca} = V_c - V_a = -9 - 7 = -16\text{V}$$

由本例可以看出:选择参考点不同时,电路中各点的电位随之改变,但是,任意两点间的电压值是不变的。所以各点电位的高低是相对于不同的参考点而言的;两点间的电压值是绝对的,其大小与参考点无关,仅取决于两点间电压的差值。

【例 1.2】 如图 1-7 所示电路,当开关 S 断开和闭合时,求 a 点的电位 V_a 。

解:(1) S 断开时,电路为单一支路,3 个电阻上通过同一电流,所以

$$I = \frac{12 - (-12)}{6 + 4 + 20} = 0.8\text{mA}$$

电流方向由下向上,有 $12 - V_a = I \times 20$,所以

$$V_a = 12 - 0.8 \times 20 = -4\text{V}$$

(2) S 闭合时,由于 b 点电位为 0, $4\text{k}\Omega$ 电阻和 $20\text{k}\Omega$ 电阻流过的电流相同,所以

$$V_a = 12 - \frac{12}{4 + 20} \times 20 = 2\text{V}$$

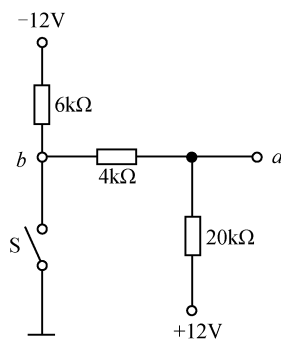


图 1-7 例 1.2 电路图

阶段 3 电功率

电功率是指单位时间内,电路元件上能量的变化量,用大写字母 P 表示。它是具有大小和正负值的物理量。电功率简称功率,其单位是瓦特(W)。

在电路分析中,通常用电流 i 与电压 u 的乘积来描述功率。

在 u, i 关联参考方向下,元件上吸收的功率定义为

$$P=ui \quad (1-2)$$

在 u, i 非关联参考方向下, 元件上吸收的功率为

$$P=-ui \quad (1-3)$$

不论 u, i 是否是关联参考方向, 若 $P>0$, 则该元件吸收(或消耗)功率; 若 $P<0$, 则该元件发出(或供给)功率。

【例 1.3】 试求图 1-8 电路中元件吸收的功率。

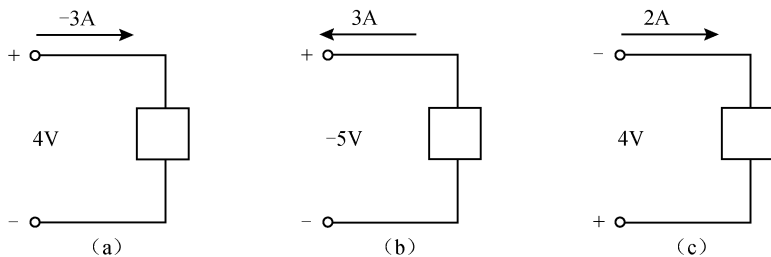


图 1-8 例 1.3 电路图

解: (1) 图 1-8 (a), 所选 u, i 为关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P=ui=4\times(-3)\text{W}=-12\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 -12W , 即发出的功率为 12W 。

(2) 图 1-8 (b), 所选 u, i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P=-ui=-(-5)\times 3\text{W}=15\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 15W 。

(3) 图 1-8 (c), 所选 u, i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P=-ui=-4\times 2\text{W}=-8\text{W}$$

除了功率之外, 有时还要计算一段时间内电路所消耗(或产生)的电能, 用 W 表示, 即

$$W=P\cdot t$$

工程上, 电能的单位经常用千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$)来表示。千瓦时又称为“度”。平时所讲的 1 度电, 就是额定功率为 1 千瓦的用电设备在额定状态下工作 1 小时所消耗的电能。

阶段 4 电动势

电动势是表示电源性质的物理量, 它表征了电源把其他形式的能转化为电能的本领。电动势常用 E 来表示, 其单位也是伏特(V)。

不同的电源, 非静电力做功的本领不同, 电源把其他形式的能转化为电能的本领不同, 电动势就不同。例如, 干电池的电动势是 1.5V , 表明在干电池内, 把化学能转化为电能时, 可以使 1C 电荷具有 1.5J 电能; 铅蓄电池的电动势是 2V , 表明在铅蓄电池内, 把化学能转化为电能时, 可以使 1C 电荷具有 2J 电能; 铅蓄电池的电动势比干电池的大, 表明它把化学能

★ 动画



电源的电动势

转化为电能的本领比干电池的大。电动势的大小等于单位正电荷从负极经电源内部移到正极时非静电力所做的功,其数值也等于电源没有接入电路时两极间的电压。

提醒

电动势描述电源把其他形式的能转化为电能的本领大小,不同的电源其电动势一般不同,把其他形式的能转化为电能的本领就不相同。

阶段 5 工作状态

电路有开路(断路)、电源短路、电源有载工作 3 种状态。现以图 1-9 为例说明这 3 种工作情况的电压与电流关系和功率关系。



1. 开路

图 1-9 所示的电路中,开关 S 断开,电路中无电流,我们称它处于开路状态。在这种工作状态下,电源对外不输出能量,内阻也不消耗能量。这时电源的端电压 U_1 等于电源电动势 E 。电路中的电流 I 等于 0,负载消耗的功率 P 等于 0,即

$$U_1 = E, I = 0, U = 0, P_E = P_O = 0$$

2. 电源短路

由于某种原因,电源的两端直接连在一起的现象称为电源短路。当电源短路时,电流从电源正极出发不经过负载而直接流回到电源负极,如图 1-10 所示。电源的电动势全部降落在内阻上,电源产生的能量全部被电源内阻吸收。我们把这个电流称为短路电流,用 I_{sc} 表示。由于电源的内阻 R_0 极小,通常电源的短路电流很大,很容易使电源设备受损或毁坏。此时电路中的各物理量可表示为

$$I = I_{sc} = \frac{E}{R_0}, U = 0, P = 0, P_O = P_E = R_0 I_{sc}^2$$

短路也可发生在负载端或电路的任何处。

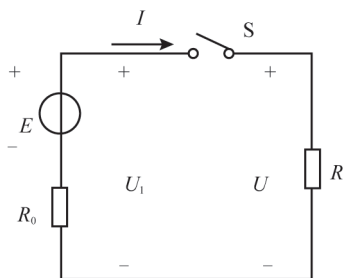


图 1-9 电路的有载与空载

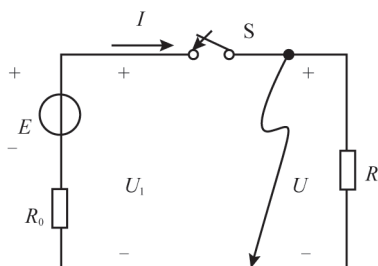


图 1-10 电源短路

提醒

短路是常见的一种严重事故,应尽量避免发生。在实际工作中,为防电源发生短路,常在电路中安装熔断器(装保险丝的装置)或自动断路器,当电路发生短路时能及时迅速切断故障电路,保证安全。

3. 电源有载工作

当开关 S 合上后,如图 1-11 所示,电路中形成电流 I 。即为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

负载两端的电压为

$$U = IR$$

即

$$U = E - IR_0 \quad (1-4)$$

把电源的端电压 U 与流过电流 I 之间的关系称为电源的外特性,如图 1-12 所示。由式(1-4)可见,电源流过的电流越大,其输出电压越小。当 $R_0 \ll R$ 时,有 $U \approx E$ 。如果电流(负载)变化,而电源的端电压变化很小,则说明它带负载的能力强。

对式(1-4)两端同乘以电流 I ,则得

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-5)$$

式(1-5)中, $UI = P$ 为负载消耗的功率; $EI = P_E$ 为电源产生的功率; $I^2 R_0 = \Delta P$ 为电源内阻损耗的功率。这表明整个电路中功率是平衡的,即由电源产生的功率等于电路各部分所消耗的功率。

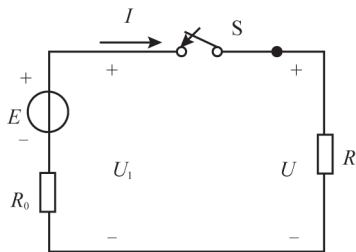


图 1-11 电源的有载工作

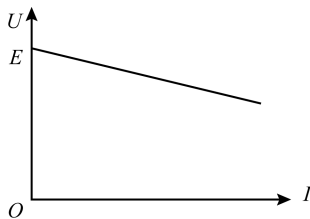


图 1-12 电源的外特性曲线

为了保证电气设备和器件安全、可靠和经济地工作,生产厂家规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率,这些规定值称为电气设备和器件的额定值。常用下标符号 N 表示,如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。这些额定值通常标记在设备的铭牌上,所以也叫铭牌值。例如,灯泡上标有“220V 40W”的字样,就是指这只灯泡正常工作时的电压为 220V,此时的电功率为 40W。

电气设备和器件应尽量工作在额定状态,这种状态称为满载。其电流和功率低于额定值的工作状态称为轻载;高于额定值的工作状态称为过载。



思考与分析

有人说：“电路中，没有电压的地方就没有电流，没有电流的地方也就没有电压。”这句话对吗？为什么？

分析：不对。因为电压为零时电路相当于短路，可以有短路电流；电流为零时电路相当于开路，可以有开路电压。

任务3 电路的基本定律

任务描述：理解并掌握欧姆定律的基本内容和应用方法；

理解并熟练掌握基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

任务分析：在进行电路分析和计算时，除了会用到欧姆定律，还离不开基尔霍夫定律。本任务主要介绍电路分析中的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律。

阶段1 欧姆定律

1. 欧姆定律

欧姆定律的基本内容是：流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。它是分析电路的基本定律之一。图 1-13(a) 中的电路，欧姆定律可表述为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中， R 即为该电路的电阻。由式(1-6)可以得知，当电阻两端所加电压 U 一定时，电阻 R 小，则电流 I 大；电阻 R 大，则电流 I 小。所以电阻具有阻碍电流通过的性质。

由于电压和电流的参考方向可任意选取，因此欧姆定律公式中会带有正负号。当电压和电流的参考方向一致时，如图 1-13(a)(c)，则得

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

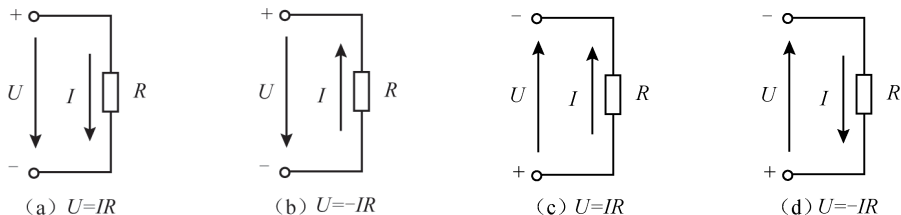


图 1-13 欧姆定律示意图

★ 动画



欧姆定律

当电压和电流的参考方向不一致时,如图 1-13(b)(d),则得

$$U = -IR \quad (1-8)$$

2. 全电路欧姆定律

图 1-14 所示的电路是最简单的闭合电路,由欧姆定律可知,电路中的电流 I 为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-9)$$

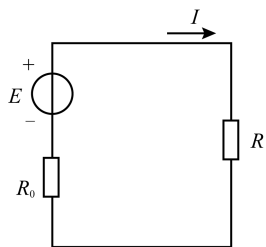


图 1-14 全电路欧姆定律

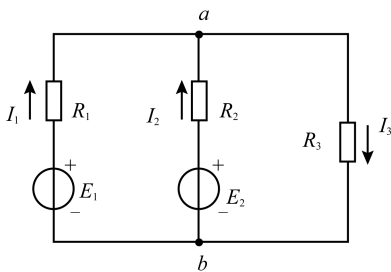


图 1-15 复杂电路实例

阶段 2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。在讲基尔霍夫定律之前,先介绍几个基本概念。

支路:电路中的每一分支称为支路,每一条支路上流过 1 个电流,称为支路电流。图 1-15 所示电路就有 3 条支路,分别为 aR_1E_1b 支路、 aR_2E_2b 支路和 aR_3b 支路。

结点:由 3 条或 3 条以上的支路相连接的点称为结点(a 和 b 点)。

回路:由 1 条或多条支路所组成的闭合路径叫做回路。如图 1-15 所示的 $aR_3bE_1R_1a$ 回路、 $aR_1E_1bE_2R_2a$ 回路和 $aR_2E_2bR_3a$ 回路。

网孔:回路中不再含有支路的最小路径称为网孔。如图 1-15 所示的 $aR_1E_1bE_2R_2a$ 回路和 $aR_2E_2bR_3a$ 回路就是 2 个网孔。

提醒

电路中的回路不一定是网孔,但网孔一定是回路。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律,缩写为 KCL。它描述了连接在同一结点上,各支路电流之间的约束关系,反映了电流的连续性,即在任一瞬间,流入某一结点的电流之和等于流出该结点的电流之和。KCL 的数学关系式为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-10)$$

在图 1-15 所示电路中,对 a 结点有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

★ 动画



基尔霍夫定律

上式也可以写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

因此, KCL 也可表述为: 在任何时刻, 电路中流入任一结点的所有支路电流的代数和等于零。这里把流入结点的电流取“+”号, 流出结点的电流取“-”号; 反之也成立。但为了减少正负号, 方便记忆, 通常采用“流入等于流出”。

KCL 不仅适用于电路的结点, 还可推广应用于电路中任一假设的闭合面。如图 1-16 所示的电路, 闭合面内包含 3 个结点, 在这些结点处

$$i_1 = i_{12} - i_{31}$$

$$i_2 = i_{23} - i_{12}$$

$$i_3 = i_{31} - i_{23}$$

将三式相加, 即得

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

可见, 流入任何封闭面的电流代数和等于零。

【例 1.4】 流入和流出某结点的电流如图 1-17 所示, 求电流 I 。

解: 取流入该结点的电流为“+”, 流出该结点的电流为“-”, 根据 KCL 得

$$5 + 2 - I - 4 = 0$$

解得

$$I = 3\text{A}$$

如果取流出该结点的电流为“+”, 流入该结点的电流为“-”, 则方程变为

$$I + 4 - 5 - 2 = 0$$

解得

$$I = 3\text{A}$$

这说明在分析电路列写方程时, 取流入该结点的电流为“+”还是流出该结点的电流为“+”并不影响计算结果。但在同一个 KCL 方程中必须保持一致。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定一个回路内各部分电压之间关系的定律。可叙述为: 在任一瞬时, 沿任一闭合回路绕行一周, 回路中各支路(或各元件)电压的代数和等于零。缩写为 KVL。其数学表达式为

$$\sum U = 0 \quad (1-12)$$

如图 1-18(a)所示的电路, 沿回路 $adcba$ 绕行一周, 所有电压的关系为

$$U_1 + U_2 + U_3 - U_4 = 0$$

如图 1-18(b)所示的电路, 沿着回路 $abfea$ 就有

$$-E_1 + U_3 + U_1 = 0$$

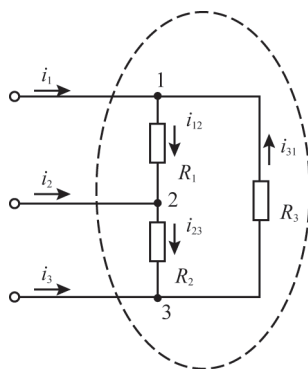


图 1-16 KVL 的扩展应用

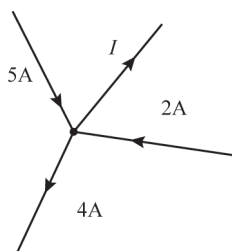


图 1-17 例 1.4 的电路

沿着回路 $abfcdea$ 就有

$$-E_1 + E_2 - U_2 + U_1 = 0$$

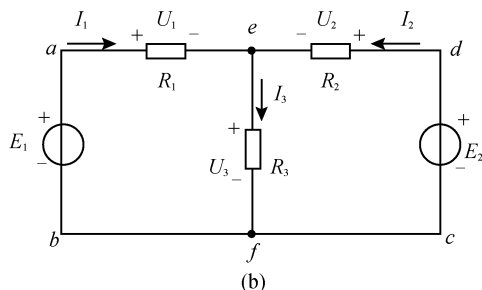
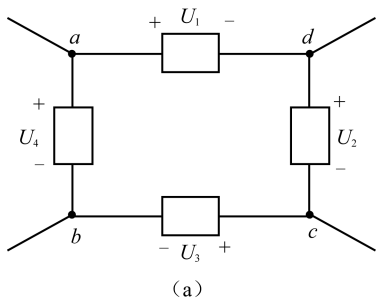


图 1-18 KVL 应用示例

在列 KVL 方程时,通常取电压升为正,电压降为负。当然也可取电压升为负,电压降为正,这并不影响计算结果。但在同一个方程中必须保持一致。

对于由电阻和电动势组成的闭合回路,电阻上的电压降是电流和电阻的乘积。对于图 1-18(b)所示的电路,沿着回路 $abfea$ 就有

$$-E_1 + I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0$$

或

$$I_3 R_3 + I_1 R_1 = E_1$$

即

$$\sum (IR) = \sum E$$

$\sum (IR) = \sum E$ 是基尔霍夫定律在电阻电路中的另一种表达方式,即在任一瞬时,沿任一闭合回路绕行一周,回路中所有电阻上电压降的代数和等于所有电动势的代数和。列写 KVL 方程时要注意回路绕行方向、支路电流方向和电动势的方向,对于电流,当电阻上电流的方向与回路绕行方向相同时取正号,相反时取负号;对于电动势,当电动势的方向与回路绕行方向相同时取正号,相反时取负号。简记为:“三方向”“相同取正、相反取负”。

基尔霍夫定律不仅适用于闭合回路,也可推广到非闭合回路中,求任意两点间的电压。对于图 1-18(a)所示的 $abca$ 非闭合回路,应用基尔霍夫定律有

$$\sum U = U_4 - U_3 - U_{ac} = 0$$

$$U_{ac} = U_4 - U_3$$

【例 1.5】 图 1-19(a)所示电路,已知 $E=12\text{V}$, $U=8\text{V}$, $R=5\Omega$, 求电流 I 。

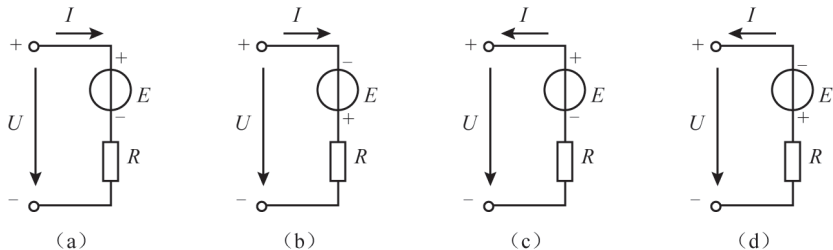


图 1-19 例 1.5 图

解:沿闭合回路绕行一周(顺时针绕行方向),应用 KVL,有

$$E + IR - U = 0$$

所以

$$I = \frac{U - E}{R} = \frac{8 - 12}{5} = -0.8 \text{ A}$$

计算结果中,电流是负值,即其实际方向与图中参考方向相反。

任务 4 电压源、电流源及其等效变换

任务描述: 了解电压源与电流源模型及其外特性;

掌握电压源与电流源之间的等效转换。

任务分析: 电源的电路模型有 2 种表示形式:一种是以电压形式表示的电路模型,称为电压源;一种是以电流形式表示的电路模型,称为电流源。本任务将讲述这两种电路模型——电压源与电流源。

阶段 1 电压源

在电源中,若它提供的电压是恒定电压,我们就把它称为理想电压源(简称恒压源),用图 1-20(a)所示的符号表示,其中“+”和“-”表示该恒压源的参考极性。对于直流恒压源还可用图 1-20(b)所示的模型,其中表示 U_s 的长线表示该恒压源的参考正极性,短线表示该恒压源的参考负极性。恒压源提供的端电压恒定,不随电流的变化而变化,即

$$U = U_s \quad (1-13)$$

恒压源的伏安特性如图 1-20(c)所示。它所输出的功率为

$$P = UI = U_s I$$

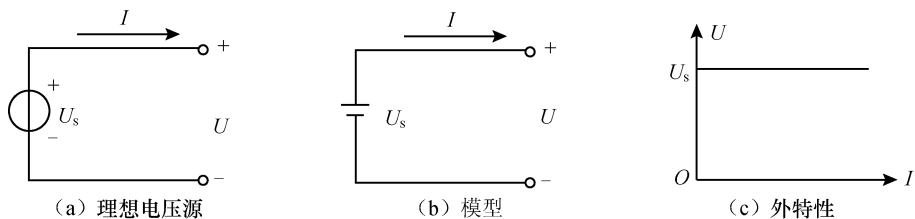


图 1-20 理想电压源模型及外特性

恒压源只是电压源的一种理想状态。而根据电源提供电压的实际情况来看,由于内阻的存在,电源内部有功率损耗,其输出电压随电流的变化而变化,我们把它称为实际电压源(简称电压源)。通常用恒压源和电阻串联的模型来表示,如图 1-21(a)所示。它向外电路提供的电压、电流关系为



$$U = U_s - IR_o \quad (1-14)$$

电压源的伏安特性(也称外特性)如图 1-21(b)所示。在 a 点处,电流为零,此时电路开路, a 点为电路开路点, $U = U_s$ 。在 b 点处,端电压 U 为零,此时外电路被短路, b 点为电源的短路点,电流 I_b 即电源的短路电流: $I_b = I_{sc} = \frac{U_s}{R_o}$ 。

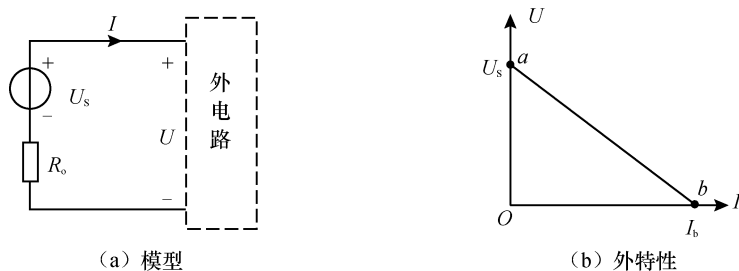


图 1-21 电压源模型及外特性

阶段 2 电流源

和电压源一样,电流源也分为理想电流源(简称恒流源)和实际电流源(简称电流源)两种。

恒流源的特点是为外电路提供恒定的电流,其端电压随外接电路的不同而不同。恒流源的电路模型如图 1-22(a)所示,箭头表示恒流源的电流参考方向,伏安特性曲线如图 1-22(b)所示。

电流源有内阻,使得它提供给外电路的电流总比恒流源的电流要小。实际电流源可用图 1-23(a)所示的电路模型来表示,其电压、电流关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-15)$$

或
$$U = R_s I_s - R_s I \quad (1-16)$$

电流源的伏安特性(也称外特性)如图 1-23(b)所示。在 a 点处,电流为零,此时电流源开路,开路电压为 $U = R_s I_s$ 。在 b 点处,电压为零,此时电流源短路,其短路电流为 $I = I_s$ 。

理想电压源和理想电流源统称理想电源。

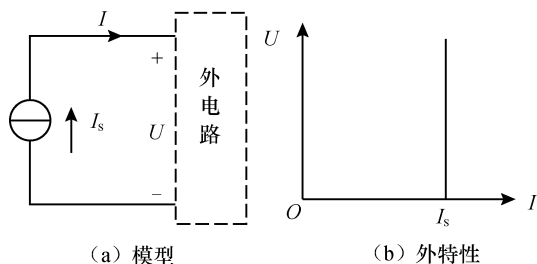


图 1-22 理想电流源模型及外特性

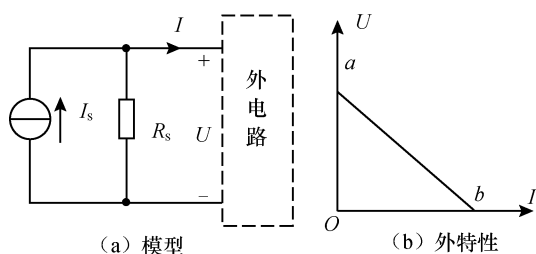


图 1-23 电流源模型及外特性



阶段 3 电压源与电流源的等效变换

一个实际的电源可以用电压源来表示,也可以用电压源来表示。由于实际电压源的外特性和实际电流源的外特性是相同的,即它们之间对于外电路来说是等效的,因此相对于外电路来讲,电压源和电流源就可以进行等效变换。

两种电源模型等效变换的原则是:对于外电路而言,输出的电压、电流关系完全相同。即当两种电源提供同样的电压时,输出电流必然相等。

对于电压源和电阻串联的模型电路,如图 1-21(a)所示,可得

$$I = \frac{U_s}{R_o} - \frac{U}{R_o} \quad (1-17)$$

对于电流源与电阻并联的模型电路,如图 1-23(a)所示。其关系式如式(1-18)。

由式(1-15)和式(1-17)对应项相等,得

$$I_s = \frac{U_s}{R_o}, R_s = R_o \quad (1-18)$$

或

$$U_s = I_s R_s, R_o = R_s \quad (1-19)$$

这就是两种电源进行等效变换的条件。式(1-18)是已知电压源电路时,求电流源电路的公式;(1-19)是已知电流源电路时,求电压源电路的公式。在这里要特别指出:

- ①使用时应注意两个电源的参考方向要保证一致,如图 1-21(a)和图 1-23(a)所示。
- ②理想电压源和理想电流源之间不能进行等效变换。
- ③电压源和电流源之间的等效变换是对外电路而言,但电源内部是不等效的。
- ④无论是电源还是负载,与恒压源并联时将不影响恒压源两端的电压(即可等效为恒压源),与恒流源串联时将不影响恒流源的输出电流(即可等效为恒流源)。

【例 1.6】 已知电路如图 1-24(a)所示。试求其他各支路的电流和电流源的功率。

解:(1)由图可知,电路为实际电压源和 1 个理想电流源并联后向 12Ω 电阻供电,因此可先把实际电压源化成电流源以求出 I_3 ,从而求出 I_1 。

先把电压源化成电流源,如图 1-24(b)所示;再合并电流源,如图 1-24(c)所示。

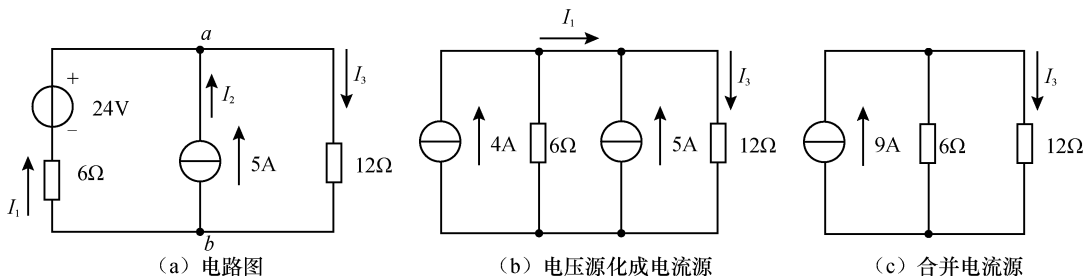


图 1-24 例 1.6 图

由分流公式得

$$I_3 = (4+5) \times \frac{6}{6+12} = 3\text{A}$$

对于图 1-24(a)中的 a 点,有 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$
 即 $I_1 = I_3 - I_2 = 3 - 5 = -2\text{A}$

(2)求电流源的功率

电流源两端的电压即是 12Ω 电阻上的电压降为

$$U = 12I_3 = 12 \times 3 = 36\text{V}$$

所以电流源所输出的功率为

$$P = UI_2 = 36 \times 5 = 180\text{W}$$

任务 5 直流电路的基本分析方法

任务描述: 掌握支路电流法分析直流电路;

理解叠加原理的电路分析方法;

学会应用戴维南定理进行电路分析。

任务分析: 对于简单电路,可以用欧姆定律和电源等效变换等方法求解,但是对于复杂电路,这些是远远不够的。本任务将讨论几种复杂电路常用的分析与计算方法——支路电流法、叠加原理、戴维南定理等。

阶段 1 支路电流法

电路的结构形式多种多样,凡是不能用串、并联等变换后化简成单一回路再进行计算的电路,称为复杂电路,即不能用欧姆定律进行求解的电路。

分析计算复杂电路的一般方法是应用基尔霍夫定律列方程组求解。按方程中未知量选取不同,这类方法又分为支路电流法、回路电流法、结点电压法等。其中最直接、最基本的方法是支路电流法。

支路电流法是以支路电流作为未知量,直接应用 KCL、KVL 列出所需要的方程,然后联立求解各未知的支路电流。

以图 1-25 所示电路为例,来说明支路电流法的具体应用。设图中各电动势及电阻均为已知,分析此电路,共有 3 条支路、2 个结点和 3 个回路。各条支路的电流分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 ,其参考方向如图所示。

根据基尔霍夫电流定律,对结点 a 列 KCL 方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-20)$$

对结点 b 列 KCL 方程

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1-21)$$

显然,式(1-20)与式(1-21)是相同的。所以,对于有 2 个结点的电路只能由其中的 1 个

结点列写独立的 KCL 方程。要求出电流 I_1 、 I_2 和 I_3 3 个参数,就必须根据基尔霍夫电压定律,对图中的回路再列写 2 个独立的 KVL 方程。为保证方程的独立性,通常选取网孔回路来列方程。

对于回路 $aR_3bE_1R_1a$ (顺时针绕行) 列写方程有

$$E_1 - R_1 I_1 - R_3 I_3 = 0$$

对于回路 $aR_3bE_2R_2a$ (逆时针绕行) 列写方程有

$$E_2 - R_2 I_2 - R_3 I_3 = 0$$

一般来说,若电路有 b 条支路和 N 个结点,则在分析列写方程时,只能由其中的 $(N-1)$ 个结点写出 $(N-1)$ 个独立的 KCL 方程;要求取 b 个支路的电流,还需要对电路中的回路列写 $(b-N+1)$ 个 KVL 方程。

用支路电流法求解电路的步骤可归纳如下:

- ① 标出各支路电流的参考方向;
- ② 对 N 个结点,可列出 $(N-1)$ 个独立的 KCL 方程;
- ③ 选取 $(b-N+1)$ 个回路 (对于平面电路可选网孔数),列写出 $(b-N+1)$ 个独立的 KVL 方程;
- ④ 联立求解 $(N-1)$ 个 KCL 方程和 $(b-N+1)$ 个独立的 KVL 方程,就可以求出 b 个支路电流;
- ⑤ 校验计算结果的正确性。

支路电流法理论上可以求解任何复杂电路,但当支路数较多时,需求解的方程数也较多,计算过程烦琐。

【例 1.7】 图 1-25 所示电路中,已知 $E_1 = 90\text{V}$, $E_2 = 60\text{V}$, $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 12\Omega$, $R_3 = 36\Omega$, 试用支路电流法求各支路电流。

解: 在电路图上标出各支路电流的参考方向,如图所示,选取绕行方向。应用 KCL 和 KVL 列方程如下

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

代入已知数据得

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$6I_1 + 36I_3 = 90$$

$$12I_2 + 36I_3 = 60$$

解方程可得

$$I_1 = 3\text{A}, I_2 = -1\text{A}, I_3 = 2\text{A}$$

I_2 是负值,说明电阻 R_2 上的电流的实际方向与所选参考方向相反。

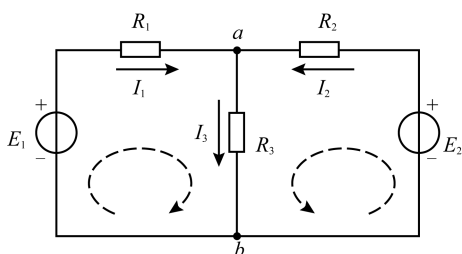


图 1-25 支路电流法

【例 1.8】 已知电路图及其元件参数如图 1-26 所示, 已知 $E_1 = 50\text{V}$, $E_2 = 10\text{V}$, $E_3 = -40\text{V}$, 试用支路电流法求各电阻的电流。

解: (1) 选取各支路电流的参考方向, 如图所示。

(2) 应用 KCL 列方程。在本电路中, 由于 a 、 b 两点等电位, c 、 d 两点也等电位, 它们可分别看作同一结点, 如图所示。任选一个结点列写 KCL 方程, 得

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

(3) 由于电路有 4 条支路、2 个结点, 要解出 4 个支路电流, 则需要 4 个独立方程, 因此再根据 KVL 列出 3 个回路的电压方程(这里选取三个网孔, 绕行方向选顺时针方向)

$$60I_1 - 20I_2 = E_1 - E_2$$

$$20I_2 - 40I_3 = E_2$$

$$40I_3 = -E_3$$

(4) 代入已知数据, 得

$$60I_1 - 20I_2 = 40$$

$$20I_2 - 40I_3 = 10$$

$$40I_3 = 40$$

解方程组得

$$I_1 = 1.5\text{A}, I_2 = 2.5\text{A}, I_3 = 1\text{A}, I_4 = -5\text{A}$$

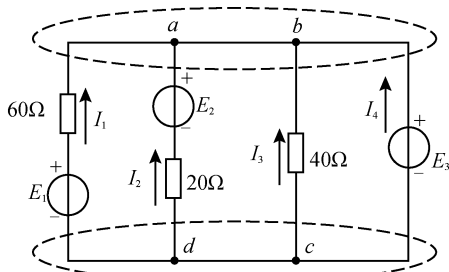


图 1-26 例 1.8 图

阶段 2 叠加原理

在实际电路中, 常常有多个电源同时作用的情况, 各条支路的电流是各个电源同时作用的结果。对于线性电路而言: 任何一条支路的电流(或电压)应等于电路中每一个电源单独作用在该支路中产生的电流(或电压)的代数和。这就是叠加原理。所谓电路中一个电源单独作用, 是指将其余电源全部除去(将这个电源以外的理想电压源除去, 使其电动势为 0, 并用短路代替; 将这个电源以外的理想电流源除去, 使其电流为 0, 并用开路代替), 但所有电源的内阻保留不动。

现以图 1-27(a)所示的电路为例, 介绍叠加原理的用法。已知 $E_1 = 90\text{V}$, $E_2 = 60\text{V}$, $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 12\Omega$, $R_3 = 36\Omega$, 用叠加原理计算 R_3 支路中的电流 I_3 。先分别画出 E_1 、 E_2 单独作用时的电路, 如图 1-27(b)和(c)所示。 E_1 单独作用时将 E_2 短路; E_2 单独作用时将 E_1 短路。

在 E_1 单独作用的电路中, R_3 支路上的电流为

$$I_3' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \times \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \times E_1 = 1.5\text{A}$$

在 E_2 单独作用的电路中, R_3 支路上的电流为



动画

叠加定理

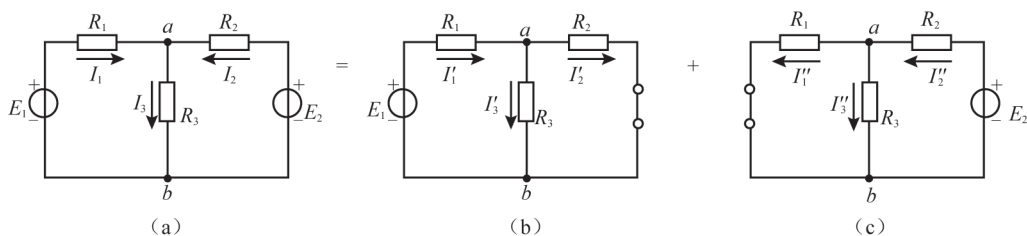


图 1-27 叠加原理

$$I_3'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} \times \frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{R_1}{R_2 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \times E_2 = 0.5 \text{ A}$$

由叠加原理可知,两个电源 E_1 和 E_2 共同作用在 R_3 支路中的电流 I_3 应等于上述两个电源分别单独作用时在 R_3 支路中的电流 I_3' 和 I_3'' 的叠加,即

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 1.5 + 0.5 = 2 \text{ A}$$

同理,对于 I_1 和 I_2

$$I_1 = I_1' - I_1''$$

$$I_2 = -I_2' + I_2''$$

对于各支路的电压,也可应用叠加原理进行计算。

实际上,应用叠加原理计算电路就是将一个复杂电路的计算化成几个简单电路,再运用欧姆定律和电阻的串并联知识分别进行计算,最后把结果进行代数和叠加。代入支路电流(或电压)时,当其参考方向与所求电流(或电压)的一致时取正;相反时取负。

【例 1.9】 试用叠加原理计算图 1-28(a) 中 12Ω 电阻上的电流 I_3 。

解: 根据叠加原理可将图 1-28(a) 等效为图 1-28(b) 和图 1-28(c) 的叠加。其中,图 1-28(b) 是电压源独立作用的电路;图 1-28(c) 是电流源独立作用的电路。

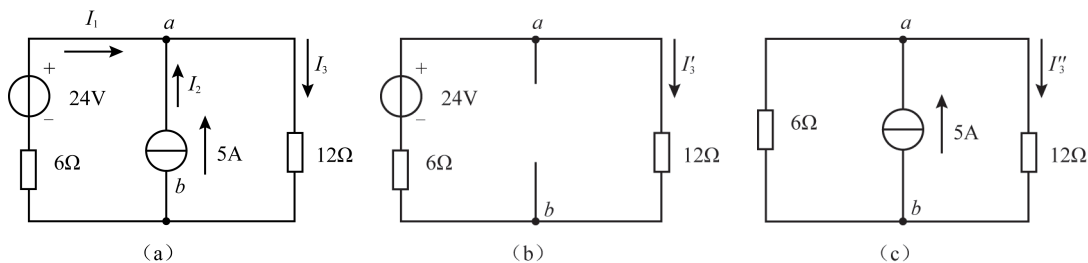


图 1-28 例 1.9 图

对图 1-28(b),根据全电路欧姆定律,可得电流 I_3' 为

$$I_3' = \frac{24}{6+12} = \frac{4}{3} \text{ A}$$

对图 1-28(c),根据分流公式,可得电流 I_3'' 为

$$I_3'' = \frac{6}{6+12} \times 5 = \frac{5}{3} \text{ A}$$

所以,根据叠加原理可得图 1-28(a) 中的电流 I_3 为

$$I_3 = I'_3 + I''_3 = \frac{4}{3} + \frac{5}{3} = 3\text{A}$$

应用叠加原理时,需要注意以下几点:

- (1) 叠加原理只适于计算线性电路,不适于计算非线性电路。
- (2) 进行代数求和时,要注意它们的参考方向。参考方向相同时取正;相反时取负。
- (3) 将复杂电路化为单电源电路时,所谓的其余“电压源”不作用,就是把该“恒压源”用短路代替(实际电压源看成恒压源与电阻串联);“电流源”不作用,就是把该“恒流源”用开路代替(实际电流源看成恒流源与电阻并联),其内阻不变。
- (4) 叠加原理只适用于电压和电流的计算,而不能用于计算电功率。

阶段 3 戴维南定理

在复杂电路中,当只需要计算某一条支路时,通常选用等效电源的方法,把需要计算的电流支路单独划出来进行计算。这条待求支路单独划出后,其余的部分电路就成为一个有源二端网络。所谓有源二端网络,就是具有两个出线端且含有电源的部分电路。

戴维南定理的内容可概括为:任何一个线性有源二端网络均可以等效为一个电压源,其等效电源的电压等于该有源二端网络的开路电压,等效电源的内阻等于把该有源二端网络内各电源除去后得到的无源二端网络的等效电阻(除源方法和叠加原理的除源方法一样),如图 1-29 所示。

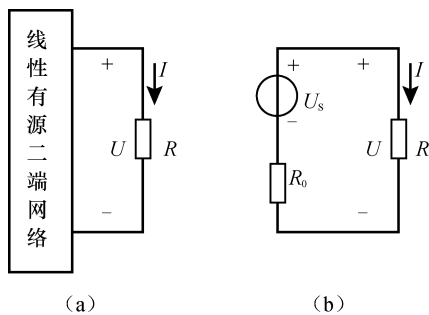


图1-29 线性有源二端网络及其等效电路

应注意的问题:用一个电压源等效地替代线性有源二端网络,只是指它们对外电路的作用等效,即把所要计算的那条支路接在等效电压源的两端同接在原电路中一样。但它们内部的电流、电压和功率并不等效。等效电压源的电压一定要和有源二端网络的开路电压保持一致。利用等效电路来计算就非常方便。实际上戴维南定理就是将复杂电路化成一个简单电路进行计算,应用时的关键就是计算二端网络的开路电压;只有通过练习才能掌握,请同学们自己多做练习。求开路电压时,前面所有学过的电路分析方法均可利用,也可以再次使用戴维南定理进行求解。



戴维南定理

【例 1.10】 已知电路如图 1-30(a) 所示, 试用戴维南定理求流过 7Ω 电阻的电流 I_{ab} 。

解: (1) 先断开待求 (7Ω 电阻) 支路, 得有源二端网络, 如图 1-30(b) 所示。求有源二端网络的开路电压 U_{ab} 。

$$I_1 = \frac{26 - 20}{3 + 6} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{20}{10 + 2 + 8} = 1 \text{ A}$$

$$U_{ab} = 20 + 6I_1 + 10I_2 - 20 = 20 + 6 \times \frac{2}{3} + 10 \times 1 - 20 = 14 \text{ V}$$

(2) 再求有源二端网络除源后所得无源二端网络的等效电阻 R_{ab} , 如图 1-30(c) 所示, 则

$$R_{ab} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} + \frac{10 \times (8 + 2)}{10 + (8 + 2)} = 7\Omega$$

(3) 将有源二端网络等效为一个电压源, 把待求 (7Ω 电阻) 支路与等效电源连接, 得到图 1-30(d) 所示的电路, 则

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{R_{ab} + 7} = \frac{14}{7 + 7} = 1 \text{ A}$$

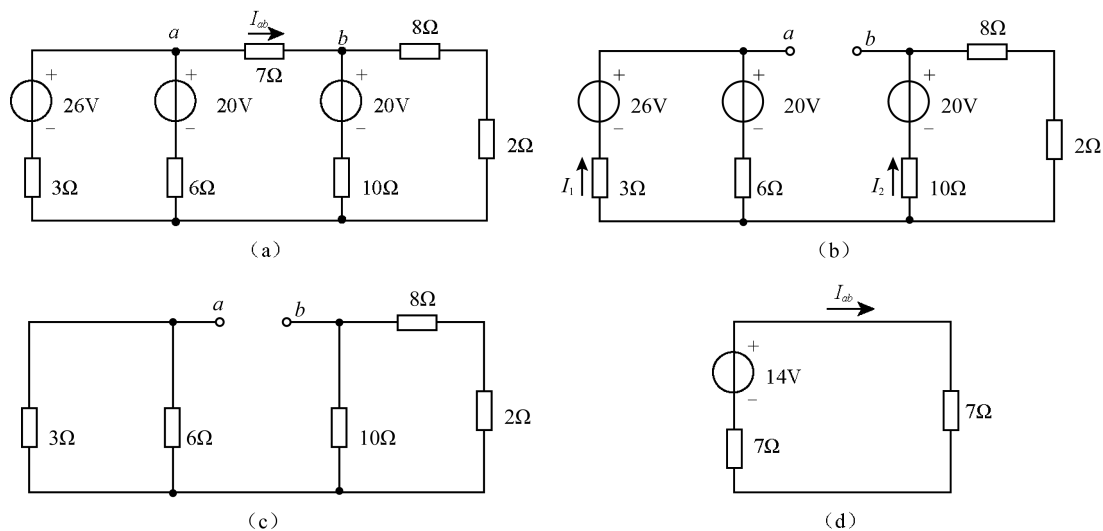


图 1-30 例 1.10 图

【例 1.11】 已知电路如图 1-31(a) 所示, 试用戴维南定理求 I_3 。

解: (1) 先断开待求 (12Ω 电阻) 支路, 得有源二端网络, 如图 1-31(b) 所示, 求有源二端网络的开路电压 U_{ab} , 则有

$$I_1 = -I_2 = -5 \text{ A}$$

$$U_{ab} = 24 - 6I_1 = 24 - 6 \times (-5) = 54 \text{ V}$$

(2) 再求有源二端网络除源后所得无源二端网络的等效电阻 R_{ab} , 电路如图 1-31(c) 所示, 则

$$R_{ab} = 6\Omega$$

(3) 将有源二端网络等效为一个电压源, 把待求 (12Ω 电阻) 支路与等效电源连接, 得到图 1-31(d) 所示的电路, 则

$$I_3 = \frac{54}{6+12} = \frac{54}{18} = 3\text{A}$$

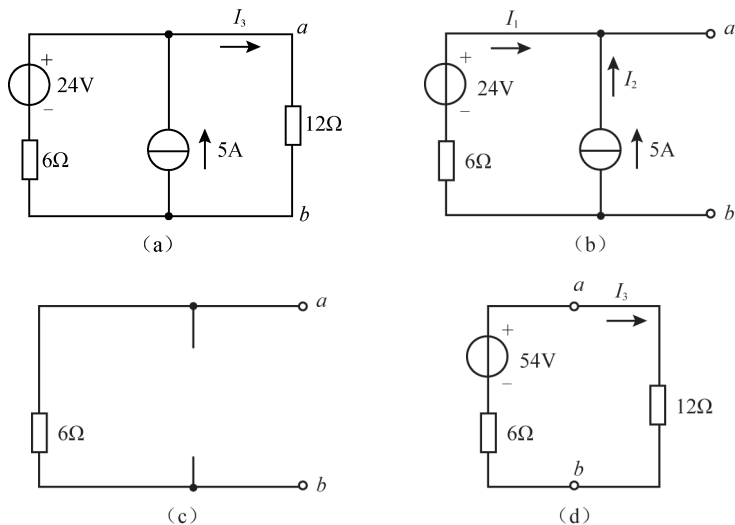


图 1-31 例 1.11 图

技能训练: 直流电路电位的测量

一、实验目的

1. 通过实验熟悉本实验所用的仪器、仪表的使用方法。
2. 学会测量直流电路各点的电位及两端点间的电压, 加深对电位的单值性、相对性及电压绝对性的理解。
3. 验证电位与电压之间的关系。

二、实验设备及器件

直流稳压源 1 台, 直流毫安表 1 块, 直流电压表 1 块, 直流电路实验板 1 块。

三、实验原理

直流电路中各点电位分布的情况是分析与计算电路很重要的基本概念之一, 在以后分析三极管电路时和在专业课程中也经常会用到电位的概念。

若电路中电位参考点一经选定, 则各点的电位只有一个固定的数值, 这便是电位的单值性。若我们把电路中某点(如参考点)的电位升高(或降低)同一数值, 则此电路中其他各点的电位也相应地升高(或降低)同一数值, 这就是电位的相对性。至于任意两点间的电压, 仍

然不变,电压与参考点的选择无关,这便是电压的绝对性。

四、实验内容及步骤

1. 按图 1-32 所示电路接线,测量 a 、 b 、 c 、 d 、 e 各点的电位。其中, $R_1=300\Omega$, $R_2=200\Omega$, $R_3=100\Omega$, $E_1=10\text{V}$, $E_2=6\text{V}$ 。

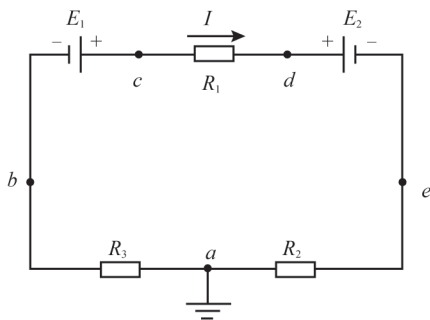


图 1-32 实验电路图

将电压表的负端(黑表笔)与参考点 a 点相连,电压表的另一端分别与电路中的 a 、 b 、 c 、 d 、 e 各点接触,这样便可测得相对参考点 a 的各点电位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 、 V_e ,并填入表中。

若指针反偏说明该电位为负,应调换测试笔正负端测量,这时该电位为负。

2. 测量 ab 、 bc 、 cd 、 de 、 ea 两端间的电压。测量时应把(+)端接前面的字母,(-)端接后面的字母,所测电压为正。若指针反偏说明该电压为负,应调换测试笔正负端测量,这时该电压为负。例如,测 U_{ab} ,将电压表的(+)端接 a ,(-)端接 b ,读出的 U_{ab} 为正值;若将电压表的(-)端接 a ,(+)端接 b ,读出的 U_{ab} 则为负值。

3. 改变参考点重复上述测量。将实验结果记入表 1-1。

表 1-1 数值记录表

参考点		测量结果(单位:V)											
		V_a	V_b	V_c	V_d	V_e	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{de}	U_{ea}	E_1	E_2
a 点	理论												
	测量												
c 点	理论												
	测量												

五、实验报告

1. 根据实验测得的数据证实电位的单值性、相对性及电压的绝对性。
2. 分析误差存在的原因(允许在 5% 以内)。
3. 有能力的同学可自行设计线路、参数和表格。

本章小结

1. 研究电路的一般方法。

理想电路元件是指实际电路元件的理想化模型。由理想电路元件构成的电路,称为电路模型。在电路理论研究中,都是用电路模型来代替实际电路加以研究的。

2. 电压、电流方向及功率。

电压、电流的参考方向是事先选定的一个方向,根据电压、电流数值的正、负,可确定电压、电流的实际方向。引入参考方向后,电压、电流可以用代数量表示。

当元件上的电压与电流取关联参考方向时,其功率为 $P=UI$,当 $P<0$ 时,该元件输出(释放或产生)功率;当 $P>0$ 时,该元件输入(吸收或消耗)功率。一个电路中所有元件功率的代数和等于零,即 $\sum P=0$ 。

3. 欧姆定律和基尔霍夫定律。

欧姆定律和基尔霍夫定律是电路分析的最基本定律。它们分别体现了元件和电路结构对电压、电流的约束关系。KCL: $\sum i=0$;KVL: $\sum u=0$ 。

4. 电路的分析方法。

简单电路的分析可以采用电阻串、并联等效变换的方法来化简。实际电压源与实际电流源可以互相等效变换。

对于复杂电路,支路电流法是分析电路的基本方法。如果电路结构复杂,因电路方程增加使得支路电流法不太实用。

戴维南定理是电路分析中很常用的定理,运用它往往可以简化复杂的电路。

叠加定理适用于线性电路,是分析线性电路的基本定理。注意,叠加定理只适用于线性电路中电压和电流的计算。

5. 二端网络与等效变换。

无源二端线性网络可以等效为一个电阻。

有源二端线性网络可以等效为一个电压源与电阻串联的电路或一个电流源与电阻并联的电路,而且后两者之间可以互相等效变换。

等效是电路分析与研究中很重要而又很实用的概念,等效是指对外电路伏安关系的等效。

本章习题

1. 已知电路如图 1-33 (a)和(b)所示,试计算 a 、 b 两端的电阻。

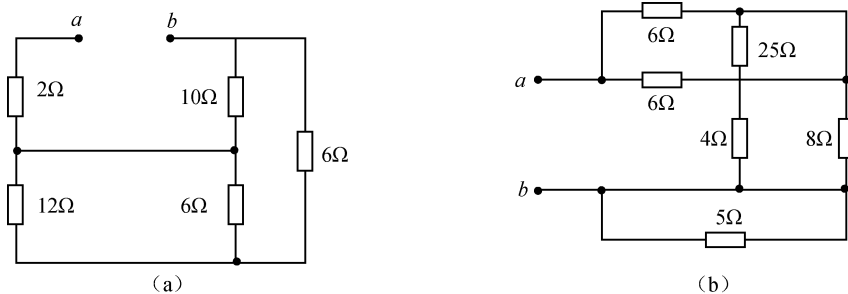


图 1-33 1 题图

2. 有一盏标有“220V 60W”的灯泡。试求：

(1) 灯泡的电阻；

(2) 当接到 220V 电压下工作时的电流；

(3) 如果每天用 3 小时,1 个月(按 30 天计算)用多少电？

3. 2 个额定值是 110V、40W 的灯泡能否串联后接到 220V 的电源上使用？如果 2 个灯泡的额定电压相同,都是 110V,而额定功率一个是 40W,另一个是 100W,问能否把这 2 个灯泡串联后接在 220V 电源上使用,为什么？

4. 求图 1-34(a)(b)所示电路中, A 点的电位。

5. 根据基尔霍夫定律求图 1-34(c)所示电路中的电流 I_1 和 I_2 。

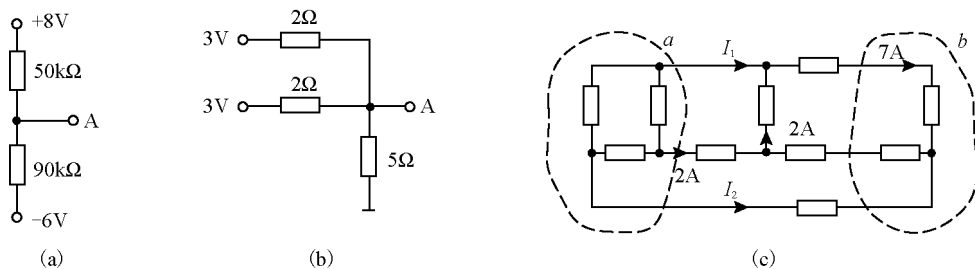


图 1-34 4 题与 5 题图

6. 电路如图 1-35 所示,试问 ab 支路是否有电压和电流？

7. 如图 1-36 所示,若(1) $U=10V, I=2A$, (2) $U=10V, I=-2A$ 。试问哪个元件吸收功率、哪个元件输出功率？为什么？

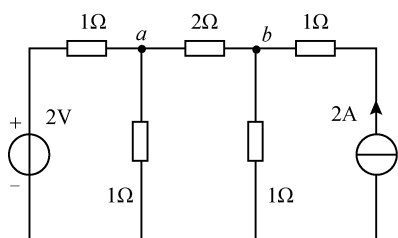


图 1-35 6 题图

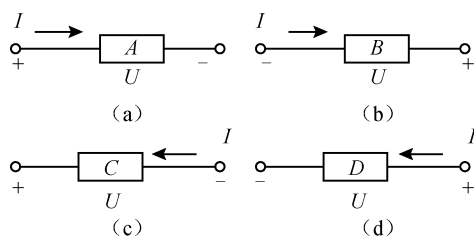


图 1-36 7 题图

8. 电路如图 1-37 所示, 试求以下各电路的电压 u 和电流 i 。

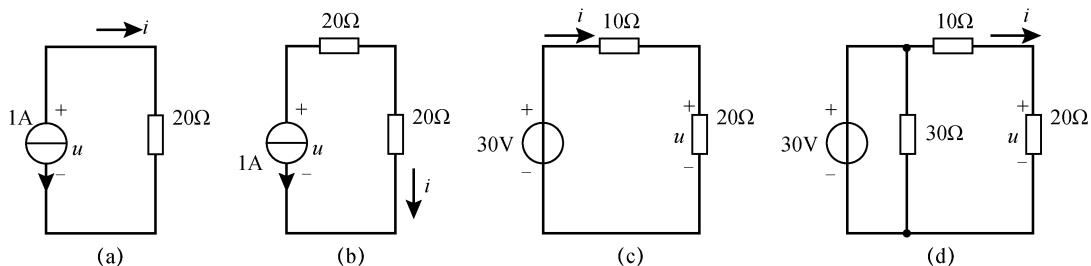


图 1-37 8 题图

9. 根据基尔霍夫定律, 求如图 1-38 所示电路中的电压 U_1 、 U_2 和 U_3 。

10. 将图 1-39 中所示电路化成等值电流源电路。

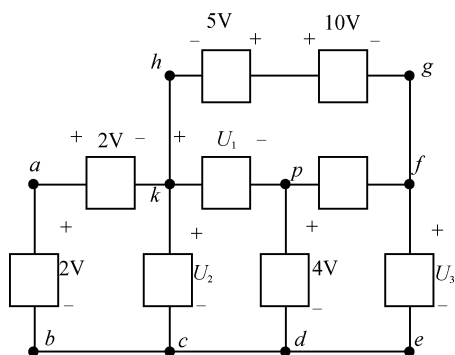


图 1-38 9 题图

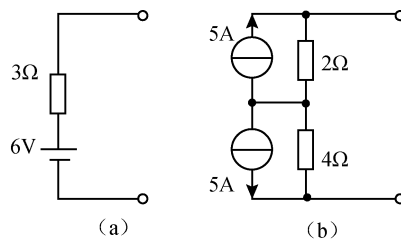


图 1-39 10 题图

11. 已知电路图如图 1-40 所示, 其中 $E_1 = 15\text{V}$, $E_2 = 65\text{V}$, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = R_3 = 10\Omega$, 试用支路电流法求 R_1 、 R_2 和 R_3 这三个电阻上的电压。

12. 试用电源等效变换的方法求图 1-41 所示电路中的电流 I 。

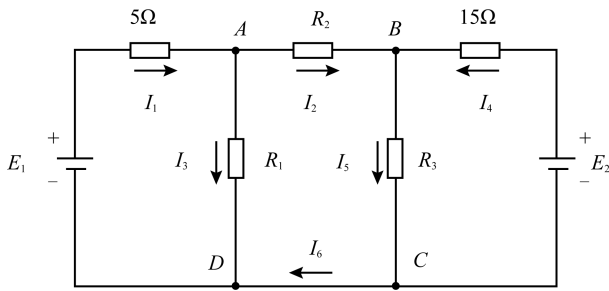


图 1-40 11 题图

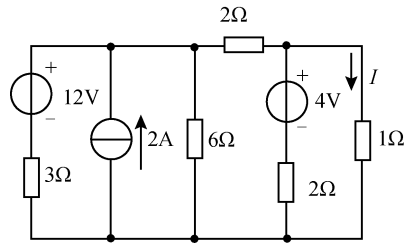


图 1-41 12 题图

13. 用戴维南定理求图 1-42 中的电流 I 。
 14. 用叠加原理求图 1-43 电路中的电流 I_1 和 I_2 。

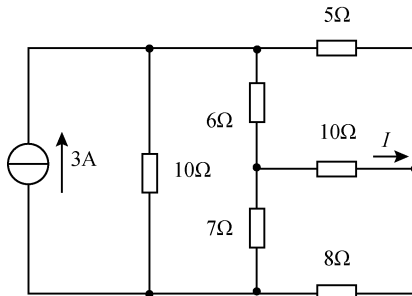


图 1-42 13 题图

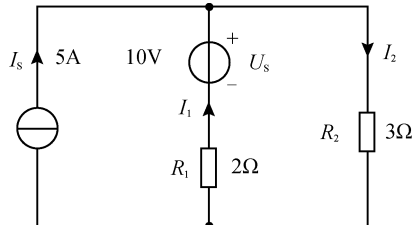


图 1-43 14 题图

15. 用戴维南定理求图 1-44 所示电路中理想电流源两端的电压。

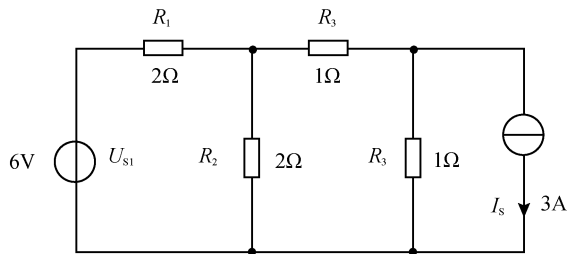


图 1-44 15 题图

★ 测试题



选择题

★ 测试题



判断题