

普通高等院校“十二五”立项教材

电工电子技术

DIANGONGDIANZIJISHU

主编◎朱焕立 杨玲玲



吉林出版集团
吉林人民出版社

普通高等院校“十二五”立项教材

电工电子技术

主 编 朱焕立 杨玲玲
副主编 黎杨梅 熊晓倩 卢 旻
主 审 于晓阳

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 朱焕立, 杨玲玲主编. — 长春: 吉林大学出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-5677-2523-2

I. ①电… II. ①朱… ②杨… III. ①电工技术—教材 ②电子技术—教材 IV. ①TM②TN

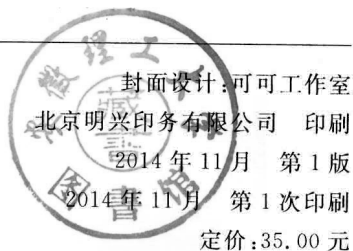
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 263247 号

电工电子技术

吉林出版集团
吉林出版股份有限公司
长春市明德路501号
吉林出版集团
吉林出版股份有限公司
长春市明德路501号

书 名: 电工电子技术
作 者: 朱焕立 杨玲玲 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 甄志忠
吉林大学出版社出版、发行
开本: 787×1092 毫米 1/16
印张: 16 字数: 310 千字
ISBN 978-7-5677-2523-2



版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580026/28/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

本书是根据高等院校非电专业电工电子技术课程的特点和电工电子技术飞速发展的新形势而编写的教材。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,辅之以适量的思考题与习题,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,同时注重学生分析问题、解决问题能力的培养。通过本课程的学习,使学生掌握应用型工程技术人才必须具备的电工与电子技术理论知识,具有较强的实践能力,为学习后续课程及从事实际工作奠定良好的基础。

本书在内容的安排上注重系统性、实用性和先进性。讲述由浅入深,在讲清基本原理的基础上,尽可能做到通俗易懂。各章内容尽量做到前后衔接,侧重讲述基本概念和工作原理,做到理论联系实际。主要内容包含了电工技术,模拟电子技术和数字电子技术三大部分。具体包括第1章电路的基本概念及定律、第2章正弦交流电路、第3章变压器、第4章异步电动机、第5章半导体器件、第6章放大电路及其分析方法、第7章集成运算放大电路及其应用、第8章直流稳压电源、第9章数字电路基础、第10章组合逻辑电路、第11章时序逻辑电路、第12章模拟量和数字量的转换。

本书由黄河水利职业技术学院朱焕立、武汉软件工程职业学院杨玲玲担任主编,武汉软件工程职业学院黎杨梅、武汉职业技术学院熊晓倩、武汉软件工程职业学院卢颀担任副主编。其中,朱焕立编写了第5,6,7,8章,杨玲玲编写了第1,2,3章及附录一,黎杨梅编写了第9,10,11章,熊晓倩编写了第12章、附录二、三,卢颀编写了第4章。全书由朱焕立负责总体策划与统稿、定稿等工作。本书的编写参考了国内外许多电工电子技术相关知识的书刊和资料,在此向有关作者表示感谢!

本书由湖北交通职业技术学院于晓阳主审,在审阅过程中提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

本书是编者在多年从事电工电子技术教学与研究的基础上并参考了国内外大量文献资料编写而成,在此,特向有关作者表示感谢!

由于时间仓促和编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请各位专家、读者批评指正。

编 者
2014年8月

目 录

1	电路的基本概念及定律	(1)
1.1	电路和电路组成	(1)
1.2	电路的基本定律	(3)
1.3	电路的分析方法	(9)
2	正弦交流电路	(20)
2.1	正弦交流电基本概念	(20)
2.2	正弦量的相量表示	(24)
2.3	单一参数的正弦交流电路	(27)
2.4	电阻、电感与电容串联的交流电路	(33)
2.5	功率因数的提高	(36)
2.6	三相交流电路	(38)
3	变压器	(47)
3.1	磁路	(47)
3.2	变压器	(51)
3.3	特殊变压器	(58)
4	异步电动机	(62)
4.1	三相异步电动机结构及原理	(62)
4.2	三相异步电动机使用	(67)
4.3	单相异步电动机	(68)
5	半导体器件	(73)
5.1	半导体及 PN 结	(73)
5.2	半导体二极管	(79)
5.3	半导体三极管	(88)
5.4	场效应晶体管	(94)
6	放大电路及其分析方法	(100)
6.1	基本电压放大电路	(101)
6.2	图解分析法	(105)
6.3	微变等效电路分析法	(110)
6.4	分压式偏置放大电路	(115)
6.5	共集电极放大电路	(120)
6.6	多级放大电路	(122)



6.7	互补对称功率放大电路	(124)
7	集成运算放大电路及其应用	(133)
7.1	差动放大电路	(134)
7.2	运算放大器基础知识	(140)
7.3	集成运算放大器的应用	(144)
7.4	放大电路中的负反馈	(156)
8	直流稳压电源	(164)
8.1	稳压电源及组成	(164)
8.2	整流电路	(165)
8.3	滤波电路	(169)
8.4	稳压电路	(172)
9	数字电路基础	(183)
9.1	数制与编码	(184)
9.2	逻辑代数	(186)
9.3	逻辑门电路	(191)
9.4	触发器电路	(196)
10	组合逻辑电路	(205)
10.1	组合逻辑电路的分析和设计	(205)
10.2	编码器	(209)
10.3	译码器	(212)
11	时序逻辑电路	(217)
11.2	计数器	(220)
11.3	555 定时器的原理和使用	(225)
12	模拟量和数字量的转换	(229)
12.1	数模转换电路	(229)
12.2	模数转换电路	(234)
附录		(246)
附录一 常用电器图形符号和文字符号		(246)
附录二 常用阻容元件的标称值		(248)
附录三 国产半导体分立器件型号命名法		(249)
参考文献		(250)



1 电路的基本概念及定律

【本章内容提要】

各种各样的电气设备已充满着现代人类生产与生活的各个领域,这些电气设备尽管用途不同,性能各异,但几乎都是以各种基本电路组成的。因此,学习电路的基础知识,掌握分析电路的规律与方法,是学习电工学的重要内容,也是进一步学习电子类专业课的基础。

本章主要学习的内容有以下几个部分:

- (1) 电路和电路的组成;
- (2) 电路的基本定律;
- (3) 电路的基本分析方法。

【本章学习重点】

本章重点掌握和理解的知识:

- (1) 电路的概念及电路的组成部分;
- (2) 电路的基本定律和计算方法。



1.1 电路和电路组成

1.1.1 电路的组成

将某些电气设备或元器件按一定方式连接起来,构成电流的通路,这就是电路^[1]。电路一般由三部分组成:电源、中间环节、负载。电源是一种将非电能转换成电能的装置;中间环节负责传输、分配和控制电能;负载是消耗电能的设备,其作用时将电能转换为其他形式的能。可结合实际电气设备的构成来理解。

实际电路种类繁多,形式和结构也各不相同,按电路的基本功能,有两大类:第一类对信号的变化、传输和处理电路;第二类为对能量的转换和传输电路。

第一类的典型电路如图 1-1 所示的扩音系统电路:输入语音或音乐信号,经过话筒变换为电信号,放大器将变化的电信号放大后传递到音箱,音箱将电信号还原为语音或音乐。

在此结构中,话筒是输入设备,将输入语音或音乐变换为电信号,是信号源。音箱是接收和转换电信号的设备,是负载。因为话筒输出的电信号十分微弱,不足以直接驱动音箱,需要将信号处理放大,所以,放大电路是中间环节,负责对电信号的传递和处理。



图 1-1 扩音系统电路

第二类典型电路如图 1-2 所示的电力系统电路:发电厂发电机工作产生电路,经变压器升压传输到各变电站,经变电站变压器降压后送到各用户,供电灯、电动机等电器使用。其中,产生电能的发电机是电源,消耗电能的电灯、电动机等是负载,变压传输线路是电路的中间环节。



图 1-2 电力系统电路

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流强度

电流强度是计量电流强弱程度的物理量,定义为单位时间内流过某导体横截面的电荷量,用公式表示为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

若通过导体横截面的电量不随时间变化,则电流为恒定电流,简称为直流,用大写字母 I 表示。电流的单位是安培(A,简称“安”),实际应用中,还有微安(μA)、毫安(mA)、千安(kA)等,它们之间的关系为

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

2. 电位和电压

电荷在电场中的不同位置所具有的能量(位能)不同,将单位正电荷在电路中某一点所具有的电位能称为该点的电位。电流在外电路是由高电位点流向低电位点,且电路中各电位的高低是相对的,通常在分析电路时先选定一个参考点,认为参考点的电位为零。如图 1-3 所示电路, a 点电位高于 b 点电位, b 点电位高于 c 点电位。

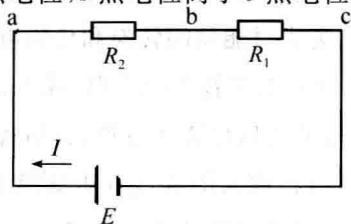


图 1-3 电位和电压



两点间的电压即为这两点的电位差,若以 c 点为零电位参考点,则 b 点电位等于 bc 间电压, a 点电位等于 ac 间电压。

$$U_{bc} = V_b - V_c$$

$$U_{ac} = V_a - V_c$$

值得注意的是,对于不同的参考点,虽然各点的电位发生了变化,但任意两点间的电压却没变。

电位和电压的单位都是伏特(V,简称“伏”),实际应用中,还有毫伏(mV)、千伏(kV)、兆伏(MV)等,它们之间的关系为

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^{-3}\text{kV} = 10^{-6}\text{MV}$$

3. 电动势

电源的作用是把非电能转换成电能,供给电路的负载使用。无论哪类电源,都必须由非电场力做功才能实现这一功能。电动势是衡量电源力做功能力的物理量,把单位正电荷从低电位端经电源内部移动到高电位端,电源里克服电场力所做的功,称为电源电动势,用 E 表示。

$$E_{ba} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

电动势的单位也是伏特,与电压相同,但其物理意义与电压有本质的区别。前者表示电源里做功的能力,后者表示电场力做功的能力;电动势的方向是由低电位点指向高电位点,电压的方向是从高电位点指向低电位点。

4. 功率

单位时间内电流所作的功称为电功率,用 P 表示,功率的单位是瓦特(W,简称“瓦”),较大功率的单位是千瓦(kW),它们之间的关系为

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

$$p = ui$$

$$P = UI$$

1.2 电路的基本定律

1.2.1 电压、电流的正方向

电流 I 、电压 U 和电动势 E 是电路的基本物理量,并且具有方向性,因此首先需要理解电压和电流的方向(或称为极性)并在电路中标注,才能写出电路方程,进行正确的分析从而得到结果。

电压和电流的方向有实际方向和参考方向之分,需要加以区别。



1. 电压和电流的实际方向

在外电场的作用下,带电粒子有规律的定向运动形成电流。电流 I 的实际方向习惯上规定为正电荷定向运动的方向。端电压 U 的方向规定为高电位端(“+”极)指向低电位端(“-”极),即电位降低的方向。电源电动势 E 的方向规定为在电源内部由低电位端(“-”极)指向高电位端(“+”极),即为电位升高的方向。在图 1-4 中,若电压的实际方向与图中标示方向一致,则正电荷运动的方向为从“+”端经过电阻 R_L 流向“-”端,即电流的实际方向如图所示。

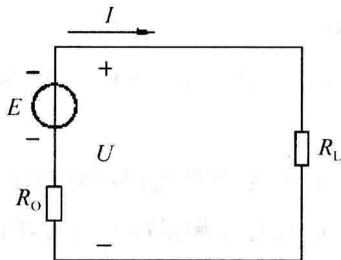


图 1-4 电压和电流方向

2. 电压和电流的参考方向

虽然实际电压电流的方向是客观存在的,然而在分析计算某些电路时,有时难以直接判断其方向,因此,通常任意选定某一方向作为其参考方向,即电流和电压的方向有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

断定电压电流的参考方向是电路分析的第一步,只有参考方向选定后,电压电流的值才有正负。当实际方向与参考方向一致时为正,反之为负。图 1-5 为电流的实际方向与参考方向的关系,在规定的参考方向下, $I > 0$ 表示实际方向与参考方向相同, $I < 0$ 表示实际方向与参考方向相反。值得注意的是,电流用代数表示时,其绝对值表示电流的大小,正负号表示实际电流方向与参考方向的关系。

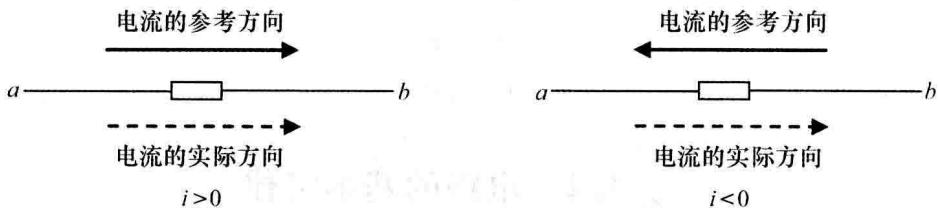


图 1-5 电流的实际方向与参考方向的关系

电压参考方向和电路参考方向一样,也是任意指定,分析电路时,假定某一方向是电位降低的方向(参考方向),若实际电压方向与参考方向一致,则电压为正值($U > 0$);若实际电压方向与参考方向相反,则电压为负值($U < 0$),图 1-6 为电压的实际反省与参考方向的关系。因此,电压的正负号仅表示实际电压方向与参考电压方向的关系。

注:电压的方向也可以用双下标表示,如 a, b 两点间的电压 U_{ab} ,若 $U_{ab} = 5V$,则说明实

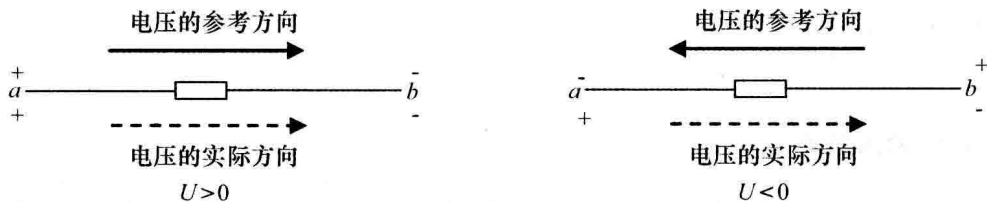


图 1-6 电压的实际方向与参考方向的关系

实际 a 点电位比 b 点高 5V ；若 $U_{ab} = -5\text{V}$ ，则说明实际 a 点电位比 b 点低 5V （即 b 点电位比 a 点高 5V ）。

电路中所标注的电流、电压方向，通常均为参考方向，通过其符号可以判定实际电流、电压的方向。

对于一个电路元件，当它的电压和电流的参考方向一致时，通常称为关联参考方向，如图 1-7(a) 所示；反之，当一个电路元件的电压和电流的参考方向相反时，称为非关联参考方向，如图 1-7(b) 所示。

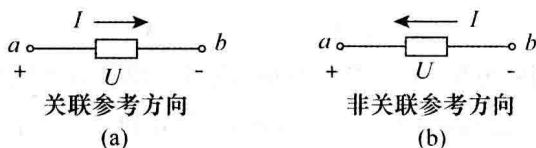
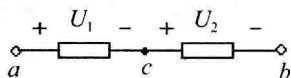


图 1-7 关联与非关联参考方向

【例 1-1】在例图 1-1 中，已知 $U_1 = -4\text{V}$ ， $U_2 = -2\text{V}$ ，求 U_{ab} ，并说明 a, b 哪点电位高？若取 c 点为零电位参考点，求 a, b 两点的电位。



例图 1-1

解：由图知

$$U_1 = U_{ac} = -4 (\text{V})$$

$$U_2 = U_{cb} = -2 (\text{V})$$

所以

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = -4 + (-2) = -6 (\text{V})$$

由于 U_{ab} 为负值，所以 a 点电位比 b 点电位低 6V 。

若 c 点为零电位参考点，即

$$U_c = 0$$

则由

$$U_{ac} = U_a - U_c$$

得 a 点电位

$$U_a = U_{ac} + U_c = -4 (\text{V})$$



同理得 b 点电位

$$U_b = U_c - U_{cb} = 0 - (-2) = 2 \text{ (V)}$$

1.2.2 欧姆定律

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。欧姆定律是电路分析中最基本、最重要的定律之一,用公示表示为:

$$R = \frac{U}{I}$$

电阻 R 是构成电路最基本的元件之一,由上式可见,如果电阻固定,则电流的大小与电压成正比;如果电压固定,电阻越大,则电流越小,电阻对电流起阻碍作用。

电阻的国际单位是欧姆(Ω)。当电路两端的电压为 1V 时,若流过的电流是 1A ,则该段电路的电阻阻值为 1Ω 。电阻的单位还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$),它们的换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

在电路中,选取不同的电压、电流参考方向,欧姆定律具有不同的表达形式。当电压参考方向与电流参考方向一致时,如图 1-7(a)所示,欧姆定律用公式表示为

$$U = RI$$

在图 1-7(b)中,电压参考方向与电流参考方向不一致,此时欧姆定律的表示形式为

$$U = -RI$$

【例 1-2】例图 1-2 所示电路中,已知电流和电压的参考方向,试用欧姆定律求电阻 R 的阻值,已知图(a)中, $U=10\text{V}$, $I=5\text{mA}$,图(b), $U=-10\text{V}$, $I=0.5\text{A}$ 。



例图 1-2

解:

(1)在图(a)中,电压 U 与电流 I 的参考方向一致,则欧姆定律的表达式为

$$U = IR$$

则电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10\text{V}}{5\text{mA}} = \frac{10\text{V}}{5 \times 10^{-3}\text{A}} = 2\text{ k}\Omega$$

(2)在图(b)中,电压 U 与电流 I 的参考方向不一致,所以欧姆定律的表达式为

$$U = -IR$$

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{10\text{V}}{0.5\text{A}} = \frac{10\text{V}}{0.5\text{A}} = 20\ \Omega$$

此例中,图(a)(b)两图中 U 与 I 的实际方向都是一致的。

1.2.3 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一结点上的各个支路电流之间的关系。可以从以下几个方面来理解。

1. 支路

电路中的每一分支称为支路,一条支路流过同一个电流,称为支路电流。每一条支路只有一个电流,这是判别支路的基本方法。在图1-8所示的电路中,共有3个电流,因此有3条支路,分别由 acb , ab , adb 构成,其中, acb , adb 两条支路中含有有源元件,称为有源支路, ab 支路不含有源元件,称为无源支路。

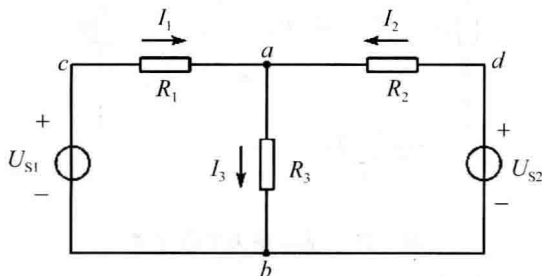


图 1-8 基尔霍夫电流定律

2. 结点

电路中有3条或3条以上的支路相联接的点称为结点。图1-9中结点 a 的示意图。

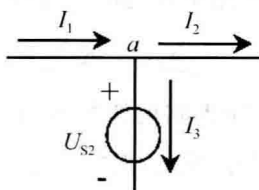


图 1-9 结点 a

3. 基尔霍夫电流定律的含义

基尔霍夫电流定律也叫结点电流定律,任一时刻在电路的任一结点上,所有支路电流的代数和恒等于0。也就是说对于电路中任一结点而言,任一时刻流入的电流之和必等于流出的电流之和,写成一般形式:

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \text{ 或 } \sum I = 0$$

规定流出结点的电流前面取“+”号,流进结点的电流前面取“-”号。

对图1-11所示的结点,其流入该结点的电流之和应该等于有该结点流出的电流之和,即

$$I_1 = I_2 + I_3$$



上式可改写为如下形式

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ (流入结点的电流取正号, 流出结点的电流取负号)}$$

1.2.4 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也叫回路电压定律, 用来确定回路中的各段电压间的关系。可以从以下几个方面来理解基尔霍夫电压定律。

1. 回路

回路是一个闭合的电路。图 1-24 所示的电路中, $U_{S1}, R_1, R_2, R_3, U_{S2}, R_4$ 构成一个回路。在图 1-10 所示电路中, U_{S1}, R_1, R_3 构成一个回路, U_{S2}, R_2, R_3 也构成一个回路。

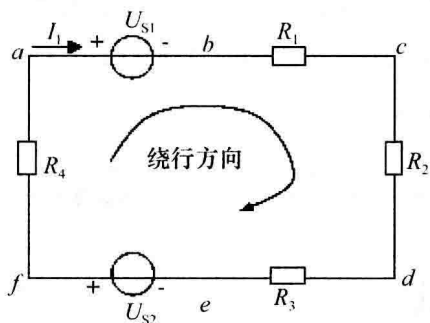


图 1-10 基尔霍夫电压定律

2. 基尔霍夫电压定律的含义

在任一回路中, 从任何一点以顺时针或逆时针方向沿回路循环一周, 则所有支路或原件电压的代数和等于零, 这就是基尔霍夫电压定律的基本内容。也就是说对于电路中任一回路而言, 任一时间沿回路绕行一周, 回路中各电位升之和等于各电位降之和, 写成一般形式:

$$\sum U_{升} = \sum U_{降} \text{ 或 } \sum U = 0$$

根据上式列方程解题, 首先要确定回路的绕行方向。规定凡元件或支路的电压参考方向与绕行方向一致时, 该电压取“+”号; 反之, 取“-”号。

图 1-30 所示回路中, 按顺时针方向可列出方程

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{de} + U_{ef} + U_{fa} = 0$$

带入电流、电阻值为

$$U_{S1} + R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 I_1 - U_{S2} + R_4 I_1 = 0$$

上式可改写为

$$U_{S2} - U_{S1} = R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 I_1 + R_4 I_1$$

写成一般形式为

$$\sum U_s = \sum (RI)$$

该式表明对于电阻电路来说, KVL 的另一种表述是: 任一时刻在任意闭合电路中, 所有

电阻电压的代数和等于所有电压源电压的代数和。根据上式列方程解题时,若流过电阻的电流参考方向与绕行方向一致时,该电阻电压前面取“+”号;反之,取“-”号。

1.3 电路的分析方法

1.3.1 支路电流法

以支路电流作为未知量,在给定电路结构、参数条件下,直接应用 KCL 和 KVL 分别对结点和回路列出求解电路所需要的方程组,通过求解方程组得出各支路电流,最终求出电路其他参数的分析方法即为支路电流法。

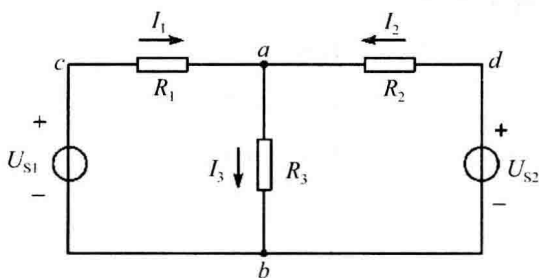


图 1-11 支路电流法求解电路

以图 1-11 所示电路为例介绍支路电流法分析计算电路的常规步骤。

(1) 确定支路个数,选定各支路电流的参考方向。

图 1-11 中共有三条支路,各支路的参考方向如图所示,分别为 I_1, I_2, I_3 。

(2) 认定结点数 n ,根据 KCL 列出 $(n-1)$ 个结点电流方程。

图 1-11 中共有两个结点(结点 a 和结点 b),根据 KCL 列出结点方程

$$I_1 + I_2 = I_3$$

(3) 认定回路数 m ,选定回路的绕行方向,根据 KVL 列出 $K-(n-1)$ 个回路电压方程。

图 1-11 中共有 3 个回路($abc, adc, cadb$),任一选定两个回路及其参考方向如图 1-12 所示,应用 KVL 列出这 2 个回路方程

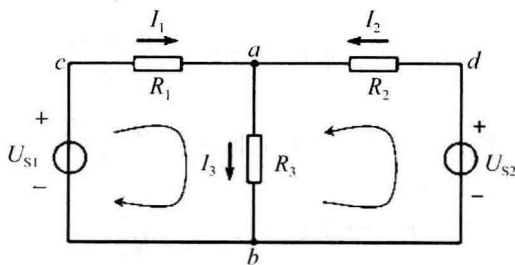


图 1-12

$$U_{S1} = I_1 R_1 + I_3 R_3$$



$$U_{S2} = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

(4)联立方程组,求解个支路电流,整理结果。

【例 1-3】设图 1-12 所示电路中, $U_{S1} = 20\text{V}$, $U_{S2} = 11\text{V}$, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 5\Omega$,求各支路电流 I_1, I_2, I_3 。

解:应用 KCL 列节点 a 的方程为

$$I_1 + I_2 = I_3$$

应用 KVL 列图示两回路的方程为

$$U_{S1} = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$U_{S2} = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

带入数值,求解上三个方程得

$$I_1 = 3 (\text{A})$$

$$I_2 = 2 (\text{A})$$

$$I_3 = 1 (\text{A})$$

1.3.2 结点电压法

支路电流法是求解电路的基本方法,但随着支路、节点数目的增多将使求解极为复杂,此时利用节点电压法就比较方便。

节点电压法是以电路中的节点电压为未知量,将各支路电流用节点电位表示,应用 KCL 列出独立节点的电流方程,联立方程求得各节点电位,再根据节点电位与各支路电流的关系式,求得各支路电流。

以图 1-13 所示两节点电路为例介绍节点电压法。各支路电流的参考方向如图所示,对节点 a ,应用 KCL 有

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

对各支路应用 KVL 有

$$U_{ab} = E_1 - I_1 R_1, \text{ 即 } I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1}$$

$$U_{ab} = E_2 - I_2 R_2, \text{ 即 } I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2}$$

$$U_{ab} = -E_3 + I_3 R_3, \text{ 即 } I_3 = \frac{E_3 + U_{ab}}{R_3}$$

$$U_{ab} = I_4 R_4, \text{ 即 } I_4 = \frac{U_{ab}}{R_4}$$

将上式带入 KCL 方程有

$$\frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} + \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{U_{ab} + E_3}{R_3} + \frac{U_{ab}}{R_4}$$

整理得

$$U_{ab} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{-E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

上式是求解 2 个节点、多个支路复杂电路的通用公式,被称为弥尔曼(Millman)定理,式中分母各项为正;分子各项可能为正也可能为负,电动势的方向与节点电压的参考方向相同时取正,反之取负。

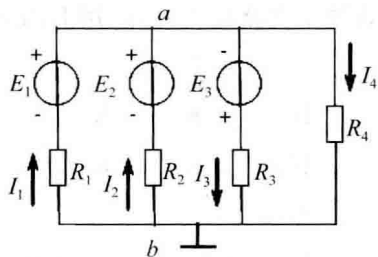
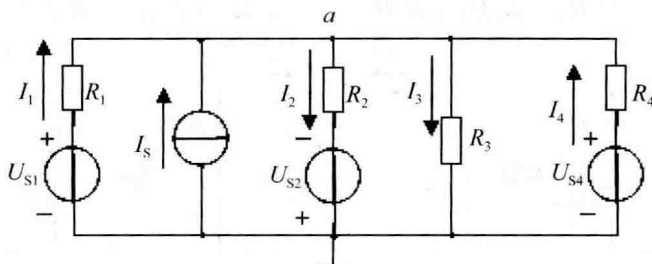


图 1-13 具有两个节点的复杂电路

【例 1-4】设例图 1-4 电路中 $U_{S1} = 10\text{V}$, $U_{S2} = 20\text{V}$, $U_{S4} = 40\text{V}$, $I = 2\text{A}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, $R_4 = 4\Omega$, 试求各支路电流 I_1, I_2, I_3, I_4 。



例图 1-4

解:该电路为两个节点的多支路电路,可以用上式带入求解 a 点电位

$$U_{ab} = \frac{\frac{U_{S1}}{R_1} + I_S + \frac{-U_{S2}}{R_2} + \frac{U_{S4}}{R_4}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{10 + 2 - \frac{20}{2} + \frac{40}{4}}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = 6 (\text{V})$$

故可得各支路电流为

$$I_1 = \frac{U_{S1} - U_a}{R_1} = \frac{10 - 6}{1} = 4 (\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U_{S2} + U_a}{R_2} = \frac{20 + 6}{2} = 13 (\text{A})$$

$$I_3 = \frac{U_a}{R_3} = \frac{6}{4} = 1.5 (\text{A})$$

$$I_4 = \frac{U_{S4} - U_a}{R_4} = \frac{40 - 6}{4} = 8.5 (\text{A})$$