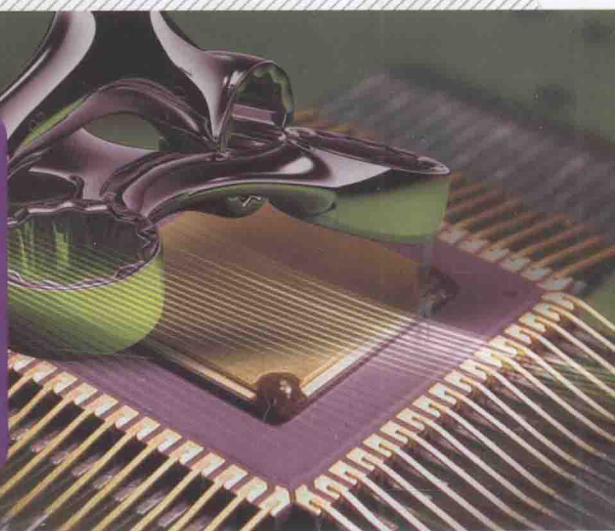




卓越工程师培养计划

■ 电工电子 ■

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



杜树春 编著



基于Proteus的

电路基础知识 快速入门



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



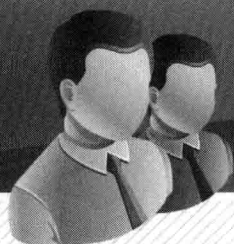
卓越工程师培养计划

■ 电工电子 ■

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



杜树春 编著



基于Proteus的 电路基础知识 快速入门

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是用 Proteus 软件调试和仿真直流电路和交流电路中例题及习题的集子。所用软件是 Proteus 7.5 版本。书中少数篇幅是使用 Proteus 软件直接解题的,大部分篇幅是对传统解题方法进行验算的。无论直接解题还是验算,所用的电路原理图都将提供给读者,读者可以重新解题,也可以重新验算。

本书共分六章,第 1 章是电路的基本概念和基本定律,第 2 章是直流电阻电路的分析,第 3 章是线性动态电路的暂态分析,第 4 章是单相正弦交流电路,第 5 章是谐振电路,第 6 章是三相电路。本书有三个附录,附录 A 介绍 Proteus 软件用法,对 Proteus 软件已熟悉的读者可以不看;附录 B 介绍 MATLAB 软件的使用法,里面有十几个与本书有关的 MATLAB 应用程序;附录 C 包含十几个与本书有关的 C 语言应用程序。

本书通俗易懂,特别适合初学者或入门者自学,尤其适合那些手头既没有电子元器件,也没有相应仪器设备,还没有调试电路经验的初出茅庐者。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Proteus 的电路基础知识快速入门/杜树春编著. —北京:电子工业出版社,2014.5
(卓越工程师培养计划)

ISBN 978 - 7 - 121 - 23069 - 1

I. ①基… II. ①杜… III. ①电子电路-计算机辅助设计-应用软件 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 081877 号

策划编辑:张 剑(zhang@phei.com.cn)

责任编辑:刘真平

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:352 千字

印 次:2014 年 5 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:39.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着电子技术的飞速发展,电子设计的方式日新月异。电子设计软件 Proteus 是英国 Labcenter 公司开发的电子设计自动化 (Electronic Design Automation, EDA) 软件。Proteus 软件集强大的功能和简易的操作于一体,可实现数字电路、模拟电路、混合电路及多种单片机系统的仿真与调试。

用 Proteus 软件仿真或调试电子电路,可使用户在购买元器件之前就能选好电路方案,将电路调通,从而减少盲目性,节省时间和金钱。

电路基础或电工学这门课程和 Proteus 软件相结合在教学中有两大功用:

① 可以解题。方法:根据题目已知条件,用 Proteus 软件画出电路原理图,例如,要求电路中的电流或电压,就把虚拟电压表或电流表接入电路待测量处,执行仿真,电压表或电流表将显示待求的电压或电流值。

② 可以验算。你已经用传统解题方法求出题目答案,但不知道解得对不对。可以用 Proteus 软件仿真法验算,看算出的数值和测出的数值(实际值)是否相同。若两者一致,则表明计算无误;如果两者不一致,那就说明有问题。可能是计算问题,当然也可能是仿真问题。

本书是用 Proteus 软件调试和仿真直流电路和交流电路中例题及习题的集子。所用软件是 Proteus 7.5 版本。本书中少数篇幅是使用 Proteus 软件直接解题的,大部分篇幅是对传统解题方法进行验算的。无论直接解题还是验算,所用的电路原理图都将提供给读者,读者可以重新解题,也可重新验算。

本书由杜树春编著,正文共分六章,第 1 章是电路的基本概念和基本定律,第 2 章是直流电阻电路的分析,第 3 章是线性动态电路的暂态分析,第 4 章是单相正弦交流电路,第 5 章是谐振电路,第 6 章是三相电路。本书有三个附录,附录 A 介绍 Proteus 软件用法;附录 B 包含十几个与本书有关的 MATLAB 应用程序;附录 C 包含十几个与本书有关的 C 语言应用程序。

为便于读者阅读、学习,特提供本书实例下载资源,请访问 <http://yydz.phei.com.cn> 网站,到“资源下载”栏目下载。

目前,一般的工科院校电子、计算机、通信、机电等专业都开设电路基础或电工学课程,本书可作为学生学习电路基础或电工学的辅助教材。根据笔者的教学实践,在多媒体上采用 Proteus 软件讲解电子类的课程,包括数电、模电、电路基础及各种单片机系统,老师好教,学生好学。本书适合三部分人阅读或参考:一是学习电路基础或电工学的大、中专及高等职业学校、中等职业学校的在校学生;二是和电子专业有关的广大工程技术人员;三是广大电子科技爱好者。

本书通俗易懂，特别适合初学者或入门者自学，尤其适合那些手头既没有电子元器件，也没有相应的仪器设备，还没有调试电路经验的初出茅庐者。

在编写过程中，参考了许多国内外的优秀教材，例如，哈尔滨工业大学秦曾煌、姜三勇等老师主编的教材，并得到杜菲、姜鸿斌等同志的协助。在此，向以上单位和个人表示衷心感谢。

由于编著者水平有限且时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。我的电子邮箱为 dushuchun@263.net。

编 著 者

2013 年 9 月 17 日

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路概述	1
1.2 电流、电压和功率	1
1.3 欧姆定律	3
1.4 电路的三种状态	4
1.5 基尔霍夫定律	5
1.6 欧姆定律及基尔霍夫定律应用举例	7
1.7 小结	10
第2章 直流电阻电路的分析	11
2.1 电阻的串联、并联和混联	11
2.2 电阻的星形与三角形电路的等效变换	14
2.3 两种电源模型的等效变换	17
2.4 支路电流法	20
2.5 节点电位法	21
2.6 网孔电流法	25
2.7 叠加定理	27
2.8 齐性定理	29
2.9 戴维南定理	31
2.10 诺顿定理	36
2.11 小结	38
第3章 线性动态电路的暂态分析	40
3.1 电感元件和电容元件	40
3.2 换路定律与初始值的计算	41
3.3 RC 电路的响应	43
3.4 RL 电路的响应	49
3.5 暂态分析的三要素法	53
3.6 微分电路与积分电路	57
3.7 小结	61
第4章 单相正弦交流电路	62
4.1 交流电的三要素	62
4.2 交流电的相量表示法	64
4.3 电阻元件上电压和电流的相量关系	69
4.4 电感元件上电压和电流的相量关系	71
4.5 电容元件上电压和电流的相量关系	74
4.6 电阻、电感、电容串联的电路	76

4.6.1 RLC 串联电路电流和电压的关系	76
4.6.2 三个三角形	78
4.6.3 多阻抗串联电路分析	86
4.7 电阻、电感、电容并联的电路	88
4.7.1 用阻抗法分析并联电路	88
4.7.2 用导纳法分析并联电路	90
4.8 电阻、电感、电容串并联的电路	95
4.9 用相量法分析复杂正弦交流电路	99
4.10 功率因数的提高	106
4.11 小结	109
第 5 章 谐振电路	110
5.1 串联谐振	110
5.2 并联谐振	114
5.3 谐振的应用	119
5.4 小结	121
第 6 章 三相电路	123
6.1 概述	123
6.2 三相电源	123
6.3 对称三相电路分析	125
6.4 不对称三相电路分析实例	129
6.5 三相电路的功率	135
6.6 小结	136
附录 A Proteus 软件用法	138
A.1 进入 Proteus ISIS	138
A.2 工作界面	139
A.3 Proteus ISIS 电路原理图设计	145
A.4 Proteus ISIS 原理图设计中若干注意事项	152
A.5 Proteus VSM 仿真工具简介	154
A.6 用 Proteus 软件对电路作交互式仿真	157
A.6.1 验证直流回路中的欧姆定律	157
A.6.2 电压基准源 AD780 应用电路	163
A.6.3 电容充放电回路	167
A.7 用 Proteus 软件对电路作基于图表的仿真	170
A.8 小结	175
附录 B MATLAB 应用程序	176
B.1 若干 MATLAB 应用程序	176
B.2 程序使用方法	179
附录 C C 语言实用程序	193
C.1 若干 C 语言实用程序	193
C.2 若干 C 语言实用程序使用方法	199
参考文献	211

第1章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍电路的基础知识，包括以下内容：与电路有关的三个物理量——电流、电压和功率；电路的三种状态——开路状态、有载状态和短路状态；电路的三个定律——欧姆定律、基尔霍夫电流定律和电压定律。



1.1 电路概述

电路是电流流通的路径。

1. 电路的作用

电路的作用是进行电能的传输和转换，或是实现信号的传递和处理。

2. 电路的组成

电路由某些电气设备和元器件按一定方式连接组成。电路可分成电源、负载和中间环节三个部分。

电源是提供电能的设备，是电路工作的能源，电源的作用是将非电能转换成电能。

负载是用电设备，是电路中的主要耗电器件。负载的作用是将电能转换成非电能。

中间环节是指电源与负载之间的部分。

忽略电路元器件的次要因素，将其理想化，并用规定的电气图形符号表示即组成电路。



1.2 电流、电压和功率

1. 电流

电荷的定向运动形成电流（current）。电流的方向不变为直流电 I ，方向和大小都变化为交流电 i ，电流的大小用电流强度（current intensity）表示。

【电流强度】单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，即

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

在国际单位制（SI）中，电流的单位为安培（A）。有时，会用到千安（kA）、毫安（mA）或微安（ μA ）等，其关系如下：

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

【电流的方向】规定正电荷运动的方向为电流的实际方向，假设的电流流向称为电流的

参考方向。参考方向是人为规定的。当参考方向和实际方向相同时, $I > 0$; 当参考方向和实际方向相反时, $I < 0$, 如图 1-1 所示。

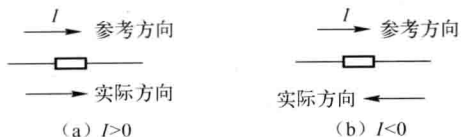


图 1-1 电流的方向

2. 电压

【电压】电场力将单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功, 称其为 a 、 b 两点间的电压 (voltage)。直流电压用 U_{ab} 表示, 交流电压用 u_{ab}

表示。电压的单位为伏特 (V)。有时, 会用到千伏 (kV)、毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 等, 其关系如下:

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

【电压的方向】习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向。即实际方向定义为: 若电荷从 $a \rightarrow b$ 为失去能量时, 方向为 $a \rightarrow b$, 且 a 为+, b 为-, 即 a 点为高电位, b 点为低电位。所以电压的实际方向为从高电位指向低电位。

参考方向为人为规定。实际方向和参考方向二者的关系: $u > 0$, 相同; $u < 0$, 相反, 如图 1-2 所示。

【电压与电位】电压等于电路中两点间的电位差 $U_{ab} = U_a - U_b$, 电位则是电路中某点到参考点之间的电压。

参考点的选择是任意的, 参考点的电位为零。工程上常选大地或机壳为参考点。如图 1-3 所示, 参考点是任意选择的一点“ $\perp$ ” (零电位点, “接地”点), 选 b 点为参考点, 则 $U_b = 0$, $U_{ab} = U_a - U_b = U_a$ 。

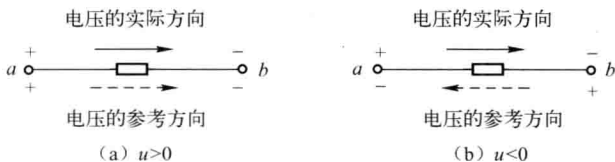


图 1-2 电压参考方向与实际方向的关系

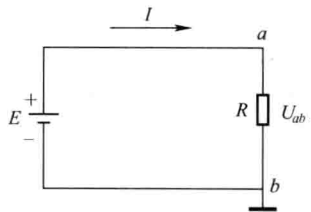


图 1-3 参考点的表示方法

【注意】电位的单位与电压的单位相同, 均为伏特 (V)。

3. 功率

功率是电场力在单位时间内所做的功, 单位为瓦 (W)。

【关联参考方向】元件上电流和电压的参考方向一致。

$$P = UI \quad (1-1)$$

【非关联参考方向】电流和电压的参考方向不一致。

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

图 1-4 所示为关联和非关联方向示意图。 $P > 0$ 吸收功率 (消耗功率) 为负载; $P < 0$ 发出功率 (产生功率) 为电源。

4. 电压、电流的关联参考方向

电压、电流的参考方向关系有四种, 如图 1-5 所示。

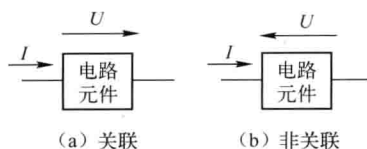


图 1-4 关联和非关联方向示意图

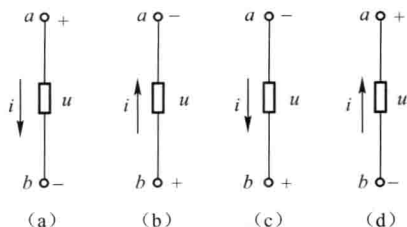


图 1-5 电压、电流的参考方向关系图

这四种关系可分为如下两类：

- (1) 一致方向称为关联参考方向，如图 1-5 (a)，(b) 所示。
- (2) 不一致方向称为非关联参考方向，如图 1-5 (c)，(d) 所示。

【说明】

- ☺ 电流、电压的实际方向是客观存在的，而参考方向是人为选定的。
- ☺ 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时，电流、电压值取正号，反之取负号。
- ☺ 分析计算每一电流、电压时，都要先选定其各自的参考方向，否则计算得出的电流、电压正负值是没有意义的。
- ☺ 电路中某一支路或某一元件上的电压与电流的参考方向的选定，可以选一致的参考方向，称关联参考方向；也可选择不一致的参考方向，称非关联参考方向。



1.3 欧姆定律

1. 电阻

物体对电流的阻碍作用称为电阻 (resistor)。单位为欧姆 (Ω)，常用的单位还有 $k\Omega$ (千欧) 和 $M\Omega$ (兆欧)。换算关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega, 1M\Omega = 10^6\Omega$$

物体对电流的传导作用称为电导 (conductance)，用 G 表示，它是电阻的倒数。单位为西门子 (S)。电阻与电导的关系为

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

2. 欧姆定律 (Ohm's Law)

通过实验可知，流过电阻的电流的大小与电阻两端的电压值成正比，与电阻本身大小成反比。即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

式中， I 为直流电流，单位为安培 (A)； U 为直流电压，单位为伏特 (V)； R 为电阻，单位

为欧姆 (Ω)。

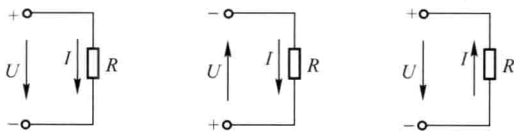
电阻一定时, 电压愈高电流愈大; 电压一定时, 电阻愈大电流就愈小。这就是欧姆定律。根据欧姆定律可以推导出功率与电阻的关系式为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-4)$$

在电路分析时, 如果电流与电压的参考方向不一致, 即为非关联参考方向时, 如图 1-6 (b), (c) 所示, 则欧姆定律的表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR \quad (1-5)$$

【注意】 应用欧姆定律时, 要注意电压、电流的参考方向, 取关联参考方向时, $I = U/R$; 若取非关联参考方向, 则 $I = -U/R$ 。



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向 (c) 非关联参考方向

图 1-6 欧姆定律及关联、非关联参考方向



1.4 电路的三种状态

电路的三种状态分别为开路状态、有载状态和短路状态。

1. 开路状态

如图 1-7 所示, 当电源与负载断开, 即图中开关 S 打开, 称为开路状态, 又称空载状态。开路状态电流为零, 负载不工作 $U = IR = 0$, 而开路处的端电压 $U_0 = E$ 。

2. 有载状态

当图 1-7 中的开关 S 闭合时, 电源与负载接通, 构成回路, 称为有载状态, 如图 1-8 所示, 此时

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-6)$$

$$U = IR = E - IR_0 \quad (1-7)$$

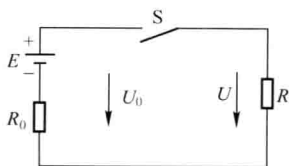


图 1-7 开路状态

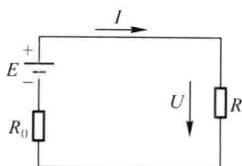


图 1-8 有载状态

有载状态时的功率平衡关系为：

⑤ 电源电动势输出的功率： $P_E = EI$ 。

⑤ 电源内阻损耗的功率： $P_{R0} = I^2 R_0$ 。

⑤ 负载吸收的功率： $P = I^2 R = P_E - P_{R0}$ 。

⑤ 功率平衡关系： $P_E = P + P_{R0}$ 。 (1-8)

用电设备都有限定的工作条件和能力，称为额定值。使用值等于额定值为额定状态；实际电流或功率大于额定值为过载；小于额定值为欠载。

3. 短路状态

图 1-9 所示是电路短路状态图，电源两端没有经过负载而直接连在一起时，称为短路状态。短路是电路最严重、最危险的事故，是禁止的状态。短路电流 $I_s = E/R_0$ 很大，如果没有短路保护，会发生火灾。产生短路的原因主要是接线不当、线路绝缘老化损坏等。应在电路中接入过载和短路保护。

上述开路、短路和有载状态也可以看成是电路中电阻取特殊数值形成的。开路状态是 $R = \infty$ 的状态，短路状态是 $R = 0$ 的状态，有载状态则是 $0 < R < \infty$ 的状态。

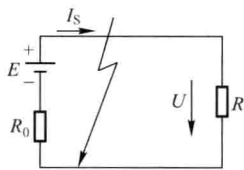


图 1-9 短路状态



1.5 基尔霍夫定律

对于含有一个电源的电阻串并联电路，用欧姆定律就可分析和计算，但是，当遇到含有两个以上电源的电路或者电阻特殊连接的电路，仅用欧姆定律计算是不行的。这时需要用到基尔霍夫定律（Kirchhoff's Laws）。基尔霍夫定律分为电流定律和电压定律。

在介绍基尔霍夫定律之前，对照图 1-10，先熟悉如下四个术语。

【支路（Branch）】电路中流过同一电流的分支，称为支路。图 1-10 所示电路中共有三条支路。

【节点（Node）】三条或三条以上支路的连接点，称为节点。图 1-10 所示电路中共有两个节点。

【回路（Loop）】电路中任一闭合的路径，称为回路。图 1-10 所示电路中共有三个回路。

【网孔（Mesh）】回路中不包含其他支路的回路称为网孔。图 1-10 所示电路中共有两个网孔。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律（Kirchhoff's Current Law, KCL）可以叙述为：在任一瞬间流入任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

如图 1-10 所示，对节点 a 可以写出：

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-9)$$

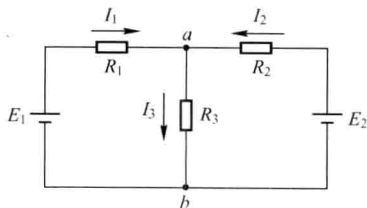


图 1-10 基尔霍夫定律用图

改写成:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\Sigma I = 0 \quad (1-10)$$

这说明在任一瞬间, 一个节点上电流的代数和等于零。

利用 KCL 解题时, 首先应标出各支路电流的参考方向, 列 $\Sigma I = 0$ 表达式时, 流入节点的电流取正号, 流出节点的电流取负号。

【例 1-1】在图 1-11 中, $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 试求 I_4 。

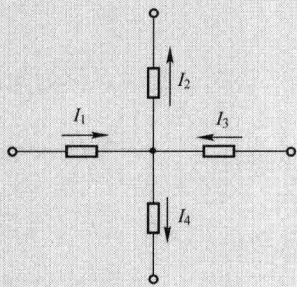


图 1-11 例 1-1 的电路

解: 由基尔霍夫电流定律可列出

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

$$2 - (-3) + (-2) - I_4 = 0$$

得

$$I_4 = 3\text{A}$$

由本例可见, 式中有两套正、负号, I 前的正、负号是由基尔霍夫电流定律根据电流的参考方向确定的, 括号内数字前的则是表示电流本身数值的正、负。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law, KVL) 可以叙述为: 在任一瞬间沿任一回路绕行一周, 回路中各个元件上电压的代数和等于零。可用公式表示为

$$\Sigma U = 0 \quad (1-11)$$

利用 KVL 解题时, 应先标出回路中各个支路的电流方向、各个元件的电压方向和回路的绕行方向 (顺时针方向或逆时针方向均可), 然后列 $\Sigma U = 0$ 表达式。

在列 $\Sigma U = 0$ 表达式时, 若流过电阻的电流参考方向与绕行方向一致, 该电阻电压前面取 “+” 号, 反之取 “-” 号; 若电压源方向与绕行方向相反, 该电压源取 “+” 号, 反之取 “-” 号。

【例 1-2】列出图 1-12 所示电路中回路 I 和回路 II 的 KVL 表达式。

解: 标出各支路的电流方向、各元件的电压方向和回路的绕行方向, 如图 1-12 中所示。

列回路 $\Sigma U = 0$ 表达式:

$$\text{回路 I: } -U_{E1} + U_{R1} + U_{R3} = 0$$

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

$$\text{回路 II: } -U_{E2} + U_{R2} + U_{R3} = 0$$

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

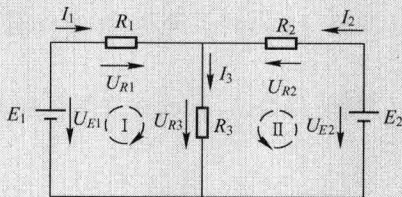


图 1-12 例 1-2 的电路



1.6 欧姆定律及基尔霍夫定律应用举例

【例1-3】 欧姆定律应用范例。在图1-13所示电路中, $U_1 = 12\text{V}$, $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_{\text{RV1}} = 1\text{k}\Omega$, 求电位器 RV_1 阻值为最大值和最小值时, 电流 I 的大小。

解: 电位器 RV_1 阻值为最大值时, $R_{\text{RV1}} = 1\text{k}\Omega$, 根据欧姆定律,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_{\text{RV1}}} = \frac{12}{1000 + 1000} \text{A} = 6\text{mA}$$

电位器 RV_1 阻值为最小值时,

$$R_{\text{RV1}} = 0\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_{\text{RV1}}} = \frac{12}{1000} \text{A} = 12\text{mA}$$

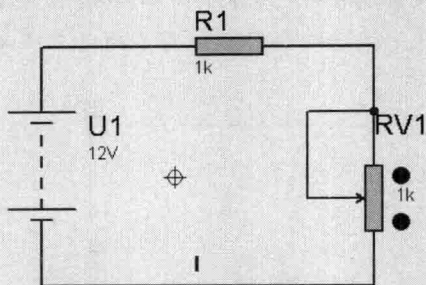


图1-13 例1-3的电路

现在用 Proteus 仿真软件检验一下本题的计算是否正确。如图1-14所示是例1-3电路在 $R_{\text{RV1}} = 1\text{k}\Omega$ 时的 Proteus 仿真结果图, 由图可见, $I = 6.00\text{mA}$ 。如图1-15所示是例1-3电路在 $R_{\text{RV1}} = 0\Omega$ 时的 Proteus 仿真结果图, 由图可见, $I = 12.0\text{mA}$ 。这和前面的理论计算值 I 完全吻合。这表明本题计算正确。

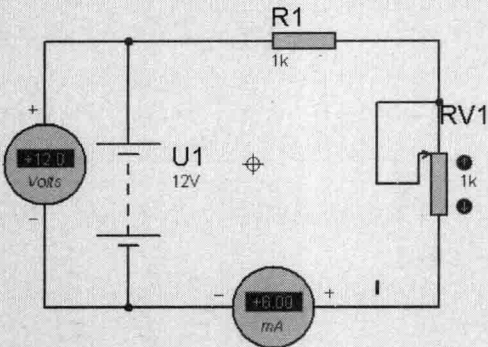


图1-14 例1-3电路在 $R_{\text{RV1}} = 1\text{k}\Omega$ 时的 Proteus 仿真结果图

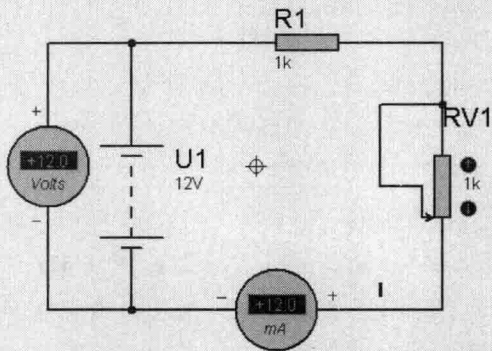


图1-15 例1-3电路在 $R_{\text{RV1}} = 0\Omega$ 时的 Proteus 仿真结果图

【例1-4】 基尔霍夫定律应用范例。在如图1-16所示的一段有源支路中, 已知 $U_{ab} = 5\text{V}$, $U_{\text{S1}} = 6\text{V}$, $U_{\text{S2}} = 14\text{V}$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, 设电流参考方向如图所示, 求电流 I 的大小。

解: 这一段有源支路可看成一个不闭合回路, 开口 a 、 b 处可看成一个电压大小为 U_{ab} 的电压源, 那么根据 KVL, 选择顺时针绕行方向, 可得

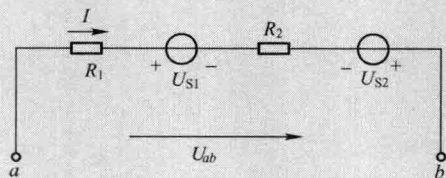


图1-16 例1-4的电路

$$IR_1 + U_{S1} + IR_2 - U_{S2} - U_{ab} = 0$$

解之得

$$I = \frac{U_{ab} + U_{S2} - U_{S1}}{R_1 + R_2} = \frac{5 + 14 - 6}{2 + 3} = 2.6 \text{ A}$$

现在用 Proteus 仿真软件检验一下本题的计算是否正确。如图 1-17 所示是例 1-4 电路的 Proteus 仿真图，图中添加一个测量电流的虚拟直流电流表。执行开始仿真命令，将出现如图 1-18 所示的电路 Proteus 仿真结果图，由图可见， $I = 2.6 \text{ A}$ 。这和前面的理论计算值 I 完全吻合。这表明本题计算正确。

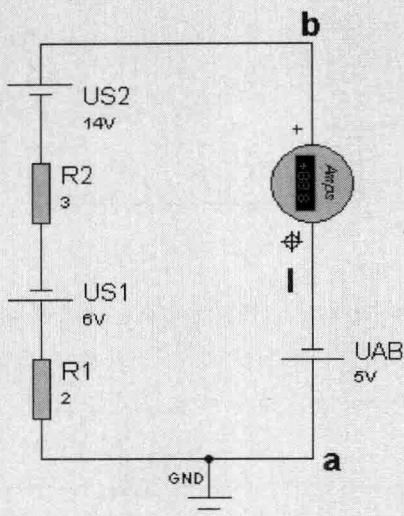


图 1-17 例 1-4 电路的 Proteus 仿真图

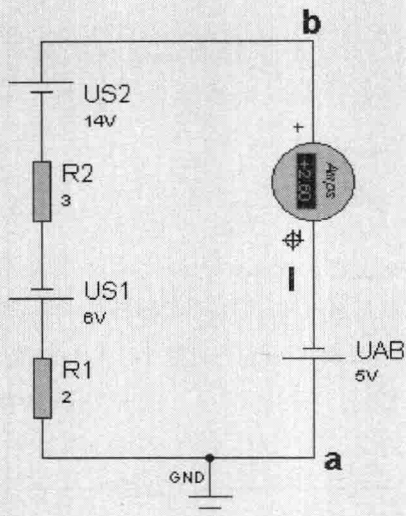


图 1-18 例 1-4 电路的 Proteus 仿真结果图

【例 1-5】基尔霍夫定律应用例。在如图 1-19 所示的电路中，已知， $U_{S1} = 10 \text{ V}$ ， $U_{S2} = 26 \text{ V}$ ， $R_1 = 6 \Omega$ ， $R_2 = 2 \Omega$ ， $R_3 = 4 \Omega$ ，求各支路电流。

解：设各支路电流方向及回路绕行方向如图 1-19 所示。根据基尔霍夫电流定律 (KCL)，列出

$$\text{节点 } a: I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{节点 } b: I_3 - I_1 - I_2 = 0$$

显然，上面两个式子是相同的，所以对于两个节点的电路，只能列出一个独立的 KCL 电流方程。

根据基尔霍夫电压定律 (KVL)，列出

$$\text{网孔 I: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} = 0$$

$$\text{网孔 II: } -I_2 R_2 + U_{S2} - I_3 R_3 = 0$$

$$\text{回路 } cadbc: I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$$

上面三个方程中的任何一个方程都可以通过其他两个方程推出，因此，只有两个 KVL 电压方程是独立的。通常选用网孔的 KVL 电压方程。

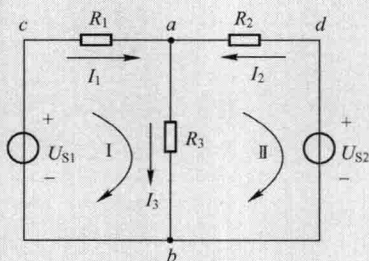


图 1-19 例 1-5 的电路

联立方程组:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} &= 0 \\ -I_2 R_2 + U_{S2} - I_3 R_3 &= 0 \end{aligned}$$

代入数据, 得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 10 = 6I_1 + 4I_3 \\ 26 = 2I_2 + 4I_3 \end{cases}$$

写成矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 6 & 0 & 4 \\ 0 & 2 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 26 \end{pmatrix}$$

这是一个三元一次线性方程组, 应用解线性方程组的克莱姆法则 (Cramer's Rule), 有

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 6 & 0 & 4 \\ 0 & 2 & 4 \end{vmatrix} = (-12) - (8 + 24) = -44$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 10 & 0 & 4 \\ 26 & 2 & 4 \end{vmatrix} = (104 - 20) - (40) = 44$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 6 & 10 & 4 \\ 0 & 26 & 4 \end{vmatrix} = (40 - 6 \times 26) - (104) = -220$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 10 \\ 0 & 2 & 26 \end{vmatrix} = (0) - (6 \times 26 + 20) = -176$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{44}{-44} = -1$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-220}{-44} = 5$$

$$I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-176}{-44} = 4$$

即

$$\begin{cases} I_1 = -1\text{A} \\ I_2 = 5\text{A} \\ I_3 = 4\text{A} \end{cases}$$

这里解得 I_1 为负值, 说明 I_1 的实际电流方向和参考方向相反。

现在用 Proteus 仿真软件检验一下本题的计算是否正确。如图 1-20 所示是例 1-5 电

路的 Proteus 仿真结果图, 由图可见, $I_1 = -1.0\text{A}$, $I_2 = 5.0\text{A}$, $I_3 = 4.0\text{A}$ 。这和前面的理论计算值 I_1 、 I_2 、 I_3 完全吻合, 表明本题计算正确。

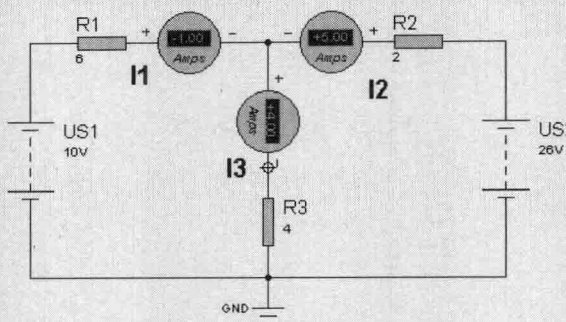


图 1-20 例 1-5 电路的 Proteus 仿真结果图

【说明】在本书中将多次涉及求解多元一次线性方程组的问题。解多元一次线性方程组有多种方法, 本书涉及三种方法: 第一种是上面使用的手工求解法, 第二种是使用 MATLAB 软件求解法, 第三种是用 C 语言程序求解法。第一种方法的缺点是麻烦、易错。解二阶、三阶的还可以, 解更高阶的更麻烦。第二种和第三种求解法在本书后附录 B、C 中有介绍。优点是计算快速、不易错。



1.7 小结

1. 与电路有关的三个物理量

电流、电压的参考方向是任意假定的; 数值是正, 表明实际方向与参考方向一致; 数值是负, 表明实际方向与参考方向相反。功率 $P = UI$, 如果电流和电压为非关联参考方向, $P = -UI$ 。

功率是正值, 吸收功率, 为负载; 功率是负值, 发出功率, 为电源。

2. 电路的三种状态

开路状态: 负载与电源不接通, 电流为零, 负载不工作; 有载状态: 负载与电源接通, 有电流、电压、吸收功率; 短路状态: 故障状态, 应该禁止。

3. 电路的三个定律

欧姆定律, $I = U/R$, 应用时要考虑关联问题。

KCL 定律, $\sum I = 0$, 应用时要先标出电流方向。

KVL 定律, $\sum U = 0$, 应用时要先标出电流、电压及绕行方向。