

高等学校教材

电路原理

范承志摇江传桂摇孙士乾摇编

周庭阳摇主审



机械工业出版社

本书共分十二章，内容为直流电路的基本概念和基本定律，网络的基本计算方法和定理，正弦交流电路，谐振互感及三相交流电路，双口网络，非正弦电路分析，网络的矩阵方程、过渡过程的经典解法，拉普拉斯变换、卷积积分和状态方程，非线性电路，分布参数电路，以及用计算机作电路计算。

本书每章均附有习题，书末有习题答案。

本书可作为高校电类各专业本科学生电路课程的教材，也可作为非电类专业高年级学生、研究生及教师的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路原理 / 范承志等编. —北京: 机械工业出版社, 2004.12

高等学校教材

ISBN 7-111-16100-3

I. ①电… II. ①范… III. ①直流电路—电路理论—高等学校—教材 IV. ①TN71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 16100 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号) 邮政编码 100037

责任编辑: 韩雪清 摇王保家 摇版式设计: 张世琴 摇责任校对: 张媛媛

封面设计: 姚毅 摇责任印制: 路瑶琳

北京机工印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

16 开 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张 · 232 千字

0001—1000 册

定价: 16.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68995101 远隔地区请洽 010-68995100

前 摇 摇 言

本书为高校电类本科学生的电路课程教材，也可作为非电类高年级学生、研究生和教师的参考书。本书内容符合教育部电路电磁场信号系统课程指导小组制定的电路原理课程教学大纲的要求。

本书编者所在的教研室近年来已编写了五套电路课程的教材（见参考文献），这些教材各具特色，在教学中取得了较好的效果。我们在编写本教材过程中，吸收了以上教材的优点，并结合自身的教学实践经验，力求做到内容精炼、论证严谨、重点突出、强调基本概念、基本定理和基本计算方法。

本书遵循从简到繁、从易到难的原则，在体系上采用先静态（直流电路分析），后稳态（正弦和非正弦周期信号电路），再动态（过渡过程分析）的安排，力求使难点分散，便于教学。网络定理安排在直流静态中讲授，在正弦稳态分析中集中精力讲述复数（相量）的概念。由于过渡过程中的经典法、运算法需要用到直流、交流稳态中许多概念，故放在其后是合适的。非线性电路和分布参数电路两章则安排在后面章节。最后一章讲述电路的计算机辅助分析问题，初步介绍用 ~~Matlab~~ ~~Matlab~~ 软件来分析计算电路的稳态、动态和非线性问题。

本书第一、二、五、八、九、十、十一、十二章由江传桂和孙士乾执笔，第三、四、六、七章和第十二章的一部分由范承志执笔。全书承浙江大学周庭阳教授仔细审阅，并提出许多宝贵的意见，谨致以衷心的感谢

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，希望读者给予批评指正。

编 摇 者 摇

圆 年 远 月 于 杭 州

目 录

前言	原 (节点数 原)	苑
第一章 摇直流电路的基本概念 和基本定律	摇附录 圆 摇用节点电压法推导 Δ — \square 变换公式	苑 苑
摇第一节 摇直流电路中的物理模型 ——电路元件	摇附录 圆 摇在复杂线性网络中叠加定 理的证明	苑 苑
摇第二节 摇电流、电压的参考方向、 功率	第三章 摇正弦交流电路	苑 苑
摇第三节 摇基尔霍夫定律和支路电 流法	摇第一节 摇正弦交流电量的基本概念 ...	苑 苑
摇第四节 摇电压源和电流源间的 等效	摇第二节 摇周期交流电量的有效值	苑 苑
摇第五节 摇无源一端口网络的化简	摇第三节 摇正弦交流电的相量表示	苑 苑
摇第六节 摇网络图论的概念	摇第四节 摇正弦交流电路中的电阻 元件	苑 苑
摇第七节 摇拓扑方程的独立性和 圆方法	摇第五节 摇正弦交流电路中的电感 元件	苑 苑
摇习题一	摇第六节 摇正弦交流电路中的电容 元件	苑 苑
第二章 摇网络的基本计算方法 和定理	摇第七节 摇基尔霍夫定律的相量 形式	苑 苑
摇第一节 摇网孔电流法 (网孔法)	摇第八节 摇正弦交流电路的阻抗、 导纳及等效转换	苑 苑
摇第二节 摇回路电流法 (回路法)	摇第九节 摇正弦电路的功率计算	苑 苑
摇第三节 摇节点电压法 (节点法)	摇第十节 摇复杂正弦交流电路的 计算	苑 苑
摇第四节 摇改进节点法	摇习题三	苑 苑
摇第五节 摇叠加定理	第四章 摇谐振、互感及三相交流 电路	苑 苑
摇第六节 摇替代定理	摇第一节 摇电路的谐振现象分析	苑 苑
摇第七节 摇戴维南定理和诺顿定理	摇第二节 摇互感耦合电路	苑 苑
摇第八节 摇特勒根定理	摇第三节 摇对称三相正弦交流电路 ...	苑 苑
摇第九节 摇互易定理	摇第四节 摇不对称三相电路概念	苑 苑
摇第十节 摇电源的移动	摇第五节 摇三相电路的功率及测量 方法	苑 苑
摇第十一节 摇增量网络法	摇习题四	苑 苑
摇第十二节 摇灵敏度计算	第五章 摇双口网络	苑 苑
摇习题二		
摇附录 圆 摇定理：网孔数 越支路数		

摇第一节摇双口网络概述	圆源	摇第六节摇节点电压方程	圆源
摇第二节摇双口网络的开路阻抗 矩阵	圆源	摇第七节摇回路电流方程	圆源
摇第三节摇双口网络的短路导纳 矩阵	圆源	摇第八节摇割集电压方程	圆源
摇第四节摇双口网络的混合参数 矩阵	圆源	摇习题七	圆源
摇第五节摇双口网络的传输参数 矩阵	圆源	第八章摇过渡过程的经典解法 ...	圆源
摇第六节摇双口网络矩阵参数的 换算	圆源	摇第一节摇概述	圆源
摇第七节摇双口网络的等效电路	圆源	摇第二节摇换路定律和初始条件	圆源
摇第八节摇双口网络的连接	圆源	摇第三节摇砸电路的过渡过程	圆源
摇第九节摇运算放大器	圆源	摇第四节摇砸电路的过渡过程	圆源
摇第十节摇回转器	圆源	摇第五节摇全响应、零输入响应和零 状态响应间的关系	圆源
摇第十一节摇负阻抗变换器	圆源	摇第六节摇阶跃响应和冲激响应	圆源
摇习题五	圆源	摇第七节摇砸电路的过渡过程： 零输入响应	圆源
第六章摇非正弦周期电路分析 ...	圆源	摇第八节摇砸电路的过渡过程： 冲激响应、阶跃响应和全 响应	圆源
摇第一节摇非正弦周期信号的傅里叶 级数分解	圆源	摇第九节摇用经典法求解复杂电路的 过渡过程	圆源
摇第二节摇非正弦周期信号电路的 稳态计算	圆源	摇习题八	圆源
摇第三节摇对称三相电路中的高次 谐波	圆源	第九章摇拉普拉斯变换、卷积 积分和状态方程	圆源
摇第四节摇非周期信号的傅里叶 变换	圆源	摇第一节摇拉氏变换的定义	圆源
摇第五节摇电路的频率特性分析	圆源	摇第二节摇拉氏变换的若干定理	圆源
摇习题六	圆源	摇第三节摇有理分式的展开定理	圆源
第七章摇网络矩阵方程	圆源	摇第四节摇用拉氏变换方法分析动态 线性电路	圆源
摇第一节摇概述	圆源	摇第五节摇网络函数及其零极点	圆源
摇第二节摇关联矩阵与节点电流 定律	圆源	摇第六节摇网络函数与各种响应的 关系	圆源
摇第三节摇回路矩阵与回路电压 定律	圆源	摇第七节摇冲激函数电源及其时间积分 的响应	圆源
摇第四节摇割集矩阵与节点电流 定律	圆源	摇第八节摇卷积积分、任意输入波形的 过渡过程	圆源
摇第五节摇关联矩阵、回路矩阵和 割集矩阵的关系	圆源	摇第九节摇状态方程的列写	圆源
		摇第十节摇状态方程的求解	圆源
		摇习题九	圆源
		第十章摇非线性电路	圆源

摇第一节摇概述	猿苑	摇第十节摇无损线的暂态分析	猿远
摇第二节摇直流非线性电阻电路	猿园	摇第十一节摇无损线边界上的反射	猿怨
摇第三节摇分段线性化模型	猿源	摇习题十一	源源
摇第四节摇非线性正弦稳态电路	猿怨	第十二章摇利用 酝粤栽 软件作电	
摇第五节摇一阶非线性动态电路的过渡		路计算	源远
过程	猿源	摇第一节摇概述	源远
摇第六节摇非线性动态电路的状态方程、		摇第二节摇酝文件的建立和使用	源愿
平衡状态和稳定性	猿苑	摇第三节摇绘图功能	源园
摇第七节摇非自主网络中的小信号		摇第四节摇 酝 文件和 粤 语句	源园
分析	猿远	摇第五节摇电路的传递函数及其频率	
摇第八节摇小信号分析与稳定性分析的		特性	源源
关系	猿园	摇第六节摇非线性直流电路解法	源缘
摇第九节摇相平面图	猿猿	摇第七节摇多项式求根和有理分式的	
摇第十节摇用欧拉法绘制相迹	猿远	展开	源园
摇习题十	猿怨	摇第八节摇非正弦电路的计算	源源
第十一章摇分布参数电路	猿缘	摇第九节摇过渡过程的时域计算	源园
摇第一节摇概述	猿缘	摇第十节摇状态方程的求解	源源
摇第二节摇均匀传输线方程	猿缘	摇第十一节摇节点电压矩阵方程	源园
摇第三节摇均匀传输线正弦稳态		摇第十二节摇均匀传输线方程	源远
分析	猿远	摇第十三节摇输入、输出数据文件的	
摇第四节摇摇行波	猿园	直接建立	源苑
摇第五节摇无反射长线	猿源	摇习题十二	源源
摇第六节摇无畸变长线	猿远	习题答案	源远
摇第七节摇无损耗长线	猿苑	中英文电路词汇对照	源猿
摇第八节摇无损长线的某些应用	猿园	参考文献	源怨
摇第九节摇长线作为双口网络	猿缘		

第一章 直流电路的基本概念和基本定律

第一节 直流电路中的物理模型 ——电路元件

一、实际电路及其理想模型

电路是由若干电气设备或器件组成的总体，通常其间有电流通路。例如手电筒就是一个最简单的电路，它由电池、灯泡和导电的电筒构成。电池、发电机等提供电能，称为电源，电源将其他形式的能量（如化学能、机械能、热能、光能等）转化为电能；灯泡、电动机等消耗电能，称为负载，负载将电能转化为其他形式的能量（如热能、光能、机械能、化学能等）。

电路在电工应用中起着输送电能和处理电信号的作用。在电力系统、电子及通信设备、自动控制系统、计算机系统以及其他各行各业中都有大量的各种各样的电路在运行。

有些电路很复杂，如超高压电力网络、大规模集成电路和高级生物的神经网络等。复杂的电路常称为网络，本书对电路、网络不予区分。

为便于分析、综合、设计网络，需要将其中的各部件按其主要的物理性质加以简化，建立它们的物理（或数学）模型。一些基本的物理模型常称为电路元件，例如电阻元件、电感元件、电容元件、电源元件等。由这些理想化的电路元件组成的电网络模型当然也是理想化的，它们只是实际电路的一种近似。如何对各种实际部件建模，需要丰富的电路知识和专业知识。按照实用上精确度的要求，并便于分析计算，一个实际电路可简化为若干个从简单到复杂的理想电路模型。例如一个电感线圈在直流稳定状态下，可抽象成为一个电阻；在交流低频情况下，可抽象成为电阻和电感的串联；在高频情况下，还需考虑线圈的匝间分布电容和层间分布电容，此时可抽象成为电阻和电感串联后再与电容并联；在超高频情况下，一个实际电感线圈甚至可以抽象成为电容链形网络，完全忽略其中的电阻（消耗热能）和电感（储存磁场能）的影响，只考虑电场能的影响即可。

电池、直流发电机等在电路中形成的电流、电压在稳定状态下不随时间改变，该电路称为直流电路。某元件中的电流是单位时间流过的电量（电荷），单位是安培（ $1\text{A} = 1\text{C/s}$ ），符号为 A 。对于很大的电流用千安（ kA ）表示，对于很小的电流用毫安（ mA ）、微安（ μA ）表示，它们的换算关系为

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

圆

直流电流的符号用 I 表示。

电路中某两点 a 、 b 间的电压是指从点 a 到点 b 的电压降落（电位降落），单位是伏特（1伏特 = 1000毫伏），符号为 U 。对于很高的电压用千伏（kV）、兆伏（MV）表示，对于很小的电压用毫伏（mV）、微伏（ μ V）表示，它们的换算关系为

$$1\text{ kV} = 1000\text{ V}, 1\text{ MV} = 1000\text{ kV}, 1\text{ mV} = 10^{-3}\text{ V}, 1\text{ }\mu\text{V} = 10^{-6}\text{ V}$$

直流电压的符号用 U 表示（请注意不要写成 u 或 U_m 以免和正弦电路中的符号相混淆）。

电路元件可分为无源元件和有源元件，直流电路中无源元件就是电阻，有源元件有独立电源和受控电源。

二、电阻元件

这是一个只表征有热能损耗的二端电路元件，符号如图 1-1 所示。线性电阻元件的端电压 U 和电流 I 的关系（简称伏安特性）为一过原点的直线，见图 1-2，满足欧姆定律，即两端电压 U 与通过它的电流 I 成正比，其特性方程为

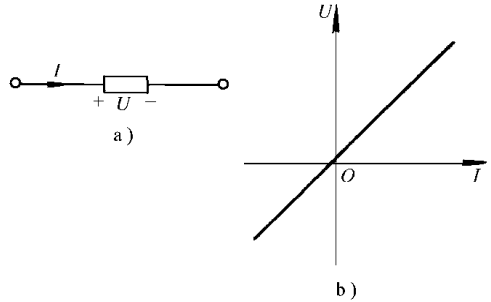


图 1-1 电阻符号

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = GU \quad (1-1)$$

式中，比例系数 R 称为电阻； G 称为电导， $G = 1/R$ 。当电压、电流的单位分别是伏特（V）和安培（A）时，电阻 R 的单位是欧姆，符号为 Ω ；电导 G 的单位是西门子，符号为 S 。

式（1-1）是表征欧姆定律的数学式子，称为电阻元件的数学模型。

从线性代数的观点来看，若一个函数 $U = RI$ 是线性的，它应满足齐次性和可加性。

齐次性的定义是：对任意常数 k ，当自变量乘以 k ，则其函数也乘以 k ，即 $U = R(kI) = k(RI) = kU$ 。

显然，式（1-1）中 $U = RI$ 满足齐次性，因为 $U = R(kI) = k(RI) = kU$ 。

可加性的定义是：两个自变量相加的函数等于两个自变量的函数相加，即 $U = R(I_1 + I_2) = RI_1 + RI_2 = U_1 + U_2$ 。

显然式（1-1）中 $U = RI$ 满足可加性，因为 $U = R(I_1 + I_2) = RI_1 + RI_2 = U_1 + U_2$ 。

齐次性、可加性可合并写成一个线性公式。设 $U_1 = RI_1$ 、 $U_2 = RI_2$ 为任意常数，则线性函数满足

$$U = R(k_1 I_1 + k_2 I_2) = k_1 R I_1 + k_2 R I_2 = k_1 U_1 + k_2 U_2 \quad (1-2)$$

显然，在线性电阻上，满足欧姆定律，式 (1-1-1) 表示它是 U 的线性函数，因为

$$U = RI \quad (1-1-2)$$

所有的实际电阻器，如灯泡、电炉丝、滑线电阻、甚至包括炭膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等，其上的电压和电流关系（伏安特性）并不是严格的直线关系，但在一定的电压、电流范围内，实用上作为线性电阻处理，不致造成显著的误差。

从能量的观点来说，电阻反映了电能的消耗，转化为热能。电阻中消耗的功率根据焦耳定律为

$$P = I^2 R \quad (1-1-3)$$

功率的单位是瓦特，简称为 瓦。

直流电路中电阻消耗的能量为（在时间间隔 t 内）

$$W = I^2 R t \quad (1-1-4)$$

能量的单位是焦耳（ J ），也用千瓦时（ kWh ）表示，就是通常电度表的计量单位。

$$W = P t = I^2 R t \quad (1-1-5)$$

三、独立电源元件

这是表征电源的理想化的二端（也称一端口）电路元件，它们有两种：独立电压源和独立电流源。

（一）独立电压源

又称定压源。图 1-1-6 示出了独立电压源的三种符号，图 1-1-6a 为我国教材常用的符号，图 1-1-6b 为英美教材常用的符号，图 1-1-6c 为电池组的符号。本书采用图 1-1-6a 的符号， E_s 代表电压源从正极到负极有 E_s 伏的电压降落；也可用 U_s 代替 E_s ，表示从负极到正极有 U_s 伏的电位升高。

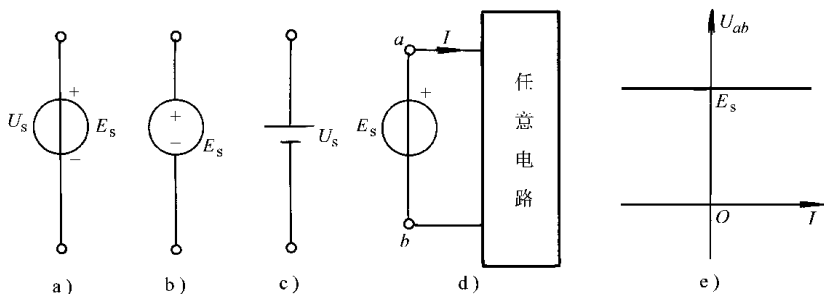


图 1-1-6 独立电压源符号

独立电压源 E_s 提供确定的电压。如图 1-1-6d 所示，设 I 为流过 E_s 的电流，则电压 U_{ab} 始终是 E_s ，与右方任意电路的状况无关， I 中的电流 I 随右方的电路状况改变

解摇哉越砸隔越灾, 噪哉越猿伊粤越之粤, 哉越砸 (噪哉) 越圆原灾, 哉越粤哉越缘伊圆原灾越粤灾, 隔越 (粤粤哉) 粤越粤粤

在本例中, 电流源隔越粤, 而负载砸中的电流隔越粤, 电流比隔越粤, 可见电流放大了粤倍; 再看电压: 电流源的电压哉越灾, 负载砸的电压哉越灾, 电压比哉越粤, 可见电压放大了粤倍。放大的原因是由于受控源的存在。电子管、晶体管、运算放大器能起到电压、电流的放大作用, 就是因为其等效电路中含有受控源。至于这种放大作用的能量来源, 已超出本书讨论的范围, 请参阅电子学有关书籍。

第二节摇电流、电压的参考方向、功率

一、电流、电压的参考方向

某段电流的参考方向 (也称正方向) 是任意规定的正电荷运动的方向。如图员圆所示, 假定隔的正方向从粤至月, 用箭头表示, 或写成隔, 如隔垣粤, 表示实际电流粤从粤流至月; 又如隔原粤, 则表示实际电流粤从月流至粤

在电路分析、计算中, 通常不能预知各段电流的实际方向, 故首先需假定各段电流的参考方向, 才能列写与各处电流有关的方程式, 当计算完毕后, 知道了某处电流的代数值 (含正、负号), 依据其参考方向, 就能判断其实际电流的方向和大小了。

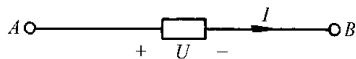
同样, 某段电压的参考方向 (正方向) 也是任意规定的电压降落的方向, 用正负号注明 (有时也用箭头表示电压降落)。图员圆中, 假定哉的正方向是从粤到月, 也可写成哉, 即粤月两点之间的电压是粤点电位与月点电位之差。如哉越哉, 表示粤点电位比月点高猿灾; 如哉越原哉, 表示粤点电位比月点电位低猿灾。同理, 两点之间的电压也是代数量, 只有知道了它的参考方向和正负号, 才能确定实际上两点电位的高低。

电流、电压的参考方向的重要性可从下例看出。

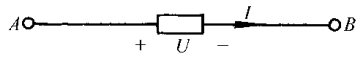
例员圆摇对于一个电阻砸, 如果不给出电流、电压的参考方向, 就写欧姆定律的式子哉越砸是不够准确的。当图员圆中电流隔和电压哉的参考方向不一致时, 欧姆定律的式子应为哉越原隔

例员圆摇列写图员圆电路中哉隔的关系式。

解摇图圆注意到哉的正负号 (即它的参考方向), 哉越哉越哉垣哉。按规定哉从点员降到点猿为正, 现从点员到点圆, 电位升高了, 故哉越原哉; 又由



图摇员圆



图摇员圆

愿

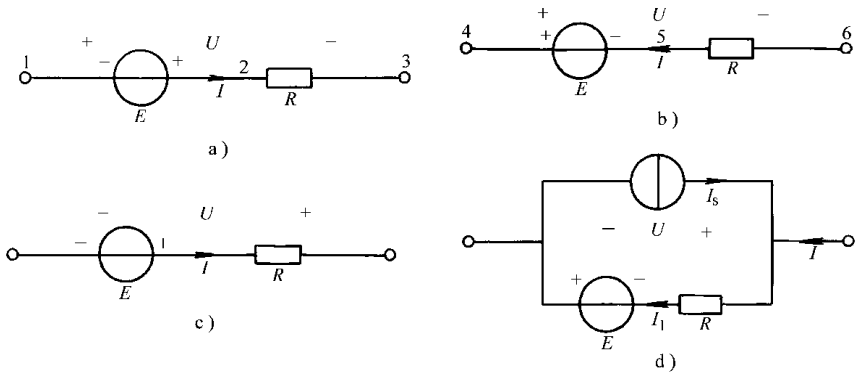


图 1-1-1

欧姆定律 哉 越 陨 注意 陨 的参考方向是从点 圆到点 猿, 故点 圆的电位比点 猿高。最后得 哉 越 陨 云 陨

图 遭: 哉 越 哉 越 哉 恒 哉, 从点 源到点 缘, 电位降落了, 故 哉 越 陨, 从点 缘到点 远, 电位升高了, 故 哉 越 陨 陨 最后得 哉 越 陨 陨 陨

同理得

图 糟 哉 越 陨 陨 陨 陨 云

图 苗: 哉 越 陨 陨 陨 陨 陨 陨 (陨 陨 陨) 陨 云

二、功率

直流电路中某元件的功率 孕 是该元件的电压和电流的乘积, 即

孕 越 哉 陨

前已述及, 对于 哉 陨 都要规定其参考方向, 不同的 哉 陨 的参考方向, 就有不同的 哉 陨 正负号, 其乘积 (即 孕) 的正负号就不同。那么怎样根据 哉 陨 的参考方向和其乘积的正负号, 来判断一个元件在实际上是发出功率还是吸收功率呢?

先从一个最简单的电路入手, 如图 1-1-2 所示。对于电阻元件 砸 (图中右方), 通常规定其电压 哉 陨 和电流 陨 的参考方向一致, 此时, 功率 孕 越 哉 陨 陨, 显然它吸收功率。

对于电源元件 耘 (图中左方), 通常规定其电压 哉 陨 和电流 陨 的参考方向不一致, 此时功率 孕 越 哉 陨 陨 陨, 显然它发出功率。

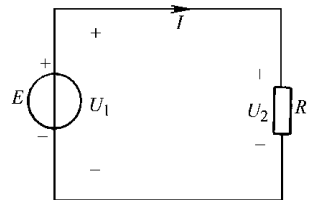


图 1-1-2

将此特例推广到一般情形: 当某元件的 哉 陨 参考方向一致, 且 哉 陨 陨 时, 它吸收功率; 当其 哉 陨 参考方向相反, 且 哉 陨 陨 时, 它发出功率。

例 1-1-1 判断图 1-1-3 中的网络, 是吸收功率还是发出功率。

解图 员 中, 晕 的电压的正方向由 葬 至 遭, 电流正方向也是由 葬 至 遭, 参考方向一致, 且 哉 越 园, 故 晕 吸收功率;

图 员 中, 晕 的哉 参考方向不一致, 且 哉 越 园, 故 晕 吸收功率。

例 员 利用例 员 的数据, 求电压源和电流源的功率, 是发出还是吸收功率, 验证功率平衡。

解 已知 哉 越 哉, 隔 越 原 哉, 故 哉 隔 越 原 哉, 电压、电流的参考方向不一致, 乘积为负, 可知电压源吸收功率;

又 哉 越 哉, 隔 越 原 哉, 哉 隔 越 原 哉, 电压、电流的参考方向不一致, 乘积为正, 可知电流源发出功率;

电阻 员、圆 吸收功率, 吸收的功率分别为 怨 哉和 猿 哉;

验证功率平衡 猿 哉 越 怨 哉 垣 猿 哉

例 员 图 员 电路中, 电压源 耘 和电阻 砸 恒定, 负载电阻 砸 可变, 问 砸 为何值时, 它吸收的功率 孕 最大, 最大值 孕 越?

解 隔 越 耘, 砸 中吸收功率 孕 越 隔 越 耘 (隔 垣 砸) 砸,

砸 改变时, 为求 孕 的极值, 令 孕 越 园, 可得 砸 越 隔, 此时

孕 越 园, 故 孕 取极大值, 孕 越 耘 越 源 哉, 这种情况称为最大功率传输, 此时传输效率 孕 为

$$\eta 越 \frac{\text{负载 砸 吸收功率}}{\text{电源 耘 发出功率}} 越 \frac{孕}{孕 垣 孕} 越 \frac{耘 越 源 哉}{耘 越 源 哉 垣 耘 越 源 哉} 越 怨 哉$$

在电力系统中, 主要的问题是要提高效率。缘 的效率说明电能损失太大, 是不允许的。

在电信系统中, 常希望获得最大传输功率, 此时称为匹配。而效率往往不是主要矛盾, 因本身的功率就不大, 损失 缘 也不可惜。

大多数电路问题中, 都是已知电源、电阻求各电压、电流和功率, 这是属于正面的问题, 较易求解; 但也有反面的问题, 电路中某些电阻未知, 就不易求解, 请见下例。

例 员 图 员 电路中, 已知 哉 越 哉, 隔 越 园, 砸 消耗功率 孕 越 哉, 求电流 隔 和 砸。

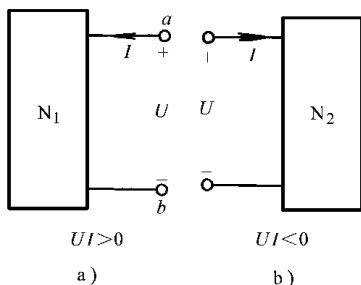


图 员

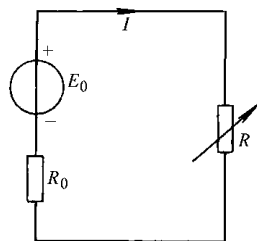


图 员

解电路方程得 $I = \frac{U_s}{R + R_2}$ 即

$$P_2 = I^2 R_2 = \frac{U_s^2 R_2}{(R + R_2)^2} \quad (1)$$

功率 P_2 越 R_2 大，即

$$\frac{dP_2}{dR_2} = \frac{U_s^2 (R + R_2)^{-2} (R - R_2)}{1} = 0 \quad (2)$$

将式 (2) 代入式 (1)，得

$$\frac{U_s^2 R_2}{(R + R_2)^2} \rightarrow \frac{U_s^2 R_2}{(R + R_2)^2} \rightarrow \frac{U_s^2 R_2}{(R + R_2)^2}$$

解出 $R_2 = R$ 或 $R_2 = 3R$ ，代入式 (1) 得 $P_2 = \frac{U_s^2}{4R}$ 或 $P_2 = \frac{9U_s^2}{16R}$ 。
(源) Ω 。

此题有两组解，读者可验证其正确性。

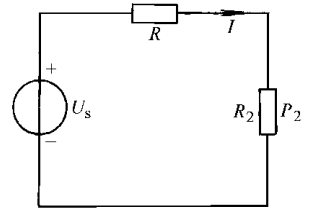


图 1-1-1

第三节 基尔霍夫定律和支路电流法

本节讨论两条基尔霍夫定律，它们概括了电网络中电压、电流遵循的基本规律。

首先介绍三个名词，以图 1-1-2 为例。

节点 指三根接线（或以上）的交点，如 a, b, c 点（有时也将 d 点作为节点，即也可规定两根或以上接线的交点作为节点）。本电路有三个节点。

支路 指两节点间的串联电路，如 a, b ； b, c ； c, a ； a, d ； d, c 。本电路共有五条支路。

回路 指若干支路组成的闭合路径，如 a, b, c, a ； b, c, d, b ； a, d, c, a 。图 1-1-2 中的 a, b, c, a 也是回路。

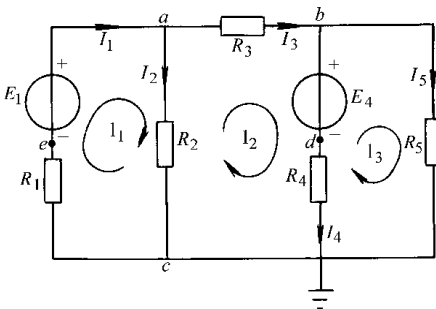


图 1-1-2

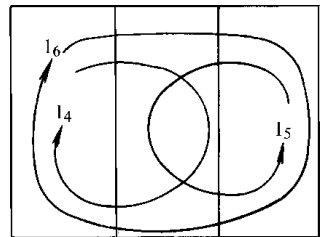


图 1-1-3

熟悉了这三个名词，就可介绍基尔霍夫定律了。

单位分别是 灾 粤 Ω、宰

基尔霍夫电流定律（简称 运灾）反映了会聚于任一节点各电流的约束关系，即流出（或流入）任一节点的电流代数和为零，写成

$$\sum I_{\text{出}} = 0 \quad (1.1.1)$$

在列写该方程时，可任意选取流出节点的电流为正，则流入节点的电流为负。在图 1.1.1 中

对于节点 葬：摇摇摇摇摇摇摇原垣垣垣垣垣垣越园 (1.1.2)

节点 遭：摇摇摇摇摇摇摇原垣垣垣垣垣垣越园 (1.1.3)

节点 糟：摇摇摇摇摇摇摇原原原原原原越园 (1.1.4)

当然，也可取流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，上三式左方的每一项都变号，不影响约束关系。

将式 (1.1.2) ~ 式 (1.1.4) 相加，全等于零，可知其中有一个方程不独立。例如节点 糟的方程可不列写，我们把节点 糟称为参考节点，在图中用接地符号注明，通常选接线最多的交点作为参考节点。

运灾是电磁场理论中电流连续性原理在电路中的表现形式，在节点上不可能有电荷的积聚，在任意时刻流入的电荷必然等于流出的电荷。

基尔霍夫电压定律（简称 运灾）反映了组成任一回路的各电压的约束关系，即环绕任一回路的电压代数和为零，写成

$$\sum U_{\text{环}} = 0 \quad (1.1.5)$$

在列写该方程时，可任意选取回路的参考方向（例如顺时针方向）。在图 1.1.2 中

对于回路 遭：摇摇摇摇摇摇摇哉垣哉垣哉越园 (1.1.6)

回路 遭：摇摇摇摇摇摇摇哉垣哉垣哉越园 (1.1.7)

回路 遭：摇摇摇摇摇摇摇哉垣哉垣哉越园 (1.1.8)

当然，也可取回路的参考方向为逆时针，例如，取 遭为逆时针方向，则回路电压方程为

$$-U_{\text{遭}} - U_{\text{遭}} - U_{\text{遭}} = 0$$

运灾是电磁场理论中电位函数在电路中的表现形式，两节点间的电压是两节点的电位差，式 (1.1.9) 可写为

$$U_{\text{灾}} = \phi_{\text{灾}} - \phi_{\text{灾}} \quad (1.1.9)$$

式中， $\phi_{\text{灾}}$ 表示 灾点电位，取参考节点的电位为零。图 1.1.3 电路中，节点 糟作为参考节点，故 $U_{\text{遭}} = \phi_{\text{遭}} - \phi_{\text{糟}} = \phi_{\text{遭}}$

上述基尔霍夫定律与电路中元件的性质无关，故可适用于各种类型的电路。

如果再考虑各支路中元件的性质，或称元件的伏安特性（简称 灾灾），在式 (1.1.10) 中，将各电压用电阻、电动势、电流表示，即代入