

电工与电子技术简明教程

主 编：刘辛国

副主编：华红艳

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术简明教程/ 刘辛国主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2003
ISBN 7 - 5045 - 4107 - 9

. 电 刘 电工学 . TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 064444 号

中国劳动社会保障出版社出版发行
(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

新华书店经销

××××厂印刷 ××××装订厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 345 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印数: 册

定价: 23.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

内 容 简 介

本书是根据航空院校教材编委会审定的《电工电子学教学大纲》编写的，适用于工科非电专业本、专科和经济管理类本、专科以及电大、职大等成人教育的相应专业，也可作为电气工程技术人员的参考书。内容包括电工基本理论和电机及控制、模拟电子技术、数字电子技术以及 PLC 技术等。主要特点是精练、简明、通俗易懂，适用范围较广。

前 言

本书是根据航空院校教材编委会审定的《电工电子学教学大纲》编写的，可作为非电专业少学时电工学课程的基本教材。

电工学是研究电工技术和电子技术的理论和应用的技术基础课。随着科学技术的日新月异，电工和电子技术发展十分迅速，应用也愈加广泛，现代一切新的科学技术无不与电有着密切的关系，而电工学即是研究与掌握电学理论知识的基础和入门课程。

为了适应非电专业对电工学课程应涉及面广、内容精练、知识新颖的要求，克服学时少、内容多的矛盾，本书对内容进行了精选，特别注重精练内容，从系统的角度对基本理论进行阐述，重视外部特性的研究，力求结构化、积木式，以便于选用，扩大了对不同专业的覆盖面。本书还突出了思维方法的训练，注重应用研究，以利于培养学生分析和解决实际问题的能力。因此，本书特别适用于普通高等院校工科非电专业和经济管理类专业的本、专科以及电大、职工大学等的相应专业选作少于 90 学时的电工学教材。

本书由北京建筑工程学院电气工程与自动化系副教授刘辛国任主编，负责全书的组织和定稿；郑州航空工业管理学院机电工程系副教授华红艳任副主编。参加编写的人员还有郑州航空工业管理学院机电工程系教师王义琴、何琳琳、刘兆瑜、张海军、程 。全书共十三章，具体编写分工为：第一章由程 编写；第二章由华红艳、程 编写；第三、四章由张海军编写；第五、七章由华红艳编写；第六、十一章由刘兆瑜编写；第八章由刘辛国编写；第九、十章由何琳琳编写；第十二、十三章由王义琴编写。

由于作者水平有限，书中难免会有错误和不妥之处，殷切希望使用本教材的师生以及其他读者给予批评指正。

编者

2003 年 7 月

目 录

第一章 电路的基础知识和基本分析方法.....	(1)
§ 1.1 电路基础知识	(1)
§ 1.2 电路的基本分析方法	(7)
§ 1.3 一阶电路的暂态分析	(14)
思考题与习题.....	(21)
第二章 正弦交流电路.....	(23)
§ 2.1 正弦交流电的基本概念及相量表示法	(23)
§ 2.2 RLC 串联交流电路及串联谐振	(33)
§ 2.3 交流电路的功率	(38)
思考题与习题.....	(41)
第三章 三相供电与变压器.....	(44)
§ 3.1 三相电路	(44)
§ 3.2 变压器	(49)
§ 3.3 输电与配电	(52)
第四章 常用低压电器.....	(55)
§ 4.1 手动控制电器	(55)
§ 4.2 自动控制电器	(56)
§ 4.3 保护控制电器	(58)
思考题与习题.....	(60)
第五章 三相异步电动机及其简单控制.....	(61)
§ 5.1 三相异步电动机的结构及工作原理	(61)
§ 5.2 三相异步电动机的起动与制动	(64)
§ 5.3 三相异步电动机基本控制环节	(67)
思考题与习题.....	(72)
第六章 安全用电.....	(73)
§ 6.1 电气安全	(73)

§ 6.2 电气安全保护	(74)
第七章 可编程序控制器.....	(77)
§ 7.1 可编程序控制器组成及工作原理	(77)
§ 7.2 可编程序控制器的编程	(82)
§ 7.3 可编程序控制器应用举例	(88)
思考题与习题.....	(93)
第八章 半导体三极管及其放大电路.....	(96)
§ 8.1 半导体三极管	(96)
§ 8.2 基本交流放大电路	(102)
§ 8.3 分压式射极偏置放大电路	(112)
§ 8.4 射极输出器	(114)
§ 8.5 多级放大电路及其级间耦合方式	(116)
§ 8.6 差动放大电路	(120)
§ 8.7 互补对称功率放大电路	(125)
思考题与习题.....	(128)
第九章 集成运算放大器.....	(131)
§ 9.1 集成运算放大器的基本组成	(131)
§ 9.2 基本运算电路	(134)
§ 9.3 集成运放的典型应用	(138)
§ 9.4 放大器中的反馈	(140)
思考题与习题.....	(146)
第十章 直流电源.....	(151)
§ 10.1 整流与滤波电路.....	(151)
§ 10.2 直流稳压电源.....	(160)
思考题与习题.....	(163)
第十一章 数字电路基础知识.....	(166)
§ 11.1 进位计数制与逻辑代数.....	(166)
§ 11.2 逻辑函数的表示方法.....	(170)
§ 11.3 逻辑代数及逻辑函数的化简.....	(172)
思考题与习题.....	(176)
第十二章 组合逻辑电路.....	(179)
§ 12.1 组合逻辑电路的分析与设计.....	(179)
§ 12.2 编码器和译码器.....	(183)

思考题与习题.....	(190)
第十三章 时序逻辑电路.....	(192)
§ 13.1 双稳态触发器.....	(192)
§ 13.2 寄存器.....	(199)
§ 13.3 计数器.....	(201)
思考题与习题.....	(207)
部分习题答案.....	(211)

第一章 电路的基础知识和基本分析方法

本章是学习后面各章的基础。电路的基本理论与基本分析方法对于分析电机电路、控制测量电路及电子电路具有普遍意义。

本章着重讨论电流和电压的参考方向、电源的三种工作状态、电路的两种约束、两种电源及其互换以及支路电流法、叠加原理、戴维南定理等电路的基本概念及基本分析方法。在讲述这些内容时，力求避免与中学物理的内容重复。即使有些重复，也是从工程技术角度考虑的，请读者特别留意。

§ 1.1 电路基础知识

一、电路的组成及作用

电路是电流的通路，它是由各种元器件或设备为完成某种使命而组合起来的。实际生活中我们最常见的电路有手电筒电路、照明电路、收音机电路、电视机电路等。尽管电路的结构形式和所完成的功能不尽相同，但归纳起来有三部分组成：电源、负载和中间环节，如图 1—1 所示。



图 1—1 电路组成示意图

电源 将其他形式的能量转换为电能的装置，例如蓄电池是将化学能转换为电能，发电机是将机械能转换为电能等。发电机和蓄电池就是电源。

负载 将电能转换为其他形式能量的装置，例如电动机将电能转换为机械能，电灯将电能转换为光能和热能，电动机、电灯等用电装置就是负载。通常所说的负载的大小是指负载电流的大小或负载消耗功率的大小，而不是指负载电阻阻值的大小。

中间环节 电源和负载之间的部分，包括输电导线、变压器、控制和保护电器等，它们的作用就是实现电能的输送、变换、控制及信号的处理等。

电路的作用可以归纳为两个：在电力系统电路中，主要是实现电能的生产、传输、控制、转换和分配，而在电子线路中则主要是产生、传递、处理和接受信号。

组成电路的实际元件，往往具有较复杂的电磁性能，例如一个电阻元件，在它通以电流时，除了具有消耗电能、阻碍电流的性质（电阻性）外，在它周围还会产生磁场，就是还具有电感性，只不过后者与前者相比在特定情况下可忽略不计罢了。为了便于分析和研究电路，我们常对组成电路的实际元件的电磁性质作科学的抽象和概括，突出其主要性质，忽略其次要性质，使之“理想化”。如图 1—2 中的电源元件、开关元件和电阻元件都是理想元件，

连接各元件的“导线”也是理想的——没有电阻。这样的电路可以是一切具有电阻性质的实际电路的电路模型，例如手电筒电路、白炽灯电路、电阻炉电路等，都可以用这样的电路模型来表示。本书所分析的都是电路模型，简称电路。在电路图中各种元件的图形符号及文字符号标注，都按国家规定标准标出。

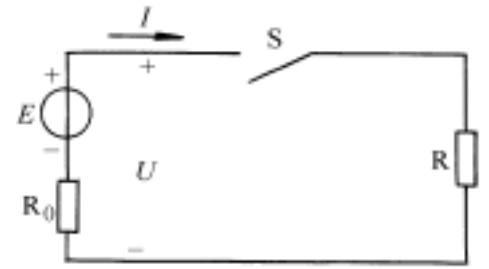


图 1—2 纯阻性电路模型

二、电流电压的参考方向

在图 1—2 中， E 是电源的电动势， R_0 是电源的内阻， R 是负载电阻， U 是电源的端电压，当开关 S 合上时，则有电流 I ，图中标出了 I 、 U 、 E 的实际方向或极性。 I 的实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向，在电源内部是从低电位端（负极）流向高电位端（正极），在外电路则是由高电位流向低电位。电流一般用箭头标出，箭头方向即电流方向，也可用双下标标出，例如 I_{ab} 表示从电路中的 a 点流向 b 点。电动势用极性标出，正极用“+”，负极用“-”，也可用箭头标出，从负极指向正极。电压可以有三种表示方法：用“+”和“-”极性标出，“+”表示高电位端，“-”表示低电位端；用箭头标出，从高电位端指向低电位端；用双下标标出，表示两点间的电压，例如 U_{ab} 表示 a 、 b 两点间的电压。在分析电路图时，必须先标出它们的方向，才能正确列出电路的方程。

但是，在分析较复杂的直流电路时，往往事先难以确定电流实际方向，对交流而言，其方向随时而变，电路图上也无法标出它们的实际方向。为此，我们在分析和计算电路时，可以预先任意选定某一方向作为电流的参考方向，或称正方向。列方程时按电流正方向来列，计算结果为正表示正方向与实际方向一致，为负则表示相反。正方向原则上是任意假定的，但如果能够确定实际方向，则参考方向应尽量与实际方向选为一致。

电压的正方向或极性，原则上也可任意假设，但通常将电流和电压的正方向取为一致，即电流从电压的“+”极性端流进，“-”极性端流出。

本书电路图上标出的电流、电动势和电压的方向，都是指正方向。

电流的单位是安培（A），计量微小电流时用毫安（mA）或微安（ μA ）。 $1\text{ A} = 10^3\text{ mA}$ ， $1\text{ mA} = 10^3\text{ }\mu\text{A}$ 。计量大电流可以用千安（kA）。

电压和电动势的单位都是伏特（V），计量高电压可以用千伏（kV）， $1\text{ kV} = 10^3\text{ V}$ ，计量较小电压可以用毫伏（mV）或微伏（ μV ）。

三、电路的三种状态

电路有通路、开路、短路三种不同的状态。

1. 通路

通路就是电路构成闭合回路。在图 1—2 中，合上开关 S ，就将电源与负载接通，构成了通路，此时回路中电流为

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

考虑到 $U = IR$ 式 (1—1) 可写成

$$U = E - IR_0 \quad (1-2)$$

上式两边同乘以 I ，得功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2 \quad (1-3)$$

$$P = P_E - P \quad (1-4)$$

式中 $P = UI$ 是负载取用的功率，也是电源输出的功率， $P_E = EI$ 是电源产生的功率， $P = R_0 I^2$ 是电源内阻上消耗的功率。功率的单位是瓦特 (W) 或千瓦 (kW)。

可见，要想电源输出大的功率，就必须有大的电流和高的电压，而实际上任何一个电源的电流和电压都有一定的限制，而作为负载的任何电气设备对其所施加的电流或电压也有一个限制，即对负载的功率有一个限制，这个限制就是额定电流、额定电压和额定功率，分别用 I_N 、 U_N 、 P_N 表示。额定负载就是指对负载施加额定电流或电压，电路允许在额定负载下长期工作。额定负载也叫满载。各种电气设备铭牌上标出的数值都是额定值。负载电流小于额定电流称为轻载或欠载，轻载可以长期工作，但很不经济。负载电流大于额定电流称为过载，在一定条件下短时过载是允许的，长期过载是绝对不允许的。

2. 开路

开路就是电路未构成闭合回路。可以有两种情况：一是对电源开路，如图 1—2 中 S 未合上，此时电路中电流为零，电源的端电压 U 就等于电源的电动势，电路不消耗功率；二是局部电路被断开。电源开路又称电源空载，空载时的端电压也叫开路电压，常用 U_{oc} 表示。在图 1—2 中， $U_{oc} = E$ 。开路可以因维修需要而人为地将部分或全部电路与电源断开，例如在图 1—2 中将 S 打开，也可以是故障造成部分或全部电路与电源断开，例如电流过大造成熔断器熔断。故障造成的则要尽快排除故障，将断路处复原。

3. 短路

短路分为电源短路和局部短路。电源短路是指电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路，如图 1—3a 所示。图中折线处为短路点。电源短路时短路点电阻等于零，闭合电路中只有很小的电源内阻 R_0 ，此时电流很大，称为短路电流 I_s ，在数值上等于电动势 E 除以 R_0 ，电源短路是一种严重故障，需尽力避免。电路局部短路多数也是故障，但有时也有实际需要而人为短路的，例如在监测电动机工作电流的电流表两端并联一个动合触点，起动时短路电流表，以防冲击电流损坏电流表，如图 1—3b 所示。

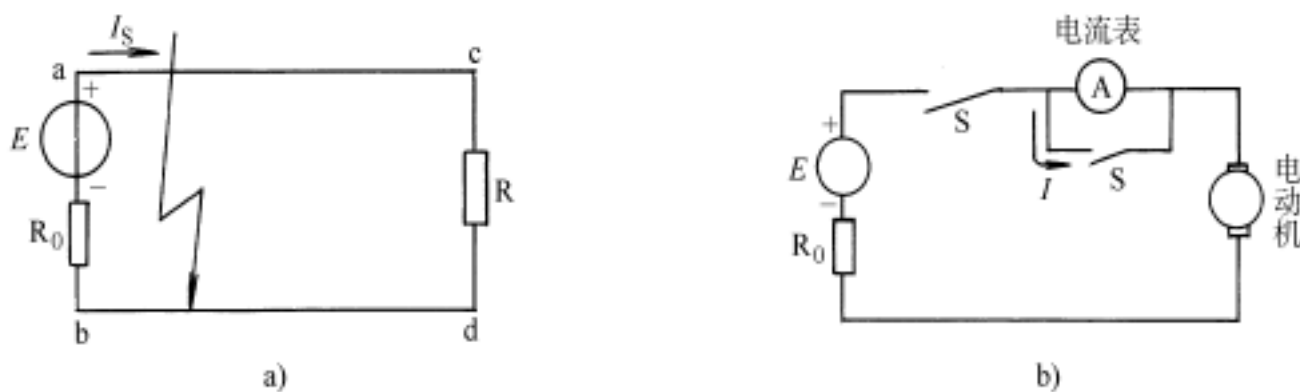


图 1—3 电源短路及局部短路示意图

例 1—1 一个额定值为 4 W 的 100 Ω 线绕电阻在使用时，电流和电压值不得超过多少？
解：根据功率和电阻值求出额定电流。

$$I_N = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4}{100}} = 0.2 \text{ A}$$

在使用时电压不得超过

$$U_N = I_N R = 0.2 \times 100 = 20 \text{ V}$$

例 1—2 已知某电源开路电压 $U_0 = 24 \text{ V}$ ，短路电流 $I_s = 50 \text{ A}$ ，求该电源的电动势 E 和内阻 R_0 。

解：电源的电动势

$$E = U_0 = 24 \text{ V}$$

电源的内阻

$$R_0 = \frac{E}{I_s} = \frac{U_0}{I_s} = \frac{24}{50} = 0.48$$

四、电路的二种约束

电路是由各种元器件连接成一定的结构形式，因此，它必须受到元件的伏安特性及电路结构的支配，前者称为元件的 VAR 约束，后者称为拓扑约束。电路各处电流、电压无不受此两类约束所支配。

1. 电阻元件、电感元件和电容元件的 VAR 约束

电阻元件用 R 表示，单位是欧姆 () 或千欧 (k)，它的伏安特性就是欧姆定律

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-5)$$

对于直流电路

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

电感元件的参数一般用自感系数 L 表示，单位是亨 (H) 或毫亨 (mH)。电感元件的 VAR 是

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-7)$$

即电感两端的电压与流过电感的电流的变化率成正比。在直流稳态电路中由于电流不随时间变化，因此，电感两端的电压为 0，即在直流稳态电路中电感相当于短路。

电容元件的参数用 C 表示，单位是法拉 (F) 或微法 (μF) 或皮法 (pF)。电容元件的 VAR 是

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \quad (1-8)$$

即流过电容的电流与电容两端电压的变化率成正比。在直流稳态电路中，由于电容器端电压不随时间变化，因此，流过电容的电流为 0，即在直流稳态电路中电容相当于开路。

电阻、电感和电容元件的图形符号如图 1—4 所示。

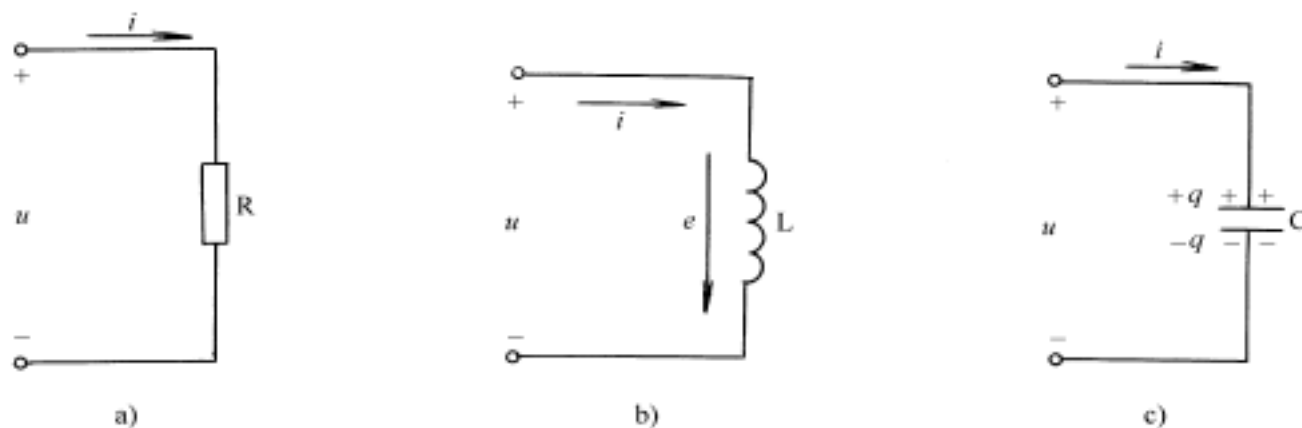


图 1—4 电阻、电感、电容符号

2. 电路的拓朴约束

电路元件的参数确定之后，电路中各支路电流和各部分电压就由电路联结方式所确定，这就是拓朴约束。电路的结构形式确定之后，它必然受基尔霍夫两个定律所支配。基尔霍夫定律对电路结构的支配作用就是拓朴约束。

在讲基尔霍夫定律前先介绍几个名词。

电路中的每一条无分支电路称为支路，一个支路中有一个电流，称为支路电流。在图 1—5 中共有三条支路。

电路中三条或三条以上支路的汇交点称为结点，在图 1—5 中共有 2 个结点 (a 和 b)。

电路中的每一个闭合路径称为回路，在图 1—5 中共有三个回路 ($E_1 R_1 R_2 E_2 E_1$, $E_1 R_1 R_3 E_1$, $E_2 R_2 R_3 E_2$)。

基尔霍夫电流定律 (KCL): 由于电流的连续性，在任一瞬时流入某一结点的电流之和等于由该结点流出的电流之和。

在图 1—5 中，对结点 a 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$I = 0 \quad (1-9)$$

KCL 亦可叙述为：在任一瞬时，一个结点上的电流的代数和恒等于零。如果规定流入结点的电流取正号，则从结点流出的电流取负号，反之亦然。

KCL 通常应用于结点，也可推广应用到包围部分电路的任一假设闭合面 (广义结点)。在图 1—6 中，对于虚线所示闭合面有

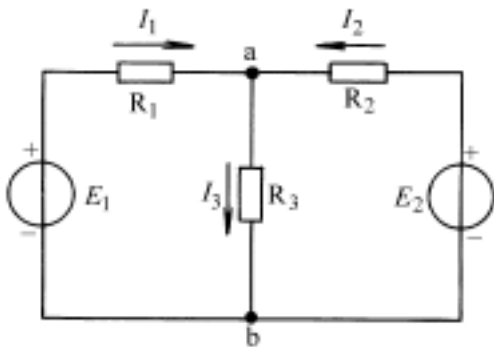


图 1—5 电路举例

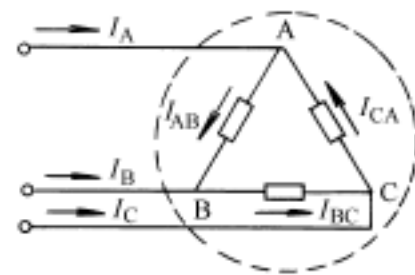


图 1—6 KCL 的推广应用

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

这是很容易证明的：对于结点 A、B、C 有

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上三式相加得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

基尔霍夫电压定律 (KVL): 从回路中任意一点出发沿回路循行一周 (顺或逆时针方向均可)，在回路循行方向上，回路电动势的代数和等于电阻上电压降的代数和。电动势或电流的参考方向与回路循行方向一致者取正号，相反者取负号。在图 1—7 中，设回路循行方向为顺时针方向，则有

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

写成一般形式有

$$E = IR \quad (1-10)$$

如果用电压表示，如图中所示，则有

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

写成一般表达式有

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

即在任一瞬时，沿任一回路循行一周，则在该回路循行方向上电压降的代数和恒为零。一般规定沿循行方向电位降为正，电位升为负。

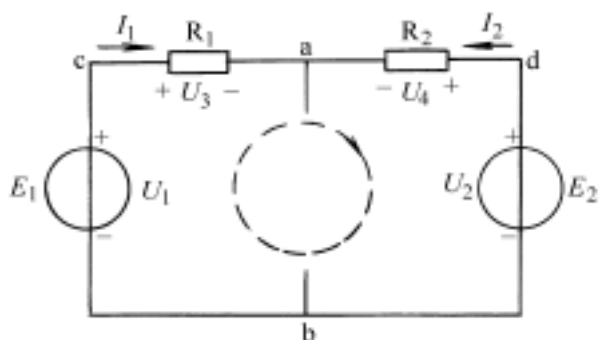


图 1—7 回路

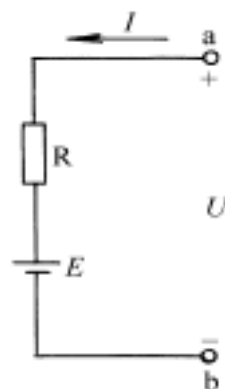


图 1—8 KVL 推广应用

KVL 亦可用于开口网络假想闭合回路，例如在图 1—8 中，设回路循行方向为逆时针方向，则有

$$U = IR + E - U = 0$$

或写成

$$U = IR + E$$

需要强调指出，无论是应用欧姆定律还是应用基尔霍夫定律，列方程时必须先假定电流、电压或电动势的参考方向，在应用 KVL 时还必须设定回路循行方向，否则列出的方程是无意义的。

五、电路中的电位计算

电位在分析电子电路中是一个非常重要的概念。由前述已知，两点间的电压就是两点的电位差，但它只能说明两点电位相对高低及其差值，而不能说明两点电位的具体大小。从图 1—9a 中，我们极易算出

$$U_{ab} = 6 \times 10 = 60 \text{ V}$$

$$U_{cb} = 140 \text{ V}$$

$$U_{ca} = 4 \times 20 = 80 \text{ V}$$

$$U_{db} = 90 \text{ V}$$

$$U_{da} = 6 \times 5 = 30 \text{ V}$$

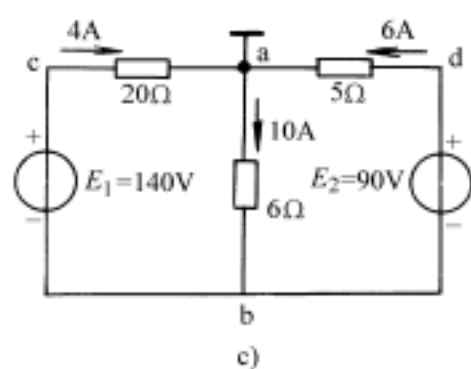
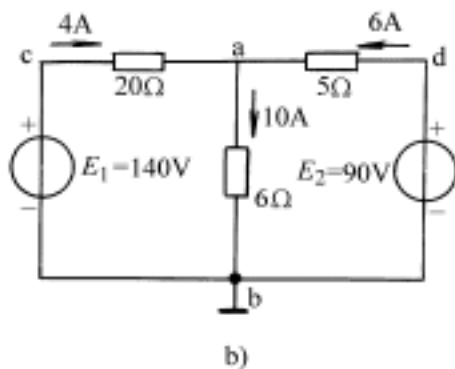
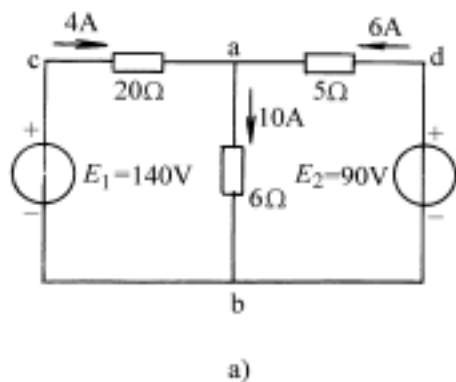


图 1—9 电位举例的电路图

但不能算出某点的具体电位值。为了计算电位，必须先选定电路中某一点作为参考点，则该点的电位设定为零，而各点电位均与它比较，比它高的为正，比它低的为负。参考点在电路图中标以“接地”符号（ \perp ），此处的“接地”并非与大地直接相接，一般是指若干条支路的公共接点。

在图 1—9b 中，设 b 点为参考点，即 $V_b = 0$ 则可算出各点电位为：

$$V_a = U_{ab} = +60 \text{ V} \qquad V_c = U_{cb} = +140 \text{ V}$$

$$V_d = U_{db} = +90 \text{ V}$$

在图 1—9c 中，设 a 点为参考点， $V_a = 0$ ，故

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60 \text{ V}$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80 \text{ V}$$

$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30 \text{ V}$$

在计算电位时还可通过不同的路径，例如在图 1—9b 中计算 V_a 可以通过路径 acb：

$$V_a = U_{ac} + U_{cb} = -4 \times 20 + 140 = 60 \text{ V}$$

与走路径 ab 算出的结果是一样的。

由以上分析计算可得出如下结论：

- (1) 电路中某点的电位等于该点与参考点间的电压。
- (2) 电位与参考点的选择有关，而与所走路径无关，参考点选择不同，各点电位就不同。
- (3) 两点间的电压与参考点选择无关。

图 1—9b 的电路，习惯上不画出电源，各端标以电位值，如图 1—10 所示。

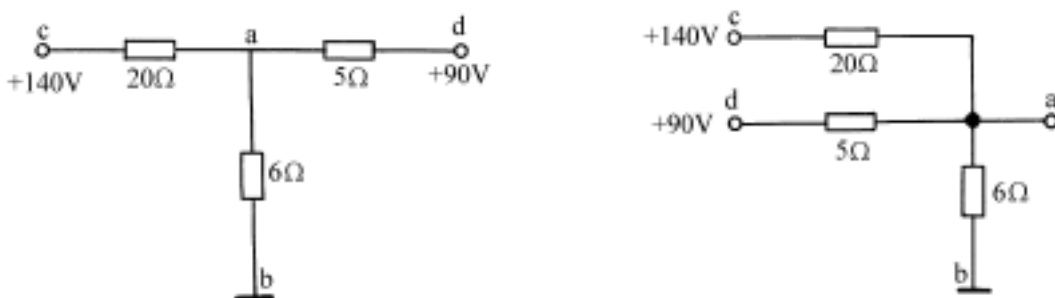


图 1—10 图 1—9 的习惯画法

§ 1.2 电路的基本分析方法

电路的分析方法很多，本节只介绍几种基本分析方法，它们有些就是线性电路的基本性质，希望读者特别留意。

一、两种电源模型及其等效互换

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示，用电压形式来表示的叫电压源，用电流形式来表示的叫电流源。

1. 电压源

电压源的模型见图 1—11a，图中 U 是电源端电压， E 是电动势， R_0 是内阻， R_L 是负载电阻， I 是负载电流。由图可得出

$$U = E - IR_0 \qquad (1-12)$$

据此可作出它的外特性曲线如图 1—11b 所示。电压源开路时 $I = 0$ ， $U = U_0 = E$ 称为

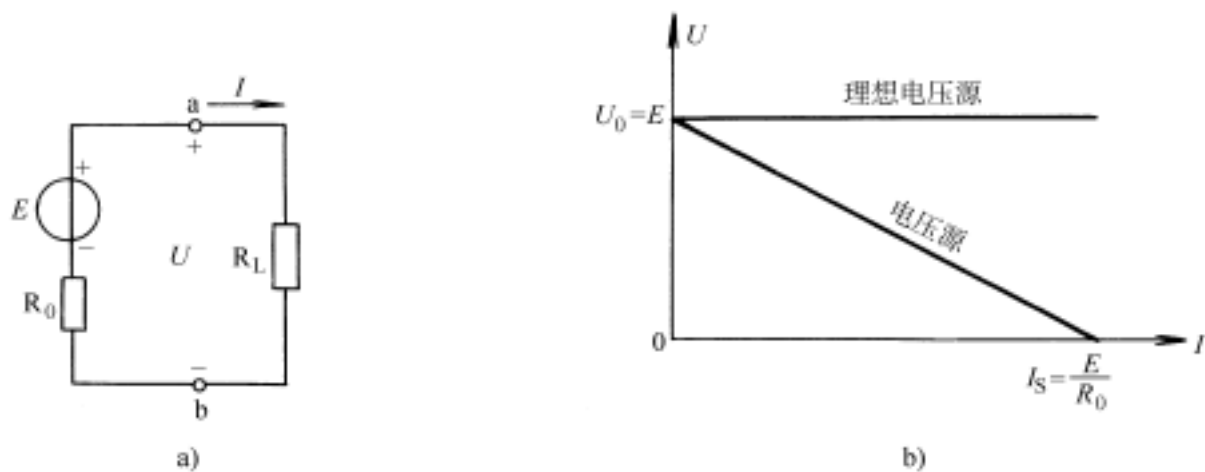


图 1—11 电压源及其外特性

开路电压，电压源短路时 $U = 0$ ， $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ 称为短路电流。由特性曲线图可知： R_0 越小，直线越平。

当 $R_0 = 0$ 时， U 恒等于 E ，称为理想电压源或叫恒压源。理想电压源的电流 I 是任意的，由负载电阻 R_L 和端电压 U 确定。理想电压源可以串联，串联后可以用一个等效理想电压源代替，其值是各理想电压源电动势的代数和，与等效理想电压源极性相同的取正，相反的取负。不等值的理想电压源不能并联。理想电压源不能短路。

理想电压源实际上是不存在的。但如果一个电压源的内阻远小于负载电阻，即 $R_0 \ll R_L$ ，则 $U \approx E$ 基本恒定，可视为理想电压源，通常使用的稳压电源，可视为理想电压源。

2. 电流源

电流源的模型见图 1—12a，由图可得

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I \quad (1-13)$$

可作出其外特性曲线如图 1—12b 中斜直线所示。当 a、b 端开路时 $I = 0$ ， $U = I_s R_0 = U_0$ ；短路时， $U = 0$ ， $I = I_s$ ，显然内阻越大则直线越陡。

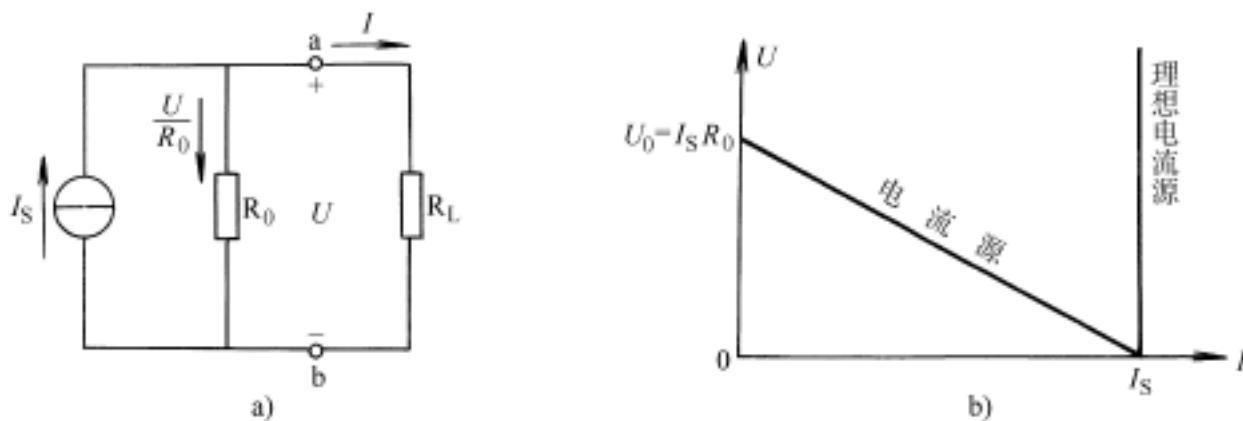


图 1—12 电流源及其外特性

当 $R_0 = \infty$ 时，（即相当于并联支路 R_0 断开），电流 I 恒等于 I_s 为一定值，这样的电源称之为理想电流源或叫恒流源。而端电压 U 则是任意的，由负载电阻 R_L 和电流值 I_s 本身确定。理想电流源可以并联，并联后可用一个等效理想电流源代替，等效电源的电流值为各并联电流值的代数和，与等效电流源方向一致的取正，相反的取负。不等值的理想电流源不能串联。理想电流源不能开路。

3. 电压源与电流源的等效变换

既然一个电源可以用两种模型表示，那么如果两种电源模型对负载能提供相同的电流和电压，则这两种电源对外电路是等效的，即二者可作等效变换。

比较两种电源模型的外特性及式 (1—12) 和 (1—13) 可知，等效的条件是 $E = I_s R_0$ 或 $I_s = \frac{E}{R_0}$ ，内阻 R_0 不变。如图 1—13 所示。

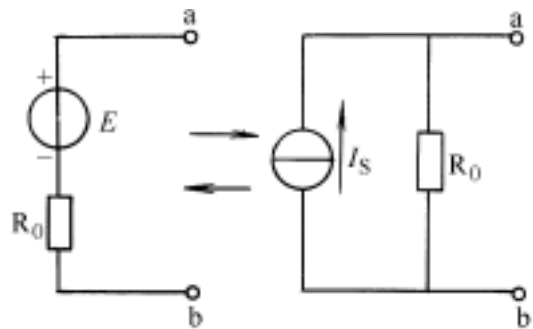


图 1—13 电源等效变换

虽然上面分析是以实际电压源和实际电流源模型进行的，但在分析实际等效问题时 R_0 不限于是内阻，只要是理想电压源串联一个电阻都可以将其等效为一个理想电流源与一个电阻并联的电路。用等效变换法可以分析求解电路。

需要说明的是，等效只是对外电路而言，对电源内部是不等效的。例如当电压源和电流源开路时，电压源不消耗功率而电流源消耗功率 ($P = I_s^2 R_0$)；当电压源和电流源短路时则是电压源消耗功率 ($P = \frac{E^2}{R_0}$)，而电流源不消耗功率，理想电压源与理想电流源之间不能互相变换，因为不存在互换的条件。

例 1—3 用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1—14a 电路中 1 电阻上的电流。

解：根据图 1—14b~f 的变换顺序，化简为图 f 电路，由分流公式可得

$$I = \frac{2}{2+1} \times 3 = 2 \text{ A}$$

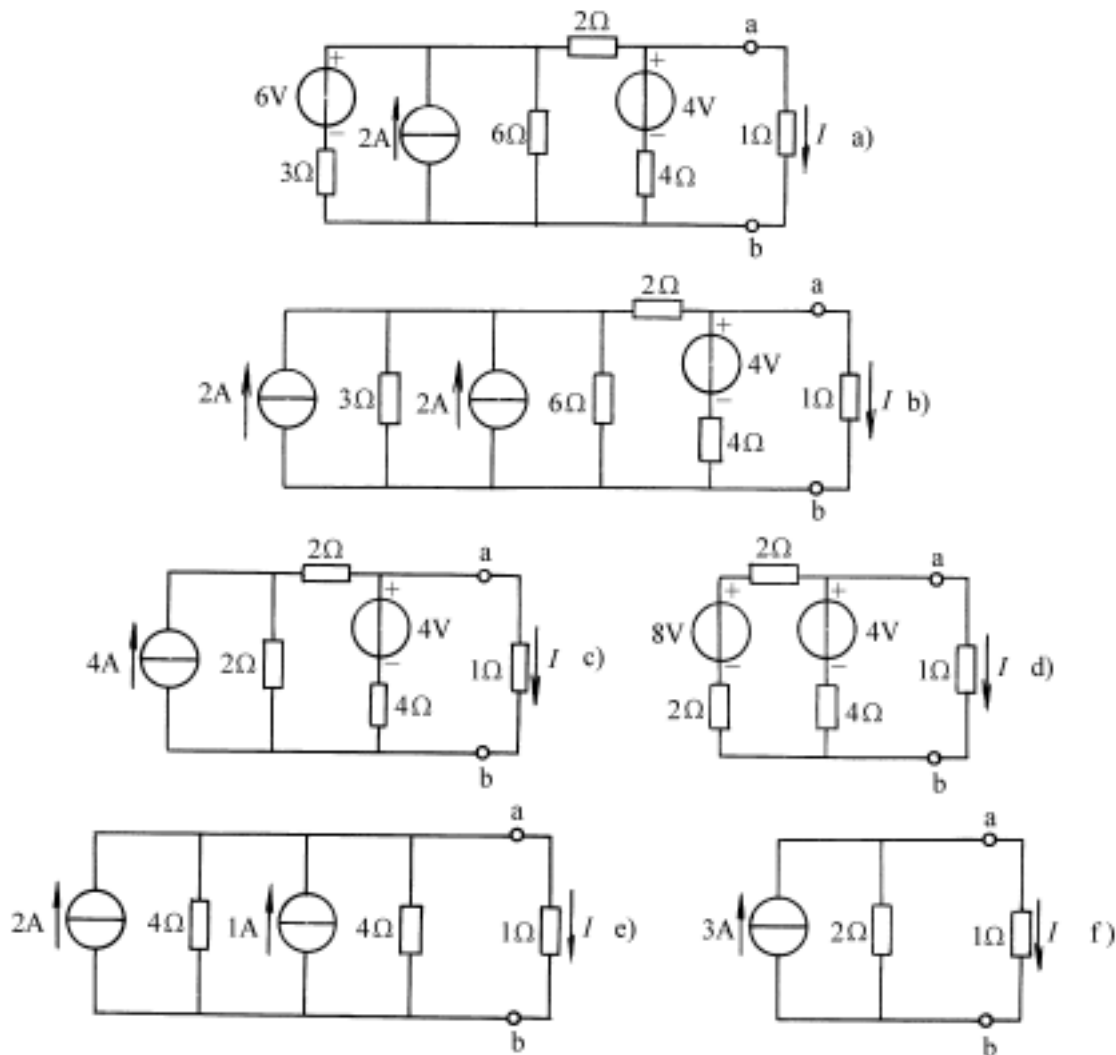


图 1—14 例 1—3 电路

例 1—4 电路如图 1—15a 所示，已知 $U_s = 20 \text{ V}$ ， $I_s = 2 \text{ A}$ ， $R_1 = 2 \Omega$ ， $R_2 = 4 \Omega$ ， R_3

$=5$, $R=2$ 。(1) 求电阻 R 中的电流 I ; (2) 计算理想电压源 U_S 中的电流 I_{U_S} 和理想电流源的端电压 U_{I_S} 。

解: (1) 将与 U_S 并联的电阻 R_3 除去 (断开) 并不影响 U_S 的端电压; 将与 I_S 串联的 R_2 除去 (短接) 并不影响该支路的电流 I_S 。简化后可得出图 1—15b, 再将 (U_S, R_1) 作电源等效变换得图 1—15c, 由此得

$$I_S = \frac{U_S}{R_1} = \frac{20}{2} = 10 \text{ A}$$

$$I = \frac{I_S + I_S}{R_1 + R} R_1 = \frac{10 + 2}{2 + 2} \times 2 = 6 \text{ A}$$

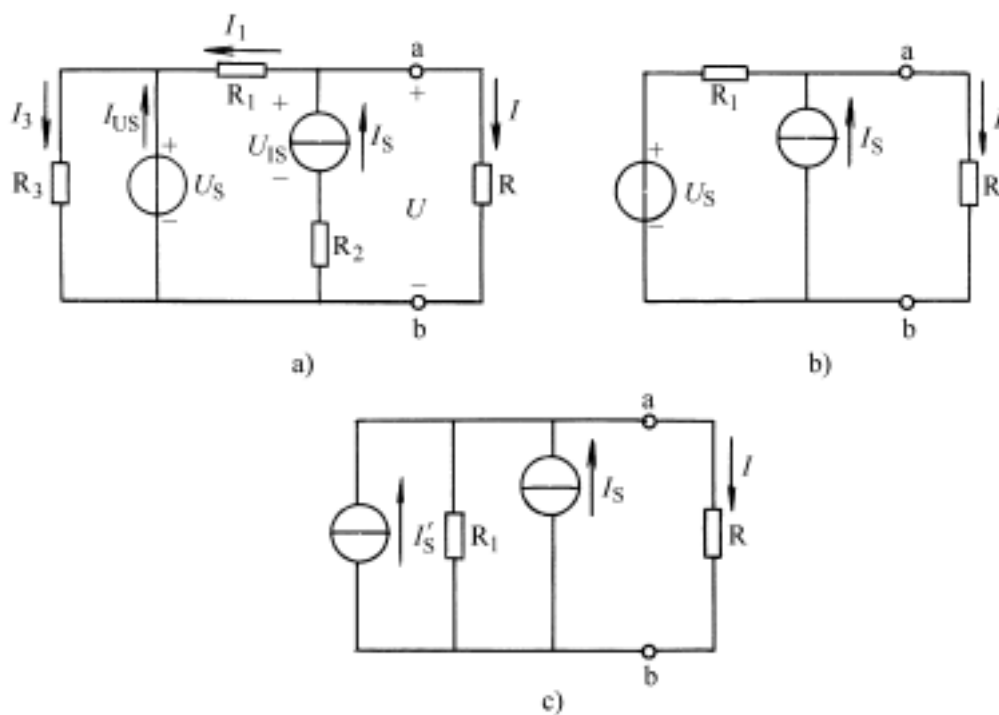


图 1—15 例 1—4 的电路

(2) 因为 R_3 对 I_{U_S} 有影响, R_2 对 U_{I_S} 有影响, 所以, 在求 I_{U_S} 和 U_{I_S} 时不能去掉 R_2 和 R_3 , 要用图 1—15a 进行计算。

$$I_3 = \frac{U_S}{R_3} = \frac{20}{5} = 4 \text{ A}$$

$$I_1 = I_S - I = 2 - 6 = -4 \text{ A}$$

$$I_{U_S} = I_3 - I_1 = 4 - (-4) = 8 \text{ A}$$

$$U_{I_S} = IR + I_S R_2 = 6 \times 2 + 2 \times 4 = 20 \text{ V}$$

二、支路电流法

支路电流法是求解复杂电路 (不能用电阻串并联等效化简的电路) 的最基本的方法。它是直接应用基尔霍夫定律列出所需方程组, 来求解各支路电流的。

用支路法解题的步骤是:

(1) 在电路图上画出各未知支路电流、电压和电动势的参考方向, 说明回路的循行方向。

(2) 对于有 m 条待求支路电流, n 个结点的电路, 先由 KCL 列出 $(n - 1)$ 个独立的结点方程; 再由 KVL 列出 $m - (n - 1)$ 个独立的电压方程, 通常可选单孔回路 (或称网孔)。