



国家职业资格培训教程

家用电器产品维修工 基础知识

劳动和社会保障部
中国就业培训技术指导中心 组织编写审定

军事科学出版社

国家职业资格培训教程

家用电器产品维修工

基础知识

劳动和社会保障部
中国就业培训技术指导中心 组织编写审定

军事科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

家用电器产品维修工/国家职业资格培训教程/赵永良

主编. —北京:军事科学出版社,2004.9

ISBN 7-80137-784-2

I. 家… II. 赵… III. 日用电气器具-维修-技术培训-教材 IV. TM925.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 100420 号

军事科学出版社出版发行
(北京市海淀区青龙桥/邮编:100091)
电话:(010)62882626

经销:全国新华书店

印刷:北京鑫海达印刷厂

开本:787×1092毫米 1/16
印张:6.75
字数:143千字

版次:2004年9月北京第1版
印次:2004年9月第1次印刷
印数:1-3300册

书号:ISBN 7-80137-784-2/TM·001

全套(五册)定价:56.00元

《家用电器产品维修工国家职业资格培训教程》

编写委员会

主 编：赵永良

副主编：杨立平

委 员：(以姓氏笔画为序)

马红麟 史小来 刘增辉 李援瑛

杨西明 张树辉 陈小荣 黄 蓉

曾文月

审定委员会

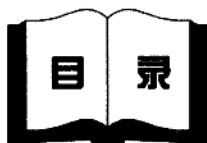
主 任：陈 宇

副主任：陈 蕾 张 斌 曲克敏

委 员：(以姓氏笔画为序)

历玉鸣 刘贵庆 陈福祥 梁怀璧

梁 晨



第一章 电工、电子基础知识	(1)
第一节 电路的基本概念	(1)
第二节 直流电路基本定律与简单运算	(6)
第三节 电路的基本分析方法	(12)
第四节 正弦交流电路及简单运算	(14)
第五节 电子技术基础	(26)
第二章 电机学基础	(42)
第一节 变压器	(42)
第二节 三相感应电动机	(52)
第三节 单相异步电动机	(60)
第四节 微型同步电机	(64)
第三章 电气安全操作基本知识	(68)
第四章 热力学基础	(76)
第一节 热力学基本知识	(76)
第二节 热力学基本定律	(84)
第三节 传热学基本知识	(84)
第四节 焓和熵	(86)
第五章 机械技术基础	(88)
第一节 公差与配合	(88)
第二节 零件装配工艺	(93)
第三节 机械传动原理	(95)
后 记	(99)

第一章 电工、电子基础知识

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路,也称电网络,是为某种需要由电工、电子设备或元器件按一定方式组合起来的总体,它提供了电流流通的路径。按照电流性质的不同,可分为直流电路、交流电路,如图 1-1 (a) 为直流干电池手电筒电路,如图 1-1 (b) 为交流家用日光灯照明电路;按照电路功能不同,可分为电力电路、信号电路,如图 1-1 (c) 电力系统供电电路,如图 1-1 (d) 为扩音机电路。

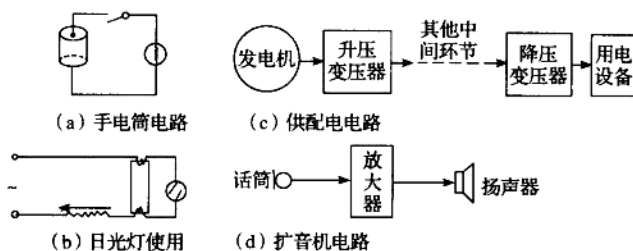


图 1-1 电 路

构成电路的元器件很多,结构各不相同,但电路基本组成是电源、负载和中间环节。对电源来讲,负载和中间环节称为外电路,电源内部的电路称为内电路。

电源在电路中提供电能,如干电池、蓄电池、光电池、发电机、信号源等;负载指电路中各种用电设备,它将电源提供的电能转换成其他形式的能以满足生产、生活的需要,如日光灯、电动机、电炉、扬声器、各种家用电器等;中间环节把电源与负载连接起来,是电路的辅助设备,如导线、开关、变压器、放大器等。

二、电路元件和电路模型

电路中的电源、负载等器件称为电路元件。由理想电路元件组成的电路称为电路模型,用规定的图形符号代表理想电路元件连接成的图形称为电路图,简称电路。

(一) 理想电源元件

1. 理想电压源模型

无论负载如何变化,输出端电压始终能保持恒定的电源,称为理想电压源,也称为恒压源。理想电压源的模型如图 1-2 (a) 所示,输出端电压与电流的关系曲线(即伏-安特性曲线)如图 1-2 (b) 所示。

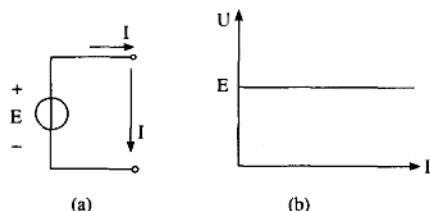


图 1-2 理想电压源的模型与伏-安特性曲线图

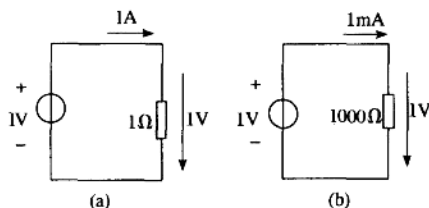


图 1-3 理想电压源电路

2. 理想电流源模型

无论负载如何变化, 输出电流始终能保持恒定的电源, 称为理想电流源, 也称为恒流源。理想电流源的模型如图 1-4 (a) 所示, 输出端电压与电流的关系曲线 (即伏-安特性曲线) 如图 1-4 (b) 所示。

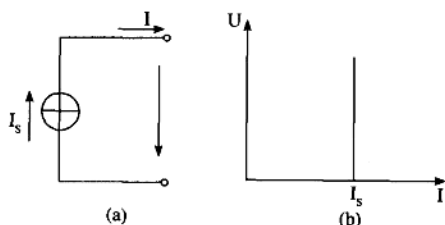


图 1-4 理想电流源的模型与伏-安特性曲线

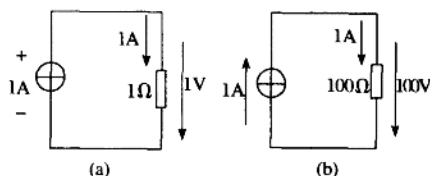


图 1-5 理想电流源电路

实际上, 理想电源并不存在, 但若实际电源内部能量损耗很小时, 可近似认为是理想电源, 如稳压源可认为是理想电压源, 光电池可认为是理想电流源。

(二) 理想负载元件 (无源元件)

1. 理想电阻元件模型

电路中消耗电能的负载, 如白炽灯、电烙铁、电熨斗、电炉等, 可用一个参数为 R 的电阻器件表示, 称为理想电阻元件, 其模型如图 1-6 (a) 所示。

电阻两端的电压与其流过的电流的关系为:

$$u = iR$$

可用曲线表示, 称为电阻的伏-安特性曲线, 如图 1-6 (b) 所示。图 1-6 (b) 中曲线 a 为直线的是线性电阻, R 是常数; 曲线 b 不是直线的是非线性电阻, R 不是常数。实际上, 所有电阻器的伏-安特性多少都存在非线性关系, 但在一定工作范围内, 可近似认为是一条直线, 如金属膜电阻器、线绕电阻器等可认为是线性电阻。

在国际单位制 (SI) 中, 电阻的单位为欧姆, 简称欧, 用符号 Ω 表示。常用单位还有 $k\Omega$ ($10^3\Omega$)、 $M\Omega$ ($10^6\Omega$) 等。

2. 理想电感元件模型

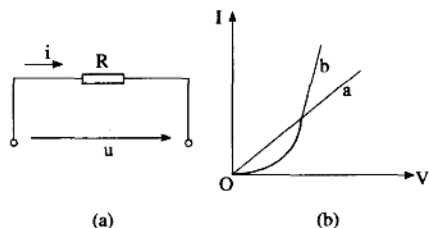


图 1-6 理想电阻元件的模型
与伏-安特性曲线

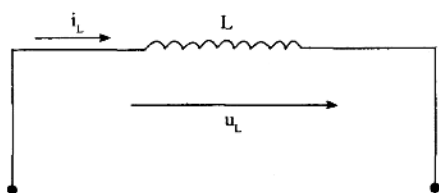


图 1-7 理想电感元件的模型

电路中将电能转换为磁场能存储在线圈内的负载，如继电器线圈、镇流器线圈、变压器绕组、扼流圈等，当线圈的耗能很小时，可用一个电感元件 L 表示，称为理想电感元件，如图 1-7 所示。

电感元件通入电流 i 后，在 N 匝线圈中产生磁通链 Ψ ，磁通链与电流之比称为线圈的电感，用 L 表示。 $L = \Psi/i$ ， L 为常数的是线性电感，如空心线圈的 L ； L 不为常数的是非线性电感，如铁磁线圈的 L 。

根据法拉第电磁感应定律、楞次定律以及电感元件产生的感应电动势与其两端电压之间的关系，可得到电感元件的电压与电流的瞬时关系为：

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

SI 制中，电感的单位为亨利，简称亨，用符号 H 表示。常用的还有 mH ($10^{-3}H$) 等。

3. 理想电容元件模型

电路中的电容器，工作时存储电场能。如果其引线电感和漏电阻可以忽略，可用一个参数为 C 的电容元件表示，称为理想电容元件，如图 1-8 所示。

电容元件两端加电压 u 后，两个电极上将分别出现数量相等而符号相反的电荷，这种现象称为电容器的充电，每个电极上的电荷 q 与加在电容器两端的电压 u 之

比称为电容 C 。 $C = q/u$ ， C 为常数的称为线性电容， C 不为常数的，称为非线性电容。电容元件的电压与电流的关系为

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

SI 制中，电容的单位为法拉，简称法，用符号 F 表示。常用的还有 μF ($10^{-6}F$)、 pF ($10^{-12}F$) 等。

实际电路中的各种元器件，都可以用上述五种理想元件描述其主要电特性，从而用数学方法简化电路问题的分析和计算。当然，同一种实际元器件在不同的电路中可以有不同的模型。例如，一个线圈在工作频率较低时，可用理想电阻串联理想电感的组合模型描述，在工作频率较高时，线圈的绕线之间的电容效应必须考虑，电路模型中还应当有理想电容元件。本书并不讨论如何建立适当电路模型。

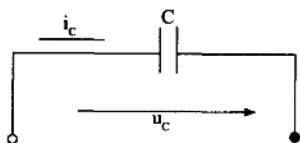


图 1-8 理想电容元件的模型

三、电路的基本参数

(一) 电流

在外电场作用下, 电荷有规则的定向运动形成电流。这些运动电荷可正可负或正负都有, 为统一起见, 规定正电荷移动的方向为电流的实际方向, 常用箭头表示, 如图 1-9 所示。

电流的强弱用电流强度 i 表示, 简称电流。设在极短时间 dt 内通过导体横截面 S 的微小电荷量为 dq , 则电流 $i = \frac{dq}{dt}$ 。

若电流不随时间变化, 即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数, 这种电流称为恒定的直流电流, 简称直流, 用 I 表示。

SI 制中, 电流的单位为安培, 简称安, 用符号 A 表示。常用的还有 mA ($10^{-3}A$)、 kA 等。

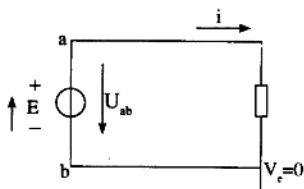


图 1-9 电流、电压、电位、电动势

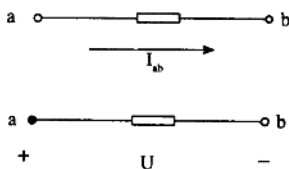


图 1-10 电压的方向

(二) 电压、电位、电动势

电场力把单位正电荷从 a 点经外电路移动到 b 点所做的功定义为 a 点到 b 点的电压, 用 U_{ab} 表示, 如图 1-9 所示。电压总是指两点之间, 所以用双下标 ab 表示, 下标的顺序代表电压的方向, 即 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。电压的方向也可用箭头或 $+$ 、 $-$ 极性表示, 如图 1-10 所示。

不随时间变化的电压称为恒定的直流电压, 用 U 表示。

电路中任意选择一点做参考点, 电场力把单位正电荷从某点移动到参考点所做的功定义为该点的电位, 用 V 表示。参考点在电路中用符号 “ \perp ” 表示, 如图 1-9 所示, 其电位值规定为零。

电位总是与参考点一块出现, 参考点选定后, 电位的值是惟一确定的; 参考点发生变化, 电位的值随之而变化。但是电路中两点之间的电压是确定的, 不随参考点的变化而变化。

电压与电位的关系为 $U_{ab} = V_a - V_b$, 故电压也称电位差, 电压的实际方向是从高电位点指向低电位点, 即电位降的方向。

电源力 (外力) 把单位正电荷从低电位 b 点经电源内部移动到高电位 a 点所做的功定义为电动势, 用 E 表示, 如图 1-9 所示。电动势的实际方向由低电位点指向高电位点, 即电位升的方向。

SI 制中, 电压、电位、电动势的单位都是伏特, 简称伏, 用 V 表示。常用的还有

kV、mV 等。

(三) 电流和电压的参考方向

电路中的电流 i 和电压 u 的实际方向往往是不知道的，在分析电路时，可以任意选择一个方向，作为电流、电压的参考方向。

注意：①引入参考方向后，电流、电压的值就有了正、负之分，若实际方向与参考方向相同就为正值，若相反则为负值；②参考方向可以任意选择，但一旦选定后，分析电路时就不应再动；③简单电路中当电流、电压的实际方向很容易判断时，习惯上把参考方向与实际方向选择一致，称为关联参考方向，如图 1-11 (a)、(b) 电路中电流 I 的参考方向可以有两种选择，习惯上取 (a)。

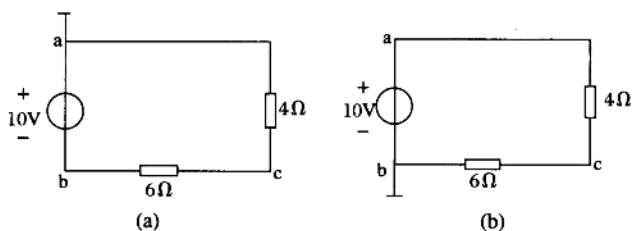


图 1-11 简单电路参考方向的选择

引入参考方向后，如不加说明，电路图上所标均为参考方向，而且电流与电压取关联参考方向。

(四) 电功率

如图 1-9 所示，把正电荷从 a 点经外电路移动到 b 点，是电场力做功的结果，这时电能转换成其他形式的能。传送转换电能的速率，称为电功率，简称功率，用 p 表示。SI 制中，其单位为瓦特 (W)，常用的还有 mW、kW 等。直流电功率用 P 表示。

电流与电压采用关联参考方向时，对任意一个二端元件，电功率等于其两端电压与通过其中的电流的乘积，即 $p = ui$ 。

如果电流、电压采用的是非关联参考方向，则 $p = -ui$ 。

若 $p > 0$ ，说明该二端元件为消耗或吸收电能的元件，是电阻元件，如图 1-12 (a) 所示；若 $p < 0$ ，说明该二端元件为提供或发出电能的元件，是电源元件，如图 1-12 (b) 所示。

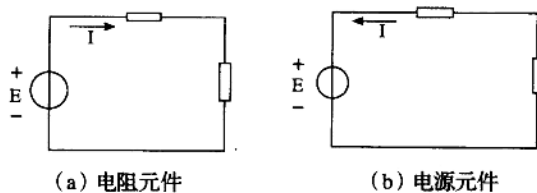


图 1-12 功率

一段时间内负载消耗的电功率就是电能。SI制中，电能的单位为焦耳，用J表示。实践中，常用单位为千瓦时，用kWh表示。1千瓦时俗称1度电。

$1\text{J} = 1\text{Ws}$, $1\text{kWh} = 3.6106\text{J}$ 。

四、电路的工作状态

电路一般有三种工作状态，即：通路、断路、短路状态。

(一) 通路

指电路处于接通状态，电路中有电流流过，负载可以向电源取用功率，也称为电路的有载状态。如图1-13(a)电路，开关S合上即为通路状态。

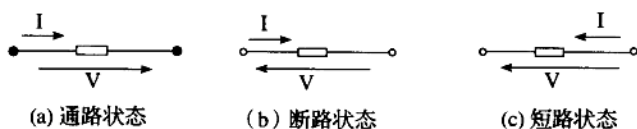


图1-13 电路的状态

(二) 断路

如图1-13(b)电路中，开关S打开，即为断路状态，也称为空载或开路状态。断路电路中 $I=0$ ，负载端电压 $U_L=0$ ；电源端电压为 U_{OC} ，称为开路电压或空载电压， $U_{OC}=E$ 。在开路状态下，负载端电压并不等于电源端电压。而在负载带电工作时，二者是相等的。

(三) 短路

如图1-13(c)电路，当负载两端被一阻值很小的导体连接在一起时，称两点处短路。

通常，短路是一种非正常工作状态，但有时短路也是出于工作需要。为区别于事故短路，工作短路又称“短接”或旁路。

第二节 直流电路基本定律与简单运算

一、欧姆定律、电阻串并联

(一) 欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

如图1-14(a)电路，电流与电压采用关联参考方向下，对线性电阻，欧姆定律可表示为：

$$U = IR \text{ 或 } I = \frac{U}{R}$$

2. 全电路欧姆定律

如图1-14(b)电路，欧姆定律可表示为：

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}, \quad U = IR_L = E - IR_0$$

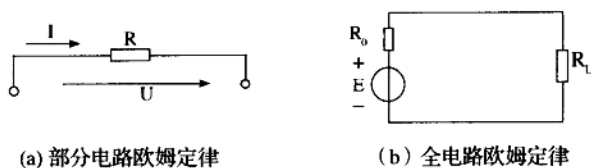


图 1-14 欧姆定律

(二) 电阻串并联

1. 串联

电路中，两个或两个以上的电阻按顺序依次相连，中间无分支，使电流只有一个通路的联接方式叫做串联，如图 1-15 (a) 所示。

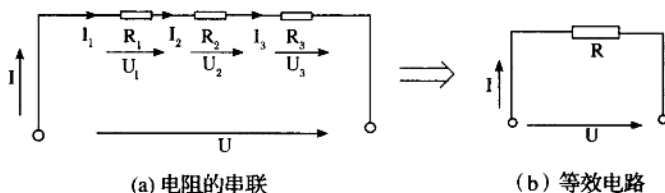


图 1-15 电阻的串联电路

电阻串联电路具有如下特点：

- ① 流过每个电阻的电流都相等， $I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I$ ；
- ② 电路两端总电压等于各电阻两端电压之和， $U = U_1 + U_2 + U_3$ （可用电位证明）；
- ③ 总电阻等于各电阻之和， $R = R_1 + R_2 + R_3$ ；
- ④ 各电阻上分配的电压与各阻值成正比，即： $U_1 = \frac{R_1}{R}U$ ， $U_2 = \frac{R_2}{R}U$ ，……。

电阻串联后阻值增大，可用于限制电路中的电流，作分压器等。

2. 并联

两个或两个以上电阻，两端分别联在一起，使每一电阻两端承受同一电压的作用，此种联接方式称为并联，如图 1-16 (a) 所示。

电阻并联电路具有如下特点：

- ① 各电阻两端电压相等， $U = U_1 = U_2 = U_3$ ；
- ② 电路总电流等于各电阻中电流之和， $I = I_1 + I_2 + I_3$ ；
- ③ 等效总电阻的倒数等于各电阻倒数之和， $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ ；
- ④ 各支路分配的电流与支路电阻值成反比，即： $I_1 = \frac{R}{R_1}I$ ， $I_2 = \frac{R}{R_2}I$ ，……。

实际中，常应用两电阻的并联电路，如图 1-16 (c) 所示，等效总电阻 $R =$

$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ，分流公式为：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

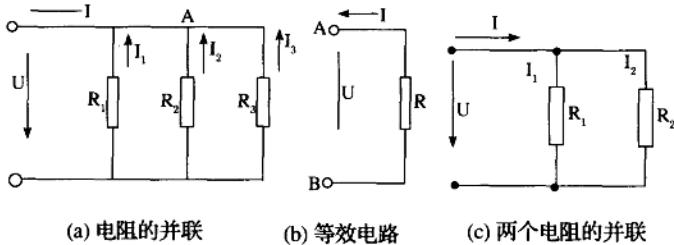


图 1-16 电阻的并联电路

应用欧姆定律并结合电阻串并联的特点，可以分析计算简单电路，但对于复杂电路，仅用欧姆定律就不够了。

二、基尔霍夫定律

此定律是德国物理学家 Kirchoff 在 1847 年发表的，又译克希荷夫定律，包括两条内容。

学习基尔霍夫定律前，先来学习几个概念。

(1) 支路。指电路中流过同一电流的分支。图 1-17 中有三条支路，含有电源的称为含源支路如 acb, adb；不含电源的称为无源支路如 ab。

(2) 节点。指电路中三条及三条以上的支路的连接点。图 1-17 中有两个节点 a、b。

(3) 回路。指电路中任一条闭合的路径。图 1-17 中有三个回路，acba, abda, acbda。

(4) 网孔。指内部不包含支路的回路。图 1-17 中有两个网孔，如 acba, abda；回路 acb-da 中包含 ab 支路，故不是网孔。

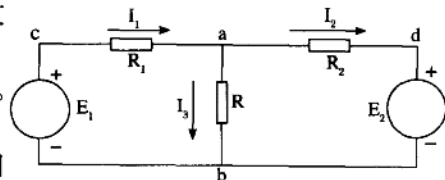


图 1-17 复杂电路

(一) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

也称节点电流定律或第一定律，用来确定接在同一节点的各支路电流间的关系，这种关系式也称 KCL 方程式，简称 KCL。

1. 具体内容

第一种描述：对电路任意节点，任意瞬间流入该节点的电流的代数和等于流出该节点的电流的代数和，即：

$$\sum I_i = \sum I_o$$

第二种描述：若流入节点的电流取正，流出节点的电流取负。KCL 也可描述为：对任意节点任意瞬间，流入节点的电流的代数和为零，即：

$$\sum I = 0$$

应用 KCL 定律，首先必须在电路图中标出支路电流的参考方向。

如图 2-4 电路，在图上分别标出各支路电流的方向，则对节点 a

用第一种描述有： $I_1 = I_2 + I_3$ ；

用第二种描述有： $I_1 - I_2 - I_3 = 0$ 。

可以看出，第二种描述可由第一种描述移项得到，二者实质相同，掌握一种即可。

应用 KCL 的第二种描述分析电路时，可能出现两种意义不同的“-”号，一为引入参考方向后电流本身的正负，另一为 KCL 中流出节点的电流取负，要区别之。

2. KCL 的推广应用

KCL 可推广应用于电路中的任一假设的封闭面广义节点，如图 1-18 所示。

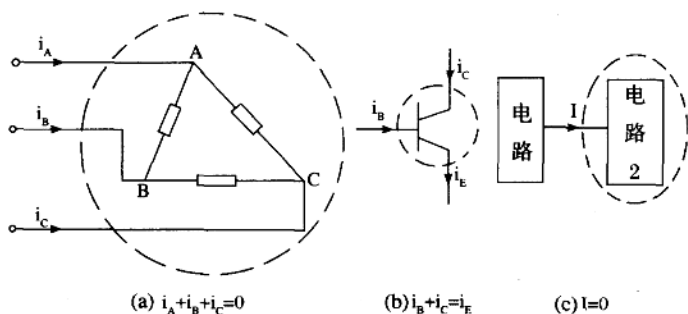


图 1-18 KCL 的推广应用

KCL 是电路中电荷守恒的体现，是电路中普遍适用的定律，不管对直流、交流，线性、非线性，稳态、暂态电路都是适用的。

(二) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

也称回路电压定律或第二定律，用来确定回路各元件电压间的关系，这种关系式也称 KVL 方程式，简称 KVL。

1. 具体内容

第一种描述：任一时刻，沿任一闭合回路绕行一周，各部分的电压降的代数和恒为零，即：

$$\sum U = 0$$

第二种描述：任一时刻，沿任一闭合路径绕行一周，电阻上的电压降的代数和等于电动势电位升的代数和，即：

$$\sum IR = \sum E$$

注意：此时电源元件的电动势的方向是电位升，与第一种电位降方向相反。二者实质相同，掌握一种即可。现重点学习第一种。

列写 KVL 方程式的步骤是：①任意选定回路绕行方向（顺或逆时针）；②标出电阻、电源各个元件的电压降方向（注意电阻与电压采用关联参考方向，电压降与其电流方向一致，图 1-19 上只标出了电流；电源标出的是极性，电压降方向从 + 到 -）；③回路绕行方向与各元件的电压降方向比较，一致取正，相反取负。

图 1-19 电路中有三个回路，回路绕行方向均选顺时针方向，可列出三个 KVL 方程。

$$\text{回路 acba: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$$

$$\text{回路 abda: } I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 = 0$$

$$\text{回路 acbda: } I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 - E_1 = 0$$

2. KVL 的推广应用

KVL 可推广应用到开口电路, 求开口电压:

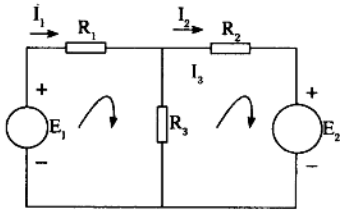


图 1-19 电路 KVL 的应用

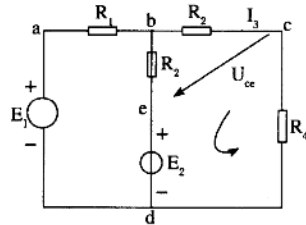


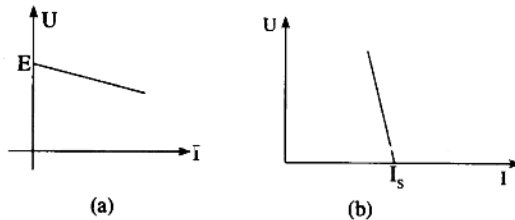
图 1-20 KVL 的推广应用

如图 1-20 电路, 求 c、e 之间的开口电压时, 可以假想 cdec 是个回路, 则可列出 KVL 方程式, $U_{ce} + E_2 - I_3 R_4 = 0$, 从而求出 U_{ce} 。

KVL 是能量守恒的体现, 是电路中普遍适用的定律, 不管对直流、交流, 线性、非线性, 稳态、暂态电路都是适用的。

三、电压源与电流源

实际应用的电源不可能输出无穷大功率, 它的输出电压与输出电流之间的关系称为电源的外特性, 如图 1-21 所示。



(a) 电压源的外特性 (b) 电流源的外特性

图 1-21 电源外特性

实际电源, 可有两种不同的电路模型表示, 分别是电压源、电流源模型。

1. 电压源模型: 用一个理想电压源 E 和一个电阻 R_0 串联的支路表示电源, 简称为电压源, 如图 1-22 (a) 所示。

2. 电流源模型: 用一个理想电流源 I_s 和一个电阻 R_s 并联的支路表示电源, 简称为电流源, 如图 1-22 (b) 所示。

3. 等效变换: 对于外部负载而言, 电压源和电流源若能提供相同的 $U-I$, 则对外电路作用的效果是相等的, 即电压源与电流源是等效的。等效变换的方法是:

$$E = I_S R_S, I_S = \frac{E}{R_0}, R_0 = R_S$$

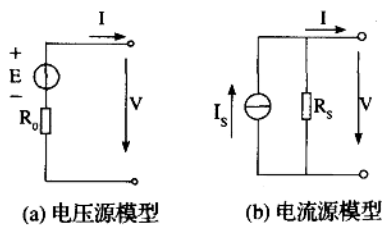


图 1-22 电源模型

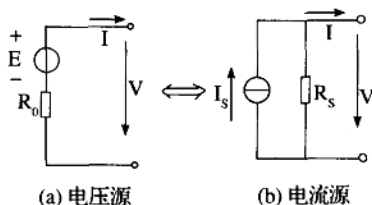


图 1-23 电压源与电流源的等效变换

注意：

①等效是对外部负载电路而言，对内电路不等效。如图 1-23 (a) 所示，当外电路开路 $I=0$ 时，内阻 R_0 不损耗电能；而对图 1-23 (b)，当外电路 $I=0$ 时，内阻 R_S 上仍有电流 I_S ，损耗电能。同理，当外电路短路 $U=0$ 时，电压源内部有损耗，而电流源无损耗。

②理想电压源、电流源不能等效互换，其外特性不同。

③变换时相性要一致。

④多个理想电压源的串联，可以合并等效为一个理想电压源；多个理想电流源的并联，也同样可以合并等效为一个理想电流源。合并时要注意极性。

四、戴维南定理

此定理由法国科学家 L.C.Thevenin 在 1883 年发表，又译为戴维宁定理。

任何具有两个出线端的部分电路，都称为二端网络。该部分电路形式任意、复杂程度任意，若内部含有电源，称为有源二端网络，如图 1-24 (a) 所示就是一有源二端网络，常用图 1-24 (b) 表示其一般形式。内部不含电源的，称为无源二端网络，用图 1-24 (c) 表示。

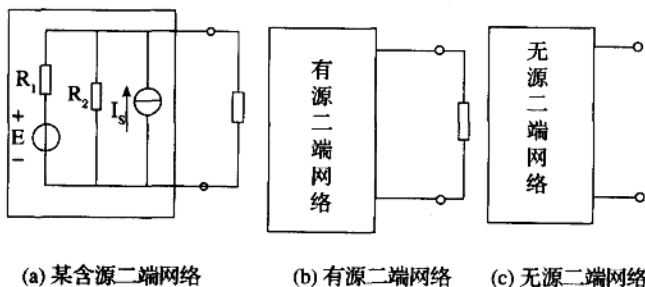


图 1-24 二端网络

(一) 戴维南定理的内容

任何一个线性有源二端网络，都可以用一个理想电压源 E 与内阻 R_0 相串联的电压

源支路来等效替代。该理想电压源的电动势 E 等于有源二端网络的开路电压 U_{OC} ，内阻 R_0 等于有源二端网络内部所有电源作用为零（即把电压源短路， $E=0$ ；电流源开路， $I_S=0$ ）时从二端口看去的等效电阻。

戴维南定理可以用图 1-25 表示。

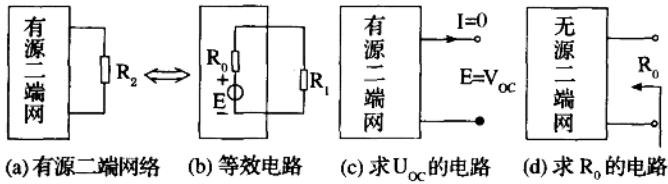


图 1-25 戴维南定理

(二) 戴维南定理分析电路的方法和步骤

1. 断开待求支路，把其余部分看成是一个有源二端网络，该二端网络可以等效为一条含源支路；

2. 求二端钮处开路电压 U_{OC} ；

3. 把二端网内部所有电源置零，即把电压源短路，电流源开路，则有源二端网络变成了无源二端网络，利用电阻的串并联化简方法，求出从二端钮看去的等效电阻 R_0 ；

4. 用 U_{OC} 与 R_0 串联的支路替换原二端网络，则原复杂电路化为简单电路，分析计算很简单。

戴维南定理适用于复杂电路中求某一条支路电流的情况。特别是当负载变化时，应用该定理可以大大简化电路的计算。

第三节 电路的基本分析方法

直流电路的分析计算可以应用两个基本定律（欧姆定律、基尔霍夫定律）和多条定理（电源的等效互换、叠加原理、戴维南定理、诺顿定理等）。下面简单讨论两种依据两个基本定律构成的电路分析方法。

一、支路电流法

指以支路电流为未知量，列写 KCL、KVL 方程式，联立求解方程组得到支路电流的方法。

支路电流法分析电路的步骤：

1. 在电路图上，任意标出各支路电流的参考方向

设电路中有 b 条支路，则有 b 个支路电流，即有 b 个未知量，需要 b 个独立方程才能求解出未知量。所谓独立方程，是指不可能由其他方程推导得出的方程。

2. 根据节点电流定律，列写 KCL 的独立方程

对于具有 n 个节点的电路，可以列出 $(n-1)$ 个独立的 KCL 方程。

图 1-26 电路中有两个节点 a 、 b 。对节点 a ，可列出 KCL： $I_1 + I_2 = I_3$ ；对节点 b ，