

注册电气工程师（供配电） 执业资格考试辅导教材

专业基础部分

北京土木建筑学会电气设计委员会 组编
北京电气设计情报网

- 把握考试大纲应试要求
- 讲解考试大纲逐条内容
- 体现知名专家宝贵经验



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

注册电气工程师(供配电)

执业资格考试辅导教材

专业基础部分

北京土木建筑学会电气设计委员会 组编
北京电气设计情报网



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

注册电气工程师执业资格考试即将于今年9月份进行,根据2004年3月发布的大纲,现组织出版注册电气工程师(供配电)执业资格考试辅导教材,共分为公共基础部分、专业基础部分和专业部分三册。本书组织者和每一部分的执笔人均为该领域的专家,并正在参与注册电气工程师培训讲课工作,他们具有深厚的专业知识和丰富的工程设计经验,从而使该套图书具有较强的指导性和实用性。

专业基础部分由北京土木建筑学会电气设计委员会和北京电气设计情报网组织编写,涵盖电路与电磁场、半导体,数模和模数转换,电力系统基本知识,电力线路、变压器的参数与等值电路,简单电网的潮流计算,无功功率平衡和电压调整,短路电流计算,变压器,感应电动机,同步电机,过电压及绝缘配合,断路器,互感器,直流电机基本要求,电气主接线和电气设备选择。

本书可作为建筑、电力、化工、冶金、纺织等专业的注册电气工程师的培训教材,也可供相关专业的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

注册电气工程师(供配电)执业资格考试辅导教材.
专业基础部分/北京土木建筑学会电气设计委员会,北京电气设计情报网组编. —北京:中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2344-0

I. 注... II. ①北... ②北... III. ①供电—工程师—资格考核—教材 ②配电系统—工程师—资格考核—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046158 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年6月第一版 2004年8月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.625印张 620千字

印数6001—9000册 定价45.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

全国注册电气工程师考试，是当前广大电气设计人员十分关注的一件大事。根据国家人事部、建设部关于注册电气工程师执业资格考试的文件精神和执业资格（供配电）专业考试大纲的要求，在北京土木建筑学会的领导和全国建筑电气设计情报网的关怀下，本会（网）于2002年8月专门召开常委会研究决定，充分依靠本会（网）雄厚的技术实力，尽力做好电气设计人员的考前辅导工作，多次召开专家、教授座谈会，并组成编委会，经过一年多的努力共同编写了本辅导教材。

本书是在经多次修改而成的原注册电气工程师考试辅导材料的基础上，又根据2004年3月公布的考试大纲，补充完善而成的。本书组织者和每一部分的执笔人均为该领域的专家，并正在参与注册电气工程师培训讲课工作，他们具有深厚的专业知识和丰富的工程设计经验。在该书的前期编写过程中，在编委会的组织下，各位编写人员通力合作，牺牲了许多业余休息时间，收集素材，结合日常工作经验和培训要求，并听取各方建议，经过多次讨论、修改和整理，使该书具有较强的指导性和实用性，能较全面地反映电气工程师应具有的知识内容，力求能满足注册电气工程师培训之用。

希望这套辅导教材，对电力设计人员应考有所帮助。由于编写时间仓促，书中内容不当之处，请批评指正。

北京土木建筑学会电气设计委员会
北京电气设计情报网

2004年4月

0A147/9

注册电气工程师（供配电）执业资格
考试辅导教材 专业基础部分

编 委 会

总顾问 王时煦

主 任 马胜贵

副主任 刘泰坤

主 编 蔡进民

副主编 葛福余 刘屏周 刘艺滨

各章编写人员名单如下（按节前后排序）

第1章 王 佳 李惠昇

第2章 刘辛国

第3章 张少军

第4章 李英姿 蒋志坚

目 录

前言

1 电路与电磁场	1
1.1 电路的基本概念与基本定律	1
1.2 电路的分析方法	16
1.3 正弦交流电路	32
1.4 非正弦周期电流电路	54
1.5 简单动态电路的时域分析	60
1.6 静电场	71
1.7 恒定电场	90
1.8 恒定磁场	97
1.9 均匀传输线	110
2 模拟电子技术	116
2.1 半导体及二极管	116
2.2 半导体三极管及放大电路基础	120
2.3 线性集成运算放大器和运算电路	138
2.4 信号的运算与处理电路	142
2.5 信号发生电路	151
2.6 功率放大电路	155
2.7 直流稳压电源	159
3 数字电路技术	164
3.1 数字电路基础知识	164
3.2 集成逻辑门电路	170
3.3 数字基础及逻辑函数化简	175
3.4 集成组合逻辑电路	183
3.5 触发器	199
3.6 时序逻辑电路	207

①本书目录即为注册电气工程师(供配电)执业资格考试基础考试大纲的后一部分内容(前一部分内容见本套书公共基础部分),读者可根据需要查阅相关内容。

3.7 脉冲波形的产生	224
3.8 数模和模数转换	232
4 电气工程基础	235
4.1 电力系统基本知识	235
4.2 电力线路、变压器的参数与等值电路	244
4.3 简单电网的潮流计算	252
4.4 无功功率平衡和电压调整	263
4.5 短路电流计算	267
4.6 变压器	285
4.7 感应电动机	295
4.8 同步电机	306
4.9 过电压及绝缘配合	317
4.10 断路器	334
4.11 互感器	345
4.12 直流电机基本要求	359
4.13 电气主接线	373
4.14 电气设备选择	382
注册电气工程师（供配电）执业资格考试基础考试分科题量、时间、分数分配说明	387

1

电 路 与 电 磁 场

1.1 电路的基本概念与基本定律

1.1.1 电路模型

1.1.1.1 电阻元件

- (1) 电阻元件的定义式是变量 u 、 i 之间的代数关系式。
- (2) 满足关系式 $u_R = Ri_R$ (欧姆定律) 的电阻是线性的, 否则为非线性的。
- (3) 关系式 $u = Ri$ 与 u 、 i 为关联正向对应, 如图 1-1 所示。若为非关联正向, 则 $u_R = -Ri_R$ 。

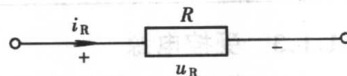


图 1-1 关联方向

- (4) 在取关联正向时, 电阻元件的功率 $P = u_R i_R = i_R^2 R$, $i_R = u_R^2 / R$; 若取非关联正向, 则 $P = -u_R i_R = -i_R^2 R$, $i_R = -u_R^2 / R$ 。

(5) 当 u 、 i 为关联正向时, 若 $u_R = Ri_R$, 且 $R > 0$, 称 R 为“正电阻”, 若 $R < 0$ 则称为“负电阻”。工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。

(6) 正电阻的功率 $P > 0$, 即它恒为耗能元件, 而负电阻的 $P < 0$, 即它在电路中是向外输送功率的。

(7) 当电阻元件的阻值 $R = 0$ 时, 其可用一根短路线替代; 当 $R = \infty$ 时, 其等价于“开路”, 可用“断路”表示。

1.1.1.2 独立电源

(1) 电压源。

1) 独立电压源被定义在 $u-i$ 平面上, 其特性曲线为一条平行于 i 轴的直线, 这表明电压源的端电压与通过它的电流的大小无关。

2) 按电阻元件的定义, 电压源实质上是一非线性电阻元件。

3) 电压源是能向外部输出随时间按某种规律变化的电压的元件, 它是有源元件。

4) 电路中, 电压源可以是输出功率 (即产生功率), 也可能是吸收功率 (此时它的表现和电阻一样, 在电路中消耗能量)。不要误以为电压源在电路总是能提供能量。

5) 电压源的电路符号中, 务必给出其端电压的参考极性。

(2) 电流源。

1) 电流源也是被定义在 $u-i$ 平面上的一种二端元件, 它的特性曲线是一条平行于 u 轴的直线, 即它输出的电流与其两端电压的大小无关。

2) 电流源也可视为一种非线性电阻元件且是有源的。

3) 电路中, 电流源可能向外部提供功率, 也可能是消耗功率, 这取决于其两端电压的真实极性。

表 1-1 归纳了各种独立源的主要特性。

表 1-1 独立源及其特性总结

性质 \ 类型	电 压 源		电 流 源	
	电压源	理想电压源	电流源	理想电流源
电路符号				
内 阻	$R_0 = \frac{E - U}{I}$	$R_0 = 0$	$R_0 = \frac{U}{I_s - I}$	$R \rightarrow \infty$
电压或电流	$U = E - R_0 I$	$U = E$	$I = I_s - \frac{u}{R_0}$	$I = I_s$
特 点	内阻小, 输出电压恒定		内阻大, 输出电流恒定	

1.1.1.3 受控电源

- (1) 受控电源是为模拟电子器件中的物理过程而提出的一种理想化的电路元件。
- (2) 须注意独立电源和受控电源的区别。两者主要的不同在于独立电源的输出不受外界的影响, 而受控电源的输出则受制于其他支路的某个电量。
- (3) 受控电源为四端元件, 其由控制支路和输出支路构成。
- (4) 依控制量和输出量的不同, 受控电源有四种类型: 电压控制型电压源 (VCVS), 电压控制型电流源 (VCCS), 电流控制型电压源 (CCVS) 和电流控制型电流源 (CCCS)。
- (5) 当电路中含有受控电源时, 其分析处理方法有着许多特殊之处, 应予以注意。

表 1-2 归纳了各种受控源的主要特性。

表 1-2 受控源及其特性总结

代 号	VCVS	VCCS	CCVS	CCCS
名 称	电压控制的电压源	电压控制的电流源	电流控制的电压源	电流控制的电流源
符 号				
控制量	u_1	u_1	i_1	i_1
被控量	u_2	i_2	u_2	i_2
被控支路伏安关系 VAR	$u_2 = \mu u_1$	$i_2 = g u_1$	$u_2 = r i_1$	$i_2 = \beta i_1$

1.1.1.4 电容元件

- (1) 线性电容元件的定义式为 $q_C = C u_C$, 该式对应于 u 、 q 取 “一致的参考方向”, 即电压极性为正的极板上带正电荷, 如图 1-2 所示。

(2) 当电压、电流取关联正向时 (见图 1-2), 电容元件的伏安关系式为

$$\left. \begin{aligned} i_C &= C(du_C/dt) \\ u_C &= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C(\xi) d\xi \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

(3) 电容元件的电流比例于电压的变化率, 这是电容元件与电阻元件的一个重要不同之处。称电容元件为动态元件。

(4) 在直流电路中, 通过电容的电流恒为零, 称之为电容元件的“隔直作用”; 而在电路工作频率极高时, 电容元件两端电压近似为零, 即相当于“短路”。

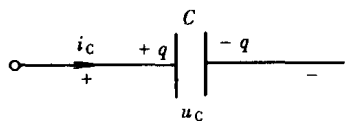


图 1-2 电容元件

(5) $u_C = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\xi) d\xi$, 其中 $u_C(t_0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i_C(\xi) d\xi$, 该式说明, 当前时刻 t 的电容电压不仅与现时的电流相关, 而且与以前电流的作用情况有关, 即它具有记忆电流作用的本领, 故称电容元件为“记忆元件”。

(6) 当电容电流为有界函数时, 电容电压不可能发生“突变” (或跳变), 只能连续变化, 称之为电容电压的连续性, 这是电容元件一个很重要的性质。

(7) 电容元件中储藏的电场能量计算式为

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2 \quad (1-2)$$

(8) 由于在任意时刻 t , 均有 $W_C \geq 0$, 这表明电容元件是无源元件。同时它能存储电场能量, 但不消耗能量, 故电容元件是非耗能元件, 且称它为“储能元件”。

1.1.1.5 电感元件

(1) 当电流和磁链的参考方向符合右手螺旋法则时, 线性电感元件的定义式为 $\psi_L = Li_L$ 。

(2) 当电感元件的电压、电流为正向时, 伏安关系式为

$$\left. \begin{aligned} u_L &= L \frac{di_L}{dt} \\ i_L &= \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L(\xi) d\xi \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

(3) 由电容、电感元件的伏安关系式可知, i_C 与 u_L 、 u_C 与 i_L 具有类比性, 称电感、电容元件为对偶元件。

(4) 电感元件也是动态元件。在直流电路中, 电感元件两端的电压为零, 相当于短路; 而当电路的工作频率极高时, 电感元件近似为“开路”。

(5) 当电感元件两端的电压为有界函数时, 电感电流不能跳变, 称之为电感电流的连续性。

(6) 电感元件是储能元件, 其储藏的磁场能量的计算式为

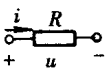
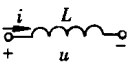
$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2 \quad (1-4)$$

(7) 与电容元件相似, 电感元件是无源元件, 亦是非耗能元件。

表 1-3 中归纳总结了电阻、电感、电容元件的特性。

表 1-3

电阻、电感、电容元件的特性

性质 \ 元件	电 阻 R	电 感 L	电 容 C
电路符号			
参数意义	$R = \frac{u}{i}$	$L = N \frac{\Phi}{i}$	$C = \frac{q}{u}$
伏安关系(VAR)	$u = Ri$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
储 能	0	$W = \frac{1}{2} Li^2$	$W = \frac{1}{2} Cu^2$

1.1.1.6 耦合电感与理想变压器

(1) 耦合电感的基本概念。

1) 耦合系数。当两个线圈在电路中相距较近时,各自线圈上电流的变化会通过磁场相互影响,这样的两个线圈称为耦合电感(或互感)。耦合电感的相互影响程度与线圈的结构、相互位置及周围的磁介质有关,用耦合系数 K 或互感 M 表示其大小。

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (1-5)$$

当 $M^2 \leq L_1 L_2$, $0 \leq K \leq 1$; 当 $K = 0$ ($M = 0$) 时,两线圈互不影响;当 $K = 1$ ($M^2 = L_1 L_2$) 时,称为耦合。

2) 同名端。耦合线圈中磁通量的相助或相消,取决于线圈的绕向和电流的方向。为了易于辨认,规定了一种标志,称为同名端。

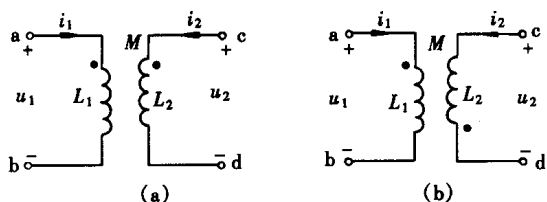


图 1-3 耦合电感模型

当电流从两线圈的某端子同时流入(或流出)时,若两线圈产生的磁通相助,则称此两端为互感线圈的同名端,用“.”表示。反之称为异名端。

3) 耦合电感的伏安关系。耦合电感的模型图如图所示,设各电感上电压、电流参考方向关联。

a) 如果电流从同名端流进(出),如图 1-3 (a) 所示情况,则有

$$\begin{cases} u_1 = L_1 di_1/dt + M di_2/dt \\ u_2 = L_2 di_2/dt + M di_1/dt \end{cases} \quad (1-6)$$

b) 如果电流从异名端流进(出),如图 1-3 (b) 所示情况,则有

$$\begin{cases} u_1 = L_1 di_1/dt - M di_2/dt \\ u_2 = L_2 di_2/dt - M di_1/dt \end{cases} \quad (1-7)$$

(2) 去耦等效电路。当两个耦合电感有一端相连接时,可以等效成无耦合电感的电路,如图 1-4 (a)、图 1-4 (b) 分别表示同名端相连接和异名端相连接两种情况的电路,它们可以等效为图 1-4 (c) 所示的 T 形去耦等效电路(同名端相连接时取上面符号,异名端相连接时取下面符号)。在等效电

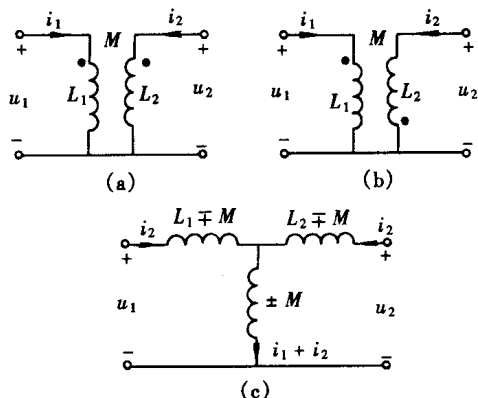


图 1-4 去耦等效电路

路中，消除了各电感间的耦合，因而给问题的分析带来了方便。

(3) 含互感正弦稳态电路的分析。在正弦稳态电路中，耦合电感的电流、电压分别用相量表示，取关联参考方向，相量模型如图 1-5 所示。端口伏安关系为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= j\omega L_2 \dot{I}_2 \pm j\omega M \dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

若两电流同时从同名端流进，如图 1-5 (a) 所示，则取 “+” 号；若从异名端流进，如图 1-5 (b) 所示，则取 “-” 号。对于含互感的电路，若不去耦等效，则常用回路法分析；若先去耦等效，则回路法和节点法均可使用。

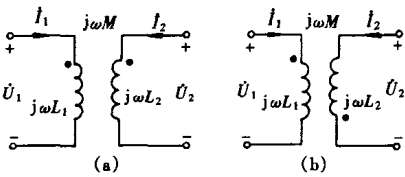


图 1-5 相量模型

(4) 理想变压器。理想变压器具有以下几个条件：①变压器本身无损耗；②耦合系数 $K=1$ ；③ L_1 , L_2 和 M 趋于无限大。其模型如表 1-4 中电路所示。理想变压器在时域和正弦稳态情况下，变压、变流、变阻抗关系归纳于表 1-4。

表 1-4 理想变压器在时域和正弦稳态情况下
变压、变流、变阻抗关系

电路模型	时域模型		正弦稳态相量模型
主要特征			
变压关系	$u_1(t) = \frac{N_1}{N_2} u_2(t) = n u_2(t)$	$u_1(t) = -\frac{N_1}{N_2} u_2(t) = -n u_2(t)$	$\dot{U}_1 = \frac{N_1}{N_2} \dot{U}_2 = n \dot{U}_2$
变流关系	$i_1(t) = -\frac{N_2}{N_1} i_2(t) = -\frac{1}{n} i_2(t)$	$i_1(t) = \frac{N_2}{N_1} i_2(t) = \frac{1}{n} i_2(t)$	$\dot{I}_1(t) = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = -\frac{1}{n} \dot{I}_2$
变阻抗关系	当二次绕组接纯电阻 R_L 时，从一次绕组两端看进去的等效电阻为 $R_{in} = n^2 R_L$		$Z_{in} = \frac{U_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L = n^2 Z_L$ 说明：① Z_{in} 与同名端位置无关，所以变压器上未标同名端；② 若 $Z_L = \infty$ (开路)，则 $Z_{in} = \infty$ (开路)；③ 若 $Z_L = 0$ (短路)，则 $Z_{in} = 0$ (短路)

理想变压器是电压、电流的线性变换器。在理想情况下，无论对交流还是直流，都有变压、变流作用。在任意时刻，理想变压器吸收的瞬时功率为

$$\begin{aligned}
 p(t) &= u_1(t)i_1(t) + u_2(t)i_2(t) \\
 &= [\pm nu_2(t)]\left[\pm \frac{1}{n}i_2(t)\right] + u_2(t)i_2(t) = 0
 \end{aligned}
 \quad (1-9)$$

式(1-9)表明,在任一时刻,一次绕组和二次绕组吸收的功率之和恒等于零。理想变压器既不消耗能量,也不储存能量,只起着能量传输的作用,这是它和耦合电感的本质区别。

理想变压器的正弦相量模型如表1-4所示。可以利用理想变压器的变阻抗特性,通过改变匝数比来改变输入阻抗,使负载获得最大功率。当然,也可以将接在一次绕组两端的阻抗变换到二次绕组,通过戴维宁等效电路求解问题。

1.1.2 电流和电压的参考方向

1.1.2.1 参考方向的概念

所谓参考方向是一种假设正向,其作用是和电量计算结果的正负号一起确定其真实方向。需注意以下几点:

(1) 在求解电路时,必须首先给出求解过程中所涉及的一切电压、电流的参考方向,并在电路图中予以标示。

(2) 参考方向的指定具有任意性,但一经指定后,在求解过程中不得再予以变动。

(3) 电路理论中的定义式(公式),求解电路的方程(组)均和特定的参考方向对应。

(4) 无论怎样选择电量的参考方向,都不会改变其真实方向。

1.1.2.2 关联参考方向

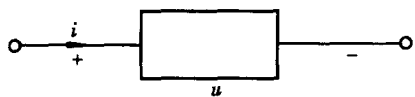


图1-6所示的电压、电流的参考方向称为关联参考方向或一致的参考方向,简称作关联正向。实际分析电路时,常采用关联参考方向,这样,可只指定电流(或电压)的参考方向。

图1-6 电压、电流的关联参考方向

1.1.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(以下简称KCL)和基尔霍夫电压定律(以下简称KVL)。

(1) KCL的内容是:在指定了各支路电流的参考方向后,流进(或流出)电路中任一节点电流的代数和为零,即 $\sum_{j=1}^N i_j = 0$ 。KCL也适用于电路中任意封闭面。

(2) KVL的内容是:在指定了各支路电压的参考方向后沿电路任一闭合回路电压的代数和为零,即 $\sum_{j=1}^k u_j = 0$ 。KCL也适用于虚拟回路。

(3) 基尔霍夫定律是电路的基本定律,是电路分析的基本依据。只要是集中参数电路,它都普遍适用。事实上,各种电路分析方法(如节点法、回路法等)不过是基尔霍夫定律的某种特定表现形式。

(4) 基尔霍夫定律与元件特性无关,它反映的是网络的拓扑关系,体现的是电路结构上的内在联系。

(5) 在列写KCL方程时需注意各项电流符号的确定,即若将流进节点(封闭面)的电流取正号,则流出节点的电流取负号,反之亦然。

(6) 在列写KVL方程时,为确定各项电压的符号,需首先指定回路的绕行方向(顺时

针或逆时针), 参考方向与绕行方向一致的电压取正号, 反之取负号。

KCL、KVL 定律的归纳总结见表 1-5。

表 1-5 KCL、KVL 定律

项目 名称	时域形式	适用的范围条件	使用中应注意的问题
KCL	$\sum i(t) = 0$	适用于任意时刻、任意电流函数、集中参数电路中的任意节点或闭曲面	(1) 对与节点相连的每一支路必须设出电流的参考方向。 (2) 在列写节点 KCL 方程时, 取流出节点的电流为正号, 或反之均可, 但在列出同一个 KCL 方程时规则应一致。 (3) 注意区分代数式中的正、负号与电流数值的正与负
KVL	$\sum u(t) = 0$	适用于任意时刻、任意电压函数、集中参数电路中的任意回路	(1) 对回路中每一段电路必须设电压参考方向。 (2) 在列出回路 KCL 方程时, 选顺时针绕行或是逆时针绕行均可, 绕行中先遇电压参考方向的正极性端取“+”号; 反之取“-”号。 (3) 注意区分代数式中的正、负号与电流数值的正与负

例 1-1 在图 1-7 (a)、图 1-7 (b) 中, 已知 $E = 10\text{V}$ 。试求端电压 U , 并标出电压的实际方向。

分析 电动势的方向规定为由低电位 (“-” 极性) 端指向高电位 (“+” 极性) 端, 即为电位升高的方向, 而电压的实际方向规定为由高电位 (“+” 极性) 端指向低电位 (“-” 极性) 端, 即为电位降低的方向。因此当电压正方向与电动势的正方向相反时, 则 $U = E$; 相同时, 则 $U = -E$ 。

解 图 1-7 (a) 中, 电压 U 的正方向与电动势量 E 的正方向相反, 所以 $U = E = 10\text{V}$, 则电压的实际方向 (如 “ $\oplus$ ”, “ $\ominus$ ” 所示) 与正方向一致。

图 1-7 (b) 中, 电压 U 的正方向与电动势 E 的正方向相同, 所以 $U = -E = -10\text{V}$, 则电压的实际方向 (如 “ $\oplus$ ”, “ $\ominus$ ” 所示) 与正方向相反。

【评注】 图 1-7 (a) 和图 1-7 (b) 中, “+” “-” 表示为正方向, “ $\oplus$ ”, “ $\ominus$ ” 表为实际方向。正方向的选取是任意的, 所选的电压正方向不一定与实际方向一致。同样可见, 在正方向选定后, 电压值本身才有正负之分。

例 1-2 图 1-8 (a)、图 1-8 (b) 中, 已知电流 $I = -5\text{A}$, $R = 10\Omega$ 。试求电压 U , 并标出电压的实际方向。

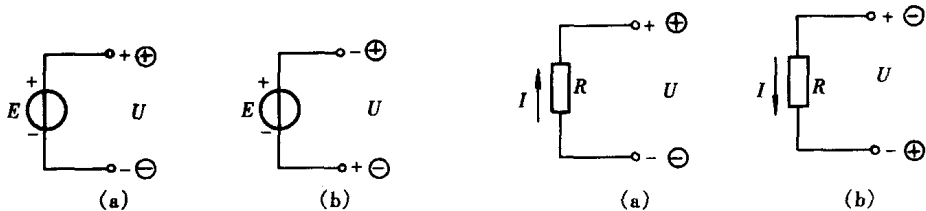


图 1-7 例 1-1 用图

图 1-8 例 1-2 用图

分析 当电阻两端电压 U 的正方向与流过该电阻中的电流正方向一致时, 则电压 $U = RI$; 相反时, $U = -RI$ 。

解 图 1-8 (a) 中, U 与 I 的正方向相反, 由于 $U > 0$, 所以电压 U 的实际方向 (如

“ $\oplus$ ”，“ $\ominus$ ”所示）与正方向相同。

图 1-8 (b) 中， U 与 I 的正方向相同，由于 $U < 0$ ，所以电压 U 的实际方向（如“ $\oplus$ ”，“ $\ominus$ ”所示）与正方向相反。

【评注】 电流的正方向选取是任意的，所选的正方向不一定与电流的实际方向一致。在电流的正方向选定之后，电流才有正负之分。在图 1-8 (a) 中， $U = -RI$ 前面有一个负号，而在代入 $I = -5\text{A}$ 时，又出现一个负号，这两套符号代表的意义不一样，千万不能混淆。

例 1-3 图 1-9 所示各电路中，已知 $E = 2\text{V}$ ， $I_s = 1\text{A}$ ， $R_1 = 3\Omega$ ， $R_2 = 1\Omega$ 。试求各电阻消耗的功率及各电源产生的功率。

分析 计算电路时，应标出各待求元件（或支路）中电压、电流的正方向，如图 1-10 所示。根据元件（或支路）正方向的关联关系确定待求量。一般情况下，正方向可直接标在原电路图（见图 1-9）中，不必另画出电路图。

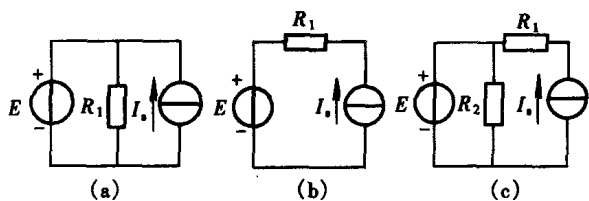


图 1-9 例 1-3 用图

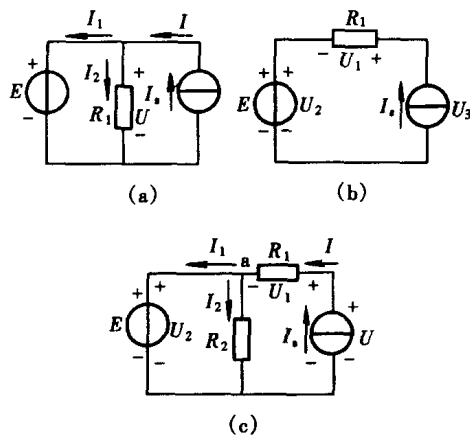


图 1-10 例 1-3 题解用图

解

(1) 如图 1-10 (a) 所示电路中， $U = E = 2\text{V}$ ， $I = I_s = 1\text{A}$ ，则

$$I_2 = \frac{U}{R_1} = \frac{2}{3}(\text{A})$$

根据 KCL 得

$$I_1 = I - I_2 = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}(\text{A})$$

电阻 R_1 消耗功率为

$$P_{R1} = R_1 I_2^2 = 3 \times \left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{4}{3}(\text{W})$$

电压源 E 产生的功率为

$$P_E = -UI_1 = (-2) \times \frac{1}{3} = -\frac{2}{3}(\text{W})$$

电流源 I_s 产生的功率为

$$P_I = UI_s = 2 \times 1 = 2(\text{W})$$

(2) 如图 1-10 (b) 所示电路中 $U_2 = E = 2\text{V}$ ， $I_s = 1\text{A}$ ，则

$$U_1 = R_1 I_s = 3 \times 1 = 3(\text{V})$$

$$U_3 = U_1 + U_2 = 3 + 2 = 5(\text{V})$$

故电阻 R_1 消耗功率为

$$P_{R_1} = U_1 I_s = 3 \times 1 = 3(\text{W})$$

电压源 E 和电流源 I_s 产生功率为

$$P_E = -U_2 I_s = -2 \times 1 = -2(\text{W})$$

$$P_{I_s} = U_3 I_s = 5 \times 1 = 5(\text{W})$$

(3) 在图 1-10 (c) 所示电路中 $U_2 = E = 2\text{V}$, $I = I_s = 1\text{A}$, 则

$$U_1 = R_1 I = 3 \times 1 = 3(\text{V})$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2}{1} = 2(\text{A})$$

由 KCL 得节点 a 电流为

$$I_1 = I - I_2 = 1 - 2 = -1(\text{A})$$

由 KVL 得电压 U 为

$$U = U_1 + U_2 = 3 + 2 = 5(\text{V})$$

故电阻 R_1 , R_2 吸收功率分别为

$$P_{R_1} = U_1 I = 3 \times 1 = 3(\text{W})$$

$$P_{R_2} = U_2 I_2 = 2 \times 2 = 4(\text{W})$$

电源 E 、 I_s 产生的功率 P_E 、 P_{I_s} 分别为

$$P_E = -U_2 I_1 = -2 \times (-1) = 2(\text{W})$$

$$P_{I_s} = UI_s = 5 \times 1 = 5(\text{W})$$

【评注】 值得注意的是, 电路中的电源元件并不一定都起电源的作用。有的电源在电路中可能起负载的作用, 在图 1-10 (a)、(b) 电路中的电压源 E , 分别在电路中起负载作用, 即该电源在电路不是产生功率, 而是从电路中吸收功率。电源与负载的判别方法有两种:

(1) 根据电压与电流的实际方向判定: 电源 U 与 I 实际方向相反, 电流从“+”端流出, 发出功率。

负载 U 与 I 实际方向相同, 电流从“+”端流入, 吸收功率。

(2) 根据电压与电流的正方向判定:

电源: $P = UI$ (负值);

负载: $P = UI$ (正值)。

如果 U 与 I 的正方向相反时, 则电源的功率为正值, 负载的功率为负值。

例 1-4 试求图 1-11 所示电路中的电流 I_1 和电压 U_{ab} 。

分析 在求解含受控源的电路问题时, 必须将受控源当作独立电源一样看待即可。

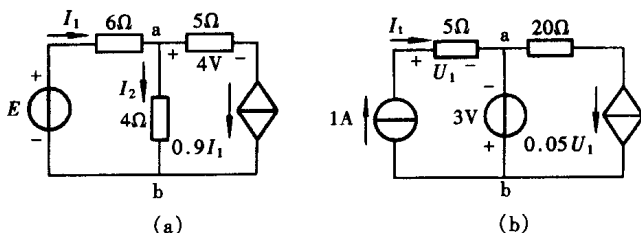


图 1-11 例 1-4 用图

解 (1) 在图 1-11 (a) 所示电路中

$$0.9I_1 = \frac{4}{5} = 0.8(\text{A})$$

所以

$$I_1 = \frac{0.8}{0.9} = 0.89(\text{A})$$

$$U_{ab} = 4I_2 = 4 \times (I_1 - 0.9I_1) = 4 \times 0.1 \times 0.89 = 0.356(\text{V})$$

(2) 在图 1-11 (b) 所示电路中

$$I_1 = 1(\text{A})$$

$$U_{ab} = -3(\text{V})$$

【评注】 受控源亦是电源，应用 KCL、KVL，列电路方程时，如果遇到回路内含有受控电压源，以及节点或封闭曲面连接有受控电流源时，先将受控电源当作独立电源一样对待，列出电路基本方程，根据受控电源受控制的特点，列出控制量与待求量的关系式，亦称为辅助方程，解基本方程和辅助方程，即可求出待求量。

例 1-5 在图 1-12 所示电路中，已知 $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 4\Omega$ ， $E = 3\text{V}$ ，其他各电流如图所示。试求电路中电流 I_x 和电压 U_{ab} 。

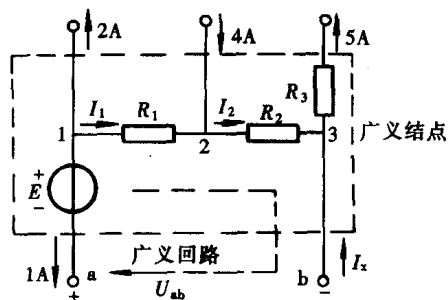


图 1-12 例 1-5 用图

分析 图示电路应用 KCL 和 KVL 可分别求： I_x 和 U_{ab} 。KCL 可推广到一个封闭曲面（亦称广义节点），KVL 可推广到一个虚拟回路（亦称广义回路）。

解 (1) 求电流 I_x ：

1) 根据 KCL 得

$$\text{节点 1} \quad I_1 = -(1 + 2) = -3(\text{A})$$

$$\text{节点 2} \quad I_2 = I_1 + 4 = -3 + 4 = 1(\text{A})$$

$$\text{节点 3} \quad I_x = 5 - I_2 = 5 - 1 = 4(\text{A})$$

2) 如果取广义节点（如图 1-12 虚线封闭曲面

所示），再根据 KCL，可直接求得

$$I_x = 1 + 2 - 4 + 5 = 4(\text{A})$$

(2) 求电压 U_{ab} ：将 a、b 两端点间设想有一条虚拟支路，该支路的端电压为 U_{ab} ，这样可构成一个虚拟回路，称其为广义回路，对广义回路应用 KVL 有

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - U_{ab} = E$$

所以

$$U_{ab} = -E + R_1 I_1 + R_2 I_2 = -3 + 10 \times (-3) + 5 \times 1 = -33 + 5 = -28(\text{V})$$

【评注】 KVL 也可表述为：在任何时刻电路中任一回路沿循行方向的电源电动势的代数和等于电阻压降的代数和，即

$$\sum E = \sum RI$$

电动势 E 和循行方向一致时运算符号前取“+”号，反之取“-”号；当电阻上电流的正