



薛金星·教材全解 畅销20年  
全国一亿读者首选

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书  
配秦曾煌《电工学(上册)·电工技术》第七版

# 大学教材全解 电工学

(秦曾煌 第七版)(上册)

## 电工技术

考拉进阶《大学教材全解》编委会 编  
张家生 邱新芸 王巧云 主编

—— 同步辅导 + 考研复习 ——

讲透重点难点 | 详解教材习题 | 精析考研真题 | 提升考研能力

延边大学出版社



# 大学教材全解

## 电工学

(秦曾煌 第七版)(上册)

电工技术

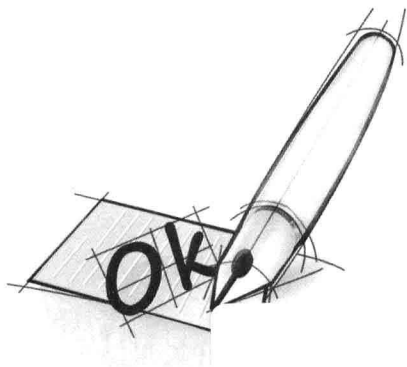
总策划: 薛金星

主 编: 张家生 邱新芸 王巧云

副主编: 刘 扬 宋爱娟 魏永涛 曹亚丽

王芬芬 王野驰 姜潇潇 盖君雪

郭晓明 孙少华



延边大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电工学·上, 电工技术 / 张家生, 邱新芸, 王巧云  
主编. -- 延吉: 延边大学出版社, 2013. 5  
大学教材全解  
ISBN 978-7-5634-5633-8

I. ①电… II. ①张… ②邱… ③王… III. ①电工学—高等学校—教学参考资料②电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第108943号



# 诚邀全国名师加盟

恳请各位名师对我们研发、出版的图书提出各类修订建议, 并提供相应的文字材料。我们将根据建议采用情况及时支付给您丰厚报酬。

诚征各位名师在教学过程中发现的好题、好方法、好教案、好学案等教学与考试研究成果, 一旦采用, 即付稿酬。

我们欢迎广大一线师生来信、来函、来电、上网与我们交流沟通, 为确保信息畅通, 我们特设以下几个交流平台, 供您选用:

全国服务热线: (010)61743009 61767818

通信地址: 北京市天通苑邮局 6503 信箱 电商营销中心(收) 邮政编码: 102218

集团网站: <http://www.jxedue.net>

淘知网: <http://www.taozhi.cn> <http://www.firstedubook.com>

金星天猫专营店: <http://esysjxts.tmall.com>

盗版举报电话: (010)61767818 13718362467

投稿邮箱: [jinxingjiaoyu@163.com](mailto:jinxingjiaoyu@163.com)

质量监督热线: (0532)84874345

## 大学教材全解: 电工学上·电工技术

延边大学出版社出版

(吉林省延吉市公园路977号)

北京泽宇印刷有限公司印刷

发行热线: 010-61743009

开本: 720×1000毫米 1/16

印张: 19.5 字数: 550千字

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5634-5633-8

定价: 21.80元

# 前言



“教材全解”系列丛书十多年来一直是最畅销的教材辅导类图书，种类涵盖了大学、中学、小学的几十门主要学科，帮助千万学子取得了理想的成绩。为了帮助广大读者学好《电工学（上册）·电工技术》这门课程，我们邀请全国各地治学严谨、业务精湛的一线名师，严格遵循教育部发布的最新高等院校教学大纲和最新研究生入学考试大纲，精心编写了这本《大学教材全解——电工学（上册）·电工技术》。

本书编排科学，详略得当，方法齐全，图文并茂，希望通过“教材全解”系列全心全意、解疑解难的独有特色，全面透彻地解析电工学知识，帮助读者真正吃透教材，快速提升学习能力与思维水平，轻松达到期末、考研等各项考试的测试要求。本书亦可作为教师教学参考、考研人员考前系统复习用书。

本书共分十三章，章节的划分与教材完全保持一致。每章包括五大部分内容，每部分可简述如下：

- 1 本章知识结构图解：**用网络结构图的形式揭示出本章知识点之间的有机联系，以便于学生从总体上掌握本章知识体系和核心内容。重点知识、核心知识一览无余，是考前复习的指南。
- 2 本章考试出题点：**精准定位本章在期末、考研等考试中涉及的知识点及考查方式和方向，为快速有效地备考指明方向。
- 3 本章教材内容全解：**用简洁、易懂的语言对本章涉及的基本概念、基本公式等进行了系统的梳理，并指出理解与应用时需要注意的问题及各类考试中经常考查的重要知识点。对于教材知识内容的讲解，本书比市场上同类竞品讲解得更全面，更详细，更到位。对于重要知识点和难点，我们都辅以典型例题来诠释，可谓是核心知识与典型例题完美结合，以便于读者更快速地吸收知识。
- 4 名校考研真题精析：**精选全国各地考研名校典型真题并进行权威解析。解析过程详尽、细致，步骤连贯、无跳跃，配图齐全、形象；并对解题方法进行提炼，使读者对于同类题可以“举一反三”。
- 5 本章课后习题全解：**此部分对于每章里的练习及思考题和所有习题进行详细、全面的解答，对于有代表性的习题还给出了多种解法，以培养读者归纳问题能力和发散思维能力。解题步骤详细，运用最直接、最容易想到的解答方法，以便于读者理解。

在此特别指出的是，【温馨提示】和【特别提醒】两个栏目中的内容乃点睛之笔，可谓是一语点醒梦中人！

全书内容编写系统、新颖、清晰、独到，充分体现了如下特色：

- 1 知识梳理清晰、简洁：本书直观、形象的图表总结，精炼、准确的考点提炼，权威、独到的方法归纳，将内容抽丝剥茧、层层展开，呈现给读者简明扼要、层次分明的知识结构，便于读者快速复习、高效掌握，形成稳固、扎实的知识网，为提高解题能力夯实基础。
- 2 能力提升迅速、持续：所有重点、难点、考点，统统归纳为在考试中可能出现的基本题型，结合考研真题，深入讲解，真正将掌握知识和提升解题能力高效结合。
- 3 内容深入浅出、易学易用：为适应广大读者的不同需求，本书进行了科学的编排，读者不仅可以在有教师指导的情况下使用，更可作为自学必备用书。

本书编排时博采众家之长，参考了多本同类书籍，吸取了不少养分。在此向这些书籍的编著者表示感谢！由于我们水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见，以便我们改进。

考拉进阶教育研究院  
“大学教材全解”编委会



# 目录

## 第1章 电路的基本概念与基本定律

本章知识结构图解 .....	1	名校考研真题精析 .....	9
本章考试出题点 .....	1	本章课后习题全解 .....	11
本章教材内容全解 .....	1		

## 第2章 电路的分析方法

本章知识结构图解 .....	24	名校考研真题精析 .....	38
本章考试出题点 .....	24	本章课后习题全解 .....	41
本章教材内容全解 .....	24		

## 第3章 电路的暂态分析

本章知识结构图解 .....	72	名校考研真题精析 .....	82
本章考试出题点 .....	72	本章课后习题全解 .....	85
本章教材内容全解 .....	72		

## 第4章 正弦交流电路

本章知识结构图解 .....	101	名校考研真题精析 .....	118
本章考试出题点 .....	101	本章课后习题全解 .....	120
本章教材内容全解 .....	101		

## 第5章 三相电路

本章知识结构图解 .....	157	名校考研真题精析 .....	168
本章考试出题点 .....	157	本章课后习题全解 .....	170
本章教材内容全解 .....	157		

## 第6章 磁路与铁心线圈电路

本章知识结构图解 .....	179	名校考研真题精析 .....	185
本章考试出题点 .....	179	本章课后习题全解 .....	187
本章教材内容全解 .....	179		

## 第7章 交流电动机

本章知识结构图解 .....	201	名校考研真题精析 .....	207
本章考试出题点 .....	201	本章课后习题全解 .....	210
本章教材内容全解 .....	201		

## 第8章 直流电动机

本章知识结构图解 .....	225	本章教材内容全解 .....	225
本章考试出题点 .....	225	本章课后习题全解 .....	230

## 第9章 控制电机

本章知识结构图解 .....	240	本章教材内容全解 .....	240
本章考试出题点 .....	240	本章课后习题全解 .....	242

## 第10章 继电器接触器控制系统

本章知识结构图解 .....	245	本章考试出题点 .....	245
----------------	-----	---------------	-----

本章教材内容全解 .....	245	本章课后习题全解 .....	253
名校考研真题精析 .....	249		

## 第 11 章 可编程控制器及其应用

本章知识结构图解 .....	265	本章教材内容全解 .....	265
本章考试出题点 .....	265	本章课后习题全解 .....	272

## 第 12 章 工业企业供电与安全用电

本章知识结构图解 .....	290	本章教材内容全解 .....	290
本章考试出题点 .....	290	本章课后习题全解 .....	292

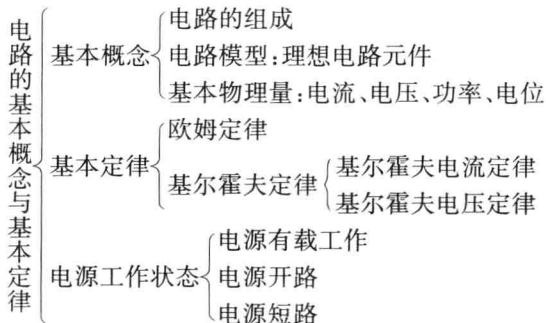
## 第 13 章 电工测量

本章知识结构图解 .....	295	本章教材内容全解 .....	295
本章考试出题点 .....	295	本章课后习题全解 .....	297



# 第1章 电路的基本概念与基本定律

## 本章知识结构图解



## 本章考试出题点

1. 电压、电流的参考方向。
2. 电位的计算方法。
3. 功率的计算以及元件吸收与释放电能的判断。
4. 应用欧姆定律、基尔霍夫定律求解电路参量。

## 本章教材内容全解

### 一、电路的基本概念

#### 1. 电路的组成

##### (1) 电路

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或元器件按一定方式组合起来的。

##### (2) 电路的作用

① 实现能量的传输与转换。电路最基本的组成,如图

1.1 所示。

电源:是提供电能的设备,如:发电机、信号源等。

负载:是指用电设备,如:电灯、空调、冰箱等。

中间环节:传递、分配和控制电能,如:开关、导线等。

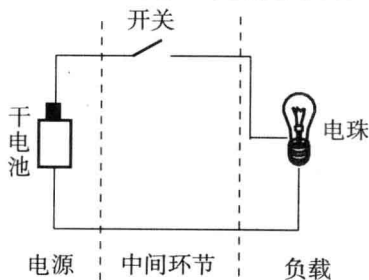


图 1.1

② 实现信号的处理与传递。电路最基本的组成,如图 1.2 所示。

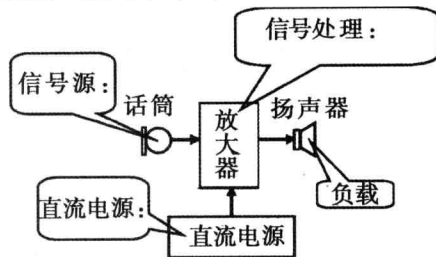


图 1.2

信号源: 提供信息。

信号处理: 放大、调谐、检波等。

直流电源: 提供能源。

负载: 用电设备。

**温馨提示:** 电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励所产生的电压和电流称为响应。

## 2. 电路模型

电路模型: 由能够反映实际电路元件电磁性质的理想电路元件组成的电路。

图 1.1 手电筒的电路模型如图 1.3 所示。

构成电路模型的基本理想元器件:

(1) 电源元件

电动势: 表示符号  $E$  单位: 伏特 V

理想电流源: 表示符号  $I$  单位: 安培 A

(2) 电阻元件: 是一种只表示消耗电能的理想元件

表示符号:  $R$  单位: 欧姆  $\Omega$

(3) 电感元件: 是一种只表示储存磁场能量的理想元件

表示符号:  $L$  单位: 亨利 H

(4) 电容元件: 是一种只表示储存电场能量的理想元件

表示符号:  $C$  单位: 法拉 F

## 3. 基本物理量

(1) 电流

① 电流的分类

直流: 大小和方向均不随时间变化的电流,也称为恒定电流,用  $I$  表示。

交流: 大小和方向均随时间变化的电流,也称为交变电流,用  $i$  表示。

② 定义: 单位时间内通过某一截面的电荷量称为电流。

对于直流电源,  $I = \frac{Q}{T}$ ; 对于交流电源,  $i = \frac{dq}{dt}$ 。

③ 电流的单位: 安培(A),  $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ ,  $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ,  $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ 。

④ 电流的实际方向: 规定为正电荷定向运动的方向。

⑤ 电流的参考方向: 在分析和计算电路时,往往任意选定某一方向作为电流的参考方向,也称正方向。

⑥ 电流参考方向的两种表示方法,如图 1.4(a)、1.4(b)所示。

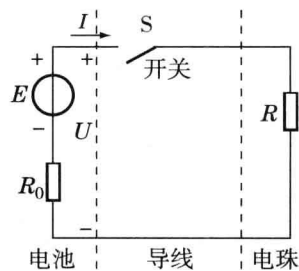


图 1.3



图 1.4

## ⑦ 电流参考方向与实际电流方向的关系

在规定的参考方向下,

若电流的参考方向与实际方向相同,电流取正值,如图 1.5(a)所示。

若电流的参考方向与实际方向相反,电流取负值,如图 1.5(b)所示。

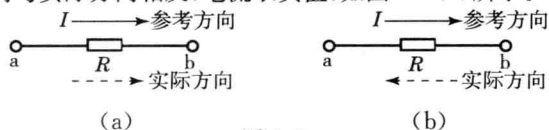


图 1.5

**例 1** 如图 1.6 所示,已知  $I_1 = -1 \text{ A}$ ,  $I_2 = 1 \text{ A}$ ,试指出电流的实际方向。



图 1.6

**解** 根据电流参考方向与实际电流方向的关系,可知

$I_1 = -1 \text{ A} < 0$ ,则  $I_1$  的实际方向与参考方向相反,应由点 B 流 toward 点 A。

$I_2 = 1 \text{ A} > 0$ ,则  $I_2$  的实际方向与参考方向相同,由点 B 流 toward 点 A。

## (2) 电压

## ① 电压的分类

直流电压:大小和方向均不随时间变化的电压,用  $U$  表示。

交流电压:大小和方向均随时间变化的电压,用  $u$  表示。

② 定义:电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压。

对于直流电压,  $U = \frac{W}{Q}$ ; 对于交流电压,  $u = \frac{d\omega}{dq}$ 。

③ 电压的单位:伏特(V) 1 千伏(kV)=1 000 伏(V) 1 伏(V)=1 000 毫伏(mV) 1 毫伏(mV)=1 000 微伏( $\mu\text{V}$ )。

④ 电压的实际方向:规定为电位降低的方向,即由高电位指向低电位的方向。

⑤ 电压的参考方向:在分析和计算电路时往往任意选定某一方向作为电压的正方向,也称参考方向。

⑥ 电压参考方向的两种表示方法,如图 1.7(a)、1.7(b)所示。

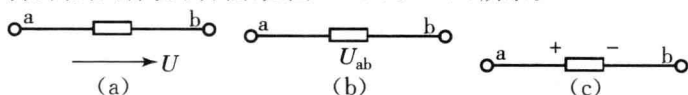


图 1.7

## ⑦ 电压参考方向与实际电压方向的关系

在规定的参考方向下,

若电压的参考方向与实际方向相同,电压取正值,如图 1.8(a)所示。

若电压的参考方向与实际方向相反,电压取负值,如图 1.8(b)所示。

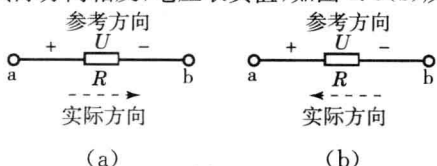


图 1.8

**例 2** 如图 1.9 所示,已知  $U_1=1\text{ V}$ ,  $U_2=-1\text{ V}$ ,试指出电压的实际方向。



图 1.9

**解** 根据电压参考方向与实际电压方向的关系,可知

$U_1=1\text{ V}>0$ ,则  $U_1$  的实际方向与参考方向相同,由 A 指向 B。

$U_2=-1\text{ V}<0$ ,则  $U_2$  的实际方向与参考方向相反,应由 A 指向 B。

**特别提醒:** 在参考方向选定后,电流(或电压)值才有正负之分。

(3) 关联参考方向

若电流和电压的参考方向取得相同,称为关联参考方向,否则称为非关联参考方向。如图 1.10 所示。

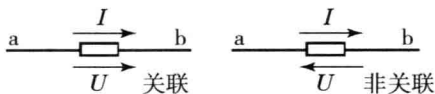


图 1.10

(4) 功率

① 定义

单位时间内电能所做的功称为电功率,简称功率。用  $P$  或  $p$  表示。单位:瓦特 W

$$P = \frac{W}{T} \text{ 或 } p = \frac{dw}{dt}$$

若已知元件的电压和电流,功率的表达式为  $P=UI$  或  $p=ui$ 。

② 功率与电源、负载的判别

当电流、电压为关联参考方向时,功率表示元件消耗能量。若计算结果为正,说明电路确实消耗功率,为负载元件。若计算结果为负,说明电路中实际产生功率,为电源元件。

当电流、电压为非关联参考方向时,功率表示元件产生能量。若计算结果为正,说明电路确实产生功率,为电源元件。若计算结果为负,说明电路中实际消耗功率,为负载元件。

**例 3** 如图 1.11 所示,在(a)图中,若电流均为  $2\text{ A}$ ,  $U_1=1\text{ V}$ ,  $U_2=-1\text{ V}$ ,求此时两元件消耗或产生的功率;(b)图中,若元件产生的功率为  $4\text{ W}$ ,求电流  $I$ 。

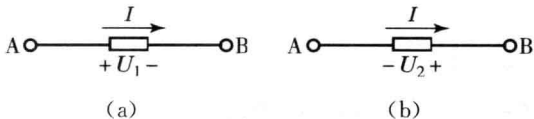


图 1.11

**解** (1) 对图 1.11(a),电流、电压为关联参考方向,元件消耗的功率为

$$P=U_1 I=1 \times 2\text{ W}=2\text{ W}>0$$

表明元件消耗功率,为负载。

对图 1.11(b),电流、电压为非关联参考方向,元件产生的功率为

$$P=U_2 I=(-1) \times 2\text{ W}=-2\text{ W}<0$$

表明元件消耗功率,为负载。

(2) 因图 1.11(b)中电流、电压为非关联参考方向,且是产生功率,故

$$P=U_2 I=4\text{ W}, I = \frac{P}{U_2} = \frac{4}{-1}\text{ A} = -4\text{ A}$$

负号表示电流的实际方向与参考方向相反。

**4. 电位**

(1) 定义:在电路中任意选一点作为参考点,并设参考点的电位为零,则电路中某点至参考

点的电压称为该点的电位,用 $V$ 或 $v$ 表示。

(2) 电位的单位:伏特(V)。

(3) 电位的参考点可以任意选定。当电路中有接地点时,以地为参考点;若没有接地点时,则选择较多导线汇集点为参考点。参考点用符号“ $\perp$ ”表示。

(4) 电路中电位与参考电位的关系

某点电位为正,说明该点电位比参考点高。

某点电位为负,说明该点电位比参考点低。

(5) 电压与电位的关系

$U_{AB}=V_A-V_B, u_{AB}=v_A-v_B$ ,因此,电压也称为电位差。

**温馨提示:** ① 电位值是相对的,参考点选取的不同,电路中各点的电位也将随之改变;

② 电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。即对于不同的参考点,虽然各个点的电位不同,但是任意两点间的电压始终不变。

(6) 电位的计算步骤

① 任选电路中某一点为参考点,设其电位为零;

② 标出各电流参考方向并计算;

③ 计算各点至参考点间的电压即为各点的电位。

**例4** 如图 1.12 所示,已知各个元件的电压为  $U_1=10\text{ V}$ ,  $U_2=5\text{ V}$ ,  $U_3=8\text{ V}$ ,  $U_4=-23\text{ V}$ 。若分别选 B 点和 C 点为参考点,试求电路中各点的电位。

**解** 选 B 点为参考点,则  $V_B=0$

$$V_A=U_{AB}=-U_1=-10\text{ V}$$

$$V_C=U_{CB}=U_2=5\text{ V}$$

$$V_D=U_{DB}=U_3+U_2=8\text{ V}+5\text{ V}=13\text{ V}$$

选 C 点为参考点,则  $V_C=0$

$$V_A=U_{AC}=-U_1-U_2=-10\text{ V}-5\text{ V}=-15\text{ V}$$

$$\text{或 } V_A=U_{AC}=U_4+U_3=-23\text{ V}+8\text{ V}=-15\text{ V}$$

$$V_B=U_{BC}=-U_2=-5\text{ V}$$

$$V_D=U_{DC}=U_3=8\text{ V}$$

**例5** 如图 1.13 所示,分别以 a、b 为参考点,求电路中各点的电位:  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_d$ 。

**解** 根据电位的定义,可知

设 a 为参考点,即  $V_a=0\text{ V}$

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

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

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

设 b 为参考点,即  $V_b=0\text{ V}$

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

$$V_c=U_{cb}=E_1=140\text{ V}$$

$$V_d=U_{db}=E_2=90\text{ V}$$

## 二、电路的基本定律

### 1. 欧姆定律

(1) 内容:对于电阻而言,流过电阻的电流与其两端的电压成正比。

(2) 公式:  $\frac{U}{R}=I$ ,其中  $R$  为电路的电阻。

(3) 单位:欧姆( $\Omega$ )、千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ )。

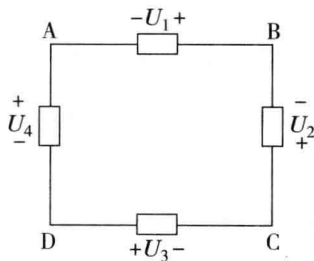


图 1.12

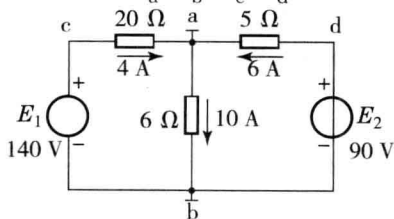


图 1.13

(4) 欧姆定律与参考方向的关系:

- ① 关联参考方向时,其表达式为  $u=Ri$ ,如图 1.14(a)所示。
- ② 非关联参考方向时,其表达式为  $u=-Ri$ ,如图 1.14(b)所示。

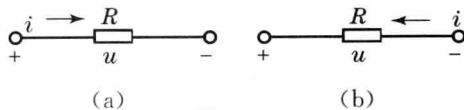


图 1.14

## 2. 基尔霍夫定律

(1) 基本概念

① 支路:电路中通过同一电流的每一分支为支路。图 1.15 中有三条支路,分别为 BAF、BCD 和 BE。支路 BAF、BCD 中含有电源,称为含源支路;支路 BE 中不含电源,称为无源支路。

② 结点:电路中三条或多条支路相连接的点称为结点。图 1.15 中 B、E 为两个结点。

③ 回路:由一条或多条支路所组成的闭合电路。图 1.15 中 ABEFA、BCDEB、ABCDEFA 均为回路。

④ 网孔:内部不含支路的回路。图 1.15 中 ABEFA 和 BCDEB 都是网孔,而 ABCDEFA 则不属于网孔。

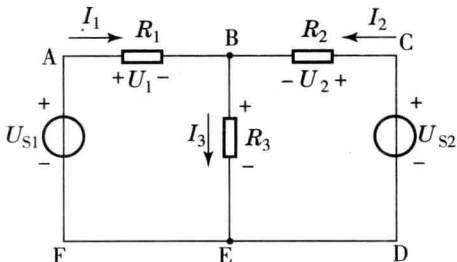


图 1.15

(2) 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律指出:在任一瞬时,流入某一结点的电流之和应该等于由该结点流出的电流之和(第一定律)。

在图 1.15 所示电路中,对于 B 结点可以写出  $I_1 + I_2 = I_3$ ,或改写为  $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ ,即  $\sum I = 0$ 。

由此可得出基尔霍夫电流定律的另外一种表述:在任一时刻,流入电路中的任一结点电流的代数和为零,规定参考方向指向结点的电流取正号,反之取负号。

基尔霍夫电流定律不仅仅适用于结点,也可推广应用到包围几个结点的闭合面(也称为广义结点)。如图 1.16 所示,可以把虚线内的三角形看做广义结点,用 KCL 方程可表示  $I_A + I_B + I_C = 0$ , $\sum I = 0$ 。由此可见,在任一时刻,流过任一闭合面的电流代数和恒等于零。

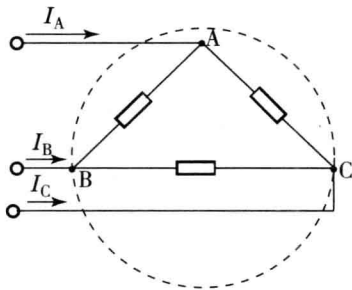


图 1.16

例 6 标出图 1.17 中未知电流大小。

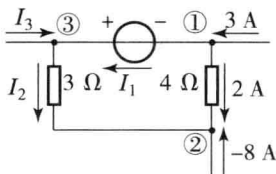


图 1.17

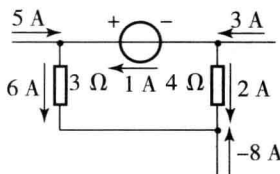


图 1.18

解 根据 KCL 定律列写①、②和③结点的电流方程,可得

$$I_1 + 2 = 3, I_2 + 2 - 8 = 0, I_1 + I_3 = I_2,$$

因此可求得  $I_1 = 1 \text{ A}$ ,  $I_2 = 6 \text{ A}$ ,  $I_3 = 5 \text{ A}$ ,结果如图 1.18 所示。

(3) 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律指出:从回路中任意一点出发,以顺时针方向或逆时针方向沿回路循行

一周,则在这个方向上的电位降之和应该等于电位升之和。也可表述为:在任一瞬时,沿任一回路循行方向(顺时针方向或逆时针方向),回路中各段电压的代数和恒等于零。若规定电位降取正号,则电位升就取负号。

基尔霍夫定律的另外一种表述为:在任一回路循行方向上,回路中电动势的代数和等于电阻上电压降的代数和。此处规定电动势的参考方向与所选回路循行方向相反者取正号,一致者取负号;凡是电流的参考方向与回路循行方向相反者,则该电流在电阻上所产生的电压降取正号,一致者取负号。

图 1.15 中,对于回路 ABCDEFA 回路取顺时针循行方向,根据 KVL 定律,可得  $U_1 - U_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$ ,根据欧姆定律,还可以表示为  $I_1 R_1 - I_2 R_2 - U_{S2} + U_{S1} = 0$ ,即  $\sum IR = \sum U_S$ ,表示沿回路循行方向,各个电阻电压降的代数和等于各个电源电动势升的代数和。

基尔霍夫电压定律不仅仅应用在回路中,也可以推广应用于一段不闭合的电路。如图 1.19 所示电路中,A、B 两端未闭合,若设 A、B 两点电压为  $U_{AB}$ ,按照逆时针循行方向可得  $U_{AB} - U_S - U_R = 0$ , $U_{AB} = U_S + RI$ 。结果表明开口电路两端的电压等于该两端点之间各段电压降的代数和。

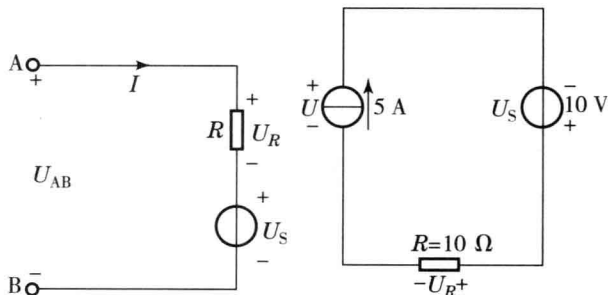


图 1.19

图 1.20

**例 7** 求图 1.20 所示电路中电阻和电流源的端电压。

**解** 由图 1.20 可知,电路中只有一个回路,因此电路中电流为 5 A,方向为顺时针绕行方向,与电阻两端电压参考方向关联,因此电阻两端电压  $U_R = 5 \times 10 \text{ V} = 50 \text{ V}$ , $-U_S + U_R - U = 0$  取顺时针循行方向,根据 KVL 定律,可得  $U = -U_S + U_R = -10 \text{ V} + 50 \text{ V} = 40 \text{ V}$

**例 8** 在图 1.21 所示电路中,已知  $R_1 = 4 \Omega$ , $R_2 = 6 \Omega$ , $U_{S1} = 10 \text{ V}$ , $U_{S2} = 20 \text{ V}$ ,试求  $U_{AC}$ 。

**解** 由 KVL 得  $IR_1 + U_{S2} + IR_2 - U_{S1} = 0$ , $I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 20}{4 + 6} \text{ A} = -1 \text{ A}$

或

由 KVL 的推广形式得

$$U_{AC} = IR_1 + U_{S2} = -4 \text{ V} + 20 \text{ V} = 16 \text{ V}$$

$$U_{AC} = U_{S1} - IR_2 = 10 \text{ V} - (-6) \text{ V} = 16 \text{ V}$$

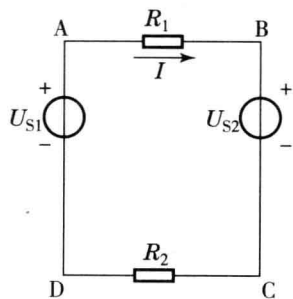


图 1.21

**特别提醒:** 电路中某段电压和路径无关。

**例 9** 求图 1.22 所示电路中的  $U_2$ 、 $I_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  及  $U_S$ 。

**解** 由 VCR 方程可知,  $I_2 = \frac{3}{2} \text{ A} = 1.5 \text{ A}$ , 则对最上面的结点列写 KCL 方程可得  $I_1 = 2 \text{ A} - 1.5 \text{ A} = 0.5 \text{ A}$ 。对电路中的右侧网孔列写 KVL 方程, 可得  $U_2 - 5 \text{ V} + 3 \text{ V} = 0$ ,  $U_2 = 2 \text{ V}$ , 因此  $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{2}{1.5} \Omega = 1.33 \Omega$ 。对左侧网孔列写 KVL 方程, 可得  $3 \times 2 \text{ V} + 5 \text{ V} - U_S = 0$ ,  $U_S = 11 \text{ V}$ 。

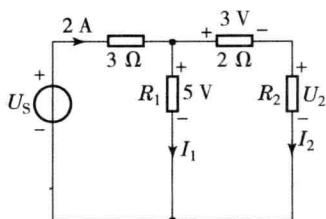


图 1.22

### 三、电源工作状态

#### 1. 电源有载工作

当图 1.23 所示电路中开关闭合时, 电源与具有一定大小的负载接通, 称为电源有载工作。

① 电压和电流的关系:  $I = \frac{E}{R_0 + R}$

电源端电压即负载两端电压为  $U = IR$  或  $U = E - IR_0$

电源的外特性曲线如图 1.24 所示。

根据以上公式可知: 电流的大小由负载决定; 当电源有内阻时, 随着电流  $I$  的增大电压  $U$  降低; 当  $R_0 \ll R$  时,  $U \approx E$ , 表明当负载变化时, 电源的端电压变化不大, 即带负载能力强。

② 功率与功率平衡

电源输出功率:  $P_E = U_S I$

内阻消耗功率:  $\Delta P = I^2 R_0$

负载消耗功率, 即电源输出功率:  $P = UI = I^2 R = U^2 / R$

则可得功率平衡  $P = P_E - \Delta P$

**例 10** 如图 1.25 所示,  $U = 220 \text{ V}$ ,  $I = 5 \text{ A}$ , 内阻  $R_{01} = R_{02} = 0.6 \Omega$ ,

(1) 求电源的电动势  $E_1$  和负载的反电动势  $E_2$ ;

(2) 试说明功率的平衡。

**解** (1) 电源  $U = E_1 - \Delta U_1 = E_1 - IR_{01}$

$E_1 = U + R_{01} I = 220 \text{ V} + 0.6 \times 5 \text{ V} = 223 \text{ V}$

负载  $U = E_2 + \Delta U_2 = E_2 + R_{02} I$

$E_2 = U - R_{02} I = 220 \text{ V} - 0.6 \times 5 \text{ V} = 217 \text{ V}$

(2) 由(1)中两式得  $E_1 = E_2 + R_{01} I + R_{02} I$

等号两边同乘  $I$  得

$E_1 I = E_2 I + R_{01} I^2 + R_{02} I^2$

$223 \times 5 \text{ W} = 217 \times 5 \text{ W} + 0.6 \times 5^2 \text{ W} + 0.6 \times 5^2 \text{ W}$

$1115 \text{ W} = 1085 \text{ W} + 15 \text{ W} + 15 \text{ W}$

$E_2 I = 1085 \text{ W} \quad R_{01} I^2 = 15 \text{ W} \quad R_{02} I^2 = 15 \text{ W}$

电源产生的功率

负载取用功率

电源内阻损耗功率

负载内阻损耗功率

③ 电源与负载的判别

根据  $U$ 、 $I$  的实际方向判别:

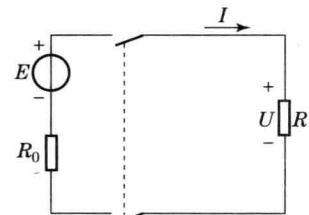


图 1.23

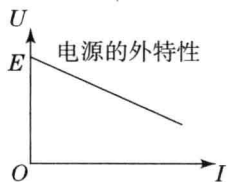


图 1.24

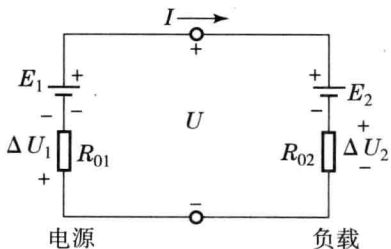


图 1.25



电源： $U$ 、 $I$  实际方向相反，即电流从“+”端流出。（发出功率）

负载： $U$ 、 $I$  实际方向相同，即电流从“-”端流出。（吸收功率）

根据  $U$ 、 $I$  的参考方向判别：

$U$ 、 $I$  参考方向相同： $P = UI > 0$ ，负载； $P = UI < 0$ ，电源

$U$ 、 $I$  参考方向不同： $P = UI > 0$ ，电源； $P = UI < 0$ ，负载

④ 额定值：电气设备在正常运行时的规定使用值。

在额定值情况下，电气设备可分为三种运行状态：

额定工作状态： $I = I_N$ ， $P = P_N$ （经济、合理、安全、可靠）

过载（超载）： $I > I_N$ ， $P > P_N$ （设备易损坏）

欠载（轻载）： $I < I_N$ ， $P < P_N$ （不经济）

**温馨提示：**在使用电气设备或元件时，电压、电流、功率的实际值不一定等于它们的额定值。

## 2. 电源开路

当图 1.23 所示电路中的开关打开时，电源处于开路状态。此时

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = U_0 = E \quad \text{电源端电压} \\ P = 0 \quad \text{负载功率} \end{cases}$$

## 3. 电源短路

当电源被导线短接时，电源短路，如图 1.26 所示，

此时

$$\begin{cases} I = I_S = \frac{E}{R_0} \quad \text{短路电流(很大)} \\ U = 0 \quad \text{电源端电压} \\ P = 0 \quad \text{负载功率} \\ P_E = \Delta P = I^2 R_0 \quad \text{电源产生的能量全被内阻消耗掉} \end{cases}$$

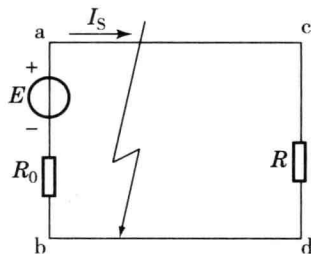


图 1.26

**温馨提示：**短路通常是严重的事故，应尽量避免。为了防止电源被短路，通常在电路中接入熔断器或自动断路器。

## 名校考研真题精析

1. (江苏大学) 电路如图 1.27 所示， $R$ 、 $U_S$ 、 $I_S$  均大于零，则电路的功率情况为（ ）

- 电阻吸收功率，电压源和电流源发出功率
- 电阻与电流源吸收功率，电压源发出功率
- 电阻与电压源吸收功率，电流源发出功率
- 电阻吸收功率，发出功率无法确定

**解** 答案为 C。

根据功率的判断情况可知，电阻元件一直是吸收功率。电压源的电流和电压参考方向一致而且数值大于零，因此电压源吸收功率。对于电流源，电压参考方向和电流参考方向相反，因此发出功率。

2. (浙江农林大学) 某元件上电压和电流的参考方向如图 1.28 所示，通常称其为（ ）

- 同向
- 关联参考方向
- 非关联参考方向
- 异向

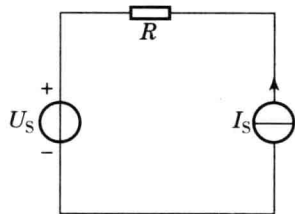


图 1.27

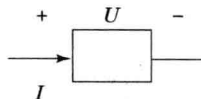


图 1.28