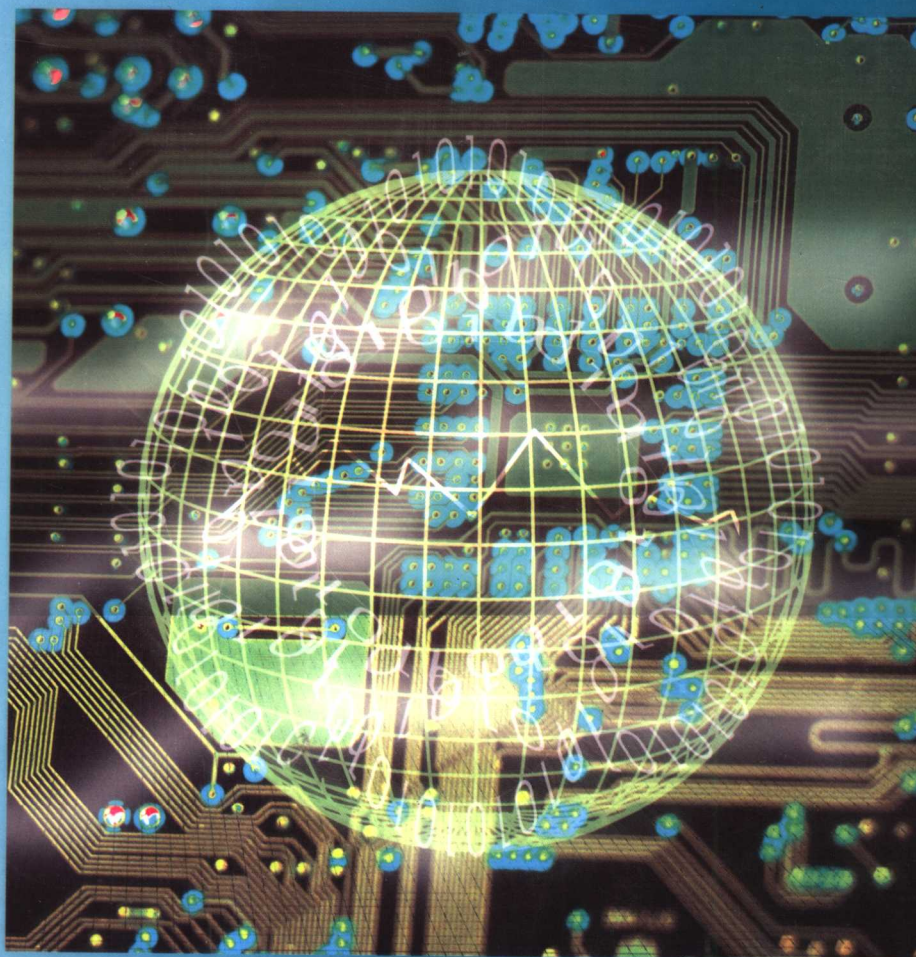


电工技术 学习指导与习题解答

张忠民 徐 伟 李鸿林 主编

DIANGONG JISHU XUEXI ZHIDAO YU XITI JIEDA



哈尔滨工程大学出版社



哈尔滨工程大学
国家工科基础课程教学基地
电工电子类系列教材

电工技术学习指导与习题解答

主 编 张忠民 徐 伟 李鸿林
主 审 席志红

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是根据国家教育部高等工科院校电工学课程指导小组审定的“电工技术课程教学基本要求”编写的教学参考书。

本书内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相正弦交流电路、磁路与变压器、异步电动机、直流电机、常用控制电器及控制线路、可编程控制器、供电与安全用电、通用变频器基础及应用等。每章由教学要求、知识要点、典型例题、习题解答和同步训练五部分组成。本书内容简明扼要,重点突出,具有较强的针对性和指导性。

本书与席志红主编的《电工技术》教材配套使用,可作为高等学校工科非电类各专业本科生、大专生的学习参考书,也可供工程技术人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术学习指导与习题解答/张忠民,徐伟,李鸿林主编.
—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006
ISBN 7-81073-795-3

I.电… II.①张…②徐…③李… III.电工技术-高等学校-教学参考资料 IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006367 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 肇东粮食印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 12.75
字 数 275 千字
版 次 2006 年 12 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000 册
定 价 17.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

《电工技术学习指导与习题解答》是根据国家教育部高等工科院校电工学课程指导小组审定的“电工技术课程教学基本要求”编写的教学参考书,是与哈尔滨工程大学出版社出版的《电工技术》(席志红主编)配套的教学参考书。

该书每章由教学要求、知识要点、典型例题、习题解答和同步训练五部分组成。教学要求是要求学生必须掌握和了解的基本内容;知识要点简述了各章的基本内容、重点与难点,并对知识要点进行整理、归纳与总结;典型例题是精选每一章典型习题进行分析,结合解题思路和方法;习题解答对教材中全部习题作了详细的解答,以供教师教学和学生参考;同步训练是针对每章重点内容以习题的形式对学生的学习情况加以考查。本书旨在使学生方便系统地学习电工技术,了解学习要点,理清知识脉络,通过典型例题掌握解答各类题型的思路、方法、规律和技巧,培养学生分析问题、解决问题的实际能力。

本书由张忠民、徐伟、李鸿林主编,张忠民负责全书的统稿和定稿,全书由席志红教授主审。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2006年10月

目 录

1 电路的基本概念和基本定律	1
教学要求	1
知识要点	1
1.1 本章的基本概念	1
1.2 电路基本元件	3
1.3 电路的基本定律	5
典型例题	6
习题解答	12
同步训练	19
2 电路的基本分析方法	22
教学要求	22
知识要点	22
2.1 电路的等效变换	22
2.2 利用基尔霍夫定律分析电路	24
2.3 利用基本定理分析电路	24
2.4 非线性电阻电路的分析	27
典型例题	28
习题解答	35
同步训练	48
3 电路的暂态分析	51
教学要求	51
知识要点	51
3.1 换路定则及初始值的确定	51
3.2 一阶电路	52
3.3 三要素法	52
3.4 RC 微分电路和积分电路	53
典型例题	53
习题解答	61
同步训练	71
4 正弦交流电路	74
教学要求	74
知识要点	74
4.1 正弦交流电的基本概念	74
4.2 正弦量的表示方法	75
4.3 单一参数交流电路	76

4.4 RLC 串联电路	78
4.5 阻抗的串联与并联	79
4.6 谐振现象	79
4.7 功率因数的提高	80
4.8 非正弦周期信号电路	81
典型例题	81
习题解答	90
同步训练	101
5 三相正弦交流电路	104
教学要求	104
知识要点	104
5.1 三相电源	104
5.2 三相负载	105
5.3 三相功率	106
典型例题	107
习题解答	110
同步训练	114
6 磁路与变压器	116
教学要求	116
知识要点	116
6.1 磁路的基本概念和基本定律	116
6.2 交流铁芯线圈	118
6.3 变压器	119
* 6.4 电磁铁	119
典型例题	120
习题解答	122
同步训练	126
7 异步电动机	128
教学要求	128
知识要点	128
7.1 三相异步电动机分析计算的基本公式	128
7.2 三相异步电动机的运行	130
7.3 单相异步电动机	131
典型例题	132
习题解答	136
同步训练	141
8 直流电机	144
教学要求	144
知识要点	144
8.1 直流电机的结构及工作原理	144

8.2 直流电动机的机械特性	144
8.3 直流电动机的运行	145
典型例题	146
习题解答	149
同步训练	152
9 常用控制电器及控制线路	154
教学要求	154
知识要点	154
9.1 常用控制电器的工作原理	154
9.2 常用控制电器的图形符号	155
9.3 基本控制电路	156
典型例题	159
习题解答	162
同步训练	168
10 可编程控制器	172
教学要求	172
知识要点	172
10.1 可编程控制器(PLC)的编程元件	172
10.2 编程语言	173
典型例题	175
习题解答	177
同步训练	184
11 供电与安全用电	186
教学要求	186
知识要点	186
11.1 电流对人体的危害	186
11.2 触电方式	186
11.3 安全保护	187
11.4 电气防火、防爆	187
12 通用变频器基础及其应用	188
教学要求	188
知识要点	188
12.1 变频调速的基本原理及控制方式	188
12.2 通用变频器的基本结构和主要功能	189
综合训练	191

1 电路的基本概念和基本定律

教学要求

- ①理解电路的组成和基本作用。
- ②掌握电流、电压的定义,深刻理解电流、电压参考方向的概念。
- ③熟练掌握功率的计算(本章重点)。
- ④掌握电阻元件、电感元件、电容元件、电压源、电流源的伏安关系。
- ⑤掌握支路、节点、回路、网孔的定义。
- ⑥理解和掌握基尔霍夫定律(本章重点)。
- ⑦掌握电路中电位的计算。

知识要点

1.1 本章的基本概念

1. 电路

电流流过的全部通路称为电路,也简称为网络。简单地说,我们把电流的通路称为电路。

2. 实际电路

由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成,如发电机、变压器、电池、晶体管及各种电感、电阻、电容等。

3. 电路模型

对实际电器件或设备理想化,即由理想化元件按一定方式连接起来所构成的集合。电路模型能反映实际电路的主要物理特性和功能。由电源、负载、中间元件(导线、开关、熔断器等)三部分构成。

4. 电流

电流是由电荷(带电粒子)有规则地定向运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量,即

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的正方向或实际方向。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,简称直流,可用符号 I 表示。

大小和方向都随时间变化的电流称为交变电流,简称交流,可用符号 i 表示。

在实际电路中,因无法确定某些支路电流的实际方向,因此常采用参考方向。参考方向为任意假定的方向,在电路中用箭头表示。在参考方向下计算出的某电流为正值,说明参考方向与实际方向一致,反之则二者相反,如图 1-1 所示。

注意:若计算出电流 $i < 0$,也不必再改变原来所设的参考方向,因为 i 为负值已经表明电流的实际方向与所设参考方向相反了。

5. 电压与电动势

(1) 电位

在电场中任选一参考点 Q 。 Q 点的电位定义:把单位正电荷从 a 点移到参考点 Q ,电场力所做的功,用 U_a 表示。显然,参考点的电位 $U_Q = 0$ 。

(2) 电压

a, b 两点间的电压在数值上等于把单位正电荷从 a 点移至 b 点电场力所做的功。用公式表示

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq}$$

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差,即

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

式中, u_a, u_b 为 a, b 两点的电位。

习惯上把高电位指向低电位即电压降的方向称为电压的正方向或实际方向。

同电流一样,电压也有直流电压和交流电压之分。直流电压用 U 表示,而交流电压用 u 表示。

在实际电路中,由于某些支路电压的实际方向难以确定,因此电压也常采用参考方向(也叫参考极性)。电压的参考方向(极性)为任意假定的方向(极性),在电路中参考方向的高电位用“+”表示,低电位用“-”表示。在参考方向(极性)下,计算出的某电压 u 为正值,说明电压 u 的实际方向(极性)与所设的参考方向(极性)相同,反之二者方向(极性)相反,如图 1-2 所示。

(3) 电动势

a, b 两点之间的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位点 b 经电源内部移至高电位点 a 所做的功,用公式表示

$$e_{ba} = \frac{dW}{dq}$$

注意:①电动势 e_{ba} 与电位 u_{ab} 之间是大小相等、方向相反的。

②电动势 e 通常指的是电源内部,而电压 u 指的是电源外部。



图 1-1 电流的参考方向

- (1)若电流 $i > 0$,表示电流的实际方向由 a 流向 b ;
- (2)若电流 $i < 0$,表示电流的实际方向由 b 流向 a 。

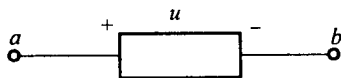


图 1-2 电压的参考方向(极性)

- (1)若电压 $u > 0$,表示电压的实际方向(极性)为 a 高 b 低;
- (2)若电压 $u < 0$,表示电压的实际方向(极性)为 a 低 b 高。

6. 关联参考方向

所谓关联参考方向是指电流的参考方向与电压的参考方向即“+”到“-”的方向一致,否则为非关联参考方向,如图 1-3(a)、(b)所示。

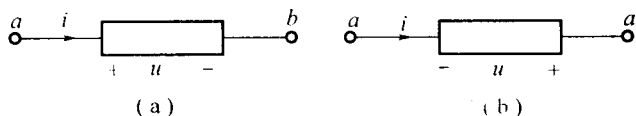


图 1-3 关联参考方向和非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

分析电路时注意:

- ① 电路中标出的电流方向或电压极性都是参考方向。
- ② 如果题中给定了参考方向,就按给定的参考方向做,如果没有给定参考方向,首先要选定参考方向,并在电路图中标出。没有参考方向的电压,电流没有任何意义。
- ③ 按参考方向求出的值为正,说明实际方向与参考方向相同;为负,说明二者方向相反。相反时也不要改成实际方向。

7. 功率

电场力在单位时间内所做的功,即

$$P = \frac{dW}{dt}$$

式中 dW 为 dt 时间内电场力做的功,单位为焦耳(J); dt 的单位为秒(s);功率 P 的单位为瓦特(W)。

如果某部分电路的电压为 u ,流过的电流为 i ,因为关联参考方向如图 1-4 所示,则功率 P 可表示为

$$P = ui$$

若 u, i 为非关联参考方向,则功率 P 还可表示为

$$P = -ui$$

在用上两式计算功率时,由于采用的是参考方向, u, i 可正、可负。当计算出的 $P > 0$ 时,表示该部分电路吸收或消耗功率,在电路中起到电源的作用;若 $P < 0$ 时,表明该部分电路产生或发出功率,在电路中起到负载的作用。

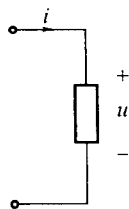


图 1-4 电路关联参考方向

8. 支路

两端元件或若干两端元件串联组成的不分岔的一段电路称为支路。

9. 节点

电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。

10. 回路

电路中任一闭合路径称为回路。

11. 网孔

电路中没有其他支路穿过的回路称为网孔。

1.2 电路基本元件

电路的基本元件按其不同的特点可分为线性元件和非线性元件;二端元件和多端元件;

无源元件和有源元件等。表 1-1 列出电路分析中常用的线性二端元件的意义、符号和主要特性。

表 1-1 电路常用的线性二端元件

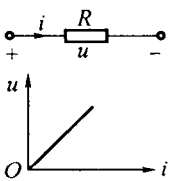
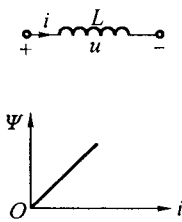
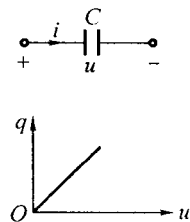
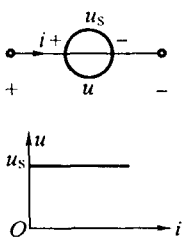
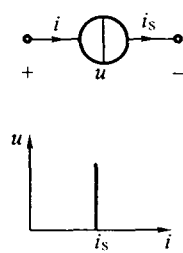
元件名称	定义	电路符号及特性曲线	主要特性
线性电阻元件	电压与电流关系是由 $u-i$ 平面上通过原点的直线所描述的二端元件		1. 消耗电能 $P = ui = i^2 R = u^2 / R = Gu^2$ 2. VAR*: $u = Ri$ ($u = - Ri$ 非关联参考方向) 3. 无源性 4. 双向性 5. 无记忆性
线性电感元件	磁链与电流关系是由 $\Psi-i$ 平面上通过原点的直线所描述的二端元件		1. 存储磁场能量: $w_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t)$ 2. 韦安关系: $\Psi = Li$ 3. VAR: $u = L \frac{di}{dt}$ ($u = - L \frac{di}{dt}$ 非关联参考方向) 4. 无源性 5. 双向性 6. 记忆性 $i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(x) dx = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(x) dx$
线性电容元件	电荷与电压关系是由 $q-u$ 平面上通过原点的直线所描述的二端元件		1. 存储电场能量: $w_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t)$ 2. 库伏关系: $q = Cu$ 3. VAR: $i = C \frac{du}{dt}$ ($i = - C \frac{du}{dt}$ 非关联参考方向) 4. 无源性 5. 双向性 6. 记忆性 $u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(x) dx = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(x) dx$

表 1-1(续)

元件名称	定义	电路符号及特性曲线	主要特性
理想电压源	能独立向外提供恒定或随时间变化的电压而与其流过的电流无关的二端元件		1. $u = u_s$ (由元件本身决定) 2. i 为不定值 (由外电路决定) 3. 有源性
理想电流源	能独立向外提供恒定或随时间变化的电流而与其二端电压无关的二端元件		1. $i = i_s$ (由元件本身决定) 2. u 为不定值 (由外电路决定) 3. 有源性

* VAR 是英文 Volt Ampere Relation 的缩写,即伏安关系。

1.3 电路的基本定律

电路的基本定律指的是基尔霍夫定律,基尔霍夫定律包括两个定律,即基尔霍夫电流定律(简称 KCL)和基尔霍夫电压定律(简称 KVL)。基尔霍夫定律是电路所遵循的基本规律,是解决电路问题的基本依据之一。

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

①在任一瞬间,流向某一节点的电流之和应等于由该节点流出的电流之和。其数学表达式:

$$\sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$$

②也可以说在任一瞬间,一个节点上电流的代数和恒等于零。其数学表达式:

$$\sum i = 0$$

在写上式时,我们可以规定,流入节点电流前取正号,流出节点的电流前取负号。

说明:

①KCL 是电荷守恒定律在电路中的体现,反映了电流的连续性。

②KCL 与元件性质无关,是对支路电流施加的约束。

③KCL 不仅适用于节点,还可应用于闭合面。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

①在任一瞬间,从回路中任一点出发,按照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等于电位升之和。其数学表达式:

$$\sum u_{\text{降}} = \sum u_{\text{升}}$$

②也可以说在任一瞬间,沿任一回路循环方向(顺时针方向或逆时针方向),回路中各段电压代数和恒为零。其数学表达式:

$$\sum u = 0$$

在写上式时,我们可以规定:当电压降方向与绕行方向一致时,该电压前取正号,反之取负号。

③如果回路中无源元件都是由线性电阻构成,则 KVL 定律还可以表示:在回路内,电阻上电压降的代数和等于电压源电位升的代数和。其数学表达式:

$$\sum (Ri) = \sum u_s$$

说明:

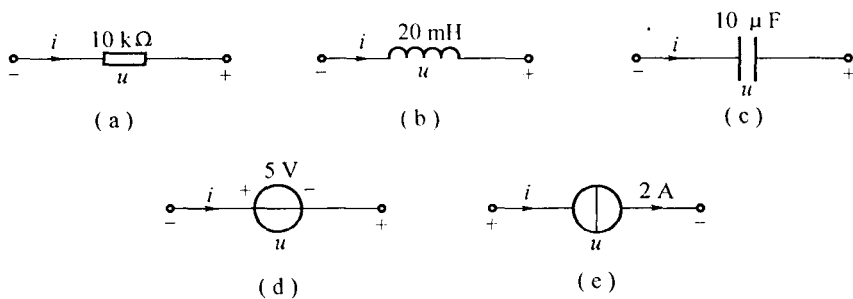
①KVL 是能量守恒定律在电路中的体现,反映了电压与路径关系的特点。

②KVL 与元件性质无关,是对支路电压所施加的约束。

③KVL 不仅适用于闭合回路,而且还可应用于开口电路。

典型例题

例 1-1 在指定的电压 u 和电流 i 参考方向下,写出各元件 u 和 i 的约束方程(元件的组成关系)。



例 1-1 图

解 图(a)为线性电阻元件,其电压、电流关系满足欧姆定律。需要明确:①欧姆定律只适用于线性电阻;②如果电阻 R 上的电流、电压参考方向非关联,欧姆定律公式中应冠以负号,即 $u(t) = -Ri(t)$ 。由以上两点,图(a)电阻元件 u 和 i 的约束方程为

$$u = -Ri = -10 \times 10^3 i = -10^4 i$$

欧姆定律表明,在参数值不等于零、不等于无限大的电阻上,电流与电压是同时存在,同时消失的。即电阻元件是无记忆元件,也称即时元件。

图(b)为线性电感元件,其电压、电流关系的微分形式: $u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$ 。如果电压、电流参考方向非关联,上式中应冠以负号,因此图(b)中电感元件 u 和 i 的约束方程为

$$u = -L \frac{di}{dt} = -20 \times 10^{-3} \frac{di}{dt}$$

电感元件的电压、电流微分关系表明:①任何时刻,其电压与该时刻的电流变化率成正比。显然直流时,电感电压为零,电感相当于短路。因此,电感是一个动态元件。②当电感上的电压为有限值时,电感中的电流不能跃变,应是时间的连续函数。

图(c)为线性电容元件,其电压、电流关系的微分形式: $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$ 。如果电压、电流的参考方向非关联,上式中应冠以负号,即 $i(t) = -C \frac{du(t)}{dt}$ 。所以图(c)中电容元件 u 和 i 的约束方程为

$$i = C \frac{du}{dt} = 10 \times 10^{-6} \frac{du}{dt} = 10^{-5} \frac{du}{dt}$$

电容元件的电压、电流微分关系表明:①任何时刻,通过电容的电流与该时刻其上的电压变化率成正比,即电容是一个动态元件。显然,直流时电容电流为零,电容相当于开路。②当电容上的电流为有限值时,电容上的电压不能跃变,必须是时间的连续函数。

图(d)是理想电压源,理想电压源的特点:①其端电压与流经它的电流方向、大小无关。②其电压由自身决定,与所接外电路无关,而流经它的电流由它及外电路所共同决定。由以上特点得图(d)的约束方程为

$$u = -5 \text{ V}$$

图(e)是理想电流源。理想电流源的特点:①其发出电流 $i(t)$ 与其两端电压大小、方向无关。②其输出电流由它自身决定,与所接外电路无关,而它两端电压由它输出的电流和外电路共同决定。由以上特点得图(e)的约束方程为

$$i = 2 \text{ A}$$

注:以上五个理想元件是电路分析中常遇到的元件。元件的电压、电流的约束方程,反映了每一元件的特性和确定的电磁性质。不论元件接入怎样的电路,其特性是不变的,即它的 u, i 约束方程是不变的。因而深刻地理解和掌握这些方程,就是掌握元件的特性,对电路分析是非常重要的。

例 1-2 电路如图所示,其中 $i_S = 2 \text{ A}$, $u_S = 10 \text{ V}$ 。

- (1) 求 2 A 电流源和 10 V 电压源的功率。
- (2) 如果要求 2 A 电流源的功率为零,在 AB 线段应插入何种元件? 分析此时各元件的功率。
- (3) 如果要求 10 V 电压源的功率为零,则应在 BC 间并联何种元件? 分析此时各元件的功率。

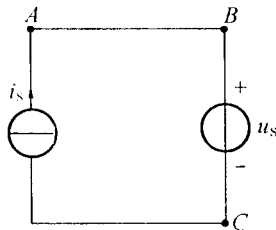
解 (1) 电流源发出功率

$$P = u_S i_S = 10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

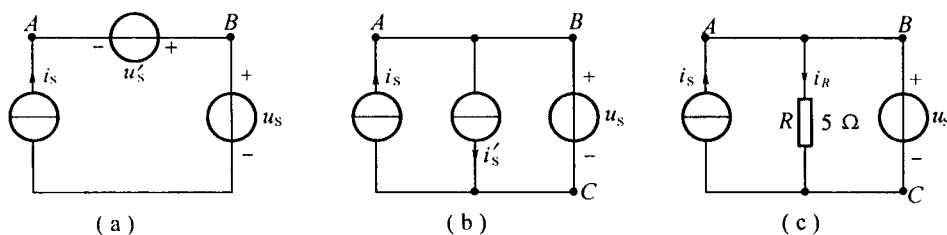
电压源吸收功率

$$P = u_S i_S = 10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

- (2) 若要 2 A 电流源的功率为零,则需使其两端电压为零。在 AB 间插入 $u'_S = 10 \text{ V}$ 电压



例 1-2 图



例 1-2 解图

源,极性如解图(a)所示。此时,电流源的功率为 $P = 0 \text{ V} \times i_s = 0 \text{ W}$ 。插入的电压源发出功率 20 W ,原来的电压源吸收功率 20 W 。

(3)若要 10 V 电压源的功率为零,则需使流经电压源的电流为零。可以采取在 BC 间并联 $i'_s = 2 \text{ A}$ 的电流源,如解图(b)所示,或并联 $R = u_s/i_s = 10 \text{ V}/2 \text{ A} = 5 \Omega$ 的电阻,如解图(c)所示。

解图(b)中,因为 $i_s = i'_s$,由 KCL 可知,流经 u_s 的电流为零,所以 u_s 的功率为零。原电流源发出功率

$$P = u_s i_s = 10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

并入电流源吸收功率

$$P = u_s i'_s = 10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

解图(c)中,流经电阻的电流为

$$i_R = \frac{u_s}{R} = \frac{10 \text{ V}}{5 \Omega} = 2 \text{ A}$$

由 KCL 可知,流经 u_s 的电流为零,因此, u_s 的功率为零。此时,电流源发出功率

$$P = u_s i_s = 10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

电阻消耗功率

$$P = \frac{u_s^2}{R} = \frac{(10 \text{ V})^2}{5 \Omega} = 20 \text{ W}$$

注:本题说明,计算理想电源的功率,需计算理想电流源的端电压值和流经理想电压源的电流值。而电流源的端电压可以有不同的极性,流经电压源的电流可以有不同的方向,它们的数值可以在 $0 \sim \infty$ 之间变化,这些变化取决于外接电路的情况。因此,理想电源可以对电路提供能量(起电源作用),也可以从外电路接收能量(充当其它电源的负载)。

例 1-3 图示电路中,已知: $U_{S1} = 15 \text{ V}$, $U_{S2} = 5 \text{ V}$, $I_s = 1 \text{ A}$, $R = 5 \Omega$,求电路中各元件上的功率,指出哪些元件是电源,哪些是负载?并验证功率平衡关系。

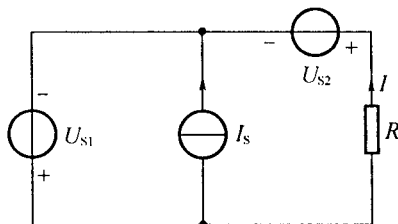
解 先求通过电阻 R 的电流 I :

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R} = 2 \text{ A}$$

则电路中各元件上的功率

$$P_{S1} = U_{S1} (I_s + I) = 15 \text{ V} \times (1 \text{ A} + 2 \text{ A}) = 45 \text{ W}$$

$$P_{S2} = -U_{S2} I = -5 \text{ V} \times 2 \text{ A} = -10 \text{ W}$$



例 1-3 图

$$P_S = -U_{S1} I_S = -15 \text{ V} \times 1 \text{ A} = -15 \text{ W}$$

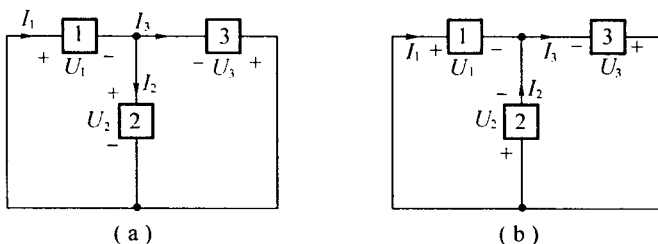
$$P_R = I^2 R = (2 \text{ A})^2 \times 5 \Omega = 20 \text{ W}$$

因此 U_{S1} 是电源, 发出功率 45 W, U_{S2} , I_S 和 R 均为负载, 总吸收功率为 45 W, 功率平衡。

注: 本题说明, 在计算理想电源功率时, 其端电压和流经理想电源的电流可取非关联参考方向。如为关联参考方向, 则需加上一个负号。根据计算结果是正值还是负值来判断该电源在电路中的作用。

例 1-4 如图(a)所示电路中, 三个元件代表了电源或负载电阻, 图中已标出各元件电压和电流的参考方向。

已知 $U_1 = 2 \text{ V}$, $U_2 = -2 \text{ V}$, $U_3 = 2 \text{ V}$; $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = 5 \text{ A}$, 求: (1) 标出各电流的实际方向和电压的实际极性; (2) 各元件是作为电源还是作为负载?



例 1-4 图

解 (1) 图中各元件均标出电流和电压的参考方向。已知 U_1, U_3, I_1, I_3 为正值, 说明它们的实际方向与参考方向一致; U_2 和 I_2 为负值, 说明它们的实际方向与参考方向相反。因而得出图(b)中各元件电压、电流的实际方向。

(2) 元件 1 的电流和电压是关联参考方向, 故 $P_1 = U_1 I_1 = 2 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 4 \text{ W} > 0$ 。这说明元件 1 消耗功率, 是负载。

元件 2 的电流和电压是关联参考方向, 故 $P_2 = U_2 I_2 = (-2 \text{ V}) \times (-3 \text{ A}) = 6 \text{ W} > 0$ 。这说明元件 2 消耗功率, 是负载。

元件 3 的电流和电压是非关联参考方向, 故 $P_3 = -U_3 I_3 = -2 \text{ V} \times 5 \text{ A} = -10 \text{ W} < 0$ 。这说明元件 3 产生功率, 是电源。

由计算结果知, 该电路产生的功率和消耗的功率符合功率平衡关系, 即 $|P_1 + P_2| = |P_3|$ 。

例 1-5 $2 \mu\text{F}$ 的电容上所加电压 u 的波形如图所示。求 (1) 电容电流 i ; (2) 电容电荷 q ; (3) 电容吸收的功率 P 。

解 (1) 电压 $u(t)$ 的函数表示式为

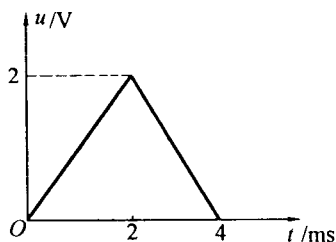
$$u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 10^3 t & 0 \leq t < 2 \\ 4 - 10^3 t & 2 \leq t < 4 \\ 0 & 4 \leq t \end{cases}$$

根据电容元件 u, i 的微分关系, 得电流 $i(t)$ 的函数表示式为

$$i(t) = 2 \times 10^{-6} \frac{du(t)}{dt} = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 2 \times 10^{-3} \text{ A} & 0 < t < 2 \\ -2 \times 10^{-3} \text{ A} & 2 < t < 4 \\ 0 & 4 < t \end{cases}$$

(2) 因为 $C = \frac{q}{u}$, 所以有

$$q(t) = Cu(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 2 \times 10^{-3} t & 0 \leq t < 2 \\ 2 \times 10^{-6} (4 - 10^3 t) & 2 \leq t < 4 \\ 0 & 4 \leq t \end{cases}$$

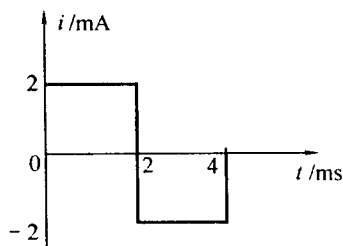


例 1-5 图

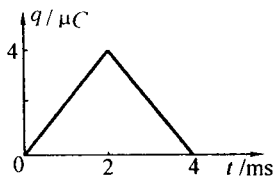
(3) 在电压电流参考方向关联时, 电容元件吸收的功率为

$$P(t) = u(t)i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 2t & 0 \leq t < 2 \\ -2 \times 10^{-3} (4 - 10^3 t) & 2 \leq t < 4 \\ 0 & 4 \leq t \end{cases}$$

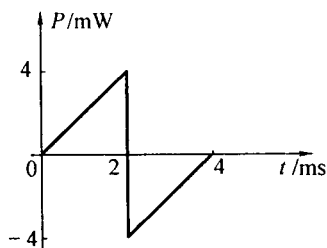
$i(t)$, $q(t)$, $P(t)$ 波形如例 1-5 解图所示。



(a)



(b)



(c)

例 1-5 解图

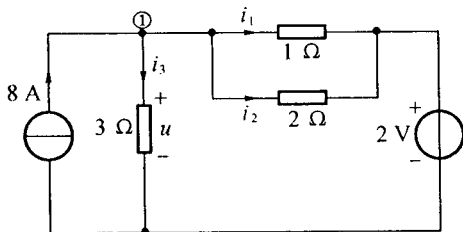
注: 在图(c)所示的功率 $P(t)$ 波形中, $P(t) > 0$, 表示电容吸收功率, 处于充电状态, 其电压和电荷随时间增加; $P(t) < 0$, 表示电容发出功率, 处于放电状态, 其电压和电荷随时间减小。 $P(t) > 0$ 和 $P(t) < 0$ 的两部分面积相等, 说明电容元件不消耗功率, 是一种储能元件。同时它也不会释放出多于它吸收或储藏的能量。因此, 电容是一种无源元件, 它只与外部电路进行能量交换。需要指出的是, 电感元件也具有这一性质。

例 1-6 利用 KCL 和 KVL 求解图示电路中的电压 u_o 。

解 在图中设电流 i_1 , i_2 和 i_3 , ①号节点上的 KCL 方程为

$$i_1 + i_2 + i_3 = 8$$

$$\text{KVL 方程为 } i_1 - 3i_3 = -2$$



例 1-6 图