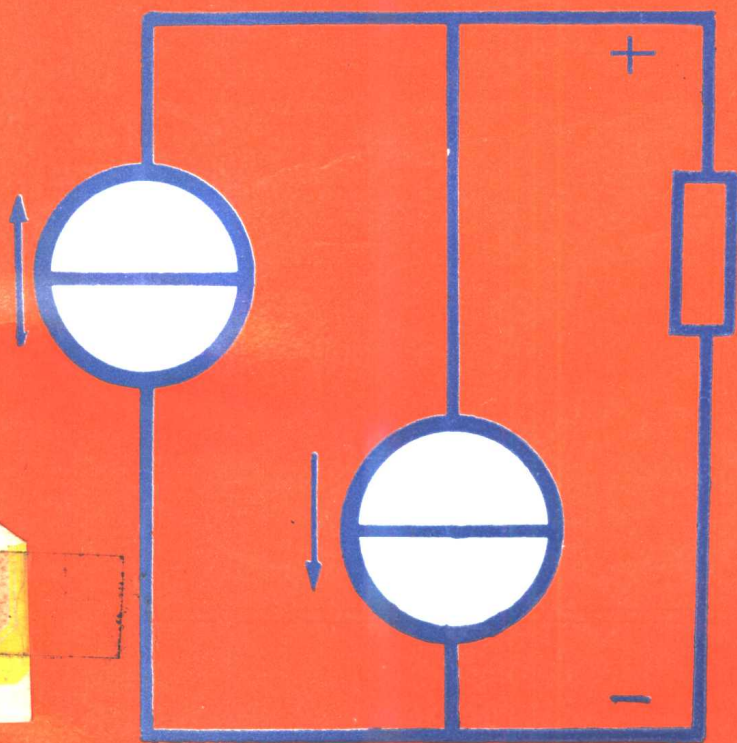


电路及磁路 学习指导

汤放奇 主编



气象出版社

电路及磁路学习指导

气象出版社

(京)新登字046号

内 容 提 要

本书是按照国家教委对电路(及磁路)课程的基本要求编写的。全书共分12章,包含电路及磁路的基本内容,每章均分重点与难点、学习指导、例题分析三部分。侧重于对本课程的重点、难点加以指导,对精选出的近200个典型例题给出启发式的解答,并从解题角度进行归纳性的叙述。另外还配置了5套阶段测验题,便于读者自我检测。

本书可作为高等院校(包括职工大学、电视大学、函大、夜大等)电类专业学生的教学辅导用书,也可供教师备课时参考。

电路及磁路学习指导

汤放奇 主编

责任编辑:史秀菊 刘美琳 终审:陶国庆

封面设计:严瑜仲 责任技编:岳景增 责任校对:白凌燕

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号 邮编:100081)

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/32 印张:10.75 字数:237千字

1995年3月第一版 1995年3月第一次印刷

ISBN 7-5029-1863-9/TN·0016

印数:1—7000 定价:7.90元

前 言

电路（及磁路）课程是高等工科院校电类专业的重要技术基础课，在电类专业学生的知识结构中占有极其重要的地位，是后续课程学习中必不可少的基础。

本课程理论严密、逻辑性强，与工程实践联系紧密。在学习中重点、难点较多，且习题灵活多样，概念覆盖面宽，解题难度较大。为此，我们谨编此书，力图帮助读者更好地掌握基本概念，提高分析问题和解决问题的能力，掌握一定的解题技巧。

本书的第一～五章、十一章由汤放奇编写；第八、九、十章由刘菊春编写；第六、七、十二章由蒋寿生编写；全书由汤放奇主编。

本书由湖南大学陈彩屏教授主审。全书的初稿经叶国恭、陈意军副教授仔细审阅，并提出宝贵意见，谨致以衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不当和错误在所难免，衷心希望读者批评指正。

编者 1994.8

3A-09/01

目 录

前言

第一章 电路的基本概念和基本定律	(1)
第二章 电阻电路的等效变换	(15)
第三章 网络的基本分析方法和定理	(33)
第一阶段测验题	(60)
第四章 正弦电流电路	(65)
第五章 互感与谐振	(102)
第二阶段测验题	(135)
第六章 三相电路	(140)
第七章 非正弦周期电流电路	(163)
第八章 非线性电阻电路	(176)
第三阶段测验题	(188)
第九章 线性电路过渡过程的时域分析	(193)
第十章 线性电路过渡过程的复频域分析	(252)
第四阶段测验题	(280)
第十一章 二端口网络	(284)
第十二章 磁路和铁心线圈电路	(310)
第五阶段测验题	(331)
阶段测验题答案	(334)
参考文献	(337)

第一章 电路的基本概念和基本定律

一、重点和难点

1. 本章介绍了电压、电流的参考方向,在学习时要弄清楚为什么要引入参考方向,参考方向是怎样规定的,以及参考方向与实际方向之间的关系。

2. 本章介绍了电阻、独立电源、受控电源这些理想电路元件,它们是从实际器件中抽象出来的具有某一种确定的电磁性质的假想元件。学习时,应注意理想电路元件与实际器件间的联系与区别,还应熟练掌握理想电路元件中电压与电流参考方向的习惯标示方法,以及在习惯标示方法下理想电路元件的伏安关系式和功率计算。这些都是电路分析的基础。

3. 基尔霍夫定律是集总电路的基本定律,它们是分析计算电路的主要依据。在学习时,要经常有意识地应用基尔霍夫定律去分析问题,以求熟练掌握。

二、学习指导

(一) 电路与电路模型

实际电路是由若干电气设备和器件联接而成的,它们构成了电流流通的路径。

电路的作用有二:一是产生、传输、分配和使用电能;二是传递、处理和存贮信号。

电路理论中所研究的电路是指由理想电路元件构成的电路模型。所谓理想电路元件是具有某一种确定的电磁性质的

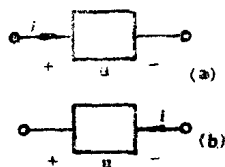
假想元件，它们具有精确的数学定义，能够用来表征实际器件中的某一主要电磁性能。如电炉、电灯、电阻器等器件，其主要电磁特性是消耗电能，而电场和磁场方面的特性是次要的，故可用理想电阻元件来替代电阻器等实际器件。

理想电路元件是集总元件，由集总元件构成的电路称为集总电路。采用集总参数的概念是有条件的，此条件是，构成电路的器件以及电路本身的尺寸，要远小于电路工作时电磁波的波长。今后我们所说的电路，均指这种由理想电路元件构成的电路模型，而并非实际电路。

(二) 电压、电流的参考方向与功率

电压、电流的参考方向是在分析电路时任意指定的方向，要确定电路中电压、电流的实际方向，必须依指定的参考方向与电压、电流的正、负值而定。当电压、电流为正值时，实际方向与参考方向相同；当电压、电流为负值时，实际方向与参考方向相反。

电路图中所标明的方向均为参考方向，且所有电路方程均按参考方向来列写。



(a) 关联参考方向 $p=ui$

(b) 非关联参考方向 $p=-ui$

图1-1 u 、 i 参考方向间的关系 电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向(图1-1a)，否则称为非关联参考方向(图1-1b)。当电压、电流的参考方向取关联参考方向时，该段电路或该

在一段电路或一个元件上，电压的参考方向和电流的参考方向可以独立地加以任意指定。若指定电流从标有电压“+”极性的一端流入，并从标有“-”极性的另一端流出，即电流的参考方向与电压的参考方向一致，则把

元件吸收的功率为

$$p=ui \quad (1-1)$$

当电压、电流采用非关联参考方向时, 则有

$$p=-ui \quad (1-2)$$

上述两种情况下, 当算得的功率为正值时, 表示这部分电路或该元件吸收功率相当于负载; 算得的功率为负值时, 表示这部分电路发出功率(吸收负功率), 相当于电源。

(三) 理想电路元件

1. 电阻元件

电阻元件是一种理想二端元件。在任何时刻, 线性电阻元件两端的电压与流过它的电流间的关系服从欧姆定律。在关联参考方向下, 有

$$u=Ri \quad \text{或} \quad i=Gu \quad (1-3)$$

非关联参考方向下, 则为

$$u=-Ri \quad \text{或} \quad i=-Gu \quad (1-4)$$

若 R 和 G 与电压、电流无关, 为一常数, 则称为线性电阻。否则称为非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线为 $u \sim i$ 平面上过原点的一条直线。(见图1-2)

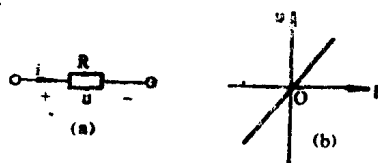


图1-2 线性电阻元件及其伏安特性曲线

电阻元件上电压、电流一般取关联参考方向, 在此标示下, 线性电阻元件吸收的功率为

$$p=ui=Ri^2=Gu^2>0 \quad (1-5)$$

p 恒为正值, 表明任何时刻电阻元件均吸收功率, 而不可能发出功率, 故线性电阻元件为无源、耗能元件。

欧姆定律指出, 线性电阻元件任时刻的电压(或电流)

只与该时刻的电流（或电压）有关，而与该时刻以前的电流（或电压）的各种值无关。故电阻元件又是“无记忆元件”。

2. 电压源、电流源

(1) 电压源是一种二端理想元件，元件的端电压与通过它的电流无关，总保持唯一确定的时间函数，而流过电压源的电流则与它所联接的外电路有关。直流电压源的端电压为常数，其伏安特性曲线为一平行于电流轴的直线（见图1-3）。

(2) 电流源也是一种二端理想元件，通过电流源的电流与它两端的电压无关，总保持为某给定的时间函数，而电流源的端电压则与它所联接的外电路有关。直流电流源的输出电流为常数，伏安特性曲线为一平行于电压轴的直线（见图1-4）。

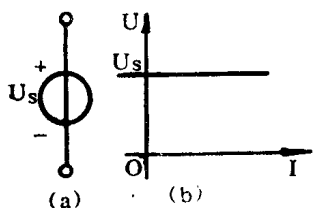


图1-3 直流电压源及其伏安特性曲线

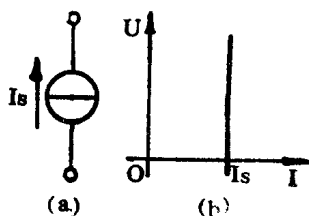


图1-4 直流电流源及其伏安特性曲线

电压源、电流源为有源元件，它们的电压与电流通常取非关联参考方向。在此标示下，电压源、电流源的功率为

$$p = -ui \quad (1-6)$$

此时，若 $p < 0$ ，电压源或电流源发出功率，处于电源工作状态；若 $p > 0$ ，则电压源、电流源吸收功率，处于负载工作状态。

电压源的电压和电流源的电流均不受外电路的影响，称

为独立电源，它们在电路中起“激励”的作用，将在电路中产生电流和电压响应。因为它们在电源工作状态时，发出功率。

所谓独立电源不作用，是指电压源的电压为零，或电流源的电流为零。此种情况下，应将电压源用“短路”代替，将电流源用“开路”代替。

在电压源上，当电压与电动势的参考方向一致时（见图1-5a），有

$$u = -e \quad (1-7)$$

当二者参考方向相反时（见图1-5b），有

$$u = e \quad (1-8)$$

这是因为电压与电动势的实际方向总是相反的。

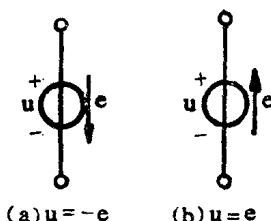


图1-5 电压源上电压与电动势的关系

实际电源的内部总存在着损耗，故实际电源的电路模型是电压源与电阻的串联组合，或电流源与电导的并联组合。实际直流电源的电路模型及伏安特性分别如图1-6、图1-7所示。其端电压与输出电流的关系为

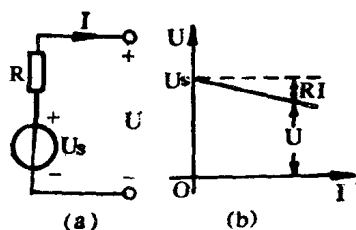


图1-6 由电压源构成的实际电源模型

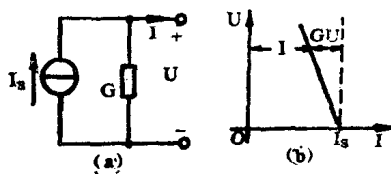


图1-7 由电流源构成的实际电源模型

$$U = U_s - RI \quad (1-9)$$

或 $I = I_s - GU \quad (1-10)$

3. 受控源

受控源是一种具有两对端组的理想元件。受控电压源的电压与受控电流源的电流，受电路中某一部分的电流或电压控制。根据控制量与被控制量是电压还是电流，可将受控源分为四类，有

电压控制电压源 (VCVS)

电压控制电流源 (VCCS)

电流控制电压源 (CCVS)

电流控制电流源 (CCCS) 如图1-8所示。

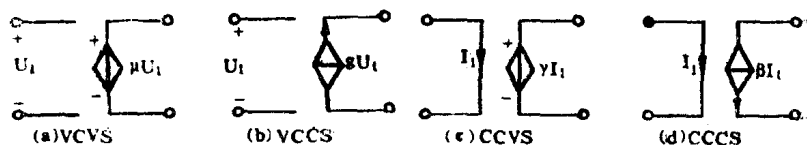


图1-8 受控源

当控制系数 μ 、 g 、 γ 、 β 为常数时，被控制量与控制量成正比，这种受控源称为线性受控源。

受控源与独立电源不同，独立电压源的电压与独立电流源的电流是独立的，与所接外电路无关，它们在电路中起着“激励”的作用；而受控电压源的电压或受控电流源的电流，则要受电路中其他电压或电流所控制，当这些控制量为零时，受控电压源的电压或受控电流源的电流也就为零。因此，受控源本身不直接起“激励”的作用，它只是用来反映电路中某处的电压或电流，能控制另一处的电压和电流这一现象而已。

(四) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路理论的基础。KCL确定了集总电路中任一节点处的电流必须服从的约束关系，而KVL则确定了集总电路中任一回路内所有电压必须服从的约束关系。这两个定律仅与元件的相互联接有关，而与元件的性质无关。故这种约束关系称为“拓扑”约束。它具有普遍意义。不论元件是线性的还是非线性的，时变的还是非时变的，只要是集总电路，KCL和KVL总是成立的。

学习基尔霍夫定律时，应注意两点。

1. KCL和KVL方程均按电流、电压参考方向列出，但将电流、电压的正、负值代入方程后，便相当于是按实际方向列出。基尔霍夫定律自动得到满足。

2. 运用KVL时，应注意其两种表达形式中电压源的正、负取号问题。

(1) 在集总电路中，任何时刻，沿任一回路所有支路电压的代数和恒等于零。

$$\sum u = 0 \quad (1-11)$$

所以，电压源从正到负的参考极性与绕向一致时，该电压源的电压在式中取正号，反之取负号。

(2) 在集总电路中，任何时刻，沿任一回路各电阻压降的代数和，恒等于各电压源电位升的代数和。

$$\sum Ri = \sum u_s \quad (1-12)$$

在此，电压源 u_s 是作为电位升出现在等号右边，故当电压源从负到正的参考极性与绕向一致时，该电压源 u_s 在等号右边取正号，反之取负号。而在电阻元件上，由于电流、电压一般取关联参考方向，故当电流参考方向与绕向一致时，该电阻压降在等号左边取正号，反之取负号。

KCL和KVL及元件的VCR，是分析计算一切集总电路的基本依据。

三、例题分析

本章介绍了理想电路元件和基尔霍夫定律，因此，本章的习题大体上分为两类：一是运用理想电源的特性和 KCL、KVL 及欧姆定律，求电路响应；二是计算元件的功率，依计算结果的正、负判别元件的性质。

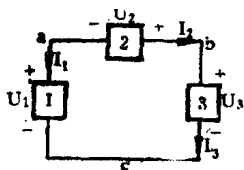


图1-9 例1-1图

例1-1 图1-9示电路中，各元件电压、电流的参考方向如图所示。今已知

$$I_1 = -4\text{A} \quad I_2 = 4\text{A} \quad I_3 = 4\text{A}$$

$$U_1 = 140\text{V} \quad U_2 = -90\text{V}$$

$$U_3 = 50\text{V}$$

(1) 确定各电流、电压的实际方向；

实际方向；

(2) 计算各元件的功率，并判断元件的性质。

解：(1) 当电流、电压为正值时，实际方向与参考方向相同；为负值时，则实际方向与参考方向相反。故有

I_1 实际方向为 $c \rightarrow a$ ； U_1 实际极性为 a “+”， c “-”。

I_2 实际方向为 $a \rightarrow b$ ； U_2 实际极性为 a “+”， b “-”。

I_3 实际方向为 $b \rightarrow c$ ； U_3 实际极性为 b “+”， c “-”。

(2) U_1 、 I_1 为关联参考方向，有

$$P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) = -560\text{W} < 0$$

故元件 1 发出功率，为电源。

U_2 、 I_2 为非关联参考方向，有

$$P_2 = -U_2 I_2 = -(-90) \times 4 = 360\text{W} > 0$$

故元件 2 吸收功率，为负载。

U_3 、 I_3 为关联参考方向，有

$$P_3 = U_3 I_3 = 50 \times 4 = 200 \text{ W} > 0$$

故元件 3 吸收功率，为负载。

负载吸收的总功率为 $P_2 + P_3 = 560 \text{ W}$ ，等于电源发出的功率，功率守恒。

例1-2 求图 1-10 所示电路中各未知电压与电流。

已知 $U_{s1} = 15 \text{ V}$ ， $I_s = 1 \text{ A}$ ， $U_{s2} = 5 \text{ V}$ ， $R = 5 \Omega$ 。

解： U 的参考方向与 U_{s1} 参考方向相反，故

$$U = -U_{s1} = -15 \text{ V}$$

对大回路应用 KVL，绕向如图所示，有

$$RI_2 - U_{s1} + U_{s2} = 0$$

代入已知数据得 $5I_2 - 15 + 5 = 0 \quad \therefore I_2 = 2 \text{ A}$

对节点 a 应用 KCL，有 $I_1 - I_s + I_2 = 0$

$$\therefore I_1 = I_s - I_2 = 1 - 2 = -1 \text{ A}$$

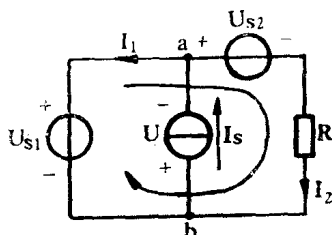


图1-10 例1-2图

例1-3 图1-11所示电路为某电路的一部分，求 I_x 和 u_{ab} 。

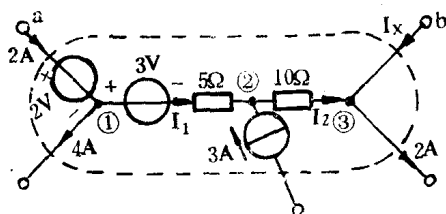


图1-11 例1-3图

解：对节点①应用 KCL，有 $I_1 = 2 - 4 = -2 \text{ A}$

对节点②, 有 $I_2 = I_1 + 3 = -2 + 3 = 1\text{A}$

对节点③, 有 $I_x = 2 - I_2 = 2 - 1 = 1\text{A}$

也可应用广义节点的概念, 作一封闭面如图示有

$$I_x = 4 + 2 - 2 - 3 = 1\text{A}$$

而依KVL, 有

$$u_{ab} = 2 + 3 + 5I_1 + 10I_2 = 5 + 5 \times (-2) + 10 \times 1 = 5\text{V}$$

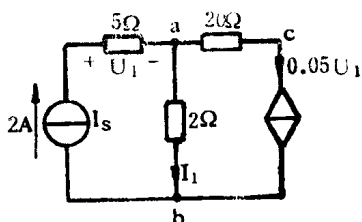


图1-12 例1-4图

例1-4 求图 1-12 所示

电路的电压 U_{ab} 、 U_{cb} 。

解: $\because U_1 = 5I_s = 5 \times 2$

$$= 10\text{V}$$

$\therefore$ 受控电流源的电流为

$$0.05U_1 = 0.05 \times 5I_s = 0.25$$

$$I_s = 0.5\text{A}$$

在节点a, 有

$$I_1 = I_s - 0.05U_1 = I_s - 0.25I_s = 0.75I_s = 1.5\text{A}$$

$$U_{ab} = 2I_1 = 2 \times 0.75I_s = 1.5I_s = 3\text{V}$$

$$U_{cb} = -20 \times 0.05U_1 + U_{ab} = -5I_s + 1.5I_s$$

$$= -3.5I_s = -7\text{V}$$

由此例可见, 电路中所有响应都是由独立电源所激起的,

若无独立电源, 即 $I_s = 0$,

则所有响应 U_1 、 I_1 、 U_{ab} 、 U_{cb} 等及受控电流源的电流都将为零。这也说明了受控源不是激励源。

例1-5 求图 1-13 所示电路中各独立电源的功率。

解: 依欧姆定律, 有

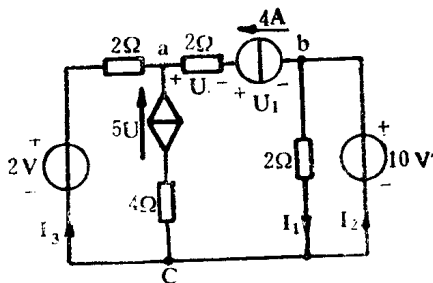


图1-13 例1-5图

$$I_1 = -\frac{10}{2} = -5 \text{ A}$$

对节点 b , 依KCL, 有

$$I_2 = I_1 + 4 = -5 + 4 = -9 \text{ A}$$

而

$$U = -2 \times 4 = -8 \text{ V}$$

对节点 c , 有

$$I_3 = I_1 - I_2 - 5U = -5 - (-9) - 5 \times (-8) = 36 \text{ A}$$

对由边缘支路构成的大回路, 有

$$\begin{aligned} U_1 &= -U - 2I_3 + 2 - 10 = -(-8) - 2 \times 36 + 2 - 10 \\ &= -72 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\therefore P_{2\text{V}} = -(2 \times I_3) = -2 \times 36 = -72 \text{ W (发出)}$$

$$P_{4\text{A}} = -(4U_1) = -4(-72) = 288 \text{ W (吸收)}$$

$$P_{10\text{V}} = -(10I_2) = -10 \times (-9) = 90 \text{ W (发出)}$$

例1-6 求图 1-14 所示电路

中的 I 、 U_s 、 R 。

解: 设支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 及电压 U_R 的参考方向如图示。依广义的KCL可得

$$I = 5 - 4 = 1 \text{ A}$$

按KCL, 有 $I_1 = 5 + 7 = 12 \text{ A}$

$$I_2 = 10 - I = 10 - 1 = 9 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 - 10 = 12 - 10 = 2 \text{ A}$$

按KVL, 有 $U_s = 2I_1 + 14I_3 = 2 \times 12 + 14 \times 2 = 52 \text{ V}$

$$U_R = -1 \times 10 + 14I_3 = -10 + 14 \times 2 = 18 \text{ V}$$

$$\therefore R = \frac{U_R}{I_2} = \frac{18}{9} = 2 \Omega$$

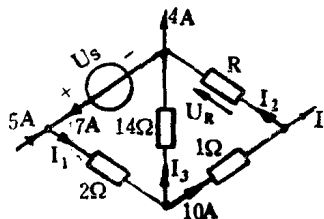


图1-14 例1-6图

例1-7 求图1-15示电路中的 I 及 R 值 (a 、 b 端开路)。

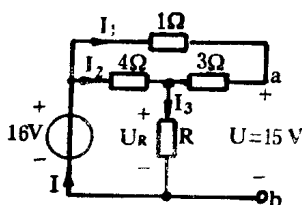


图1-15 例1-7图

解：设支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 及 U_R 参考方向如图所示，则依KVL

及欧姆定律有 $I_1 = \frac{16-15}{1} = 1\text{A}$

而 $I_2 = \frac{(1+3)I_1}{4} = \frac{4 \times 1}{4} = 1\text{A}$

依KCL，有 $I = I_1 + I_2 = 2\text{A}$

因 a 、 b 端开路，故 $I_3 = I = 2\text{A}$

依KVL，有 $U_R = -4I_2 + 16 = -4 \times 1 + 16 = 12\text{V}$

$$\therefore R = \frac{U_R}{I_3} = \frac{12}{2} = 6\Omega$$

例1-8 图1-16所示直流电路，已知 $I_1 = 2\text{A}$ ，求 U_s 、 I 、 U 及 B 点的电位 φ_B （以 A 点为参考点）。

解：此为直流稳态电路，电感元件可视为短路，电容元件可视为开路，按KCL或KVL直接求得

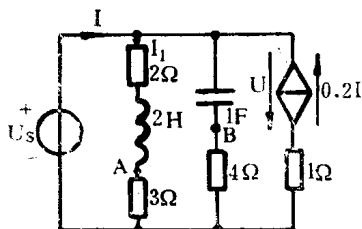


图1-16 例1-8图

$$U_s = (2+3)I_1 = 5 \times 2 = 10\text{V}$$

$$I = I_1 - 0.2I_1 = 0.8I_1 = 0.8 \times 2 = 1.6\text{A}$$

$$U = U_s + 0.2I_1 = 10 + 0.2 \times 2 = 10.4\text{V}$$

$$\varphi_B = -U_{AB} = U_{BA} = -3I_1 = -3 \times 2 = -6\text{V}$$

例1-9 试求图1-17(a)示电路中各点的电位，并作电位图。

解：先求电路中的电流 I 。设回路绕行方向如图1-17(a)所示，依KVL，有