

全国医学高等职业院校配套教材  
供高职高专医学影像技术专业用

主 编 / 苏 克

# 医学影像电子学 学习指导和习题集

YIXUE YINGXIANG  
DIANZIXUE  
XUEXI ZHIDAO HE XITIJ

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

全国医学高等职业技术学院配套教材

供高职高专医学影像技术专业用

# 医学影像电子学

## 学习指导和习题集

主 编 苏 克

副主编 丁晓东 王亚平 王红军

编 者 (以姓氏笔画为序)

丁晓东 马 彦 王亚平 王红军

尹 勇 龙 哲 付志然 苏 克

沙宪政 陈艳霞



人民军医出版社

People's Military Medical Press

北 京

---

## 图书在版编目(CIP)数据

医学影像电子学学习指导和习题集/苏克主编. —北京:人民  
军医出版社, 2006. 10

全国医学高等职业院校配套教材

ISBN 7-5091-0527-7

I. 医… II. 苏… III. 影像诊断—医用电子学—高等学  
校:技术学校—教学参考资料 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 096809 号

---

策划编辑:郭威 文字编辑:赵晶辉 责任审读:余满松

出版人:齐学进

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

电话:(010)66882586(发行部), 51927290(总编室)

传真:(010)68222916(发行部), 66882583(办公室)

网址:www. pmmp. com. cn

---

印刷:京南印刷厂 装订:桃园装订有限公司

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:8.625 字数:216千字

版、印次:2006年10月第1版第1次印刷

印数:0001~4000

定价:19.00元

---

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

电话:(010)66882585, 51927252

# 前 言

---

《医学影像电子学》是医学影像专业一门重要的基础课，这门课程所论述的基本概念、基本定理、定律和各种分析方法是医学影像专业其他课程必要的理论基础。能否做到分析方法得当、计算准确是学好这门课程的关键。为帮助学生学好这门课，加强对基本概念的理解，提高分析能力和计算能力，我们特编写了这本书。

本书是针对《医学影像电子学》一书的内容编写的，章节设置与《医学影像电子学》的章节相符。每章第一部分为学习指导，使读者了解各章内容中哪些须重点掌握；第二部分为内容提要，即各章内容的精炼总结，读者可借此对全章内容有较全面的了解，使读者能用较短的时间回顾、掌握有关内容。第三部分是解题指导，这部分是编者根据多年的教学经验，借鉴有关教材，精选了一部分概念性很强的典型习题，并做了分析求解，使读者借此能举一反三，达到熟能生巧的目的；最后是习题和答案。

本书由医学影像电子学领域的专家编写，相信可以帮助本专业的学生加深对医学影像电子学知识的理解，希望本书能成为不可多得的教学辅助用书。

苏 克

# 目 录

第 1 章	直流电路	(1)
第 2 章	正弦交流电路	(36)
第 3 章	常用低压电器与电动机	(70)
第 4 章	半导体器件	(82)
第 5 章	放大电路基础	(114)
第 6 章	多级放大电路及负反馈电路	(140)
第 7 章	集成运算放大器及其应用	(159)
第 8 章	信号的产生与调制	(179)
第 9 章	直流电源	(192)
第 10 章	数字电路基础	(202)
第 11 章	组合逻辑电路	(225)
第 12 章	触发器与时序逻辑电路	(239)
第 13 章	半导体存储器和可编程逻辑器件	(252)
第 14 章	信号的数字化处理	(260)

# 第1章 直流电路

---

## 一、学习指导

1. 熟练运用支路上电流、电压参考方向和电流、电压间关联参考方向的概念。

2. 深刻理解基尔霍夫定律、欧姆定律以及各个电路定理的内容,并能熟练地运用于电路的分析计算。

3. 充分理解并掌握基本元件的特性,能熟练地运用这些特性来分析、计算电路。

4. 正确运用等效概念和方法分析求解电路。

5. 掌握电路的基本分析方法,根据给出的电路能熟练地编写和求解电路的方程。

6. 了解一阶电路的分析,掌握换路定律和电流、电压初始值的计算。

## 二、内容提要

1. 电路的基本概念 在电路理论中,都用电路模型来代替实际电路进行分析和研究。电路模型是由理想电路元件组成的。电路中常用的基本物理量有电流、电压和功率。

(1) 电流: 电流是电荷的定向移动形成的, 其方向规定为正电荷的流动方向, 单位是安培(A)。电流主要分为直流和交流两种。

(2) 电压: 电路中两点之间的电压就是两点之间的电位差, 其方向是由高电位点指向低电位点。单位是伏特(V)。

(3) 参考方向: 电压和电流的参考方向是预先任意选定的一个方向, 在假定参考方向下, 若电压  $u$  和电流  $i$  的值均大于零则说明选定的电压、电流参考方向与它们实际方向是一致的, 反之则相反。尽管在电路分析中, 电压、电流的参考方向可以任意选取, 但为了方便起见, 一般都把电压的参考方向与电流的参考方向选为一致, 即电流的参考方向从标有电压“+”端流向“-”端, 通常将这种参考方向称为关联参考方向。反之为非关联参考方向。

(4) 功率: 在电压、电流为关联参考方向下, 电路的吸收功率为  $p=ui$ ; 反之  $p=-ui$ 。当  $p>0$  时表明元件吸收(或消耗)功率, 当  $p<0$  时表明元件产生(或发出)功率。

2. 电路基本元件 电路基本元件包括无源元件和有源元件。电阻元件、电容元件和电感元件是无源元件, 各元件的基本特征如表 1-1 所示。电压源、电流源和受控源是有源元件。

表 1-1 R、L、C 元件的特征

元 件		电阻元件	电容元件	电感元件
参 数	符号、单位	$R$ (欧姆 $\Omega$ )	$C$ (法拉 F)	$L$ (亨利 H)
	参数意义	$R = \frac{u}{i}$	$C = \frac{q}{u}$	$L = \frac{\psi}{i}$
伏安关系		$u = R \cdot i$	$i = C \frac{du}{dt}$	$u = L \frac{di}{dt}$
能 量	能量性质	消耗电能	存储电场能量	存储磁场能量
	能量计算	$\int_{-\infty}^t i^2 R dt$	$\frac{1}{2} C u^2$	$\frac{1}{2} L i^2$

电压源是一种理想电路元件, 它的电流可以为任意值, 但它的

电压恒定不变,它的内阻为零;电流源也是一种理想电路元件,它的电压可以为任意值,但它的电流恒定不变,它的内阻为无穷大。一个实际电压源可以用一个电压源和一个电阻的串联来等效;一个实际电流源可以用一个电流源和一个电阻的并联来等效。

受控源是一种描述电路中某条支路的电压(或电流)受到另一条支路的电压(或电流)的控制现象的理想电路元件。受控源一般分为四种类型:电压控制电压源(VCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)和电流控制电流源(CCCS)。受控源具有独立电源的特性;同时,它们必须依靠另一控制变量(电流或电压)而变化。因此在求解具有受控源的电路时,可以把受控电压(电流)源作为电压(电流)源处理,但必须注意前者的电压(电流)是取决于控制量的。

3. 电路基本定律 基尔霍夫定律和欧姆定律是电路理论中最基本的定律。基尔霍夫定律揭示了各电路元件在连成电路后各个支路电流及支路电压之间内在的规律,而欧姆定律则指出了在电阻元件上电压与电流之间的约束关系。它们的数学表达式见表1-2。

表 1-2 基尔霍夫定律和欧姆定律

欧姆定律	电压与电流为关联参考方向	$u = Ri$ 或 $i = Gu$
	电压与电流为非关联参考方向	$u = -Ri$ 或 $i = -Gu$
基尔霍夫电流定律(KCL)		$\sum i = 0$
基尔霍夫电压定律(KVL)		$\sum u = 0$

4. 电路的等效变换 当两个内部结构不同的二端网络  $N_1$  和  $N_2$  的端口伏安关系相同时,则认为这两个二端网络在端口上可互为等效。

(1)电阻的等效变换:若干个电阻串联后,其等效电阻为所有



串联电阻之和,即  $R = \sum R_k$ 。若干个电导并联后,其等效电导为所有并联电导之和,即  $G = \sum G_k$ 。

(2)电阻星形联接和三角形联接的等效变换:在电路分析中,有时为了确定网络端口间的电压和电流的关系,常常需要将星形联接的电阻和三角形联接的电阻进行等效互换。已知 Y 型联接的电阻确定等效  $\Delta$  形联接电阻的公式为:

$$\begin{cases} R_{12} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \\ R_{23} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \\ R_{31} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2} \end{cases}$$

而己知  $\Delta$  形联接的电阻确定等效 Y 型联接电阻的公式为:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \end{cases}$$

(3)电源的等效变换:实际电压源和实际电流源的电路模型可以等效互换。其等效变换的条件为:  $\begin{cases} U_s = I_s R_o \\ R_o = R' \end{cases}$

5. 电路基本分析方法 常用的电路分析方法是支路电流法和节点电压法。

(1)支路电流法:支路电流法是以电路中各支路电流为未知量,根据 KCL 分别列出  $(n-1)$  个节点电流方程,根据 KVL 分别列出  $l=b-(n-1)$  个回路电压方程。然后通过解多元一次方程组的方法求出各支路电流和支路电压(其中  $b$  为电路的支路数,  $n$

为节点数)。

(2)节点电压法:节点电压法是以电路中各节点电压为变量对电路进行分析的一种方法。只要电路中各节点电压已知,则可求出两点间的电压,那么各支路电流即可得出。

对于  $m$  个独立节点的电路其节点方程为:

$$\begin{cases} G_{11}U_1 + G_{12}U_2 + \cdots + G_{1m}U_m = I_{S11} \\ G_{21}U_1 + G_{22}U_2 + \cdots + G_{2m}U_m = I_{S22} \\ \cdots \cdots \\ G_{m1}U_1 + G_{m2}U_2 + \cdots + G_{mm}U_m = I_{Smm} \end{cases}$$

节点电压法的计算步骤一般为:①任意选定一个参考节点(一般选联接支路数多的节点为参考节点),对其余  $(n-1)$  个独立节点编号。②用观察法对各独立节点列写节点电压方程。注意自导总是正的,互导总是负的。联接到本节点的电流源,当其电流流入节点时前面取正号,反之取负号。对电压源与电阻的串联组合,应将其等效变换成电流源与电阻并联的组合。③求解节点方程,得到节点电压。④选定各支路电流和支路电压的参考方向,计算各支路电流和支路电压。

6. 电路基本定理 电路中常用的基本定理有叠加定理、戴维南定理、诺顿定理和最大功率传输定理。

(1)叠加定理:叠加定理适用于有惟一解的任何线性电路。它允许用分别计算每个独立电源产生的电压(或电流),然后相加的方法,求得含多个独立电源线性电路的电压(或电流)。

(2)戴维南定理:戴维南定理指出,任一含源线性二端网络,可以等效为一个电压为  $U_{oc}$  的电压源和电阻  $R_o$  的串联。 $U_{oc}$  是该网络端口的开路电压; $R_o$  是该网络内所有独立电源为零时的端口等效电阻,此时网络内独立电压源短路,独立电流源开路。

(3)诺顿定理:诺顿定理指出,任一含源线性二端网络,可以等效为一个电流为  $I_{sc}$  的电流源和电阻  $R_o$  的并联。 $I_{sc}$  是该网络端口的短路电流; $R_o$  是该网络内所有独立电源为零时的端口等效电

阻。

(4)最大功率传输定理:含源线性二端网络向负载  $R_L$  传输最大功率的条件是负载电阻  $R_L$  与二端网络的输出电阻  $R_0$  相等,此即最大功率传输定理。电路的这种工作状态称之为负载与网络的“匹配”。

7. 一阶电路 含有动态元件的电路称为动态电路。含有一个动态元件或等效为一个动态元件的电路对其变量所列电路方程为一阶微分方程,故称其为一阶电路。

(1)过渡过程:动态电路的最大特征是解释当电路的结构发生变化时,电路会由原来的稳定状态向新的稳定状态转换,但这种转换并不是瞬间完成的,而是要经过一个渐进变化的过程,这个过程称为过渡过程。引起过渡过程的电路变化称为换路。

在直流激励情况下,电路变量通常是由初始值按指数规律逐渐过渡到新的稳态值,其过渡过程的快慢取决于电路的时间常数  $\tau$ ,也就是取决于电路本身的结构和参数。

(2)换路定律:电路在换路瞬间将会有一定的内在规律,这种内在规律称之为换路定律,换路定律表明了换路瞬间,电路的能量不能突变。假设电路在  $t=0$  时换路(为便于分析,我们将换路瞬间取为计时起点,将换路前最后一刻记为  $t=0_-$ ,换路后最初一刻记为  $t=0_+$ ),则换路定律为:

$$u_C(0_+) = u_C(0_-)$$

$$i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

(3)初始值的计算:计算电压、电流初始值的一般步骤为:①画出开关动作前( $t=0_-$ 时刻)的等效电路,在  $t=0_-$  等效电路中求出电路在换路前一刻的电容电压  $u_C(0_-)$  及电感电流  $i_L(0_-)$ 。再依换路定律得出  $u_C(0_+) = u_C(0_-)$  和  $i_L(0_+) = i_L(0_-)$ 。②画出  $t=0_+$  时的等效电路。注意当  $u_C(0_+) = 0$  时电容用短路表示,  $u_C(0_+) \neq 0$  时电容用一个等效电压源表示;  $i_L(0_+) = 0$  时电感用断路表示,  $i_L(0_+) \neq 0$  时,电感用一个等效电流源表示。③在  $t=0_+$  等效

电路中,根据电路定律及电路的分析方法求出其他相关量的初始值。

(4)一阶电路响应的三要素法:只含有一个动态元件(电容或电感)的电路在直流激励下进行换路时,其电压、电流方程都是一阶线性微分方程,这类方程的解只与动态元件的初始值、稳态值和电路的时间常数有关系,所以可用函数

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

来描述一阶电路响应。式中, $f(0_+)$ 为初始值, $f(\infty)$ 为稳态值, $\tau$ 为时间常数。这三个量称为一阶电路的三要素,电路的三要素确定,电路响应也就确定了。

由此可看出一阶电路的零输入响应及零状态响应只是非零状态电路在有直流激励时的响应的一种特殊情况(零输入响应可以看成输入为零的全响应,零状态响应可以看成是初始状态为零的全响应)。即:全响应=零输入响应+零状态响应=稳态响应+暂态响应。

应用三要素法只要求出电容电压  $u_C(0_+)$  和  $u_C(\infty)$  或电感电流  $i_L(0_+)$  和  $i_L(\infty)$  及动态电路的时间常数  $\tau = RC$  (或  $\tau = \frac{L}{R}$ ), 即可写出  $u_C(t)$  和  $i_L(t)$  及其电容电流  $i_C = C \frac{du_C}{dt}$  和电感电压  $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ 。至于电路换路时其他支路电压或电流只需依电路定律及电路的分析方法找出它们与电容电压或电感电流关系即可求出。

### 三、解题指导

**【例 1-1】** 电路如图 1-1(A)所示,电容元件与电压源相接,电压源电压随时间按三角波方式变化,电压波形如图 1-1(B)所示,求电容电流  $i$  的波形。

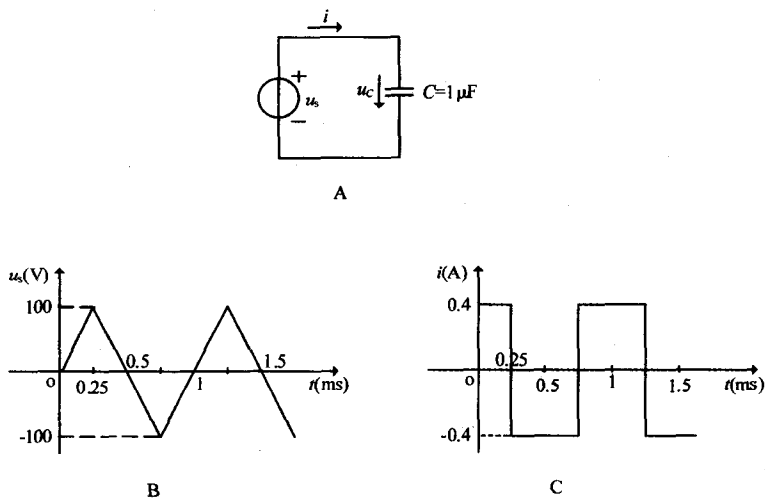


图 1-1 例 1-1 图

A. 电路图; B. 电压源电压波形图; C. 电容电流波形图

解答:由图 1-1(A)可见,电容两端电压即为电压源的电压,因此可用电容元件电压、电流的伏安关系公式求电容电流。因为不同时刻电压的变化情况不同,因此须分段计算电流。

在  $0\sim 0.25\text{ms}$  区间,电压由 0 上升到 100V,变化率为

$$\frac{du}{dt} = \frac{100 - 0}{(0.25 - 0) \times 10^{-3}} = 4 \times 10^5$$

因电容两端的电压与电流是关联参考方向,所以此区间的电容电流为

$$i = C \frac{du}{dt} = 10^{-6} \times 4 \times 10^5 = 0.4\text{A}$$

在  $0.25\sim 0.75\text{ms}$  区间,电压由 100V 下降到 -100V,变化率为

$$\frac{du}{dt} = \frac{-100 - 100}{(0.75 - 0.25) \times 10^{-3}} = -4 \times 10^5$$

此区间的电容电流为

$$i = C \frac{du}{dt} = 10^{-6} \times (-4 \times 10^5) = -0.4 \text{ A}$$

在  $0.75 \sim 1.25 \text{ ms}$  区间, 电压由  $-100 \text{ V}$  上升到  $100 \text{ V}$ , 变化率为

$$\frac{du}{dt} = \frac{100 - (-100)}{(1.25 - 0.75) \times 10^{-3}} = 4 \times 10^5$$

此区间的电容电流为

$$i = C \frac{du}{dt} = 10^{-6} \times 4 \times 10^5 = 0.4 \text{ A}$$

由以上计算可得到电容电流随时间变化的曲线如图 1-1(C) 所示。

**【例 1-2】** 已知条件标示于图 1-2 所示电路中, 求  $i$ 、 $i_1$  和电压  $u_{ad}$ 。

解答: 对节点 b 列写 KCL 方程为

$$i_1 = i_1 + i,$$

故得

$$i = 0$$

对电路左边的回路列写 KVL 方程为

$$(2+3)i_1 = 10 - 5$$

故得

$$i_1 = 1 \text{ A}, u_{ad} = 3i_1 + 1i - 1 - 2 \times 1 = 0$$

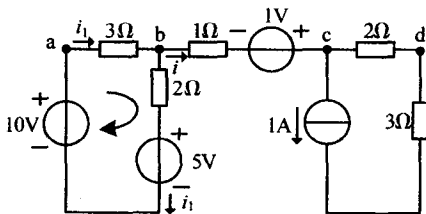


图 1-2 例 1-2 电路图

【例 1-3】 电路如图 1-3(A) 所示, 求 A、B 间的等效电阻  $R_{AB}$ 。

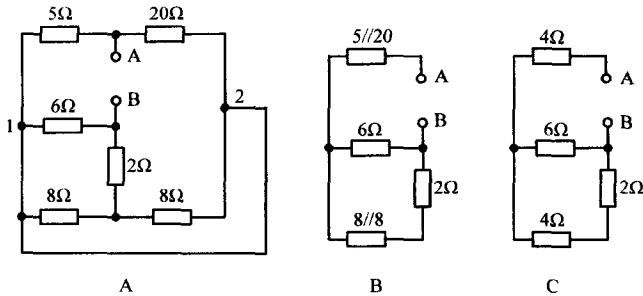


图 1-3 例 1-3 电路图

解答: 电路中因为 1、2 两点有一条导线相联接, 当假定在 A、B 间加一电压后, 可看出  $5\Omega$  电阻与  $20\Omega$  电阻是在同一电压上, 它们两个属于并联, 同样两个  $8\Omega$  电阻也属于并联, 所以电路可先简化为 1-3(B) 图。将图 1-3(B) 中的两并联等效电阻求出分别都为  $4\Omega$ 。这样电路可简化为 1-3(C) 图。从图 1-3(C) 图中可得 A、B 间的等效电阻  $R_{AB}$  为

$$R_{AB} = 4 + \frac{6 \times (4 + 2)}{6 + (4 + 2)} = 7\Omega$$

【例 1-4】 求图 1-4(A) 所示含源单口网络的戴维南等效电路。已知  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 1\Omega$ ,  $R_3 = 3\Omega$ ,  $I_s = 2A$ ,  $U_s = 1V$ 。

解答: 首先, 求开路电压  $U_{oc}$ , 并标注其参考方向。根据图 1-4(A), 可求得

$$U_{oc} = -U_s + I_s R_1 = -1 + 2 \times 2 = 3V$$

然后, 求戴维南等效电阻  $R_o$ , 亦即无源单口网络的输入电阻。根据图 1-4(B), 可求得

$$R_o = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1 + 3 = 6\Omega$$

根据所求  $U_{oc}$  及  $R_o$ , 并注意  $U_{oc}$  的参考方向, 可得戴维南等效

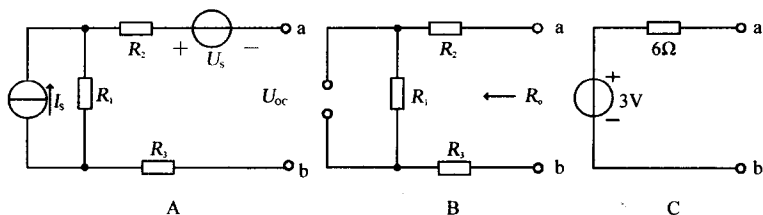


图 1-4 例 1-4 电路图

电路,如图 1-4(C)所示。

【例 1-5】 电路如图 1-5(A)所示,求该电路的诺顿等效电路和戴维南等效电路。已知  $R_1 = 6\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $U_{s1} = 18V$ ,  $U_{s2} = 12V$ 。

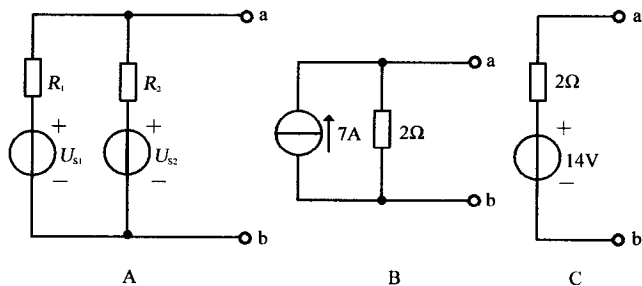


图 1-5 例 1-5 电路图

解答:电路全部独立源置零时从 a、b 两端看进去的入端电阻  $R_o$  为

$$R_o = R_1 // R_2 = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2\Omega$$

(1) 将 a、b 用短路线短路可得短路电流  $I_{sc}$  为

$$I_{sc} = \frac{U_{s1}}{R_1} + \frac{U_{s2}}{R_2} = \frac{18}{6} + \frac{12}{3} = 7A$$



该电路的诺顿等效电路如图 1-5(B)所示。

(2) 电路 a、b 两端的开路电压为

$$U_{OC} = U_{S2} + \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2} \times R_2 = 12 + \frac{18 - 12}{6 + 3} \times 3 = 14\text{V}$$

该电路的戴维南等效电路如图 1-5(C)所示。

【例 1-6】 图 1-6(A)所示电路中,开关 K 断开已久。 $t=0$  时将 K 闭合,求  $i_k(0_+)$ 。

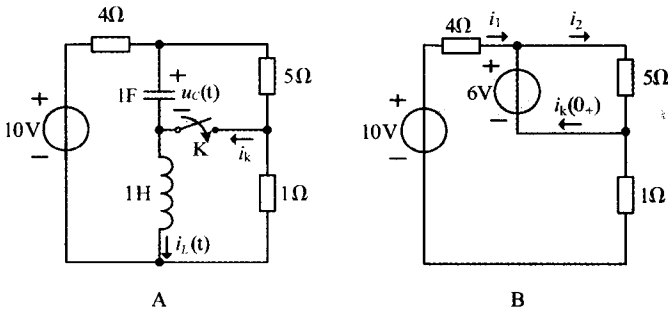


图 1-6 例 1-6 电路图

解答  $t=0_-$  时,电路处于稳态,电容相当于开路,电感相当于短路,由此得

$$u_c(0_-) = \frac{5 + 1}{4 + 5 + 1} \times 10 = 6(\text{V}), i_L(0_-) = 0$$

根据换路定则有  $u_c(0_+) = u_c(0_-) = 6(\text{V})$

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = 0$$

画出  $t=0_+$  的等效电路如图 1-6(B)所示。

$$i_1 = \frac{10 - 6}{4 + 1} = \frac{4}{5} = 0.8(\text{A}), i_2 = \frac{6}{5} = 1.2(\text{A})$$

$$\text{所以 } i_k(0_+) = i_2 - i_1 = 1.2 - 0.8 = 0.4(\text{A})$$

【例 1-7】 测得某二端网络的开路电压为 15V,接上 45Ω 的电阻时电流为 0.3A。问:①该二端网络接上多大负载时处于匹配