

电路

DIANLU XUEXI ZHIDAO

学习指导

王贻月 主编 邵春亮 主审

- 重点内容概要
- 典型例题解析
- 同步练习及解答
- 模拟测试



大连理工大学出版社

电路学习指导

主 编	王 贻 月			
编 者	朱 丹	董维杰	王 辉	
主 审	邵春亮	白凤仙		

大连理工大学出版社

© 大连理工大学出版社 2003

图书在版编目(CIP)数据

电路学习指导 / 王贻月主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2003.12

ISBN 7-5611-2450-3

I. 电… II. 王… III. 电路—高等学校—自学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 062610 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市凌水河 邮政编码: 116024

电话: 0411-4708842 传真: 0411-4701466 邮购: 0411-4707955

E-mail: dulp@mail.dlptt.ln.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 140mm × 203mm 印张: 13.5 字数: 437 千字

印数: 1 ~ 4 000

2003 年 12 月第 1 版

2003 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 范业婷

责任校对: 杨帆

封面设计: 孙宝福

定价: 19.80 元

前 言

电路理论课是大学电类专业的一门重要的专业基础课。学生称本课程为“老虎课”，说明学习本课程有相当的难度。

本书是根据前国家教育委员会 1995 年修订颁布的“电路课程的基本要求”，参考国内外有关资料，融合作者们多年的教学经验而写成的。目的是为大学生学习电路理论课及复习考研提供一本辅导学习资料。

全书共分为 15 章，每章分为重点内容概要、典型例题解析和同步练习及解答三部分。在重点内容概要部分有课程内容的归纳提炼，也有作者的推陈出新，都是读者必须掌握的重要知识点。典型例题解析部分由基本概念训练题、常见典型题和考研拔高题三个层次构成。典型例题解析指导读者如何解题，在该部分有时同一类题目设多题和同一题目设多种解法，目的是对重要知识点反复训练，并力求训练读者的创新性思维。同步练习及解答精选了各种教材上的典型例题或习题并给出详细解答，目的是检验读者解题能力。在本书的附录部分列举了 6 套模拟测试题并附有参考答案，可供读者检测掌握本课程内容的程度。

本书各章格式在基本一致的前提下，又不完全拘泥一格，灵活多样一点对读者开拓思路定有好处。

本书1~4章由董维杰编著;5~9章及附录由王贻月编著;10~12章由朱丹编著;13~15章由王辉编著。全书由王贻月主编、统稿。邵春亮教授、白凤仙老师审阅。另外解永平、何英昊、李丹、田丽、孙琪、罗立冬、张小军等人也参加了部分编校工作。

由于编著者水平有限,约稿时间紧迫,难免有错误和不足,恳请读者批评指出,以利再版改正。

编著者
2003年11月

目 录

第 1 章 电路和电路定律

重点内容概要 / 1

典型例题解析 / 4

同步练习及解答 / 9

第 2 章 线性电阻网络的等效变换

重点内容概要 / 23

典型例题解析 / 25

同步练习及解答 / 32

第 3 章 线性电路的基本分析方法

重点内容概要 / 50

典型例题解析 / 51

同步练习及解答 / 56

第 4 章 线性网络定理

重点内容概要 / 70

典型例题解析 / 73

同步练习及解答 / 87

第 5 章 正弦电流电路

重点内容概要 / 112

典型例题解析 / 114

同步练习及解答 / 130

第 6 章 电路的谐振

重点内容概要 / 144

典型例题解析 / 146

同步练习及解答 / 148

第 7 章 耦合电感和理想变压器

重点内容概要 / 154

典型例题解析 / 157

同步练习及解答 / 172

第 8 章 三相电路

重点内容概要 / 181

典型例题解析 / 182

同步练习及解答 / 186

第 9 章 非正弦周期电流电路

重点内容概要 / 195

典型例题解析 / 196

同步练习及解答 / 202

第 10 章 网络图论和网络方程的矩阵形式

重点内容概要 / 212

典型例题解析 / 216

同步练习及解答 / 221

第 11 章 双口网络

重点内容概要 / 238

典型例题解析 / 242

同步练习及解答 / 250

第 12 章 动态电路分析

重点内容概要 / 263

典型例题解析 / 267

同步练习及解答 / 295

第 13 章 拉普拉斯变换

重点内容概要 / 321

典型例题解析 / 324

同步练习及解答 / 331

第 14 章 网络分析的状态变量法

重点内容概要 / 349

典型例题解析 / 351

同步练习及解答 / 357

第 15 章 非线性网络

重点内容概要 / 364

典型例题解析 / 366

同步练习及解答 / 375

附录 模拟测试

试卷一 / 385

试卷二 / 388

试卷三 / 391

试卷四 / 393

试卷五 / 396

试卷六 / 398

参考答案

试卷一 / 401

试卷二 / 404

试卷三 / 407

试卷四 / 408

试卷五 / 414

试卷六 / 417

第1章 电路和电路定律

本章介绍电路元件特性和基尔霍夫电压、电流定律。这两个内容是电路分析的基础和灵魂。

●重点内容概要●

1. 电路模型

从构成电路的实际电气设备或器件出发,经过理想化、抽象化和集总假设后,建立了理想电路元件模型。用一个或几个理想电路元件构成的模型去模拟实际电路,这个模型叫做电路模型。

电路分析都是针对电路模型进行的,所得结果只是实际电路的一种近似。

2. 电压、电流和参考方向

电压 u 和电流 i 是电路分析的基本物理量,功率和能量在电路分析中也是十分重要的。在直流电路中,电压、电流和功率分别用大写字母 U 、 I 、 P 表示。

电压和电流有其大小和方向,在一个复杂电路中有时很难判断电压和电流的实际方向。物理中描述任何运动总要选择参考系,在电路理论中,这个参考系就是电压和电流的参考方向。参考方向是人为任意假定的,但是一经选定,在计算过程中不能随意更改。按参考方向计算,计算结果若为正值,表示实际方向与参考方向相同;若为负值,表示实际方向与参考方向相反;电压和电流的“大小”即是计算结果的绝对值。可见,任意假定的参考方向和其下的计算结果结合起来表征了电压和电流的大小和实际方向。

如果电流的参考方向是从电压参考方向的“+”端流入、经过一元件从“-”端流出,则称电压、电流关于该元件为关联参考方向;否则为非关联参考方向。在图

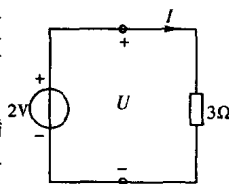


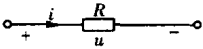
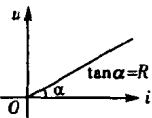
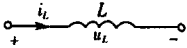
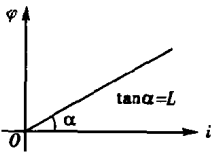
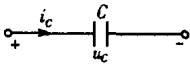
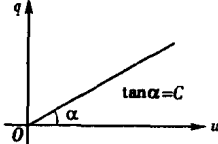
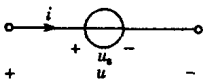
图 1-1

1-1 中, U 、 I 关于 $3\ \Omega$ 电阻为关联参考方向, 而 U 、 I 关于 2 V 电压源则为非关联参考方向。

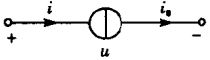
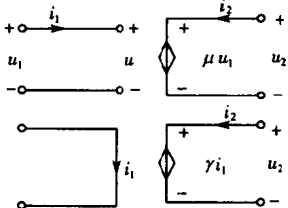
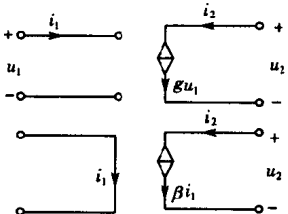
3. 电路元件伏安特性

每个电路元件两端的电压与电流必须满足的关系称为元件伏安特性。理想的线性电路元件定义及伏安特性总结于表 1-1。

表 1-1 线性电路元件及其伏安特性

线性电路元件	定义	伏安特性
电阻 	u 和 i 由 u-i 平面上一条直线决定 	$u = Ri$ (欧姆定律) $i = \frac{u}{R}$
电感 	磁链和电流由 φ-i 平面上一条直线决定 	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$ $i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L(\xi) d\xi$
电容 	电荷和电压由 q-u 平面上一条直线决定 	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$ $u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C(\xi) d\xi$
理想电压源 	接到任一电路中, 元件两端的电压始终保持规定值 u_s, u_s 为恒定的常数或恒定的函数	$u = u_s$ i 由外电路决定

续表

线性电路元件	定义	伏安特性
理想电流源 	接到任一电路上,元件提供的电流始终保持规定值 i_s, i_s 为恒定的常数或恒定的函数	$i = i_s$ u 由外电路决定
受控电压源 	一个支路的电压受另一个支路的电压或电流控制的四端耦合器件	$u_2 = \mu u_1$ 或 $u_2 = \gamma i_1$ i_2 由外电路决定
受控电流源 	一个支路的电流受另一个支路的电压或电流控制的四端耦合器件	$i_2 = g u_1$ 或 $i_2 = \beta i_1$ u_2 由外电路决定

4. 基尔霍夫定律

电路由若干电气元件连接而成,相互连接的元件除了受元件定律约束外,还受结构约束。由电路结构产生的约束关系称为基尔霍夫定律。

(1) 基尔霍夫电流定律(KCL)

集总电路中,在任何时刻,对任一节点(或任一假设的封闭面),流入流出节点(或封闭面)的支路电流代数和为零。习惯上流出的电流为正,流入的电流为负,则有

$$\sum i = 0$$

(2) 基尔霍夫电压定律(KVL)

集总电路中,在任何时刻,对任一回路,沿着指定的回路绕行方向,各支路电压的代数和为零。凡支路电压的参考方向与回路绕行方向一致者,该电压前面取“+”号,支路电压参考方向与回路绕行方向相反者,该电压前面取“-”号。则有

$$\sum u = 0$$

电路元件伏安特性和基尔霍夫电压、电流定律是电路分析的基本依据。二者的关系可以用社会学中部分和整体、个人与集体关系做类比。将这两个定律应用到不同类型的电路中去,要运用不同的数学方法,因而人们总结出不同的电路分析方法。电路课程学习的主要任务就是学习电路的基本理论和基本分析方法。

● 典型例题解析 ●

【例1】 求图 1-2 中电流 i 。

分析 此题考查电容、电感的元件定律和 KCL、KVL。

$$\begin{aligned} \text{解 } u_c &= L \frac{di_L}{dt} - e^{-t} = -e^{-t} - e^{-t} \\ &= -2e^{-t} \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$i = e^{-t} + C \frac{du_c}{dt} = e^{-t} + 2e^{-t} = 3e^{-t} \text{ (A)}$$

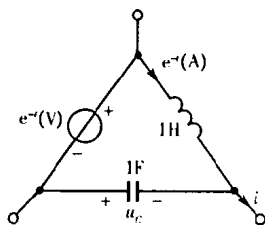


图 1-2

【例2】 在图 1-3 中,1 A 电流源发出功率 50 W,求 I_0 。

分析 因为元件 A 未知,所以求 I_0 不能应用元件定律,只能应用 KCL。

解 设 1 A 电流源电压为 U 。则

$$U = \frac{50}{1} = 50 \text{ V}$$

$$\text{所以 } I_1 = \frac{U}{5} = \frac{50}{5} = 10 \text{ A}$$

对节点 a 应用 KCL:

$$-1 + I_1 + (-2) + I_0 = 0$$

$$\text{所以 } I_0 = -7 \text{ A}$$

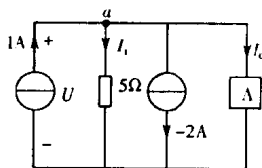


图 1-3

【例3】 求图 1-4(a) 中电压 U 。

分析 求电阻元件的电压可以应用欧姆定律或 KVL。

解法1 应用 KVL 求 U 。

对节点 a 应用 KCL:

$$-10 - I + 3I + \frac{U}{2} = 0 \quad (1)$$

对回路 l_1 应用 KVL:

$$U + 2I = 0 \quad (2)$$

①② 联立解得

$$U = -20 \text{ V}$$

解法2 先求电阻元件的电流,然后应用欧姆定律求 U ,如图 1-4(b) 所示。

两个 2Ω 电阻并联,电流应该相同,故

$$+10 + I + I - 3I = 0$$

所以

$$I = 10 \text{ A}$$

应用非关联方向欧姆定律:

$$U = -2I = -20 \text{ V}$$

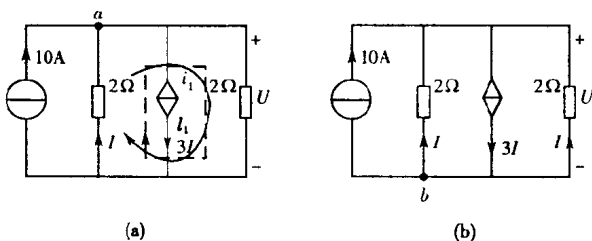


图 1-4

【例4】 求图 1-5 中电流 I 。

分析 求短路线中的电流只能应用 KCL。

$$\text{因为 } I_1 = \frac{15}{30 + 15} \times 3 = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{10}{10 + 10} \times 3 = 1.5 \text{ A}$$

所以对节点 a 应用 KCL:

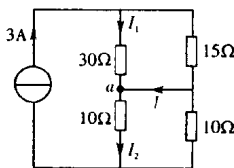


图 1-5

$$I = I_2 - I_1 = 1.5 - 1 = 0.5 \text{ A}$$

【例 5】 已知图 1-6 中, $U_{ab} = 2 \text{ V}$, 求 R 。

分析 求电阻的参数必须用欧姆定律。

解 对回路 1 应用 KVL:

$$2U_1 + U_1 - U_{ab} = 0$$

所以
$$U_1 = \frac{2}{3} \text{ V}$$

对节点 c 应用 KCL:

$$-1 + \frac{U_1}{2} + I_{ab} = 0$$

所以
$$I_{ab} = 1 - \frac{U_1}{2} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

应用欧姆定律:

$$R = \frac{U_{ab}}{I_{ab}} = \frac{2}{\frac{2}{3}} = 3 \Omega$$

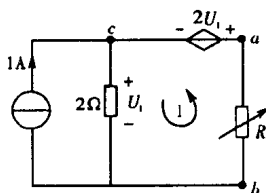


图 1-6

【例 6】 图 1-7 中, 已知: $R_1 = 24 \Omega$, $R_2 = 9 \Omega$, $R_3 = 19.6 \Omega$, $A_1 = 14.4 \text{ A}$, $A_2 = 5.6 \text{ A}$, $A_3 = 20 \text{ A}$, 求 I 。

分析 可以通过设电流变量再利用 KVL 列出约束方程求解电流。

解 应用 KCL 可得

$$I_1 = 14.4 - I, \quad I_2 = 20 - I$$

对 R_1 、 R_2 、 R_3 组成的回路应用 KVL:

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I = 0$$

所以
$$24 \times (14.4 - I) + 9 \times (20 - I) - 19.6I = 0$$

解得 $I = 10 \text{ A}$ (此题还有其他解法, 见例 2-7)

【例 7】 图 1-8 中, 已知 $U_{ab} = -5 \text{ V}$, 求 U_c 为多少?

分析 求电压源电压只能应用 KVL, 所以必须求出 2Ω 电阻的电压, 因而必须求 U_1 。

解 对回路 1 应用 KVL:

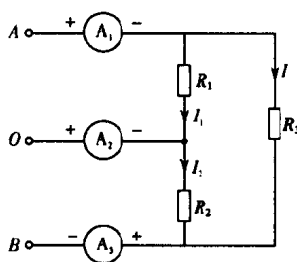


图 1-7

$$4 \times 0.5 U_1 + (-5) - U_1 = 0$$

解得 $U_1 = 5 \text{ V}$

对回路2应用 KVL:

$$U_2 = 2 \times \left(\frac{U_1}{5} + 0.5 U_1 \right) + U_1 = 12 \text{ V}$$

【例8】求图 1-9 中各电源发出的功率。

分析 一定要求出每一个电源的电压、电流。

解 对 a 应用 KCL:

$$\frac{U - 10}{5} + 1 + \frac{U - 5(U - 10)}{5} = 0$$

解得 $U = 15 \text{ V}$

所以 $U' = U - 10 = 5 \text{ V}$

10 V 电压源发出的功率

$$P_{10\text{V发}} = -10 \times \frac{15 - 10}{5} = -10 \text{ W}$$

1 A 电流源发出的功率

$$P_{1\text{A发}} = - (15 - 5 \times 1) \times 1 = -10 \text{ W}$$

受控源发出的功率

$$P_{\text{受控源发}} = 5U' \times \frac{5U' - U}{5} = 5 \times 5 \times \frac{5 \times 5 - 15}{5} = 50 \text{ W}$$

【例9】已知图 1-10 电路中, K_1 合, K_2 和 K_3 开时, $I = 3 \text{ A}$; K_2 合, K_1 和 K_3 开时, $I = 4 \text{ A}$ 。求 K_3 合, K_1 和 K_2 开时, I 为多少?

解 先求 U_s 和 R_0 。

$$\begin{cases} \frac{U_s}{R_0 + 10} = 3 \\ \frac{U_s - 20}{R_0} = 4 \end{cases} \quad \text{解得} \begin{cases} R_0 = 10 \Omega \\ U_s = 60 \text{ V} \end{cases}$$

只有 K_3 合时 $I = \frac{60 - 20}{10 + 10} = 2 \text{ A}$

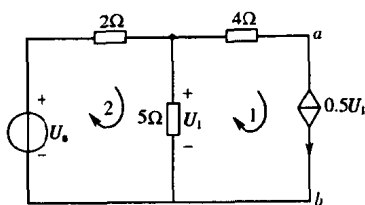


图 1-8

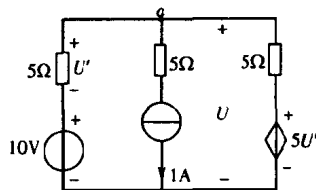


图 1-9

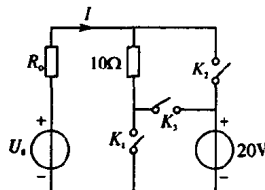


图 1-10

【例 10】 求图 1-11 所示电路中的电压 U_{ab} 。

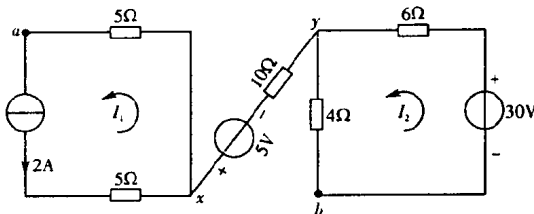


图 1-11

解 两个闭合回路各自独立,没有电流通过连接支路

$$I_1 = 2 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{30}{6+4} = 3 \text{ A}$$

$$U_{ab} = U_{ax} + U_{xy} + U_{yb} = -5I_1 + 5 + 4I_2 = 7 \text{ V}$$

【例 11】 3 mH 电感元件的端电压的波形如图 1-12(a) 所示,求电感电流 i ,并画出给定时间段内 i 的波形。

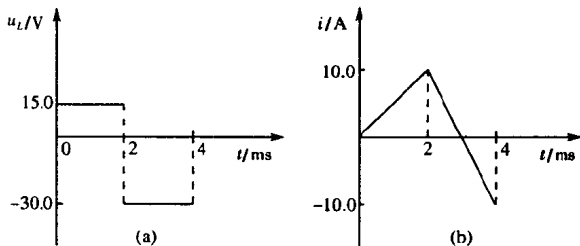


图 1-12

解 $0 < t < 2 \text{ ms}$ 时, $i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt = \frac{1}{3 \times 10^{-3}} \int_0^t 15 dt = 5 \times 10^3 t \text{ (A)}$

$$t = 2 \text{ ms 时}, i = 10 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} 2 < t < 4 \text{ ms 时}, i &= \frac{1}{L} \int_{2 \times 10^{-3}}^t u dt + 10 \\ &= \frac{1}{3 \times 10^{-3}} \int_{2 \times 10^{-3}}^t -30 dt + 10 \\ &= 30 - 10 \times 10^{-3} t \text{ (A)}, \text{ 电流波形见图 1-12(b)}. \end{aligned}$$

【例 12】 一个 $60 \mu\text{F}$ 电容的电压为:当 $0 < t < 2 \text{ ms}$ 时, $u = 25 \times 10^3 t$

(V), 如图 1-13(a) 所示, 画出 i 和 w 在给定时间内的图形并求出 $W_{\max}$ 。

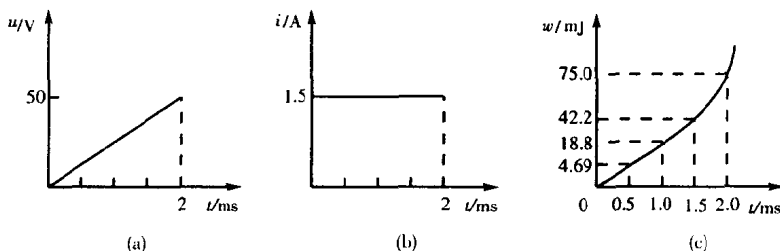


图 1-13

解 $0 < t < 2 \text{ ms}$ 时, $i = C \frac{du}{dt} = 60 \times 10^{-6} \frac{d}{dt}(25 \times 10^3 t) = 1.5 \text{ A}$, 如图 1-13(b) 所示。

$$p = u \cdot i = 37.5 \times 10^3 t \text{ (W)}$$

$$w = \int_0^t p dt = 1.875 \times 10^4 t^2 \text{ (J)}, \text{ 如图 1-13(c) 所示。}$$

$$W_{\max} = 1.875 \times 10^4 \times (2 \times 10^{-3})^2 = 75 \text{ mJ}$$

或 $W_{\max} = \frac{1}{2} C u_{\max}^2 = \frac{1}{2} \times 60 \times 10^{-6} \times (25 \times 2)^2 = 75 \text{ mJ}$

● 同步练习及解答 ●

1-1 如图 1-14 所示参考方向及给定值, 判别各元件中电流和电压的实际方向。计算各元件中的功率, 说明元件是吸收功率还是发出功率。

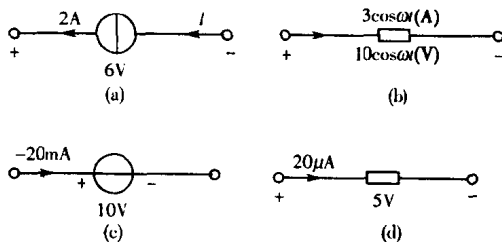


图 1-14

解 (a) u, i 实际方向与图示参考方向相同

$$P = 6 \times 2 = 12 \text{ W}$$

发出功率 12 W

(b) u, i 实际方向随时间变化

$$p = ui = 30 \cos^2 \omega t \text{ (W)}$$

吸收功率 $30 \cos^2 \omega t \text{ (W)}$

(c) U 实际方向与图示参考方向相同, I 实际方向与图示参考方向相反

$$P = UI = -20 \times 10^{-3} \times 10 = -0.2 \text{ W}$$

发出功率 0.2 W

(d) U, I 实际方向与图示参考方向相同

$$P = UI = 5 \times 20 \times 10^{-6} = 100 \times 10^{-6} \text{ W}$$

吸收功率 $100 \mu\text{W}$

1-2 在规定电压 u 与电流 i 的正方向后, 写出图 1-15 中各元件 u 与 i 的约束方程(VAR)。

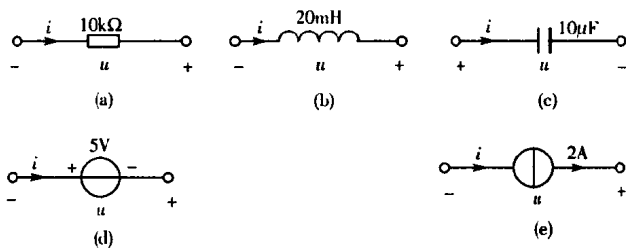


图 1-15

解 (a) $u = -10 \times 10^3 i$ 或 $i = -\frac{u}{10 \times 10^3} \text{ A}$ 。

(b) $u = -20 \times 10^{-3} \frac{di}{dt}$ 或 $i = -\frac{1}{20 \times 10^{-3}} \int_{-\infty}^t u dt$ 。

(c) $u = \frac{1}{10 \times 10^{-6}} \int_{-\infty}^t i dt$ 或 $i = 10 \times 10^{-6} \frac{du}{dt}$ 。

(d) $u = -5 \text{ V}$, i 由外电路确定。