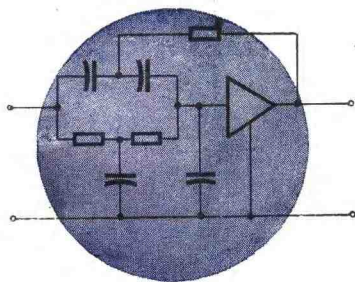


电路分析基础

学习指导与解题方法

上册



余士本 侯自立 霍锡真 编
北京邮电学院出版社

内 容 简 介

本书主要讨论线性电路的基本理论和解题方法。全书分三部分，共十三章。前六章内容为电阻性电路的分析，第七和第八章内容为动态电路的分析，后五章内容为动态电路的正弦稳态分析。

本书力求简要总结各类基本概念、基本理论和基本分析方法，着重难于理解和易于混淆的问题；明确重点、难点和学习要求；举例中介绍解题思路和方法，注重推理过程。

本书可供高等院校本科和专科、电视大学、函授大学、职工大学等相关专业师生作教学参考书，也可供工程技术人员作自修读物。

电路分析基础学习指导与解题方法 (上册)

编者 余士本 侯自立 崔锡真
责任编辑 时友芬 郑捷

*

北京邮电学院出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市通县向阳印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 1/32 印张13.25字数307千字
1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷
印数：1—6000册

ISBN 7-5635-0014-6/TM·1 定价：2.65元

电路分析基础学习指 导与解题方法

(下 册)

余士本
侯自立 编
霍锡真

U7 82/19



北京邮电学院出版社

B 631037

前 言

《电路分析基础》是电信、无线电技术、计算机和自动控制等专业的第一门技术基础课。主要讨论电路的基本概念、基本理论和基本分析方法，为读者学习后续课程提供必要的电路基础理论知识，同时也为进一步研究电路理论打下基础。

为满足在校学生以及校外自学者的需要，编者将多年从事教学工作积累的资料编辑整理成这本教学参考书。全书共分十三章，每章包括内容提要、学习指导、解题示例和练习题四个部分。其中，内容提要简明地总结一章主要的概念、理论和分析方法，着重指明难于理解和易于混淆的各类基本问题；学习指导明确指出一章的重点、难点、学习要求和参考书目章节；解题示例则通过丰富的例题向读者介绍解题思路和方法，着重推理过程，避免直接套用公式，以帮助读者开拓思路，举一反三；练习题部分备有大量习题供练习使用，书后并附有答案。

本书可作为大学本科、专科、电视大学、函授大学、职工大学等相关专业师生的教学参考书，也可供工矿企业相关专业技术人员作自修读物。

限于编者的水平，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

一九八八年八月

目 录

(上 册)

前言

第一章	集中参数电路和克希荷夫定律	(1)
第二章	简单电阻电路的分析	(20)
第三章	线性网络的一般分析方法	(81)
第四章	线性网络的系统分析法	(133)
第五章	线性网络的几个定理	(164)
第六章	非线性电阻电路的分析	(213)
第七章	一阶电路的分析	(239)
第八章	二阶电路的分析	(318)
练习题答案		(375)

目 录

(下 册)

第九章、电路的正弦稳态分析	(415)
第十章、耦合电感和理想变压器	(491)
第十一章 电路的频率特性	(532)
第十二章。双口网络	(595)
第十三章 均匀传输线	(632)
练习题答案	(655)
参考书目	(663)

第一章 集中参数电路 和克希荷夫定律

内 容 提 要

一、集中参数电路

电路由器件和外加激励组成，它提供了电流流通的途径。在分析和设计电路时，通常将器件和激励分别用理想元件表征，从而得出电路模型。表征器件的基本理想元件有三种，即电阻元件（表征通电后电能转换为非电能）、电容元件（表征通电后产生电场和储存电场能）和电感元件（表征通电后产生磁场和储存磁场能）；表征激励的理想元件有源电压和源电流。这些理想元件的具体特性将在以后陆续介绍。理想元件都是抽象的模型，它们没有体积，特性集中在空间一点上，称为集中参数元件，也称为二端元件。

由有限个集中参数元件按照不同的联接方式组成的电路模型称为集中参数电路。每个元件就是一条支路，其端点称为结点*。因此，集中参数电路是支路和结点的集合。为便于讨论，可分别将支路和结点编号。

用集中参数电路模拟实际电路的条件是实际电路的尺寸比激励的最高工作频率所对应的波长小得多。如果电路尺寸与波长可以比拟，实际电路就不能用集中参数电路模拟，必须改用分布参

-- ——— --

* 也可将相互串联或并联的元件看成一条支路，这种支路的两个端点称为结点。这样，电路的支路数和结点数将减少。

数电路来模拟，或者应用电磁场理论进行分析。

今后提到“电路”一词时，除特别说明外，一般均指以集中参数表示的电路模型。

二、支路电流、支路电压及其参考方向

单位时间内流过图 C1-1 所示支路的电荷量称为支路电流 i 。

用小写英文字母表示随时间变化的物理量。 i 可写成

$$i = \frac{dq}{dt}$$

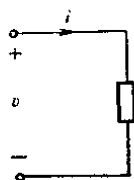


图 C1-1

其中 q 是电荷量。规定正电荷移动的方向为电流 i 的方向。一般情况下，电流是时间的函数。式(1-1)中 i 的值可正可负，是一个代数数量。为了表明 i 在不同时刻的真实方向，必须将式(1-1)与 i 的参考方向联系起来。参考方向可任意选定，但一经选定，在分析过程中就不再变动。依照选定的参考方向，按式(1-1)计算，结果 i 为正值，说明其真

实方向与参考方向一致；否则相反。分析电路时，总是先选定支路电流的参考方向，然后根据它去分析、计算。所得结果用代数数量表示。

在国际单位制中，电荷量 q ，电流 i 和时间 t 的单位分别是库仑(C)，安培(A)和秒(s)。 $1\text{A}=1\text{C/s}$ 。

支路电压 v 是支路两端沿电位降落方向电位差，数值上等于单位正电荷从支路的高电位端移到低电位端时电场力所作的功。极性是从高电位端到低电位端。若正电荷量 dq 从支路的 a 端移到 b 端，电场力所作的功是 dW ，则支路电压

$$v = -\frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中 v 的值可正可负，也是一个代数数量，为了表明支路电压的真

实极性，也需要选定其参考极性。参考极性用“+”表示高电位端，“-”表示低电位端，如图C1-1所示。依照选定的参考极性，按式(1-2)计算，结果 v 为正值，说明其真实极性与参考极性相同，否则相反。

在国际单位制中，电荷量 q ，电功 w 和电压 v 的单位分别是库仑(C)，焦耳(J)和伏特(V)， $1\text{V}=1\text{J/C}$ 。

为了分析上的便利和统一，习惯上将同一支路的电流参考方向和电压参考极性选得一致，称为结合参考方向。在电路图上，只须标出一个，不必将两者同时标出。

三、支路吸收功率

在结合参考方向下，任一支路电压和电流的乘积就是这个支路吸收的功率。由式(1-1)和式(1-2)可得支路吸收功率为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = v \cdot i \quad (1-3)$$

式中 p 为正值，表明支路确实吸收或消耗功率； p 为负值，表明支路不是吸收而是向电路其余部分供出功率。如支路电压和电流不取结合参考方向，则

$$p = -v \cdot i$$

在国际单位制中， p 的单位是瓦(W)， $1\text{W}=1\text{V}\cdot\text{A}$ 。

伏(V)、安(A)和瓦(W)分别是电压、电流和功率的主单位。由于工程上物理量的数值差别很大，常在其主单位前冠以

表1-1

国际制符号	中文	因数	国际制符号	中文	因数
T	太	10^{12}	m	毫	10^{-3}
G	吉	10^9	μ	微	10^{-6}
M	兆	10^6	n	纳	10^{-9}
K	千	10^3	p	皮	10^{-12}

表1-1的符号，或乘以因数 10^n 来表示数量级。

四、克希荷夫定律

克希荷夫电流定律(KCL)：根据电荷守恒原理，在集中参数电路中，任一瞬间进入任一结点的电荷必须立即离开，不能在结点处储存。因此，任一瞬间，电路中流出任一结点的各支路电流的代数和为零，即

$$\sum i = 0 \quad (1-4)$$

规定上式中，参考方向离开结点的支路电流取正号，指向结点的取负号。

克希荷夫电流定律不仅适用于电路中任一结点，也适用于电路中任一闭合面。这种闭合面称为电路的广义结点。

克希荷夫电压定律(KVL)：根据能量守恒原理，单位正电荷沿任一闭合路径移动一周，其电位能不变。因此，任一瞬间，沿电路中任一闭合路径各支路电压的代数和为零，即

$$\sum v = 0 \quad (1-5)$$

式中参考极性与闭合回路的参考方向相同的支路电压取正号；相反的取负号。

电路中任意两结点之间的电压可以沿两结点间任一路径计算。这是运用KVL的必然结果。

KCL和KVL表明了电路结构对各支路电流、电压的约束关系，它和元件性质无关。所以无论是线性电路还是非线性电路，这两个定律都适用。

学 习 指 导

一、参考书目

1. 内容提要 参阅[1]中第一章第一节；[3]中第一章第一

节和[4]中第一章第一节;

2. 内容提要二和三参阅[1]中第一章第二节; [4]中第一章第二节;

3. 内容提要四参阅[1]中第一章第三节; [3]中第一章第三、四、五节和[4]中第一章第三节。

二、重点内容

1. 支路电流、支路电压及其参考方向;

2. 克希荷夫定律(KCL和KVL)。

三、基本要求

1. 了解电路模型的概念和用集中参数电路模拟实际电路的条件;

2. 理解支路电流的参考方向与真实方向的关系, 支路电压的参考极性与真实极性的关系;

3. 理解支路吸收功率的代数值与支路吸收或供出功率的关系;

4. 充分理解克希荷夫定律的含义, 会正确列写电路中任一结点或闭合面的支路电流方程和正确计算电路中任意两结点间的电压。

解 题 示 例

例1-1 已知图E1-1(a)的支路中沿 a 到 b 的方向流过10A电流, 试选一电流变量来表示这个电流。

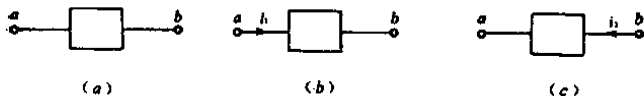


图 E1-1

解 可用两种方式来表示

(1) 选支路电流 i_1 的参考方向为从 a 到 b , 如图(b), 则

$$i_1 = 10\text{A}$$

(2) 选支路电流 i_2 的参考方向为从 b 到 a , 如图(c), 则

$$i_2 = -10\text{A}$$

例1-2 某二端元件内储存的电荷量 $q(t) = -10^{-7}e^{-10^5 t} \text{C}$, 求

(1) 从 $t = -5\mu\text{s}$ 到 $5\mu\text{s}$ 期间流过二端元件的平均电流值;

(2) 在 $0 < t < 2\pi\mu\text{s}$ 期间流过元件的平均电流值;

(3) 在 $0 < t < 40\mu\text{s}$ 期间通过元件迁移的总电荷。

解 (1) Δt 期间的平均电流定义为

$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

其中

$$\Delta t = 5\mu\text{s} - (-5\mu\text{s}) = 10\mu\text{s}$$

$$\Delta q = q(5\mu\text{s}) - q(-5\mu\text{s})$$

$$= -10^{-7}e^{-10^5 \times 5 \times 10^{-6}} - [-10^{-7}e^{-10^5(-5 \times 10^{-6})}]$$

$$= -10^{-7}e^{-0.5} + 10^{-7}e^{0.5} = -10^{-7} \times 0.607$$

$$+ 10^{-7} \times 1.649$$

$$= 0.104 \times 10^{-6} \text{C} = 0.104\mu\text{C}$$

所以
$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{0.104 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = 0.0104\text{A} = 10.4\text{mA}$$

$$(2) \Delta q = q(2\pi\mu\text{s}) - q(0) = -10^{-7}e^{-10^5 \times 2\pi \times 10^{-6}} - (-10^{-7})$$

$$= -10^{-7}e^{-0.628} + 10^{-7}$$

$$= 0.0465 \times 10^{-6} \text{C} = 0.0465\mu\text{C}$$

所以
$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{0.0465 \times 10^{-6}}{2\pi \times 10^{-6} - 0} = 7.40 \times 10^{-3} \text{A}$$

$$=7.40\text{mA}$$

$$\begin{aligned}(3) \quad q(40 \times 10^{-6}) &= -10^{-7} e^{-10^5 \times 40 \times 10^{-6}} \\ &= -10^{-7} \times 0.0183 \\ q(0) &= -10^{-7}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{所以} \quad \Delta q &= q(40 \times 10^{-6}) - q(0) = -10^{-7} \times 0.0183 - (-10^{-7}) \\ &= 0.982 \times 10^{-7} = 98.2 \times 10^{-9} = 98.2 \text{ nC}\end{aligned}$$

例1-3 已知图 E1-3(a)中支路 a, b 两端的电压为 10V 。

(1) 若正电荷经过支路从 b 移至 a 时, 电荷获得电能, 试选择支路电压的参考极性, 并确定此电压变量的值;

(2) 设从 a 到 b 流经支路的电流为 6A , 在(1)中支路电压下, 求支路吸收功率;

(3) 设在(1)中支路电压下, 支路吸收功率为 50W , 求支路电流并用电流变量来表示。

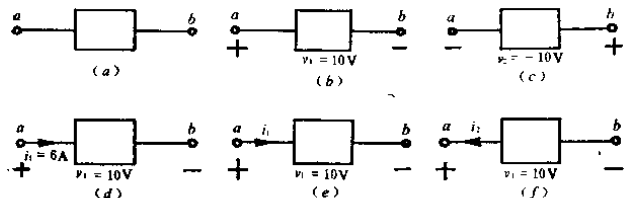


图 E1-3

解 (1) 支路电压的真实极性是 a “+”, b “-”, 可用两种方式表示, 分别如图(b)及(c)所示;

(2) 此时支路电流与支路电压为结合参考方向, 如图(d)所示。支路吸收功率

$$p = v_1 \cdot i_1 = 10 \times 6 = 60 \text{ W}$$

(3) 选支路电流 i_1 和支路电压 v_1 为结合参考方向, 如图(e)所示, 则支路吸收功率 $p = v_1 \cdot i_1 = 50 \text{ W}$ 。

所以
$$i_1 = \frac{50}{v_1} = \frac{50}{10} = 5\text{A}$$

也可选择支路电流 i_2 与支路电压 v_1 不符合结合参考方向, 如图(f), 则支路吸收功率 $p = v_1 \cdot (-i_2) = 50\text{W}$ 。

所以
$$i_2 = \frac{50}{-v_1} = \frac{50}{-10} = -5\text{A}$$

例1-4 已知图E1-4(a)中支路电流 i 和支路电压 v 的波形如图(b)及(c)所示。

(1) 画出支路吸收功率 $p(t)$ 的波形:

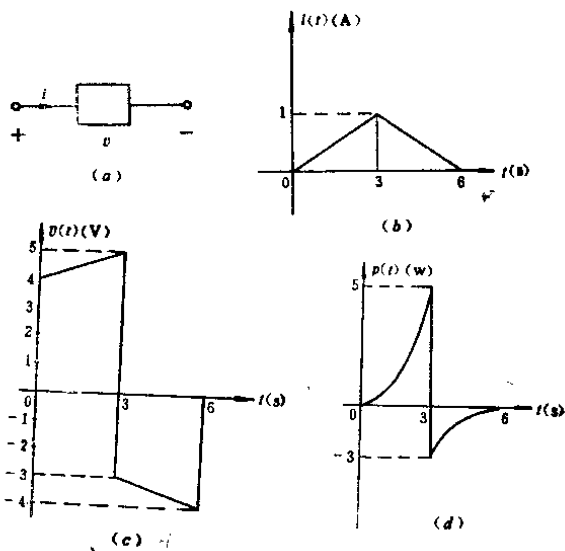


图 E1-4

(2) 求 $t=0$ 到 $t=3\text{s}$ 期间支路吸收的能量和平均功率(支路中没有初始储能);

(3) 求 $t=3\text{s}$ 到 $t=6\text{s}$ 期间支路吸收的能量和平均功率。

解 (1) 在 $0 < t < 6\text{s}$ 区间以外, v, i 均为零值, 在此区间以内, v, i 可用下列函数式表示

$$0 < t < 3\text{s} \quad i(t) = \frac{1}{3}t$$

$$v(t) = 4 + \frac{1}{3}t$$

$$3\text{s} < t < 6\text{s} \quad i(t) = 2 - \frac{1}{3}t$$

$$v(t) = -2 - \frac{1}{3}t$$

于是, 支路吸收的功率 p 可写成下列函数式

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \begin{cases} \frac{4}{3}t + \frac{1}{9}t^2 & 0 < t < 3\text{s} \\ -\left(4 - \frac{1}{9}t^2\right) & 3\text{s} < t < 6\text{s} \end{cases}$$

其波形如图(d)。

(2) 在 $t=0$ 到 $t=3\text{s}$ 期间支路吸收的能量

$$\Delta w = \int_0^3 v(t) \cdot i(t) dt = \int_0^3 \left(\frac{4}{3}t + \frac{1}{9}t^2 \right) dt = 7\text{J}$$

在此期间的平均功率

$$P = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{7}{3-0} = \frac{7}{3} \text{ W} = 2.33 \text{ W}$$

(3) 在 $t=3\text{s}$ 到 6s 期间支路吸收的能量

$$\Delta w = \int_3^6 \left[-\left(4 - \frac{1}{9}t^2\right) \right] dt = -5\text{J}$$

在此期间的平均功率

$$P = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{-5}{6-3} = -\frac{5}{3} = -1.67 \text{ W}$$

P 为负值,说明支路在此期间是向外供出功率。

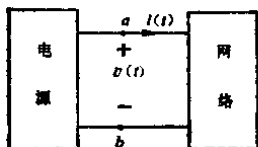


图 E1-5

例1-5 网络中端子 a , b 处的电压和电流的参考极性和参考方向如图 E1-5 所示。假定网络中无初始储能。如果在 $0 \leq t \leq 3\text{ms}$ 期间, 电压 $v(t) = 10 - 200t \text{ V}$, 电流 $i(t) = 10t^2 \text{ mA}$ 。求

(1) 从电源送到网络的功

率 $p(t)$;

(2) 供给网络的能量 $w(t)$;

(3) $t = 3\text{ms}$ 时, 存储在网络中的总能量。

解 (1) 网络吸收功率

$$\begin{aligned} p &= v(t) \cdot i(t) = (10 - 200t) \times 10t^2 \times 10^{-3} \\ &= 0.1t^2 - 2t^3 \text{ W} \quad 0 \leq t \leq 3\text{ms} \end{aligned}$$

(2) $0 \leq t \leq 3\text{ms}$ 期间供给网络的能量

$$\begin{aligned} \Delta w &= w(3\text{ms}) - w(0) = \int_0^{3 \times 10^{-3}} p(t) dt \\ &= \int_0^{3 \times 10^{-3}} (0.1t^2 - 2t^3) dt \\ &= \int_0^{3 \times 10^{-3}} 0.1t^2 dt - 2 \int_0^{3 \times 10^{-3}} t^3 dt \\ &= \frac{0.1}{3} t^3 \Big|_0^{3 \times 10^{-3}} - \frac{2}{4} t^4 \Big|_0^{3 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{0.1}{3} \times (3 \times 10^{-3})^3 - \frac{1}{2} (3 \times 10^{-3})^4 \end{aligned}$$

$$= 0.9 \times 10^{-9} - \frac{81}{2} \times 10^{-12}$$

$$= 859.5 \times 10^{-12} \text{ J} = 859.5 \text{ pJ}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad w(t) &= \int_0^t p(t') dt' = \int_0^t (0.1t'^2 - 2t'^3) dt' \\ &= \frac{0.1}{3} t^3 - \frac{1}{2} t^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad w(3\text{ms}) &= \frac{0.1}{3} (3 \times 10^{-3})^3 - \frac{1}{2} (3 \times 10^{-3})^4 = 859.5 \\ &\quad \times 10^{-12} \text{ J} \\ &= 859.5 \text{ pJ} \end{aligned}$$

例1-6 已知图E1-6电路。

- (1) 求所有未知的支路电压和电流；
- (2) 求 a 、 b 两点间电压 u_{ab} ；
- (3) 求各支路吸收的功率；
- (4) 验证电路的功率平衡关系，即所有支路吸收功率的代数和

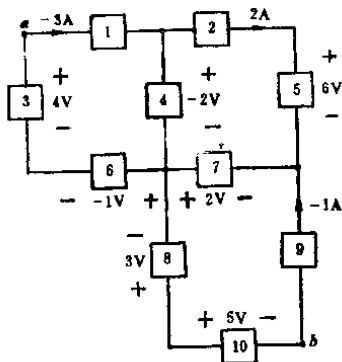


图 E1-6