

经典教材辅导用书



新编电路题解

《电路·第四版》（邱关源主编）学习指导
习题选解·综合题分析·模拟试题

汪 建 颜秋容



华中科技大学出版社

7M13-44

W37

新编电路题解

- 高教出版社《电路》(第四版)学习指导
- 习题选解
- 综合题分析
- 模拟试题

汪 建 颜秋容

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编电路题解/汪 建 颜秋容

武汉:华中科技大学出版社, 2002年6月

ISBN 7-5609-2697-5

I. 新…

II. ①汪… ②颜…

III. 电路-高等学校-题解

IV. TM13

新编电路题解

汪 建 颜秋容

责任编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任校对:蔡晓瑚

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:华中科技大学出版社沔阳印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:16.625

字数:400 000

版次:2002年6月第1版

印次:2002年9月第2次印刷

印数:5 001—10 000

ISBN 7-5609-2697-5/TM·83

定价:19.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

电路理论是电类专业的技术基础课之一,扎实的电路理论基础是后续的技术基础课及专业课学习的重要保证。由于该课的内容容量大,理论性及系统性强,因此课程的学习具有相当的难度。广大学生都迫切希望在学习该课程时能借助于针对性、实用性强的参考书,达到尽快入门,熟练掌握基本概念和基本方法,进而对所学知识融会贯通的目的。鉴于此,我们编写了本书,期盼它能在读者达到上述目的的过程中起到帮助作用。

本书着力于学习方法和解题方法的指导,强调对基本概念和基本方法的准确理解和灵活运用,力图使读者在学习电路理论课程时建立正确的思想方法,应用合理的思维方式,把握课程体系的基本脉络,达到理解和掌握电路理论规律性的目的。

由邱关源主编、高等教育出版社出版的《电路》(第四版)是国家级重点教材,为众多高等院校所选用。我们在编写本书时以该教材的学习为主线进行叙述,但本书的着重点是对电路理论课程教学普遍适用的一般学习及解题方法的指导,因此本书也同样适合用作其它版本电路理论教材的学习参考用书。

全书共分十八章,各章的顺序与《电路》(第四版)的对应相同。每章均由三个部分组成。

第一部分为“重点、难点学习指导”,除了对各章基本内容进行提要性叙述外,还对重要概念、基本解题方法、步骤及理解应用上易出错之处尽量给予多侧面注释性的说明,以帮助读者抓住各章要旨,建立整体概念,达到立竿见影的效果。

第二部分是“习题选解”,对教材《电路》(第四版)中的绝大部分习题进行计算求解,给出了详细的解题过程。各习题的编号与教

材中的一致。电路理论课程的学习效果在很大程度上体现在解电路题的能力上,而概念性强、解题方法多样及具有较大的灵活技巧性则是电路题求解的基本特点。在解题过程中,除了对涉及到的概念、方法进行说明外,力求表述解题的正确思路,并对要点、易错之处予以提示,许多习题求解后还对解题的方法和步骤进行了概括、小结。另外,还对一些习题给出了多种解法,便于读者加以比较。

第三部分是“综合题分析”,对一些需要综合运用多种概念或求解有一定难度的电路题进行了分析计算,其中部分例题选自历年的研究生入学试题。以使读者启迪思路,开阔视野,进一步加深对基本概念、基本解题方法的理解和掌握。

书末附有多套模拟试题,其中包括若干套近年来华中科技大学“电路理论”课程研究生入学考试全真试题及答案。

本书还可作为准备“电路理论”课程研究生入学考试的参考用书。

本书由汪建教授主编,其中第一~十章由汪建编写,第十一~十八章及附录 A 由颜秋容副教授编写。在本书的编写过程中,参考了许多版本的电路理论教材及相关参考书,谨向各作者致谢。本书的出版得到了华中科技大学出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。

限于作者的水平和经验,加之时间仓促,书中难免有疏漏不妥之处,恳请专家、读者不吝指教。

编 者

2001 年 8 月于华中科技大学

目 录

第一章 电路模型和电路定律	(1)
§ 1-1 重点、难点学习指导	(1)
§ 1-2 习题选解	(8)
§ 1-3 综合题分析	(22)
第二章 电阻电路的等效变换	(28)
§ 2-1 重点、难点学习指导	(28)
§ 2-2 习题选解	(33)
§ 2-3 综合题分析	(42)
第三章 电阻电路的一般分析	(52)
§ 3-1 重点、难点学习指导	(52)
§ 3-2 习题选解	(57)
§ 3-3 综合题分析	(70)
第四章 电路定理	(77)
§ 4-1 重点、难点学习指导	(77)
§ 4-2 习题选解	(81)
§ 4-3 综合题分析	(97)
第五章 含有运算放大器的电阻电路	(105)
§ 5-1 重点、难点学习指导	(105)
§ 5-2 习题选解	(106)
§ 5-3 综合题分析	(112)
第六章 一阶电路	(115)
§ 6-1 重点、难点学习指导	(115)
§ 6-2 习题选解	(122)
§ 6-3 综合题分析	(141)

第七章 二阶电路	(148)
§ 7-1 重点、难点学习指导	(148)
§ 7-2 习题选解	(152)
§ 7-3 综合题分析	(160)
第八章 相量法	(172)
§ 8-1 重点、难点学习指导	(172)
§ 8-2 习题选解	(178)
§ 8-3 综合题分析	(188)
第九章 正弦稳态电路的分析	(196)
§ 9-1 重点、难点学习指导	(196)
§ 9-2 习题选解	(207)
§ 9-3 综合题分析	(233)
第十章 含有耦合电感的电路	(243)
§ 10-1 重点、难点学习指导	(243)
§ 10-2 习题选解	(250)
§ 10-3 综合题分析	(269)
第十一章 三相电路	(280)
§ 11-1 重点、难点学习指导	(280)
§ 11-2 习题选解	(285)
§ 11-3 综合题分析	(303)
第十二章 非正弦周期电流电路和信号的频谱	(311)
§ 12-1 重点、难点学习指导	(311)
§ 12-2 习题选解	(316)
§ 12-3 综合题分析	(329)
第十三章 拉普拉斯变换	(335)
§ 13-1 重点、难点学习指导	(335)
§ 13-2 习题选解	(340)
§ 13-3 综合题分析	(360)
第十四章 网络函数	(367)

§ 14-1 重点、难点学习指导	(367)
§ 14-2 习题选解	(369)
§ 14-3 综合题分析	(383)
第十五章 电路方程的矩阵形式	(387)
§ 15-1 重点、难点学习指导	(387)
§ 15-2 习题选解	(396)
§ 15-3 综合题分析	(415)
第十六章 二端口网络	(422)
§ 16-1 重点、难点学习指导	(422)
§ 16-2 习题选解	(426)
§ 16-3 综合题分析	(440)
第十七章 非线性电路简介	(446)
§ 17-1 重点、难点学习指导	(446)
§ 17-2 习题选解	(452)
§ 17-3 综合题分析	(462)
第十八章 均匀传输线	(469)
§ 18-1 重点、难点学习指导	(469)
§ 18-2 习题选解	(477)
§ 18-3 综合题分析	(483)
附录 A 磁路和铁心线圈习题选解	(491)
附录 B 模拟试题及其答案	(497)
一、模拟试题	(497)
二、模拟试题答案	(519)

第一章 电路模型和电路定律

§ 1-1 重点、难点学习指导

一、电流和电压的参考方向

1. 参考方向的概念

所谓参考方向是一种假设正向,其作用是和电量计算结果的正负号一起确定其真实方向。需注意以下几点:

(1)在求解电路时,必须首先给出求解过程中所涉及的一切电压、电流的参考方向,并在电路图中予以标示。

(2)参考方向的指定具有任意性,但一经指定后,在求解过程中不得再予以变动。

(3)电路理论中的定义式(公式),求解电路的方程(组)均和特定的参考方向对应。

(4)无论怎样选择电量的参考方向,都不会改变其真实方向。

2. 关联参考方向

图 1-1 所示的电压、电流的参考方向称为关联参考方向或一致的参考方向,简称作关联正向。实际分析电路时,常采用关联参考方向,这样,可只指定电流(或电压)的参考方向。

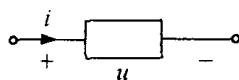


图 1-1

二、电功率和能量

1. 电功率的计算

当指定了参考方向后,一个元件(或一段电路)的电功率用下式计算:

$$p = \pm ui$$

在实际计算电功率时,应特别注意下面几点:

(1)功率为代数量,其数值的正、负表示相应的元件(或电路)功率的性质,即该元件是吸收功率还是发出功率。

(2)功率值的正负所表征的功率的性质与在指定的电压、电流参考方向下所选用的功率计算式相关。具体而言,当为关联参考方向时,若用 $p=ui$ 计算功率,则当 $p>0$ 时,元件(或电路)吸收功率;当 $p<0$ 时,为发出功率。采用非关联正向时,若仍用 $p=ui$ 计算,则 $p>0$ 时,为发出功率;当 $p<0$ 时,为吸收功率。

(3)依(2)的分析,认定 $p>0$ 为吸收功率与认定 $p>0$ 为发出功率是计算功率的两种不同前提,采用不同的前提时在相同的参考方向下所使用的功率计算式相差一个符号。

(4)为避免混乱,在课程的学习过程中,一般应始终在一种前提下讨论和计算功率。如在本书中,按惯例以 $p>0$ 是吸收功率作为前提进行计算。这样,在关联正向时,功率的计算式为 $p=ui$;而在非关联正向时,计算式为 $p=-ui$ 。

(5)某元件吸收“正”功率与其发出“负”功率在含义上相同,即两种说法等价。

2. 能量

能量也是代数量,它和功率之间是微分、积分的关系,即

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

$$W = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi$$

需注意能量和功率的单位不同,不要混淆。

三、电路元件的有关概念

1. 电路元件的定义式和特性曲线

电路元件均可用数学式加以精确定义;定义元件的二维空间

称为特性平面；特性平面上元件的定义曲线称为特性曲线。

应注意的是电路元件定义式的符号及其特性曲线在定义平面上的位置均与电量参考方向的选取有关。

2. 电路元件的分类

电路元件可按其特性曲线的性状及其在坐标平面上的位置进行分类。

电路元件共有四类：线性时不变元件、线性时变元件、非线性时不变元件、非线性时变元件。例如线性时变元件的定义式满足关系式 $y = K(t)x$ ，比例系数 K 是时间的函数，则元件的特性曲线是一条通过原点的直线，且直线在坐标系中的位置随时间不断变化。

3. 无源元件和有源元件

若元件在任何时刻从外部吸收的能量满足关系式

$$W = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = \int_{-\infty}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \geq 0$$

称之为无源元件，否则为有源元件。上式 u 、 i 取关联正向，并对 u 、 i 取所有可能的组合。

若是电阻元件，可直观地根据其特性曲线在 u - i 平面上的位置判断它的有源性或无源性。 u 、 i 取关联正向时，若特性曲线总位于第一、三象限，则为无源电阻元件。但若特性曲线只要有一小段处于二、四象限，则是有源电阻元件。

4. 耗能元件和非耗能元件

若元件在电路中总是从外部吸收能量，即对任意 t ，有

$$p = ui > 0$$

则称之为耗能元件，式中 u 、 i 取关联正向。

注意以下两点：

(1) 在确定的电路中，某元件或扮演“耗能元件”或扮演“非耗能元件”的角色，两者必居其一。

(2) 耗能元件与元件的无源性、有源性是不同的概念。在电路中无源元件不一定是耗能元件。而有源元件也可能是耗能元件，这

取决于电路的工作点。例如电感、电容元件是无源元件,但它们都是非耗能元件;而独立电源是有源元件,但若它们在电路中从外部吸收能量,则表现为“耗能元件”。

四、电阻元件

关于电阻元件的说明。

(1)电阻元件的定义式是变量 u 、 i 间的代数关系式。

(2)满足关系式 $u_R = Ri_R$ (欧姆定律)的电阻是线性的,否则为非线性的。

(3)关系式 $u = Ri$ 与 u 、 i 为关联正向对应。

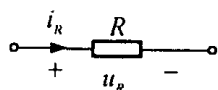


图 1-2

如图 1-2 所示,若为非关联正向,则 $u_R = -Ri_R$ 。

(4)在取关联正向时,电阻元件的功率 $p =$

$$u_R i_R = i_R^2 R = \frac{u_R^2}{R}; \text{若取非关联正向,则 } p = -u_R i_R \\ = -i_R^2 R = -\frac{u_R^2}{R}。$$

(5)当 u 、 i 为关联正向时,若 $u_R = Ri_R$,且 $R > 0$,称 R 为“正电阻”,若 $R < 0$,则称为“负电阻”。工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。

(6)正电阻的功率 $p > 0$,即它恒为耗能元件,而负电阻的 $p < 0$,即它在电路中是向外输送功率的。

(7)当电阻元件的阻值 $R = 0$ 时,其可用一根短路线替代;当 $R = \infty$ 时,其等价于“开路”,可用“断路”表示。

五、电容元件

关于电容元件的说明。

(1)线性电容元件的定义式为 $q_C = Cu_C$,该式对应于 u 、 q 取“一致的参考方向”,即电压极性为正的极板上带正电荷,如图 1-3 所示。

(2) 当电压、电流取关联正向时(见图 1-3), 电容元件的伏安关系式为 $i_C = C \frac{du_C}{dt}$, 或 u_C

$$= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C(\xi) d\xi.$$

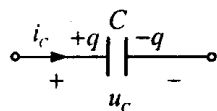


图 1-3

(3) 电容元件的电流比例于电压的变化率, 这是电容元件与电阻元件的一个重要不同之处。称电容元件为动态元件。

(4) 在直流电路中, 通过电容的电流恒为零, 称之为电容元件的“隔直作用”; 而在电路工作频率极高时, 电容元件两端电压近似为零, 即相当于“短路”。

(5) $u_C = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\xi) d\xi$, 其中 $u_C(t_0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i_C(\xi) d\xi$, 该式说明, 当前时刻 t 的电容电压不仅与现时的电流相关, 而且与以前电流的作用情况有关, 即它具有记忆电流作用的本领, 故称电容元件为“记忆元件”。

(6) 当电容电流为有界函数时, 电容电压不可能发生“突变”(或跳变), 只能连续变化, 称之为电容电压的连续性, 这是电容元件一个很重要的性质。

(7) 电容元件中储藏的电场能量计算式为

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2$$

(8) 由于在任意时刻 t , 均有 $W_C \geq 0$, 这表明电容元件是无源元件。同时它能存储电场能量, 但不消耗能量, 故电容元件是非耗能元件, 且称它为“储能元件”。

六、电感元件

关于电感元件的说明

(1) 当电流和磁链的参考方向符合右手螺旋法则时, 线性电感元件的定义式为 $\Psi_L = L i_L$ 。

(2)当电感元件的电压、电流为关联正向时,其伏安关系式为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \text{ 或 } i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L(\xi) d\xi。$$

(3)由电容、电感元件的伏安关系式可知, i_C 与 u_L 、 u_C 与 i_L 具有类比性,称电感、电容元件为对偶元件。

(4)电感元件也是动态元件。在直流电路中,电感元件两端的电压为零,相当于短路;而当电路的工作频率极高时,电感元件近似为“开路”。

(5)当电感元件两端的电压为有界函数时,电感电流不能跳变,称之为电感电流的连续性。

(6)电感元件是储能元件,其储藏的磁场能量的计算式为

$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2$$

(7)与电容元件相似,电感元件是无源元件,亦是耗散元件。

七、独立电源

1. 电压源

(1)独立电压源被定义在 $u-i$ 平面上,其特性曲线为一条平行于 i 轴的直线,这表明电压源的端电压与通过它的电流的大小无关。

(2)按电阻元件的定义,电压源实质上是一非线性电阻元件。

(3)电压源是能向外部输出随时间按某种规律变化的电压的元件,它是有源元件。

(4)在电路中,电压源可以是输出功率(即产生功率),也可能是吸收功率,即此时它的表现和电阻一样,在电路中消耗能量。不要误以为电源在电路总是能提供能量。

(5)在电压源的电路符号中,务必给出其端电压的参考极性。

2. 电流源

(1)电流源也是被定义在 $u-i$ 平面上的一种二端元件,它的特

性曲线是一条平行于 u 轴的直线,即它输出的电流与其两端电压的大小无关。

(2) 电流源也可视为一种非线性电阻元件且是有源的。

(3) 在电路中,电流源可能向外部提供功率,也可能是消耗功率,这取决于其两端电压的真实极性。

八、受控电源

(1) 受控电源是为模拟电子器件中的物理过程而提出的一种理想化的电路元件。

(2) 须注意独立电源和受控电源的区别。两者主要的不同在于独立电源的输出不受外界的影响,而受控电源的输出则受制于其它支路的某个电量。

(3) 受控电源为四端元件,其由控制支路和输出支路构成。

(4) 依控制量和输出量的不同,受控电源有四种类型:电压控制型电压源(VCVS),电压控制型电流源(VCCS),电流控制型电压源(CCVS)和电流控制型电流源(CCCS)。

(5) 当电路中含有受控电源时,其分析处理方法有着许多特殊之处,这将在后面有关各章中分别述及,务请予以注意。

九、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。

(1) KCL 的内容是:在指定了各支路电流的参考方向后,流进(或流出)电路中任一节点电流的代数和为零,即 $\sum_{j=1}^N i_j = 0$ 。KCL 也适用于电路中的任一封闭面。

(2) KVL 的内容是:在指定了各支路电压的参考方向后,沿电路任一闭合回路电压的代数和为零,即 $\sum_{j=1}^b u_j = 0$ 。KVL 也适用于

虚拟回路。

(3)基尔霍夫定律是电路的基本定律,是电路分析的基本依据。只要是集中参数电路,它都是普遍适用的。事实上,各种电路分析方法(如结点法、回路法等)不过是基尔霍夫定律的某种特定表现形式。

(4)基尔霍夫定律与元件特性无关,它反映的是网络的拓扑关系,体现的是电路结构上的内在联系。

(5)在列写 KCL 方程时需注意各项电流符号的确定,即若将流进结点(封闭面)的电流取正号,则流出结点的电流取负号,反之亦然。

(6)当列写 KVL 方程时,为确定各项电压的符号,需首先指定回路的绕行方向(顺时针或逆时针),参考方向与绕行方向一致的电压取正号,反之取负号。

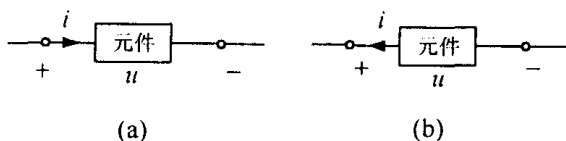
§ 1-2 习题选解*

题 1-1 说明图(a)、(b)中:

(1) u 、 i 的参考方向是否关联?

(2) ui 乘积表示什么功率?

(3)如果在图(a)中 $u > 0$ 、 $i < 0$;图(b)中 $u > 0$ 、 $i > 0$,元件实际发出还是吸收功率?



题 1-1 图

* 为运算方便,书中非标准量方程一律当数值方程处理。

解: (1) 图(a)中电流的参考方向是从电压的正极性端指向负极性端, 因此 u 、 i 的参考方向为关联正向。

图(b)中 u 、 i 为非关联正向。

(2) 图(a)中 u 、 i 为关联正向, 则乘积“ ui ”表示元件吸收的功率。

图(b)中 u 、 i 为非关联正向, 乘积“ ui ”表示元件发出的功率。

(3) 当计算功率时, 在不同的计算前提下, 可采用两套公式。为避免混乱, 本书中约定按“吸收功率”为前提进行计算。

图(a)中, 因是关联正向, $p=ui$ 。由于 $u>0, i<0$, 则 $p<0$, 即元件实际发出功率。

图(b)中, 因是非关联正向, $p=-ui$ 。由于 $u>0, i>0$, 则 $p<0$, 即元件实际也是发出功率。

题 1-2 若某元件端子上的电压和电流取关联参考方向, 而 $u=170\cos(100\pi t)\text{V}$, $i=7\sin(100\pi t)\text{A}$ 。求:

(1) 该元件吸收功率的最大值;

(2) 该元件发出功率的最大值。

解: 因 u 、 i 为关联正向, 则

$$\begin{aligned} p &= ui = 170\cos(100\pi t) \cdot 7\sin(100\pi t)\text{W} \\ &= 1190\sin(100\pi t)\cos(100\pi t)\text{W} = 595\sin(200\pi t)\text{W} \end{aligned}$$

(1) 由 p 的表达式可知, 其正的最大值为 595W , 这是元件吸收的最大功率。

(2) p 的最小值为 -595W , 即元件发出功率的最大值为 595W 。

题 1-5 图(a)电容中电流 i 的波形如图(b)所示, 现已知 $u_C(0)=0$, 试求 $t=1\text{s}$, $t=2\text{s}$ 和 $t=4\text{s}$ 时的电容电压 u_C 。

解: 该电容的 u 、 i 为关联参考方向, 则有

$$u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi$$

当 $0 \leq t < 2\text{s}$, $i=5t\text{V}$, 于是