



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

湖北省精品课程教材

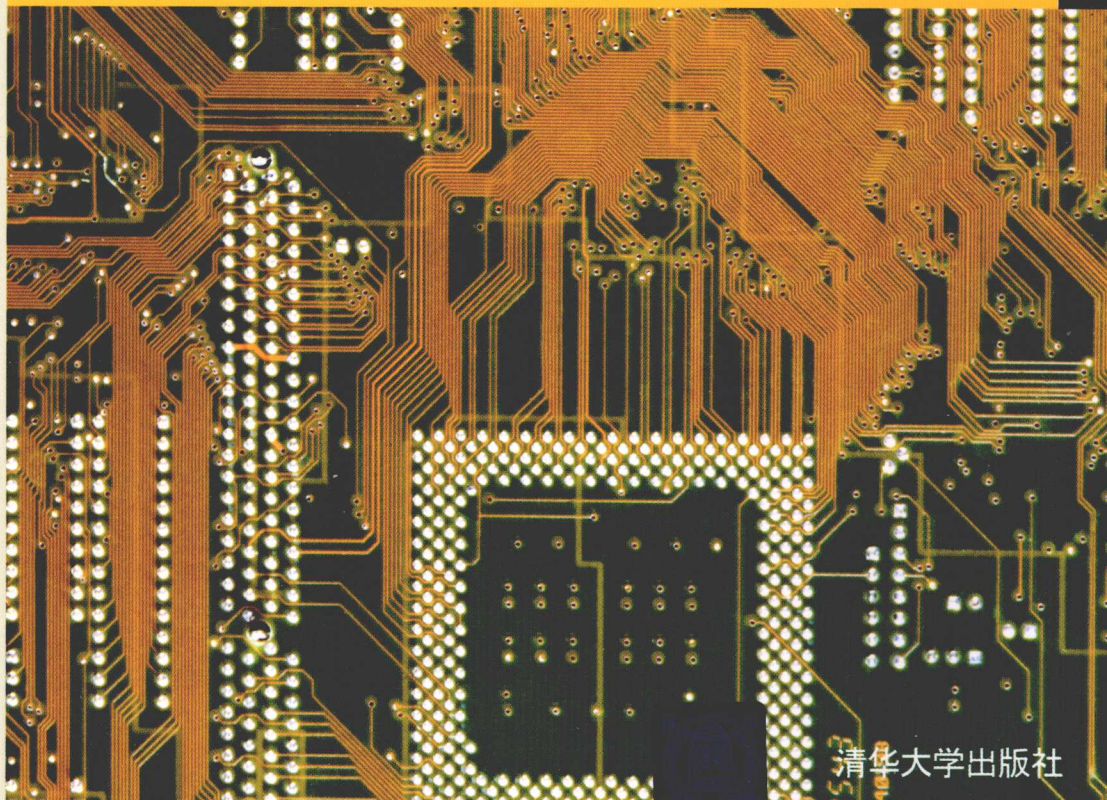
国家工科电工电子教学基地教材

主编 汪 建

编者 陈明辉 骆 健 曹 娟

电路原理

学习指导与习题题解



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

湖北省精品课程教材

国家工科电工电子教学基地教材

电路原理

学习指导与习题题解

主编 汪 建

编者 陈明辉 骆 健 曹 娟

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与汪建编著的《电路原理》配套的教辅。全书包含了课程学习指导和《电路原理》上、下册中的所有习题(含各节练习题)题解。书中每章由学习要点、练习题题解和习题题解三部分组成。学习要点对每章的知识点、重点、难点进行了明确细致的归纳;题解部分对全部的练习题及习题都给出了较详细的解题过程,特别注意了对解题方法的指导。

本书可作为普通高等院校电子信息 and 电气工程类专业学生学习电路原理的辅导教材,也可作为硕士研究生入学考试考前复习参考用书,还可供从事电路原理课程教学的教师参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路原理学习指导与习题题解/汪建主编. —北京:清华大学出版社,2010.8

ISBN 978-7-302-22361-0

I. ①电… II. ①汪… III. ①电路理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 059543 号

责任编辑:陈志辉 刘佩伟

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:31.75 字 数:785 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版 印 次:2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00 元

产品编号:027483-01

前 言

电路原理是高等院校电气、通信、自动控制、光电技术、电子技术等电类学科的一门重要的专业技术基础课。由汪建编著的《电路原理》(“十一五”国家级规划教材)在内容、体系、结构、习题的选择以及论述方法上,力图体现本课程的教学规律和基本要求,总结了作者多年课程教学实践的经验和体会以及教学研究、改革的成果。该教材在 2008 年获得华中科技大学优秀教材一等奖。

本书就是为该教材的使用而编写的配套教辅。一方面可供从事电路原理课程教学的教师做参考用,从而共同探讨课程的教学规律和新的教学要求如何在教学实践中把握和实现,以促进教学质量的不断提高。另一方面为正在学习本课程的学生提供必要的帮助和指导,使他们更全面、深刻地认识、理解课程的知识体系,了解和掌握本课程的基本知识点、重点和难点,解决学习中所遇到的困难,启迪思维、开阔思路,培养主动学习、积极探究的精神和分析问题、解决问题的能力。

全书按照教材的章节顺序编写。每章由学习要点、练习题题解、习题题解三部分组成。学习要点对本章的基本知识点以及重点、难点内容进行了有条理且细致地归纳,对各知识点的掌握和应用要求做了明确的提示和说明。练习题题解和习题题解分别对教材中各节后的全部练习题和各章后的全部习题进行了解答,给出了较详细的解题过程。题解部分注意加强对解题方法的指导。对大多数习题的求解,给出了解题思路,对难点和易错之处给出了提示和说明,以帮助学生准确地理解和正确地运用所学的基本概念和基本分析方法。在课程学习过程中,读者应在独立完成作业的基础上,参考本书对照检查,以提高学习效果,达到融会贯通的目的。

汪建任本书主编,参加本书编写的有陈明辉(第 9、11 章)、骆健(第 5、6 章)、曹娟(第 7、8、14 章)、汪建(第 1~4、10、12、13、15 章),全书由汪建统稿。

本书的出版得到了清华大学出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平和能力有限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 6 月于华中科技大学

目 录

第 1 章 电路的基本定律和电路元件	1
1.1 学习要点	1
1.1.1 电路的基本概念	1
1.1.2 电流、电压及其参考方向	1
1.1.3 功率和能量	2
1.1.4 基尔霍夫定律	3
1.1.5 奇异函数与波形的表示	3
1.1.6 电路元件	3
1.2 练习题题解	5
1.3 习题题解	11
第 2 章 电路分析方法之一——等效变换法	31
2.1 学习要点	31
2.1.1 等效电路和等效变换的概念	31
2.1.2 电阻元件的串联、并联及混联	31
2.1.3 电源的等效变换	32
2.1.4 无伴电源的转移	33
2.1.5 线性电阻的 $Y-\Delta$ 等效变换	33
2.1.6 受控电源的等效变换	34
2.1.7 求二端网络入端等效电阻的方法	35
2.1.8 动态元件的串、并联	36
2.2 练习题题解	38
2.3 习题题解	46
第 3 章 电路分析方法之二——电路方程法	68
3.1 学习要点	68
3.1.1 网络图论的基本概念	68
3.1.2 有向图的矩阵表示	68
3.1.3 KCL、KVL 的矩阵形式	69
3.1.4 典型支路的特性方程、 $2b$ 法	71
3.1.5 支路分析法	71
3.1.6 节点分析法	72

3.1.7 网孔分析法	73
3.1.8 回路分析法	73
3.1.9 割集分析法	74
3.1.10 对偶原理和对偶电路	75
3.2 练习题题解	75
3.3 习题题解	81
第4章 电路分析方法之三——运用电路定理法	103
4.1 学习要点	103
4.1.1 叠加定理	103
4.1.2 替代定理	103
4.1.3 等效电源定理	104
4.1.4 特勒根定理	105
4.1.5 互易定理	106
4.1.6 最大功率传输定理	106
4.1.7 中分定理	106
4.2 练习题题解	107
4.3 习题题解	112
第5章 正弦稳态电路分析	136
5.1 学习要点	136
5.1.1 正弦稳态电路的基本概念	136
5.1.2 相量法及电路基本定律与元件特性的相量形式	137
5.1.3 复阻抗和复导纳	138
5.1.4 正弦稳态电路的分析计算	139
5.1.5 正弦稳态电路的功率	139
5.1.6 功率因数提高	141
5.2 练习题题解	141
5.3 习题题解	154
第6章 谐振电路与互感耦合电路	199
6.1 学习要点	199
6.1.1 谐振电路与谐振的基本概念	199
6.1.2 串联谐振电路	199
6.1.3 并联谐振电路	201
6.1.4 实用并联谐振电路	201
6.1.5 一般谐振电路	202
6.1.6 耦合电感的基本概念	202
6.1.7 互感耦合电路的分析	203
6.1.8 空心变压器电路的分析	204

6.1.9 理想变压器	205
6.2 练习题题解	206
6.3 习题题解	214
第7章 三相电路	242
7.1 学习要点	242
7.1.1 三相电路的基本概念	242
7.1.2 三相电路的基本连接方式	243
7.1.3 对称三相电路的计算	243
7.1.4 不对称三相电路的计算	243
7.1.5 三相电路的功率及测量	243
7.2 练习题题解	244
7.3 习题题解	248
第8章 周期性非正弦稳态电路分析	263
8.1 学习要点	263
8.1.1 周期性非正弦稳态电路的基本概念	263
8.1.2 周期性非正弦函数的谐波分析	263
8.1.3 周期性非正弦电压、电流的有效值与平均值及二端网络的 有功功率(平均功率)	264
8.1.4 周期性非正弦稳态电路分析	265
8.1.5 对称三相周期性非正弦电路的稳态分析	266
8.2 练习题题解	266
8.3 习题题解	272
第9章 双口网络	293
9.1 学习要点	293
9.1.1 双口网络及其方程	293
9.1.2 双口网络的参数	293
9.1.3 双口网络参数间的关系	295
9.1.4 双口网络的等效电路	295
9.1.5 复合双口网络	296
9.1.6 有载双口网络	297
9.1.7 回转器与负阻抗变换器	297
9.2 练习题题解	298
9.3 习题题解	309
第10章 暂态分析方法之一——时域分析法	339
10.1 学习要点	339
10.1.1 动态电路暂态过程的基本概念	339

10.1.2	动态电路初始值的确定	339
10.1.3	动态电路初始状态的突变	340
10.1.4	一阶电路的响应	340
10.1.5	二阶电路	342
10.1.6	阶跃响应和冲激响应	342
10.1.7	线性时不变网络零状态响应的基本特性	343
10.1.8	卷积	343
10.2	练习题题解	344
10.3	习题题解	356
第 11 章	暂态分析方法之二——复频域分析法	400
11.1	学习要点	400
11.1.1	拉普拉斯变换	400
11.1.2	拉普拉斯变换的基本性质	400
11.1.3	用部分分式展开法求拉氏反变换	401
11.1.4	用运算法求解暂态过程	402
11.1.5	网络函数	403
11.2	练习题题解	403
11.3	习题题解	409
第 12 章	暂态分析方法之三——状态变量分析法	427
12.1	学习要点	427
12.1.1	状态变量分析法的基本概念	427
12.1.2	状态方程的编写方法	427
12.1.3	输出方程的编写方法	428
12.1.4	状态方程和输出方程的解法	428
12.2	练习题题解	429
12.3	习题题解	432
第 13 章	均匀传输线的稳态分析	444
13.1	学习要点	444
13.1.1	均匀传输线的基本方程	444
13.1.2	均匀传输线方程的正弦稳态解	444
13.1.3	均匀传输线的正向行波和反向行波	446
13.1.4	均匀传输线的副参数及其特性	447
13.1.5	终端接负载的均匀传输线	447
13.1.6	无损耗传输线	449
13.1.7	均匀传输线的集中参数等效电路	451
13.2	练习题题解	453

13.3 习题题解	458
第 14 章 均匀传输线的暂态分析	464
14.1 学习要点	464
14.1.1 无损耗线偏微分方程的通解	464
14.1.2 无损耗线暂态过程中波的发生与反射	465
14.1.3 采用柏德生法则研究无损耗线的暂态过程	465
14.2 练习题题解	466
14.3 习题题解	468
第 15 章 非线性电路分析概论	475
15.1 学习要点	475
15.1.1 非线性电路元件的基本概念	475
15.1.2 非线性电阻电路方程的建立	476
15.1.3 非线性电阻电路的三个基本概念	476
15.1.4 非线性电阻电路的图解分析法	476
15.1.5 具有分段线性端口特性的非线性电阻电路设计	476
15.1.6 小信号分析法	477
15.1.7 非线性电阻电路的分段线性化方法	477
15.1.8 非线性动态电路状态方程的建立	478
15.1.9 一阶非线性动态电路的分段线性化方法	478
15.2 练习题题解	479
15.3 习题题解	484

第 1 章 电路的基本定律和电路元件

1.1 学习要点

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路

由电器件或用电设备相互连接而成的电流的通路称为电路。电路又称电网络或网络。

在电路原理中,电路通常是指由理想电路元件构成的电路模型。

2. 理想化的电路元件

实际的电器件一般包含了多种电磁现象。理想化的电路元件是实际电路器件的理想化模型,是一种科学抽象,它通常只含有一种电磁现象,其特性用数学式予以表征。例如实际电阻器和电容器的理想化模型分别是电阻元件和电容元件。

理想化的电路元件简称电路元件。

3. 电路模型

由理想电路元件构成的电路称为电路模型,电路理论所研究的对象便是电路模型,简称其为电路。

4. 集中参数电路和分布参数电路

实际电路可分为集中参数电路和分布参数电路两类。

若认为电磁波在电路中的传播速度为无限大,即电磁波在瞬间便能到达电路的任何部位,这样的电路便是集中参数电路,否则就是分布参数电路。集中参数电路用常微分方程描述,而分布参数电路用偏微分方程描述。

若用 λ 表示电路中电流波或电压波的最高频率对应的波长, l 表示电路的最大几何尺寸。上述两种电路可用数学式 $\lambda > 100l$ 予以判断:该式成立时是集中参数电路,否则便是分布参数电路。

1.1.2 电流、电压及其参考方向

电流、电压是电路中的两个基本电量。

1. 电流

大量电荷的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度 i 表征,其定义式为

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

电流强度也简称为电流。这样,“电流”这一术语既表示一种物理现象,同时也代表一种物

理量。

交变电流一般用小写字母 i 表示,而直流电流可用大写字母 I 表示。

实际的电流包括传导电流、徙动电流和位移电流等三种类型。

一般规定正电荷的运动方向为电流的正方向。

2. 电压

电压是表征电场力作功能力的物理量,其定义式为

$$u = \frac{dW}{dq}$$

电位是一种特殊的电压。电路中某点的电位是指该点与电路中指定的参考点之间的电压。在涉及电位的概念时,务必指明电路中的参考点。

交变电压一般用小写字母 u 表示,而直流电压可用大写字母 U 表示。

电压具有极性。

3. 电流、电压的参考方向

在电路原理中,电流、电压的参考方向是极为重要的基本概念。

参考方向是一种假定方向,其作用是用于对电路进行分析计算,并和计算结果的正负号结合以判断电量的真实方向。

电流的参考方向用箭头表示,电压的参考方向(或参考极性)则用“+”、“-”号表示。

当电流的参考方向指定为从电压的参考“+”极性端流入,从“-”极性端流出时(如图 1-1 所示),称为一致的参考方向,或关联的参考方向,也简称关联正向。

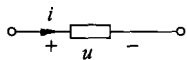


图 1-1 关联的参考方向

在分析计算电路时,必须在电路图中标示所有在计算中所涉及及的电量的参考方向。

1.1.3 功率和能量

1. 功率

将电路在单位时间内吸收或送出的电能定义为电功率,简称功率,其定义式为 $p = \frac{dW}{dt}$ 。

在电路分析中,功率用电压、电流计算,可按吸收功率为前提或发出功率为前提进行计算,且计算式与选取的参考方向对应。若约定以吸收功率为前提计算,则计算式为

$$\begin{cases} p = ui & \text{关联正向时} \\ p = -ui & \text{非关联正向时} \end{cases}$$

按上述公式计算出的功率为正值时,为吸收功率;若为负值,则为送出功率。

2. 能量

电路在一段时间内吸收的电能用下式计算

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^{t_1} u i dt$$

若有关系式 $W = \int_{-\infty}^t p d\tau = \int_{-\infty}^t u i d\tau \geq 0$ 成立,则称电路是无源的,否则称电路是有源的。

应注意,功率的单位为瓦(W),而能量的单位为焦(J)。

1.1.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律,是电路分析的基本依据之一。该定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(KCL)指出,在集中参数电路中,任一封闭面(或节点)电流的代数和为零,即 $\sum_{k=1}^b i_k = 0$ 。

在列写 KCL 方程时,需先指定各支路电流的参考方向,若约定流出封闭面(节点)的电流为正,则流入封闭面(节点)的电流为负,反之亦然。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)指出,在集中参数电路中,任一闭合回路中各支路电压的代数和为零,即 $\sum_{k=1}^b u_k = 0$ 。

在列写 KVL 方程时,需先指定各支路电压的参考方向以及回路的绕行方向。当支路电压的参考方向与回路绕行方向一致时,该项电压为正,否则为负。

1.1.5 奇异函数与波形的表示

1. 阶跃函数和冲激函数

奇异函数也称为广义函数。阶跃函数和冲激函数是两种典型的奇异函数,它们在电路理论和信息处理技术中有着重要而广泛的应用。单位阶跃函数 $\epsilon(t)$ 和单位冲激函数 $\delta(t)$ 是微分、积分的关系,即

$$\delta(t) = \frac{d\epsilon(t)}{dt}$$

或

$$\epsilon(t) = \int_{-\infty}^t \delta(t') dt'$$

2. 闸门函数

图 1-2 所示为闸门函数 $G(t)$ 的波形。闸门函数可用阶跃函数和脉冲函数 $P_{\Delta}(t)$ 表示,有三种表示法,即

$$G(t) = \epsilon(t - t_1) - \epsilon(t - t_2)$$

$$G(t) = \epsilon(t - t_1)\epsilon(t_2 - t)$$

$$G(t) = (t_2 - t_1)p_{(t_2-t_1)}(t - t_1)$$

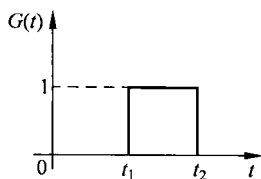


图 1-2 闸门函数的波形

3. 分段连续波形的表示

可借助闸门函数或奇异函数将分段连续的波形用一个数学式予以表示。

1.1.6 电路元件

1. 电路元件的分类

电路元件分为四类: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。

2. 电阻元件

电阻元件定义在电压、电流平面上(u - i 平面)。若定义曲线是一条通过原点的直线,则对应的是线性电阻元件;若定义曲线在 u - i 平面上的位置不随时间而变,对应的就是时不变电阻元件。线性时不变电阻元件的定义式是欧姆定律,即

$$u(t) = Ri(t) \quad \text{或} \quad i(t) = Gu(t)$$

注意上式与 u 、 i 为关联正向对应,若 u 、 i 为非关联正向,则欧姆定律为

$$u(t) = -Ri(t)$$

在 u 、 i 为关联正向时,若定义曲线在 u - i 平面上是一条位于二、四象限的过原点的直线,则这一电阻称为“负电阻”。

非线性电阻元件的定义曲线不是一条直线。非线性电阻元件分为电压控制型、电流控制型及单调型等类型。

3. 电容元件

电容元件定义在电荷 q_C 、电压 u_C 平面上(q_C - u_C 平面)。线性时不变电容元件的定义曲线是一条过原点的直线,且曲线的位置不随时间变化,其定义式为

$$q_C(t) = Cu_C(t)$$

对线性时不变电容元件,其电压、电流之间的关系式为

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

或

$$u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C dt' = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C dt'$$

当电容电流中不含有冲激分量时,电容电压不会突变,这一结论称为电容电压连续性原理,其表达式为

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) \quad \text{或} \quad u_C(t_{0+}) = u_C(t_{0-})$$

电容储能的计算式为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu_C^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

4. 电感元件

电感元件定义在磁链 ψ_L 、电流 i_L 平面上(ψ_L - i_L 平面)。线性时不变电感元件的定义式为

$$\psi_L(t) = Li_L(t)$$

其电压、电流间的关系式为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

或

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L dt' = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L dt'$$

当电感元件两端的电压中不含有冲激分量时,电感电流不会发生突变,这一结论称为电感电流连续性原理。

5. 独立电压源

一个二端元件,若其在电路中总能保持端电压为确定的量值或波形,与流过它的电流无

关,称之为独立电压源。

独立电压源定义在 $u-i$ 平面上,其本质上是一非线性电阻元件。

独立电压源可工作于电源状态,即向外部输出功率;也可工作于负载状态,即从外部吸收功率。

6. 独立电流源

一个二端元件,若其在电路中总能维持输出的电流为确定的量值或波形,与它的端电压无关,称之为独立电流源。

独立电流源也定义在 $u-i$ 平面上,其本质上是一非线性电阻元件。

独立电流源既可工作于电源状态,也可工作于负载状态。

7. 受控电源

受控电源是一种四端元件,也是一种耦合元件,其输出受输入的控制。共有四种形式的受控电源,即 CCCS、CCVS、VCCS、VCVS。

受控源与独立电源有着本质的不同,受控源在电路中不能单独产生电压或电流。含受控源的电路在处理方法上有着特殊之处,需加以注意。

8. 运算放大器

运算放大器是一种多端元件。从电路分析的角度看,其最重要的端子有四个,即同相输入端、反相输入端、输出端和接地端。

理想运算放大器是实际运算放大器的理想化模型。理想化的条件是其放大倍数为无穷大、输入电阻为无穷大及输出电阻为零。

理想运放最重要的特性是“虚断路”和“虚短路”。“虚断路”是指流入两个输入端子的电流为零;“虚短路”是指两个输入端子间的电压为零。这两个特性是分析含理想运放电路的重要依据。

1.2 练习题题解

1-1 如图 1-3 所示电路。

(1) 在图 1-3(a)中,若设 $i_1 = -2\text{A}$, $i_2 = 3\text{A}$, $i_3 = -1\text{A}$,问是否满足 KCL?

(2) 在图 1-3(a)中,若设 $i_1 = -2e^{-2t}\text{A}$, $i_2 = -3e^{-2t}\text{A}$,求 i_3 ;

(3) 在图 1-3(b)中,电路仅有一处接地,求电流 i_1 和 i_2 为多少?

(4) 在图 1-3(c)中,电路有两处接地,求电流 i_1 和 i_2 的关系。

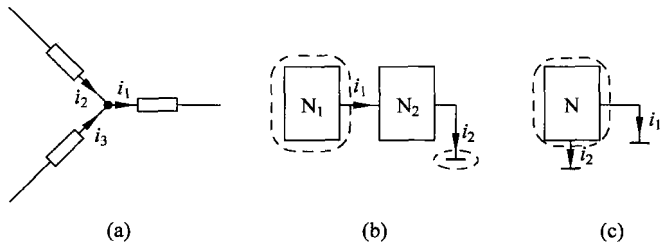


图 1-3 练习题 1-1 图

解 (1) 对节点列写 KCL 方程, 有

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

将设定的数据代入后, 上式并不成立, 因此这组电流数据不满足 KCL。

(2) 由 KCL, 有

$$i_3 = i_1 - i_2 = -2e^{-2t} - (-3e^{-2t}) = e^{-2t} \text{ A}$$

(3) 作封闭面, 如图 1-3(b) 中虚线所示, 由 KCL, 得

$$i_1 = 0 \quad i_2 = 0$$

(4) 作封闭面如图 1-3(c) 中所示, 由 KCL, 有

$$i_1 + i_2 = 0$$

即

$$i_1 = -i_2$$

1-2 电路如图 1-4 所示。

(1) 若设 $i_5 = 2 \text{ A}$, $i_6 = -3 \text{ A}$, $i_9 = -2 \text{ A}$, 能否求出 i_7 ? 若能求得 i_7 , 其值是多少?

(2) 若已知条件仍如(1), 又设 $i_4 = -1 \text{ A}$, $i_8 = 2 \text{ A}$, 能否求出全部的电流? 试求出尽可能多的电流。

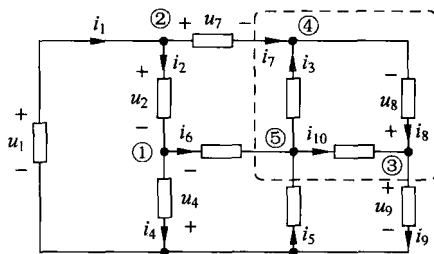


图 1-4 练习题 1-2 图

解 (1) 作如图 1-4 中所示的封闭面, 由 KCL, 有

$$-i_5 - i_6 - i_7 + i_9 = 0$$

于是得

$$i_7 = -i_5 - i_6 + i_9 = -2 - (-3) + (-2) = -1 \text{ A}$$

(2) 对节点①写 KCL 方程, 有

$$-i_2 + i_4 + i_6 = 0$$

得

$$i_2 = i_4 + i_6 = -1 + (-3) = -4 \text{ A}$$

对节点②写 KCL 方程, 有

$$i_1 = i_2 + i_7 = -4 + (-1) = -5 \text{ A}$$

对节点③写 KCL 方程, 有

$$i_{10} = -i_8 + i_9 = -2 + (-2) = -4 \text{ A}$$

对节点④写 KCL 方程, 有

$$i_3 = -i_7 + i_8 = -(-1) + 2 = 3 \text{ A}$$

又对节点⑤写 KCL 方程, 有

$$i_{10} = -i_3 + i_5 + i_6 = -3 + 2 + (-3) = -4\text{A}$$

对节点⑥写 KCL 方程,有

$$i_{11} = -i_5 + i_9 = -2 + (-2) = -4\text{A}$$

这样就求出了全部的支路电流。

1-3 电路仍如图 1-4 所示。

- (1) 设 $u_1 = 10\text{V}$, $u_7 = 2\text{V}$, $u_9 = -6\text{V}$, $u_{11} = 3\text{V}$, 求 u_8 ;
 (2) 若 u_2, u_4 的波形如图 1-5(a)、(b) 所示, 试画出 $u_1(t)$ 的波形。

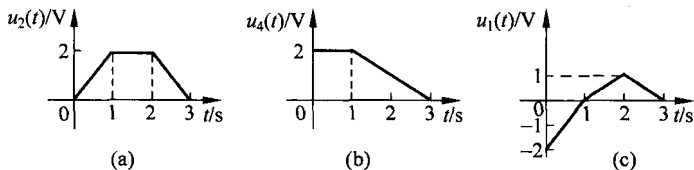


图 1-5 练习题 1-3 图

解 (1) 由 KVL, 有

$$-u_1 + u_7 - u_8 + u_9 - u_{11} = 0$$

于是得

$$u_8 = -u_1 + u_7 + u_9 - u_{11} = -10 + 2 + (-6) - 3 = -17\text{V}$$

(2) 由 KVL, 可得

$$u_1 = u_2 - u_4$$

于是可求出 u_1 的波形如图 1-5(c) 所示。

1-4 计算下列积分。

- (1) $\int_{-\infty}^{\infty} 3e^{-2t}\delta(t+3)dt$ (2) $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t}\sin(2t+60^\circ)\delta(t)dt$
 (3) $\int_2^{\infty} e^{-t}\delta(t-1)dt$ (4) $\int_0^{\infty} 220\sqrt{2}\cos(t-45^\circ)\delta\left(\frac{\pi}{2}-t\right)dt$

解 (1) $\int_{-\infty}^{\infty} 3e^{-2t}\delta(t+3)dt = \int_{-\infty}^{\infty} 3e^6\delta(t+3)dt = 3e^6$

(2) $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t}\sin(2t+60^\circ)\delta(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} e^0\sin 60^\circ\delta(t)dt = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

(3) $\int_2^{\infty} e^{-t}\delta(t-1)dt = \int_2^{\infty} e^{-1}\delta(t-1)dt = e^{-1} \cdot 0 = 0$

(4) $\int_0^{\infty} 220\sqrt{2}\cos(t-45^\circ)\delta\left(\frac{\pi}{2}-t\right)dt = \int_0^{\infty} 220\sqrt{2}\cos(t-45^\circ)\delta\left(t-\frac{\pi}{2}\right)dt$
 $= \int_0^{\infty} 220\sqrt{2}\cos 45^\circ\delta\left(t-\frac{\pi}{2}\right)dt = 220\sqrt{2}\cos 45^\circ = 220$

1-5 做出下列函数的波形。

- (1) $\epsilon(-t-1)$ (2) $3P_2(t+1)$
 (3) $e^{-t}\epsilon(t+1)$ (4) $\delta(t)3\sqrt{2}\cos(t+30^\circ)$

解 (1) 函数的宗量为 $-t-1$, 可得函数的表达式为

$$\epsilon(-t-1) = \begin{cases} 1 & t < -1 \\ 0 & t > -1 \end{cases}$$

做出其波形如图 1-6(a)所示。

(2) 这一脉冲函数的脉宽 $\Delta=2$, 幅值为 $3\Delta=\frac{3}{2}$, 做出其波形如图 1-6(b)所示。

(3) 做出函数 $e^{-t}\epsilon(t+1)$ 的波形如图 1-6(c)所示。

(4) 根据冲激函数的相乘特性, 有

$$\delta(t)3\sqrt{2}\cos(t+30^\circ) = \delta(t)3\sqrt{2}\cos30^\circ = \frac{3}{2}\sqrt{6}\delta(t)$$

做出其波形如图 1-6(d)所示。

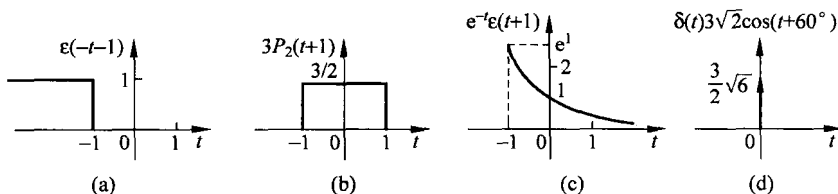


图 1-6 练习题 1-5 图

1-6 说明下列电阻元件是线性的还是非线性的, 时不变的还是时变的, 有源的还是无源的? 设电压 u 和电流 i 为关联参考方向。

(1) $i=2e^{-t}+1$ (2) $u=3e^{-2u}+5i$ (3) $u=(5e^{-t}+2\sin 2t)i$ (4) $i=-3e^{-t}u$

解 (1) 在任一时刻 t , i 为一常数。这一电阻是非线性的、时变的和有源的。

(2) 为非线性、时不变和有源的。

(3) 在任一时刻 t , 有 $u=ki$, 且 k 可能是负值, 因此这是一线性的、时变的和有源的电阻。

(4) 为线性的、时变的和有源的。

1-7 计算一个原已充电至 10V 的 $10\mu\text{F}$ 的电容充电至 60V 时电容极板上的电荷量及在此期间电容所吸收的能量。

解 当电容电压为 60V 时, 极板上的电荷量为

$$q = Cu = 10 \times 10^{-6} \times 60 = 6 \times 10^{-4} \text{C}$$

在此期间, 电容吸收的能量为

$$W_c = \frac{1}{2}Cu^2 \Big|_{10\text{V}}^{60\text{V}} = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} (60^2 - 10^2) = 17.5 \times 10^{-3} \text{J}$$

1-8 一个 $1\mu\text{F}$ 的电容原储存的能量为 10J, 在一个冲激电流的作用下, 该电容的能量突变为零, 求该冲激电流的大小。

解 由电容储能算式 $W_c = \frac{1}{2}Cu_c^2$, 可算出储能为 10J 时电容的电压为

$$u_c(0_-) = \sqrt{\frac{2W_c}{C}} = \sqrt{\frac{2 \times 10}{1 \times 10^{-6}}} = 2\sqrt{5} \times 10^3 \text{V}$$

当电容的能量突变为零时, 电压为突变为零, 即 $u_c(0_+) = 0$ 。写出电容电压在整个时间域上的表达式为

$$u_c(t) = u_c(0_-)\epsilon(-t) + u_c(0_+)\epsilon(t) = 2\sqrt{5} \times 10^3 \epsilon(-t) \text{V}$$

于是求得冲激电流为