



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电路基础教学指导书

陈洪亮 赵艾萍 田社平



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

TM13/174C

2008

电路基础教学指导书

陈洪亮 赵艾萍 田社平



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是与上海交通大学陈洪亮等编著的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电路基础》配套的教学指导书。全书内容共分为十章,次序安排与主教材一致。每章均包括教学要求、基本知识点、重点和难点、习题选解。教学要求部分阐明对每章教学内容的基本要求;基本知识点部分简明地叙述每章的内容,便于读者复习和检验学习的效果;重点和难点部分根据教学实践指出了学习中应注意的问题;习题选解部分为读者提供了主教材中大部分习题的解题思路和解题过程,尽可能帮助读者理清思路,引导读者深入思考和掌握主教材的基本内容。

本书可供高等学校电气信息类专业师生作为电路课程的教学参考书使用,也可供准备参加硕士研究生入学考试的学生作为考前辅导书使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础教学指导书/陈洪亮,赵艾萍,田社平. —北京:
高等教育出版社,2008.5

ISBN 978 - 7 - 04 - 023944 - 7

I. 电… II. ①陈…②赵…③田… III. 电路理论 -
高等学校 - 教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 049093 号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 魏 芳 封面设计 张 志 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 王 雨 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landracom.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landracom.com.cn
印 刷	北京新华印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 960 1/16	版 次	2008 年 5 月第 1 版
印 张	25.75	印 次	2008 年 5 月第 1 次印刷
字 数	480 000	定 价	29.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23944 - 00

前 言

本书是高等教育出版社出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电路基础》的配套教学指导书,本书可供高等学校电气信息类专业师生作为电路课程的教学参考书使用,也可供准备参加硕士研究生入学考试的学生作为考前辅导书使用。

本书内容共分为十章,次序安排与主教材一致。每章包括如下四个部分:

教学要求:主要根据教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会所制定的“电路理论基础”和“电路分析基础”教学基本要求,结合编者的教学实践,阐明对每章内容要求掌握的程度,可供教师在电路课程教学中参考。

基本知识点:电路理论课程具有基本概念多、基本分析方法灵活的特点,教学内容十分丰富。这一部分通过对教材内容的归纳和总结,以基本知识点的形式列出,便于读者复习和检验学习的效果。

重点和难点:结合作者的教学实践,指出每章内容中应重点掌握的知识以及容易出错的地方,提示读者在学习过程中予以关注。

习题选解:提供了主教材中大部分习题的求解方法,部分题目还给出了多种解法,并对解题过程中所包含的知识点、疑难点通过评注的形式给出说明,尽可能帮助读者理清思路,引导读者深入思考和掌握课程的基本内容。建议读者在解题之前应独立思考解题的方法,待完成解答后再对照、比较习题选解,这样有利于牢固掌握相关的电路知识。考虑到电路课程教学中对知识点的不同要求,教材有意配置了部分有一定难度的习题,包括部分研究生入学试题,部分习题还具有相当的计算量。通过给出的习题解答,读者可以检验解答习题的准确度。

本书根据上海交通大学基本电路理论课程教学过程中积累的资料,由陈洪亮、赵艾萍、田社平编写整理完成。

课程组张峰、李丹、谢维敏在教学资料的积累过程中做了大量有效的工作。硕士研究生田镭、孙康、王璐等同学为教学资料的录入、校对付出了辛劳。课程组的老师和编者的学生对本书的编写提出了积极的反馈意见和建议,在此一并表示感谢。

本书的编写是基本电路理论精品课程建设的一部分,缺点和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。编者的 E-mail 地址分别为:hlchen@sjtu.edu.cn,zhaoaipin@sjtu.edu.cn,sptian@sjtu.edu.cn。

编 者

二〇〇八年元月

于上海交通大学

目 录

第一章 基本概念和基本规律	1
1.1 教学要求	1
1.2 基本知识点	1
1.3 重点和难点	8
1.4 习题选解	9
第二章 电路分析的基本方法	24
2.1 教学要求	24
2.2 基本知识点	24
2.3 重点和难点	35
2.4 习题选解	36
第三章 电路定理	79
3.1 教学要求	79
3.2 基本知识点	79
3.3 重点和难点	81
3.4 习题选解	83
第四章 非线性电阻电路分析	115
4.1 教学要求	115
4.2 基本知识点	115
4.3 重点和难点	117
4.4 习题选解	117
第五章 动态电路的时域分析	128
5.1 教学要求	128
5.2 基本知识点	128
5.3 重点和难点	134
5.4 习题选解	134
第六章 动态电路的复频域分析	196
6.1 教学要求	196
6.2 基本知识点	196
6.3 重点和难点	201
6.4 习题选解	201

第七章 动态电路的状态变量分析	240
7.1 教学要求	240
7.2 基本知识点	240
7.3 重点和难点	242
7.4 习题选解	242
第八章 正弦稳态电路分析	270
8.1 教学要求	270
8.2 基本知识点	270
8.3 重点和难点	278
8.4 习题选解	278
第九章 三相电路	327
9.1 教学要求	327
9.2 基本知识点	327
9.3 重点和难点	330
9.4 习题选解	331
第十章 非正弦周期稳态电路分析	367
10.1 教学要求	367
10.2 基本知识点	367
10.3 重点和难点	370
10.4 习题选解	371
参考文献	403

第一章 基本概念和基本规律

1.1 教学要求

(1) 建立电路模型的概念,了解电路集中化的判据。掌握电压、电流、功率、能量等概念。理解电压、电流参考方向的含义及设置参考方向的必要性。

(2) 了解电路图论的基础知识,掌握基尔霍夫定律的含义,能够正确和熟练地应用 KCL 和 KVL 列写电路方程。了解特勒根定理及其与 KCL、KVL 的关系。

(3) 熟练掌握电阻电路元件及其电压 - 电流关系。

(4) 理解支路分析法与基尔霍夫定律和电路元件电压 - 电流关系之间的联系,能够运用支路分析法分析简单的电阻电路。

1.2 基本知识点

1. 电路和电路模型

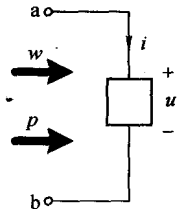
电路是电的应用形式之一。为了对实际电路加以分析,必须对实际电路进行数学建模,该模型称为电路模型,简称电路。本课程重点研究的是集中参数电路,它由集中参数元件组成。本章介绍的集中参数元件为电阻电路元件,包括电阻元件、独立电源、受控电源、运算放大器、理想变压器、负转换器、理想回转器等。

判断一个电路是否为集中参数电路可运用电路集中化的判据。对一实际电路,当电路的各向尺寸 d 远小于表征电路的电磁量工作频率所对应的电磁波波长 λ 时,可以认为电路集中在空间的一点,其电磁过程在瞬间完成,与电路所处的空间没有关系,该电路可按集中参数电路来处理。

2. 电路变量

电压和电流是电路中两个基本变量,功率和能量是两个导出量。它们的定义、公式及有关特性如表 1.1 所示。

表 1.1 电路变量

	电 压	电 流	功 率	能 量
定义	电场力作用将单位正电荷由一点移动到另一点作的功	单位时间内通过导体单位横截面的电荷量	某一段电路吸收或提供能量的速率	功率对时间的积分
计算公式	$u = \frac{dw}{dq}$	$i = \frac{dq}{dt}$	$p = ui$	$w(t_0, t) = \int_{t_0}^t u(\tau) i(\tau) d\tau$
实际方向	由正极指向负极	正电荷运动的方向		
参考方向	参考方向可任意设定,一般采用一致参考方向[如图(a)所示],也可采用非一致参考方向[如图(b)所示]			

3. 电路基本规律

电路由若干电路元件按一定方式连接而成,它要受到两方面的约束:由电路连接方式所表现出来的约束,称为拓扑约束;由组成电路元件的特性,即元件电压、电流间的约束,称为元件约束。它们是分析、研究集中参数电路的基本依据。体现拓扑约束关系的是基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律。特勒根定理也反映了电路的拓扑约束关系,它可由基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律导出。

掌握电路图论的基本知识及其基本结论有助于理解基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律。图的基本概念包括图、连通图、有向图、子图、回路、树、平面图、网孔、割集、基本回路、基本割集等。图论的一些基本结论包括:

(1) 对于一个连通图 G ,任意选定一个树 T ,在 G 的任何两个节点之间,总有由 T 的树支组成的唯一路径。

(2) 对于一个具有 n 个节点、 b 条支路的连通图 G ,其树支数必为 $n-1$,其连支数必为 $b-(n-1)$ 。

(3) 对于一个具有 n 个节点、 b 条支路的连通图 G , 其基本回路数, 即独立回路数 l 等于连支数 b_l 。

(4) 对于一个具有 n 个节点、 b 条支路的连通图 G , 基本割集数必为 $n - 1$ 。

电路基本规律的表述及使用说明如表 1.2 所示。

表 1.2 电路基本规律

	基尔霍夫电流定律 (KCL)	基尔霍夫电压定律 (KVL)	特勒根定理
文字表述	对于任一集中参数电路中的任一节点, 在任一时刻, 流出(或流入)该节点的所有支路电流的代数和等于零	对于任一集中参数电路中的任一回路, 在任一时刻, 沿该回路所有支路电压的代数和等于零	对于两个具有相同有向图的集中参数电路, 它们的似功率代数和为零
公式表述	$\sum_{k=1}^n i_k = 0$	$\sum_{k=1}^n u_k = 0$	$u_b^T(t_1) \hat{i}_b(t_2) = 0$ $\hat{u}_b^T(t_3) i_b(t_4) = 0$
物理基础	电荷守恒公理	能量守恒公理	(似)功率守恒
使用说明	可应用于一个节点, 也可应用于一个闭合面	可应用于任一闭合路径	可应用于任意具有相同有向图的集中参数电路

利用降阶关联矩阵 A 和降阶网孔矩阵 M 可以得到 KCL 和 KVL 的矩阵表示形式, 即

$$\text{KCL:} \quad A i_b = 0 \quad \text{或} \quad i_b = M^T i_m$$

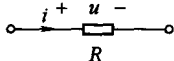
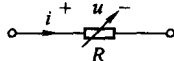
$$\text{KVL:} \quad u_b = A^T u_n \quad \text{或} \quad M u_b = 0$$

4. 电阻电路元件

电阻电路元件包括电阻元件、独立电源、受控电源、运算放大器、理想变压器、负转换器、理想回转器等。

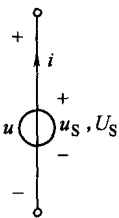
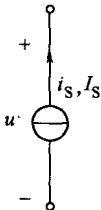
(1) 线性电阻元件的定义及特点如表 1.3 所示。

表 1.3 线性电阻元件

	定 义	图形符号	伏安特性	功率和能量
线性 非时 变电 阻	伏安特性曲线 是一条不随时间 变化、通过原点 的直线: $R = u/i$		$u = Ri$ $i = Gu$	$p = Ri^2 = Gu^2$ $w(t_0, t) = R \int_{t_0}^t i^2(\tau) d\tau$ $= G \int_{t_0}^t u^2(\tau) d\tau$
线性 时变 电阻	伏安特性曲线 是随时间变化、 通过原点的直 线: $R(t) = u(t)/i(t)$		$u = R(t)i$ $i = G(t)u$	$p = R(t)i^2 = G(t)u^2$ $w(t_0, t) = R(t) \int_{t_0}^t i^2(\tau) d\tau$ $= G(t) \int_{t_0}^t u^2(\tau) d\tau$

(2) 独立电源包括(独立)电压源和(独立)电流源,是实际电源的理想化电路元件模型。它们为电路提供能量。电压源和电流源的定义及特性如表 1.4 所示。

表 1.4 电压源和电流源

	定 义	图形符号	伏安特性	主要特性
电 压 源	能独立对外电路 提供规定的电压,而 与流过的电流无关 的二端元件		$u = u_s$ 对任意的 i	(1) 特性曲线在 $u_s \neq 0$ 时是 $i - u$ 平面上 的一条或一族不经过原 点、与 i 轴平行的直线 (2) 当 $u_s = 0$ 时,电压 源的伏安特性曲线与 i 轴重合,等效于短路
电 流 源	能独立对外电路 提供规定的电流,而 与其端电压无关的 二端元件		$i = i_s$ 对任意的 u	(1) 特性曲线在 $i_s \neq 0$ 时是 $i - u$ 平面上的一 条或一族不经过原点且 与 u 轴平行的直线 (2) 当 $i_s = 0$ 时,电 流源的伏安特性曲线与 u 轴重合,等效于开路

独立电源可以是向电路提供电能的能量源,也可以是向电路提供信号的信号源,其电压或电流一般是随时间变化的,表现为各种各样的波形。常见的波形及其性质如表 1.5 所示。

表 1.5 常见的波形及其性质

	表 达 式	性质或应用
直流波形	$f(t) = K$	直流电压源和直流电流源可以用直流波形来表示
正弦波形	$f(t) = A_m \cos(\omega t + \varphi)$	(1) 当 $\omega = 0$ 时,可表示直流波形 (2) 周期信号可展开为若干正弦波形的代数和
单位阶跃波形	$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } t < 0 \\ 1 & \text{当 } t > 0 \end{cases}$	(1) 单位阶跃函数具有信号起始作用,可以用来规定任意波形的起始点 (2) 单位阶跃函数可以用来表示其他的波形或函数
单位脉冲波形	$p_{\Delta}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{\Delta} & 0 < t < \Delta \\ 0 & \Delta < t \end{cases}$	单位脉冲波形可以由阶跃波形和延迟阶跃波形组合而成
单位冲激波形	$\begin{cases} \delta(t) = 0 & t \neq 0 \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \end{cases}$	(1) 筛分性质 (2) 冲激函数可以用来表示一个任意波形 (3) 冲激函数是阶跃函数的导数,阶跃函数是冲激函数的积分

(3) 受控电源与独立电源不同,其输出波形受到电路中其他支路的电压或电流控制,也称为非独立电源。受控电源是一种二端口有源元件,根据控制支路和被控支路的变量可分为四类,如表 1.6 所示。

表 1.6 受控电源

	电压控制型电流源 (VCCS)	电流控制型电流源 (CCCS)	电压控制型电压源 (VCVS)	电流控制型电压源 (CCVS)
图形符号				
控制变量	u_1	i_1	u_1	i_1
被控变量	i_2	i_2	u_2	u_2
控制关系式	$\begin{cases} i_1 = 0 \\ i_2 = g u_1 \end{cases}$	$\begin{cases} u_1 = 0 \\ i_2 = \beta i_1 \end{cases}$	$\begin{cases} i_1 = 0 \\ u_2 = \mu u_1 \end{cases}$	$\begin{cases} u_1 = 0 \\ u_2 = r i_1 \end{cases}$
注意点	(1) VCCS、CCCS 统称为受控电流源 (2) 被控支路的电流不受该支路电压影响,这点与电流源相同;但被控支路的电流受控制支路的电压或电流影响,这点与电流源不同 (3) 受控电流源本身不能独立对外电路提供能量		(1) VCVS、CCVS 统称为受控电压源 (2) 被控支路的电压不受该支路电流影响,这点与电压源相同;但被控支路的电压受控制支路的电压或电流影响,这点与电压源不同 (3) 受控电压源本身不能独立对外电路提供能量	

(4) 运算放大器是一种应用十分广泛的电路器件。在电路理论中常采用理想运算放大器模型,所谓理想运算放大器是指具有下列参数的运算放大器:输入电阻为无穷大;输出电阻为零;开环增益为无穷大。理想运算放大器的符号及输入-输出特性如图 1.1 所示。注意:工作在线性区的理想运算放大器,其输出电压不能超出正、负饱和电压,即 $|u_o| \leq U_s$ 。

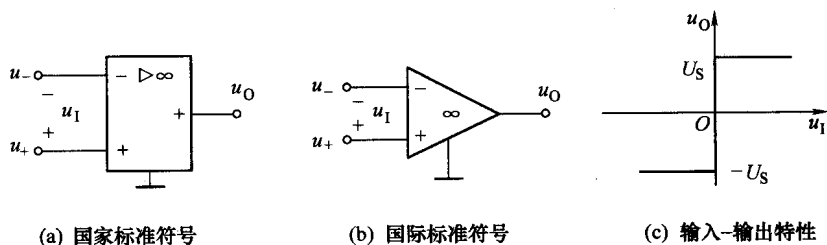
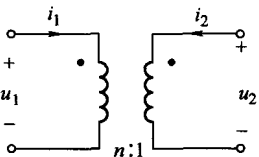
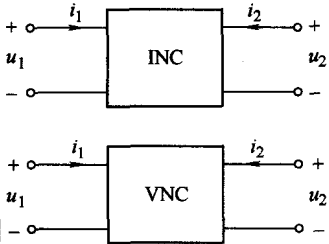
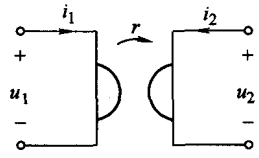


图 1.1 理想运算放大器的符号及输入-输出特性

(5) 理想运算放大器具有两个重要的特性：“虚短”和“虚断”。这两个特性可以极大地简化含理想运算放大器电路的分析。

理想变压器、负转换器、理想回转器都是实际器件的理想化模型,它们的图形符号、电压-电流关系及性质如表 1.7 所示。

表 1.7 理想变压器、负转换器、理想回转器

	图形符号	电压-电流关系	性 质
理想 变 压 器		$\begin{cases} u_1 = nu_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n}i_2 \end{cases}$	(1) 无源元件 (2) 既不储存能量又不消耗能量,称为非能元件 (3) 具有变换电阻大小的性质
负 转 换 器		$\begin{cases} i_1 = i_2 \\ u_1 = u_2 \end{cases}$ $\begin{cases} i_1 = -i_2 \\ u_1 = -u_2 \end{cases}$	(1) 有源元件 (2) 具有转换元件性质的功能,能把无源元件转换成有源元件
理想 回 转 器		$\begin{cases} u_1 = -ri_2 \\ u_2 = ri_1 \end{cases}$ 或 $\begin{cases} i_1 = gu_2 \\ i_2 = -gu_1 \end{cases}$	(1) 无源元件 (2) 能实现电阻与电导、电感与电容的互换

5. 支路分析法

要求出支路电压和支路电流首先需要列出包含这些变量的方程(统称电路方程)。列出这些方程的依据是:(1) 基尔霍夫定律;(2) 电阻和独立电源的电压-电流关系或称支路方程。若所分析的电路具有 b 条支路和 n 个节点,根据上面所述,可以列出 $n-1$ 个独立的 KCL 方程和 $b-(n-1)$ 个独立的 KVL 方程。另外, b 条支路(这里设每条支路是由一个二端电阻或独立电源构成的)又提供 b 个电压-电流关系(VCR)。三组方程合起来的总个数为 $(n-1) + (b-n+1) + b = 2b$,恰好等于所要求的支路电压和支路电流的个数。上述的 $2b$ 个方程如表 1.8 所示,对表中三组方程联立求解便可求得所有支路的电压和电流。

表 1.8 电路方程的列写

列方程的依据	方程的形式	独立方程的个数
KCL	$\sum_{k=1}^n i_k = 0$	$n - 1$
KVL	$\sum_{k=1}^n u_k = 0$	$b - n + 1$
元件(电阻和独立电源) 的电压 - 电流关系	$u = Ri \text{ (或 } i = Gu \text{)}$ 和 $u = u_s \text{ (独立电压源)}$ $i = i_s \text{ (独立电流源)}$	b

为了减少求解的方程数,可以利用元件的电压 - 电流关系将支路电压用支路电流表示,再代入 KVL 方程,或者将支路电流用支路电压表示,再代入 KCL 方程,这样都将得到 b 个电路方程。这种以支路电流或支路电压为变量列写电路方程来求解电路的方法分别称为支路电流法或支路电压法。支路电流法和支路电压法统称为支路分析法。

1.3 重点和难点

1. 电路变量的参考方向和功率

(1) 对于电路理论的初学者,必须深刻理解和熟练掌握电压和电流的参考方向。为电压和电流规定参考方向并不难,难点在于必须记住在对电路进行分析、计算时都必须规定参考方向,否则无法列写电路方程,也无法判断电路方程的正确性以及确定未知量的实际方向。电路规律及公式大多是在一致参考方向下作出的,因此原则上在分析电路时应取电压和电流为一致参考方向。

(2) 电路或元件的功率计算比较简单,难点在于功率状态的判断。要正确判断功率状态,必须正确理解功率的计算方法。当电压和电流参考方向一致时, $p = ui$,而当电压和电流参考方向不一致时, $p = -ui$ 。此时如 $p > 0$,则电路或元件吸收功率;如 $p < 0$,则电路或元件发出功率。

2. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫定律是电路理论的基础,定律的内容虽然简单,但要完全掌握并能灵活加以应用需要一个过程。在本章中,读者需要深刻理解定律描述的对象及其规律:KCL 描述的是集中参数电路中与某一节点相关的各支路电流之间的约束关系;KVL 描述的是集中参数电路中与某一闭合回路相关的各支路电压

之间的约束关系。

(2) 在满足集中参数假设的情况下, KCL、KVL 与元件性质及电压、电流的变化规律无关, 是列写电路方程的依据。在应用 KCL、KVL 时应注意灵活性, KCL 可应用于任一闭合面; KVL 可应用于包括假想回路在内的任一回路。

3. 电路元件

(1) 电路理论中的所有电路元件都是数学模型, 它们是根据实际的电路器件加以概括总结而得到的。本章主要介绍电阻电路元件。除独立电源外, 其他元件可分为两类, 一类是基本元件, 包括电阻元件和受控电源; 一类是非基本元件, 包括理想运算放大器、理想变压器、负转换器、理想回转器, 这些元件的模型都可由基本元件来构成。

(2) 掌握电路元件的电压 - 电流关系是学习电路元件的重点。电路元件的电压 - 电流关系给出了电路的元件约束, 也是列写电路方程的依据。

4. 元件有源性与无源性的判别

对初学者来说, 元件有源性与无源性的判别是一个难点。一个电路元件为无源元件的充要条件是: 对任意的 $t \geq -\infty$, 该元件吸收的能量满足 $w(-\infty, t) \geq 0$ 。对电阻电路元件而言, 电路元件为无源元件的充要条件可表述为: 对任意的 $t \geq -\infty$, 该元件吸收的功率满足 $p(t) \geq 0$ 。

5. 支路分析法

支路分析法是初学者接触到的第一个电路分析的系统方法, 它体现了基尔霍夫定律和元件电压 - 电流关系在电路分析中的应用。支路分析法的应用具有很强的规范性, 对该方法的掌握有助于对后续电路分析方法的理

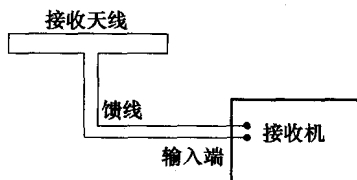
1.4 习题选解

1.1 一调频接收机用一根 2 m 长的馈线和它的天线连接, 如题图 1.1 所示。如果接收机调到 100 MHz 时, 天线端出现的瞬时电流为 $i = I_0 \sin(2\pi \times 10^8 t)$ A, 试问, 接收机输入端的瞬时电流是否与天线端相等? 该馈线能否用集中参数模型来表示? 为什么?

解

信号从天线端经馈线传输到接收机输入端所需的时间为

$$\Delta t = \frac{2}{3 \times 10^8} \text{ s}$$



题图 1.1

则接收机输入端的瞬时电流为

$$i = I_0 \sin [2\pi \times 10^8 (t - \Delta t)] \text{ A}$$

所以,接收机输入端的电流和天线端的瞬时电流不相等。

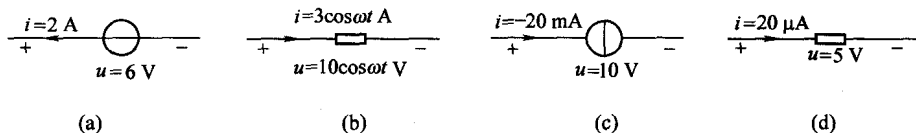
又因为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^8} \text{ m} = 3 \text{ m}$$

即信号波长为 3 m。由于馈线长度为 2 m,馈线的长度和信号的波长可比拟,所以该馈线不能用集中参数模型来表示。

【评注】基尔霍夫定律不适用于分布参数电路,所以在应用之前应明确所处理的电路是否可用集中参数电路模型表示。

1.4 试按题图 1.4 所示的参考方向和数值,指出各元件中电压和电流的实际方向。计算各元件中的功率,并说明是吸收功率还是发出功率。



题图 1.4

解

(a) 电压、电流的实际方向和图示方向一致。电流、电压的参考方向为非一致参考方向,因此

$$p_a = -ui = -6 \times 2 \text{ W} = -12 \text{ W}$$

该元件发出功率。

(b) 当 $2k\pi - \frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq 2k\pi + \frac{\pi}{2}$ (k 为整数) 时, 电流、电压的实际方向和图示方向一致; 当 $2k\pi + \frac{\pi}{2} < \omega t < 2k\pi + \frac{3\pi}{2}$ (k 为整数) 时, 电流、电压的实际方向和图示方向相反。电流、电压的参考方向为一致参考方向, 因此

$$p_b = ui = 10 \cos \omega t \times 3 \cos \omega t \text{ W} = 30 \cos^2 \omega t \text{ W}$$