



高等院校电子专业系列规划教材

GAODENG YUANXIAO DIANZI ZHUANYE XILIE GUIHUA JIAOCAI

电工电子技术

主编 侯继红 侯涛

DIANGONG DIANZI
JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等院校电子专业系列规划教材

电工电子技术

主 编 侯继红 侯 涛
副主编 刘敬平 李春杰 蒋海涛
主 审 李向东

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是“高等院校电子专业系列规划教材”系列丛书之一,有较强的可读性和适用性。

全书共分为 14 章,主要内容有电路的基本概念与基本定律、电路的基本分析方法和基本定理、正弦交流电路、RLC 串联电路和阻抗、三相交流电路、线性电路的暂态分析、磁路与变压器、异步电动机、可编程控制器、半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、门电路、触发器。每章后都有本章小结和习题。

本书可作为高等院校非电类机械自动化、汽车、材控、高分子、金属、工业工程等各专业的教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/侯继红,侯涛主编.---北京:北京邮电大学出版社,2010.8

ISBN 978-7-5635-2337-5

I. ①电… II. ①侯…②侯… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材

IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 156721 号

书 名: 电工电子技术

主 编: 侯继红 侯 涛

责任编辑: 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15

字 数: 392 千字

印 数: 1—3 000 册

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

ISBN 978-7-5635-2337-5

定 价: 27.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

电工电子技术课程是一门具有悠久历史的课程,是为工科非电类专业的学生设置的一门关于电学科的综合性和导论性、实践性的必修课程。该课程主要包括四个方面的内容:电路部分,模拟部分,数字部分和变压器,电机及其控制部分。

本教材是按照国家教育部高校基础教育基本要求编写的。教材在总结了非电专业电工电子技术教学经验的基础上,较全面地介绍了电工和电子技术最基本的概念、原理、计算以及工业领域中的应用。在教材的编写中,突出应用性和针对性,力求较大的信息量,合理的理论深度,淡化原理分析。它凝聚了作者多年的教学经验和智慧,其概念准确、结构完整、深入浅出、通俗易懂,具有较强的针对性和操作性。

本书由侯继红、侯涛任主编,刘敬平、李春杰、蒋海涛任副主编。参加编写的人员有:焦作大学机电工程学院侯涛编写第1章、第2章和第4章,焦作大学机电工程学院刘敬平编写第9章、第10章和第11章,焦作大学机电工程学院李春杰编写第6章、第7章、第8章和第14章,焦作师范高等专科学校蒋海涛编写第3章,河南理工大学高职学院刘金魁编写第5章和第13章,河南理工大学高职学院梁娜娜编写第12章。全书由焦作大学李向东副教授主审。

由于编者能力有限,书中不妥乃至错误之处,请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的作用	1
1.1.2 电路的组成	2
1.1.3 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量及参考方向	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	3
1.2.3 电流和电压的参考方向	4
1.2.4 功率	5
1.2.5 电位	6
1.2.6 电动势	7
1.3 电阻元件和欧姆定律	7
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 欧姆定律	7
1.3.3 电阻的串、并联和混联	8
1.4 有源元件	11
1.4.1 理想电源	11
1.4.2 实际电源	12
1.4.3 实际电源的等效	13
1.5 电路的工作状态	15
1.5.1 有载工作状态及额定工作状态	16
1.5.2 开路	16
1.5.3 短路	16
1.6 基尔霍夫定理	17
1.6.1 基尔霍夫电流定律	17
1.6.2 基尔霍夫电压定律	19
1.7 受控源	20
1.7.1 受控源及其种类	20
1.7.2 受控源和独立源的异同	20
1.7.3 受控源电路的计算	21
本章小结	21
习题一	22

第2章 电路的基本分析方法和基本定理	26
2.1 支路电流法	26
2.1.1 定义	26
2.1.2 解题步骤	26
2.1.3 应用举例	26
2.1.4 注意事项	27
2.2 节点电位法	28
2.2.1 定义	28
2.2.2 节点电压方程和弥尔曼定理	28
2.2.3 应用举例	29
2.2.4 注意事项	30
2.3 叠加定理	31
2.3.1 定理内容	31
2.3.2 应用举例	31
2.3.3 注意事项	32
2.3.4 齐次定理	34
2.4 戴维南定理	35
2.4.1 定理内容	36
2.4.2 解题步骤	36
2.4.3 应用举例	36
2.4.4 注意事项	37
本章小结	39
习题二	39
第3章 正弦交流电路	42
3.1 正弦量的三要素	42
3.2 复数及其运算	45
3.2.1 复数的4种形式	45
3.2.2 复数运算	46
3.3 正弦量的相量表示	47
3.3.1 相量	47
3.3.2 相量的两种形式	48
3.3.3 相量图	49
3.3.4 基尔霍夫定律的相量形式	50
3.4 电阻、电感和电容元件伏安关系的相量形式	51
3.4.1 电阻元件	51
3.4.2 电感元件	53
3.4.3 电容元件	56
3.5 RLC串联电路和阻抗	58
3.5.1 电压与电流的关系	58

3.5.2 阻抗	60
3.5.3 电路的 3 种性质	61
3.5.4 阻抗串联的交流电路	63
3.6 RLC 并联电路和导纳	64
3.6.1 电压与电流的关系	64
3.6.2 导纳	65
3.6.3 导纳的并联	66
3.7 交流电路的功率	68
3.7.1 瞬时功率	68
3.7.2 有功功率	69
3.7.3 无功功率	69
3.7.4 视在功率	70
3.7.5 功率因数及提高	72
3.8 电路中的谐振	73
3.8.1 串联谐振	73
3.8.2 并联谐振	75
本章小结	76
习题三	78
第 4 章 三相交流电路	81
4.1 三相正弦交流电源	81
4.1.1 三相正弦交流电动势的产生	81
4.1.2 三相电源的表示法	82
4.1.3 三相电源的特征	82
4.1.4 对称三相电源的联结	83
4.2 三相负载及对称三相电路的分析与计算	85
4.2.1 三相负载的联结	85
4.2.2 对称三相电路的计算	85
4.3 不对称三相电路	89
4.3.1 不对称三相电路的分析计算	89
4.3.2 不对称负载电路的注意事项	90
4.4 三相电路的功率	91
4.4.1 三相电路的瞬时功率	91
4.4.2 三相负载的有功功率 P 和无功功率 Q	91
本章小结	92
习题四	93
第 5 章 线性电路的暂态分析	94
5.1 暂态过程和换路定律	94
5.1.1 暂态过程的产生及原因	94

5.1.2 换路定律	95
5.2 RC 电路暂态分析	96
5.2.1 RC 电路的零输入响应	96
5.2.2 RC 电路的零状态响应	97
5.2.3 RC 电路的全响应	99
5.3 RL 电路暂态分析	99
5.3.1 RL 电路的零输入响应	99
5.3.2 RL 电路的零状态响应	100
5.4 一阶线性电路暂态分析的三要素	100
5.4.1 一阶电路暂态分析的三要素法	101
5.4.2 响应中“三要素”的确定	101
本章小结	102
习题五	102
第 6 章 磁路与变压器	105
6.1 磁路	105
6.1.1 铁磁材料	105
6.1.2 铁磁材料的种类	106
6.1.3 磁路的概念	107
6.1.4 磁路基本定律	107
6.2 交流铁心线圈电路	108
6.2.1 电磁关系	108
6.2.2 功率损耗	109
6.3 变压器	109
6.3.1 变压器的作用	110
6.3.2 变压器的结构	110
6.3.3 变压器的原理及作用	110
6.3.4 变压器的参数	113
6.3.5 变压器的选择	114
6.3.6 特殊变压器	114
本章小结	117
习题六	118
第 7 章 异步电动机	119
7.1 三相异步电动机的结构及参数	119
7.1.1 三相异步电动机的结构	119
7.1.2 三相异步电动机的参数	121
7.2 三相异步电动机的工作原理	121
7.2.1 旋转磁场的产生	121
7.2.2 旋转磁场的转速和转向	123

7.2.3 转子的转动原理	123
7.3 三相异步电动机的使用	124
7.3.1 三相异步电动机的起动	124
7.3.2 三相异步电动机的调速	126
7.3.3 三相异步电动机的反转	127
7.3.4 三相异步电动机的制动	127
7.3.5 三相异步电动机的选择	128
本章小结	128
习题七	129
第 8 章 可编程序控制器	130
8.1 可编程控制概述	130
8.1.1 可编程序控制器的组成	130
8.1.2 可编程序控制器的基本工作过程	131
8.1.3 可编程序控制器与继电器控制的异同	131
8.2 可编程序控制器的特点	132
8.3 可编程序控制器的指令系统	133
8.3.1 可编程序控制器的软继电器及其编号	133
8.3.2 可编程序控制器的指令系统	134
本章小结	137
习题八	137
第 9 章 半导体二极管和三极管	139
9.1 半导体基础知识	139
9.1.1 本征半导体	139
9.1.2 杂质半导体	140
9.1.3 PN 结	141
9.2 半导体二极管	143
9.2.1 二极管的特性	143
9.2.2 二极管的主要参数	145
9.2.3 稳压二极管	145
9.3 半导体三极管	146
9.3.1 三极管的基本结构和主要参数	146
9.3.2 三极管的特性曲线	149
本章小结	151
习题九	152
第 10 章 基本放大电路	156
10.1 概述	156
10.1.1 放大的概念	156

10.1.2 放大电路的性能指标	156
10.2 基本共射放大电路的组成	157
10.3 静态工作情况分析	158
10.4 动态工作情况分析	159
10.5 静态工作点与输出波形失真的关系	163
10.6 静态工作点的稳定	164
10.7 共集电极放大电路	166
10.7.1 静态分析	167
10.7.2 动态分析	167
本章小结	169
习题十	169
第 11 章 集成运算放大电路	173
11.1 概述	173
11.1.1 集成电路	173
11.1.2 集成运算放大器及其组成	173
11.2 差动放大电路	175
11.2.1 直接耦合放大电路的特殊问题——零点漂移	175
11.2.2 差动放大器的基本电路和工作原理	175
11.2.3 输入-输出方式	177
11.3 集成运放的应用	179
11.3.1 运放的模型和主要参数	179
11.3.2 比例运算电路	181
11.3.3 加法运算电路	182
11.3.4 减法运算电路	182
11.3.5 积分运算电路	183
11.3.6 微分运算电路	183
11.4 反馈的基本概念与分类	184
11.4.1 反馈	184
11.4.2 反馈的分类	185
11.4.3 反馈的判断	186
本章小结	187
习题十一	187
第 12 章 直流稳压电源	190
12.1 直流稳压电源的组成	190
12.2 单相整流电路	191
12.2.1 单相半波整流电路	191
12.2.2 单相全波整流电路	192
12.2.3 单相桥式整流电路	193

12.3 滤波电路	194
12.3.1 电容滤波电路	194
12.3.2 电感滤波电路	196
12.3.3 LC 滤波电路	196
12.3.4 Π 型滤波电路	197
12.4 直流稳压电路	197
本章小结	198
习题十二	198
第 13 章 门电路	200
13.1 逻辑门电路	200
13.2 逻辑代数	203
13.2.1 逻辑代数基本公式和定律	203
13.2.2 逻辑函数的化简	203
13.3 集成逻辑门电路	204
13.3.1 典型 TTL 与非门电路	204
13.3.2 TTL 与非门的特性与主要参数	205
13.3.3 改进型 TTL 与非门	210
本章小结	211
习题十三	211
第 14 章 触发器	212
14.1 基本 RS 触发器	212
14.1.1 基本 RS 触发器的电路构成和逻辑符号	212
14.1.2 逻辑功能描述	212
14.1.3 集成基本 RS 触发器	214
14.2 时钟控制的触发器	215
14.2.1 RS 触发器	215
14.2.2 JK 触发器	216
14.2.3 D 触发器	218
14.2.4 T 触发器	219
14.2.5 集成 D 锁存器	220
14.3 主从触发器	221
14.3.1 逻辑电路图和逻辑符号	221
14.3.2 逻辑功能描述	222
14.4 集成边沿触发器	222
14.4.1 维持阻塞触发器	222
14.4.2 边沿触发器	223
14.4.3 集成边沿触发器举例	223
14.5 不同触发器的转换	224

14.5.1 JK 触发器转换成 D 、 T 触发器	225
14.5.2 D 触发器转换成 JK 、 T 和 T' 触发器	225
本章小结	226
习题十四	226
参考文献	228

电路的基本概念与基本定律

第1章

本章要点

本章主要介绍电路模型,电压、电流参考方向,电路基本物理量和计算方法,电压源和电流源,受控源等基本概念。电路的基本定律欧姆定律和基尔霍夫定律是本课程的重要内容之一,应很好掌握。

1.1 电路和电路模型

电路是电流所流经的路径。由金属导线和电气以及电子部件组成的导电回路,称为电路。直流电通过的电路称为直流电路;交流电通过的电路称为交流电路。

1.1.1 电路的作用

电路的作用是实现电能的传输和转换。根据其基本作用可以概括为两大类。

1. 能量的传送、分配和转换

图 1-1 所示为电力系统的示意图。发电厂将自然界的一次能源通过发电动力装置(主要包括锅炉、汽轮机、发电机及电厂辅助生产系统等)转化成电能,再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心,通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量。发电机是电源,是供应电能的设备;电灯、电动机、电炉等是负载,是取用电能的设备;变压器、输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,起传输和分配电能的作用。

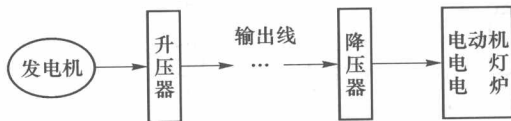


图 1-1 电力系统

2. 信号的传递和处理

图 1-2 所示为扩音机电路,话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为微弱的电压和电流,它们就是电信号,经过放大器信号被放大,而后通过电路转递到扬声器,扬声器再把电信号还原为语言或音乐,信号的这种转换和放大称为信号的处理。



图 1-2 扩音机

不论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励;由于激励在电路各部分产生的电压或电流称为响应。

电路分析的主要内容是指在给定电路结构、元件参数的条件下,求取由输入(激励)所产生的输出(响应)。

1.1.2 电路的组成

从上面的电路作用不难分析出,不管是复杂还是简单的电路,其组成都可以分为电源、负载和中间环节 3 部分。

1. 电源

电源是把其他形式的能转换成电能的装置及向电路提供能量的设备,如干电池、蓄电池、发电机等。

2. 负载

负载是把电能转换成为其他能的装置也就是用电器即各种用电设备,如电灯、电动机、电热器等。

3. 中间环节

中间环节是传递、分配和控制电能的装置,如常用的铜导线和铝导线、开关、熔断器、继电器等。

1.1.3 电路模型

由理想元件组成的与实际电器元件相对应的电路,并用统一规定的符号表示而构成的电路,就是实际电路的模型,称为电路模型。手电筒的实际电路和理想电路模型如图 1-3 所示。其中理想电路元件是指忽略实际元件的次要物理性质,反映其主要物理性质,把实际元件理想化。常用的理想元件有:①产生电能元件,如电压源和电流源;②耗能元件,如电阻;③储能元件,如电容和电感。其模型电路如图 1-4 所示。

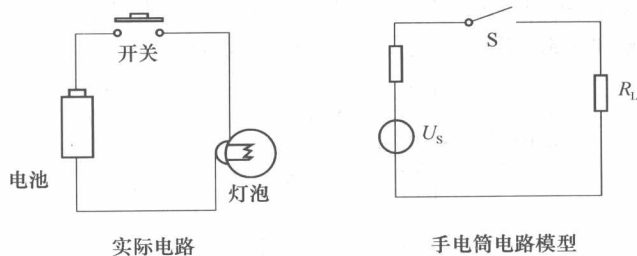


图 1-3 手电筒的实际电路和电路模型

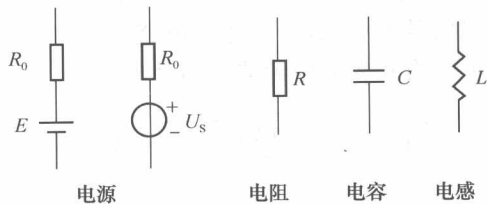


图 1-4 理想电路元件

1.2 电路的基本物理量及参考方向

电路的基本物理量是电流、电压和功率,下面分别介绍电路基本物理量的概念、定义及有关表达式,重点介绍电流和电压的参考方向、功率的计算问题。

1.2.1 电流

1. 定义

电荷或带电粒子有规则地定向运动形成电流。电流在数值上等于单位时间内通过某导体横截面的电荷量。用符号 I 或 i 表示。

公式表示为

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{或} \quad i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

其中, Q 和 q 表示电荷量, t 表示时间。在直流电路中,电流是不随时间而变化的,即大小和方向均不随时间而变化,直流电路电流用大写 I 表示;而在交流电路中,电流的大小和方向均随时间而变化,交流电路电流用小写 i 表示。

2. 单位和测量

电流的单位是安培(A),简称安。在实际生产中要表示较小的电流如晶体管电路,常用毫安(mA)和微安(μ A),要表示较大的电流如电力系统,常用千安(kA)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}, 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}, 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

电流通常采用电流表测量,也可以用万用表的电流挡测量。测量时,电流表应串联在电路中,直流电流表有正负端子。正负接线柱的接法正确的是:电流从正接线柱流入,从负接线柱流出。

1.2.2 电压

1. 定义

电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点之间的电压。用符号 U 或 u 表示。

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad \text{或} \quad u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

Q 和 q 表示电荷量; W_{ab} 和 w_{ab} 表示电场力做的功; t 表示时间。直流电路电压用大写 U 表示,交流电路电压用小写 u 表示。

2. 单位和测量

电压的单位是伏特(V),简称伏。在实际生产中要表示较小的电压常用毫伏(mV)和微伏(μ V),要表示较大的电压用千伏(kV)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}, 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

电压通常采用电压表测量,也可以用万用表的电压挡测量。测量时,电压表应并联在电路中,直流电压表有正负端子。

1.2.3 电流和电压的参考方向

1. 实际方向

习惯上规定电流的实际方向是正电荷运动的方向,电压的方向是高电位点指向低电位点的方向,电动势的方向是在电源内部,低电位点指向高电位点的方向。

2. 参考方向

以电流为例,在复杂直流电路中,某一段电路里的电流真实方向很难预先确定,在交流电路中,电流的大小和方向都是随时间变化的。这时,为了分析和计算电路的需要,引入了电流参考方向的概念,参考方向又称假定正方向,简称正方向。

所谓正方向,就是在一段电路里,在电流两种可能的真实方向中,任意选择一个作为参考方向(即假定正方向)。如图 1-5 所示,当实际的电流方向与假定的正方向相同时,电流是正值;当实际的电流方向与假定正方向相反时,电流就是负值。



图 1-5 电流的参考方向与实际方向

如图 1-6 所示,电流的正方向常用箭头或双下标表示。用 I_{AB} 表示其参考方向为由 A 指向 B,用 I_{BA} 表示其参考方向为由 B 指向 A。显然,两者相差一个负号,即

$$I_{AB} = -I_{BA}$$

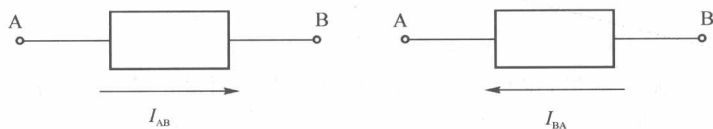


图 1-6 电流的参考方向表示

与电流类似,在电路分析中也要规定电压的参考方向,通常用 3 种方式表示:

(1) 采用正(+)、负(-)极性表示,称为参考极性,如图 1-7(a)所示。这时,从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

(2) 采用实线箭头表示,如图 1-7(b)所示。

(3) 采用双下标表示,如 U_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

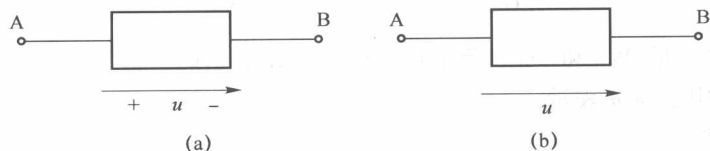


图 1-7 电压的参考方向表示

3. 关联参考方向

如图 1-8 所示,一个元件或者一段电路中电压和电流的方向均可以任意选定,二者可以一致,也可以不一致。如果一致称为关联参考方向〔如图 1-8(a)、图 1-8(b)所示〕;如果不一致称为

非关联方向〔如图 1-8(c)、图 1-8(d)所示〕。关联参考方向也可以描述为电流的参考方向从电压参考方向的“+”流入,“-”流出。

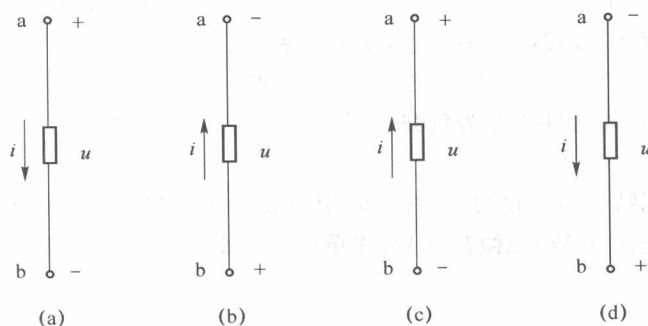


图 1-8 关联参考方向与非关联参考方向

根据上面的介绍,在对电路进行分析计算前需要注意以下几点。

(1) 参考方向的设定对电路分析没有影响,但电压和电流的参考方向一经确定,计算过程中不得改变。电路图中标出的方向均为参考方向。

(2) 电路分析必须设定参考方向,按设定的参考方向求解出的值为正,说明实际方向和参考方向相同,为负则相反。

(3) 电流和电压的参考方向关联与否原则上可以任意,习惯上电阻等无源元件选择关联方向,而电源等有源元件选择非关联方向。

1.2.4 功率

1. 定义

单位时间内消耗电能即电场力在单位时间内所做的功。下面分别是直流和交流功率随时间变化的定义式

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{或} \quad p(t) = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

元件的功率的计算式在电压、电流取关联和非关联参考方向时具有不同形式。

关联参考方向时:

$$P = UI \quad (1-4)$$

非关联参考方向时:

$$P = -UI \quad (1-5)$$

根据上面的计算式,若 $P > 0$,表明该元件吸收功率,是负载(或是起到负载作用);若 $P < 0$,表明该元件产生功率,是电源(或是起到电源作用)。若整个电路中吸收功率等于产生功率,说明整个功率平衡。

【例 1-1】 图 1-9 所示为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 4 \text{ A}$, 求各元件接收或发出的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 判断各元件的性质, 并求整个电路的功率 P 。

解 元件 1 的电压参考方向与电流参考方向相关联, 故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 \text{ W} = 16 \text{ W} \quad (\text{吸收 } 16 \text{ W})$$

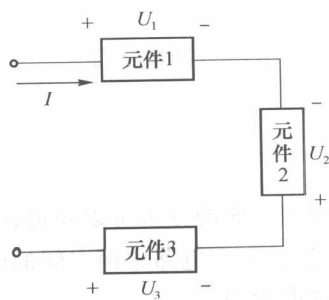


图 1-9 例 1-1 的图