

高等学校规划教材

杨居义 靳光明 蒲妍君 编著

电路与电子技术 项目教程

清华大学出版社

高等学校规划教材

电路与电子技术 项目教程

杨居义 靳光明 蒲妍君 编著

清华大学出版社

北京

市场经济的发展要求高等院校能培养更多的工程应用型人才。工程应用型人才的培养强调以知识为基础,以现实能力为重点,知识、能力、素质协调发展。本书重点放在“基础与工程项目实训”上,基础指的是课程的基础知识和重点知识,以及在实际工程项目中会应用到的知识,基础为项目服务,项目是基础的综合应用。本书具有以下特色。

1. 以项目开发为目标

本书的编写思路是在一个或多个项目实现过程中,融合相关知识点,以便读者快速将所学知识应用到实际工程项目中。这里的“项目”是指基于工作过程的、从典型工作任务中提炼并分析得到的、符合学生认知过程和学习领域要求的、模拟任务且与实际工作岗位要求一致的项目。通过这些项目的实现,可让学生掌握应用电路与电子技术课程的实用知识来解决工程应用问题。

2. 结构合理,易教易学

本书结构清晰,内容翔实,力求把握该门课程的核心,做到通俗易懂,既便于教学的展开,也便于学生学习。本书还安排了“小项目”和“技巧与注意”等板块,打造了一种全新且轻松的学习环境,让读者的实用经验在老师的提醒中不断提升,在知识链接中理解更深,视野更广。

3. 实例丰富,紧贴行业应用

本书精心组织了与行业应用紧密结合的典型实例,且内容丰富,让教师在授课过程中有更多的演示环节,让学生在学习过程中有更多的动手实践机会,以巩固所学知识,迅速将所学内容应用于实际工作中。

4. 四位一体教学模式

本书体例新颖,每一部分都按照项目、任务来编写,并且依托“基础+项目实践+课程设计+考核”的四位一体教学模式组织内容。

- 够用的基础知识。把基础知识分解成若干任务,在介绍基础知识时,列举了大量实例并安排了项目实训,这些实例主要是项目中某个环节。
- 完整的项目。这些项目是从典型工作任务中提炼、分析得到的,符合学生的认知过程和学习领域要求。项目中的大部分实现环节是前面工程情景已经介绍过的,通过实现这些项目,学生可以完整地应用、掌握这门课程的知识。
- 课程设计。通过行业综合项目案例,使学生掌握实际工程应用问题的解决方法和步骤。书中采用了实际应用项目例子,力求将理论和实践相结合,同时着重培养学生解决实际问题 and 综合应用的能力。

模块 1 电路基本概念和基本定律分析与测试	1
引入项目 1 电阻元件伏安特性的测试	1
任务 1.1 电路和电路模型分析	2
1.1.1 电路及其组成	2
1.1.2 电路模型	3
任务 1.2 电路的基本物理量分析	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压、电位和电动势	5
1.2.3 电功率与电能	8
任务 1.3 电路元件分析	10
1.3.1 电阻、电感、电容元件	10
1.3.2 独立电源和受控源	14
任务 1.4 电路的工作状态分析	16
1.4.1 有载工作状态	16
1.4.2 开路状态	17
1.4.3 短路状态	17
任务 1.5 基尔霍夫定律分析	17
1.5.1 电路图的有关术语	17
1.5.2 基尔霍夫电流定律	18
1.5.3 基尔霍夫电压定律	19
项目实训 1.6	21
项目 2 基尔霍夫定律的验证	21
项目 3 直流电路中电位的测量	23
模块 1 小结	25
练习题	27
模块 2 电路的基本分析方法与测试	31
引入项目 4 电源外特性的测量	31
任务 2.1 电阻的串、并联及其等效变换分析	33
2.1.1 电阻的串联	33
2.1.2 电阻的并联	34
2.1.3 电阻电路的计算	36
任务 2.2 电压源和电流源及其等效变换分析	38
2.2.1 等效电压源和等效电流源	38
2.2.2 实际电源的两个电路模型及其等效变换	39
任务 2.3 电路的基本分析方法	42
2.3.1 支路电流法	42
2.3.2 节点电压法	44

任务 2.4 电路的基本定理分析	47
2.4.1 叠加原理	47
2.4.2 戴维南定理和诺顿定理	49
任务 2.5 复杂电路的分析	54
任务 2.6 最大功率传输条件	56
项目实训 2.7	58
项目 5 叠加定理的验证	58
项目 6 戴维南定理和诺顿定理的验证	60
模块 2 小结	63
练习题	64
模块 3 交流电路分析与测试	71
引入项目 7 观察正弦交流电的相位差	71
任务 3.1 正弦交流电的基本概念分析	73
3.1.1 周期电压	73
3.1.2 正弦交流电的三要素	74
3.1.3 正弦交流电量的有效值	76
3.1.4 正弦交流电的相量表示	77
3.1.5 KCL、KVL 的相量形式	81
任务 3.2 单一元件正弦交流电路分析	82
3.2.1 电阻元件交流电路分析	82
3.2.2 电感元件交流电路分析	83
3.2.3 电容元件交流电路分析	85
任务 3.3 正弦交流电路分析	87
3.3.1 RLC 串联交流电路分析	87
3.3.2 阻抗的串联和并联分析	89
3.3.3 交流电路的分析和计算	91
任务 3.4 正弦交流电路的功率分析	93
3.4.1 瞬时功率分析	93
3.4.2 有功功率分析	94
3.4.3 视在功率和无功功率分析	94
任务 3.5 正弦交流电路中的谐振分析	96
3.5.1 串联谐振分析	97
3.5.2 并联谐振分析	98
任务 3.6 非正弦周期电流电路分析	99
3.6.1 非正弦量的谐波分析	100
3.6.2 非正弦周期量的有效值和功率	100
任务 3.7 三相交流电路分析	101
3.7.1 三相交流电源	101

3.7.2 三相电源的连接	101
3.7.3 三相负载的连接方式	103
3.7.4 三相负载的功率	106
项目实训 3.8	107
项目 8 电容、电感参数的测量	107
项目 9 RLC 串联谐振电路分析	110
模块 3 小结	112
练习题	114
模块 4 电路的过渡过程分析与测试	120
引入项目 10 电容器充放电过程的观测	120
任务 4.1 动态电路的过渡过程和初始条件分析	122
4.1.1 电路的过渡过程	122
4.1.2 换路定理	122
4.1.3 初始条件	123
任务 4.2 一阶电路的零输入响应分析	125
4.2.1 RC 电路的零输入响应	125
4.2.2 RL 电路的零输入响应	127
任务 4.3 一阶电路的零状态响应分析	129
4.3.1 RC 电路的零状态响应	129
4.3.2 RL 电路的零状态响应	131
任务 4.4 一阶电路的全响应分析	133
4.4.1 RC 电路的全响应	133
4.4.2 RL 电路的全响应	136
项目实训 4.5	138
项目 11 一阶 RC 电路暂态响应的测试	138
项目 12 学习几种常用仪器的使用	140
模块 4 小结	145
练习题	146
模块 5 半导体器件分析与测试	150
引入项目 13 半导体二极管和三极管的简单测试	150
任务 5.1 半导体与 PN 结分析	153
5.1.1 本征半导体	153
5.1.2 P 型半导体和 N 型半导体	154
5.1.3 PN 结	155
任务 5.2 半导体二极管分析	156
5.2.1 二极管的基本结构	156
5.2.2 二极管的伏安特性	157

5.2.3	二极管的主要参数	158
5.2.4	二极管的等效模型	158
5.2.5	二极管的检测	159
5.2.6	几种常用的特殊二极管	160
5.2.7	二极管的基本应用	161
任务 5.3	半导体三极管分析	163
5.3.1	三极管的基本结构	163
5.3.2	三极管的电流分配关系和放大作用	164
5.3.3	三极管伏安特性曲线及主要参数	166
5.3.4	三极管的检测	169
任务 5.4	场效应管分析	170
5.4.1	结型场效应管	170
5.4.2	绝缘栅型场效应管	172
5.4.3	场效应管主要参数与注意事项	174
5.4.4	场效应管与三极管的比较	175
任务 5.5	认识复合管	176
项目实训 5.6		176
项目 14	二极管、三极管的极性判别及三极管的伏安特性测试	176
模块 5 小结		179
练习题		181
模块 6	基本放大电路分析与测试	186
引入项目 15	单管交流放大电路测试	186
任务 6.1	放大电路概述	189
6.1.1	放大电路的功能及放大器的构成原则	189
6.1.2	放大电路主要性能指标	189
6.1.3	晶体管的工作点	191
6.1.4	放大电路的分析	191
任务 6.2	共发射极放大电路分析	191
6.2.1	共发射极放大电路的组成与工作原理	192
6.2.2	共发射极放大电路的静态分析方法	192
6.2.3	共发射极放大电路的动态分析方法	194
6.2.4	静态工作点的稳定问题	200
任务 6.3	射极跟随器分析	205
6.3.1	静态分析	206
6.3.2	动态分析	206
任务 6.4	多级放大电路分析	208
6.4.1	耦合方式	209

6.4.2 多级放大电路的分析计算	210
任务 6.5 差动放大电路分析	213
6.5.1 基本差动放大电路	213
6.5.2 差动放大电路的输入/输出方式	216
任务 6.6 放大电路中的负反馈分析	218
6.6.1 反馈概述	218
6.6.2 放大电路中反馈的判断	219
6.6.3 反馈放大电路的性能分析及影响	221
任务 6.7 功率放大器分析	225
6.7.1 概述	225
6.7.2 互补对称功率放大电路	227
任务 6.8 场效应管放大电路分析	228
6.8.1 自给偏压式偏置电路	229
6.8.2 分压式偏置电路	229
项目实训 6.9	230
项目 16 共射放大电路测试	230
项目 17 差分放大电路测试	233
项目 18 功率放大电路测试	236
模块 6 小结	238
练习题	241
模块 7 集成运算放大器分析与测试	249
引入项目 19 集成运放的信号运算应用	249
任务 7.1 集成运算放大器概述	250
7.1.1 集成运算放大器简介	251
7.1.2 主要参数	252
7.1.3 理想运算放大器	253
任务 7.2 基本运算电路分析	255
7.2.1 比例运算电路	255
7.2.2 加法、减法运算电路	258
7.2.3 积分、微分运算电路	261
任务 7.3 信号处理电路分析	264
7.3.1 电压比较器	264
7.3.2 有源滤波器	269
任务 7.4 信号产生电路分析	272
7.4.1 正弦波振荡电路	272
7.4.2 方波产生电路	275
7.4.3 锯齿波产生电路	276
任务 7.5 集成运算放大电路的分类与应用	277

7.5.1 集成运放的分类	277
7.5.2 常用集成运算放大器	278
7.5.3 运算放大器应用举例	281
7.5.4 运算放大器使用注意事项	281
项目实训 7.6	283
项目 20 集成运放的信号产生应用	283
项目 21 集成功率放大电路测试	284
模块 7 小结	287
练习题	288
模块 8 直流稳压电路分析与测试	293
引入项目 22 单相半波、桥式整流和滤波电路测试	293
任务 8.1 整流电路分析	296
8.1.1 单相半波整流	296
8.1.2 单相全波整流	297
任务 8.2 滤波电路分析	299
8.2.1 电容滤波器(C 滤波器)	300
8.2.2 电感电容滤波器(LC 滤波器)	301
任务 8.3 直流稳压电路分析	301
8.3.1 稳压管稳压电路	302
8.3.2 串联型稳压电路	303
任务 8.4 三端集成稳压器分析	305
8.4.1 三端集成稳压器外形、符号及引脚	305
8.4.2 三端集成稳压器的典型用法	305
8.4.3 三端集成稳压器的扩展用法	306
8.4.4 可调输出式三端稳压器	307
任务 8.5 开关稳压电源	308
项目实训 8.6	310
项目 23 三端集成直流稳压电源测试	310
模块 8 小结	312
练习题	313
模块 9 数字电路基础与测试	317
引入项目 24 集成门电路逻辑功能测试	317
任务 9.1 逻辑代数基础	321
9.1.1 逻辑代数中的基本运算	321
9.1.2 逻辑代数的复合逻辑运算	323
9.1.3 逻辑代数中的公式和定理	326
9.1.4 逻辑函数及其表示方法	328

11.2.4	异步时序逻辑电路分析	428
11.2.5	同步时序逻辑电路设计	429
任务 11.3	计数器	432
11.3.1	计数器概述	433
11.3.2	集成异步计数器及芯片	435
11.3.3	集成同步计数器及芯片	438
11.3.4	用集成计数器构成任意 N 进制计数器	441
任务 11.4	寄存器	444
11.4.1	数码寄存器	445
11.4.2	移位寄存器	446
任务 11.5	脉冲波形的产生	448
11.5.1	555 定时器的电路结构及功能	449
11.5.2	用 555 定时器组成施密特触发器	450
11.5.3	用 555 定时器组成单稳态触发器	451
11.5.4	用 555 定时器组成多谐振荡器	453
项目实训 11.6		454
项目 31	触发器	454
项目 32	计数器逻辑功能测试及应用	458
模块 11 小结		461
练习题		464
模块 12 课程设计		469
任务 12.1	电子技术课程设计概述	469
12.1.1	概述	469
12.1.2	课程设计的基本方法和步骤	469
任务 12.2	电子技术课程设计报告要求	471
任务 12.3	课程设计题目	473
课题一	半导体直流稳压电源的设计和测试	473
课题二	简易信号发生器设计	473
课题三	八路智力竞赛抢答器设计	474
课题四	设计 NBA 篮球竞赛 24 秒计时器	475
课题五	交通灯控制电路的设计	475
课题六	数字电子钟的设计	476
任务 12.4	课程设计考核评价	476
参考文献		478

电流的参考方向由 a 指向 b, 如图 1-6(b) 所示。

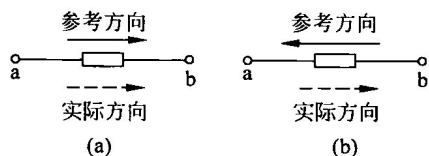


图 1-5 电流的参考方向与实际方向的关系

(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

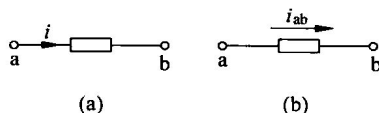


图 1-6 电路中电流参考方向的表示方法

4. 电流的测量

实验和工程中采用电流表测量电流, 电流表必须串接在被测电路中, 如图 1-7 所示。电流的参考方向由电流表接线方式决定, 从“+”接线柱指向“-”接线柱。

1.2.2 电压、电位和电动势

1. 电压

(1) 电压的定义

电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功 (work) 称为 a、b 两点之间的电压 (voltage), 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

式中, q 为从 a 点移动到 b 点的电荷量; w 为电场力移动电荷 q 所做的功; u 为 a、b 两点之间的电压。在国际单位制中, 功 w 的单位是焦耳 (J), 电压 u 的单位是伏特 (V), 简称伏。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压, 或者称为直流电压 (direct voltage), 用大写字母 U 表示, 即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

电压 u 的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。它们之间的换算关系是

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

(2) 电压的参考方向

与电流的参考方向类似, 可以任意选取电压的参考方向。当实际方向与参考方向相同时, 电压为正值, 即 $u > 0$; 当实际方向与参考方向相反时, 电压为负值, 即 $u < 0$ 。在选定电压参考方向下, 根据电压的正负, 就可以方便地确定电压的方向, 如图 1-8 所示。

(3) 电压参考方向的表示

电压参考方向有三种表示方法: 第一种是用正负极性表示。若 a 点电位高于 b 点电位, 则 a 为正极 (positive pole), 用“+”号表示; b 点为负极 (negative pole), 用“-”号表示。于是, 在分析电路时电压的参考方向也可以用参考极性表示。参考极性也可任意假定, 如果电压的真实极性与假定的参考极性相同, 则电压为正值, 即 $u > 0$; 如果电压的真实极性与参

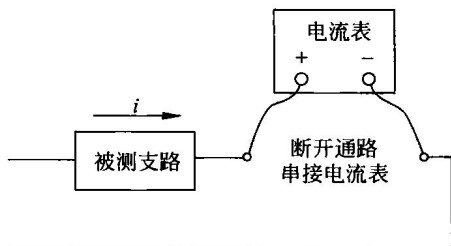


图 1-7 电流的测量电路

2. 电能

电流在一段时间内所做的功,称为电能。设元件吸收到的功率为 $p(t)$,则从 t_0 到 t_1 时间内元件吸收的总能量为

$$w(t) = \int_{t_0}^{t_1} p(t) dt \quad (1-13)$$

对于直流电路,电能等于功率与时间的乘积,即

$$W = Pt \quad (1-14)$$

电能的单位是焦耳(J),简称焦。

任务 1.3 电路元件分析

电路中常用的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件。通常把元件又分为无源元件和有源元件两大类,电阻、电感、电容元件为无源元件,电源元件为有源元件。

电路元件在电路中的作用或者说它的性质,是由其两端的电压与电流的伏安关系来决定的。

1.3.1 电阻、电感、电容元件

1. 电阻元件

(1) 电阻元件的概念

有些实际部件如电阻器、电灯、电炉等在电路工作中要消耗电能,并且将电能不可逆地转换成热能、光能、机械能等。反映电能消耗的电路参数称为电阻。实际部件的电阻特性在电路中用电阻元件来模拟,电阻元件也常常简称为电阻。

(2) 电阻元件的符号、参数

通常,“电阻”一词及字母 R 既表示电阻元件,也表示该元件的参数,电阻元件的图形符号是一个矩形框。

电阻元件有线性电阻元件和非线性电阻元件之分,它们在电路中的符号如图 1-17 所示。

其中图(a)表示线性电阻,图(b)表示非线性电阻。在电阻两端加电压后,元件中有电流流过,电阻元件上的电压 u 与电流 i 之间的关系曲线称为电阻元件的伏安特性曲线,简称伏安特性(VAR)。如果一个电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的一条直线,如图 1-18(a)所示,该电阻就称为线性电阻;如果一个电阻的伏安特性不是直线,该电阻就称为非线性电阻。例如图 1-18(b)所示为半导体二极管的伏安特性,半导体二极管就是一个具有非线性电阻特性的器件。

线性电阻的特点是元件的电阻值是一常数,与通过它的电流或其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数,而与通过它的电流或作用于两端的电压大小有关。

的磁通链(magnetic flux linkage)。图中,磁通的参考方向与电流的参考方向之间应满足右手螺旋定则。电感元件的原型是空心线圈,基本特性是线圈中的磁通量 Φ 与流过线圈的电流 i 满足一定代数关系,用 $\Phi-i$ 平面上的一条曲线 $f_L(\Phi, i)=0$ 描述,如图1-20所示。当这条曲线是一条过原点的直线时,称其为线性电感,否则称为非线性电感。本书中如无特别声明,电感元件均指线性电感。

(2) 电感元件的符号、参数

电感的大小反映了线圈通电以后产生磁通链能力的强弱。在电路中,一个实际部件的电感特性用电感元件来表示,电感元件的符号如图1-21所示。电感元件的参数为其特性曲线的斜率,记作 L ,称为电感元件的电感(量),单位为亨利(H),简称亨。亨利的单位很大,实用中常采用毫亨 $\text{mH}(10^{-3}\text{H})$ 和微亨 $\mu\text{H}(10^{-6}\text{H})$ 。“电感”这个称呼既表示电感元件,又表示电感元件的参数。

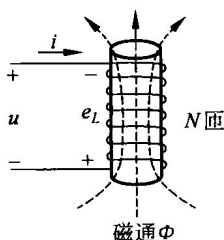


图 1-19 线圈

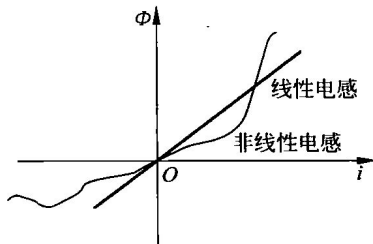


图 1-20 电感元件的 $\Phi-i$ 关系

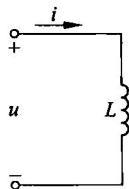


图 1-21 电感元件的符号

电感元件是一种能够储存磁场能量的元件,是实际电感器的理想化模型。

在图1-19中,当电流 i 随时间变化时,穿过线圈的磁通也要随时间变化,这时便会在在这个线圈中产生感应电压,由电磁感应定律可知其大小为

$$|u| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$$

感应电压 u 的方向可由楞次定律(Lenz's Law)来确定。

为了将电感中产生的感应电压的大小和方向用一个公式来统一表达,规定磁通的参考方向与感应电压的参考方向之间的关系,如同磁通的参考方向与产生磁通的电流的参考方向之间的关系一样,符合右手螺旋定则,也就是说规定感应电压的参考方向与产生磁通的电流的参考方向为关联参考方向(见图1-19或图1-21)。于是感应电压可以表达为

$$u = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-23)$$

对于线性电感,则有

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-24)$$

式(1-24)表明,在感应电压 u 与电流 i 为关联参考方向的前提下,如图1-21所示,当沿参考方向的电流增大时, $\frac{di}{dt} > 0, u > 0$,即感应电压的实际方向与其参考方向一致,其作用是阻止沿参考方向电流的增大,这是符合楞次定律的;当沿参考方向的电流减少时, $\frac{di}{dt} < 0, u < 0$,即感应电压的实际方向与参考方向相反,其作用是阻止沿参考方向电流的减小,这也

是符合楞次定律的。

式(1-24)还表明,对于线性电感来说,感应电压的大小与电流的变化率成正比。当电感元件中电流不变化时,感应电压为零,电感两端相当于短路。

电感元件的端电压或电感电压,就等于它的感应电压。

(3) 电感所储存的能量

当电感电流由零增加到 i 时,所获得的能量为

$$W_L = \int_0^i p dt = \int_0^i u i dt = \int_0^i \left(L \frac{di}{dt} \right) i dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2$$

这些能量以磁场能的形式储存在电感元件中。由上式可以看出,电感所储存的能量与电流 i 的大小有关,而与电流 i 的建立过程无关。

3. 电容元件

(1) 电容元件的概念

电容元件由两个相互绝缘(insulation)的极板组成,如图 1-22 所示。在电容元件的两端加上电压 u ,两个极板上分别聚集有数量相等而符号相反的电荷,其基本特性是存储在极板上的电荷量 q 与两极板之间的电压 u 满足一定代数关系,用 $q-u$ 平面上的一条曲线 $f_C(q, u)=0$ 描述,如图 1-23 所示。当这条曲线是一条过原点的直线时,称其为线性电容,否则称为非线性电容。本书中如无特别声明,电容元件均指线性电容。

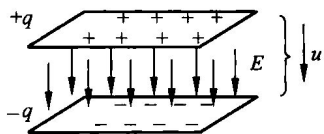


图 1-22 电容的组成

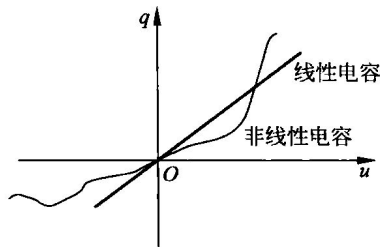


图 1-23 电容元件的 $q-u$ 关系

(2) 电容元件的符号、参数

电容元件的参数为其特性曲线的斜率,记作 C ,称为电容元件的电容(量),即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-25)$$

或

$$q = Cu \quad (1-26)$$

在国际单位制中,电容量的单位为法拉(F),简称法。法拉的单位很大,实用中常采用微法 $\mu F(10^{-6} F)$ 和皮法 $pF(10^{-12} F)$ 。

电容元件的符号如图 1-24 所示。“电容”一词及字母 C 既用来表示电容元件,也表示它的参数。电容量 C 与电压 u 无关的电容元件即为线性电容元件。

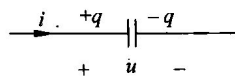


图 1-24 电容元件

对电容元件,在电压、电流为关联参考方向时,有

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-27)$$

把式(1-26)代入得

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-28)$$

在电路中如果电容元件的电压 u 不变化,由式(1-28)可知其电流 $i=0$,这时电容相当于开路(断路),即电容具有隔直作用。

(3) 电容所储存的能量

当电容电压由零增大到 u ,所获得的能量为

$$W_C = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2$$

这些能量以电场能的形式储存在电容元件中。由上式可知,电容所储存的能量只与其电压值有关,而与电压建立的过程无关。

4. 小结

电阻、电感、电容元件的基本特性关系如图 1-25 所示。在 $i-u$ 平面上反映的是电阻元件,在 $\Phi-i$ 平面上反映的是电感元件,在 $q-u$ 平面上反映的是电容元件,在 $q-\Phi$ 平面上反映的是忆阻元件。

1.3.2 独立电源和受控源

1. 独立电源

独立电源包括独立电压源(简称电压源)和独立电流源(简称电流源)两种。

(1) 电压源

理想电压源(ideal voltage source)简称电压源(voltage source),它是一个理想二端元件,在工作时,无论接在它输出端的负载如何变化,其输出端电压也始终保持不变,而它输出的电流则与之所连接的外电路(即它的负载)有关。所谓输出端电压不变,在直流情况下就表现为恒定的常数值,而对于交流情况,则表现为按照某一固有规律随时间变化的函数。

直流电压源在电路中的符号如图 1-26(a)所示, U_s 为电压源的输出电压,而“+”、“-”号是其参考极性。直流电压源也可以用图 1-26(b)所示符号表示,长线段代表参考极性的“+”极,短线段代表参考极性的“-”极。图 1-26(b)也是用来表示电池的图形符号。直流电压源的伏安特性如图 1-26(c)所示。

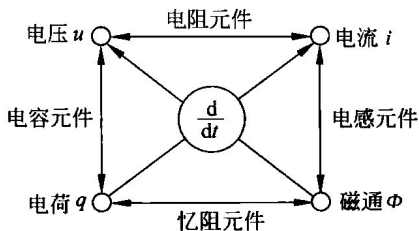


图 1-25 电阻、电感、电容元件基本特性关系

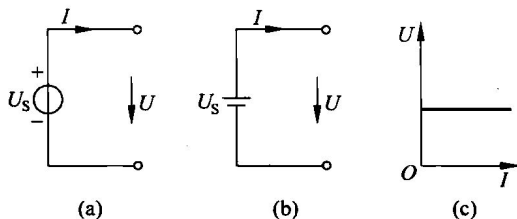


图 1-26 直流电压源

如果电压源的电压 $U_s = 0$, 它在电路中相当于短路(short circuit), 而不是开路(open circuit)。

(2) 电流源

理想电流源(idea current source)简称电流源(current source), 是一个理想二端元件, 在工作时, 无论接在它输出端的负载如何变化, 其输出电流也始终保持不变, 而其两端的电压则与之所连接的外电路(即它的负载)有关。所谓输出电流不变, 在直流情况下就表现为恒定的常数值, 而对于交流情况, 则表现为按照某一固定规律随时间变化的函数。

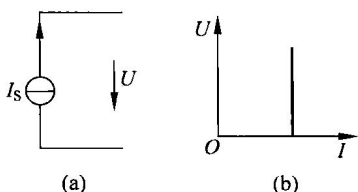


图 1-27 直流电流源

直流电流源在电路中的符号如图 1-27(a)所示, I_s 表示电流源的输出电流, 箭头的指向为其参考方向。图 1-27(b)所示为电流源的伏安特性。 $I_s = 0$ 的电流源, 在电路中相当于开路。

2. 受控电源

前面电路中出现的电压源和电流源, 其源电压和源电流不受其他电路的影响, 例如在直流电路中, 源电压和源电流都是恒定不变的, 这种电源称为独立电源, 简称独立源。在电路中还有另外一种电源, 其源电压或源电流要随着电路中其他部分的电压或电流的改变而改变, 或者说, 其源电压或源电流受其他部分的电压或电流所控制, 这种电源称为受控电源(controlled source), 简称受控源。

受控源有受控电压源和受控电流源之分, 受控电压源和受控电流源又都可分为是受电压控制的还是受电流控制的两种。因此, 受控源一共有以下四种: 电压控制电压源(voltage-controlled voltage source, VCVS)、电压控制电流源(voltage-controlled current source, VCCS)、电流控制电压源(current-controlled voltage source, CCVS)和电流控制电流源(current-controlled current source, CCCS)。

四种受控源在电路中的图形符号如图 1-28 所示。电压与电流参考方向的表示方法与独立源相同。图中 u_1 、 i_1 称为控制量, μ 、 g 、 r 、 β 称为控制系数, 其中 μ 和 β 无量纲, g 和 r 的量纲分别与电导和电阻的相同。若控制系数为常数, 说明受控源的被控量与控制量成正比, 称为线性受控源。受控源对外有四个端子, 所以是四端元件。

技巧与注意:

受控源与独立源的比较如下。

(1) 独立源的电压(或电流)由电源本身决定, 与电路中其他电压、电流无关, 而受控源的电压(或电流)由控制量决定。

(2) 独立源在电路中起“激励”作用, 在电路中产生电压、电流, 而受控源只是反映输出端与输入端的受控关系, 在电路中不能作为“激励”。

【例 1-5】 求图 1-29 中的电压 u_2 。

$$\text{解: } i_1 = \frac{6}{3} = 2 \text{ (A)}$$

$$u_2 = -5i_1 + 6 = -10 + 6 = -4 \text{ (V)}$$

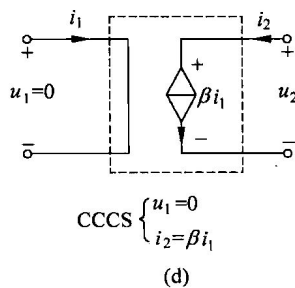
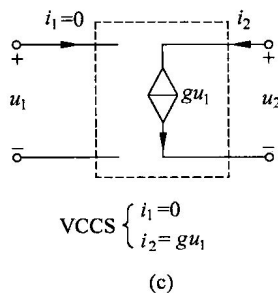
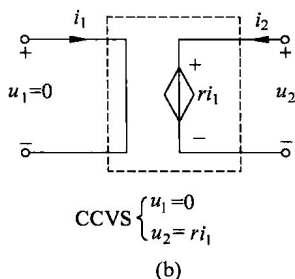
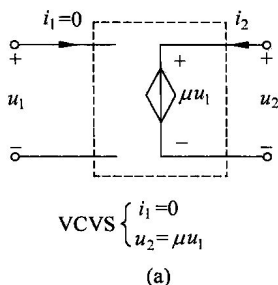


图 1-28 四种受控源的图形符号

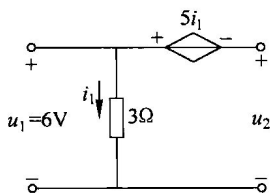


图 1-29

任务 1.4 电路的工作状态分析

当电源与负载通过中间环节连接成电路后,电路可能处于有载、开路和短路三种工作状态。

1.4.1 有载工作状态

如图 1-30 所示,电路中的开关 S 闭合,该电路处于有载工作状态,又称为通路状态。这时电路的特征如下。

(1) 当 U_s 和 R_0 一定时,电路中的电流取决于负载电阻 R_L ,即

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L}$$

(2) 电源的端电压 U 总是小于理想电压源电压 U_s ,即

$$U = U_s - IR_0$$

(3) 电源对外输出的功率 P_1 及负载消耗的功率 P_2 分别为

$$P_1 = UI = (U_s - IR_0)I = U_s I - R_0 I^2$$

$$P_2 = I^2 R_L$$

根据功率守恒, $P_1 = P_2$,说明在有载工作状态下,电源产生的功率等于负载消耗的功率与电源内部损耗的功率之和。

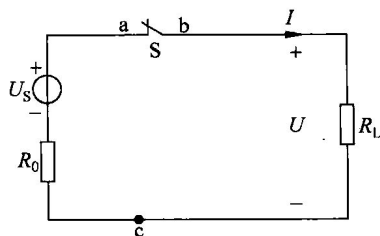


图 1-30 有载工作状态