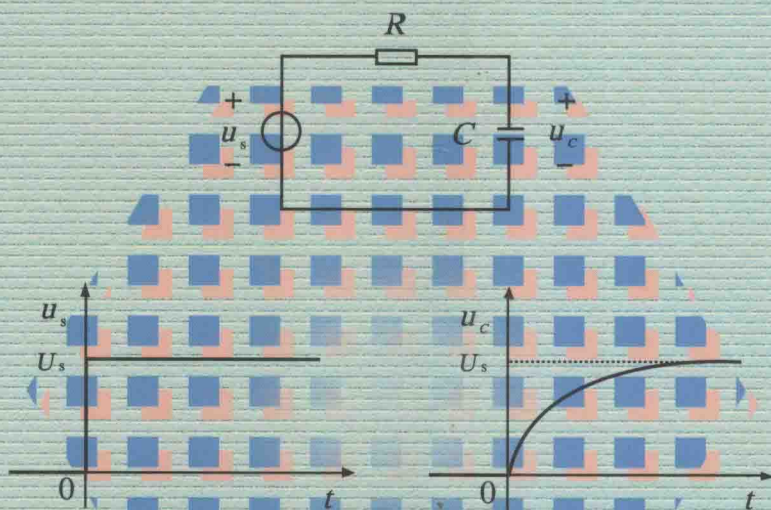


21世纪大学课程辅导丛书

电路

重点难点及典型题精解

赵录怀 王曙鸿 编著



西安交通大学出版社

21 世纪大学课程辅导丛书

电路重点难点及典型题精解

赵录怀 王曙鸿 编著

西安交通大学出版社
·西安·

内容简介

本书为电路课的学习辅导教材,内容覆盖了现有教材中的基本概念、基本理论和基本方法,部分内容有所扩充。全书共分9章,其内容主要有:电路定律与电路元件、电阻电路、瞬态分析、正弦稳态分析、正弦稳态电路的功率、频率特性、拉普拉斯变换、运算放大器、二端口网络以及每章分基本知识点、重点与难点、典型题分析和自我测验题4部分;附录为西安交通大学近年来本科生的电路期末考试题和研究生入学考试题。书末附有参考答案。

本书可作为大学生、专科生学习电路课程的辅导教材,也可作为有关专业硕士研究生报考人员的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路重点难点及典型题精解 / 赵录怀等编著. —西安:西安交通大学出版社, 2000.7
(21世纪大学课程辅导丛书)
ISBN 7-5605-1274-7

I. 电... II. 赵... III. 电路-高等学校-教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 68355 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)

陕西友盛印务有限责任公司印装

各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:18.75 字数:456 千字

2000 年 10 月第 1 版 2002 年 7 月第 5 次印刷

印数:17 001~21 000 定价:23.00 元

发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

本书是为本科生编写的电路学习辅导书,也可供攻读硕士研究生的考生复习之用。

在编写中,我们参考了西安交通大学邱关源教授主编的《电路》一书的教学内容,并根据课程要求和学生在学习中的反馈信息,对学习中的难点作了较细致的叙述,并给出了类型丰富的例题。此外,我们也充分考虑到近年来国内外出版的一些教材的体系和特点,对有些在后续课程中使用比较多的内容,如频率特性、运算放大器等,与传统教材相比对内容作了适度扩充。

全书共分9章:电路定律与电路元件;电阻电路;瞬态分析;正弦稳态分析;正弦稳态电路的功率;频率特性;拉普拉斯变换;运算放大器;二端口网络。每章内容分为4个部分:第1部分为基本知识点,主要对电路分析内容进行了简明扼要的叙述和归纳;第2部分为重点与难点,是该章内容的复习重点和目标;第3部分为典型题分析,对精选的典型题目进行了较为详细的分析,有助于启迪思维和提高解题的能力;第4部分为自我测验题,读者可用它检测对内容的掌握程度。附录为近年来本科生期末考试题和硕士研究生入学考试题,读者可用来进行自测模拟考试。

需要指出的是,学习电路课程,一定要认真做题。为了节省读者宝贵的时间和精力,提高学习效率,建议在阅读本书时将精做和泛看相结合,要将重点放在电路的基本概念、基本理论和基本方法上,不可过于追求解题技巧。

本书由赵录怀和王曙鸿编写。每章自我测验题由王曙鸿负责,其余内容由赵录怀负责。书中部分电路图由硕士生张海林用计算机绘制;部分试题及其答案由刘补生、陈燕、马西奎、罗先觉等提供;马西奎教授对本书初稿作了认真的审阅;在此向他们一并表示感谢。

由于我们的学识水平有限,本书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2000年8月于西安交通大学

目 录

第1章 电路定律与电路元件

1.1 基本知识点	1
1.1.1 基尔霍夫电流定律	1
1.1.2 基尔霍夫电压定律	1
1.1.3 电阻	1
1.1.4 电压源和电流源	3
1.1.5 受控电压源和受控电流源	4
1.1.6 电容	5
1.1.7 电感	7
1.1.8 二极管	8
1.1.9 电源复合支路的等效变换	10
1.1.10 Y形电阻网络与 Δ 形电阻网络的等效变换	11
1.2 重点与难点	12
1.2.1 基尔霍夫定律	12
1.2.2 电路元件	12
1.2.3 电路的等效变换	12
1.3 典型题分析	13
1.4 自我测验题	21

第2章 电阻电路

2.1 基本知识点	27
2.1.1 基尔霍夫定律的矩阵形式	27
2.1.2 列表法	27
2.1.3 结点电压法	28
2.1.4 网孔电流法	28
2.1.5 叠加定理	28
2.1.6 替代定理	29
2.1.7 戴维宁定理和诺顿定理	29
2.1.8 特勒根定理	31
2.1.9 小信号电阻电路的分析	32
2.2 重点与难点	34
2.2.1 电路方程	34
2.2.2 电路定理	35
2.2.3 小信号电阻电路的分析	35
2.3 典型题分析	35
2.4 自我测验题	50

第3章 瞬态分析

3.1 基本知识点	56
3.1.1 0_+ 初始值	56
3.1.2 一阶电路的零输入响应	56
3.1.3 一阶电路的分析	57
3.1.4 一阶电路的单位阶跃响应	58
3.1.5 RLC 串联电路的零输入响应	58
3.1.6 状态变量分析法	60
3.1.7 单位冲激响应	61
3.1.8 卷积	64
3.2 重点与难点	67
3.2.1 一阶电路	67
3.2.2 二阶电路	67
3.3 典型题分析	67
3.4 自我测验题	92

第4章 正弦稳态分析

4.1 基本知识点	98
4.1.1 正弦电流和电压	98
4.1.2 正弦激励电路的瞬态	99
4.1.3 相量	100
4.1.4 阻抗和导纳	102
4.1.5 正弦稳态分析	103
4.1.6 电感线圈间的磁耦合	104
4.1.7 空心变压器	105
4.1.8 电路含有耦合电感时的计算	106
4.1.9 理想变压器	107
4.2 重点与难点	108
4.2.1 正弦稳态分析	108
4.2.2 耦合电感	108
4.3 典型题分析	109
4.4 自我测验题	120

第5章 正弦稳态电路的功率

5.1 基本知识点	128
5.1.1 正弦稳态电路的功率	128
5.1.2 最大功率传输	129
5.1.3 对称三相电路	129
5.1.4 对称三相电路的计算	131
5.2 重点与难点	131
5.3 典型题分析	131

5.4 自我测验题	142
第6章 频率特性	
6.1 基本知识点	147
6.1.1 一阶网络函数的频率特性	147
6.1.2 二阶网络函数的频率特性	150
6.1.3 波德图	153
6.1.4 谐振电路	156
6.1.5 周期信号	157
6.2 重点与难点	158
6.3 典型题分析	158
6.4 自我测验题	169
第7章 拉普拉斯变换	
7.1 基本知识点	177
7.1.1 拉普拉斯变换	177
7.1.2 拉普拉斯变换的性质	177
7.1.3 拉普拉斯反变换	178
7.1.4 复频域零状态响应分析	180
7.1.5 网络函数的概念	181
7.1.6 网络函数的性质	182
7.1.7 复频域全响应分析	184
7.2 重点与难点	186
7.3 典型题分析	186
7.4 自我测验题	197
第8章 运算放大器	
8.1 基本知识点	202
8.1.1 运算放大器的电路模型	202
8.1.2 运放的线性区基本应用电路	203
8.1.3 理想运放电路的一般分析	204
8.1.4 有源 RC 滤波器	205
8.1.5 运放的非线性应用	207
8.2 重点与难点	213
8.3 典型题分析	213
8.4 自我测验题	224
第9章 二端口网络	
9.1 基本知识点	235
9.1.1 二端口网络	235
9.1.2 开路参数和短路参数	236
9.1.3 混合参数	237
9.1.4 传输参数	237

9.1.5 二端口的连接	238
9.2 重点与难点	239
9.3 典型题分析	239
9.4 自我测验题	244
附录 1 1998 年电路期末考试题(1)	249
附录 2 1998 年电路期末考试题(2)	252
附录 3 1998 年电路期末考试题(3)	256
附录 4 1999 年电路期末考试题	258
附录 5 1998 年硕士研究生入学考试电路试题	261
附录 6 1999 年硕士研究生入学考试电路试题	264
附录 7 2000 年硕士研究生入学考试电路试题	267
参考答案	
参考书目	

第 1 章 电路定律与电路元件

1.1 基本知识点

1.1.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(KCL)指出:集总电路中,在任何时刻,任一结点处支路电流的代数和等于零。

在应用 KCL 时,首先要指定每一支路电流的参考方向,在支路电流的代数和式子中,习惯上把参考方向离开结点的电流取为正号,指向结点的电流取为负号。

KCL 适用于集总电路,与元件的性质无关。KCL 除用于一个结点外,对包围几个结点的高斯面也是适用的。

1.1.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)指出:集总电路中,在任何时刻,任一回路中支路电压的代数和等于零。

在应用 KVL 时,首先要指定每一支路电压的参考方向以及回路的绕向。在支路电压代数和式子中,参考方向与回路绕向一致的支路电压带正号,而与回路绕向相反的支路电压带负号。

KVL 也适用于任一闭合结点序列。对任意两个结点 a,b 及参考结点构成的闭合结点序列,则有

$$u_{ab} = u_{na} - u_{nb}$$

式中: u_{ab} 是结点 a 与结点 b 之间的电压; u_{na} 和 u_{nb} 分别表示结点 a、b 与参考结点之间的电压,即结点电压。

上式说明,任意两个结点之间的电压等于结点电压之差。该结论是另一种形式的 KVL。

1.1.3 电阻

二端时不变电阻元件的电压与电流间存在一函数关系,其伏安特性为过原点的一条曲线。

线性电阻元件的伏安特性为经过原点的一条直线,元件的图形符号如图 1.1 所示。在关联参考方向下,伏安关系式为

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

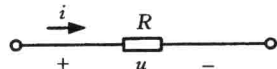


图 1.1 线性电阻

式中: R 为电阻元件的电阻,单位为 Ω ; G 为电导,单位为 S 。
 $G = 1/R$ 。

当电阻 R 为零时,对任一电流 i ,电压 u 总为零,此时该支路相当于短路;当电导 G 为零时,对任一电压 u ,电流 i 总为零,此时该支路相当于开路。

在关联参考方向下,电阻元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2$$

本书中如无特别说明,“电阻”专指线性电阻元件,或表示电阻 R 。

n 个电阻的串联,见图 1.2,其等效电阻

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

任一电阻 R_k 上的电压为

$$u_k = R_k i = \frac{R_k}{R_{eq}} u$$

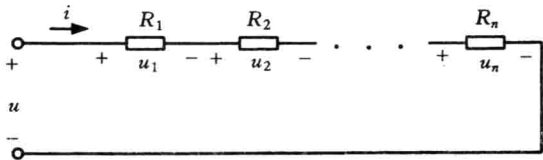


图 1.2 电阻的串联

n 个电阻的并联,见图 1.3,可以用一个电阻等效,其中

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

流过电阻 R_k 的电流为

$$i_k = \frac{1}{R_k} u = \frac{R_{eq}}{R_k} i$$

Handwritten notes:
 $G_{eq} = G_1 + \cdots + G_n$
 $R_k = \frac{1}{G_k} = \frac{G_{eq}}{G_k} R_{eq}$

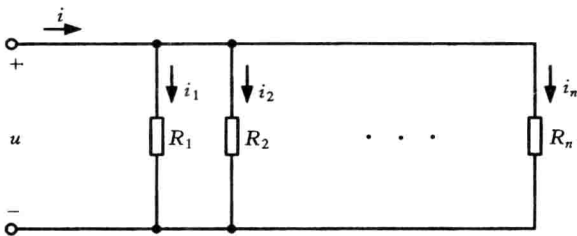


图 1.3 电阻的并联

两个电阻 R_1 和 R_2 并联时,则有

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

非线性电阻的图形符号如图 1.4。若电流为电压的单值函数,称该电阻是电压控制型电阻;若电压为电流的单值函数,则称该电阻是电流控制型电阻。

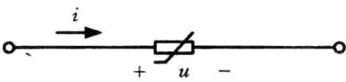


图 1.4 非线性电阻

1.1.4 电压源和电流源

电压源的图形符号如图 1.5(a) 所示,电压源两端的电压为一给定的时间函数 $u_s(t)$,而与流过它的电流无关。当电压源的电压为恒定值时,称为直流电压源,可以用图 1.5(b) 所示的图形符号表示,其中长线端为正极性端,电压用大写符号表示。

n 个电压源串联,如图 1.6 所示,可以用一个电压源等效,其电压为

$$u_s(t) = u_{s1}(t) + u_{s2}(t) + \cdots + u_{sn}(t)$$

电压源 u_s 与任一元件并联(若该元件也为电压源,其电压必须等于 u_s),如图 1.7 所示,由于 $u_{ab} = u_s$,则可用一电压为 u_s 的电压源等效。

注意:两个网络等效是指这两个网络具有相同的伏安关系,对电路其他部分而言,这两个网络的作用完全相同,

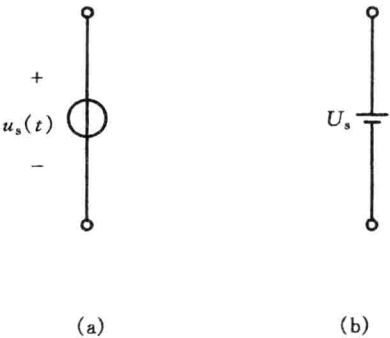


图 1.5 电压源

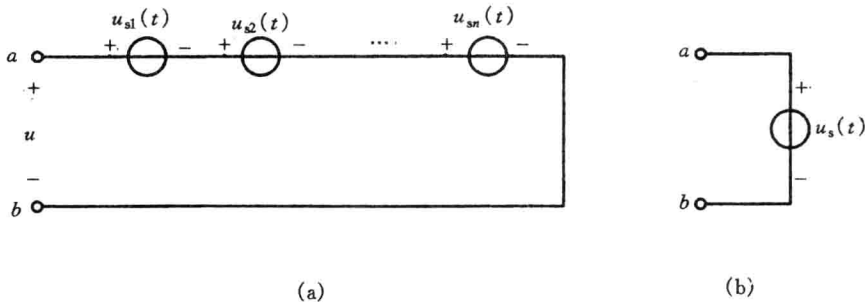


图 1.6 电压源的串联

但这两个网络的内部不存在对应关系。例如如图 1.7(b) 中电压源支路的电流与图 1.7(a) 中电压源支路的电流并不相等。

电流源的电流为一给定的时间函数 $i_s(t)$,而与它两端的电压无关,其图形符号如图 1.8 所示。

n 个电流源的并联,如图 1.9 所示,可以用一个电流源等效,其电流为

$$i_s(t) = i_{s1}(t) + i_{s2}(t) + \cdots + i_{sn}(t)$$

电流源 i_s 与任一元件串联(若该元件也为电流源,则电流必须等于 i_s),由于流过端子的电流仍为 i_s ,故可以用一个电流为 i_s 的电流源等效,如图 1.10 所示。

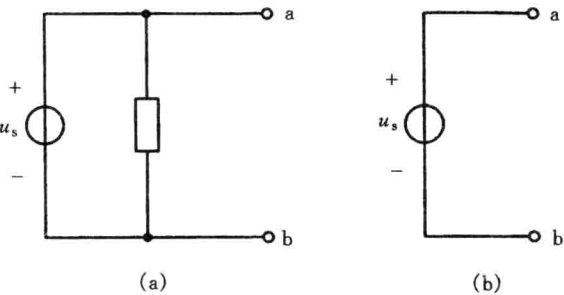


图 1.7 电压源与任一元件的并联

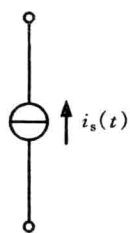
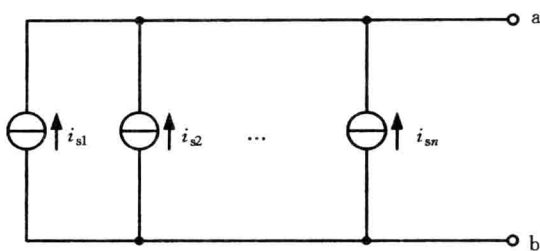
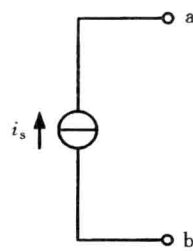


图 1.8 电流源

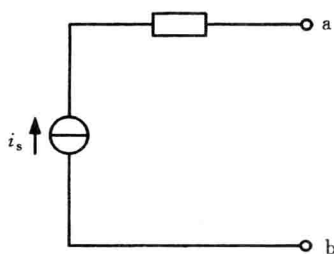


(a)

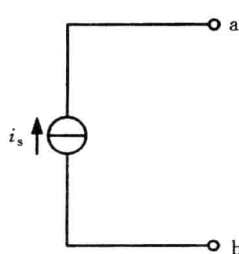


(b)

图 1.9 电流源的并联



(a)

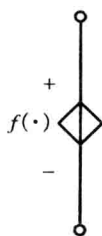


(b)

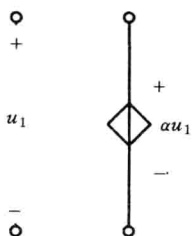
图 1.10 电流源与任一元件的串联

1.1.5 受控电压源和受控电流源

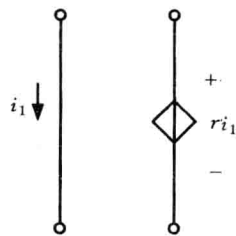
受控电压源的电压受电路中其他一些电压和电流控制,其图形符号如图 1.11(a)。



(a)



(b)



(c)

图 1.11 受控电压源

单变量控制的线性受控电压源有两种：电压控制电压源 (VCVS) 和电流控制电压源 (CCVS)，如图 1.11(b) 和(c) 所示，其中 α 和 r 与电压和电流无关，分别称为电压控制系数和跨阻。

受控电流源的电流受电路中其他一些电压和电流控制，其图形符号如图 1.12(a)。

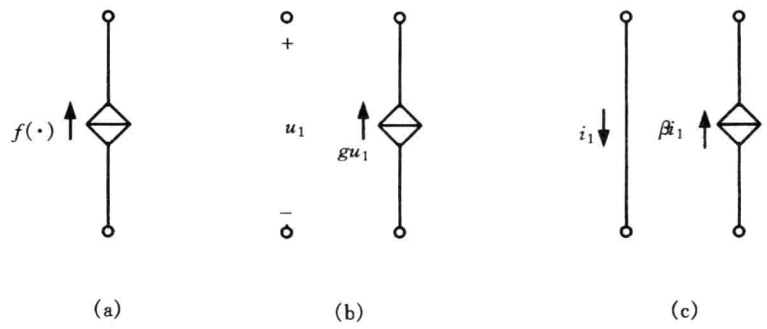


图 1.12 受控电流源

单变量控制的线性受控电流源有两种：电压控制电流源 (VCCS) 和电流控制电流源 (CCCS)，如图 1.12(b) 和(c) 所示，其中 g 和 β 与电压和电流无关，分别称为跨导和电流控制系数。

受控电源反映了电路中电压、电流间的一种控制关系，在电路中不起激励作用，而上节介绍的电压源和电流源可以理解为“受时间控制”，在电路中起激励作用。为了强调与受控源的不同，电压源和电流源也称为独立电源。

当受控源的控制量与被控制量在同一支路时，受控源则表示一电阻。图 1.13 所示的两个受控源分别表示电压控制型电阻和电流控制型电阻。

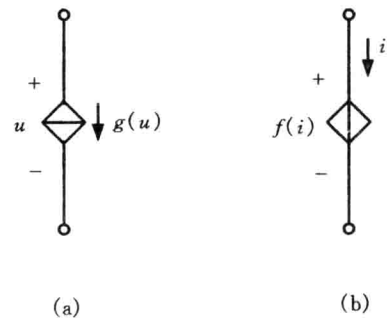


图 1.13 用受控源表示的电阻

1.1.6 电容

二端非时变电容元件的电荷与电压之间存在一函数关系，其库伏特性为经过原点的一条曲线。

线性电容的库伏特性为经过原点的直线，若设与电压 u 的“+”参考极性对应的极板带电荷 $+q$ ，如图 1.14 所示，电容 C 按下式定义

$$q = Cu$$

式中： q 为电荷，单位为 C； C 为电容，单位为 F。在图示电流参考方向下，由于

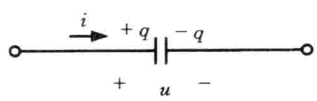


图 1.14 电容

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

则

$$i = C \frac{du}{dt}$$

若 t_0 时刻的电容电压 $u(t_0)$ 已知, 则对任一大于 t_0 时刻的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi$$

电容元件的电场能量为

$$W = \frac{1}{2} Cu^2$$

在本书中如无特别说明, “电容” 专指线性电容元件, 或电容 C 。

n 个具有相同初始电压 $u(t_0)$ 的电容并联, 如图 1.15 所示, 可以用一个具有初始电压 $u(t_0)$ 的电容等效, 其值为

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

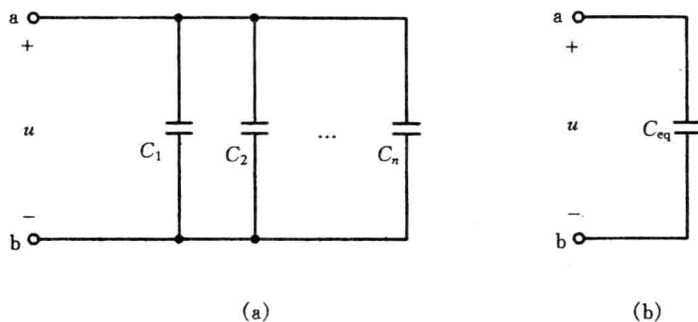


图 1.15 电容的并联

n 个电容串联, 如图 1.16 所示, 设电容 C_k 的初始电压为 $u_k(t_0)$, $k = 1, \cdots, n$, 则等效电容 C_{eq} 及初始电压 $u(t_0)$ 由下式确定

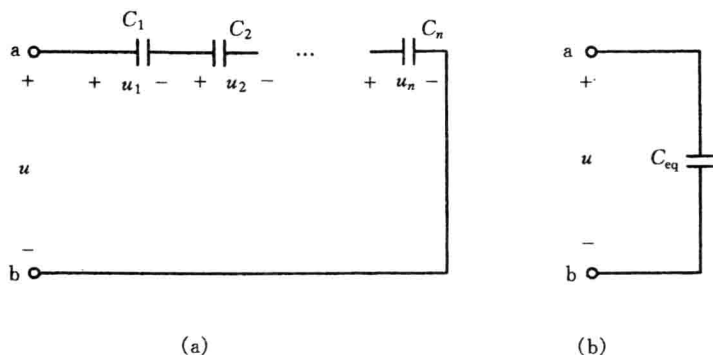


图 1.16 电容的串联

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

$$u(t_0) = u_1(t_0) + u_2(t_0) + \cdots + u_n(t_0)$$

非线性电容的库伏特性为经过原点的一条曲线。实际非线性电容一般是电压控制型的, 若设 $q = f(u)$, 则

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{du} \frac{du}{dt} = C(u) \frac{du}{dt}$$

式中

$$C(u) = \frac{dq}{du}$$

1.1.7 电感

二端时不变电感元件的磁链与电流间存在一函数关系, 其韦安特性为经过原点的一条曲线。电感元件的图形符号如图 1.17 所示。

线性电感按下式定义

$$\psi = Li$$

式中: ψ 为磁链, 单位为 Wb; L 为与磁链 ψ 和电流 i 无关的常数, 称为电感, 单位为 H。若电感的电压和电流取关联参考方向, 如图 1.17 所示, 伏安关系式为

$$u = L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

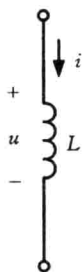


图 1.17 电感

电感的磁场能量为

$$W = \frac{1}{2} Li^2$$

在本书中如无特别说明, “电感” 专指线性电感元件, 或表示电感 L 。

n 个具有相同初始电流 $i(t_0)$ 的电感串联, 可以用一个初始电流为 $i(t_0)$ 的电感等效, 如图 1.18 所示, 其中

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \cdots + L_n$$

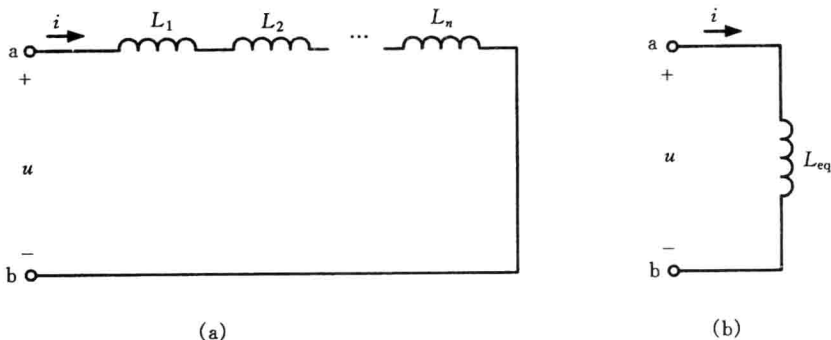


图 1.18 电感的串联

n 个电感并联, 也可以用一个电感等效, 如图 1.19 所示, 其中

$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n}$$

$$i(t_0) = i_1(t_0) + i_2(t_0) + \cdots + i_n(t_0)$$

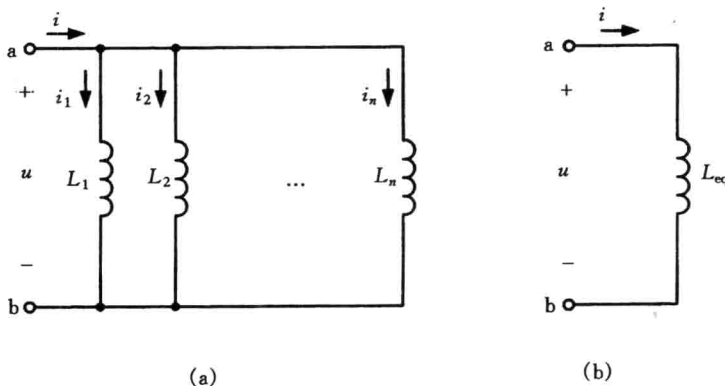


图 1.19 电感的并联

非线性电感的韦安特性为经过原点的一条曲线,实际非线性电感一般是电流控制型的,设 $\psi = f(i)$, 则

$$u = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\psi}{di} \frac{di}{dt} = L(i) \frac{di}{dt}$$

式中

$$L(i) = \frac{d\psi}{di}$$

1.1.8 二极管

二极管为一基本半导体器件,给它建立电路模型需要半导体物理方面的知识,本书只讨论其直流外特性。二极管的图形符号见图 1.20(a),它有两个端子,标 A 的为阳极,标 K 的为阴极。PN 结二极管的直流特性如图 1.20(b) 所示, B 点以右曲线可近似用方程表示为

$$I = I_s(e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

式中: I_s 近似为二极管加一比较大的反向电压时的反向电流,称为反向饱和电流,其数值可低于 $1 \mu\text{A}$, $U_T = \frac{kT}{q}$, 称为热电压, k 是波尔兹曼常数, q 是基本电荷, T 是热力学温度, 在 $T = 300\text{K}$ 时, $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。

当 PN 结二极管加正向电压 $U \gg U_T$ 时,伏安关系式可近似为

$$I = I_s e^{U/U_T}$$

而当加反向电压 $U \ll -U_T$ 时,

$$I = -I_s$$

可见,二极管具有单向导电特性。对硅二极管,正向导通电压一般在 0.7 V 左右,反向饱和电流可达 nA 数量级。对理想二极管,视正向导通电压为零,反向断开电流为零,即

正向导通时, $I > 0$, $U = 0$

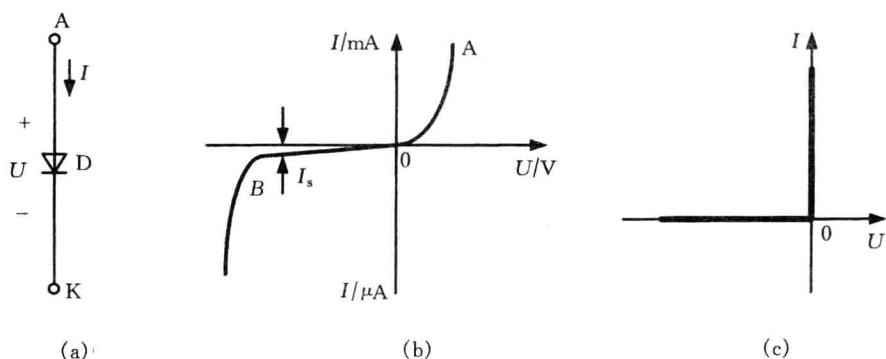


图 1.20 二极管

(a) 图形符号；(b) 特性曲线；(c) 理想特性曲线

反向偏置时, $U < 0$, $I = 0$

特性曲线见图 1.20(c)。在对电路作原理性分析时,往往将实际二极管视为理想二极管。

图 1.20(b) 中 B 点以左部分曲线为二极管的击穿区,稳压二极管在起稳压作用时正是工作于该区域,其图形符号和伏安特性如图 1.21 所示。当电流 I 在 $(-I_{Z\max}, -I_{Z\min})$ 范围变化时,电压变化很小, $U \approx -U_Z$, U_Z 称为稳压二极管的稳定电压。在稳压区,若设特性曲线为直线,可近似表示为

$$U = -U_Z + rI$$

式中: r 称为稳压管的动态电阻, $r = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 。与上式对应的电路如图 1.21(c) 所示。

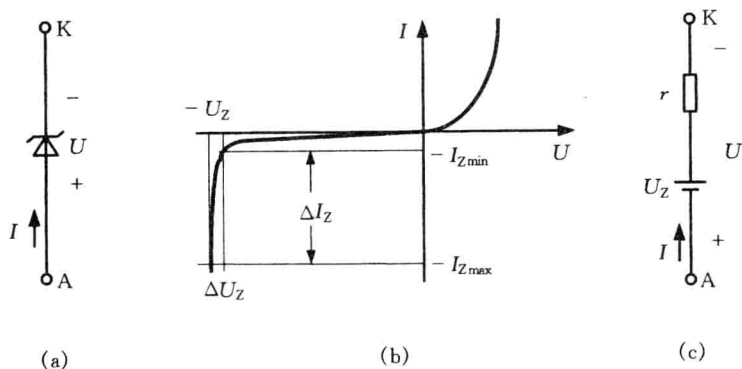


图 1.21 稳压二极管

(a) 图形符号；(b) 直流伏安特性曲线；(c) 稳压区电路

实际中,为了降低温度对稳定电压的影响,将两个相同的稳压管反向串联,一个击穿稳压时,另一个正向导通作温度补偿,双稳压管的图形符号及其理想伏安特性如图 1.22 所示。