

电工技术与 电子技术 上册

王鸿明 编 宗孔德 审

清华大学出版社

DIANGONG JISHU
YU DIANZI JISHU

内 容 简 介

本书是根据高等工科学学校电工学课程教学领导小组审定的《电工技术》、《电子技术》课程教学基本要求编写的，分为上、下两册。上册是电工技术，内容有电路分析；变压器；电动机；继电器-接触器控制等。下册是电子技术，内容有模拟电子技术；数字电子技术；晶闸管应用电路以及电工、电子测量等。

本书是作者在清华大学多年从事电工学教学工作的基础上编写成的。本书文字叙述详细、概念阐述清楚、通俗易懂、便于自学。在内容上强电、弱电并重。除满足课程教学基本要求的基础外，还适当增加了一些拓宽的知识，因此适用的专业面广。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生、大专生学习电工技术、电子技术的教材或参考书，也可以作为非电类工程技术人员了解有关电工知识的参考书。

电工技术与电子技术

(上册)

王鸿明 编

宗孔德 审

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本：850×1168 1/32 印张：13 1/8 字数：340 千字

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数：00001—10000

ISBN 7-302-00672-5/TM·8

定价：3.00 元

前 言

本教材是根据高等工科学学校电工学课程指导小组审定的电工技术、电子技术课程教学基本要求编写的。教材分为上、下册。上册是电工技术，内容包括直流电路、正弦电流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、过渡过程、变压器、电动机、继电器-接触器控制以及安全用电等。下册是电子技术，内容包括半导体二极管及应用；三极管、三极管基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、稳压电源；集成运算放大电路；数字集成电子电路；晶闸管应用电路；电工、电子测量等。

本教材在编写过程中除了注意到要满足基本要求外，还根据编者多年从事电工学教学工作的实践并吸取我校有关专业老师的意见，对现有教材作了研究后，适当地增加了一些内容。编者认为这些内容在实用上或理论上将有助于使用这本教材的人士更好地理解课程的基本要求并为进一步学习电工、电子技术打下基础。与现有教材相比，本书增加的内容有：受控源，转移函数，波特图，含有两个电容元件的一阶 $R-C$ 电路过渡过程的分析等。这些内容的引入将对有关的电子电路的学习带来便利。此外，为适应“机、电一体化”发展方向的需要，本书适当增强了电动机的使用及大功率电子技术方面的内容。

在电子技术部分，以主要的篇幅介绍线性及数字集成电子电路的原理及使用，并配合适当的应用举例。所有这些将使本书所适用的专业面更广，并能为有志于进一步学习电工、电子技术的人士打下良好的基础。

本书在编写过程中得到宗孔德教授的指点和帮助，他详细地审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见和建议。这些意见和建议

对于提高这本教材的质量起了很好的作用，编者在这里向宗孔德老师表示衷心的感谢。

本书在编写过程中还得到清华大学电机工程系应用电子学及电工学教研组领导及许多同志的关心和支持，在此谨向他们致以衷心的感谢。

限于本人的水平，本书中不妥和错误之处在所难免，望读者及同行老师们给予批评指正。

编者 1989.5

目 录

第一章 电路的基本概念、定律和分析方法	1
1.1 基本概念与定律	1
1.1.1 电路元件的伏安特性与模型	1
1.1.2 电路的基本规律	9
1.1.3 电器设备的额定值	16
1.2 电路的分析方法	17
1.2.1 简单电路的分析与计算	17
1.2.2 复杂电路的计算	24
1.2.3 电源模型的等效变换	32
1.2.4 叠加原理、等效电源定理	37
1.2.5 负载获得最大功率的条件	49
1.3 含受控源电路的分析	51
1.3.1 受控源的类型和符号	51
1.3.2 含受控源电路的分析	53
习 题	59
参考文献	63
第二章 正弦电流电路	65
2.1 正弦量的特征量及其表示方法	66
2.1.1 正弦量的特征量	66
2.1.2 有效值	69
2.1.3 正弦量的表示法	72
2.2 交流电路的计算	81
2.2.1 单一参数下的交流电路	81
2.2.2 电阻、电感、电容串联电路	94
2.2.3 电阻、电感、电容并联电路	105

2.2.4	复杂正弦电流电路的计算	111
2.2.5	功率因数的提高	115
2.3	电路中的谐振	118
2.3.1	串联谐振	119
2.3.2	并联谐振	127
2.4	转移函数	132
2.4.1	转移函数	132
2.4.2	低通、高通、带通、带阻电路	136
2.4.3	波特图	145
2.5	三相交流电路	148
2.5.1	三相电源的联接	149
2.5.2	三相负载的联接	152
2.5.3	对称三相电路的功率	157
	习 题	159
	参考文献	164

第三章 非正弦周期电流电路 165

3.1	非正弦电路的分析方法	166
3.1.1	非正弦周期信号的分解	167
3.1.2	非正弦周期信号的频谱	171
3.1.3	非正弦电流电路的计算	173
3.2	非正弦量的有效值、平均值和功率	180
3.2.1	非正弦量的有效值	180
3.2.2	非正弦量的平均值	181
3.2.3	非正弦电流电路的功率	182
3.3	谐振滤波器的概念	184
	习 题	187
	参考文献	188

第四章 电路中的过渡过程 189

4.1	换路定理	190
4.1.1	电路中产生过渡过程的原因	190

4.1.2	换路定理	192
4.2	一阶 $R-C$ 电路的过渡过程	196
4.2.1	电容充电电路	196
4.2.2	电容放电电路	201
4.2.3	非零起始态 $R-C$ 电路	202
4.3	一阶 $R-L$ 电路的过渡过程	208
4.3.1	$R-L$ 串联电路与恒定电压接通	208
4.3.2	$R-L$ 电路的“放电”	210
4.4	正弦激励下电路的过渡过程	212
4.5	三要素法	215
4.6	脉冲激励下 $R-C$ 电路过渡过程的分析	219
4.6.1	单个脉冲作用下 $R-C$ 电路过渡过程的分析	219
4.6.2	序列脉冲作用下 $R-C$ 电路的过渡过程	226
4.7	含有两个电容元件的一阶 $R-C$ 电路	228
4.7.1	非独立起始值	228
4.7.2	具有两个电容的一阶电路起始值的计算	231
4.8	二阶电路过渡过程(简介)	237
	习题	241
	参考文献	244
第五章	变压器	245
5.1	变压器的作用原理	246
5.1.1	变压器的基本结构	246
5.1.2	变压器工作分析	246
5.2	变压器的外特性与效率	253
5.2.1	变压器的外特性	253
5.2.2	变压器的效率	256
5.3	三相变压器与绕组联接	259
5.3.1	三相变压器的结构	259
5.3.2	绕组的标志方式	260
5.3.3	三相变压器绕组的联接方法和组别	262
5.4	其他用途的变压器	263

5.4.1	自耦调压器	263
5.4.2	仪用互感器	264
5.4.3	焊接变压器、整流变压器、电炉变压器	266
5.5	变压器的额定值及型号	268
5.5.1	变压器的额定值	268
5.5.2	变压器的型号	270
	习题	271
	参考文献	273

第六章 电动机 274

6.1	三相交流异步电动机	274
6.1.1	三相交流异步电动机的结构和转动原理	274
6.1.2	三相异步电动机的转矩和机械特性	281
6.1.3	三相异步电动机的型号、额定值和技术数据	292
6.1.4	三相异步电动机的使用——起动、 反转、调速、制动	295
6.1.5	同步电动机简介	300
6.2	单相异步电动机	301
6.2.1	单相异步电动机工作原理与特性	301
6.2.2	单相异步电动机的起动	303
6.2.3	三相异步电动机的单相运行	307
6.2.4	驱动微电机的型号	308
6.3	直流电机	309
6.3.1	直流电机的结构及分类	310
6.3.2	直流电机的工作原理	312
6.3.3	直流电动机的机械特性	316
6.3.4	直流电动机的调速	320
6.3.5	直流电动机的使用——联接、起动、反转和制动	326
6.3.6	直流电机的型号和额定值	329
6.3.7	直流力矩电动机	330
6.4	步进电动机	332
6.4.1	步进电动机的结构和工作原理	332

6.4.2	步进电机的性能指标	337
6.4.3	步进电机的技术数据	340
6.5	电动机的外壳结构形式、绝缘等级和工作定额	340
6.5.1	电动机的外壳结构形式	340
6.5.2	绝缘等级	344
6.5.3	异步电动机的定额	344
	习题	346
	参考文献	348
第七章	继电器、接触器控制	349
7.1	低压电器	349
7.1.1	刀开关与熔断器	350
7.1.2	主令电器	354
7.1.3	接触器	357
7.1.4	控制继电器	363
7.1.5	低压电器产品型号命名方法	369
7.2	生产机械电气设备的基本控制电路	369
7.2.1	三相异步电动机直接起动的控制电路	370
7.2.2	热继电器及电动机过载保护	372
7.2.3	电动机正反转控制	375
7.2.4	行程控制	378
7.2.5	时间控制	380
7.2.6	速度控制	385
7.2.7	其它一些控制环节	387
7.3	生产机械电气控制线路原理图的阅读	390
7.3.1	阅读生产机械电气控制线路原理图的一般步骤	390
7.3.2	继电器接触器控制线路举例	391
7.4	电器保安常识	396
7.4.1	触电方式、电流对人体的作用和安全电压	396
7.4.2	接地与接零	399
7.4.3	家用电器的接地与接零	402
7.4.4	静电防护	403

7.4.5 电器设备保安措施.....	403
习题	404
参考文献	406
附录	407
[I] 三相异步电动机产品名称、用途、型号（新、旧）	407
[II] 驱动微电机产品名称、用途、型号（代号）	408
[III] 驱动微电机产品派生系列代号	409
[IV] 直流电机的产品用途、分类、型号	409

第一章 电路的基本概念、 定律和分析方法

本章着重介绍电路问题的基本知识、定律和计算方法，为学习电子电路建立基础。

1.1 基本概念与定律

1.1.1 电路元件的伏安特性与模型

电路是由电工、电子元器件组成的、提供电流流通的途径。工作要求不同，构成的电路功能也不同。如输配电电路是用来向工厂、农村、居民区提供电能的。扩音机电路可将声音信号转换为电信号，经放大后再通过喇叭传送出去，使声音能传送得更远并能使更多的人听的清楚。计算机电路可以对数据进行运算和处理，提高了计算速度和处理能力。

电路的种类繁多，但从其功能来区分，构成电路的目的有两个：进行能量的传输、分配和转换及进行信息的传递、处理和运算。电路要实现的目的不同，对它提出的技术要求也不同，前者较多的侧重于传输效率的提高，后者多侧重于信息在传递过程中的保真、运算的速度和抗除干扰等。

电路分析要研究的问题不是如何提高传输效率和怎样提高信息传递的速度。电路分析的目的是研究电路中能量转换过程中的一般规律，为研究具体电路建立分析、计算的方法。因此，在这里对组成电路的具体元器件的结构、工作原理并不予以重视，仅对组成电路的元器件在电路中所表现出的电特性及这些元件相互

连接后，它们所表现的能量转化、分配等规律进行讨论。

由于电路是由电特性相当复杂的器件组成的，为了用数学方法进行分析，获得具有普遍意义的规律，要将电路实体中的各种电路元件用一些基本上能反映其特性的理想元件（称为模型）来替代。从能量转化的角度来分析，电路中所应用的元件，工作时表现出的电特性不外乎两种情况：一类元件工作时可以向电路提供电能，这类元件称为电源元件。另一类元件工作时将电能转化为其它形式的能量，如转化为光能、热能、机械能。这类元件称为负载元件。构成电路的最基本元件是电源和负载。

（一）电源元件

电路中应用的电源种类繁多，如干电池、蓄电池、光电池、发电机等。这些电源外形不同。结构与工作原理也不同，但是作为使用者关心的不是电能如何产生的，而是该电源提供的电压、电流、功率能否满足负载所需及电源输出端的特性是否满足负载要求。电源的输出端特性称为电源的外特性或伏-安特性（ $V-A$ 特性），它表示电源输出端电压与输出电流之间的关系，如图 1-1 所示。

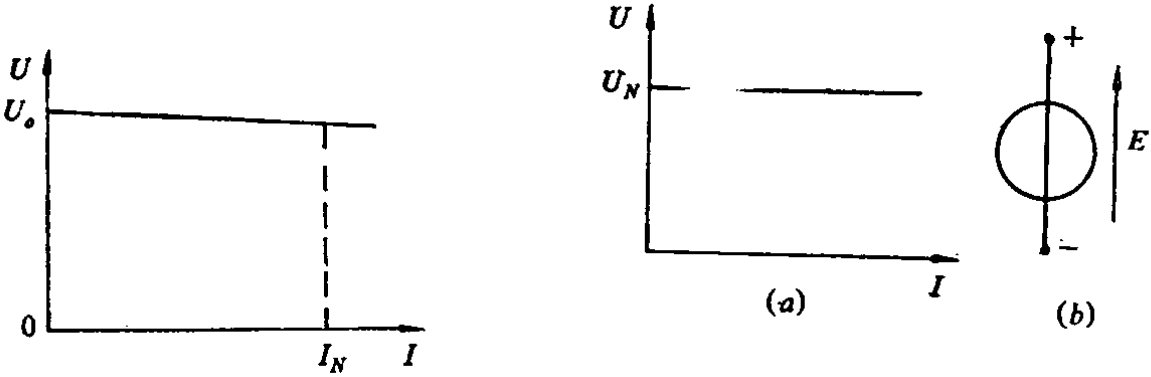


图 1-1 $V-A$ 特性曲线 图 1-2 理想电压源特性曲线与符号

对电路进行分析时，使用的实际电源通常可以用两种不同的模型来表示，这两种模型分别称为电源的电压源模型和电源的电流源模型。

1. 电源的电压源模型 电源的电压源模型是这样建立的，

如果一个电源输出电流改变时，输出端电压能够保持恒定，其 $V-A$ 特性曲线如图 1-2(a) 所示。具有图 1-2(a) 所示特性的电源称为理想电压源或恒压源。理想电压源的特点是输出电流改变时，输出电压恒定不变。根据这个特性可以说理想电压源是一个能输出无穷大功率的电能源。理想电压源符号如图 1-2(b) 所示。

理想电压源可输出无穷大功率，但实际上并不存在能输出无穷大功率的电源。给出理想电压源的目的是建立实际电源的电路模型。由实际电源 $V-A$ 特性曲线（图 1-1）来看，可以用理想电压源和电阻串联的电路作为它的模型，如图 1-3 所示，该电路从端特性上可以作到与实际电源的特性相同。图 1-3 所示电路视为实际电源的科学抽象（物理模型），并称它是电源的电压源模型（简称电压源）。

电压源输出电压与电流之间的数学关系式为

$$U = E_s - I R_s \tag{1-1}$$

式中 U ——电压源输出端电压, V;
 E_s ——理想电压源的电动势, V;
 I ——电压源输出电流, A;
 R_s ——电压源内阻, Ω 。

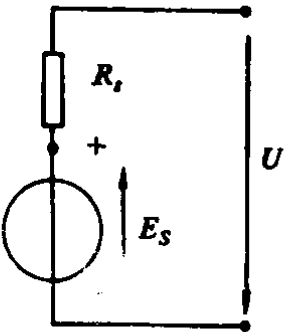


图 1-3 电源的电压源模型

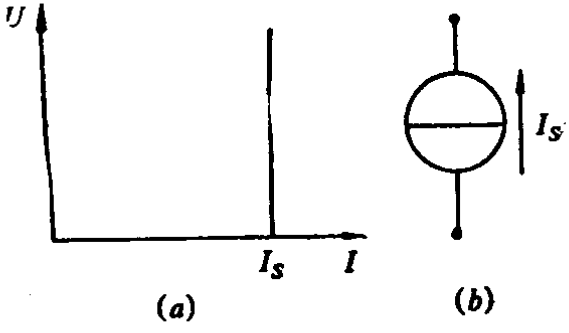


图 1-4 理想电流源特性曲线与符号

2. 电源的电流源模型 如果一个电源在工作时，不论接在它输出端的负载如何变化，该电源输出电流保持不变，特性如图 1-4(a) 所示，则具有这种特性的电源称为理想电流源或恒流源。

理想电流源的符号如图 1-4(b) 所示。

理想电流源输出电流的大小与接入的负载无关，但理想电流源的端电压与接入的负载有关。

接在理想电流源上的负载电阻值越大，电源输出端电压越高，输出功率也就越大。理想电流源也是一个能输出无穷大功率的电能源。

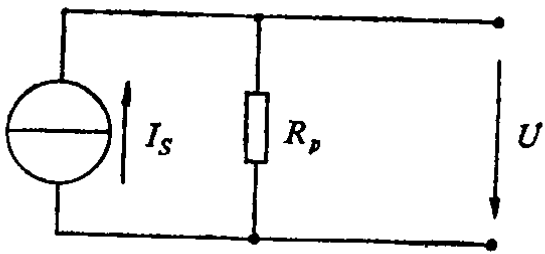


图 1-5 电源的电流源模型

利用理想电流源可以构成实际电源的另一种物理模型，如图 1-5 所示，这个模型称为电源的电流源模型（简称电流源）。

在图 1-5 所示电流源的输出端，随着接入的负载电阻减小，输出电流增加，输出端电压下降，其 $V-A$ 特性与图 1-1 所示特性相同。

电流源输出电流与输出电压之间的关系式为

$$I = I_s - \frac{U}{R_p} \tag{1-2}$$

- 式中 I —— 电流源输出电流，A；
 I_s —— 理想电流源输出电流，A；
 U —— 电流源输出端电压，V；
 R_p —— 电流源内阻， Ω 。

电压源和电流源是电源的两种不同表示方法的电路模型。

（二）负载

电路中使用的负载种类繁多，如电灯、电炉、电动机、各种类型的半导体元器件等。这些负载工作原理不同，外形与结构也不同。当对由这些元器件组成的电路进行分析与计算时，同样也是采用能反映负载电特性的理想电路元件（模型）代替实际的元器件，用由理想电路元件构成的电路模型进行分析与计算。

电路中的负载工作时表现出的电特性都与电磁现象有关，主

要有三种表现。第一种是负载工作时将电能转换成其它形式的能量，而且这种转换是不可逆的，例如电灯、电炉等负载就属于这种情况。第二种是通过负载将电能转换成磁场能，这种转换通常是可逆的，如电感线圈等负载就属于这种情况。第三种是通过负载将电能转换成电场能，这种转换也是可逆的，如电容器。因此在对电路进行分析时，引入三个理想电路元件，每个电路元件反映一种电磁过程。这三个电路元件是理想电阻元件、电感元件和电容元件，一些实际元器件工作时表现出的电磁现象可以用这三个理想元件的组合来反映。

1. 电阻元件 电阻元件是用来表示负载耗能的电特性。凡是电能不可逆地转换成其它形式能量的负载，如将电能转换成热能、光能、机械能等，具有这种转换作用的负载用理想电阻元件表示。理想电阻元件的符号如图 1-6 所示。

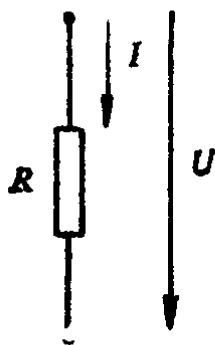


图 1-6 电阻元件符号

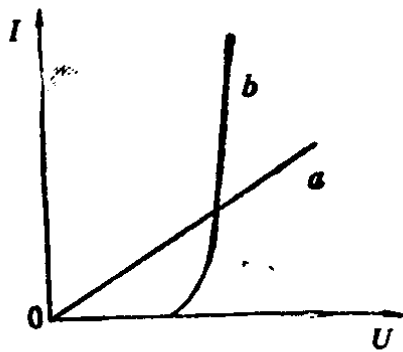


图 1-7 电阻元件的 $V-A$ 特性曲线
 a —线性电阻， b —非线性电阻

在电阻元件两端加电压后，元件中有电流通过，电阻元件上的电压与通过的电流之间的关系曲线称为电阻元件的 $V-A$ 特性曲线。

$V-A$ 特性曲线过坐标原点且为直线的电阻元件称为线性电阻元件，其 $V-A$ 特性曲线如图 1-7 中的曲线 a 所示。 $V-A$ 特性曲线不是直线的电阻元件称为非线性电阻元件，其 $V-A$ 特性如图 1-7 中的曲线 b 所示。

线性电阻的特点是元件的电阻值为一常数，与通过它的电流

或作用于其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数，与通过它的电流或作用其两端的电压大小有关。

欧姆定律表明，通过电阻的电流与作用在电阻两端的电压成正比，即

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-3}$$

式中 U ——电压，V；
 I ——电流，A；
 R ——电阻， Ω ，大电阻用 $k\Omega = 10^3\Omega$ 或 $M\Omega = 10^6\Omega$ 为单位。

只有线性电阻元件的电压、电流关系才符合欧姆定律，非线性电阻的电压、电流关系不符合欧姆定律。

电路中所有的元件均是线性元件时，这种电路称为线性电路。含有非线性电阻元件的电路，称为非线性电阻电路。对于非线性电阻电路的分析将在以后进行介绍。

2. 电感元件 它是反映具有存储磁场能量的电路元件。如继电器线圈、变压器绕组及扼流圈等。这些元件工作时线圈内都存储一定的磁场能量，这些磁场能量是通过电源提供的电能转换而来的，具有这种转换作用的负载，用电感元件表示。电感元件的符号如图 1-8 所示。

电感元件通入电流 i 后，产生的磁通为 Φ 、与 N 匝线圈交链的磁通链 $\Psi = N\Phi$ 。磁通链 Ψ 与电流 i 的比值称为元件的电感，用字母 L 表示，即

$$L = \frac{\Psi}{i} \tag{1-4}$$

比值 L 为常数的，称为线性电感，比值 L 不为常数的称为非线性电感。本书中除特别指明为非线性之外，讨论的均是线性电感问

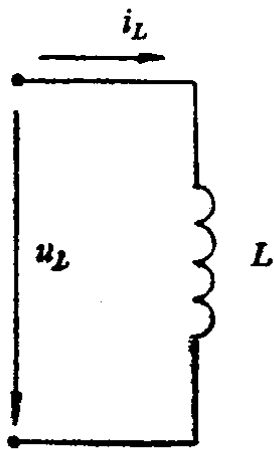


图 1-8 电感元件的符号

题。

当电感元件中通入的电流 i 随时间变化，磁通链 Ψ 也变化。根据电磁感应定律可知

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} \quad (1-5)$$

对于线性电感元件、感应电动势 e_L 及电感元件的端电压 u_L 又可表为

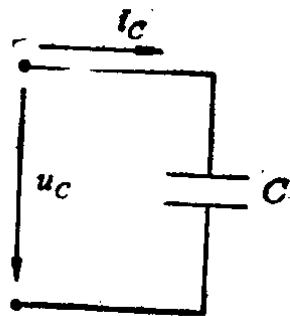
$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表达了电感元件两端电压在任意瞬间与 di/dt 之间的线性关系。式 (1-6) 是分析线性电感元件电压、电流关系的基本公式。

3. 电容元件 它是反映存储电荷作用的电路元件。如电路中使用的各种类型的电容器均可用电容元件这个模型来描述。电容元件的符号如图 1-9 所示。

我们知道，电容器极板上的电荷量 q 与极板间电压 u_C 之比称为电容器的电容，并用字母 C 表示，即

$$C = \frac{q}{u_C} \quad (1-7)$$



线性电容元件，它的电容 C 是个常数。图 1-9 电容元件的符号
非线性电容元件的电容 C 不是常数，与极板上存储的电荷量的多少有关，本书只讨论线性电容问题。

电容器极板上电荷量变化时，在与电容器极板相连的导线中出现电流，电容电流

$$i_C = \frac{dq}{dt} \quad (1-8)$$

由式 (1-7) 及式 (1-8) 可得电容元件端电压与电流之间的关系为