

大 专 教 材

电路基础

(第二版)

黄冠斌 孙敏 杨传谱 孙亲锡

华中科技大学出版社

第四版

电路基础

(第二版)

王 明 王 明 王 明 王 明

中国铁道出版社

大专教材

电 路 基 础

(第二版)

黄冠斌 孙敏 杨传谱 孙亲锡

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路基础(第二版)/黄冠斌 等

武汉:华中科技大学出版社, 2000年9月

ISBN 7-5609-2254-6

I. 电…

II. ①黄… ②孙… ③杨… ④孙…

III. 电路理论

IV. TM13

电路基础(第二版)

黄冠斌 孙敏 杨传谱 孙亲锡

责任编辑:叶见欣

封面设计:秦 茹

责任校对:戴文遐

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787×1092 1/16

印张:25.25

字数:590 000

版次:2000年9月第2版

印次:2002年4月第8次印刷

印数:23 001—26 000

ISBN 7-5609-2254-6/TM·83

定价:28.00 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是参照“高等工程专科学校电路及磁路课程教学基本要求”、全国高等教育自学考试指导委员会电类专业委员会制订的“电工基础课程自学考试大纲”及国家教育委员会制订的“全国各类成人高等学校专科起点本科班招生复习考试大纲”(理工类电路原理课程),为适应工科电类专业各类专科教学需要而编写的。第二版修订中编者充分考虑到当前高等工程专科以及高等职业技术教育电气信息类专业教学改革及电路课程教材改革的趋势。

本书以电路基本定律和基本电路元件特性为基础,注重实用的网络分析方法的论述,重在应用,而尽可能避免繁琐的数学推导,内容精炼、清晰,由浅入深。各章节都配有丰富的例题和练习思考题,以帮助读者理解、掌握所学的内容,并适当拓展,大部分习题在书末附有答案。

全书共分十四章:电路基本定律和二端电阻性元件;简单电路和多端电阻性元件;网络分析的一般方法;网络定理;电容元件和电感元件;一阶电路;二阶电路;正弦稳态分析;耦合电感元件和理想变压器;三相电路;周期性非正弦稳态电路分析;双口网络;动态电路的复频域分析;磁路和交流铁芯线圈。

本书可作为电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等专业各类专科及高等职业技术教育的电路课程教材,也可供从事上述专业方面工作的工程技术人员参考。

第二版序言

《电路基础》第一版于1993年11月出版,1996年获华中理工大学优秀教材一等奖,迄今第一版已五次印刷,其中除少量用于校内作为教材外,大部分发行到社会,遍及湖北、湖南、河南、浙江、江苏、山东、安徽、海南、陕西、重庆等省市。有这样的发行量,表明它得到了广大读者和教师的认可,取得了较好的社会效益。值此本书再版之际,我们谨向使用本书的读者和电工课程的教师致以衷心的感谢。

当前高等工程专科教育正发生着深刻的变革,其培养目标明确定位在“应当为工业生产第一线培养有较强实际工作能力的高等应用型专门人才”。高等职业技术教育作为一个新的教育层次开始跻身于许多普通高等学校。《电路基础》第二版正是为顺应这一高等教育改革的形势进行修订的。修订工作本着教材应以“应用”为宗旨,坚持确保基础和“必须”、“够用”为度的原则。

与初版相比,第二版的修订主要体现在以下三个方面。

1. 教材内容的增删

(1)新增加两章:“动态电路的复频域分析”和“磁路和交流铁芯线圈”。“动态电路的复频域分析”一章,能使读者对动态电路的分析有一比较完整的认识,为学习模拟电子技术和自控原理等后续课程准备必要的基础。“磁路和交流铁芯线圈”一章,是考虑到作为电类专业的学生应具备必要的磁路知识,许多工程实际问题往往既有电路问题又有磁路问题,而现在不少学校在这一层次的教学计划中又不设置物理课程,因此在电路课程中介绍一些基本的磁路知识就十分必要了。

(2)在“网络分析的一般方法”一章中,删去了关于无伴电源支路处理的讨论,但在练习与思考题中作为问题提出,并保留了有关的习题。编者认为,对这一部分内容的学习,应抓住各种分析方法的实质,真正理解了各种分析方法的实质,读者就能想一些办法去处理那些具体的特殊的问题。

(3)删去了一些结论的推导或证明过程,使读者将注意力集中在结论的应用上。

(4)将有的内容整节或小节标出星号(*),以便根据实际需要及教学时数决定取舍。

(5)对部分例题、练习与思考题、习题作了调整和更新,例题的求解方法更为合理。这一方面变动较大的是第四章、第十二章。

2. 更加注意将理论贴近工程实际

(1)论述电路元件时,一般都介绍了相近似的实物背景,指出在使用实际器件时必须注意的一些问题。

(2)在例题、练习与思考题、习题的选择上考虑尽可能联系工程实际中的问题。

(3)在一些细节问题上兼顾工程实际的情况,例如电路元件的参数,例题和习题的计算结果,避免了用分数表示的情况。

3. 考虑专科及高等职业技术教育这一层次的教学特点

每章开始都写出了该章的教学基本要求。在教材正文中,对一些重要概念、结论,以及需要提醒读者特别注意的地方,都用黑体字排印,以使读者对学习重点一目了然。

参加本版修订工作的有黄冠斌、孙敏、杨传谱、孙亲锡。新编入的两章“动态电路的复频域分析”、“磁路和交流铁芯线圈”分别由黄冠斌、孙敏两同志编写。本版的修订工作得到华中科技大学成人教育学院和华中理工大学出版社的关心支持,编者表示诚挚的感谢。

尽管与原版相比,修订版的质量有了较大的提高,但书中仍不免会有缺点甚至错误,有些内容的整合、写作的风格是编者对当前教学改革中教材改革趋势理解的一种尝试,有待实践的检验,恳请读者和使用本书的教师批评指正。

编 者

1999 年 9 月于武昌

初 版 序 言

本书是参照“高等工程专科学校电路及磁路课程教学基本要求”,以及全国高等教育自学考试指导委员会电类专业委员会制订的“电工基础课程自学考试大纲”(征求意见稿)编写而成的。

电路理论是工科电类、电子、通信等类专业的一门重要的技术基础课。本书根据专科学生数理基础的实际,按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则进行编写。本书以电路基本定律、基本电路元件特性为基础,着重实用的网络分析方法的论述,注重对读者分析问题和解决问题能力的培养,各个章节均配有丰富的例题和练习与思考题。全书的内容体系结构、论述方法反映了编者长期教学实践的经验与体会。本书注意精选内容,具有较宽的适用面,不仅可以作为普通高等学校中全日制专科的电气工程技术、工业电气自动化、无线电技术、机电一体化、微机应用与电子技术等专业的电路理论教材,也可作为夜大、函授、自学考试专科的上述专业的教学用书。

参加本书编写的有黄冠斌(第一、二、三章),孙敏(第八、九章),杨传谱(第五、六、七、十一章),孙亲锡(第四、十、十二章),并由黄冠斌担任主编。

本书在编写过程中始终得到华中理工大学电工基础教研室黄慕义教授的关注与热情指导,并精心主审全书,提出了许多宝贵意见。华中理工大学成人教育学院对本书的编写给予了热情帮助和大力支持。在此,谨一并向他们表示衷心的感谢。

限于编者的经验与水平,书中可能存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1993.5.20

目 录

第一章 电路基本定律和二端电阻性元件	(1)
1-1 电路及电路模型	(1)
1-1-1 电路	(1)
1-1-2 理想元件和电路模型	(2)
1-2 电流及其参考方向	(3)
1-2-1 电流	(3)
1-2-2 电流的参考方向	(3)
1-3 电压及其参考方向	(5)
1-3-1 电压(电位差)	(5)
1-3-2 电压的参考方向(或参考极性)	(6)
1-3-3 电流和电压的关联参考方向	(6)
1-3-4 电动势	(7)
1-4 功率和能量	(7)
1-4-1 功率	(8)
1-4-2 能量	(9)
1-5 一些常见的电路变量的波形	(9)
1-5-1 常量	(10)
1-5-2 直线函数	(10)
1-5-3 正弦波	(10)
1-5-4 指数函数	(11)
1-5-5 衰减正弦波	(11)
1-5-6 单位阶跃函数	(11)
1-6 基尔霍夫定律	(14)
1-6-1 一些有关的电路术语	(14)
1-6-2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(15)
1-6-3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(16)
1-7 电阻元件	(18)
1-7-1 线性电阻元件	(19)
1-7-2 非线性电阻元件	(20)
1-8 独立电源	(22)
1-8-1 电压源	(22)
1-8-2 电流源	(23)
习题	(26)
第二章 简单电路和多端电阻性元件	(30)

2-1	二端等效电路的概念	(30)
2-2	线性电阻元件的串联、并联与混联	(31)
2-2-1	线性电阻元件的串联	(31)
2-2-2	线性电阻元件的并联	(33)
2-2-3	线性电阻元件的混联	(35)
2-3	平衡电桥电路,线性电阻元件的 Y- Δ 联接等效变换	(38)
2-3-1	平衡电桥电路	(38)
2-3-2	线性电阻元件的 Y- Δ 联接等效变换	(39)
2-4	独立电源与线性电阻元件的串联或并联	(43)
2-4-1	戴维宁电路、诺顿电路及其等效变换	(43)
2-4-2	其它联接的情况	(46)
2-5	运算放大器	(49)
2-5-1	实际器件简介	(49)
2-5-2	作为电路元件的运算放大器	(51)
2-5-3	简单电路分析的例子	(51)
2-6	受控电源	(53)
2-6-1	四种形式的受控电源	(53)
2-6-2	受控电源的功率、有源性	(57)
2-6-3	受控电源与独立电源的比较	(57)
	习题	(61)
第三章	网络分析的一般方法	(67)
3-1	电网络的 2b 方程	(67)
3-1-1	支路方程	(67)
3-1-2	KCL 方程的独立性	(68)
3-1-3	KVL 方程的独立性	(69)
3-2	支路分析法	(72)
3-2-1	支路电流方程	(72)
3-2-2	含受控电源电路的支路电流方程	(74)
3-3	节点分析法	(75)
3-3-1	节点电压方程	(76)
3-3-2	含受控电源电路的节点分析法	(78)
3-4	网孔分析法	(80)
3-5	回路分析法	(82)
3-5-1	回路电流方程	(83)
3-5-2	含受控电源电路的回路分析法	(85)
	习题	(86)
第四章	网络定理	(91)
4-1	叠加定理	(91)

4-1-1 叠加定理及其证明	(92)
4-1-2 应用举例	(93)
4-1-3 应用叠加定理分析含受控源的电路	(96)
4-2 替代定理	(98)
4-3 戴维宁定理	(99)
4-3-1 戴维宁定理及其证明	(99)
4-3-2 应用举例	(101)
4-3-3 应用戴维宁定理分析含受控源的电路	(104)
4-4 诺顿定理	(107)
* 4-5 互易定理	(110)
习题	(113)
 第五章 电容元件和电感元件	(120)
5-1 电容元件	(120)
5-1-1 线性时不变电容元件的伏安关系	(121)
5-1-2 电容电压的连续性	(123)
5-1-3 电容的贮能	(124)
5-2 电容的串联与并联	(125)
5-2-1 非零初始电压电容元件的等效电路	(125)
5-2-2 电容的串联	(125)
5-2-3 电容的并联	(126)
5-3 电感元件	(127)
5-3-1 线性时不变电感元件的伏安关系	(128)
5-3-2 电感电流的连续性	(128)
5-3-3 电感的贮能	(130)
5-4 电感的串联与并联	(131)
5-4-1 非零初始电流电感元件的等效电路	(131)
5-4-2 电感的并联	(131)
5-4-3 电感的串联	(132)
5-5 实际电容器和电感器	(133)
5-5-1 实际电容器	(133)
5-5-2 实际电感器	(133)
习题	(133)
 第六章 一阶电路	(137)
6-1 零输入响应	(137)
6-1-1 RC 电路的零输入响应	(137)
6-1-2 RL 电路的零输入响应	(142)
6-2 零状态响应	(145)
6-2-1 RC 电路的零状态响应	(145)

6-2-2 RL 电路的零状态响应	(151)
6-3 全响应	(154)
6-3-1 全响应的计算	(154)
6-3-2 全响应的两种分解方式	(155)
6-4 求解一阶电路的三要素法	(158)
6-4-1 三要素的确定	(158)
6-4-2 三要素法求解响应举例	(160)
习题	(164)
 第七章 二阶电路	(170)
7-1 RLC 电路的零输入响应	(170)
7-1-1 RLC 串联电路的零输入响应	(170)
7-1-2 RLC 并联电路的零输入响应	(177)
7-2 RLC 电路的零状态响应	(180)
7-3 RLC 电路的全响应	(183)
7-4 电路的对偶性	(184)
习题	(186)
 第八章 正弦稳态分析	(188)
8-1 正弦量的基本概念	(188)
8-1-1 正弦量的三要素	(188)
8-1-2 同频率正弦量的相位差	(190)
8-1-3 正弦电流、电压的有效值	(191)
8-2 正弦量的相量表示及取虚部算子 $\text{Im}[\]$ 的性质	(192)
8-2-1 复数	(193)
8-2-2 正弦量的相量表示法及相量图	(194)
8-2-3 取虚部运算算子 $\text{Im}[\]$ 的性质	(196)
8-3 正弦稳态下的电阻、电感、电容元件	(199)
8-3-1 电阻元件	(200)
8-3-2 电感元件	(201)
8-3-3 电容元件	(203)
8-4 基尔霍夫定律的相量形式	(206)
8-5 阻抗和导纳, 电路的相量模型	(209)
8-5-1 二端网络阻抗和导纳的定义	(209)
8-5-2 三种基本元件的阻抗和导纳, 电路的相量模型	(210)
8-5-3 阻抗的串联和并联	(211)
8-5-4 正弦交流电路的性质	(214)
8-5-5 串联和并联相量模型的等效互换	(216)
8-6 正弦稳态电路的分析计算	(218)
8-7 相量图、位形图及其应用	(224)

8-7-1 相量图和位形图	(224)
8-7-2 结合相量图、位形图求解正弦稳态电路	(226)
8-8 正弦稳态电路的功率	(229)
8-8-1 瞬时功率	(229)
8-8-2 有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	(229)
8-8-3 复功率	(236)
8-8-4 功率因数的提高	(237)
8-9 最大功率传输定理	(239)
8-10 谐振电路	(240)
8-10-1 串联谐振电路	(240)
8-10-2 并联谐振电路	(246)
习题	(248)
 第九章 耦合电感元件和理想变压器	(256)
9-1 耦合电感元件	(256)
9-1-1 耦合电感元件的电压-电流关系	(256)
9-1-2 同名端	(259)
9-2 含耦合电感电路的分析	(262)
9-2-1 含耦合电感电路的基本分析方法	(262)
9-2-2 去耦等效电路	(264)
9-3 空芯变压器的等效电路、反映阻抗	(269)
9-3-1 初级等效电路,反映阻抗 Z_{r12}	(269)
9-3-2 次级等效电路,反映阻抗 Z_{r21}	(270)
9-4 理想变压器	(272)
9-4-1 理想变压器的特性方程	(272)
9-4-2 理想变压器的阻抗变换性质	(274)
习题	(277)
 第十章 三相电路	(280)
10-1 三相电路的基本概念	(280)
10-1-1 对称三相电源,对称三相负载	(280)
10-1-2 三相电路的联接方式	(281)
10-2 对称三相电路分析	(282)
10-2-1 对称三相电路线量与相量的关系	(283)
10-2-2 Y-Y联接对称三相电路的计算	(286)
10-2-3 Δ - Δ 联接对称三相电路的计算	(287)
10-2-4 复杂对称三相电路的计算	(289)
10-3 不对称三相电路分析	(290)
10-4 三相电路的功率及其测量	(294)
10-4-1 三相电路的功率	(294)

10-4-2 三相电路功率的测量	(296)
习题	(297)
第十一章 周期性非正弦稳态电路分析	(301)
11-1 周期函数的傅里叶级数	(302)
11-1-1 傅里叶级数	(302)
* 11-1-2 几种对称周期函数的谐波分析	(304)
11-2 周期性非正弦电流、电压的有效值和平均值及平均功率	(306)
11-2-1 有效值	(306)
11-2-2 平均值与均绝值	(307)
11-2-3 平均功率	(307)
11-3 周期性非正弦稳态电路分析	(308)
11-4 对称三相周期性非正弦电路	(313)
11-4-1 对称三相周期性非正弦电源	(313)
11-4-2 对称三相周期性非正弦电路分析	(314)
习题	(317)
第十二章 双口网络	(320)
12-1 双口网络概念	(320)
12-2 双口网络的 Y 参数	(321)
12-3 双口网络的 Z 参数	(323)
12-4 双口网络的 H 参数	(325)
12-5 双口网络的 T 参数	(327)
12-6 双口网络的联接	(331)
12-6-1 双口网络的串联	(331)
12-6-2 双口网络的并联	(332)
12-6-3 双口网络的级联	(335)
12-7 有端接双口网络的分析	(336)
12-7-1 有端接双口网络的输入阻抗、输出阻抗	(337)
* 12-7-2 对称双口网络的特性阻抗与传播系数	(337)
习题	(339)
第十三章 动态电路的复频域分析	(343)
13-1 拉普拉斯变换	(343)
13-1-1 拉普拉斯变换的定义	(343)
13-1-2 拉普拉斯变换的一些基本性质	(344)
13-2 利用部分分式法求拉氏逆变换	(347)
13-3 运算法	(350)
13-3-1 KCL 与 KVL 方程的运算形式	(350)
13-3-2 电路基本元件的运算模型	(351)

13-3-3 运算阻抗与运算导纳	(352)
13-3-4 运算电路,线性电阻电路各种分析方法的适用性	(353)
13-4 网络函数	(357)
13-4-1 网络函数的定义与分类	(357)
13-4-2 网络函数的确定	(358)
13-4-3 网络函数与正弦稳态响应	(359)
习题	(361)
 第十四章 磁路和交流铁芯线圈	 (364)
14-1 磁路及铁磁材料的磁特性	(364)
14-1-1 磁路的概念	(364)
14-1-2 铁磁物质的磁特性	(365)
14-2 磁路的基本定律	(368)
14-2-1 基尔霍夫磁通定律(第一定律)	(369)
14-2-2 基尔霍夫磁位差(磁压)定律(第二定律)	(369)
14-2-3 磁路的欧姆定律	(370)
14-3 直流磁路的计算	(372)
14-3-1 无分支磁路的计算	(372)
14-3-2 对称分支磁路的计算	(374)
14-4 交流铁芯线圈	(375)
14-4-1 线圈电压与磁通的关系	(375)
14-4-2 交流铁芯线圈的非线性特性	(376)
14-4-3 铁芯线圈磁路的功率损耗	(377)
习题	(378)
 附录 部分习题答案	 (380)
参考文献	(389)

第一章 电路基本定律和二端电阻性元件

教学基本要求:深刻理解和牢固掌握,电压、电流及其参考方向;电功率和电能量;电阻、电压源和电流源等电路元件的特性及其电压电流关系;线性和非线性概念;基尔霍夫电流定律和电压定律。理解和掌握,电路模型的概念;电位概念。

电阻性元件的特征是,在任一时刻元件的电流和电压之间的关系是一种代数关系。对于二端电阻性元件,其特性可在 $u-i$ 平面上描述。仅包含独立电源和其它电阻性元件的电路称为电阻性电路,本书的前四章将对这类电路进行分析。在一个电阻性电路中,如果除了独立电源以外,其余元件都是线性的,则称这个电路为线性电阻性电路。后面将把它们作为重点进行讨论。因为,一方面,工程实际中的某些电路在一定条件下可以归结为线性电阻性电路进行研究;另一方面,在电路结构的复杂程度相差不大的情况下,线性电阻性电路的分析是最简单的,所涉及的数学知识只是线性实数代数方程,而有关线性电阻性电路的分析方法和一些重要结论,又可以扩展到其它线性时不变电路的分析中去。因此,这部分内容乃是全书的基础,读者应予以充分重视。

本章将讨论:电路的基本变量——电流和电压;电路基本定律,即基尔霍夫电流定律和电压定律;电阻元件和独立电源的特性。电路基本定律和电路元件的特性是电路分析的基本依据。

1-1 电路及电路模型

1-1-1 电路

在工农业生产、交通运输、邮电通信、国防、科学技术、文化娱乐以及日常生活等许多领域里,形形色色的电路名目繁多,功能各异。

图 1-1 所示的为一个简单的照明电路,这里电池是一种电源,通常情况下,电源的作用是给电路提供电能,有时是提供有用的电信号(信号源);灯泡是一种简单的用电设备,各种用电设备统称负载,负载在电路中将电能或电信号转换成其它形式的能量或信号;导线和开关等中间环节起着传输、分配和控制电能或电信号的作用。对于其它的电路,尽管复杂程度相差很大,用途也各不相同,但就一个完整的电路而言,都包含电源、负载和中间环节三个基本部分。因此,图 1-1 一个简单电路是由电源、负载以及中间环节彼此联接起来的总体,电流能在其中流通。电路也常称为电网络。



图 1-1 一个简单电路

电路可分为集中参数电路与分布参数电路两大类。本书只讨论集中参数电路。集中参数电路中的电磁量,如电流和电压等,仅仅是时间的函数,而分布参数电路中的电压和电流等则

是时间和空间坐标的函数。一个电路能否作为集中参数电路加以研究,主要是视其最大几何尺寸与电路运行时最高频率对应的波长相比较是否可以忽略而定。例如,我国电力工程的电源频率为 50Hz(对应的波长为 6 000km),在这种低频下,几何尺寸为几米、几百米以至几千米的电路都可视为集中参数电路。

1-1-2 理想元件和电路模型

任一实际的电路器件,在工作时其本身及周围所发生的电磁过程是复杂的,严格说来,都存在电能的消耗、磁场能量的存储和电场能量的存储这些基本效应。例如一个螺管线圈,当电流通过它时,就会在其周围建立起磁场,与此同时,线圈还有电阻效应(通电时间较长或电流较大时线圈将发热)和电场效应。这些效应互相交织在一起,给分析问题带来很大困难,甚至无法进行。另一方面,在一个电器件上各种效应的表现并不是均衡的,在一定的条件下,某一种效应处于主导地位,决定事物的本质,其它的效应则处于次要地位。例如,在电源频率较低,电流较小时,螺管线圈的磁场效应是主要的,这时为了使问题得以简化,可认为它只具有磁场效应。像这样把实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,或简称电路元件。电路元件易于用数学来描述,便于理论分析。诚然实际中并不存在理想电路元件,但一个实际电器件的性质,可以通过对其中所发生的电磁过程的观察与分析,用恰当的理想电路元件的组合去逼近。•

电路元件按照其与电路其它部分相联接的端钮数可分为:二端元件,即元件通过两个端钮与电路其它部分相联接,二端元件也称一端口元件;多端元件,即具有三个和三个以上端钮的元件,如图 1-2 所示。

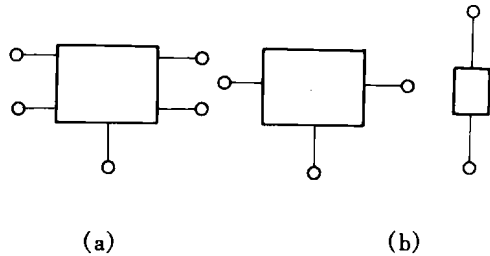


图 1-2 二端元件和多端元件示意图

对于图 1-1 所示的简单电路,通过对物理过程的分析可知,其中电池主要是向电路提供电能,其它电磁效应是次要的,从而可以用一个叫做电压源的电路元件近似地表示它;灯泡的主要效应是电流通过时灯丝发热至白炽状态,这种产生电流热效应的部分可用电阻元件来表示;联接导线在理想情况下可认为它只是构成电流的通路。这样整个电路可以用图 1-3 所示的电路表示。在这个电路中,所有元件都是理想化的,这种由理想电路元件互相联接组成的电

路称为电路模型,电路模型是实际电路的抽象和近似。一个实际电路用什么样的电路模型表示,是应当通过对电路物理过程的观察分析而确定的。本书所讨论的电路都是电路模型。

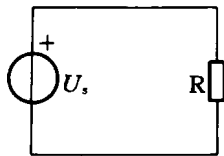


图 1-3 图 1-1 电路的一种电路模型