

Introduction to Circuit, Analog Electronics
and Digital Electronics

电路与电子 技术基础

王金矿
乔万林 编 著
朱建华

中山大学出版社

电路与电子技术基础

王金矿 乔万林 朱建华 编著

TM12
0012

中山大学出版社

·广州·

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术基础/王金矿, 乔万林, 朱建华编著. —广州: 中山大学出版社, 2004.8

ISBN 7-306-02329-2

I. 电… II. ①王… ②乔… ③朱… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045108 号

责任编辑:周建华

封面设计:孔丽红

责任校对:舟一雨

责任技编:黄少伟

出版发行:中山大学出版社

编辑部电话(020)84111996, 84113349

发行部电话(020)84111998, 84111160

地址:广州市新港西路 135 号

邮编:510275 传真:(020)84036565

印刷者:广州市番禺区官桥彩色印刷厂

经 销 者:广东新华发行集团

规 格:787mm×1092mm 1/16 29.125 印张 691 千字

版次印次:2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

定 价:49.90 元 印数:1—3000 册

本书如有印刷质量问题,请与承印厂联系

内 容 简 介

本书将“电路分析基础”、“模拟电子技术基础”及“数字逻辑电路基础”三者有机地结合成一体。在保证必要的经典内容的同时,力求反映近代理论和先进技术;在理论与应用关系上,力求实用,以应用为主。

本书共分三篇:第一篇为电路分析基础,内容包括电路的基本概念和定律、电阻电路分析、动态电路分析和正弦稳态电路分析。第二篇为模拟电子技术基础,内容包括放大器件、基本放大电路分析、负反馈放大电路和集成运算放大电路介绍。第三篇为数字逻辑电路基础,内容包括数字逻辑基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路分析与设计、触发器、时序逻辑电路分析与设计、脉冲波形的产生与整形。此外还对 EDA 技术作了介绍。

本书可作为高等学校计算机科学与技术应用专业的本科生、专科生教材,也可作为其它电子类专业的教材,还可供从事相关专业的工程技术人员参考。

前 言

随着科学技术的不断发展,各学科在教学过程中,都会将自身最新技术发展的内容增加到其教学体系之中,特别是近年来计算机技术的飞速发展,必然导致与之相关的学科内容作较大幅度的调整;同时,为了适应我国教学改革发展的需要,其重点是放在提高学生的素质上,即减少课堂教学,加强学生自主学习,以提高学生的能力作为教学的目的。为此,教材的编写必须适应当前的教学需要。本教材就是为适应这一形势发展要求而进行的一个大胆尝试。即:将弱电类(诸如计算机、自动控制等)专业的三门核心基础课程《电路分析基础》、《模拟电子技术基础》和《逻辑设计与数字电路基础》合并为一门课程。

本教材的参考教学时数为108学时左右,可根据各学校的具体情况增删部分教学内容。比如,对于课时数较少的学校,第九章的内容可以只讲授集成运算放大器的应用,而不讲授集成运算放大器的工作原理等。全书共分为三篇。

第一篇为电路分析基础。主要讲述电路的基本概念、基本定律(定理)和基本分析方法,电阻电路、动态电路和正弦稳态交流电路分析。本篇主要要求学生掌握纯电阻性电路的分析方法、含有动态元件电路的过渡过程分析以及正弦稳态电路分析的一般方法。通过这一部分内容的学习,既让学生掌握基本电路的分析方法,也为学习电子技术及以后的相关课程奠定基础。

第二篇为模拟电子技术基础。主要内容包括半导体器件的原理、基本放大电路分析基础、负反馈放大电路和集成运算放大器介绍。本篇要求学生掌握基本半导体器件的工作原理,并可以分析基本的放大电路,对于多级放大电路以及放大电路的频率特性,限于学时不予涉及,此外还应掌握负反馈在电路设计中的作用和熟练运用运算放大器设计应用电路。

第三篇为数字逻辑电路基础。主要内容包括逻辑代数基础、集成逻辑门电路介绍、组合逻辑电路分析与设计、触发器电路介绍、时序逻辑电路的分析与设计以及脉冲波形与整形电路介绍等。本篇内容是学习后续课程——计算机组成原理、接口电路设计等的基础,是本课程的重点。随着数字技术的发展,特别是计算机技术的发展,各种电器设备都有向数字化过渡的趋势,掌握数字电路的分析和设计的方法显得越来越重要。

在编写此书时,其主导思想体现在以下几点:

1. 处理好迅速更新的新技术与有限篇幅之间的矛盾。在保留基本概念、基本原理和基本分析方法的基础上,精简了当前实际应用中较少或陈旧的内容,重点放在数字电路的分析,并加强了中、大规模集成电路的应用。

2. 突出电子技术基础课程的实践性。在讨论各器件时,重点放在器件的基本工作原理以及与实际应用有着密切关系的器件外特性和主要参数上。在讨论具体电路时,突出构成电路的思路、电路特点以及重要的技术指标的计算上。

3. 在选材编排上,力求做到由浅入深、循序渐进。首先介绍电路分析的基本理论和

基本方法；在此基础上，引入模拟电子技术的概念，一方面介绍模拟电路的基本理论和应用，同时为数字电路的分析作了必要的知识储备；最后介绍数字电路的分析理论和方法，以及集成电路的应用。

4. 限于篇幅，本教材主要讲授基本概念、基本理论和基本应用，涉及具体的应用时，可根据各专业的应用方向不同放在后续课程中加以介绍。例如，A/D，D/A 转换可以在后续课《计算机组成原理》或《接口电路技术》中讲解。

5. 为了适应不同专业的应用方向侧重点不同，本教材在编写时，增加了部分选学内容，在具体讲解时可以根据专业需要删减部分教学内容，供有精力或有兴趣的同学自学之用。

本书第 1，2，3，4，11，12，15 章由王金矿编写；第 5，10，13，14 章由乔万林编写；第 6，7，8，9 章由朱建华编写。王金矿同志对全书作了统稿和整理。此外，李心广，副教授和张晶老师也对本书的编写提出了许多宝贵意见。

本书由暨南大学王思明教授主审。王思明教授对初稿进行了认真的审阅，提出了许多宝贵意见和建议；西南交通大学金炜东教授也对本书的编写提出了许多建设性的建议，在此谨致衷心的感谢。

电子技术日新月异，教学改革任重道远，编者的能力与这两方面所提出的要求相比，还有很大差距，恳请同行及读者批评指正，以便再版时修正。

本书适合高等学校计算机科学及其应用专业、自动控制专业以及其它相关专业本科生使用，同时也可供从事相关专业的工程技术人员和科研人员参考阅读。

编著者

2004 年 5 月

目 录

第一篇 电路分析基础

第一章 电路的基本概念及基本定律.....	(2)
1.1 电路模型.....	(2)
1.2 电路分析的基本变量.....	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电压	(4)
1.2.3 能量和功率	(6)
1.3 基尔霍夫定律.....	(7)
1.4 电路元件.....	(10)
1.4.1 电阻元件.....	(10)
1.4.2 独立电源.....	(14)
1.4.3 动态电路元件.....	(18)
1.4.4 四端电路元件.....	(29)
习 题.....	(30)
第二章 电阻电路的一般分析方法.....	(33)
2.1 电阻的串联和并联.....	(33)
2.1.1 电阻的串联	(33)
2.1.2 电阻的并联	(34)
2.1.3 电阻的混联及 Y- Δ 等效变换	(36)
2.2 电阻电路功率及负载获得最大功率的条件.....	(39)
2.3 电路中各点电位的计算.....	(40)
2.4 应用基尔霍夫定律计算线性网络.....	(42)
2.5 网孔分析法.....	(43)
2.6 节点分析法.....	(46)
2.7 弥尔曼定理.....	(51)
习 题.....	(52)
第三章 电路分析的几个定理.....	(55)
3.1 叠加定理.....	(55)

3.2	置换定理.....	(57)
3.3	戴维南定理.....	(58)
3.4	诺顿定理.....	(61)
3.5	应用戴维南定理分析受控源电路.....	(62)
	习 题.....	(65)
第四章	动态电路分析方法.....	(67)
4.1	一阶电路的分析.....	(67)
4.1.1	一阶电路的零输入响应.....	(68)
4.1.2	一阶电路的零状态响应.....	(72)
4.1.3	一阶电路的完全响应.....	(76)
4.2	二阶电路的分析.....	(81)
4.2.1	LC 电路中的自由振荡.....	(81)
4.2.2	二阶电路的零输入响应描述.....	(83)
4.2.3	二阶电路的零输入响应——非振荡情况.....	(85)
4.2.4	二阶电路的零输入响应——振荡情况.....	(88)
	习 题.....	(91)
第五章	正弦稳态电路分析.....	(93)
5.1	正弦信号的基本概念.....	(93)
5.1.1	正弦信号的三要素.....	(93)
5.1.2	正弦信号的相位差.....	(94)
5.1.3	正弦信号的有效值.....	(95)
5.2	正弦信号的相量表示.....	(97)
5.2.1	复数及其运算.....	(97)
5.2.2	正弦信号的相量表示.....	(98)
5.3	基本元件伏安特性和基尔霍夫定律的相量形式.....	(101)
5.3.1	基本元件伏安特性的相量形式.....	(101)
5.3.2	基尔霍夫电流定律和电压定律的相量形式.....	(105)
5.4	相量模型.....	(107)
5.4.1	阻抗与导纳.....	(107)
5.4.2	正弦稳态电路相量模型.....	(110)
5.4.3	阻抗和导纳的串、并联.....	(110)
5.5	相量法分析.....	(113)
	习 题.....	(117)

第二篇 模拟电子技术基础

第六章 半导体器件的基本特性.....	(121)
6.1 半导体的基础知识.....	(121)
6.1.1 本征半导体	(121)
6.1.2 杂质半导体	(122)
6.2 PN 结及半导体二极管.....	(123)
6.2.1 异型半导体的接触现象	(124)
6.2.2 PN 结的单向导电特性.....	(124)
6.2.3 半导体二极管	(125)
6.2.4 半导体二极管的应用.....	(132)
6.3 半导体三极管.....	(135)
6.3.1 三极管的结构及类型.....	(135)
6.3.2 三极管的放大作用	(136)
6.3.3 三极管的三种连接方式	(138)
6.3.4 三极管的特性曲线	(139)
6.3.5 三极管的主要参数	(140)
习 题.....	(141)
第七章 放大电路基础.....	(144)
7.1 放大电路的组成.....	(144)
7.1.1 放大电路的组成原理.....	(144)
7.1.2 直流通路和交流通路.....	(145)
7.2 放大电路的静态分析.....	(146)
7.2.1 解析法确定静态工作点	(146)
7.2.2 图解法确定静态工作点	(147)
7.2.3 电路参数对静态工作点的影响	(149)
7.3 放大电路的动态分析.....	(149)
7.3.1 图解法分析动态特性.....	(150)
7.3.2 放大电路的非线性失真	(152)
7.3.3 三极管微变等效电路.....	(154)
7.3.4 三种基本组态放大电路的分析	(157)
7.4 静态工作点的稳定及其偏置电路.....	(165)
习 题.....	(172)

第八章 负反馈放大器.....	(174)
8.1 反馈的基本概念.....	(174)
8.1.1 反馈的定义	(174)
8.1.2 反馈的分类和判断	(174)
8.2 负反馈的四种组态.....	(177)
8.2.1 反馈的一般表达式	(177)
8.2.2 串联电压负反馈	(177)
8.2.3 串联电流负反馈	(178)
8.2.4 并联电压负反馈	(179)
8.2.5 并联电流负反馈	(180)
8.3 负反馈对放大电路性能的影响.....	(181)
8.3.1 提高放大倍数的稳定性	(181)
8.3.2 减小非线性失真和抑制干扰、噪声	(182)
8.3.3 负反馈对输入电阻的影响.....	(183)
8.3.4 负反馈对输出电阻的影响.....	(185)
8.4 负反馈放大电路的计算.....	(188)
8.4.1 深度负反馈放大电路的近似估算.....	(188)
8.4.2 串联电压负反馈	(189)
8.4.3 串联电流负反馈	(189)
8.4.4 并联电压负反馈	(190)
8.4.5 并联电流负反馈	(191)
习 题.....	(193)
第九章 集成运算放大器基础.....	(195)
9.1 零点漂移.....	(196)
9.2 差动放大电路.....	(197)
9.2.1 基本形式.....	(197)
9.2.2 长尾式差动放大电路.....	(199)
9.2.3 恒流源差动放大电路.....	(203)
9.2.4 差动放大电路的四种接法.....	(204)
9.3 电流源电路.....	(209)
9.3.1 镜像电流源电路	(209)
9.3.2 威尔逊电流源.....	(209)
9.3.3 微电流源.....	(210)
9.3.4 多路偏置电流源	(211)
9.3.5 作为有源负载的电流源电路	(212)
9.4 集成运算放大器介绍.....	(212)

9.4.1 偏置电路.....	(213)
9.4.2 输入级.....	(214)
9.4.3 中间级.....	(214)
9.4.4 输出级和过载保护.....	(215)
9.5 集成运放性能指标与选择.....	(216)
9.5.1 集成运放的性能指标.....	(216)
9.5.2 集成运放的选择.....	(218)
9.6 集成运算放大器的应用.....	(219)
9.6.1 集成运放的使用.....	(220)
9.6.2 信号运算电路.....	(222)
9.6.3 有源滤波器.....	(227)
习 题.....	(232)

第三篇 数字逻辑电路基础

第十章 数制、编码与逻辑代数.....	(235)
10.1 数制与数制转换.....	(235)
10.1.1 数制.....	(235)
10.1.2 数制间的转换.....	(238)
10.2 二进制数的编码.....	(241)
10.2.1 二—十进制编码(BCD 码).....	(241)
10.2.2 检错纠错码.....	(243)
10.3 逻辑代数.....	(249)
10.3.1 基本逻辑.....	(249)
10.3.2 基本逻辑运算.....	(251)
10.3.3 逻辑函数与真值表.....	(255)
10.3.4 逻辑函数的基本定理.....	(256)
10.3.5 三个规则.....	(258)
10.3.6 常用公式.....	(259)
10.3.7 逻辑函数的标准形式.....	(260)
10.4 逻辑函数的化简.....	(264)
10.4.1 代数化简法.....	(264)
10.4.2 图解法(卡诺图法).....	(266)
10.4.3 卡诺图法化简.....	(267)
10.4.4 具有约束条件的逻辑函数化简.....	(269)
习 题.....	(271)

第十一章 集成逻辑门电路.....	(273)
11.1 半导体二极管和三极管的开关特性.....	(273)
11.1.1 晶体二极管的开关特性.....	(273)
11.1.2 晶体三极管的开关特性.....	(278)
11.1.3 由二极管与三极管组成的基本逻辑门电路	(281)
11.2 TTL “与非” 门电路.....	(283)
11.2.1 典型 TTL “与非” 门电路.....	(284)
11.2.2 TTL “与非” 门的电压传输特性.....	(285)
11.2.3 TTL “与非” 门的主要参数	(287)
11.2.4 TTL 门电路的改进	(288)
11.2.5 集电极开路 TTL 门 (OC 门)	(289)
11.2.6 三态 TTL 门 (TSL 门)	(291)
11.3 场效应管与 MOS 逻辑门	(292)
11.3.1 N 沟道增强型 MOS 管的开关特性.....	(293)
11.3.2 NMOS 反相器.....	(296)
11.3.3 CMOS 逻辑门电路.....	(298)
11.4 正逻辑与负逻辑.....	(301)
11.4.1 正负逻辑的基本概念	(301)
11.4.2 正负逻辑变换规则	(302)
习 题.....	(304)
第十二章 组合逻辑电路分析与设计.....	(306)
12.1 组合逻辑电路的分析.....	(307)
12.1.1 组合逻辑电路的一般分析方法	(307)
12.1.2 加法器电路分析.....	(308)
12.1.3 编码器电路分析.....	(313)
12.1.4 译码器电路分析.....	(316)
12.2 组合逻辑电路的设计.....	(324)
12.2.1 组合逻辑电路设计的基本思想	(324)
12.2.2 组合逻辑电路的一般设计方法	(325)
12.2.3 组合逻辑电路的设计举例	(326)
12.3 组合逻辑电路中的竞争—冒险现象	(329)
12.3.1 组合逻辑电路中的竞争—冒险现象	(329)
12.3.2 竞争—冒险现象的判断	(330)
12.3.3 竞争—冒险现象的消除	(331)
习 题.....	(333)

第十三章 触发器.....	(336)
13.1 基本触发器	(336)
13.1.1 基本触发器的逻辑结构和工作原理	(336)
13.1.2 基本触发器功能的描述	(337)
13.2 同步触发器.....	(339)
13.2.1 同步 RS 触发器.....	(339)
13.2.2 同步 D 触发器	(340)
13.2.3 同步触发器的触发方式和空翻问题	(341)
13.3 主从触发器.....	(342)
13.3.1 主从触发器(master-slave flip-flop)的基本原理.....	(342)
13.3.2 主从 JK 触发器及其一次翻转现象.....	(343)
13.3.3 集成主从 JK 触发器	(345)
13.4 边沿触发器.....	(346)
13.4.1 CMOS 边沿触发器(edge-triggered flip-flop).....	(347)
13.4.2 TTL 边沿触发器	(348)
13.4.3 维持阻塞 D 触发器.....	(349)
13.5 触发器类型的转换.....	(350)
13.5.1 T 触发器和 T' 触发器.....	(350)
13.5.2 触发器的类型转换	(351)
13.6 集成触发器的脉冲工作特性和动态参数.....	(352)
13.6.1 集成主从 JK 触发器的脉冲工作特性和动态参数	(353)
13.6.2 维持阻塞 D 触发器的脉冲工作特性和动态参数.....	(354)
习 题.....	(354)
第十四章 时序逻辑电路分析与设计.....	(357)
14.1 时序逻辑电路的概述.....	(357)
14.1.1 时序逻辑电路的特点	(357)
14.1.2 时序逻辑电路的功能描述方法	(358)
14.1.3 时序逻辑电路的分类.....	(358)
14.2 时序逻辑电路的分析.....	(359)
14.3 计数器.....	(361)
14.3.1 同步计数器 (synchronous counter)	(361)
14.3.2 异步计数器 (asynchronous counter)	(369)
14.4 寄存器和移位寄存器.....	(373)
14.4.1 寄存器(register).....	(373)
14.4.2 移位寄存器(shift register)	(374)
14.5 时序逻辑电路设计.....	(380)

14.5.1 采用小规模集成电路设计同步时序逻辑电路.....	(380)
14.5.2 采用小规模集成电路设计异步时序逻辑电路.....	(386)
14.5.3 采用中规模集成电路实现任意模值计数(分频)器.....	(388)
附: 时序电路设计中的隐含表法化简.....	(393)
习 题.....	(395)
第十五章 脉冲波形的产生和整形.....	(397)
15.1 概述.....	(397)
15.1.1 脉冲电路的分析.....	(398)
15.1.2 RC 电路的应用.....	(399)
15.2 单稳态触发器.....	(402)
15.2.1 用门电路组成的单稳态触发器.....	(402)
15.2.2 集成单稳态触发器.....	(405)
15.2.3 单稳态触发器的应用.....	(407)
15.3 多谐振荡器.....	(409)
15.3.1 自激多谐振荡器.....	(409)
15.3.2 环形振荡器.....	(411)
15.3.3 石英晶体多谐振荡器.....	(414)
15.4 施密特触发器.....	(415)
15.4.1 用门电路组成的施密特触发器.....	(415)
15.4.2 集成施密特触发器.....	(416)
15.4.3 施密特触发器的应用.....	(417)
15.5 555 定时器及其应用.....	(420)
15.5.1 555 定时器的电路结构与工作原理.....	(420)
15.5.2 555 定时器的典型应用.....	(422)
习 题.....	(426)
附录 A EDA 技术实验简介.....	(429)
附录 B 部分习题参考答案.....	(443)
参考资料.....	(451)

第一篇 电路分析基础

电被广泛地应用到日常生活、工农业生产、科研以及国防等各个方面，当今社会中人们几乎无时无刻地与电打交道。因此，如何认识电路、分析电路、应用电路就显得尤为重要。

由于实际的电器部件种类繁多，电路连接五花八门，为了能对电路进行分析、计算，必须把实际的电器部件加以近似化、理想化，用一个足以表征其主要特性的“模型”来表示。将实际的电器部件抽象的模型有纯电阻、纯电容、纯电感等理想元件，这样，就可做出由这些理想元件构成的电路图，然后根据电路的基本规律对其进行分析研究。

许多电器部件在一定的条件下可以用电阻性模型（即静态模型）来表示。最简单地可以看作纯电阻的元件有电阻器（碳膜电阻、线绕电阻、金属膜电阻等）以及灯泡、电烙铁等。电阻性电路不一定是直流电路。作用于电路的电源可以是随时间变化的，只要电源的频率不太高，上述部件就可以用电阻性模型来表示，这样在处理方法上就可以采用直流电路的方法来进行。为了简化分析方法，本篇的学习内容主要以线性电阻性电路为主。所谓线性电阻，就是电阻值不随电压或电流变化的电阻。至于非线性电阻电路、含电容或电感的电路，可以通过对一个直流线性电阻性电路进行一系列重复的计算得到解答，或利用其它数学手段将含电容、电感的电路转换为用直流线性电阻性电路的分析方法进行计算。

第一章 电路的基本概念及基本定律

1.1 电路模型

电路模型(circuit model)就是将由实际电器元件构成的电路进行抽象得出来的模型, 俗称电路图(circuit diagram)。电路的电器部件(component)通过导线按一定方式连接, 由于实际电路不便分析计算, 故有必要对实际的部件进行理想化后而转化成电路模型。比如, 常见的白炽灯是利用灯丝的电阻(resistance)特性消耗电能, 将其转化成热能, 加热后的灯丝再将热能转化为光能, 但是, 一旦有电流流过白炽灯时, 还会产生磁场, 因而还兼有电感(inductance)的性质; 再如, 导线(current lead)是用来提供电能通道的, 但导线内必然存在电阻, 且在变化电流流过时, 在导线的周围还会产生变化的磁场; 等等。这样, 对分析电路带来一定的困难。所谓对实际的部件进行理想化, 就是在一定的条件下将其近似化, 忽略其次要性质, 用一个足以表征其主要性能模型来表示。在上面提到的白炽灯可以看作为一个理想的电阻元件, 连接导线在长度较短时可以忽略导线内的电阻, 等等。在建立器件模型时应注意以下两点: ① 在一定的条件下, 不同的器件可以具有同一种模型。例如, 电阻器、白炽灯、电炉等, 这些器件在电路中或者设置工作点, 或者采样, 或者消耗电能, 但都可用理想的电阻元件作为它们的模型。② 对于同一器件, 在不同的应用条件下, 往往采用不同形式的模型。比如, 一个线圈在工作频率较低时, 用理想的电感元件作为模型, 若要考虑线圈的能耗, 可以使用理想的电阻元件和理想的电感元件的串联形式作为模型; 而在工作频率较高时, 则应考虑线圈绕线之间相对位置的影响, 这使得模型中还应包含理想的电容(capacitance)元件。

实际部件的运用都和电磁现象有关。按元件的端子来分, 可以把理想元件分为二端元件(two-terminal element)和四端元件(coupling element)。常用的二端理想元件有: 表示消耗电磁能、转换为其他形式能量的电阻元件; 表示电场现象的电容元件; 表示磁场现象的电感元件; 此外, 还有电压源、电流源等两种理想电源元件。常见的理想四端元件(也叫耦合元件)有: 受控源、理想变压器、互感器等。可以用这些理想元件来表示实际部件的模型。

实际部件用模型表示以后, 就可以绘出由理想元件组成的电路图, 各理想元件都用一定的符号表示。

图 1-1 手电筒实物电路的电路模型如图 1-2 所示。图中的干电池用电压源 U_s 和内阻 R_s (S—source) 表示, 灯泡用电阻 R_L (L—load) 表示, S (switch) 为开关, 当连接导线的电阻值很小时, 一般忽略不计, 用理想的导线表示。

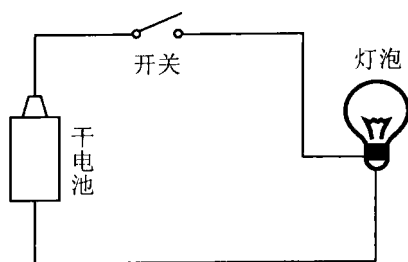


图 1-1 手电筒实物电路

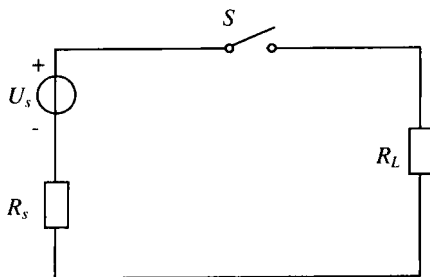


图 1-2 图 1-1 电路模型

对实际的电路进行模型化处理的前提是：假设电路中的基本电磁现象可以分别研究，并且相应的电磁过程都集中在各理想元件内部进行。即所谓的电路理论的集中化假设。满足集中化假设的理想元件称为集中（参数）元件，由这类元件构成的电路称为集中（参数）电路。

集中参数电路(lumped circuit)是由集中参数元件(lumped elements)连接而成。集中参数元件的一个主要特点是：元件的外形尺寸与其正常工作频率所对应的波长而言很小。同理，集中参数电路要求实际电路的几何尺寸必须远小于工作电磁波的波长，如果不满足此条件，就不能采用集中参数电路模型来描述。

为了理解集中参数电路与工作电磁波的波长之间的关系，对以下几种情况加以说明：

- ① 对于音频电路，其最高频率可为 25 千赫，对应的波长是 $\lambda = (3 \times 10^8) / (25 \times 10^3)$ 米 = 12 千米，这一尺寸远大于实验室中电路的尺寸；
- ② 对于计算机电路，其工作频率目前已高于 1000 兆赫，此时 $\lambda = (3 \times 10^8) / (1 \times 10^9)$ 米 = 0.3 米，此时用集中参数电路来描述就难以准确表达；
- ③ 对于微波电路，其 λ 介于 1 毫米和 10 厘米之间，不可以用集中参数电路的分析方法。

1.2 电路分析的基本变量

电路的变量是描述电路特性的物理量，常用的电路变量有电流、电压和功率。

1.2.1 电流

在物理学中我们已经知道，电子和质子都是带电粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。电荷的有规则移动形成电流（current）。计量电流大小的物理量是电流强度。电流强度的定义是：单位时间内通过导体路径中某一横截面的电荷量，即：

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。上式中电荷的单位是库仑（C），时间的单位是秒（s）时，电流强度的单位为安培（A）。常用的其他电流单位还有千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μA ）。它们之间的关系是：

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$