



电子学

电路与器件

〔美〕 R. J. 史密斯 著

王淑华 王惠功 编译

人民邮电出版社

73.76
167

电 子 学 电 路 与 器 件

(美) R. J. 史密斯 著

王淑华 王惠功 编译



人 民 邮 电 出 版 社

8610024

079/108
Electronics Circuits and Devices 1980

Ralph J. Smith

内 容 提 要

本书是一本电子学中电路与器件方面的入门书。在简要地讲述电路定律和器件基本物理概念的基础上，着重介绍数字电子学和线性电子学方面的基本知识及一些新成就。它的特点是没有繁琐的数学推导，也不需要高深的数学理论，而是注重于概念的阐述。因此，通俗易懂、便于自学。此外，书中还有大量的插图、例题，每章后面附有提要、复习题、练习题、问题等，这些都有助于读者对书中内容的理解。

本书可供从事电子工程工作的科技人员、大专院校有关专业的师生阅读参考。也可作为具有大学一年级文化水平人员的自学读物。

电 子 学
电 路 与 器 件
〔美〕R. J. 史密斯 著
王淑华 王惠功 编译
责任编辑：李光铃

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1984年 8 月第 一 版
印张：18 24/32 页数：300 1984年 8 月河北第一次印刷
字数：495 千字 印数：1—12,500册

统一书号：15045·总2883—有5355

定价：2.90元

3500102

译 者 前 言

本书译自 R·J·史密斯所著《电子学：电路与器件》一书1980年第二版，这是一本电路与器件方面的入门书。它可作为高等院校有关专业的教学参考书；可供从事电子工程的科技人员阅读参考。

《电子学：电路与器件》一书着重于基本理论与概念方面的论述，没有繁琐的数学推导，通俗易懂。书中每章除了有大量的例题插图外，还有小结性提要与难易程度不同的各种类型的作业，使读者对所学基本理论加深理解，并达到举一反三的目的。为使读者打下深入学习计算机及其应用的初步基础，书中还简要介绍了电子学领域中的新成就——微计算机的内容。

考虑到我国的实际情况，我们没有原封不动的将原书内容译出，对原书某些章节的个别部分作了适当的补充和删减，前后次序也有小的变动，并改正了原书中出现的差错。此外，原书中没有标注章节标题的序号，为了便于阅读，翻译时都予以标明。

本书由北京邮电学院朱祥华副教授审阅。我们在翻译过程中，曾得到过北京邮电学院诸维明副教授、舒贤林副教授、谭楚梁等同志的热情帮助和支持，在此表示感谢。

由于译者水平有限，书中可能有不妥或错误之处，望读者指正。

译者

1982年9月于北京邮电学院

原 序

本书为大学二年级一个学期课程的教材，学生需具有大学一年级的微积分和电子物理方面的知识。它是电子学领域中的一本入门教科书，着重于最重要的电路、器件及其实际应用方面。若配以实验，就构成了原理、实际应用、问题的求解以及设计方法等的完整论述。

本版最突出的特点是介绍了我们时代最重要的技术发展——微处理机。集成在一个单片上的微型计算机的出现，不但显著地扩大了电子学的任务，而且完全改变了电子学设计者的设计思想。由于微计算机是一种基本信息处理系统，所以它是学习的理想内容。它包含了大型计算机的全部基本部件，而且在使用它的时候，要涉及到寄存器、计数器、逻辑单元、存储地址、数据以及基本指令。懂得微处理机的学生，既得到了有用的具体知识，又获得了对数字系统的一般性了解。

题目的选择体现了统筹兼顾的原则，目的是让初学者在设计简单的数字和模拟系统时，能够有效地使用现代集成电路。为此，详细地讨论了集成电路形式的逻辑门、触发器、存储器、变换器以及运算放大器的工作原理与应用。然而，要有效地利用组件，学生们不但必须了解半导体器件的物理性能以及怎样把它们模型化，而且还必须掌握诸如电路分析、频率响应以及反馈等基本概念。因此，保留了电子学方面的许多传统内容。为了在一本书中达到上述要求，对一些概念和器件种类作了限制，以使读者达到定量了解的应有深度。

方 法

本书的主要指导原则如下：

- 电路的讨论仅限于处理较重要的器件应用时所需要的那些方法，而且，只在需要时才加以介绍。

- 先介绍了理想二极管和放大器以及它们在信号处理中的作用，这些内容为重要的应用和实验室的实验打下了基础。

- 二极管和晶体管的应用，最初是关于数字部件，在这些部件中只用直流概念和简单的器件模型就够了。需要的交流电路理论及更复杂模型的模拟应用，直到本书后半部分才给予介绍。

- 在数字部分，讨论逻辑门、计数器、寄存器以及存储器装置的最终目的是把它们应用在微处理机和微计算机系统中。

- 在模拟部分，把比较简单的大信号分立晶体管放大器讨论之后，重点就转到了小信号模型、频率响应、多级放大器以及运算放大器的应用方面。

内 容

第一、二、三章介绍电的物理量、电路定律以及信号处理。网络定理及其应用是以直流形式描述的，而指数信号和正弦信号的特性是用数学描述的。在第三章介绍了理想放大器和二极管，以供重要的应用。

第四、五、六章定量讨论电子的特性、半导体物理、以及器件的性能。在第四章，除了描述电子运动外，为了配合实验，还介绍了阴极射线示波器。第五章着重讨论半导体二极管；利用导电、掺杂以及结现象来导出外特性及简单的数学模型。第六章则着重讨论晶体管和闸流晶体管，以及它们的集成电路形式；从物理现象的解释得到了外特性的定量描述。

第七、八、九章介绍数字电子学方面的入门知识。第七章用二极管和晶体管的简单模型（基于第五、六章导出的外特性）来说明电子开关、逻辑门、触发器的工作原理。第八章着重讨论二进制的表示方法，逻辑电路的分析与综合，以及它们在寄存器、计数器和存储器方面的应用。第九章介绍微处理机的入门知识：基本概念、计算机结构、程序编制以及实际微处理机的应用。

第十章给出了处理稳态交流电路问题的一些简便方法，以串联和并联电路的分析和频率选择性电路的设计作为实际的练习。

最后五章介绍线性电子学方面的入门知识。第十一章讨论了一般性放大器及特殊的大信号分立晶体管放大器，包括音频放大器的偏置设计和效率计算等问题。在第十二、十三两章中，导出了场效应晶体管和双极结型晶体管复杂程度不同的小信号模型，并用于小信号放大器的分析中。第十四章介绍反馈的概念，讨论正负反馈的优点。第十五章描述实际运算放大器，并指出怎样把廉价的集成运算放大器用于实际放大器、缓冲器、积分器、变换器、稳定器或模拟计算机的设计中。

组 织

全书约为五十学时（每学时50分钟）。根据不同对象，书中的内容可加以取舍，这样，一个学期的课程（45学时）可以有各种变化。若有先行电路课程，可把第一、二、十章的内容删去，仅电子学部分大约讲授36学时。如果增加具体微处理机的现时材料，并补充实际设计与实验，就可以把重点放在微处理机的内容上。

和第一版一样，我设法去帮助学生学好，帮助教师教好。每章后面指定了三种类型的作业：复习题主要是为了让学生自己去检查对本章概念和术语的理解程度；练习题有难有易，但一般来说，它们是新的原理在具体情况下的直接应用（选作的练习题的答案附在题后）。作业题则更繁难一些，可能需要延伸所学的概念，或者作

出简化的假定，或者把一些概念集中在一个设计中。

练习题和习题的解答都在解答手册中，这个手册可从出版者以及在课堂上采用本书的教师那里弄到。在手册中，还包括了一些可能的教材内容进度表，以及根据教师见解而简要描述的每章内容。由于实验室工作对于教材正文的讨论是一个很有价值的补充，因此，手册中介绍了一些合适的实验室教程，并包含有实验指导实例。我欢迎关于教程及手册的任何方面内容的来信。

加利福尼亚州斯坦福大学

拉尔夫·杰·史密斯

目 录

原序	(1)
第一章 电的物理量	(1)
第一节 引言	(2)
第二节 定义和定律	(5)
第三节 电路元件	(17)
提要	(24)
复习题	(25)
练习题	(26)
问题	(30)
第二章 电路原理	(32)
第一节 电路定律	(32)
第二节 网络定理	(47)
第三节 非线性网络	(57)
提要	(63)
复习题	(64)
练习题	(65)
问题	(70)
第三章 信号处理电路	(72)
第一节 信号波形	(72)
第二节 理想放大器	(86)
第三节 理想二极管	(92)
第四节 波形形成电路	(98)
提要	(104)
复习题	(106)
练习题	(107)

问题	(113)
第四章 阴极射线管	(115)
第一节 电子运动	(115)
第二节 阴极射线管	(121)
第三节 示波器	(127)
提要	(134)
复习题	(135)
练习题	(136)
问题	(138)
第五章 半导体二极管	(140)
第一节 固体中的导电	(140)
第二节 掺杂半导体	(146)
第三节 结型二极管	(151)
第四节 特殊用途的二极管	(163)
提要	(165)
复习题	(167)
练习题	(168)
问题	(173)
第六章 晶体管 and 集成电路	(175)
第一节 场效应晶体管	(175)
第二节 双极结型晶体管(BJT)	(181)
第三节 集成电路	(191)
第四节 闸流晶体管	(197)
提要	(203)
复习题	(204)
练习题	(204)
问题	(208)
第七章 逻辑元件	(210)
第一节 开关逻辑	(210)

第二节	电子开关	(217)
第三节	晶体管逻辑门	(220)
第四节	存储元件	(230)
第五节	数字集成电路	(238)
	提要	(240)
	复习题	(241)
	练习题	(242)
	问题	(248)
第八章	数字器件	(250)
第一节	二进制数	(250)
第二节	布尔代数	(258)
第三节	逻辑电路分析	(261)
第四节	逻辑电路综合	(262)
第五节	用图解法求最简化电路	(267)
第六节	寄存器	(271)
第七节	计数器	(275)
第八节	读-写存储器	(281)
第九节	只读存储器	(287)
第十节	信息处理	(290)
	提要	(296)
	复习题	(297)
	练习题	(298)
	问题	(307)
第九章	微处理机	(310)
第一节	四位信息处理机	(311)
第二节	储存程序计算机	(319)
第三节	微处理机程序设计	(325)
第四节	实际微处理机	(334)
第五节	最小计算机系统	(346)

提要	(349)
复习题	(350)
练习题	(351)
第十章 交流电路	(357)
第一节 相量	(357)
第二节 正弦响应	(363)
第三节 频率响应	(372)
提要	(386)
复习题	(388)
练习题	(389)
问题	(396)
第十一章 大信号放大器	(398)
第一节 实际放大器	(398)
第二节 偏置电路	(403)
第三节 功率放大器	(414)
第四节 其它类型的放大器	(423)
提要	(427)
复习题	(429)
练习题	(430)
问题	(434)
第十二章 小信号模型	(437)
第一节 大信号和小信号	(437)
第二节 二极管的电路模型	(441)
第三节 场效应晶体管的电路模型	(443)
第四节 双极结型晶体管的电路模型	(449)
提要	(459)
复习题	(461)
练习题	(461)
问题	(465)

第十三章 小信号放大器	(468)
第一节 RC耦合放大器	(468)
第二节 频率响应	(472)
第三节 多级放大器	(487)
提要	(493)
复习题	(494)
练习题	(495)
问题	(501)
第十四章 反馈放大器	(502)
第一节 反馈系统	(503)
第二节 正反馈的应用	(507)
第三节 负反馈的应用	(511)
第四节 跟随器	(517)
提要	(521)
复习题	(522)
练习题	(524)
问题	(527)
第十五章 运算放大器	(529)
第一节 反相电路的应用	(530)
第二节 同相电路的应用	(536)
第三节 非线性应用	(541)
第四节 实际应用	(548)
第五节 模拟计算机	(554)
提要	(560)
复习题	(561)
练习题	(562)
问题	(566)
附录	(568)
附录一 物理常数	(568)

附录二	换算因子.....	(568)
附录三	复代数.....	(568)
附录四	典型的TTL集成电路单元.....	(574)
附录五	器件特性.....	(575)
符号表	(582)

第一章 电的物理量

电子学的历史开始于阴极射线的发现并仍在继续发展着。它是一部记载着数学家、物理学家、工程师和发明家卓越贡献的历史，也是一部辛勤建立起来的完整的工艺学的历史。

当希托夫和克鲁克斯在1869年研究阴极射线时，马克斯威尔正在推导他的电磁辐射的数学理论。以后不久，于1883年爱迪生观察到了真空中的电子导电现象。1888年，赫兹证实了马克斯威尔关于无线电波存在的预言。1897年，J.J.汤姆森测定出 e/m （荷质比），与此同时，马可尼致力于无线电的研究，并于1901年首先实现了跨越大西洋的无线电通信。当爱因斯坦正在总结光电效应理论的时候，1904年弗来明发明了第一只电子管，它是一只利用爱迪生效应的灵敏的二极管检波器。直到1906年德福雷斯特发明了三极管，才使放大电信号成为可能，并导致1912年阿姆斯特朗的灵敏再生检波器的出现和有重要意义的振荡器的问世。

兹沃金于1924年发明显象管，1939年发明了光电倍增器，这就开辟了电子学的新领域。沃森—瓦特提出的关于无线电探测设备——也就是雷达的设想，在第二次世界大战中，促使它得到迅速的发展。战后生产上的需要和半导体物理学的知识越来越丰富，导致了肖特基、巴迪因、布拉顿于1947年发明了晶体三极管和1954年皮尔逊发明了硅太阳电池。1958年基尔比的集成电路把含有多个半导体器件的完整网络制作在一个单块的小片上。爱因斯坦早在1917年就指出了辐射激发发射的可能性，1963年汤斯运用这一概念实现了微波激射器。1958年汤斯和肖洛阐述了关于把微波激射器的原理应用到光学范围的设想，1960年梅曼根据这一设想成功地制成了脉冲红宝石激光器。

埃克特和莫及利1946年制造了一台含有18000只真空管的电子数字计算机，从而开始了计算机的革命；霍夫于1969年研制了一台集成在极小硅片上的微型计算机，它的运算能力不亚于上述的真空管电子数字计算机。

第一节 引言

一个电气工程师主要是和有关电荷的现象特别是与电荷间的力和电荷间的能量交换的现象打交道。电子学是电气工程的一个分支，在电子学中器件的性能是用电子在电场和磁场中的性能来确定或解释。在某些情况下，能量是一个重要的物理量，而在另一些情况中，能量只是运载信息的一种手段。

例如，在侦察卫星中，太阳能电池的有用输出是电能，它变换成不同的形式供给控制和通信系统。但在上述侦察卫星的子系统，则将测试数据转换成数字信号，并进行初步的计算，然后把这些结果送回地面，这时能量只用来处理信息。

一、力和场

电荷是由与其它电荷相互间的作用力确定的。实验表明，作用力取决于电荷的数量、它们的相对位置及其速度。取决于电荷位置的力叫做电场力，而取决于电荷速度的力叫做磁场力。所有与电气工程有关的电和磁的现象，都可以用电荷间的力来解释。

在电视显象管中，一些电极的设置是用来产生加速电场和偏转电场，以控制电子运动的路径而形成图象。在计算机的存储器中，小磁环被电流脉冲所磁化，然后以磁场的形式“记忆”信息。由于场具有分布在空间的特性，所以必须用二维或三维来确定。

二、电路

与场形成对照，电路却完全可以用一维空间来描述，也就是沿

着路径的部位构成电路。在一个电路中，有关的变量是沿着电路上不同点的电压和电流。如果电路中的电压电流是恒定的（不随时间而变化），电流就受到电阻的限制。在用发电机对电池充电的情况下，10米长的铜线就可以有一定的电阻限制电流的流动。也可以用1米电阻线、1厘米电阻碳棒或者1毫米的半导体来得到相同的效果。

当元件的尺寸与其工作波长相比非常小而且总的效果可以认为是集中在一点时（或者叫做“集总的”），那么元件就可以用集总参数来表示。对比之下，作为天线用的10米铜线的性能则决定于铜线的尺寸和它上面电压电流的分布状况，所以天线必须用分布参数来表示。在本书中，我们只研究集总参数电路。

三、器件

对于在器件内部以及由组成系统的器件向外部或由外部向器件传送能量来说，电路都是重要的。电子器件起着信号的产生、放大、调制和检波的作用。例如，在无线电广播电台里，调制器按照音乐符号改变发射波的幅度，产生幅度调制。换能器是把能量或信息由一种形式变成另一种形式的器件；微音器也是一种换能器件，它把输入声波的声能转换为输出电流的电能。

四、系统

系统是将电路和器件组合起来以完成预定任务的整体。通信系统包括：微音器、能供出足够发射功率的高频载频振荡器、将声频信号加到载频上的调制器、把电磁波辐射到空间的发射天线，接收天线、从高频已调波中分离出所需信号的检波器、各类放大器和电源、把电信号恢复为原来声信号的扬声器。宇宙航行器的导航系统包括：把控制飞行方向的参数变成电信号的变换器、用来把实际导航参数与要求的导航参数进行比较的误差检测器、放大误差信号的放大器、推动调节控制喷咀的激励器、决定实际航向的传感器以及

• • •