

电子学

曼彻斯特物理学丛书

林福亨 唐健正 译

北京大学出版社

曼彻斯特物理学丛书

电 子 学

〔英〕卡尔弗特 麦考斯兰 著

林福亨 唐健正 译

钱竹年 校

北 京 大 学 出 版 社

9010123

内 容 简 介

本书为英国曼彻斯特大学物理学丛书的电子学部分，内容包括：无源元件介绍及交流电路理论；有源元件简介；线性电路及线性集成电路；逻辑和数字电路以及逻辑集成电路。各部分内容都经过精心取舍，摒弃了繁琐的数学推导及各种复杂的实用电路介绍，用最短的篇幅阐明了电子学中最基本的原理和基本的单元电路。它特别适于大专院校非电子专业作为教材，加上带星号的部分也可作为电子专业的参考书。本书各章内容相对独立，可按书末流程图选学所需内容，而不需更多的预备知识，所以它也适于具有高中以上文化程度的读者作为自学参考书。

曼彻斯特物理学丛书

电 子 学

〔英〕卡尔弗特 麦考斯兰 著

林福亨 唐健正 译 钱竹年 校

责任编辑：李采华

北京大学出版社出版

（北京大学校内）

1202 工厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

850×1168毫米 32开本 21.5印张 500千字

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数：0001—5,500册

统一书号：13209·155 定价：4.60元

译 序

多年来，大学非电子专业的电子学课程的教材选取一直比较困难。这是因为：这些专业的学时很少，又要把电子学全面地介绍给学生；同时，电子电路发展很快，教学内容既要先进又要相对稳定。我们认为本书较好地解决了这些矛盾。它强调了应该教给学生基本原理、基本概念和基本电路单元。有了这些基础知识，学生就可以理解更复杂的实用电路了。本书力求用最简单、最形象的方法得出结论，从而避免了复杂的数学推导，也免去各种实用电路的繁琐介绍，这就大大缩短了篇幅。在介绍最新电路时，也强调介绍其基本原理，这就保证了本书在今后一段时期内不因有更新的电路出现而过时。

本书原文有不少印刷错误和其它错误，我们都一一改正过了。一般均未单独注明，改得不妥之处由译者负责。

本书前十章由唐健正译出，第十一章以后由林福亨译出。

在翻译过程中得到李爱扶同志的很大帮助，唐璞先生和王志敏同志在前十章的翻译和整理过程中作了很多工作，特向他(她)们致谢。

译 者

1985年11月

曼彻斯特物理学丛书

编者序言

曼彻斯特大学物理系的同事们，在制定大学物理课程教学大纲时，很难找到合适的教科书推荐给学生。其它大学的许多教师显然也有同感。大多数教科书的内容都偏多，学生没有时间去消化；同时这些书的编排使我们不大可能选用其中某些章节来制定一个全面而且均衡的大纲。鉴于这种情况，我们才想到编写曼彻斯特物理学丛书。

丛书的每一卷都与我们的讲课内容相一致，并增加了大约百分之五十的补充材料。为此，我们对书中的专题都进行过精选，把重点放在基础物理学和那些有教益、有启发性而且有实效的应用上。由于不同的院校对待各种专题偏重程度很不相同，所以我们在组织教材时，力图使它可供不同学时数、不同难度及强调不同的应用方面的课程选用。为此目的，我们鼓励作者用流程图解来说明各章之间的逻辑关系，并在某些节或小节的前面加上星号。这些节的内容都是更深一点和可供选择的，删掉它们并不影响理解后面的内容。

因为这部丛书是按一门整体课程编排的，所以它对所讨论的物理学的各部分给以均衡的考虑。书的深度有所不同，〈物质的特性〉用于第一年；〈固体物理学〉则用于第三年；其它各卷都属于中等深度，可以灵活选用。〈电磁学〉、〈光学〉、〈电子学〉和〈原子物理学〉，都以第一年水平为起点，逐渐引进适用于第二年甚至第三年课程的内容；〈统计物理学〉适用于第二或第三年。所

9010123

有教科书都是这样编写的：每本的内容都自成体系，而不依靠其它各卷。

本丛书虽为英国的大学生而著，但同样适合美国大学一年级以上课程之用。每位作者的序言都谈到学习他的著作所需具备的知识基础。

编写这样一部丛书，必须明确采用什么单位制。经过可能的最广泛协商，我们会同作者和出版者决定基本上遵照国际纯物理和应用物理学协会的推荐，采用国际单位制(SI)。电和磁的量都用国际单位表示(在电磁学一卷中还解释了其它单位制)。我们并没有认为电子伏特之类的物理单位都不能用，也没有斤斤计较10的因数问题(0.012kg是否比12g更可取?)和缩写字问题，以及类似的一些无关紧要的问题。

这些书的初版已由曼彻斯特大学试用，在其它大学的教师中也已广泛流传，并得到许多反应。我们非常感谢曼彻斯特和其它学校的许多同学与同事们，通过批评、建议和启发性的讨论，帮助我们修改和定稿。我们特别要对这些书的作者，为他们完成大量工作，为他们提出许多新见解，并为他们认真讨论和时常接受我们的许多建议与要求致谢。我们还要向大力帮助我们并且给初版以财政支持的出版者John Wiley & Sons表示感谢。

曼彻斯特大学理学院物理系

曼德尔 (F. Mandl)

埃里森 (R. J. Ellison)

桑迪弗德 (D. J. Sandiford)

作者序言

在过去十年中，电子学的某些方面已经大大改观，但其它方面却没有什麼变化。被精细地控制了掺杂的固体硅，几乎到处取代了以前的真空管。印刷电路和集成电路已使奇妙的“无线”这个词，在无线电创始人所未想到的意义上，变得名副其实了。另一方面，支配电子学电路（包括线性电路和非线性电路）的普遍原理，实际上并没有改变。

由于固体工艺的巨大进步而使之成为可能的一项重要发展，就是“数字革命”。这不仅形成了电子器件的一个全新的种类和相应的概念体系，还给完成传统电子学范围内的各种功能，提供了新的而且往往是更加有效的方法。因此，当我们认为还值得花时间去讨论模拟电路时，有不少学生表示诧异。当然懂专业的读者无需我们强调此类电路仍有重要作用，所以本书还是为此提供了大量篇幅。

在我们的学生中，还普遍存在一种见解，即认为现在的电子学只不过是把集成电路，尤其是数字电路互相连接起来的简单事情。对此，我们希望不必为了表示相反意见而多费口舌。电子学线路总是达到某个目的的一种手段，它本身并不是目的；这就是说，线路一般必须和各种与TTL电路规律不同的传感器及换能器连接，仅仅因为这个缘故，我们就不认为正确地偏置一个简单晶体管放大器的能力，应该像法兰西油漆术一样成为一项失传的技艺。

虽然我们认为有必要比较详尽地讨论场效应晶体管和结型晶

体管的电特性，但是，我们已经故意回避对半导体器件物理学进行详细说明的任何尝试。这种物理学只有对那些在固体物理学方面基础深厚的学生，才可能充分理解。因为固体物理学这门课程在本校或其它院校，都是在高年级才深入学习的。无论如何，我们的读者总不会只限于物理学家——见下文。因此，我们仅仅满足于扼要介绍晶体管的工作方式，只是强调晶体管做什么，而不强调它是怎样做的。

本书主要是为理科大学生编写的，但其中大部分也是一个用功的高中学生所容易消化的，当然也适用于那些由于某种原因缺乏大学电子学课程知识的研究生。电子学是我系整个三年大学期间都要讲的课程，所以编写此书的深浅程度，正是为了适合大学一、二、三年级讲课的需要。书中的材料（除了标星号的部分之外）大概可以满足给多数理科学生讲授整个大学电子学课程的需要，而且有余。如把标星号的部分包括在内，则本书还可用作电子学专业学生的教科书。本书要求的准备知识的程度相当于英国的物理学和数学课程 A 级水平，或美国中学的对等水平。总之，只要适当掌握初等电磁学、微积分及复数运算知识，就不难攻读本书。

本书内容反映四个基本目的：第一是给学生介绍线性电路的一般原理；第二是使学生了解二极管、场效应晶体管及结型晶体管等常用分立元件的电性能；第三是使学生熟悉一些典型的线性及非线性简单有源线路的设计和函数；第四是教会学生怎样把这些线路“积木块”连接成各种系统，如负反馈放大器、振荡器、逻辑电路和数字电路等等。我们不准备描述大规模电子系统（如计算机、通讯系统），只是涉及一些与此有关的如数字计算、振幅与频率调制之类的概念。我们的最终目的只是要求读者比较深入地了解基本的电子学原理，并能成功地设计和制作一些小型电子系统。

本书在每章之后附有大量习题和思考题，在书后的题解中，许多题目有详细的解答。

本书作者对帮助打字的 Liz Rich 先生和制图的 John Drink-water 先生致谢，并对给本书提出许多宝贵意见的同事和学生，以及在技术事务上给作者鼓励和建议的丛书编辑先生们表示感谢。最后还要感谢耐心协助我们的出版者 John Wiley & Sons 公司。

卡尔弗特 (J.M.Calvert)

麦考斯兰 (M.A.H.McCausland)

1978年2月于曼彻斯特

目 录

第一章 无源电路元件

1.1 引言	(1)
1.2 几个定义和基尔霍夫(KIRCHHOFF)定律	(1)
1.3 电阻器	(4)
1.3.1 电阻器的组合	(5)
1.3.2 电阻器的功率耗散	(6)
1.3.3 实用电阻器	(6)
1.3.4 非线性电阻器	(9)
1.4 电容器	(12)
1.4.1 电容器的组合	(13)
1.4.2 用电容器储存能量	(15)
1.4.3 实际电容器	(15)
1.5 电感器	(19)
1.5.1 两个线圈之间的感应	(21)
1.5.2 电感器的串联组合	(22)
1.5.3 电感器储能	(23)
1.5.4 实际电感器	(23)
1.6 小结	(24)
习 题	(25)

第二章 无源电路的阶跃响应

2.1 引言	(27)
2.2 阶跃函数	(27)
2.3 RC 网络的阶跃响应	(32)

2.4	“微分”和“积分”电路	(36)
2.5	LR 网络的阶跃响应	(38)
2.6	LC 网络的阶跃响应	(39)
2.7	RLC 网络的阶跃响应	(42)
	习 题	(46)
第三章 交流电路理论		
3.1	直流电流源和交流电流源	(49)
3.2	电源的戴文宁等效电路	(52)
3.3	诺顿电流源	(54)
3.4	电源的输出功率	(54)
3.5	理想的交流电压源和电阻性负载	(55)
3.6	理想的交流电压源和电感性负载	(56)
3.7	理想的交流电压源和电容性负载	(58)
3.8	交流电压和电流的相量表示法	(59)
3.9	L, C 和 R 串联的电路	(64)
3.10	进一步讨论电源和功率	(67)
3.11	谐振电路	(68)
3.11.1	串联谐振	(68)
3.11.2	并联谐振	(70)
3.11.3	电路放大系数 Q	(74)
3.12	滤波器	(76)
3.12.1	维恩(文氏)(Wien)网络和维恩(文氏)电桥	(80)
★3.13	变压器	(84)
3.14	交流电路理论小结	(88)
★3.15	非正弦波形	(89)
3.16	已调制波形	(94)
3.16.1	振幅调制	(95)
★3.16.2	相位调制	(98)

★3.16.3 频率调制	(100)
习 题	(102)
第四章 二极管	
4.1 引言	(106)
4.2 一般特性	(106)
4.3 实际二极管	(108)
4.3.1 热电子二极管	(108)
4.3.2 半导体结型二极管	(109)
4.3.3 二极管的选择	(110)
4.4 串联二极管和半波整流器	(111)
4.4.1 直流电压源和负载线	(111)
4.4.2 交流电压源及电阻负载	(112)
4.4.3 交流电压源和 RC 并联负载	(114)
4.5 全波整流器	(115)
4.6 有偏置的串联二极管: 限幅器(削波器)	(118)
4.7 有偏置的并联二极管: 直流恢复器	(121)
★4.8 一个有启发性的例子	(124)
4.9 齐纳(Zener)二极管	(126)
4.9.1 电压的稳定和电压基准	(126)
4.9.2 电压移位	(127)
4.9.3 削波	(128)
4.10 半导体二极管的电容	(129)
4.11 硅可控整流器	(129)
4.12 用作开关的二极管	(131)
习 题	(133)
第五章 有源电路引论	
5.1 引言	(135)
5.2 隧道二极管的基本性质	(135)

5.3	隧道二极管的偏置和直流负载线	(136)
★5.3.1	隧道二极管双稳态电路的瞬态特性	(138)
★5.4	隧道二极管振荡器	(141)
★5.5	隧道二极管放大器	(143)
	习 题	(144)
第六章 场效应晶体管		
6.1	引言	(147)
6.2	场效应晶体管原理	(147)
6.3	n 沟道FET的直流特性和基本放大组态	(150)
6.3.1	符号规定	(153)
6.4	共源放大器及其直流特性	(155)
6.5	共源场效应晶体管用作交流放大器及其非线性 性和失真	(157)
★6.5.1	谐波失真	(158)
★6.5.2	互调失真	(160)
6.5.3	非线性的有用方面	(161)
6.6	实际共源放大器电路的详细分析	(162)
★6.6.1	自偏置共源放大器在大信号条件下的性能	(166)
6.7	共源电路中FET的小信号参数	(170)
6.8	共源放大器的小信号增益	(172)
6.9	共源FET放大器元件值的选择	(176)
★6.9.1	耦合和旁路电容器	(176)
★6.9.2	偏置电阻	(178)
6.9.3	FET的功率和电压额定值	(180)
★6.10	FET用作相位分裂器	(182)
6.10.1	相位分裂器的电压增益	(183)
★6.11	共漏极组态	(183)
6.11.1	共漏放大器的电压增益和输出阻抗	(185)

6.12 绝缘栅场效应晶体管	(186)
习 题	(187)
第七章 四端线性电路分析	
7.1 引言	(191)
7.2 一个网络的导纳参数的推导	(193)
7.3 T型和II型网 络	(195)
7.3.1 双T滤波器	(198)
7.4 非线性四端网络及其小信号近似	(199)
7.5 输入和输出导纳以及四端网络的电压和电流 增益	(203)
7.5.1 电压增益	(204)
★7.5.2 输入导纳	(204)
★7.5.3 电流增益	(204)
★7.5.4 输出导纳	(205)
7.5.5 非线性电路的小信号特性	(206)
★7.6 四端网络的功率增益	(207)
★7.7 实际放大级的导纳参数	(211)
7.7.1 旁路电容的影响	(214)
★7.8 h 参数(混合参数)	(215)
7.9 有源网络的等效电路	(217)
习 题	(218)
第八章 放大器的频率响应	
8.1 一般概念	(222)
★8.2 交流放大级的低频响应	(225)
★8.3 放大器的高频响应	(232)
★8.4 密勒(Miller)效应	(236)
8.5 一个理想交流放大器的总频率响应	(237)
★8.6 宽带放大器的“增益-带宽积”	(238)

习 题	(240)
第九章 结型晶体管	
9.1 引言	(241)
9.2 晶体管的基本性质	(241)
9.3 共发射极特性	(246)
9.4 共发射极放大器的基本性质	(247)
9.4.1 带串联基极电阻的共发射极放大器的直流特性	(249)
9.5 共发射极组态的小信号特性	(253)
9.5.1 h 参数(混合参数)	(253)
9.5.2 y 参数(导纳参数)	(254)
9.6 共发射极放大器的偏置电路	(256)
9.6.1 简单偏置电路	(258)
9.6.2 比较稳定的偏置电路	(258)
9.6.3 讨论	(259)
9.6.4 一种稳定的偏置电路	(260)
★9.6.5 共发射极放大器中电容的选择	(264)
9.7 最大额定值	(266)
9.8 共集电极与共基极放大器	(268)
9.8.1 共基极放大器	(269)
9.8.2 共集电极放大器	(273)
★9.8.3 射极跟随器的过载和阻塞	(276)
习 题	(277)
第十章 电路积木	
10.1 引言	(281)
10.2 β 超过1000的达林顿(Darlington)接法	(282)
10.3 自举: 减少对输入的不利影响	(285)
10.4 相位分裂器: 一个输入, 两个输出	(288)
10.5 移相器	(290)

★10.6	互补型射极跟随器：避免过载	(292)
★10.7	怀特(White)射极跟随器：10.6节电路的 变型	(295)
★10.8	级联放大器：消减密勒效应	(296)
10.8.1	引言	(296)
10.8.2	数学分析	(297)
10.8.3	用场效应晶体管的级联电路	(298)
10.8.4	驱动射极跟随器的共射-共基放大器	(299)
10.9	高杆(Beanstalk)放大器：扩大电压范围	(303)
10.10	长尾对：运算放大器的基础	(305)
10.10.1	引言	(305)
★10.10.2	数学分析	(307)
10.10.3	长尾对的变型	(309)
★10.10.4	一个实际长尾对的共模抑制	(312)
10.10.5	长尾对的应用	(314)
★10.11	仿真电抗器：电子可变电感或电容	(315)
10.12	用FET的一种平方律电路	(319)
	习 题	(322)

第十一章 负反馈

11.1	引言	(327)
11.2	串联电压反馈	(328)
11.2.1	串联电压反馈对小信号电压增益的影响	(329)
11.2.2	串联电压反馈对小信号输入阻抗和输出阻抗的 影响	(332)
★11.2.3	串联电压反馈放大器的导纳参数	(332)
11.2.4	串联电压反馈对失真的影响	(335)
11.2.5	小结	(338)
11.3	负反馈的其他类型	(338)

★11.3.1 并联电压反馈.....	(339)
★11.3.2 串联电流反馈.....	(340)
★11.3.3 并联电流反馈.....	(340)
11.4 串联电压反馈放大器的频率响应	(341)
11.4.1 引言.....	(341)
11.4.2 理想串联电压反馈宽带放大器的频率响应.....	(342)
11.5 反馈放大器的稳定性	(344)
11.5.1 乃奎斯特(Nyquist)判据	(344)
11.5.2 理想宽带放大器的乃奎斯特图	(345)
11.5.3 非理想放大器的乃奎斯特图	(346)
11.5.4 直接耦合放大器的乃奎斯特图	(349)
11.6 讨论	(350)
11.7 几种实际反馈放大器	(351)
11.7.1 串联电压反馈共发射极放大器	(351)
★11.7.2 串联电流反馈共发射极放大器	(353)
★11.7.3 两级反馈放大器	(355)
★11.7.4 三级环反馈放大器	(356)
习 题	(358)

第十二章 运算放大器和运算反馈

12.1 运算放大器	(361)
12.2 反馈稳定的反相放大器和同相放大器	(363)
12.2.1 反相放大器	(363)
12.2.2 同相放大器	(365)
12.3 有源滤波器	(366)
12.3.1 一阶低通滤波器.....	(367)
12.3.2 一阶高通滤波器	(368)
★12.3.3 双T带通滤波器	(368)
12.4 模拟运算	(371)