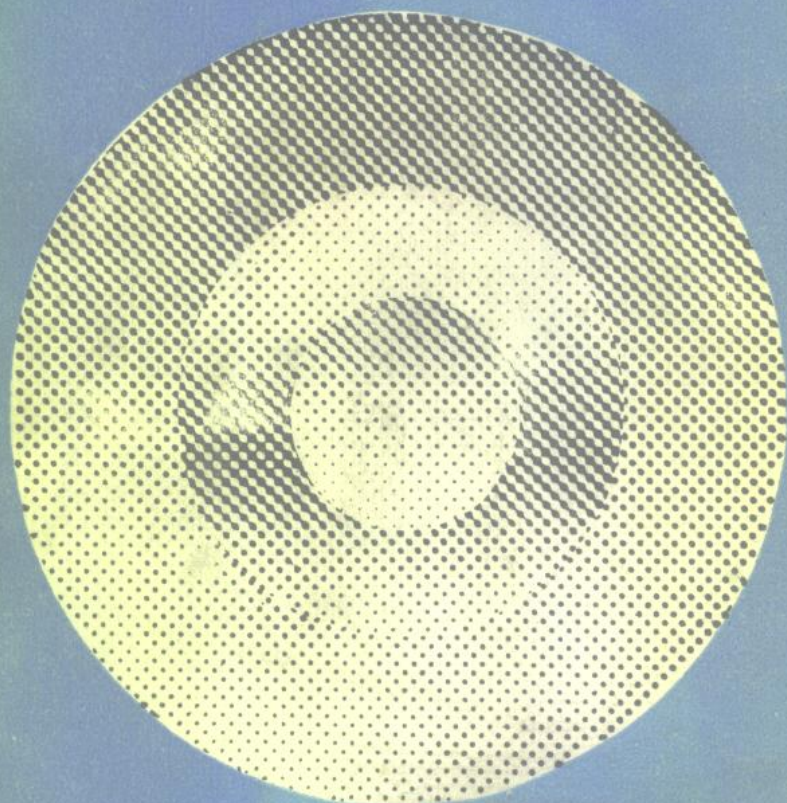


# 电子学

[英] J. M. CALVERT M. A. H. McCAUSLAND 著

王雪瑜 王绪威 译



高等教育出版社

# 电 子 学

[英]J. M. Calvert. M. A. H. McCausland 著

王雪瑜 王绪威 译

高等教育出版社

京(112)号

## 内 容 提 要

本书是英国曼彻斯特大学物理学丛书中的一本,作者为曼彻斯特大学物理系教授,由 John Wiley & Sons 公司 1978 年出版。作为电子学基础教材,内容比较全面,具体介绍了线性电路的一般原理,常用的分立元件的电特性,典型的线性和非线性简单有源电路的设计和性能以及负反馈放大器,振荡器,逻辑电路和数字器件等电子系统。书中还简单介绍了大规模电子系统所涉及的某些有关概念,全书共 16 章,附有习题和简单解答。

本书可供各类综合大学、师范院校、职大、电大及其它高等学校无线电电子学及物理学等理工科有关专业教师,学生参考。

本书曾经陈文照、葛绳刚两同志审校。

## 电 子 学

[英]J. M. Calvert M. A. H. McCausland 著

王雪瑜 王绪威 译

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 19.875 字数 480 000

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数 0001—949

ISBN7-04-003609-6/O·1078

定价 14.45元

## 曼彻斯特物理学丛书主编前言

在制订大学物理学各门课程的大纲时，曼彻斯特大学物理系同人深感难以找到合适的教科书推荐给学生。其他大学的许多教师显然也有同感。大部分教科书的内容过多，学生没有时间加以消化；而且，按照这些书的编排方式，也极少有可能从中选取一些章节，藉以定出一个自成体系、比重恰当的大纲。正是在这种情况下，产生了编写这套曼彻斯特物理学丛书的想法。

曼彻斯特物理学丛书各卷的材料比我们讲课时的内容大约增添了50%。为此，我们对丛书所应包括的课题作了精选。重点放在基础物理学方面，也包含一些深有启发、饶有兴味和富有价值的应用。考虑到各大学对具体课题的处理相差甚远，我们在组织材料时力求便于教师根据不同的分量、难度和不同的应用重点加以选择。为了这一目的，我们鼓励丛书各卷的作者使用教学流程图来表明各章之间的逻辑联系，并把某些节、段的课题打上星号。这些部分涉及较高深的内容，可供选读而不影响对各卷后继部分的理解。

因为计划把曼彻斯特物理学丛书作为一套体系完整的教材，所以丛书对所阐述的物理学各部分作了通盘安排。各卷深浅程度有所不同：《物质的性质》适用于第一学年，《固体物理学》适用于第三学年。其余各卷介乎其间，使用时可以有相当大的灵活性。《电磁学》、《光学》、《电子学》和《原子物理学》都是从一年级水平开始，逐步进展为适合二、三年级的课程。《统计物理学》则适用于第二、三学年。丛书各卷的编撰均自成体系，可以单独使用。

这套丛书虽是为英国大学生编写的，同样也适合美国大学一

级以上的课程。在各卷的作者序言中,对于所要求的预备知识,都作了详细说明。

编纂这样一套丛书,必须对采用的单位制作出原则规定。经过尽可能广泛的协商,我们和作者及出版者共同决定,采用国际理论物理和应用物理协会多次建议和详尽解释的国际单位制(SI)。电学和磁学量都用国际单位制表出(其他单位制在电磁学卷中都有说明)。但是,我们并不认为诸如电子伏特这样的物理单位是不合法的。我们也不拘泥于某些细节,如10的因子(用0.012千克是否就比12克好?),缩写符号(尽管秒的缩写s和sec对于电子计算机来说并不等同,对于科学家来说却毫无区别)以及诸如此类的琐碎事项等等。

这套丛书的初稿曾在曼彻斯特大学试用过,并在其它大学的教师中广为流传,因而已经听到许多反应。我们非常感谢曼彻斯特和其他大学的广大师生,他们的批评、建议和有益的讨论有助于这套丛书的最后定稿,使它的撰述增色不少。我们要特别感谢各卷的作者,感谢他们的辛勤工作,感谢他们贡献了许多新概念,感谢他们耐心的讨论和经常接受我们的许多建议和要求。我们也向出版者 John Wiley and sons 公司表示感谢,他们在各方面给予我们很大帮助,包括提供初稿的资金。

F. Mandl

R. J. Ellison

D. J. Sandford

于曼彻斯特大学理学院物理系

## 作者前言

近十年来,电子学在某些方面发生了引人注目的变化,而在其它方面则甚至没有进展。精确控制其杂质的固态硅器件几乎处处取代了以前的真空管,无线电先驱者们怎么也不会想到后来的印刷电路和集成电路居然证明了“无线电”这个名词取得多么正确。而另一方面,电子线路所遵循的基本原理,无论是线性的还是非线性的,都依然没有改变。

一项重要的发展是“数字革命”,这一发展之所以能实现,是因为固体技术取得了巨大的进展。“数字革命”不仅创造了一类全新的电子器件和随之产生的概念构想;而且也属于传统电子学范畴的种种功能提供了新的、有时是更为有效的实施方法。如此之多的发展,使不少学生对我们认为讨论模拟电路还是完全必要的观点感到有点惊讶。当然,专业读者都知道这类电路仍扮演着基本的角色,这就是本书花费了大量篇幅来论述这类电路的原因。

同样,我们不同意那种认为当今电子学只不过是一些集成电路或者说就是数字电路的互相连接的观点(这种观点在学生中也很普遍),对此我们不希望作过多的辩解。电子线路永远是一种达到目的手段,而不是目的本身。这就是说,电子线路更多的是与各种各样并不服从TTL(晶体管——晶体管逻辑)规则的传感器和转换器相连接,仅仅因为这个原因,我们并不认为正确地给一个简单的晶体管放大器加偏压的这种技能应该像“法国抛光术”那样成为一种失传的技艺。

虽然我们较详细地讨论了场效应管和结型晶体管的特性,但我们还是有意不详述半导体器件物理学。这个内容只有对固体物

理学有坚实基础的学生才可能完全了解，然而固体物理学在我们系(可能也在其他许多系)，直到毕业那年学生是根本不会接触到它的，(无论如何，这并非意味着我们的读者只限于物理学家，见下文)。因此，我们提供的仅仅是晶体管**运用方法**的最简明的要点，重点则放在它们**做什么**，而不是它们**如何做**。

本书主要是为大学理科本科生编写的，但书中很多部分对于感兴趣的高中学生也是容易领会的，对于那些由于各种原因在大学期间仅学过一些或根本没有学过电子知识的研究生来说，就更容易领会了。我们系在大学本科的三年里都教电子学，该书的深浅程度意在适合一、二或三年级的课程，书中内容(有★的除外)对于大部分理科学生学习电子学课程来说是绰绰有余了。如将有星号的部分计入，本书也可作为主修电子学学生的教材。物理和数学的预备知识要求相当于英国 A 级课程的水平，或相当于美国高中水平。基本上说，任何具有比较好的电磁学、微积分和复数基础的读者，学习此书是不会有困难的。

本书内容反映了四个基本目的：第一，向学生介绍线性电路的一般原理。第二，让学生了解常用的分立元件的电特性(如二极管、场效应晶体管和结型晶体管)。第三，使学生熟悉典型的线性和非线性简单有源电路的设计和函数。第四，给学生指明如何把这些“积木”式的基本部件电路联成系统，为负反馈放大器、振荡器、逻辑电路和数字器件。尽管我们涉及了某些有关的概念(例如，数字运算、调幅、调频)，但我们无意描述大规模的电子系统(例如，计算机、通讯系统)。简单地说，我们的最终目的是使读者对电子学基本原理有比较彻底的理解，同时使读者能够设计和制造小型的实际可用的电子系统。

本书每章附有大量的练习和问题，其中许多问题在书后答案中有详细解法。

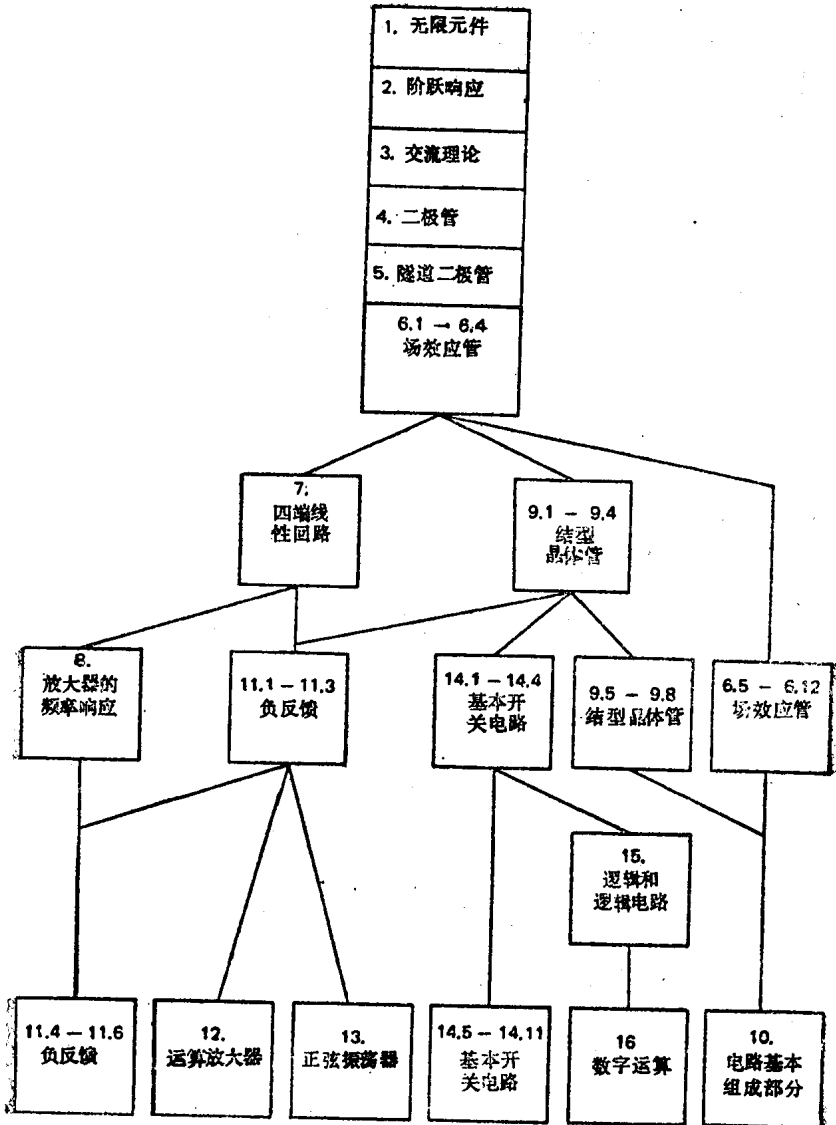
利兹·里奇(Liz Rich)帮助打印了大部分手稿,约翰·德林克沃特(John Drinkwater)把粗略的草图画成了漂亮的图表,对他们给予的宝贵帮助,作者在此谨表谢意。对许多同事、学生提出的意见、对丛书编辑给予的鼓励和技术指导,作者也表示感谢。最心,作者对出版家约翰·威利先生父子(John Wiley and Sons)的耐心、宽容和全面的帮助深致谢忱。

杰克·马克斯韦尔·卡尔弗特  
(J. M. Calvert)

马尔科姆·麦考斯兰德  
(M. A. H. McCausland)

一九七八年二月于曼彻斯特

# 流程图



当要学习书中某部分内容时，图中的路线表示了所必需预先熟悉的有关材料，即若要学习某框中内容，只需预先了解达到它的路线上有关材料。交叉点表示点以上两个框内容都需要。又书中带星号的节（一般属于进一步内容）可省略。当然也可按顺序从第一章一直读到第十六章。

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 曼彻斯特物理学丛书主编前言      | 1  |
| 作者前言               | 3  |
| 第一章 无源电路元件         | 1  |
| § 1.1 引言           | 1  |
| § 1.2 若干定义 克希霍夫定律  | 2  |
| § 1.3 电阻器          | 4  |
| 1.3.1 电阻器的组合       | 4  |
| 1.3.2 电阻器中的功率消耗    | 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 电容器储存的能量     | 15 |
| 1.4.3 实用电容器        | 15 |
| § 1.5 电感器          | 19 |
| 1.5.1 两个线圈之间的电感    | 21 |
| 1.5.2 电感器的串联组合     | 22 |
| 1.5.3 电感器储存的能量     | 23 |
| 1.5.4 实用电感器        | 23 |
| § 1.6 小结           | 24 |
| 练习与问题              | 25 |
| 第二章 无源电路的阶跃响应      | 27 |
| § 2.1 引言           | 27 |
| § 2.2 阶跃函数         | 28 |
| § 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      | 40         |
| § 2.7      | $RLC$ 网络的阶跃响应     | 43         |
|            | 练习与问题             | 47         |
| <b>第三章</b> | <b>交流电路原理</b>     | <b>49</b>  |
| § 3.1      | 直流电源和交流电源         | 49         |
| § 3.2      | 电源的戴维南等效电路        | 52         |
| § 3.3      | 诺顿电流源             | 53         |
| § 3.4      | 从电源获得的功率          | 54         |
| § 3.5      | 理想交流电压源, 电阻性负载    | 55         |
| § 3.6      | 理想交流电压源, 电感性负载    | 56         |
| § 3.7      | 理想交流电压源 电容性负载     | 58         |
| § 3.8      | 交流电压和电流的相位复矢量表示法  | 59         |
| § 3.9      | $L, C$ 和 $R$ 串联电路 | 64         |
| § 3.10     | 关于电源和功率的进一步说明     | 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     | $Q$ , 电路放大因子      | 74         |
| § 3.12     | 滤波器               | 76         |
| 3.12.1     | 维恩网络和维恩电桥         | 80         |
| ★ § 3.13   | 变压器               | 84         |
| § 3.14     | 交流电路理论的小结         | 88         |
| ★ § 3.15   | 非正弦波形             | 88         |
| § 3.16     | 已调波形              | 93         |
| 3.16.1     | 调幅                | 94         |
| ★ 3.16.2   | 调相                | 97         |
| ★ 3.16.3   | 调频                | 99         |
|            | 练习与问题             | 101        |
| <b>第四章</b> | <b>二极管</b>        | <b>104</b> |

|            |                  |            |
|------------|------------------|------------|
| § 4.1      | 引言               | 104        |
| § 4.2      | 一般特性             | 104        |
| § 4.3      | 实际二极管            | 106        |
| 4.3.1      | 热电子二极管           | 106        |
| 4.3.2      | 半导体面结型二极管        | 107        |
| 4.3.3      | 二极管的选择           | 108        |
| § 4.4      | 串联二极管;半波整流器      | 109        |
| 4.4.1      | 直流电压源;负载线        | 109        |
| 4.4.2      | 交流电压源和电阻性负载      | 111        |
| 4.4.3      | 交流电压源和并联 $RC$ 负载 | 112        |
| § 4.5      | 全波整流器            | 114        |
| § 4.6      | 偏置串联二极管 限幅器      | 116        |
| § 4.7      | 偏置并联二极管 直流还原器    | 119        |
| ★ § 4.8    | 一个指导性的例子         | 122        |
| § 4.9      | 齐纳二极管            | 124        |
| 4.9.1      | 电压稳定和基准          | 125        |
| 4.9.2      | 电压移动             | 126        |
| 4.9.3      | 削波               | 126        |
| § 4.10     | 半导体二极管的电容        | 127        |
| § 4.11     | 可控硅整流器           | 127        |
| § 4.12     | 二极管开关            | 129        |
|            | 练习与问题            | 131        |
| <b>第五章</b> | <b>有源电路的引入</b>   | <b>133</b> |
| § 5.1      | 引言               | 133        |
| § 5.2      | 隧道二极管:基本特性       | 133        |
| § 5.3      | 加偏压的隧道二极管:直流负载线  | 134        |
| ★ 5.3.1    | 双稳态隧道二极管电路的瞬态特性  | 136        |
| ★ § 5.4    | 隧道二极管振荡器         | 138        |
| ★ § 5.5    | 隧道二极管放大器         | 140        |
|            | 练习与问题            | 142        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第六章 场效应晶体管</b>               | 144 |
| § 6.1 引言                        | 144 |
| § 6.2 场效应晶体管原理                  | 144 |
| § 6.3 $n$ 型沟道 FET 的直流特性; 基本放大组态 | 147 |
| 6.3.1 符号约定                      | 150 |
| § 6.4 共源极放大器: 直流特性              | 152 |
| § 6.5 共源极场效应管交流放大器; 非线性和畸变      | 154 |
| ★6.5.1 谐波失真                     | 156 |
| ★6.5.2 互调失真                     | 157 |
| 6.5.3 非线性的有用方面                  | 158 |
| § 6.6 实际共源极放大器的电路说明             | 160 |
| ★6.6.1 大信号情况下自偏压共源极放大器的性能       | 163 |
| § 6.7 在共源极组态中场效应管的小信号参量         | 167 |
| § 6.8 共源极放大器的小信号增益              | 169 |
| § 6.9 共源极场效应管放大器中部件值的选择         | 173 |
| ★6.9.1 耦合和旁路电容器                 | 173 |
| ★6.9.2 偏置电阻器                    | 176 |
| 6.9.3 场效应管的功率和电压额定值             | 177 |
| ★ § 6.10 场效应管分相器                | 179 |
| 6.10.1 分相器的电压增益                 | 180 |
| § 6.11 共漏极组态                    | 181 |
| 6.11.1 共漏极放大器的电压增益和输出阻抗         | 182 |
| § 6.12 绝缘栅场效应晶体管                | 183 |
| 练习与问题                           | 184 |
| <b>第七章 四端线性电路分析</b>             | 188 |
| § 7.1 引言                        | 188 |
| § 7.2 网络导纳参量推导                  | 190 |
| § 7.3 T 形和 $\pi$ 形网络            | 192 |
| 7.3.1 双 T 形滤波器                  | 194 |
| § 7.4 非线性四端电路; 小信号近似法           | 196 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| § 7.5 输入和输出导纳; 四端网络的电压和电流增益 | 199 |
| 7.5.1 电压增益                  | 200 |
| ★ 7.5.2 输入导纳                | 200 |
| ★ 7.5.3 电流增益                | 200 |
| ★ 7.5.4 输出导纳                | 201 |
| 7.5.5 非线性电路的小信号性能           | 202 |
| ★ § 7.6 四端网络的功率增益           | 203 |
| § 7.7 实际放大级的导纳参量            | 207 |
| 7.7.1 有限旁路电容器的影响            | 210 |
| ★ § 7.8 混合参量                | 211 |
| § 7.9 有源网络的等效电路             | 213 |
| 练习与问题                       | 214 |
| <b>第八章 放大器的频率响应</b>         | 217 |
| § 8.1 一般原理                  | 217 |
| ☆ § 8.2 低频情况下交流放大级的响应       | 220 |
| ★ § 8.3 高频情况下放大器的响应         | 227 |
| ★ § 8.4 密勒效应                | 231 |
| § 8.5 理想交流放大器的总频率响应         | 232 |
| ★ § 8.6 宽带放大器的增益带宽乘积        | 233 |
| 练习与问题                       | 235 |
| <b>第九章 结型晶体管</b>            | 236 |
| § 9.1 引言                    | 236 |
| § 9.2 晶体管的基本性质              | 236 |
| § 9.3 共发射极特性                | 241 |
| § 9.4 共发射极放大器: 基本性质         | 242 |
| 9.4.1 基极串联电阻器的共发射极放大器的直流特性  | 244 |
| § 9.5 共发射极组态的小信号性能          | 248 |
| 9.5.1 混合参量                  | 248 |
| 9.5.2 导纳参量                  | 249 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| § 9.6 共发射极放大器的偏置电路             | 251 |
| 9.6.1 简单偏置电路                   | 251 |
| 9.6.2 较稳定的偏置电路                 | 252 |
| 9.6.3 讨论                       | 254 |
| 9.6.4 稳定偏置电路                   | 255 |
| ★9.6.5 共发射极放大器中电容器的选择          | 259 |
| § 9.7 最大额定功率                   | 261 |
| § 9.8 共集电极和共基极放大器              | 263 |
| 9.8.1 共基极放大器                   | 263 |
| 9.8.2 共集电极放大器                  | 268 |
| ★9.8.3 射极跟随器的过载和停息             | 271 |
| 练习与问题                          | 272 |
| <b>第十章 单元电路</b>                | 276 |
| § 10.1 引言                      | 276 |
| § 10.2 达林顿连接法: $\beta$ 大于 1000 | 277 |
| § 10.3 自举: 减少输入端的有害影响          | 280 |
| § 10.4 分相器: 输入一个信号输出两个信号       | 283 |
| § 10.5 移相器                     | 285 |
| ★§ 10.6 互补射极输出器: 避免过载          | 288 |
| ★§ 10.7 怀特射极输出器: § 10.6 的另一种方法 | 290 |
| ★§ 10.8 共射-共基放大器: 减小密勒效应       | 292 |
| 10.8.1 引言                      | 292 |
| 10.8.2 数学分析                    | 293 |
| 10.8.3 用场效应晶体管的共射-共基放大器        | 294 |
| 10.8.4 激励射极输出器的共射-共基放大器        | 296 |
| § 10.9 窄带放大器: 扩大电压范围           | 300 |
| § 10.10 长尾对: 运算放大器的基础          | 301 |
| 10.10.1 引言                     | 301 |
| ★10.10.2 数学分析                  | 304 |
| 10.10.3 长尾对各种类型                | 306 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| ★10.10.4 实际长尾对的共模抑制            | 309 |
| 10.10.5 长尾对的应用                 | 311 |
| ★§ 10.11 仿真电抗器: 电子可变 $L$ 或 $C$ | 312 |
| § 10.12 使用 FET 的平方律电路          | 317 |
| 练习与问题                          | 319 |
| <b>第十一章 负反馈</b>                | 324 |
| § 11.1 引言                      | 324 |
| § 11.2 串联电压反馈                  | 325 |
| 11.2.1 串联电压反馈对小信号电压增益的影响       | 326 |
| 11.2.2 串联电压反馈对小信号输入和输出阻抗的影响    | 329 |
| ★11.2.3 串联电压反馈放大器的导纳参量         | 329 |
| 11.2.4 串联电压反馈对畸变的影响            | 332 |
| 11.2.5 摘要                      | 335 |
| § 11.3 负反馈的其它类型                | 335 |
| ★11.3.1 并联电压反馈                 | 336 |
| ★11.3.2 串联电流反馈                 | 337 |
| ★11.3.3 并联电流反馈                 | 337 |
| § 11.4 串联电压反馈放大器的频率响应          | 338 |
| 11.4.1 引言                      | 338 |
| 11.4.2 有串联电压反馈的理想宽带放大器的频率响应    | 339 |
| ★§ 11.5 反馈放大器的稳定性              | 341 |
| 11.5.1 奈奎斯特判据                  | 341 |
| 11.5.2 理想宽带放大器的奈奎斯特图线          | 342 |
| 11.5.3 非理想放大器的奈奎斯特图线           | 343 |
| 11.5.4 直接耦合放大器的奈奎斯特图线          | 346 |
| § 11.6 讨论                      | 347 |
| § 11.7 几种实际反馈放大器               | 347 |
| 11.7.1 共发射极串联电压反馈放大器           | 347 |
| ★11.7.2 共发射极串联电流反馈放大器          | 349 |
| ★11.7.3 二级反馈放大器                | 351 |