



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等院校信息与通信工程系列教材

江苏省精品教材

通信电子电路（第3版）

于洪珍 编著

清华大学出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等院校信息与通信工程系列教材

江苏省精品教材

通信电子电路（第3版）

于洪珍 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书阐述通信电子电路的基本原理和分析方法,共包括10章内容,即绪论、小信号调谐放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、角度调制与解调、变频器、锁相环路及其他反馈控制电路、电噪声及其抑制、通信电子电路应用举例。书后附有习题参考答案及附录,附录A介绍了调幅和调频信号的MATLAB仿真,附录B介绍了调幅和调频信号的MULTISIM仿真。

本书既重视理论的系统性与严密性,又注重内容的先进性与实用性。与本书配套的有学习指导、电子教案、实验指导书等。本套教材可作为高等院校信息工程、电子科学与技术、通信与信息处理、无线电等专业本科生教材,也可供从事通信、电子技术及自动化等方面的工程技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路/于洪珍编著.--3版.--北京:清华大学出版社,2016

高等院校信息与通信工程系列教材

ISBN 978-7-302-42400-0

I. ①通… II. ①于… III. ①通信系统—电子电路—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第296373号

责任编辑:佟丽霞

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23.5 字 数:541千字

版 次:2005年8月第1版 2016年7月第3版 印 次:2016年7月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.90元

产品编号:066898-01

基于电子技术的通信是现代社会实现信息传递与信息共享的基本技术系统,是信息时代社会基础设施的基本组成部分。“通信电子电路”是各种通信系统的公共构件,是高校信息工程、电子科学与技术、通信与信息处理、无线电技术等专业学生必须掌握的基本知识,因此成为这些专业知识结构体系中的专业基础课程和核心课程。按照教学大纲的要求,编写出高水平的《通信电子电路》教材,教好和学好这门课程,对于这些专业培养和造就高素质人才具有重要的作用。

于洪珍教授编著的“通信电子电路”是普通高等教育“十二五”国家级规划教材。

于洪珍教授是我国首届高校“百名名师”称号获得者,具有很高的教学水平和非常丰富的教学经验。她所主编的这部《通信电子电路》教材具有许多值得推崇的特点。

首先,在教材总体安排上,本书贯彻了“战略上由全局到局部,战术上由特殊到一般”的辩证思维原则。全书第1章从全局高度对通信系统的概貌进行了高屋建瓴的鸟瞰,向读者说明各种电子电路(子系统)在整个通信系统中地位、作用、相互关系以及系统整体对这些子系统的基本要求;其后各章则分别深入介绍通信系统各种电子电路(子系统)的功能、原理和设计实现方法,以满足系统整体的要求。这样就很好地体现了认识论的规律,避免了以往教学中经常发生的“只见树木,不见森林”的现象。

其次,在教材内容组织方面,本书既保留了通信电子电路的基本内容和基本体系,又使各章具有相对独立性。这样,一些具有不同教学时数要求的相关专业就可以灵活选择,做到既可以保持共性,又可以发挥个性。

在教材内容的具体处理上,本书重视基本典型电路理论和设计计算,注重新理论和新器件的应用,注重理论联系实际。书中很多内容和实例都是作者和同事们亲自实验的结果,例如:锁相环调频及鉴频电路、检波参数的测定、频率合成、用模拟集成乘法器进行调幅变频等;本书最后一章的应用实例(脉宽调制全集成化载波多路遥讯装置以及基于FPGA的PLL频率合成器系统)是作者主持完成的科研项目以及教学研究成果的直接提炼。这也体

现了高等学校教师“把高水平科研成果转化为优秀教学资源”的教学创新精神。

在教学方法上,本书深入浅出,重视理论分析,注意阐明物理概念,分析和计算也比较详实,便于自学;同时教材配有较多的动画、复杂图形的 PowerPoint 电子教案,还增加了调幅和调频信号的 MATLAB 仿真以及调幅和调频信号的 MULTISIM 仿真。书后附有习题参考答案等。内容丰富,生动新颖,有助于读者更深入地理解概念。

总之,本书是一本国内鲜见、很有特色的高水平教材。同时值得指出的是,虽然本书是一部为本科生设计的教材,但是,对于从事通信、电子技术及自动化等方面的工程技术人员及有关科研教学人员来说,这也是一本不可多得的优秀参考用书。本书自 2005 年 8 月出版以来,受到了我国广大读者的厚爱,已被 100 多所高校使用。这次再版进一步强化了启发和创新的思想,同时也加强了实践性。

在本书新版即将付梓之际,我祝贺并期待着本书对于我国高校《通信电子电路》的本科教学将要做出的积极贡献,祝贺并期待着它在向社会各界传播《通信电子电路》知识方面将要产生的积极的影响。

钟义信

北京邮电大学教授

中国人工智能学会理事长

2015 年 12 月 20 日于北京

第3版 前言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

《通信电子电路》自2005年8月由清华大学出版社出版以来,已印刷了11次。2012年6月再版,又印刷了6次。该书深受广大读者的厚爱,被100多所高校选用,从使用该教材的高校看,既有理工科大学,又有综合性大学,还有师范类大学等。本教材满足各类高等学校多样化人才培养需求。

本书是作者在前两版的基础上编写的。

《通信电子电路》立体化系列教材,包括主教材、学习指导书(其中含习题详细解答)以及供课堂教学使用的电子教案等,体现了教材的系统性和完整性。内容丰富、重点突出、条理清楚,特色鲜明,第3版进一步融合了“启发和创新”的思想,加强了实践性。

这次再版在整体的安排上保留了前两版的基本内容、基本体系,同时使各章有相对的独立性,以便于其他不同专业、不同学时选用。第3版我们主要对第2~9章部分内容进行了修改、调整和扩充,并给出了每章小结,还对第1~9章增加了部分思考题与习题。第3版修改、调整和扩充的内容如下:

(1) 第2章增加了声表面滤波器的典型应用。

(2) 第3章更名为高频功率放大器,增加了宽带高频功率放大器的内容。

(3) 第5章对抑制载波调幅波的产生电路作了简明的分析与推导。

(4) 第6章突出了角度调制信号分析内容。

(5) 第7章增加了二次混频的应用。在变频干扰中突出了组合频率干扰及副波道干扰是如何形成的,还增加了典型例题分析。

(6) 第8章对环路的同步带和捕捉带进行了扩充,删去了静噪电路。

(7) 第9章增加了静噪电路。

(8) 第10章专门介绍了通信电子电路的应用实例,其中脉宽调制集成化载波多路通讯装置以及YDK—IP型遥控机是结合科研成果编写的。基于FPGA的PLL频率合成器是结合教学实践研究成果编写的。

本书共包括10章内容。书后还附有习题参考答案及附录,附录A介绍了调幅和调频信号的MATLAB仿真,附录B介绍了调幅和调频信号的

MULTISIM 仿真。

本书由于洪珍教授编著,于洪珍教授编写了第1、3~10章,王艳芬教授编写了第2章及附录A,王刚副教授编写了附录B,全书由于洪珍教授统稿。

承蒙中国人工智能学会理事长,北京邮电大学钟义信教授在百忙中为本书写序。在此表示衷心的感谢。同时感谢清华大学出版社的大力支持和帮助,特别感谢佟丽霞编辑提出的宝贵意见。

由于编者水平有限,加上时间紧张,书中难免存在疏漏,诚挚希望广大读者批评指正。

编者

2015年6月

第1版前言

为了适应我国高等教育改革的形势和教学第一线的实际需求,我们编写了《通信电子电路》立体化系列教材,包括主教材、教学参考书、实验指导书、供课堂教学使用的电子教案、网络课件和供老师组卷用的试题库。

《通信电子电路》作为一门工科大学信息类专业的重要技术基础课,涉及许多通信理论知识、通信电路中常用的基本功能部件以及实际电路。我们通过多年的教学实践,深深体会到要教好这门课程,一定要针对该课程的特点,遵循从特殊到一般的认知规律,密切联系实际,内容不断更新。为此,我们在书中通过对典型问题的深入分析,阐明通信系统中带有普遍性的思想方法和重要结论。本书内容取材既重视通信电子电路的基本典型电路理论、设计计算,又注重新理论、新型器件的应用。在编写中重视理论分析,注重讲清物理概念,分析计算详尽,且具有启发性,便于自学;同时也重视实践性,书中很多实例都源于实验的结果,例如,锁相环调频、鉴频电路、频率合成及检波参数等。

本书在整体的安排上保留了通信电子电路的基本内容、基本体系,同时使各章有相对的独立性,以便其他不同专业、不同学时选用。

本书共包括 10 章内容。书后还附有习题参考答案及附录,附录介绍了调幅和调频信号的 MATLAB 仿真。

第 1 章绪论主要介绍了通信系统特别是调制的通信系统的基本概念,还介绍了无线电波的传播特性及频段划分,并引出了本书的主要内容。

第 2 和第 3 章分别讲述了应用于通信系统接收机和发射机的小信号调谐放大器和高频调谐功率放大器。第 2 章在介绍了小信号调谐放大器的基本组成、作用和指标后,一方面讨论了组成调谐放大器的重要部分——LC 调谐回路的基本性能,另一方面对单调谐放大器特别是工作在高频情况下的单调谐放大器及其级联电路的放大能力和选频性能进行了重点讨论,阐述了分析高频调谐放大器常用的晶体管模型如晶体管混合 Π 型等效电路和晶体管 Y 参数等效电路,此外还讨论了调谐放大器的稳定性问题。最后讨论了集中选频小信号调谐放大器。第 3 章在比较了小信号调谐放大器与高频调谐功率放大器的区别的基础上,详细地讨论了丙类高频调谐功率放大器的工作原理和功率、效率问题,特别重点讨论了高频调谐功率放大器的三种工作状态、负载特性等,另外还讨论了调谐功率放大器的实用电路。最后还引出并分析

了丙类倍频器的基本概念和工作原理。

正弦波振荡器是第4章的主要内容,该章首先阐述了反馈型正弦波自激振荡器的基本原理,然后讨论了三点式LC振荡器的电路特点和相位平衡条件的判断准则,重点讨论了改进型电容三点式电路(包括串联改进型和并联改进型振荡器电路),最后还讨论了石英晶体振荡器和陶瓷振子振荡器电路。

第5章和第6章分别讨论了振幅调制解调和角度调制解调的基本概念和典型电路原理。第5章首先对调幅信号(包括普通调幅波、抑制载波双边带调幅和抑制载波单边带调幅)从时域和频域两个方面进行了较为详细的分析,然后讨论了调幅波的产生电路和解调电路的基本原理,重点讨论了大信号集电极和基极调幅电路的工作原理、波形分析和设计要点。第6章对调角波(包括调频和调相信号)进行了数学分析并给出了它们的性质,然后讨论了调频电路(包括变容二极管调频、电抗管调频电路和晶体振荡器调频电路)的基本原理,并讨论了调频波的解调电路(包括斜率鉴频器、相位鉴频器和比例鉴频器)的电路组成和工作原理。最后还给出了常用的集成调频、解调电路,如MC2833调频电路和MC3361B、MC3367解调电路。

第7章为变频器,在介绍了变频器的基本原理和主要技术指标的基础上,主要讨论了晶体三极管变频电路和用模拟乘法器构成的混频电路,并结合超外差接收机的统调与跟踪问题分析了实际变频器的电路特点和工作原理,最后还较为详细地讨论了变频干扰问题。

第8章讨论了锁相环路(PLL)和其他反馈控制电路,主要阐述了锁相环路的构成、基本原理、数学模型及其环路的锁定、捕捉、跟踪、同步带和捕捉带等概念,介绍了常用的集成锁相环芯片如CC4046、NE564等,还介绍了锁相环在调制解调技术、空间技术及其在稳频技术上的应用。最后讨论了自动增益控制电路和自动频率控制电路等。

电噪声及其抑制是第9章的内容,该章主要讨论了在实际的电子电路中遇到的电噪声的分类及其电噪声的度量(如噪声系数、噪声温度等)的基本概念,给出了抑制电噪声常用的方法。

第10章专门介绍了通信电子电路的应用实例,包括单音调幅/调频收音机、移动通信收/发信机、脉宽调制集成化载波多路通讯装置、YDK-IP型遥控机和蓝牙收发芯片RF2968的原理及应用,其中脉宽调制集成化载波多路通讯装置是结合科研成果编写的。

本书是在笔者编著的《通信电子电路》(电子工业出版社,2002)的基础上修改而成。此次编写,我们对部分内容进行了修改、调整和扩充,在每一章都充实了集成电路或通信专用器件,并在书后增加了习题参考答案和调幅调频信号的MATLAB仿真等内容。

本书由于洪珍教授编写了第1,3~10章,王艳芬副教授编写了第2章及附录。

承蒙中国人工智能学会理事长、北京邮电大学钟义信教授在百忙中抽空为本书写序。

本书在编写过程中得到了中国矿业大学领导和信息工程系有关同志的大力支持,王刚老师校对了全书,在此表示衷心的感谢。同时感谢清华大学出版社的大力支持和帮助。

由于编者水平有限,加上时间紧张,书中难免存在疏漏,诚挚希望广大读者批评指正。

编者

2005年7月

本书常用符号

1. 基本符号

符号	符号名称	单位符号	单位名称
I, i	电流	A	安[培]
U, u	电压	V	伏[特]
P	功率	W	瓦[特]
G, g	电导	S	西[门子]
X, x	电抗	Ω	欧[姆]
B, b	电纳	S	西[门子]
Z, z	阻抗	Ω	欧[姆]
C	电容	F	法[拉第]
L	电感	H	亨[利]
f, F	频率	Hz	赫[兹]
ω, Ω	角频率	rad/s	弧度每秒
M	互感	H	亨[利]
k	耦合系数		
η	耦合因数		
K	放大倍数		
A_p	功率增益		

2. 电压、电流的符号

小写 u (或 i) 和小写下标
 大写 U (或 I) 和小写下标
 大写 U (或 I) 和小写下标且
 加小写 m

脚标 i
 脚标 o

交流电压(或电流)瞬时值(例如: u_o 表示输出交流电压瞬时值)
 正弦电压(或电流)有效值(例如: U_o 表示输出正弦电压有效值)
 交流电压(或电流)幅值(例如: U_{cm} 表示集电极输出电压幅值)

输入量(例如: u_i 为输入电压)
 输出量(例如: u_o 为输出电压)

3. 半导体器件性能的符号

V	三极管, 场效应管, 二极管
E_c	集电极电源电压
BV_{ceo}	基极开路时的集电极发射极间的反向击穿电压
BV_{ebo}	集电极开路时的发射极基极间的反向击穿电压
I_{CM}	集电极最大容许电流
P_{CM}	集电极最大容许功耗
U_j	三极管起始导通电压
$g \cdot g_{cr}$	伏安特性或转移特性曲线斜率, 临界线斜率
g_m	跨导
g_D	鉴频跨导
α	共基极短路电流放大系数
β	共射极短路电流放大系数
f_α	共基极短路电流放大系数的截止频率
f_β	共射极短路电流放大系数的截止频率
f_T	特征频率

4. 功率的符号

P_S	直流电源供给功率,信号功率
P_C, P_c	集电极损耗功率,载波功率
P_o	三极管集电极输出的交流功率
P_L	负载 R_L 获得的交流功率
P_T	槽路(谐振回路)损耗功率
P_{av}	已调波平均功率或调制一周期的平均功率
P_n	噪声平均功率

5. 效率的符号

η_c	集电极效率
η_T	槽路效率
η_d	检波效率(检波电压传输系数)

6. 频率的符号

f_o	回路谐振频率,中心频率
f_c	载波频率(载频)
f_1	中频频率(中频)
f_L	本振频率

7. 其余符号

Q	品质因数,静态工作点
n	接入系数
N_1, N_2	变压器原边、副边线圈(一次、二次线圈)匝数
θ	电流导通角
α	电流分解系数
m_a	调幅系数
m_f	调频系数
m_p	调相系数
B 或 $2\Delta f_{0.7}$	通频带
F	反馈系数
N_F	噪声系数
SNR 或 S/N	信噪比

目 录

本书常用符号	VII
第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的概念	1
1.2 无线电波的传播特性	2
1.3 无线电波的频段划分	3
1.4 调制的通信系统	4
1.5 本课程的主要内容	7
思考题与习题	7
第 2 章 小信号调谐放大器	9
2.1 概述	9
2.2 LC 谐振回路	10
2.2.1 串、并联谐振回路的基本特性	10
2.2.2 负载和信号源内阻对谐振回路的影响	16
2.2.3 谐振回路的接入方式	17
2.3 单调谐放大器	22
2.3.1 单调谐放大器的电路组成	22
2.3.2 单调谐放大器的放大能力	22
2.3.3 单调谐放大器的选频性能	23
2.3.4 最大增益及阻抗匹配条件	25
2.4 晶体管高频等效电路及频率参数	25
2.4.1 晶体管混合 Π 型等效电路	26
2.4.2 晶体管 Y 参数等效电路	27
2.4.3 混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系	28
2.4.4 晶体管的高频放大能力及其频率参数	30
2.5 高频调谐放大器	33
2.5.1 电路组成	33
2.5.2 电路性能指标	34

2.6 调谐放大器的级联	38
2.6.1 多级单调谐放大器	38
2.6.2 参差调谐放大器	39
2.6.3 双调谐回路放大器	41
2.7 高频调谐放大器的稳定性	44
2.7.1 晶体管内部反馈的有害影响	44
2.7.2 解决办法	46
2.8 集中选频小信号调谐放大器	48
2.8.1 石英晶体滤波器	48
2.8.2 陶瓷滤波器	49
2.8.3 声表面波滤波器	50
本章小结	53
思考题与习题	54
第3章 高频功率放大器	59
3.1 概述	59
3.2 高频调谐功率放大器的工作原理	60
3.2.1 基本原理电路	60
3.2.2 晶体管特性的折线化	60
3.2.3 晶体管导通的特点、导通角	61
3.2.4 集电极余弦脉冲电流分析	62
3.2.5 槽路电压	64
3.3 功率和效率	65
3.4 高频调谐功率放大器的工作状态分析	69
3.4.1 调谐功率放大器的动态特性	69
3.4.2 调谐功率放大器的三种工作状态及其判别方法	71
3.4.3 R_c, E_c, E_b 和 U_{bm} 变化对放大器工作状态的影响	72
3.5 高频调谐功率放大器的实用电路	75
3.5.1 直流馈电电路	75
3.5.2 自给偏压环节	77
3.5.3 输入、输出匹配网络	79
3.5.4 高频调谐功率放大器实用电路举例	82
3.6 功率晶体管的高频效应	83
3.6.1 高频功率晶体管的电流放大倍数	84
3.6.2 晶体管高频工作时载流子渡越时间的影响	84
3.6.3 晶体管高频工作时对饱和和压降的影响	86
3.7 倍频器	86
3.7.1 丙类倍频器的原理电路及波形	86

3.7.2 丙类倍频器的工作原理	87
3.8 集成高频功率放大电路及应用简介	88
3.9 宽带高频功率放大器	90
3.9.1 传输线变压器	91
3.9.2 单级宽频带高频功率放大器	94
3.9.3 功率合成器	94
3.9.4 实例分析	98
本章小结	99
思考题与习题	101
第4章 正弦波振荡器	104
4.1 概述	104
4.2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理	105
4.2.1 从调谐放大到自激振荡	105
4.2.2 自激振荡的平衡	105
4.2.3 振荡的建立和振荡条件	106
4.2.4 振荡器的稳定条件	107
4.3 三点式 LC 振荡器	110
4.3.1 电容三点式振荡器(考毕兹电路)	110
4.3.2 电感三点式振荡器(哈特莱电路)	113
4.3.3 三点式 LC 振荡器相位平衡条件的判断准则	114
4.4 改进型电容三点式振荡器	115
4.4.1 串联改进型电容三点式振荡器(克拉泼电路)	115
4.4.2 并联改进型电容三点式振荡器(西勒电路)	117
4.4.3 几种三点式振荡器的比较	118
4.5 振荡器的频率稳定问题	118
4.5.1 振荡器的频率稳定度	118
4.5.2 造成频率不稳定的因素	119
4.5.3 稳频措施	119
4.6 石英晶体谐振器	121
4.6.1 石英晶体的压电效应及等效电路	122
4.6.2 石英晶体的阻抗特性	123
4.6.3 石英谐振器的频率-温度特性	126
4.6.4 石英谐振器频率稳定度高的原因	126
4.7 石英晶体振荡器电路	127
4.7.1 并联型晶振电路	127
4.7.2 串联型晶振电路	129
4.7.3 泛音晶振电路	130

4.8 陶瓷振子和陶瓷振子电路	131
4.8.1 压电陶瓷元件的特性	131
4.8.2 陶瓷振子	132
4.8.3 陶瓷振子振荡电路	133
4.9 单片集成振荡电路 E1648	133
本章小结	134
思考题与习题	135
第5章 振幅调制与解调	138
5.1 概述	138
5.2 调幅信号的分析	139
5.2.1 普通调幅波	139
5.2.2 抑制载波双边带调幅(DSB/SC—AM)	141
5.2.3 抑制载波单边带调幅(SSB/SC—AM)	143
5.3 调幅波产生原理的理论分析	144
5.4 普通调幅波的产生电路	148
5.4.1 低电平调幅电路	148
5.4.2 高电平调幅电路	149
5.5 普通调幅波的解调电路	157
5.5.1 小信号平方律检波器	158
5.5.2 大信号峰值包络检波器	161
5.5.3 普通调幅波同步解调电路	167
5.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路	168
5.6.1 抑制载波调幅波的产生电路	168
5.6.2 抑制载波调幅波的解调电路	172
5.6.3 抑制载波调幅电路的应用举例	174
本章小结	174
思考题与习题	175
第6章 角度调制与解调	179
6.1 概述	179
6.2 角度调制信号分析	181
6.2.1 调频及其数学表达式	181
6.2.2 调相及其数学表达式	182
6.2.3 调频与调相的关系	182
6.2.4 调角波的频谱与有效频带宽度	184
6.2.5 调角波的功率	188
6.3 调频信号的产生	189
6.3.1 调频方法	189
6.3.2 调频电路的性能指标	189

6.4	调频电路	190
6.4.1	变容二极管调频电路	190
6.4.2	电抗管调频电路	198
6.4.3	晶体振荡器调频电路	200
6.4.4	调相和间接调频电路	203
6.5	调频波的解调	206
6.5.1	鉴频器的质量指标	206
6.5.2	斜率鉴频器	207
6.5.3	相位鉴频器	209
6.5.4	比例鉴频器	214
6.5.5	脉冲计数式鉴频器	218
6.6	限幅器	219
6.6.1	概述	219
6.6.2	二极管限幅器	220
6.6.3	晶体管限幅器	221
6.7	调制方式的比较	221
6.8	集成调频、解调电路芯片介绍	222
6.8.1	MC2833 调频电路	222
6.8.2	MC3361B 与 MC3367 解调电路	224
	本章小结	227
	思考题与习题	229
第 7 章	变频器	232
7.1	概述	232
7.2	变频器的基本原理	233
7.3	变频器的主要技术指标	234
7.4	晶体三极管变频电路	235
7.4.1	晶体三极管变频电路的几种形式	235
7.4.2	变频器工作状态选择	236
7.4.3	三极管变频电路应用举例	236
7.5	超外差接收机的统调与跟踪	239
7.6	环形混频电路	240
7.7	用模拟乘法器构成的混频电路	241
7.8	二次混频的应用	242
7.9	变频干扰及其抑制方法	244
7.9.1	信号与本振的自身组合频率干扰	244
7.9.2	外来干扰和本振频率产生的副波道干扰	244
7.9.3	交调和互调干扰	245
	本章小结	248
	思考题与习题	250

第8章 锁相环路及其他反馈控制电路	252
8.1 锁相环路(PLL)	252
8.1.1 基本锁相环的构成	253
8.1.2 锁相环的基本原理	253
8.1.3 锁相环各组成部分分析	253
8.1.4 锁相环的数学模型	257
8.1.5 环路的锁定、捕捉和跟踪	258
8.1.6 环路的同步带和捕捉带	258
8.2 集成锁相环芯片	259
8.2.1 CC4046 集成锁相环芯片	259
8.2.2 NE564 集成锁相环芯片	261
8.3 锁相环路的应用	262
8.3.1 在调制解调技术中的应用	262
8.3.2 在空间技术中的应用	265
8.3.3 在稳频技术中的应用	265
8.4 自动增益控制电路	268
8.4.1 产生控制信号的 AGC 电路	269
8.4.2 控制放大器的增益	271
8.5 自动频率控制电路	273
8.5.1 自动频率控制的原理	273
8.5.2 AFC 电路的应用举例	273
本章小结	274
思考题与习题	275
第9章 电噪声及其抑制	277
9.1 概述	277
9.2 电阻热噪声	278
9.2.1 电阻热噪声现象	278
9.2.2 电阻热噪声的功率密度频谱	278
9.2.3 电阻热噪声的计算	280
9.3 晶体管的噪声及其等效电路	282
9.3.1 晶体管噪声	282
9.3.2 晶体管噪声等效电路	283
9.4 噪声度量	284
9.4.1 信噪比	284
9.4.2 噪声系数	284
9.4.3 级联网络的噪声系数	287
9.4.4 噪声温度	288
9.4.5 等效噪声带宽	289
9.5 噪声系数的测量原理	290