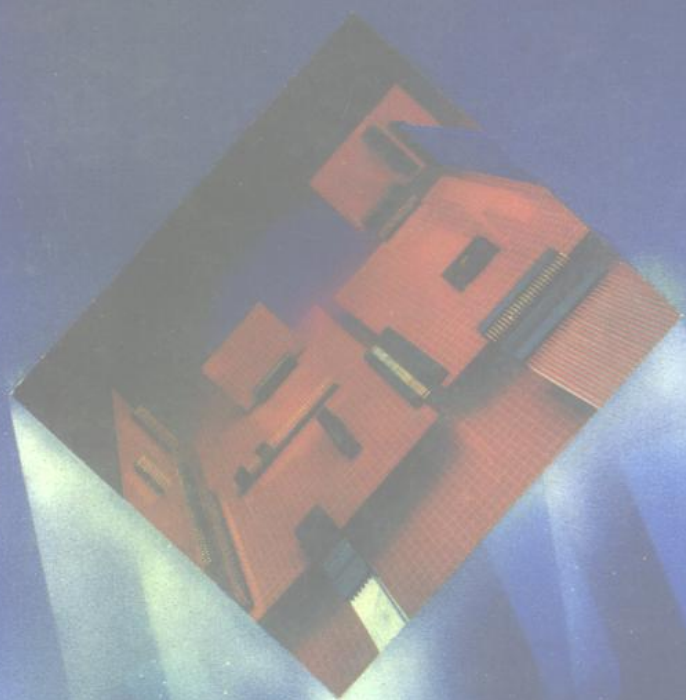


★★★★★ 孙景琪 编著 ★★★★★

通信、广播电路与系统

TONGXIN GUANGBO DIANLUYUXITONG



1
北京工业大学出版社

通信、广播电路与系统

孙景琪 编著

北京工业大学出版社

9510112

(京) 新登字 212 号

内 容 提 要

本书是根据 1987 年国家教委批准公布的《电子线路 (I) (II) 课程教学基本要求》和 1991 年“国家教委电子线路课程教学指导小组扩大会议”有关修订教学基本要求的精神,并结合作者多年教学实践编写而成。

本书详细地介绍通信、广播电路的基本工作原理和分析方法,特别注意到通信、广播系统的讨论及集成化高频电路片内、片外电路的叙述。全书共分十三章,主要包括通信、广播系统的组成、电路元器件的高频特性、调谐与阻抗变换电路、小信号高频放大器、电路噪声、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波、调角与解调、混频、反馈控制电路等内容。各章均附有复习思考题,并有多种实际电路分析,内容深入浅出,理论联系实际。

本书可作为高等学校电子、通信、广播等专业相关课程的教材,也可供从事电路设计,电子设备生产、调试、维护等科技人员参考。

0579/05

通信、广播电路与系统

孙景琪 编著

*

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 618 千字

印数: 1~2500 册

ISBN 7-5639-0410-7/T·39

定价: 15.00 元

000000

序 言

本书是根据国家教委 1987 年批准公布的《电子线路 (I) (II) 课程教学基本要求》和“1991 年国家教委电子线路课程教学指导小组扩大会议”有关修订教学基本要求的精神,结合北京地区对于电子工程和电子信息等专业人材的技术要求编写的。本书的原稿已在无线电技术等电子类专业作为本、专科教材多年正式使用,并已改版 3 次,这次正式出版又作了全面修订。

本书是一本介绍现代通信、广播系统中常用的高频电子电路的工作原理、分析方法、系统组成、信号流通与变换等内容的教材。

由于科学技术的飞速发展,电子器件已从电子管时代、晶体管时代跃向集成电路时代。中大规模、超大规模集成电路工艺已日趋成熟,各种各样的集成电路已被广泛应用在通信、广播、遥控、测量等诸多电子设备中,并能使一个电子系统或其子系统集成在一块芯片上,成为集成系统,从而改变了用分立元件、器件组成电子系统的传统方法,大大促进了系统、电路与工艺的结合。1985 年以来,由于集成电路在超高频方面新工艺的突破,解决了一系列高频集成电路制造工艺上的难题,成功地开发了在同一芯片上使超高频与高频电路兼容的新工艺,解决了长期以来在调频接收机中高频调谐器独立于集成块之外的课题,推出了带高频调谐器的调频高、中放单片集成电路,并使系统的可调部件大大减少。在调幅、调频接收机中,所需的中频变压器在 70 年代为 6~8 个,目前已减至 1 个,这对减小整机体积、优化设计、简化调试、便于维护等带来巨大益处。

集成电路如此迅速的发展,给高频电路课程带来新的课题。原来以分立元件为对象,以单一功能电路为基础的论述显然已难以适应需要,作者结合多年的教学与科研的实践,在编写本书时,力图反映这些新的变化。另外又考虑到集成系统仍然是建立在单元电路基础上的,作为专业基础课程,必须要妥善处理好集成电路与分立电路的关系、系统与单元电路之间的关系,因此编写与修订本书时,特别注意了如下几个侧重点:

1. 加强单元电路与通信、广播系统的联系。考虑到单片接收机、单片发射机、单片电视接收机等集成整机的生产与销售。在这些设备中,系统与电路已密不可分,一张整机电路图中,除了集成电路与片外元件外,已很难看到晶体管等分立器件。因此,没有系统知识、没有整机概念,是很难学好各单元电路的。为此本书加强了这一方面内容的介绍,以第一章整章的篇幅对通信、广播系统的组成,收、发信机的组成,系统中信号的流通与变换作了较详细的论述。本书的最后一章又以实际收、发系统及整机为例,对所学各单元电路作了总结与提高,与第一章作了呼应。

2. 加强集成电路片外元器件及组件的讨论。在通信、广播集成电路系统中,虽然大部分或绝大部分晶体管器件已集成在一块或多块集成芯片中,但作为选频、滤波、匹配等电路尚难以集成而独立在芯片之外,对这些电路或部件的分析已成为系统设计中一项重要任务。为此,本书以两章篇幅对通信、广播系统中集成电路的片外电路,对片内、片外电路的连接,对非标称的电感线圈的设计等分别作了讨论。

3. 在现代通信、广播系统中,尤其是在模拟集成电路中,许多电路在结构上发生了很大变化。例如,小信号调谐放大器已大量采用差动放大形式,包络检波电路基本上为同步检波电路所取代,传统的比例鉴频电路正让位于差动峰值鉴频和移相乘法鉴频电路,混频电路、正

弦波振荡电路等也由单管结构转向差动结构等，本书充分注意到这些变化，并尽可能的以集成系统中广泛应用的典型电路来展开对这些电路原理的讨论。

4. 通信电路原理（原称“高频电路”或“高频电子线路”）是一门理论性与实践性均较强的一门课程。本书在理论与实践相结合方面作了许多努力和尝试，书中既重视电路基本理论的阐述，也注意这些电路的实际运用。所涉及的电路绝大多数均来自于实际通信、广播系统，来自于集成化的整机电路，来自于常用芯片的内部电路。这对深入理解电路原理，弄清集成化整机系统，提高识图能力是十分有利的。

5. 本书力图结合地方电子工业的发展及通信事业对技术人材的大量需求的形势，以人们非常关心的通信、广播电路与系统为主线展开对基本高频电路的讨论，所述内容均言之有物，使读者学之可用，书中有许多实际电路和系统可供参考。

本书承北京工业大学张德有教授、华有年教授、北京邮电大学李巧云副教授和汕头大学林俊昌副教授审阅，并提出许多宝贵意见，在此表示最衷心地感谢。

在本书的编写与出版中，北京工业大学电子工程学系领导葛明浩教授、汪庆宝教授、周秀梅副教授曾给予热诚的指导，无线电技术教研室李唯一、曹小秋、张贺文等诸位副教授给予大力帮助。另外，汪啸云同志为本书的制图、校阅做了大量工作，在此表示诚挚的谢意。

本书1994年获北京工业大学优秀教材一等奖，并经校教材建设委员会专家组的评审与推荐，决定正式出版，谨表深切谢意。

限于编者水平有限，书中难免有不妥与错误之处，恳请广大读者批评指正。

作者

1994. 8. 18

目 录

序 言

第一章 通信系统与信号	(1)
§ 1-1 通信系统	(1)
一、通信概念	(1)
二、通信系统中的调制与解调	(1)
三、通信系统模式	(3)
四、通信系统模式举例	(4)
五、通信系统的主要特性	(7)
六、通信系统的频段划分	(7)
§ 1-2 通信系统中的基本信号	(8)
一、电信号	(8)
二、信号的表示方法	(8)
三、常用周期信号的波形与频谱	(11)
§ 1-3 调幅信号及其频谱	(12)
一、普通调幅信号	(13)
二、抑制载频的双边带调幅信号	(16)
三、单边带调幅信号	(17)
四、残留边带调制信号	(17)
§ 1-4 调角信号及其频谱	(18)
一、调频及调相信号	(19)
二、调角信号的频谱	(20)
§ 1-5 脉冲调制信号及其频谱	(22)
一、振幅键控信号及其频谱	(22)
二、频率键控信号及其频谱	(24)
三、相位键控信号	(25)
§ 1-6 多路通信及已调信号的比较	(25)
一、频分多路及时分多路	(25)
二、已调信号的比较	(26)
练习与思考题	(27)
第二章 集成高频电路片外的主要元件	(29)
§ 2-1 导线	(29)
一、导线的类型与规格	(29)
二、导线的高频电阻	(29)
三、直导线的电感	(31)
§ 2-2 电感	(32)
一、计算线圈电感的公式	(32)
二、线圈的损耗	(34)

三、磁芯线圈	(36)
四、电感实例	(39)
§ 2-3 电容器	(40)
一、合理选用电容器	(40)
二、通信电路中常用电容器的特点	(41)
三、实际电容的等效电路	(42)
四、电容器的串、并联等效电路	(43)
§ 2-4 电阻器	(43)
一、电阻器的等效电路	(44)
二、电阻器色标表示法	(44)
§ 2-5 传输线	(45)
一、概述	(45)
二、基本分析	(47)
三、行波与驻波	(48)
四、终端开路、终端短路的传输线	(49)
五、 $\lambda/4$ 传输线阻抗变换器	(50)
六、传输线应用实例	(50)
§ 2-6 宽频带传输线变压器	(53)
一、宽频带变压器	(53)
二、传输线变压器	(53)
练习与思考题	(57)
第三章 集成高频电路片外滤波、匹配电路	(59)
§ 3-1 概述	(59)
§ 3-2 单调谐回路	(59)
一、串联谐振回路	(59)
二、并联谐振回路	(62)
三、谐振回路与信号源、负载的接入关系	(63)
四、常用的阻抗变换电路	(64)
五、回路的插入损耗	(67)
六、单调谐回路举例	(67)
§ 3-3 双调谐回路	(68)
一、概述	(68)
二、双调谐回路的谐振特性	(70)
§ 3-4 石英晶体谐振器与滤波器	(72)
一、石英晶体的特性与石英谐振器的等效电路	(73)
二、石英晶体滤波器	(75)
§ 3-5 陶瓷滤波器	(76)
一、陶瓷滤波器的等效电路	(76)
二、陶瓷滤波器的滤波特性	(78)
三、陶瓷滤波器的应用	(78)
§ 3-6 声表面波滤波器	(79)
一、声表面波滤波器的基本工作原理	(79)

二、声表面波滤波器的等效电路	(80)
三、声表面波滤波器典型参数表	(80)
四、SAWF 应用举例	(81)
§ 3-7 匹配网络	(81)
一、二端元件的 L 型网络	(82)
二、三端元件的 π 型网络	(84)
三、三端元件的 T 型网络	(87)
练习与思考题	(87)
第四章 小信号高频放大器	(90)
§ 4-1 概述	(90)
一、宽带、窄带小信号高频放大器综述	(90)
二、宽带、窄带小信号高频放大器电路	(91)
三、小信号高频放大器的分析	(92)
§ 4-2 晶体管的高频等效电路	(93)
一、晶体管混合 π 型等效电路	(93)
二、晶体管网络参数等效电路	(94)
三、 Y 参数与混合 π 型参数的关系	(96)
四、晶体管高频特性的几个频率参数	(97)
五、场效应晶体管的等效电路	(99)
§ 4-3 小信号宽频带放大器	(100)
一、共发射极宽频带放大器	(100)
二、共基极宽频带放大器	(100)
三、共集电极宽频带放大器	(101)
四、级联组合放大器	(102)
五、电感串并联补偿宽频带放大器	(104)
§ 4-4 小信号调谐放大器	(106)
一、概述	(106)
二、小信号单调谐放大器	(106)
三、双调谐放大器	(109)
四、多级小信号高频放大器	(111)
五、参差调谐放大器	(113)
§ 4-5 双栅场效应管高频放大器	(115)
一、结型场效应管高频放大器	(116)
二、双栅场效应管高频放大电路	(116)
§ 4-6 调谐放大器的稳定性	(117)
一、调谐放大器不稳定的原因	(117)
二、稳定系数的推导	(118)
三、稳定系数与电压增益的关系	(118)
四、提高放大器稳定性的措施	(119)
§ 4-7 集成高频小信号放大电路实例	(120)
一、调频中频放大集成电路	(120)
二、 μ PC1028H 型汽车收音机中频电路	(121)

三、MC1110 制成的 100MHz 调谐放大电路	(123)
练习与思考题	(124)
第五章 放大电路的噪声	(126)
§ 5-1 概述	(126)
一、什么是噪声	(126)
二、噪声的来源	(126)
§ 5-2 起伏噪声	(127)
一、电阻及阻抗的热噪声	(127)
二、阻抗回路的热噪声	(128)
§ 5-3 晶体管与场效应管的噪声	(130)
一、晶体管的噪声	(130)
二、场效应管的噪声	(131)
§ 5-4 噪声系数	(132)
一、信号噪声比	(132)
二、噪声系数	(133)
三、 N_F 与额定功率及额定功率增益的关系	(134)
四、无源四端网络的噪声系数	(134)
五、噪声温度	(135)
六、多级放大器噪声系数的分析	(135)
七、接收机的灵敏度	(136)
§ 5-5 放大器的噪声系数	(137)
一、晶体管共发射极放大器的噪声系数	(137)
二、场效应管放大器的噪声系数	(139)
三、差动放大电路的噪声系数	(139)
§ 5-6 线性系统低噪声设计的考虑	(141)
一、低噪声放大器的设计考虑	(141)
二、接收机低噪声设计考虑	(142)
练习与思考题	(142)
第六章 非线性电路分析方法	(144)
§ 6-1 概述	(144)
一、通信系统中信号的变换	(144)
二、频率变换的实现	(144)
三、典型非线性元件特性	(146)
§ 6-2 模拟乘法器的分析	(148)
一、概述	(148)
二、变跨导式模拟乘法器的基本原理	(149)
三、单片通用集成化模拟乘法器	(152)
四、专用模拟乘法电路	(153)
§ 6-3 非线性电路分析方法	(154)
一、概述	(154)
二、幂级数分析法	(154)
三、时变参量分析法	(157)

四、折线分析法	(159)
五、开关函数分析法	(161)
练习与思考题	(162)
第七章 高频功率放大器	(164)
§ 7-1 概述	(164)
§ 7-2 调谐功率放大器	(165)
一、基本电路	(165)
二、折线分析法	(166)
三、调谐功放的负载特性	(168)
四、工作状态的计算	(170)
五、放大器工作状态及导通角的调整(控制)	(172)
§ 7-3 调谐功率放大器电路	(173)
一、直流馈电电路	(173)
二、输出回路和级间耦合回路	(174)
三、实际电路举例	(175)
§ 7-4 丁类高频功率放大器	(177)
一、概述	(177)
二、电压开关型电路	(178)
§ 7-5 宽频带高频功率放大器	(180)
一、概述	(180)
二、功率合成技术	(180)
三、功率合成与分配实例	(184)
§ 7-6 包络消除与恢复功率放大器	(186)
一、原理框图	(186)
二、工作过程	(186)
§ 7-7 晶体管功率放大器的高频效应	(187)
一、概述	(187)
二、基区渡越时间的影响	(187)
三、晶体管电阻 r_{be} 的影响	(188)
四、饱和压降 V_{ce} 的影响	(188)
五、引线电感的影响	(188)
§ 7-8 晶体管倍频器	(188)
一、概述	(188)
二、倍频电路与工作原理	(189)
三、负载回路的滤波作用	(189)
练习与思考题	(190)
第八章 正弦波振荡器	(192)
§ 8-1 概述	(192)
§ 8-2 振荡器的基本工作原理	(192)
一、问题的引入	(192)
二、起振条件	(194)
三、平衡条件	(194)

四、稳定条件	(195)
五、偏置电路对振荡性能的影响	(197)
六、晶体管变压器耦合振荡电路	(199)
§ 8-3 三点式 LC 正弦波振荡电路	(200)
一、三点式振荡器的组成原则	(200)
二、电感三点式振荡电路 (哈特莱电路)	(201)
三、电容三点式振荡电路 (考毕兹电路)	(202)
四、串联改进型电容三点式振荡电路 (克拉泼电路)	(204)
五、并联改进型电容三点式振荡器 (西勒电路)	(205)
六、三点式振荡电路实例	(205)
§ 8-4 差动对管振荡电路	(206)
一、变压器耦合式差动对管振荡电路	(207)
二、双稳态式差动对管振荡电路	(207)
三、射极耦合差动振荡电路	(208)
四、场效应管振荡电路	(209)
§ 8-5 LC 振荡器的频率稳定度	(209)
一、频率稳定度概述	(209)
二、频率不稳定的分析	(210)
三、提高频率稳定度的措施	(211)
§ 8-6 石英晶体振荡器	(212)
一、石英谐振器简介	(212)
二、石英晶体振荡电路	(214)
三、晶体振荡电路举例	(216)
§ 8-7 RC 正弦波振荡器	(217)
一、 RC 选频网络	(218)
二、文氏电桥振荡电路	(219)
§ 8-8 压控振荡器 (VCO)	(220)
一、变容管压控振荡器的基本工作原理	(220)
二、应用实例	(221)
§ 8-9 负阻振荡器	(223)
一、概述	(223)
二、负阻振荡原理	(224)
三、用负阻观点讨论 LC 反馈振荡器	(225)
§ 8-10 正弦波振荡器的设计考虑	(225)
一、选择振荡电路	(226)
二、选择振荡管	(226)
三、偏置电路的确定	(226)
四、振荡回路参数的确定	(227)
练习与思考题	(227)
第九章 振幅调制及其解调	(231)
§ 9-1 振幅调制概述	(231)
§ 9-2 调幅的方法与电路	(232)

一、乘法器调幅电路	(232)
二、开关型调幅电路	(232)
三、晶体管调幅电路	(234)
§ 9-3 单边带调制	(238)
一、单边带调制的特点	(238)
二、单边带信号产生的方法	(238)
§ 9-4 振幅解调概述	(239)
§ 9-5 同步检波	(240)
一、概述	(240)
二、参考信号 v_r 的产生	(241)
三、典型电路	(242)
§ 9-6 包络检波	(242)
一、工作原理	(244)
二、指标分析	(245)
三、差动峰值检波方式(全波检波方式)	(249)
四、高频脉冲信号的检波	(249)
§ 9-7 平方律检波	(250)
§ 9-8 检波电路实例	(251)
一、广播收音机中的检波电路	(251)
二、集成同步检波电路	(252)
练习与思考题	(253)
第十章 角度调制与解调	(258)
§ 10-1 概述	(258)
§ 10-2 调频方法概述	(260)
一、直接调频	(260)
二、间接调频	(262)
§ 10-3 变容管直接调频	(262)
一、变容管的特性	(262)
二、变容管作调频器件的分析	(263)
三、电路举例	(265)
§ 10-4 其他类型直接调频	(266)
一、晶体振荡器直接调频	(266)
二、非正弦波直接调频	(267)
§ 10-5 调相法(由调相→调频)	(268)
一、移相法调相	(268)
二、可变时延法调相(脉冲调相)	(269)
三、数字信号的相位调制	(270)
§ 10-6 调角信号解调概述	(271)
一、对角度解调器的主要要求	(271)
二、鉴频的主要方法	(272)
§ 10-7 限幅器	(274)
一、二极管限幅器	(274)

二、差动对管限幅器	(275)
§ 10-8 鉴相器 (相位检波器)	(276)
一、乘积型鉴相	(276)
二、两相调相信号的解调	(277)
§ 10-9 失谐回路鉴频器	(278)
§ 10-10 集成差动峰值鉴频器	(279)
一、原理框图	(279)
二、线性变换网络	(280)
三、电路举例	(280)
§ 10-11 叠加型相位鉴频器与比例鉴频器	(281)
一、基本框图	(281)
二、典型电路	(281)
三、变换网络的分析	(283)
四、包络检波输出	(284)
五、鉴频特性曲线	(285)
§ 10-12 集成相移乘法鉴频器	(286)
一、相位比较器 (即鉴相器)	(286)
二、移相网络	(286)
三、电路举例	(287)
四、陶瓷谐振器移相电路	(288)
练习与思考题	(289)
第十一章 混频	(292)
§ 11-1 概述	(292)
一、混频与变频	(292)
二、对混频器的主要要求	(293)
三、混频器的分析方法	(293)
§ 11-2 晶体管混频器	(293)
一、基本电路	(294)
二、混频原理	(294)
三、混频器主要参数	(295)
四、实例	(296)
§ 11-3 场效应管混频器	(297)
一、混频原理	(298)
二、场效应管混频电路	(299)
三、混频电路特点	(299)
§ 11-4 集成混频电路	(300)
一、简单的差动对管混频电路	(300)
二、双差动对管模拟乘法混频电路	(301)
三、ULN-2204A 单片收音机混频及本振电路	(302)
四、MC1596 乘法器构成的混频电路	(302)
§ 11-5 晶体管平衡混频器	(303)
一、二极管平衡混频器	(303)

二、二极管环形混频器	(303)
三、差动平衡混频器	(304)
§ 11-6 组合频率干扰及非线性失真	(305)
一、组合频率干扰	(305)
二、寄生频道干扰 (组合副波道干扰)	(306)
三、非线性失真	(307)
四、减小干扰和失真的措施	(307)
§ 11-7 参量混频	(308)
一、非线性电容的能量转换原理	(308)
二、参量倍频	(309)
三、参量混频	(310)
四、参量放大器	(311)
练习与思考题	(312)
第十二章 反馈控制电路	(314)
§ 12-1 概述	(314)
一、常用的反馈控制	(314)
二、自动控制系统的模式	(314)
三、分析方法	(315)
§ 12-2 自动增益控制 (AGC)	(315)
一、AGC 的目的与要求	(315)
二、带有 AGC 电路的调幅接收机框图	(316)
三、控制放大器增益的方法	(317)
四、AGC 电路举例	(320)
§ 12-3 自动频率控制 (AFC)	(322)
一、AFC 原理框图	(322)
二、AFC 系统应用框图举例	(322)
§ 12-4 锁相环路的基本组成及数学模型	(324)
一、锁相环路的基本组成	(324)
二、鉴相器	(325)
三、环路滤波器	(325)
四、压控振荡器 (VCO)	(326)
五、锁相环路的数学模型	(327)
§ 12-5 锁相环路的基本分析	(329)
一、线性化后的环路方程	(329)
二、一阶、二阶锁相环路	(330)
三、锁相环路几个参数的比较	(331)
§ 12-6 锁相环路的应用	(331)
一、锁相环路的主要特点	(331)
二、频率合成	(332)
三、锁相混频	(334)
四、锁相调频与鉴频	(334)
五、调相波、调幅波的锁相解调	(335)

六、锁相环路在工业生产上的应用	(336)
练习与思考题	(336)
第十三章 通信系统简介	(339)
§ 13-1 概述	(339)
一、单元电路与系统	(339)
二、集成电路与系统	(339)
三、读图与系统的关系	(339)
四、读图要则	(340)
§ 13-2 发射机	(341)
一、调幅发射机	(341)
二、调频发射机	(343)
三、调频、调幅发射机实例	(344)
四、低功率单片调频发射机 (MC2831、MC2833)	(346)
§ 13-3 接收机	(348)
一、超外差接收机组框图	(349)
二、接收机的性能	(350)
三、单边带接收机	(351)
四、锁相接收机	(352)
五、单片调幅/调频收音机	(352)
六、带有 FM 高频头的 AM/FM 单片收音机	(355)
七、MC3362 单片调频接收机	(357)
八、无线寻呼机 (BP 机) 组成框图	(360)
练习与思考题	(361)
参考文献	(363)

第一章 通信系统与信号

在序言中,已经提到在集成高频电路和设备中,系统的概念是十分重要的,没有系统的知识,就不知道集成块内部电路及整机设备组成的目的与意图,也就失去了讨论问题的目标与方向。

至于信号,则是分析电路与系统的基础,不同的信号、不同的处理要求,则所需的电路就不一样。有关信号的详细分析,读者可参阅《信号与系统》等有关书籍,本书为了系统性和阅读的方便,仍要在本章内对所有信号作简略的分析与介绍。读者如果已掌握了这方面的知识,则可跳越过去。

§ 1-1 通信系统

一、通信概念

通信就是把甲方的信息(消息)不失真的传送到乙方,使乙方明白甲方意图的过程。

人们的对面交谈就是一种最简单的通信;信件、邮包的寄送也是一种通信。当然,这种简单的通信方式已远远不能满足近代通信的要求。目前,从信息的种类来看,有声音、文字、图像、数码等;从通信的距离来看,已由国内、国际的远近距离通信发展到卫星通信、星际通信;从通信的传输方式来看,有无线通信与有线通信之分;从通信的对象来看,除人与人之间的通信外,还出现了机器与机器之间的通信及人与机器间的人机对话。在计算机迅速发展及大量应用的今天,通信更显示出它的重要性。

众所周知,近代通信早已使用了电通信的方式,这种通信系统即为电信系统。随着科学技术进展,通信正在向着更高的方式——光通信发展。

简而言之,所谓通信系统,即为用电信号(或光信号)来传输信息的系统,它一般由接收、发送及信道等几大部分组成。

二、通信系统中的调制与解调

在通信、广播、遥控、遥测等许多系统中,调制与解调是必不可少的两大部件,即便是最简单的收、发系统也均如此,下面对此问题作一简单讨论。

1. 为什么要调制与解调

人们要问,在通信系统中能否将要传送的信息,如声音、图像、文字、数码等的电信号(称基带信号)直接用天线以电磁波的形式向空间辐射呢?答案是否定的。其主要原因有两点:

(1) 天线有效的发射与接收 基带信号的频率范围太宽且最低频率过低,故其波长太长。例如声音信号,其频率范围为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,对应的波长为 $15000\sim 15\text{km}$;又如我国电视图像信号,其频率范围为 $0\sim 6\text{MHz}$,对应的波长为无穷大至 50m 。根据天线理论,可以证明,天线能有效辐射或有效接收电磁波的条件是天线的尺寸应与被辐射信号的波长相比拟。因此,对

于上述波长的声音信号或图像信号是很难由天线作有效的辐射或接收的。为此，只能将这些要传送的基带信号频率提到足够高，使它的波长变到足够短，以便于天线的制作。

(2) 实现信号的多路传输 另一个原因是为了实现信号的多路传输。因为各种信息的电信号，它们的频谱有相当一部分是重叠的，甚至是完全重叠的，即使能将它们辐射到空间去，则各信号的电磁波必定混在一起，相互干扰，接收者将无法选取所需电台的信号。因此，无线电通信（包括农村有线载波广播）均设法将要传送的基带信号调制到（装载到）一个频率较高或很高的高频信号上去，由高频电磁波将基带信号“携带”到空间去，就像用火车运送货物差不多。而且，人们还可以选用不同频率的高频电磁波，以避免它们之间的相互干扰，使接收者很容易选出所需之信号。例如，中波广播、电台的载频（即高频）有的为 640kHz，有的为 828kHz，也有的为 1180kHz；又如电视广播，二频道的图像载频为 57.75MHz，二频道的伴音载频为 64.25MHz，二者相差 6.5MHz。

发送端（电台）既然要将所需传送的基带信号（音频、视频、数码等）的频率搬移到一个频率较高的载频上去（这个过程即为调制），接收机就应该将所需信号从载频上解调出来（检出、恢复出）。这一调一解是通信、广播系统中不可缺少的两大过程。

2. 怎样实现调制

如何利用高频信号“携带”基带信号呢？或者说，如何将原始信号的频率升高到某一值，而又保持信号本身的性质呢？

由付里叶变换中的频谱搬移特性可知，任何信号如果乘上一个高频余弦信号（或正弦信号），则可将这一信号的频谱不失真地搬移到该高频信号的频率两侧。这一频谱搬移的理论就是幅度调制的基础。

上面提到的“携带”就是调制的概念，其中的高频信号（电压或电流）通常为正弦或余弦信号，它的瞬时表达式为

$$v(t) = V\cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1-1)$$

式中， V 为振幅， ω_0 为角频率， φ_0 为初相角，它们是正弦信号的三大参量。

如果用要传送的基带信号去控制上述 3 个参量之一，使其按照基带信号的变化规律而变化，则就实现了调制。通常称基带信号为调制信号，称高频信号为载频信号或载波。

3. 调制方式分类

根据调制信号控制高频信号 3 个参量的不同，调制可分三大类。

第一类为振幅调制（AM），或简称为调幅。它是用调制信号去控制高频载波的振幅 V ，使其随调制信号的变化而变化。振幅调制又可细分为普通振幅调制、抑制载频的平衡调幅制、单边带调幅制及残留边带调幅制等多种。中短波广播采用的是普通调幅制，电视图像信号采用的是残留边带调幅制。

第二类为频率调制（FM），简称为调频。它是用调制信号去控制高频载波信号的角频率 ω_0 （即频率 f_0 ），使其随调制信号变化而变化。调频广播、电视伴音信号均采用调频制。

第三类为相位调制（PM），简称为调相。它是用调制信号去控制高频载波信号的相位 φ_0 ，使其随调制信号变化而变化。

如果调制信号为 0、1 组成的数码，也可用它们对高频载波信号的幅度、频率、相位进行调制，分别称为幅度键控（ASK）、频率键控（FSK）、相位键控（PSK）。这类调制统称为脉冲调制，随着计算技术的发展，数字通信设备、数字广播设备必将大量涌现。

调制后的信号是已调高频信号，称为已调波或已调信号。不同的调制信号或不同的调制方式，所得的已调信号其性质也各不相同。本章就它们的波形、频谱、频带宽度、相位关系等作一简单讨论，至于调制的具体方法与电路将在以后各章中逐一介绍。