

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

高频电子线路

■ 主 编 孙景琪
■ 主 审 罗伟雄
■ 副主编 赛景波 曹小秋 司鹏搏

· · · · · ·
· · · · · ·
· · · · · ·
· · · · · ·
· · · · · ·
· · · · · ·
· · · · · ·

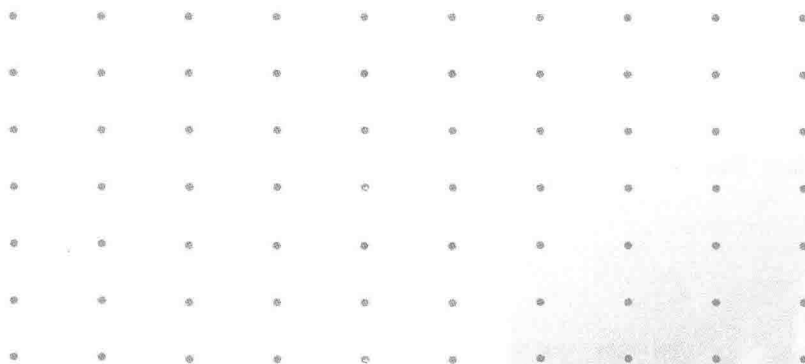
教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

高频电子线路

■ 主 编 孙景琪

■ 主 审 罗伟雄

■ 副主编 赛景波 曹小秋 司鹏搏



高等教育出版社·北京

内容简介

本书为北京市首批精品教材。为适应教育改革和工程教育之需,在数十年教学实践和科研积淀的基础上,历经多次修改,本着以案例为先导、追溯知识源头、讲清电路原理、理清分析方法、弄懂实际电路、学会工程应用为宗旨和目标,展开全书各个章节。

全书分为十一章,分别论述了高频电子线路(也可称为通信电路)的典型案例、元件的高频特性、放大、振荡、调制与解调、混频、反馈控制等主要内容,叙述力求深入浅出,简洁明了。

本书适合作高等院校电子信息、通信、自动化、电子科学与技术、医疗电子、电气、物理等众多专业的“通信电路”、“高频电子线路”等课程的教材,尤其适合作卓越工程师和创新模式的工程教育教材,也可作为相关工程训练与论证、电路与系统电子产品设计者及工程技术人员的教本或参考书。本书以“高频电子线路”命名,以更适应电子技术发展和多个专业的需求。

图书在版编目(C I P)数据

高频电子线路/孙景琪主编. --北京:高等教育出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-04-044032-4

I. ①高… II. ①孙… III. ①高频-电子电路-高等学校-教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247145 号

策划编辑 平庆庆	责任编辑 平庆庆	封面设计 赵 阳	版式设计 童 丹
插图绘制 杜晓丹	责任校对 胡美萍	责任印制 毛斯璐	

出版发行 高等教育出版社	咨询电话 400-810-0598
社 址 北京市西城区德外大街 4 号	网 址 http://www.hep.edu.cn
邮政编码 100120	http://www.hep.com.cn
印 刷 北京北苑印刷有限责任公司	网上订购 http://www.landaco.com
开 本 787mm × 1092mm 1/16	http://www.landaco.com.cn
印 张 23	版 次 2015 年 12 月第 1 版
字 数 570 千字	印 次 2015 年 12 月第 1 次印刷
购书热线 010-58581118	定 价 35.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44032-00

序

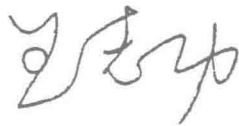
自1999年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过2~3年的试用,形成适用于本层次教学的教材。
3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。
4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010年12月

前言

本书的初稿于1994年出版,1997年获北京市教学成果二等奖,第二版于2003年出版,2007年被评为北京市精品教材。20多年来,本书作为众多院校本科生的教材使用,起到了应起的作用。本书以“高频电子线路”命名,以更适应电子技术的发展和众多专业的需求。

随着电子技术的飞速发展、教育改革的深入、工程教育的回归,对电子线路的教育、特别是对高频电子线路的教学提出了更高的要求,赋予了更新的使命,教材改革已是当务之急、重中之重。

高频电子线路是众多院校、众多专业的一门主要专业基础课,也是一门理论较深、知识较广、电路繁多、调测不易、实践丰富、不易掌握的所谓“难教难学”的课程。而众多的通信、广播、电视、测量、军事、医疗、汽车、网络、物流、机电、环化等领域中的电子产品、电子设备又都离不开这类电路,对这方面的人才需求也十分迫切。因此一本好的高频电子线路教材将是十分重要的。为此,笔者根据自己50余年来在电子信息技术、特别是在高频电子线路和电子工程设计的教学和科研中的体验,并结合诸位同仁和新秀的教学和科研积淀,逐步形成了本版教材改革的思路并付之教学实践,历经多次修改,终成之拙作。

在前两版的基础上,本版教材对主体内容作了优化处理,对结构作了适当变动,对总体量作了约10%的压缩,并增加了许多新型的适用性电路。教材特别注重电路与系统之关系、系统与信号之关系的讨论,注重各电路在典型电子设备(如信号源、通信、广播、RFID系统等)设备中位置、作用等的描述,使学生先见森林,再见树木,先看全景,再看特写,解决学生“学电路有何用?”的老问题,将学习的主动权尽可能交给学生,这也将有利于自学的开展。教材以实际电路和新型电路为案例,加强等效电路的绘制与电路性能参数的分析与计算,并在第二章和附录中对元件的高频特性和高频电路设计中的几个实际问题作了较为详细的讨论,为读者在设计电路、调测电路时提供更多的思考和解决方案,实践表明,这些内容对学生的工程实践能力的培养起到了很好作用。

目前,高频电子线路(或通信电路)的教学学时一般在48~64之间,本教材也按此范围设计,其中:

第一章为全课程的综述。以案例为先导,较为详细地介绍高频电子线路在相关电子设备中的位置、作用及相互关系,并对各类调制信号作了必要的论述,使电路、信号与系统融为一体。本章为全书之纲,为教学之重点内容。

第二章介绍了电路主要元件的高频特性。内容以自学为主,教师可作适当引导。

第三章、第四章为高频小信号放大电路及放大电路的噪声。重点在放大器小信号交流等效电路的绘制、分析与计算,并介绍了许多新型的实用电路。放大器的噪声单独成章,以利于工程实践。

第五章为非线性电路分析方法。以模拟乘法器实现调制、解调、混频等频率变换之功能,这是全书后六章之纲,也是重点内容。

第六章为高频功率放大电路。本章削减了部分传统内容,增加了许多新电路、新案例。

第七章为正弦振荡电路。重点在振荡的起振条件、平衡条件、稳定条件的论述及各 LC 三点式振荡电路的分析,强调电路读图和等效电路的绘制以及电路主要参数的计算(设计)。

第八章、第九章为振幅调制与解调、角度调制与解调。重点在乘法器的调幅与解调及大信号包络检波、频率调制、解调方法与电路的论述。两章均以集成电路为主。

第十章为混频。这一内容在通信、广播、电视(卫视信号收发)、测量等系统中十分重要,单独成章,以示重视。本章重点在混频概念的建立及混频方法与电路的论述。

第十一章为反馈控制系统。重点在 AGC 的控制方法、应用电路的分析及锁相环路的工作原理与实际应用系统的讨论。

本书的附录中,介绍了“高频电路设计中的几个问题”、“部分高频收发集成模块的型号及相关资料”等内容,这些资料对电路与系统的工程设计会有不少帮助。

在本书的编著、出版过程中,贾克斌教授、吴强教授、尤明厚博士、王卓峥博士、周洪直高工、汪啸云高工、严峰高级实验师及孙京、王皓、刘杰等诸位老师均给予巨大支持与帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

本书承北京理工大学罗伟雄教授主审,罗教授对书中许多问题提出了宝贵的意见和建议,对此作者表示最诚挚的谢意。

由于作者水平所限,书中不免有不妥或差误之处,恳请使用本教材的师生与其他读者批评指正,将十分感激。作者联系方式:13718591111, saijingbo@bjut.edu.cn.

编著者

2015 年 10 月 15 日

目 录

第一章 高频电路系统与信号	1	公式	30
§ 1-1 常见的电子设备系统举例	1	二、电感器的寄生电容	32
一、信号源小系统	1	三、电感线圈的品质因数 Q 及	
二、无线调幅广播系统	2	串并联等效	33
三、调制与解调	4	习题	35
§ 1-2 通信系统中的基本信号	7		
一、电信号	7	第三章 小信号高频放大器	37
二、信号的表示方法	8	§ 3-1 概述	37
三、常见信号的波形与		一、宽带、窄带小信号高频	
频谱举例	10	放大器综述	37
习题	11	二、宽带、窄带小信号高频	
		放大器电路	38
第二章 电路主要元件的高频特性	13	三、小信号高频放大器的	
§ 2-1 导线	13	分析方法	39
一、导线及导线的高频电阻	13	§ 3-2 晶体管的高频等效	
二、直导线电感	15	电路	39
§ 2-2 传输线	16	一、晶体管混合 π 形等效	
一、概述	16	电路	39
二、基本分析	18	二、晶体管网络参数等效	
三、行波与驻波	19	电路	41
四、传输线的应用	20	三、 Y 参数与混合 π 形参数的	
§ 2-3 宽频带传输线变压器	23	关系	43
一、1:1 宽频带传输线变压器	23	四、晶体管高频特性的几个	
二、1:4 和 4:1 传输线变压器	25	频率参数	43
三、例题	26	五、场效应晶体管的等效	
§ 2-4 电阻器、电容器及其高频		电路	45
特性	27	§ 3-3 LC 谐振电路	46
一、常用电阻器及其分类	27	一、 LC 并联谐振电路	46
二、电阻器的等效电路	27	二、 LC 串联谐振电路	51
三、电容器的频率特性	28	§ 3-4 石英晶体等滤波元件	54
四、电容器的串、并联等效		一、石英晶体谐振器与	
电路	30	滤波器	55
§ 2-5 电感器及其高频特性	30	二、陶瓷滤波器	57
一、空心线绕电感器的计算		三、声表面波滤波器	57

四、螺旋滤波器	61	增益的关系	99
§ 3-5 小信号宽频带放大器	61	四、无源二端口网络的噪声	
一、级联组合放大器及负反馈		系数	100
放大电路	61	五、噪声温度	100
二、电感串并联补偿宽频带		六、多级网络的噪声系数	101
放大器	63	七、接收机的灵敏度	102
§ 3-6 小信号调谐放大器	68	§ 4-5 放大器的噪声系数	103
一、概述	68	一、晶体管共发射极放大器的	
二、小信号单调谐放大器	68	噪声系数	103
三、双调谐放大器	76	二、场效应管放大器的噪声	
四、多级小信号高频		系数	105
放大器	78	§ 4-6 线性系统低噪声设计的	
五、参差调谐放大器	80	考虑	105
六、双栅场效应管高频		一、低噪声放大器的设计	
放大器	83	考虑	105
§ 3-7 放大器的稳定性	84	二、接收机低噪声设计考虑	106
一、放大器件内部反馈所造成的		习题	107
不稳定及解决方法	84		
二、外部因素的影响及解决		第五章 非线性电路分析方法	108
方法	85	§ 5-1 概述	108
三、环境温度变化对放大器工作		一、通信系统中信号的频率	
稳定的影响	86	变换	108
习题	87	二、典型非线性元件特性	109
第四章 放大电路的噪声	90	三、频率变换的实现	110
§ 4-1 概述	90	§ 5-2 模拟乘法器的分析	112
一、噪声	90	一、概述	113
二、噪声的来源	90	二、可变跨导式模拟乘法器的	
§ 4-2 起伏噪声	91	基本原理	113
一、电阻及阻抗的热噪声	91	三、单片通用集成化模拟	
二、阻抗回路的热噪声	92	乘法器	119
§ 4-3 晶体管与场效应管的噪声	95	§ 5-3 非线性电路分析方法	119
一、晶体管的噪声	95	一、概述	119
二、场效应管的噪声	96	二、幂级数分析方法	120
§ 4-4 噪声系数	97	三、时变参量分析法	123
一、信号噪声比	97	四、折线分析法	125
二、噪声系数	98	五、开关函数分析法	127
三、 N_f 与额定功率及额定功率		习题	128

第六章 高频功率放大器	130	影响	162
§ 6-1 概述	130	四、引线电感的影响	162
§ 6-2 调谐功率放大器	131	§ 6-7 倍频器	163
一、基本电路	131	一、概述	163
二、调谐功率放大器的分析		二、倍频电路与工作原理	163
方法	132	三、负载回路的滤波作用	164
三、调谐功率放大器的负载特性		四、乘法倍频实例	164
(动态特性)	134	习题	165
四、甲、乙、丙三种工作状态下			
i_c 、 v_{ce} 的波形	135	第七章 正弦波振荡器	168
五、工作状态的计算	136	§ 7-1 概述	168
六、放大器工作状态及导通角的		§ 7-2 振荡器的基本工作	
调整	138	原理	169
§ 6-3 调谐功率放大器电路	139	一、问题的引入	169
一、直流馈电电路	139	二、起振条件	169
二、输出电路和级间耦合		三、平衡条件	171
电路	141	四、稳定条件	171
三、实际电路举例	146	§ 7-3 三点式 LC 正弦波振荡	
§ 6-4 丁类(D类)和戊类(E类)		电路	173
高频功率放大器	147	一、三点式振荡器的组成	
一、丁类(D类)高频功率		原则	174
放大器	148	二、电感三点式振荡电路	
二、电压开关型电路	148	(哈特莱电路)	174
三、戊类(E类)高频功率		三、电容三点式振荡电路	
放大器	150	(考毕兹电路)	176
§ 6-5 宽频带高频功率		四、串联改进型电容三点式	
放大器	153	振荡电路(克拉波电路)	177
一、概述	153	五、并联改进型电容三点式	
二、功率合成与功率分配		振荡电路(西勒电路)	178
技术	153	六、三点式振荡电路实例	179
三、功率合成与分配实例	157	七、场效应管振荡器	182
四、不用传输线变压器的宽频带		§ 7-4 集成电路 LC 振荡器	183
高频功率放大电路	159	一、运放式 LC 正弦波振荡器	183
§ 6-6 晶体管功率放大器的高频		二、差分对管 LC 振荡器	184
效应	161	三、单片集成电路 LC 振荡器	184
一、概述	161	§ 7-5 LC 振荡器的频率	
二、基区渡越时间的影响	162	稳定性	185
三、晶体管参数 $r_{bb'}$ 及 V_{CES} 的		一、频率稳定度概述	185

二、频率不稳定的分析	186	带调幅	219
三、提高频率稳定度的措施	187	一、单边带调制(SSB)的	
§ 7-6 石英晶体振荡器	189	特点	219
一、石英谐振器简介	189	二、单边带信号产生的	
二、石英晶体振荡电路	191	方法	219
三、石英晶体振荡电路举例	192	三、残留边带调幅(VSB)	220
§ 7-7 RC 正弦波振荡器	194	§ 8-4 振幅解调概述	221
一、RC 选频网络	194	§ 8-5 同步检波	222
二、文氏电桥振荡电路	195	一、概述	222
三、集成化单片函数发生器式 RC		二、参考信号 v_r 的产生	224
正弦波振荡器	198	三、叠加型同步检波器	224
四、硅振荡器	199	四、典型应用电路	224
§ 7-8 负阻振荡器	200	§ 8-6 包络检波	226
一、概述	200	一、工作原理	226
二、负阻振荡原理	201	二、指标分析	227
三、用负阻观点讨论 LC 反馈		三、并联型二极管包络检波	
振荡器	202	电路	230
四、负阻振荡器实例		§ 8-7 检波电路实例	230
(集成型)	202	一、广播接收机中的检波	
§ 7-9 正弦波振荡器的		电路	230
设计考虑	203	二、集成化同步检波电路	231
一、选择振荡电路	204	§ 8-8 平方律检波与平均值	
二、选择振荡管或集成芯片	204	检波	232
三、偏置电路的确定	204	一、小信号平方律检波	232
四、振荡回路参数的确定	205	二、平均值(均值)检波	234
习题	205	§ 8-9 正交幅度调制与解调	235
第八章 振幅调制及其解调	209	一、概述	235
§ 8-1 调幅信号及其频谱	210	二、正交幅度调制的电路组成	
一、普通调幅信号	210	框图	236
二、抑制载频的双边带调幅		三、正交调幅信号的解调	236
信号	213	四、ASK 调幅数码信号的	
三、单边带调幅信号	214	解调	237
四、残留边带调制信号	215	§ 8-10 ASK 简述	238
§ 8-2 调幅的方法与电路	215	习题	239
一、乘法器调幅电路	216	第九章 角度调制与解调	244
二、晶体管调幅电路	217	§ 9-1 调角信号及其频谱	244
§ 8-3 单边带调幅与残留边		一、调频及调相信号的	

分析	244	§ 9-11 数字信号调角与解调	275
二、调角波的频谱	246	一、频率键控信号及其频谱	275
三、调频、调相的比较	247	二、相位键控信号	276
§ 9-2 变容管直接调频	249	三、两相调相信号(2PSK)的 解调	278
一、变容管的特性	249	习题	279
二、变容管作调频器件的 分析	250	第十章 混频	283
三、电路举例	252	§ 10-1 概述	283
§ 9-3 其他类型直接调频	254	一、混频与变频	283
一、晶体振荡器直接调频	254	二、混频器的类型与分析 方法	284
二、非正弦波直接调频(脉冲 频率调制 PFM)	255	三、对混频器的主要要求	285
三、集成电路直接调频电路	256	§ 10-2 晶体管混频器	285
§ 9-4 调相法(由调相→调频)	258	一、基本电路	286
一、间接调频	258	二、混频原理	286
二、移相法调相	259	三、混频器的主要参数	288
三、可变时延法调相(脉冲 调相)	260	四、实例	289
§ 9-5 调角信号解调概述	261	§ 10-3 场效应管混频器	291
一、对角度解调器的主要 要求	261	一、混频原理	291
二、鉴频的主要方法	261	二、场效应管混频(变频) 电路	292
§ 9-6 鉴相器(相位检波器)	264	三、场效应管混频电路的 特点	293
一、正交乘积型鉴相	264	§ 10-4 集成混频电路	294
二、大信号门电路鉴相原理	265	一、简单的差分对管混频 电路	294
§ 9-7 失谐回路鉴频器	266	二、MC13143、MAX2680 集成混 频电路	294
§ 9-8 集成差分峰值鉴频器	267	三、MC1596、AD835 乘法器构成的 混频(变频)电路	296
一、原理框图	267	四、简易信号频谱分析仪中的 混频	297
二、线性变换网络	268	§ 10-5 组合频率干扰及非线性 失真	298
三、电路举例	269	一、组合频率干扰	298
§ 9-9 集成相移乘法鉴频器	270	二、寄生频道干扰(组合副波道 干扰)	299
一、相位比较器(即鉴相器)	270		
二、移相网络	270		
三、电路举例	271		
四、陶瓷谐振器移相特性	273		
§ 9-10 限幅器	273		
一、二极管限幅器	274		
二、差分对管限幅器	274		

三、非线性失真	300	三、直接式数字频率合成器	
四、减小干扰和失真的		(DDS)	328
措施	301	四、锁相混频	331
习题	301	五、锁相调频与鉴频	332
第十一章 反馈控制电路	304	六、调相波、调幅波的锁相	
§ 11-1 概述	304	解调	332
一、常用的反馈控制	304	七、锁相环路在工业生产上的	
二、自动控制系统的模式	304	应用	333
三、分析方法	305	习题	334
§ 11-2 自动增益控制(AGC)	306	部分习题答案	336
一、AGC 的目的与要求	306	附录 1 常用周期信号的波形及其幅度	
二、带有 AGC 电路的调幅接收机		频谱	339
框图	306	附录 2 电信号频段(波段)划分	
三、控制放大器增益的方法	307	概况	341
四、控制电压 V_{AGC} 产生的		附录 3 倍数与分贝数对照表	343
方法	314	附录 4 若干电流模运算放大器的	
§ 11-3 自动频率控制(AFC)	316	型号与参数	344
一、AFC 原理框图	316	附录 5 部分无线收发集成模块的	
二、AFC 系统应用框图举例	317	型号及相关资料	346
§ 11-4 锁相环路的基本组成及		附录 6 半导体三极管(BJT)的分类及	
数学模型	318	例型	350
一、锁相环路的基本组成	318	附录 7 小电感结构参数及贴片电感器	
二、鉴相器	319	(部分)	352
三、环路滤波器	319	参考文献	354
四、压控振荡器(VCO)	320		
五、锁相环路的数学模型	320		
§ 11-5 锁相环路的基本分析	323		
一、线性化后的环路方程	323		
二、一阶、二阶锁相环路	324		
§ 11-6 锁相环路的应用	324		
一、锁相环路的主要特点	325		
二、频率合成器	325		

在高频电路(或通信电路)与相关设备中,系统的概念是十分重要的。就系统而言,它是一个由多个功能电路按一定要求所组成、能独立实现某一功能的装置、设备或体系,小至一个振荡系统、放大系统、自动增益控制系统,大到一个通信系统、电视广播系统、计算机系统、电子测量系统等。学习、掌握系统的概念和相关知识是学好高频电路的必要前提。要认识、设计一个电子产品,走通或弄清一张电路图,首先要从系统组成(组成框图)着手,然后才能深入到具体电路。这种由森林到树木,由全景到特写、由上至下认识事物的方法是近代电子产品设计的重要思想。

在掌握了电子设备或产品的系统组成和结构后,再深入其内部,弄清信号的流通与变换是非常必要的。因为任何电的系统都是在对不同信号进行不同的处理与变换。信号不同,系统也不同,所用的电路也各异。如广播系统,就是要对人的声音或音乐信号进行放大等处理,并转换成调幅(AM)信号或调频(FM)信号,再由天线以电磁波的形式发射至空间,收音机的天线再将空间的电磁波接收下来,进行选频(选台)、放大、混频、解调,还原出原音频信号,送扬声器(喇叭)发出声音。若传播的不是声音,而是图像,则信号就是频带较宽的视频信号,收发这种信号的系统就变成了电视广播系统,当然,其所用的电路也大大区别于语音广播系统。

所以,在学习高频电路时,首先要弄清相关的高频信号,相关的系统组成,然后才是电路,它们三者是紧密相关,缺一不可的,单单学习电路,而不知其用于何处,不知其在系统中的地位与作用是片面的、无益的。本教材特别注意这方面问题的论述。

还有一点要说明的是:在近代的电子设备与系统中,智能控制已不可缺少,数字电路、计算机的软、硬件已嵌入其中,模拟电路、数字电路、计算机控制小系统等已融合在一起,只强调高频电路已不合时宜。但不可否认,高频电路在通信、广播、电视、遥控遥测、家用电器、医疗设备、电子测量、工业装备等设备与系统中具有不可替代的作用。

对于电子信息工程、通信工程、电子测量、生物医学工程、广播电视工程等专业的学生,已在“信号与系统”或“线性系统”等课程中学习了信号,但对信号的应用,特别是在高频系统中的信号及其变换所涉甚少,为了更好地学习以后各章内容,掌握好各种高频电路,这里仍要对高频信号作简单的介绍。

电路、系统是信号流通与变换的载体,本章要以常见的信号源小系统、通信广播系统、射频识别(RFID)系统等为例,说明它们三者之间的关系。

§1-1 常见的电子设备系统举例

一、信号源小系统

信号源也称为信号发生器,它可以产生正弦波、方波等信号输出,是教学、科研、生产中不可

缺少的一种电子设备,其系统组成原理框图如图 1-1 所示。

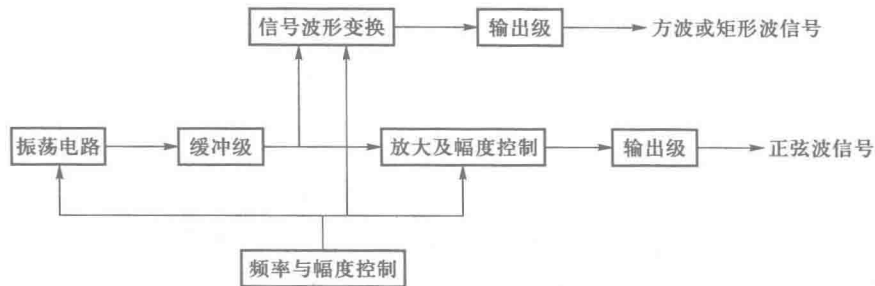


图 1-1 信号源电路组成框图之一

图中:

振荡电路——作用是产生某一频率的正弦波信号,具体电路可以是 RC 型、 LC 型、DDS 型等,其频率可用手动控制,也可用单片机等智能控制。

缓冲级——起隔离作用,削弱后级电路对振荡电路的影响,常用射极跟随电路或同相运算放大电路实现。

放大及幅度控制——控制输出信号幅度的方法有多种,可以是智能方式,也可以是手动非智能方式。

输出级——要求此级的输出阻抗低、带载能力强,输出电压稳定,常用射极跟随放大电路或同相运算放大电路实现。

波形变换电路——将正弦波转换成方波或矩形波输出,常用比较器或施密特电路实现。

频率或幅度控制——传统的信号源中,常用机械式手动控制,近代的信号源中,几乎都用单片机、嵌入式、FPGA 等智能化控制方式。

二、 无线调幅广播系统

常见的无线调幅广播系统是由发(发射机)、收(接收机)两大部分组成,下面简述之。

1. 调幅广播发射机组成的原理框图

如图 1-2 所示为无线电广播发射机的原理框图。下面对框图中的各部分作一简单说明。

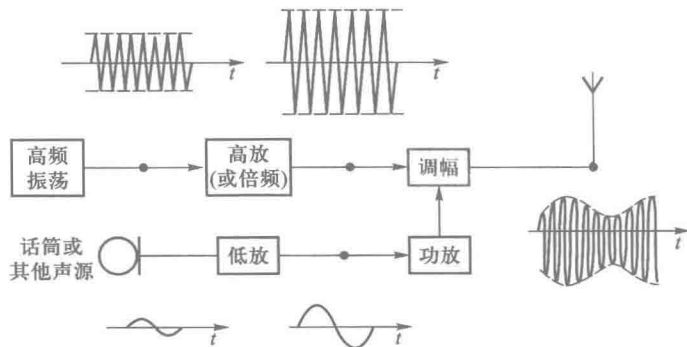


图 1-2 无线电广播发射机原理框图

高频振荡器也称载频(波)振荡器。它能产生等幅高频正弦信号,这个信号的频率可能就是广播电台的频率,如中波的 640 kHz、828 kHz,短波的 6 MHz、18 MHz 等。

放大器或倍频器对高频振荡器产生的信号进行放大或倍频。倍频的目的是为了使振荡器输出信号的频率升至所需之值。

话筒是将声音变为音频电信号,作为调制信号的信息源,也可用录音机等其他信息源代之。

音频放大器能对音频信号进行不失真的电压或功率放大,以满足调制器的要求。

调制(调幅)器是一个非线性部件,以调制信号去控制高频信号的振幅,使其随音频信号的变化而变化。调制后的信号可直接由天线发射出去,也可经高频功率放大器放大再送至天线发出。

发射天线能将已调制的高频信号转换成相应的电磁波,辐射到自由空间中去。天线的形状、尺寸与高频信号的波长有密切关系,它是发射机与信道间的接口,对整机的功率、效率等项指标有直接关系。理论与实验表明,能有效发射或接收电磁波,其天线的尺寸应与被发射信号波长相比拟(约为波长的几分之一)。

2. 调幅广播接收机组成的原理框图

如图 1-3 所示为无线电广播接收机组成框图。下面对图中主要部分作一简单说明。

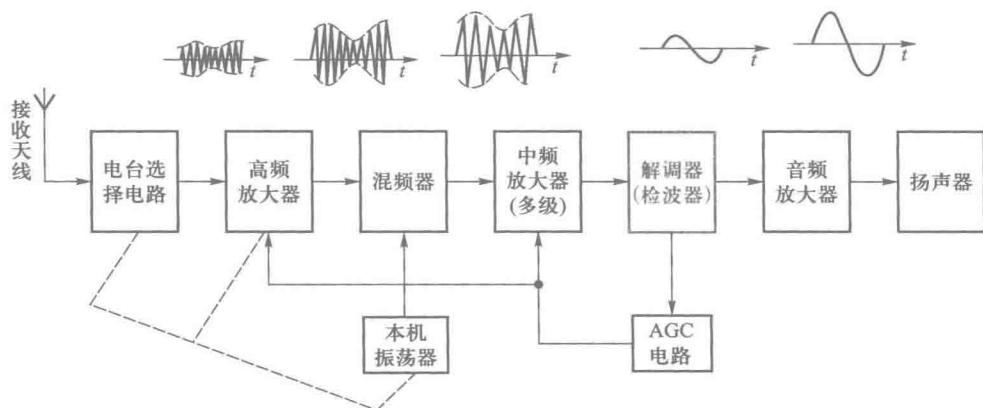


图 1-3 无线电广播接收机组成框图

接收天线能接收自由空间传播来的电磁波,并将它转换为已调高频信号。接收天线是信道与接收设备之间的接口,它的质量好坏,对接收机的性能指标会有很大影响。

输入回路又称天线回路。它是一选频电路,主要起选择电台和阻抗匹配作用。因为在同一时刻内,接收天线的接收环境中有许许多多不同发射台发来的无线电信号,所以,必须要用选择性电路才能将所要接收的电台信号选出。任何一种无线电接收设备,都少不了电台信号选择电路。

高频信号放大器简称高放电路,由接收天线所获得的信号是十分微弱的,常在微伏级或是毫伏级范围,因此必须经过放大。电视接收机、雷达接收机、无线电话机等均加有高频放大电路,但在级别较低的广播收音机中,大都没有高频放大器,由输入回路送出的信号直接加到混频电路。

本机振荡器又称本地振荡器,通常是一个 LC 正弦波发生电路,给混频器送出一个等幅的高

频振荡信号。在超外差式接收机中,本机振荡的频率通常比从天线回路选出的已调高频信号的载频高出一个中频值。

混频器是一非线性电路,它可将本机振荡器送来的高频信号和由高频信号放大器送来的已调高频信号进行差频,产生一已调中频信号,但信号的调制规律保持不变。例如,我国规定中短波接收机的中频频率是 465 kHz,如果要接收载频为 640 kHz 的中波电台信号,则本机振荡器要产生一频率为 1 105 kHz 的高频信号,混频器则要完成 $(1\,105 - 640)\text{kHz} = 465\text{kHz}$ 的差频功能。混频的目的是为了将不同电台的已调高频信号的载频差成一个固定的中频频率,但仍保持信号的原调制特征,这种接收机称为超外差接收机。这种措施可以大大改善无线电接收设备的性能,其详细情况以后进行论述。

中频放大器能将混频器送来的已调中频信号按需进行放大。

解调器也是非线性电路,任务是从已调制的中频信号中解调出(还原出)原调制信号。如从调幅信号中解出音频信号,则解调器称为检波器;如从调频信号中解调出音频信号,则解调器称为鉴频器或频率检波器。

音频放大器包括音频电压放大器和功率放大器。任务是将解调器送来的音频信号进行不失真的放大,以满足不同扬声器的要求。

扬声器能将音频电信号转换成声音。这是接收机的终端设备,既然是终端设备,也可用其他装置,如录音机、记录仪等记录、显示所接收的信息。

AGC 是自动增益控制电路,能自动控制中频放大器、高频放大器的增益,使其随接收电台信号的增强而减小,随接收电台信号的减弱而加大。即当接收强电台信号时,AGC 电路的输出信号能使中放、高放的增益自动减小;反之,则自动加大。

上述的无线电广播系统的收、发方框简图,基本上也适用于其他无线电通信系统,如无线电话、无线话筒、遥控、电视广播等系统。另外,上述方框图中,除音频放大等以外的主要组成部分都属于高频电子线路课程的内容,也是本书论述的重点。

三、调制与解调

1. 调制与解调的必要性

人们要问,在通信、广播、电视、遥控遥测等系统中是否可将语音、图像、数码等音视频信号(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:

第一是天线的有效发射与接收。基带信号的频率范围太宽且最低频率过低,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 $15\,000 \sim 15\text{km}$;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,是很难由天线进行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,从而使它的波长变到足够短,以便于天线的制作。

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叠在一起,相互干扰,接收者将无法选取所需的信号。因此,无线电通信(包括有线传输中的某些通信

与广播)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 640 kHz,有的为 828 kHz,也有的为 1 180 kHz;又如电视广播,第二频道的图像载频为 57.75 MHz,第二频道的伴音载频为 64.25 MHz,二者相差 6.5 MHz等。

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)的频率装载到一个频率较高的载频上去,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个过程。

2. 怎样实现调制

如何利用高频信号“携带”所需发送的信号呢?或者说,如何将这些信号的频率升高到某一值,而又保持信号本身的性质呢?由傅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

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

式中, V_m 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),简称为调幅。它是用调制信号去控制高频载波的振幅,使其随调制信号的变化而变化。振幅调制又可细分为普通调幅制、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。普通调幅也称标准调幅,抑制载频的平衡调幅也称双边带调幅或平衡调幅。

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),使其随调制信号的变化而变化。调频广播、电视伴音均采用调频制。

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,使其随调制信号的变化而变化。

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或数码调制。

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到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。

现将 3 种调制方式的概况列于表 1-1 中。