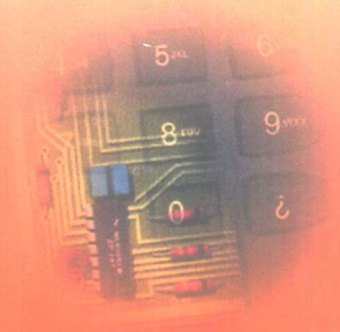


高等学校通信专业教材

通信电子线路

李棠之 杜国新 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

高等学校通信专业教材

通信电子线路

李棠之 杜国新 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书共分九章:绪论、谐振功率放大器、小信号谐振放大器、正弦波振荡器、调制与解调、变频器、反馈环路(AGC、AFC、PLL)、频率合成器和整机概念。本书的特点是加强了系统概念的内容,面向实际,适作为通信、电子技术及信息技术的本科教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/李棠之,杜国新编著. - 北京:电子工业出版社,2001.2

高等学校通信专业教材

ISBN 7-5053-6257-7

I. 通… II. ①李… ②杜… III. 通信系统-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 74429 号

丛 书 名: 高等学校通信专业教材

书 名: 通信电子线路

编 著 者: 李棠之 杜国新

责任编辑: 吕 迈

特约编辑: 沈明山

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京李史山胶印厂

装 订 者:

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 454.4 千字

版 次: 2001 年 2 月第 1 版 2001 年 4 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6257-7
TN·1396

印 数: 3 000 册 定价: 22.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

序

为培养适应信息时代需要的高素质人才,近年来,全军通信院校实施了面向 21 世纪教学改革计划,在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕成果。为及时总结和推广改革成果,从 1999 年开始,我部启动了“撰名著”工程,力求编写出一批思想性、先进性、针对性、科学性、实践性较强的“精品”教材,为培养高素质人才创造条件。

列入首批“撰名著”工程建设的教材共有 21 本,其中《数字电路与逻辑设计》、《通信电子线路》、《电磁场与电磁波》、《现代通信原理》、《现代通信技术》、《现代通信系统》等 6 本为统编教材。为确保质量,通信部集中了通信系统的院士、博士生导师和部分优秀中青年教学骨干,在统编教材的过程中,对编写纲目进行了集体审定。与以往出版的同类教材相比,这套教材具有以下特点:

体现了时代性:充分吸收新理论、新技术、新装备成果,整个知识点建立在“高”、“新”平台上,反映了本学科的发展前沿和趋势。

突出了系统性:6 本统编教材自成系列,对现代通信技术基础、原理、技术和运用等做了全面、系统的介绍,各教材内容衔接比较紧密,分工比较合理,层次分明,重点突出。

加强了实践性:在阐述理论知识的同时,注重基本技能和基本方法的讲授,并紧密结合通信建设实际,培养学员解决实际问题的能力。

注重了通俗性:概念、原理以及新技术的阐述比较精炼,深入浅出,图文并茂,便于自学。

我们希望这套教材的出版,能够有助于现代通信技术的传播,为现代通信事业的发展做出应有的贡献。

本套教材可作为高等院校通信及相关专业本、专科生课程教材,也可作为通信工程技术人员学习的参考书。

衷心地感谢为这套教材编写付出辛勤劳动的全体作者;感谢为此提供支持的院校、部队、机关的领导和有关人员;感谢电子工业出版社为本套教材的出版所付出的努力。

总参谋部通信部

2000 年 12 月

前 言

通信电子线路是从原来的高频电子线路课程演变过来的一门课程。它是一门非常贴近通信专业的基础课,着重于通信电路中常用的一些基本功能部件的原理、电路、计算及分析方法,为以后的专业课的学习打下基础。鉴于上述宗旨,本课程仍以分立元件组成的电路为主,辅以集成电路。

信息技术的发展日新月异,应该了解的知识越来越多,为了压缩授课时数及适应形势的需要,与类似教材比较,本教材将调幅与调频两部分合为一章;有关章节的繁琐推导尽量减少或只引用结论。同时为了适应新形势的发展,增加了反馈环路、频率合成器及有关整机概念等章节。

本教材由李棠之教授负责第1章至第6章的编写及统编,杜国新副教授编写第7至第9章及习题。本教材的讲义曾在重庆通信学院试用了一个学期后,征求了通信理论教研室授课教员及有关专家的意见,最后由重庆大学杨士中工程院院士及重庆通信学院何家琪教授负责审定。由于编者水平有限,书中难免有缺点与错误,恳切希望广大读者批评指正。

编者

2000年4月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 发射设备的组成	(1)
1.2 接收设备的组成	(2)
1.3 无线电波的传播	(3)
习题	(5)
第 2 章 谐振功率放大器	(6)
2.1 谐振功率放大器的工作原理	(6)
2.1.1 电路组成及工作原理	(6)
2.1.2 放大器的功率、效率分析	(8)
2.1.3 集电极电流脉冲的分析	(10)
2.2 谐振功率放大器工作状态的分析	(14)
2.2.1 谐振功率放大器的近似分析	(15)
2.2.2 谐振功放的外部特性	(17)
2.3 谐振功率放大器的电路	(20)
2.3.1 直流馈电电路	(21)
2.3.2 输出电路	(22)
2.3.3 输出电路的调整	(24)
2.3.4 推挽谐振功率放大器电路	(25)
2.4 倍频器	(26)
2.4.1 倍频器的作用	(26)
2.4.2 晶体管倍频器的特点	(26)
2.5 宽频带高频功率放大器	(27)
2.5.1 普通宽频带高频变压器存在的问题	(27)
2.5.2 传输线变压器的基本特性	(28)
2.5.3 几种常用的传输线变压器	(30)
2.5.4 宽频带功率合成技术	(32)
习题	(34)
第 3 章 小信号谐振放大器及电子噪声	(38)
3.1 高频晶体管	(38)
3.1.1 共发射极混合 π 型交流等效电路	(38)
3.1.2 Y 参数等效电路	(40)
3.2 小信号谐振放大器	(41)
3.2.1 谐振放大器在接收机中的作用	(41)
3.2.2 对小信号谐振放大器的要求	(42)

3.3	单调谐共发射极谐振放大器	(43)
3.3.1	等效电路与增益	(43)
3.3.2	通频带	(44)
3.3.3	矩形系数	(45)
3.3.4	带宽与增益的关系	(45)
3.3.5	波段平稳度	(46)
3.4	双调谐共发射极谐振放大器	(46)
3.4.1	原理电路和等效电路	(46)
3.4.2	增益	(47)
3.4.3	通频带	(48)
3.4.4	矩形系数	(49)
3.4.5	带宽与增益的关系	(50)
3.5	小信号谐振放大器的稳定性	(50)
3.5.1	共发射极放大器的最大稳定增益	(51)
3.5.2	克服内反馈的方法	(52)
3.6	多级放大器及集中选择性放大器	(54)
3.6.1	多级谐振放大器的特点	(54)
3.6.2	集中选频放大器	(56)
3.7	电子噪声与噪声系数	(59)
3.7.1	电阻的热噪声	(59)
3.7.2	电子器件的噪声	(61)
3.7.3	噪声系数与噪声温度	(62)
3.7.4	噪声系统的计算方法	(63)
3.7.5	多级线性放大器的噪声系数	(65)
3.7.6	接收机的最高灵敏度	(66)
3.7.7	减小噪声系数的方法	(67)
	习题	(67)
第4章	正弦波振荡器	(71)
4.1	反馈振荡器的工作原理	(71)
4.1.1	平衡条件	(71)
4.1.2	起振条件	(72)
4.1.3	稳定条件	(74)
4.2	LC正弦波振荡器	(76)
4.2.1	三端式振荡器	(77)
4.2.2	变压器耦合振荡器	(81)
4.2.3	场效应管振荡器	(82)
4.2.4	集成振荡器	(83)
4.3	振荡器的频率稳定	(83)
4.3.1	频率稳定的意义和表征	(83)
4.3.2	振荡器的稳频原理	(84)

4.3.3	振荡器的稳频措施	(86)
4.4	晶体振荡器	(88)
4.4.1	石英谐振器的电特性	(88)
4.4.2	晶体振荡器电路	(89)
4.5	RC和负阻正弦波振荡器	(92)
4.5.1	RC正弦波振荡器	(92)
4.5.2	负阻正弦波振荡器	(94)
4.6	振荡器中的几种现象	(97)
4.6.1	寄生振荡	(97)
4.6.2	间歇振荡	(98)
4.6.3	频率拖曳现象	(99)
4.6.4	振荡器的占据现象	(100)
	习题	(101)
第5章	调制与解调	(108)
5.1	调制信号的分析	(108)
5.1.1	振幅调制信号的分析	(108)
5.1.2	调频信号的分析	(113)
5.2	调幅信号的产生	(120)
5.2.1	AM信号的产生	(120)
5.2.2	单边带信号的产生	(124)
5.3	调幅信号的解调	(129)
5.3.1	包络检波器	(129)
5.3.2	同步检波	(138)
5.3.3	模拟乘法器	(142)
5.4	调频信号的产生	(144)
5.4.1	窄带调频(NBFM)波的产生	(145)
5.4.2	FM信号的产生方法	(145)
5.4.3	变容二极管调频电路	(146)
5.4.4	间接调频	(150)
5.5	调频波的解调	(153)
5.5.1	概述	(153)
5.5.2	相位鉴频器	(157)
5.5.3	其他形式鉴频器的介绍	(163)
	习题	(168)
第6章	变频器	(174)
6.1	概述	(174)
6.1.1	变频器的作用	(174)
6.1.2	变频器的原理方框图	(175)
6.1.3	对变频器的主要要求	(175)
6.2	晶体三极管混频器	(176)

6.2.1	典型电路	(176)
6.2.2	变频原理	(177)
6.2.3	主要指标讨论	(178)
6.2.4	工作状态的选择	(180)
6.2.5	实际电路	(181)
6.3	二极管混频器	(183)
6.3.1	单二极管混频器	(183)
6.3.2	平衡混频器和环形混频器	(184)
	习题	(186)
第7章	反馈控制电路	(188)
7.1	自动增益控制(AGC)	(188)
7.1.1	AGC电路的作用和基本原理	(188)
7.1.2	增益控制方法	(190)
7.1.3	AGC检波器	(193)
7.2	自动频率控制(AFC)	(195)
7.2.1	AFC系统的基本原理	(195)
7.2.2	AFC系统的频率微调系数	(198)
7.2.3	AFC系统的同步带与捕捉带	(199)
7.2.4	AFC系统的应用	(202)
7.3	锁相环路(PLL)	(204)
7.3.1	锁相环路的基本原理	(204)
7.3.2	锁相环路的基本部件和数学模型	(205)
7.3.3	锁相环路的性能分析	(211)
7.3.4	锁相环的应用	(222)
	习题	(226)
第8章	频率合成技术	(230)
8.1	频率合成的基本概念	(230)
8.1.1	直接式频率合成器	(230)
8.1.2	锁相式频率合成器	(232)
8.2	频率合成器的主要技术指标	(233)
8.3	可变分频器	(236)
8.3.1	可变分频器的主要技术指标	(237)
8.3.2	可变分频器的工作原理	(238)
8.3.3	脉冲吞除可变分频器	(238)
8.4	数字锁相式频率合成器	(240)
8.4.1	单环数字式频率合成器	(240)
8.4.2	双环数字式频率合成器	(241)
8.5	直接数字式频率合成器	(242)
8.5.1	DDS的基本原理	(243)
8.5.2	DDS的特点及应用	(244)

习题	(246)
第9章 通信设备整机概念	(248)
9.1 通信设备的主要技术指标	(248)
9.1.1 发信机的主要技术指标	(248)
9.1.2 收信机的主要技术指标	(251)
9.2 波段划分	(253)
9.2.1 波段划分的原因	(253)
9.2.2 波段划分的方法	(253)
9.2.3 波段覆盖的波段富余	(255)
9.3 干扰与抑制	(255)
9.3.1 概述	(256)
9.3.2 超外差接收机中的干扰	(258)
9.4 通信设备中的其他问题	(261)
9.4.1 超外差接收机的统调与跟踪	(261)
9.4.2 混频次数与中频数值的选择	(265)
9.4.3 调频通信中的加重技术与静噪电路	(267)
9.5 整机线路阅读方法	(269)
9.6 整机线路分析	(270)
9.6.1 发信机线路分析	(270)
9.6.2 收信机线路分析	(271)
习题	(273)

第 1 章 绪 论

通信电子线路是通信工程专业中一门主要的技术基础课。在信息技术不断发展的今天,人类已经进入社会网络化、网络互动化的时代。通信网已成为开发各种通信技术及通信手段的依托。在一个通信网络中,它包括传统上所说的有线通信、无线通信、光纤通信、卫星通信、移动通信、数据通信或计算机通信等等。这就要求我们不能仅限于某一个通信手段或技术上,应着眼于更宽的知识视野中。当然,目前通信技术所覆盖的内容浩如烟海,任何一门在校的课程或专业也难以有如此多的时间及篇幅将它全部阐述得详尽透彻。本门课程的宗旨是介绍信道机中所涉及的基础技术,如放大、振荡、调制与解调、变频等。并且着重于基本原理的分析。本着这个宗旨,只能以分立元件所组成的电路分析为主,辅以新的应用技术及电路的分析。这与当前大量使用集成电路或模块化的通信电路的发展趋势并无矛盾,因为只要将各种基本功能电路的基本原理弄清楚,再复杂的集成电路或模块,也都是各种基本功能电路的合成。另外,同一种功能的电路也是多种多样、变化无穷的,只有掌握其基本分析方法及原理,方能掌握其变化的规律。

信号的传输与处理一直是通信工程领域内的重要内容。通信电子线路所涉及的单元电路,都将从传输与处理信号这一基本点出发,来进行研究。

所谓通信系统,即指传输、交换及处理信息的系统,它应包括终端设备、传输设备及交换设备。视传输信道的不同,又可分为有线(通过架空明线、电缆、光纤、波导等)传播与无线(通过自由空间)传播。最简单的通信方式就是点对点的通信,双方用电话机或对讲机通过一对导线或自由空间进行通信。若实现一点对多点或多点对多点的通信,就必须要通过各种设备所组成的网络来进行,这就比点对点的通信复杂得多。这不仅要采用交换技术,还要采用频率变换及复用技术等。

无论有线通信或无线通信,其本质都是利用电磁波来传递信息的通信。目前所使用的频率可高达 10^{12} Hz,随着频率资源的不断开发,通信所利用的波段也在不断扩展。

本书的任务就是研究各种信道中发射设备和接收设备的工作原理和组成,着重讨论构成发送、接收设备的各个单元电路的工作原理、分析方法及原理线路。由于大多数的收发信设备的基本组成都类似,又限于篇幅的限制,本课程主要以无线通信电子线路的组成部件为主。

1.1 发射设备的组成

语言、文字、图像、数据等,统称为消息,收信者所得到的新知识称为信息。消息的表现形式为信号,信号是带有信息的一种物理量,如电、光、声等。若用电来传送消息,则需将消息变换为随时间变化的电压或电流,这种带有消息的电压或电流即为电信号。要完成通信,尤其是无线通信,必须产生一个高频率的载波电流,然后设法将字符或语音等消息对应的电信号“加到”此载波上,这一过程称为调制,即用一个原始电信号(调制信号)去控制一电振荡(载波)的参量的过程。调制的方法一般分为两大类:连续调制(调幅、调频、调相)及脉冲调制(脉幅、脉宽、脉位)。后者又称二次调制。

能产生射频振荡,并经调制、放大后,将输出的射频功率馈送给传输线路或天线的设备,叫做发射设备,即发射机。

发射机为完成其功能,通常都由多级组成。图 1-1-1 是一个调幅电话发射机的简化方框图,下面以此图为例,说明发射机的组成和工作原理。

振荡器产生一定频率的最初高频振荡,通常其振荡功率是很小的。倍频器主要是用以提高发射机的频率稳定度以及扩展发射机的波段范围。中间放大器的主要功用就是将小的振荡功率加以放大,供给输出功率放大器所需的激励。它通常由几级放大器构成,输出放大器的主要功用就是在激励信号的频率上,产生足够的高频功率,送给天线或传输线路。在调幅电话发射机中,振幅调制通常是在输出放大器进行。方框图中的调制器,实际上就是音频放大器,它的功用就是将话音信号放大到所需的功率,从而供给输出放大器进行调制。图上各处的信号波形就反映了上述的工作过程。

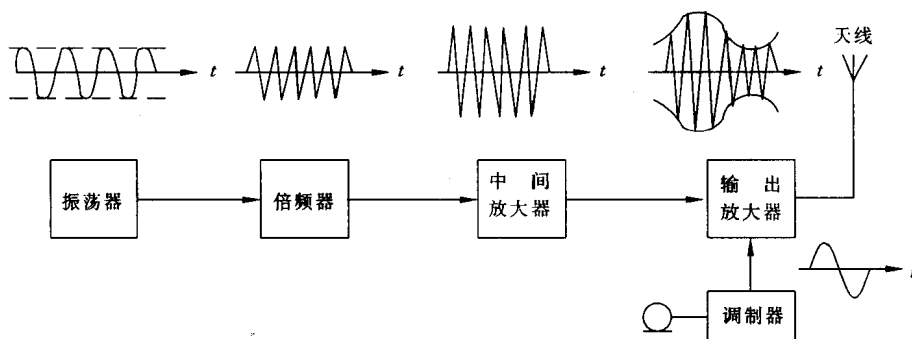


图 1-1-1 调幅发射机方框图

1.2 接收设备的组成

能将天线或传输线路送来的信号加以选择、放大、变换,以获得所需信息的设备叫做接收设备,若信号源是天线,则为无线电接收机,简称接收机。

接收机的种类很多,用途很广,但是其基本任务是相同的,即选择、放大和变换信号。

在空间每时每刻都同时存在着各种不同频率、不同强度的电磁波,其中有各个无线电台发射的,有各种电气设备产生的,有来自宇宙天体的。我们需要接收的,仅是其中之一,称为有用信号,而其他许多不需要的电磁波就是干扰。接收机的重要任务之一,就是选择信号,抑制干扰。接收机选择信号的任务是利用谐振回路对信号频率的调谐来完成的。在科学技术高度发达的今天,使用的电台越来越多,频道变得十分拥挤,特别是短波范围,这一矛盾更为突出。因此,对短波接收机选择有用信号的能力提出了更高的要求。

目前应用最广泛的无线电接收设备皆属超外差式接收机,图 1-2-1 是超外差式接收机的方框图及其各部分的电压波形。它与其他型式接收机不同的地方是在高频放大器与检波器之间增加了变频器和中频放大器,由于变频器的作用,将不同的信号频率都变成固定的频率(如信号频率范围 $1.5\sim 30\text{MHz}$ 都变成 465kHz),通常称为中频(输入的高频信号与输出音频信号之间的频率),在固定中频上进一步放大与选择,使选择性、放大量等性能得到了极大的提高。当然,由于采用变频器,也会产生新的矛盾,即受到一些特定频率信号的干扰,诸如中频干扰、镜像干扰以及其他组合干扰等,需要注意与克服。

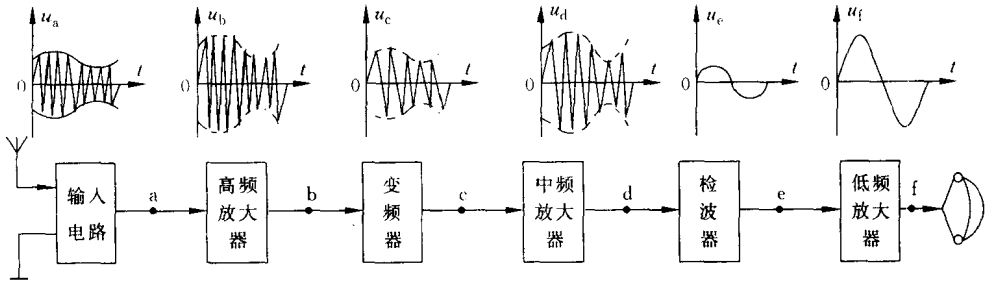


图 1-2-1 超外差式调幅接收机方框图

1.3 无线电波的传播

电磁波从发射点到接收点有以下几种传播途径：地面波、天波、空间波（包括直射波和由地面或其他地物反射的反射波），如图 1-3-1 所示，下面简述其特点。

地面波：地面波沿地球表面传播。虽然地球的表面是弯曲的，但电磁波具有绕射的特点，其传播距离与大地损耗有密切关系，工作频率愈高，衰减就愈大，传播的距离就愈短。所以利用绕射方式传播时，采用长、中波比较合适，由于地面的电性能在较短时间内的变化不大，所以电磁波沿地面的传播比较稳定。

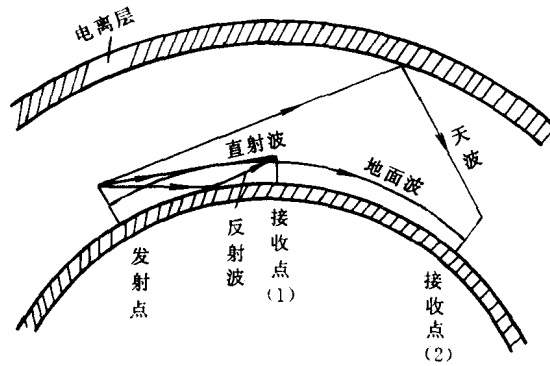


图 1-3-1 电磁波的几条传播途径

天波：天波是利用电离层的反射而进行的传播。由于太阳的照射，在距离地面高度约 100km 的高空，有一厚约 20km 的电离层，称 E 层；在距离地面高约 200~400km 处，有电离层 F 层。一般中波在夜间可经 E 层反射而传播，短波则经 F 层反射而传播，超短波由于频率过高，电离层的离子、电子密度不够大，故超短波都穿透电离层而不能反射回地面。

空间波：空间波是电磁波由发射天线直接辐射至接收天线。由于地面及建筑物等的反射亦能抵达接收天线，故空间波实际上是直射波和反射波的合成，此现象称多径传播。

表 1-3-1 和 1-3-2 概括地说明了各个无线电波波段的划分、传播特性及应用场合，供参考。

表 1-3-1 无线电波波段的划分

序号	频段名称	频率范围	波长范围	传播特性	应用场合
1	极低频(ELF)	3~30Hz	$10^7 \sim 10^8 \text{m}$	传播损耗小,通信距离远,信号稳定可靠,渗入地层、海水能力强	潜艇通信,远洋通信,远程导航,发送标准时间等级
2	超低频(SLF)	30~300Hz	$10^6 \sim 10^7 \text{m}$		
3	特低频(ULF)	300~3000Hz	$10^5 \sim 10^6 \text{m}$		
4	甚低频(VLF)	3~30kHz	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$		
5	低频(LF)	30~300kHz	1~10千米 $10^3 \sim 10^5 \text{m}$ $10^2 \sim 10^3 \text{m}$	夜间传播与VLF同,但稍不可靠,白天吸收大于VLF,频率愈高,吸收愈大,每季均有变化	除上述外,有时还可用于地下通信等
6	中频(MF)	300~3000kHz	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$	夜间比白天衰减减小,夏比冬衰减大,长距离通信不如低频可靠,频率愈高愈不可靠	广播,船舶通信,飞行通信,船港通信
7	高频(HF)	3~30MHz	$10 \sim 10^2 \text{m}$	远距离通信完全由电离层决定,每时、每日、每季都有变化,情况好时,远距离通信的衰减很小	中远距离通信与广播
8	甚高频(VHF)	30~300MHz	1~10m	特性与光波类似,直线传播,与电离层无关(能穿透电离层,不被其反射)	移动通信,电视,调频电台,雷达,导航等
9	超高频(UHF)	300~3000MHz	$10^{-1} \sim 1 \text{m}$	均属微波波段,传播特性与VHF相似	与VHF类同,还适用于散射通信,流星余迹通信,卫星通信等
10	特高频(SHF)	3~30GHz	$10^{-2} \sim 10^{-1} \text{m}$		
11	极高频(EHF)	30~300GHz	$10^{-3} \sim 10^{-2} \text{m}$		
12	至高频	300~3000GHz	$10^{-4} \sim 10^{-3} \text{m}$		

表 1-3-2 SHF 和 EHF 频段的具体划分

频段	频率(GHz)	波长(cm)
L	1~2	30~15
S	2~4	15~7.5
C	4~8	7.5~3.75
X	8~12.5	3.75~2.4
K _u	12.5~18	2.4~1.67
K	18~26.5	1.67~1.132
R	26.5~40	1.132~0.75
F	40~60	0.75~0.5
E	60~90	0.5~0.33
V	90~140	0.33~0.214

习 题

1. 试画出调幅发射机的组成方框图,并画出各组成部件输入、输出端的波形。
2. 画出超外差式调幅接收机的组成方框图,并画出各组成部件输入、输出的波形。
3. 频率为 $3\sim 30\text{MHz}$ 称()频段,它对应的波长是(),又称为()波段。
4. C 波段与 K_u 波段所对应的频率范围分别是()。

第 2 章 谐振功率放大器

通常称负载为谐振回路的功率放大器为谐振功率放大器。它主要用在发射机中放大高频功率,它既不同于小信号谐振放大器,也不同于低频功率放大器。表 2-1-1、表 2-1-2 列出了它们的异同点。它与小信号谐振放大器的相同点主要是都要求有选频特性,与低频功率放大器的相同点主要是要求输出功率大及效率要高。

表 2-1-1 低频与高频谐振功放的异同点

	低频功放	高频功放
f_{max}/f_{min}	约 1000	约 1
工作种类	甲、乙、甲乙	丙
负载	电阻或变压器	LC 回路
共同点	输出功率要大,效率要高	

表 2-1-2 小信号与大信号谐振放大器比较

	小信号放大	大信号放大
工作种类	甲	甲、乙、丙
动态范围	小	大
主要指标	增益、选择性	效率、输出功率
分析方法	等效电路法	图解法

2.1 谐振功率放大器的工作原理

本节主要包括三个内容,即线路组成及工作原理、放大器的功效关系、集电极电流脉冲的分析。

谐振功率放大器的主要特点是工作于大信号的非线性状态,对于有源器件晶体管、电子管或场效应管,要准确分析其在高频非线性区工作的情况是很困难的,从工程应用的角度看这也没有必要。在下面的晶体三极管谐振功率放大器的讨论中,将在一些近似条件下进行分析,着重定性地说明谐振功率放大器的原理与特性。

2.1.1 电路组成及工作原理

图 2-1-1 是一个共发射极谐振功率放大器的原理电路。它有三个基本组成部分:晶体管、与负载耦合的 LC 振荡回路、直流馈电电源。

晶体管放大器有两个电路,基极电路和集电极电路。图中输入和输出采用了高频变压器耦合。当然,也可采用电感、电容等其他耦合形式。高频激励电压 u_b 通过变压器 T_1 由前级获得,输出功率通过变压器 T_2 送给负载 R_L 。因考虑晶体管输出阻抗低的特点,为了不致使 LC 回路的品质因数太低,LC 回路都采用抽头接入集电极。图中 E_b 、 E_c 分别为基极和集电极的直流电源电压。 C_b 为高频旁通电容器。

电路中的 NPN 型晶体管是能量转换器件,它起着将直流电能转换为高频交流电能的作用。应该指出,晶体管的工作特性与频率有很大关系,但当工作频率 $f < 0.5f_\beta$ 时,则可不考虑晶体管的势垒电容、电极引线电感、少数载流子渡越时间等的影响。这时,可认为晶体管工作在

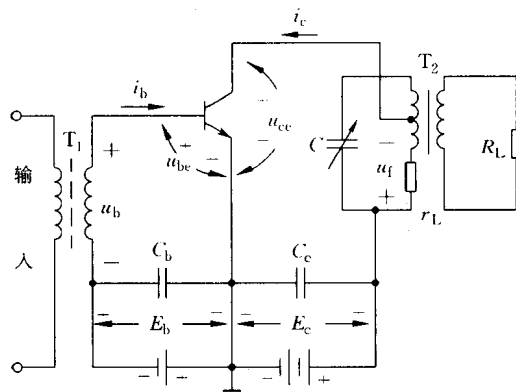


图 2-1-1 共发射极谐振功率放大器原理电路

低频区。因此,只要我们选用的晶体管特征频率 f_T 足够高 ($f_T \approx \beta_n f_\beta$), 则从工作频率范围来说, 可满足 $f < 0.5 f_\beta$ 关系。本章将只用低频区来说明晶体管谐振功率放大器的工作原理。

设基极输入一个余弦电压, 即

$$u_b = U_b \cos \omega t$$

加到晶体管基极与发射极之间的电压 u_{be} 为

$$u_{be} = E_b + U_b \cos \omega t \quad (2-1-1)$$

放大器工作在丙类状态, 因此其外加偏压 E_b 小于晶体管截止偏压 E'_b , 且 E_b 常取负值。 u_{be} 波形如图 2-1-2(a) 所示。如上节所述, 因谐振功率放大器工作在大信号状态, 故图 (b) 已将晶体管输入特性曲线近似为折线, E'_b 为截止偏压。由图可见, 当 $u_{be} > E'_b$ 时, 晶体管发射结处于正向偏置而导通; $u_{be} < E'_b$ 时, 处于反偏而截止。故基极电流 i_b 为一余弦脉冲序列, 电流的导通角为 2θ , 如图 2-1-2(c) 所示。由式 (2-1-1) 并结合图 2-1-2(a) 可求出导通角的表示式为

$$\cos \theta = (E'_b - E_b) / U_b \quad (2-1-2)$$

晶体管工作在低频区时, 集电极电流 i_c 脉冲波形与 i_b 波形相似, 只是其脉冲峰值是 i_{bmax} 的 h_{fc} 倍。 i_c 波形如图 2-1-2(d) 所示。由于 $i_c(i_b)$ 是一系列的周期性脉冲, 它可分解为傅里叶级数的形式:

$$\begin{aligned} i_c &= i_{c0} + i_{c1} + i_{c2} + \dots + i_{cn} + \dots \\ &= I_{c0} + I_{c1} \cos \omega t + I_{c2} \cos 2\omega t + \dots + I_{cn} \cos n\omega t + \dots \end{aligned} \quad (2-1-3)$$

式中 I_{c0} 为 i_c 脉冲的直流分量, I_{c1} 为基波分量振幅, $I_{c2} \dots I_{cn}$ 为各次谐波分量振幅。图 2-1-2(d) 中画出了 I_{c0} 、 i_{c1} 、 i_{c2} 的波形。

当集电极谐振回路调谐于输入信号频率时, 回路对基波分量呈现的阻抗最大, 并且呈现电

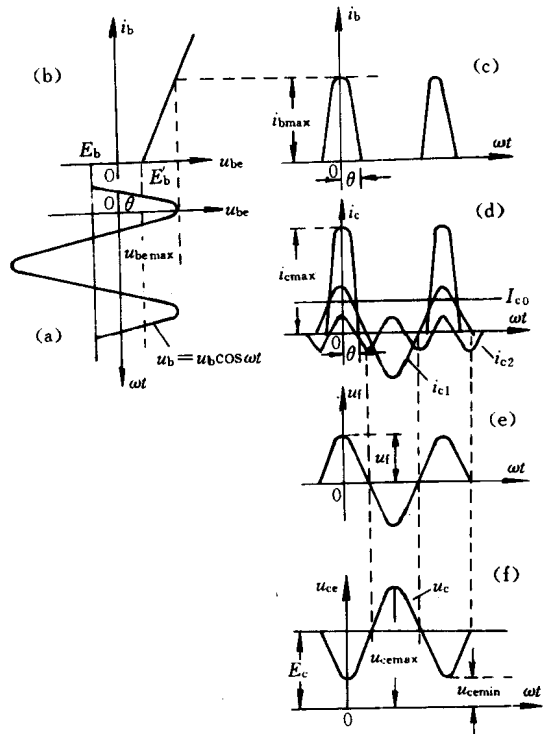


图 2-1-2 谐振功率放大器的输入特性及压流波形