

▶▶ 高等学校应用型本科“十三五”规划教材



通信电子电路



主编 李卫东 江宝安
主审 唐林建



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

通信电子电路

主 编	李卫东	江宝安
参 编	徐 晓	谭丽蕊
	曹李华	曹文静
主 审	唐林建	



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以无线通信系统组成为主线,详细介绍了收、发信机的主要单元功能电路。全书共7章,主要内容包括绪论,高频小信号谐振放大器,高频谐振功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调及变频器,角度调制与解调,反馈控制与整机线路。全书内容丰富,结构完整,重点突出,每章附有小结和思考与练习,部分章节附有仿真实验。

本书可作为高等学校相关专业的专科生、本科生的教材和教学参考书,也适合于爱好无线电技术的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路/李卫东,江宝安主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.8

(高等学校应用型本科“十三五”规划教材)

ISBN 978-7-5606-4616-9

I. ① 通… II. ① 李… ② 江… III. ① 通信系统—电子电路 IV. ① TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 177769 号

策 划 戚文艳

责任编辑 雷鸿俊

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.5

字 数 316千字

印 数 3000册

定 价 26.00元

ISBN 978-7-5606-4619-9/TN

XDUP 4908001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

通信电子电路课程主要讨论无线通信系统中的各基本功能电路的物理实现,重点研究典型电路的基本概念、基本原理和基本分析方法。该课程既是电路基础、电子技术基础等前期课程的延续与扩展,也是开设后续专业课程的必要基础和前提条件,在整个课程体系中起着承上启下的重要作用。

本书按照“突出主干,拓展外围;强化能力,追踪发展;特色鲜明,系统配套”的编写思路,突出了教材的针对性和技能性特点。本书以无线通信设备组成为主线,以各功能电路为内容模块,注重系统结构与单元电路的内在联系,体现了定性描述与定量分析、线性分析与非线性分析、分立元件与集成电路、原理电路与实际电路的有机结合。

本书共分为七章。第1章为绪论,主要介绍无线电收、发信设备的组成。第2章为高频小信号谐振放大器,主要介绍小信号谐振放大器的工作原理、分析方法以及噪声系数。第3章为高频谐振功率放大器,主要介绍高频谐振功率放大器的作用、工作原理和分析方法。第4章为正弦波振荡器,主要介绍正弦波振荡器的工作原理及典型电路组成。第5章为振幅调制、解调及变频器,主要介绍振幅调制信号、调幅电路和解调电路以及变频器。第6章为角度调制与解调,主要介绍调频和调相信号、调频原理与电路以及鉴频原理与电路。第7章为反馈控制与整机线路,主要介绍通信设备中所涉及的反馈控制电路以及整机线路的分析等。

本书由李卫东、江宝安主编,徐晓、谭丽蕊、曹李华、曹文静等参编,唐林建主审。在本书的编写过程中,得到了重庆邮电大学移通学院通信与信息工程系等部门有关领导和专家的悉心指导与帮助,同时也得到了西安电子科技大学出版社领导和相关人员的大力支持,在此表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 发射设备的组成	2
1.2 接收设备的组成	3
1.3 无线电波的传播与波段划分	3
小结	5
思考与练习	5
第2章 高频小信号谐振放大器	7
2.1 概述	7
2.2 LC 谐振回路	8
2.2.1 串、并联谐振回路的基本特性	8
2.2.2 负载和信号源内阻的影响	12
2.2.3 谐振回路的接入方式	13
2.3 高频小信号谐振放大器的工作原理	18
2.3.1 晶体管高频小信号等效电路	18
2.3.2 单调谐共发射放大器的工作原理	21
2.3.3 多级单调谐回路放大器	25
2.3.4 小信号谐振放大器的稳定性	26
2.4 集中选频放大器与集成放大器	29
2.4.1 基本组成与特点	29
2.4.2 集中滤波器	30
2.4.3 集中选频放大器实例	33
2.5 电噪声与噪声系数	34
2.5.1 电子噪声的基本概念	34
2.5.2 多级线性放大器的噪声系数	37
2.5.3 减小噪声系数的方法	38
小结	39
思考与练习	40
第3章 高频谐振功率放大器	43
3.1 概述	43
3.2 高频功率放大器的工作原理	44
3.2.1 电路组成及工作原理	44
3.2.2 晶体管特性的折线化分析方法	45
3.2.3 输出电流及电压	45

3.2.4 功率和效率分析	48
3.3 高频功率放大器的工作状态分析	48
3.3.1 高频功率放大器的动态特性	48
3.3.2 高频功率放大器的工作状态	50
3.3.3 高频功率放大器的外部特性	51
3.4 高频功率放大器的实际线路	55
3.4.1 直流馈电电路	55
3.4.2 输出匹配网络	57
3.4.3 集成高频功率放大器的应用	58
3.5 倍频器	59
3.5.1 倍频器的作用	60
3.5.2 倍频器的电路	60
小结	61
思考与练习	61
第4章 正弦波振荡器	64
4.1 概述	64
4.2 反馈振荡器的工作原理	65
4.2.1 平衡条件	65
4.2.2 起振条件	67
4.2.3 稳定条件	68
4.3 LC 正弦波振荡器	71
4.3.1 三端式振荡器	71
4.3.2 变压器耦合振荡器	77
4.3.3 集成振荡器	77
4.4 振荡器的频率稳定	78
4.4.1 振荡器的频率稳定度	79
4.4.2 振荡器频率变化的原因	79
4.4.3 振荡器的稳频措施	81
4.5 晶体振荡器	82
4.5.1 石英谐振器的特性	82
4.5.2 晶体振荡器电路	83
小结	87
思考与练习	87
第5章 振幅调制、解调及变频器	90
5.1 概述	90
5.2 振幅调制	90
5.2.1 调幅信号的分析	90
5.2.2 调幅波产生电路	99
5.3 振幅解调	107

5.3.1 概述	107
5.3.2 大信号包络检波	108
5.3.3 同步检波	114
5.4 变频器	118
5.4.1 概述	118
5.4.2 晶体三极管变频器	121
5.4.3 混频器的干扰	126
小结	131
思考与练习	131
第6章 角度调制与解调	135
6.1 概述	135
6.2 调角信号的分析	136
6.2.1 调频信号	136
6.2.2 调相信号	138
6.2.3 调频与调相的关系	139
6.2.4 调角信号的频谱和频带宽度	140
6.2.5 调角波的功率	143
6.3 调频原理及电路	143
6.3.1 调频信号的产生	143
6.3.2 对调频振荡器的要求	144
6.3.3 变容二极管直接调频电路	145
6.3.4 变容二极管间接调频电路	148
6.3.5 调频信号产生方案举例	149
6.4 调频波的解调及电路	150
6.4.1 鉴频方法及实现模型	150
6.4.2 振幅鉴频器	151
6.4.3 相位鉴频器	153
6.4.4 脉冲计数式鉴频器	159
6.5 调制方式的比较	160
6.6 集成调频、解调电路介绍	161
6.6.1 MC2833 调频电路	161
6.6.2 MC3367 解调电路	162
小结	164
思考与练习	165
第7章 反馈控制与整机线路	168
7.1 反馈控制电路	168
7.1.1 自动增益控制电路	168
7.1.2 自动频率控制电路	171
7.1.3 锁相环路	172

7.2 频率合成器	178
7.2.1 频率合成器的技术指标	178
7.2.2 直接式频率合成器	180
7.2.3 锁相式频率合成器	180
7.2.4 直接数字式频率合成器	182
7.3 整机线路	185
7.3.1 波段划分	185
7.3.2 混频次数与中频数值的选择	186
7.3.3 加重技术与静噪电路	187
7.3.4 软件无线电通信与系统结构	188
7.3.5 零中频接收机	189
7.3.6 整机实际线路举例	190
小结	192
思考与练习	192
附录一 余弦脉冲分解系数表	193
附录二 OrCAD PSpice 仿真软件介绍	196
参考文献	208

第1章 绪 论

通信电子电路是通信专业的主要基础课程之一，而电磁学是它的理论基础。1864年英国的J. C. 麦克斯韦和1887年德国的H. 赫兹分别从理论和实验中证明了电磁波的存在。此后，1895年意大利的G. 马可尼首次成功地利用电磁波进行了通信。在通信技术不断发展的今天，通信系统主要包括有线通信、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多种通信系统。

信号的传输与处理一直是通信电子电路课程研究的主要内容。各类通信系统都是由基本的单元电路组成的，都将从传输与处理信号这一基本点出发来进行研究，例如信号的产生、传输时的放大和处理以及能量的转换等。

通信系统的主要任务是完成信息的传输、交换及处理。它包括终端设备、传输设备、交换设备及传输信道。视传输信道的不同，又可分为有线(电缆、光纤、波导等)传输与无线(通过自由空间)传输。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，它不仅要采用交换技术，还要采用频率变换及复用技术等。一个点对点通信系统的组成如图1.0.1所示。它是由信源、发射设备、信道、接收设备和信宿组成的。信源将要传输的信息(如声音、图片)转换为电信号，该电信号包含了原始消息的全部信息(允许存在一定的误差，或者说是信息损失)，称为基带信号。不过这种信号的变换不是本书讨论的重点。信宿将经过处理的基带信号重新恢复为原始的声音或图像。信道是信号的传输通道，也就是传输媒介，不同的信道有不同的传输特性。为了适应信道对传输信号的要求，就必须将已获取的基带信号再作变换，这就是发射设备。发射设备将基带信号(调制信号)经过调制等处理，并使其具有足够的发射功率，再送入信道，实现信号的有效传输。显然，接收设备用来恢复原始基带信号。发射设备及接收设备是本书研究的重点。

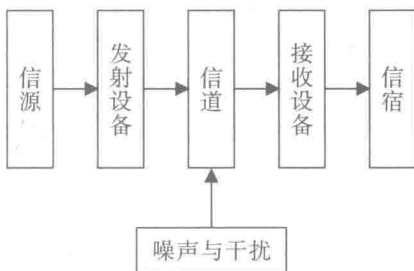


图 1.0.1 通信系统方框图

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 以上，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。

本课程主要研究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原理线路、工作原理及分析方法。

1.1 发射设备的组成

能产生高频振荡,并经调制、放大后,将输出的高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。发射设备为完成其功能,通常都由多级组成。图 1.1.1 是一个调幅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。

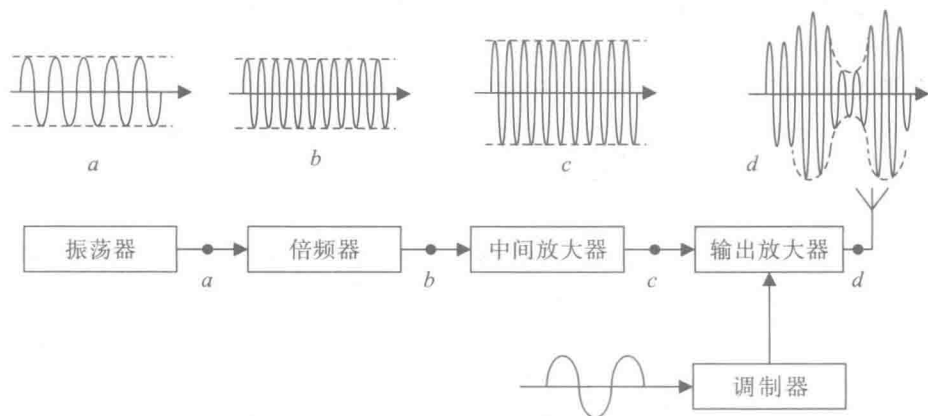


图 1.1.1 调幅发射机方框图

首先,说明一下消息、信息与信号的区别。消息是语言、文字、图像、数据等的统称;信息是受信者所得到的新知识;信号则是消息的表现形式,它是带有信息的一种物理量(如电、光、声等)。若将信息变换为随时间变化的电压或电流,则这种带有信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信号,然后设法将信息对应的电信号“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)去控制电振荡(载波)的参量的过程。

调制在无线通信中的作用至关重要。无线电传播一般都采用高频(射频)的一个原因就是高频适于天线辐射和无线传播。无线通信是利用电磁波在自由空间传播信息的,而只有当交变的电磁场的波长与天线的尺寸可以相比拟时,才能向自由空间有效地辐射出电磁波。调制的另一个重要作用是实现信道的复用,提高信道利用率。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)。

振荡器的主要作用是产生一定频率的最初高频振荡,通常其振荡功率是很小的。倍频器的主要作用是提高发射机的频率稳定度以及扩展发射机的波段范围。中间放大器的主要作用是将小的高频振荡功率加以放大,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。输出放大器的主要作用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中进行的。图 1.1.1 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,供给输出放大器进行调制所需的功率。图上各处的信号波形就反映了发射机的工作过程。

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。若其信号源是无线信号,则为无线电接收机,简称接收机。它的基本任务是选择、放大和处理电信号。图 1.2.1 是一个超外差式调幅接收机的简化方框图,下面以此图为例,说明发射机的组成和工作原理。

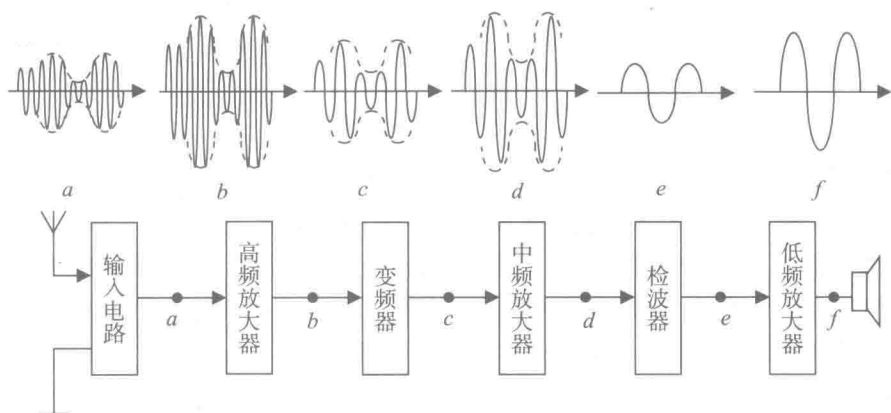


图 1.2.1 超外差式调幅接收机方框图

在自由空间中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。接收机选择信号是利用可调整的谐振回路对信号频率的谐振来完成的。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以及各部分的电压波形。超外差式接收机与其他形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,此固定频率通常称为中频,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,即会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。

1.3 无线电波的传播与波段划分

电磁波传播途径有地面波、天波和空间波(包括直射波和由地面或其他地物反射的反射波)三种,如图 1.3.1 所示,下面简述其特点。

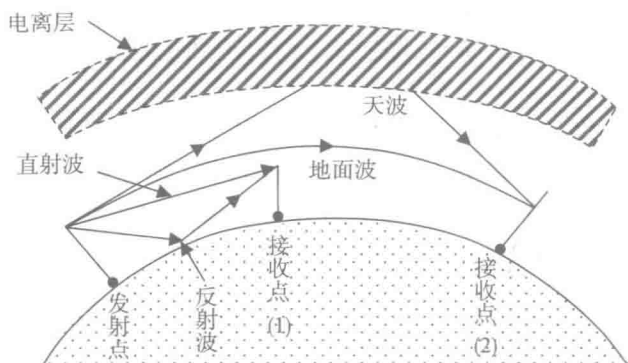


图 1.3.1 电磁波的传播途径

1. 地面波

地面波是沿地球表面传播的。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。因此，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。

2. 天波

天波是利用电离层的反射进行传播的。由于太阳的照射，在距离地面高度约 100 km 的高空，有一厚约 20 km 的电离层，称 E 层；在距离地面高约 200 ~ 400 km 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。

3. 空间波

空间波是电磁波由发射天线直接辐射至接收天线的。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 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，仅供参考。

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)	3~30 Hz	$10^7 \sim 10^8$ 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、远程导航等
2	超低频(SLF)	30~300 Hz	$10^6 \sim 10^7$ m		
3	特低频(ULF)	0.3~3 kHz	$10^5 \sim 10^6$ m		
4	甚低频(VLF)	3~30 kHz	$10^4 \sim 10^5$ m		
5	低频(LF)	30~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	夜间传播与 VLF 相同，但稍微有点不可靠，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

续表

序号	频段名称	频率范围	波长范围	传播特性	应用场合
6	中频(IF)	0.3~3 MHz	$10^2\sim10^3$ m	夜间比白天衰减小,夏天比冬天衰减大,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
7	高频(HF)	3~30 MHz	10~100 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低	中远距离通信与广播
8	甚高频(VHF)	30~300 MHz	1~10 m	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	特高频(UHF)	0.3~3 GHz	1~10 dm	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	超高频(SHF)	3~30 GHz	1~10 cm		
11	极高频(EHF)	30~300 GHz	1~10 mm		
12	至高频	300~3000 GHz	1~10 dmm		

小 结

本章主要描述了无线通信系统的组成和工作过程。

- 1. 无线通信系统由信源、发射设备、信道、接收设备和信宿组成,本章重点分析了收发设备的组成。
- 2. 发射设备由高频振荡器、倍频器、中间放大器、输出放大器、调制器、天线、电源等构成。
- 3. 接收设备主要分析了超外差式接收机的组成:天线、高频小信号谐振放大器、变频器、中频小信号谐振放大器、解调器、低频功率放大器、终端等。
- 4. 无线电波的频率不同,具有不同的特点,因此可将其划分为不同的波段;无线电波传播的方式可分为地面波传播、天波传播和空间波传播。

思考与练习

一、填空题

- 1. 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()。
- 2. 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()。

3. 天波是利用电离层的()而进行的传播。
4. 空间波实际上是直射波和反射波的合成,此现象叫做()。
5. 频率为 $3 \sim 30 \text{ MHz}$ 称为()频段,它对应的波长是(),又称为()波段。

二、画图题

1. 画出超外差调幅接收机的方框图。
2. 画出超外差调频接收机的方框图。
3. 画出调幅发射机的方框图。

第2章 高频小信号谐振放大器

2.1 概 述

高频小信号谐振放大器主要用于各种无线电接收设备及高频仪表中,一方面可以对窄带信号实现不失真放大,另一方面可滤除带外信号,抑制噪声和干扰,有选频作用。所谓“高频”,通常指低于微波频率范围的信号频率,信号频率在数百千赫至数百兆赫,属于窄带放大器。所谓“小信号”的“小”字,主要是强调放大这种信号的放大器工作在线性范围内(晶体管工作于甲类状态),即对其放大过程而言,电路中的晶体管工作在小信号放大区域中,非线性失真很小。这时允许把晶体管看成线性元件,因此可作为有源四端网络来分析。所谓“谐振”,主要是指放大器的负载为谐振回路(如 LC 谐振回路等)。

谐振放大器主要由放大器和调谐回路两部分组成,不同的通信设备,对高频小信号谐振放大器的要求可能不同。在分析时,主要用如下参数来衡量电路的技术指标。

1. 中心频率

中心频率是谐振放大器的工作频率,一般用 f_0 表示。其工作范围很宽,一般为几百千赫至几百兆赫。中心频率是由通信系统的要求来确定的。工作频率是设计放大器时,确定放大器件与选频器件频率参数的主要依据。

2. 增益

增益分为电压增益和功率增益。电压增益等于放大器输出电压与输入电压之比;而功率增益等于放大器输出给负载的功率与输入功率之比。用于各种通用接收机中的中放电路的增益一般为 $80 \sim 100$ dB。

3. 通频带与选择性

因为放大器所放大的信号一般都是已调信号,含有一定的边频,为了使信号不失真地传输,所以放大器必须要有一定的通频带,允许主要边频通过,即通频带应大于或者等于有用信号频谱的宽度。电压增益下降 3 dB 时所对应的频带宽度,称为放大器的通频带,用 $2\Delta f_{0.7}$ (或 B_w) 表示。一般调幅收音机的通频带约为 8 kHz,调频广播接收机的通频带约为 200 kHz,电视接收机的通频带为 $6 \sim 8$ MHz。

选择性是指对通频带以外干扰信号的衰减能力,或指放大器从各种不同频率的信号中选出有用信号,抑制干扰信号的能力。若通频带过宽,则会使无用信号也进入通道而产生干扰,即选择性变差;若通频带过窄,虽然可保证选择性,但容易导致信号的失真。

4. 噪声系数 N_F

放大器工作时,由于种种原因产生的载流子不规则运动,将会在电路中形成噪声,从

而使信号受到影响。噪声系数可理解为信号通过放大器后,信噪比变坏的程度。噪声系数是用来表征放大器的噪声性能好坏的一个参量。如果 $N_F = 1$,说明信号通过放大器后,信噪比没有变坏;如果 $N_F > 1$,则说明信噪比变坏了。通常噪声系数都大于1,因此,要求放大器的噪声系数尽量接近1。

2.2 LC 谐振回路

在通信电路中,经常需要从很多不同频率的信号中选出某一个频率附近的有用信号,这就是选频作用,通常是由谐振回路来完成的。利用谐振回路的幅频特性与相频特性还能完成一些其他电路功能(例如移相、信号变换等)。通信电路中使用的谐振回路都是由电感、电容和电阻组成的。按电感、电容与外接信号源连接方式的不同,可分为串联和并联调谐回路两种类型。因为在谐振放大器中,谐振回路多以并联的方式出现在电路中,所以下面主要讨论并联谐振回路,而对串联谐振回路只作简单介绍。

2.2.1 串、并联谐振回路的基本特性

1. LC 并联谐振回路

给电感、电导(电阻)和电容的并联回路电流源 $\dot{I}$ 激励将会出现电压谐振现象,如图 2.2.1 所示。这里电感、电容的损耗电阻都包括在电导 G_0 中。

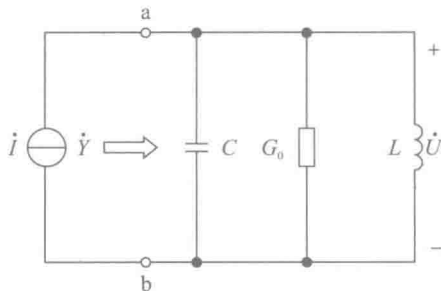


图 2.2.1 并联谐振回路

1) 阻抗特性

如图 2.2.1 所示,从 a、b 两点向右看的并联回路输入导纳 $\dot{Y}$ 为

$$\begin{aligned}\dot{Y} &= G_0 + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = G_0 + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \\ &= G_0 \left[1 + j \frac{\omega_0 C}{G_0} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] \quad (2.2.1)\end{aligned}$$

当 $j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0$ 时,或者说当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 时,导纳 $\dot{Y}$ 的模达到最小值($\dot{Y} = G_0$),

且是实数,响应电压 $\dot{U}$ 的模达到最大值并与 $\dot{I}$ 同相。这种情况称为并联谐振, ω_0 称为并联谐振回路的固有角频率,简称谐振频率。通常把回路在谐振时,回路的吞吐功率和损耗功率之比定义为回路的“品质因数” Q ,因此并联谐振回路的 Q 值为

$$Q = \frac{\omega_0 C}{G_0} = \frac{1}{\omega_0 L G_0} = \frac{R_0}{\omega_0 L} \quad (2.2.2)$$

再定义 $\epsilon = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}$ 为回路的相对失谐。 $\xi = \epsilon Q$ 为回路的广义失谐(或一般失谐), 因此, 式(2.2.1)可写成:

$$\dot{Y} = G_0(1 + jQ\epsilon) = G_0(1 + j\xi) \quad (2.2.3)$$

当回路相对失谐 ϵ 很小, 也就是说 ω 和 ω_0 非常接近时, 相对失谐 ϵ 有如下近似式:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega\omega_0} \approx \frac{(\omega + \omega_0)(\omega - \omega_0)}{2\omega_0^2} \\ &\approx \frac{2\omega_0(\omega - \omega_0)}{2\omega_0^2} \approx \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

这样, 广义失谐 ξ 在 ω 很接近于 ω_0 时也有近似式:

$$\xi \approx \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} Q \quad (2.2.5)$$

其中, $\Delta\omega \approx \omega - \omega_0$ 。这样并联回路的响应电压 $\dot{U}$ 为

$$\dot{U} = \frac{\dot{I}}{\dot{Y}} = \frac{\dot{I}}{G_0(1 + j\xi)} = \frac{\dot{U}_0}{1 + j\xi} \quad (2.2.6)$$

式中, $\dot{U}_0$ 为谐振时回路的响应电压, 因此幅频特性为

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{1 + \xi^2}} \quad (2.2.7)$$

相频特性(这里仍指阻抗角 φ 和频率的关系, 而非导纳角与频率的关系)为

$$\varphi = -\arctan\xi \quad (2.2.8)$$

幅频特性和相频特性如图 2.2.2 所示。

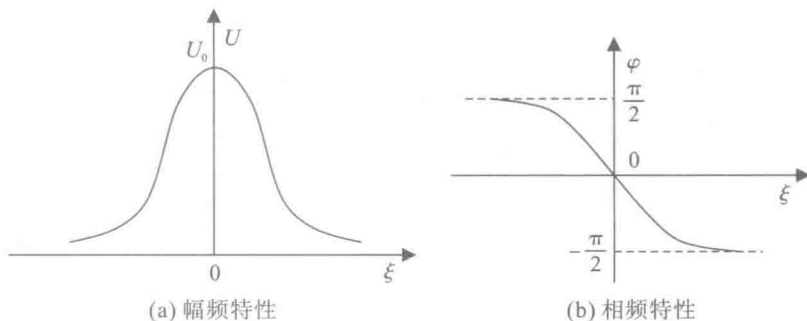


图 2.2.2 并联谐振回路的幅频特性与相频特性

2) 通频带和矩形系数

由式(2.2.6)和图 2.2.2(a) 描述的回路的幅频特性看出, 当 $\omega = \omega_0$ ($\xi = 0$) 时, 电压 U 达到最大值 U_0 , 而当 ω 偏离 ω_0 时, U 则迅速减小。

通频带指的是响应电压 $U \geq U_0 / \sqrt{2}$ 所对应的频率范围宽度, 记作 B (或 $2\Delta f_{0.7}$)。

若将式(2.2.7)用 U 的最大值 U_0 归一化, 即