



高等院校信息与通信工程系列教材

通信电子电路学习指导 (第2版)

于洪珍 编著

清华大学出版社

高等院校信息与通信工程系列教材

通信电子电路学习指导 (第2版)

于洪珍 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书共包括9章,绪论、小信号调谐放大器、高频调谐功率放大器、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。每一章由六部分组成,第一部分为知识结构框图;第二部分为重点和难点;第三部分为重点及难点内容分析;第四部分为典型例题分析;第五部分为思考题与习题解答,对教材中全部的思考题与习题都给出了较为详尽的分析和解答,该部分覆盖了教学中大部分知识点;第六部分为自测题,包括填空、判断及问答题。另外,本书还给出了四套综合测试题及答案。

本书为“通信电子电路”课程的学习指导书,不同于一般的仅面向学生的学习指导书,它无论对教师还是对学生都有较大的指导和帮助。

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

通信电子电路学习指导 / 于洪珍编著. --2版. --北京:清华大学出版社,2012.9

(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 978-7-302-29658-4

I. ①通… II. ①于… III. ①通信—电子电路—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第184412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:14.25 字 数:324千字

版 次:2006年3月第1版 2012年9月第2版 印 次:2012年9月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.00元

产品编号:044943-01

前言

“通信电子电路”这门课程是通信与信息工程、无线电工程专业以及其他电类专业都非常重要的一门专业基础课。它涉及许多的通信理论知识、通信电路中常用的基本功能部件以及实际电路,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。

《通信电子电路学习指导(第2版)》是《通信电子电路》立体化系列教材之一。《通信电子电路》立体化系列教材包括主教材、学习指导、含较多动画与复杂图形的 PowerPoint 格式的电子教案等。

本书自 2006 年 3 月出版以来,受到了广大读者的厚爱,现已使用近 6 年。这次再版进一步融合了启发和创新的思想,每一章都增加了知识结构框图;并对重点及难点内容进行分析;还对思考题与习题进行了充实;同时还增加了综合测试题及答案。

本书与主教材相对应,共包括 9 章,即绪论、小信号调谐放大器、高频调谐功率放大器、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。每一章由六部分组成,第一部分为知识结构框图;第二部分为重点和难点,主要列出了本章的重要概念及难点;第三部分为重点及难点内容分析,对“通信电子电路”课程中的基本教学内容,特别是重点及难点进行了系统地阐述和归纳总结,使读者更进一步理解和掌握本门课程的重点知识;第四部分为典型例题分析,将本章中的重要内容通过例题分析给出一个较好的解题思路和解题技巧,可以使读者提高分析问题和解决问题的能力;第五部分为思考题与习题解答,对教材中全部的思考题与习题都给出了较为详尽的分析和解答,该部分覆盖了教学中大部分知识点,题型主要包括问答题和计算题;第六部分为自测题,包括填空、判断及问答题,使读者通过自测题检查和了解掌握基本概念的情况。另外,本书还给出了综合测试题及答案,可以帮助读者加深对基本概念的理解和掌握基本的解题方法,全面测试读者对“通信电子电路”知识点的理解和掌握。

本书既重视理论分析,又注意讲清物理概念,分析计算详尽,便于教与学,且易读易懂,又便于自学。

本书由于洪珍教授编写了第1、3~9章,王艳芬教授编写了第2章。王刚副教授参与了全书的校对。

衷心感谢为本书编写付出辛勤劳动的同志,感谢清华大学出版社的大力支持和帮助。特别感谢佟丽霞提出的宝贵意见和帮助。

由于编者水平有限,加上时间紧张,书中肯定存在不少问题和错误,诚挚希望广大读者批评指正。

编 者

2012年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 知识结构框图	1
1.2 本章重点和难点	1
1.3 重点及难点内容分析	2
1.3.1 通信系统的概念	2
1.3.2 无线电波的传播特性	2
1.3.3 无线电波的频段划分	3
1.3.4 调制的通信系统	4
1.3.5 本课程的主要内容	4
1.4 典型例题分析	5
1.5 思考题与习题解答	5
1.6 自测题	7
第 2 章 小信号调谐放大器	8
2.1 知识结构框图	8
2.2 本章重点和难点	9
2.3 重点及难点内容分析	9
2.3.1 LC 谐振回路的选频作用	9
2.3.2 谐振回路的接入方式	13
2.3.3 晶体管高频等效电路	14
2.3.4 晶体管的高频放大能力及其频率参数	16
2.3.5 高频调谐放大器的谐振电压放大倍数和选频性能	17
2.3.6 调谐放大器的级联	19
2.3.7 高频调谐放大器的稳定性	22
2.3.8 集中选频小信号调谐放大器	23
2.4 典型例题分析	25
2.5 思考题与习题解答	27
2.6 自测题	39

第3章 高频调谐功率放大器	41
3.1 知识结构框图	41
3.2 本章重点和难点	42
3.3 重点及难点内容分析	42
3.3.1 调谐功放的用途与特点	42
3.3.2 折线近似分析法——晶体管特性的折线化	43
3.3.3 调谐功率放大器的工作原理	44
3.3.4 功率和效率	46
3.3.5 调谐功率放大器的欠压、临界和过压三种工作状态分析	48
3.3.6 调谐功率放大器的实用电路	54
3.3.7 功率晶体管的高频效应	56
3.3.8 倍频器	56
3.4 典型例题分析	58
3.5 思考题与习题解答	60
3.6 自测题	67
第4章 正弦波振荡器	69
4.1 知识结构框图	69
4.2 本章重点和难点	70
4.3 重点及难点内容分析	70
4.3.1 反馈型正弦波自激振荡器基本原理	70
4.3.2 三点式LC振荡器	71
4.3.3 改进型电容三点式电路	73
4.3.4 振荡器的频率稳定问题	75
4.3.5 石英晶体振荡器	77
4.4 典型例题分析	80
4.5 思考题与习题解答	82
4.6 自测题	87
第5章 振幅调制与解调	88
5.1 知识结构框图	88
5.2 本章重点和难点	89
5.3 重点及难点内容分析	89
5.3.1 调幅信号的分析	89
5.3.2 调幅波产生原理的理论分析	93
5.3.3 普通调幅波的产生电路	95
5.3.4 大信号基极调幅和集电极调幅工作原理及设计要点	96
5.3.5 大信号峰值包络检波	101

5.3.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路	104
5.4 典型例题分析	106
5.5 思考题与习题解答	109
5.6 自测题	119
第6章 角度调制与解调	121
6.1 知识结构框图	121
6.2 本章重点和难点	121
6.3 重点及难点内容分析	122
6.3.1 角度调制概念	122
6.3.2 调角信号的分析	122
6.3.3 调频信号的产生	126
6.3.4 调频电路	127
6.3.5 鉴频的概念及鉴频器的质量指标	130
6.3.6 相位鉴频器、比例鉴频器	131
6.4 典型例题分析	136
6.5 思考题与习题解答	140
6.6 自测题	145
第7章 变频器	146
7.1 知识结构框图	146
7.2 本章重点和难点	147
7.3 重点及难点内容分析	147
7.3.1 变频器的概念和进行变频的原因	147
7.3.2 变频器的组成及变频波形图	147
7.3.3 变频器的基本原理及数学分析	148
7.3.4 晶体三极管变频电路基本原理及应用举例	149
7.3.5 超外差接收机的统调与跟踪	151
7.3.6 变频干扰	151
7.4 典型例题分析	154
7.5 思考题与习题解答	155
7.6 自测题	161
第8章 锁相环路及其他反馈控制电路	163
8.1 知识结构框图	163
8.2 本章重点和难点	163
8.3 重点及难点内容分析	164
8.3.1 锁相环的构成及工作原理	164

8.3.2	锁相环路的数学模型	165
8.3.3	环路的锁定、捕捉和跟踪,同步带和捕捉带	168
8.3.4	集成锁相环芯片	169
8.3.5	锁相环路的特性及应用	171
8.4	典型例题分析	173
8.5	思考题与习题解答	175
8.6	自测题	179
第9章	电噪声及其抑制	181
9.1	知识结构框图	181
9.2	本章重点和难点	181
9.3	重点及难点内容分析	182
9.3.1	电阻热噪声	182
9.3.2	晶体管的噪声及其等效电路	183
9.3.3	噪声度量	185
9.3.4	减小电子电路内部噪声影响、提高输出信噪比的方法	188
9.4	典型例题分析	189
9.5	思考题与习题解答	190
9.6	自测题	196
附录A	综合测试题及答案	197
附录B	自测题部分参考答案	214
参考文献		217

第1章 绪论

1.1 知识结构框图

本章所涉及的内容主要有通信系统的概念,无线电波的传输特性,无线电的波(频)段划分,调制的通信系统,本课程的主要内容等。图 1-1 为本章知识结构框图。

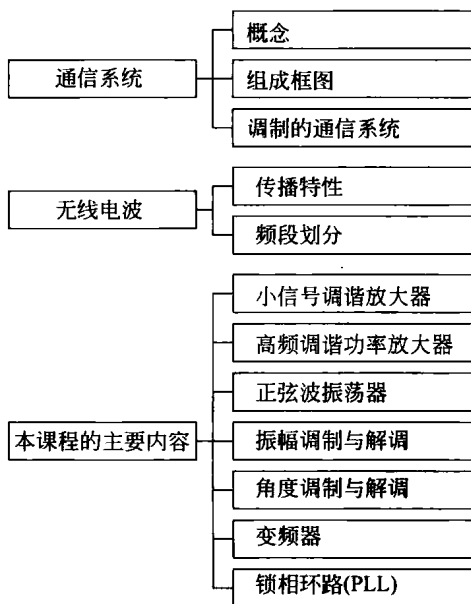


图 1-1 知识结构框图

1.2 本章重点和难点

1. 本章重点

- (1) 通信系统的概念;
- (2) 无线电波的传输特性;
- (3) 无线电的波(频)段划分;
- (4) 调制的通信系统;
- (5) 本课程的主要内容。

2. 本章难点

调制的通信系统。

1.3 重点及难点内容分析

1.3.1 通信系统的概念

通信的任务是传递信息,传输信息的系统称为“通信系统”。

任何一个通信系统,都是从一个称为信息源的时空点向另一个称为信宿的目的点(用户)传送信息。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和信道的总和。通信系统种类很多,它们的具体设备和业务功能可能各不相同,然而经过抽象和概括,均可用图 1-2 所示的基本组成框图表示。所以一个完整的通信系统应包括信息源、发送设备、信道、接收设备和收信装置五部分,如图 1-2 所示。

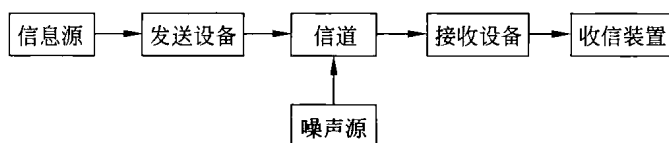


图 1-2 通信系统组成框图

信道即传输信息的通道,或传输信号的通道。概括起来有两种,即有线信道和无线信道。有线信道包括架空明线、电缆、光缆等;无线信道可以是传输无线电波的自由空间,如地球表面的大气层、水、地下及宇宙空间等。

1.3.2 无线电波的传播特性

传播特性指的是无线电信号的传播方式、传播距离、传播特点等。不同频段的无线电信号,其传播特性不同。同一信道对不同频率的信号传播特性是不同的。例如,在自由空间媒介里,电磁能量是以电磁波的形式传播的,而不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。

传播方式主要有直射传播、绕射(地波)传播、折射和反射(天波)传播及散射传播等。决定传播方式和传播特点的关键因素是无线电信号的频率。例如,1.5MHz 以下的电磁波可以绕着地球的弯曲表面传播,称为地波。又如,对于 1.5~30MHz 的电磁波,由于频率较高,地面吸收较强,用表面波传播时衰减很快,它主要靠天空中电离层的折射和反射传播,称为天波。再如,对于 30MHz 以上的电磁波,由于频率很高,表面波的衰减很大,电磁波穿入电离层也很深,它就会穿透电离层传播到宇宙空间而不能反射回来,因此不用表面波和天波传播方式,而主要由发射天线直接辐射至接收天线,沿空间直线传播,称为空间波。由于地球表面的弯曲,空间波传播的距离受限于视距范围。架高发射天线、利用通信卫星可以增大其传输距离。

综上所述,长波信号以地波绕射为主。中波和短波信号可以以地波和天波两种方式传播,不过,前者以地波传播为主,后者以天波(反射和折射)传播为主。超短波以上频段的信号大多以直射方式传播,也可以采用对流层散射的方式传播。

还需要强调说明的是,无线电传播一般都要采用高频(射频)才适于天线辐射和无线传播。理论和实践都证明:只有当天线的尺寸大到可以与信号波长相比拟时,天线才具有较高的辐射效率。这也是为什么要把低频的调制(基带)信号调制到较高的载频上的原因之一。

1.3.3 无线电波的频段划分

在各种无线电系统中,信息是依靠高频无线电波来传递的,那么应该如何选择高频载波的频率呢?我们知道,频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波,所以它的频率范围是很宽的。为了便于分析和应用,习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域,即对频率或波长进行分段,称为频段或波段。

无线电波在空间传播的速度是 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。电波在一个振荡周期 T 内的传播距离叫波长,用符号 λ 表示。波长 λ 、频率 f 和电磁波传播速度 c 的关系可用下式表示:

$$\lambda = cT = c/f \quad (1-1)$$

这是电磁波的一个基本关系式。知道了高频振荡的频率 f ,利用式(1-1)就可以算出波长 λ 。如果 c 的单位是 m/s , f 的单位是 Hz ,那么波长的单位就是 m 。

表 1-1 为无线电波的波(频)段划分及其用途表。其中米波和分米波有时合称为超短波。因为不同频段信号的产生、放大和接收的方法不同,传播的方式也不同,因而它们的应用范围也不同。

表 1-1 无线电波的波(频)段划分及其用途表

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称	主要用途或场合
超长波	$10^8 \sim 10^4 \text{ m}$	$3 \text{ Hz} \sim 30 \text{ kHz}$	VLF(甚低频)	音频、电话、数据终端
长波	$10^4 \sim 10^3 \text{ m}$	$30 \sim 300 \text{ kHz}$	LF(低频)	导航、信标、电力线通信
中波	$10^3 \sim 10^2 \text{ m}$	$300 \text{ kHz} \sim 3 \text{ MHz}$	MF(中频)	AM(调幅)广播、业余无线电
短波	$10^2 \sim 10 \text{ m}$	$3 \sim 30 \text{ MHz}$	HF(高频)	移动电话、短波广播、业余无线电
米波(超短波)	$10 \sim 1 \text{ m}$	$30 \sim 300 \text{ MHz}$	VHF(甚高频)	FM(调频)广播、TV(电视)、导航移动通信
分米波	$100 \sim 10 \text{ cm}$	$300 \text{ MHz} \sim 3 \text{ GHz}$	UHF(超高频)	TV、遥控遥测、雷达、移动通信
厘米波	$10 \sim 1 \text{ cm}$	$3 \sim 30 \text{ GHz}$	SHF(特高频)	微波通信、卫星通信、雷达
毫米波	$10 \sim 1 \text{ mm}$	$30 \sim 300 \text{ GHz}$	EHF(极高频)	微波通信、雷达、射电天文学

应该指出,各波段的划分是相对的,因为各波段之间并没有显著的分界线,但各个不同波段的特点仍然有明显的差别。例如,从使用的元器件以及电路结构与工作原理等方面来说,中波、短波和米波段基本相同,但它们和微波波段则有明显的区别。前者采用的元件大都是通常的电阻器、电容器和电感线圈等,在器件方面主要采用一般的晶体二极

管、三极管、场效应管和线性组件等;而后者采用的元件是同轴线、光纤和波导等,在器件方面除采用晶体管、场效应管和线性组件外,还需要特殊器件如调速管、行波管、磁控管及其他固体器件。

从表 1-1 中可以看出,频段划分中有一个“高频”段,其频率范围为 $3\sim 30\text{MHz}$,这是“高频”的狭义定义。本书涉及的频段是从中频(MF)到超高频(UHF)的频率范围。

1.3.4 调制的通信系统

尽管在实际工作中需要传送的信号是多种多样的,例如代表话音的信号就是由许多不同频率的低频信号组成;又如风压、风速、水位、瓦斯含量等测量数据的信号,应能反应出不同的数量,但是根据要传送的信号是否要采用调制,可将通信系统分为基带传输和调制传输两大类。

基带传输是将基带信号直接传送,由于从消息变换而来的基带信号通常具有较低的频率(有些资料称载频为高频信号,称基带信号为低频信号),大多不适宜直接在信道中传输,而必须先经过调制。

所谓调制就是在传送信号的一方(发送端),用我们所要传送的对象(例如话音信号)去控制载波的幅度(或频率或相位),使载波的幅度(或频率或相位)随要传送的对象信号而变,这里对象信号本身称为“调制信号”,调制后形成的信号称为“已调信号”。调制使幅度变化的称“调幅”,使频率变化的称“调频”,使相位变化的称“调相”。

所谓解调,就是在接收信号的一方(接收端),从收到的已调信号中把调制信号恢复出来。调幅波的解调叫“检波”,调频波的解调叫“鉴频”,解调是其统称。以上介绍的就是三种基本的调制方式——调幅(AM)、调频(FM)和调相(PM)。

调制的通信系统应用广泛,典型的是无线电广播发送和接收系统。

应当指出,尽管要传输的信息多种多样,如声音、图像和数据等,但把它们转换为电信号后,可以归纳为两大类,一类是模拟信号,另一类是数字信号。模拟信号是指电信号的某一参量的取值范围是连续的,如话筒产生的话音电压信号。模拟信号通常是时间连续函数,也有时间离散函数的情况,但取值一定是连续的。数字信号是指电信号的某一参量携带着离散信息,其取值是有限个数值,如电报信号、数据信号等。

在数字通信系统中,传输的是数字信号。当用数字信号进行调制时,通常称为键控。三种基本的键控方式是振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK)。这些内容将在通信原理课程中进行介绍。

调制的通信系统是本章难点,也是本章重点。本章将通过典型例题、思考题 1-1“无线电广播发射调幅系统的组成框图及各框图对应的波形”、思考题 1-2“无线电接收设备组成框图及各框图对应的波形”来对其分析。

1.3.5 本课程的主要内容

通信电子电路课程的主要内容有:谐振回路、小信号调谐放大器、调谐功率放大器、倍频器、LC 正弦波振荡器、变频器、振幅调制及检波电路、频率调制及鉴频电路、锁相环

以及通信电子电路的应用实例。本课程着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成,以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

1.4 典型例题分析

例 1-1 无线通信为什么要进行调制?

答 若信号频率为 1kHz,其相应波长为 300km,若采用 $1/4$ 波长的天线,根据 $\lambda = \frac{c}{f}$,就可以算出天线长度需要 75km,制造这样的天线是很困难的。

只有天线实际长度与电信号的波长相比拟时,电信号才能以电磁波形式有效地辐射,这就要求原始电信号必须有足够高的频率。

例 1-2 画出用矩形波进行调幅时已调波波形。

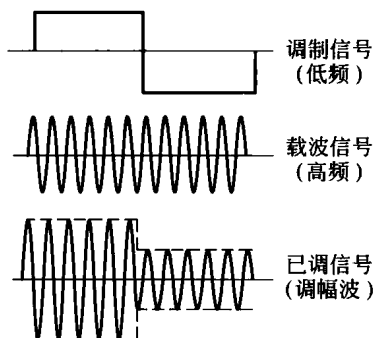
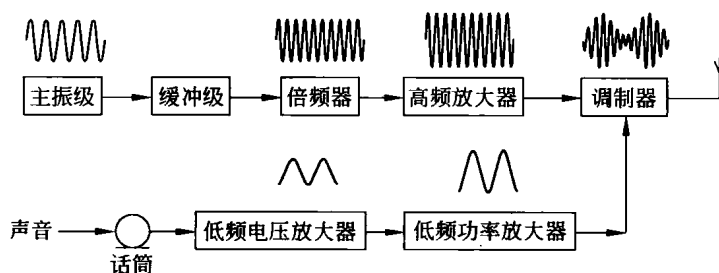


图 1-3

1.5 思考题与习题解答

1-1 画出无线电广播发射调幅系统的组成框图以及各框图对应的波形。

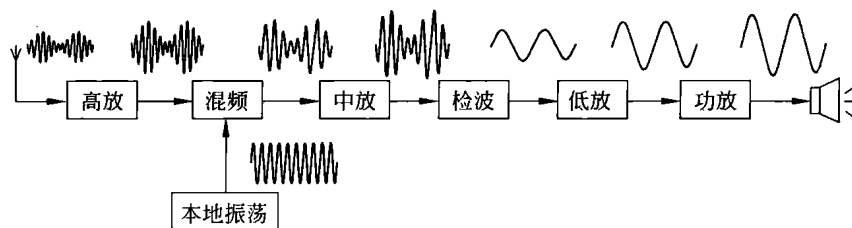


图题 1-1

1-2 画出无线电接收设备的组成框图以及各框图对应的波形。

1-3 无线通信为什么要进行调制?

答 详见本章典型例题 1-1 分析。



图题 1-2

1-4 FM 广播、TV 以及导航移动通信均属于哪一波段通信？

答 均属于超短波波段通信。

1-5 画出用矩形波进行调幅时已调波波形。

答 详见本章典型例题 1-2 分析。

1-6 在接收设备中，混频器的作用是什么？混频器是怎么组成的？并绘出混频前后的波形。

答 1) 混频器的作用——混频电路框图如图题 1-6 所示。它是将输入调幅信号 $u_s(t)$ 与本振信号(高频等幅信号) $u_L(t)$ ，同时加到混频器，经频率变换后通过滤波器，输出中频调幅信号 $u_1(t)$ 。

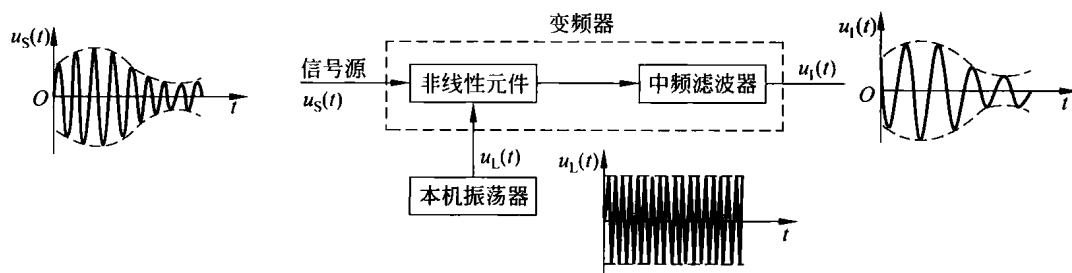
2) 混频器的组成

(1) 非线性元件，如二极管、三极管和场效应管和模拟乘法器等；

(2) 产生 $u_L(t)$ 的振荡器。通常称为本地振荡，振荡频率为 ω_L 。

3) 混频波形图

$u_s(t)$ 与 $u_1(t)$ 载波振幅的包络形状完全相同，唯一的差别是信号载波频率 f_s 变换成中频频率 f_1 ， $u_L(t)$ 是本地振荡器波形，混频器输入输出波形图如图题 1-6 所示。



图题 1-6 混频器输入输出波形图

1-7 中波广播波段的波长范围为 187~560m。为避免相邻电台干扰，两个相邻电台的载频至少要相差 10kHz，问在此波段中最多能容纳多少电台同时广播？

提示 根据波长 λ ，频率 f 和电磁波传播速度 c 的关系 $\lambda = \frac{c}{f}$ ，可求得中波广播波段的频宽(电磁波传播的速度 $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$)。

解 (1) 确定中波广播波段的频宽 $\frac{c}{187} - \frac{c}{560} = 1078 \text{ kHz}$ ；

(2) 由于两个相邻电台的载频至少要相差 10kHz, 所以此波段中最多能容纳 107 个电台同时广播。

1.6 自测题

说明: 1. 填空题不给答案; 2. 判断题答案在附录 B。

1. 填空题

- (1) 一个完整的通信系统应包括 _____, _____, _____, _____, _____。
- (2) 在接收设备中, 检波器的作用是 _____。
- (3) 调制是用音频信号控制载波的 _____, _____, _____。
- (4) 无线电波传播速度固定不变, 频率越高, 波长 _____, 频率 _____, 波长越长。
- (5) 短波的波长较短, 地面绕射能力 _____, 且地面吸收损耗 _____, 不宜 _____ 传播, 短波能被电离层反射到远处, 主要以 _____ 方式传播。
- (6) 波长比短波更短的无线电波称为 _____, 不能以 _____ 和 _____ 方式传播, 只能以 _____ 方式传播。

2. 判断题

- (1) 低频信号可直接从天线有效地辐射。
- (2) 高频电子技术所研究的高频工作频率范围是 300kHz~3000MHz。
- (3) 为了有效地发射电磁波, 天线尺寸必须与辐射信号的波长相比拟。
- (4) 电视、调频广播和移动通信均属于短波通信。

第2章 小信号调谐放大器

2.1 知识结构框图

小信号调谐放大器是构成无线电通信设备的重要电路,主要用在无线电接收机中做高频和中频选频放大。本章所涉及的内容主要有LC谐振回路、晶体管高频等效电路、单调谐放大器及其级联,集中选频放大器等。知识结构框图如图2-1所示。

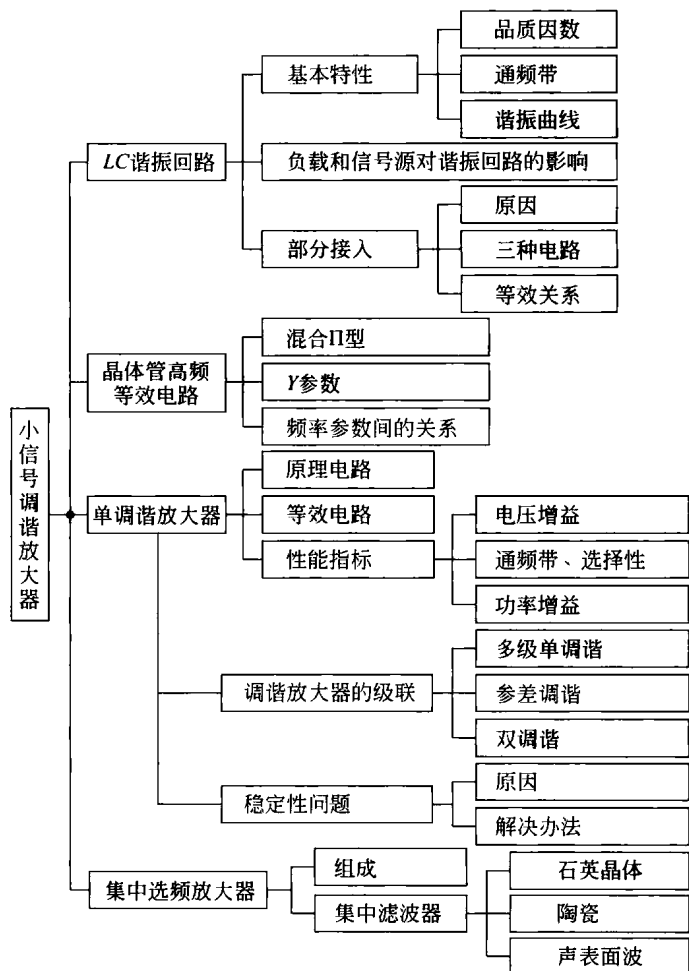


图 2-1 知识结构框图