

高频电子线路

课程号课序号：sd01232620-2（通信1、2班）

sd01232620-3（通信3班）

任课教师：翟超

手机号：15098921752

邮箱：zhaichaosdu@163.com

注意事项

- 《高频电子线路实验》的课程号及课序号：

sd01222500-3（通信1班）

sd01222500-4（通信2班）

sd01222500-2（通信3班）

- 请各位同学务必核实一下，是否选择了我名下的课程和实验，如果不是的话，请在补退选阶段修改！
- 如果不在我名下，学期结束时，我将无法在系统中录入成绩。请务必选对老师！

- 右图为：2024年春季学期高频电子线路微信群。请大家扫码加入！后续关于课程及实验的信息均在该群里发布。



群聊：2024年春季学期高频电子
线路

- 上课时间及地点如下：

- 周二上午：1-2小节，
振声苑E308，通信3班
- 周二下午：5-6小节，
振声苑N403，通信1、2班

-
- 周五上午1-2小节，
振声苑N403，通信1、2班
 - 周五上午3-4小节，
振声苑E308，通信3班



该二维码7天内(3月4日前)有效，重新进入将更新

如何交作业？

- 请在A4大小的纸上认真完成作业（为了方便携带和批阅，请不要用本子交作业。如果某次作业用了多页纸，请用订书机订一下。自己用文件袋保存好历次作业）；
- 每次作业都要写上自己的姓名和学号，比如：
徐名升201900121012
- 课代表上课前收齐作业，并交给我；
- 同学们有问题的话，请联系邮箱：

zhaichaosdu@163.com

如何计算总成绩？

- 平时成绩占40%，包括：作业（20分）+期中测试（20分）。
- 共布置10次作业，作业批阅时考虑认真程度、是否正确、是否完成当次全部作业。每次作业，请大家聚焦到做题上，力争弄明白，不用特别在意书面整洁度，可以有修改和勾划。
- 期末考试成绩占60%，期末卷面分数，流水阅卷。

参考书目

- 杨霓清：《高频电子线路》（课本）
- 谢家奎：《电子线路—非线性部分》（重点参考）
- 张肃文：《高频电子线路》（重点参考）
- 阳昌汉：《高频电子线路》（一般参考）
- 董在望：《通信电路原理》（一般参考）
- 沈伟慈：《高频电路》（一般参考）

各章教学时间安排

第一章	绪论	2课时
第二章	选频网络与阻抗变换网络	3课时
第三章	高频小信号放大器	2课时
第四章	高频功率放大器	4课时
第五章	正弦波振荡器	8课时
第六章	频谱搬移电路	10课时
第七章	角度调制与解调电路	10课时
第八章	反馈控制电路	6课时
第九章	频率合成技术	2课时

高频电子线路主要内容及其特点

- 高频电子线路研究的主要内容：

以通信系统为主要对象，研究构成发送设备、接收设备的各单元电路，典型线路的工作原理、性能特点。

- 高频电子线路的主要特点：

利用器件的非线性特性，分布参数不容忽视。同时，负载不再是纯电阻，而是以LC谐振回路作负载。

非线性电子线路的作用

- 线性器件是输出量与输入量之间有线性关系，比如电阻伏安特性、电容伏库特性、电感磁化特性等是线性的，**信号经过该器件后不会产生新的频率成分**，可有幅度或相位变化。否则为非线性器件，使用条件不同时，电子器件所表现出来的非线性程度不同，有时可近似成线性，比如二极管、三极管。
- 在线性电子线路中，对信号进行处理，尽量使用电子器件特性的线性部分。在该情况下，对信号而言，电路基本上是线性的，但多少存在不希望有的失真。比如，小信号放大就是近似线性电路的分析方法，三极管微变等效电路。
- 在非线性电子线路中，可以利用电子器件的非线性完成高效功率放大、振荡、频率变换等功能。（高频功率放大电路、振荡电路、乘法器电路等）

高频电子线路的功能

- **实现功率放大功能的电路。**在输入信号作用下，将直流电源所提供的功率部分地变换为按输入信号规律变化的输出信号功率。（第3章，高频小信号放大；第4章，高频功率放大）
- **实现振荡功能的电路。**不加输入信号的情况下，稳定地产生特定频率或特定频率范围内的正弦波振荡信号（第5章，正弦波振荡器）
- **实现波形变换和频率变换功能的电路。**在输入信号的作用下，产生与输入信号波形和频谱不同的输出信号。（第6章，频谱搬移单路，第7章，角度调制与解调）

本课程的学习方法

- 掌握各种功能电路的基本原理，电路原理和数学原理。
主要途径：课上学习及课下复习，通过实验加深理解。
- 进行合理的近似，对电路进行近似工程分析。主要途径：分析课本例题及做作业，并进行实验验证分析。
- 思考电路设计原则及如何改进电路性能。主要途径：计算机Multisim仿真或者实验验证。

通信是什么？从古到今通信方式的变化

喊叫



号角/击鼓/敲钟



烽火



信鸽



邮驿传信



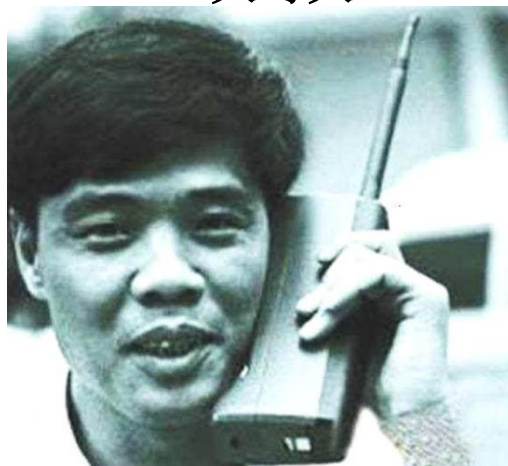
邮政通信



电报



大哥大



BP机 (Call机)



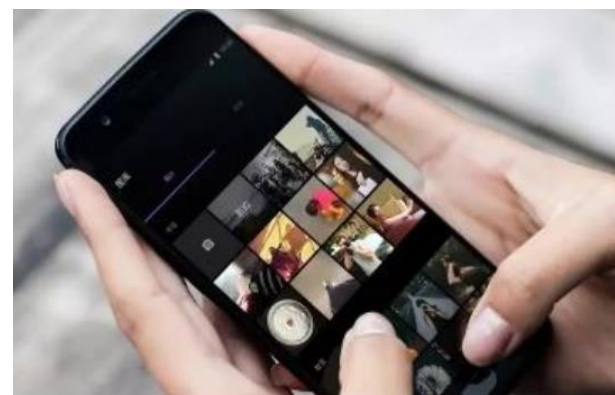
固定电话



手机出现



智能手机



第1章 绪论（2小时）

1.1 通信系统的组成

1.2 无线通信系统

1.3 无线电信号的传播方式（自学）

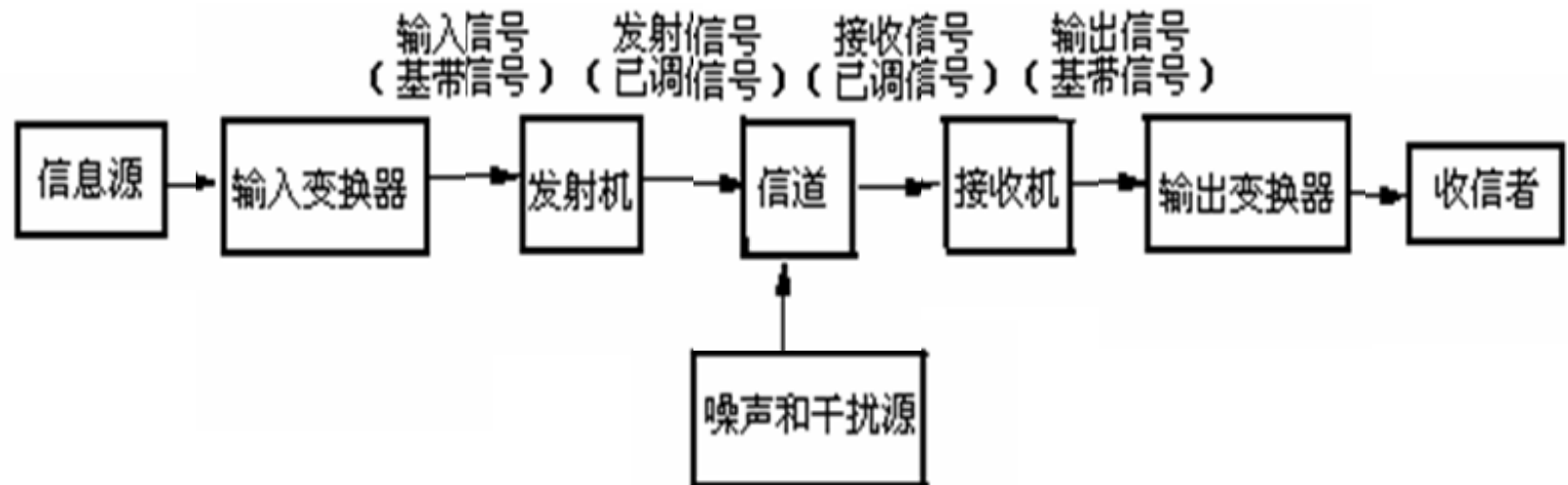
1.4 本书主要内容和组织结构（自学）

本章重点：发送设备、接收设备的组成框图及其简单的工作原理、工作波形、各部分的作用。

1.1 通信系统的组成

1、通信系统定义：一切将信息从发送者传送到接收者的过程，均为通信的过程。实现这种信息传送过程的系统即为通信系统。包括发射装置、接收装置、传输媒质。

2、通信系统的基本组成框图



3、通信系统分类

根据信道不同，通信系统可分为

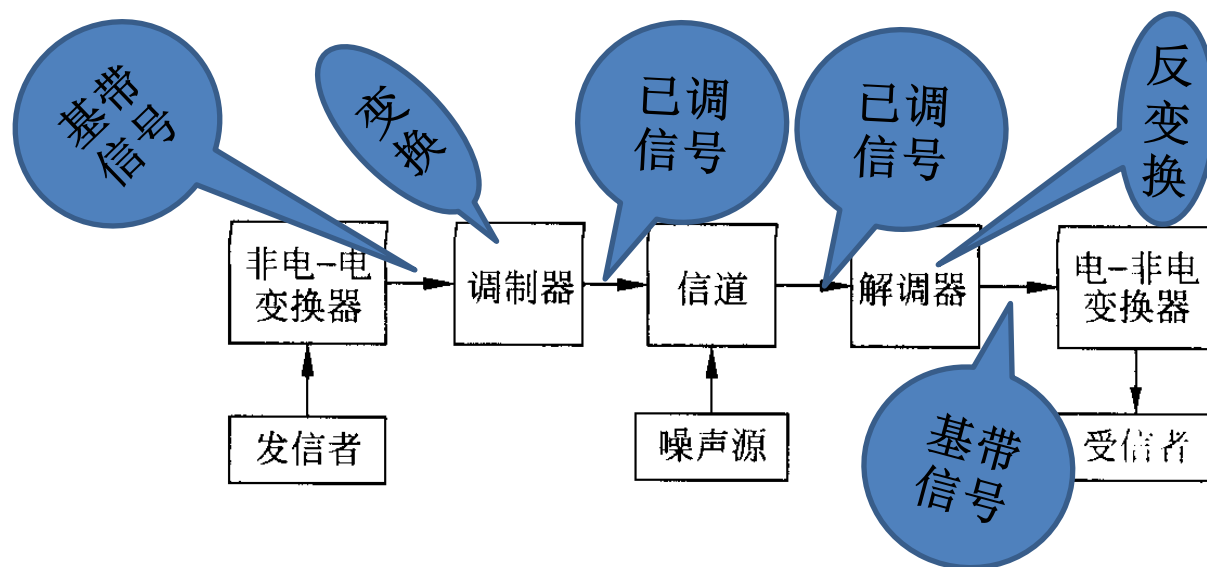
- 有线通信：利用导线传送信息的系统
- 无线通信：利用自由空间传送信息的系统
- 光纤通信：利用光导纤维传送信息的系统

根据传输的信息不同，通信系统又可分为

- 数字通信系统：所传送的信息是数字信号
- 模拟通信系统：所传送的信息是模拟信号

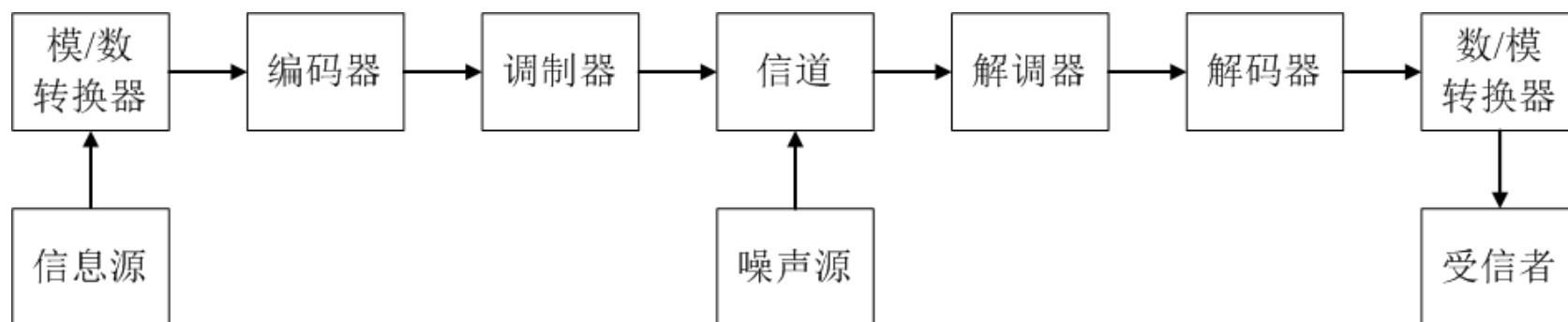
4、模拟通信系统

典型的模拟通信系统方框图如图所示



将发送端的信息源（即将要传送的话音、音乐、图像等连续变化的模拟信息），通过输入变换器（如话筒）转变成连续变化的原始电信号。原始电信号具有较低的频谱分量，而且不能直接在信道中进行远距离的传输，称之为基带信号。

5、数字通信系统



数字通信系统在发送端采用模/数转换器将模拟信号转换成数字脉冲信号，然后经过信道编码后获得数字基带信号，经过调制（幅度键控ASK，频移键控FSK，相移键控PSK）得到频带信号，然后发送。传输过程中受噪音和干扰的影响。接收端采用相反的变换过程，首先解调所接收到的射频信号，然后译码，最后经过数/模变换转换成模拟信号给受信者。

1.2 无线通信系统

一、无线通信的分类

1. 按波长分类：中波通信（如：AM调幅广播）、短波通信（如：短波广播）、超短波通信（如：FM调频广播）、微波通信（如：移动通信）等；
2. 按传送信息的类型分类：模拟通信和数字通信；
3. 按用途分类：有水底通信、地面移动通信、航空通信和舰船通信、卫星通信等。

二、无线通信系统的基本组成

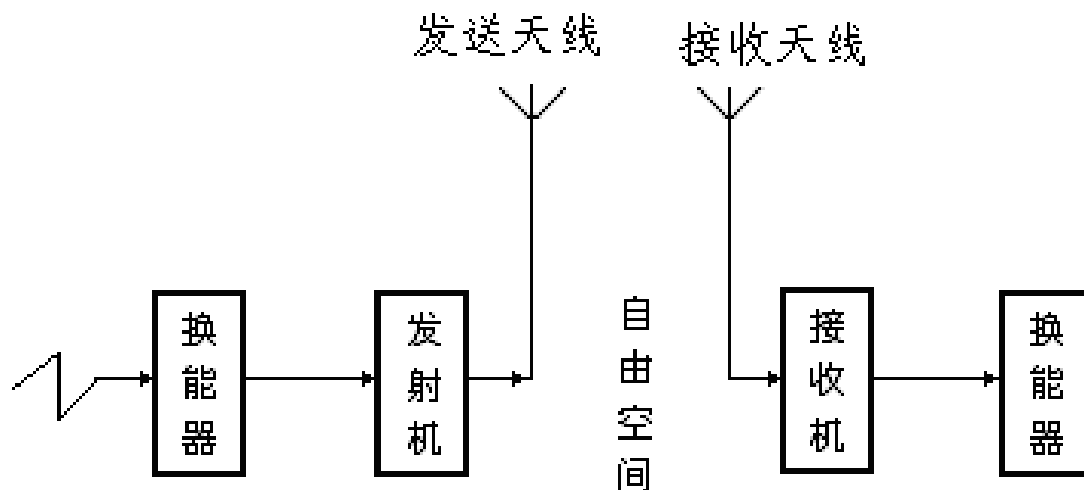
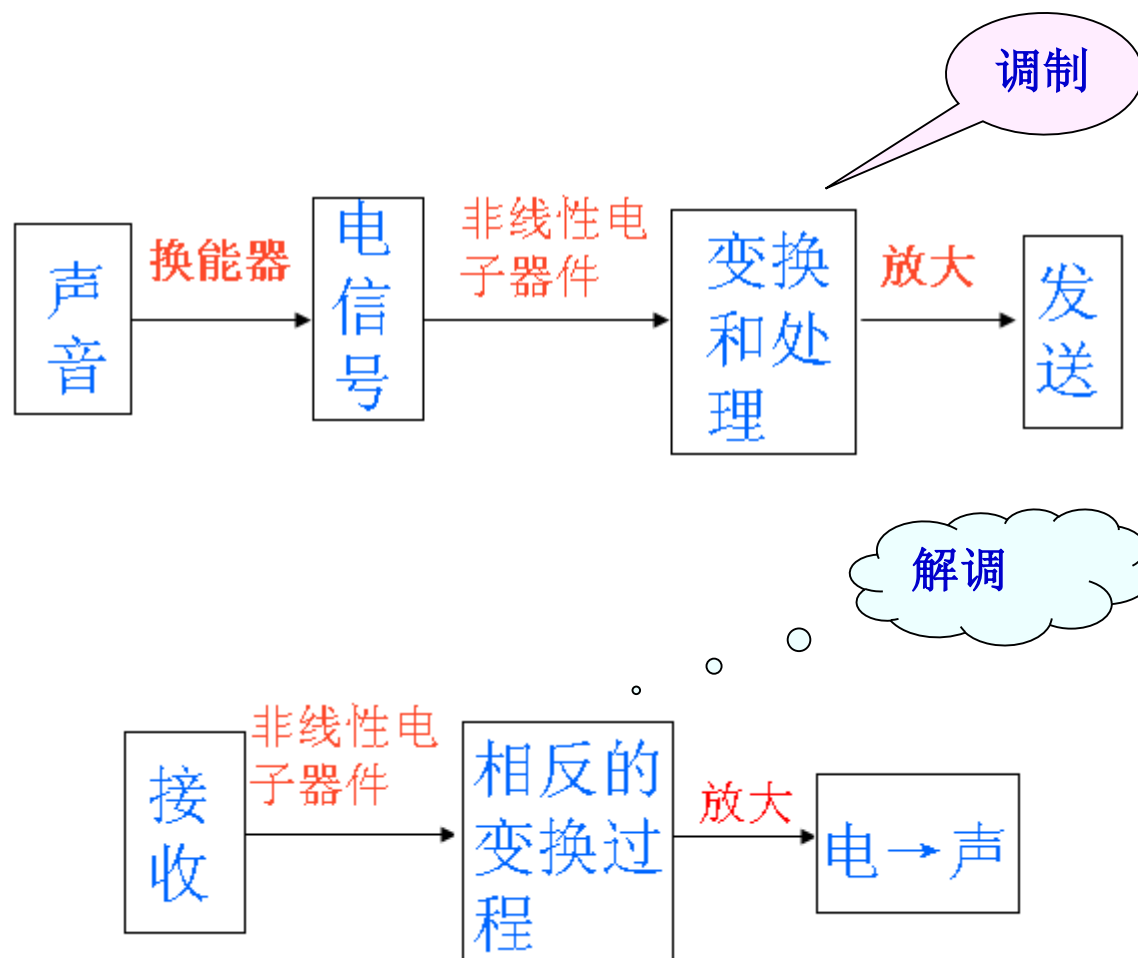


图1.2.1 无线通信系统

主要部分组成： 发射装置、接收装置、传输媒质（信道）。

三、声音信号的发送和接收



四、发射机的组成框图

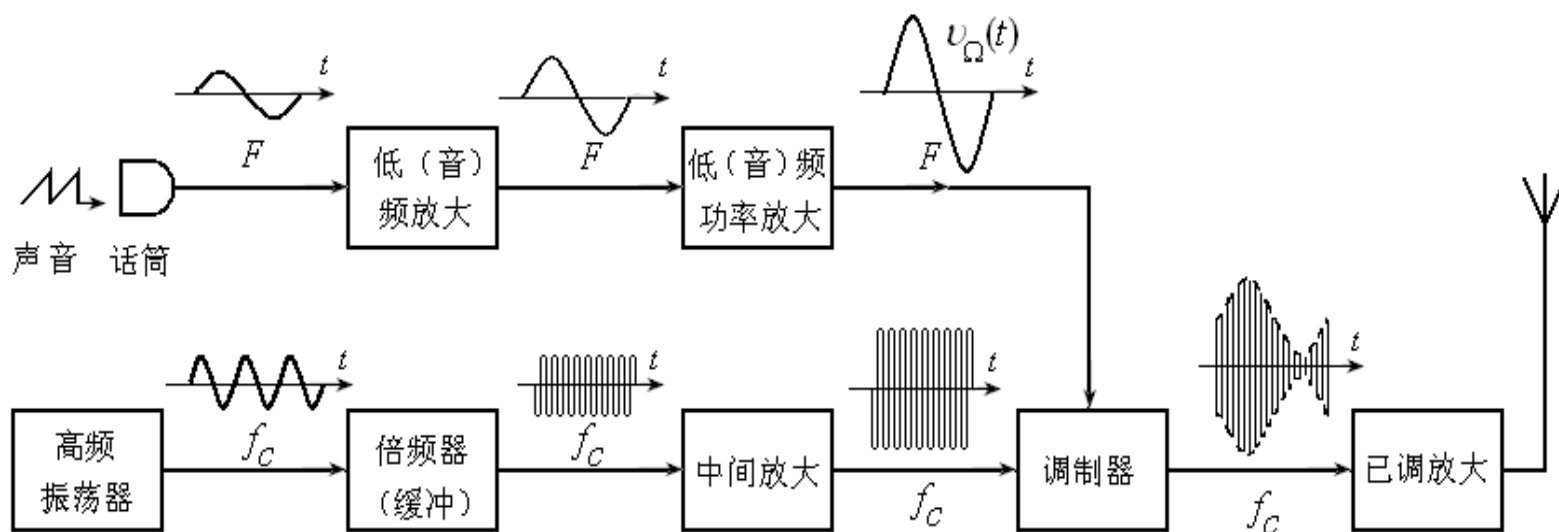


图1.2.2 发送设备框图

1、高频部分的作用

(A) 交变的电振荡可利用天线向空中辐射出去，但天线长度必须和电振荡的波长差不多。（如取十分之一）

信号波长的计算公式 $\lambda = \frac{c}{f}$

$$c = 3 \times 10^5 \quad (\text{千米 / 秒})$$

语音：300Hz~3.4 kHz；波长：1000 km~88 km

可听音频：20Hz~20 kHz；波长：15000 km~15km

(B) 若能发射，因各电台发出的信号均在同一频率范围内，会造成各电台之间的相互干扰

(C) 解决方法：



把音频信号（**调制信号**、**携有信息的信号**）“**装载**”（**调制**）到高频振荡（**载波**）之中，然后由天线向外辐射出去，这种方法叫**调制**。

运载工具

2、调制的概念

高频振荡（载波）：本身并不携有信息，可以是周期性的正弦波或非正弦波。

$$\text{设: } \nu_c(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi_0) = V_{cm} \cos \varphi(t)$$

$$\omega_c = 2\pi f_c \quad f_c \text{ 称为载频}$$

ν_Ω 表示基带信号(待发送的信号、有用信号、调制信号、音频信号)。

A、调制的定义

用基带信号 $v_{\Omega}(t)$ 控制高频电振荡 $v_c(t)$ 的某一个参量（振幅 V_{cm} 、频率 f_c 、相位 $\varphi(t)$ ），使之按 $v_{\Omega}(t)$ 的规律线性变化的过程。

B、调制的分类

根据调制信号不同分为：

模拟调制 (Analog Modulation) ：调制信号为模拟信号

数字调制 (Digital Modulation) ：调制信号为数字信号

根据受控参数不同，模拟调制可分为：

- 振幅调制 (Amplitude Modulation)，简称调幅 (AM)
- 频率调制 (Frequency Modulation)，简称调频 (FM)
- 相位调制 (Phase Modulation)，简称调相 (PM)

由于调频和调相都使载波的总相角产生变化，故又统称为调角 (Angle Modulation)。

五、接收机的组成框图

1、简单接收机框图：

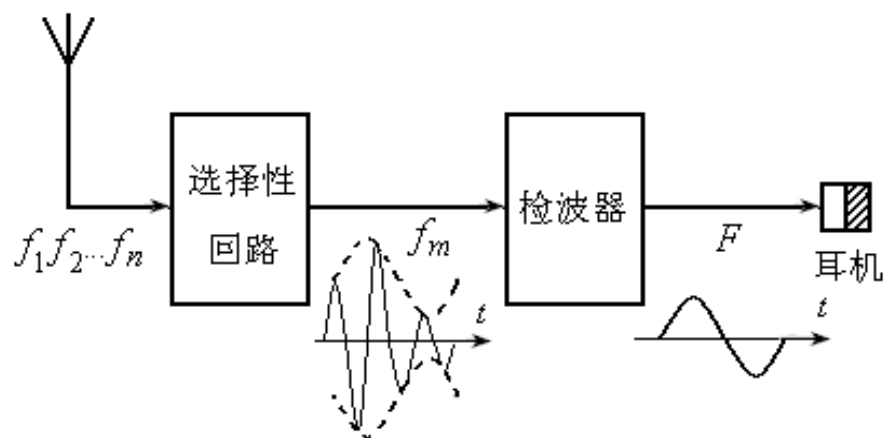


图1.2.3 简单接收机框图

各部分的作用：

2、实际接收机框图

实际上的接收机比较复杂，原因是：

(A) 天线接收的高频无线电信号非常弱，只有几十 μV 至几 mV ，所以应加高频放大器。

(B) 各电台的载波不同，同一接收机接收不同电台的信号时，调谐困难。并且在接收频段内，高频小信号放大器对较高频段的放大倍比较低频段小，不同电台接收效果不同，所以应加混频器。

混频器的作用：将接收到的不同载频的电信号转变成为固定的中频信号，即外差作用。超外差是指：本振信号频率大于接收信号频率， $\text{本振频率} - \text{接收信号频率} = \text{中频频率}$

(C) 检波器需要较高的推动电压（约500mV），所以应加中频放大器。

(D) 检波器输出只有几十 mV，而推动扬声器需要大功率，因此应加低频放大器与低频功率放大器。

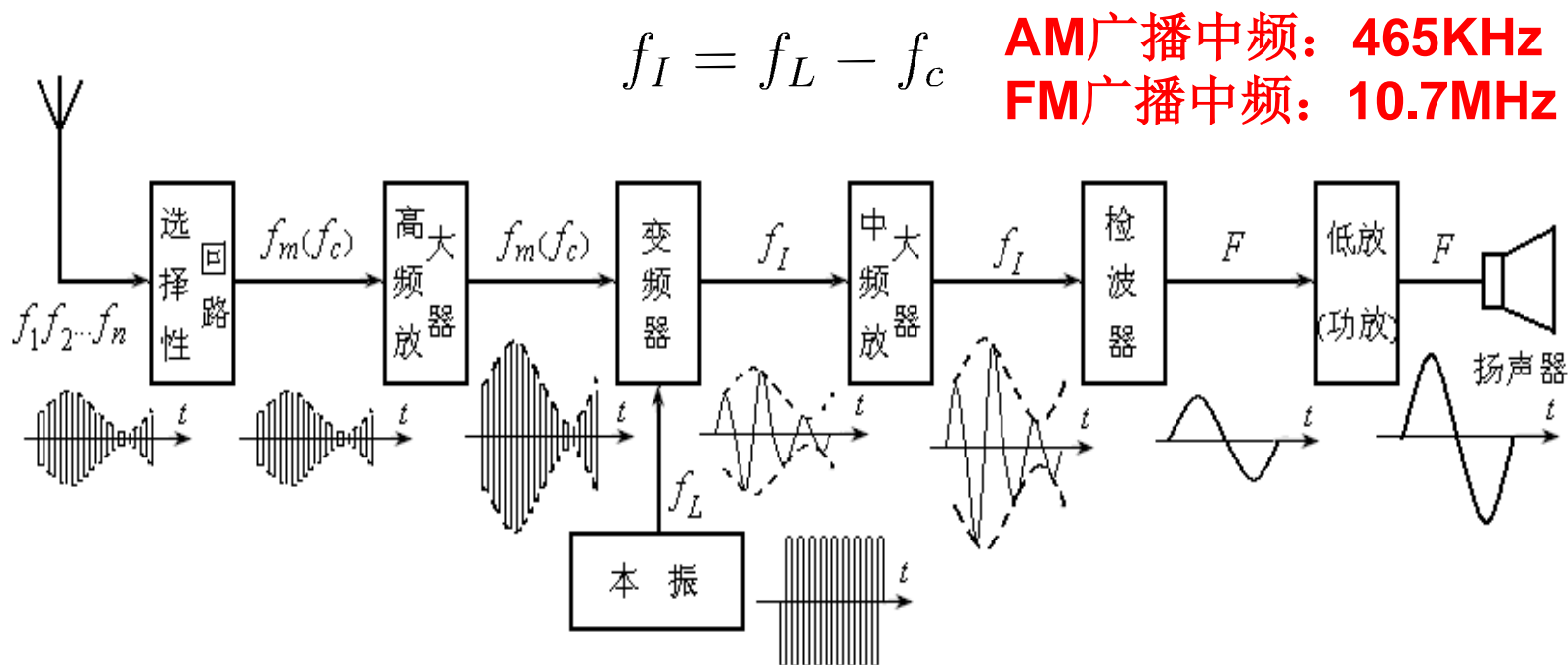


图1.2.4 典型超外差式接收机框图

1.3 无线电信号的传播方式

(自学)

- 电磁波的波长或频率范围不同，电磁波在自由空间的传播方式也不同。
- 无线电波的频率范围为： $f=3 \text{ KHz}-3000\text{GHz}$ ；
波长 $\lambda=0.1 \text{ mm}-100 \text{ km}$

1、无线电波的划分

无线电波划分	甚长波/超长波	10km-100km
	长波	1km-10km
	中波	100m-1km
	短波	10m-100m
	米波/超短波	1m-10m
	微波	0.1mm-1m

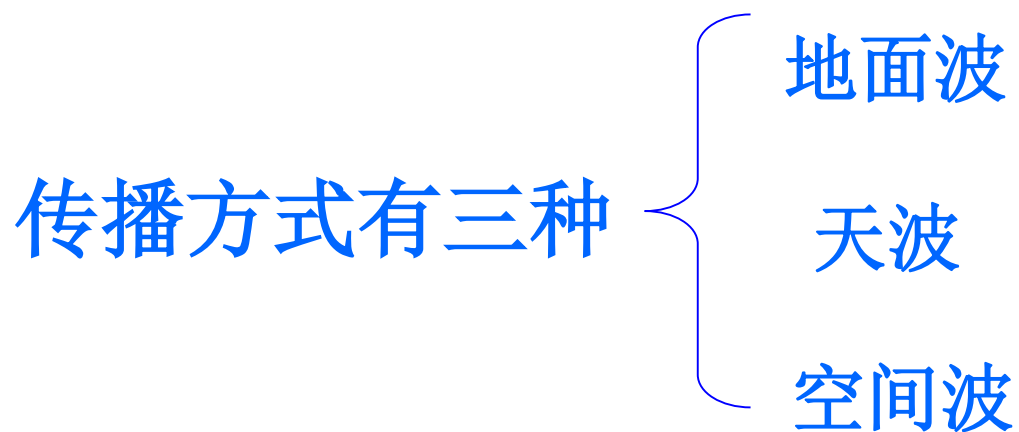
我国把整个无线电划分为12个频段

段号	频段名称	频段范围	波段名称		在自由空间的波长范围
1	极低频	3~30HZ	极长波		100000~10000 km
2	超低频	30~300HZ	超长波		10000~1000 km
3	特低频	300~3000HZ	特长波		1000~100 km
4	甚低频(VLF)	3~30K	超长波	甚长波	100~10 km(万米波)
5	低频(LF)	30~300K	长波		10000~1000 m(千米波)
6	中频(MF)	300~3000K	中波		1000~100 m(百米波)
7	高频(HF)	3~30M	短波		100~10 m(十米波)
8	甚高频(VHF)	30~300M	超短波	米波	10~1 m(米波)
9	特高频(UHF)	300~3000M	微波	分米波	10~1 dm
10	超高频(SHF)	3~30G		厘米波	10~1 cm
11	极高频(EHF)	30~300G		毫米波	10~1 mm
12	至高频	300~3000G		丝米波	1000~100um(亚毫米波)

- **甚低频 (VLF、3kHz-30kHz、甚长波、有时称为超长波)：** 海岸潜艇通信，超远距离导航等。
- **低频 (LF、30kHz-300kHz、长波)：** 越洋通信；中距离通信；地下岩层通信；远距离导航；海上导航。
- **中频 (MF、0.3MHz-3MHz、中波)：** 船用通信；业余无线电通信；中距离导航；AM调幅广播（530KHz~1600KHz）。
- **高频 (HF、3MHz-30MHz、短波)：** 远距离短波通信；短波广播。
- **甚高频 (VHF、30MHz-300MHz、米波、有时称为超短波)：** 电离层散射（30-60 MHz）；流星余迹通信；人造电离层通信（30-144 MHz）；对大气层内、外空间飞行体（飞机、导弹、卫星）的通信；广播电视；移动通信；FM调频广播（76MHz~108MHz）。

- **超高频 (UHF、0.3GHz-3GHz、分米波):** 小容量微波中继通信; (352-420MHz); 对流层散射通信 (700-10000MHz); 中容量微波通信 (1700-2400MHz), 移动通信, 无线局域网、广播电视。
- **特高频(SHF、3GHz-30GHz、厘米波):** 大容量微波中继通信 (3600-4200MHz); 大容量微波中继通信 (5850-8500MHz); 5G/6G移动通信; 无线局域网; 卫星通信; 国际海事卫星通信 (1500-1600MHz)。
- **极高频(EHF、30GHz-300GHz、毫米波):** 再入大气层时的通信; 波导通信; 5G/6G移动通信。

2、无线电波的传播方式



和光波一样，无线电波也具有直射、反射、折射等现象。

(1) 地面波

沿地球弯曲表面传播，适用于波长 $\lambda = 200\text{m}$ 以上的中、长波。

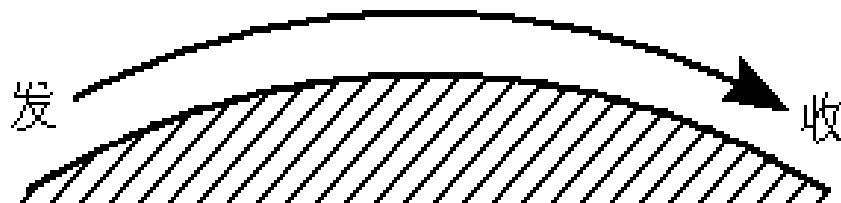


图1.2.5 地面波的发射与接收

- 由于大地表面是导体，当电磁波在其表面传播时，一部分能量将被损耗掉，且频率越高，趋肤效应越强，损耗越大。故频率更高的电磁波不易沿地面传播，而主要靠电离层。
- 趋肤效应：当导体中有交流电或交变电磁场时，导体内部的电流分布不均匀，电流集中在导体的“皮肤”部分，也就是说电流集中在导体外表的薄层，越靠近导体表面，电流密度越大，导体内部电流较小。

(2) 天波

地球大气层上方，太阳照射使得气体发生电离产生自由电子和离子，称为电离层。利用电离层的折射与反射，使电磁波到达电离层后，一部分能量被吸收，一部分被反射到地面，一部分被折射到外层空间。

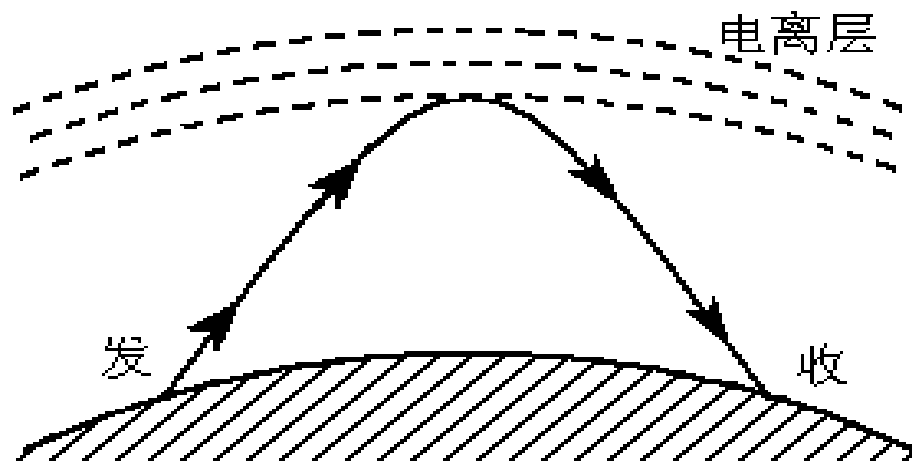


图1.2.6 天波的发射与接收

- 入射角越大，越易反射，入射角越小，越易折射。
- 当频率升高时，电磁波被电离层吸收的能量增加，当频率升高超过一定值时，电磁波将会穿过电离层，不再返回地面。所以天波适用于10m-200m的短波。
- 利用电离层的反射实现信号的远距离传输，特别是利用地面和电离层之间的多次反射，实现几千公里的传输。

频率更高的电磁波 ($\lambda \leq 10\text{m}$) ,不再适用电离层传播，而是沿空间直线传播，即空间波。

(3) 空间波

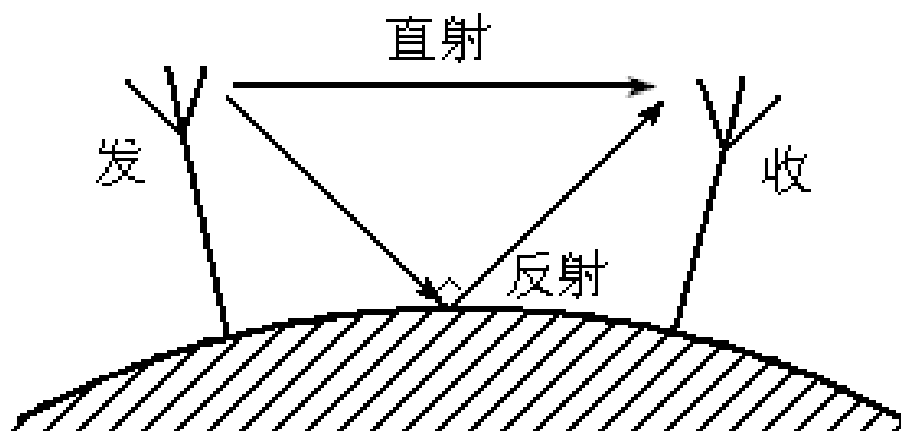


图1.2.7 空间波的发射与接收

空间波是利用直射和反射实现电磁波的传播。但只限于视距距离范围内。通常**50**米高的天线通信距离约**50**公里。

结论：

- 长波信号以地波传播为主；
- 中波和短波信号以地波和天波两种方式传播，
而中波以地波为主，短波以天波为主；
- 频率较高的超短波及其更高频率的无线电波，
主要沿空间直射传播。

本节小结:

本节主要介绍了无线电发送设备、接收设备的组成框图及其简单的工作原理、工作波形、各部分的作用。

要求:

- 1、掌握无线电发送设备的组成框图;
- 2、掌握无线电接收设备的组成框图;

下节课预备知识:

电路分析中：阻抗（导纳）的概念

LC并联谐振回路的特性

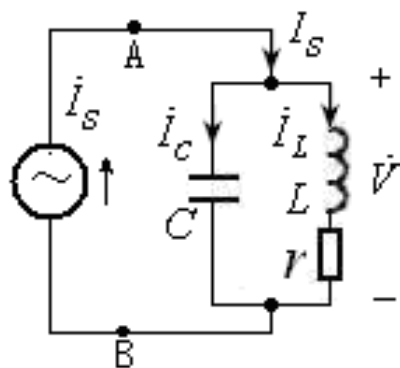


图2.1.1 并联谐振回路

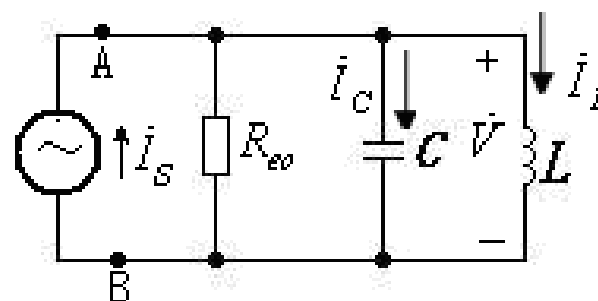


图2.1.2 并联等效电路

预习：2.1 2.2