



SUNSTAR微波光电 <http://www.rfoe.net/> TEL:0755-83396822 FAX:0755-83376182 E-MAIL:szss20@163.com



科技无极限 创新无限

射频基础知识培训

www.huawei.com

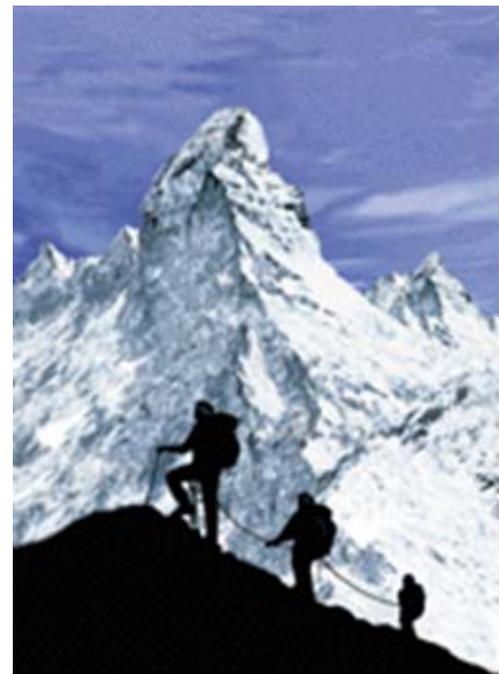
SUNSTAR射频通信 <http://www.rfoe.net/> TEL:0755-83397033 FAX:0755-83376182 E-MAIL:szss20@163.com

www.huawei.com

课程目标

学习完本课程，您将能够：

- 熟悉和掌握射频基本概念和知识
- 了解无线射频系统结构
- 了解天馈系统的概念和知识



课程内容



第一章 无线通信的基本概念



第二章 射频常用计算单位简介



第三章 射频常用概念辨析



第四章 射频系统介绍



第五章 天线传播基础知识简介



第一章 无线通信的基本概念



- 第一节 概述
- 第二节 无线通信使用的频率和波段
- 第三节 无线通信的电磁波传播



概述

- 利用电磁波的辐射和传播，经过空间传送信息的通信方式称之为无线电通信（Wireless Communication），也称之为无线通信。利用无线通信可以传送电报、电话、传真、数据、图像以及广播和电视节目等通信业务。

第一章 无线通信的基本概念



- 第一节 概述
- 第二节 无线通信使用的
频段和波段
- 第三节 无线通信的电磁
波传播



无线通信使用的频段和波段

- 目前无线通信使用的频率从超长波波段到亚毫米波段（包括亚毫米波以下），以至光波。无线通信使用的频率范围和波段见下表。



无线通信使用的频段和波段

- 无线通信使用的电磁波的频率范围和波段

频段名称	频率范围	波段名称	波长范围
极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波	100~10Mm ($10^8\sim10^7\text{m}$)
超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波	10~1Mm ($10^7\sim10^6\text{m}$)
特低频 (ULF)	300~3000Hz	特长波	1000~100km ($10^6\sim10^5\text{m}$)
甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波	100~10km ($10^5\sim10^4\text{m}$)
低频 (LF)	30~300kHz	长波	10~1km ($10^4\sim10^3\text{m}$)
中频 (MF)	300~3000kHz	中波	1000~100m ($10^3\sim10^2\text{m}$)
高频 (HF)	3~30MHz	短波	100~10m ($10^2\sim10\text{m}$)
甚高频 (VHF)	30~300MHz	超短波 (米波)	10~1m



无线通信使用的频段和波段

- 无线通信使用的电磁波的频率范围和波段（续）

频段名称	频率范围	波段名称		波长范围
特高频（UHF）	300~3000MHz	微波	分米波	1~0.1m ($1\sim 10^{-1}$ m)
超高频（SHF）	3~30GHz		厘米波	10~1cm ($10^{-1}\sim 10^{-2}$ m)
极高频（EHF）	30~300GHz		毫米波	10~1mm ($10^{-2}\sim 10^{-3}$ m)
至高频（THF）	300~3000GHz		亚毫米波	1~0.1mm ($10^{-3}\sim 10^{-4}$ m)
		光波		$3\times 10^{-3}\sim 3\times 10^{-5}$ mm ($3\times 10^{-6}\sim 3\times 10^{-8}$ m)

由于种种原因，在一些欧、美、日等西方国家常常把部分微波波段分为L、S、C、X、Ku、K、Ka等波段（或称子波段），具体如表1 - 2所示。



无线通信使用的频段和波段

- 无线通信中所使用的部分微波波段的名称

频率和波长 波段代号	频率范围	波长范围
L	1~2GHz	30~15cm
S	2~4GHz	15~7.5cm
C	4~8GHz	7.5~3.75cm
X	8~13GHz	3.75~2.31cm
Ku	13~18GHz	2.31~1.67cm
K	18~28GHz	1.67~1.07cm
Ka	28~40GHz	1.07~0.75cm

第一章 无线通信的基本概念



- 第一节 概述
- 第二节 无线通信使用的频段和波段
- 第三节 无线通信的电磁波传播



无线通信的电磁波传输

- 无线通信中的电磁波按照其波长的不同具有不同的传播特点，下面按波长分述如下：

- ▶ 极长波（极低频ELF）传播

- 极长波是指波长为1~10万公里（频率为3~30Hz）的电磁波。理论研究表明，这一波段的电磁波沿陆地表面和海水中传播的衰减极小。



无线通信的电磁波传输

➤ 超长波（超低频SLF）传播

- 超长波是指波长1千公里至1万公里（频率为30~300Hz）的电磁波。这一波段的电磁波传播十分稳定，在海水中衰耗很小（频率为75Hz时衰耗系数为0.3dB/m）对海水穿透能力很强，可深达100m以上。

➤ 甚长波（甚低频VLF）传播

- 甚长波是指波长10公里~100公里（频率为3~30kHz）的电磁波。无线通信中使用的甚长波的频率为10~30kHz，该波段的电磁波可在大地与低层的电离层间形成的波导中进行传播，距离可达数千公里乃至覆盖全球。



无线通信的电磁波传输

➤ 长波（低频LF）传播

- 长波是指波长1公里~10公里（频率为30~300kHz）的电磁波。其可沿地表面传播（地波）和靠电离层反射传播（天波）。

➤ 中波（中频MF）传播

- 中波是指波长100米~1000米（频率为300~3000kHz）的电磁波。中波可沿地表面传播（地波）和靠电离层反射传播（天波）。中波沿地表面传播时，受地表面的吸收较长波严重。中波的天波传播与昼夜变化有关。



无线通信的电磁波传输

➤ 短波（高频HF）传播

- 短波是指波长为10米~100米（频率为3~30MHz）的电磁波。短波可沿地表面传播（地波），沿空间以直接或绕射方式传播（空间波）和靠电离层反射传播（天波）。

➤ 超短波（甚高频VHF）传播

- 超短波是指波长为1米~10米（频率为30~300MHz）的电磁波。超短波难以靠地波和天波传播，而主要以直射方式（即所谓的“视距”方式）传播。



无线通信的电磁波传播

➤ 微波传播

- 微波是指波长小于1米（频率高于300MHz）的电磁波。目前又按其波长的不同，分为分米波（特高频UHF）、厘米波（超高频SHF）、毫米波（极高频EHF）和亚毫米波（至高频THF）。
- 微波的传播类似于光波的传播，是一种视距传播。其主要在对流层内进行。总的说来，这种传播方式比较稳定，但其传播也受到大气折射和地面反射的影响。另外，对流层中的大气湍流气团对微波有散射作用。利用这种散射作用可实现微波的超视距传播。
- WCDMA工作频段：上行1920~1980MHz，下行2110~2170MHz，属于微波波段，其电磁波传播方式为微波传播。



本章小结

- 本章主要讲述了无线通信的概念、无线通信的频段和波动的划分以及无线通信的电磁波传播方式及其特点，最后简要说明了WCDMA的工作频段和电磁波传播方式。

课程内容

▶ 第一章 无线通信的基本概念

▶ 第二章 射频常用计算单位简介

▶ 第三章 射频常用概念辨析

▶ 第四章 射频系统介绍

▶ 第五章 天线传播基础知识简介



第二章 射频常用计算单位简介



- 第一节 功率单位简介
- 第二节 天线传播相关单位简介
- 第三节 其他



功率单位简介

- 绝对功率的dB表示

射频信号的绝对功率常用dBm、dBW表示，它与mW、W的换算关系如下：

例如信号功率为x W，利用dBm表示时其大小为：

$$p(dBm) = 10 \log\left(\frac{X \cdot 1000(mW)}{1(mW)}\right)$$

$$p(dBW) = 10 \log\left(\frac{X(W)}{1(W)}\right)$$

例如：1W等于30dBm，等于0dBW。



功率单位简介

- 相对功率的dB表示

射频信号的相对功率常用dB和dBc两种形式表示，其区别在于：dB是任意两个功率的比值的对数表示形式，而dBc是某一频点输出功率和载频输出功率的比值的对数表示形式。

第二章 射频常用计算单位简介



- 第一节 功率单位简介
- 第二节 天线传播相关单位简介
- 第三节 其他



天线传播相关单位简介

- 天线和天线增益

天线增益一般由dBi或dBd表示。dBi是指天线相对于无方向天线的功率能量密度之比，dBd是指相对于半波振子Dipole 的功率能量密度之比，半波振子的增益为2.15dBi，因此0dBd=2.15dBi。

第二章 射频常用计算单位简介



- 第一节 功率单位简介
- 第二节 天线传播相关单位简介
- 第三节 其他



其他

- 电阻：阻挡电流通过的物体或物质，从而把电能转化为热能或其它形式的能量，单位：欧姆， Ω
- 电压：电位或电位差，单位：伏特，V
- 电流：单位时间内通过电路上某一确定点的电荷数，单位：安培，A
- 电感：线圈环绕着的東西，通常是导线，由于电磁感应的原因，线圈可产生电动势能，单位：亨利，H
- 电容：一个充电的绝缘导电物体潜在具有的最大电荷率，单位：法拉，F



本章小结

- 本章简单介绍了各种射频常用计算单位，是深入地理解射频概念的必备基础知识之一。

课程内容



▶ 第一章 无线通信的基本概念

▶ 第二章 射频常用计算单位简介

● 第三章 射频常用概念辨析

▶ 第四章 射频系统介绍

▶ 第五章 天线传播基础知识简介

第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



功率相关概念

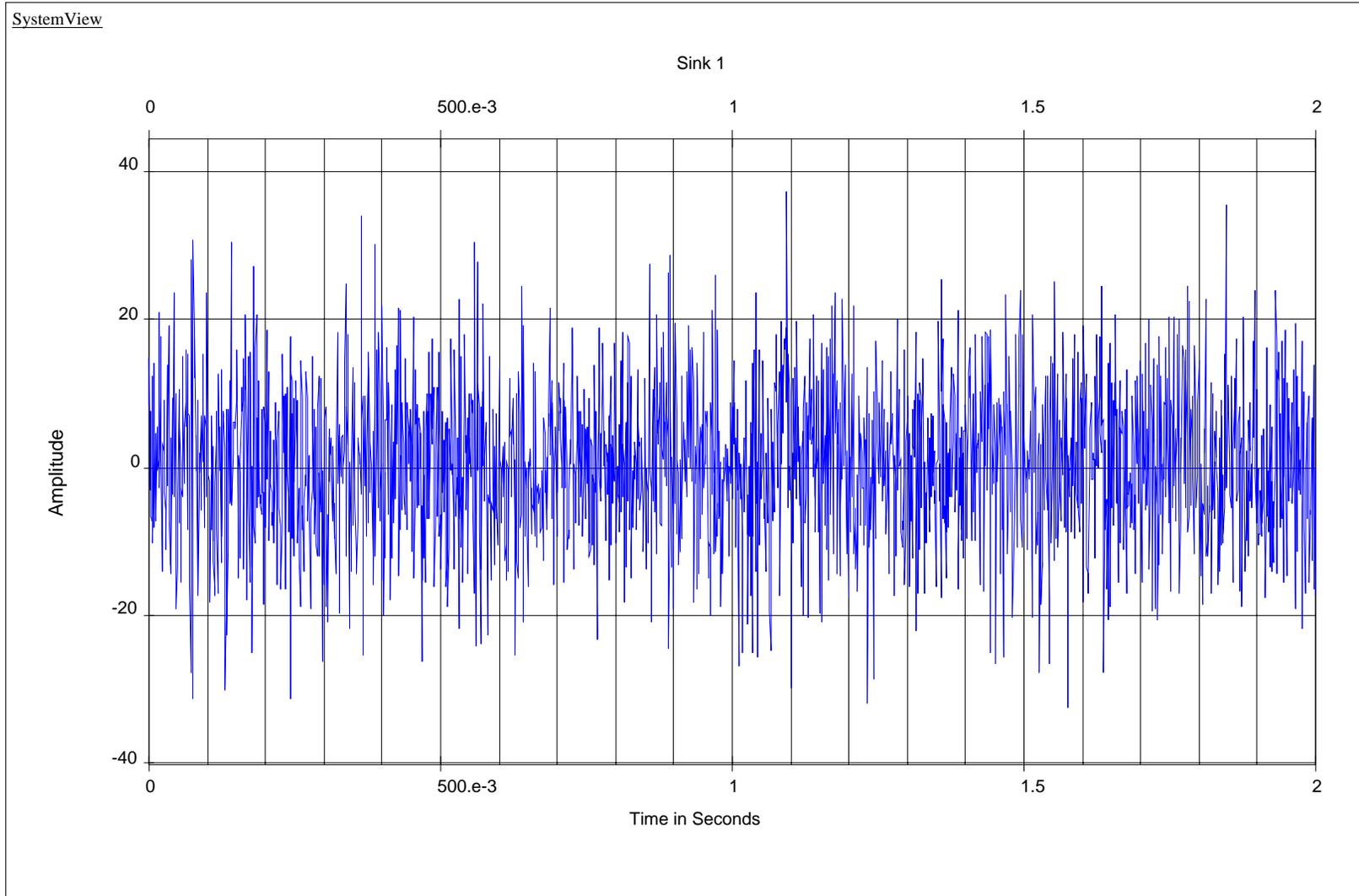
- 信号的峰值功率、平均功率和峰均比PAR

解释：很多信号从时域观测并不是恒定包络，而是如下面图形所示。

峰值功率即是指以某种概率出现的肩峰的瞬态功率。通常概率取为0.01%。



功率相关概念





功率相关概念

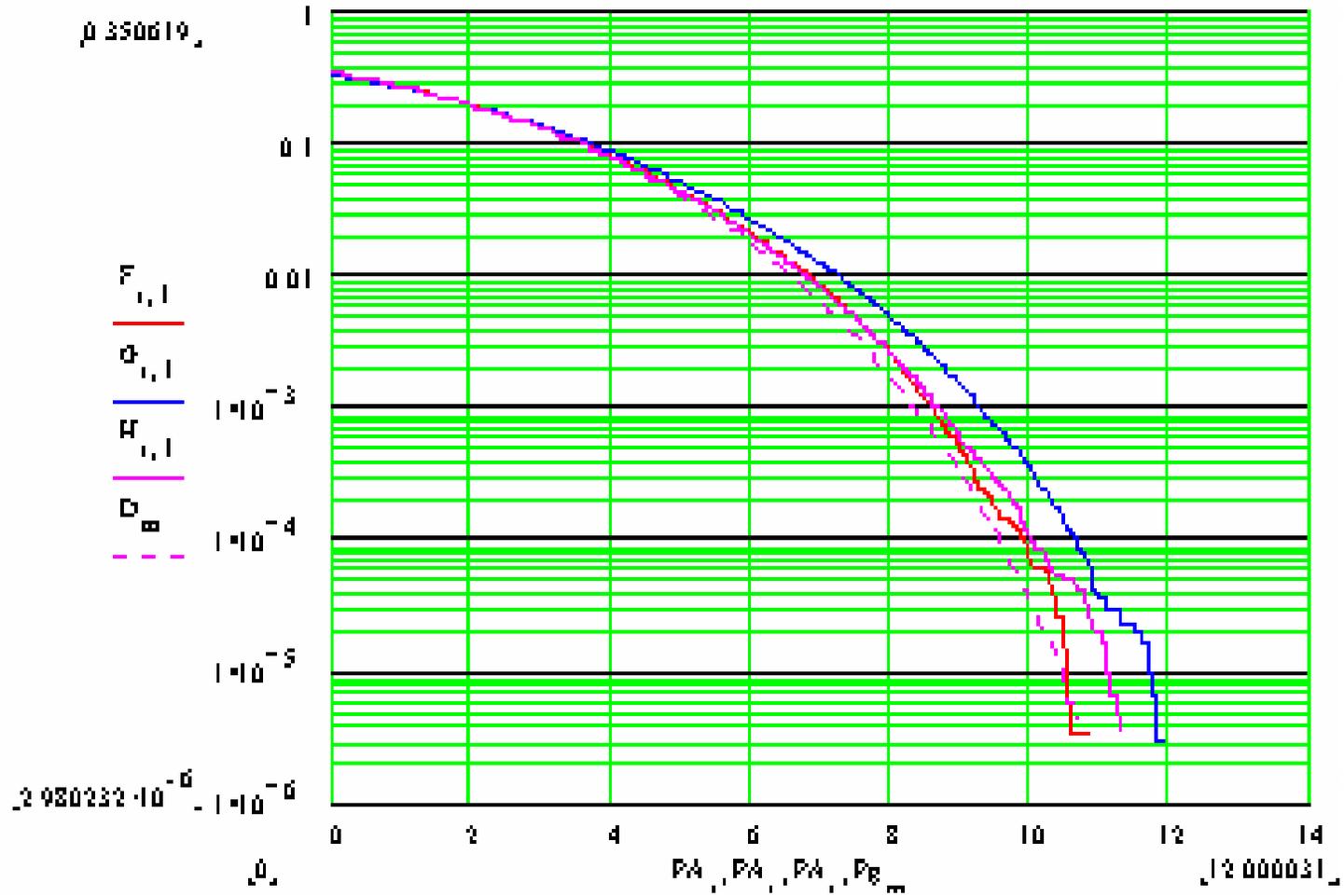
- 信号的峰值功率、平均功率和峰均比PAR

解释：平均功率是系统输出的实际功率。在某个概率下峰值功率跟平均功率的比就称为在某个概率下的峰均比，如PAR=9.1@0.1%，各种概率下的峰均比就形成了CCDF曲线（互补累积分布函数）。

在概率为0.01%处的PAR，一般称为CREST因子。



功率相关概念



第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



噪声相关概念

- 噪声定义

噪声是指在信号处理过程中遇到的无法确切预测的干扰信号（各类点频干扰不是算噪声）。常见的噪声有来自外部的地球大气层外银河系产生的噪声、大气干扰和电暴、人为噪声，汽车的点火噪声，来自系统内部的热噪声，晶体管等在工作时产生的散粒噪声，信号与噪声的互调产物。

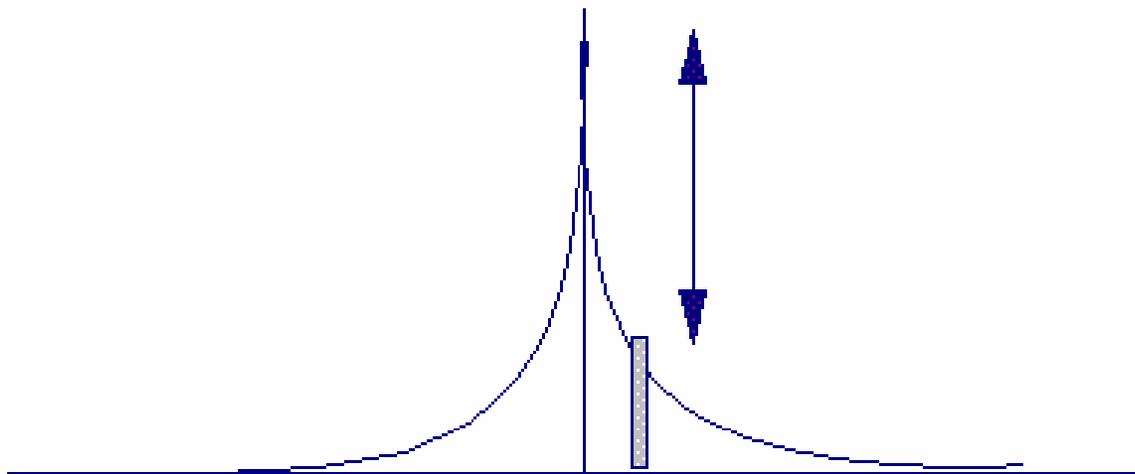


噪声相关概念

- 相位噪声

相位噪声是用来衡量本振等单音信号频谱纯度的一个指标，在时域表现为信号过零点的抖动。理想的单音信号，在频域应为一脉冲，而实际的单音总有一定的频谱宽度，如下面所示。一般的本振信号可以认为是随机过程对单音调相的过程，因此信号所具有的边带信号被称为相位噪声。相位噪声在频域的可以这样定量描述：偏离中心频率多少 Hz 处，单位带宽内的功率与总信号功率相比。

噪声相关概念



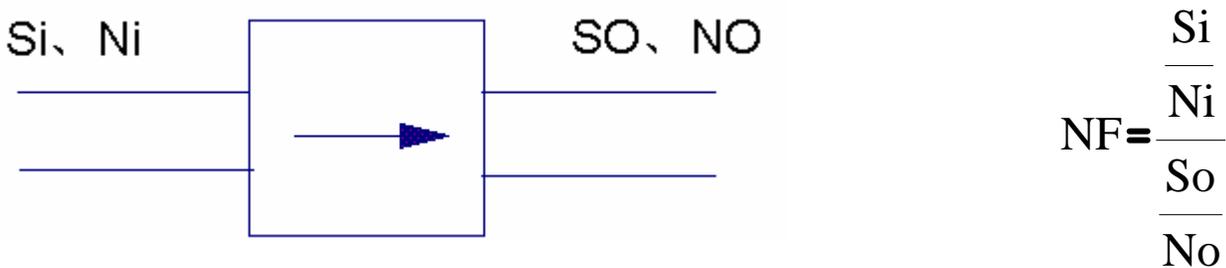
例如晶体的相位噪声可以这样描述:

偏离中心频率	10Hz	100Hz	1 KHz	10KHz
单边相噪	-120dB c/Hz	-130dB c/Hz	-140dB c/Hz	-150dB c/Hz

噪声相关概念

- 噪声系数

噪声系数是用来衡量射频部件对小信号的处理能力，通常这样定义：
单元输入信噪比除输出信噪比，如下图：



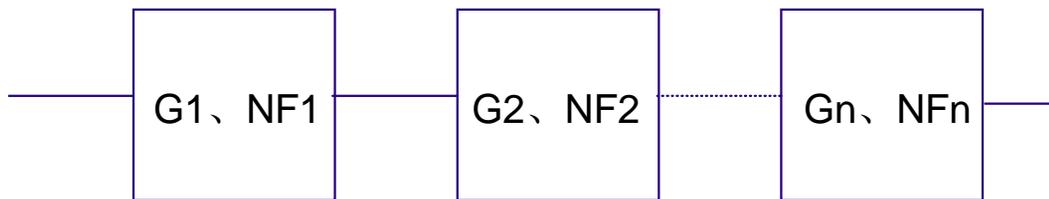
对于线性单元，不会产生信号与噪声的互调产物及信号的失真，这时噪声系数可以用下式表示：

$$NF = P_{no} / (G * KTB)$$

P_{no} 表示输出端的噪声功率， G 为单元增益， KTB 为热噪声功率。

噪声相关概念

- 级联网络的噪声系数公式:



$$NF_{\text{总}} = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \dots + \frac{NF_n - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{n-1}}$$

第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



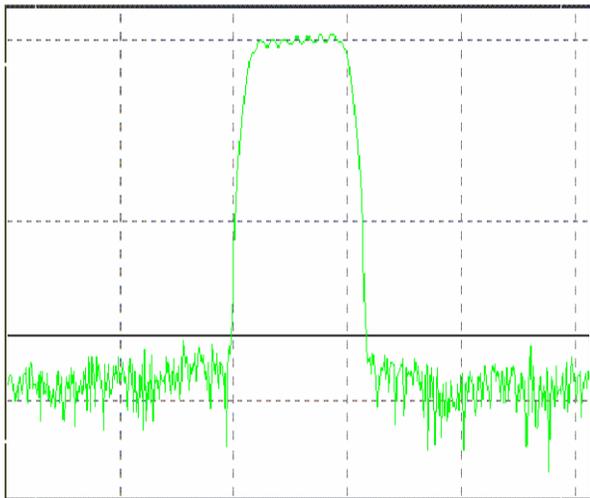
线性相关概念

- 信号在通过射频通道（这里所谓的射频通道是指射频收发信机通道，不包括空间段衰落信道）时会有一定程度的失真，失真可以分为线性失真和非线性失真。产生线性失真的主要有一些滤波器等无源器件，产生非线性失真的主要有一些放大器、混频器等有源器件。另外射频通道还会有一些加性噪声和乘性噪声的引入。

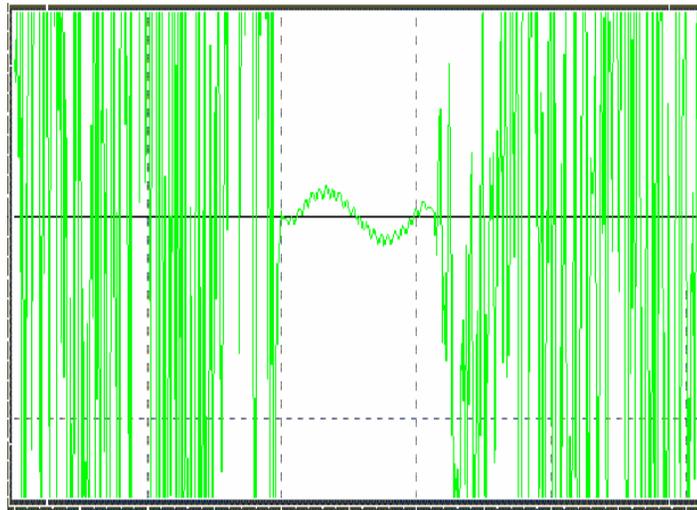
线性相关概念

- 线性失真

线性失真又可以分成线性幅度失真和线性相位失真，从频域可以很方便表示这些失真，如下图：



幅频特性

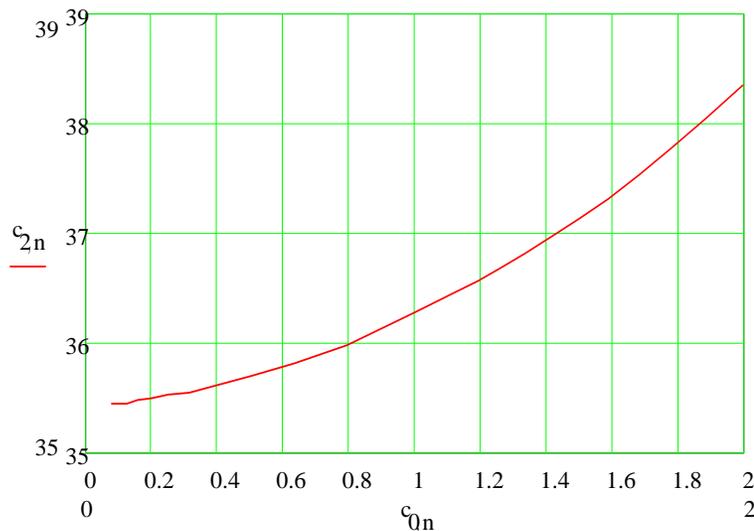
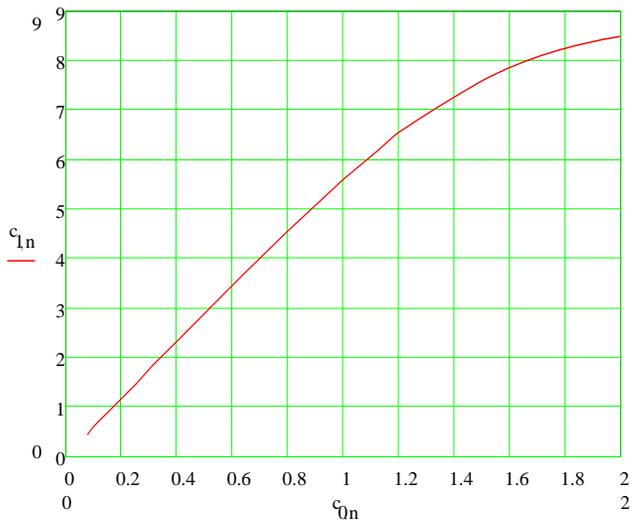


相频特性

线性相关概念

- 非线性失真

非线性失真与线性失真相似，可以分成非线性幅度失真和非线性相位失真，图形表示如下：





线性相关概念

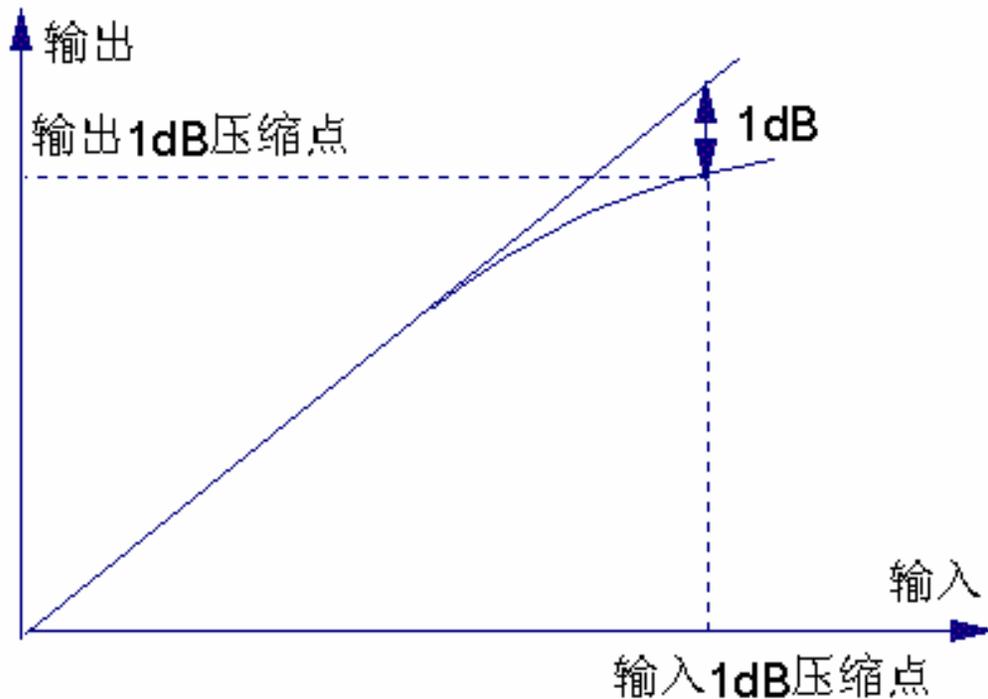
- 非线性幅度失真

非线性幅度失真常用1dB压缩点、三阶交调、三阶截止点等指标衡量，下面分别讨论这三个指标。

- 1dB压缩点

例如一个射频放大器，当输入信号较小时，其输出与输入可以保证线性关系，输入电平增加1dB，输出相应增加1dB，增益保持不变，随着输入信号电平的增加，输入电平增加1dB，输出将增加不到1dB，增益开始压缩，增益压缩1dB时的输入信号电平称为输入1dB压缩点，这时输出信号电平称为输出1dB压缩点。如下图：

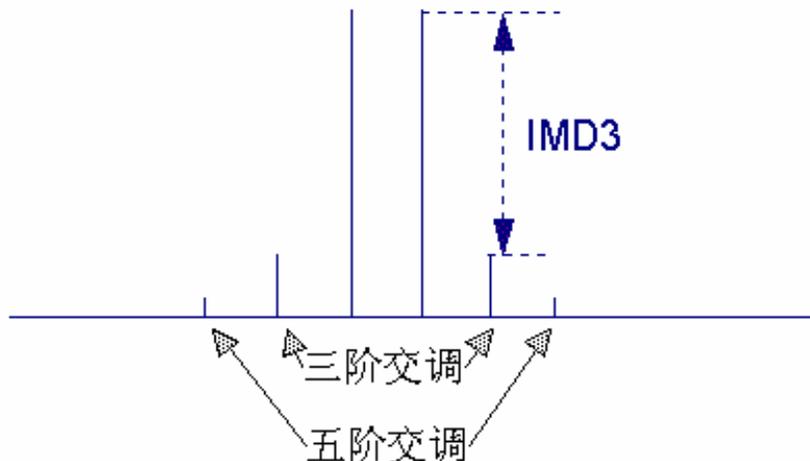
线性相关概念



线性相关概念

- 三阶交调

三阶交调（双音三阶交调）是用来衡量非线性的一个重要指标，在这里以放大器为例来说明三阶交调指标。用两个相隔 Δf ，且电平相等的单音信号同时输入一个射频放大器，则放大器的输出频谱大致如下：



三阶交调常用dBc表示，即交调产物与主输出信号的比。

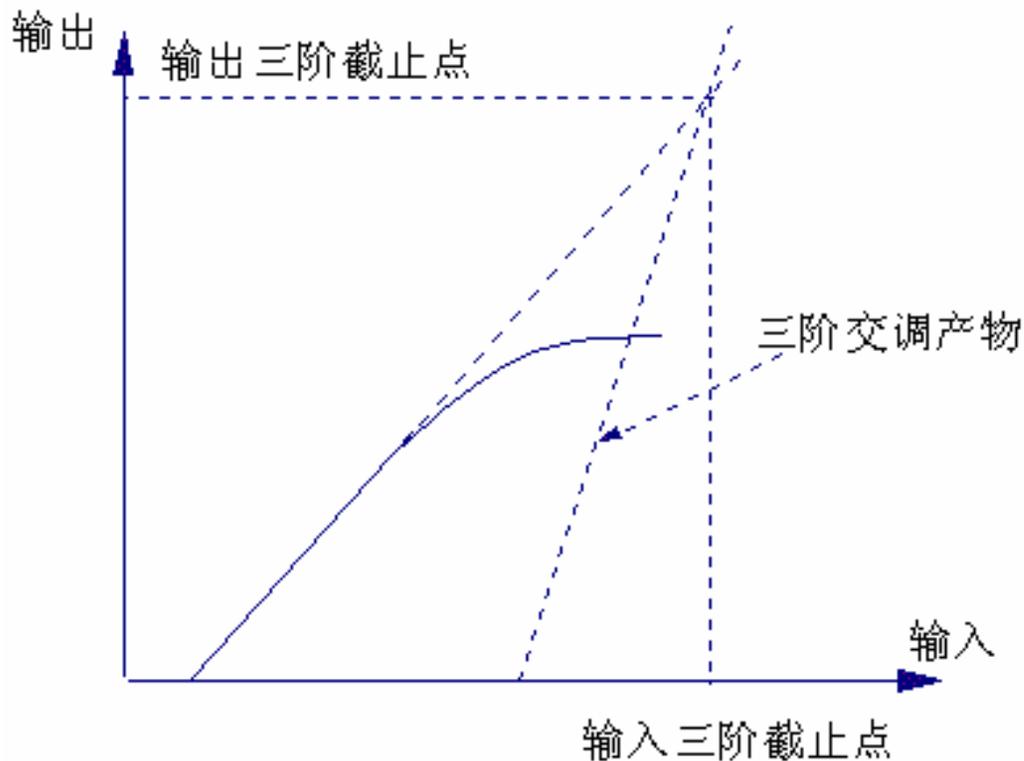


线性相关概念

- 三阶截止点

任一微波单元电路，输入双音信号同时增加1dB，输出三阶交调产物将增加3dB，而主输出信号仅增加1dB（不考虑压缩），这样输入信号电平增加到一定值时，输出三阶交调产物与主输出信号相等，这一点称为三阶截止点，对应的输入信号电平称为输入三阶截止点，对应的输出信号电平称为输出三阶截止点。注意：三阶截止点信号电平是不可能达到的，因为在这时早已超过微波单元电路的承受能力。

线性相关概念



第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- *第四节 传输线相关概念*
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



传输线相关概念

- 传输线

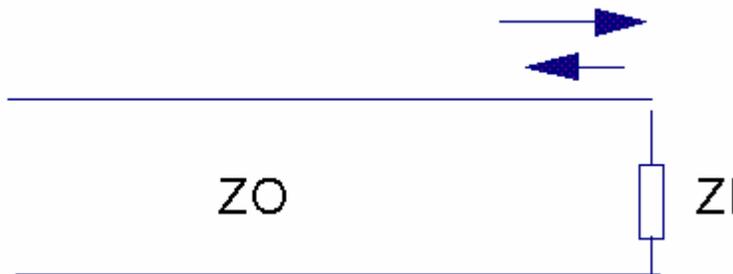
从电子学概念上来说能够传输电磁能量的线路都叫传输线，在射频和微波频段由于信号波长很短，传输线的长度可以和波长相比拟，线上各点的电压和电流都不再相同，整个传输线也不再是等效电路中的一点，这个意义上的传输线叫长线，如无特殊说明射频和微波信号的传输线都是指长线传输线。常见的射频传输线有平行线、同轴线、波导、带状线、微带线等不同形式。特性阻抗和传播常数是任何微波传输线的最主要两个参量。

传输线相关概念

● 特征阻抗

解释：特征阻抗是微波传输线的固有特性，它等于模式电压与模式电流之比。无耗传输线的特征阻抗为实数，有耗传输线的特征阻抗为复数。在做射频PCB板设计时，一定要考虑匹配问题，考虑信号线的特征阻抗是否等于所连接前后级部件的阻抗。当不相等时则会产生反射，造成失真和功率损失。反射系数(此处指电压反射系数)可以由下式计算得出：

$$\Gamma = \frac{Zl - Zo}{Zl + Zo}$$





传输线相关概念

在目前世界上的微波通讯系统一般分为两种特性阻抗，一种是50欧姆系统，如军用的微波、毫米波通讯系统，雷达，我们目前开发的蜂窝通讯系统GSM、WCDMA等；另一种是75欧姆系统，这种系统相对比较少，如我们目前使用的有线电视系统。



传输线相关概念

● 传播常数

传播常数 $\gamma = a + jb$ ，表示行波每经过单位长度振幅和相位的变化。a为衰减常数，单位为奈培/米 (Np/m) 或分贝/米 (dB/m)，表示每经过单位长度行波振幅衰减 e^{-a} 倍。b 为相移常数，单位为径/米 (rad/m)，表示每经过单位长度相位滞后的弧度数。

对于有耗传输线 γ ，

$$\gamma := \sqrt{(R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0) \cdot (G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0)}$$

对于均匀无耗传输线， $R_0=0$ ， $G_0=0$ ，

其衰减常数 a

$$a = 0$$

相移常数 b

$$\gamma := j \cdot \omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0}$$

表明在传输过程中 $\beta := \omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0}$ 相位按线性关系滞后。



传输线相关概念

● 驻波比

解释：驻波系数是衡量负载匹配程度的一个指标，它在数值上等于：

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

由反射系数的定义我们知道，反射系数的取值范围是0~1，而驻波系数的取值范围是1~正无穷大。射频很多接口的驻波系数指标规定小于2.0。

驻波比恶化意味着信号反射比较厉害，也就是说负载和传输线的匹配效果比较差。所以在一个系统中，如果驻波比很差，可能会使信号传输效果变差，通道增益下降。一个比较典型的例子就是灵敏度问题。

● 行波系数K

解释：行波系数与驻波比互为倒数，反映反射波的大小。

$$K = \frac{1}{\rho}$$



传输线相关概念

- 回波损耗

回波损耗也是射频上用得比较多得一个名词，它和前面得反射系数、驻波比都是用来反映端口得匹配状况的。回波损耗表示端口的反射波的功率与入射波功率之比。回波损耗与反射系数的关系为：

$$\text{回波损耗} = 20 \log (\Gamma)$$

由公式可以计算：回波损耗为26dB时，对应的反射系数为0.05，驻波比为1.1。由此也可以估计一下，驻波为2时的回波损耗是多少（9.5dB），也就可以理解对于功放后级的驻波要求为何严格。



传输线相关概念

● 相互 关系表

Return Loss (dB)	$ \Gamma_o $	VSWR	Insertion Loss (dB)	Power Transmitted (%)	Power Reflected (%)
-1.0	0.891	17.391	-6.87	20.57%	79.43%
-1.5	0.841	11.610	-5.35	29.21%	70.79%
-2.0	0.794	8.724	-4.33	36.90%	63.10%
-2.5	0.750	6.997	-3.59	43.77%	56.23%
-3.0	0.708	5.848	-3.02	49.88%	50.12%
-3.5	0.668	5.030	-2.57	55.33%	44.67%
-4.0	0.631	4.419	-2.20	60.19%	39.81%
-4.5	0.596	3.946	-1.90	64.52%	35.48%
-5.0	0.562	3.570	-1.65	68.38%	31.62%
-6.0	0.501	3.010	-1.26	74.88%	25.12%
-7.0	0.447	2.615	-0.97	80.05%	19.95%
-8.0	0.398	2.323	-0.75	84.15%	15.85%
-9.0	0.355	2.100	-0.58	87.41%	12.59%
-10.0	0.316	1.925	-0.46	90.00%	10.00%
-15.0	0.178	1.433	-0.14	96.84%	3.16%
-20.0	0.100	1.222	-0.04	99.00%	1.00%
-25.0	0.056	1.119	-0.01	99.68%	0.32%
-30.0	0.032	1.065	0.00	99.90%	0.10%
-35.5	0.017	1.034	0.00	99.97%	0.03%
-40.0	0.010	1.020	0.00	99.99%	0.01%



传输线相关概念

- 信号在传输线上的传播状态

信号在传输线上的传播可以分为三种状态：

(1) 行波状态。产生行波的条件是 $Z_L=Z_0$ ，其特征是线上无反射， $\Gamma_L=0$ 。

(2) 纯驻波状态。产生纯驻波的条件是 $Z_L=0$ 或 $Z_L=\infty$ ，表现为线上信号全反射， $\Gamma_L=-1$ 或 $\Gamma_L=1$ 。

(3) 当负载阻抗介于上述两种条件之间时，传输线上既有行波也有驻波，这种状态称为行驻波状态，这是最为普遍的传输状态。



传输线相关概念

- 传输线的损耗
- 介质损耗。当电场通过介质时，由于介质分子交替极化和晶格来回碰撞，而产生热损耗。为了减少这部分的损耗，应选择性能优良的介质。
- 导体损耗。传输线均具有有限的电导率，电流流过时必然引起热损耗。在高频情况下，趋肤效应减少了导体的有效截面积，增加了导体损耗。
- 辐射损耗。例如由微带线场结构的半开放性所引起。

第三章 射频基本概念辨析

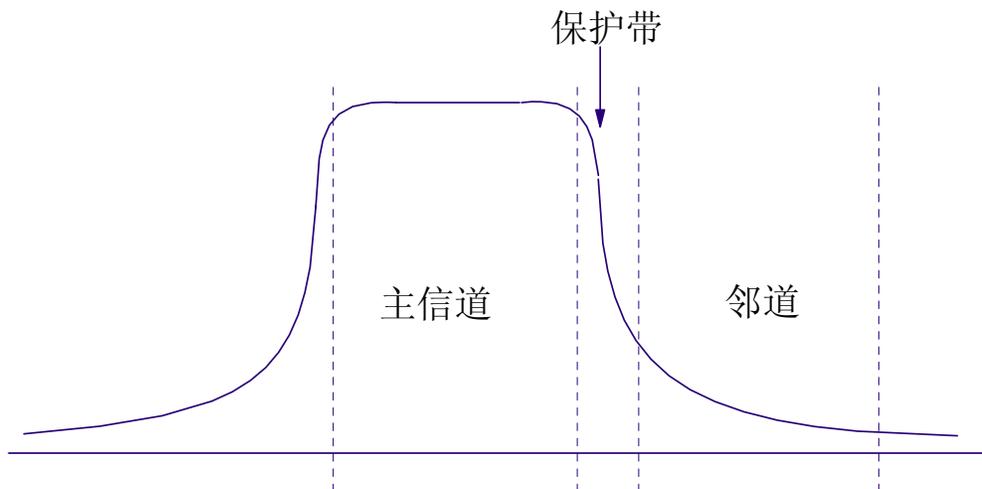


- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点

下行通道射频指标

- 邻道泄漏 (ACLR)

邻道泄漏指标是用来衡量发射机的带外辐射特性，定义：邻道功率与主信道功率之比，通常用dBc表示，如下图：



发射机的邻道泄漏必然会对其他小区造成干扰，为了减小这种干扰，邻道泄漏必须尽可能的小，WCDMA的要求是：第一邻道（偏离载频±5MHz）的ACLR ≤ 45dBc；第二邻道（偏离载频±10MHz）的ACLR ≤ 50dBc。



下行通道射频指标

- 频谱发射模板

对于WCDMA而言，频谱发射模板用于限制偏离发射载波中心频率2.5MHz~12.5MHz频段内的杂散发射功率，下面以WCDMA协议—3GPP TS 25.141 V3.6.0 (2001-06) 中规定的NodeB发射机的频谱发射模板指标要求为例来说明：



下行通道射频指标

Table 6.11: Spectrum emission mask values, BS maximum output power $P \geq 43$ dBm

Frequency offset of measurement filter -3 dB point, Δf	Frequency offset of measurement filter centre frequency, f_{offset}	Maximum level	Measurement bandwidth
$2.5 \leq \Delta f < 2.7$ MHz	$2.515\text{MHz} \leq f_{\text{offset}} < 2.715\text{MHz}$	-14 dBm	30 kHz
$2.7 \leq \Delta f < 3.5$ MHz	$2.715\text{MHz} \leq f_{\text{offset}} < 3.515\text{MHz}$	-14 – $15 \cdot (f_{\text{offset}} - 2.715)$ dBm	30 kHz
	$3.515\text{MHz} \leq f_{\text{offset}} < 4.0\text{MHz}$	-26 dBm	30 kHz
$3.5 \leq \Delta f < 7.5$ MHz	$4.0 \text{ MHz} \leq f_{\text{offset}} < 8.0\text{MHz}$	-13 dBm	1 MHz
$7.5 \leq \Delta f$ MHz	$8.0 \text{ MHz} \leq f_{\text{offset}} < f_{\text{offset}}_{\text{max}}$	-13 dBm	1 MHz



下行通道射频指标

- 杂散辐射

杂散辐射是指发信机在频谱发射模板规定的频率范围之外的频段内发射的、信号之外的其他信号，它包括谐波分量、寄生辐射、交调产物、发射机互调产物等。这些杂散辐射都会对其他的无线通信系统造成干扰，对该指标的规定是为了提高系统的电磁兼容性能，以便与其他系统（如GSM）共存，当然这也保证了系统自身的正常运行，下面以WCDMA协议—3GPP TS 25.141 V3.6.0 (2001-06) 中规定的NodeB发射机的杂散辐射模板指标要求之一为例来说明：



下行通道射频指标

Table 6.17: BS Mandatory spurious emissions limits, Category B

Band	Maximum Level	Measurement Bandwidth	Note
9 kHz ↔ 150 kHz	-36 dBm	1 kHz	Bandwidth as in ITU-R SM.329-8, subclause 4.1
150 kHz ↔ 30 MHz	- 36 dBm	10 kHz	Bandwidth as in ITU-R SM.329-8, subclause 4.1
30 MHz ↔ 1 GHz	-36 dBm	100 kHz	Bandwidth as in ITU-R SM.329-8, subclause 4.1
1 GHz ↔ Fc1 – 60 MHz or 2 100 MHz <i>Whichever is the higher</i>	-30 dBm	1 MHz	Bandwidth as in ITU-R SM.329-8, subclause 4.1
Fc1 – 60 MHz or 2 100 MHz whichever is the higher ↔ Fc1 – 50 MHz or 2 100 MHz whichever is the higher	-25 dBm	1 MHz	Specification in accordance with ITU-R SM.329-8, subclause 4.3 and Annex 7
Fc1 – 50 MHz or 2100 MHz whichever is the higher ↔ Fc2 + 50 MHz or 2180 MHz whichever is the lower	-15 dBm	1 MHz	Specification in accordance with ITU-R SM.329-8, subclause 4.3 and Annex 7

Fc1: Center frequency of first carrier frequency used.
 Fc2: Center frequency of last carrier frequency used.



下行通道射频指标

Table 6.17: BS Mandatory spurious emissions limits, Category B (续)

Band	Maximum Level	Measurement Bandwidth	Note
<p>Fc2 + 50 MHz or 2180 MHz whichever is the lower</p> <p>↔</p> <p>Fc2 + 60 MHz or 2180 MHz Whichever is the lower</p>	-25 dBm	1 MHz	Specification in accordance with ITU-R SM.329-8, subclause 4.3 and Annex 7
<p>Fc2 + 60 MHz or 2180 MHz Whichever is the lower</p> <p>↔</p> <p>12,75 GHz</p>	-30 dBm	1 MHz	Bandwidth as in ITU-R SM.329-8, subclause 4.1. Upper frequency as in ITU-R SM.329-8, subclause 2.5, Table 1
<p>Fc1: Center frequency of first carrier frequency used.</p> <p>Fc2: Center frequency of last carrier frequency used.</p>			

第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



上行通道射频指标

- 接收灵敏度

用功率表示 $S_{min} = 10 \lg (KT B) + F_t + (S/N)$, 单位: dBm

K是波尔兹曼常数, 单位: J/K(焦耳/K)

$$K = 1.38066 \times 10^{-19} J/K$$

T表示绝对温度, 单位: ° K

B表示信号带宽, 单位: Hz

F_t 表示系统的噪声系数, 单位: dB

(S/N) 表示解调所需信噪比, 单位: dB

当 $B = 1\text{Hz}$ 时, $10 \lg (KT B) = -174\text{dBm/Hz}$



上行通道射频指标

- 杂散响应

杂散响应也称为寄生响应、寄生灵敏度。无线环境中存在多干扰信号，这些信号本身可以被系统滤波器虑掉，但是由于现在系统采用的接收机大都是超外差接收机，接收机接收到的能够与本振组合产生中频的信号很多，这样的中频信号和系统接收的中频信号是同一频率，系统的后级中频滤波器是无法虑掉这些干扰的。其中除主接收信号外的其他频点称为寄生波道，该频点产生的响应称为寄生响应。

$$n \cdot fr - m \cdot fl = \pm \cdot fi$$

$$fr = \frac{m \cdot fl \cdot \pm \cdot fi}{n}$$

左式中，当 $m=n=1$ ，假设取负号时， fr 为所要信号，则 m 、 n 的其他组合所得到的 fr 为寄生波道。



上行通道射频指标

杂散响应的对系统的影响表现为：虽然系统工作的频带内没有任何干扰频率，但系统的灵敏度就是变差。这一方面是由于系统本身的抗杂散响应能力不够；另一方面是由于环境的带外干扰太强。



上行通道射频指标

- 阻塞与互调抑制

阻塞指标也是来考核接收机抗干扰能力，它描述的是接收机在接收的频道外存在单音或调制信号干扰，但干扰信号不在相邻频道或杂散响应频点上的情况，具体指标要求根据不同系统而定。阻塞指标一般要求接收机前端要有较高的三阶截止点（即大的线性动态），同时要求中频滤波器有较好的选择性。

互调抑制同样是指接收机在工作时，同时有两个干扰信号进入接收机，这两个信号的三阶交调产物正好落在带内。互调抑制主要要求接收机前端有较高的三阶截止点。

第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



常见干扰的机理

常见的四种干扰的机理:

1. 杂散或宽带噪声干扰

--由发射机产生，包括功放产生和放大的热噪声，多载频工作产生的互调产物，混频器产生的杂散信号等。

2. 阻塞干扰

--一般指接收带外的强干扰信号，会引起接收机饱和，导致增益下降；也会与本振信号混频后产生落在中频的干扰；还会由于接收机的带外抑制有限而直接造成干扰。



常见干扰的机理

3. 接收互调干扰

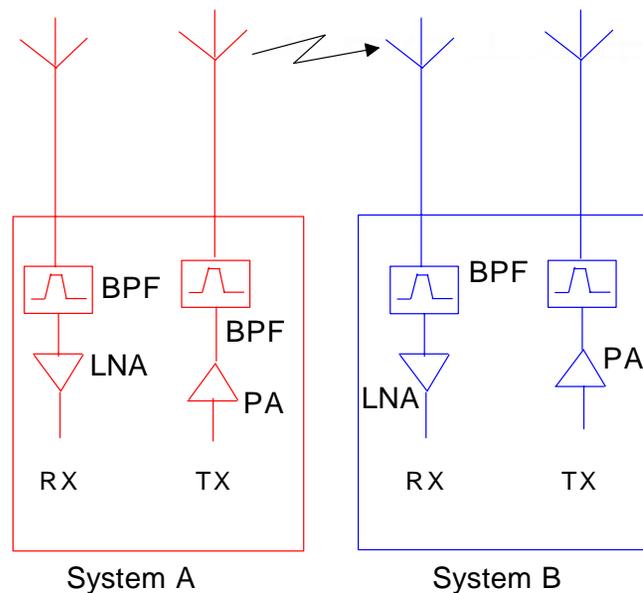
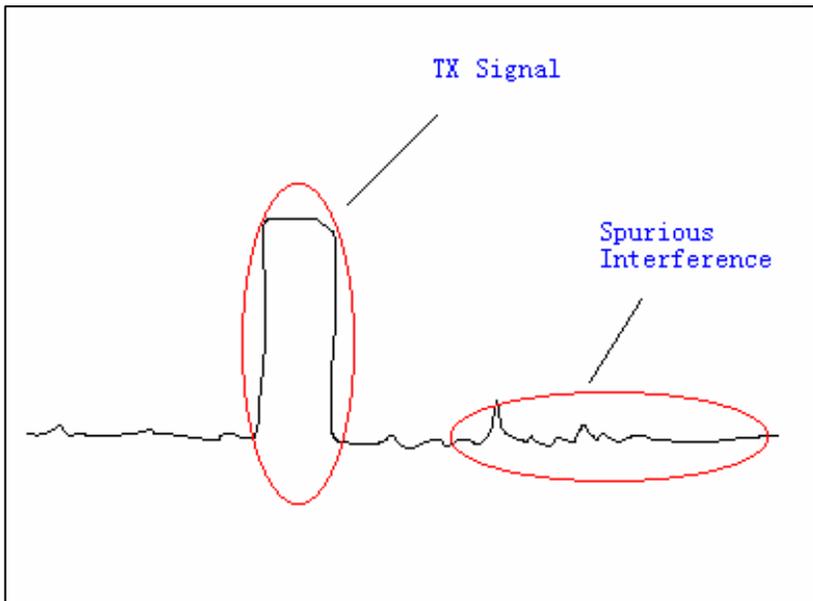
--当频率不同的两个或更多的干扰信号同时进入接收机时，由于接收机的非线性而产生的互调产物若落在接收机的工作带内，就形成了接收互调干扰。

4. 发射互调干扰

--当一个强的信号从发射机的输出端“反灌”到发射机时，由于发射机的非线性，会与发射机的发射信号一起产生互调产物。

-- 当频率不同的两个或更多强信号同时作用在某些金属上时，由于金属的非线性会产生互调产物。

常见干扰的机理



● 杂散或宽带噪声干扰

--系统A的杂散信号通过空间耦合进入系统B的接收机

--系统B的接收机对杂散干扰无能为力，因为落在它的工作带内

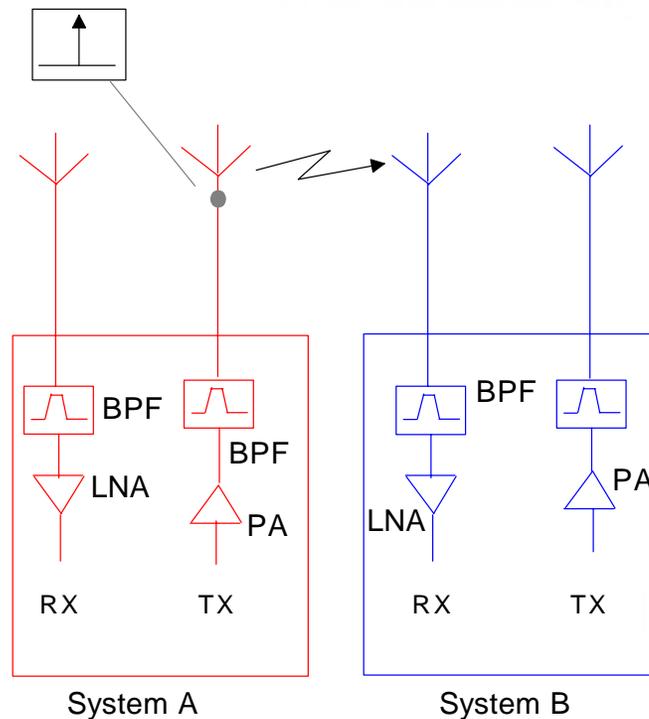
--杂散干扰的解决方式：在系统A发射机的输出端增加抑制滤波器，或调整天线的位置来提高系统A与B之间的天线隔离度。

常见干扰的机理

● 阻塞干扰

--接收机通常工作在线性区，当有一个强干扰信号进入接收机时，接收机会工作在非线性状态下或严重时导致接收机饱和，称这种干扰为阻塞干扰。

--阻塞干扰可以导致接收机增益的下降与噪声的增加。



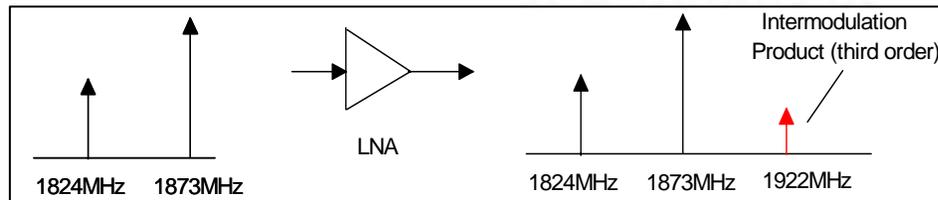
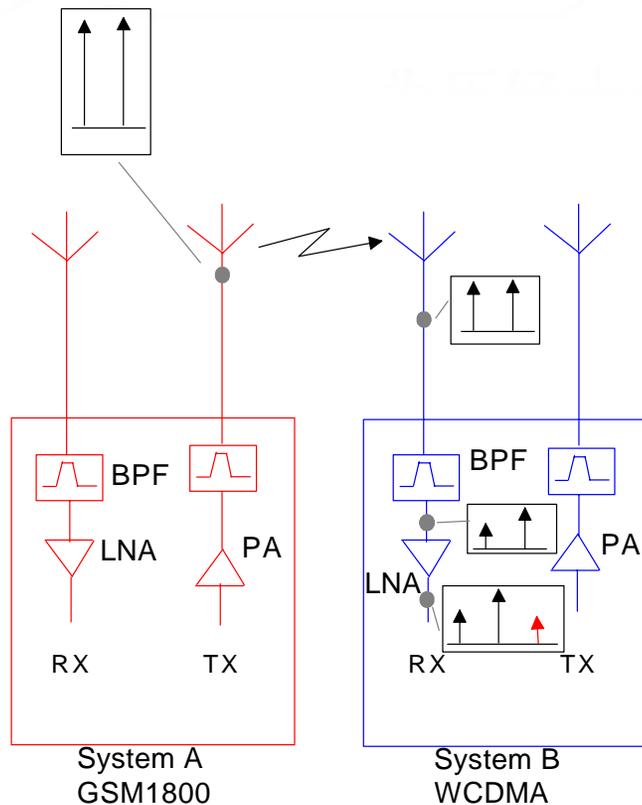
常见干扰的机理

● 接收互调干扰

--GSM1800 与 WCDMA共站址的一个例子

--GSM1800的发射频率为1824MHz 与 1873MHz

-- 在 WCDMA 接收机里在1922MHz频点会产生三阶互调产物，该互调产物如果足够高会直接干扰 WCDMA接收机

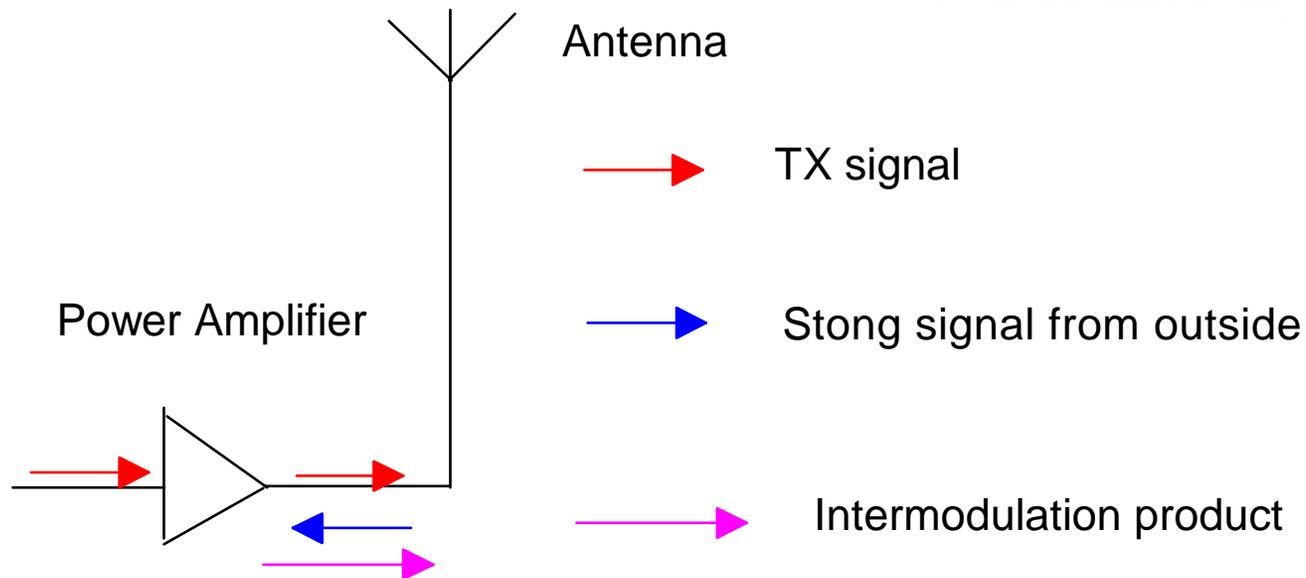




常见干扰的机理

- 接收互调干扰的解决方式
 - (1) 在接收机的输入端增加抑制滤波器，来抑制干扰信号
 - (2) 调整天线的位置来提高干扰系统与被干扰系统间的天线隔离度
 - (3) 提高接收机的线性度

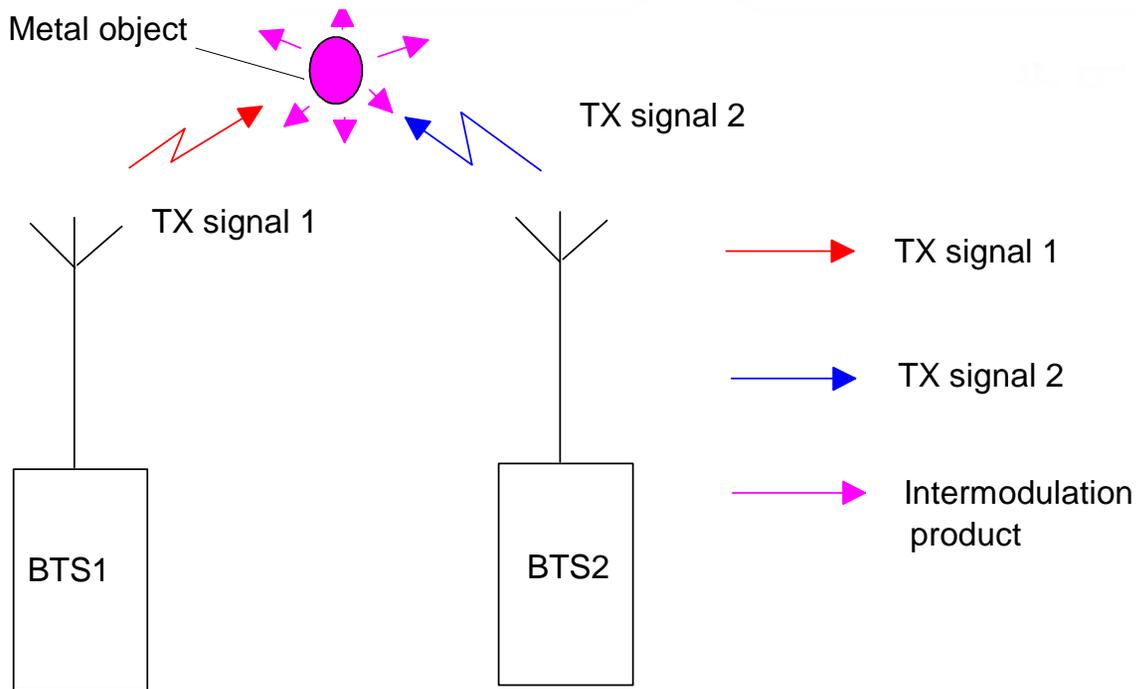
常见干扰的机理



● 发射互调干扰

--互调产物产生于发射机的内部

常见干扰的机理



● 发射互调干扰

--互调产物产生于发射机的外部



常见干扰的机理

- 发射互调的解决方式:
 - (1)避免系统间的天线近距离的面对面现象发生
 - (2)避免天线前方近距离内存在金属物

第三章 射频基本概念辨析



- 第一节 功率相关概念
- 第二节 噪声相关概念
- 第三节 线性相关概念
- 第四节 传输线相关概念
- 第五节 下行通道射频指标
- 第六节 上行通道射频指标
- 第七节 干扰相关概念
- 第八节 射频电路特点



射频电路特点

● 射频电路的特点（1）

射频电路的最大特点是分布参数的影响很大，无论是一根导线、一只电阻或一只电容，在射频频段其特性都会变得很复杂，有时甚至完全丧失其原有的特性。下面介绍一下导线、电阻、电容和电感的RF特点。

导线：随着流过导线的信号频率增加，趋肤效应会很明显，这种效应的直接后果是导线的有效使用截面积减小，因此导线的交流电阻增加，在RF频段这种电阻影响会很大。在RF频段还需考虑导线的电感。导线的电感值可以通过下面公式计算：

$$L := 2 \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot l}{D} \right) - 1 \right) \cdot l$$

其中L为电感量（nH），l为线的长度（cm），D为圆形导线直径。



常见干扰的机理

- 阻塞干扰的解决方式:

- (1) 在接收机的输入端增加抑制滤波器，来抑制干扰信号

- (2) 调整天线的位置来提高干扰系统与被干扰系统间的天线隔离度

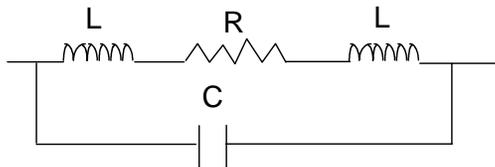
- (3) 提高接收机的线性度

射频电路特点

● 射频电路的特点（2）

电阻：在RF频段电阻的等效电路可以描述如下：

其中R是电阻本身，L是引线电感，C是分布电容。由于电感、电容的作用，在高频情况下电感的交流电阻是不同的，而且电阻种类不同时其特性也有差别。比如碳电阻由于有比较大的分布电容导致高频特性很差；线绕电阻的交流阻抗在不同频率下也有很大的变化，因为这种电阻有较大的电感量，在一定的频率上电感还可能与分布电容谐振；金属膜电阻因为分布参数较小高频特性比以上两种电阻好些；片状电阻由于没有引脚在RF频段的表现最好

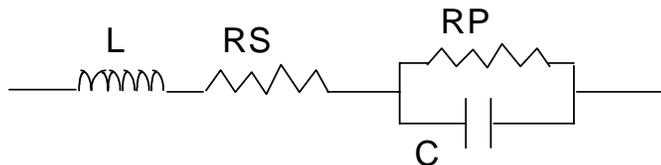


射频电路特点

● 射频电路的特点（3）

电容：严格说来，一只电容所表现出来的不仅仅是电容特性，它同样有一定的电阻和电感量，等效电路如下图所示。

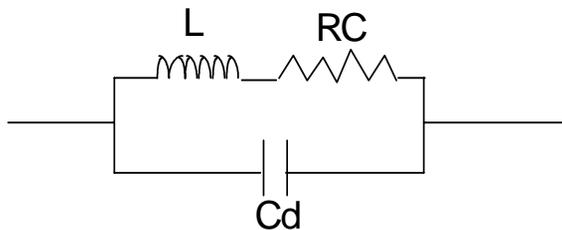
图中电感是引脚电感；电阻 RS 是描述电容功率耗散因数；电阻 RP 是电容的绝缘电阻，电容的直流电阻即指这个电阻； C 就是电容本身。可以预料，随着频率的增加电容的容值会改变，在某一频率上还会谐振，超过这个频率电容就表现出一个电感的特性。通常容值较大的电容内部电感也比较大。



射频电路特点

● 射频电路的特点（4）

电感：在射频频率，一个导线绕成的电感中除有一定的电感量外导线上还存在着电阻，一圈圈导线之间还有分布电容，因此其等效电路如下：
与电容一样，电感随着频率增加电感量下降，在自谐振频率上谐振，超过自谐振频率表现出电容特性，而且同类型电感中电感量越大自谐振频率越低。





本章小结

- 本章主要介绍射频常用的基本概念，分为：功率相关概念、噪声相关概念、线性相关概念、传输线相关概念、下行通道射频指标、上行通道射频指标六个方面加以说明。

课程内容



▶ 第一章 无线通信的基本概念

▶ 第二章 射频常用计算单位简介

▶ 第三章 射频常用概念辨析

▶ 第四章 射频系统介绍

▶ 第五章 天线传播基础知识简介

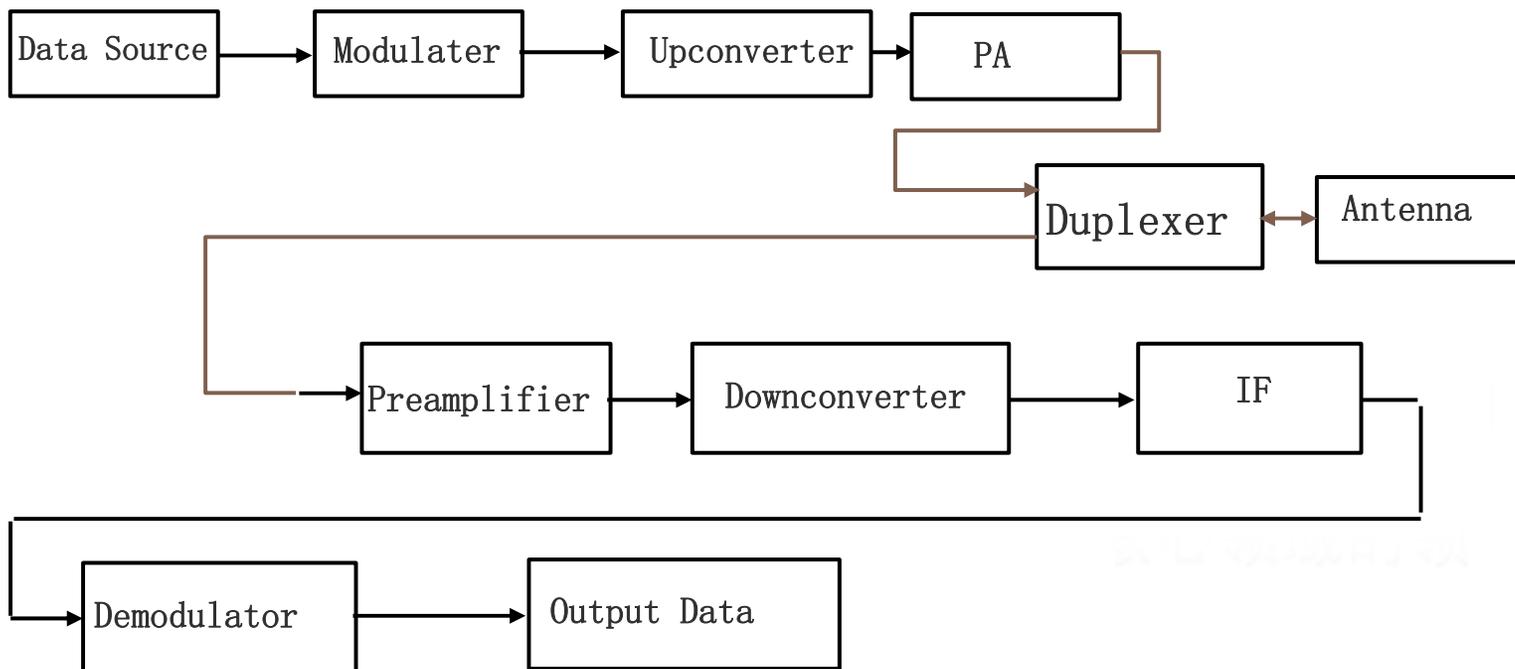
第四章 射频系统介绍



- 第一节 射频系统组成
- 第二节 发信机简介
- 第三节 接收机简介
- 第四节 射频部件简介

射频系统组成

● 射频系统组成框图





数字微波收发信机的技术指标

●1. 总技术条件

- 传输容量
- 使用频段和波道配置
- 调制解调方式
- 中继方式
- 误码率
- 门限误码率时的归一化信噪比
- 系统的特征曲线
- 系统的MTBF

●2. 微波口的参数

- 发信功率
- 收信机的噪声系数
- 收发信源的频率稳定度
- 收信电平
- 发信机的寄生辐射
- 微波输入、输出的驻波比



数字微波收发信机的技术指标

- 3. 中频口的参数
 - 中频频率
 - 中频阻抗
 - 中频电平
 - 解调机载波恢复的捕获范围
 - 中频的特性
 - 幅频特性
 - 群时延特性
- 4. 基带接口参数
- 5. 备用方式及倒换
- 6. 公务性能
- 7. 监控系统
- 8. 告警

第四章 射频系统介绍



- 第一节 射频系统组成
- 第二节 发信机简介
- 第三节 接收机简介
- 第四节 射频部件简介



数字调制

- 数字调制的优点

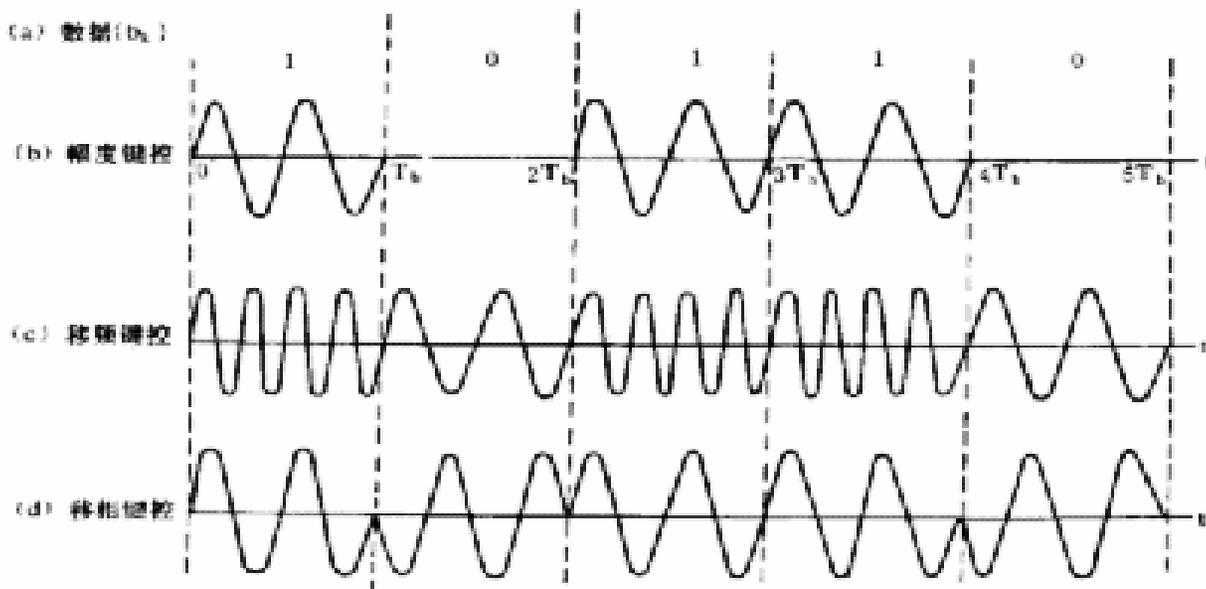
大多数现代无线通信系统都使用数字调制/解调技术. 数字信号调制技术具有优良的频谱特性和抗干扰、抗衰落性能。

- 数字信号的调制方式

数字信号在无线信道上传输，首先必须将基带信号变换到较高的频带上去。数字信号可以分别对本地振荡信号的三个参数：振幅、频率和相位进行调制。从而得到幅度键控调制（ASK）、频率键控调制（FSK）和相位键控调制（PSK）。

发信机简介

下图示出了二进制载波调制的波形, 其中(a)为输入二进制数字序列; (b)为ASK波形; (c)为FSK波形; (d)为PSK波形。除了这几种基本的调制方式以外, 也有同时改变载频振幅和相位的调制, 例如正交幅度调制QAM。ASK调制虽然简单, 但由于抗衰落性能差、误码率大而在现代数字移动通信系统中几乎不采用。





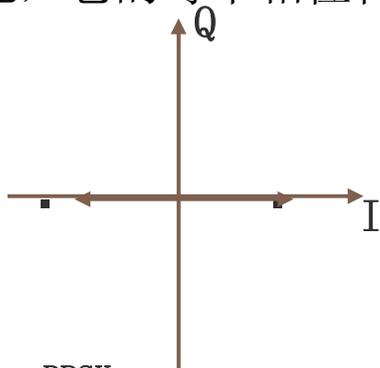
发信机简介

这里主要介绍PSK调制以及相应的一些基本概念。

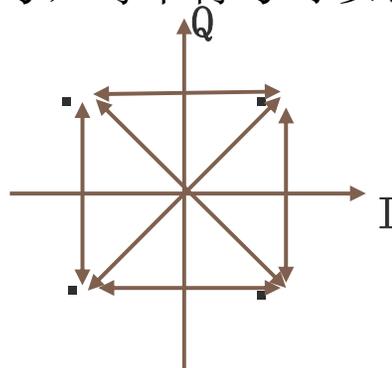
●PSK调制:

在PSK数字调制中最简单的一种调制为BPSK（二相相移键控），具有固定幅度的载波信号的相位在 0° 和 180° 两者之间变化。在状态图中，I有两个不同的值，有两种可能的位置。每个符号可以包含一比特的信息。

另一种是常用的QPSK（四相相移键控），这种调制目前应用比较广泛，例如CDMA，WLL，DVB-S等，QPSK信号有四个不同的相位，相位的改变以 90° 的增量进行变化，它的每个相位代表一个符号，每个符号可以包含两比特的信息。k



BPSK
One Bit Per
Symbol



QPSK
Two Bits Per
Symbol



发信机简介

● QPSK调制

可以用右式来表示QPSK的信号波形 $S_i(t) := A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \phi_i)$

其中 $0 \leq t \leq T$, $i = 1, 2, 3, 4$ T 为周期, A 为载波幅度, f_c 为载波频率, ϕ_i 为载波相位。按照三角函数展开为:

$$S_i(t) := \left(A \cdot \cos(\phi_i) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \right) - A \cdot \sin(\phi_i) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

上式可看成为两个正交载波分量之和, 幅度分别为 $A \cdot \cos(\phi_i)$ 和 $-A \cdot \sin(\phi_i)$ 前者称为同相分量, 后者称为正交分量。在下面图中原始数据流 $d_k(t)$, 可以划分为偶数比特流 $d_I(t)$ (同相流) 和奇数比特流 $d_Q(t)$ (正交流), 它们的速率为 $d_k(t)$ 的一半。将同相流 $d_I(t)$ 和正交流 $d_Q(t)$ 分别对 \cos 和 \sin 载波分量进行幅度调制后相加, 即可得到QPSK已调信号。

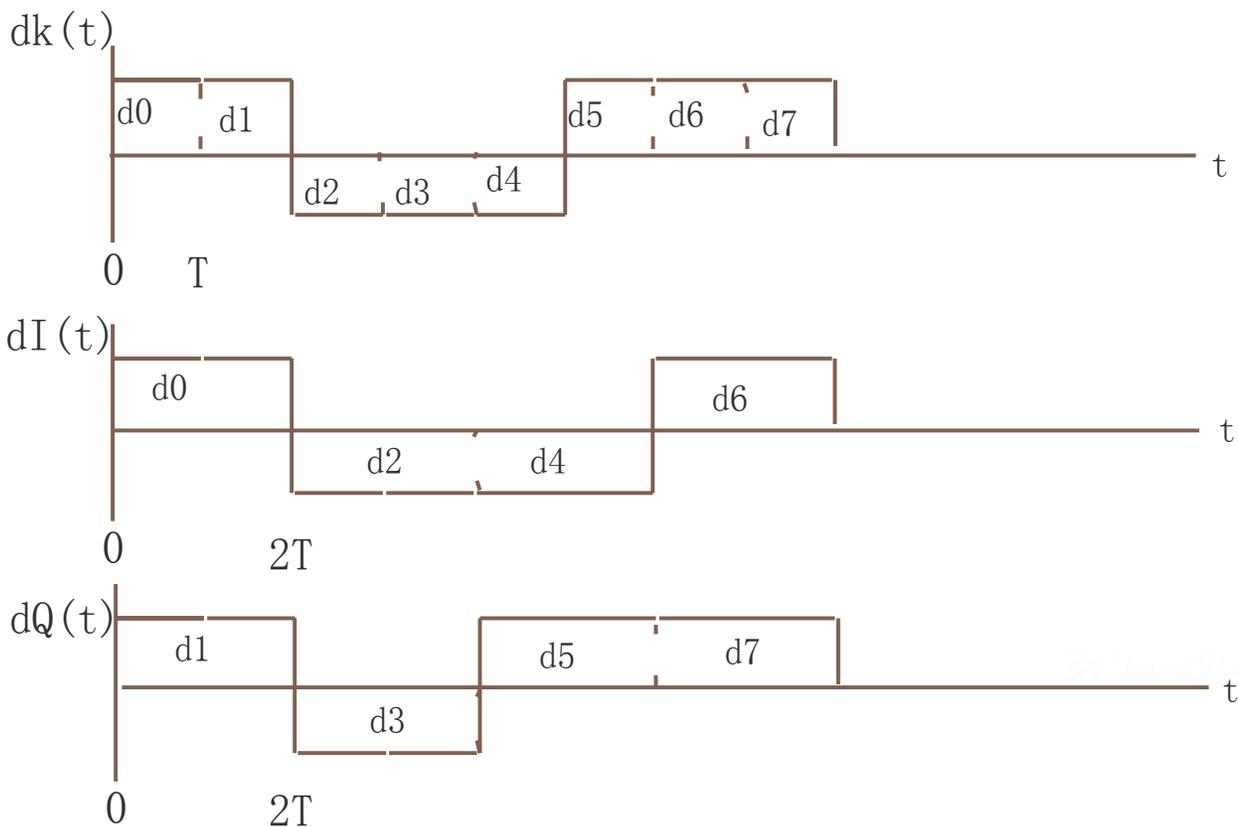
$$S(t) := \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot d_I(t) \cdot \cos\left(\omega_c \cdot t + \frac{\pi}{4}\right) \right] + \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot d_Q(t) \cdot \sin\left(\omega_c \cdot t + \frac{\pi}{4}\right) \right]$$

可改写为: $S(t) := \cos(\omega_c \cdot t + \phi(t))$



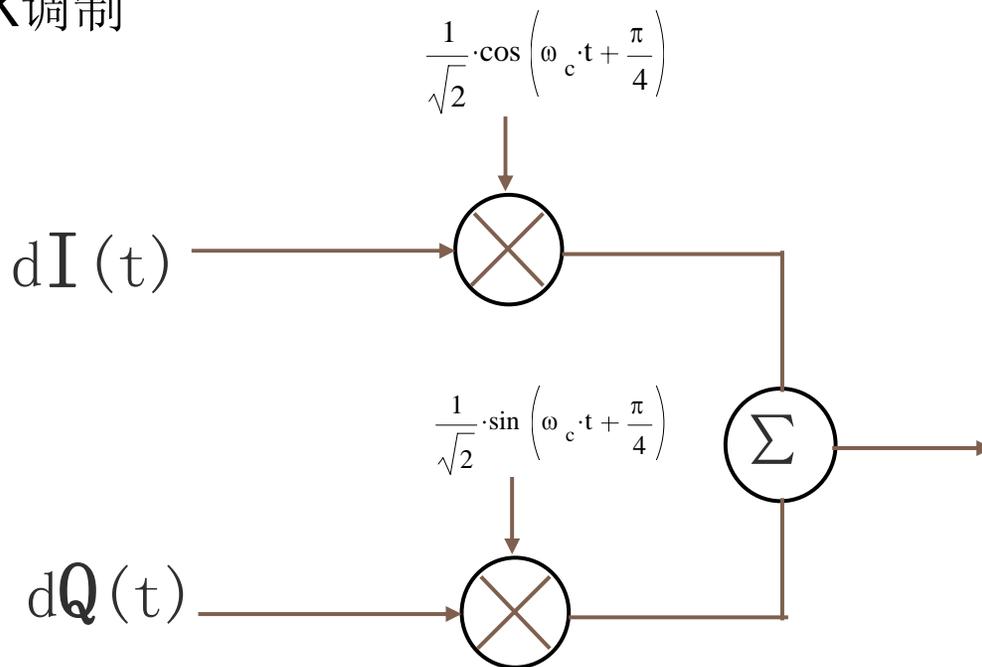
发信机简介

●QPSK调制



发信机简介

●QPSK调制





发信机简介

● 比特率 (Bit rate) 和符号率 (Symbol rate)

比特率: 一个系统比特流的频率;

符号率: 等于比特率除每符号包含的比特数

$$\text{symbol rate} = \frac{\text{bit rate}}{\text{the number of bits transmitted with each symbol}}$$

● 频谱效率

频谱效率描述的是在单位时间和单位频率内传输信息比特的能力, 为X bit/s/Hz。

调制型式	理论上带宽效率限制
MSK	1bit/s/Hz
BPSK	1bit/s/Hz
QPSK	2bit/s/Hz
8PSK	3bit/s/Hz
16QAM	4bit/s/Hz
32QAM	5bit/s/Hz
64QAM	6bit/s/Hz





发信机简介

- 目前数字移动通信系统主要采用了两大类调制技术

连续相位调制技术,也称为恒包络调制技术。其代表性的有MSK, GMSK和TFM。采用恒包络调制,因可工作于非线性放大,具有高的功率效率,但会引起大的带外辐射。

线性调制技术,其代表性的有BPSK, QPSK, 16QAM等。

线性调制技术,可获得较高的带宽效率,但会使功率效率降低,而且已调波的包络变化大。



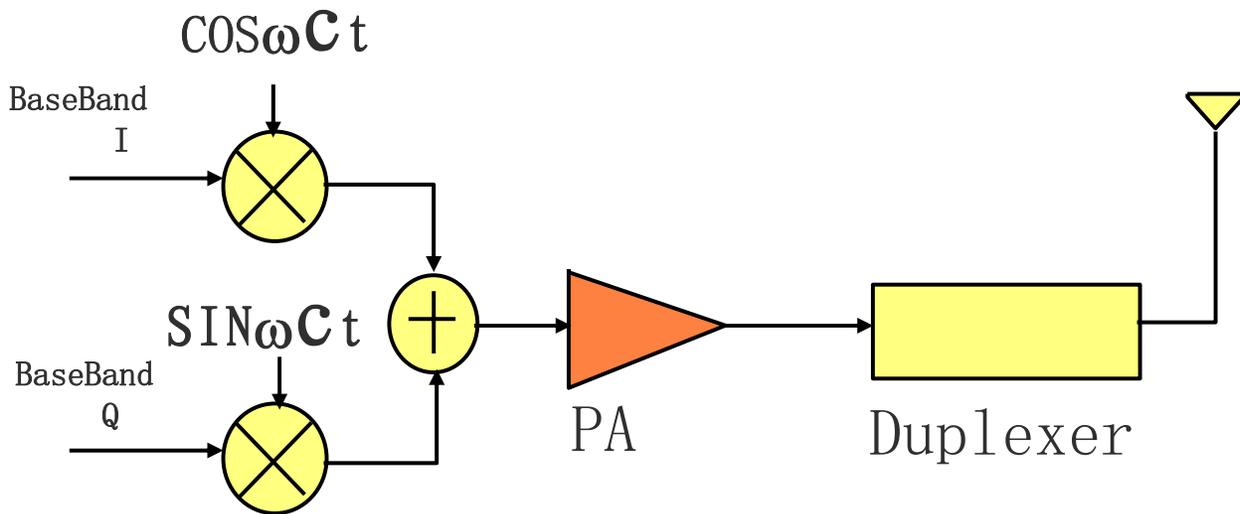
发信机简介

- 各种调制类型的应用

Modulation format	Application
MSK, GMSK	GSM, CDPD
BPSK	Deep space telemetry, cable modems
QPSK, $\pi/4$ DQPSK	Satellite, CDMA, NADC, TETRA, PHS, PDC, LMDS, DVB-S, cable (return path), cable modems, TSTS
OQPSK	CDMA, satellite
FSK, GFSK	DECT, paging, RAM mobile data, AMPS, CT2, ERMES, land mobile, public safety
8, 16 VSB	North American digital TV (ATV), broadcast, cable
8PSK	Satellite, aircraft, telemetry pilots for monitoring broadband video systems
16 QAM	Microwave digital radio, modems, DVB-C, DVB-T
32 QAM	Terrestrial microwave, DVB-T
64 QAM	DVB-C, modems, broadband set top boxes, MMDS
256 QAM	Modems, DVB-C (Europe), Digital Video (US)

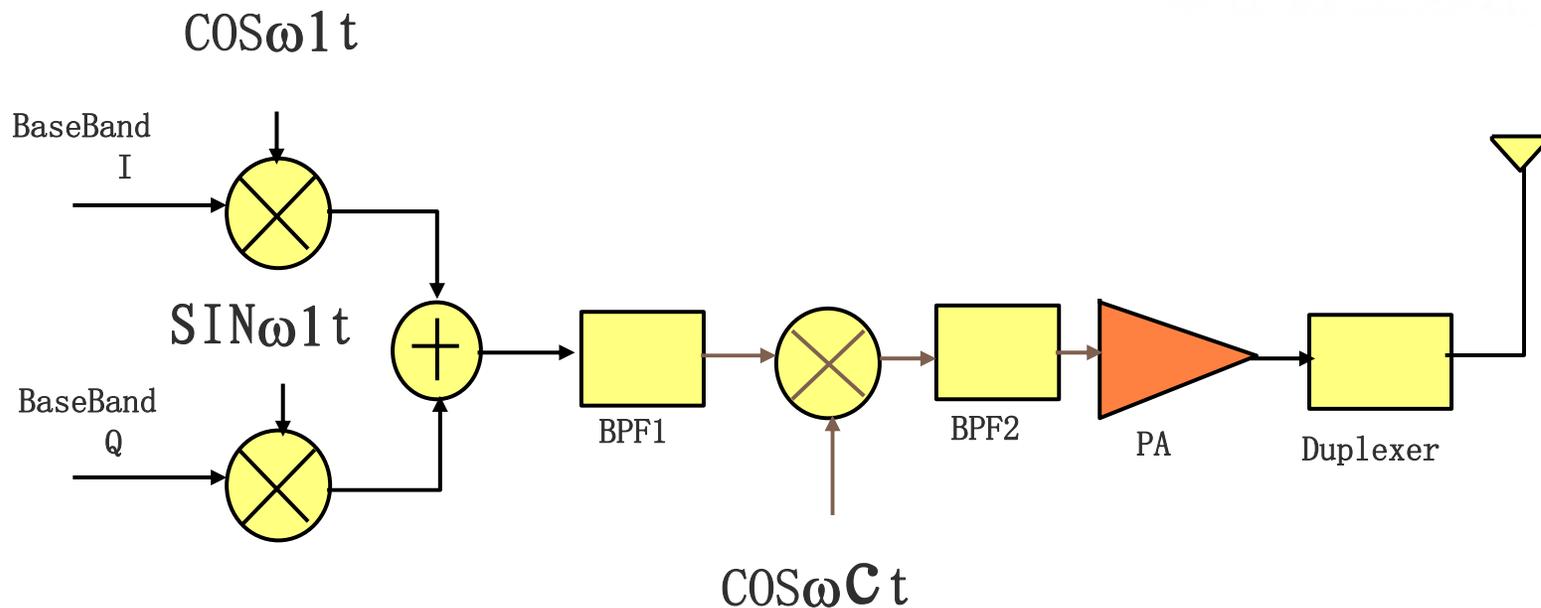
发信机简介

发信机构成



直接变频发信机

发信机简介



两次变频发信机



发信机简介

发信机基本组成介绍

- 发信部分由发信激励、功率放大器和频率源组成。
- 发信激励作用是调制，上变频变换到发信频段上，经滤波放大到一定的功率电平。
- 功率放大器将发信激励输入的信号放大到所需的功率电平，具有功率控制、保护等功能以适应对发射输出频谱，静态和动态功率控制，时域模板的要求。
- 发信频率源是为调制器和上变频器提供合乎要求的本振信号。



发信机简介

发信机部分技术指标 (GSM)

- 发射功率等级
 - 载波平均发射功率：RF发射机最大所能发射的功率。
 - 测试目的：验证各级功率下RF载波平均发射功率的准确性，实现功率控制的能力。
 - 0 静态0 动态输出功率： $\geq 43\text{dBm}$
 - 6级静态功率等级：12dB的控制。每相邻两级功率电平差为 $2 \pm 1\text{dB}$
 - 15级动态功率等级：30dB的控制。每相邻两级功率电平差为 $2 \pm 1.5\text{dB}$



发信机简介

发信机一部分技术指标（GSM）

- 相位误差和平均频率误差
 - 发射机的相位误差和频率误差是指频率、相位的实测值与理论期望值之差。
 - 测试目的：验证GMSK脉冲波形滤波是否正确；确保发射信号能使手机正确识别。
 - 相位误差不应超过：均方根值 5° 。（RMS），峰值： 20° 。
 - 平均频率误差： 0.05ppm （ $1\text{ppm}=10^{-6}$ ）；对900MHz是45Hz，对1800MHz是90Hz。



发信机简介

发信机一部分技术指标 (GSM)

- RF载波发射功率时间包络
 - 平均发射RF载频功率指在无线信道上的输出功率。
 - 测试目的：（1）验证发射功率包络稳定（时隙的有用部分）的时间。（2）验证稳定性极限。（3）验证时隙间停止发射时的最大发射功率。
 - 输出功率与 时间的关系应满足GSM规范所给出的模板限值：有用部分输出功率 $\pm 1\text{dB}$ ，无用部分功率 $P_{\text{idle}} < P_{\text{max}}$ 或 $P_{\text{min}} - 30\text{dB}$ 。
 - 应满足所有功率等级的输出功率与时间模板。



发信机简介

发信机一部分技术指标 (GSM)

- 邻道功率和调制频谱
 - 调制谱指由于调制和宽带噪声而在标称载频的邻近频带上产生的射频频带。邻道功率即邻近射频频带的电平。
 - 测试目的：验证由于调制和宽带噪声产生的输出RF频谱不超过规定电平。
 - 对偏离载频0~6000KHz，以200KHz为步进的各个频点均有严格的要求，必须小于一定的值。
 - 调制频谱也可以表示为达到所要求的模板。
 - 应满足所有功率等级的调制谱模板。



发信机简介

发信机一部分技术指标（GSM）

- 切换瞬态频谱
 - 切换瞬态频谱是由于功率切换而在标称载频的邻近频带上产生的射频频谱。
 - 测试目的：验证由于功率切换而在标称载频的邻近频带上产生的射频频谱不超过规定限值。
 - 对偏离载频400~1800KHz，以200KHz为步进的各个频点均有严格的要求，必须小于一定的值。
 - 调制频谱也可以表示为达到所要求的模板。
 - 应满足所有功率等级的切换谱模板。



发信机简介

发信机一部分技术指标 (GSM)

● 杂散辐射

- 杂散辐射是指在除载频和与正常调制和功率切换相关的边带以外频率上的辐射，发射机的杂散辐射是指由BSS发射机在工作时产生的杂散辐射。
- 测试目的：保证发射机不对其他射频设备产生干扰。
- 要求：BTS发射带内： $\leq -36\text{dBm}$ ；BTS发射带外：
接收带内杂散： $\leq -98\text{dBm}$ ；
OUTSIDE TX&RX的杂散： $\leq -30\text{dBm}$



发信机简介

发信机一部分技术指标（GSM）

● 互调衰减

- BSS内互调衰减：BSS在相关RX和TX带内（由于多个发射机合路到单一天线或由于相互接近而导致相互之间RF功率的泄露）产生的互调产物电平。
- 测试目的：互调产物不超过规定的限值。
- 偏离载波频率0.6MHz至6MHz以内的频率范围，要求同连续调制谱的要求。偏离载波频率6MHz至相关发射频带边缘范围内，测得的互调产物不应超过-70dBc和-36dBm中的较大值。在相应的接收带内，测得的互调产物不应超过-98dBm。

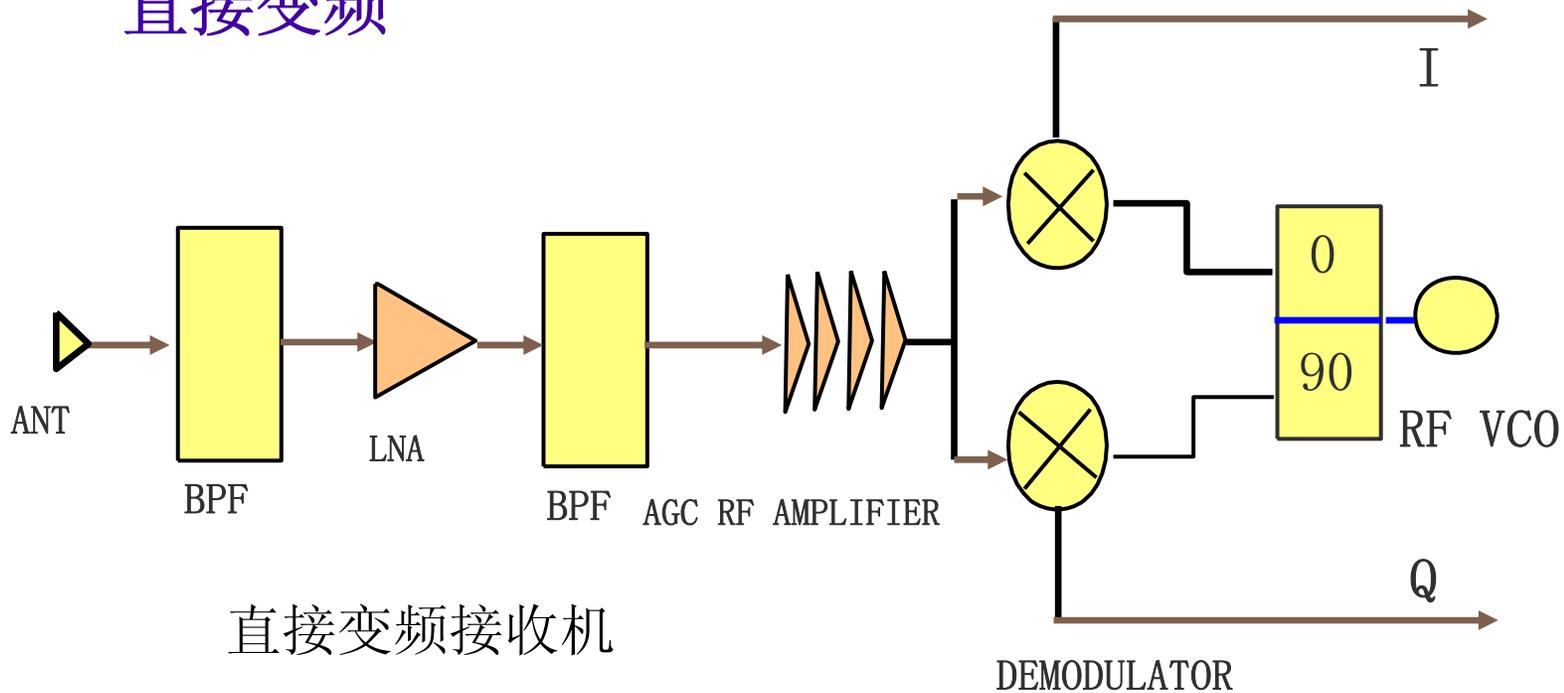
第四章 射频系统介绍



- 第一节 射频系统组成
- 第二节 发信机简介
- 第三节 接收机简介
- 第四节 射频部件简介

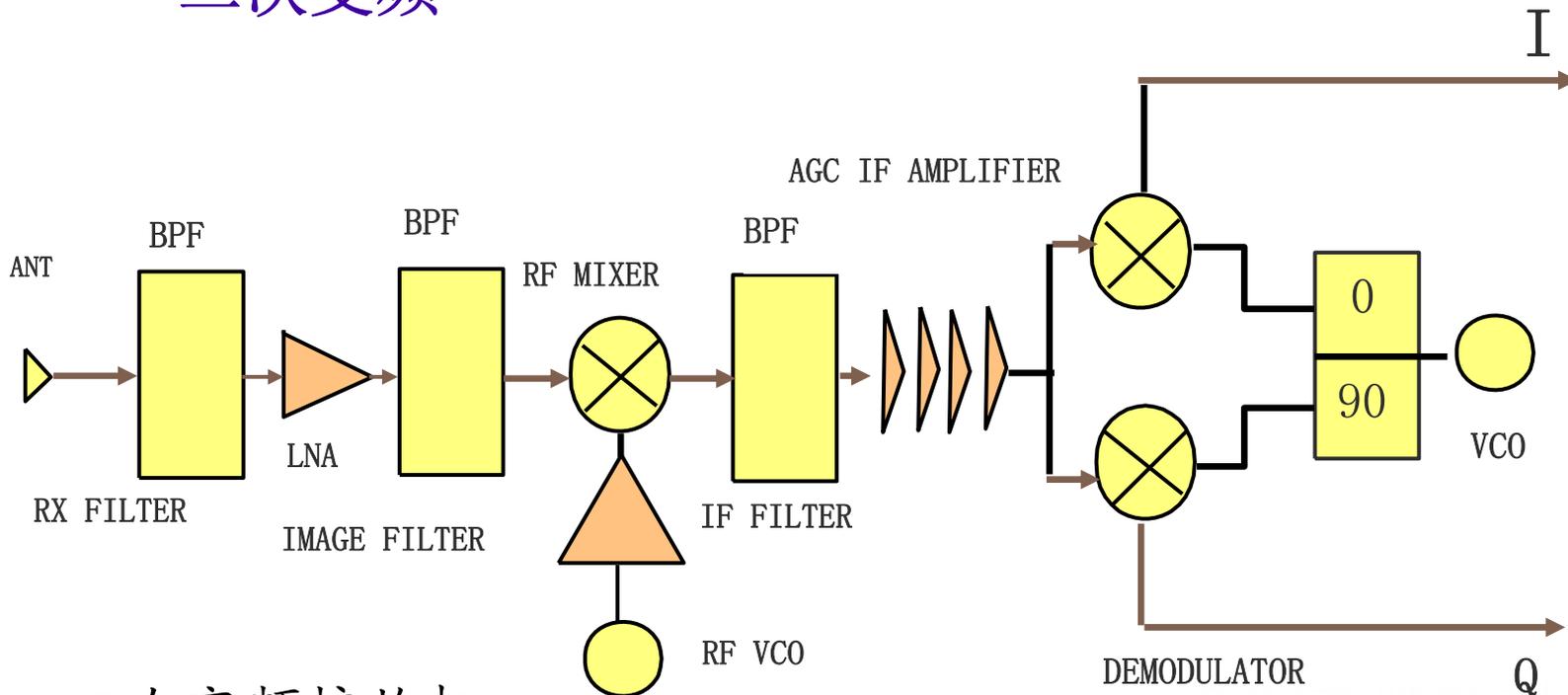
接收机简介

直接变频



接收机简介

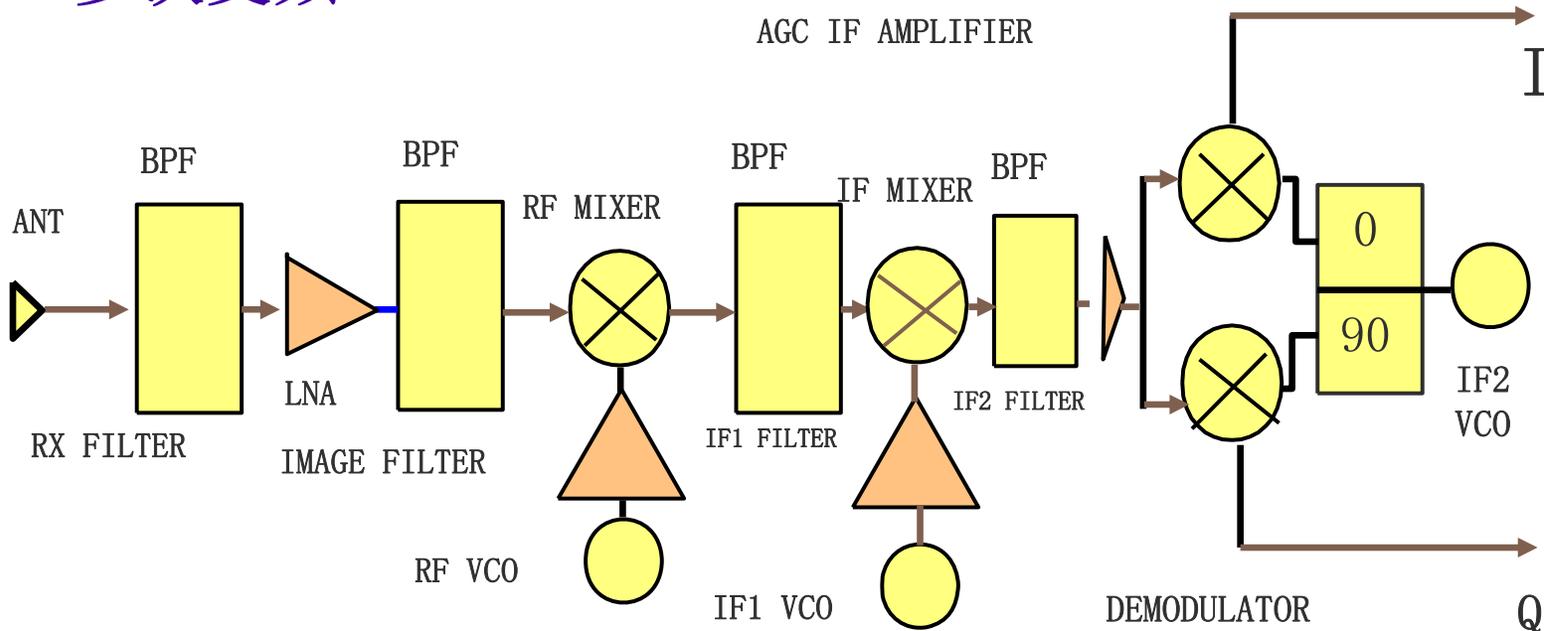
二次变频



二次变频接收机

接收机简介

多次变频



多次变频接收机



接收机简介

●数字接收机设计考虑方面

- 频率选择;
- 通道噪声功率;
- 级联噪声系数;
- 噪声系数和ADC;
- 增益和灵敏度;
- ADC杂散信号和抖动;
- IP3;
- ADC时钟抖动;
- 相位噪声;
- RF部分IP3;



接收机简介

●接收机技术指标

●噪声系数与灵敏度

噪声系数与灵敏度是衡量接收机对微弱信号的接收能力的两种表现方法。对于接收机来说，都是将噪声系数和灵敏度作为一个重要指标来衡量的。

🔑 噪声系数定义：在前面已经介绍。

🔑 灵敏度定义：

灵敏度是指用标准测试音调制时，在接收机输出端得到规定的信纳比 $(S+N+D) / (N+D)$ 或信噪比 $(S+N+D) / N$ ，接收机输入端所需要的最小电平。以uV、dBuV或dBm表示。

🔑 灵敏度与噪声系数的关系

$$\text{Sensitivity (dBm)} = \text{NFreceiver (dB)} + \text{CNRoutput (dB)} + \text{NFloor (dBm)}$$

$$\text{NFloor (dBm)} = (-173.8 + 10 * \lg(B)) \text{ (dBm)}$$



接收机简介

- 大信号信噪比

接收机大信号信噪比是射频输入信号足够强时，在接收机输出端测得的信噪比值。

- 阻塞

接收机的阻塞是指，在有用信号频率的一定范围内存在一个未调的干扰信号，从而使接收机的输出信纳比降低的现象，它用干扰信号与灵敏度的相对电平（dB数）表示。

- 邻道选择性

邻道选择性是指，在相邻频道上存在已调无用信号时，接收机接收已调有用信号的能力，它用无用信号与可用灵敏度的相对电平（dB）来表示。



接收机简介

●杂散辐射

杂散辐射是指任何由接收机引起的辐射，杂散辐射的电平测量应包括：

1) 它们在天线端的功率电平； 2) 机箱辐射

●调制接收带宽

接收机的调制接收带宽直接反映了接收机工作时的动态带宽，它不仅与中频滤波器的带宽有关，而且和解调失真，本振频率和中频滤波器中心频率的准确度有关。

●限幅特性

接收机的限幅特性是指输入射频电平在一个规定范围内变化时，输出音频电平的稳幅性能。

●抗互调干扰

接收机抗互调干扰性能是指，接收机对与有用信号的频率有特定关系的两个或更多个无用信号的抑制能力，它用干扰信号与灵敏度的相对电平（dB）来表示。

第四章 射频系统介绍



- 第一节 射频系统组成
- 第二节 发信机简介
- 第三节 接收机简介
- 第四节 射频部件简介



射频部件简介—LNA

●LNA(低噪声放大器)

- 噪声系数

根据前面介绍的级联噪声系数公式，可以清楚地看到LNA噪声系数指标的重要性，每增加1dB就会使系统噪声系数指标恶化1dB。

- 功率增益

$$G=P_{OUT}/P_{IN}$$

- 增益平坦度

增益平坦度是指工作频带内功率增益的起伏，常用最高增益和最低增益之差，即 ΔG 来表示。

- 工作频带

功率增益满足平坦要求的频率范围，而且还要求全频带内噪声要满足要求。



射频部件简介-LNA

●动态范围

动态范围是指低噪声放大器输入信号允许的最小功率和最大功率的范围。动态范围的下限受噪声性能所限。在接收机中通常我们把接收机的灵敏度值指为LNA的下限。上限是受非线性指标限制的，有时定义为放大器输出功率在1dB压缩点时的输入功率，有时则更严格些，达到指定三阶交调系数时的输入功率值。

●匹配特性

1、回波损耗

$$L_{in} \text{ (dB)} := 20\log\left(|S_{11}|^2\right)$$

输入输出端的回波损耗为

$$L_{out} \text{ (dB)} := 20\log\left(|S_{22}|^2\right)$$

$$VSWR_{in} := \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

2、输入输出驻波比

$$VSWR_{out} := \frac{1 + |S_{22}|}{1 - |S_{22}|}$$



射频部件简介-LNA

●稳定性

一个微波管的射频绝对稳定条件是

$$K := \frac{1 - (|S_{11}|)^2 - (|S_{22}|)^2 + (|D|)^2}{2 \cdot |S_{12} \cdot S_{21}|} > 1$$

$$(|S_{11}|)^2 < 1 - |S_{12} \cdot S_{21}|$$

$$(|S_{22}|)^2 < 1 - |S_{12} \cdot S_{21}|$$

式中， $D=S_{11}S_{22}-S_{12}S_{21}$ ；K为稳定性系数，K大于1是稳定系数。

满足上述条件为绝对稳定。

绝对稳定是指当信源阻抗和负载阻抗为任何值时，放大器都能稳定工作。



射频部件简介-混频器

●混频器

●变频损耗 L_m

$$L_m = 10 * \lg(\text{微波输入信号功率} / \text{中频输出信号功率})$$

●变频增益 G_m

$$G_m = 10 * \lg(\text{中频输出信号功率} / \text{微波输入信号功率})$$

●动态范围

动态范围是混频器正常工作时的微波输入功率

1、下限

下限指信号与噪声电平相比拟时的功率

2、上限

受中频输出饱和功率的限制，通常指1dB压缩点的微波输入信号功率，也有时给出的是1dB压缩点的中频输出功率，这时与前一种参数相差值为变频损耗。



射频部件简介-混频器

●噪声系数

$$F_m = (P_{si}/P_{ni}) / (P_{so}/P_{no}) = L_m * (P_{no}/P_{ni})$$

另一种定义方式: $NF = N_o / (KTB * G)$

●双频三阶交调

如果有两个频率相近的信号发生 f_{s1} 、 f_{s2} 和本振信号 f_p 一起输入到混频器中,会产生很多的组合频率,其中 $f_p \pm (mf_{s1} \pm nf_{s2})$ 称为双频交调分量,当 $m=1, n=2$ 或 $m=2, n=1$ 时是三阶交调,三阶交调分量出现在中频附近,很容易落入中频放大器的工作频带内,造成很大干扰。混频器的三阶交调系数为一项重要的指标。

$$M_3 = 10 * \lg((\text{三阶交调分量功率} / \text{中频有用信号功率}))$$

●隔离度

混频器隔离度是指各频率端口之间的隔离度,该指标包括三项:信号与本振之间的隔离度,信号与中频之间的隔离度,本振与中频之间的隔离度。如 P_L 是本振功率, PSL 为本振泄漏到信号端的隔离度,则本振端—信号端的隔离度为:

$$LLS = 10 * \lg(P_L / PSL) \quad \text{dB}$$



射频部件简介-混频器

●工作频率

混频器是多频率器件，除了应指明信号工作频带以外，还应该注明本振功率可用范围及中频频率范围。

●本振功率与工作点

本振功率是指最佳工作状态下所需的本振功率。

本振功率不同时，混频二极管工作电流不同，阻抗也不同，这就会使本振、信号、中频三个端口的匹配状态变坏，也将改变动态范围和交调系数。原则上本振功率愈大，混频器的动态范围增大，线性度改善，1dB压缩点上升，三阶交调系数改善。

●端口驻波比

由于混频器的各个端口的相互牵制，实现较好的宽带匹配是相当困难的。比如中频端口失配，其反射波再混成信号，可能使信号口驻波比变坏。本振功率变化4—5dB时，混频管的阻抗可能有50欧姆变到100欧姆，从而引起三个端口的驻波比发生明显变化。



射频部件简介—滤波器

● 滤波器

● 滤波器的应用

1. 分离信号、抑制干扰
2. 阻抗变化
3. 阻抗匹配
4. 延迟信号

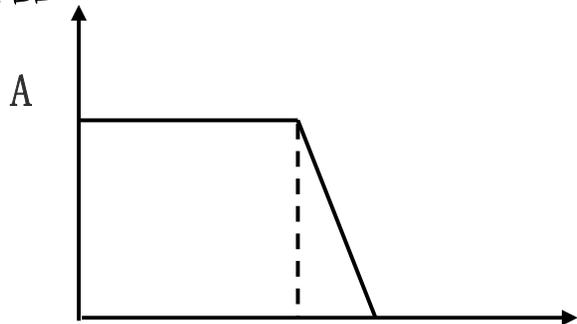
● 滤波器按对频率的选择性分为

1. 低通滤波器
2. 高通滤波器
3. 带通滤波器
4. 带阻滤波器

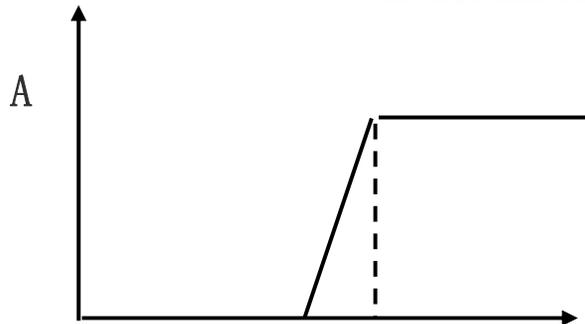


射频部件简介—滤波器

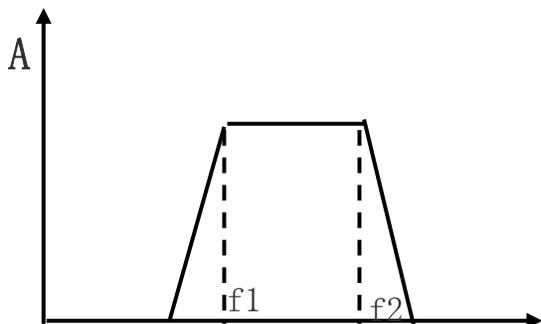
●滤波器



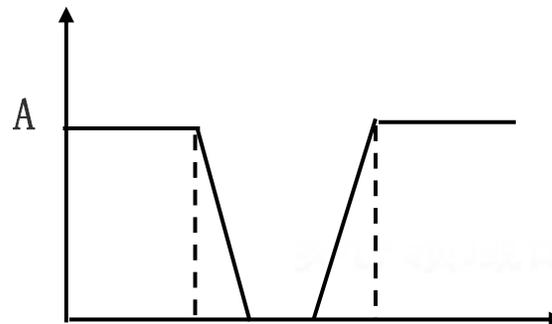
fc
通带 过渡带 阻带 F
低通滤波器



fc
阻带 过渡带 通带 F
高通滤波器



f1 f2
阻带 过渡带 通带 过渡带 阻带 F
带通滤波器



f1 f2
通带 过渡带 阻带 过渡带 通带 F
带阻滤波器



射频部件简介—滤波器

- 滤波器的技术指标

- 频率范围

即滤波器通过或截断信号的频率界限。

- 通带衰减

由滤波器残存的反射以及滤波器元件的损耗所引起，一般希望尽可能小。

- 阻带衰减

一般希望尽可能大，希望在通带以外，衰减值能陡峭地上升，一般取通带外与截止频率为一定比值的某频率的衰减值作为此项指标。有时也可在阻带内某段频率内衰减值来表示特定的阻带衰减值。

- 寄生通带

为微波滤波器特有的指标，由于分布参数的传输线段频率响应的周期性所引起，其结果使得在离开设计通带一定距离处又产生了通带

（通常各通带中心频率之间成整数倍的关系），即称为寄生通带。



射频部件简介—滤波器

●群时延特性

我们知道，相位延迟、相位和角频率间有以下关系：
$$\tau_p = \frac{\phi}{\omega}$$

欲不产生相位失真，则要求相位特性是线性的。

此外，还常用到群时延的概念：
$$\tau_d = \frac{d}{d\omega} \phi$$

显然，对群时延而言，无相位失真条件为： $\tau_d = \text{常数}$ 。

如相位特性为非线性，则群时延特性也是非线性，如群时延特性的非线性严重，则脉冲信号通过后将发生显著的畸变。

在传输单一频率信号时，多采用相位延迟的概念。而在传输具有一定带宽信号时，多采用群时延的特性。尤其在中频滤波器的技术指标中，它的群时延特性是一项重要的指标。



射频部件简介—功率放大器

● 频率特性

工作频带是指放大器满足全部性能指标的连续频率范围。

● 功率特性

● 饱和输出功率

当功率放大器的输入功率加大到一定的值后，输出功率不再随输入功率的增加而增加，这时的输出功率称为饱和输出功率。饱和输出功率是一个表征放大器功率输出能力的量。

● 1dB压缩点输出功率 P_{1dB}

功率放大器功率增益压缩1dB时的输出功率称为1dB压缩点输出功率，记为 P_{1dB} 。1dB功率压缩点是一个非常重要的指标，直接表征放大器的线性特性。



射频部件简介—功率放大器

- 功率效率

放大器的功率效率为功率放大器的射频输出功率与直流功耗之比。

- 功率附加效率

功率附加效率为：

$(\text{射频输出功率} - \text{射频输入功率}) / \text{直流输入功率}$ 。

既反映了直流功率转换成射频功率的能力，又反映了放大器对射频功率的放大能力，在工程实际中更为常用。

- 交调特性

由于功率放大器的非线性特性，不同频率的两个或多个信号输入放大器时会产生多个频率分量的输出信号，这种现象称为交调。用交调系数表征交调特征。



射频部件简介—功率放大器

- 三阶交调系数

三阶交调系数是度量微波功率放大器线性的一项重要指标，由于三阶交调分量 $2f_i - f_j$ 或 $2f_j - f_i$ ($i \neq j$) 与基波频率 f_i 、 f_j 非常接近，很难把它们从信道中滤除，因此三阶交调信号就成为干扰信号。三阶交调系数为：

$$M3 = 10 * \lg(P3/Pi) = 10 * \lg(P3/Pj) \quad (\text{dBc})$$

式中， $P3$ 为交调分量的功率； P_i ， P_j 为基波功率。

- 二阶交调系数

$$M2 = 10 * \lg(P2/Pi) = 10 * \lg(P2/Pj) \quad (\text{dBc})$$

式中， $P2$ 为交调分量的功率； P_i ， P_j 为基波功率。



射频部件简介—功率放大器

●调幅—调相转换特性

微波信号通过功率放大器时，在幅度被放大的同时，相位也会发生相移。相移的大小随输入信号的大小而变化，这种现象称为调幅—调相效应。调幅调相效应会引起相位失真和群时延的变化。常用调幅—调相系数来衡量相位失真的大小。

$$K_p := \frac{180d}{\pi \cdot d(10\log(P_{in}))} \theta \quad (\text{deg/dB})$$

P_{in} 为输入信号功率 (mW)； θ 为对输入功率 P_{in} 的输出信号相移。

●谐波失真特性

谐波失真的大小用谐波失真系数 HD_n 衡量

$$HD_n = 10 * \lg(P_n/P_s) \text{ (dBc)}$$

式中， P_s 为基波信号的功率； P_n 为 n 次谐波的功率



射频部件简介—振荡器

- 频率特性

- 频率准确度

频率准确度是指振荡器实际工作频率与标称频率之间的偏差，常用绝对频率准确度和相对频率准确度两种表示方法。

绝对频率准确度： $Df=f-f_0$ (f为实际工作频率， f_0 为标称值)

相对频率准确度： $Df/f_0 = \frac{(|f - f_0|)_{\max}}{f_0}$

- 频率稳定度

频率稳定度是指在规定的时间内，频率准确度变化的最大值，也可以用绝对频率稳定度或相对频率稳定度来表示，常用相对频率稳定度来表示。

- 时间间隔

当时间间隔较长时，常采用统计的方法，用均方根值表示频率稳定度。



射频部件简介—振荡器

- 输出特性

- 输出功率

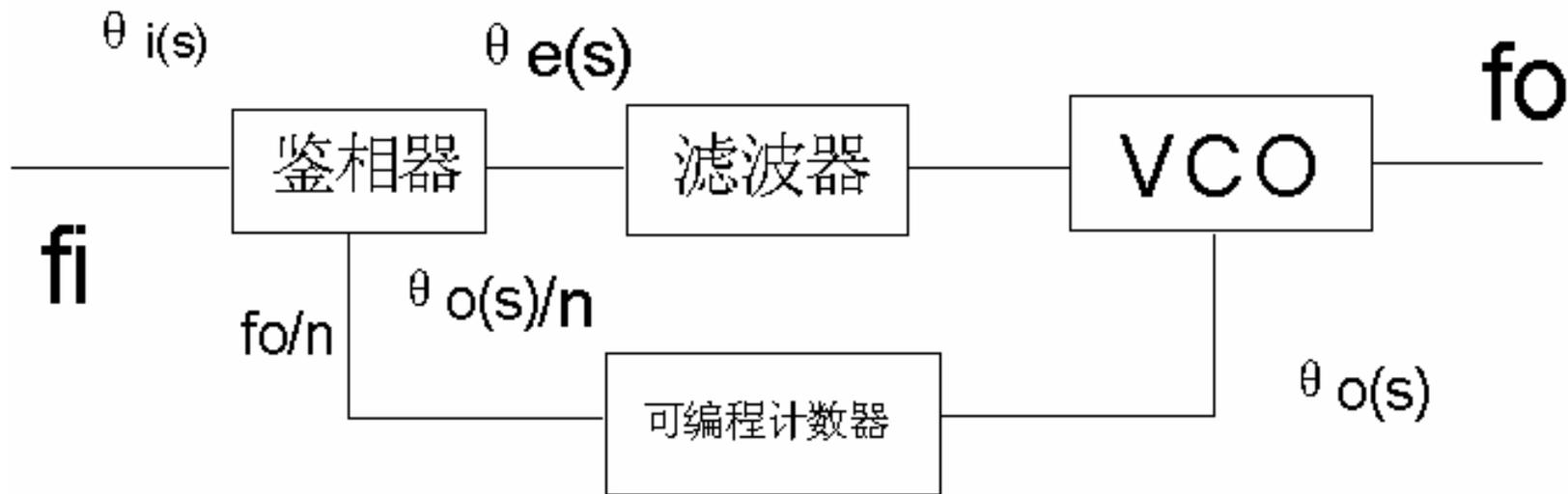
此功率为振荡器在指定负载条件下，输出振荡信号的能力，通常以输出的最大功率表征。

- 频谱纯度

是指输出的振荡信号的频率不稳所造成的频谱不纯。振荡器的杂散信号越多，相位噪声越大，频谱纯度越差。振荡器的频谱纯度可以用振荡器的输出功率与各寄生频率总电平之比来表示。



射频部件简介—PLL—VCO





射频部件简介—PLL-VCO

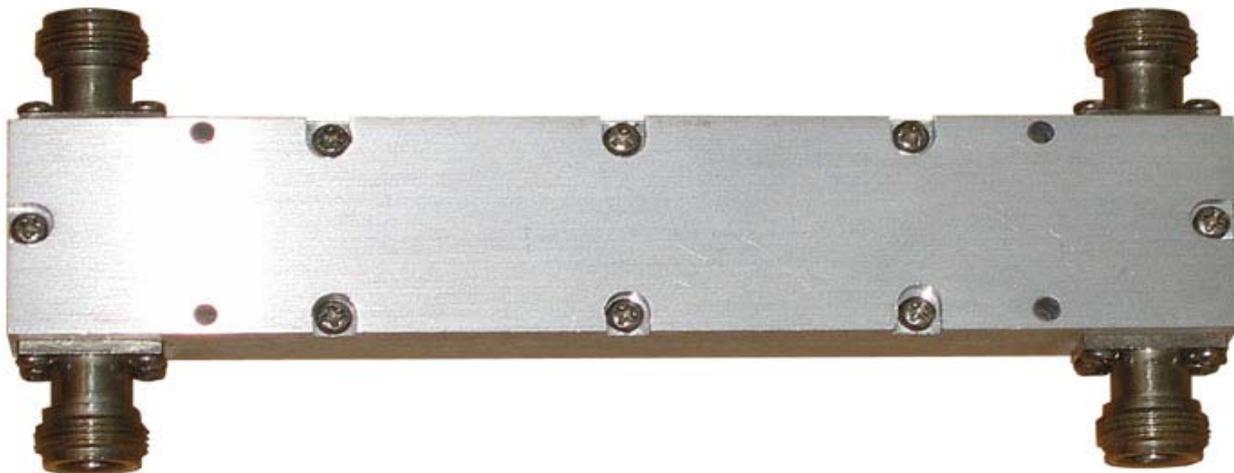
鉴相器输出一个与信号 ϕ_i 及 θ_o/N 之间的相位差 成比例的电压，这个电压加到滤波器上，用作VCO的控制信号。

由于VCO输出一个与其输入电压成比例的频率，所以在控制信号端出现的任何时变信号都对VCO进行频率调制。在相位锁定期间，其输出频率是：

$$F_o = N f_i$$

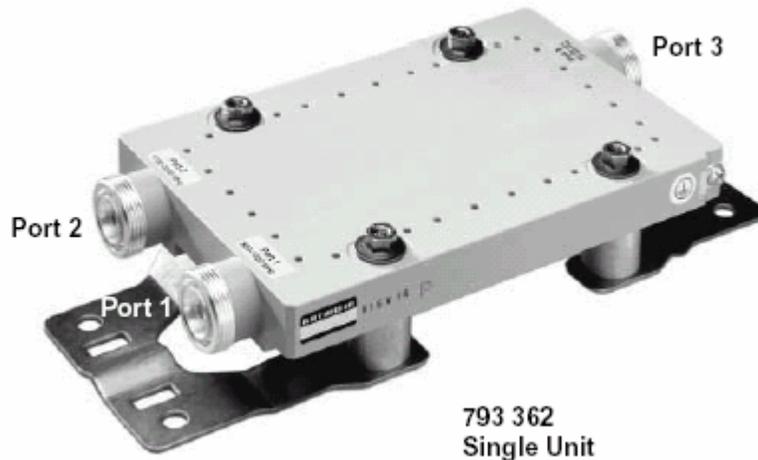
鉴相器、滤波器和VCO构成前向支路，反馈支路中含有可编程分频器。根据环路传递函数的不同，可以构成不同型和不同阶的环路。

射频部件简介—3dB桥合路器



- 1、常用来将两个无线载频合成后馈入天线或分布系统，其中一个输出口接 $50\ \Omega$ 负载，信号合路后有3dB损耗。在室内分布应用中，有时两个输出端都要用到，这时就不需要负载，也无3dB损耗。
- 2、英文名为 Hybrid Coupler
- 3、如果两个输出端都用到情况下，两端口相位有90度的偏移。
- 4、一般两个输入端口的隔离度为25dB。

射频部件简介—双工合路器



- 1、如果是两个相同系统信号合路，起到duplexer的作用；如果是两个不同系统信号合路，起到diplexer的作用；
- 2、端口隔离度高，可以达到50dB以上；
- 3、相对3dB桥合路器，价格比较贵。

射频部件简介—功分器和耦合器



- 1、耦合器与功分器都属于功率分配器件，其主要差别在于功分器为等功率分配、耦合器为不等功率分配。
- 2、 耦合器与功分器的搭配使用，主要达到一个目标：使信号源的发射功率能够尽量平均分配到系统的各个天线口，也就是整个分布系统中的每个天线发射功率基本相同。

课程内容



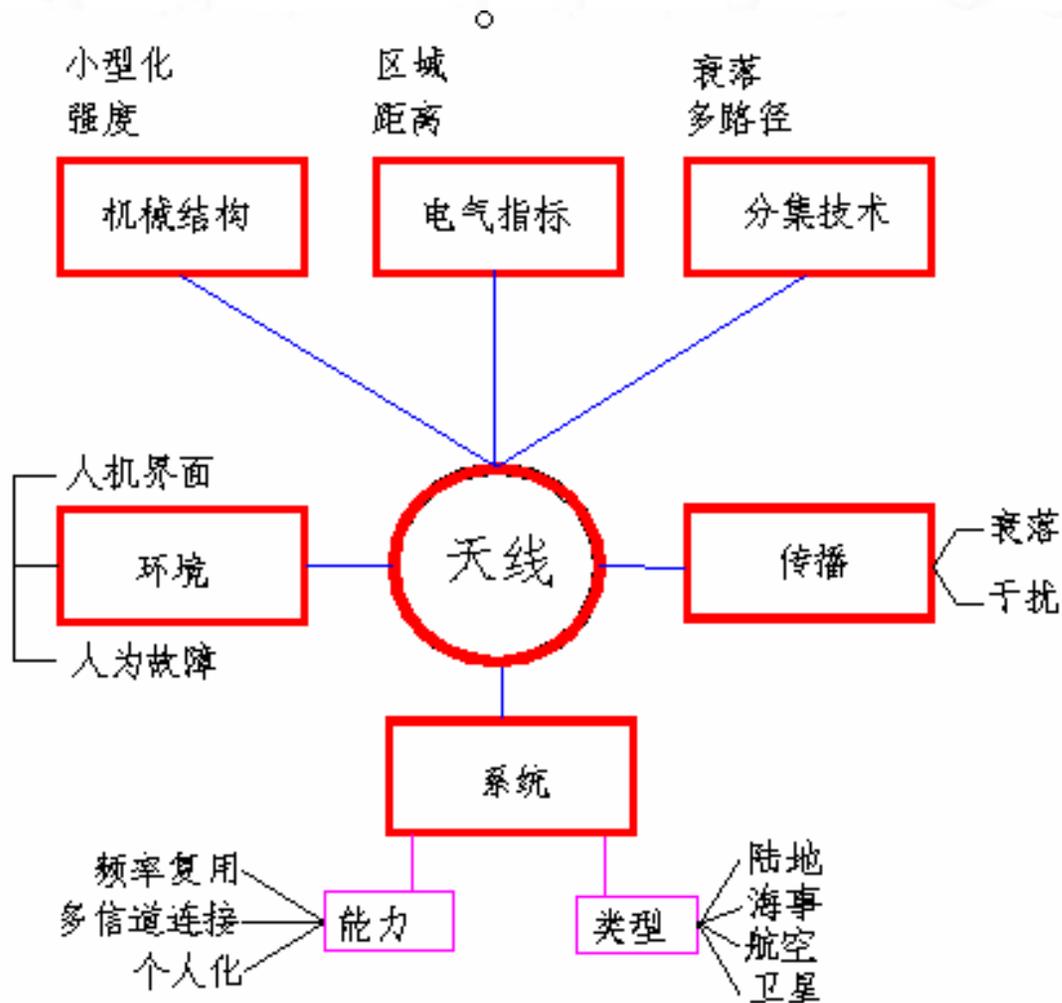
- ▶ 第一章 无线通信的基本概念
- ▶ 第二章 射频常用计算单位简介
- ▶ 第三章 射频常用概念辨析
- ▶ 第四章 射频系统介绍
- 🌐 第五章 天线传播基础知识简介

第五章 天线传播基础知识简介



- 第一节 基站天线技术
- 第二节 馈线的主要技术指标
- 第三节 天线大家族

天线传播基础

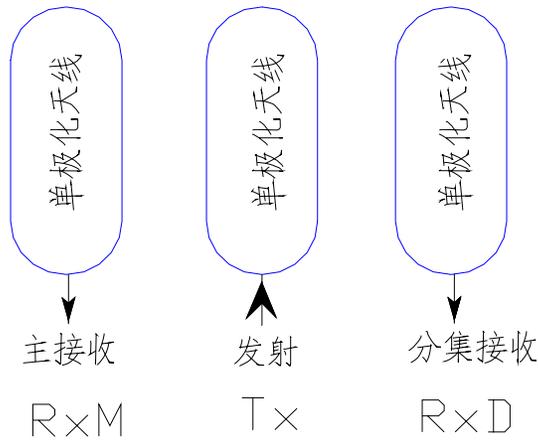


图（1） 天线与系统的有机组合

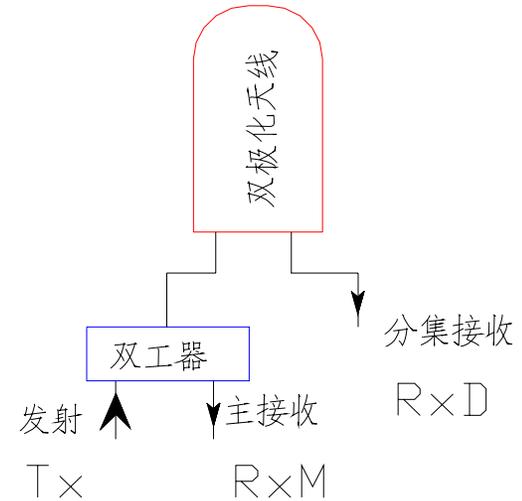
● 基站天线的发展趋向

- ◆ 基站天线是用户终端与基站控制设备间通信系统的桥梁，广泛应用于GSM蜂窝移动通信和 ETS 无线接入通信等系统中。通信技术的发展必将带动天线概念的发展。在七十年代的移动通信系统中，由于用户少，较少的载频和少量的基站即可覆盖一个城市的移动通信需求，采用了全向天线或角形反射器天线。随着经济发展，移动终端需求量的急剧增加，旧的基站已不能满足需求，尤其数字蜂窝技术的发展，基站配置需要新型天线，以改善市区的多路径衰落、区域分配和多信道联接网络的频率复用。平板式天线由于其剖面低、结构轻巧、便于安装、电性能优越等优点被广泛应用于GSM数字蜂窝系统。在80年代中期至90年代中后期，大多采用单极化(VP)天线，而一个扇区需用3副天线如图(2)，一个小区通常划分为三个扇区，因此一个小区要用9副天线，天线数目太多给基站建设、安装带来困难，安装费用居高不下，有的站点根本无法安装分集接收天线，即使安装了也无法得到最佳分集接收增益。因此，双极化天线技术应运而生。如图(3)。
- ◆ 随着信道的增加和新建基站，蜂窝网络必须调整和优化，需要更新型的基站天线满足这一要求，如自适应控制天线、智能化天线。

天线传播基础



图(2) 单极化天线在一个扇区的配置



图(3) 双极化天线在一个扇区的配置



● 基站天线设计概念

◆随着移动通信用户的增加，当系统的容量达到极限时，分配给移动通信的频率逐渐由30MHz提高到50MHz、150MHz、250MHz、450MHz、800MHz和1800MHz。频率的变化相应的也使天线的设计方法有所变化。在任何特定设计中，只有一些目标是可以实现的，必须把多种情况作为独立的整体来对待。但是有些要求总是必须考虑的因素。例如，容易操作控制和最好使用且易获得的新材料，直接关系到产品的外观和生产，在某种意义上讲也关系到产品的销售量。当然，产品首先必须满足通信性能的要求。

◆天线设计主要依靠一些著名的数学方法和计算机辅助设计（CAD）。最新的方法是有限差分时域法(FDTD)，这种方法允许辐射结构为任意形状并由多层不同材料构成。对于基站天线，通常分为定向天线和全向天线，在HF，VHF频段的基站天线及UHF频段的全向天线均属线型结构天线，通常用矩量法分析设计；UHF以上的定向天线大多采用线形振子或贴层激励的平板式结构，可以用矩量法和几何绕射理论(GTD混合法)分析计算，但实际上这类平板型天线完全可以用ESoff和Ansoft公司推出的HFSS软件仿真。借助于设计经验或简单理论分析，HFSS很容易求得这类天线的单元电气特性，利用天线原理的组阵方法可以推得最佳设计结果。



天线传播基础

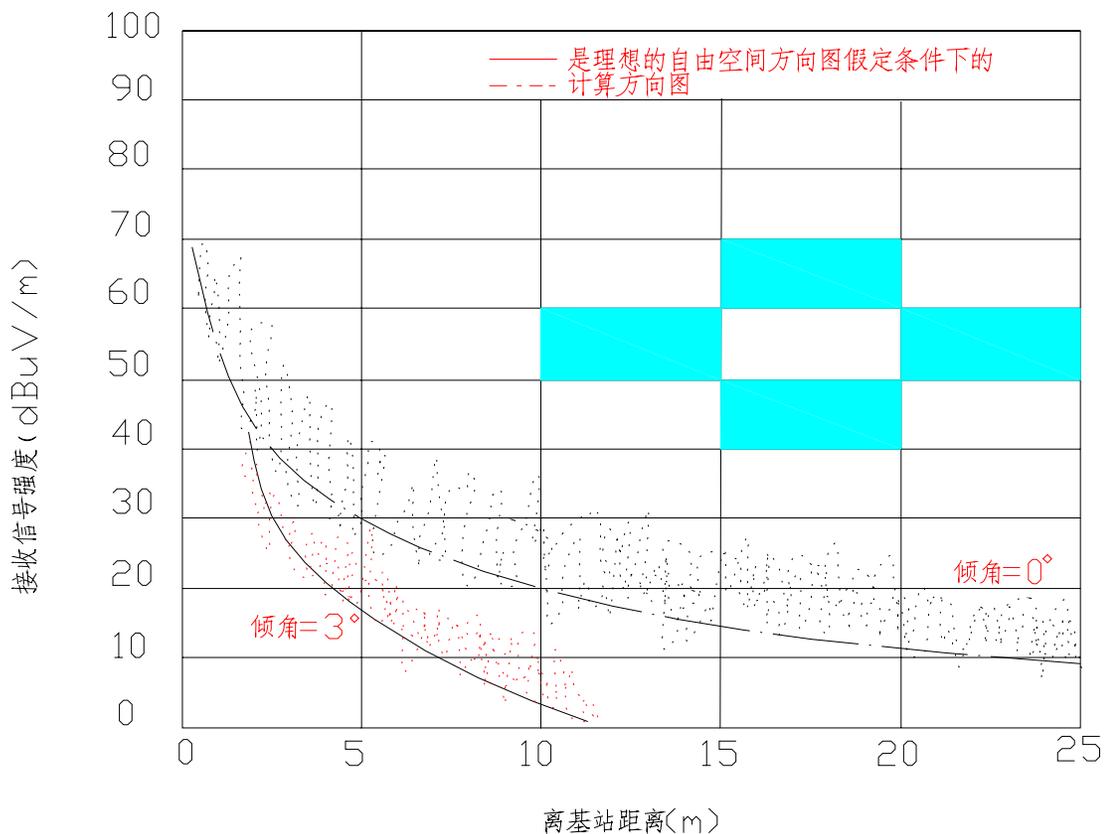
◆ 基站天线属于一种开放式场效应辐射装置，它所包含的场分析及数值分析极其复杂，因此作为应用程序，不能一味去追求理论分析，否则将会占用大量时间，而工作上却不允许这样，天线设计师应不断总结工作经验，允许利用仿真软件，准确快速地设计出天线。前面提到，天线决不能孤立地设计，必须考虑到系统的相容性，也就是说在设计中要考虑许多因素。系统设计与天线设计是紧密关联的，对于影响设备功能的所有因素来说，每个部件（功能模块）都是最佳的。但难以理解的事实是，性能高度最佳的器件从系统角度来看可能不是最佳的选择。比如印刷贴片天线，虽然它的效率比常用的偶极子天线效率低，但由于印刷贴片天线的剖面薄及适于印刷技术等特点，使许多新型系统成为现实，在移动通信终端、微蜂窝、雷达和导航设备中尤为突出。因此，作为天线系统设计工程师应考虑以下诸多因素：

- ◆ .区域结构----确定信号覆盖区和天线方向图
- ◆ .基站天线----天线高度、结构固定和波束下倾要求
- ◆ .噪声电平----热噪声和环境噪声
- ◆ .干扰----干扰电平、特点，同信道和邻近信道的影响
- ◆ .信号要求----最佳工作频率、带宽、交调影响和频谱复用
- ◆ .研制和加工成本
- ◆ .可靠性----所需要的技术维护、安装连接及其费用
- ◆ .易损坏性----室外架设、锈蚀、腐烂

● 基站天线分类

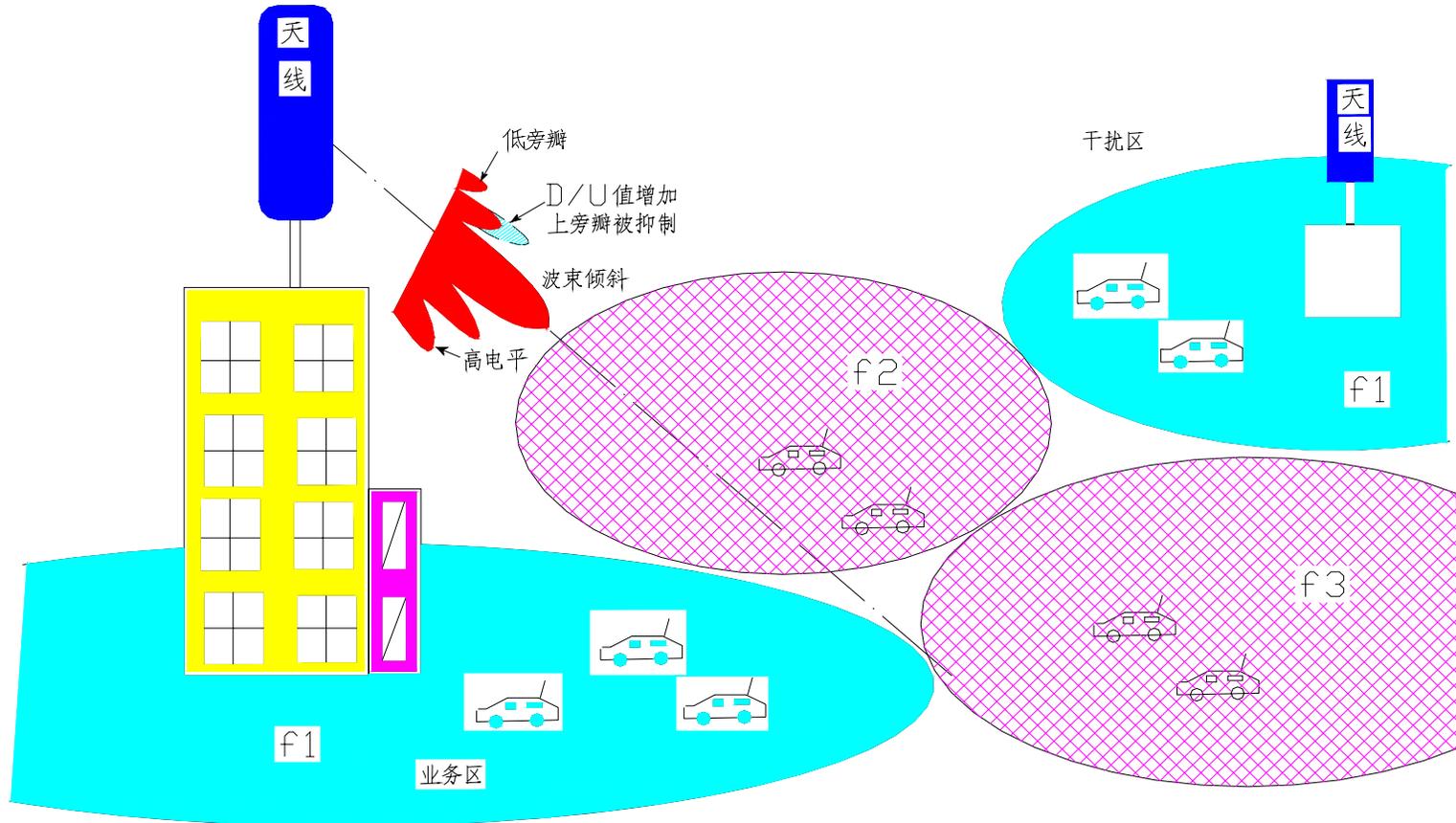
基站天线的结构或类型取决于业务区域的大小和形状以及蜂窝区和信道数量。如果业务区域取决于水平面有限的角度范围内，通常采用平板天线。水平面半功率波束宽度分别有 33° ， 60° ， 90° ， 120° ， 180° 等规格；如果业务区域在水平面内需要全方位覆盖，通常采用全向天线，这种天线只有在垂直面内有很大的方向性。早期蜂窝系统中由要求的增益来确定天线的长度，为了实现高增益通常对阵列天线采取均匀激励，但是为了有效地进行频率复用，必须对蜂窝区进行再分割，对于这种情况，基站天线D/U值要比有较高天线增益更重要。因此现在在蜂窝移动通信中基站天线都采用了电或机械的主波束倾斜。实验证明，同信道干扰约降低10dB，如图（4）所示，网络优化专家们已充分认识到波束倾斜是提高频率复用能力的基本技术，通过合成合适的阵天线方向图实现对主波束附近的旁瓣压缩，可有效地缩小频率复用的距离。图（5）从功能和天线特性的角度对基站天线进行了分类。

天线传播基础



图(4) 波束倾斜对频率复用的作用

天线传播基础



图(5) 降低旁瓣对频率复用的作用



天线传播基础

- 基站天线的无源交调

无源交调是产生同信道干扰的主要因素之一，因此当天线既发射又接收时，必须考虑无源交调(PIM)。绝大多数情况发射信道无源交调是由金属异质结的非线性引起的，这种金属异质结存在于天线辐射单元和馈线之间。在收信支路中会出现同频率干扰。因此，为了能同时进行发信和收信，在天线设计和加工时应使交调功率小于某一规定值。在GSM蜂窝系统中，这一规定值约为-103 dBm。

- 无源交调与收发信频率的关系

假定两个发射载波的频率为 F_i 和 F_j ，那么第 $(m + n)$ 次的交调便为：

$$F_c = m F_i \pm n F_j$$

式中 m, n 为正的奇数， F_c 为接收频段干扰波的频率，它出现的概率取决于发射频率与接收频率的间隔以及 $(m + n)$ 值的大小，如国内GSM 900 MHz蜂窝系统的发射频率范围为935MHz - 960MHz，接收频率范围为890-915MHz。收发信频极间隔仅20MHz。因此，其产生干扰交调波的阶次为3，若不采取有效的抑制，会严重干扰信道。PIM的阶次与产生的功率之间关系可近似为 $(m + n) \times 10$ dB。因此，若发射波和接收波之间的频率间隔较小，5次或3次会形成干扰，其电平比7次交调波高出20或40dB。



天线传播基础

- PIM的生成点与抑制技术

PIM所产生的功率取决于接头的金属类型和结构。它主要产生于天线辐射器、同轴接头、焊点以及易锈蚀的接触面。虽然有论文发表PIM基础理论，但至今还不能定量分析接触点结构与生成PIM之间的关系。随着移动通信的需求迅速增长，基站天线的数量也持续增加，特别是从系统的经济性考虑，收发共用天线对系统提供了很大优点。共用天线将普遍使用，因此天线设计师应高度重视PIM抑制技术。

无源交调的基本抑制方法

PIM生成点

辐射器

接头

焊接

锈蚀

馈电网络

抑制方法

尽可能用印刷天线代替振子单元

增加接触面积，采用镀银件

减少焊点数量，焊点出增加焊料

表面涂镀处理，防止生成氧化物

尽可能用一体化带状线或微带线代替电缆线



- 基站天线主要指标的设计规范

- ◆ 基站天线电压. 驻波比 (VSWR)

VSWR在移动通信蜂窝系统的基站天线中, 其最大值应小于或等于1.5:1, 在指定的工作频段、温度范围, 湿度范围均应达到这一指标, 若 Z_a 表示天线的输入阻抗, Z_0 为天线的标称特性阻抗,

则反射系数为, $\Gamma = |Z_a - Z_0| / |Z_a + Z_0|$ 其中 Z_0 为50欧姆。

也可以用回波损耗表示端口的匹配特性, $R.L. = 20 \log(\Gamma)$ dB

电压驻波比与反射系数的关系为: $VSWR = (1 + \Gamma) / (1 - \Gamma)$

当 $VSWR = 1.5:1$ 时, $R.L. = -13.98$ dB。



天线传播基础

◆ 增益(G)

天线的方向特性可以用方向性图来描述，但通常用数量来表示天线辐射电磁能量的集中程度，即方向性系数D，它的定义是在同样的辐射功率 P_r 时，有方向性天线在最大辐射方向远区某点的功率通量密度 P_d （单位面积上通过的电场功率正比于电场强度的平方）与无方向性天线在该点的功率通量密度 P_o 之比：

$$D = P_d / P_o \quad (P_{rd} = P_{ro})$$

当考虑天线本身具有热损耗时，需要引入天线效率 Π ，其定义为：

$$\Pi = P_r / P_i$$

其中， P_r 为天线的辐射功率， P_i 为天线的输入功率。

在比较两天线的辐射性能时，如保持它们的输入功率不变，则天线的增益系数（假定参考无方向性天线的效率为100%），

$$G = \Pi \times D$$

通常增益用分贝表示，单位 dB_i（相对于无方向性天线），若用半波振子作为参考天线，G的单位为dB_d，0dB_d=2.15dB_i；在基站天线中不要用其他符号作为增益的单位。同时应注明基站天线的增益值仅指中心频率还是包括整个工作频段，若不说明，则指工作频段内的增益值。



天线传播基础

◆半功率波束宽度 (HPBW)

由于基站天线通常垂直于地面架设，因此描述基站天线的HPBW通常用垂直面内半功率波束宽度和水平面内半功率波束宽度，HPBW在工作频段内应给出范围值，如 $65^\circ \pm 4^\circ$ 。

◆前后比 (F/B)

前后比是衡量天线后向波束抑制能力的重要指标，基站天线前后比指天线的后向 $180^\circ \pm 30^\circ$ 以内的副瓣电平与最大波束电平之差，用正值表示，单位为dB, 该指标与天线增益及类型有关，大约在18-45dB范围, 具体指标要求与网络规划及优化有关。

◆端口隔离

多端口天线，如双极化天线、双频段双极化天线，收发公用时，端口之间的隔离度应大于30dB。

◆极化

极化是指天线辐射的电场矢量在空间的取向，基站天线通常使用线极化。以大地为基准面，电场矢量垂直于地面为垂直极化 (VP)，平行于地面为水平极化 (HP)。在双极化天线中，通常使用 $+45^\circ$ 和 -45° 正交双线极化。



天线传播基础

◆功率容量

指平均功率容量，天线包括匹配、平衡、移相等其它耦合装置，其所承受的功率是有限的，考虑到基站天线的实际最大输入功率（单载波功率为20W），若天线的一个端口最多输入六个载波，则天线的输入功率为120W，因此天线的单端口功率容量应大于200W（环境温度为65℃时）。

◆零点填充

基站天线垂直面内采用赋形波束设计时，为了使业务区内的辐射电平更均匀，下副瓣第一零点需要填充，不能有明显的零深。通常零深相对于主波束大于-20dB即表示天线有零点填充，对于大区制基站天线无这一要求。

◆上副瓣抑制

对于小区制蜂窝系统，为了提高频率复用能力，减少对邻区的同频干扰，基站天线波束赋形时应尽可能降低那些瞄准干扰区的副瓣，提高D/U值，上第一副瓣电平应小于-18dB，对于大区制基站天线无这一要求。

◆天线输入接口

为了改善无源交调及射频连接的可靠性，基站天线的输入接口采用7/16DIN-Female，在天线使用前，端口上应有保护盖，以免生成氧化物或进入杂质。



天线传播基础

◆ 无源交调 (PIM)

为了改善天线非线性而产生的干扰杂波，天线的无源交调应少于-107dBm(2x20W)。

◆ 天线尺寸

为了便于天线储存、运输、安装及安全，在满足各项电气指标情况下，天线的外形尺寸应尽可能小。

◆ 天线重量

为了便于天线储存、运输、安装及安全，在满足各项电气指标情况下，天线的重量应尽可能轻。

◆ 风载荷

基站天线通常安装在高楼及铁塔上，尤其在沿海地区，常年风速较大，要求天线在36m/s时正常工作，在55m/s时不破坏。

◆ 工作温度

基站天线应在环境温度-40℃~+65℃范围内正常工作。

◆ 湿度要求

基站天线应在环境相对湿度0-100%范围内正常工作。

◆ 雷电防护

基站天线所有射频输入端口均要求直流直接接地。

◆ 三防能力

基站天线必须具备三防能力，即：防潮、防盐雾、防霉菌。对于基站全向天线，必须允许天线倒置安装，同时满足三防要求。

第五章 天线传播基础知识简介



- 第一节 基站天线技术
- 第二节 馈线的主要技术指标
- 第三节 天线大家族



天线传播基础

● 馈线

馈线主要包括馈电电缆和天馈避雷器，目前我司采用的器件的主要性能参数详见后表。

● 馈电电缆的重要指标参数：

- ·传输损耗
- ·电压驻波比
- ·弯曲半径
- ·外护套抗老化性能
- ·单位长度重量
- ·选配接头类型

目前各设备供应商普遍采用7/16DIN接头作为馈线连接器，其优点是：电压驻波比好、耐功率大、防水性能好、PIM指标优良等。

● 天馈避雷器的重要指标参数：

- ·收发公用
- ·插损
- ·雷电通流
- ·耐功率
- ·残压



天线传播基础

型号	衰减dB/100m, 频率(MHz)				VSWR	弯曲半 径(m)	生产厂 家
	890	1,000	1,700	2,000			
SYFY-50-22(7/8")	4.03		5.87	6.46	1.15	0.3	609厂
LDF5-50A(7/8")	4.03	4.3	5.87	6.46	1.15	0.25	ANDREW
LDF6-50(5/4")	2.98	3.17	4.31	4.77	1.15	0.38	ANDREW
M1474A(7/8")		4.3		6.6	1.15	0.22	ACOME
HFC22D-A(7/8")		4.47		6.7	1.15	0.25	LG
FSJ4-50B(1/2")	11.2	11.9	16.1	17.7	1.15	0.05	ANDREW

第五章 天线传播基础知识简介



- 第一节 基站天线技术
- 第二节 馈线的主要技术指标
- 第三节 天线大家族



天线传播基础

● 天线大家族

天线的种类很多，前面提到的天线主要应用于移动通信领域的基站。

● 按天线的结构形式分有：

单个面天线、单个线天线、阵列天线等

● 面天线

面天线的形式根据不同的馈电形式分别有：

- ◆ ·卡塞格伦天线
- ◆ ·格利高里天线
- ◆ ·环焦天线
- ◆ ·波束波导天线
- ◆ ·主焦天线
- ◆ ·单偏置天线
- ◆ ·双偏置天线
- ◆ ·抛物柱面天线

等等，以上天线可以是标准型也可以是修正型（赋形技术），目前绝大多数采用赋形技术，可以有效控制辐射特性，满足不同需求。



本章小结

- 本章主要讲述了天线传播的一些常用的基本概念，着重于介绍扇区、载波、天线的分集和极化方式这几个方面。



课程总结

- 本课程的目的为了使相关人员熟悉和掌握射频基本概念和知识，并能够运用这些知识去解释WCDMA系统相关的射频现象和问题。



HUAWEI
华为技术

谢谢