

射频基础知识

蜂鸟无线

fengniaoRF.com

目录



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 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
频段和波段
- 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。

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1-1。

无线通信使用的频段和波段

● 表1-1 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

- 表1-1 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

- 表 1-2 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

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耗极小。

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，在海水中衰减很小（频率为75Hz时衰减系数为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。

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：

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

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

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。

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。

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

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

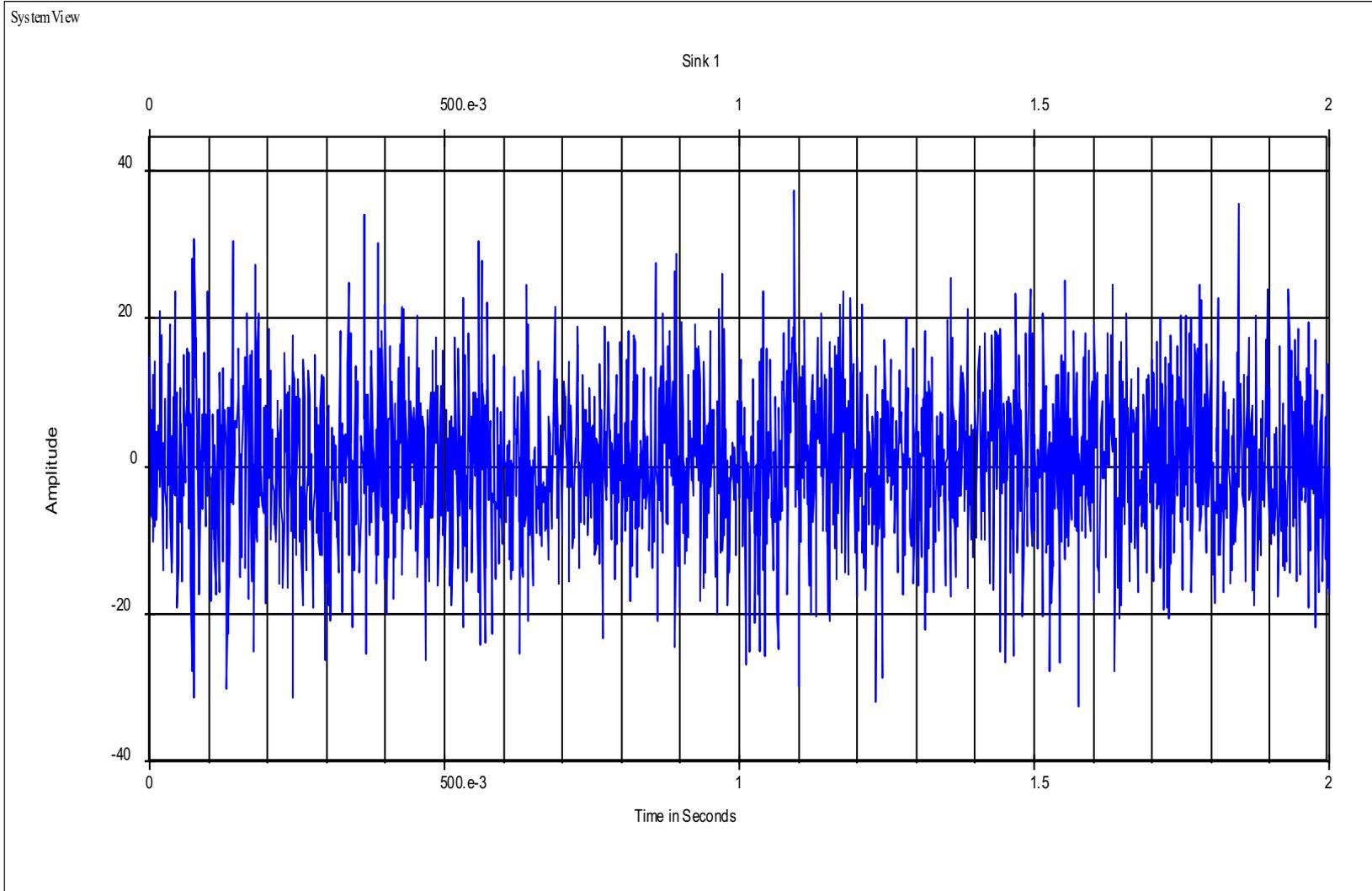
功率相关概念

- 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



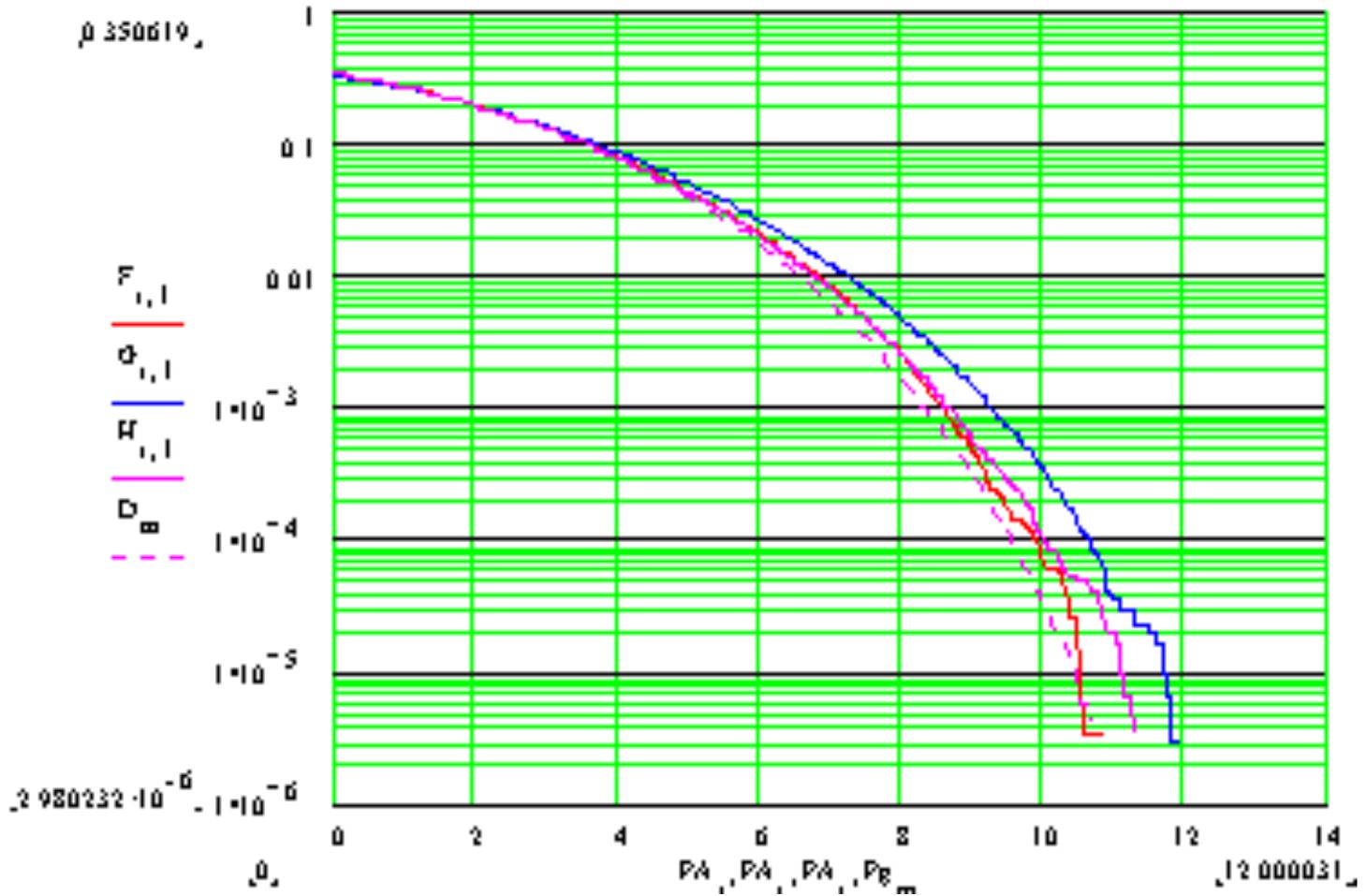
功率相关概念

- 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



噪声相关概念

- 噪声定义

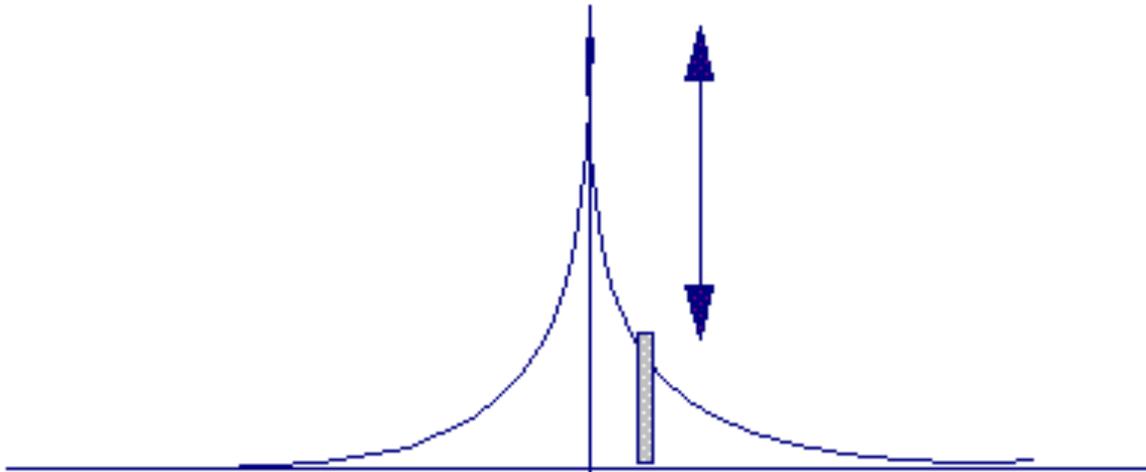
噪声是指在信号处理过程中遇到的无法确切预测的干扰信号（各类点频干扰不是算噪声）。常见的噪声有来自外部的天电噪声，汽车的点火噪声，来自系统内部的热噪声，晶体管等在工作时产生的散粒噪声，信号与噪声的互调产物。

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



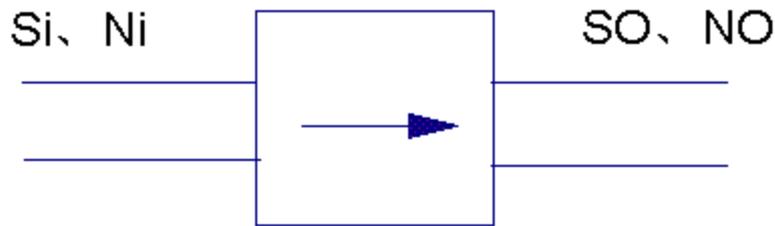
例如晶体的相位噪声可以这样描述：

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：



$$NF = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}}$$

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：

$$NF = \frac{P_{no}}{G \cdot P_{ni}}$$

P_{no} 表示输出噪声功率， P_{ni} 表示输入噪声功率， G 为单元增益。

噪声相关概念

- 级联网络的噪声系数公式:



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

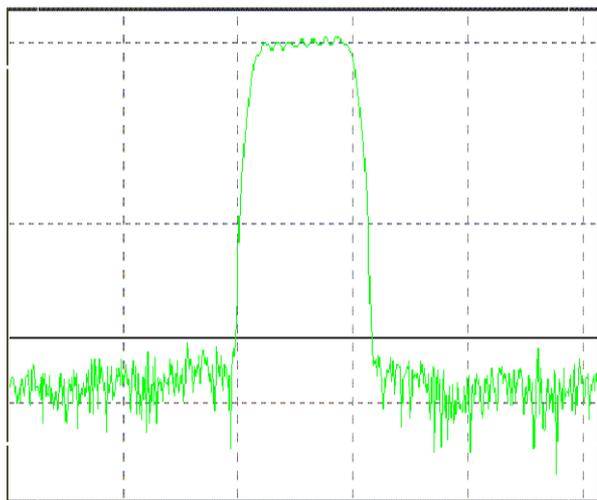
线性相关概念

- 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。

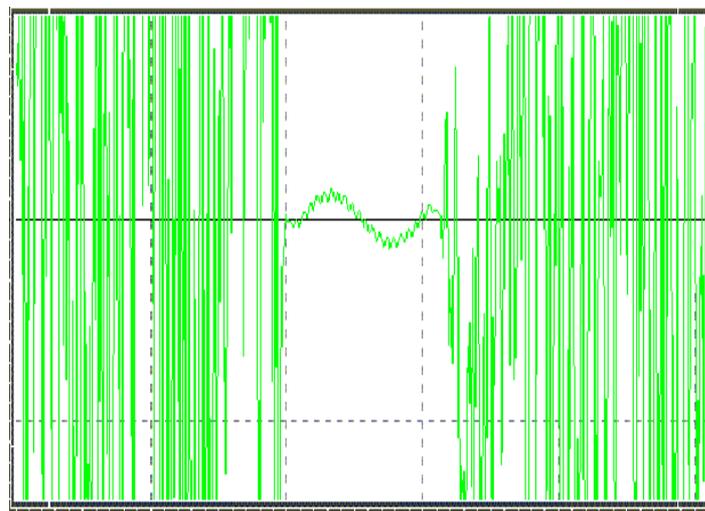
线性相关概念

- 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

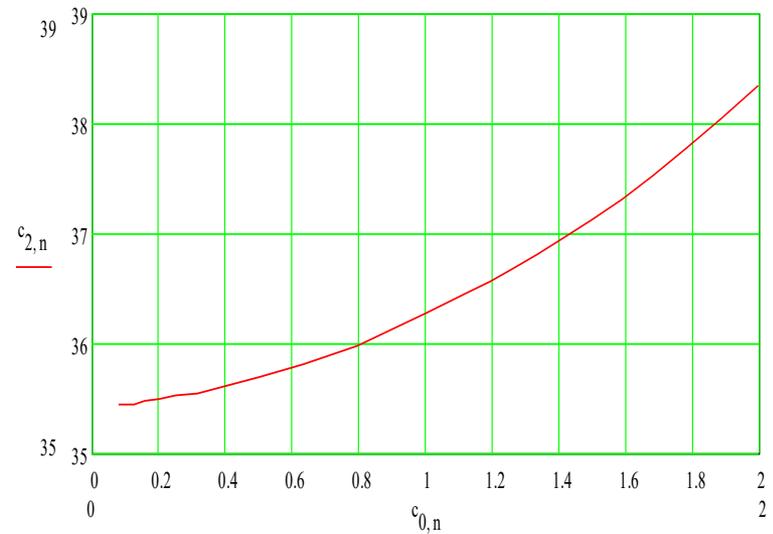
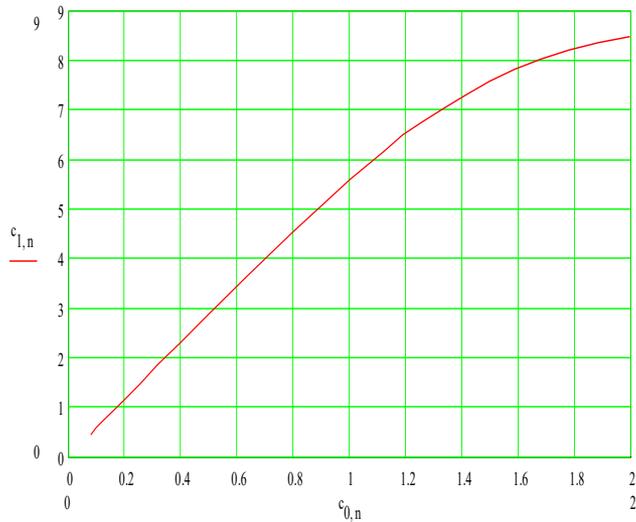


相频特性

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

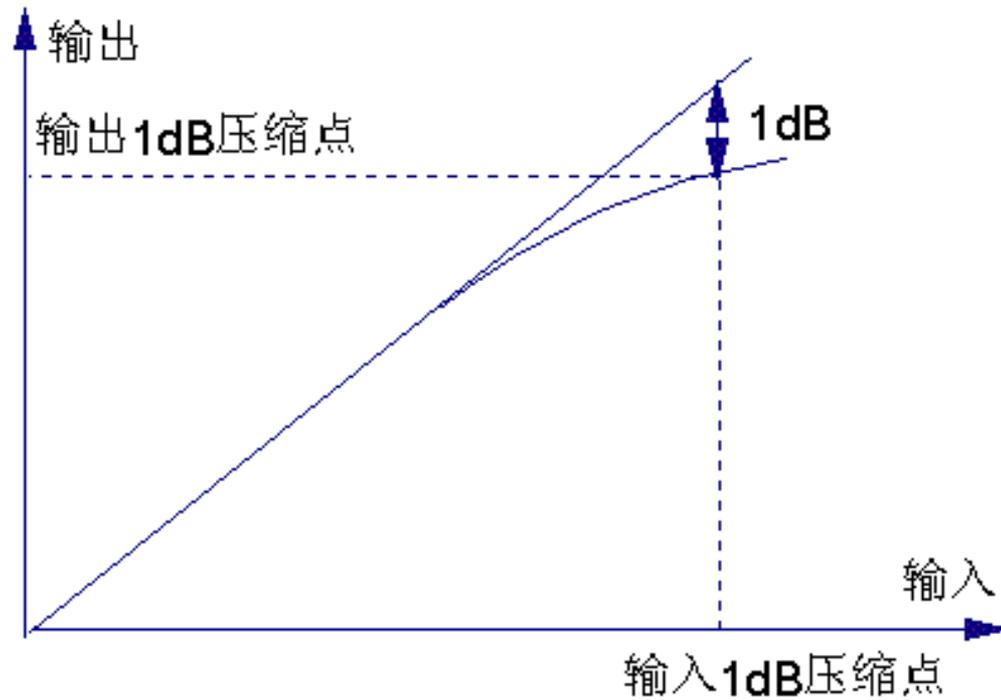
- 非线性幅度失真

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：

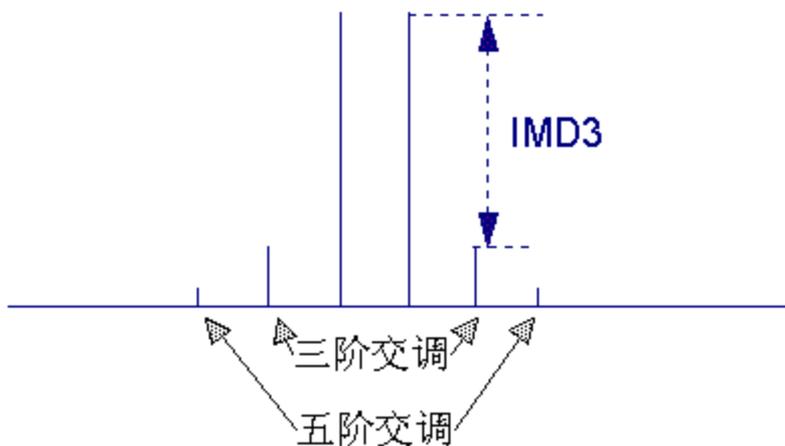
线性相关概念



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，在这里仍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：



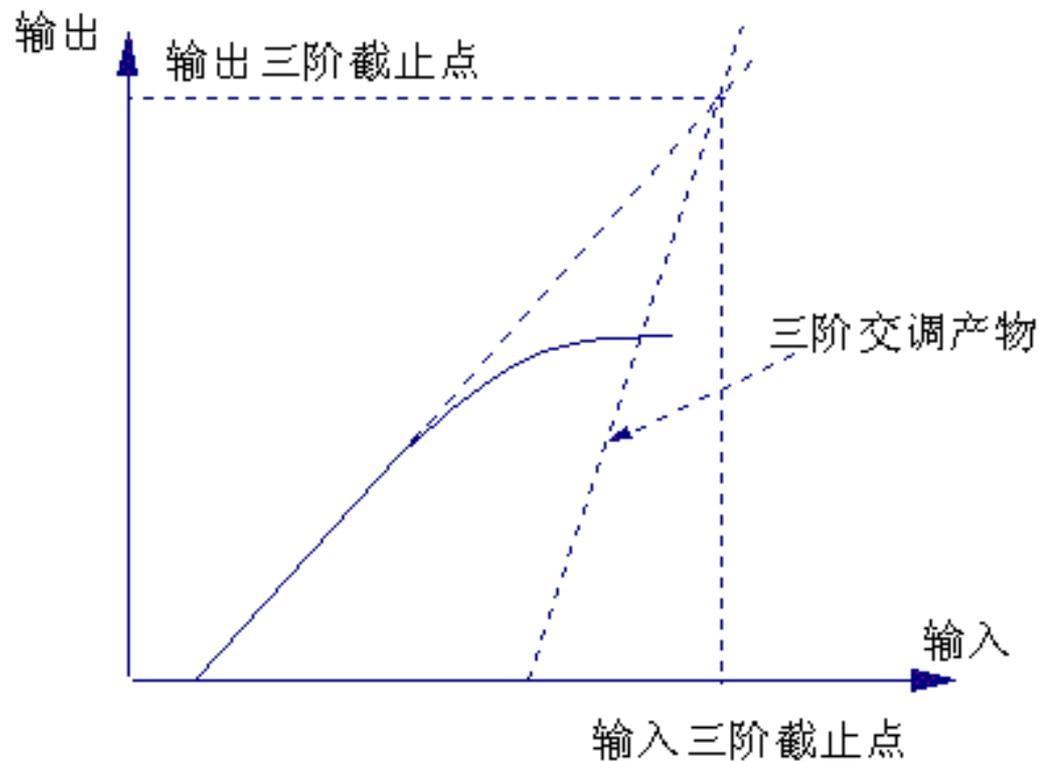
三阶交调常用dBc表示，即交调产物与主输出信号的比。

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

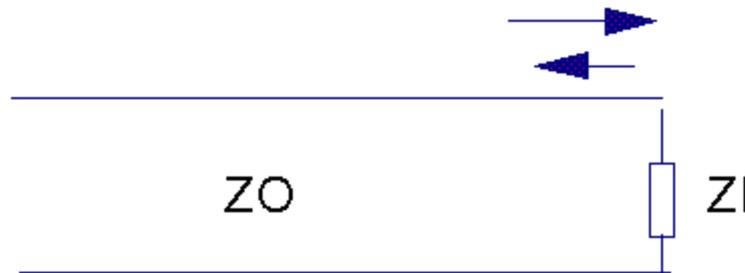


传输线相关概念

- 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：

$$\Gamma = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}$$



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

- 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：

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

由反射系数的定义我们知道，反射系数的取值范围是 $0 \sim 1$ ，而驻波系数的取值范围是 $1 \sim$ 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。

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：

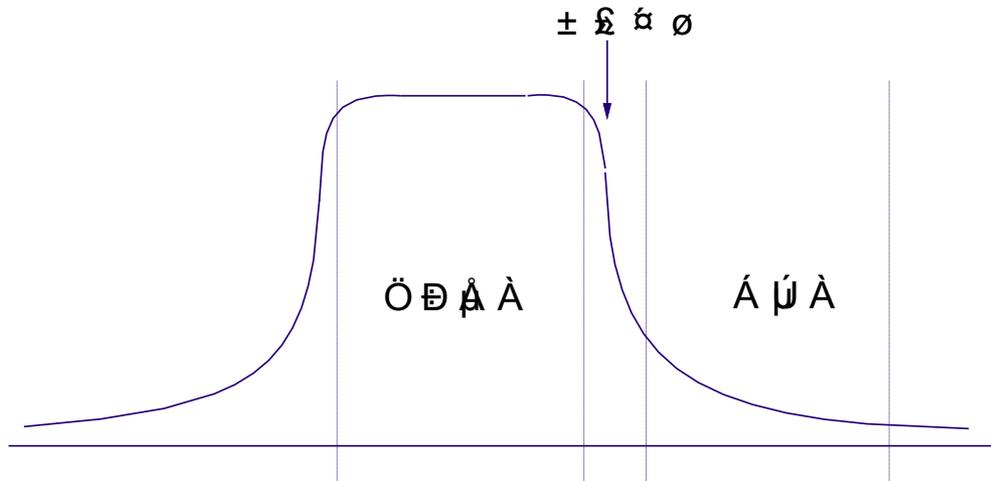
$$\text{回波损耗} = 20 \log (\Gamma)$$

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。

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 $ACLR \leq 45\text{dBc}$ ；第二邻道（偏离载频±10MHz）的 $ACLR \leq 50\text{dBc}$ 。

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·(f_{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 ↔ 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 <i>Whichever is the lower</i> ↔ 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. Fc2: Center frequency of last carrier frequency used.</p>			

上行通道射频指标

- 接收灵敏度

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

K是波尔兹曼常数, 单位: J/K(焦耳/K)

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

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, $10 \lg (KTB) = -174\text{dBm/Hz}$

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。

$$n \cdot f_r - m \cdot f_l = \pm \cdot f_i$$

$$f_r = \frac{m \cdot f_l \cdot \pm \cdot f_i}{n}$$

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

第四章 天线传播基础知识简介



- 第一节 扇区和载波
- 第二节 天线和天线增益
- 第三节 天线方向图和分集方法

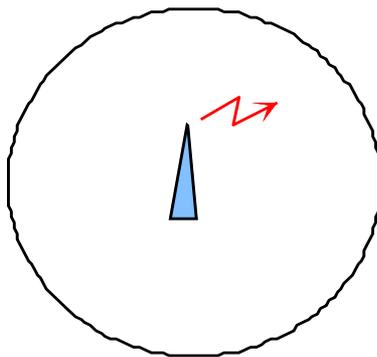
扇区和载波

- 扇区和载波

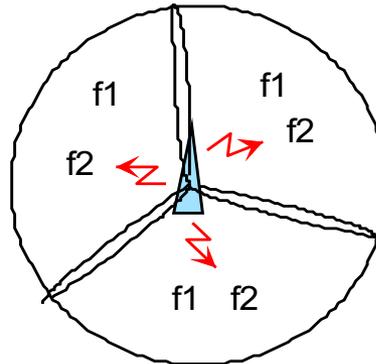
扇区表示一个区域，扇区的名字也就来自覆盖区域形状上象一把扇子。

载波数表示在一个扇区中同时存在的载波数。如1*3，表示全向扇区，该扇区中包含3个载波；3*2，表示3个扇区，每扇区中包含2个载波。

扇区和小区是不一样的，一个小区实际上在射频上就等效于一个载波，所以一个扇区中可以包含几个小区。如3*2就是一个扇区中有2个小区



1*3 全向扇区



3*2 三扇区

天线和天线增益

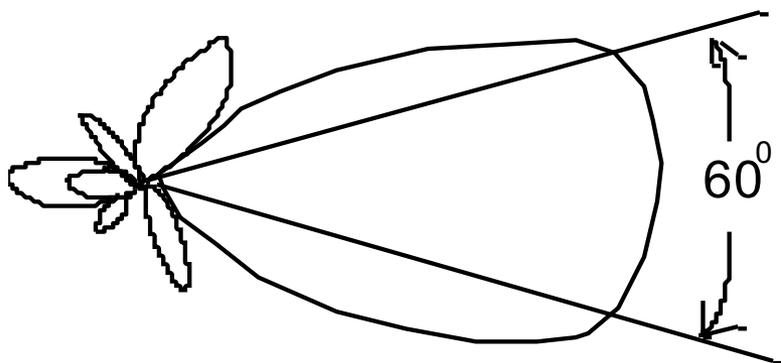
- 天线和天线增益

天线是无线基站发送功率的最后一个射频部件，一般的形成全向覆盖的全向天线采用鞭状天线或螺旋天线。形成定向扇区的定向天线一般是平板天线，通讯使用的平板天线一般由多个天线单元组成，形成比较高的天线增益。

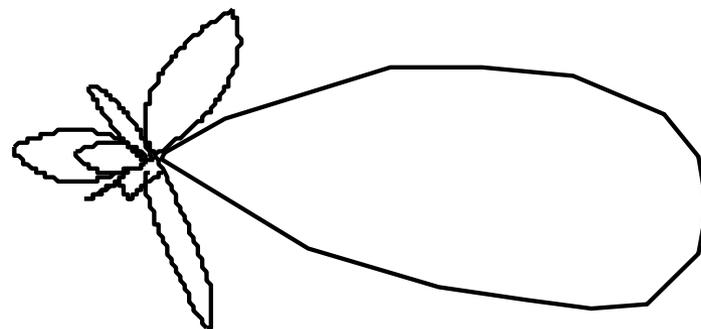
天线增益一般由dBi或dBd表示。dBi是指天线相对于无方向天线的功率能量密度之比，dBd是指相对于半波振子Dipole 的功率能量密度之比，半波振子的增益为2.15dBi，因此 $0\text{dBd}=2.15\text{dBi}$ 。

天线方向图和分集、极化方法

- 天线方向图和分集方法



$E_{\text{R}} \propto \frac{1}{r^2} \sin^2 \theta$



$E_{\text{R}} \propto \frac{1}{r^2} \sin^2 \theta$

天线方向图和分集、极化方法

- 通讯系统中为了克服电磁信号在空中产生的衰落效应，采用天线分集接收的方法。分集分为空间分集、极化分集。空间分集利用了电磁信号产生衰落在距离上的不相关特性，即在两根天线达到一定距离时可以认为两个天线接收到电磁信号衰落不相关。
- 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，平行于地面为水平极化。
- 全向天线只能是单极化天线，一般采用垂直极化(水平极化的地面反射较强)，定向天线可以设计成双极化的，双极化天线可能利用极化分集来代替天线空间分集。