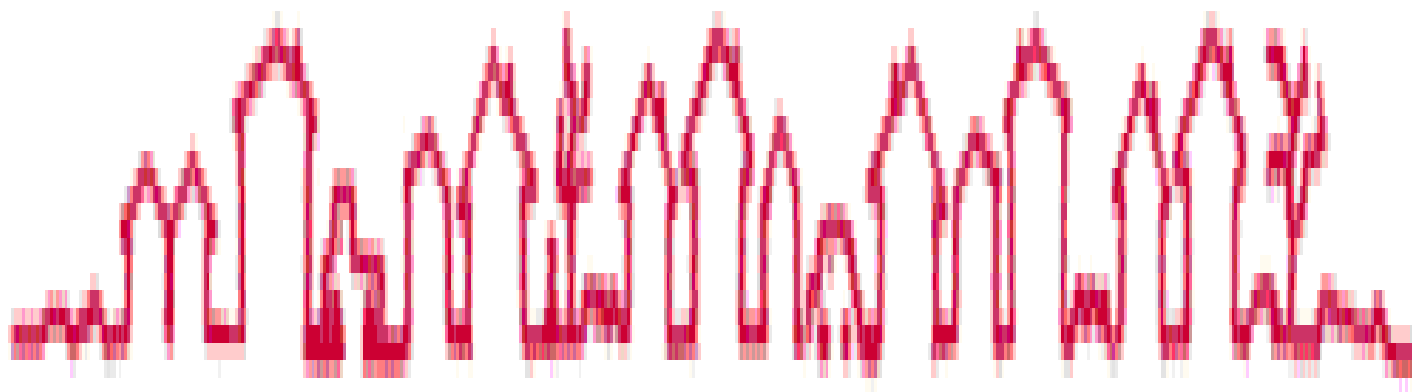


# RF的常用基本概念及计算方法



# 培训的内容

- ◆ 概念
- ◆ 计算
- ◆ 举例
- ◆ 试题

# 常用基本概念

- ◆ 动态范围
- ◆ 灵敏度
- ◆ 带外抑制
- ◆  $P_{-1\text{dB}}$ 点
- ◆ 非线性器件的IP3、IM3及相关参数
- ◆ ACPR

# 动态范围（Dynamic Range）

- ◆ 动态范围定义
- ◆ 伪动态范围

伪动态范围示意图

伪动态范围计算

# 动态范围的定义

## ◆ 定义

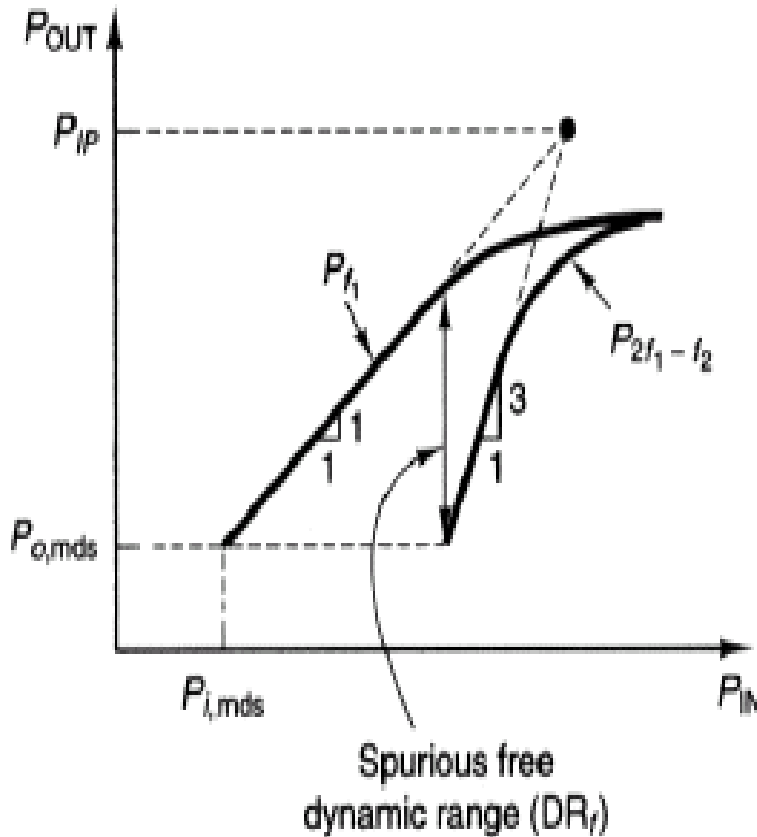
$$DR = \frac{P_{in,max} \quad [dBm]}{P_{in,min} \quad [dBm]}$$

$P_{in,max}$ : 电路可以承受的最大输入电平;

$P_{in,min}$ : 电路所保证正常的信号质量的最小输入电平;

— 在不同的应用中有不同的量化

# 伪动态范围示意图



$P_{in,min}$ : 灵敏度;

$P_{in,max}$ : 在双音测量 IM3(<噪底)中最大输入电平。

# 伪动态范围计算1

$$P_{IIP3} = P_{in} + (P_{out} - P_{IM,out})/2$$

因为  $P_{out} = P_{in} + G$  和  $P_{IM,out} = P_{IM,in} + G$

$$P_{IIP3} = P_{in} + (P_{in} - P_{IM,in})/2 = (3P_{in} - P_{IM,in})/2$$

$$\text{所以 } P_{in} = (2 P_{IIP3} + P_{IM,in})/3$$

现在  $P_{in,MAX}$  是当  $P_{IM,in} = F$  (输入噪底) 可以得到的,  
则  $P_{in,MAX} = (2 P_{IIP3} + F)/3$

这里的  $F = -174\text{dBm} + \text{NF} + 10\log B$

(-174dBm 室温下的热噪声)

# 伪动态范围计算2

- ◆ 因为  $P_{in,MIN} = F + SNR_{min}$
- ◆ 所以  $SFDR = (2 P_{IIP3} + F) / 3 - (F + SNR_{min})$   
 $= 2 ( P_{IIP3} - F ) / 3 - SNR_{min}$



# 灵敏度 (Sensitivity)

- ◆ 定义
- ◆ 计算

# 灵敏度定义

灵敏度：输出信噪比可接受的系统可以接受到的最小信号。

# 灵敏度计算

$$\text{因为 } NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = \frac{P_{sig} / P_{RS}}{SNR_{out}}$$

$P_{sig}$ :带内的每个频点的输入信号功率

$P_{RS}$ :带内的每个频点源阻抗噪声

$$\text{所以 } P_{sig} = P_{RS} \cdot NF \cdot SNR_{out}$$

# 平坦的信道内的灵敏度

$$P_{sig,tot} = P_{RS} \cdot NF \cdot SNR_{out} \cdot B$$

$$P_{in,min} \Big|_{dBm} = P_{RS} \Big|_{dBm/Hz} + NF \Big|_{dB} + SNR_{min} \Big|_{dB} + 10 \log B$$

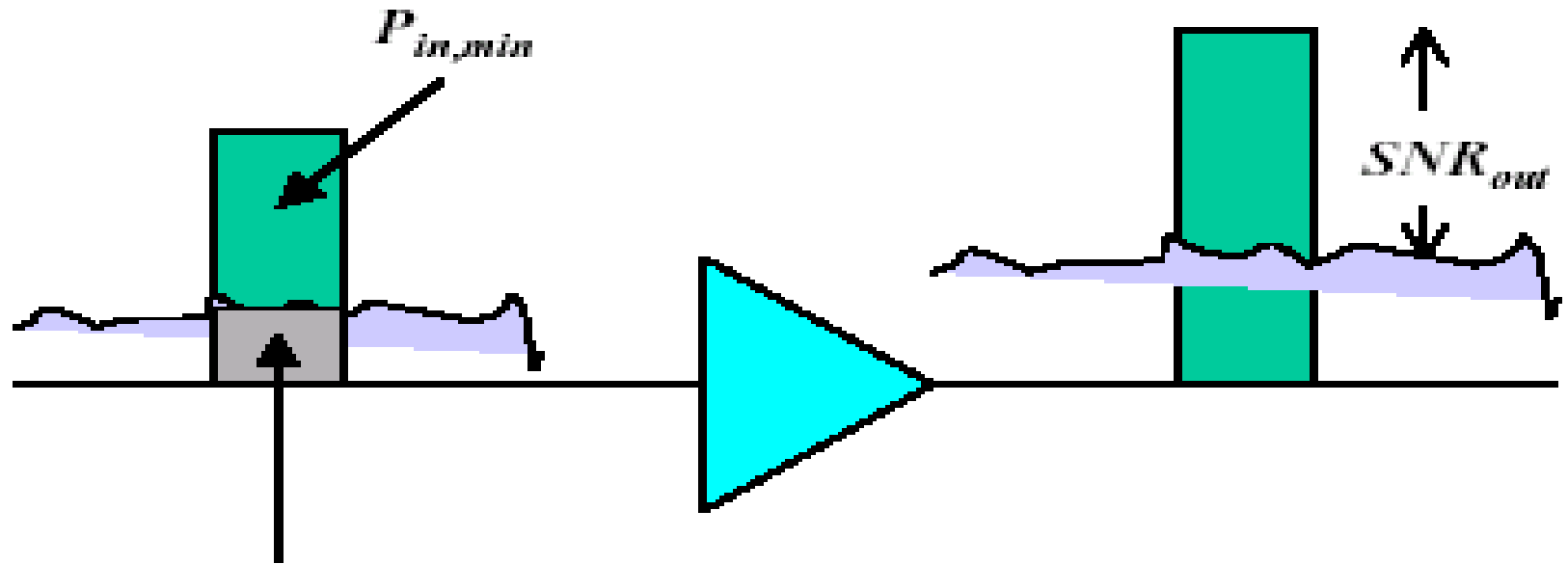
$P_{in,min}$ : B 内的总的最小的输入功率

# 共轭匹配情况下的具体灵敏度计算

$$P_{RS} = \frac{4kTR_s}{4R_{in}} = kT = -174 \text{ dBm/Hz}$$
$$= 4 \times 10^{-21} \text{ W (at room - temp)}$$

$$\therefore P_{in,min} = \underbrace{[-174 \text{ dBm/Hz} + NF + 10 \log B]}_{\text{input noise floor}} + SNR_{min}$$

# 示意图



输入噪底 = 输出噪底 - G

# 带外抑制（outband rejection）

## ◆ 定义

带外抑制是表征滤波器带的信号，同时抑制带外所有信号的性能。这个特性正比于系统的信噪比及误码率（BER）。系统测量带外抑制的能力直接取决于系统的动态范围指标。

# $P_{-1\text{dB}}$ 点(增益压缩)

- ◆  $P_{-1\text{dB}}$ 点是输入信号变化1dB，输出信号也变化1dB，当输入信号变化1dB 是的输出信号有很小变化时的输入信号的大小。



# $P_{-1\text{dB}}$ 点(增益压缩)

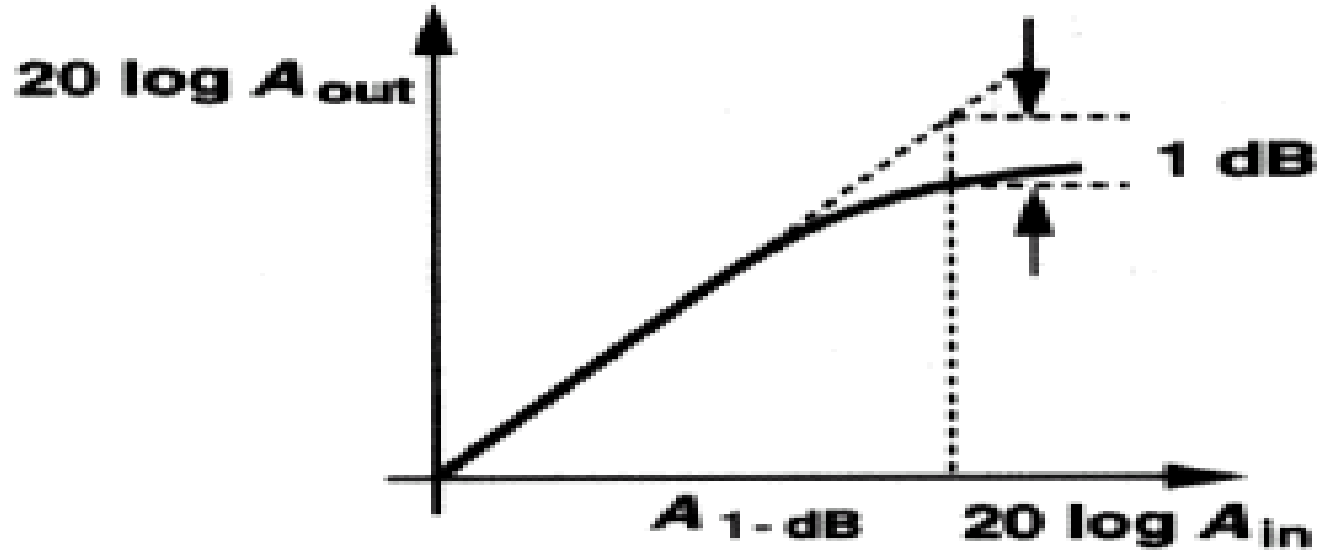
因为  $y(t) \approx \alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)$

$$x(t) = A \cos \omega t$$

所以

$$\begin{aligned} y(t) &= \alpha_1 A \cos \omega t + \alpha_2 A^2 \cos^2 \omega t + \alpha_3 A^3 \cos^3 \omega t \\ &= \alpha_1 A \cos \omega t + \frac{\alpha_2 A^2}{2} (1 + \cos 2\omega t) + \frac{\alpha_3 A^3}{4} (3 \cos \omega t + \cos 3\omega t) \\ &= \frac{\alpha_2 A^2}{2} + \left( \alpha_1 A + \frac{3\alpha_3 A^3}{4} \right) \cos \omega t + \frac{\alpha_2 A^2}{2} \cos 2\omega t + \frac{\alpha_3 A^3}{4} \cos 3\omega t \end{aligned}$$

# $P_{-1\text{dB}}$ 点示意图



- ◆很多电路，如果 $\alpha_3 < 0$ ，输出会发现压缩和饱和。

# $P_{-1\text{dB}}$ 点与ALC起控点的区别

- ◆  $P_{-1\text{dB}}$ 点是器件特性
- ◆ ALC起控点是对于有放大模块的保护作用的，是用功率检测电平控制压控衰减器实现的。

# IP3定义

- ◆ 非线性器件IP3的定义为：在非线性器件输入端，加等幅、不同频率（、）的双音信号，由于器件的非线性，非线性器件的输出信号中有三阶交调分量、产生。输入信号功率增加1dB，输出信号中三阶交调分量、功率增加3dB。在对数坐标中，以X轴作为输入信号功率，Y轴作为输出信号功率，延长输出信号中基波分量、三阶交调分量、的线性部分，两线会交于一点。该点在X轴上的坐标值称为IIP3，在Y轴上的坐标值称为OIP3。

# 非线性器件的IP3、IM3及相关参数 1

- ◆  $P_{in}$ : Input power 输入功率
- ◆  $P_{out}$ : Output power 输出功率
- ◆  $G$ : Gain 增益
- ◆  $P_{1dB}$ : 1dB compression point 1dB压缩点
- ◆  $IIP3$ : Input two tone 3rd order intercept point 输入双音三阶交调点
- ◆  $OIP3$ : Output two tone 3rd order intercept point 输出双音三阶交调点

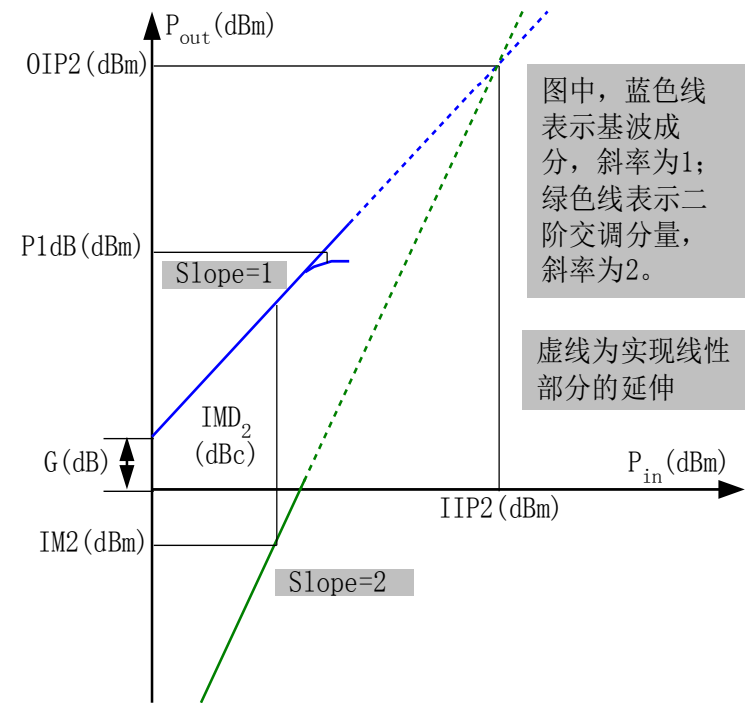
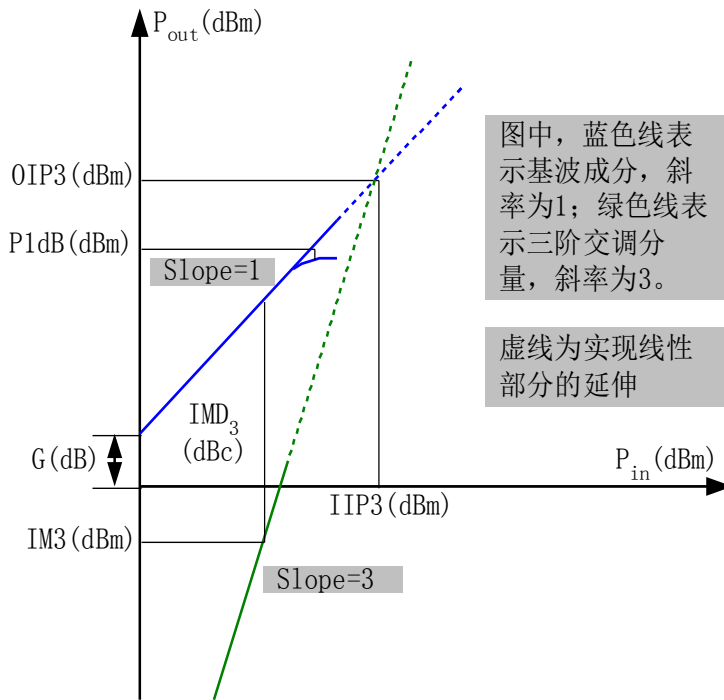
# 非线性器件的IP3、IM3及相关参数2

- ◆ IM3: 3rd order two tone intermodulation product  
双音互调三阶产物
- ◆  $IMD_3$ : The differences between output power and IM3  
输出功率和IM3之差
- ◆ IM2: 2nd order two tone intermodulation product  
双音互调二阶产物
- ◆ IIP2: Input two tone 2nd order intercept point  
输入双音二阶交调点
- ◆ OIP2: Output two tone 2nd order intercept point  
输出双音二阶交调点
- ◆  $IMD_2$ : The differences between output power and IM2  
输出功率和IM2之差

# 应用

- ◆ 对于RF Amplifier、Mixer、Attenuator等非线性器件，OIP3一般比P1dB大10~15dB，OIP2一般比OIP3大几十dB。
- ◆

# IM3、IIP3、OIP3、G、P1dB 等参数之间的关系





# 各参数之间的数学关系 1

- ◆  $P_{out}(dBm) = P_{in}(dBm) + G(dB)$
- ◆  $OIP3(dBm) = IIP3(dBm) + G(dB)$
- ◆  $OIP3(dBm) = P_{out}(dBm) + IMD3(dBc)/2$
- ◆  $IM3(dBm) = 3P_{in}(dBm) - 2IIP3(dBm) + G(dB)$   
 $= 3P_{out}(dBm) - 2 OIP3(dBm)$

## 各参数之间的数学关系2

- ◆  $OIP2(\text{dBm}) = IIP2(\text{dBm}) + G(\text{dB})$
- ◆  $OIP2(\text{dBm}) = P_{\text{out}}(\text{dBm}) + IMD2(\text{dBc})$
- ◆  $IM2(\text{dBm}) = 2P_{\text{in}}(\text{dBm}) - IIP2(\text{dBm}) + G(\text{dB})$   
 $= 2P_{\text{out}}(\text{dBm}) - OIP2(\text{dBm})$

# 应用

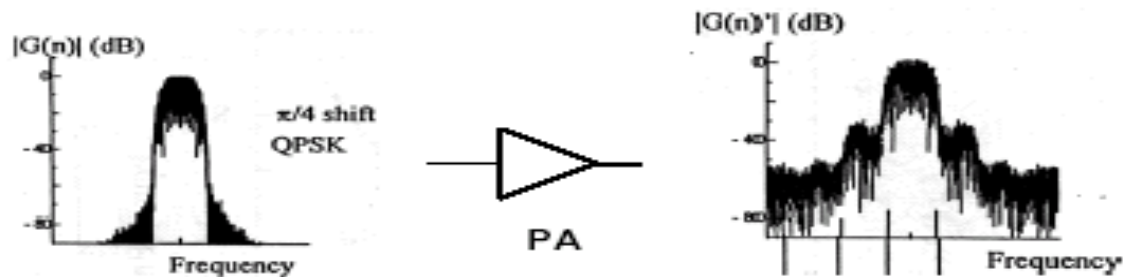
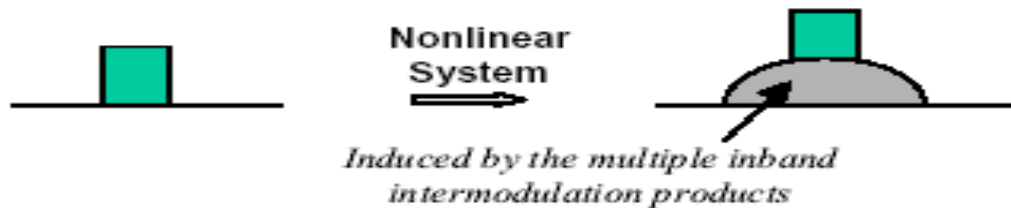
- ◆ 当某器件的输出信号 $P_{out}$ 比 $P_{1dB}$ 小10dB时（ $OIP3$ 一般比 $P_{1dB}$ 大10~20dB），根据式（3-8）可知， $IMD_3$ 在40~60dBc之间。
- ◆ 当某器件的输出信号 $P_{out}$ 比 $P_{1dB}$ 小20dB时（ $OIP3$ 一般比 $P_{1dB}$ 大10~15dB），根据式（3-8）可知， $IMD_3$ 在60~80dBc之间。

# ACPR

- ◆ ACPR-Adjacent channel power rejection  
邻道功率抑制

# ACPR来源

## ◆ 互调intermodulation



# 面临的问题

- ◆ 导致更高的带内噪声
- ◆ 邻道信号功率的泄漏—降低了邻道信噪比

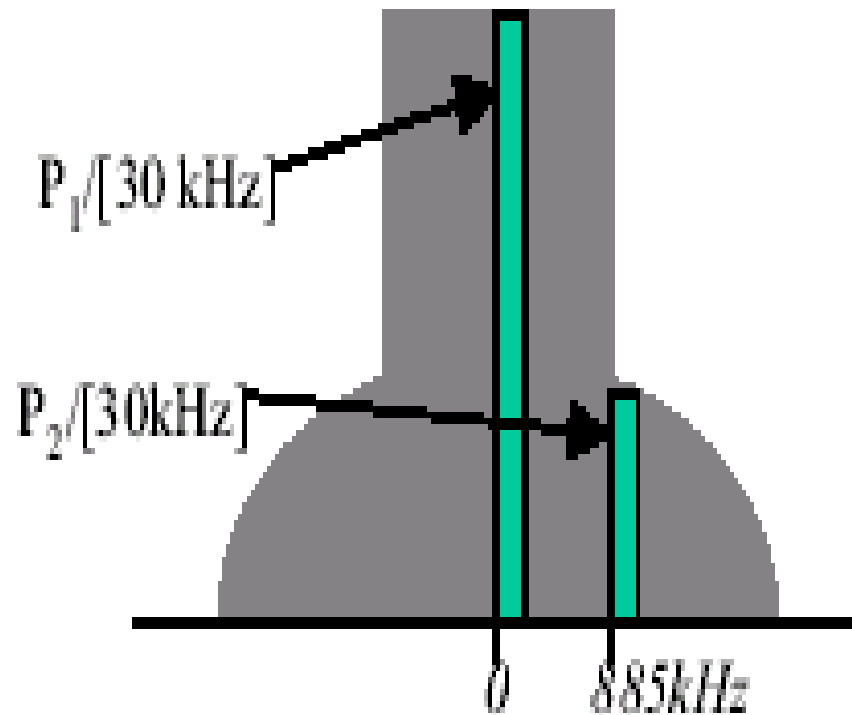
# CDMA ACPR

- ◆ 测试1.23MHz  
带宽内的频谱
- ◆ 测量下一个  
邻道的上下  
边带  
(885MHz)

$$ACPR [dBc] = \frac{\text{total inband power}}{\text{adjacent channel power}}$$

ACPR(dBc)=带内的总功率/邻道功率

# 实例



$$\begin{aligned} ACPR [dBc] &= \frac{P_1 \cdot [10 \log(1230 / 30)]}{P_2} \end{aligned}$$