



Universidade Federal de Uberlândia

– Material extra de estudo em RF –  
**Termos, conceitos, nomenclaturas e medidas**  
Circuitos de Eletrônica Aplicada

*Prof. Alan Petrônio Pinheiro*

Faculdade de Engenharia Elétrica

Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

Versão 1.0 – primeiro semestre de 2017

---

## Apresentação

Este material resume em um só documento alguns dos termos, conceitos e medidas frequentemente usadas na área de Eletrônica de Radiofrequência. Trata-se de um “*dicionário técnico de termos para RF*”. Outros documentos complementares a este, disponíveis na página deste autor, também tratam de medidas que por serem largamente usadas, como a decibel (dB), mereceram um documento a parte. Todos estes documentos de ensino fazem parte da série “*Material extra de estudo em RF*”.

Ainda, por este ser um material resumido, cujo propósito principal é introduzir de forma básica estes termos ao estudante, recomenda-se a busca por material mais específico em caso de interesse de informações mais aprofundadas. A ordem com que são tratados os termos é completamente aleatória. Por fim, como alguns conceitos as vezes tem diferentes nomenclaturas, tentou-se ao máximo abranger estas diferentes nomenclaturas inclusive inserindo-se a nomenclatura na versão em inglês uma vez que as traduções para o português nem sempre são claras o que motivam o uso do termo na sua língua originária.

## Sumário dos termos

1 - Ruído de fase ou pureza espectral (phase noise ou spectral purity) .....	2
2 - Densidade espectral (spectral density) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3 - Resolução de largura de banda (resolution bandwidth) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4 - Densidade de ruído (noise density ou noise floor) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5 - Faixa dinâmica (dynamic range) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5 – Ruído térmico (termal noise ou Johnson noise) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6 – Figura de ruído (noise figure) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

---

### 1 - Ruído de fase ou pureza espectral (*phase noise* ou *spectral purity*)

Refere-se ao ruído presente em um sinal de portadora (*carrier signal*) devido à variações de fase ou frequência no sinal desta portadora. O ruído é geralmente próximo a frequência/fase da portadora e é medido em decibéis relativa a portadora (*carrier*) ou dBc/Hz.

Esta medida é avaliada no domínio da frequência e pode indicar flutuações rápidas e/ou aleatórias na fase e/ou frequência. Quando estas variações são de frequência vistas no domínio do tempo elas também podem ser chamadas de **jitter**. Na área de RF é comum o uso deste termo para avaliar o comportamento de um oscilador. A Figura 1.1 ilustra esquematicamente seu significado.

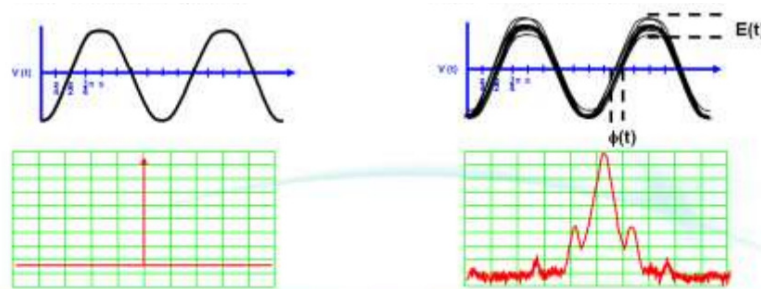


Figura 1.1 – Sinal ideal sem variações de fase e frequência (esquerda) e seu respectivo espectro. E sinal real com variações de frequência e fase que causam um espalhamento da energia do sinal em outras frequências do espectro (direita). Fonte: {, #2}

Na figura da esquerda, percebe-se um sinal “puro” sem variações de frequência ou fase. Naturalmente que seu espectro vai estar concentrado em um único valor. Mas no mundo real, é mais comum encontrarmos um sinal similar ao que se vê na figura da direita. Observe que vários ciclos foram sobrepostos na imagem para mostrar as variações de frequência e de fase. Esta variação é representada no espectro com o surgimento de outras componentes de frequência. Quanto maiores as variações, maiores as energias destas componentes próximas a frequência principal (de maior energia) com quem idealmente o oscilador deveria oscilar.

A variação da oscilação (ou ruído da oscilação) contém diversas componentes de frequência. As variações da amplitude também tem características randômicas. Desta forma, este ruído é descrito em termos estatísticos. Uma vez que sua amplitude tem uma amplitude média, o ruído pode ser expresso em valores RMS. A Figura 1.2 mostra (esquerda) o ruído de fase da portadora representado em um gráfico fasorial em uma região de “incerteza”.

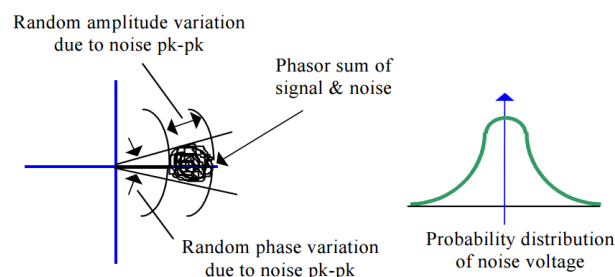


Figura 1.2 – Representação do ruído de fase na forma fasorial (esquerda) e sua distribuição estatística (direita). Fonte: {, #1}

Pare entender um dos problemas ocasionados pelo ruído de fase, considere que um oscilador de um transmissor apresenta algum ruído de fase. Neste transmissor, tanto o sinal de portadora gerado pelo oscilador quanto seu ruído são amplificados pelos estágios de ganho dos circuitos que estão após o oscilador. Assim, tanto o sinal desejado quanto o ruído amplificado podem (se não forem filtrados) ser enviados para a antena e assim serem transmitidos. Assim, o sinal desejado é rodeado por um conjunto de frequências de ruído originárias do ruído de fase do oscilador local do transmissor. Assim o ruído gerado pode se espalhar e mascarar outros canais de comunicação como ilustrado na Figura 1.3.

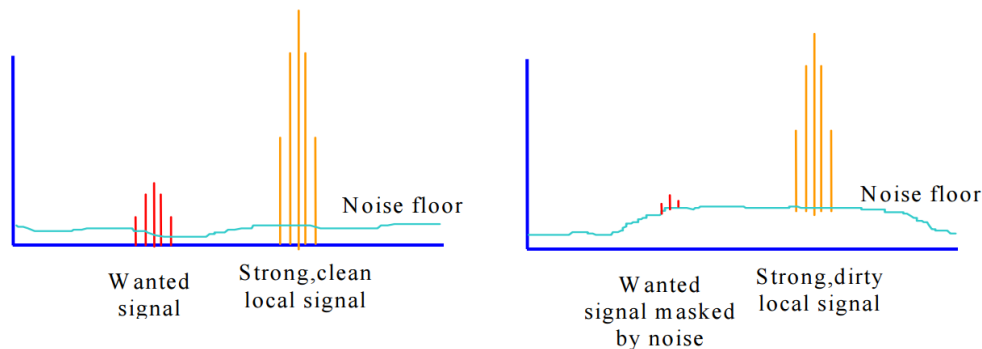


Figura 1.3 – Ilustração de como um ruído de fase pode prejudicar uma comunicação invadindo, inclusive, outros canais e prejudicando ou mascarando outras fontes de informações adjacentes no espectro. Fonte: {, #1}

Conforme ilustração da Figura 1.4, o cálculo de ruído de fase é dado pela relação:

$$L(f) = \frac{\text{Área da largura de banda de 1Hz}}{\text{Área total sob a curva}} [dBc/Hz]$$

Desta forma, analisa-se uma determinada área de largura de banda de 1Hz a uma frequência de f Hz a partir da portadora. Esta área deve ser dividida pela potência total do sinal. Algumas vezes, esta medida resultante é plotada usando uma relação logarítmica em termos de frequência.

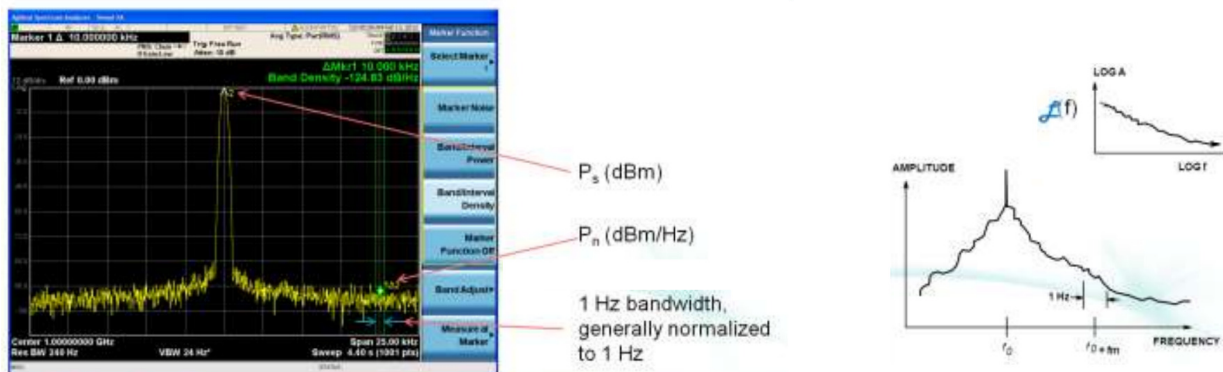


Figura 1.4 – Ilustração do cálculo da figura de ruído de um espectro. Fonte: adaptado de {, #2}