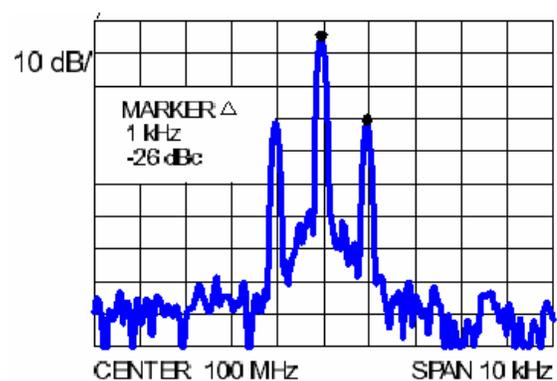


Parâmetros importantes de um Analisador de Espectros:

- Faixa de frequência
- Exatidão (frequência e amplitude)
- Sensibilidade
- Resolução
- Distorção
- Faixa dinâmica

Faixa de frequência: Determina as frequências mínima e máxima que podem ser analisadas, sendo um dos parâmetros mais importantes a serem levados em conta na escolha do instrumento. Existem atualmente no mercado analisadores de espectros com frequência mínima a partir de 0 Hz (DC) e máxima até centenas de GHz. Ao escolher-se a faixa de frequência do instrumento para se analisar um determinado sinal, deve-se levar em conta não só a frequência fundamental do sinal mas também suas prováveis harmônicas. Por exemplo, alguns padrões de medidas em telefonia celular exigem que sejam efetuadas medidas até a 10^a harmônica, ou seja, para análise de um frequência fundamental de 900MHz, é necessário o uso de um analisador de espectros de pelo menos 9GHz. Para uma medida específica, a janela de frequências visualizada na tela do instrumento é denominada “SPAN” e deve ser escolhida de modo a permitir uma visualização adequada do sinal analisado. Por exemplo, para se visualizar uma “portadora” de 100MHz modulada por uma sinal senoidal de 1kHz, escolhe-se uma frequência central de visualização $f_0=100\text{MHz}$ e um $span=10\text{kHz}$. Isto resultará numa frequência inicial visualizada na tela de $f_i=99,995\text{MHz}$ e uma frequência final de $f_f=100,005\text{MHz}$.



Exatidão : capacidade de fornecer valores mais próximos do padrão (mais exatos) tanto em termos de frequência como de amplitude. A exatidão em frequência depende da qualidade do oscilador local bem como do oscilador de referência à cristal. Dependendo do tipo de oscilador local, a exatidão de frequência é da ordem de centenas de Hz (sintetizador de frequência) ou alguns MHz (oscilador "free-running"). Alguns instrumentos empregam a técnica de sintetização para faixas espectrais estreitas e "free-running" para faixas espectrais largas.

A exatidão de amplitude pode ser definida em termos absolutos ou relativos. Depende da calibração dos diversos amplificadores do sinal bem como do seletor de escalas de entrada e do misturador. Os elementos mais críticos são o amplificador logarítmico e o misturador, pois empregam dispositivos não lineares. A exatidão absoluta refere-se aos padrões elétricos internacionais (1V, 1A, 1W, etc). A exatidão relativa toma como padrão a amplitude do sinal numa determinada frequência, sendo as amplitudes nas demais frequências referenciadas àquele valor. Na maioria das medições espectrais a exatidão relativa é mais importante que a absoluta (harmônicos, relação sinal/ruído, nível de modulação).

Sensibilidade: define a menor amplitude de um sinal de entrada que pode ser detectada corretamente pelo instrumento. Depende essencialmente do nível de ruído gerado pelos componentes internos (amplificadores, misturador, etc) e da largura de banda do filtro de IF

(RBW). A forma usual de se indicar a sensibilidade é pelo nível médio de ruído visualizado (DNAL - Displayed Average Noise Level) em dBm para o menor valor de RBW disponível no instrumento. Valores usuais estão entre -90dBm e -145dBm .

Resolução em frequência: determina a menor separação entre duas componentes de frequências próximas que podem ser resolvidas (visualizadas separadamente) pelo instrumento. Depende essencialmente da largura de banda do filtro de IF, que é representada pelo RBW. O tipo de filtro de IF utilizado (analógico ou digital) bem como a velocidade de varredura da frequência do oscilador local também interferem na resolução em frequência. O valor do RBW é usualmente definido para uma redução de -3dB em relação à máxima amplitude na frequência central do filtro de IF. Outro fator importante é a seletividade do filtro, definida como sendo :

Quanto menor a seletividade, melhor a capacidade de separação entre sinais de frequências próximas e amplitudes diferentes. Filtros analógicos possuem seletividade da ordem de 12:1 enquanto os digitais 5:1.

A velocidade de varredura deve ser inversamente proporcional ao RBW, pois quanto mais estreita a largura de faixa de um filtro, mais lenta é a sua resposta temporal. Os analisadores de espectro geralmente selecionam automaticamente a velocidade de varredura mais adequada para cada valor de RBW. Varreduras mais rápidas causam um deslocamento no espectro e uma redução na amplitude do sinal visualizado.

Distorção : Assim como o ruído, a distorção do instrumento também é causada pela não idealidade dos dispositivos utilizados. O principal responsável pela distorção é o misturador, que gera harmônicos que podem ser confundidos com o sinal de entrada. A distorção causada pelo misturador depende da amplitude do sinal de entrada, devendo portanto ser especificada em função dessa amplitude. A harmônica mais importante é a de 3ª ordem.

Faixa dinâmica : está relacionada com as máxima e mínima amplitudes que podem ser visualizadas simultaneamente pelo instrumento. A mínima amplitude equivale à sensibilidade (já definida anteriormente) e é limitada pelo ruído interno. A máxima amplitude é limitada pela distorção causada principalmente pelo misturador, que é função da amplitude do sinal de entrada. Valores típicos variam de 90dB à 120dB.

Analizador de espectros por FFT :

A transformada de Fourier (FT) é uma ferramenta matemática utilizada essencialmente para decompor ou separar uma função ou forma de onda em senóides de diferentes frequências cuja soma é o próprio sinal original. Matematicamente a FT de uma função $f(x)$ pode ser escrita da seguinte forma :

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(-j 2\pi s x) dx$$

Em engenharia a função $f(x)$ é tipicamente uma função no domínio do tempo e $F(s)$ é consequentemente uma função no domínio da frequência.

Para aplicações computacionais que trabalham apenas com variáveis discretas utiliza-se uma variante da FT denominada DFT (Discrete Fourier Transformer). Neste caso a variável de entrada é um conjunto de pontos (amplitude \times tempo), assim como a variável de saída (amplitude \times frequência).

A partir de um número N_0 de amostras temporais de um sinal, a DFT pode ser calculada pela seguinte expressão :

$$F_r = \sum_{k=0}^{N_0-1} f_k \exp(-j r k \frac{2\pi}{N_0}) \quad \text{para } r = 0, 1, \dots, N_0-1$$

onde :

N_0 = número total de amostras temporais

f_k = amplitude das amostras temporais

O resultado da operação de DFT num sinal em função do tempo é um conjunto de pontos correspondente ao seu espectro de frequências, limitado à metade da frequência de amostragem

$(f_s/2)$ pelo teorema de Nyquist. O número de pontos r que compõem este espectro é igual ao número de amostras temporais N_0 utilizadas. No entanto apenas a metade destes pontos correspondentes ao espectro de frequências "positivas" é utilizado. Os pontos referentes às frequências "negativas" são desprezados, pois correspondem ao espelho das frequências "positivas".

Pela expressão da DFT pode-se concluir que número de operações computacionais a serem realizadas é proporcional à N_0^2 , podendo representar um tempo de processamento considerável para altos valores de N_0 .

A FFT (Fast Fourier Transformer) é uma variante da DFT (desenvolvida por [Tukey and Cooley](#) em 1965) que reduz o número de operações computacionais de N_0^2 para $N_0 \log_2 N_0$. Os algoritmos computacionais utilizados são simplificados quando N_0 é uma potência de 2. Diversos algoritmos de FFT foram desenvolvidos visando sempre uma redução do número de operações computacionais e conseqüentemente do tempo total de processamento.

Um analisador de espectros baseado na FFT consiste essencialmente num osciloscópio digital cujo processador matemático possui as rotinas de FFT. O sinal de entrada é amostrado e convertido em um valor numérico por um conversor A/D, sendo em seguida armazenado na memória. A FFT é

realizada nos valores já armazenados na memória, não sendo portanto uma operação em tempo real. O resultado é o espectro de frequências, que é mostrado na tela (apenas a parte positiva) de modo análogo ao de um analisador de espectros por varredura. O sinal de entrada deve ser corretamente filtrado (filtro passa-baixas) antes de ser amostrado, para evitar que componentes de frequência superior à $f_s/2$ sejam analisadas, o que causaria distorções no espectro final.

A resolução espectral (equivalente ao RBW no analisador por varredura) é igual à $1/T_0$. Dessa forma só podem ser analisados sinais com frequência superior à $1/T_0 = f_s/N_0$.

A faixa de frequências possível de ser analisada é :

$$\frac{f_s}{N_0} \leq f_i \leq \frac{f_s}{2}$$

Janelamento do sinal :

A FT supõe que o sinal analisado é periódico e existe desde o tempo $-\infty$ à $+\infty$. Os algoritmos de DFT (ou FFT) executam a operação em um número limitado de amostras temporais adquiridas durante um intervalo de tempo finito T_0 . Para que haja coerência com a FT, o algoritmo de DFT supõe que o sinal adquirido durante o tempo T_0 é periódico e se repete indefinidamente. Esse processo equivale à adicionar-se ao final da última amostra de cada ciclo T_0 uma parcela idêntica às N_0 amostras. Caso o intervalo T_0 **não** contenha um número inteiro de ciclos, a junção dar-se-á de forma descontínua introduzindo distorções no sinal original.

Para garantir que não hajam descontinuidades do sinal na junção, pode-se executar uma operação de "janelamento" que consiste na multiplicação do sinal original por uma função cujo valor é zero no início o no final. Dessa forma garante-se que os pontos de junção início-final terão sempre o mesmo valor zero. Além disso é importante que a derivada dessa função também possua valor zero nas suas extremidades.

.....

De modo geral o janelamento melhora a qualidade do resultado da FFT pois na grande maioria dos casos práticos o intervalo de tempo T_0 não contém um número inteiro de ciclos do sinal analisado. Várias funções de janelamento podem ser utilizadas dependendo do tipo de sinal, do número de pontos e da qualidade desejada. Uma das mais comuns é a janela de Hanning que consiste na função:

$$W_{\text{Hanning}} = 0,5 - 0,5\cos(2\pi t/T_0)$$