

Considerações gerais sobre medidas eléctricas

Medidas de distorções, ruído e relação sinal/ruído (S/N)

Distorção e ruído estão presentes em qualquer sistema físico real e normalmente contribuem para a deterioração das características deste sistema. Um amplificador deveria fornecer idealmente em sua saída uma réplica do sinal de entrada multiplicado por uma constante. No entanto sua saída contém também sinais adicionais ausentes na sua entrada, que são os ruídos e distorções gerados no processo de amplificação. Analisaremos na sequência os vários tipos de distorção e ruído e algumas das técnicas de medida.

Distorção: é o nome genérico dado aos erros introduzidos em um sinal alternado de entrada v_i quando o mesmo sofre algum processamento (amplificação, filtragem, equalização, multiplicação, etc). O sinal de saída v_o contém o sinal original v_i somado às componentes de erro que podem ser lineares ou não lineares. A distorção é sempre uma medida relativa a um sinal de referência ou sinal de entrada. Não havendo sinal de entrada não há distorção.

- **Distorção Linear:** é o nome dado quando o sinal de saída não possui componentes de frequências além daquelas presentes no sinal de entrada. A distorção linear muda a relação de amplitude e fase entre as diversas componentes de frequência de entrada e saída.

Quando v_i é composto por uma frequência única, o espectro de saída de v_o terá a mesma forma que o de v_i .

Ex: amplificador linear, filtro, equalizador.

- **Distorção não Linear ou Harmônica:** é uma forma de distorção onde o sinal de saída v_o contém, além das componentes de frequência do sinal original v_i , componentes de frequência que não estão necessariamente presentes no sinal de entrada. As novas frequências geradas são determinadas harmônicas pois são múltiplos inteiros da(s) frequência(s) de entrada.

A "distorção de ordem ímpar" é composta pelas harmônicas ímpares e é proveniente de erros simétricos (tempos de subida iguais aos tempos de descida). A "distorção de ordem par" é composta pelas harmônicas pares e é proveniente de erros assimétricos (tempos de subida diferentes dos tempos de descida).

As novas frequências criadas pela distorção não linear podem também provir do batimento entre duas ou mais frequências do sinal de entrada, sendo relacionadas com a soma e subtração entre as mesmas. Esse tipo de distorção é também chamado de "Distorção por intermodulação" em função de sua semelhança com o processo de modulação.

Ruído : é um tipo de erro que não está presente no sinal original v_i , mas aparece na saída independentemente de haver ou não sinal de entrada. Provém tanto dos circuitos internos como de fontes externas por acoplamento eletromagnético. O ruído tanto pode ser de natureza aleatória (randômico) como previsível (determinístico).

O ruído randômico provém essencialmente da agitação térmica dos elétrons presentes nos condutores e componentes eletrônicos (ruído térmico). Sua potência aumenta com a temperatura, sendo zero à 0 Kelvin. A largura espectral do ruído térmico é teoricamente infinita, porém na prática apresenta espectro limitado pela resposta em frequência dos circuitos. Além da redução de temperatura, o ruído térmico pode ser minimizado pela redução das impedâncias características e pela utilização de componentes com baixo ruído. A tensão equivalente do ruído num resistor em função da sua temperatura T (em K) e banda passante do sistema BW (em Hz) é dada por:

O ruído determinístico provém de sinais espúrios tais como a rede elétrica, emissores de rádio, telefones celulares, etc. Um grande número de fontes de ruído determinístico somadas pode parecer um ruído randômico devido à complexidade do sinal resultante. Pode ser minimizado pelo controle da interferência eletromagnética (EMI) por meio de técnicas de blindagem, filtragem e aterramento.

Medida de distorção: a medida mais usual é a de distorção harmônica total (THD), que relaciona a amplitude de todas as componentes harmônicas geradas a partir de um sinal de referência. É efetuada pela aplicação de um sinal de frequência padrão (p. ex. 1kHz em áudio), medindo-se a amplitude resultante nas frequências múltiplas inteiras.

$$THD = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1} \quad (THD\% = THD * 100)$$

Onde A_1 é a amplitude eficaz (tensão ou corrente) da frequência padrão utilizada e A_2, A_3, \dots, A_n representam as amplitudes relativas às 2^a, 3^a, ... n^{ésima} harmônica. A máxima harmônica a ser medida depende da banda passante do sistema e do padrão utilizado. A medida de cada uma das harmônicas é feita utilizando-se filtros adequados ou um analisador de espectros.

A distorção harmônica também pode ser medida separadamente pelas componentes de ordem par e ímpar. Dessa forma obtém-se uma avaliação independente das fontes de distorção simétricas e assimétricas. Em geral, quanto maior a amplitude do sinal de entrada maior a THD em um sistema qualquer. Portanto a medida de THD deve especificar o nível de sinal de entrada e/ou saída utilizado.

Medida de Ruído :

O ruído gerado por um determinado sistema eletrônico existe mesmo que o sinal de entrada seja zero. Entretanto a amplitude do ruído medido na saída pode variar em função da amplitude e impedância do sinal conectado à sua entrada. Em geral o ruído para entrada em aberto ($R_s = \infty$) é superior ao ruído para a entrada em curto-circuito ($R_s = 0$). Medidas precisas do ruído intrínseco de um equipamento (amplificador, receptor de rádio, etc) devem especificar o tipo e a impedância da "carga" conectada à entrada.

Na medida de ruído deve-se levar em conta a banda passante do sistema, devendo o medidor apresentar uma banda passante igual ou superior. As interferências eletromagnéticas presentes no ambiente de medição também afetam o nível de ruído e devem ser levadas em consideração.

A aplicação de um sinal de entrada provoca em geral um aumento do nível de ruído pelo aumento da temperatura dos componentes e das distorções por intermodulação. Neste caso uma medida mais realista do ruído de um sistema é feita aplicando-se um sinal padrão na entrada e medindo-se a relação entre a amplitude desse sinal na saída e o ruído presente em todo o espectro, excetuando-se a frequência do próprio sinal. O pior caso é obtido quando a amplitude do sinal de entrada é máxima. Nessas condições esta medida é chamada de relação sinal/ruído (Signal-to-Noise Ratio = SNR) e é geralmente expressa em dB :

$$SNR = 20 \log \frac{A_{oMáx}}{A_{Noise}}$$

Onde A_{oMax} e A_{Noise} são respectivamente a amplitude (em V ou I) máxima de saída e o ruído em toda a faixa espectral de operação exceto na frequência do sinal de entrada. Caso as amplitudes já sejam dadas em dB :

$$SNR = A_{oMax} \text{dB} - A_{Noise} \text{dB}$$

A medida da faixa dinâmica (Dynamic Range) é às vezes confundida com a SNR, pois as duas relacionam amplitude máxima e ruído. A diferença entre elas é que a faixa dinâmica considera o nível de ruído sem sinal de entrada, que é inferior ao nível de ruído com sinal.