

Osciloscópio Digital

Neste tipo de osciloscópio, o sinal analógico de entrada é inicialmente convertido para o domínio digital através de um conversor A/D rápido, sendo em seguida armazenado em uma memória digital. Após o disparo (sincronismo horizontal) e um processamento matemático opcional, o sinal é apresentado em um *display* digital de modo semelhante aos monitores de vídeo de computadores.

Diagrama em blocos:

- O bloco vertical é semelhante ao de um osciloscópio analógico e tem a função de adequar o sinal de entrada aos níveis de tensão e corrente do conversor A/D;
- O bloco horizontal é composto essencialmente por um gerador de *clock* acionado pelo sincronismo horizontal. A frequência de *clock* é função da base de tempo seleccionada e define a taxa de amostragem do conversor A/D;
- O conversor A/D (em geral de 8 bits, paralelo) amostra o sinal de entrada periodicamente e o armazena em uma memória digital rápida. As taxas de amostragem podem variar de alguns Hz até GHz dependendo do conversor utilizado e da base de tempo seleccionada;
- Os dados armazenados na memória sob a forma de uma matriz tensão \times tempo podem sofrer um processamento matemático (operações algébricas, média, estatística, FFT, etc.) e são transferidos para a memória de vídeo, sendo em seguida apresentados no *display*, que pode ser

colorido ou monocromático e do tipo TRC (tubo de raios catódicos), cristal líquido, plasma, etc. O tipo e as características do *display* não interferem na qualidade de aquisição do sinal.

Principais Vantagens dos Osciloscópios Digitais

- Visualização e armazenagem do sinal por tempo indefinido;
- Captura de sinais não periódicos e eventos únicos no tempo;
- Visualização do sinal antes do disparo (*pre-trigger*);
- Processamento matemático do sinal (processadores rápidos de última geração);
- Possibilita medidas diversas no sinal de forma mais precisa e direta;
- Visualização estática de sinais na tela independente de sua frequência ou repetibilidade.

Obs: Em função da alta velocidade de processamento dos micro-processadores atuais, existe uma tendência dos osciloscópios digitais em serem essencialmente um microcomputador acoplado aos blocos analógicos e de conversão A/D. É comum o uso de sistemas operacionais do tipo *Windows* no gerenciamento do instrumento. Existem também placas de aquisição de dados com as funções básicas de um osciloscópio adaptadas para serem acopladas diretamente à computadores do tipo PC.

Amostragem do sinal em Tempo Real

O conversor A/D “amostra” o sinal de entrada e o converte para a forma digital em intervalos de tempo precisos e definidos pela base de tempo horizontal. Em geral a taxa de amostragem é tal que uma média de 500 a 1000 pontos são adquiridos durante o tempo correspondente a 1 tela.

Para sinais rápidos, nem sempre é possível obter tal número de pontos devido à máxima taxa de amostragem do conversor A/D. Deve-se respeitar, neste

caso, o critério de *Nyquist* para sinais amostrados, onde a frequência de amostragem f_s deve ser no mínimo duas vezes superior à máxima frequência contida no sinal.

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

Os conversores A/D dos osciloscópios, na prática, possuem uma máxima taxa de amostragem de 2 a 10 vezes superior à sua banda passante (BW). Por exemplo, dado um osciloscópio digital com BW = 200 MHz faz-se necessário um conversor A/D com taxa máxima de amostragem de pelo menos 400 MS/s (*samples per second* – amostras por segundo). Note-se que BW e f_s são os principais parâmetros dos osciloscópios digitais e definem em grande parte o custo final do instrumento.

Obs.: O critério de *Nyquist* é utilizado como parâmetro limite para que se possa visualizar corretamente (recuperar) o sinal amostrado de entrada, através de interpolações (normalmente lineares).

Sub-Amostragem do sinal (*Aliasing*)

Quando a frequência de amostragem do conversor A/D é inferior ao dobro da máxima frequência do sinal ($f_s < 2f_{\max}$), ocorre uma espécie de batimento entre as duas frequências, fenômeno conhecido como *aliasing*. O sinal visualizado não corresponde ao original e possui uma frequência f' igual a:

$$f' = |f - f_s|, \text{ sendo } f \text{ a frequência do sinal original.}$$

Amostragem do sinal em Tempo Equivalente

Quando o sinal amostrado é repetitivo, pode-se usar um recurso de sobre-amostragem que permite aumentar o número de pontos horizontais (melhor resolução) pela composição de várias varreduras horizontais sobrepostas. Este recurso também é utilizado nos osciloscópios de altas frequências ($BW > 10\text{GHz}$), quando os conversores A/D disponíveis não conseguem amostrar o sinal à uma taxa superior à frequência de *Nyquist*.

Cada seqüência de amostragens é efetuada com a máxima velocidade do conversor. A reconstrução do sinal a partir da superposição das diversas seqüências exige o conhecimento preciso do tempo entre o disparo (*trigger*) e cada uma das amostras (t_1, t_2, t_3, \dots). Isto é possível pelo uso de circuitos interpoladores temporais, que possibilitam uma subdivisão do tempo mínimo de amostragem, aumentando a resolução temporal (fator de 10 à 100). O intervalo de tempo entre o disparo e a primeira amostragem das várias seqüências (t_1, t_2, t_3, \dots) pode variar de forma seqüencial ou aleatória.

Profundidade de Memória Horizontal

A análise de sinais complexos onde componentes de frequências diversas estão presentes (como “pacotes” de bits num sistema de comunicação digital serial) necessita de uma alta taxa de amostragem (para visualização de altas frequências) associada a uma base de tempo elevada capaz de adquirir um ou mais períodos referentes à menor frequência. Isso implica num tempo total de aquisição elevado, sendo portanto necessárias memórias de grande capacidade. Nesta situação normalmente apenas uma parcela do sinal no tempo é visualizada simultaneamente na tela em razão de sua resolução limitada. A profundidade de memória pode ser de algumas centenas até milhões de

pontos (k bytes – M bytes) em função do tipo e da qualidade do osciloscópio. Um detalhe importante é que esta memória deve operar à uma velocidade igual ou superior à máxima taxa de amostragem do conversor A/D, levando a um custo elevado que encarece significativamente o osciloscópio digital.

Processamento Digital do Sinal

Esta característica presente nos osciloscópios digitais traz uma série de novas possibilidades ausentes nos analógicos. Os principais tipos de processamento encontrados são:

a) Média ponto a ponto (*average*)

Um certo nível de ruído está sempre presente nos sinais analisados e no próprio processo de conversão A/D (erro de quantização, de linearidade, ruído térmico, etc). A média aritmética em cada ponto no tempo a partir de uma série de aquisições idênticas (**para um sinal repetitivo**) possibilita uma redução significativa do ruído presente no sinal bem como um aumento da sua resolução vertical no momento da visualização. Considerando um ruído aleatório e superior ao ruído de quantização do conversor A/D, n médias aplicadas possibilitam:

- Redução do ruído: $\frac{1}{\sqrt{n}}$ (multiplica-se o ruído original por essa constante);
- Aumento da resolução: $\log_2 n$ (soma-se essa constante à resolução original do conversor A/D).

Exemplo:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sinal original:} \\ \text{Ruído: } 10 \text{ mV}_{\text{RMS}} \\ \text{Resolução: } 8 \text{ bits} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{após 32 médias} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Sinal resultante:} \\ \text{Ruído: } 1,8 \text{ mV}_{\text{RMS}} \\ \text{Resolução: } 13 \text{ bits} \end{array} \right.$$

Obs.: Deve-se também considerar que quanto maior o número de médias, maior o tempo total de processamento do sinal, devendo-se encontrar para cada caso um compromisso mais adequado entre tempo de processamento e qualidade desejada. O recurso de médias é muitas vezes necessário para uma correta medição automatizada dos parâmetros do sinal.

b) Funções Matemáticas

Operações como +, -, \times , \div , log, exp, FFT e outras podem ser executadas entre os canais ou a partir de outros sinais armazenados em memórias auxiliares.

Obs.: a operação FFT (*Fast Fourier Transform* – Transformada Rápida de Fourier) permite que o osciloscópio digital funcione como um analisador de espectros (visualização do sinal no domínio da frequência).

c) Interpolação

A visualização do sinal na tela pode ser melhorada pela adição de linhas a partir de uma interpolação efetuada entre 2 pontos adjacentes, podendo ser dos tipos linear, polinomial, $\frac{\sin x}{x}$, etc.

d) Medições Automáticas

Um conjunto de medidas temporais (período, frequência, largura de pulso, etc.) e de amplitude (valor médio, RMS, pico, etc.) podem ser efetuadas automaticamente a partir de funções pré-definidas no sistema operacional do osciloscópio.