

Aquisição rápida de sinais no tempo

Prof. Marlio Bonfim

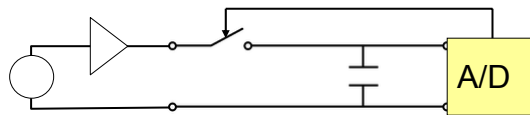
Disciplina: TE821 - Instrumentação Eletrônica
Avançada

Aquisição rápida de sinais no tempo

- O processo de conversão de sinais analógicos no domínio do tempo para valores digitais envolve:
 - ☒ amostragem e retenção do sinal
 - ☒ conversão Analógico/Digital do sinal amostrado (digitalização)
 - ☒ armazenagem do sinal em memória

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Amostragem e Retenção (Sample and hold)
 - ☒ durante a aquisição o sinal deve permanecer estático na entrada do conversor A/D
 - ☒ Enquanto a chave está fechada o sinal de entrada é amostrado e seu valor armazenado em um capacitor (aperture time)
 - ☒ A conversão A/D é efetuada em seguida durante o tempo em que a chave está aberta
 - ☒ A chave abre e fecha em sincronia com o conversor A/D a cada nova aquisição



Aquisição rápida de sinais no tempo

- Conversão Analógico/Digital :
 - ☒ O sinal analógico é comparado com níveis discretizados.
 - ☒ Tipos de conversores:
 - ☒ Aproximações sucessivas: resolução \uparrow , $f_s \downarrow$
 - ☒ Arquitetura paralela (flash): resolução \downarrow , $f_s \uparrow$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- **Conversão Analógico/Digital :**
 - ☒ Tempo de conversão: tempo necessário para se obter o valor digital na saída iniciado o processo de conversão.
 - ☒ Resolução: a menor quantidade que pode ser convertida (resolvida) dentro da faixa dinâmica do sinal de entrada V_{FS} especificada pelo número de bits n do conversor.

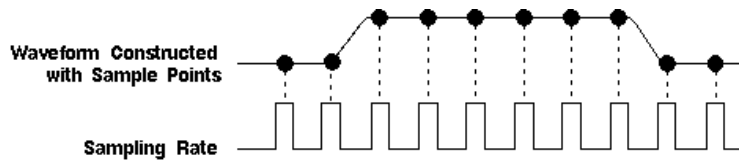
Aquisição rápida de sinais no tempo

- **Armazenagem do sinal digitalizado:**
 - ☒ O resultado da conversão A/D é transferido para uma memória binária
 - ☒ O tempo de escrita deve ser inferior à taxa de conversão do sinal
 - ☒ Arquitetura SRAM

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Amostragem em Tempo Real

- ☒ O conversor A/D “amostra” o sinal de entrada e o converte para a forma digital em intervalos de tempo precisos definidos pela frequência de amostragem f_s .
- ☒ A amostragem é realizada até que toda a memória seja preenchida.



Aquisição rápida de sinais no tempo

- Peculiaridades da técnica de amostragem

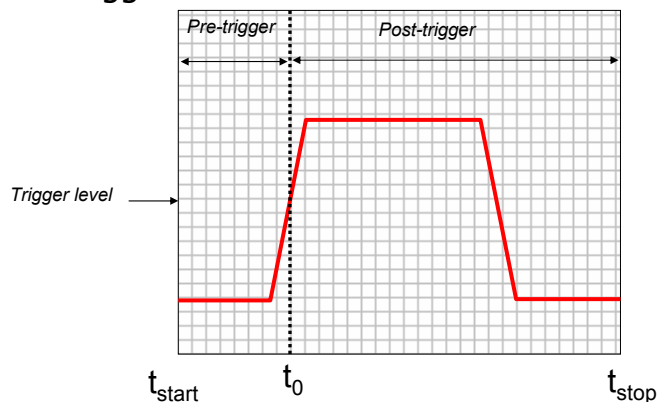
- ☒ “Pre-trigger”
- ☒ Sub-Amostragem ou “Aliasing”
- ☒ Amostragem em Tempo Equivalente (sobre-amostragem)
- ☒ Interpolação Temporal

Aquisição rápida de sinais no tempo

- “Pre-trigger”
 - ☒ Antes de haver o disparo (trigger) o A/D está continuamente convertendo e armazenando os dados na memória
 - ☒ Havendo um disparo no tempo t_0 , o contador de memória finaliza a contagem no tempo t_0+t_{stop}
 - ☒ Os dados convertidos no tempo anterior ao disparo ($t_{start} \Rightarrow t_0$) continuam armazenados na memória
 - ☒ visualização completa na tela: $t_{start} \Rightarrow t_{stop}$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- “Pre-trigger”



Aquisição rápida de sinais no tempo

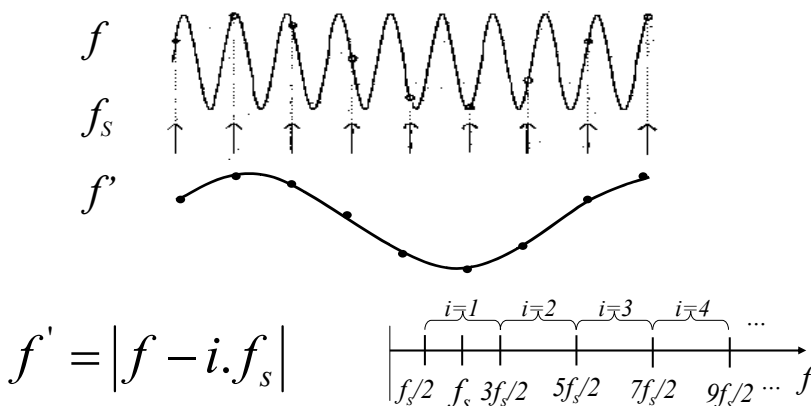
- Sub-Amostragem ou "Aliasing"
- ⌘ Quando a frequência de amostragem do conversor A/D não respeita o critério de Nyquist (é inferior ao dobro da máxima frequência do sinal $f_s < 2f_{max}$), ocorre uma espécie de batimento entre as duas frequências, fenômeno conhecido como *aliasing*.
- ⌘ O sinal visualizado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

$$f' = |f - i \cdot f_s|$$

- ⌘ sendo f a frequência do sinal original; i inteiro ≥ 1

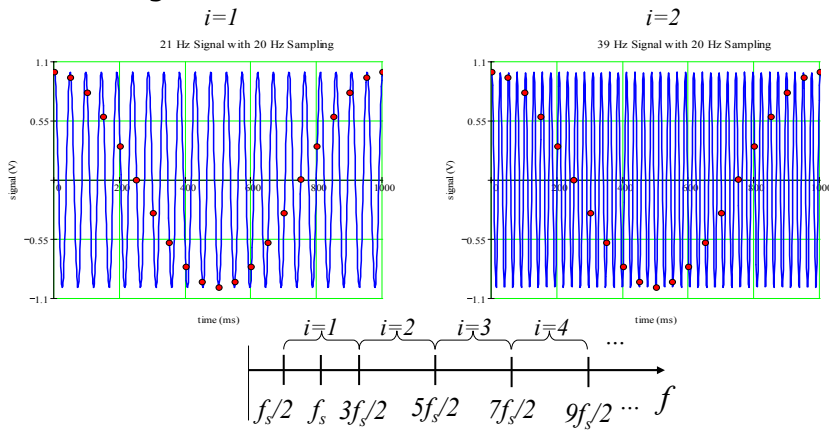
Aquisição rápida de sinais no tempo

"Aliasing"



Aquisição rápida de sinais no tempo

“Aliasing”



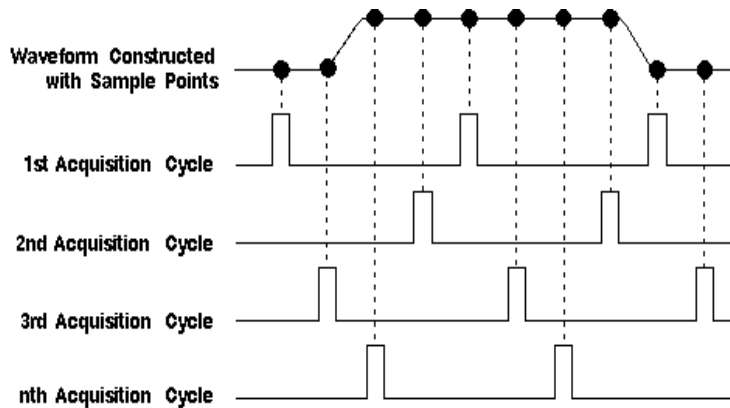
Aquisição rápida de sinais no tempo

■ Amostragem 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.
- ☒ Cada seqüência de amostragens é efetuada com a máxima velocidade do conversor.
- ☒ A visualização final é o resultado da sobreposição das várias seqüências de amostragem

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Amostragem em Tempo Equivalente



Aquisição rápida de sinais no tempo

- Amostragem em Tempo Equivalente

- ⊠ 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 com o uso de interpoladores temporais.
- ⊠ 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.
- ⊠ Pode-se amostrar sinais com $f_{\max} > f_s/2$
- ⊠ Este recurso não funciona com sinais não repetitivos.

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Interpolação Temporal

- ⊠ O sinal de entrada que define o sincronismo (trigger) não é correlato com a frequência de amostragem do conversor
- ⊠ O "jitter" temporal associado a esse processo é igual ao tempo de amostragem ($1/f_s$), o que aumentaria significativamente o erro de amostragem e o tempo de subida/descida aparente de sinais rápidos.
- ⊠ Para aumentar a resolução temporal além daquela definida pela frequência de amostragem ($1/f_s$), utiliza-se uma técnica de interpolação linear baseada numa linha de atraso associada à uma memória acionada pelo "trigger"

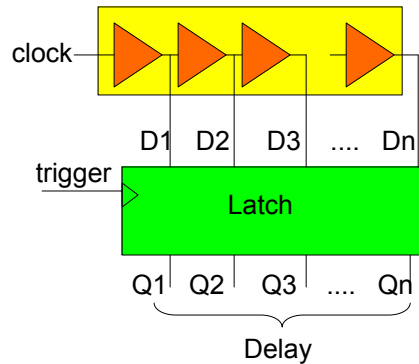
Aquisição rápida de sinais no tempo

- Interpolação Temporal

- ⊠ a linha de atraso pode ser digital: portas lógicas associadas em cascata
- ⊠ a resolução temporal final depende do número de portas e do atraso de cada uma delas
- ⊠ O atraso entre o "clock" e o "trigger" fica armazenado na memória após cada aquisição e é usado para corrigir a posição horizontal do sinal
- ⊠ com este método obtém-se resolução temporal da ordem de ps.

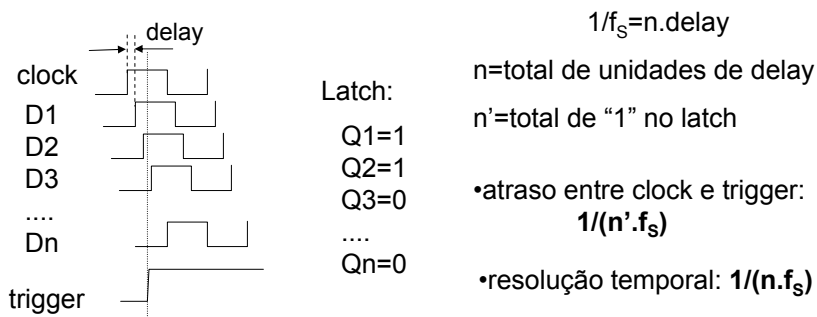
Aquisição rápida de sinais no tempo

Interpolação Temporal

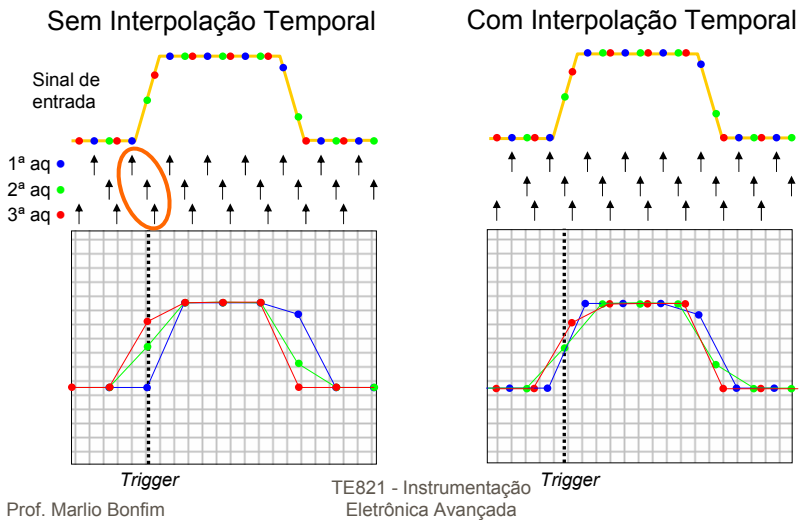


Aquisição rápida de sinais no tempo

Interpolação Temporal



Aquisição rápida de sinais no tempo



Prof. Marlio Bonfim

TE821 - Instrumentação
Eletrônica Avançada

21

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Interpolação Temporal
 - ⊠ O número de portas de atraso varia de 50 a 200
 - ⊠ O atraso de porta para tecnologias sub-micrométricas atuais pode ser inferior a 5 ps
 - ⊠ A frequência de amostragem em tempo equivalente pode chegar até $n \cdot f_s$
 - ⊠ A resolução para medidas temporais é limitada pelo "jitter" presente no processo de interpolação.

Prof. Marlio Bonfim

TE821 - Instrumentação
Eletrônica Avançada

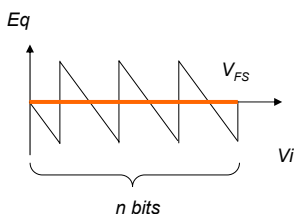
22

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Principais Erros associados ao processo de amostragem
 - Erro de quantização:
 - Erro do "sample and hold"
 - Erro do ruído térmico
 - Erro total

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Erro de quantização (E_q):
 - intrínseco ao processo de conversão A/D pela discretização dos níveis de tensão de entrada
 - Reduz com o aumento do número de bits do conversor



Valor de pico:

$$E_q = \frac{V_{FS}}{2^{n+1}}$$

Valor RMS:

$$E_{q_{RMS}} = \frac{V_{FS}}{2^{n+1} \sqrt{3}}$$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Erro do "Sample and hold"

- ☒ Erros do processo de amostragem:

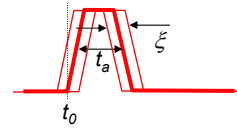
- ☒ Erro associado ao "aperture time" t_a :

- ☒ Erro associado ao "aperture jitter" ξ :

(ξ : "jitter" RMS)

- ☒ Erro total:

$$E_a = \sqrt{E_{at}^2 + E_{aj}^2}$$



$$E_{at} = \frac{dv_i}{dt} t_a$$

$$E_{aj} = \frac{dv_i}{dt} \xi$$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Erro do Ruído Térmico

- ☒ Temperatura $> 0K \Rightarrow$ ruído devido à agitação dos portadores de carga

- ☒ Considerando um resistor de valor R:

$$E_{th} = \sqrt{4.k_B.T.R.BW} \quad [V_{RMS}]$$

- Onde:

- k_B : Constante de Boltzmann

- T : Temperatura em K

- BW : banda passante do sistema em HZ

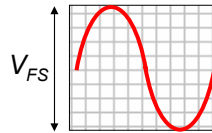
Aquisição rápida de sinais no tempo

- Erro Total:

$$E = \sqrt{E_{q_{RMS}}^2 + E_{a_{RMS}}^2 + E_{th_{RMS}}^2} \quad [V_{RMS}]$$

- ☒ O erro é expresso em V_{RMS}
- ☒ Também chamado de ruído de conversão
- ☒ Considerando o sinal de entrada senoidal de amplitude pico a pico igual a V_{FS} :

$$v_{i_{RMS}} = \frac{V_{FS}}{2\sqrt{2}}$$



Aquisição rápida de sinais no tempo

- Relação sinal ruído (SNR) da conversão A/D:

$$SNR = \frac{v_{i_{RMS}}}{E}$$

- ☒ Em dB:

$$SNR_{dB} = 20 \log_{10} \frac{v_{i_{RMS}}}{E}$$

- ☒ SNR devida unicamente ao ruído de quantização:

$$SNR = \frac{v_{i_{RMS}}}{E_{q_{RMS}}} = \frac{V_{FS}}{2\sqrt{2}} \frac{2^{n+1} \sqrt{3}}{V_{FS}} = 2^n \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Análise da SNR na conversão A/D em altas frequências
 - ☒ Conversores A/D rápidos ($f_s > 1\text{GS/s}$) possuem $n \leq 8$
 - ☒ SNR devido ao $E_{q_{\text{RMS}}}$ $p/n=8$: $\text{SNR}=313$ $\text{SNR}_{\text{dB}}=50\text{dB}$
 - ☒ Contribuição do ruído térmico: $< 10\mu\text{V}_{\text{RMS}}$
 - ☒ SNR devido ao E_{th} : $\text{SNR} > 10^5$ $\text{SNR}_{\text{dB}} > 90\text{dB}$
 - ☒ Contribuição do erro de amostragem: depende da frequência do sinal e dos tempos t_a e ξ
 - ☒ SNR devido ao E_a $p/t_a = \xi \approx 10\text{ps}$ e $f=100\text{MHz}$:
 $\text{SNR}=160$ $\text{SNR}_{\text{dB}}=44\text{dB}$

Aquisição rápida de sinais no tempo

- Análise da SNR na conversão A/D em altas frequências
 - ☒ SNR total:
$$\text{SNR} = 1 / \sqrt{1 / \text{SNR}_q^2 + 1 / \text{SNR}_a^2 + 1 / \text{SNR}_{th}^2}$$
 - ☒ Para o exemplo anterior:
 - ☒ $\text{SNR}=106$ $\text{SNR}_{\text{dB}}=40\text{dB}$
 - ☒ O erro principal vem geralmente do "sample and hold"
 - ☒ Importante reduzir t_a e ξ