



**Ciências
ULisboa**

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

PROTOCOLO DO TRABALHO LABORATORIAL TL 9

A DIGITALIZAÇÃO DE SINAIS DE TENSÃO

FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGA INFORMÁTICA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Nome: Diogo Pinto nº 52763 Turma PL 12

Nome: Francisco Ramalho nº 53472 Grupo 3

Nome: João Funenga nº 53504 Data: 20 / 11 / 2019

Docente:

NOTAS MUITO IMPORTANTES

- Registe os valores medidos *respeitando sempre os algarismos significativos (a.s.)* dados pelos aparelhos, incluindo os zeros à direita que são apresentados, de que deve tomar nota.
- Nos multímetros e no osciloscópio escolha sempre a escala que dá mais *a.s.*.
- Inclua sempre as unidades de cada valor medido ou calculado.
- Ao fazer os cálculos apresente os resultados finais respeitando os *a.s.* das parcelas.
- Junte a relatório todos os gráficos que fizer, tal como cálculos feitos no Excel ou outro software.

EQUIPAMENTO NECESSÁRIO:

- Gerador de tensão alternada, com frequência, amplitude e *offset* reguláveis.
- Interface *ScienceWorkshop* 500 e computador com software *DataStudio* da PASCO.
- Resistências de 470 Ω e 22 k Ω .
- Pannel de ligações tipo "breadboard".

OBJETIVOS:

Digitalizar um sinal de tensão com frequência f_s variando a taxa de amostragem f_a e estudar a recuperação do sinal original.

- Usando f_a muitíssimo maior do que a frequência f_s do sinal.
- Variando a taxa de amostragem desde $f_a < f_s$ até valores bem superiores, $f_a > 5 f_s$.
- Recuperar da lista dos valores digitalizados as características do sinal original.

Experiência 1 – Dados obtidos com o Osciloscópio Digital

Objetivo: digitalização em alta frequência f_a dum sinal sinusoidal e recuperação dos parâmetros do sinal.

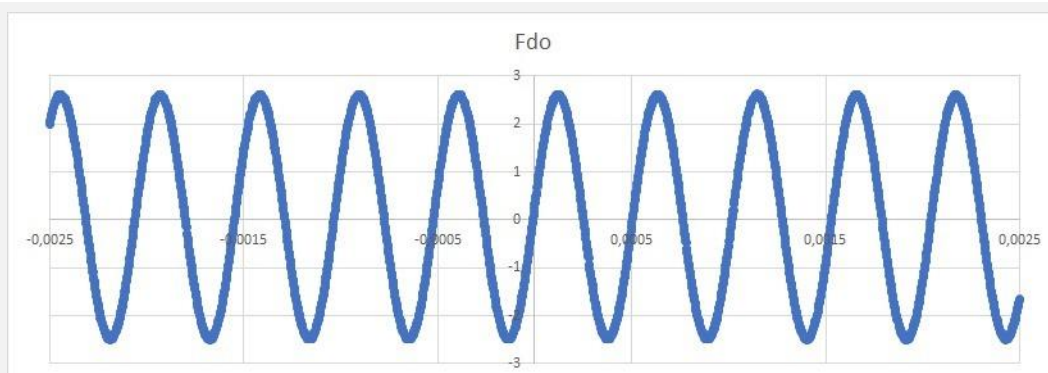
P1.1 No osciloscópio use a base de tempo 500 $\mu\text{s}/\text{div}$ e regule o gerador para dar um sinal do tipo

$$V_g(t) = A_s \sin(\omega t) \quad \text{com} \quad A_s = 2,5 \text{ V} \quad \text{e} \quad f_s = 1,95 \text{ kHz} \quad (1)$$

– Registe aqui o período T_s e a amplitude A_s que são medidos. Através dos menus guarde a "Forma de onda" (**Fdo** ou **Waveform**) numa pen: a *file.CSV* terá os dados de $V_g(t)$ vs t .

500 $\mu\text{s}/\text{div}$ e 1div \rightarrow 500 μs
1V/div e 2.5 div \rightarrow 2.5V

P1.2 Faça o gráfico da **Fdo** numa folha de cálculo, identificando os eixos e unidades usadas.



P1.3 A partir dos dados V_g vs t na *file.CSV* calcule (justificando) o período T_d e a amplitude A_d do sinal digitalizado. Registe aqui os cálculos e os seus resultados.

$$T_d = 0.00244400000 - 0.00192800000 = 0.000512\text{s (tempo que decorre entre 2 cristas consecutivas)}$$

$$A_d = 2.5\text{V}$$

P1.4 A partir dos dados na *file.CSV* calcule a frequência de amostragem f_a usada pelo osciloscópio assim como o intervalo de tempo Δt_a entre amostras sucessivas.

$$\Delta T_{\text{Amostragem}} = 0.000002\text{s}$$

$$\text{Frequência de amostragem} = 1/0.000002 = 500\,000\text{ Hz}$$

P1.5 Supondo que pretende guardar numa *file* os valores desta amostragem mas referentes ao tempo total $T_t = 1\text{ ms}$ e que os escreve como "*float*", calcule e justifique o tamanho da *file* que se obterá.

Numa amostragem de 1ms e se forem guardados como floats, onde cada float ocupa 4 bytes, o tamanho do ficheiro total seria 200 bytes porque como em 1ms existirão $0.001\text{s} \times 500000\text{Hz} = 500$ amostragens, se cada amostragem valer 4bytes então o tamanho total será $500 \times 4\text{bytes} = 200$ bytes.

Experiência 2 – Digitalização Variando a Taxa de Amostragem

Objetivo: digitalização duma tensão sinusoidal e estudo dos resultados em função da taxa de amostragem.

A interface *ScienceWorkshop* 500 para aquisição de dados está ligada à porta série do PC e permite a medição simultânea de 3 sinais de tensão, com taxa de amostragem f_a regulável e tempo total de medição escolhidos pelo utilizador, através do software *DataStudio* da PASCO.

Desempenha assim as funções de voltímetro digital, que usaremos para estudar tensões variáveis no tempo, através da digitalização dum sinal. Das 3 entradas analógicas A, B e C que possui, usará a A que é diferencial (tal como um voltímetro), o que significa que os seus dois condutores (de input) estão isolados das outras duas, B e C, que têm um condutor comum entre si.

Esta interface tem um conversor analógico-digital de 12 bits e aceita tensões de entrada com amplitudes até 10 V. Assim, o valor mínimo capaz de ser discriminado (que se designa por *resolução*) é de

$$\Delta V = 2 \times 10\text{ V} / 2^{12} = 4,9\text{ mV} \quad (2)$$

Logo, os valores guardados são múltiplos de ΔV , em relação ao valor mínimo V_{\min} , segundo a regra

$$V_k = V_{\min} + k \Delta V \quad \text{com } k \in \mathbf{N} \text{ e } V_{\min} = -10\text{ V} \quad (3)$$

implicando que a digitalização só pode distinguir 2 valores que difiram entre si de pelo menos ΔV .

Procedimentos: com a interface *ScienceWorkshop* faça medições de V_g da equação (1) (pág. anterior),

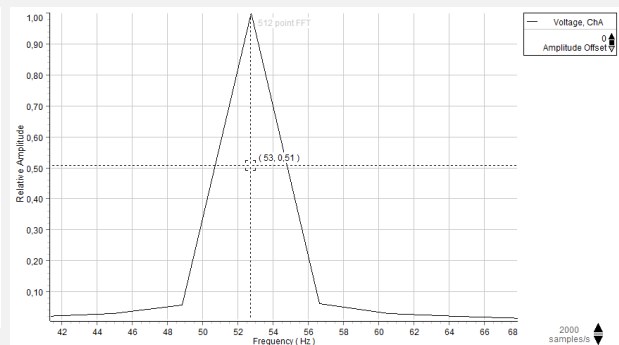
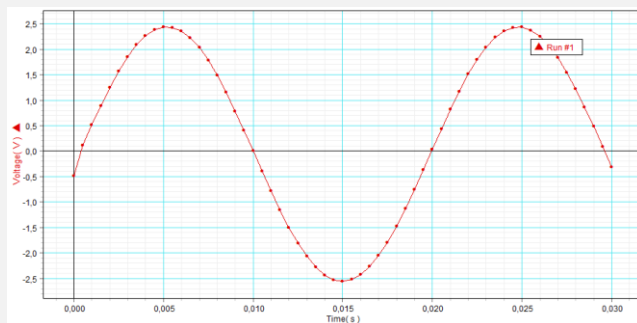
- 1) Escolhendo as frequências (taxas) de amostragem f_a (em N vezes/segundo $\equiv N\text{x/s}$) e o respetivo tempo total de medição T_t especificados a seguir, valores que deve introduzir no *DataStudio*.
- 2) Repita todas as medições mas com a *Fast Fourier Transform* (FFT) numa integração temporal de **MUITOS segundos** para definir bem o espetro. Guarde uma imagem e anote das frequências que são detetadas. Nota: a FFT só mede frequências até $f_a/2$ e normaliza a amplitude máxima a 1.

P2.1 Em todas as medições realizadas de f_a e T_t (apresentadas de seguida) copie a tabela de valores obtidos com o *DataStudio* (a *Run* respetiva) para uma folha de cálculo.

- Para $f_a = 2000x/s$ use $T_t = 30ms$.
- Para $f_a = 4000x/s$ use $T_t = 15ms$.
- Para $f_a = 10.000x/s$ use $T_t = 6ms$.
- Para $f_a = 20.000x/s$ use $T_t = 4ms$.

P2.2 Apresente gráficos das medições obtidas com $f_a = 2\text{ kHz}$ e 4 kHz . Daí deduza qual é o período T_d que o sinal digitalizado apresenta, por exemplo contando quantos períodos existem (e sua fração) nos dados obtidos durante todo o intervalo T_t , respetivamente. Qual é amplitude A_d observada? Meça, apresente os cálculos e compare os resultados com os da pergunta P1.3 e da FFT (junte as imagens).

2KHz



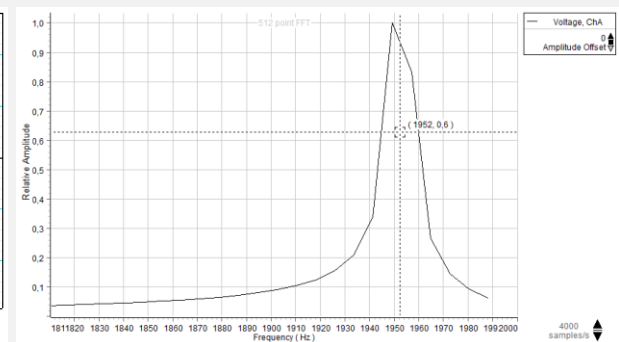
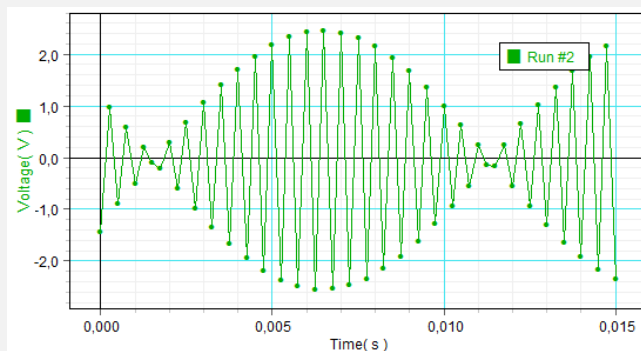
$$T_d = 0.030/2 = 0.015s$$

O período do sinal é de cerca de 0.015s

A amplitude observada é de 2.5 V.

Comparativamente ao da pergunta 1.3 temos um erro muito grande $((0.000512-0.015)/0.000512 * 100 = 2829.7\%)$ devido à frequência de amostragem ser inferior à frequência do sinal em si.

4KHz



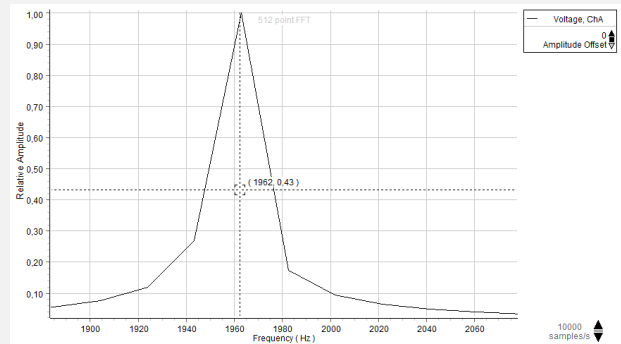
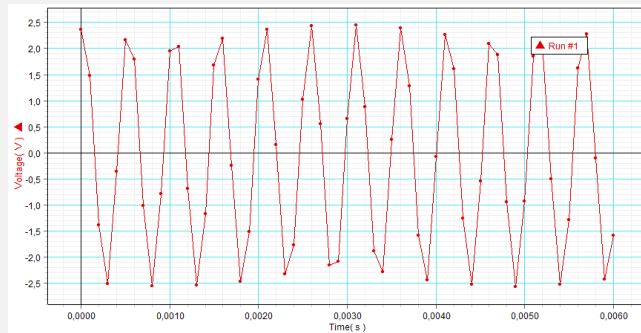
$$T_d = 0.015/31.5 = 0.000479s$$

A amplitude observada é de 2.5 V.

Comparativamente ao da pergunta 1.3 temos um erro mais pequeno $((0.000512-0.000479)/0.000512 * 100 = 6.44\%)$ com esta frequência de amostragem por ser cerca do dobro da frequência do sinal.

Um dos períodos não aparece no FFT porque apenas mede frequências até $f_a/2$.

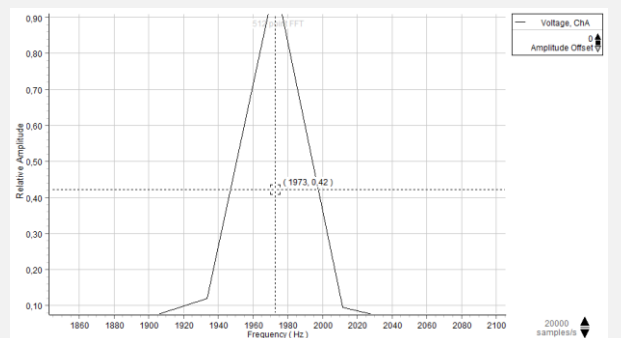
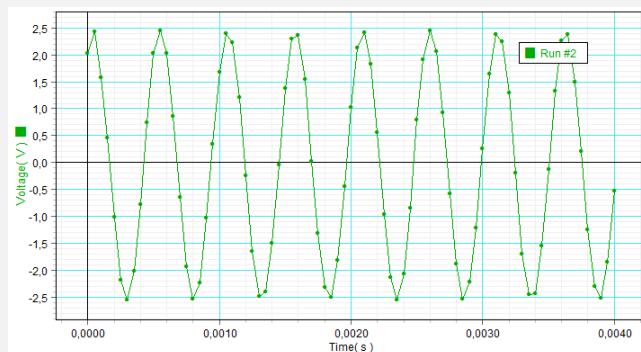
P2.3 Apresente gráficos das medições obtidas com $f_a = 10$ e 20 kHz . Daí deduza qual é o período T_d que o sinal digitalizado apresenta. Qual é amplitude A_d observada? Meça, apresente os cálculos e compare estes resultados com os da pergunta P1.3 e da FFT (junte as imagens).

10KHz

Existem apenas 1 período cujo valor é 0.0005s

A amplitude observada é de 2.5 V.

Comparativamente ao da pergunta 1.3 temos um erro muito pequeno devido à frequência de amostragem ser muito superior à do sinal.

20KHz

Existem apenas 1 período cujo valor é 0.00051s

A amplitude observada é de 2.5 V.

Comparativamente ao da pergunta 1.3 o erro é mínimo devido à frequência de amostragem ser muito superior à do sinal.

Experiência 3 – Digitalização dum Sinal de Pequena Amplitude

Objetivo: Estudar o problema da discretização duma tensão variável com baixa amplitude.

Procedimento:

- Monte o circuito indicado na figura 1 com as resistências $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 470 \Omega$.
- Altere a amplitude $V_g(t)$ para $A_g = 1,0 \text{ V}$ e garanta que o sinal é perfeitamente simétrico em 0 V (altere o *offset* se for necessário).
- Com a interface *ScienceWokshop* digitalize a tensão V_{R2} com a taxa de amostragem $f_a = 20 \text{ kHz}$ e durante $T_t = 12 \text{ ms}$.

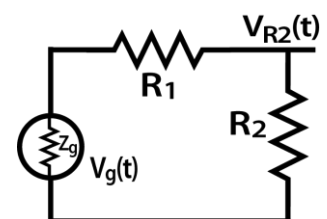


Figura 1. Divisor de tensão.

P3.1 Meça os valores de R_1 e R_2 e com eles calcule os valores máximo e mínimo esperados em V_{R2} .

$$r_1 = 22.7 \pm 0.1 \text{ k}\Omega$$

$$r_2 = 465 \pm 1 \text{ }\Omega$$

$$V_{r2_max} = r_2 / (r_1 + r_2) * V_g$$

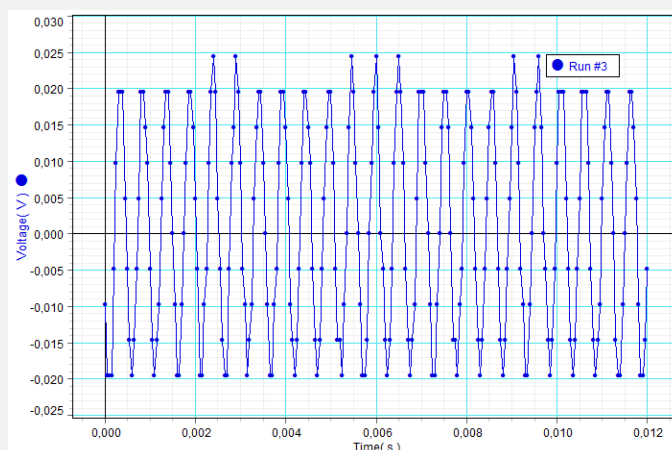
$$V_{r2_max} = 465 / (22700 + 465) * 1$$

$$V_{r2_max} = 0.02007 \text{ V}$$

$$V_{r2_min} = 465 / (22700 + 465) * (-1)$$

$$V_{r2_min} = -0.02007 \text{ V}$$

P3.2 Faça o gráfico do sinal digitalizado e justifique a forma que apresenta (equação (3) na pág. 3). Para ver melhor o efeito da discretização use um eixo X compacto. Dos dados deduza qual é o período T_d e a amplitude A_d do sinal, observados. Que conclusões retira?



O gráfico apresenta esta forma porque estamos a usar uma frequência de amostragem muito elevada durante 12ms e durante este tempo, o sinal digitalizado será muito semelhante ao sinal em si. (os valores guardados são múltiplos de ΔV em relação ao valor V_{min} (multiplicados por uma constante)).

Como podemos ver, a V_{r2} é bastante inferior à do sinal original devido à r_1 que por ter um valor muito elevado, há uma grande queda de tensão aqui.

Assim, a tensão de saída (em r_2) é bastante baixa, visível pela amplitude do sinal observado.

Como esperado, a amplitude obtida empiricamente é muito semelhante à amplitude calculada.

Como podemos observar, o sinal tem um período de 0.00051s e uma amplitude de 0.020V.

Experiência 4 – Critérios a Usar na Amostragem de Sinais

P4.1 Estabeleça um critério genérico da frequência f_a a utilizar, para que se consiga recuperar a) *mais-ou-menos* e b) *muito-bem*, a forma do sinal sinusoidal original, ou seja, as suas características de frequência f_s e amplitude A_s . Justifique as escolhas.

Pelos dados obtidos e de acordo com o teorema de Nyquist, b) para conseguirmos recuperar muito bem a forma do sinal sinusoidal original necessitamos de uma frequência de amostragem de mais do que o dobro da frequência do sinal. Quanto maior a frequência de amostragem, melhor será a apresentação do sinal original. É devido a este facto que o osciloscópio usa uma frequência de amostragem muito elevada para podermos ter fiabilidade na observação e análise dos sinais.

a) Para conseguirmos recuperar mais ou menos a forma do sinal sinusoidal original necessitamos de uma frequência de amostragem de pelo menos do dobro da do sinal porque assim conseguimos obter bem a amplitude do sinal e razoavelmente a frequência do mesmo.

P4.2 Baseando-se na resposta anterior, calcule a máxima frequência do sinal f_s que um osciloscópio de $f_a = 500 \text{ Ms/s}$ (*mega samples/second*) pode analisar com ótimos resultados? Justifique.

A máxima frequência do sinal (f_s) que um osciloscópio de frequência de amostragem = 500 Ms/s (ou seja, 500 MHz) pode analisar com ótimos resultados é de 250 MHz porque, para conseguirmos ter resultados ótimos, temos de ter pelo menos uma frequência de amostragem igual ao dobro da frequência do sinal que queremos analisar.

Entrega obrigatória do relatório na semana seguinte