

Introdução:

Neste módulo o aluno é estimulado a exercitar os seus conhecimentos relacionados com a análise de sinais elétricos. Os sinais são obtidos de fontes e geradores de funções e a análise é feita através de osciloscópios, voltímetros, amperímetros, pontes *RLC* e outros instrumentos disponíveis.

Proposição II.1 USO DE OSCILOSCÓPIO PARA A ANÁLISE DE SINAIS

Objetivo: Familiarização com o uso de osciloscópio e outros instrumentos para a medição de grandezas elétricas.

Introdução:

Você poderá consultar [aqui](#) o Guia do Usuário do osciloscópio que será usado na disciplina. Alguns aspectos básicos do osciloscópio podem ser vistos [aqui](#).

Os sinais serão obtidos a partir do gerador de funções e analisados através dos canais 1 ou 2 do osciloscópio. Como referência inicial, considere uma função senoidal com amplitude (valor de pico) $V_p = 4\text{ V}$ e frequência de **100 Hz**. Faça os ajustes necessários para visualizar 2 a 3 ciclos completos, centralizados na tela do osciloscópio.

Recomendações:

Como regra, habitue-se a seguir um roteiro básico no manejo dos instrumentos, verificando que:

- (i) As conexões estão corretas;
- (ii) Está utilizando a tensão correta da rede;
- (iii) Escolheu as escalas adequadas para a faixa de trabalho;
- (iv) O osciloscópio seja ligado primeiro, ajustando o traço horizontal em zero; e
- (v) Só após conectar o gerador de funções com o sinal desejado (primeiro o 'terra' dos equipamentos), este seja ligado.

Uma vez ligados os instrumentos, fazer os ajustes para obter as leituras desejadas. Para quem não está familiarizado com o uso do osciloscópio, recomenda-se que aproveite a oportunidade para aprender a lidar com esse instrumento, pois ele será muito utilizado em outras aulas. Verifique, por exemplo, as seguintes funções:

- (i) Seletor de base de tempo (*Horizontal Scale*)
- (ii) Seletor de ganho (*Vertical Scale*)
- (iii) Seletor de canal (*CH1, CH2, MATH*)
- (iv) Ajuste de sincronismo (*Trigger Menu*)

- (v) Funções matemáticas (*MATH*): CH1+CH2, CH1-CH2, CH2-CH1, CH1·CH2 FFT (Fast Fourier Transform)
- (vi) Medidas de tensão (*MEASURE*): Período (*Period*), Frequência (*Frequency*), Vmax (*Maximum*), Vpp (*Peak to Peak*), Vmédia (*Mean*), Veficaz (*RMS*)
- (vii) Acoplamento CC/CA/GND
- (viii) Formato Y-T ou Formato X-Y

Ensaio e Questões:

- (i) ► Tendo em mente as operações básicas anteriores, faça a leitura, pelo osciloscópio, das grandezas que aparecem na tabela a seguir, para a onda senoidal ajustada em **4V** de pico, **100 Hz**. Observe também (sem precisar repetir as medidas) as formas de onda para entradas quadradas e senoidal com nível CC de 2V, também ajustadas em **4V** de pico, **100 Hz**. *Salve cada uma das três formas de onda depois de ajustadas, e submeta um arquivo no Moodle com as figuras salvas e o nome dos alunos no grupo.*

Observação: para a realização correta das medidas, veja as instruções do anexo. Para salvar as formas de onda no pendrive, utilize os formatos BMP (8 ou 24 bits) ou PNG.

Forma de onda	Base de tempo [ms/div]	Escala [V/div]	V_{pp} [V]	Período [ms]	Frequência [Hz]	V_{ef} [V]
Senoidal						

- (ii) Para verificar as suas conclusões, explique para que servem:

- ✓ a base de tempo
- ✓ o nível de *trigger*
- ✓ o acoplamento CA/CC

Proposição II.2

MEDIÇÃO DO VALOR EFICAZ E MÉDIO DE SINAIS

Objetivo: Verificar a diferença na leitura de instrumentos com diferentes princípios de funcionamento e sob formas de onda distintas.

Revisão da Teoria:

O **valor eficaz** ou RMS (root mean square) de um sinal **periódico** qualquer é definido em função da potência média fornecida por esse sinal a um resistor unitário. Para se medir o valor eficaz da onda de tensão ou de corrente, recorre-se à expressão geral que resulta dessa definição, ou seja:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$
$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$
(1)

em que T corresponde ao período da onda.

Se o sinal for **senoidal**, este valor eficaz pode ser explicitado em função da amplitude da onda, resultando em:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot V_p$$
(2)

onde V_p corresponde ao valor de pico da onda senoidal.

Para sinais periódicos **não-senoidais**, é possível representar a onda em série de senos e cossenos (Série de Fourier) de frequências múltiplas (harmônicas) da fundamental:

$$v(t) = V_0 + \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} \cdot V_h \cdot \cos(\omega_h \cdot t - \theta_h)$$
(3)

Assim, o valor eficaz da onda resulta em função dos valores eficazes de cada componente V_h , com $h = 0, 1, 2, 3, \dots, n$, onde h é a ordem da harmônica, e $h = 0$ corresponde ao nível CC do sinal. Usando um teorema de séries de Fourier, pode-se obter o valor eficaz da onda como sendo:

$$V_{ef} = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + \dots + V_n^2}$$
(4)

Os instrumentos que medem o valor eficaz através da relação (2) só fornecem uma leitura eficaz verdadeira para sinais senoidais, enquanto que os instrumentos que utilizam a definição geral (1) fornecem a leitura correta (*"true RMS"*) para qualquer forma de onda periódica. A expressão geral (3) apresenta interesse para a análise de sinais por decomposição harmônica.

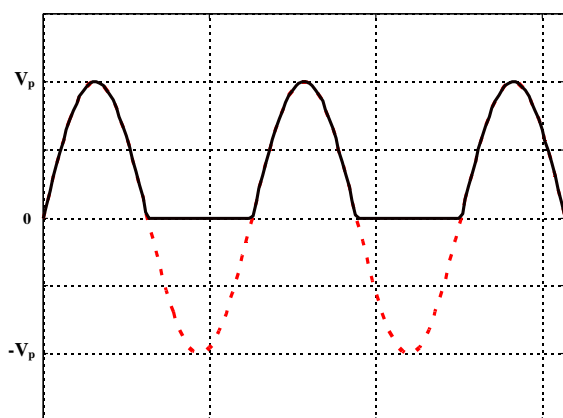
Existem também instrumentos que medem o **valor absoluto médio** de um sinal. Esses instrumentos são capazes de detectar o nível CC de uma onda, por exemplo, de uma senóide retificada.

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T |v(t)| dt \quad (5)$$

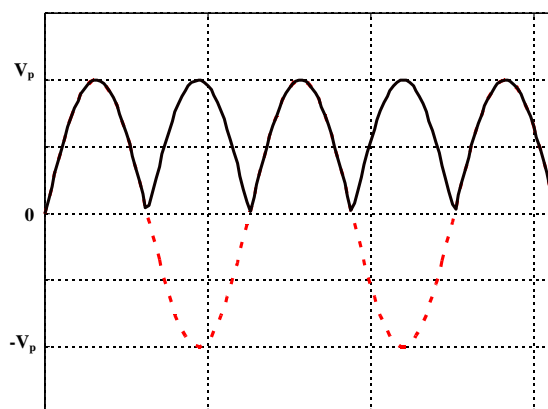
O voltímetro que não é *true* RMS não usa (2) diretamente. (Evidentemente, ele não usa nem (1) nem (4) também, do contrário ele seria *true* RMS.) Na realidade, esse instrumento calcula o valor de V_m em (5), e usa o fato de que, para uma onda senoidal, $V_{ef} \approx 1.1 V_m$. Para calcular (5), a tensão de entrada passa primeiramente por um retificador de onda completa, cuja saída é $|v(t)|$ (ver figura abaixo). Esse sinal é então passado por um circuito que calcula a valor médio V_m .

Ensaio e Questões:

- (i) Considere ondas senoidais e quadradas, ambas com valor de pico V_p , passando por um retificador de meia onda e de onda completa. A figura abaixo mostra o efeito destes retificadores em uma onda senoidal.



Onda senoidal retificada em meia onda



Onda senoidal retificada em onda completa

Com base nas expressões matemáticas anteriores, preencha o quadro a seguir, mostrando suas deduções. Os valores devem ser calculados em função do valor de pico das ondas:

Sinal	Retificação de meia onda		Retificação de onda completa	
Quadrada	$V_{ef} =$	$V_{ef} =$	$V_{ef} =$	$V_{ef} =$
	$V_m =$	$V_m =$	$V_m =$	$V_m =$

- (ii) ► Através do osciloscópio, ajuste a mesma amplitude e frequência ($V_p = 4 \text{ V}$, $f = 100 \text{ Hz}$), para as ondas senoidal e quadrada da questão acima, e faça a leitura do valor eficaz nos instrumentos indicados e preencha a tabela abaixo.

Forma de Onda	Ajustado no osciloscópio		Calculado	Medido [V]		
	f [Hz]	V_p [V]	V_{ef} [V]	Voltímetro 1 Modelo:	Voltímetro 2 Modelo:	Osciloscópio (RMS)
Senoidal						
Quadrada						

Proposição II.3

REGULAÇÃO DE FONTE DE TENSÃO E MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA (CASAMENTO DE IMPEDÂNCIA)

Objetivo: Constatar as limitações práticas de fontes de tensão reais e verificar as condições de máxima transferência de potência.

A) Regulação

Revisão da Teoria:

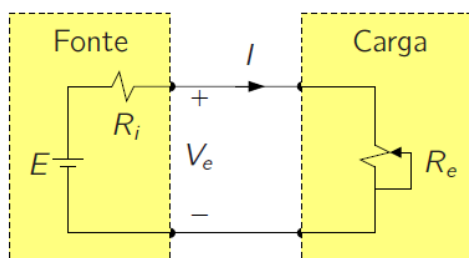
Seria desejável que a fonte de tensão do laboratório fosse ideal, isto é, que a tensão ajustada não variasse com a corrente da carga. Nessas condições, seria mais fácil comprovar uma série de experimentos estudados na teoria.

Como a fonte real possui resistência interna (lembre-se do modelo de Thévenin), ocorre uma queda na tensão terminal quando a carga é ligada. A **regulação** da fonte expressa a queda de tensão relativa quando a carga da fonte varia desde zero até o valor nominal:

$$reg = \frac{V_0 - V_n}{V_n} = \frac{\Delta V_n}{V_n}$$

em que V_0 corresponde à tensão em vazio (carga zero) e V_n à tensão em plena carga (nominal).

Para uma fonte de tensão E , com resistência interna R_i , alimentando uma carga variável R_e , teremos:



A tensão nos terminais da fonte V_e será dada por:

$$V_e = E - R_i \cdot I$$

Em vazio (sem carga, $I = 0$) resulta:

$$V_e = V_0 = E$$

Com plena carga (carga nominal, $I = I_n$) tem-se:

$$V_n = V_0 - R_i \cdot I_n$$

Logo, a regulação é dada por:

$$reg = \frac{V_0 - V_n}{V_n} = \frac{R_i \cdot I_n}{V_n} = \frac{R_i}{R_n}$$

ou seja, a regulação da fonte indica a fração que a resistência interna representa em relação à resistência externa nominal ($R_e = R_n$). Pode-se notar que quanto menor a resistência interna R_i , menor a regulação e, portanto, melhor a fonte.

Ensaio e Questões:

- (i) Qual a tensão terminal da fonte quando $R_e = R_i$?
- (ii) Qual a regulação de uma fonte ideal?
- (iii) ► Ajuste no gerador de sinais, sem carga, uma forma de **onda quadrada** com $V_p = 4\text{ V}$ e $f = 1\text{ kHz}$.

Nestas condições observe no osciloscópio o efeito de se conectar uma carga do tipo resistiva. Usando uma década resistiva, varie a resistência e preencha a tabela a seguir.

DICA: o V_{pp} no osciloscópio é muito sujeito a ruídos que causam variações abruptas no valor máximo do sinal. Use V_{top} para fazer essas medidas.

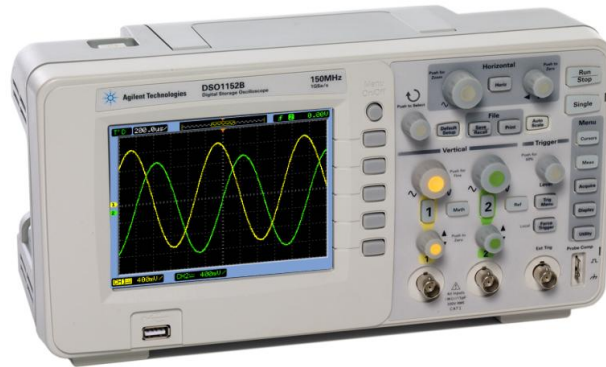
Ajustado	Medido	Calculado	Calculado	Ajustado	Medido	Calculado	Calculado
R_e	V_e [V]	I [mA]	P_e [mW]	R_e	V_e [V]	I [mA]	P_e [mW]
∞				$80\ \Omega$			
$300\ \Omega$				$60\ \Omega$			
$250\ \Omega$				$50\ \Omega^*$			
$200\ \Omega$				$40\ \Omega$			
$150\ \Omega$				$20\ \Omega$			
$100\ \Omega$				$10\ \Omega$			

**Salve e junte ao relatório a forma de onda da tensão da fonte para este caso.*

- (iv) Determine, a partir dos dados acima, o valor de R_i .
- (v) Calcule a corrente de curto-circuito da fonte, supondo $V_p = 4\text{ V}$. **Não teste**, apenas calcule, pois a fonte pode não suportar o curto-circuito.
- (vi) Obtenha com os dados acima a curva $[P_e \times R_e]$ e identifique o ponto de máxima transferência de potência. Relacione esse ponto com os parâmetros do equivalente de Thévenin da fonte. Essa figura deverá também ser submetida via Moodle.
- (vii) Obtenha com os dados acima a curva $[V_e \times I]$. Trace também a reta que seria esperada, usando os valores de V_e e R_i estimados. Essa figura deverá também ser submetida via Moodle.

Oscilloscope Fundamentals

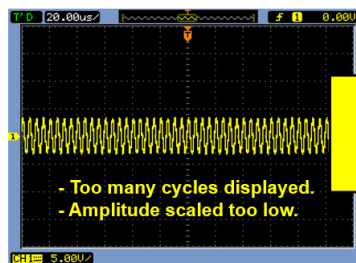
For Electrical Engineering and Physics Undergraduate Students



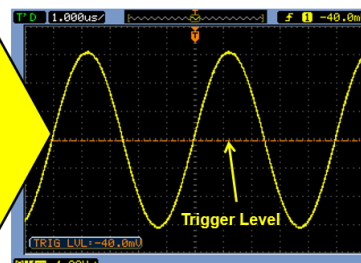
Agilent Technologies

Properly Scaling the Waveform

Initial Setup Condition (example)



Optimum Setup Condition



- Adjust **V/div** knob until waveform fills most of the screen vertically.
- Adjust vertical **Position** knob until waveform is centered vertically.
- Adjust **s/div** knob until just a few cycles are displayed horizontally.
- Adjust **Trigger Level** knob until level set near middle of waveform vertically.

Setting up the scope's waveform scaling is an iterative process of making front panel adjustments until the desired "picture" is displayed on-screen.

Agilent Technologies