

Objetivos de Aprendizado

1. Entender conceitos relacionados a tensão contínua, alternada e terra.
2. Familiarizar-se com um gerador de funções como instrumento para produzir sinais periódicos.
3. Familiarizar-se com um osciloscópio como instrumento de medição, caracterização e visualização de sinais periódicos.
4. Realizar medições simples (amplitude, frequência, fase) de sinais de tensão elétrica alternada.

Tensão e corrente alternadas

Até o momento nesta disciplina utilizamos fontes de corrente e tensão constantes. Deste modo, é importante desenvolver familiaridade com as principais formas de onda de sinais que são normalmente utilizadas em circuitos elétricos e como eles são caracterizados. Neste experimento vamos trabalhar com fontes de sinais que variam no tempo.

Circuitos em que a corrente e a tensão mudam de sinal/polaridade com o tempo são chamados de circuitos de Corrente Alternada (para a tensão: V_{CA}) para diferenciá-los dos circuitos vistos até agora, que operaram em Corrente Contínua (V_{CC}). Usualmente, a tensão alternada é periódica e, portanto, é possível descrevê-la com uma equação dependente do tempo. Para o caso de uma tensão alternada senoidal a equação é:

$$V = V_p \operatorname{sen}(\omega t + \phi) \quad (1)$$

onde V_p é a máxima amplitude da tensão, designada por “tensão de pico”, ω é a frequência angular e ϕ é a fase. A Figura 1 representa uma tensão alternada senoidal. Por meio da figura podemos determinar o período T de uma oscilação completa (intervalo de tempo definido entre os pontos A e B da figura) e, portanto, a frequência $f = 1/T$ (em 1/s ou Hertz) e a frequência angular $\omega = 2\pi f$ (em rad/s).

A “tensão pico-a-pico” V_{pp} é a amplitude da tensão senoidal que varia entre $-V_p$ a V_p :

$$V_{pp} = 2V_p \quad (2)$$

Tensões alternadas são frequentemente especificadas por seu valor eficaz, ou valor quadrático médio V_{rms} . A tensão eficaz, V_{rms} , é o valor de tensão contínua que dissiparia a mesma energia da tensão alternada na mesma carga resistiva. O valor eficaz, **para a onda senoidal**, é dado por:

$$V_{rms} = V_p / (\sqrt{2}) = 0,707 V_p \quad (3)$$

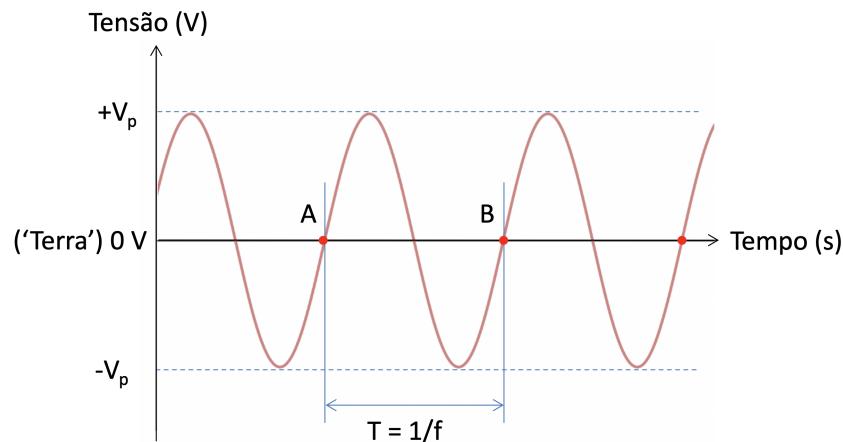


Figura 1: Tensão que varia de acordo com uma função seno dependente do tempo.

A tensão da rede elétrica no Brasil é usualmente $127 \text{ V}_{\text{rms}}$ ou $220 \text{ V}_{\text{rms}}$. Ou seja, a tensão que se especifica usualmente é a tensão eficaz e não a tensão de pico V_p . É por isso que mesmo sendo uma tensão alternada, podemos multiplicar a tensão eficaz pela corrente (também eficaz) para saber a potência média útil máxima fornecida ao equipamento. Além disso, é importante notar que a tensão de pico, V_p , da rede elétrica é ~ 180 ou 311 V . É por esta razão que os cabos têm isolação de 300 V com relação ao potencial de ‘terra’.

Nos circuitos de corrente alternada é usual se referir à tensão em qualquer ponto do circuito com relação à tensão de terra. Assim, a saída de uma fonte de corrente alternada tem um terminal no potencial do ‘terra’ e outro no potencial da tensão alternada. Isso é muito diferente das fontes DC nas quais usualmente ocorre o oposto (a saída não é referenciada ao terra). A Figura 2 ilustra essa questão. Dessa forma, a saída de um gerador de funções é uma tensão (diferença de potencial) referenciada ao terra.

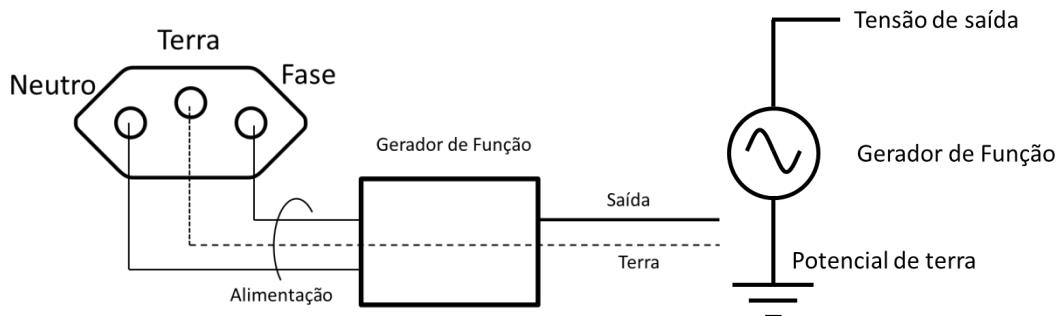


Figura 2: (esquerda) Esquema elétrico da alimentação e da saída de um gerador de funções. A tensão de saída entre fase e neutro é definida com relação ao potencial de referência do ‘terra’ da alimentação (ambos estão no cabo coaxial). (direita) Diagrama indicando um gerador de funções, sua saída e o potencial de ‘terra’.

Gerador de Funções

Nos experimentos anteriores utilizamos multímetros digitais para medir correntes e voltagens DC. Muitos dos multímetros modernos podem ser utilizados para medir os valores de tensão RMS de sinais AC, contudo este sinal possuem muitas outras características que são importantes para caracterizar estes sinais, como a frequência, fase, tensão de offset, etc.

Neste experimento iremos utilizar um gerador de funções como fonte de tensão alternada. Um gerador de funções é um equipamento capaz de gerar sinais periódicos de vários tipos, incluindo ‘funções’ seno, ondas quadradas ou triangulares. Várias opções estão disponíveis para se ajustar a tensão pico-a-pico, a frequência, a fase, e várias outras opções dependendo do que se deseja obter na saída do gerador. Note que o gerador tem duas saídas (CH1 e CH2), nas cores Azul e Amarelo. A saída precisa ser ativada utilizando um botão acima da saída (*output*). Note que há um botão para ativar a exibição das opções de cada canal (CH1/CH2). A Figura 3 mostra o painel do gerador de funções que utilizaremos.

A saída do gerador de funções é feita usualmente com conectores tipo BNC, como ilustrado na Figura 4 (esquerda). Esses são conectores comuns em cabos coaxiais, Figura 4 (centro) e (direita). Nesses cabos temos sempre um fio (chamado de ‘núcleo’) que contém a tensão alternada e outro (chamado de ‘blindagem’) que atua como gaiola de Faraday e é mantido no potencial do ‘terra’. Note que dessa forma, quando encaixamos um cabo coaxial no painel do gerador de funções estamos tocando a estrutura metálica externa do conector, que é conectada à blindagem do cabo e está conectada ao potencial do ‘terra’.



Figura 3: Foto do painel frontal de um gerador de funções.



Figura 4: (esquerda) Conector BNC em um cabo; (centro) Conector BNC painel; (direita) cabo coaxial.

Osciloscópio

O osciloscópio é fundamentalmente um voltímetro adaptado para medir, registrar e mostrar medidas de tensão elétrica que dependem do tempo. Os osciloscópios digitais contam com vários recursos para medir sinais (de tensão) que variam periodicamente no tempo e podem fazer análises simples a partir dessas medidas. Usualmente eles são capazes de medir 2 sinais simultaneamente. Esses sinais são mostrados em uma tela (tipicamente uma tela LCD).

O osciloscópio da Figura 5 ilustra o painel frontal desse tipo de equipamento. No painel são observadas a tela que mostra os sinais medidos, botões de ajuste de escalas (de tensão para o canal 1, de tensão para o canal 2, e de tempo para ambos os canais), botões de ajuste do Gatilho (*Trigger*) e outros botões para ajustes (modo de aquisição) e para medidas (feitas automaticamente pelo osciloscópio ou manualmente com cursores), entre outros. É importante notar que no osciloscópio as mudanças de escalas não são automáticas (como no multímetro) e que os ajustes automáticos podem ser bem pouco úteis. Assim, é importante aprender a ajustar as escalas de tensão e de tempo para os valores esperados (em geral similares aos do gerador de funções). É importante notar também que o osciloscópio pode precisar levar em conta a média de uma série de medidas para que a relação sinal/ruído seja boa e para tal essa função deve ser ativada (no botão **Aquisição**, Figura 5).

Um ajuste essencial do osciloscópio é o *Trigger* (ou gatilho). Esse ajuste serve para definir qual é o critério que o osciloscópio deve levar em conta para considerar que o sinal que ele está medindo está se repetindo, ou seja, permite identificar sinais periódicos. O ponto de *Trigger* define a tensão e a inclinação (positiva ou negativa) em que o osciloscópio irá iniciar a varredura do sinal. Uma configuração típica de *trigger* seria: tensão igual a 0 V, tipo borda ascendente. Nesse caso, o osciloscópio irá considerar que cada ciclo do sinal periódico se inicia sempre que o sinal passar de menor para maior que 0 V. Reveja a onda senoidal da Figura 1. Os pontos vermelhos indicam os momentos em que o sistema do *trigger* iria identificar início de novos períodos da onda.

Da mesma forma que o gerador de funções gera sinais em relação ao ‘terra’, o osciloscópio mede valores de tensão sempre com relação ao ‘terra’. Isso é o oposto do que foi feito até agora pois a fonte de tensão contínua é dita flutuante e o mesmo ocorre com o multímetro. **Assim, nesse experimento a polaridade dos terminais é de suma importância.** Note também que o gerador de funções e o osciloscópio estão ligados ao mesmo terra, que é o terra da rede elétrica. Eles têm, portanto, uma referência de tensão comum entre si. A Figura 6 ilustra essa questão. Na figura, a tensão de saída do gerador de funções é aplicada em uma resistência R e é medida por um osciloscópio. Todos os três estão ligados ao potencial de terra (símbolo abaixo de cada um) e o fato de que é o mesmo potencial é, de forma redundante, indicado por

uma linha tracejada. Usualmente, na montagem de circuitos, a malha dos cabos ('terra') é colocada em um mesmo ponto ainda que isso não esteja no diagrama.

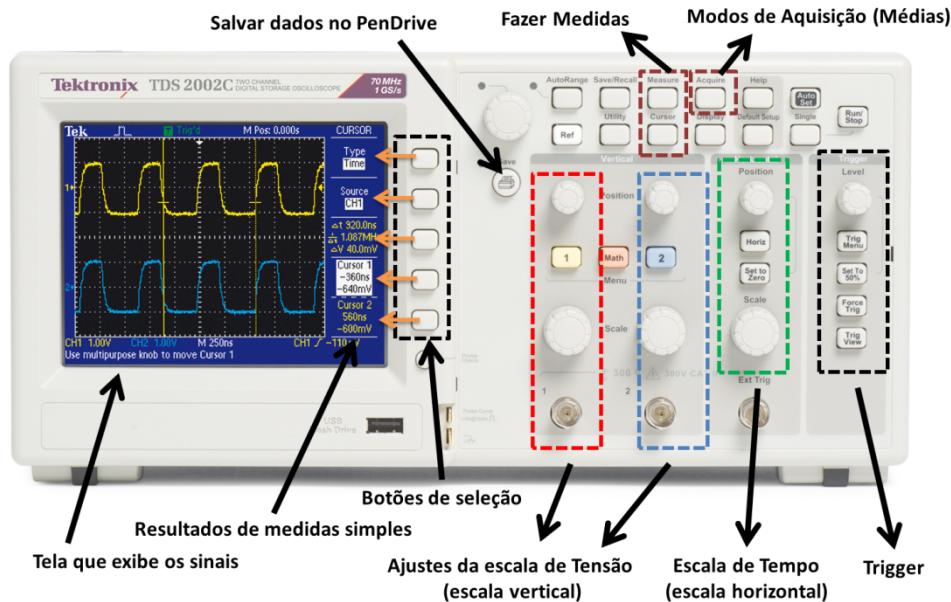


Figura 5: Painel frontal de um osciloscópio mostrando suas várias partes. Note os conectores BNC.

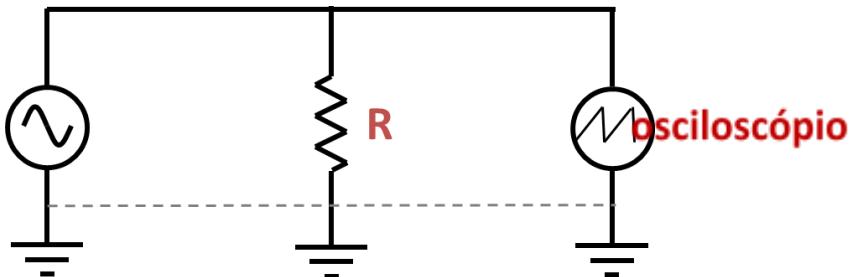


Figura 6: Circuito hipotético indicando o gerador de funções (esquerda), um resistor (centro) e o osciloscópio (direita). Note que todos os elementos estão ligados (de alguma forma) ao potencial de 'terra'.

Note que, na Figura 6, apenas um dos canais de saída do gerador de funções e apenas um dos dois canais de entrada do osciloscópio são utilizados. Para conectar gerador de funções e osciloscópio, utilizamos um cabo coaxial que é composto por dois fios; núcleo (com tensão alternada e indicado por "+") e blindagem (com o potencial de 'terra', e indicado por "-"). Note que se a polaridade dos fios for invertida, então a saída do gerador de funções será ligada ao 'terra' do osciloscópio e a entrada do osciloscópio irá medir o 'terra' do gerador de funções. Nessa situação, a medida será um sinal constante de 0 V e o curto-circuito do gerador de funções (que está ligado ao 'terra') irá danificá-lo. Assim, **cuidado com a polaridade!** A conexão entre o cabo coaxial e a placa de ensaio ("protoboard") é feita usando-se um conector (Figura 7) que separa o pino central (sinal) do conector externo (terra) em dois pinos do tipo banana. O conector identificado em vermelho é o pino de contendo o sinal.



Figura 7: Uma conector (esquerda) separa o pino central (sinal) e o conector externo (terra) do cabo coaxial em dois pinos do tipo "banana" (direita) para conexão com a proto-o-board.

A tela do osciloscópio traz várias informações como: frequência do sinal, Vpp, Vrms, período, etc. Além disso, a tela é utilizada para ajustar várias configurações do osciloscópio (utilizando os botões de seleção, veja na Figura 5). A Figura 8 ilustra algumas das informações básicas que se pode observar na tela do osciloscópio, incluindo a posição do nível de ‘terra’ de cada canal, as escalas de tensão de cada canal (tensão por divisão), e algumas informações sobre o *trigger*.

Note que é possível salvar a imagem da tela do osciloscópio e os dados medidos por ele em um *pendrive*. Para isso, basta inserir um *pendrive* no local adequado e pressionar o botão ‘imprimir’. Os dados são salvos em formato CSV e a imagem da tela em JPG.

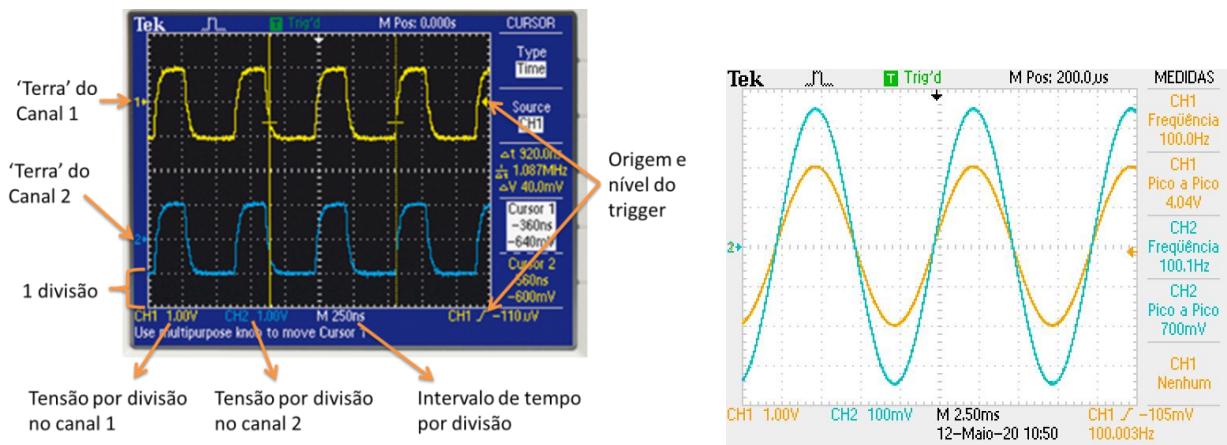


Figura 8: (Esquerda) Foto da tela do osciloscópio indicando algumas informações típicas que são observadas.
(Direita) Imagem gerada pelo osciloscópio quando os dados são exportados usando a opção imagem.

Simulações TinkerCad (Atividade Opcional)

Antes de analisar os vídeos, faça as simulações dos circuitos A (Figura 10), B (Figura 11) e C (Figura 12) para as medidas com o osciloscópio. Notem que o TinkerCad conta com um osciloscópio muito simples, com apenas um canal, e que permite o ajuste apenas da escala de tempo; o ajuste da escala de tensão é automático. Notem também que a entrada do osciloscópio virtual não é um cabo BNC mas sim dois cabos convencionais, um para sinal e outro para terra. O gerador de funções no TinkerCad permite a escolha do tipo de onda (quadrada, senoidal e triangular) e o ajuste de frequência, amplitude, tensão V_{pp} e

deslocamento CC (ou *offset*). Este parâmetro desloca o sinal medido (adicionando uma tensão V_{CC} ao sinal medido) na tela do osciloscópio, em relação à origem.

A simulação permitirá verificar as ligações feitas e o resultado esperado. Notem que com apenas um canal as tensões em cada ponto devem ser analisadas separadamente. Por exemplo, a Figura 9 mostra o cabo BNC aberto em dois fios, o de sinal (vermelho) e a malha (verde) que é aterrada, e os pontos de medida no circuito, para o caso de um osciloscópio de 2 canais. Este esquema é similar ao usado na simulação; o osciloscópio virtual poderá analisar a tensão entre o ponto A e o terra, ou o ponto B e o terra, conforme mudamos a posição do cabo que liga o osciloscópio ao circuito.

Para se familiarizar com o osciloscópio e o gerador de funções, utilize o TinkerCad para fazer alguns testes:

- Conecte a saída do gerador de funções na entrada do osciloscópio.
- Ajuste o gerador de funções para uma onda senoidal com uma amplitude de pico-a-pico de 1 Vpp e uma frequência de 1kHz.
- Ajuste o intervalo de tempo do osciloscópio para que na tela tenhamos aproximadamente dois ou três períodos. Perceba que o osciloscópio possui 10 divisões no eixo do tempo. Neste momento vocês podem mudar os valores do tempo por divisão para ver o comportamento na tela do sinal do gerador de funções.
- Modifique o valor do *DC offset* e veja o que acontece com o sinal no osciloscópio
- Utilizando o osciloscópio, meça a voltagem de pico-a-pico e calcule a voltagem RMS. Também meça a voltagem máxima e mínima e a voltagem de *offset* que vocês escolheram.

Apesar de ser opcional e poder bonificar o relatório em até 1,0 ponto, recomendamos que os grupos explorem essa rota para um melhor entendimento do experimento.

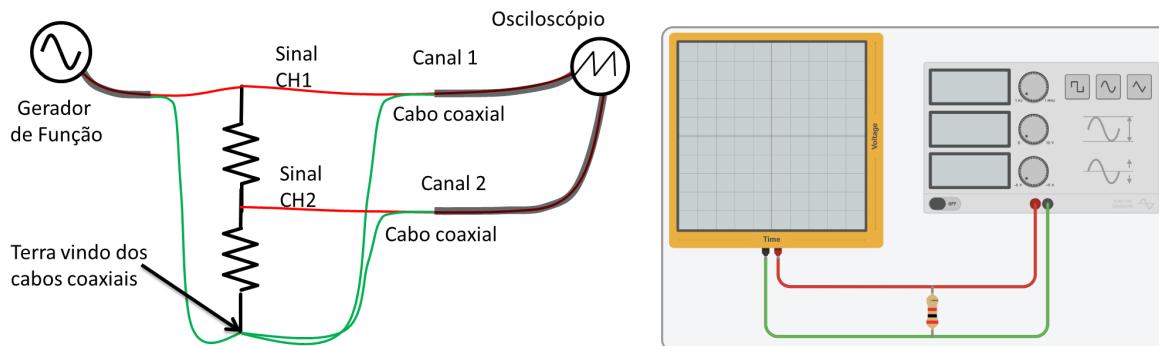


Figura 9: (Esquerda) Divisor de tensão resistivo utilizando o gerador de funções e mostrando o cabo BNC aberto em dois fios (vermelho para sinal, e verde para terra), para cada canal do osciloscópio. (Direita) Montagem no TinkerCad contendo um gerador de função e um osciloscópio mostrando também os dois fios (positivo e negativo).

Material

Osciloscópio digital de dois canais; gerador de funções; multímetro; resistores de $100\ \Omega$, $1\ k\Omega$, e $4,7\ k\Omega$; diodo de Si; diodo emissor de luz (LED); capacitor de $4,7\ nF$.

Vídeo-Experimento

Tratamos aqui de experimentos observacionais (EO). Os objetivos são observar os sinais para as seguintes situações e circuitos: (A) divisor de tensão resistivo, (B) retificador de meia onda, (C) filtro RC e (D) LED. Vamos também comparar alguns resultados com os obtidos com o voltímetro (que será utilizado pela primeira vez em modo AC). Nos circuitos, as medições nos pontos indicados por letras de A até G são feitas com referência ao ponto comum (terra), assim como indicado na Figura 6.

Círcuito 1 [EO]: Divisor de tensão resistivo utilizando o gerador de funções.

No gerador de funções, selecionamos a forma de onda senoidal. Considere o circuito da Figura 10, que traz o mesmo circuito de duas formas diferentes, uma (esquerda) ilustrativa, mostrando os dois fios do cabo coaxial, e outra (direita) com a representação usual para esse tipo de circuito. Ajustamos no gerador de funções a frequência para 100 Hz e a amplitude para 2 V.

O efeito do divisor de tensão pode ser observado comparando o sinal dos pontos A e B. Utilizando o arquivo de dados "circuito_1.html" correspondente, determine a amplitude, frequência, período, Vrms e a voltagem máxima e mínima de ambos os sinais, assim como a diferença de fase entre eles. Compare também com a amplitude obtida com o multímetro.

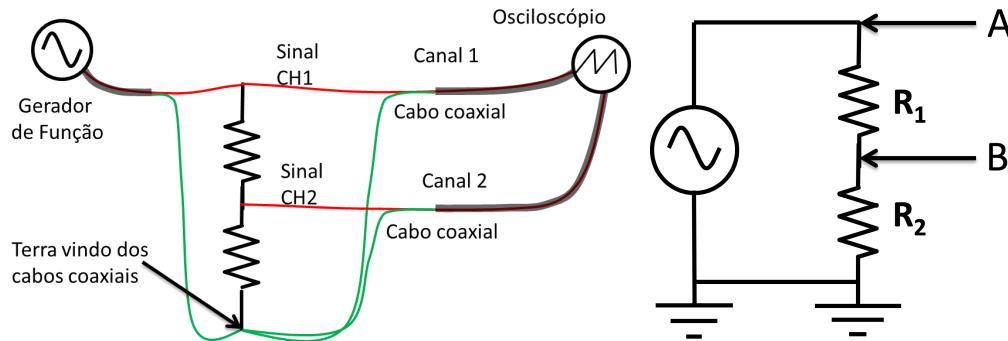


Figura 10: Divisor de tensão resistivo utilizando o gerador de funções.

NOTA: Os circuitos a seguir são basicamente os mesmos: um componente e um resistor e as medidas tomadas no gerador de funções e entre os componentes. Observe isso!

Círcuito 2 [EO]: Retificador de meia onda com diodo de Si.

No circuito da Figura 11, um diodo de Si é usado para permitir passagem de corrente apenas no sentido de polarização direta (um diodo ideal apresentaria resistência elétrica nula para tensão aplicada em um sentido e infinita para tensão aplicada no sentido oposto). Neste caso, a tensão de pico, V_p , deve ser maior que 2 V (tensão acima da tensão para a qual a resistência do diodo se torna bem baixa). A frequência é mantida em 100 Hz.

O efeito do retificador de meia onda pode ser observado comparando o sinal dos pontos C e D. Utilizando o arquivo de dados "circuito_2.html" correspondente, determine a amplitude e frequência de ambos os sinais, e a diferença de fase entre eles.

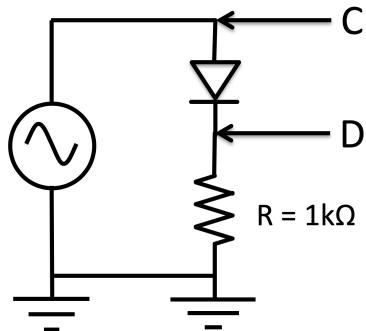


Figura 11: Retificador de meia onda com diodo de Si.

Círculo 3 [EO]: Filtro RC.

No circuito da Figura 12, um capacitor é usado para permitir ‘passagem de corrente’ apenas em alta frequência e bloquear a tensão de baixa frequência. Filtros Resistor-Capacitor (RC) como esse atuam de forma diferente para diferentes frequências.

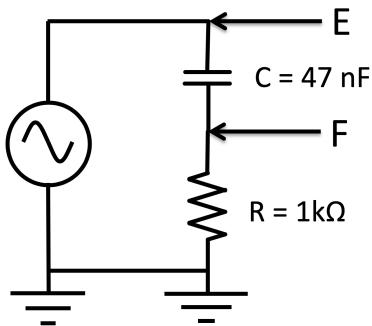


Figura 12: Filtro RC.

O efeito do circuito RC pode ser observado comparando o sinal dos pontos E e F. Utilizando os arquivos de dados ".html"¹ correspondente, determine a amplitude e a frequência de ambos os sinais, assim como a diferença de fase entre eles, para pelo menos 3 frequências apresentadas nos arquivos de dados. Também calcule o Vrms para estes dados. **Atenção:** Ao escolher as frequências, garantam que a maior e a menor frequência estejam separadas por ao menos 4 ordens de grandeza.

Círculo 4 [EO]: LED.

No circuito da Figura 13, utilizaremos um LED (do inglês *Light Emitting Diode*), que é um diodo feito de material capaz de emitir luz de acordo com a tensão a ele aplicada. No circuito, o LED é acionado pela

¹ Para o filtro RC os arquivos de dados estão nomeados de acordo com a frequência nominal usada no gerador. Por exemplo o arquivo "circuito_3_01_freq_3Hz_CH1.csv" refere-se aos dados do "CH1" do "circuito_3" quando sujeito a uma fonte de tensão com frequência de "3Hz".

tensão do gerador de funções. Ajuste a amplitude de tensão no gerador de funções para que a corrente máxima no LED seja de 10 mA.

No vídeo, observe o comportamento da luz emitida pelo LED para diferentes frequências e formatos de onda (quadrada, senoidal e dente-de-serra). A resposta do LED depende do formato de onda? Qual é o impacto da frequência da fonte na luz emitida pelo LED quando o circuito é alimentado por uma onda senoidal?

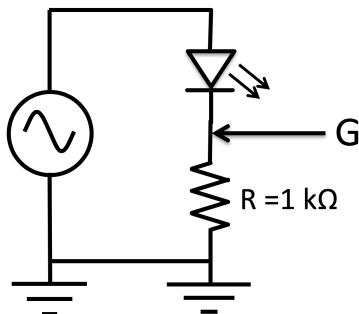


Figura 13: Circuito de um LED acionado por um gerador de funções.

No seu relatório:

1. Descreva o procedimento experimental adotado em cada caso (Circuito 1 ao 4).
2. Quais são as variáveis dependentes e independentes?

Divisor resistivo

3. Utilizando os vídeo-experimento e os respectivos dados obtidos de amplitude, frequência, V_{rms} e diferença de fase, faça uma comparação dos sinais do canal 2 com relação à previsão a partir do canal 1 com o comportamento esperado pelo divisor de tensão para os valores de resistência utilizados no experimento. Também faça uma comparação entre os valores obtidos pelo experimento utilizando o osciloscópio com as medidas obtidas pelo multímetro.
4. Descreva o efeito observado de um divisor de tensão resistivo em uma onda senoidal (considere amplitude, frequência e diferença de fase).

Retificador de meia onda com diodo de Si

5. Utilizando os vídeo-experimento e os respectivos dados obtidos de amplitude, frequência, V_{rms} e diferença de fase, faça uma comparação entre os os dos sinais medidos pelos canais 1 e 2, considerando o que se sabe sobre o diodo de Si. Analise o comportamento observado para o sinal do diodo.
6. Descreva o efeito observado de um retificador de meia onda com diodo de Si (considere amplitude, frequência e diferença de fase).

Filtro RC

7. Utilizando os vídeo-experimento e os respectivos dados obtidos de amplitude, frequência, V_{rms} e diferença de fase, faça uma comparação entre os sinais em função da frequência para o circuito RC. Analise o efeito da frequência no sinal do medido nos dois canais.
8. Descreva o efeito observado de um filtro RC (considere amplitude, frequência e diferença de fase) para as três frequências selecionadas.

LED

9. Utilizando os efeitos observados no vídeo-experimento, analise o efeito da frequência do sinal no comportamento observado do LED. Determine a menor frequência para a qual não é possível perceber que o LED está piscando e o comportamento observado com a frequência.
10. Descreva o efeito observado de um LED alimentado por tensão AC em função da frequência.

Atenção:

- i. Apresente seus resultados numéricos finais organizados em tabelas.
- ii. Em todos os casos é necessário anexar o gráfico pertinente para cada um dos dados necessários para as discussões.

Fontes de Incertezas

Discuta em seu relatório as possíveis fontes de incertezas e como elas afetam os valores experimentais obtidos. Neste experimento, as principais fontes de incerteza a serem consideradas são:

- Incertezas de leitura e calibração do multímetro;
- Digitalização dos dados baixados do osciloscópio (arquivos .html);
- Incerteza de leitura e calibração do osciloscópio;

Para cada uma das fontes citadas acima, avaliar a incerteza associada e combinar com as incertezas pertinentes.

Bibliografia

- [1] D. Halliday, R. Resnick e J Merrill, *Fundamentos de Física*, vol. 3, (Editora LTC, RJ, 1994), cap. 36.

Rubricas de Avaliação do Relatório

O relatório será avaliado segundo os critérios indicados abaixo. Inicialmente, a nota será a média ponderada das rubricas abaixo conforme a nota em cada uma.

Peso	rubrica	Habilidade	Ausente	Inadequada	Precisa melhorar	Adequada
1	B1	Capacidade de identificar o efeito a ser investigado.	O efeito não é mencionado.	A descrição do efeito é confusa ou foge dos pontos de interesse.	O fenômeno é descrito de forma vaga ou incompleta.	O fenômeno a ser investigado é descrito de forma clara.
1	B7	Capacidade de identificar um comportamento nos dados	Não há tentativa de observar um padrão	O padrão descrito é incorreto, irrelevante ou não é consistente com os dados	O padrão discutido tem pequenos erros ou omissões ou falta de clareza.	O padrão descrito é muito relevante com relação aos dados
1	G2	Capacidade de avaliar como as incertezas afetam os resultados	Incertezas experimentais não são avaliadas	Há uma avaliação das incertezas, mas na maior parte a avaliação está ausente, vaga ou incorreta.	A avaliação de incertezas não é feita corretamente até o resultado final.	As incertezas são avaliadas adequadamente até o resultado final.
2	G4	Capacidade de registrar e representar os resultados.	Dados, tabelas e/ou gráficos ausentes ou incompreensíveis.	Alguns dados, tabelas e/ou gráficos estão ausentes ou difíceis de compreender.	Todos os gráficos, tabelas e/ou dados pedidos estão presentes, mas alguns não estão claros.	Todos os dados, tabelas e/ou gráficos estão presentes e claros.
2	G5	Capacidade de analisar os dados adequadamente.	Os resultados não são analisados.	Há uma tentativa de análise, mas apresenta defeitos sérios ou é inadequada.	A análise seria adequada se não fosse por pequenos erros ou omissões.	A análise é completa, adequada e inclui incertezas.
2	F2	Capacidade de comunicar o tema e descobertas do experimento de forma clara e completa.	Nenhuma discussão sobre o tema e as descobertas do experimento estão presentes.	O experimento e as descobertas são discutidos, mas vagamente. Não há reflexão e conclusão sobre a qualidade dos achados.	O experimento e as descobertas são comunicados, mas a reflexão e conclusão final são inadequadas ou incoerentes.	O experimento e as descobertas são discutidos com clareza. Há uma reflexão sobre a qualidade e conclusão final dos achados.

A nota poderá ser alterada posteriormente (sempre limitada entre 0 e 10 pontos) segundo os fatores indicados na tabela abaixo

a.	Discussões solicitadas não foram realizadas	Reducir a nota em até 1,0 ponto.
b.	Uso incorreto de algarismos significativos Incertezas tem um ou dois algarismos significativos.	Reducir a nota em até 1,0 ponto.
c.	Relatório com mais de 5 páginas	Reducir a nota em até 1,0 ponto.
d.	Simulações online	Bonificação de até 1,0 ponto na nota.