

ANÁLISE COMPARATIVA DE CIRCUITOS RLC COM ELEMENTOS EM SÉRIE E EM PARALELO PARA FINS DE PROJETO, ATRAVÉS DOS VALORES DE TENSÃO DE SAÍDA.

Jordânia Marinho Pereira, Edwin Luize Ferreira Barreto

Resumo: O estudo da eletricidade é de extrema importância para a análise de circuitos elétricos, bem como do comportamento dos elementos que são utilizados nos mesmos, dentre eles temos resistores, capacitores e indutores, que funcionam a partir da passagem de corrente elétrica em seus terminais. Dependendo da forma como forem conectados também podem funcionar como filtros passa-faixa ou rejeita-faixa. Este trabalho visa analisar circuitos *RLC*, em corrente alternada (CA), com elementos em série e em paralelo, através dos valores de tensão de saída teóricos e simulados. O objeto de estudo é trazer os resultados calculados, baseando-se nos conceitos das leis de Ohm e de Kirchhoff para resolução de circuitos. É apresentado também uma comparação entre os valores calculados e simulados em um programa computacional, o *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*, para fins de confirmação de dados, além de mostrar a veracidade e a forma correta de obtenção dos valores finais, que precisam apresentar uma boa concordância entre si. Uma vez realizado o estudo, foi feita uma análise de possíveis fontes de erros, que podem ter provocado quaisquer diferenças entre os resultados finais obtidos tanto dos cálculos feitos, quanto do valor encontrado na simulação.

Palavras-chave: Circuito RLC. Eletricidade. Análise. Simulação.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais é impossível imaginarmos um mundo sem eletricidade, pois é de extrema importância em nossas vidas. Desde a descoberta da eletricidade por Tales de Mileto, no século VI a.C., muitos cientistas estudaram a eletricidade e desta forma contribuíram para muitas informações a respeito do tema. Podemos citar Georg Simon Ohm, André-Marie Ampère, Henry Hertz, Michael Faraday, dentre outros. Destas explorações surgiram muitos equipamentos que são utilizados atualmente, como, por exemplo, resistores, indutores e capacitores, que são os mais usuais e funcionam através da passagem de corrente elétrica em seus terminais. [1] Os equipamentos citados podem ser conectados de diversas formas dentro de um circuito elétrico ou eletrônico.

Este estudo tem por objetivo descrever e analisar o comportamento de circuitos *RLC*, em corrente alternada (AC), com associação em série e em paralelo, através dos valores de tensão de saída relacionados aos valores dos elementos utilizados. Para isso, serão apresentados os resultados teóricos e os circuitos equivalentes, e também os valores obtidos da análise à resposta gráfica a partir do uso de um software de simulação de circuitos elétricos, o *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*. Esses dados são comparados para poder comprovar a veracidade dos resultados que se deseja obter, onde os mesmos precisam estar o mais próximo possível, o que é viável para efeitos de projetos. Mesmo com a utilização do software os resultados que forem encontrados são passíveis de erros, visto que existem diversos fatores que influenciam nos valores finais obtidos e não dependem do controle humano para ter exatidão máxima e 100% confiável. Os circuitos *RLC* são circuitos elétricos e como infere na própria sigla de referência, são compostos por Resistores (R), Indutores (L) e Capacitores (C), que podem ser conectados em série ou em paralelo de acordo com a finalidade do projeto, e ligados ou não a uma fonte de tensão. Quando há uma fonte de tensão alternada no circuito, teremos neste sistema uma resposta forçada.

Como o sinal é alternado, as tensões e correntes variam em função de determinado parâmetro, geralmente relacionado com o tempo. A forma de onda que é mostrada nos gráficos desse tipo de sinal, corresponde a uma senoide, que é uma curva matemática que descreve uma oscilação repetitiva suave, sendo esta uma onda contínua, e representa a função seno.[2] As ondas senoidais por serem de fácil modelo matemático, são uma das formas mais comuns de onda elétrica ou eletrônica. O parâmetro que define o valor da tensão máxima é a amplitude máxima dessa onda, ou seja, o pico positivo da mesma.

O objeto de estudo é trazer os resultados calculados, baseando-se nos conceitos da lei de Ohm para o cálculo

da corrente e da tensão. Mas para analisar circuitos elétricos somente a lei de Ohm não é suficiente, onde precisam ser associadas as leis de Kirchhoff, que é embasada pela lei dos nós e a lei das malhas, formando um conjunto de ferramentas indispensáveis que permite analisar variados circuitos [5]. As abordagens matemáticas feitas com base no sistema recorrente, ou seja, onde o sinal da fonte de tensão varia com o tempo, traz operações com números complexos para o cálculo das impedâncias relacionadas a cada componente usado. Os números complexos são compostos por uma parte real e uma parte imaginária. Em Eletricidade, a parte real é relacionada com a resistência, enquanto a parte imaginária é associada com a reatância indutiva e capacitiva. Em um circuito de tensão alternada, do tipo *RLC*, os estudos só podem ser feitos após serem realizados os cálculos da reatância indutiva e capacitiva, contudo, as propriedades básicas de um circuito em série ou em paralelo que contém tais elementos combinados não sofrem modificações, mas geralmente os equipamentos elétricos são ligados em paralelo aos terminais de uma fonte de tensão alternada [2].

Com todos os cálculos feitos obtém-se o resultado da simulação gráfica a ser realizada, podendo-se inferir se os resultados são muito próximos e dentro do esperado, já que os valores dos cálculos possuem erros de arredondamento e os dados computacionais também são passíveis de erros, fazendo com que haja uma diferença, mesmo que muito pequena, entre os dados obtidos. Logo, o software é uma ótima ferramenta para ser utilizada como fonte de comparação de dados e construção de circuitos elétricos para fins de projeto, garantindo uma alternativa a mais para os estudos de circuitos e componentes elétricos nas universidades. O estudo e análise desses circuitos é de fundamental importância na formação de um engenheiro, principalmente do engenheiro eletricitista.

Na Seção 2 veremos o que são os circuitos elétricos e como é feita a associação dos componentes em série e em paralelo, sabendo as características predominantes de cada um e em quais aspectos irá interferir a forma de associação que for utilizada. Além dos parâmetros relacionados com uso de corrente alternada que são de extrema importância na eletricidade e resolução de circuitos elétricos.

2. CIRCUITOS ELÉTRICOS

Um circuito é um caminho fechado composto por um conjunto de dispositivos de funções diferentes. Esses dispositivos são conectados através de fios condutores e ligados à uma fonte de tensão elétrica. Dentre vários tipos de elementos podem ser citados resistores, capacitores, indutores, geradores, etc., que são os mais usuais e mais comuns no meio acadêmico. A ligação entre eles através de fios condutores, permite a passagem de cargas elétricas que são geradas pela diferença de potencial elétrico que é produzida pela fonte de tensão [3].

Os elementos que compõem um circuito elétrico possuem comportamentos e funções diferentes e são conectados de acordo com o objetivo proposto pelo projeto.

Os resistores são caracterizados pela capacidade de oposição à passagem de corrente elétrica e dissipam energia elétrica em forma de energia térmica, ou seja, na forma de calor. Tal fenômeno é conhecido como Efeito Joule, que ocorre devido às colisões entre as cargas e gera uma elevação de sua temperatura.

Os capacitores tem a característica de armazenar energia quando submetido à uma diferença de potencial, e também servem para que haja uma estabilização do fluxo de elétrons no circuito. Já o indutor tem a função de armazenar energia na forma de campo magnético e liberando-a novamente para o circuito, além de poder ser utilizado em filtros que eliminam sinais em alta frequência.

Já os geradores transformam várias formas de energia em energia elétrica, pois os mesmos provocam uma diferença de potencial entre os terminais do circuito, permitindo a passagem de corrente. Podem ser citados as pilhas, baterias e tomadas. [3]

Dependendo da quantidade e forma de organização desses componentes, os circuitos podem ser classificados com associação em série, em paralelo e misto que é a junção dos dois tipos anteriores.

2.1. UMA ABORDAGEM GERAL AOS CIRCUITOS EM SÉRIE

No circuito elétrico em série, como o próprio nome já diz, um circuito com duas ou mais cargas, são organizados em série uma com a outra, portanto, ligadas em sequência. Nessa classificação há apenas um caminho para o fluxo da corrente elétrica, logo são obtidos valores iguais em todos os componentes presentes, enquanto a tensão é diferente em cada ponto, tendo que a tensão diminui à medida que a corrente passa por cada elemento. Logo, corrente e tensão se comportam de maneiras diferentes sobre as cargas que compõem o circuito. Isso deve-se ao fato que segundo a primeira Lei de Ohm, a resistência é diretamente proporcional à tensão, ou seja, quanto maior a resistência, maior será a tensão, enquanto a corrente permanecerá constante.

Na associação em série todas as cargas, no caso do circuito *RLC*, todas as impedâncias são somadas. No circuito *RLC* os cálculos para cada carga baseiam-se no conceito de impedância, que é uma função da resistência, capacitância e indutância. É a capacidade que um circuito possui de resistir a um determinado fluxo de elétrons, quando submetido à uma tensão em seus terminais. É possível medi-la em qualquer componente de um circuito em corrente alternada. Sabendo que capacitores e indutores armazenam energia e se opõem ao

sentido da corrente, tem-se que esta oposição é chamada de reatância, podendo ela ser indutiva (X_L) ou capacitiva (X_C). O significado de impedância pode ser entendido ao aplicar à lei de Ohm. Onde a corrente (I), em Ampère (A), é proporcional à tensão (V), em Volts (V) e dividida pela impedância (Z), em Ohms (Ω) [3].

$$I = \frac{V}{Z} \quad (1)$$

$$V = Z \cdot I \quad (2)$$

A impedância é representada pela letra Z e possui o seguinte formato:

$$Z = R \pm jX \quad (3)$$

onde R é o componente real composto pela resistência e j o componente imaginário: $\sqrt{-1}$, que é associado as reatâncias indutiva e/ou capacitiva. A partir dessa composição é preciso ter um breve conhecimento sobre números complexos. Mas, basicamente em um plano cartesiano, a parte real que representa a resistência, fica localizada no eixo das abscissas, a parte imaginária que representa indutância e capacitância fica localizada no eixo das ordenadas e θ representa o ângulo de fase que é visto na forma polar de representar um número complexo. Todos os conceitos citados acima são demonstrados no gráfico de diagrama fasorial mostrado na Figura 1 abaixo.

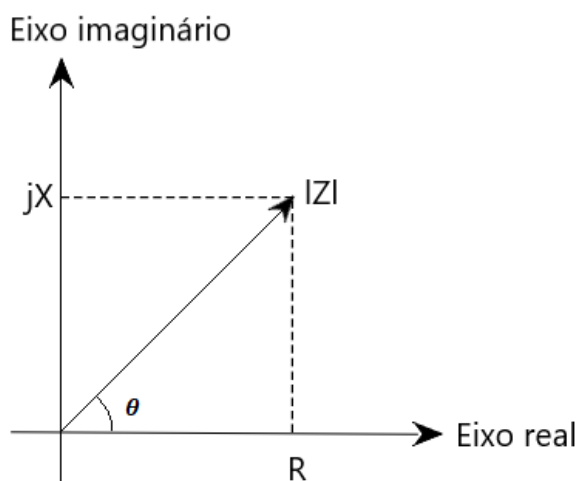


Figura1. Diagrama fasorial. Fonte: Autoria própria.

Para obter o valor da impedância equivalente, que é a soma das impedâncias do sistema, é preciso calcular a reatância indutiva e capacitiva através das seguintes equações:

$$X_L = \omega \cdot L \quad (\omega = 2\pi f) \quad (4)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (5)$$

onde ω é a velocidade angular, medida em rad./s, que corresponde ao número de oscilações ou ondas por segundo que ocorre na corrente elétrica alternada, na qual uma rotação completa de 2π radianos corresponde a um ciclo. Ao multiplica-lo pela frequência f , medida em Hertz, o resultado ficará em radianos por segundo. E a frequência que geralmente é usada nos sistemas elétricos é de 60Hz , em que o valor de pico de tensão da rede elétrica varia sessenta vezes em um segundo entre o pico positivo e o negativo da onda [4].

Outro fator que interfere na impedância é a fase. Para lidar com formas de ondas senoidais e os circuitos associados a elas, é usado o método dos fasores. Os fasores são baseados nas propriedades dos números complexos e representam as senoides. Um fasor é um número complexo na forma polar, ao qual representa a fase, ou seja, o ângulo de defasagem e a magnitude de circuitos excitados por fontes senoidais. Sua representação é da seguinte forma mostrada a seguir nas Equações (6) e (7), onde θ é o ângulo de defasagem [5].

$$V = V_m \angle \theta \quad (6)$$

$$I = I_m \angle \theta \quad (7)$$

A impedância equivalente para circuitos em série é calculada pela equação abaixo:

$$Z_{Eq} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n \quad (8)$$

Então, com os cálculos das impedâncias de cada elemento, basta aplicar a lei de Ohm para circuitos em AC, dado pela Equação (1), calcular a corrente no circuito com o valor da tensão de entrada e concluir o cálculo da tensão de saída, por exemplo, que é o objetivo deste trabalho.

Os valores de tensão usados é o valor de pico, ou seja, o valor máximo que a tensão pode chegar. Desde o valor usado na tensão de entrada no sistema, foi adotado que o mesmo seria o valor de pico.

Existe também o valor eficaz, também denominado RMS (“*Root Mean Square*”), que representa um valor constante. A tensão eficaz pode ser matematicamente obtida dividindo-se a tensão de pico pela raiz quadrada de 2. Logo,

$$V_{rms} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Neste trabalho não iremos utilizar o valor em RMS, apenas o valor de pico.

2.2. UMA ABORDAGEM GERAL AOS CIRCUITOS EM PARALELO

No circuito em paralelo todos os conceitos de impedância, fasor e lei de Ohm é análogo ao da associação em série. A diferença é que na associação em paralelo, há pelo menos dois caminhos em que a corrente pode fluir. Ou seja, todos os componentes são submetidos à mesma tensão e a corrente que flui é diferente em cada ramo do circuito [3].

Para calcular a impedância equivalente no sistema em paralelo, basta fazer associação entre os elementos para que o circuito seja reduzido ao máximo tornando simples a obtenção do valor esperado.

A impedância equivalente para circuitos com associação em paralelo é calculada pela Equação (10) mostrada abaixo:

$$\frac{1}{Z_{Eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n} \quad (10)$$

A partir daí pode ser feito o cálculo da tensão de saída através da Equação (2).

Na Seção 3 será mostrado todo o passo a passo para obtenção dos resultados finais pretendidos.

3. METODOLOGIA

3.1. CÁLCULO DA TENSÃO DE SAÍDA PARA OS CIRCUITOS PROPOSTOS

Foram atribuídos valores iguais para todos os elementos dos circuitos, para que seja possível analisar os dois de forma igual e concisa. Vale ressaltar que os componentes selecionados no estudo são referentes a valores comerciais e consiste em uma aproximação do valor real calculado para fins de projetos reais. Sabendo de todo o embasamento teórico referentes aos componentes e fatores que podem influenciar em um circuito elétrico, é possível fazer os cálculos para os dois circuitos que serão estudados no projeto. E, com o resultado da simulação que será realizada posteriormente poder estudar de forma analítica os valores encontrados.

3.1.1. CIRCUITO EM SÉRIE

No circuito *RLC*, mostrado na Figura 2 abaixo, foram atribuídos valores para o resistor (*R1*), indutor (*L1*) e

capacitor ($C1$), com valores que podem ser encontrados no mercado, além do valor para a tensão de entrada ($V1$). O circuito está sendo analisado em corrente alternada (AC) como dito anteriormente, pois o objetivo é observar o comportamento da onda e posteriormente encontrar o valor de pico da tensão de saída do sistema na simulação com o software usado, o *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*.

Para obter os cálculos da tensão de saída para o circuito com associação em série dos elementos propostos, também é preciso fazer o cálculo da reatância indutiva (X_L) e capacitiva (X_C), através das Equações (4) e (5), respectivamente. O valor da tensão de saída foi medido entre os terminais do resistor, que coincide com os terminais de saída do circuito.

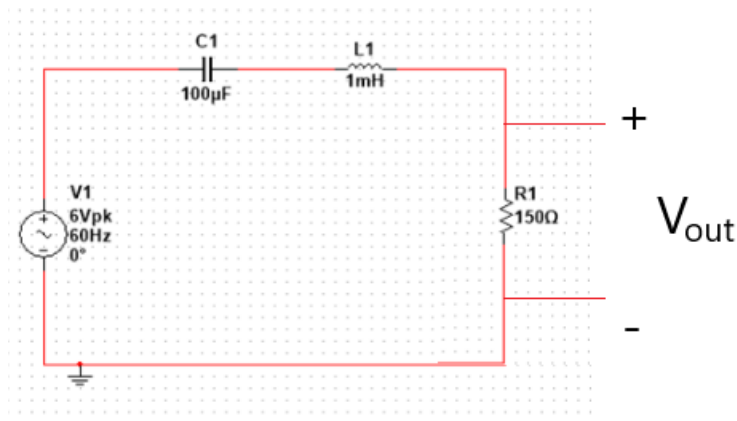


Figura 2. Circuito com associação em série. Fonte: Autoria própria.

Então tem-se que:

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot (1 \cdot 10^{-3})\text{H}$$

$$X_L = 0,377 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot (100 \cdot 10^{-6})\text{F}}$$

$$X_C = 26,526 \Omega$$

Logo, colocando os valores encontrados no formato que representa a impedância em cada componente, tem-se:

$$Z_R = 150 + j0 \Omega$$

$$Z_L = 0 + j0,377 \Omega$$

$$Z_C = 0 - j26,526 \Omega$$

$$Z_{\text{equivalente}} = Z_R + Z_L + Z_C$$

$$Z_{\text{equivalente}} = 150 - j26,149 \Omega$$

Todos esses valores acima estão na forma retangular, portanto o valor da impedância equivalente na forma polar é:

$$Z_{\text{equivalente}} = 152,262 \Omega \angle -9,889^\circ$$

A partir daí é feito o cálculo da corrente, pelos princípios da lei de Ohm para circuitos em corrente alternada.

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{6 \text{ V } \angle 0^\circ}{152,262 \Omega \angle -9,889^\circ}$$

$$I_R = 0,039 \text{ A } \angle 9,889^\circ$$

E, por fim, o cálculo da tensão de saída do sistema, com a medição feita entre os terminais do Resistor, que coincide com os terminais de saída do circuito.

$$V_R = Z_R \cdot I_R$$

$$V_R = (150 \Omega \angle 0^\circ) \cdot (0,039 \text{ A } \angle 9,889^\circ)$$

$$V_R = 5,911 \text{ V } \angle 9,889^\circ$$

3.1.2. CIRCUITO EM PARALELO

Analogamente ao circuito anterior, e com os mesmos valores atribuídos, no sistema com associação em paralelo, mostrado na Figura 3 abaixo, também é feito o cálculo da tensão de saída do sistema. Os elementos também foram chamados de (R1), (L1), (C1) e (V1), respectivamente, e, foram nomeados igualmente aos do circuito anterior, visto que os componentes são os mesmos, mas com L1 e C1 conectados agora em paralelo. O valor para a tensão de saída foi medido também entre os terminais de saída do resistor, pela mesma razão mencionada no circuito anterior.

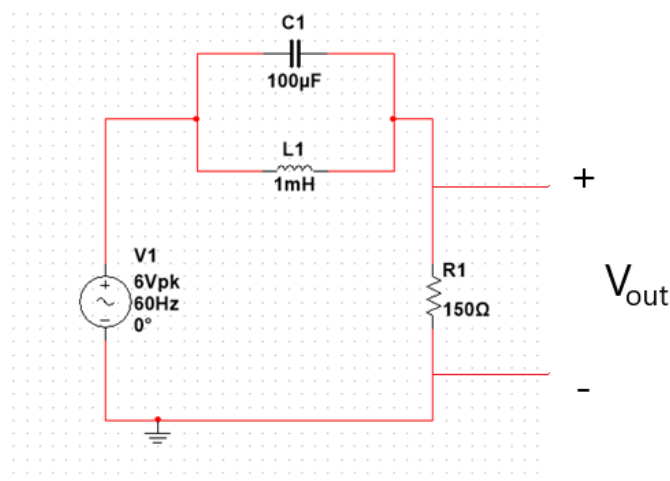


Figura 3. Circuito com associação em paralelo. Fonte: Autoria própria.

Então temos:

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot (1 \cdot 10^{-3})\text{H}$$

$$X_L = 0,377 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot (100 \cdot 10^{-6})}$$

$$X_C = 26,526 \Omega$$

Logo,

$$Z_R = 150 + j0 \, \Omega$$

$$Z_L = 0 + j0,377 \, \Omega$$

$$Z_C = 0 - j26,526 \, \Omega$$

No caso dos circuitos com associação em paralelo, para obter o cálculo da impedância equivalente, é preciso fazer o cálculo em das impedâncias em paralelo.

Onde Z_L e Z_C resulta em uma impedância comum aos dois componentes.

Sendo assim, tem-se que:

$$Z_1 = \frac{Z_L \cdot Z_C}{Z_L + Z_C}$$

$$Z_1 = \frac{(0 + j0,377) \cdot (0 - j26,526)}{(0 + j0,377) + (0 - j26,526)}$$

$$Z_1 = \frac{(0 + j0,377) \cdot (0 - j26,526)}{0 - j26,149}$$

$$Z_1 = \frac{(0,377 \angle 90^\circ) \cdot (26,526 \angle -90^\circ)}{26,149 \angle -90^\circ}$$

$$Z_1 = \frac{9,999 \angle 0^\circ}{26,149 \angle -90^\circ}$$

$$Z_1 = 0,382 \, \Omega \angle 90^\circ$$

ou

$$Z_1 = 0 + j0,382 \, \Omega$$

Portanto, a impedância equivalente para o circuito estudado será a soma de Z_1 que agora é um valor conhecido, com Z_R que é a impedância no resistor.

Logo, tem-se que:

$$Z_{equivalente} = Z_1 + Z_R$$

$$Z_{equivalente} = (0 + j0,382) + (150 + j0)$$

$$Z_{equivalente} = 150 + j0,382 \, \Omega$$

Ou

$$Z_{equivalente} = 150 \, \Omega \angle 0,15^\circ$$

Cálculo da corrente:

$$I = \frac{V}{Z_{equivalente}}$$

$$I = \frac{6 \, V \angle 0^\circ}{150 \, \Omega \angle 0,15^\circ}$$

$$I_R = 0,04 \, A \angle -0,15^\circ$$

Conhecendo o valor da corrente, é possível calcular a tensão de saída do sistema.

Sendo assim, tem-se que:

$$V_R = Z_R \cdot I_R$$

$$V_R = (150 \, \Omega \angle 0^\circ) \cdot (0,04 \, A \angle -0,15^\circ)$$

$$V_R = 6V \angle -0,15^\circ$$

4. SIMULAÇÕES DOS CIRCUITOS PROPOSTOS

As simulações foram feitas através do software computacional, o *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*, que permite análises com resultados bem precisos, portanto de confiança para a análise pretendida no estudo. As simulações permitem testar diferentes técnicas sem a necessidade de interromper o projeto real, o que torna mais acessível a compreensão de possíveis erros, assim como um acesso mais descomplicado a modificações em fase de construção de projetos reais.

4.1. CIRCUITO EM SÉRIE

A Figura 4 mostrada abaixo, traz o gráfico da simulação feita no *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*, para a associação em série. Os valores mostrados na parte de baixo do gráfico podem ser regulados para que seja obtido o melhor comportamento, dentro do que se espera observar em cada projeto. Por exemplo, a escala usada foi de 5 Volts por divisão (V/Div.), pois foi observado na construção e testes feitos em cada circuito, que com esta escala a visualização do movimento das ondas senoidais se adequaria a oscilação associada a frequência atribuída ao projeto. O polo A que foi conectado ao circuito. Os outros dados não importam para a análise feita, portanto não precisam ser modificados. A seta indica a localização da tensão de pico que foi medida na simulação. Além disso, a análise é feita em corrente alternada como destacado na imagem.

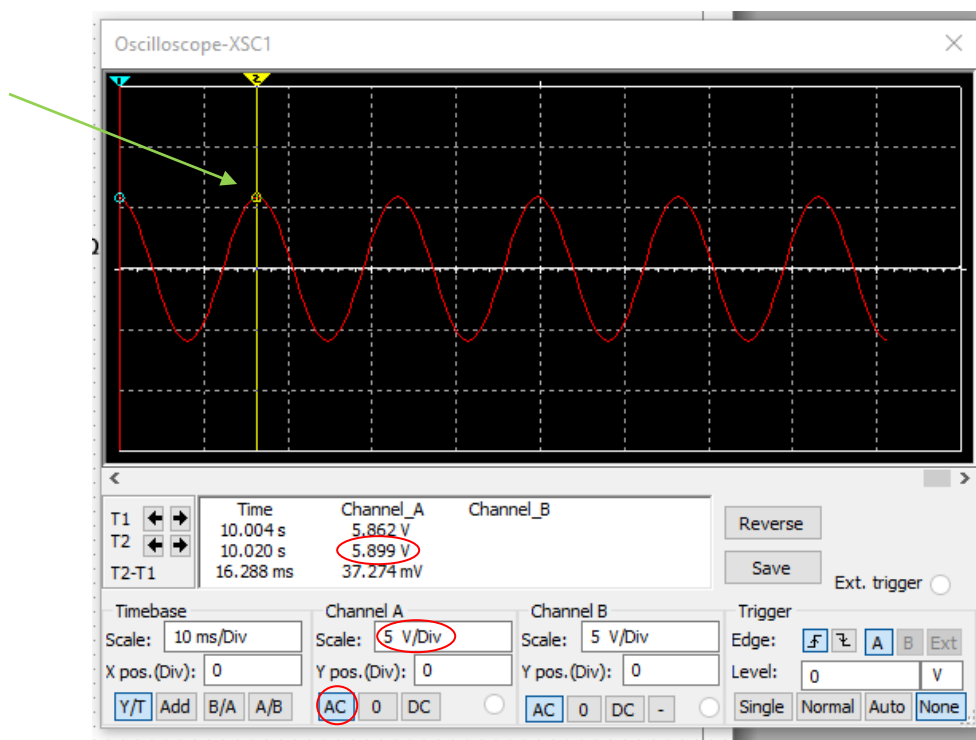


Figura 4. Simulação para o circuito em série. Fonte: Autoria própria.

Para a simulação obtida do circuito, utilizou-se um osciloscópio contido no próprio programa. O equipamento mostra o comportamento da tensão de saída no sistema, que é medida entre os terminais localizados próximos ao resistor que também são os terminais comuns de saída do circuito. Tendo conhecido os valores de todos os componentes, é possível auferir os gráficos que dispõem de dados que são indispensáveis para diversas análises e conclusões ao seu respeito. Neste trabalho, o que foi observado foi a tensão de saída do mesmo que foi compatível com os valores encontrados calculados manualmente.

Abaixo, na Figura 5, está disponível a imagem com uma visão mais ampla, portanto, mais completa da simulação feita.

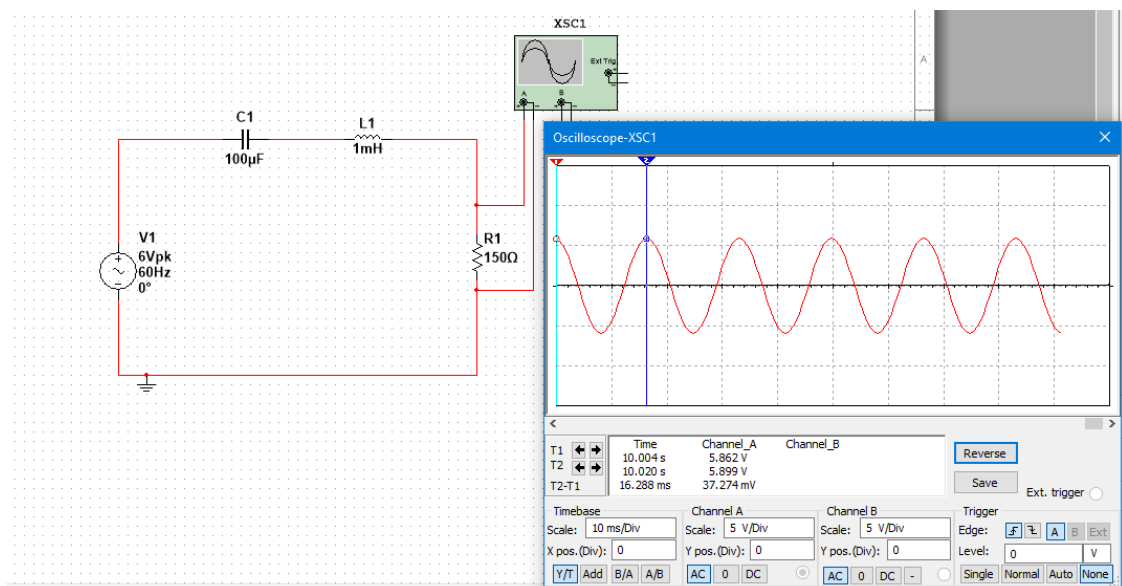


Figura 5. Simulação completa do circuito em série. Fonte: Autoria própria.

4.2. CIRCUITO EM PARALELO

Os meios de obtenção dos dados na simulação para o circuito em paralelo, foram os mesmos usados para o circuito anterior, ao qual são mostrados na Figura 6. E da mesma forma foi encontrado o valor da tensão de saída para o mesmo. Em corrente alternada e analogamente ao circuito anterior, foi atribuída uma escala de 5 (V/div).

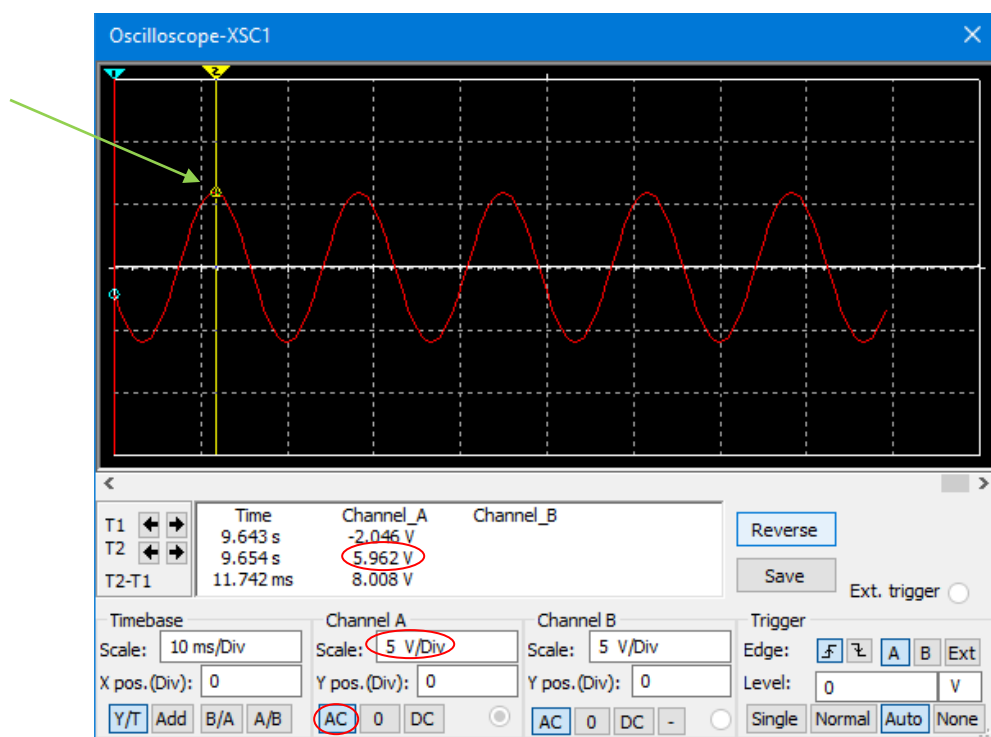


Figura 6. Simulação para o circuito em paralelo. Fonte: Autoria própria.

Da mesma forma, na Figura 7 mostra como foi obtido um gráfico mais amplo onde é possível visualizar com mais clareza os passos feitos e o local de medição da tensão.

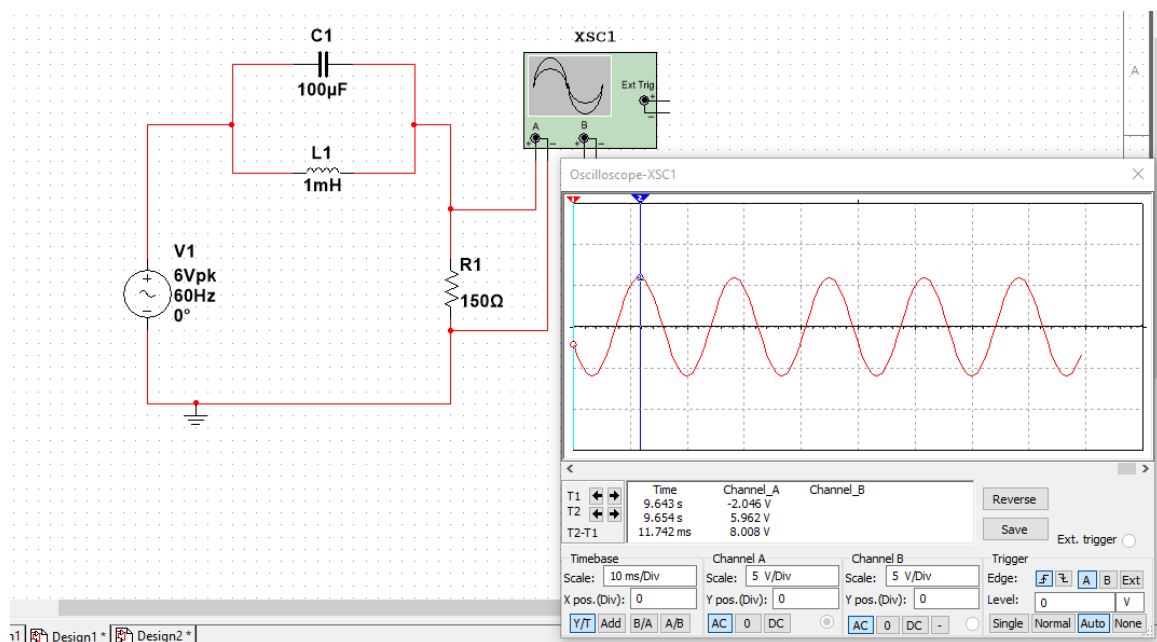


Figura 7. Simulação completa do circuito em paralelo. Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A realização de cada simulação foi de extrema importância na análise, contribuindo para a clareza dos resultados buscados em cada situação. Mesmo que os cálculos sejam feitos com cuidado e utilizando o maior número possível de casas decimais da calculadora, não há garantia exata que os valores comparados iriam ser iguais. Geralmente não é, pois até mesmo nos dados obtidos da simulação devem ser considerados erros que podem ter relação com a perda de carga no sistema, principalmente quando há a presença de resistores. Os resistores dissipam energia em forma de calor como já mencionado anteriormente, e a possível perda de carga pode estar relacionada a presença do elemento.

Em todos os passos dos cálculos foi tido o cuidado e atenção para que a diferença entre essa comparação fosse a mínima. Outra coisa que pôde ser observada foi que independente da associação ser feita em série ou em paralelo, não interferiu nos resultados da tensão de saída, que foram praticamente iguais ao valor da tensão de entrada que é a mesma para os dois tipos de sistema. Os circuitos usados no estudo têm a mesma característica de conexão para a construção de filtros passivos, nesse caso de filtros passa-faixa para o circuito onde o indutor e o capacitor estão em série e rejeita-faixa para o circuito com o capacitor e indutor em paralelo.

De acordo com a frequência atribuída aos circuitos usados neste estudo, não houve diferença significativa na diferença de potencial, pois o indutor e capacitor não consomem potência ativa, ou seja, a energia que realiza Trabalho no sistema. Para ocorrer uma diferença de potencial maior seria necessário utilizar valores de frequência maiores que 60Hz e ver como seria o comportamento da onda em cada situação. Nos casos propostos apenas para comparação e coerência dos resultados, os valores também não foram passivos de mudança na tensão de saída encontrados, visto que, nos filtros o sistema precisa ter uma carga predominantemente indutiva e valores diferentes da frequência de 60Hz que é a padrão e utilizada nos sistemas elétricos.

O *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)* traz uma vasta quantidade de possibilidades de se construir circuitos com grande precisão nos resultados, se usado da forma correta. Pois possui uma quantidade muito grande de equipamentos que são utilizados em circuitos de sistemas reais. Podendo facilitar o entendimento de cada ligação que se deseje construir, bem como verificar situações que ainda não são conhecidas, mas que seja instrumento de estudo em relação aos comportamentos inesperados de algum componente ou sistema.

O objetivo esperado com o estudo e análise dos dois sistemas propostos foi satisfatório, pois os resultados foram muito próximos, mostrando que a resolução foi feita de forma correta e baseada em todos os conceitos de eletricidade e de circuitos elétricos, diferindo apenas nas últimas casas decimais, com erros que podem ser considerados desprezíveis para o projeto em questão, mas dependendo da finalidade devem ser considerados.

Na Tabela 1 abaixo estão todos os resultados finais obtidos, bem como os erros associados a cada circuito usado, onde (T) refere-se aos resultados teóricos e (S) refere-se aos resultados da simulação, não sendo considerados limites de aceitação desses erros para a análise abordada neste estudo.

Tabela 1 – Resultados obtidos no projeto e erros relacionados. Fonte: Autoria própria.

CIRCUITO	RESULTADO TEÓRICO DA TENSÃO (V)	RESULTADO SIMULADO DA TENSÃO (V)	ERRO ABSOLUTO	ERRO RELATIVO	%
SÉRIE	5,911	5,899	T 0,089	T 0,015	T 1,50
			S 0,101	S 0,017	S 1,68
PARALELO	6,000	5,962	T 0,000	T 0,000	T 0,00
			S 0,038	S 0,006	S 0,63

De acordo com os dados da Tabela 1 é possível ver que mesmo os valores teóricos e simulados estando muito próximos, ainda assim há um percentual de erro associado. E dependendo da finalidade e objetivo de cada projeto, deve-se analisar se o percentual de erro é aceitável ou não.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste trabalho, depreende-se que o software de programação de circuitos elétricos pode servir como uma ferramenta importante de estudo para sistemas de corrente alternada, onde é possível analisar o comportamento de cada componente utilizado, bem como fazer diversas adaptações que sejam atrativas com o objetivo pretendido com os mesmos. Essas modificações servem como objeto de estudo para outro tipo de pesquisa posterior a essa e que envolva a análise de aumento ou diminuição da frequência para observar o comportamento da onda, ver quais as interferências causadas e em que podem ser aplicadas, com o uso atribuído à construção de circuitos.

A análise e comparação dos dados encontrados nas duas situações usadas foram coerentes com o esperado, assim como percebeu-se que para análises mais elaboradas a frequência é um parâmetro significativo e que a sua modificação acarreta em comportamentos específicos para os sistemas elétricos. Concluindo que o software de programação de circuitos elétricos usado, o *Multisim VS.11 National Instruments (Estudante)*, é uma boa alternativa para fins de projetos acadêmicos com mais praticidade na elaboração dos sistemas para estudos e mostrar o comportamento de sistemas reais.

REFERÊNCIAS

- [1] NOGUEIRA, Mariana. **Circuitos Elétricos modelados por equações diferenciais especiais**, 2018.
- [2] Silva Filho, Matheus Teodoro da. **Fundamentos de eletricidade**. Rio de Janeiro. LTC, 2013.
- [3] YOUNG, Hugh D. FREEDMAN, Roger A. Freedman, **Física III: Eletromagnetismo**, 12^a ed. São Paulo: Pearson, 2009.
- [4] MUSSOI, Fernando. **Resposta em frequência. Filtros Passivos**. Centro federal de educação tecnológica de Santa Catarina. Gerência educacional de eletrônica. Florianópolis, edição 1.0, Julho. 2004
- [5] BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12^a ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2012.
- [6] SANTOS, Manoel Lucas. **Análise de circuito elétrico RLC de segunda ordem**. Trabalho de conclusão de curso, 2017.2.