Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica
Circuitos Elétricos II

UFPB

Relatório: Simulador de circuitos com entrada .txt

Gabriel Martins Raposo de Alencar (20190029338)
, João Guilherme Sales de Oliveira (20190034570)

João Pessoa - PB
Dezembro de 2021

Sumário

1 Introdução

Neste experimento será aplicado o conteúdo da $4^{\underline{a}}$ unidade da disciplina de circuitos elétricos 2: O método dos nós. Sabe-se que a partir da aplicação direta da lei de Kirchoff das tensões e das correntes, pode-se desenvolver o teorema de tellegen, por consequência, se consegue partir do circuito analisado realizar uma análise de seus ramos, nós, fontes independentes e impedâncias gerando matrizes características do circuito, e criando um modelo matemático geral para análise de qualquer circuito a partir de uma entrada genérica. Dessa forma, o conhecimento e aplicação desse conhecimento se mostra imprescindível para o entendimento do cálculo computacional que os simuladores utilizam para a execução de simulações de circuitos genéricos.Dessa forma, a construção de uma ferramenta deste tipo pode ser utilizada para o entedimento do procedimento matemática do método dos nós e, para isso, pode-se utilziar softwres ou lignuagens de programaçao genéricas. Um ambiente de programação comumente utilizado é o do matlab pela simplicidade de operações matemáticas necessárias para tais cálculos, como a transformada de laplace direta e inversa.

1.1 Método dos Nós

O método dos nós é amplamente utilizado para a determinação de tensões e correntes em circuitos genéricos utilizando um procedimento matemático de multiplicação de matrizes, sendo embasado na lei de kirchoff das correntes. A seguir, é descrito o seu procedimento matemático.

1.1.1 Matriz de Incidência

O primeiro passo para a aplicação do método dos nós em um circuito é a determinação da matriz de incidência do circuito, cuja notação é A. Essa matriz é feita para todos os ramos do circuito, sendo feita por número de nós x número de ramos. Os nós em determinado ramo (coluna) que saem do nó recebem o elemento 1 e o nó que recebe recebe o elemento -1, completando os demais elementos com zero. Abaixo, na figura 01, é possível ver um exemplo de uma matriz de incidência para um dado circuito.

$$A = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 & +1 & 0 & +1 \\ -1 & +1 & 0 & 0 & +1 & 0 \\ 0 & -1 & +1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

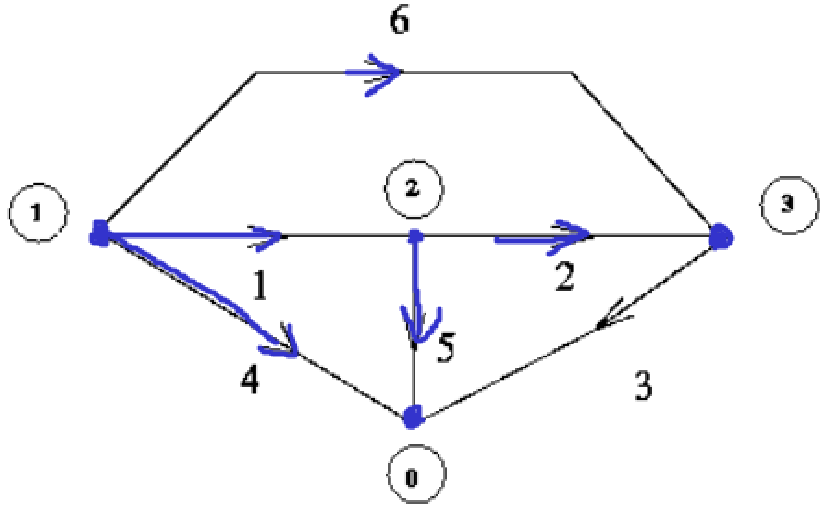

Figura 1: Exemplo de montagem de uma matriz de admitância A para um dado circuito.

1.1.2 Matriz de Admitância

A matriz de admitância é necessária ao cálculo da matriz de impedância de nó, sendo de simples obtenção. Isto é, basta conhecer-se as impedâncias equivalentes de ramo e inverter todos os termos individualmente para obter a matriz de admitância de ramo. Abaixo, é possível ver um exemplo para a obtenção desta matriz.

$$Y_b(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & sC_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{sL_6} \end{bmatrix}$$

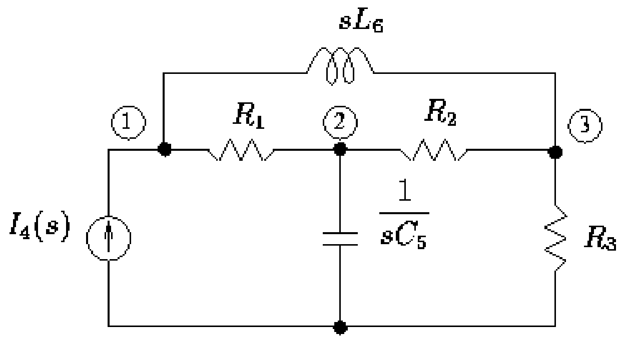

Figura 2: Exemplo da montagem da matriz de admitância de um circuito.

1.1.3 Cálculos do método dos nós

A partir dessas matrizes básicas apresentadas, juntamente com as matrizes de tensão e corrente dos ramos, é possível realizar procedimentos matemáticos de modo a obter as tensões e correntes de um circuito genérico. Abaixo, são apresentadas essas operações. - Obtenção de Is:

$$I_s = Y_n e \tag{1}$$

Sendo Y_e a matriz das admitâncias de nó definida por:

$$Y_n = AYA^T \tag{2}$$

E I_s a matriz das fontes de correntes definida por:

$$I_s = -AJ_s + AYV_s \tag{3}$$

Assim, pode-se calcular as tensões nos nós e as tensões nos ramos. Primeiramente, vamos ao cálculo das Tensões de Nó:

E = $(inv(Y_n))I_s$

Cálculo da Tensão de ramo:

V = $A^T E$

Por fim é possível calcular a corrente nos Ramos:

J = $J_s + YV - YV_s$

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é apresentar a construção de uma ferramenta de cálculos de tensões e correntes em circuitos a partir de uma entrada em um arquivo de texto .txt, utilizanod-se a linguagem de programação MatLab e comparando os resultados obtidos entre si com o simulador Qucs (simulador SPICE), de modo a validar as questões realizadas pelo programa.

2 Materiais

Para a realização do projeto, utilizamos os seguintes materiais e instrumentos:

- Software Matlab;
- Software QUCS(simulador SPICE de circuitos elétricos);

3 Metodologia Experimental

Nessa seção será descrito de forma detalhada e objetiva todos os procedimentos e etapas do projeto realizado. A primeira parte do projeto consistiu no entendimento do circuito 1 e desenvolvimento do gráfico no resistor de 1Ohm no regime transitório e permanente. O circuito é demonstrado a seguir:

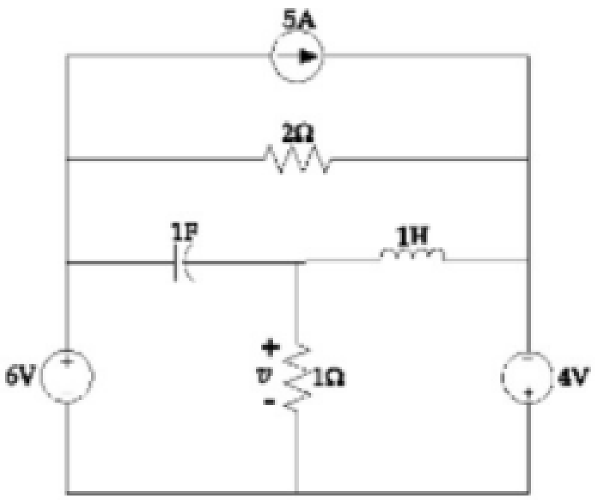

Figura 3: Circuito da questão 1.

Nesse circuito, era evidente que possuíamos fontes independentes em ramos sozinhos, o que não deve acontecer, dessa forma, era necessário que ocorresse uma realocação dessas fontes, de forma a não prejudicar o circuito original. Nesse sentido, as equações dos nós entre suas fontes deveriam permanecer as mesmas, para isto, realocamos o circuito da forma a seguir e determinamos então seus ramos e seus nós(a figura foi gerada no simulador QUCS):

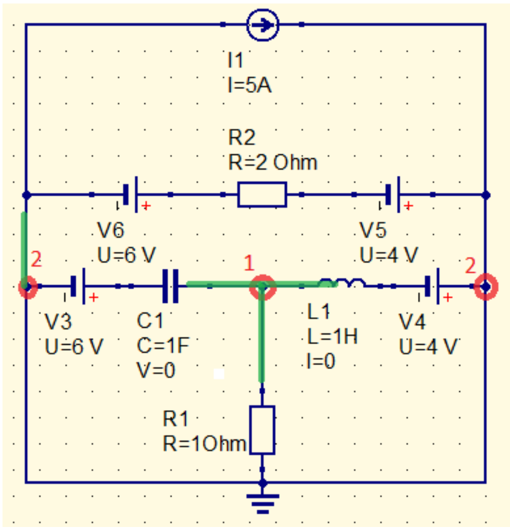

Figura 4: Circuito analisado com ramos e nós definidos

Assim, considerando as condições iniciais nulas, podíamos gerar nossa tabela de entrada para o código que foi desenvolvido no software do matlab, a tabela fica representada a seguir:

Ramo	Nó Saída	Nó chegada	R(Ohm)	L(H)	i0(A)	C(F)	v0(V)	Vin(V)	Iin(A)
1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
2	1	2	0	1	0	0	0	-4	0
3	1	2	0	0	0	1	0	6	0
4	2	2	2	0	0	0	0	-10	5

Tabela 1: Tabela de entrada para laplace

Em um segundo momento, foi possível analisar o seguinte circuito a seguir no regime permanente senoidal, considerando também as condições iniciais nulas, $v(t) = 10cos(5t)$ e era requisitado a tensão no capacitor:

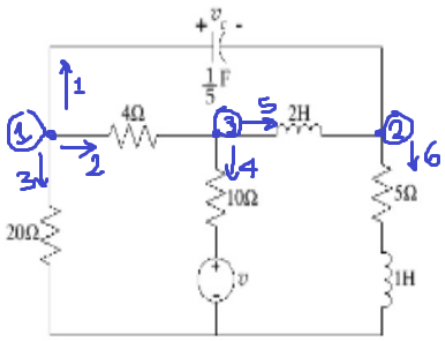

Figura 5: Circuito da questão 2.

Assim, considerando as condições iniciais nulas e sem ter as adversidades enfrentadas na primeira questão, podíamos gerar nossa tabela de entrada para o código que foi desenvolvido no software do matlab, a tabela fica representada a seguir:

Ramo	Nó Saída	Nó chegada	R(Ohm)	L(H)	i0(A)	C(F)	v0(V)	Vin(V)	Iin(A)
1	1	2	0	0	0	0.2	0	0	0
2	1	3	4	0	0	0	0	0	0
3	1	4	20	0	0	0	0	0	0
4	3	4	10	0	0	0	0	10cos(5t)	0
5	3	2	0	2	0	0	0	0	0
6	2	4	5	1	0	0	0	0	0

Tabela 2: Tabela de entrada para o regime senoidal

4 Resultados e Discussões

4.1 Questão 1

Dessa forma, a partir dos valores obtidos na tabela (1), por inspeção, pode-se obter o valor da tensão no resistor de 1 Ohm, que é a mesma no nó 1, utilizando o método dos nós, pela seguinte equação:

$$I_s = Y_n e \tag{4}$$

Sendo Y_e a matriz das admitâncias de nó definida por:

$$Y_n = AYA^T \tag{5}$$

E I_s a matriz das fontes de correntes definida por:

$$I_s = -AJ_s + AYV_s \tag{6}$$

Nesse sentido, tendo a aplicação da tabela no código podemos encontrar primeiramente nossa matriz completa de incidência, após definirmos essa matriz pelos nós de entrada e saída, podemos retirar a ultima linha e ficamos com a matriz de incidência reduzida A. Posteriormente realizamos a transposta dessa matriz reduzida e ficamos com:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} A^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Assim, levamos todo o circuito para laplace e podíamos então gerar a matriz diagonal Y das impedâncias equivalentes nos ramos:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Uma vez calculada a matriz de admitância de Ramo, precisa-se separar os vetores de fontes independentes de tensão e de corrente de modo a termos informações para calcular o Is. Dessa forma, pudemos então determinar Vs e Js.

$$V_s = \begin{bmatrix} 0 \\ -4/s \\ 6/s \\ -10/s \end{bmatrix} J_s = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5/s \end{bmatrix}$$

Com tais matrizes obtidas podemos agora calcular Y_n e I_s. Para a matriz de admitância no nó ficamos:

$$Y_n = s + 1/s + 1$$

$$I_s = -4/s^2$$

Nesse ponto, calculamos as tensões nos nós e as tensões nos ramos, primeiramente cálculo das Tensões de Nó:

E $= (inv(Y_n))I_s$

Cálculo da Tensão de ramo:

V $= A^T E$

Por fim era possível calcular a corrente nos Ramos:

J $= J_s + YV - YV_s$

Nesse ponto, com todos os valores obtidos ainda estavamos em laplace, precisávamos realizar a transformada e voltar para o domínio do tempo, com isto feito foi possível encontrar a tensão no resistor de 1Ohm como requisitado pela questão, bastava apenas ver a tensão no nó 1. O gráfico abaixo ilustra a tensão ao longo do tempo no instante zero até o regime permanente.

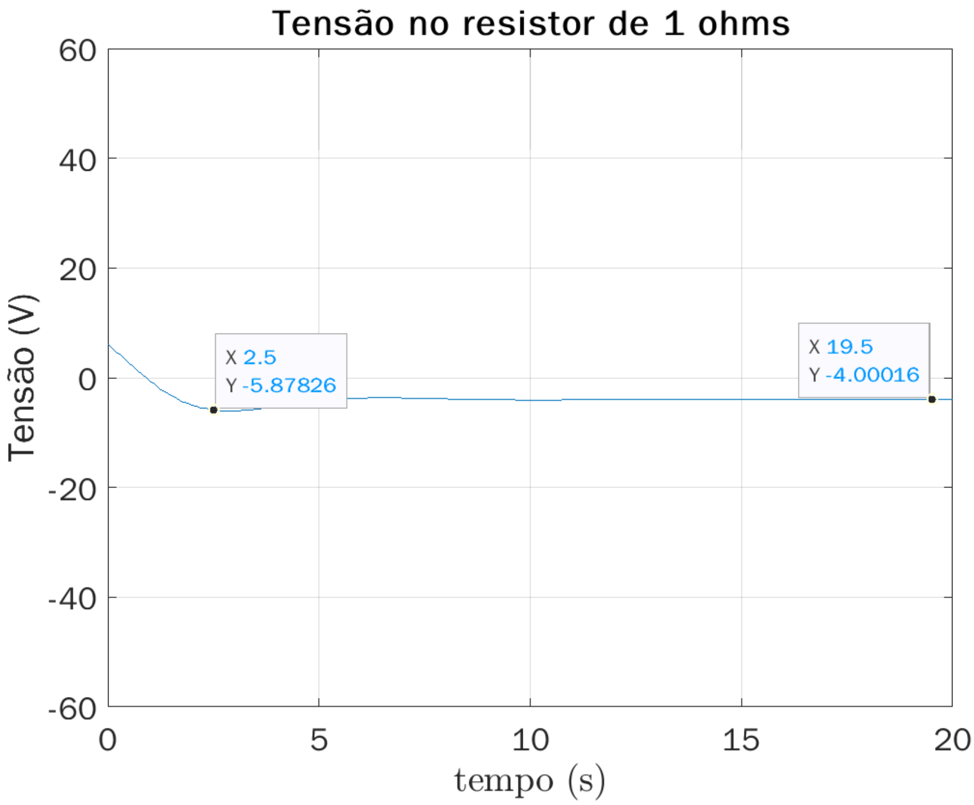

Figura 6: Tensão no resistor de 1Ω pelo matlab

Para ter a certeza que o resultado obtido foi o ideal, pudemos simular esse circuito no simulador QUCS e verificar o gráfico e a tabela, tendo certeza de que os resultados obtidos estavam coerentes:

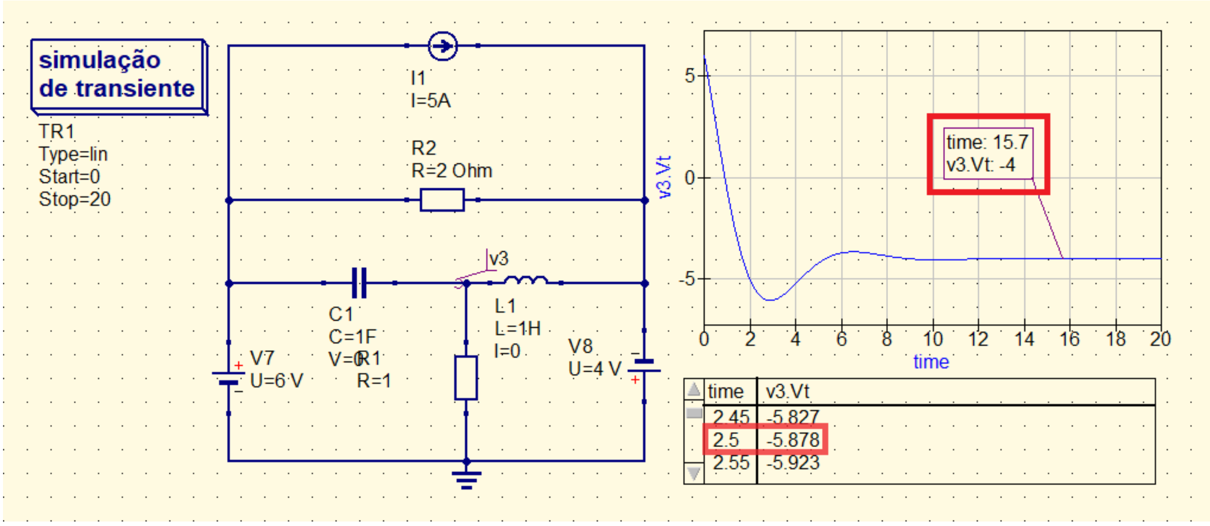

Figura 7: Tensão no resistor de 1Ω pela simulação

Percebemos então que a tensão no resistor para um regime permanente é de -4V. No ponto de 2.5 segundos ele atinge -5.878V como demonstrado no simulador e esse valor bate com o resultado obtido também pelo matlab.

4.2 Questão 2 e 3

Em um segundo momento, era necessário analisar o segundo circuito no regime permanente senoidal, analisando a tensão no capacitor de 1/5F e como era requisitado na questão 3, analisar o fasor, utilizando do mesmo método anterior. Assim, foram feitas apenas algumas alterações no código e pudemos fazer a implementação de uma nova entrada demonstrada pela tabela (2).

Inicialmente, precisávamos definir a matriz de incidência, verificando os nós de entrada e saída, posteriormente sua matriz reduzida e a transposta, assim ficamos com:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} A^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Assim, levamos todo o circuito para laplace e podíamos então gerar a matriz diagonal Y das impedâncias equivalentes nos ramos:

$$Y = \begin{bmatrix} s/5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/(s+5) \end{bmatrix}$$

Assim, com a matriz de admitância de Ramo calculada, precisa-se separar os vetores de fontes independentes de tensão e de corrente de modo a termos informações para calcular o Is. Dessa forma, pudemos então determinar Vs, sabendo que a matriz Js será composta apenas por zeros, por não haver fonte de corrente independente no circuito.

$$V_s = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ (10s)/(s^2+25) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Com tais matrizes obtidas podemos agora calcular Y_n e I_s. Utilizando as equações abaixo:

$$Y_n = AYA^T$$

$$I_s = -AJ_s + AYV_s$$

Nesse ponto, calculamos as tensões nos nós e as tensões nos ramos, primeiramente cálculo das Tensões de Nó:

E $= (inv(Y_n))I_s$

Cálculo da Tensão de ramo:

V $= A^T E$

Por fim era possível calcular a corrente nos Ramos:

J $= J_s + YV - YV_s$

Nesse ponto, com todos os valores obtidos ainda estavamos em laplace, precisávamos realizar a transformada e voltar para o domínio do tempo, com isto feito foi possível encontrar a tensão no capacitor de 1/5F como requisitado pela questão, bastava apenas ver a tensão no ramo 1. O gráfico abaixo ilustra a tensão ao longo do tempo no instante zero até o regime permanente.

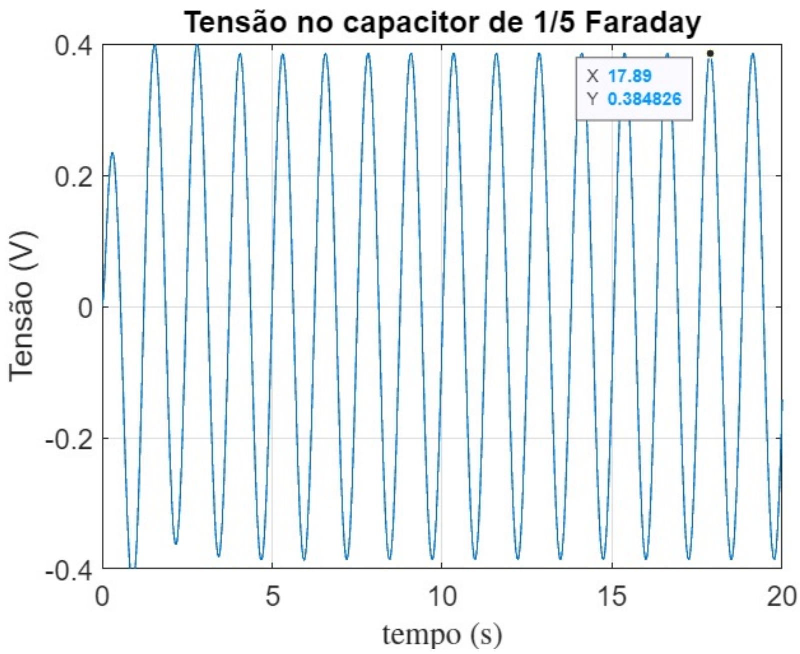

Figura 8: Tensão no capacitor $1/5F$ pelo matlab

Para ter a certeza que o resultado obtido foi o ideal, pudemos simular esse circuito no simulador QUCS e verificar o gráfico e a tabela, tendo certeza de que os resultados obtidos estavam coerentes:

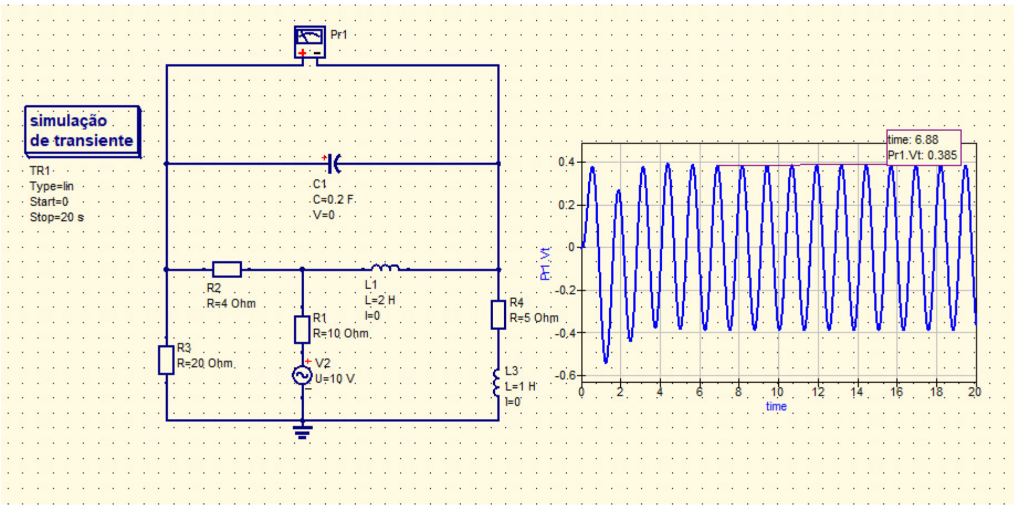

Figura 9: Tensão no capacitor 1/5F pela simulação por Laplace - código1.

Percebemos então que a tensão no capacitor para um regime permanente é de 0.385V de pico. Como demonstrado no simulador o valor bate com o resultado obtido também pelo código produzido pela equipe no matlab.

Por fim, a fim de comparar-se os resultados com o código 2 em regime permamente senoidal, utilizou-se um arquivo de entrada semelhante com o aditivo para a entrada da fonte cossenoidal. A partir disso, o procedimento seguido é o mesmo, com a mudança de que trabalha-se com fasores (números complexos) em forma cartesiana, de modo aos cálculos das impedâncias e das entradas, representado-os em números complexos. Assim, adaptou-se as equações para o regime permanente senoidal. Assim, obteve-se as seguintes matrizes de admitância e de tensões de entrada Vs.

$$Y = \begin{bmatrix} j & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1-0.1j \end{bmatrix}$$

$$V_s = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A partir disso, realiza-se os mesmo cálculos mostrados anteriormente para a obtenção das matrizes E, V e J, com as tensões de nó, tensões de ramo e correntes de ramo, respectivamente. E uma vez feito esse procedimento, calcula-se o módulo e fase de cada elemente dessas matrizes utilizando a função abs() e angle() do próprio matlab, e plota-se o resultado, o qual é mostrado na figura a seguir.

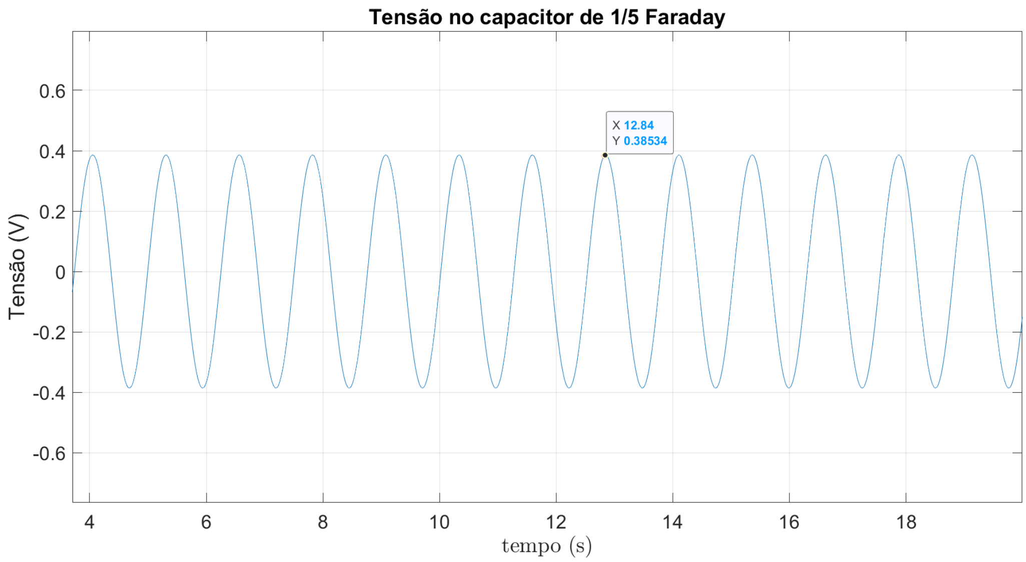

Figura 10: Tensão no capacitor 1/5F pela simulação no regime permanente senoidal - código2.

5 Conclusão

A partir dos procedimentos e simulações apresentadas, portanto, pode-se observar a eficiência e praticidade da utilização do método dos nós para a obtençao da tensão e corrente em circuitos genéricos. Por outro lado, nota-se a complexidade empregada na criação de um simulador de circuitos, tendo em vista que ele deve ser capaz de lidar com a inserção de ramos e nós não lineares (fontes independentes).Além disso, percebeu-se um problema no método dos nós em circuitos utilizando laplace: o tempo de cálculo, dependendo do circuito. Assim, para um número muito elevado de pontos de análise esse método se torna lento, especialmente na aplicação da transformada de laplace inversa; apesar disso, quando utiliza-se o regime permamente senoidal, os resultados foram mostrados de forma extremamente rápida. Por fim, ressalta-se a conveniência da utilização do matlab para a realização dos cálculos, permitindo que os resultados apresentados pudessem ser feitos através de uma plotagem simples, além do fato das variáveis simbólicas auxiliarem bastante nos cálculos em laplace e na transformada inversa, as quais ja possuem módulos prontos para tal.

Referências

[1] DA COSTA, V. M. Circuitos Elétricos Lineares: Enfoque Teórico e Prático. EditoraInterciância, 2013.

[2] NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A; MARQUES, Arlete Simille. Circuitos elétricos. 8.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 574p. ISBN: 9788576051596..