

Universidade de São Paulo

Instituto de Física de São Carlos

Exercício 3 (SEL0602)

Luís Filipe Silva Forti - 14592348

Julho, 2024

- Resolução Analítica

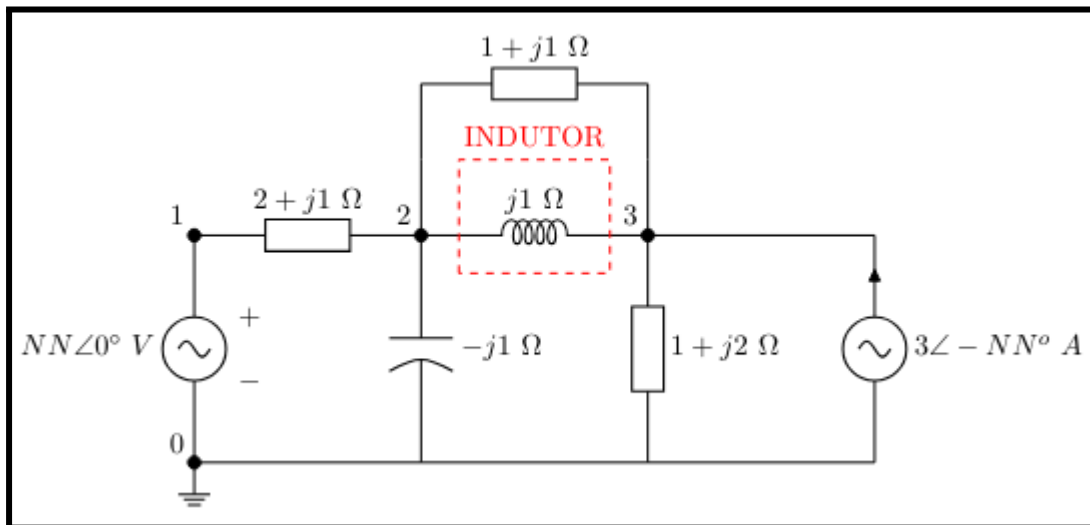


Imagem 1: Circuito utilizado para a análise teórica

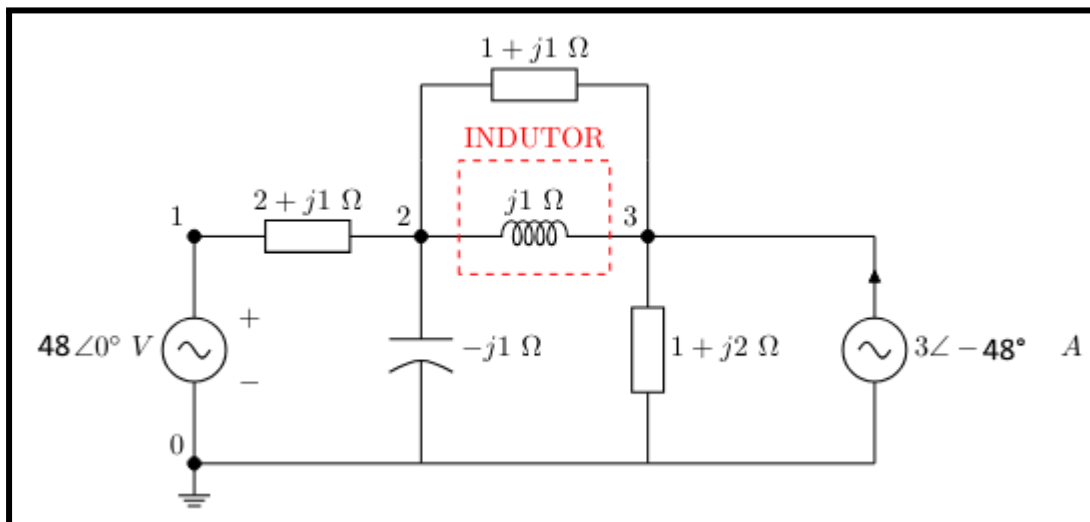


Imagem 2: Circuito utilizado para a análise teórica com as fontes adaptadas

Para os cálculos, foi usado $NN = 48 \text{ (V)}$. A forma fasorial descreve cossenos, então também foi necessário somar 90° na fase de ambas as fontes.

Para calcular a Z_{Th} , trocou-se a fonte de tensão por um curto-circuito e a fonte de corrente por um circuito aberto, assim conseguindo dois componentes em paralelo ($2 + j1$ e $-j1$). Ao uni-los eles ficaram em série com o componente de $1 + j2$ que, somados, ficaram em paralelo com o último componente de $1 + j1$. Fazendo os cálculos, obtém-se $Z_{Th} = 0,6098 + j0,5122$, que pode ser descrito por um resistor e um indutor.

Para calcular V_{Th} , o nó do ponto 2 da imagem 2 foi nomeado de A e, o nó do ponto 3, de B. Por análise nodal, obtém-se:

- No nó A:

$$\circ \frac{A-48\angle 0^\circ}{2+j} + \frac{A}{-j} + \frac{A-B}{1+j} = 0$$

- No nó B:

$$\circ \frac{B-A}{1+j} + \frac{B}{1+2j} - 3\angle -48^\circ = 0$$

- V_{Th} :

$$\circ V_{Th} = A - B$$

Por fim, para calcular I_N , basta utilizar os resultados obtidos anteriormente

$$\circ I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$

Realizando as contas, obtém-se:

- $Z_{Th} = 0,6098 + 0,5122j \text{ (}\Omega\text{)} = 0,7963 \angle 40,0303^\circ$
- $A = 8,332 - 28,095j \text{ (V)} = 29,3045 \angle -73,481^\circ = 29,3045 * \sin(2t + 16,519^\circ)$
- $B = 9,9126 - 16,459j \text{ (V)} = 19,2135 \angle -58,941^\circ = 19,2135 * \sin(2t + 31,059^\circ)$
- $V_{Th} = -1,5806 - 11,636j \text{ (V)} = 11,7429 \angle -97,736^\circ = 11,7429 * \sin(2t - 7,736^\circ)$
- $I_N = -10,9173 - 9,9117j \text{ (A)} = 14,7455 \angle -137,76^\circ = 14,7455 * \sin(2t - 47,76^\circ)$

Usando estes valores, obtém-se o circuito equivalente da figura abaixo:

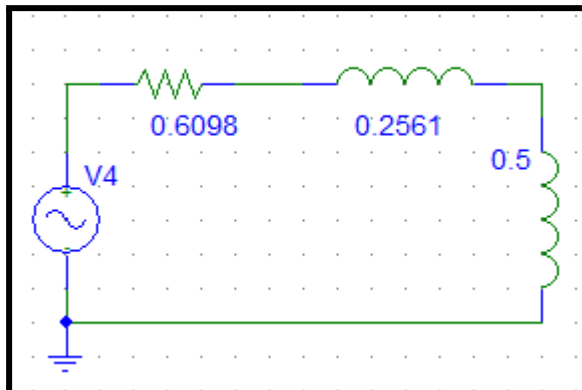


Imagem 3: Circuito equivalente de Thevenin

Com este novo circuito, pode-se calcular a tensão e a corrente no indutor de 0,5H pelas equações:

- I_2 :

$$\circ I_2 = \frac{V_{Th}}{0,6098+0,5122j+1j} = \frac{V_{Th}}{0,6098+1,5122j}$$

- V_2 :

$$\circ V_2 = I_2 * R_{Th} \frac{B-A}{1+j} + \frac{B}{1+2j} - 3\angle -48^\circ = 0$$

Realizando as contas, obtém-se:

- $I_2 = -6,981 - 1,7699j \text{ (A)} = 7,2019 \angle -165,8^\circ = 7,2019 * \sin(2t - 75,8^\circ) = 7,2019 * \sin(2t - 1.323 \text{ rad})$
- $V_2 = 1,7699 - 6,981j \text{ (V)} = 7,2019 \angle -75,77^\circ = 7,2019 * \sin(2t + 14,23^\circ) = 7,2019 * \sin(2t + 0.24836 \text{ rad})$

- Simulação no PSPICE

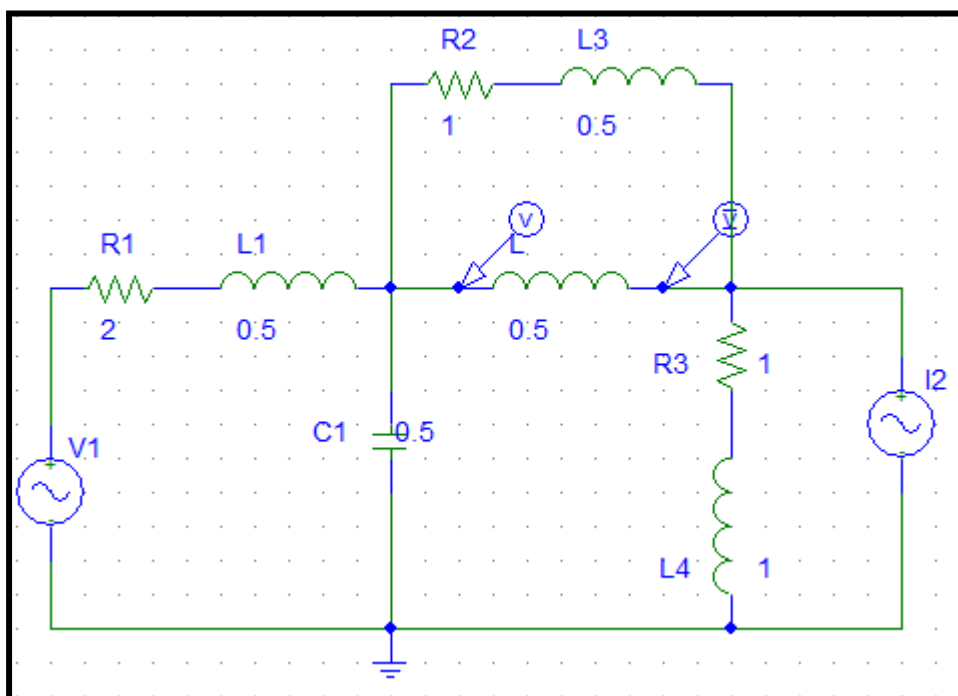


Imagem 4: circuito simulado no PSPICE

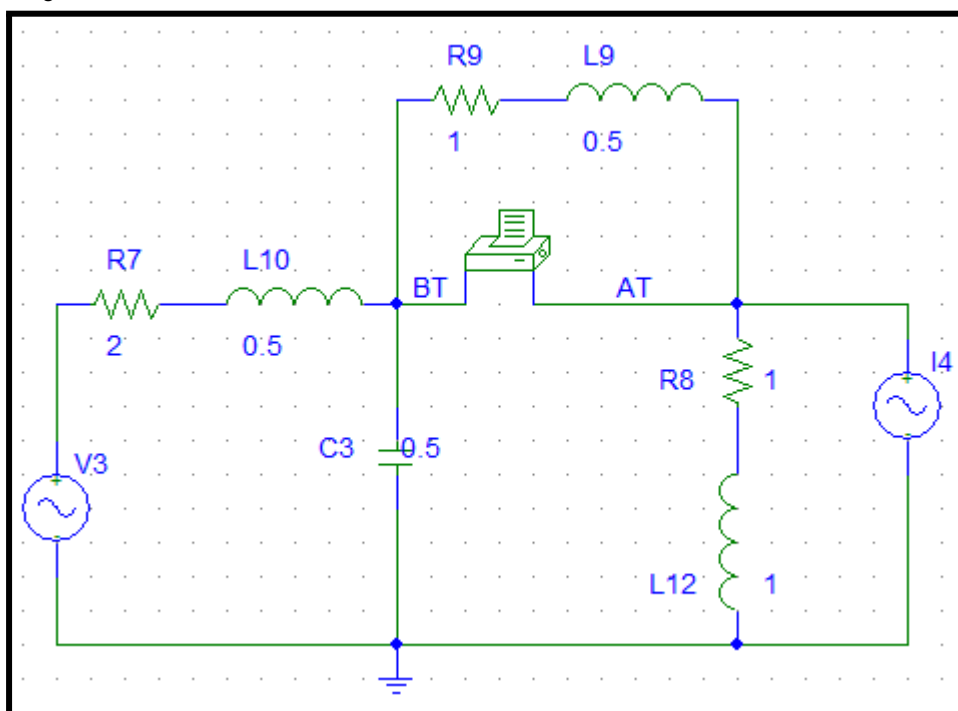


Imagem 5: circuito para V_{Th}

FREQ	VM(BT,AT)	VP(BT,AT)
3.180E-01	8.075E+00	-7.411E+01

Imagem 6: resultado de V_{Th} no arquivo .out gerado pelo PSPICE

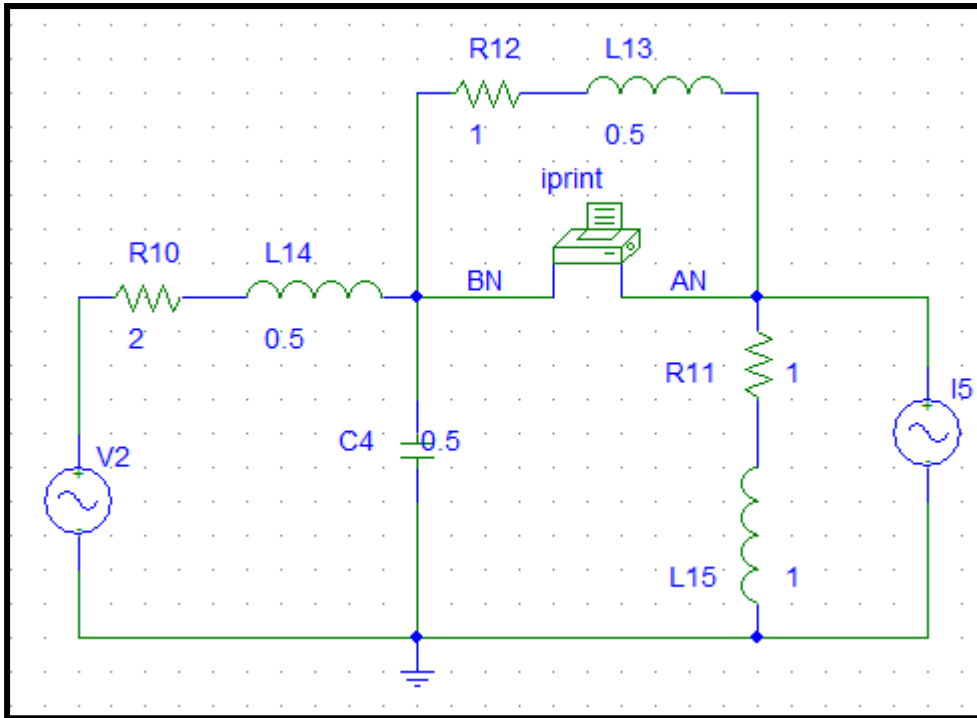
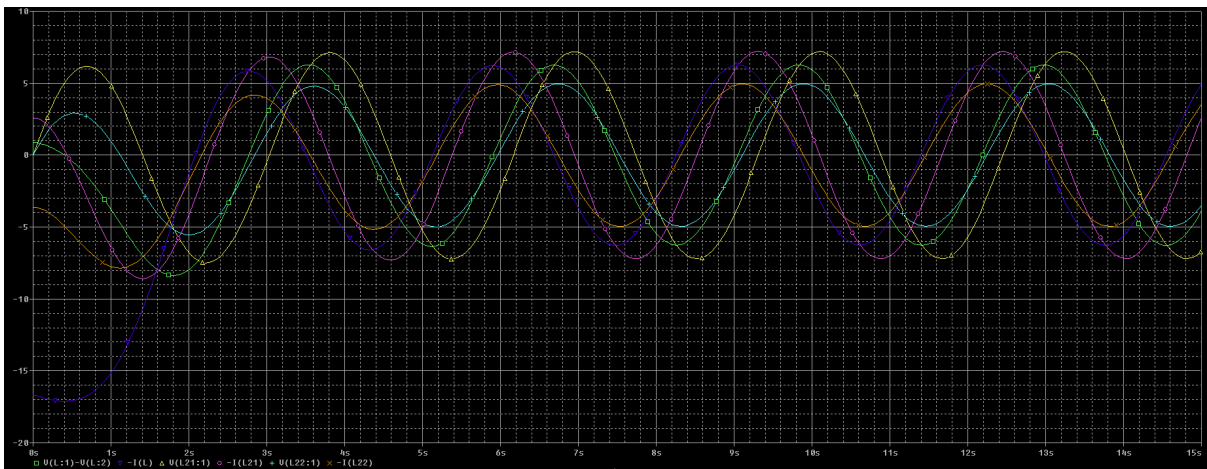


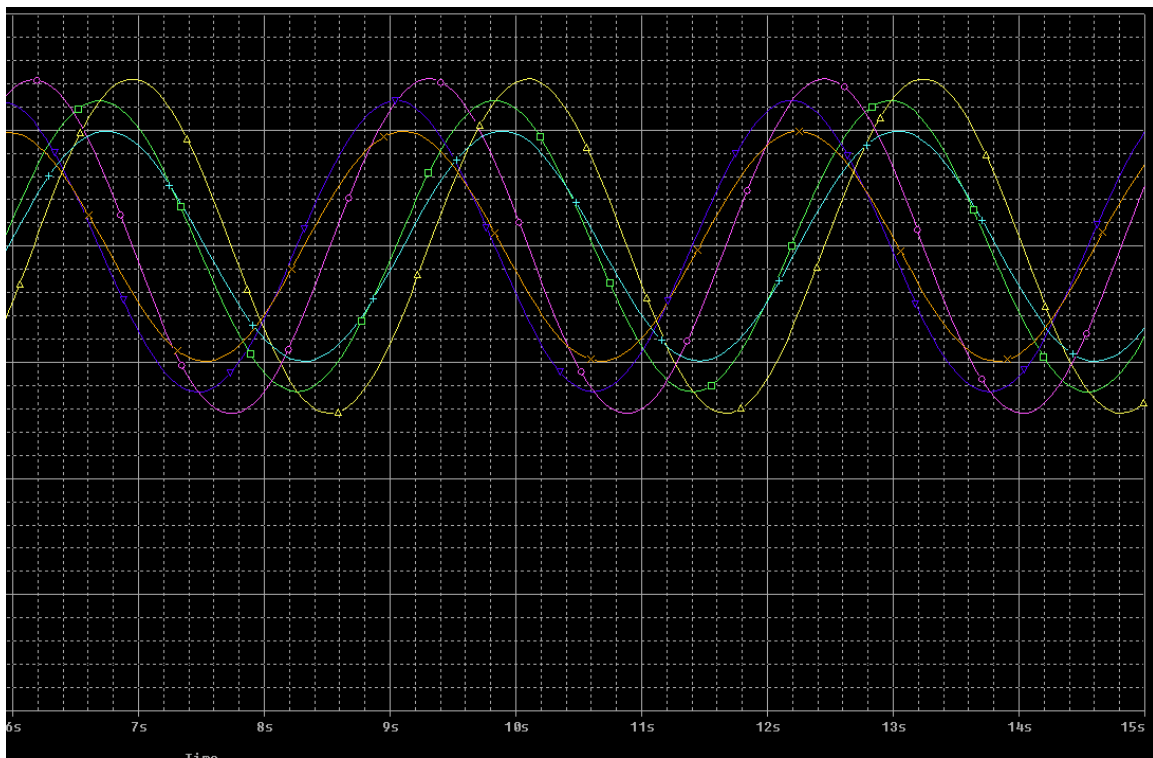
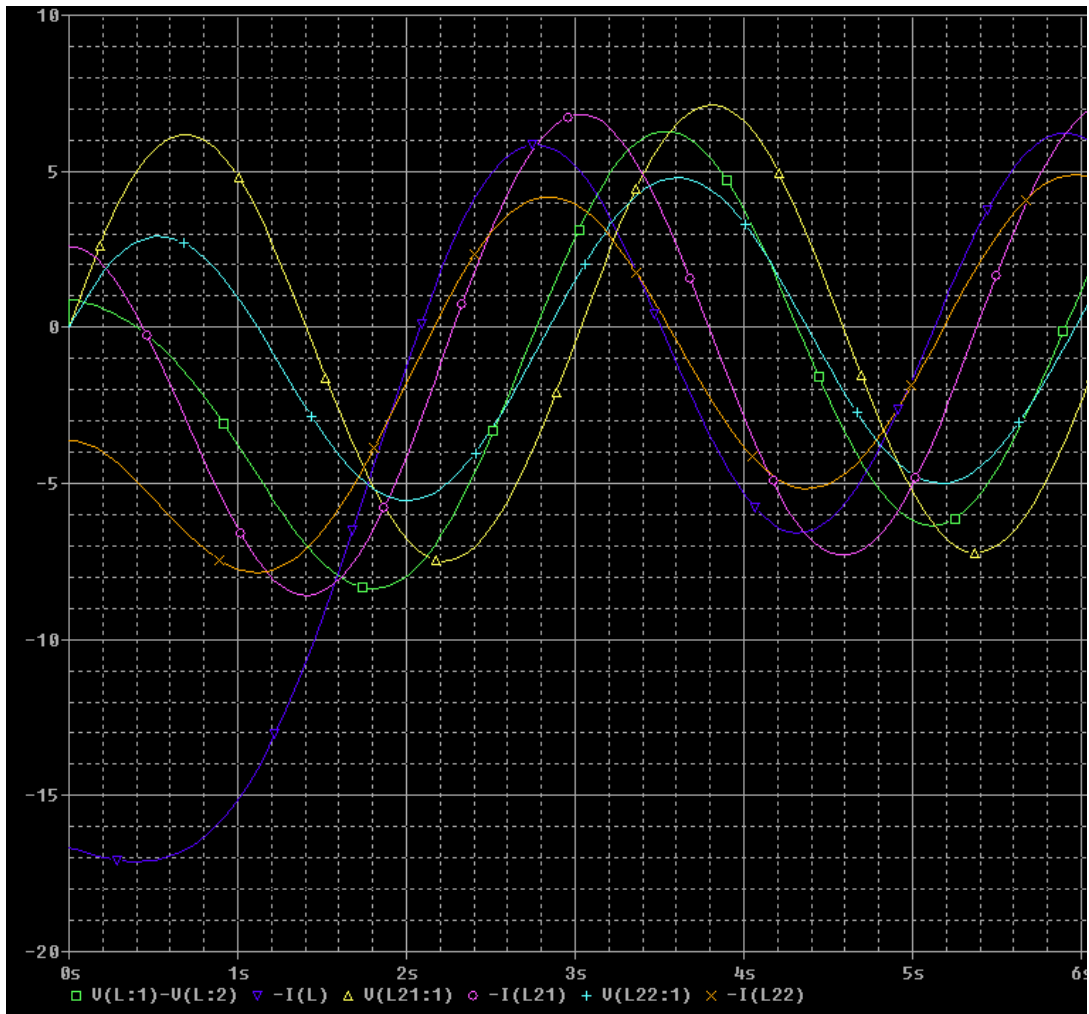
Imagem 7: circuito para I_N

FREQ	IM(V_PRINT6)	IP(V_PRINT6)
3.180E-01	1.014E+01	-1.141E+02

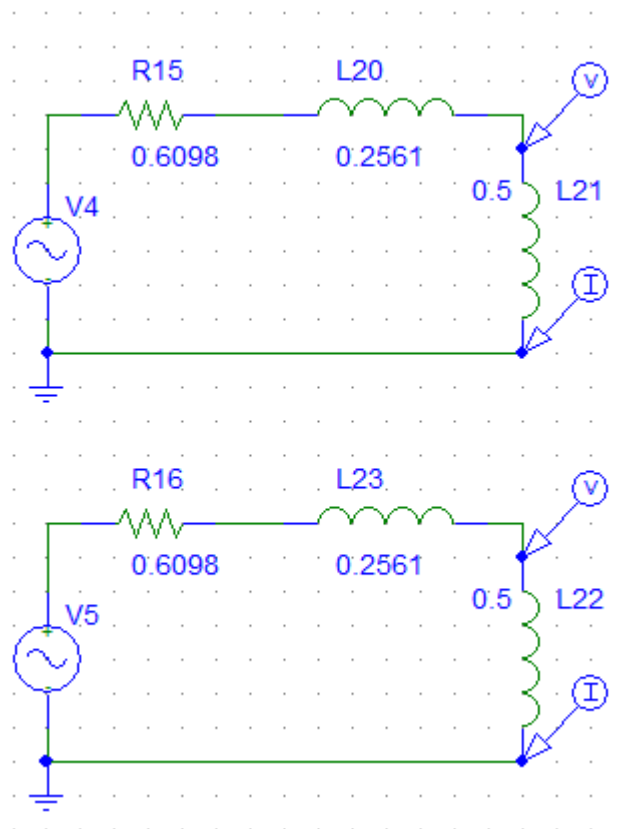
Imagem 8: resultado de I_N no arquivo .out gerado pelo PSPICE

Por meio do PSPICE, foram calculados V_{Th} e I_N (imagens 6 e 8), os quais se mostraram consideravelmente diferentes dos resultados obtidos analiticamente. No entanto, ao calcular Z_{Th} , por meio da equação $Z_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_N}$, obteve-se o mesmo resultado.



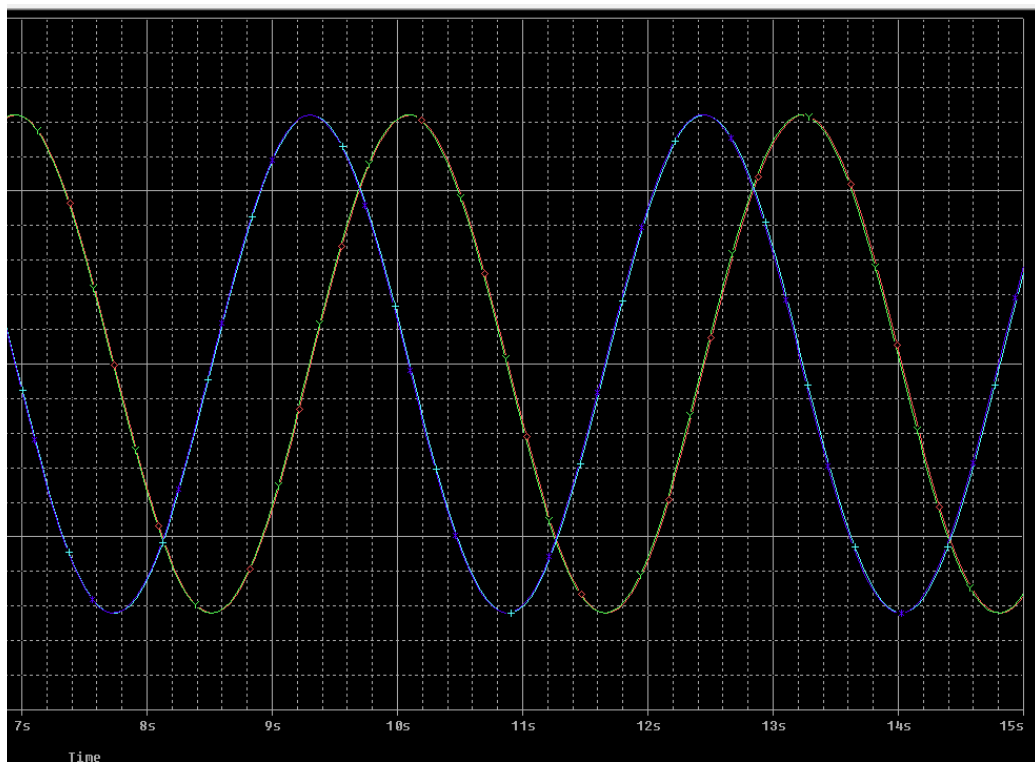
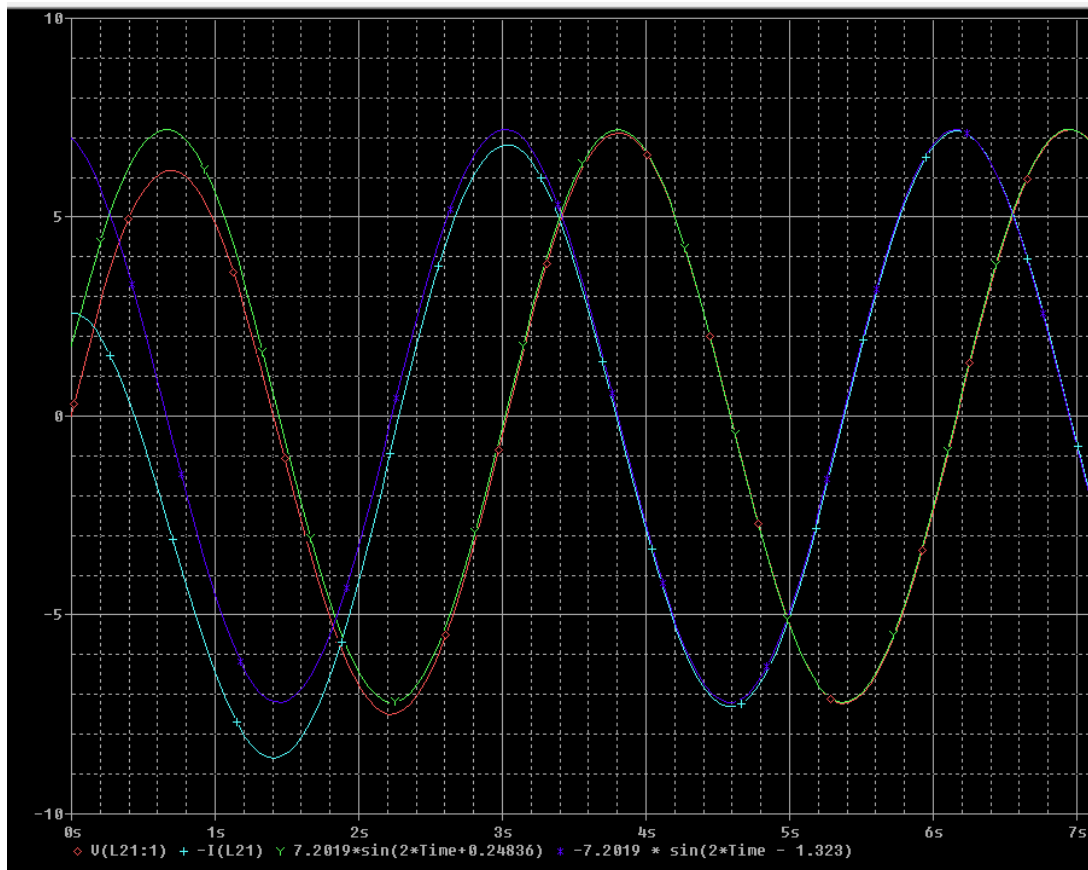


Imagens 9, 10 e 11: resultados de V_2 e I_2 no circuito original (verde e azul) e no circuito equivalente com os valores analíticos (amarelo e magenta) e com os valores do PSPICE (ciano e laranja)



Imagens 12 e 13: circuitos equivalentes com os valores teóricos e com os valores obtidos pelo PSPICE, respectivamente

Mesmo testando com todos os valores obtidos, nenhum conseguiu se igualar aos valores no circuito original, nem em módulo nem em fase.



Imagens 14 e 15: resultados de V_2 e I_2 no circuito equivalente com os valores teóricos (vermelho e azul claro) e curva obtida com os valores calculados analiticamente (verde e azul). As fases dos valores teóricos estão em radianos, unidade utilizada pelo PSPICE para formar os gráficos

Apesar de todas as inconsistências, os resultados calculados de forma analítica se provaram consistentes com os resultados do PSPICE no circuito equivalente. Assim, confirma-se que os cálculos são válidos para o circuito equivalente planejado, embora não seja possível confirmar o mesmo para o circuito original.

Ao debater com os demais colegas de sala, ficou perceptível que estavam surgindo diversas inconsistências nos circuitos dos alunos com valores de NN abaixo de 60. Foram realizados diversos testes e cálculos, principalmente pela aluna Sofia Brioso, que conseguiu os seguintes resultados:

i.	$x = 21:$
	$V_{Th} = 6,99 \angle -101,9^\circ$
ii.	$x = 30:$
	$V_{Th} = 8,62 \angle -100,3^\circ$
iii.	$x = 50:$
	$V_{Th} = 12,08 \angle -97,5^\circ$
iv.	$x = 90:$
	$V_{Th} = 18,74 \angle -91,8^\circ$
v.	$x = 100:$
	$V_{Th} = 20,46 \angle -90,3^\circ$
vi.	$x = 190:$
	$V_{Th} = 39,62 \angle -81,1^\circ$

FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	2.389E+00	-4.997E+01
FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	4.191E+00	-6.522E+01
FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	8.497E+00	-7.468E+01
FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	1.728E+01	-7.926E+01
FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	1.948E+01	-7.976E+01
FREQ	VM(2,3)	VP(2,3)
3.183E-01	3.934E+01	-8.173E+01

Imagens 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22: resultados de V_2 de forma analítica (imagem da esquerda) e por meio do PSPICE (imagens da direita), com os mesmos NN da imagem 16

Analisando os resultados obtidos, além do que foi percebido no processo da atividade, quanto menor for o valor de NN, mais incoerentes se tornavam os resultados do PSPICE. Este fenômeno provavelmente pode ser explicado pela fonte de corrente senoidal, pois, removendo-a, os resultados se tornam coerentes para todos os NN. Quanto maior o NN, menor se tornava a interferência da fonte de corrente no circuito pelo aumento da importância da fonte de tensão, aproximando os resultados.

- **Conclusões**

Infelizmente não foi possível confirmar os resultados analíticos com o circuito original, mas foi confirmado que os valores teóricos de V_2 e I_2 são condizentes com o circuito planejado.

Esta atividade também demonstrou que o PSPICE, por mais que seja uma ótima ferramenta, ainda não se mostra capaz de calcular circuitos muito complexos, gerando diversas inconsistências.

Por fim, este é o primeiro experimento onde se mostra uma escolha superior analisar o circuito por meios humanos, onde o PSPICE não conseguiu resolver adequadamente.