

Correção do fator de potência



Circuitos Elétricos

Circuito de Ressonância

Neste experimento realizado no LTSpice, buscamos demonstrar como é possível amplificar uma tensão de entrada utilizando um circuito amplificador. Através da simulação, é possível visualizar a forma de onda da tensão de saída no componente de análise (‘.tran’, ‘.ac’, ou o ‘Voltage Probe’), evidenciando o ganho obtido e a fidelidade da amplificação em relação ao sinal original.

Sumário

1. Análise Numérica	3
2. Especificações da simulação no LTSpice	6

I. Análise Numérica

Crie um circuito com uma fonte de tensão senoidal, uma impedância de linha e 3 cargas em paralelo

Parâmetro	Valor
Tensão RMS da fonte $V_{s,RMS}$	224 V
Impedância da linha Z_{lin}	$0,24 + 0,029j \Omega$
Potência ativa da carga 1 P_1	1140 W
Potência aparente da carga 1 $ S_1 $	1580 VA
Potência reativa da carga 2 Q_2	1580 VAr
Fator de potência da carga 2 fp_2 (atraso)	0,76
Potência ativa da carga 3 P_3	1430 W
Potência reativa da carga 3 Q_3	1405 VAr

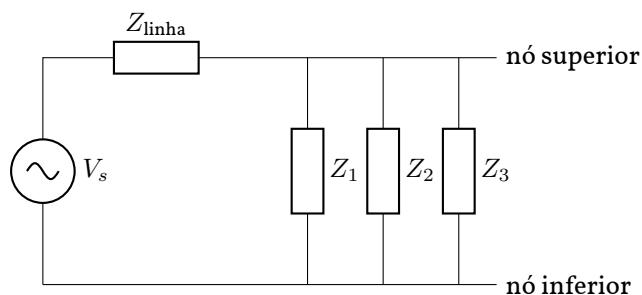


Figura 1: Circuito com fonte senoidal, impedância de linha e três cargas em paralelo

Cálculo para a carga Z_1

Dados:

$$P_1 = 1140 \text{ W}, \quad |S_1| = 1580 \text{ VA}, \quad V = 224 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Fator de potência:

$$\cos(\theta_v - \theta_1) = \frac{P_1}{|S_1|} = \frac{1140}{1580} \approx 0,721$$

$$\sin(\theta_v - \theta_1) = \sqrt{1 - \cos^2(\theta_v - \theta_1)} = \sqrt{1 - 0,721^2} \approx 0,693$$

Potência reativa:

$$Q_1 = |S_1| \cdot \sin(\theta_v - \theta_1) = 1580 \cdot 0,693 \approx 1095,0 \text{ VAr}$$

Potência aparente:

$$S_1 = P_1 + jQ_1 = 1140 + j1095,0 \text{ VA}$$

Corrente:

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V^*} = \frac{1140 - j1095}{224 \angle 0^\circ} = \frac{1140 - j1095}{224} \approx 5,0893 - j4,8661$$

$$I_1 = 7,0567 \angle -43,85^\circ \text{ A}$$

Impedância:

$$Z_1 = \frac{V}{I_1} = \frac{224}{7,0567 \angle -43,85^\circ} = 0,1022 + j0,0981 \Omega$$

Cálculo para a carga Z_2

Dados:

$$Q_2 = 1580 \text{ VAr}, \quad fp_2 = 0,76$$

$$\sin(\theta_v - \theta_2) = \sqrt{1 - (0,76)^2} = \sqrt{1 - 0,5776} = \sqrt{0,4224} \approx 0,650$$

$$|S_2| = \frac{Q_2}{\sin(\theta_v - \theta_2)} = \frac{1580}{0,650} \approx 2430,8 \text{ VA}$$

$$P_2 = |S_2| \cdot \cos(\theta_v - \theta_2) = 2430,8 \cdot 0,76 = 1847,0 \text{ W}$$

$$S_2 = 1847 + j1580 \text{ VA}$$

Impedância:

$$Z_2^* = \frac{V}{S_2} = \frac{224}{1847 + j1580} \approx 0,700 - j0,600 \Rightarrow Z_2 = 0,700 + j0,600 \Omega$$

Cálculo para a carga Z_3

$$S_3 = 1430 + j1405 \text{ VA}$$

$$Z_3^* = \frac{V}{S_3} = \frac{224}{1430 + j1405} \approx 0,0797 - j0,0783 \Rightarrow Z_3 = 0,0797 + j0,0783 \Omega$$

Corrente Total

$$I_{\text{total}} = \frac{S_{\text{total}}^*}{V^*} = \frac{4417 - j4079}{224} \approx 19,71 \angle -42,48^\circ \text{ A}$$

Potência dissipada na linha

$$P_{\text{linha}} = R \cdot |I|^2 = 0,24 \cdot (19,71)^2 \approx 93,3 \text{ W}$$

2. Simulação Transitória

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} \approx 0,0167 \text{ s} \Rightarrow t_{\text{simulação}} = 100 \cdot T = 1,67 \text{ s}$$

Plotar as duas últimas oscilações: tempo $\in [1,63 \text{ s}, 1,67 \text{ s}]$

3. Cálculo do Capacitor de Correção

$$Q_c = Q_{\text{total}} = 4079 \text{ VAr} \quad \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 60 = 376,99 \text{ rad/s}$$

$$C = \frac{Q_c}{V^2 \cdot \omega} = \frac{4079}{224^2 \cdot 376,99} \approx 2,13 \text{ mF}$$

4. Simulação com o Capacitor

Nova Reatividade Total

$$S_T = 1140 + 1095i + 1847 + 1580i + 1430 + 1405i = 4417 + 4080i$$

como queremos corrigir o valor do fator de potência, fazemos

$$S_4 = -4080i$$

então para obter a impedância, temos o seguinte desenvolvimento.

$$S = V \cdot I^*$$

$$V = Z \cdot I$$

dessas expressões temos:

$$Z^* = \frac{|V|}{S} = \frac{224}{-4080i} = 0.549 \angle 90$$

ou seja a impedância do capacitor

$$Z = 0.549 \angle -90$$

$$Z = \frac{-j}{\omega C} = 0.549 \angle -90$$

$$C = \frac{-j}{\omega \cdot 0.549 \angle -90}$$

em que $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 60 = 376.99 \frac{rad}{s}$ portanto a capacitância é dada por :

$$C = 4.83mF$$

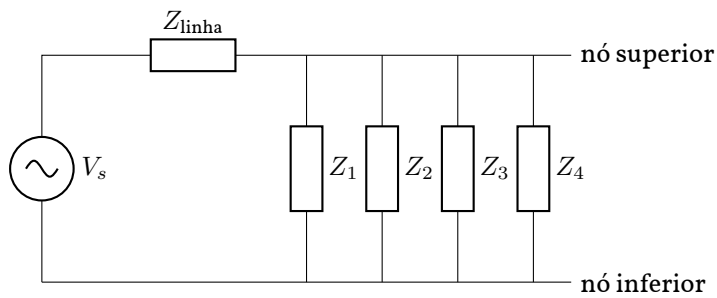


Figura 2: Circuito com fonte senoidal, impedância de linha e quatro cargas em paralelo

2. Especificações da Simulação no LTSpice

Objetivo

Crie um circuito com uma fonte de tensão senoidal, uma impedância de linha e 3 cargas em paralelo, como discutido em aula. Os valores dos parâmetros para cada aluno estão mostrados na tabela ao final do PDF. Deve ser realizado:

- 1. uma simulação AC em 60Hz do circuito proposto; devem ser evidenciadas a potência ativa e reativa do circuito; deve ser mostrada a potência ativa da linha;
- 2. uma simulação transitória (transient) com 100 oscilações; apresente o gráfico das 2 últimas oscilações;
- 3. cálculo do capacitor que corrige o fator de potência das 3 cargas em paralelo;
- 4. repetir as simulações com o capacitor.

Circuito sem o Capacitor de correção

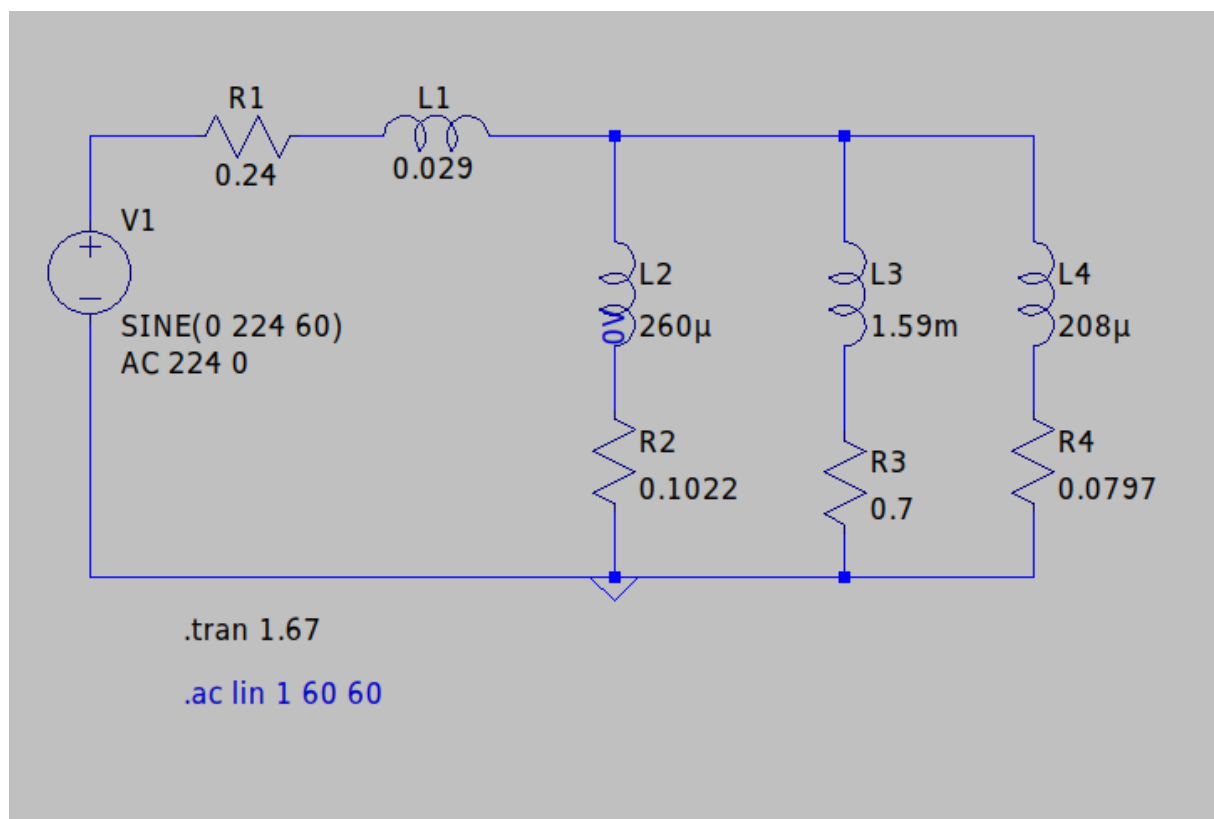


Figura 3: circuito Original

porém como foi visto na aula na sala de aula , e foi usado nos calculos acima , pode ser desprezada a impedancia de linha , e assim pode ser redesenhado o circuito

Circuito com o Capacitor de correção

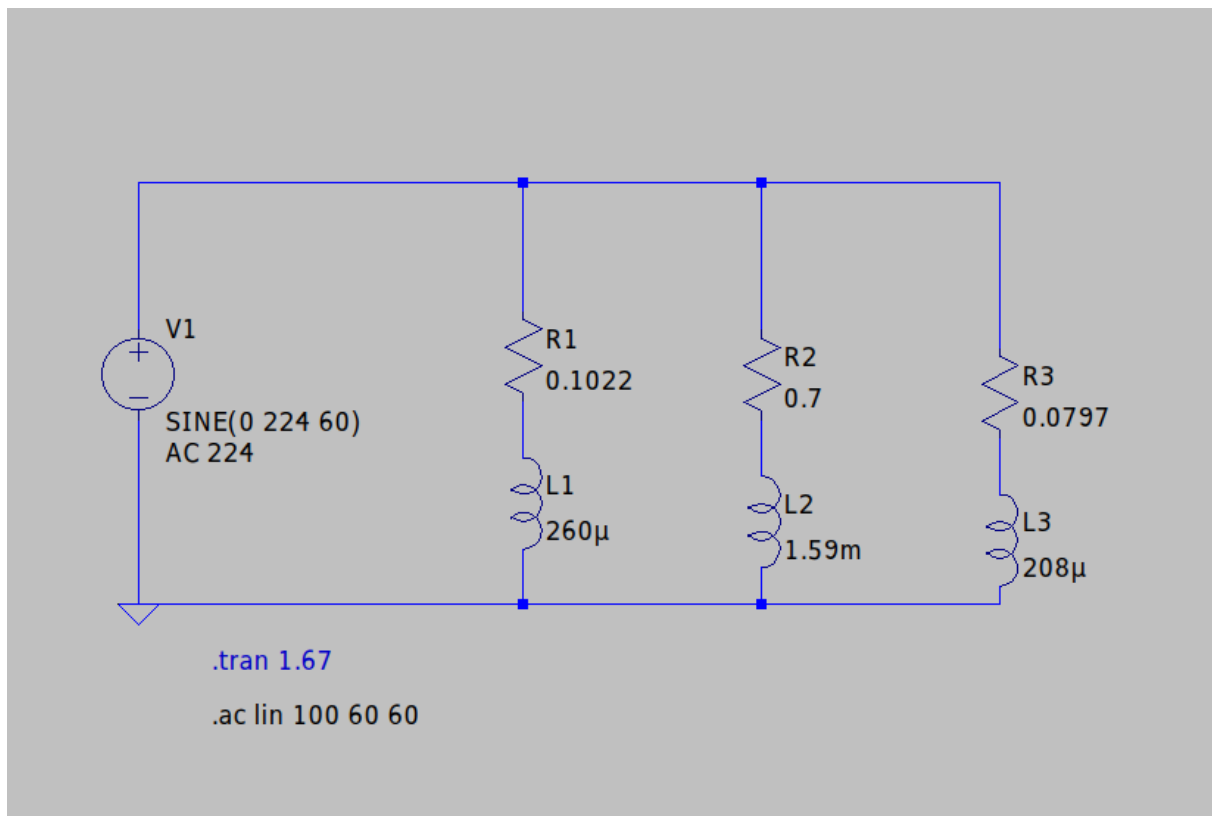


Figura 4: circuito redesenhado

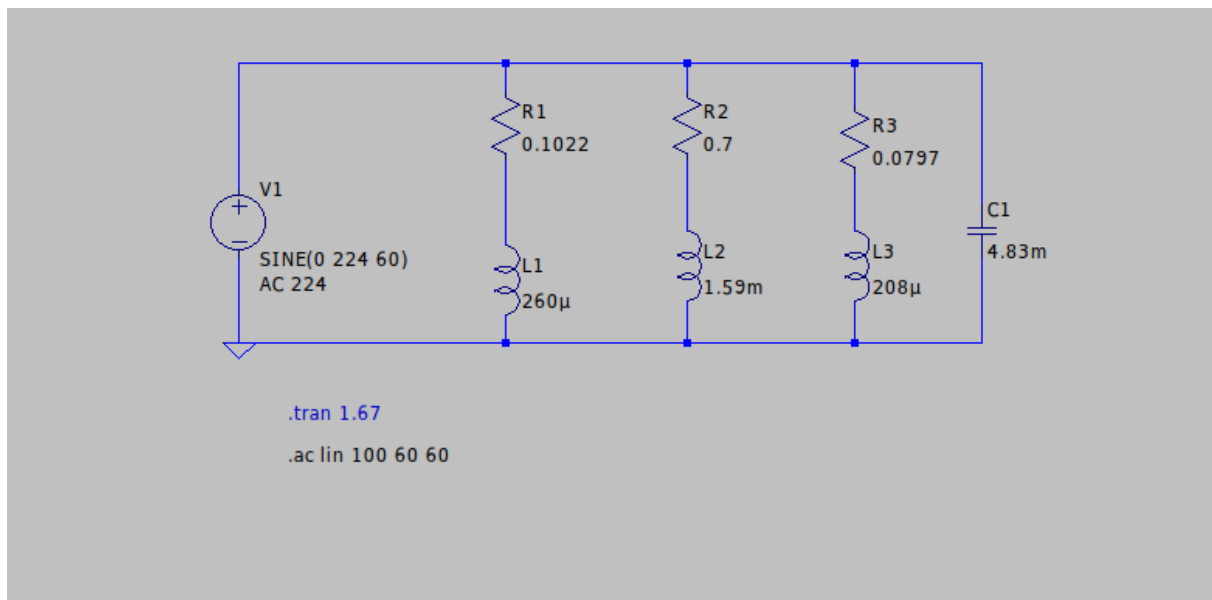


Figura 5: Circuito Com Capacitor

Justificativa da Escolha dos Parâmetros de Simulação

Os parâmetros adotados na simulação do circuito foram selecionados com base em condições típicas de redes de potência e características dos componentes indutivos e resistivos industriais. A fonte de tensão foi definida como uma senoide com amplitude de 224 V e frequência de 60 Hz, o que representa as condições passadas no problema.

A análise transitória (.tran 1.67) foi escolhida com duração de 1.67 s, tempo suficiente para observar o regime permanente do circuito, uma vez que o sinal senoidal completa múltiplos ciclos nesse intervalo.

Para a análise de resposta em frequência, foi utilizada a diretiva .ac lin 100 60 60, que realiza uma simulação AC linear com 100 pontos na frequência de 60 Hz. Essa escolha visa avaliar com precisão a resposta do circuito exatamente na frequência de operação da rede, o que é essencial para o dimensionamento correto de elementos compensadores, como capacitores para correção do fator de potência.

Os valores de resistores e indutores foram determinados com base em equipamentos reais, como motores e reatores, levando em consideração seus parâmetros típicos de resistência (R) e reatância (X_L) em regime senoidal. Esses valores também permitiram validar os cálculos teóricos de impedância e corrente, além de observar os efeitos da adição de componentes paralelos na resposta total do circuito.

Dessa forma, a simulação foi estruturada para representar uma situação realista, mas ao mesmo tempo didática, permitindo a verificação prática dos conceitos teóricos estudados em sala de aula.

Contributors

- **Marcos Antonio Tomé Oliveira**
Graduando em engenharia mecatrônica