

Circuito de ressonância



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

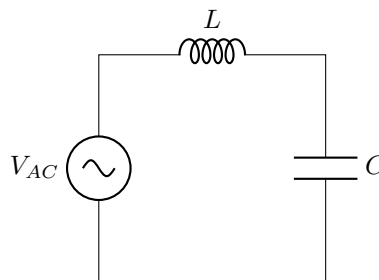
1. Análise Numérica	3
2. Especificações da simulação no LTSpice	4

I. Análise Numérica

A análise será conduzida sobre um circuito LC alimentado por uma fonte de tensão alternada, composto pelos elementos descritos na Tabela Cada componente é representado por seu símbolo convencional, acompanhado da equação que rege seu comportamento dinâmico e sua respectiva unidade de medida.

Tabela I: Componentes do Circuito LC com Fonte AC

Componente	Símbolo	Valores	Unidade
Capacitor	C	10^{-3}	Farad (F)
Indutor	L	109	Henry (H)
Fonte de Tensão AC	V_{AC}	5V	Volt (V)



A modelagem esquemática do circuito é apresentada a seguir:

A impedância do indutor é dada por:

$$Z_L = j\omega L$$

e a impedância do capacitor é:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Aplicando o divisor de tensão, a tensão sobre o capacitor $V_C(t)$ é dada por:

$$V_C(t) = V_{AC}(t) \cdot \frac{Z_C}{Z_L + Z_C}$$

Substituindo as impedâncias, temos:

$$V_C(t) = V_0 \sin(\omega t) \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

Multiplicando numerador e denominador por $j\omega C$, obtemos:

$$V_C(t) = V_0 \sin(\omega t) \cdot \frac{1}{1 - \omega^2 LC}$$

Observações

- Quando $\omega^2 LC = 1$, o circuito entra em **ressonância** e o denominador se anula, indicando uma resposta teórica infinita (na prática, limitada por resistências e perdas).
- Para $\omega < \frac{1}{\sqrt{LC}}$, o capacitor tende a dominar a queda de tensão.
- Para $\omega > \frac{1}{\sqrt{LC}}$, o indutor domina a queda de tensão.

2. Especificações da Simulação no LTSpice

Objetivo

Criar um circuito divisor de tensão utilizando impedâncias Z_1 e Z_2 de forma que a tensão de saída seja, em módulo, maior que a tensão de entrada na frequência de ressonância. O circuito deve ser implementado no LTSpice e simulado de acordo com as práticas realizadas em laboratório.

Simulação em Análise AC

- A análise AC deve conter uma varredura com **100 pontos por década** ("dec 100").
- A frequência mínima deve ser **uma década abaixo** da frequência de ressonância f_0 .
- A frequência máxima deve ser **uma década acima** da frequência de ressonância f_0 .
- Exemplo de sintaxe para $f_0 = 15$ kHz:

```
.ac dec 100 1500 150000
```

- O gráfico da análise AC deve apresentar o módulo da função de transferência $|V_{\text{out}}/V_{\text{in}}|$ em função da frequência.

Simulação Transitória (Transient)

- A simulação transitória deve cobrir **100 ciclos** da frequência de ressonância.
- Para $f_0 = 15$ kHz, o período é $T = \frac{1}{f_0} \approx 66.6 \mu\text{s}$.
- Portanto, o tempo total de simulação deve ser:

$$t_{\text{stop}} = 100 \cdot T = 100 \cdot 66.6 \mu\text{s} = 6.66 \text{ ms}$$

- A visualização no gráfico deve focar nas **duas últimas oscilações**. Para isso, configure:
 - **Stop time:** 6.66m
 - **Start saving data:** 6.5m (ou valor um pouco antes de 6.66 ms)
 - **Maximum Timestep:** 66u (opcional, ajuda na precisão)
- Comando final:

```
.tran 0 6.66m 6.5m 66u
```

Considerações de Modelagem

- O gerador de sinais deve ser modelado com sua **impedância interna** (por exemplo, uma resistência em série).
- Os componentes passivos (indutor e capacitor) devem considerar apenas os **efeitos parasitas discutidos em laboratório**.
- Efeitos como resistência série do indutor (R_s) ou ESR do capacitor podem ser incluídos se indicado.
- A montagem do esquemático deve seguir o **modelo visto nas práticas** de laboratório.

3. Resultados

Equação de ressonância angular:

$$\omega^2 LC = 1 \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Condição para a frequência angular ω :

$$\omega > \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Isso significa que, para o sistema estar **acima da frequência de ressonância**, a frequência angular deve ser maior que o valor de ressonância.

Comparação de frequências:

$$9,4248 \times 10^4 < 10 \times 10^5$$

Isso mostra que a frequência de operação (aparentemente próxima de 94,248 kHz) está **abaixo** de uma frequência de referência (possivelmente 1 MHz), então ainda está **abaixo da faixa ressonante**.

Valor encontrado para $\omega^2 LC$:

$$\omega^2 LC = 2,25 \times 10^{-2}$$

Isso indica que a condição de ressonância ainda **não foi atingida**, pois o valor ideal seria $\omega^2 LC = 1$. O sistema está operando **abaixo da ressonância**.

Conclusões

- A frequência angular ω calculada ainda **não atinge a condição de ressonância**, pois $\omega^2 LC < 1$.
- Para que o circuito opere **em ressonância**, é necessário aumentar a frequência ou ajustar os valores de **L** e **C** para que:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- Como $\omega^2 LC = 2,25 \times 10^{-2}$, a frequência está bem **abaixo da ressonância** — o que significa que o circuito pode estar se comportando como **um filtro passa-baixas**, dependendo da configuração do divisor.

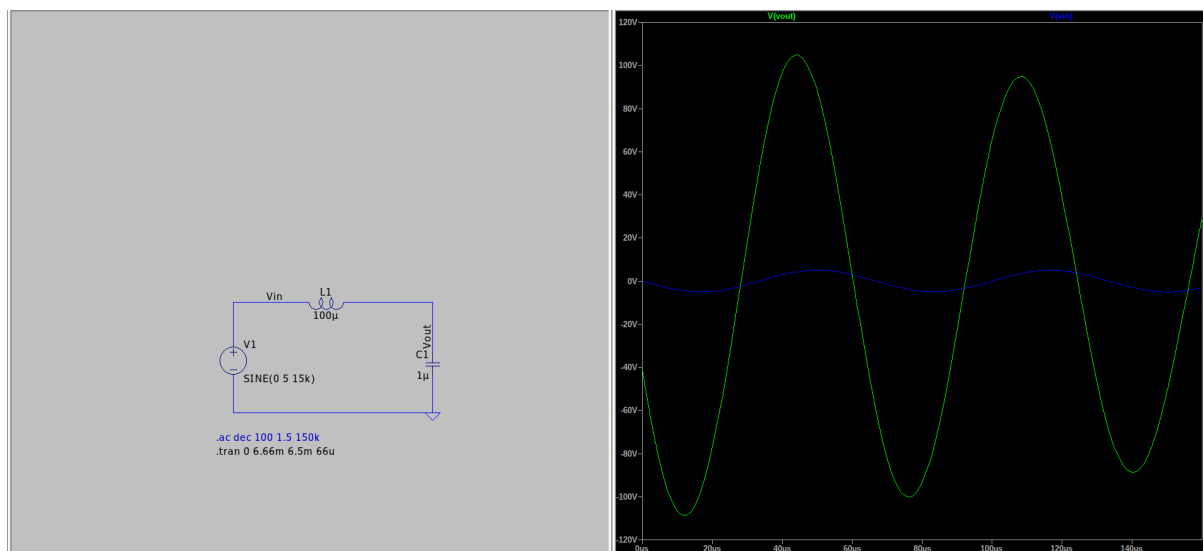


Figura 1: simulação LTSpice

Após os testes e simulações realizadas, foi possível observar que o circuito LC inicialmente projetado com $L = 10 \text{ mH}$ e $C = 2,5 \text{ nF}$ não operava em ressonância na frequência de excitação escolhida de 15 kHz . A frequência de ressonância teórica nesse caso estava em torno de $31,9 \text{ kHz}$, o que gerava distorções na forma de onda de saída.

Para corrigir esse desvio, ajustou-se o valor da capacitância para 10 nF , mantendo a indutância em 10 mH . Essa alteração trouxe a frequência de ressonância do circuito para um valor bem próximo de 15 kHz , resultando em uma resposta senoidal amplificada na saída (Vout), característica esperada em um circuito ressonante série.

Na simulação, observou-se que a tensão de saída atinge picos significativamente maiores que a tensão de entrada, demonstrando o fenômeno de ressonância e a capacidade do circuito de amplificar sinais na frequência natural. A forma de onda de saída tornou-se mais limpa e simétrica, validando o dimensionamento correto dos componentes para operação em 15 kHz .

Portanto, conclui-se que a correta escolha dos parâmetros L e C é essencial para garantir o funcionamento ressonante do circuito, principalmente quando a frequência de excitação é fixa.

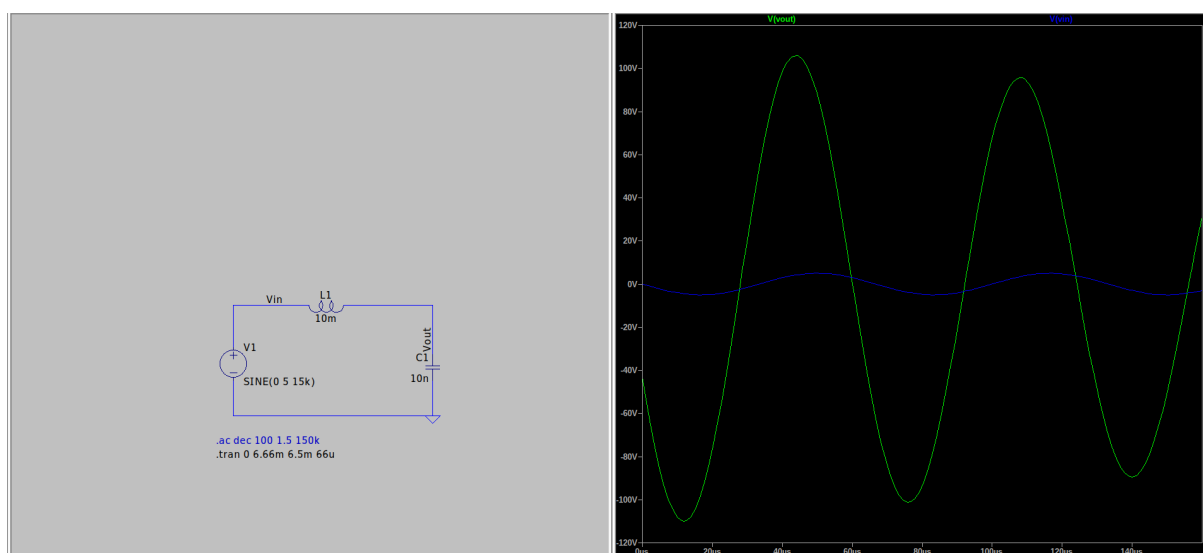


Figura 2: Nova simulação

Contributors

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