

Sexto Relatório de Lab de Circuitos

Henrique da Silva
hpsilva@proton.me

15 de novembro de 2022

Sumário

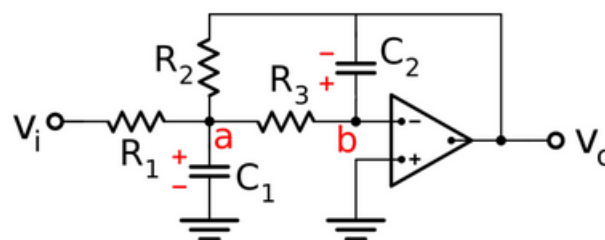
- 1 Introdução
- 2 Análise do circuito
- 3 Analisando um exemplo
- 4 Resultados que deveria ter levado para o Lab
 - 4.1 Porcentagem de V_i para $t \rightarrow \infty$. .
 - 4.2 Curva de resposta natural para 8 vezes inverso de alpha
 - 4.3 Curva de resposta forçada para 8 vezes inverso de alpha
 - 4.4 Tempos de subida da resposta forçada:
 - 4.5 Tempo de descida da resposta natural:
 - 4.6 Overshoot natural
 - 4.7 Overshoot Forçado
- 5 Medições no laboratório
 - 5.1 Valores reais das partes.
 - 5.2 Imagem da onda
 - 5.3 Medições para o regime permanente
 - 5.4 Resposta natural
 - 5.5 Tempo de subida e descida
 - 5.6 Overshoot
- 6 Conclusões

1 Introdução

Neste relatório vamos discutir um circuito com um AmpOp e dois capacitores que se comportara como um circuito RLC.

Todos arquivos utilizados para criar este relatório, é o relatorio em si estão em: https://github.com/Shapis/ufpe_ee/tree/main/4thsemester/labcircuits

2 Análise do circuito



Fazendo análise nodal no circuito chegamos as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \frac{V_a - V_i}{R_1} + \frac{V_a - V_0}{R_2} + \frac{V_a}{R_3} + C_1 \frac{dV_a}{dt} &= 0 \\ \frac{-V_a}{R_3} - C_2 \frac{dV_0}{dt} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Dai segue que:

$$\begin{aligned} V_a &= -R_3 C_2 \frac{dV_0}{dt} \\ V_a \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + C_1 \frac{dV_a}{dt} - \frac{V_0}{R_2} &= \frac{V_i}{R_1} \\ K &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ K V_a + C_1 \frac{dV_a}{dt} - \frac{V_0}{R_2} &= \frac{V_i}{R_1} \end{aligned} \quad (2)$$

Substituindo V_a temos:

$$C_1 C_2 R_3 \frac{d^2 V_0}{dt^2} + R_3 C_2 K \frac{dV_0}{dt} + \frac{V_0}{R_2} = -\frac{V_i}{R_1}$$

$$\frac{d^2 V_0}{dt^2} + \frac{K}{C_1} \frac{dV_0}{dt} + \frac{V_0}{R_2 C_1 C_2 R_3} = -\frac{V_i}{R_1 C_1 C_2 R_3}$$

$$\frac{d^2 V_0}{dt^2} + 662.86 \frac{dV_0}{dt} + 4456327.98 V_0 = -3128911.14 V_i \quad (3)$$

E tiramos as seguintes condições iniciais do circuito:

$$V_0(0) = -V_{C20}$$

$$\frac{dV_0}{dt}(0) = -\frac{V_{C10}}{R_3 C_2} \quad (4)$$

3 Analisando um exemplo

Para analisar um exemplo vamos usar os seguintes valores:

R_1	\rightarrow	$47K\Omega$
R_2	\rightarrow	$33K\Omega$
R_3	\rightarrow	$68K\Omega$
C_1	\rightarrow	$100nF$
C_2	\rightarrow	$1nF$

Sabendo que a solucao eh da forma:

$$s^2 + 2\alpha s + w_0^2 = 0$$

Podemos utilizar a equação (3) e chegar às seguintes conclusões:

$$\alpha = \frac{R_3 C_2 K}{2 C_1 C_2 R_3} = 331.43$$

$$w_0 = \sqrt{\frac{1}{R_2 C_1 C_2 R_3}} = 2111.00 \quad (5)$$

Que nos indica que estamos num sistema subamortecido já que $w_0 > \alpha$, e que tem como solução a seguinte equacao:

$$V_0(t) = K_1 e^{-\alpha} \cos w_d t + K_2 e^{-\alpha} \sin w_d t$$

$$w_d = \sqrt{w_0^2 - \alpha^2} = 2087.90 \quad (6)$$

E podemos resolver para a condição inicial e conseguir o seguinte sistema de equações:

$$V_0(0) = -V_{C20} = K_1 e^{-\alpha}$$

$$V'_0(0) = -V_{C10} = K_2 e^{-\alpha} w_d R_3 C_2 \quad (7)$$

Resolvendo numericamente na calculadora obtive a seguinte solução:

$$((0.702 V_i - V_{C20}) * \cos(2084.82t) + 3.18 * e^{-58} * (2.01 * e^{58} * V_i - 1.27 * 10^{60} * V_{C10} - 2.867 * 10^{58} * V_{C20}) * \sin(2084.82t)) * e^{(-331.43t)} - 0.7021 * V_i$$

Simplificando com Wolfram Alpha na seguinte url shorturl.at/adneU obtenho a seguinte equacao:

$$V(t) = e^{-331.43t} - 0.7021 * V_i \quad (8)$$

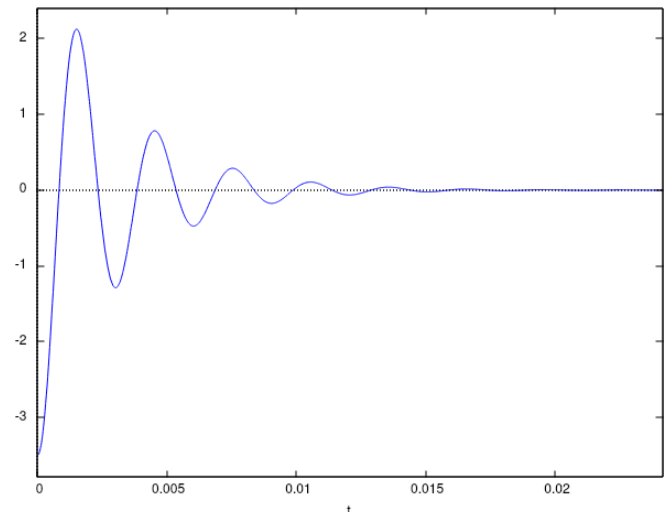
Estou na duvida se isso deveria ter sinal invertido, as equações ficam grandes e difícil de passar de um meio (calculadora) para outro (computador no Wolfram) para simplificar, eu chequei bastante e não achei erro, mas intuitivamente eu imaginaria que o sinal de V_i deveria ser positivo.

4 Resultados que deveria ter levado para o Lab

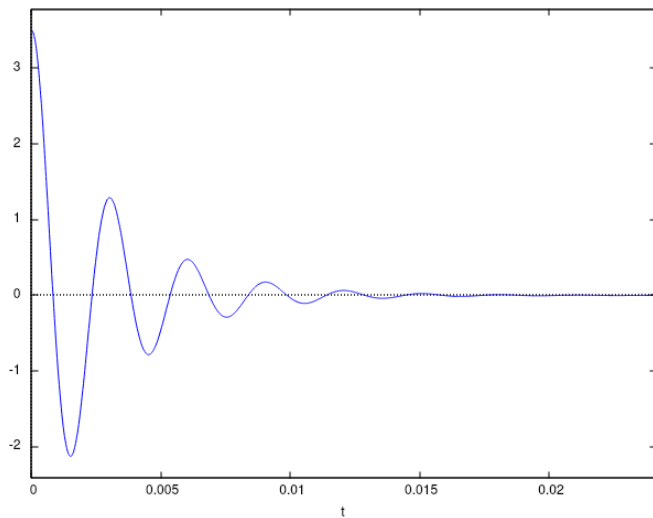
4.1 Porcentagem de V_i para $t \rightarrow \infty$

Como vimos na equação (8), para t tendendo a infinito teremos $V(t) = -0.7021 V_i$, ou seja, a tensão em módulo será de 70.21% da tensão de entrada.

4.2 Curva de resposta natural para 8 vezes inverso de alpha



4.3 Curva de resposta forçada para 8 vezes inverso de alpha



4.4 Tempos de subida da resposta forçada:

$$T_{s10} = 0.00022s$$

$$T_{s90} = 0.00077s$$

4.5 Tempo de descida da resposta natural:

$$T_{d10} = 0.00022s$$

$$T_{d90} = 0.00077s$$

4.6 Overshoot natural

$$T = 0.0015s$$

$$V = 2.124V$$

4.7 Overshoot Forçado

$$T = 0.0015s$$

$$V = -2.124V$$

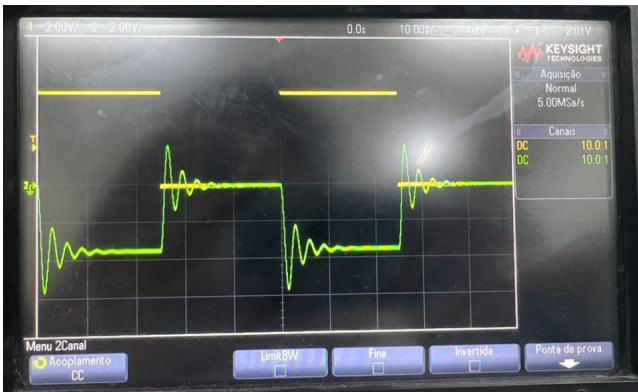
5 Medições no laboratório

5.1 Valores reais das partes.

Abaixo estão os valores medidos das partes utilizadas no experimento:

R_1	\rightarrow	$46.34K\Omega$
R_2	\rightarrow	$32.21K\Omega$
R_3	\rightarrow	$67.1K\Omega$
C_1	\rightarrow	$1.05nF$
C_2	\rightarrow	$101.56nF$

5.2 Imagem da onda



5.3 Medições para o regime permanente

Inicialmente medimos as tensões nos capacitores para tempos longos, ou seja. Quando estão em regime permanente, e obtivemos o seguinte:

$$V_{C10} = -3.5V$$

$$V_{C20} = 0V$$

5.4 Resposta natural

Obtivemos que em resposta natural, o capacitor C_1 em t_0 tem uma tensão de $-3.5V$, ele oscila de maneira subamortecida até tender a $0V$ em $t = \infty$.

Já o mesmo capacitor C_1 em resposta forçada, inicia em $0V$ e oscila de maneira subamortecida até tender a $-3.5V$ em $t = \infty$.

5.5 Tempo de subida e descida

Utilizarei a frequência $f = \frac{1}{8}\alpha = 41.4$ para todos experimentos a seguir. Isto nos dará tempo suficiente para a tensão estabilizar.

$\%V$	t_{subida}	$t_{descida}$
$t_{10\%}$	$200\mu s$	$720\mu s$
$t_{90\%}$	$200\mu s$	$900\mu s$

5.6 Overshoot

<i>Tempo e Tensao</i>		
$T_{overshootN}$	$1.45ms$	$2.15V$
$T_{overshootF}$	$1.4ms$	$-2.0625V$

6 Conclusões

Os resultados obtidos em laboratório foram coerentes com os resultados teóricos. Algo que não bateu exatamente como eu esperava foi a medição da proporção entre a tensão no tempo infinito e a tensão de entrada. O módulo deste valor estava coerente, mas eu sinto que o sinal ficou invertido do que deveria ser.