

Exercício Prático 1  
Gustavo Ciotto Pinton 117136

## Questões

1. O circuito utilizado na questão seguinte está representado na figura logo abaixo, gerada através do *software* PSpice.

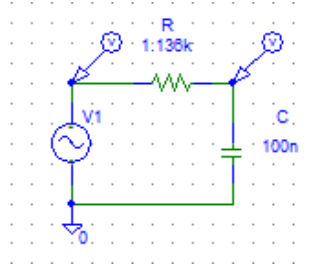


Figura 1: circuito RC passa-baixos.

2. A frequência de corte teórica para o circuito da figura 1 é calculada através das seguintes expressões:

$$T(jw) = \frac{V_c}{V_{in}} = \frac{Z_c}{R + Z_c} = \frac{\frac{1}{jwC}}{R + \frac{1}{jwC}} = \frac{1}{1 + jwRC} = \frac{1}{1 + j\frac{w}{w_c}} \quad (1)$$

Portanto, para circuitos passa baixos, a equação 1 define a frequência de corte por:

$$w_c = \frac{1}{RC} \quad (2)$$

ou

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

Utilizando a equação 3 para os valores da figura 1, isto é,  $R = 1.136k\Omega$  e  $C = 100nF$ , obtém-se  $f_c = \frac{1}{2\pi * 1136 * 10^{-7}} = 1.4kHz$ .

Se o módulo da função  $T(jw)$  for calculado, então é possível determinar a amplitude da tensão de saída no capacitor. Desta maneira, através da equação 1, tem-se:

$$|T(jw)| = \left| \frac{V_c}{V_{in}} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\frac{w}{w_c}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_c})^2}} \quad (4)$$

De 4, obtém-se:

$$|V_c| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_c})^2}} * |V_{in}| \quad (5)$$

Se  $|V_{in}| = 1V$ ,  $f = 1kHz$  e  $f_c = 1.4kHz$ , então pela equação 5,  $|V_c| = 0.81V$ .

Da mesma maneira, é possível obter a diferença de fases entre as ondas de entrada e saída, através de 1:

$$\angle T(jw) = -\arctan\left(\frac{f}{f_c}\right) \quad (6)$$

Se  $f = 1kHz$  e  $f_c = 1.4kHz$ , então pela equação 6,  $\angle T(jw) = \theta = -35,5^\circ$ .

Os gráficos obtidos da simulação do experimento foram:

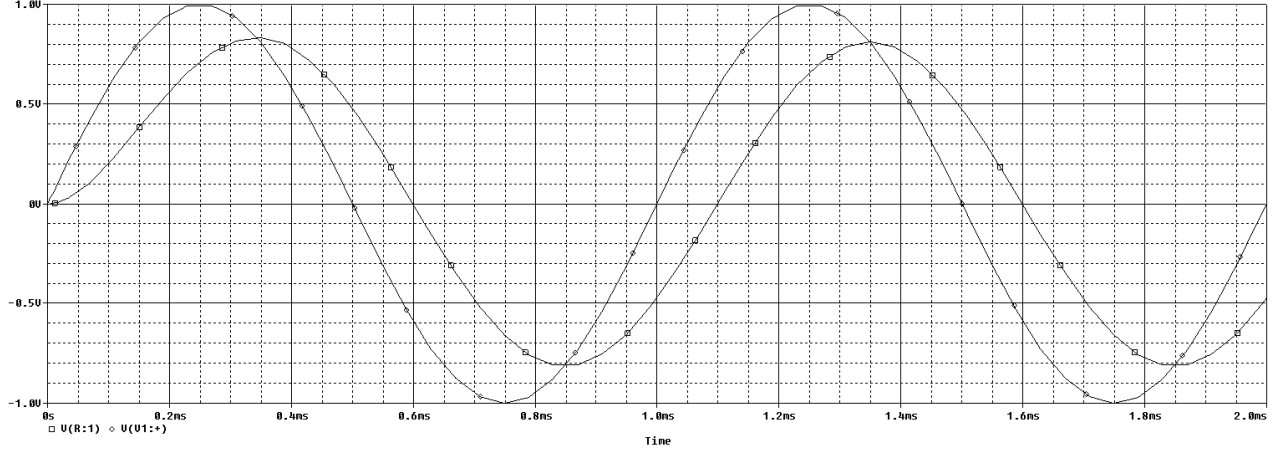


Figura 2: ondas de entrada e saída.

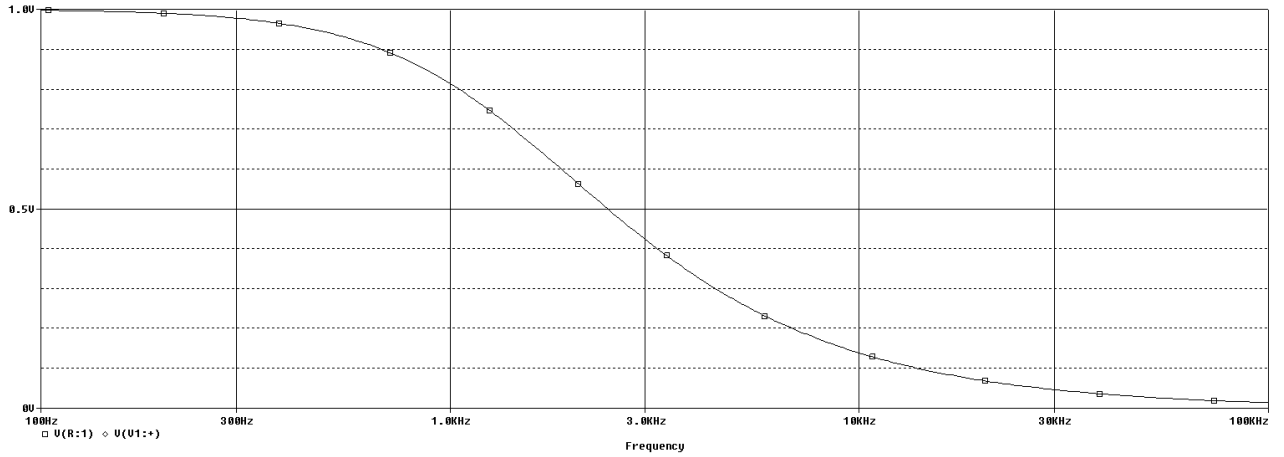


Figura 3: tensão de saída em função da frequência

Portanto, analisando as figuras 2 e 3, é possível concluir que os resultados teóricos encontrados adequam-se aos dados obtidos através da simulação. Em outras palavras, vê-se que a amplitude da onda de saída, representada na figura 2, é de fato próximo do valor de 0.81V, e que ela está avançada em relação à onda de entrada em um ângulo de aproximadamente  $35.5^\circ$ . Da figura 3, obtém-se que o valor de 0.5V é atingido quando a frequência é próxima de  $f = 1.4kHz$ , o que já era esperado.

3. O esquema do amplificador inversor está representado na figura logo abaixo:

Na figura 4, a amplitude da fonte de entrada é  $|V_{in}| = 1V$  e sua frequência é  $f = 1kHz$ . O ganho esperado para um amplificador ideal, com ganho infinito, segue a expressão:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_{out}}{R_{in}} \quad (7)$$

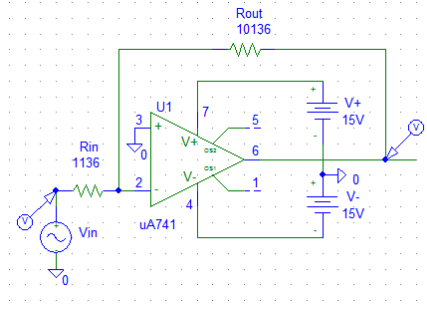


Figura 4: amplificador inversor.

Para  $R_{in} = 1.136k\Omega$  e  $R_{out} = 10.136k\Omega$ , a expressão 7 torna-se

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_{out}}{R_{in}} = -\frac{10.136}{1.136} = -8.922 \quad (8)$$

e a amplitude da tensão de saída esperada,  $|V_{out}|$ , é igual a  $8.922V$ .

Usando a ferramenta *Analysis* do *PSpice*, obtém-se o gráfico de transientes da figura 5, logo abaixo.

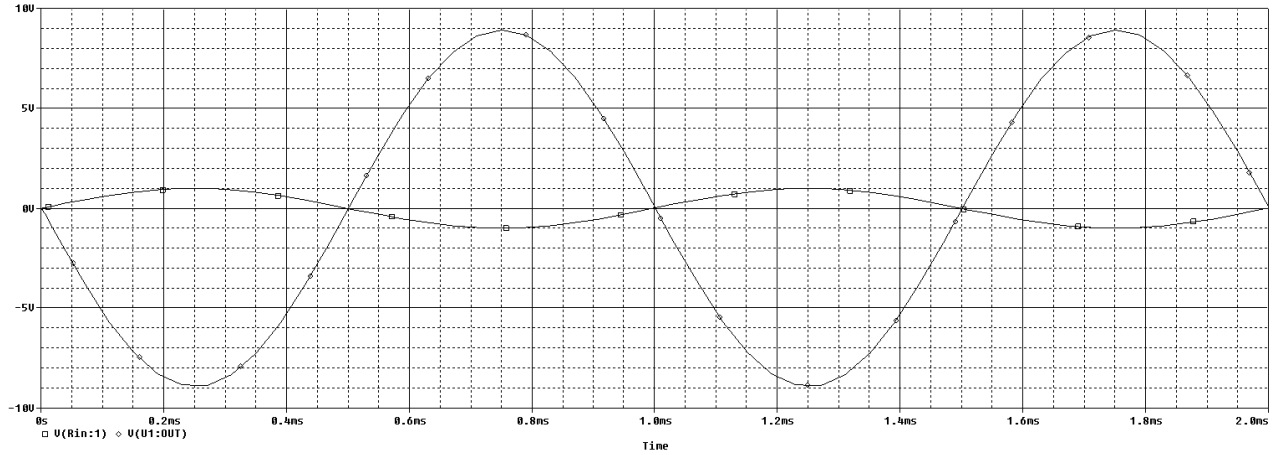


Figura 5: ondas de entrada e saída.

Nesta figura, observa-se que quando a onda de entrada atinge um pico positivo, a onda de saída atinge um negativo, e vice-versa, justificando a função inversora do circuito. Observa-se também que a amplitude máxima da saída está de acordo com aquela teórica encontrada na expressão 8, cujo valor aproxima-se de  $9V (\approx 8.922V)$ .

4. O circuito amplificador integrador utilizado está representado na figura 6.

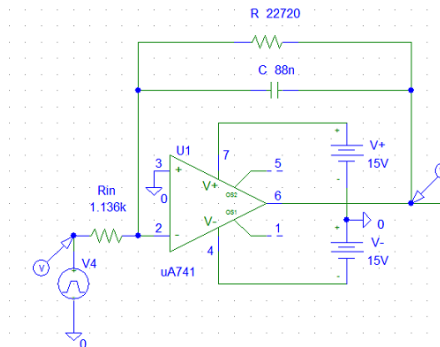


Figura 6: circuito amplificador integrador.

A equação que caracteriza o integrador amplificador RC é:

$$V_o = -\frac{1}{R_{in}C} \int_0^t V_{in} dt + V_0(t_0) \quad (9)$$

Neste exercício, supomos o capacitor inicialmente descarregado, ou seja,  $V_0(t_0) = 0$ .

Através da expressão 9, pode-se calcular o valor da capacitância, isolando o termo C e integrando somente a parte da onda de entrada em que a amplitude é positiva e igual a  $V_{in} = 1V$ . Deste modo, os limites da integral são definidos de 0 até metade da onda completa, isto é,  $\frac{T}{2}$ . Sendo assim:

$$C = \frac{1}{R_{in}V_0} \frac{T}{2} = \frac{1}{R_{in}V_0} \frac{1}{2f}$$

Substituindo todos os valores ( $R_{in} = 1136\Omega$  e  $V_0 = 5V$ ), obtém-se  $C = 88nF$ . A partir de C, se  $RC = 2ms$ , então  $R = 22.72k\Omega$ .

As ondas de saída geradas por esse circuito estão representadas a figura 7, logo abaixo.

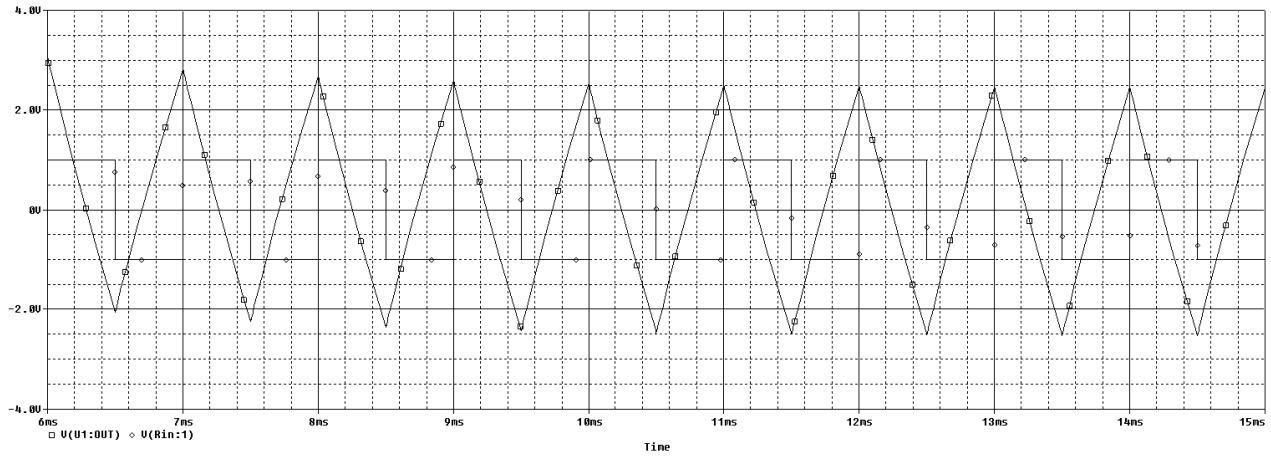


Figura 7: ondas de entrada e saída.

A figura 7 segue o que calculamos na teoria, através da equação 9. Anteriormente, calculamos os valores das componentes para que a tensão pico-a-pico fosse de 5V, porém, no gráfico, obteve-se uma tensão pico-a-pico bem próxima de 6V. Esta pequena diferença ocorre devido a outra resistência utilizada, que não foi incluída na conta da equação 9. Observa-se também que, como esperado, o circuito comporta-se como inversor: quando a onda de entrada tem amplitude positiva, a inclinação da onda de saída é negativa e vice-versa.

5. Configurando o *AC Sweep* para simular frequências de  $1Hz$  até  $100kHz$ , obtém-se o gráfico da figura 8.

Algumas expressões que nos ajudarão a entender e a avaliar a qualidade deste gráfico serão apresentados em seguida. Vale lembrar que, para este item, a fonte de ondas quadradas foi substituída por uma senoidal.

A impedância equivalente da associação em paralelo de  $R$  e  $C$  é calculada por

$$Z_{eq} = \frac{RX_c}{R + X_c} = \frac{R}{RCs + 1} \quad (10)$$

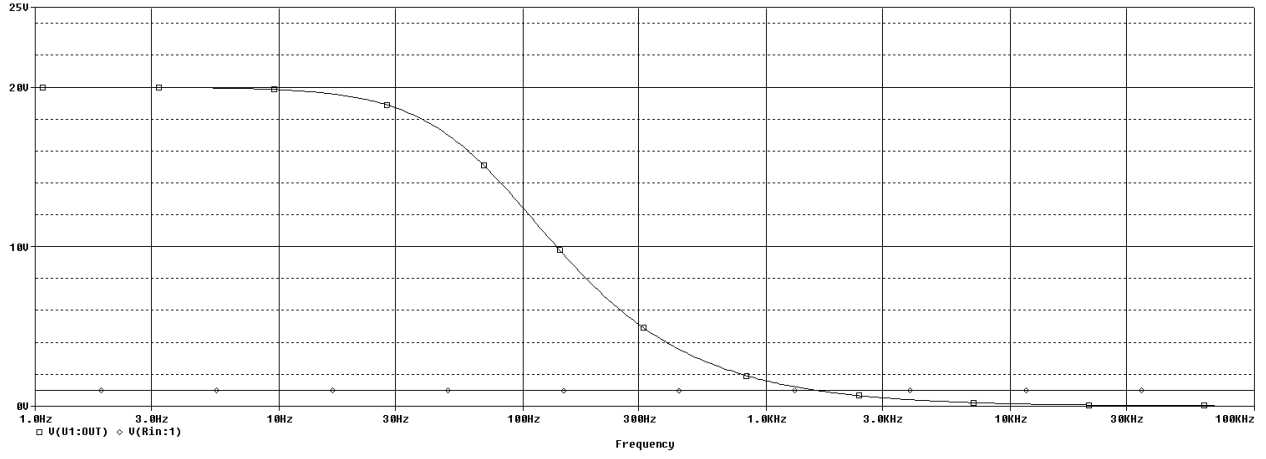


Figura 8: análise de frequência do circuito da figura 6.

em que  $s = jw$ . O ganho de tensão é calculado usando as equações 7 e 10 e é dada por:

$$T(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R}{R_{in}} \frac{1}{RCs + 1} \quad (11)$$

em que a amplitude é

$$|T(jw)| = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{R}{R_{in}} \frac{1}{\sqrt{(RCw)^2 + 1}} \quad (12)$$

Vamos calcular alguns valores importantes e comparar os resultados entre teoria e o gráfico obtido. De acordo com a equação 11, podemos obter a expressão da frequência de corte do circuito:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (13)$$

Substituindo os valores de R e C, calculados no item anterior, isto é,  $C = 88nF$  e  $R = 22.72k\Omega$ , na expressão anterior e na 12, tem-se, respectivamente:

$$f_c = 79.6Hz$$

e

$$|T_c| = \frac{R}{R_{in}} \frac{1}{\sqrt{2}} = 14.14V$$

Os valores teóricos encontrados correspondem a aqueles presentes no gráfico, ou seja, para um valor de tensão de saída de aproximadamente de  $14.14V$ , a frequência é também próxima de  $f_c = 79.6Hz$ , sendo que especificamente neste ponto, a função de transferência adquire o comportamento decrescente máximo.