CAPÍTULO 8 Transitórios em Circuitos RC

André Prado Procópio - 2022055556

Lucas Ribeiro da Silva - 2022055564

Mariana Pinho Barroso Sousa - 2022055793

8.1 Introdução

Os capacitores diferentemente dos resistores não apresentam uma relação linear entre a tensão e a corrente nos seus terminais. A relação, no caso, é dada pela equação diferencial:

$$i = C\frac{dv}{dt} \tag{8.1}$$

Um circuito RC (formado por um resistor e um capacitor), quando alimentado repentinamente por uma fonte de tensão ou corrente contínuas, apresenta comportamento típico, chamado de resposta ao degrau. Esse comportamento pode ser obtido utilizando as Leis de Kirchoff para obter a equação característica do circuito da Figura 8.1, dada por (observe que esse circuito é um RC paralelo):

$$C\frac{dv_C}{dt} + \frac{v_C}{R} = I_S \tag{8.2}$$

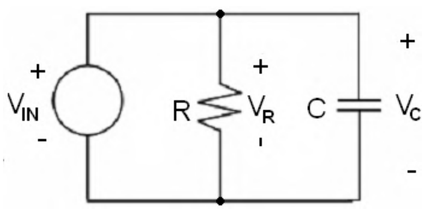


Figura 8.1: Circuito RC paralelo.

Resolvendo a equação acima para a tensão no capacitor, tem-se:

$$v_C = I_S R + \left(V_0 - I_S R\right)e^{\frac{-t}{\tau}}, \quad t \geq 0 \tag{8.3}$$

O termo τ que aparece na equação leva o nome de constante de tempo de um circuito RC e é dado pelo produto da capacitância pela resistência equivalente vista dos terminais do capacitor.

$$\tau = RC \tag{8.4}$$

A constante de tempo fornece uma ideia do tempo requerido para ocorrerem mudanças nas tensões e correntes do circuito RC.

Nesta prática, aplicaremos uma onda quadrada ao circuito RC serie, para analisarmos sua resposta transitória. Um desenvolvimento mais detalhado do problema pode ser visto no Capítulo 7, seção 7.3 - Resposta a um degrau de circuitos RL e RC - do livro texto.

Pré-relatório: Elabore uma introdução teórica sobre **Resposta Transitória do Circuito RC série**.

Um circuito RC em série é um circuito composto por um resistor e um capacitor em série. Este tipo de circuito apresenta um comportamento específico ao sofrer uma variação de tensão brusca em seus componentes. Este comportamento é definido como a resposta transitória do sistema, que configura o período de tempo até a resposta do sistema se estabilizar na chamada resposta permanente.

As respostas transitórias de um circuito RC incluem as situações nas quais o sistema está desligado e subitamente é conectada uma fonte ao sistema, neste caso, a corrente inicial é máxima e conforme o capacitor se carrega vai reduzindo até atingir 0. Esse comportamento pode ser descrito pela equação da tensão no capacitor:

$$v_C(t) = V \cdot (1 - e^{-\tau \cdot t})$$

Outro comportamento característico ocorre quando uma fonte é desconectada do capacitor e este permanece ligado ao resistor, então o sistema descarrega e a tensão no capacitor é descrita por:

$$v_C(t) = V_0 \cdot e^{-\tau \cdot t}$$

*Onde a constante de tempo (**τ** $=R \cdot C$) nas duas equações determina a velocidade na qual o sistema responde às mudanças. Um intervalo de 5**τ** é suficiente para a resposta transitória já ter se dissipado enquanto um intervalo de 1**τ** terá dissipado cerca de 63,2% desta resposta.*

8.1.1 Objetivos

1. Estudo da resposta transitória de circuitos RC.

8.2 Materiais e Métodos

8.2.1 Pré-relatório: Memória de cálculo e simulação

1. Determine a constante de tempo para o circuito RC série mostrado na Figura 8.2, considerando $R = 22k\Omega$ e $C = 100nF$.

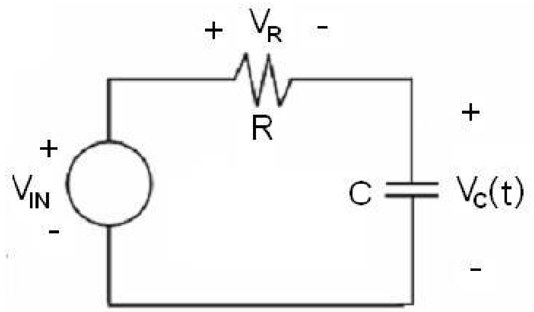


Figura 8.2: Circuito RC série

Cálculo da constante de tempo para R = 22kΩ

$$\tau = (22\times10^{3})\cdot(100\times10^{-9}) = 2200\times10^{-6} = 2{,}2 \text{ ms}$$

2. Usando o LTspice (ou outro *software* de simulação de sua preferência), simule o circuito RC proposto, configure V_{in} de forma a gerar uma onda quadrada com amplitude de $4V_{PP}$ e período igual a 20τ. Use uma simulação de transitório ("transient") de forma a visualizar 3 períodos de V_{in}. Gere os gráficos de $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ sobrepostos e apresente na seção "Resultados".

3. Modifique o valor do resistor para $R = 100k\Omega$, repetindo a simulação de transitório. Gere novamente os gráficos de $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ sobrepostos e apresente na seção "Resultados".

Cálculo da constante de tempo para R = 100kΩ

$$\tau = (100\times10^{3})\cdot(100\times10^{-9}) = 10000\times10^{-6} = 10\text{ ms}$$

8.2.2 Parte prática

Material necessário: gerador de sinais e osciloscópio, resistores e capacitores.

1. Monte o circuito RC série conforme a Figura 8.2, utilizando R = 22kΩ e C = 100nF.

2. Aplique uma onda quadrada na entrada do circuito com amplitude $4V_{PP}$ e período igual a 10τ. Ajuste o osciloscópio de modo a visualizar as formas de onda de $V_{in}(t)$ e $V_C(t)$ simultaneamente, e meça experimentalmente a constante de tempo τ. (Apresente as formas de onda $V_{in}(t)$ e $V_C(t)$ na seção "Resultados".)

3. Ajuste o osciloscópio de modo a visualizar as formas de onda de $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ (por meio de $V_R(t)$), simultaneamente, e varie a frequência da onda de entrada conforme a equação $f = 1/2t_p$, onde t_p corresponde à largura do pulso.

   (a) $t_p = 5\tau$

   Cálculo da frequência correspondente:

   tp = 5 × τ tp = 5 × 2,2 ms = 11 ms

   f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 11 ms) f = 1/(22 × 10^{-3} s) f = 1000/22 Hz f ≈ 45,45 Hz

   (b) $t_p = 25\tau$

   Cálculo da frequência correspondente:

   tp = 25 × τ tp = 25 × 2,2 ms = 55 ms

   f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 55 ms) f = 1/(110 × 10^{-3} s) f = 1000/110 Hz f ≈ 9,09 Hz

   (c) $t_p = 0,5\tau$

   Cálculo da frequência correspondente:

tp = 0,5 × τ tp = 0,5 × 2,2 ms = 1,1 ms

f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 1,1 ms) f = 1/(2,2 × 10^{-3} s) f = 1000/2,2 Hz f ≈ 454,55 Hz

(Apresente as formas de onda $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $V_R(t)$ para as 3 condições na seção "Resultados".)

4. Repita os itens 2 e 3, utilizando R = 100kΩ.

(a) $t_p = 5\tau$

Cálculo da frequência correspondente:

tp = 5 × τ tp = 5 × 10 ms = 50 ms

f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 50 ms) f = 1/(100 × 10^{-3} s) f = 10 Hz

(b) $t_p = 25\tau$

Cálculo da frequência correspondente:

tp = 25 × τ tp = 25 × 10 ms = 250 ms

f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 250 ms) f = 1/(500 × 10^{-3} s) f = 2 Hz

(c) $t_p = 0,5\tau$

Cálculo da frequência correspondente:

tp = 0,5 × τ tp = 0,5 × 10 ms = 5 ms

f = 1/(2tp) f = 1/(2 × 5 ms) f = 1/(10 × 10^{-3} s) f = 100 Hz

(Apresente as formas de onda $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ para as 3 condições na seção "Resultados".)

8.3 Resultados

Simulação

Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ simulados para R=22kΩ

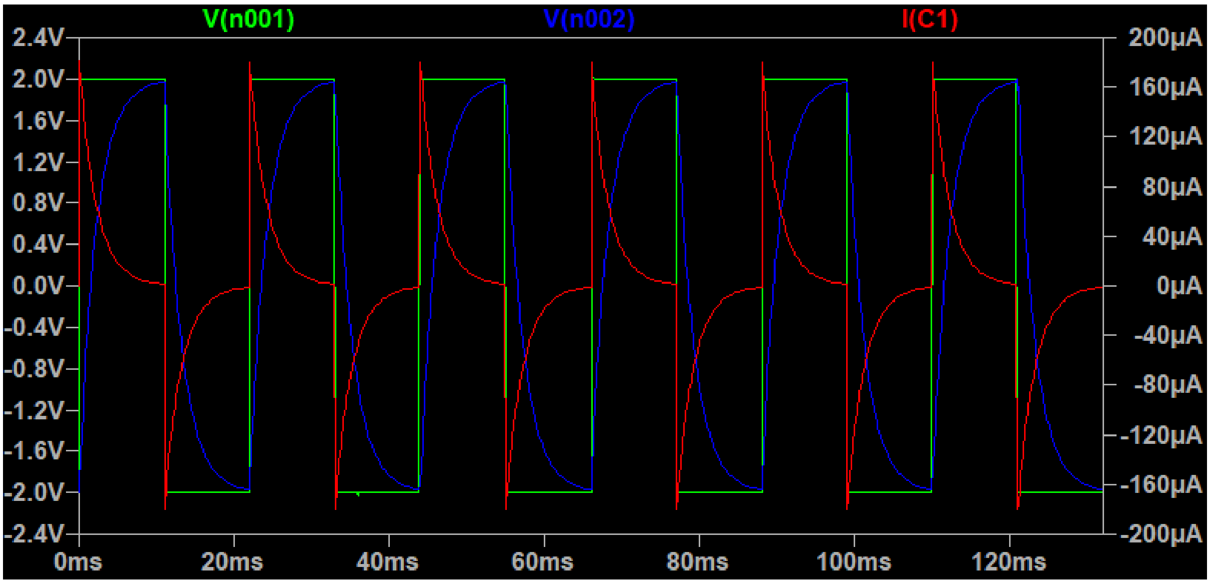
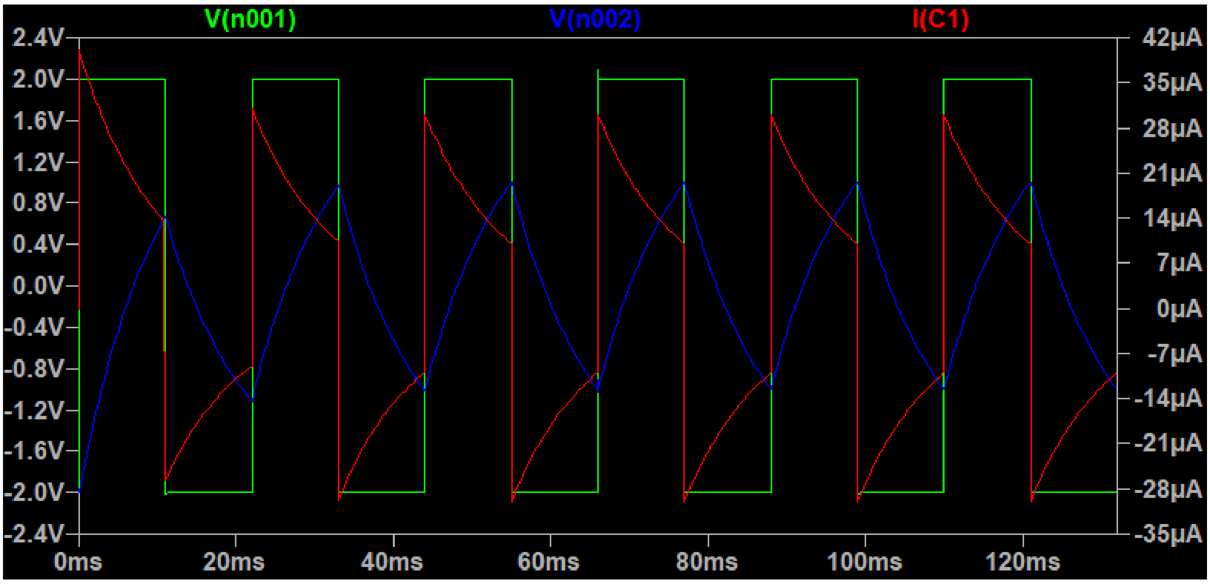


Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ simulados para R=100kΩ



Parte Prática

Gráfico $V_{in}(t)$ e $V_C(t)$ – medição da constante de tempo para R=22kΩ

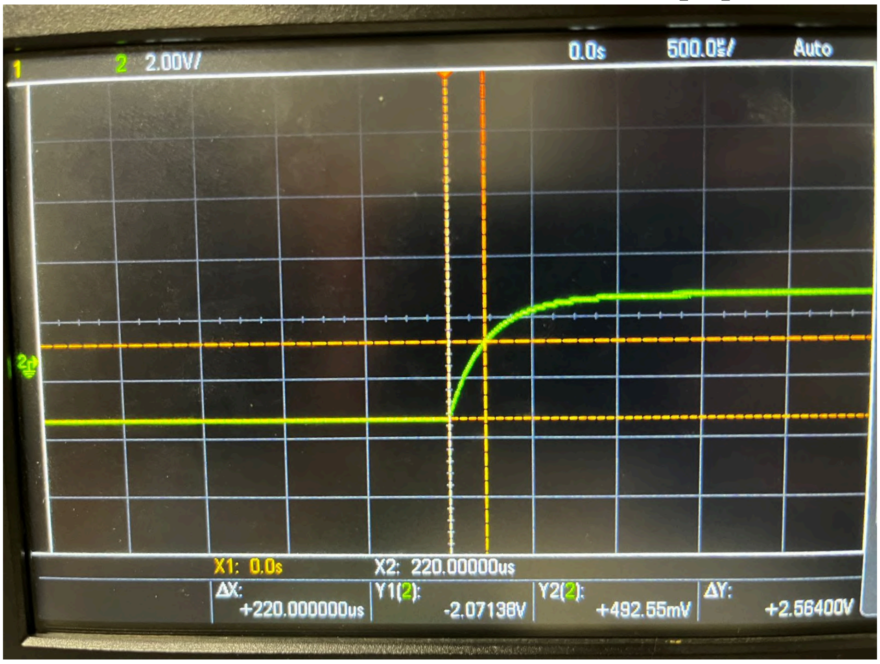


Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=22kΩ e t_p=5τ

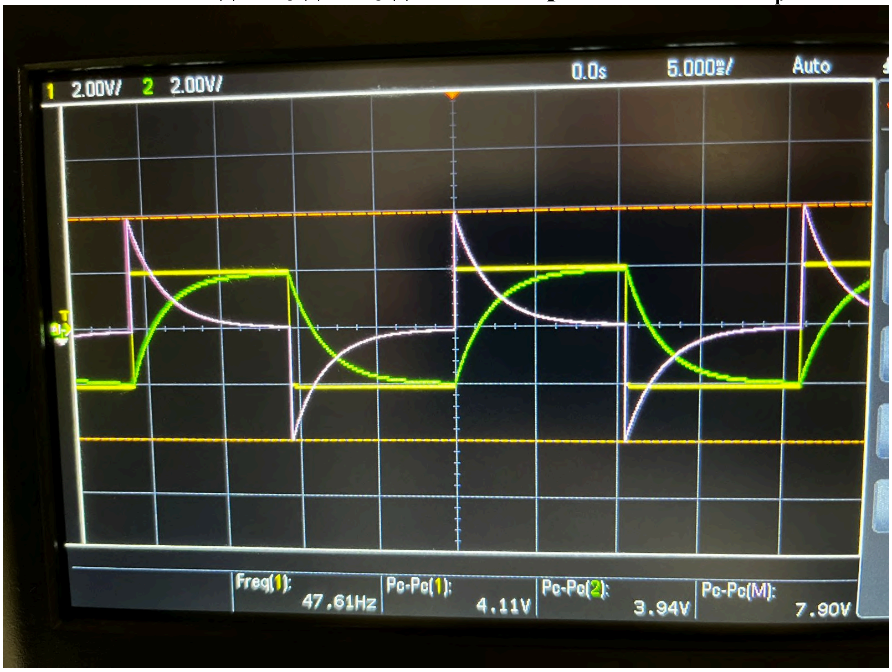


Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=22kΩ e t_p=25τ

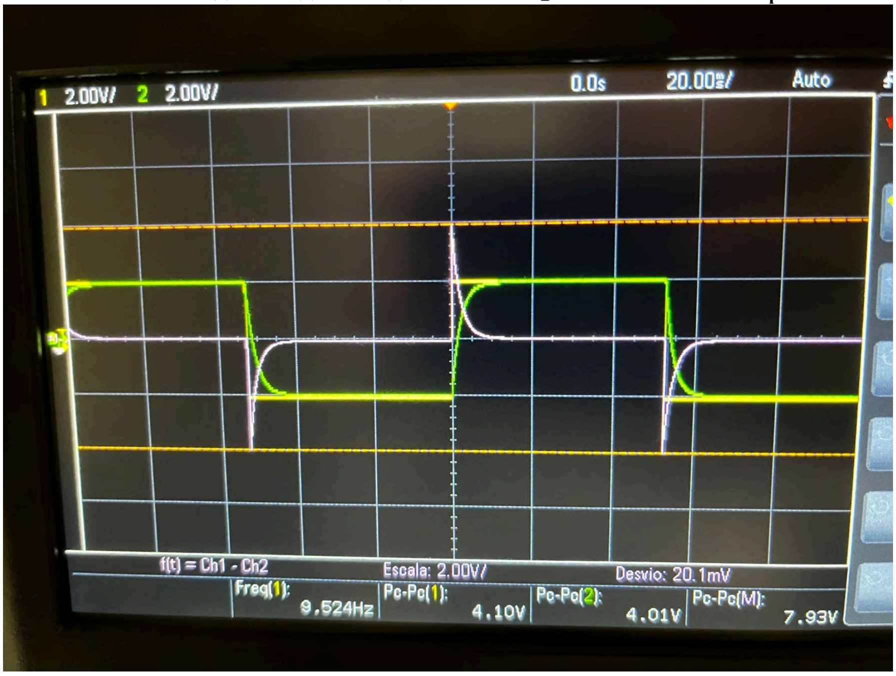


Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=22kΩ e t_p=0,5τ

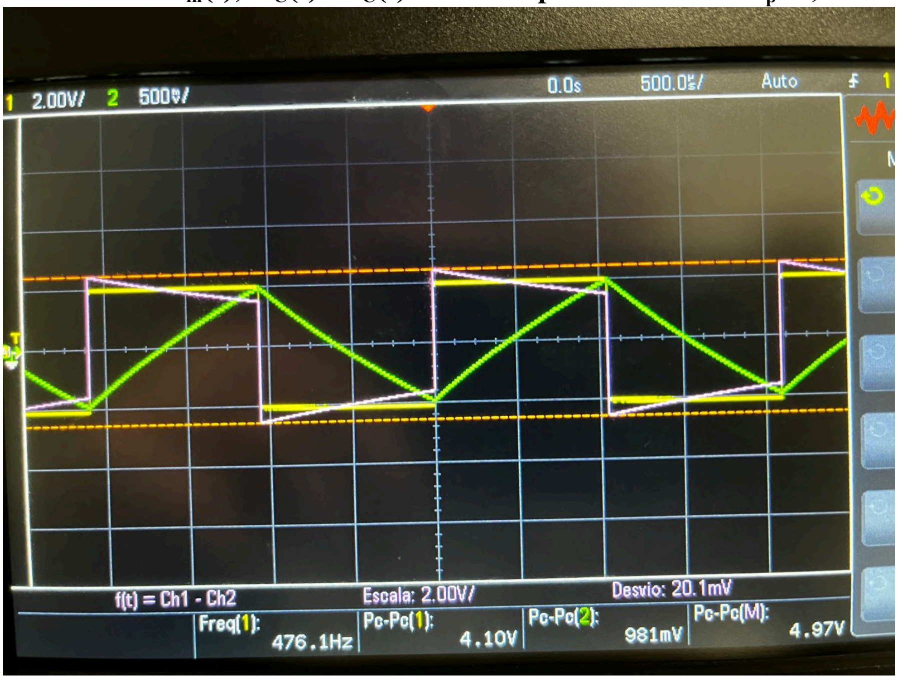


Gráfico $V_{in}(t)$ e $V_C(t)$ – medição da constante de tempo para R=100kΩ

Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=100kΩ e $t_p=5\tau$

Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=100kΩ e $t_p=25\tau$

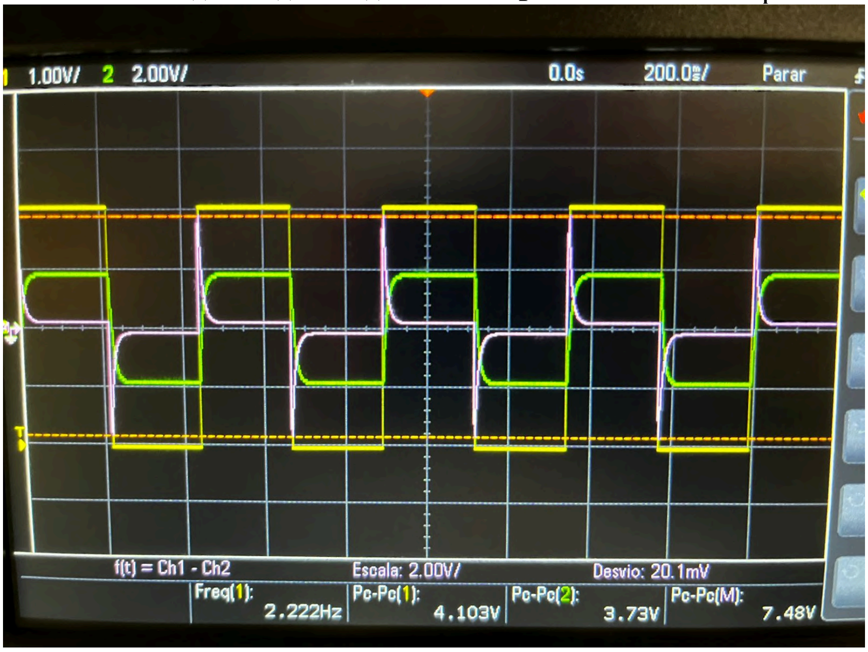
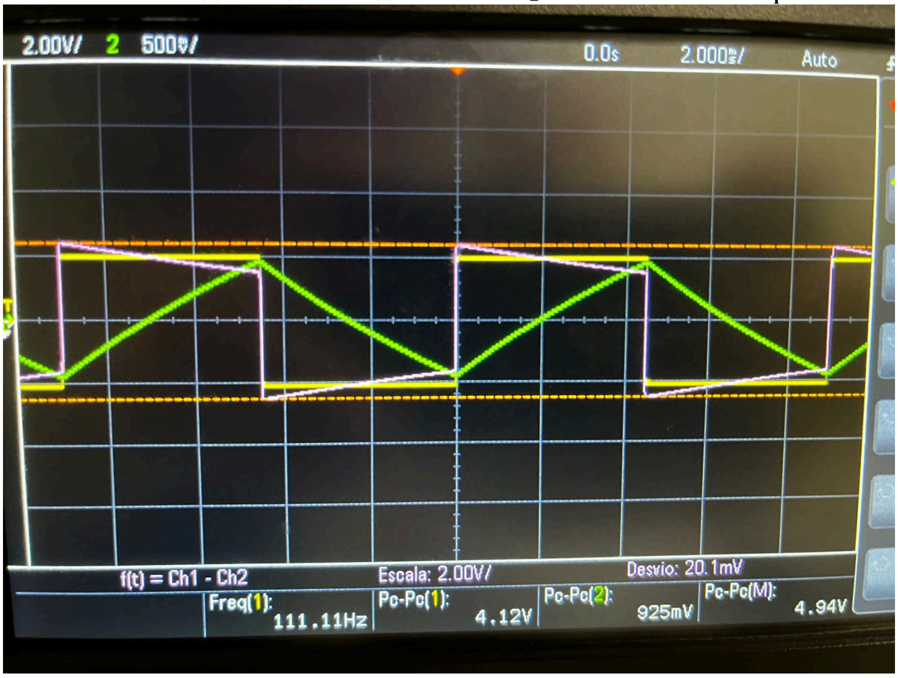


Gráfico $V_{in}(t)$, $V_C(t)$ e $I_C(t)$ medidos para R=100kΩ e t_p=0,5τ



8.4 Discussão e Conclusão

1. Compare os valores medidos com os valores calculados para as constantes de tempo. Comente os resultados.

τ	Calculado (ms)	Medido (ms)	E (%)
22kΩ	2,2	2,126	3,36
100kΩ	10	9,74	2,6

Os valores medidos foram próximos dos calculados e a variação do erro em cerca de 3% é justificada pela imprecisão dos componentes do circuito como seus capacitores e resistores. O primeiro valor, para 22 kΩ indica que em cerca de 10,6 ms a resposta temporária do sistema já terá desaparecido enquanto para o segundo valor, de 100 kΩ isto aproxima-se de 48,7 ms.

2. Compare as ondas medidas com as simuladas e justifique eventuais discrepâncias.

As ondas medidas foram muito similares às ondas simuladas e quaisquer discrepâncias observadas tratam-se de ruídos nas precisões dos componentes físicos utilizados como osciloscópios, gerador de sinais, fios, resistores e capacitores. Os formatos e valores vistos em laboratório são muito coerentes com os simulados no LTSpice.

3. Discuta os efeitos da mudança de componentes realizada no item 5 no comportamento das grandezas observadas.

A mudança do resistor de 22kΩ por um resistor de 100kΩ não afetou muito o comportamento macroscópico do sistema, pois ao alterarmos o valor do resistor, readaptamos a visualização para incluir a nova constante de tempo. Entretanto, é possível perceber que a frequência das ondas reduziu em cerca de 5 vezes para cada um dos testes de frequência realizados. A alteração das frequências permitiu a visualização de diferentes formatos de onda, em especial no caso onde o valor foi configurado para 0,5τ, onde o sistema é perturbado ainda sem ter estabilizado a resposta transitória.