

## F 429: Experimento II

### Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Instrumentos e Componentes</b>	<b>2</b>
2.1	Medidas . . . . .	2
2.1.1	Impedância interna do gerador . . . . .	2
2.1.2	Indutor . . . . .	3
2.1.3	Resistência em série do indutor ( $R_L$ ) . . . . .	3
2.1.4	Capacitor . . . . .	3
2.1.5	Resistor de $47\Omega$ . . . . .	3
2.1.6	Resistor de $150\Omega$ . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Circuito RC</b>	<b>3</b>
3.0.7	Integrador . . . . .	3
3.0.8	Diferenciador . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Circuito RLC</b>	<b>7</b>

### Lista de Figuras

1	Circuito representativo para medida da resistência interna do gerador . . . . .	2
2	Circuito integrador ou Filtro passa-baixa . . . . .	3
3	Circuito integrador $f_c \approx 120,51Hz$ . . . . .	4
4	Circuito integrador $f_c$ . . . . .	4
5	Circuito integrador $f_c \approx 192,80kHz$ . . . . .	5
6	Circuito diferenciador ou Filtro passa-alta . . . . .	5
7	Circuito diferenciador $f_c \approx 120,51Hz$ . . . . .	6
8	Circuito diferenciador $f_c$ . . . . .	6
9	Circuito diferenciador $f_c \approx 192,80kHz$ . . . . .	6
10	Circuito RLC . . . . .	7

### Lista de Tabelas

# 1 Introdução

Este experimento propõe-se a estudar as experimentalmente e analisar as formas de onda dos circuitos integrador e diferenciador. Neste caso, são do tipo RC e compostos por uma fonte, um resistor e um capacitor ligados em série.

Analizamos também transientes em circuito ressonante série RLC. Os transientes podem ser estudados no laboratório excitando o circuito com uma onda quadrada de período muito maior que a constante de tempo do circuito.

## 2 Instrumentos e Componentes

Os instrumentos e componentes utilizados estão listados abaixo com seus respectivos valores nominais.

- Gerador de Funções Tektronix CFG 253.
- Osciloscópio digital Tektronix TDS1000.
- Resistências nominais de  $47\Omega$  e  $150\Omega$ .
- Resistência de décadas ( $10\Omega$  a  $10K\Omega$ ).
- Capacitor de  $0.22\mu F$ .
- Indutor de  $50mH$ .

### 2.1 Medidas

#### 2.1.1 Impedância interna do gerador

Para determinar a impedância interna do gerador de funções, começamos com a aproximação de que esta é puramente resistiva e independe da frequência, modo de onda ou corrente que fornece. Feita essa hipótese, podemos encontrar a resistência interna  $R_G$  do gerador montando o circuito como na figura abaixo. Primeiro medimos a tensão de saída do gerador de

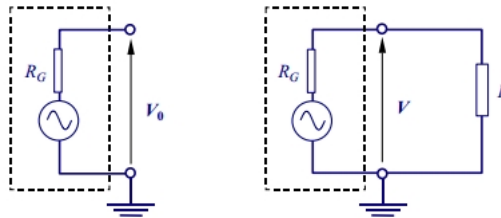


Figura 1: Circuito representativo para medida da resistência interna do gerador

funções conectando-o diretamente ao osciloscópio. Após medir o pico  $V_0$ , colocamos um resistor em paralelo ao circuito, e obtemos um valor para  $V$ . Com essas medidas podemos encontrar um valor para  $R_G$ , sabendo que temos um divisor de tensão e juntando a Lei de Ohm<sup>1</sup>. Logo,

$$R_G = R \cdot \left(\frac{V_0}{V} - 1\right) \text{ e } \Delta R_G = R_G \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta(V_0/V)}{V_0/V - 1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2}, \text{ onde } \Delta \frac{V_0}{V} = \frac{V_0}{V} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta V_0}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}.$$

---

<sup>1</sup>  $V = R \cdot I$

Portanto, para  $V_0 = 24,8V$ <sup>II</sup>,  $V = 12,2V$ <sup>III</sup> e  $R_{47} = 47,8\Omega, \Delta R_{47} = 0,6\Omega$ <sup>IV</sup>, temos:  $\Delta V_0 = 0,9940V, \Delta V =$   
 resultando em  $\frac{V_0}{V} = 2,0328 \frac{V}{V}, \Delta \frac{V_0}{V} = 0,1125 \frac{V}{V}$  e  $R_G = 49,3672\Omega \pm 5,4154\Omega$ .

### 2.1.2 Indutor

No experimento I, calculamos o valor do indutor utilizado nos experimentos. O resultado foi,  $L = 47,0311mH \pm 4,0174mH$ .

### 2.1.3 Resistência em série do indutor ( $R_L$ )

O cálculo de  $R_L$  foi apresentado no relatório I, resultando em  $R_L = 46,3\Omega \pm 0,6\Omega$ .

### 2.1.4 Capacitor

No experimento anterior obtivemos  $C = 0,2236\mu F \pm 0,0191\mu F$ .

### 2.1.5 Resistor de $47\Omega$

$$R_{47} = 47,8\Omega \pm 0,6\Omega.$$

### 2.1.6 Resistor de $150\Omega$

$$R_{150} = 148\Omega \pm 2,5\Omega.$$

## 3 Circuito RC

### 3.0.7 Integrador

Um circuito integrador é um componente eletrônico contendo elementos, como fonte de tensão[2.1.1], resistor[2.1.6] e capacitor[2.1.4].

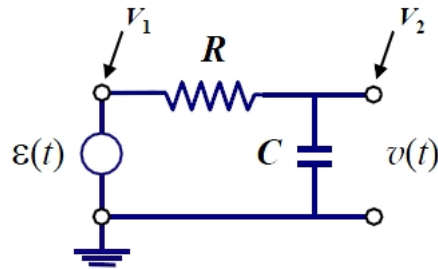


Figura 2: Circuito integrador ou Filtro passa-baixa

I **Lei de Kirchoff:** Aplicando a lei de Kirchoff para malhas teremos:  $\varepsilon(t) = R \cdot i(t) + v_c(t)$ <sup>V</sup>

II **Integrador:** No cálculo acima obtemos:  $v(t) \approx v_0(t) + \frac{1}{RC} \int_{t_0}^t \varepsilon(t)dt$ .

<sup>II</sup>Escala: 5V

<sup>III</sup>Escala: 2V

<sup>IV</sup>Dado obtido no experimento I

<sup>V</sup>Lembrando que  $I_c(t) = C \cdot \frac{dV(t)}{dt}$

III **Passa-baixa:** A função de transferência de um passa-baixa<sup>VI</sup> é dada por  $T(s) = \frac{K}{1+\frac{s}{w_0}}$ .

Sabe-se que  $s = j \cdot w$ , onde  $w = 2\pi \cdot f$  e  $\tau = \frac{1}{w_0}$ <sup>VII</sup>.

Portanto, para um passa-baixa temos:  $T(jw) = \frac{K}{1+j(\frac{w}{w_0})}$  e a frequência de corte  $f_c = \frac{1}{\tau \cdot 2\pi}$ .

**Transmissão DC:** Em uma transmissão DC, ou seja,  $f = 0Hz (w = 0)$ , temos  $T(jw) = K$ .

IV **Metodologia:** Montamos o circuito conforme a figura acima, monitorando a  $V_1$  e  $V_2$  no osciloscópio, variando as formas de onda<sup>VIII</sup> e a frequência ( $\frac{f_c}{40}$ ,  $f_c$ ,  $40f_c$ ). Modificamos, também, o nível DC entre -1V e +1V e observamos o efeito provocado.

V **Resultados e Discussões:** Dado em III, combinando com 2.1.4 e 2.1.6, temos  $f_c \approx 4,8881Hz$ .

Para V, ou seja, frequências aquém de  $f_c$ , temos que  $V_1 \approx V_2$  visto que o circuito é um passa-

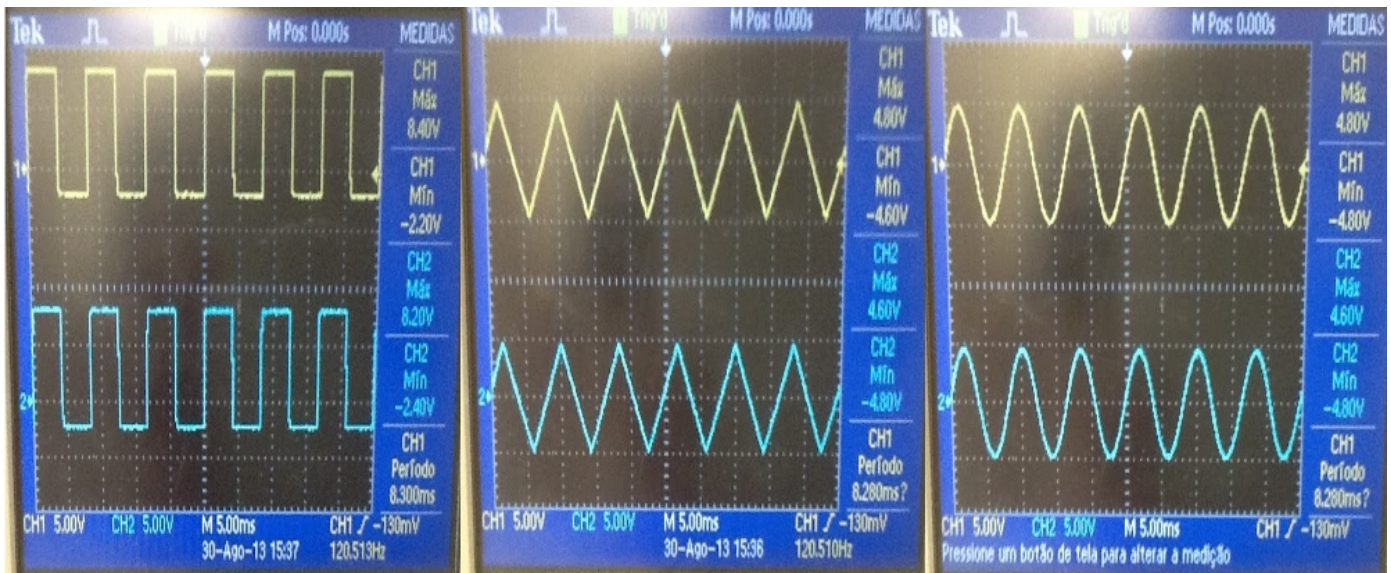


Figura 3: Circuito integrador  $f_c \approx 120,51Hz$

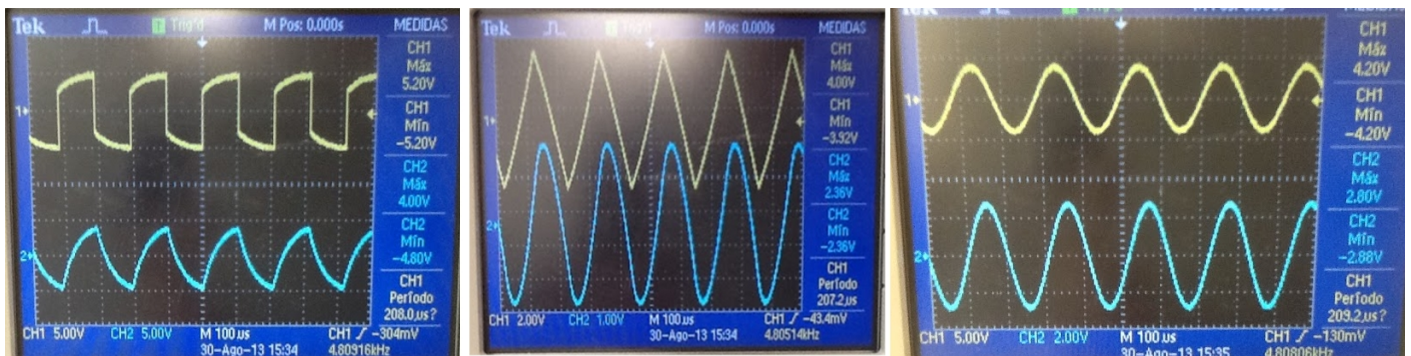


Figura 4: Circuito integrador  $f_c$

<sup>VI</sup>Sedra Smith, microeletronics circuits 5th edition , tabela 1.2: Resposta em frequência de redes STC

<sup>VII</sup>frequência 3-dB

<sup>VIII</sup>quadrada, triangular e senoide



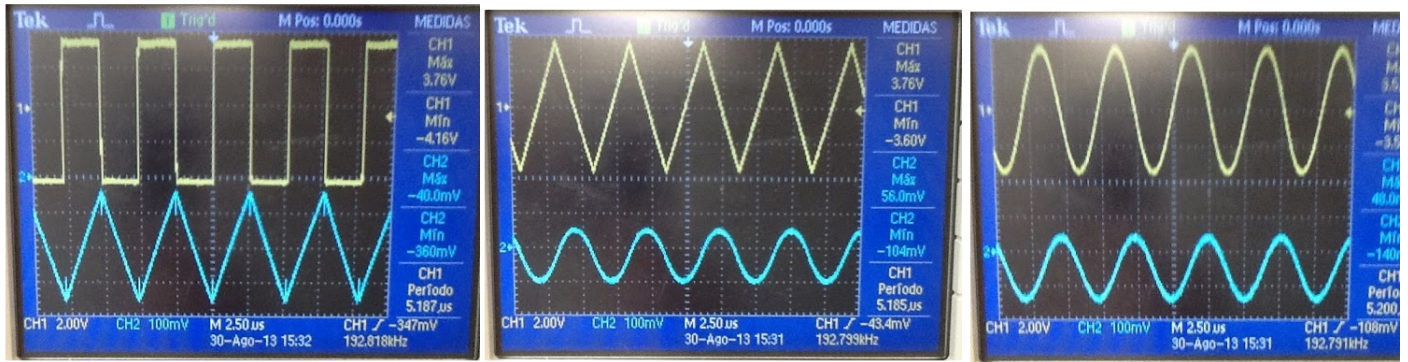


Figura 5: Circuito integrador  $f_c \approx 192,80kHz$

baixa[III]<sup>IX</sup>. Entretanto, para frequência próximas de  $f_c$  observamos pequenas distorções em  $V_2$  e para frequência muito além ( $40f_c$ ) temos um integrador, visto que, a integral de uma constante é uma reta.

A variação do sinal DC resultou em uma descida/subida mais abrupta, já que teremos  $T(jw) = K = 1$ , para  $f = 0$ .

### 3.0.8 Diferenciador

O circuito RC diferenciador assemelha-se ao integrador, apenas alteramos a configuração entre o resistor 2.1.6 e o capacitor 2.1.4.

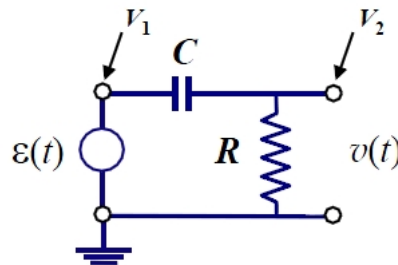


Figura 6: Circuito diferenciador ou Filtro passa-alta

I **Lei de Kirchhoff**: Aplicando a lei de Kirchhoff para malhas teremos:  $\varepsilon(t) = \frac{t}{C} + v(t)$ .

II **Diferenciador**: No cálculo acima obtemos:  $v(t) \approx \frac{1}{RC} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$

III **Passa-alta**: A função de transferência de um passa-alta<sup>X</sup> é dada por  $T(s) = \frac{Ks}{s+w_0}$ .

Sabe-se que  $s = j \cdot w$ , onde  $w = 2\pi \cdot f$  e  $\tau = \frac{1}{w_0}$ <sup>XI</sup>.

Portanto, para um passa-alta temos:  $T(jw) = \frac{K}{1-j(\frac{w_0}{w})}$  e a frequência de corte  $f_c = \frac{1}{\tau \cdot 2\pi}$ .

**Transmissão DC**: Em uma transmissão DC, ou seja,  $f = 0Hz$  ( $w = 0$ ), temos  $T(jw) = 0$ .

IV **Metodologia**: Montamos o circuito conforme a figura acima, monitorando a  $V_1$  e  $V_2$  no osciloscópio, variando as formas de onda<sup>XII</sup> e a frequência ( $\frac{f_c}{40}$ ,  $f_c$ ,  $40f_c$ ). Modificamos,

<sup>IX</sup>Nota-se no diagrama de Bode do experimento I para um circuito RC

<sup>X</sup>Sedra Smith, microeletronics circuits 5th edition, tabela 1.2: Resposta em frequência de redes STC

<sup>XI</sup>frequência 3-dB

<sup>XII</sup>quadrada, triangular e senoíde

também, o nível DC entre -1V e +1V e observamos o efeito provocado.

**V Resultados e Discussões:** Dado para um filtro passa-alta III, combinando com o capacitor 2.1.4 e resistor 2.1.6, temos: Para  $V$ , ou seja, frequências aquém de  $f_c$ , temos um circuito

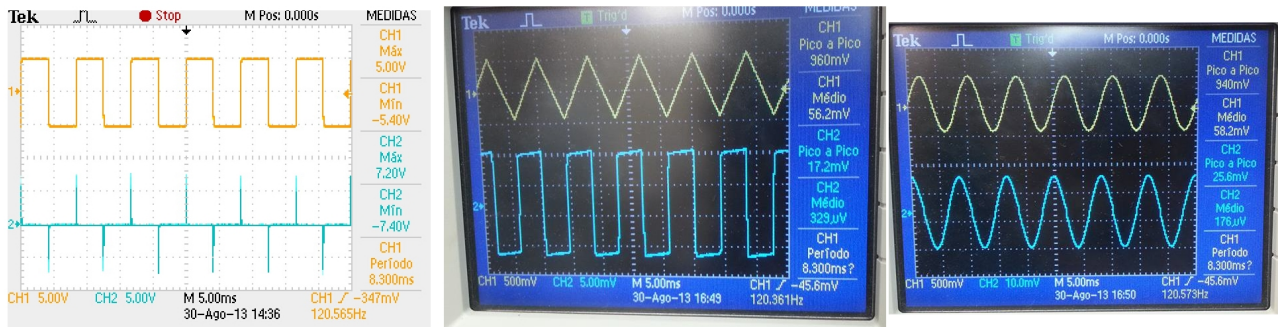


Figura 7: Circuito diferenciador  $f_c \approx 120,51Hz$

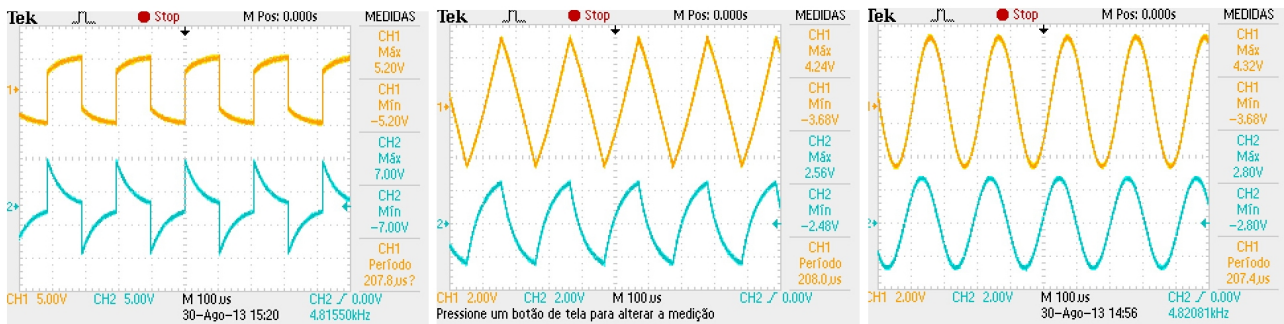


Figura 8: Circuito diferenciador  $f_c$

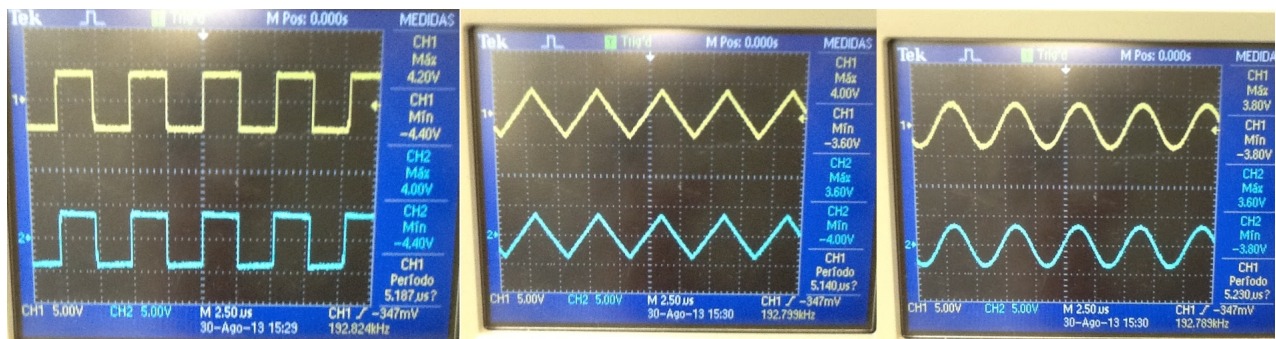


Figura 9: Circuito diferenciador  $f_c \approx 192,80kHz$

integrador, conforme observado na figura V, na qual para a onda triângular, fica claro que, a derivada de uma reta é uma constante. Já para frequência bem próxima a  $f_c$  temos uma distorção na saída, e para  $f \gg f_c$ , ou seja,  $f \approx 40f_c$  temos  $V_1 \approx V_2$ , visto que temos um filtro passa-alta. A variação do sinal DC não modificou a saída  $V_2$ , uma vez que, o capacitor carrega-se rapidamente em tensão/corrente DC e, diferentemente de uma onda variável no tempo, o capacitor não se descarregará.

## 4 Circuito RLC

Neste experimento, montamos um circuito RLC, de acordo com a figura abaixo. Onde  $R_L$ [2.1.3] é a resistência inerente ao indutor,  $L$ [2.1.2] o indutor,  $C$ [2.1.4] o capacitor e  $R_D$  é a resistência de década.  $R_g$  é a resistência interna do gerador. A resistência interna do gerador

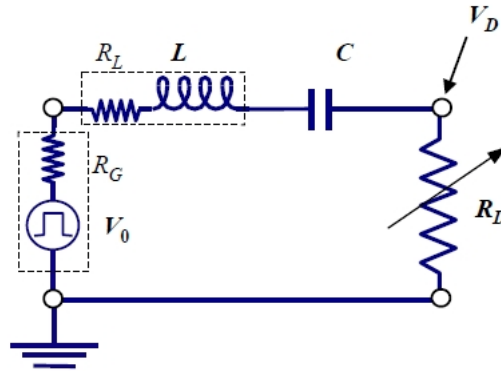


Figura 10: Circuito RLC

foi determinada medindo a voltagem de circuito aberto e a voltagem quando conectado a um resistor de 47 ohms, já a RL foi medida com um multímetro. O valor da capacitância e da indutância foi determinada com o método da figura de Lissajous.

Com as medidas em mãos iniciamos nosso experimento com o procedimento descrito abaixo:

- I O osciloscópio configurado para monitorar a voltagem no gerador e a corrente, ou seja no canal 2 está a resistência de décadas.
- II Ligamos o gerador de forma a alimentar o circuito com o formato de onda senoidal.
- III Determinamos a frequência de ressonância -  $f_0$  - pelo método de Lissajous.
- IV Variamos a resistência de décadas para verificarmos que  $f_0$  NÃO depende de  $R_d$ .
- V Após isso, alimentamos o circuito com ondas quadradas e ajustamos a frequência do gerador de forma a garantir que a corrente zera a cada semiciclo (  $T < 10 \cdot \tau$  ), onde T é o período de onda e  $\tau = \frac{2L}{R}$ .
- VI Variando a resistência de década pudemos observar a mudança dos regimes de amortecimento.