

### **Esquema correção relatórios F429 (2s 2018)**

<b>Experimento:</b>	<b>Turma:</b>	<b>Grupo:</b>
---------------------	---------------	---------------

	CRITÉRIO		DICAS
<b>CONTEÚDO (7 PTS)</b>			
<b>a.</b>	Resumo que seja autossuficiente para quem não fez o experimento e que apresente os principais resultados obtidos.	0.5	
<b>b.</b>	Discute a motivação e os principais objetivos.	1	
<b>c.</b>	Cita brevemente a ferramenta teórica/modelo que será usado nas análises e discussões	0.5	Falta as eq. fundamental.
<b>d.</b>	Descrição do experimento.	1	
<b>e.</b>	Discussão dos resultados e análises com relação ao modelo.	0.5	Uma discussão é bem superficial. Você
<b>f.</b>	Contextualização dos resultados e análises com relação aos valores esperados ou qualquer outra informação externa relevante.	0.25	precisa analisar seus gráficos e obter números deles, que você deve comparar ao seu modelo.
<b>g.</b>	Conclusões bem fundadas sobre o experimento.	0.5	
<b>ASPECTOS TÉCNICOS (3 PTS)</b>			
<b>a.</b>	Gráficos bem formatados e que incluam eixos, legendas, unidades e barras de incerteza, se possível.	1	
<b>b.</b>	Dados relevantes devem ser obtidos dos gráficos através, por exemplo, de ajuste e/ou linearização.	0.25	Mem curva teórico ou ajuste
<b>c.</b>	Uso racional do espaço do relatório focado nos pontos importantes.	1	
		<b>NOTA TOTAL</b>	<b>6.5</b>

# Experimento 2

## Física Experimental IV

Grupo 3:

Felipe Mack (81335),  
Gabriel Ferrauche (197314) e  
Tiago de Paula (187679)

15 de Setembro de 2018

### Resumo

Muito geral. Incluía seus resultados mais importantes.

*Neste experimento foi estudado o potencial de uso de circuitos RC como integradores e diferenciadores de um sinal de entrada. Além disso, também foi feito o estudo do fenômeno transiente e de oscilações forçadas amortecidas em um filtro ressonante, em regimes sub-amortecido e sobre amortecido, com o sinal de saída estabilizando-se ao redor do sinal de entrada. Ao final, verificou-se que filtros passivos de um componente reativo podem atuar convenientemente como operadores de diferenciação e integração e que oscilações em um circuito analógico ocorrem de forma altamente similar a outros sistemas oscilatórios*

## 1 Introdução

Em sistemas de controle, é de suma importância monitorar como certas grandezas físicas se comportam com o passar do tempo. Para tal observação, analisar tanto a derivada quanto a integral dessas grandezas mostra-se extremamente importante. em eletrônica analógica, a forma mais comum de cumprir esta tarefa é empregando circuitos diferenciadores e integradores.

A forma mais comum de se construir os circuitos supracitados é empregando filtros passivos de um componente reativo, ou seja, filtros RC e RL. Ao observar circuitos desse tipo em relação ao domínio de tempo, dadas frequências específicas, o sinal de saída desses sistemas é capaz de representar a derivada ou integral do sinal de entrada e assim, possibilitando seu monitoramento.

Muitos sistemas físicos apresentam comportamento oscilatório. Filtros RLC, os chamados filtros ressonantes, também exibem o mesmo tipo de comportamento. Dessa forma, observar como os mesmos se comportam durante as oscilações é útil para estudar como esse fenômeno ocorre.

Considerando os sistemas citados, o objetivo deste experimento é construir um circuito capaz de integrar sinais arbitrários com frequências maiores que 50 kHz e diferenciar sinais com frequência menos que 500 Hz. Além disso, também temos como objetivo estudar o fenômeno transiente utilizando um circuito RLC que possa operar em dois regimes de amortecimento, subamortecido e sobreamortecido, de forma que, no regime estacionário, a tensão de saída se estabilize ao redor da tensão de entrada.

## 2 Materiais e Métodos

Para a realização da coleta de dados, o experimento foi dividido em duas partes, sendo a primeira parte dedicada à análise dos filtros RC e segunda do filtro RLC.

## 2.1 Filtros RC

Para a análise de filtros RC como circuitos integradores e diferenciadores, primeiramente montou-se um circuito RC com componentes  $R_1 = 150\ \Omega$  e  $C_1 = 220\ \text{nF}$ , em valores nominais. Para a integração, foi utilizado o circuito 1(a), um filtro passa-baixas. Analogamente, para a diferenciação, o circuito 1(b), um filtro passa-altas, foi empregado. É importante citar que ambos circuitos foram construídos com os mesmos componentes, em disposições diferentes, questão melhor abordada na seção 4

Em sequência, o gerador de onda BK Precision 4052 [18] foi ajustado para tensão  $V_{pp} = 1\ \text{V}$  e *offset* de 500 mV e os sinais de entrada e saída,  $V_{in}$  e  $V_{out}$ , foram ligados aos osciloscópio Tektronix TBS 1062 [13]. Com o sistema em questão devidamente montado, valores de tensão foram coletados para frequências de 50 kHz e 500 Hz, para um intervalo de tempo de 40 ms. Três situações foram observadas, ondas senoidais, quadradas e triangulares. Por fim, os dados de tensão  $V_{in}$  e  $V_{out}$  foram coletados utilizando a interface gráfica PyLab da biblioteca `pylab` [Gus17] de *Python*.

## 2.2 Filtro RLC

Para a análise do filtro RLC, foi montado um circuito como pode ser visto em 1(c), com componentes de valor nominal  $L = 2.4\ \text{mH}$  e  $C_2 = 47\ \text{nF}$ . Para este circuito, o resistor de década  $R_d$ , uma assumiu valores variados com o decorrer da coleta de dados.

Na sequência, o circuito foi conectado com os mesmos gerador de onda e osciloscópio utilizados anteriormente, com o gerador ajustado no modo pulso, com frequência de 500 Hz e tensão de saída  $V_{in} = 1\ \text{V}$ . A fim de obter os regimes oscilatórios mencionados na seção 1, os valores de  $R_d$  foram variados até que se pudesse observar no osciloscópio, os regimes desejados. Também permitindo a observação da variação no transiente em decorrência da mudança de impedância. Para o caso sub-amortecido e sobre-amortecido,  $40\ \Omega$  e  $1\ \text{k}\Omega$ , respectivamente, mostraram, de forma bem definida, os regimes em questão.

É importante mencionar que, de forma que a tensão de saída se estabilizasse ao redor da tensão de entrada, cumprindo os objetivos do experimento,  $V_{out}$  se referiria à tensão no capacitor, já que após o transiente, o mesmo estaria carregado e produziria uma tensão próxima de  $V_{in}$ , segundo a teoria.

Por fim, novamente, as tensões  $V_{in}$  e  $V_{out}$  foram coletados utilizando o *software* PyLab.

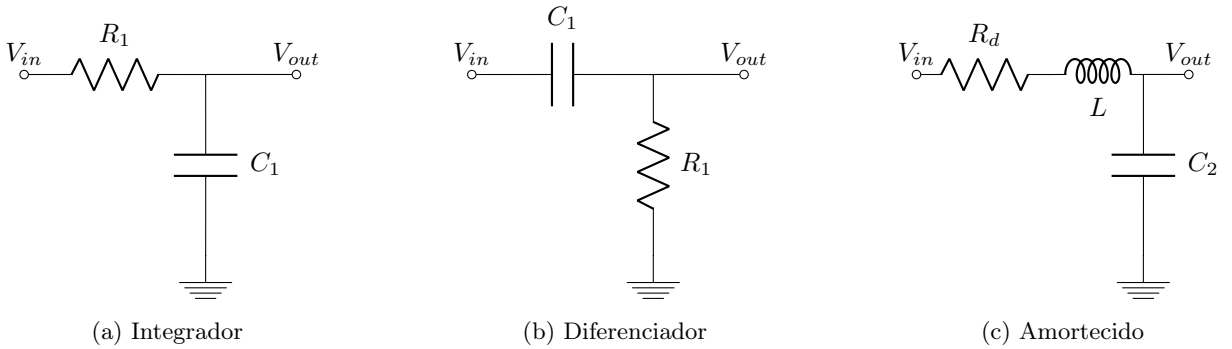


Figura 1: Circuitos utilizados

### 3 Resultados

Segue abaixo os dados coletados para a primeira parte do experimento, em que foram observados circuitos diferenciadores e integradores, o sombreado em azul representa as incertezas das medições, sendo que para valores altos, a incerteza não é visível.

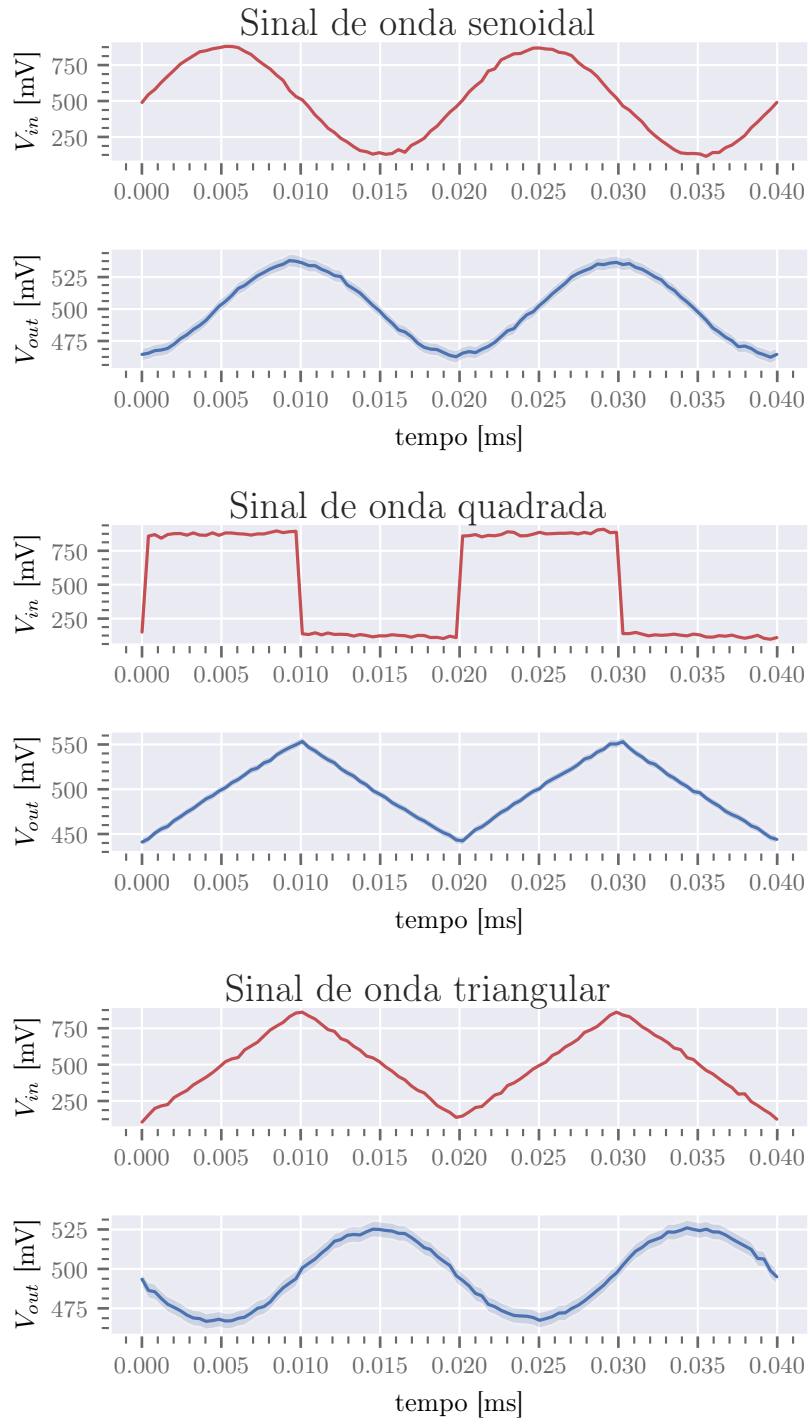


Figura 2: Circuito integrador

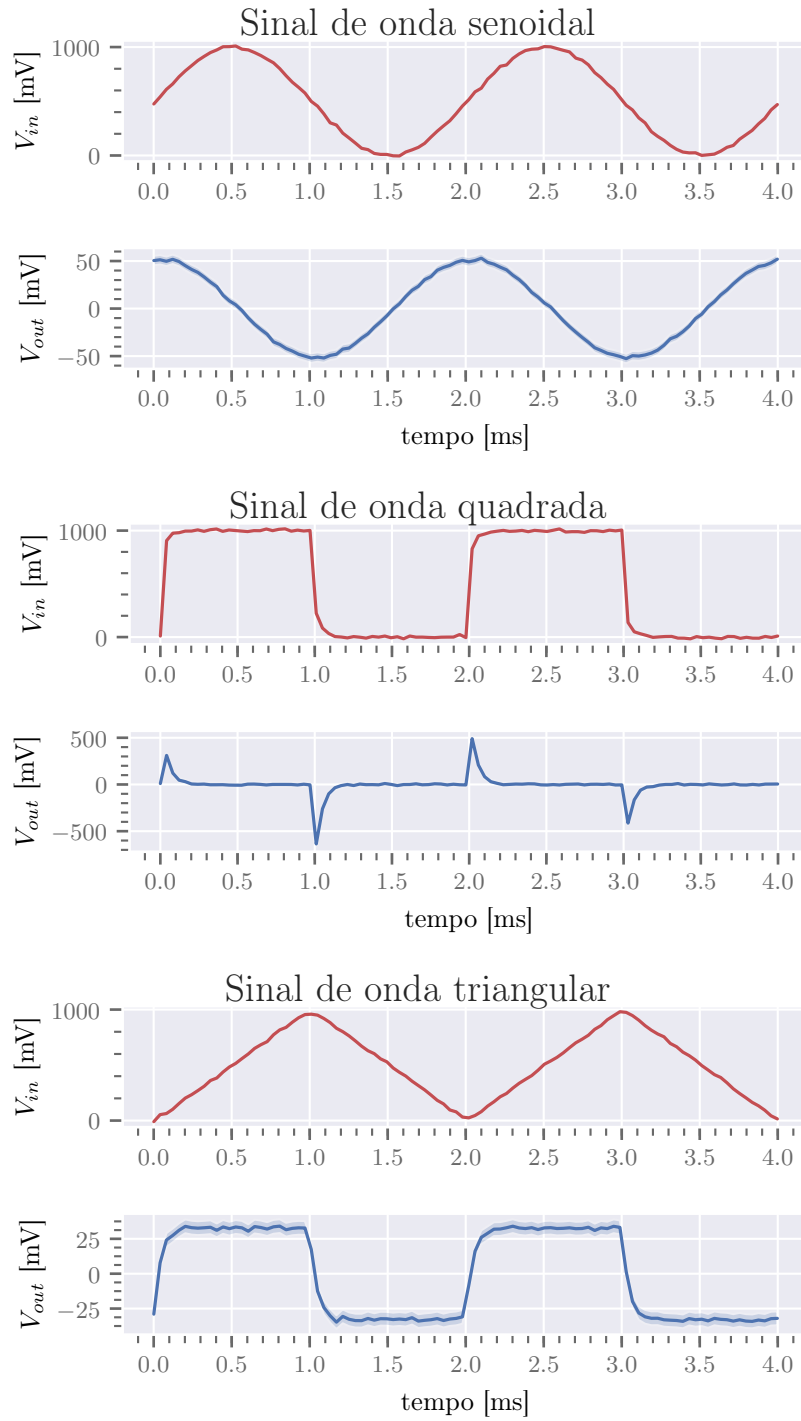
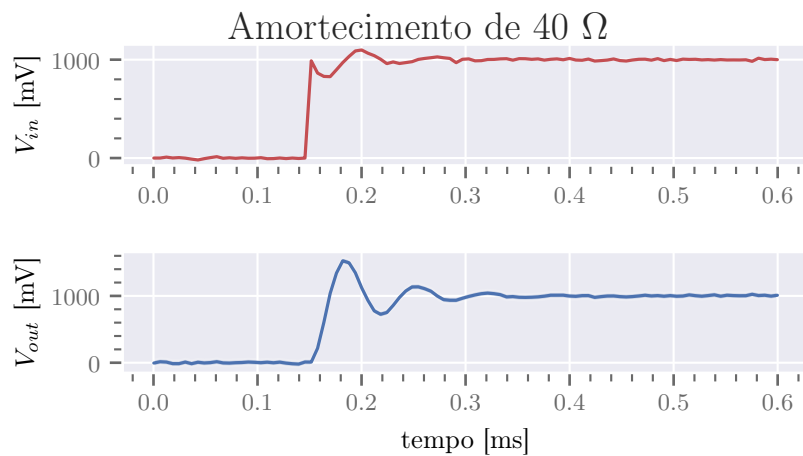
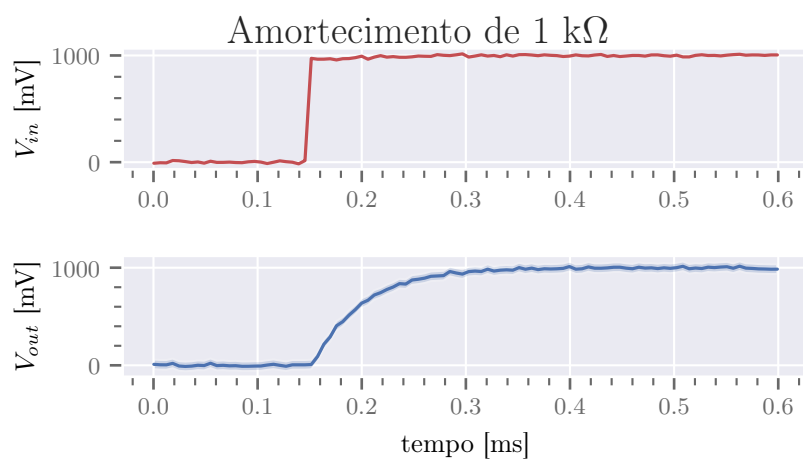


Figura 3: Circuito diferenciador

Abaixo, os dados referentes ao filtro ressonante, em seus regimes de amortecimento, novamente, o sombreamento se refere às incertezas.



(a) Subamortecimento



(b) Sobre-amortecimento

Figura 4: Circuito ressonante

## 4 Discussão

### 4.1 Circuitos RC

Observando o gráfico 2, é possível verificar, em azul, os sinais representando a integração, e em vermelho os sinais originais. Por definição ( $V = Q/C$ ), logo, a carga no capacitor é diretamente proporcional à tensão no mesmo. Dessa forma, os sinais integrados representam, na realidade a carga sobre o capacitor. Considerando este fenômeno, faz sentido que os sinais estejam em fase, dado que o carregamento no capacitor ocorre devido à tensão sobre o mesmo, sendo esta promovida pelo sinal de entrada.

Deve se considerar que o comportamento integrador ocorre quando altas frequências são aplicadas à filtros passa-baixas e que a frequência de corte do circuito integrador é  $\omega_c = \frac{1}{RC} = 4.823 \pm 0.004$  kHz [Cha94]. Dessa forma circuito, como a frequência testada para integração foi de 50 kHz, o resultado obtido foi coerente com o esperado pelo modelo teórico. Como você vê isso na suas medidas?

Já para o gráfico 3, a configuração de cores é análoga à anteriores, com vermelho representando os sinais de entrada e azul os sinais de saída, ou seja, os que indicam diferenciação. Os resultados obtidos mostraram-se condizentes com aqueles observados na literatura, sendo um indício do bom funcionamento do circuito empregado. Qual literatura? Onde você vê?

Seguindo um raciocínio análogo ao anterior, um circuito apresenta comportamento diferenciador quando é um filtro passa-altas submetido à baixas frequências. Como a frequência de corte é a mesma  $\omega_c = 4.823 \pm 0.004$  kHz, porém a frequência empregada era baixa (500 Hz), pelo modelo teórico, o filtro deveria atuar como diferenciador, indicando mais uma vez que o circuito apresentava o comportamento desejado.

É importante mencionar que os mesmos componentes puderam ser utilizados tanto para a integração quanto para a diferenciação devido à frequência de corte. Como  $\omega_c$  possuía um valor intermediário entre as frequências que seriam integradas e diferenciadas, quando os componentes eram configurados como filtro passa-baixas, as frequências altas eram filtradas pelo circuito e quando analisadas sofriam integração. Sendo que para a diferenciação, simplesmente o corria o análogo para um filtro passa-altas.

Muito inespecífico e não usando seus resultados.

### 4.2 Circuito RLC

Do mesmo modo, nos gráficos da figura 4, o sinal em azul mostra a resposta temporal de um circuito ressonante amortecido para um pulso momentâneo, em vermelho. No caso, a figura trata da leitura em um capacitor, que estabiliza à voltagem de entrada, dado o tempo suficiente, fazendo possível a observação do amortecimento durante o transiente. Como o amortecimento crítico se dá, teoricamente, com  $R_d = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 454 \pm 3 \Omega$  [Cha94], os outros tipos de amortecimento puderam ser observados nas outras faixas de resistência.

No gráfico 4(a), fica claro o regime de subamortecimento com a década em  $40 \Omega$ , em que a tensão de saída oscila poucas vezes antes de estabilizar em na tensão de entrada. Nesse caso, os componentes reativos conseguem alternar a energia armazenada entre eles, antes de o circuito ser amortecido pela resistência.

Para o caso de sobreamortecimento, gráfico 4(b), uma resistência de  $1 \text{ k}\Omega$  funcionou muito bem para observar o fenômeno esperado, na mesma faixa de tempo que o caso acima. Nesse regime, no entanto, o circuito nunca chega a completar uma oscilação, transitando de estado bem mais suavemente.

Uma discussão é bem superficial. Você precisa analisar seus gráficos e obter números deles, que você deve comparar ao seu modelo.

## 5 Conclusão

Ao final do experimento, Na verdade, você não mostra isso na análise. concluiu-se que filtros passivos de um componente reativo podem atuar de forma efetiva como integradores e diferenciadores de um sinal original. Percebeu-se que os sinais de saída foram bem similares ao esperado, mostrando que os circuitos testados eram fiéis aos modelos teóricos e que, na construção de sistemas que cumprissem os objetivos do experimento, os circuitos empregados foram bem sucedidos.

Em relação ao filtro ressonante, foi construído um circuito capaz de operar nos dois regimes de amortecimento desejado, além de, no regime estacionário, apresentar um sinal de saída que se estabilizasse muito próximo ao

redor do sinal de entrada. Nos quesitos anteriores, o circuito utilizado se mostrou eficiente e cumpriu os objetivos propostos. ?? Não ficou claro o que essa frase quer dizer.

Em suma, em ambas as partes do experimento, a aplicação de filtros passivos nas situações anteriores foi eficiente e seguiu as previsões teóricas, mostrando a conciliação da teoria e prática atingindo todos os objetivos propostos.

## Referências

- [Cha94] Charles K. Alexander, Mathew N. O. Sadiku. *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. 4ª ed. Prentice-Hall do Brasil Ltda., 1994.
- [13] *Digital Storage Oscilloscopes, Service Manual*. TBS1000 Series. TekTronix. 2013. URL: <https://www.tek.com/oscilloscope/tbs1000-digital-storage-oscilloscope-manual>.
- [Gus17] Gustavo Wiederhecker. *pylef*, Pacote de aquisição de dados de corrente alternada em Python do Laboratório de Ensino de Física. 2017. URL: <https://github.com/gwiederhecker/pylef>.
- [18] *Function/Arbitrary Waveform Generator, USER MANUAL*. Model: 4052, 4053, 4054, 4055. BK Precision. 2018. URL: <http://www.bkprecision.com/products/signal-generators/4052-5-mhz-dual-channel-function-arbitrary-waveform-generator.html>.