

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC



ELETRÔNICA ANALÓGICA APLICADA

Prof. Dr. Stilante Koch Manfrin

Experimento 5: Aplicações não lineares com Amplificadores Operacionais

Ana Paula Sales de Araujo RA: 11201811703

André Marques da Silva RA: 11202021067

Luísa Pataquini Macchia RA: 11201920163

Juliana Ferreira Kulcsar RA: 11202232216

Santo André

Agosto de 2023

1. Objetivos	3
2. Descrição do Experimento	3
a. Material e Equipamentos utilizados	3
b. Descrição do Experimento	3
3. Resultados e Discussão	5
4. Conclusão	12
5. Referências Bibliográficas	13

1. Objetivos

- a. Avaliar o comportamento dos circuitos integrador, diferenciador, oscilador.
- b. Verificar o sinal de entrada senoidal e, posteriormente, quadrado, com frequência de 1 kHz e 0,5 Vpp de amplitude.
- c. Registrar e analisar a forma de onda dos circuitos.
- d. Analisar o funcionamento do potenciômetro.

2. Descrição do Experimento

a. Material e Equipamentos utilizados

Tabela 1 – Dispositivos eletrônicos e materiais utilizados

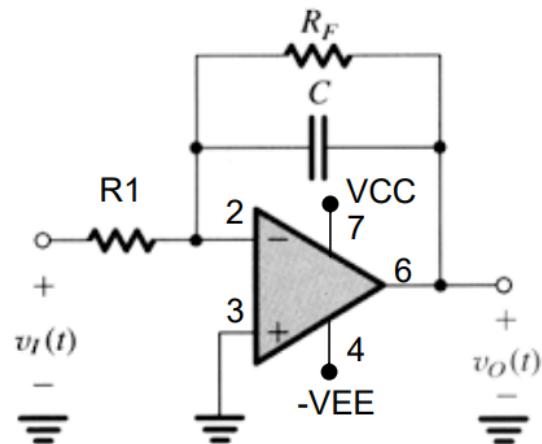
Dispositivo	Quantidade
Resistor 1KΩ	1
Resistor 1MΩ	1
Resistor 10KΩ	2
CI LM741	1
Capacitor 0.01uF	1
Capacitor 0.47uF	1
Potenciômetro 10kΩ	1
Osciloscópio	1
Multímetro portátil	1
Gerador de Sinais	1

Fonte: Autores.

b. Descrição do Experimento

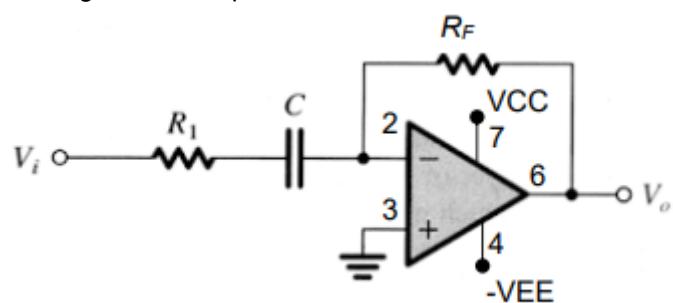
- i. Montou-se o circuito com configuração integrador, conforme figura 1.
- ii. Verificou-se os valores dos componentes do circuito (capacitores e resistores).
- iii. Alimentou-se o circuito com um sinal de entrada primeiramente senoidal e, posteriormente, quadrado, com frequência de 1 kHz e 0,5 Vpp de amplitude.
- iv. Mediu-se os sinais de entrada e saída sincronizados no tempo.
- v. Registrhou-se as formas obtidas e determine o ganho experimental ($Av = -vo / vi$)
- vi. Repetiu-se o mesmo processo para o circuito diferenciador.
- vii. Montou-se o circuito oscilador, conforme figura 03.
- viii. Alimentou-se o circuito com tensão simétrica +12V e -12V.
- ix. Registrhou-se a curva de saída do circuito com o potênciometro ajustado a 50% do seu valor.

Figura 1 – Amplificador inversor Integrador



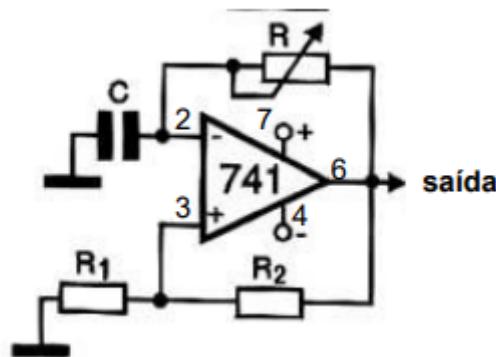
Fonte: Roteiro Experiência 05

Figura 2 – Amplificador inversor Diferenciador



Fonte: Roteiro Experiência 05

Figura 3 – Amplificador inversor Oscilador



Fonte: Roteiro Experiência 05

3. Resultados e Discussão

1. Circuito Integrador

A Tabela 1 mostra os dados coletados para o circuito integrador. Os ganhos foram calculados conforme a tabela abaixo.

Tabela 01 - Ganho teórico e experimental - Circuito Integrador (Entrada Senoidal)

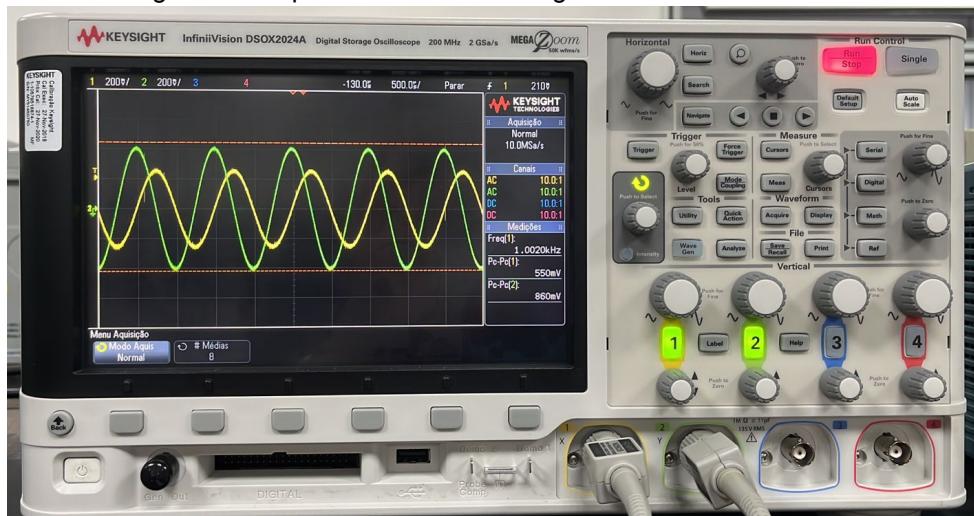
Valor Tensão de Entrada (Vi)	550 mV
Valor Tensão de Saída (Vo)	860 mV
Ganho Teórico	1,59
Ganho Experimental (Vo/Vi)	1,536

Para calcular o ganho teórico, usaremos a seguinte equação:

$$Av = \frac{R_f}{R_1 \sqrt{1+(2\pi f R_f C)^2}}, \text{ onde } R_1 = 10K\Omega, R_f = 1 \text{ MHz}, C = 0,01\mu\text{F} \text{ e } f = 1\text{kHz}$$
$$Av = 1,59.$$

Esse valor está condizente com o ganho experimental, levando em consideração interferências instrumentais e erros associados.

Figura 4 - Amplificador inversor Integrador - Entrada Senoidal

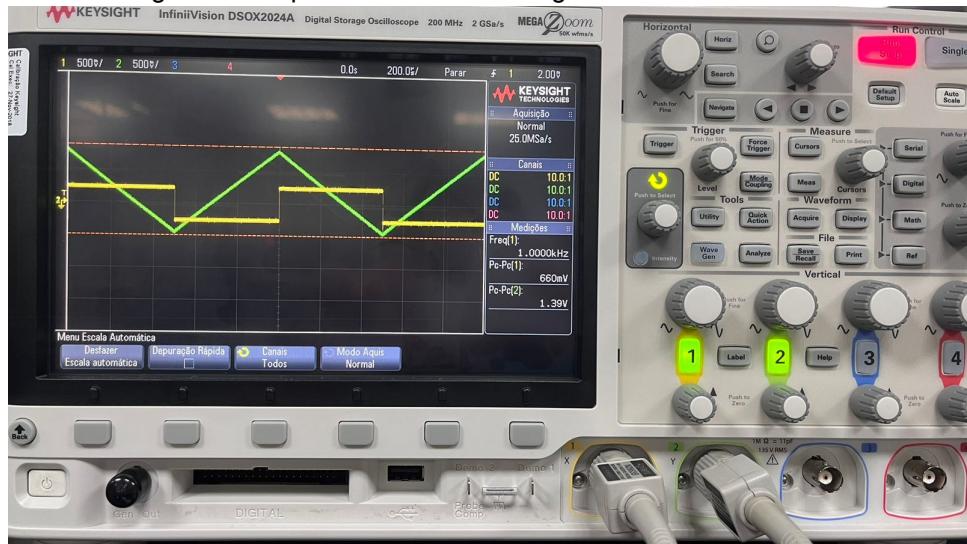


Fonte: Autores.

Tabela 02 - Ganho teórico e experimental - Circuito Integrador (Entrada Quadrada)

Valor Tensão de Entrada (Vi)	660 mV
Valor Tensão de Saída (Vo)	1,39 V
Ganho Experimental (Vo/Vi)	2,10

Figura 5 - Amplificador inversor Integrador - Entrada Onda Quadrada



Fonte: Autores.

2. Circuito Diferenciador

As tabelas 03 e 04 mostram os dados coletados para o circuito diferenciador. Os ganhos foram calculados conforme a tabela abaixo.

Tabela 03 - Ganho teórico e experimental - Circuito Diferenciador (Entrada Senoidal)

Valor Tensão de Entrada (Vi)	380 mV
Valor Tensão de Saída (Vo)	560 mV
Ganho Teórico	0,627
Ganho Experimental (Vo/Vi)	0,6786

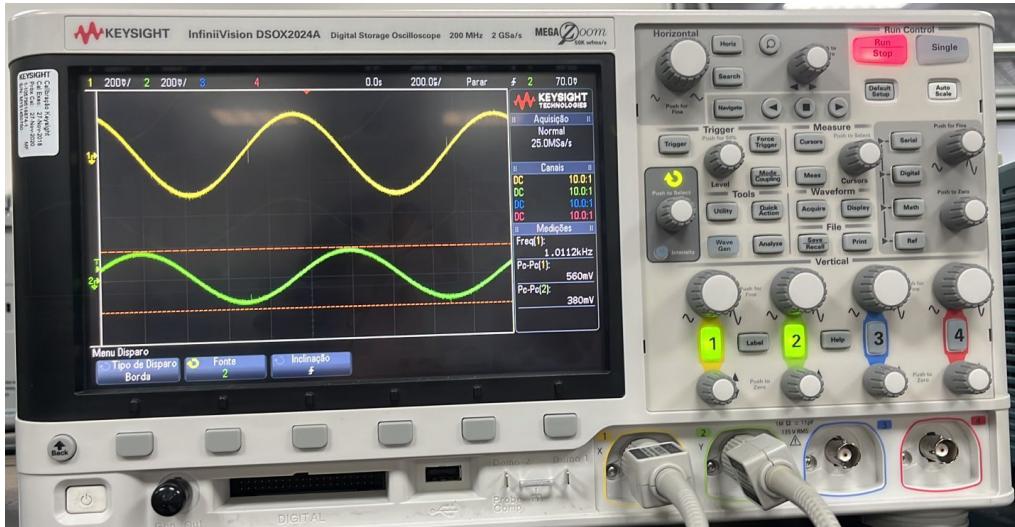
Para calcular o ganho teórico, usaremos a seguinte equação:

$$Av = \frac{\frac{R_f}{R_1}}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2\pi f R_1 C)^2}}}, \text{ onde } R_1 = 1\text{K}\Omega, R_f = 10\text{K}\Omega, C = 0,01\mu\text{F} \text{ e } f = 1\text{kHz}$$

$$Av = 0,627.$$

Esse valor também está condizente com o ganho experimental, levando em consideração possíveis interferências e erros associados.

Figura 6 - Amplificador inversor diferenciador (Entrada Senoidal)

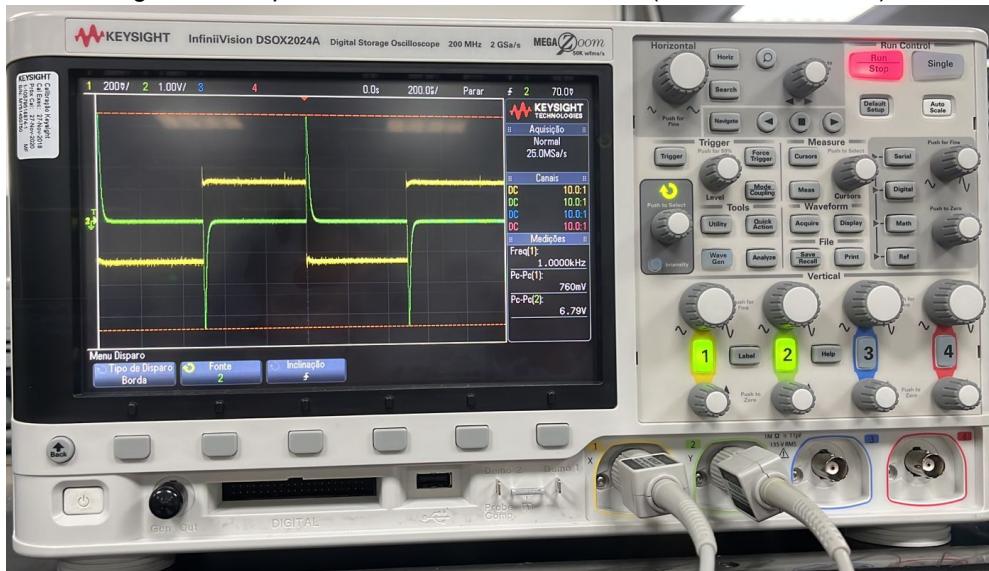


Fonte: Autores.

Tabela 04 - Ganho teórico e experimental - Circuito Diferenciador (Entrada Quadrada)

Valor Tensão de Entrada (Vi)	6,79V
Valor Tensão de Saída (Vo)	760 mV
Ganho Experimental (Vo/Vi)	8,93

Figura 7 - Amplificador inversor diferenciador (Entrada Quadrada)



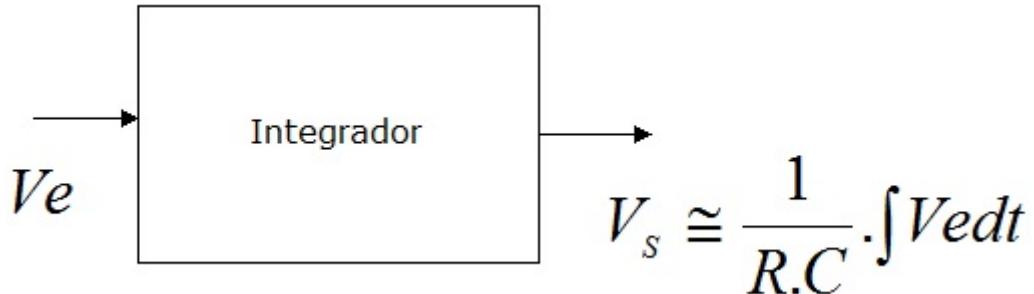
Fonte: Autores.

Questão: Para os amplificadores inversores integrador e diferenciador, considerando os sinais de entrada, os de saída obtidos foram como se esperava? Justifique adequadamente sua resposta.

O amplificador integrador deve produzir um sinal de saída que é a integral do sinal de entrada em relação ao tempo. Analisando a figura 04 é possível visualizar que para a entrada senoidal, a saída foi um cosseno.

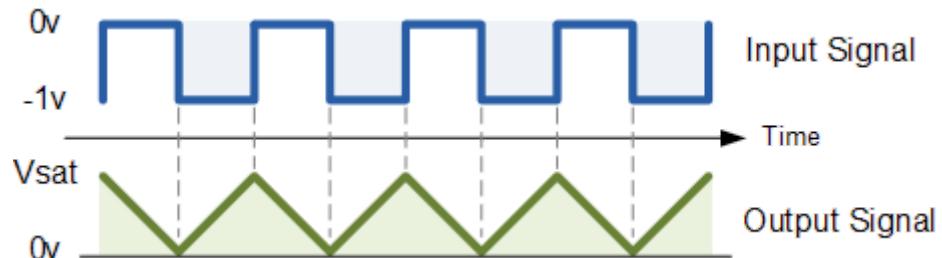
Sabe-se que a integral do seno(x) é $-\cos(x)$, no entanto, por ser um amplificador inversor, foi observado que a saída resultou em uma onda no formato $\cos(x)$. Dessa maneira, podemos concluir que o resultado obtido foi como se esperava. Para a entrada quadrada, o resultado obtido foi similar ao esperado na figura 08, já que a saída é afetada pela constante de tempo RC da combinação do resistor e do capacitor, porque em frequências mais altas, o capacitor tem menos tempo para se carregar completamente.

Figura 08 - Circuito Integrador



Fonte: Analise de Circuitos em Corrente Alternada, Romulo Oliveira.

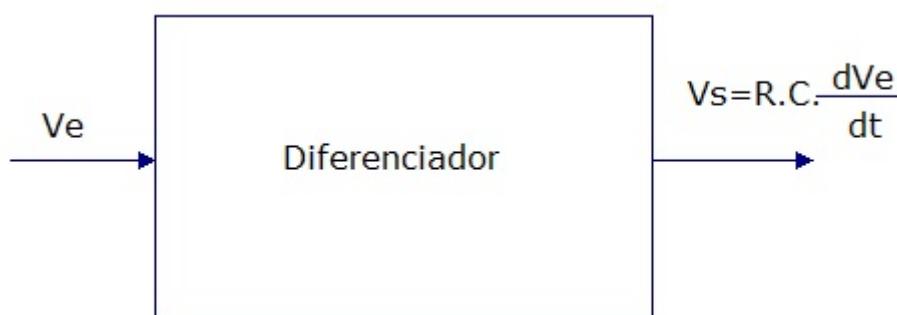
Figura 09 - Amplificador Inversor Integrador - Resultado Esperado Entrada Quadrada



Fonte: The Integrator Amplifier, Electronics Tutorials.

Analogamente, o amplificador diferenciador deve produzir um sinal de saída que é proporcional à derivada do sinal de entrada em relação ao tempo.

Figura 10 - Circuito Diferenciador



Fonte: Analise de Circuitos em Corrente Alternada, Romulo Oliveira

Se a entrada for senoidal, a saída será senoidal mas defasada de 90 graus e adiantada. Se a entrada for uma onda quadrada de frequência muito abaixo da frequência de corte, a saída serão pulsos positivos na subida e pulsos negativos na descida da onda quadrada. Analisando as figuras 06 e 07 é possível observar que o resultado obtido está de acordo com o esperado.

Para a figura 07 é possível visualizar que os pulsos negativos ocorreram exatamente na descida da onda quadrada.

3. Circuito Oscilador

Tabela 05 - Frequência de Oscilação Teórica e Experimental

Frequência de Oscilação - Teórica	19,37 Hz
Frequência de Oscilação - Experimental	26,416 Hz

Para calcular a frequência de oscilação teórica, usaremos a seguinte equação:

$$B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10K}{10K + 10K} \Rightarrow B = 0,5$$

$$F_0 = \frac{1}{2 R C \ln\left(\frac{1+B}{1-B}\right)} = \frac{1}{2 \cdot 50K \cdot 0,47u \cdot \ln\left(\frac{1+0,5}{1-0,5}\right)} = 19,37 \text{ Hz}$$

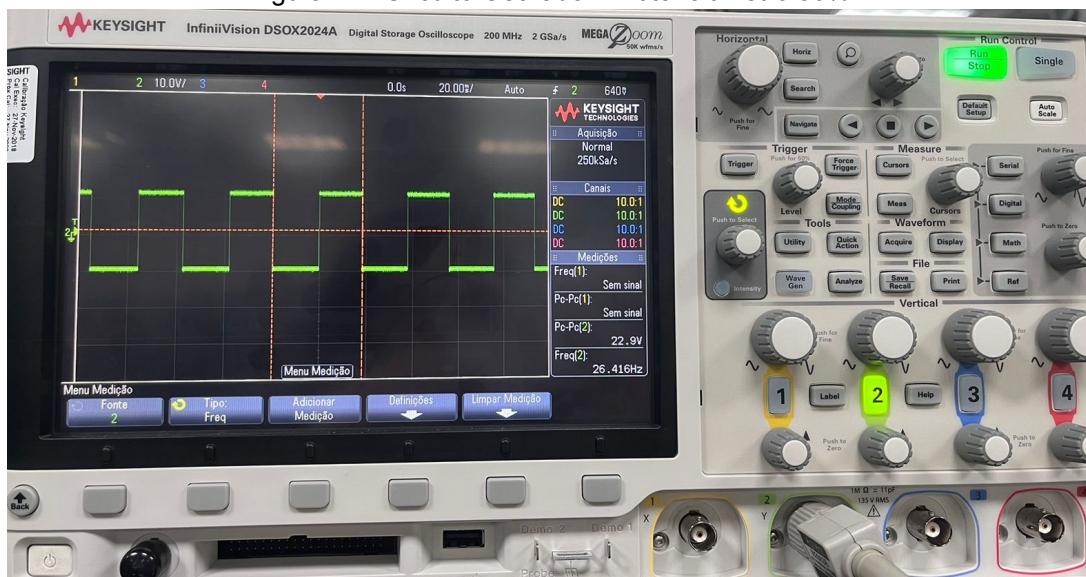
Ao montar-se o circuito conforme figura 03 e analisar a sua forma de onda no osciloscópio, foi possível observar uma saída de onda quadrada e uma frequência de aproximadamente 26,42 Hz para um potenciômetro ajustado em 50% do seu valor.

Ao variar-se o potenciômetro, observou-se uma alteração na amplitude da onda e em sua frequência, conforme observado nas figuras 09 e 10.

É possível observar que a frequência de oscilação encontrada através dos cálculos teóricos e a frequência encontrada quando alterou-se o potenciômetro para um valor diferente de 50% são valores bem próximos.

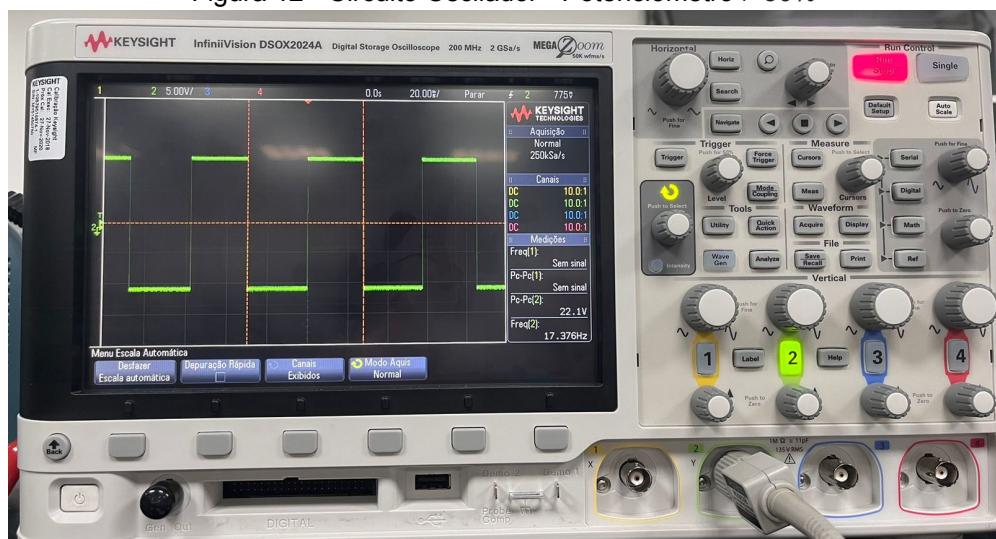
No contexto de um potenciômetro, a frequência de oscilação pode estar relacionada com a variação da resistência do potenciômetro.

Figura 11 - Circuito Oscilador - Potênciometro 50%



Fonte: Autores.

Figura 12 - Circuito Oscilador - Potênciometro ≠ 50%



Fonte: Autores.

O que acontece com a frequência e a forma da onda ao variar o potenciômetro? Justifique

Variando o potenciômetro observou-se um aumento na amplitude da forma de onda e uma diminuição em sua frequência.

No circuito do amplificador operacional da figura 03, a voltagem de disparo é definida pelo divisor de tensão composto pelos resistores R1 e R2. Esses dois resistores configuram a voltagem da entrada não inversora para ser metade da voltagem de alimentação. Dessa forma, o circuito passa a funcionar como um comparador de voltagem, onde a saída pode assumir dois níveis: alto quando a voltagem na entrada inversora é menor que a voltagem de referência, e baixo (0V) quando a voltagem na entrada inversora é maior que a voltagem de referência.

No entanto, o divisor de tensão está conectado à própria saída do amplificador operacional, ao invés de ser ligado à alimentação positiva, o que resulta em um processo de realimentação positiva. Assim, quando a voltagem de entrada aumenta até superar a voltagem de referência, a saída muda e a voltagem de referência também se modifica em um ciclo contínuo de realimentação. Isso leva o circuito a entrar em oscilação.

Essa configuração pode ser ajustada variando o potenciômetro, conforme realizado no experimento.

4. Conclusão

O circuito integrador é usado para calcular a integral de um sinal de entrada ao longo do tempo, resultando em uma saída proporcional à área sob a curva do sinal de entrada. Foi possível visualizar que o circuito integrador montado na prática 05 teve o resultado esperado, já que ao colocar na entrada uma onda senoidal, a saída foi um cosseno.

Um circuito diferenciador realiza a operação de diferenciação de um sinal de entrada em relação ao tempo. Geralmente construído utilizando um amplificador operacional, resistores e capacitores, o circuito diferenciador calcula a taxa de variação instantânea do sinal de entrada, resultando em uma saída proporcional à derivada do sinal em relação ao tempo. Foi possível visualizar que o circuito diferenciador montado na prática 05 teve o resultado esperado. Com uma entrada senoidal, a saída foi senoidal mas defasada de 90 graus e adiantada. Ao introduzir na entrada uma onda quadrada de frequência muito abaixo da frequência de corte, a saída foram pulsos positivos na subida e pulsos negativos na descida da onda quadrada. Na figura 07 observou-se que os pulsos negativos ocorreram exatamente na descida da onda quadrada.

Um circuito oscilador com potenciômetro é um dispositivo eletrônico que gera uma forma de onda periódica, como uma onda senoidal, quadrada ou triangular, cuja frequência pode ser ajustada utilizando um potenciômetro. Observou-se que ao alterar o valor do potenciômetro a forma de onda apresentou uma grande variação em sua amplitude.

5. Referências Bibliográficas

ADAMS, Michael D. Signals and Systems. Edition 4.0. Department of Electrical and Computer Engineering: University of Victoria, Victoria, British Columbia, 2022.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8^a ed, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2004.

Aspencore. (2019). The Integrator Amplifier. Recuperado de https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_6.html.

Oliveira, R. (2017). Análise de Circuitos em Corrente Alternada. Editora Erica.