

**Universidade Estadual de Campinas**  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

EE534 (Laboratório de Eletrônica Básica I)

Prof. Bruno Sanches Masiero , Prof. Fernando Ortolano e Monitor  
João Victor Gomes Carneiro

Nome	Henrique Parede De Souza	R.A.	260497
Nome	Mateus De Lima Almeida	R.A.	242827
Nome	Victor Hoshikawa Satoh	R.A.	260711

Data da realização do experimento	06/11/2025	Turma	X	Bancada	4
-----------------------------------	------------	-------	---	---------	---

**OBSERVAÇÕES IMPORTANTES**

- Apenas os locais hachurados devem ser preenchidos;
- Este relatório deve ser enviado pelo Classroom;
- Apenas um participante de cada grupo deve enviar o relatório.

## **Experimento VI – Amplificadores Operacionais**

### **1. OBJETIVOS**

Neste experimento você utilizará o amplificador operacional com realimentação positiva. Você realizará um comparador Schmitt, um gerador de onda quadrada e um gerador de onda triangular.

### **2. COMPONENTES**

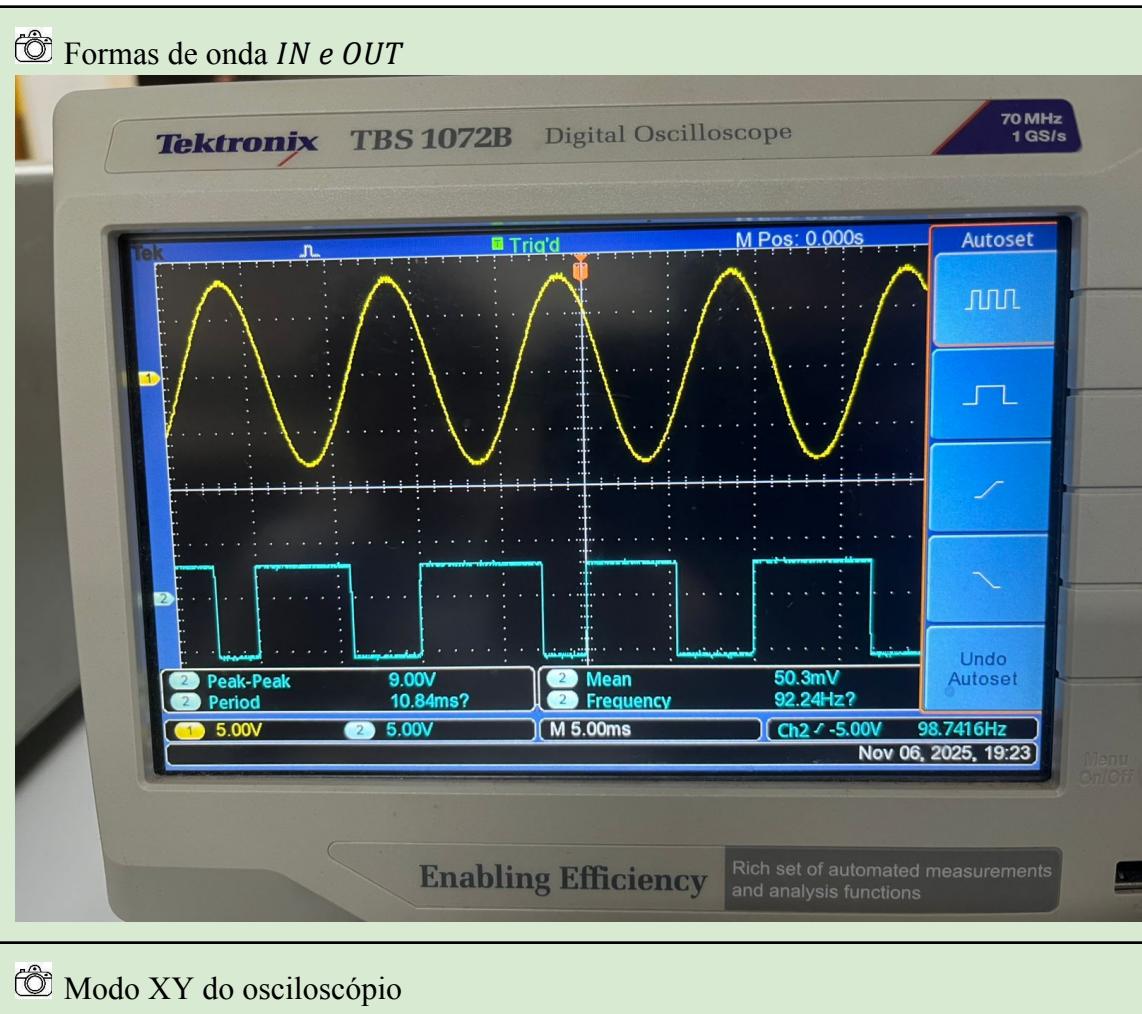
- 2 CIs LM741;
- 2 CIs LM324;
- 2 Soquetes de 8 pinos, terminal curto;
- Resistores:  $1 \times 10 \text{ k}\Omega$ ,  $1 \times 30 \text{ k}\Omega$ ,  $1 \times 100 \text{ k}\Omega$ ,  $1 \times 200 \text{ k}\Omega$ ,  $1 \times 330 \text{ k}\Omega$ ,  $1 \times 1\text{M}\Omega$ ;
- 2 Capacitores 10nF.

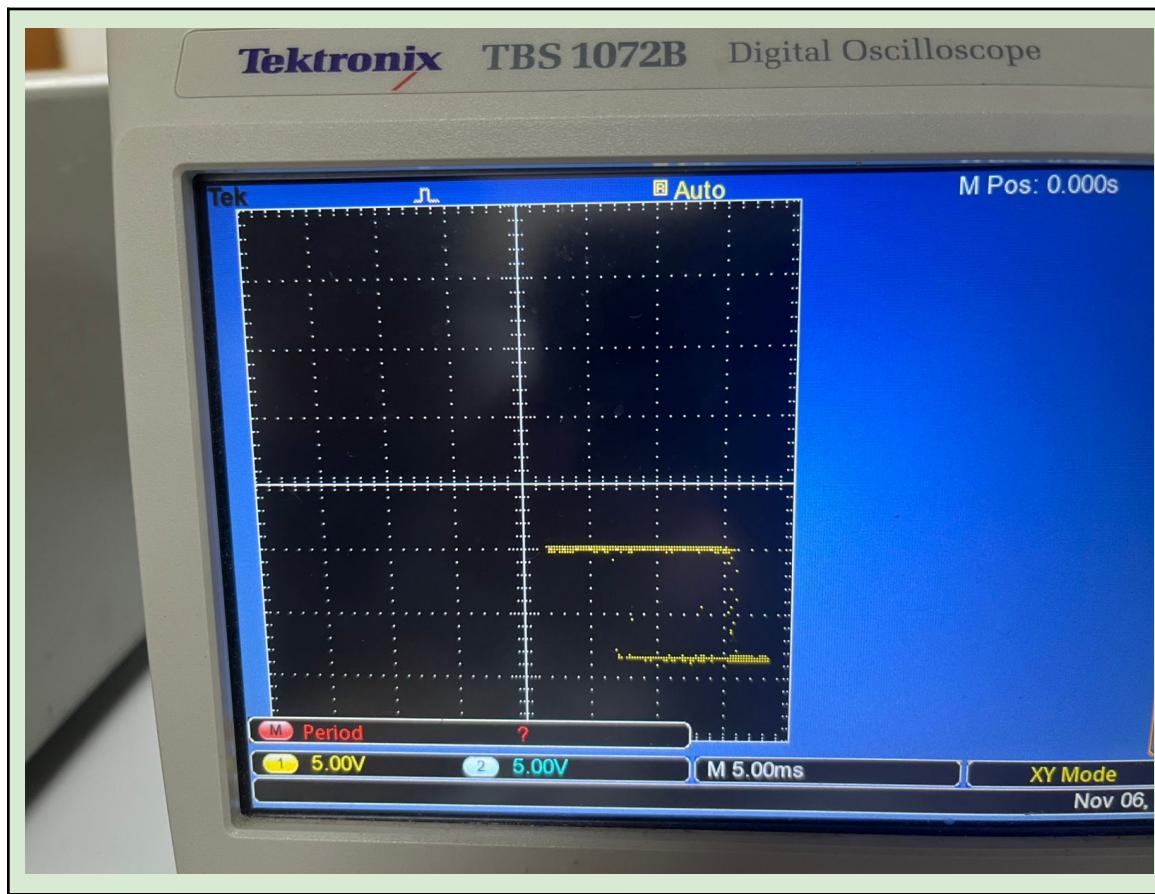
### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Comparador**

- 3.1.1. Monte o circuito mostrado na Figura 1.

- 3.1.2. Com  $V_{dc}=0$  V, aplique um sinal senoidal com as seguintes características: frequência 100 Hz, amplitude 8 Vpp e offset nulo.
- 3.1.3. Ajuste as tensões de alimentação do operacional +V e -V para que produza os limites de saturação da tensão de saída simétricos, ou seja:  $|L+| = |L-| = 9$  V.
- 3.1.4. Use o modo X-Y para obter a função de transferência ( $V_{in} \times V_{out}$ ) deste circuito.





### 3.1.5. Comente sobre a forma e os níveis de saturação.

Observando as formas de onda *IN* e *OUT*, nota-se que a entrada corresponde a uma senóide, enquanto que a saída é uma onda retangular. Devido ao seu ganho muito alto, a saída satura totalmente sempre que a tensão de entrada cruza o zero. Sendo assim, a saída vai ao limite superior para  $V_{in}$  positivo, e vai ao limite inferior quando  $V_{in}$  é negativo. Os níveis de saturação observados foram aproximadamente 9V e -9V.

Já no modo XY, a função de transferência aparece como duas faixas horizontais em 9V e em -9V, com mudança vertical abrupta no ponto  $V_{in} = 0$ , mostrando a característica típica de um comparador, em que a saída tem dois valores possíveis e troca de um para o outro cada vez que o sinal de entrada muda.

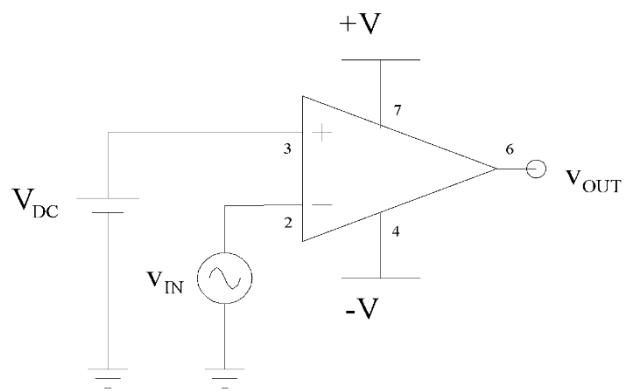
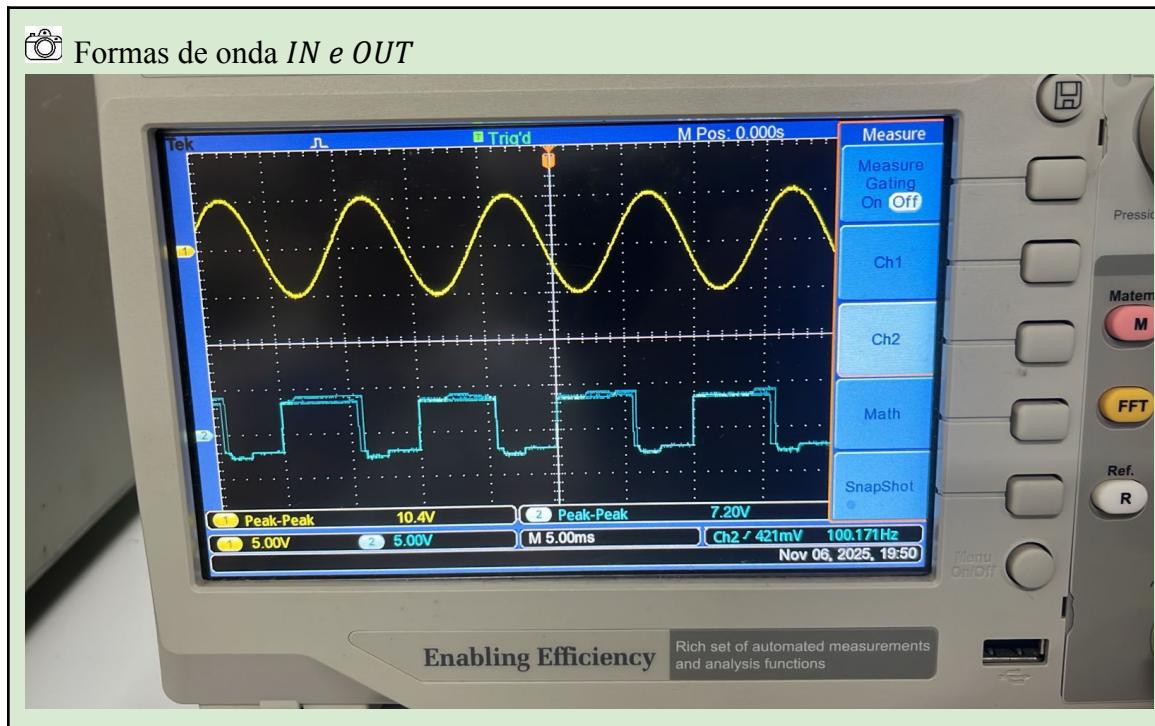


Figura 1: Comparador em malha aberta com ajuste do nível de chaveamento.

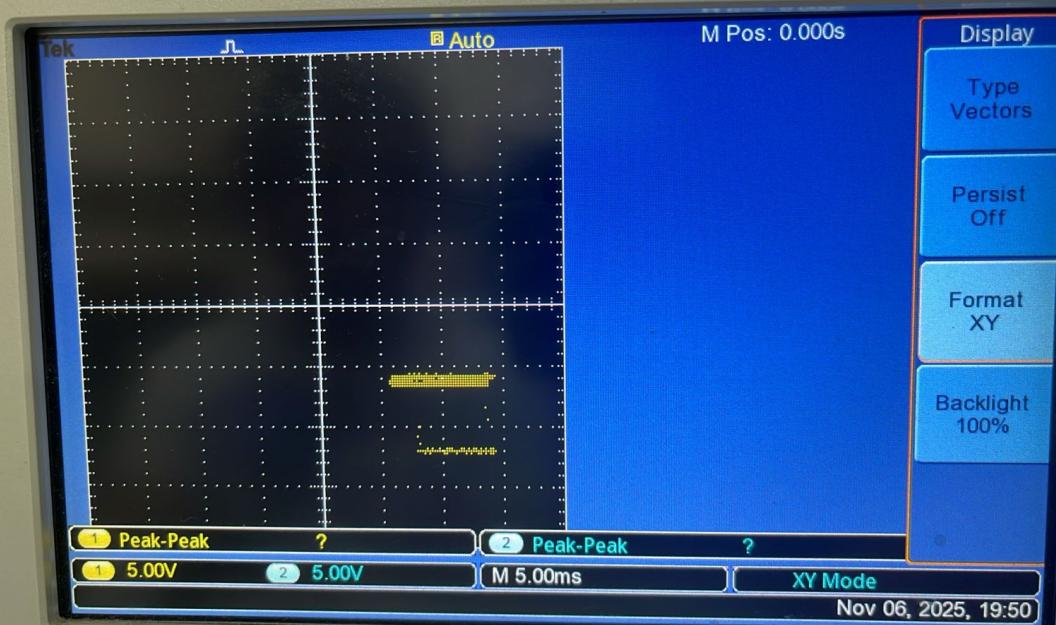
### 3.2. Comparador *Schmitt Trigger*

- 3.2.1. Na Figura 2, é apresentado um circuito Comparador *Schmitt Trigger*.
- 3.2.2. Monte o circuito. Utilize valores de  $R_1$  e  $R_2$  que produzam uma janela de histerese de 6 V em torno do zero.
- 3.2.3. Observe sua função de transferência ( $V_{in} \times V_{out}$ ).





Modo XY do osciloscópio



3.2.4. Comente sobre a forma e os níveis de saturação, relacionando com o conceito de curva de histerese.

Neste exercício projetamos o circuito com  $R_1 = 1k\Omega$  e  $R_2 = 2k\Omega$ .

Observando as formas de onda *IN* e *OUT*, nota-se que a entrada corresponde a uma senóide, enquanto que a saída é uma onda quadrada, com histerese de aproximadamente 6 V, com limiares em torno de 3V (subida) e -3V (descida).

No momento em que a entrada passa por esses dois limiares, há uma mudança repentina entre os níveis de saturação medidos (cerca de 3,6V e -3,6V, sendo estes os valores aproximados que foram observados no osciloscópio, com  $V_{pp} = 7,2V$ ). Esses níveis correspondem aos limites reais do comparador, que não atingem exatamente a tensão de alimentação, resultando em saturação um pouco assimétrica.

No modo XY, as duas faixas horizontais representam esses 2 níveis de saturação. Podemos observar isso no laço de histerese, onde a saída só sobe quando a entrada ultrapassa 3V, e só desce quando cruza -3V.

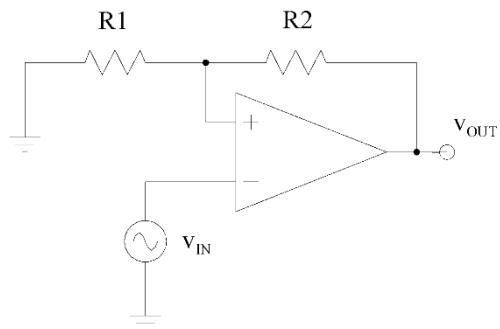


Figura 2: Comparador Schmitt.

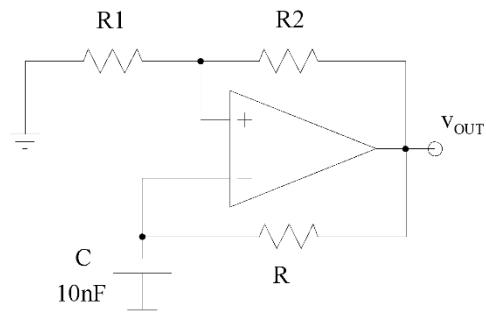
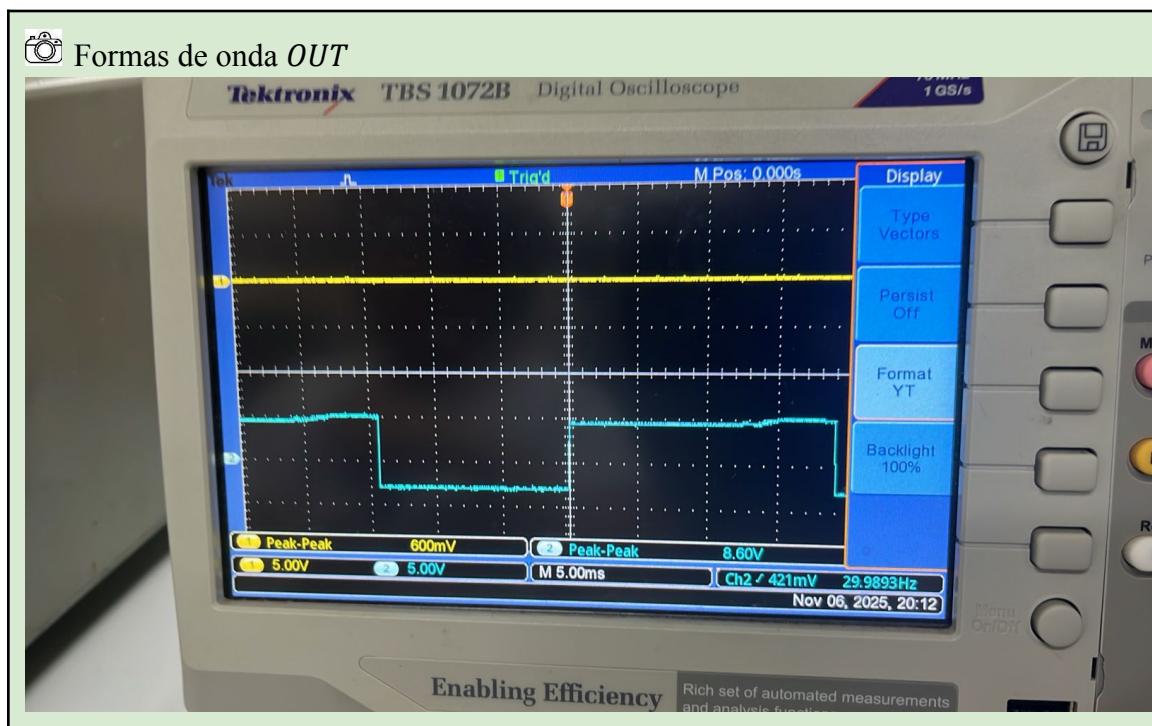


Figura 3: Multivibrador Astável.

### 3.3. Multivibrador astável

- 3.3.1. Substituindo a fonte CA por um circuito RC com realimentação ao circuito Comparador Schmitt Trigger, construímos um Multivibrador Astável (Figura 3).
- 3.3.2. Monte o circuito da Figura 3. Mantenha  $R_1$  e  $R_2$  e utilize R para que se produza um sinal de saída com frequência de aproximadamente 250 Hz.
- 3.3.3. Observe a saída do circuito ( $V_{out}$ ).



### 3.3.4. Comente sobre a forma, a frequência e os níveis de saturação.

Neste exercício projetamos o circuito com  $R \approx 280k\Omega$ ,  $R_1 = 1k\Omega$  e  $R_2 = 2k\Omega$ .

No circuito do multivibrador astável, diferentemente do comparador Schmitt Trigger, temos que a onda quadrada (OUT) é obtida a partir de uma entrada constante da fonte de tensão.

A forma quadrada é decorrente da mudança abrupta entre os dois níveis de saturação, existe uma oscilação devido ao circuito RC. O Circuito RC define a frequência de 250 Hz. Os níveis de saturação correspondem à tensão máxima e mínima que o comparador consegue fornecer. Esses níveis dependem da tensão de alimentação.

## 3.4. Integrador

### 3.4.1. Monte o circuito integrador da Figura 4.

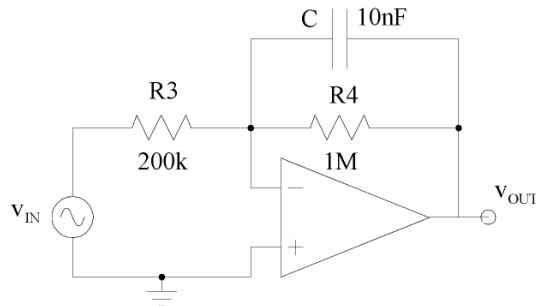
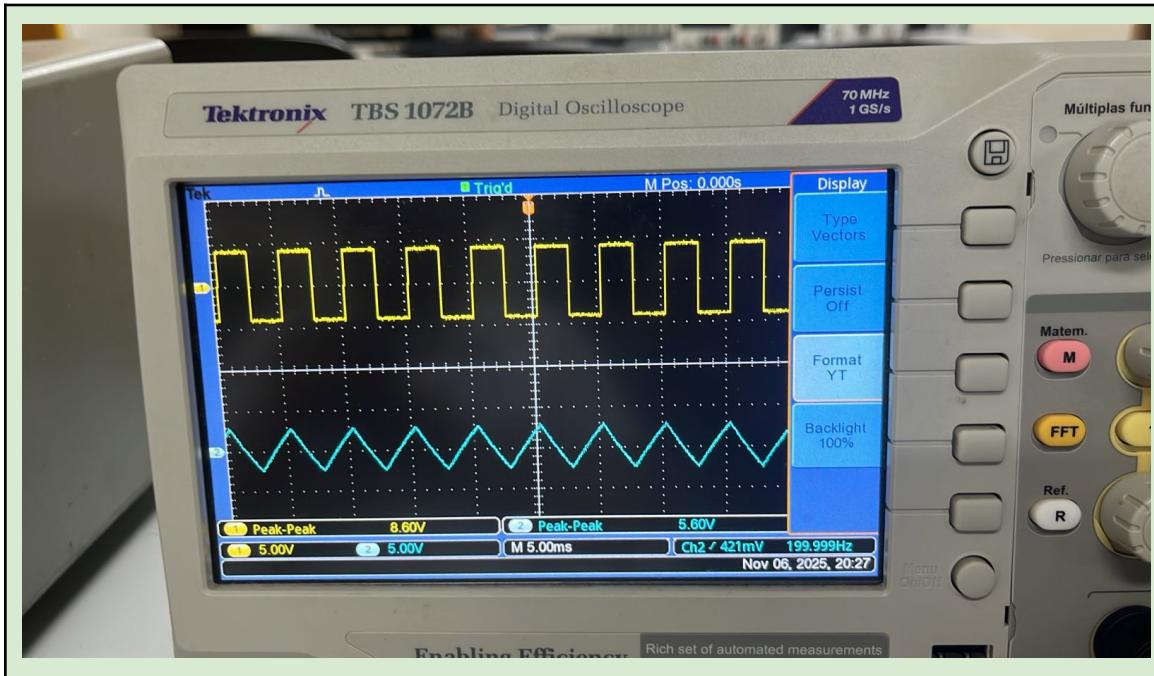


Figura 4. Circuito Integrador.

- 3.4.2. Use o gerador de sinais para simular uma forma de onda parecida com a obtida no item 3.3.
- 3.4.3. Observe o funcionamento do circuito no osciloscópio ( $V_{in}$  e  $V_{out}$ ).



Formas de onda *IN* e *OUT*



3.4.4. Varie a frequência da onda quadrada de entrada. Relacione o integrador com outro circuito visto previamente no curso.

Ao aumentarmos a frequência da onda quadrada de entrada (ou seja, diminuir o período), o capacitor acaba tendo menos tempo para carregar e descarregar, fazendo, portanto, a inclinação e a amplitude da onda triangular de saída diminuírem.

Analogamente, ao diminuirmos a frequência da onda de entrada, o capacitor integra por mais tempo, fazendo com que a rampa de saída varie mais lentamente (i.e., menor amplitude).

Este comportamento é explicado pela equação abaixo, que descreve o comportamento da tensão de saída do circuito integrador em função da entrada. Desta forma, percebemos que com o aumento do período, a integral acumula mais área, resultando numa maior amplitude, o que condiz com o resultado experimental obtido.

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

O circuito integrador apresentado pode ser interpretado como uma versão ativa filtro passa-baixas RC, pois, em baixas frequências, ele se comporta como integrador ideal, enquanto que em altas frequências, o capacitor começa a se comportar como curto-circuito, fazendo o ganho cair e a saída ser reduzida. Desta forma, o integrador deixa passar baixas frequências e atenua altas frequências, assim como um RC.

### 3.4.5. Qual a função do resistor $R_4$ ?

O resistor R4 adapta o conceito do integrador ideal para o cenário real, garantindo estabilidade e controlando o ganho DC.

No integrador ideal (sem R4), qualquer ruído e/ou offset na entrada faz a saída integrar continuamente, o que leva a saturação muito rapidamente. Ao colocar R4 em paralelo com o capacitor, zeramos o ganho em baixas frequências, impedindo, portanto, que o amp-op fique acumulando offset.

## 3.5. (Opcional) Gerador de onda triangular

- 3.5.1. Acople a saída do multivibrador astável à entrada do integrador de forma a obter um gerador de onda triangular.
- 3.5.2. Observe a saída do circuito ( $V_{out}$ ).



Formas de onda *OUT*

## 4. BIBLIOGRAFIA

- A. S. Sedra, K.C.Smith, Microeletrônica, Makron Books Ltda.
- B. R. Boylestad e L. Nashelsky, Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, Prentice-Hall.