



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Laboratório de Eletrônica Analógica II

Professor Volney Coelho Vincence,

2014/1

Sumário

LAB-1: Apresentação do programa -----	1
Orientação para as Aulas de Laboratório -----	1
Tabelas de Pontuação -----	2
Instruções Gerais -----	3
Normas de Utilização do Laboratório de Eletrônica Analógica -----	3
LAB-2: Espelhos de Corrente -----	4
LAB-3: Polarização e Ganho do Par Diferencial -----	6
LAB-4: Caracterização do Par Diferencial -----	7
LAB-5: Amplificador Inversor, Não Inversor e Buffer com Ampop -----	8
LAB-6: Amplificador Subtrator -----	9
LAB-7: Amplificador Derivador e Integrador Inversor -----	10
LAB-8: Projeto-1 – Amplificador de Instrumentação Ampop -----	11
LAB-9: Prova-1 – Referente aos Labs anteriores -----	12
LAB-10: Resposta em Frequência do Ampop -----	13
LAB-11: Medição da Tensão e Corrente de Offset do Ampop -----	15
LAB-12: Medição do Slew Rate do Ampop -----	16
LAB-13: Comparador Regenerativo – Schmitt Trigger -----	17
LAB-14: Retificador de Precisão -----	18
LAB-15: Projeto-2 – Multivibrador monoestável -----	19
LAB-16: Filtros de 2ª Ordem -----	20
LAB-17: Projeto-3 – Gerador de forma de onda -----	21
LAB-18: Prova-2 – Referente aos Labs anteriores -----	21

LAB-1 - Apresentação do Programa

ORIENTAÇÃO PARA AS AULAS DE LABORATÓRIO

As turmas estarão divididas em sub-grupos: A, B, C, D (1, 2, 3, 4, 5) de, no máximo, dois alunos, que trabalharão em conjunto, em cada experiência, apresentando pré-relatórios e relatórios em nome dos dois.

Procedimentos para as experiências a serem realizadas

1 – Os alunos deverão retirar uma cópia do caderno de roteiros no setor de fotocópias do CCT.

2 – Na preparação da experiência deverá ser realizado o projeto (quando solicitado), um estudo da teoria e a simulação em computador. Estes itens farão parte de um pré-relatório que será entregue, **obrigatoriamente, até** o dia da experiência, **antes de sua realização**. A não apresentação do mesmo impedirá a realização da experiência. O pré-relatório deverá conter:

- folha de rosto: título da experiência, a informação de que se trata de pré-relatório e identificação;
- corpo do pré-relatório: resumo; introdução teórica; revisão da literatura; desenvolvimento; referências bibliográficas.

3 – Após realizada a experiência os alunos deverão preparar um relato do ocorrido em laboratório (relatório da prática), que deverá ser **entregue até o dia da experiência seguinte** (prazo final). Esse relato deverá conter:

- folha de rosto: título da experiência, a informação de que se trata do relatório da prática e identificação;
- corpo do relatório: desenvolvimento; conclusões; referências bibliográficas.

A nota **RX** (X = 1, 2, 3, 4, 5 e 6) será composta de: **nota do pré-relatório (por sub-grupo – de 0 a 3) + avaliação da participação do aluno na prática (individual – de 0 a 3) + nota do relatório da prática (por sub-grupo – de 0 a 4)**.

TABELAS PARA PONTUAÇÃO

1. PONTUAÇÃO PARA OS PRÉ-RELATÓRIOS

1. Folha de Rosto	0,15
2. Resumo (objetivo da experiência)	0,15
3. Introdução Teórica (um resumo da teoria que envolve o assunto)	0,45
4. Revisão da Literatura (pesquisa bibliográfica do assunto)	0,55
5. Desenvolvimento (projeto, quando houver; simulação; resultados esperados)	1,40
6. Referências Bibliográficas (identificação dos documentos utilizados na pesquisa)	0,30

2. PONTUAÇÃO PARA OS RELATÓRIOS

1. Folha de Rosto	0,2
2. Desenvolvimento (montagem da experiência; medidas realizadas; métodos utilizados; resultados obtidos; análise dos resultados obtidos)	2,8
3. Conclusões (dificuldades encontradas; comparação entre o esperado e o realizado; sugestões)	0,6
4. Referências Bibliográficas (identificação dos documentos utilizados no trabalho)	0,4

INSTRUÇÕES GERAIS

- Aulas práticas com 02 (dois) aluno por bancada; os alunos podem e devem discutir os procedimentos e resultados com os colegas e o professor, mas é preciso entender os objetivos da experiência e tirar suas conclusões individualmente;
- Horário de início das aulas será rigorosamente cumprido;
- É imprescindível o uso da apostila para realização dos experimentos, sem a qual o aluno será impedido de fazer a prática;
- O atraso máximo permitido aos alunos será 10 minutos; após esta tolerância, o aluno poderá entrar na sala e fazer a prática, mas ficará com registro de falta na aula, podendo substituir até uma aula sem justificativa;
- Ao terminar de fazer a prática e colher seus dados experimentais, o aluno poderá ir embora, após organizar todo o material utilizado;
- Controle de Frequência: chamada todas as aulas
- O descumprimento das Normas de Utilização será julgado pelo professor, que poderá, a seu critério, aplicar um redutor no coeficiente de presença na aula de 0 a 100% (marcar falta), o que alterará a ponderação do cálculo da média de laboratório.

NORMAS DE UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA ANALÓGICA

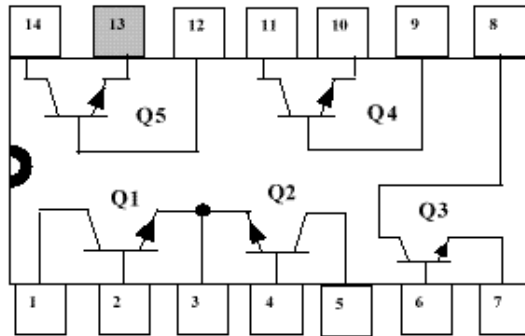
- 1) Cada aluno deverá informar ao professor da disciplina qual será a sua bancada de trabalho durante todo o semestre e ficará responsável pela conservação da mesma (mesa, equipamentos, bancos , etc.);
- 2) Ao iniciar a aula, o aluno deverá informar ao professor qualquer problema verificado com sua bancada;
- 3) Ao terminar a aula, o aluno deverá deixar sua bancada em perfeita ordem, observando:

- a) Os bancos deverão ser colocados sob as mesas;
- b) As mesas deverão estar limpas, sem resíduos de borrachas, restos de papel, copos descartáveis, etc.;
- c) Os equipamentos deverão estar desligados e em ordem para o aluno que for utilizar a bancada em seguida:
 - O osciloscópio com os 2 canais calibrados, em DC, foco ajustado, *trigger* em AUTO, base de tempo calibrada;
 - Multímetro em DC VOLTS, escala de 20V;
 - Gerador com *DC offset* fechado, frequência em 1kHz, onda senoidal, amplitude baixa e atenuador em 0dB;
 - MB-U com as fontes PS-1 e PS-2 zeradas.
- 4) As placas, cabos, fios, alicates e componentes eletrônicos deverão ser colocados onde foram encontrados, e os fios usados em *protoboard* devem ser devolvidos em ordem;
- 5) Defeitos constatados em componentes, cabos ou equipamentos deverão ser comunicados ao professor para que sejam tomadas providências no sentido de efetuar-se a manutenção adequada;
- 6) A tensões utilizadas durante as aulas são geralmente baixas, mas lembre-se que tensões acima de 50V podem matar; portanto, preste bastante atenção no circuito que está montando e só ligue após ter absoluta certeza do que está fazendo.

PENSE PRIMEIRO, FAÇA DEPOIS !

Não é permitido aos alunos fumar, comer ou beber dentro do Laboratório Didático.

LAB-2 - Espelhos de Corrente

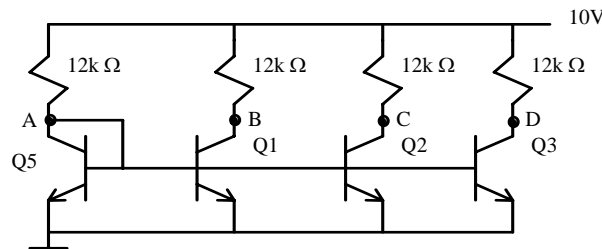


- **Objetivos:** Familiarizar o aluno com as técnicas básicas utilizadas para espelhar ou replicar correntes, amplamente empregadas na polarização de circuitos integrados analógicos.

- **Componentes e instrumentação:**

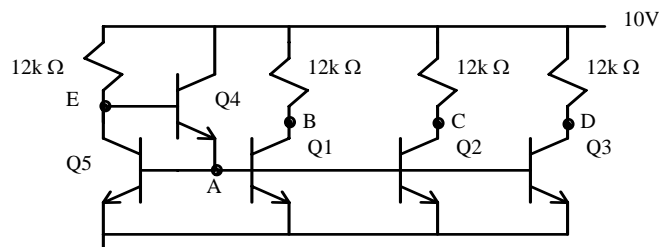
Arranjo de transistores BJT do CI CA 3046, resistores de 12kΩ (ou valor próximo) com tolerância de 1%, potenciômetro de 10kΩ. Voltímetro digital.

Espelho básico com várias saídas



Medir os potenciais nos nós A, B, C e D. Calcular as correntes de coletor. Determinar o descasamento entre as correntes de saturação dos transistores. Obs.: $I_C = I_S \exp(V_{BE} / V_T)$.

Espelho pouco sensível às correntes de base



Medir os potenciais dos nós A, B, C, D e E. Comparando os resultados de 3 e 4 determinar um valor médio para o β dos transistores do arranjo. Obs.: Utilizar e deduzir as fórmulas aproximadas:

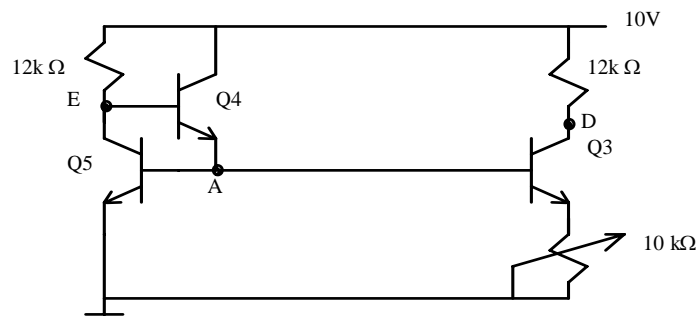
$$I_{oj} \cong (I_{Sj} / I_{Sin}) I_{in} / [1 + (N + 1) / \beta] \quad , 1 \leq j \leq N \quad : \text{ para o espelho básico.}$$

$$I_{oj} \cong (I_{Sj} / I_{Sin}) I_{in} \quad : \text{ para o espelho insensível às correntes de base.}$$

Espelho de corrente de Widlar

Conectar o potenciômetro de 10kΩ em série com o emissor de Q₃. Medindo o potencial no nó D, ajustar o potenciômetro para os seguintes valores de corrente de coletor: 0,5mA; 0,1mA; 0,01mA. Para os valores de corrente ajustados, medir a queda de tensão nos terminais do potenciômetro.

Verificar a lei exponencial da corrente do transistor, determinar a inclinação logarítmica (mV/década) e calcular a corrente de saturação.



- **Compare as medidas realizadas com os resultados teóricos. Tire conclusões!**
- **Realize a simulação do circuito.**

LAB-3 - Polarização e Ganho do Par Diferencial

- **Objetivos:** Estudos do par diferencial com BJT.
- **Componentes:** 3 BC548B, 2 R = 6,8kΩ, 2 R = 10kΩ, 1 R = 5,6kΩ, 1 R = 12kΩ, 1 R = 3,3kΩ, 1 R = Ω, 4 C = 10uF e 1 C = 1000uF.

Polarização com resistor de emissor:

- Calcule e meça o ponto Q do circuito apresentado.
- Faça $v_1 = v_2 = v_g$ (gerador de funções) e meça o ganho de tensão modo comum $A_{VC} = v_o/v_g$.
- Faça $v_1 = v_g$ e $v_2 = 0V$ (terra) e meça o ganho de tensão de modo diferencial $A_{Vd} = v_o/v_g$.
- Calcule estes ganhos teoricamente e compare com os valores medidos.

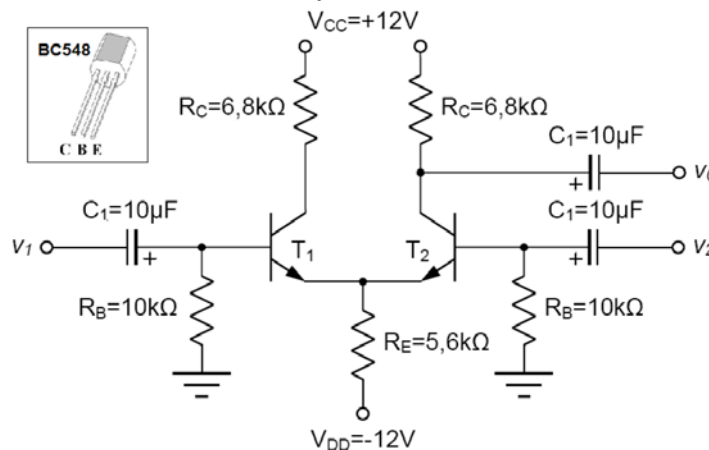


Fig. 1: Amplificador diferencial.

Polarização com fonte de corrente:

- Substitua o resistor de polarização R_E pelo circuito abaixo, onde o transistor T_3 está polarizado para funcionar como uma fonte de corrente constante. Calcule o valor desta corrente de polarização.
- Meça o ponto Q do circuito e verifique se é aproximadamente o mesmo do item (1.1) anterior
- Meça novamente os ganhos A_{VC} e A_{Vd} resultantes, através do mesmo procedimento anterior, e compare-os nas duas situações (com polarização do par através de R_E e através da fonte de corrente). O que ocorreu com os ganhos diferenciais e modo comum? Explique.

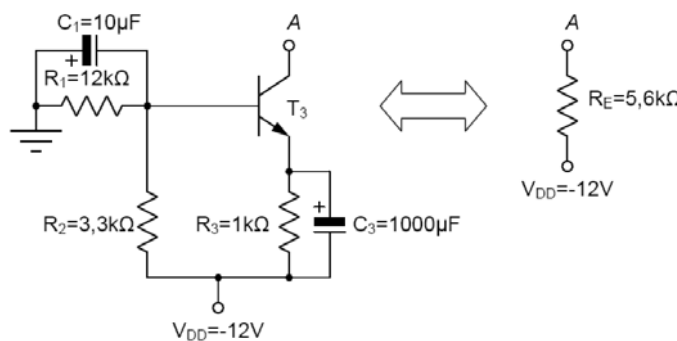
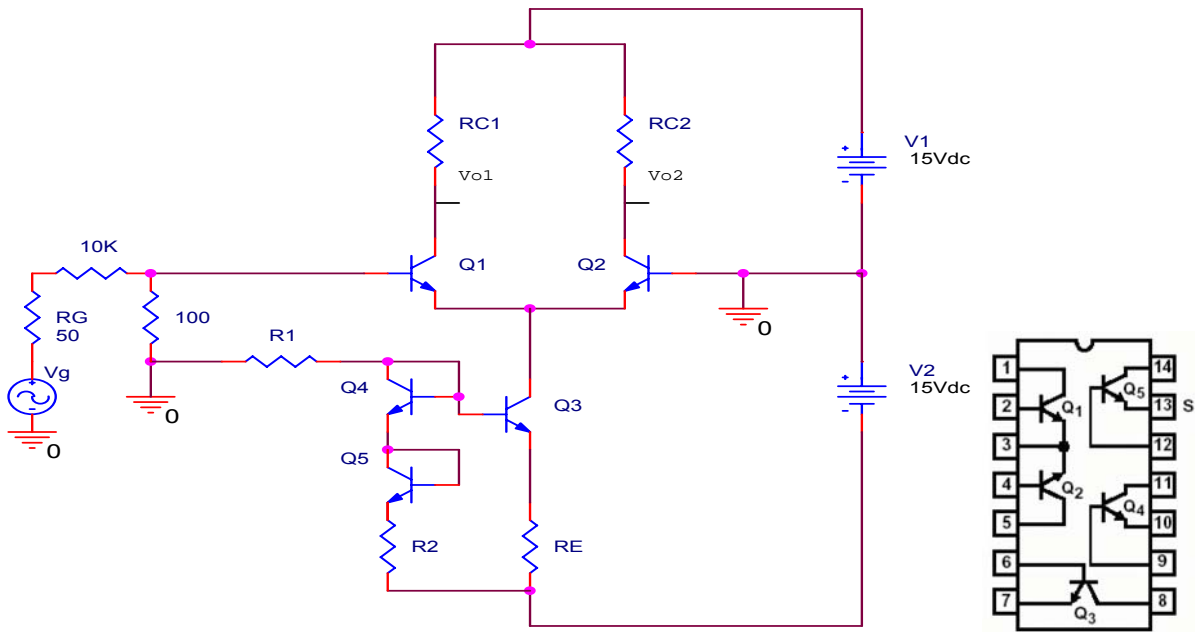


Fig. 2: Espelho de corrente.

- **Comentar os resultados obtidos, tirar conclusões e apresentar sugestões para melhoria do experimento!**

LAB-4 - Caracterização do Par Diferencial



Dados: $I = 5\text{mA}$, $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 \rightarrow \text{CA3046}$.

Nota: O pino 13 do CI CA3046 está ligado ao substrato. Assim, deve haver uma correspondência entre os transistores Q_1, \dots, Q_5 da figura, com os transistores Q_1, \dots, Q_5 da folha de dados técnicos do CA3046. O emissor do Q_5 é o ponto mais negativo do circuito.

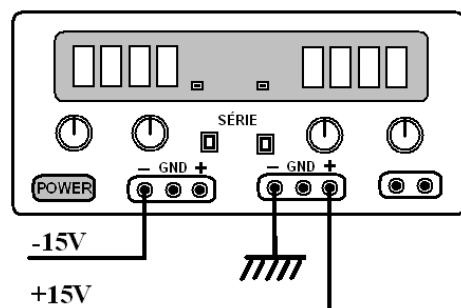
- 1) Determine R_C para um ganho $V_{o2}/V_i = 100$ (despreze r_x). (Resposta: $R_C = 2\text{ k}\Omega$)
- 2) Determine R_1, R_2 e R_E para que a corrente I seja praticamente independente de V_{BE} . (Resposta: $R_1 = R_2 = R_E = 1,5\text{ k}\Omega$).

No Laboratório:

Obs. Geral: Antes de iniciar a montagem, é necessário limpar os terminais dos componentes com uma borracha para evitar problemas de contatos.

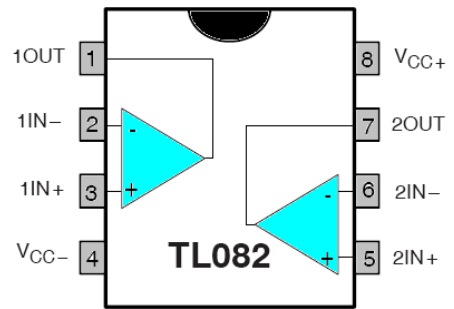
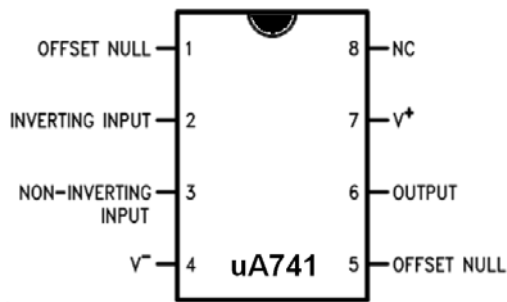
- 1) Alimente o circuito com uma fonte simétrica. a)
- 2) Medir níveis DC.
- 3) Meça o ganho V_{o2}/V_i e o ganho diferencial $A_d = (V_{o2} - V_{o1})/V_i$. **(Por que V_{o2}/V_i medido é menor do que 100?)** Observe que existe uma defasagem de 180° entre as duas saídas. Isso faz com que o ganho A_d seja o dobro.
- 4) Determine a frequência de corte inferior. (Como deve estar a chave AC/DC do osciloscópio? Por quê?).
- 5) Com as duas bases aterradas ($V_{b1} = V_{b2} = 0\text{V}$), medir o nível DC entre as duas saídas. A tensão de *off-set* $V_{OS} = (V_{o2} - V_{o1})/A_d$.

- .6) Retire os terras das bases. Conecte as bases entre si e aplique a tensão do gerador neste ponto. Medir o o ganho de modo comum referente a uma das saídas.



- **Compare as medidas realizadas com os resultados teóricos. Tire conclusões!**
- **Realize a simulação do circuito.**

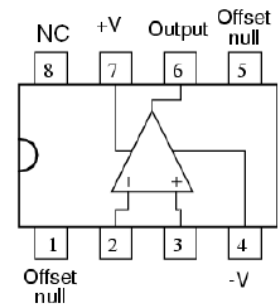
LAB-5 - Amplificador Inversor, Não Inversor e Buffer com Ampop



- **Objetivos:** Comprovar a validade das equações que definem o ganho d amplificador inversor, não inversor e Buffer.

- **Componentes:** 1 ampop 741, Resistores.

-**Equipamento:** Protoboard, multímetro, fonte de alimentação, gerador de sinais e osciloscópio.



- **Procedimento:**

- Projetar um amplificador inversor de ganho 20.
- Montar o circuito amplificador inversor (não inversor e Buffer) com alimentação de ±12V.
- Ajustar o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal de 50mVp e freqüência de 1k Hz e aplicar este sinal na entrada do circuito.
- Conectar o canal 1 do osciloscópio na entrada do circuito e o canal 2 na saída do mesmo.
- Observar as formas de onda de entrada e saída do circuito.
- Com o osciloscópio, medir a tensão na entrada inversora do Ampop e anotar o resultado obtido. Compara este resultado com os valores teóricos.
- Com o osciloscópio, medir as tensões de entrada e saída e, com base nesses valores, calcular o ganho de tensão. Comparar o valor do ganho medido em malha fechada com o ganho ideal (teórico) do circuito.
- Retirar o resistor de realimentação, verificar o que acontece com a saída do circuito.

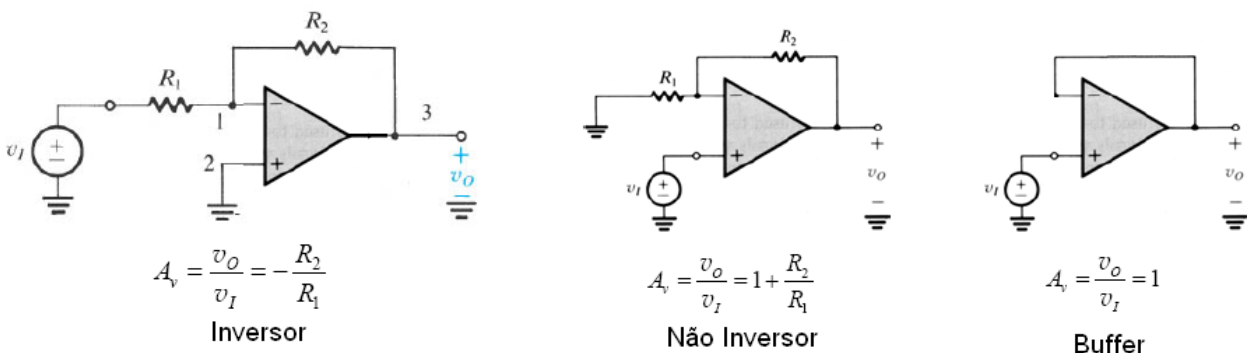


Fig. 1: Amplificadores com ampos.

- **Compare as medidas realizadas com os resultados teóricos. Tire conclusões!**
- **Realize a simulação do circuito.**

LAB-6 - Amplificador Subtrator

- **Objetivos:** Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador subtrator.
- **Componentes:** 1 ampop 741, Resistores.
- **Equipamento:** Protoboard, multímetro, fonte de alimentação, gerador de sinais e osciloscópio.
- **Introdução Teórica:** Por definição um amplificador diferencial amplifica a diferença entre duas tensões. A figura 1 mostra o circuito básico.

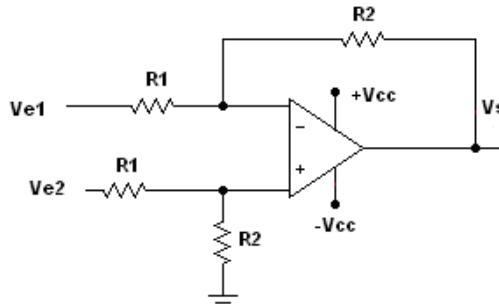


Figura 1: amplificador diferencial

Para o circuito da figura 1 a tensão de saída em função das entradas é dada por:

$$V_s = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{e2} - V_{e1})$$

O ganho diferencial é:

$$A_d = \frac{R_2}{R_1}$$

Se $V_{e2}=V_{e1}$ a saída é zero, sendo que na pratica isso não é verdade por conta de diversos fatores como, por exemplo, o descasamento entre as resistências (resistências que deveriam ser iguais e não são) e AO não ideal. Esse circuito tem também limitações principalmente em relação á resistência de entrada nas duas entradas que é baixa. Outra limitação do circuito é a dificuldade para variar o ganho (duas resistências devem variar ao mesmo tempo).

- Procedimento Experimental:

- Calcule o valor da tensão de saída do circuito da figura 2 para cada uma das combinações de tensões de entrada da tabela I.

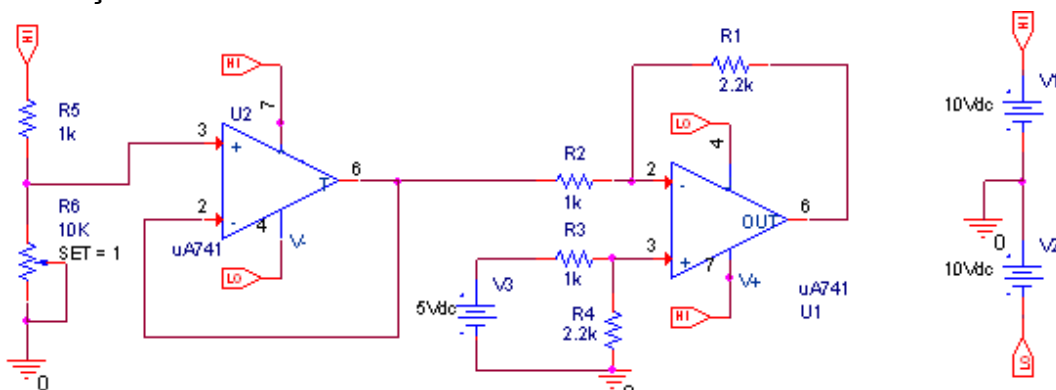


Figura 2: Amplificador diferencial para experiência

Tabela I: Amplificador diferencial - valores calculados

$V_{e2}(V)$	$V_{e1}(V)$	$V_s(V)$
5,0	2,5	
-5,0	2,5	
2,5	5,0	
0	0	
-5,0	-2,5	
-2,5	5,0	

Baseado nas medidas e observações efetuadas escreva as suas conclusões!

LAB-7 - Amplificador Derivador e Integrador Inversor

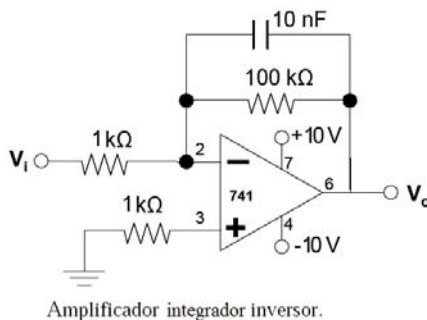


Fig. 1

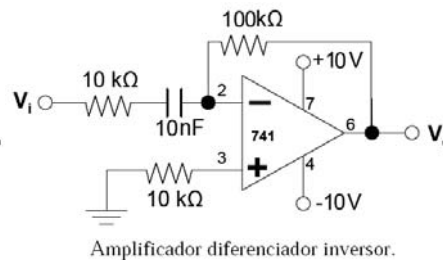


Fig. 2

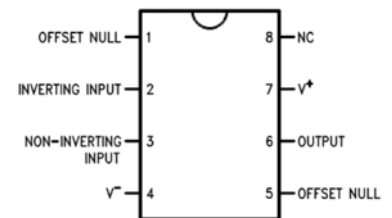


Fig. 3

1) AMPLIFICADOR INTEGRADOR INVERSOR

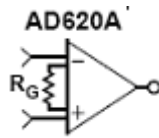
- Montar e energizar o circuito da Fig. 1
- Observar o nível DC na saída do circuito.
- Ajustar o gerador para fornecer uma onda triangular de 70mVp de amplitude na frequência de 100Hz. Variar a frequência até 100kHz (ajustar a amplitude para não saturar a saída ou não trabalhar com sinais muito pequenos).
- Medir o ganho e a fase para diversas frequências entre os valores pedidos.
- Remover o resistor de 100kΩ e observar o que acontece com o ganho em função da frequência.

2) AMPLIFICADOR DIFERENCIADOR INVERSOR

- Montar e energizar o circuito da Fig. 2
- Medir o nível DC na saída do circuito.
- Ajustar o gerador para fornecer uma onda triangular de 1Vp de amplitude na frequência de 100Hz. Variar a frequência até 100kHz (ajustar a amplitude para não saturar a saída ou não trabalhar com sinais muito pequenos).
- Medir o ganho e a fase para diversas frequências entre os valores pedidos.
- Colocar em curto o resistor de entrada de 10kΩ e observar o que acontece com o ganho em função da frequência.

- **Comentar os resultados obtidos!**
- **Tirar conclusões**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento!**

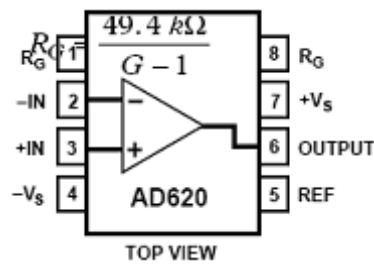
de um resistor externo R_G e como o amplificador vem perfeitamente balanceado de fabrica, não precisamos nos preocupar com o ajuste de *offset*.



$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

(b) equação do calculo da resistência externa

Fig. 3: Exemplo amplificador de instrumentação.



(c) pinagem

Por exemplo se for desejado um ganho de 100 o valor de R_G externo será:

$$R_G = \frac{49,4K}{100 - 1} \cong 500\Omega$$

- No Laboratório

- 1) Montar e energizar o circuito da Fig. 1
- 2) Observar o nível DC na saída do circuito.
- 3) Medir as formas de onda nas saídas dos ampops. com o sinal de entrada conforme é mostrado na Fig. 1.
- 4) Medir o ganho e a fase para diversas frequências (determinando frequências de corte nas baixas e nas altas).

- **Comentar os resultados obtidos**
- **Tirar conclusões**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento**

LAB-10 - Resposta em Frequência do Ampop

- **Objetivos:** Obter a característica de ganho (em malha aberta) do amplificador operacional em função da frequência e comparar o desempenho dos amplificadores inversor e não inversor.

- **Equipamentos:** Fonte de alimentação, Gerador de sinais e Osciloscópio.

A - Banda Passante de Ganho Unitário ou Produto Ganho Banda PGB

- Determine o PGB para um ampop 741 das especificações do datasheet.
- Monte um amplificador de ganho unitário com seu ampop (configuração seguidor de tensão). Alimente com $\pm 15V$ e use um capacitor de $10\mu F$ em seu protoboard.
- Mantendo a variação da tensão de saída abaixo de $100mV_{pp}$, determine a máxima frequência de corte f_T para o seu circuito seguidor de tensão. Meça o ganho em função da frequência até $10MHz$.
- Lembre que o PGB permanece constante para o amplificador não inversor, $A_{of_0} = A_T f_T = PGB$ assim $A_T = 1$ para o seguidor, $f_T = PGB$.

B - Resposta em frequência do Ampop em Malha Aberta

Monte o circuito mostrado na Fig. 1.

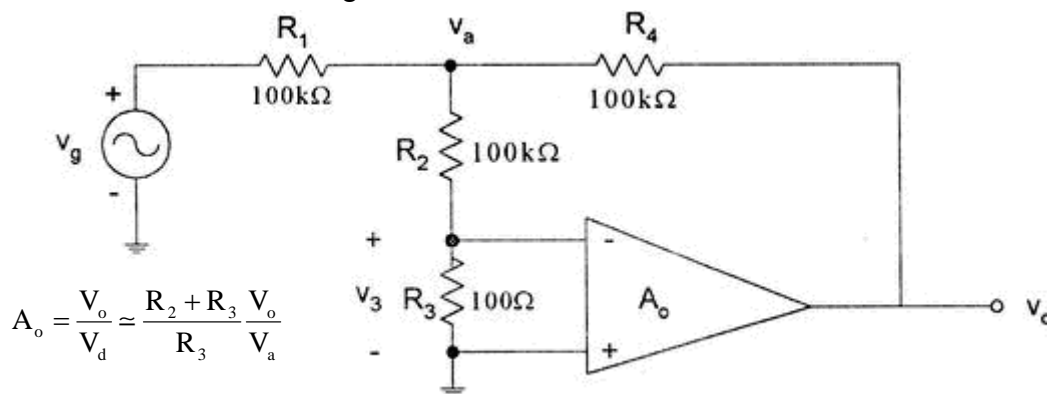


Fig. 1: Circuito utilizado para medição do ganho em malha aberta do ampop.

- Explique o funcionamento do circuito utilizado para medição do ganho em malha aberta. Determine a equação de A_o .
- Alimente com $\pm 15V$ e use um capacitor de $10\mu F$ em seu protoboard.
- Em cada frequência, escolha o valor de V_g para obter valores mensuráveis em V_o e V_a . Para frequências abaixo de $10kHz$, use $R_2 = 100k\Omega$, $R_3 = 100\Omega$. Para frequências acima de $10kHz$, use $R_2 = 0$, $R_3 = \infty$. Complete a tabela 1.
- Plotar $|A_o|_{dB}$ em função da frequência em papel monolog. Determine o valor de A_o e a frequência de corte da banda passante.
- Compare A_{of_0} ao PGB obtido no item A.

Table 2: Resposta em Frequencia em Malha Aberta

f (Hz)	v_o (V _{pp})	v_a (V _{pp})	$ A_o = \frac{R_2 + R_3}{R_3} \frac{v_o}{v_a}$	$ A_o $ dB
1				
5				
10				
100				
500				
1k				
5k				
10k				
50k				
100k				
1M				
5M				
10M				

C - Resposta em frequência em malha fechada do amplificador não inversor

- 1) Baseado no ganho de malha aberta em função da frequência, preveja o ganho em malha fechada para um amplificador não inversor com ganhos 1000, 100, 10 e 1. Traçar os resultados na mesma folha monolog juntamente com o ganho em malha aberta.
- 2) Construa os circuitos para as condições acima e meça a resposta em frequência. Traçar, na mesma folha do item anterior, o ganho em malha fechada medido.

D - Resposta em frequência em malha fechada do amplificador inversor

- 1) Baseado no ganho de malha aberta em função da frequência,preveja o ganho em malha fechada para um amplificador inversor com ganhos 1000, 100, 10 e 1. Traçar os resultados na mesma folha monolog juntamente com o ganho em malha aberta.
- 2) Construa os circuitos para as condições acima e meça a resposta em frequência. Traçar, na mesma folha do item anterior, o ganho em malha fechada medido

- **Comentar os resultados obtidos!**
- **Tirar conclusões !**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento!**

LAB-11 - Medição da Tensão e Corrente de Offset do Ampop

- **Objetivos:** Verificar a influência dos desequilíbrios DC na saída do Ampop e como compensá-los.
- **Equipamentos e Materiais:** 2 Resistores de $1M\Omega$, 1 Resistor de $1k\Omega$, 1 Potenciômetro de $10k\Omega$, 1 Ampop 741 ou similar, Fonte de alimentação e Multímetro.
- **Procedimentos:**

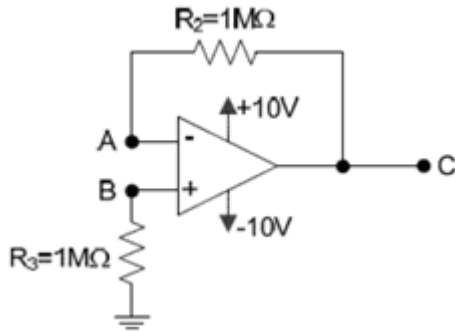


Fig. 1

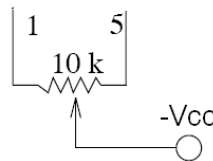


Fig. 2

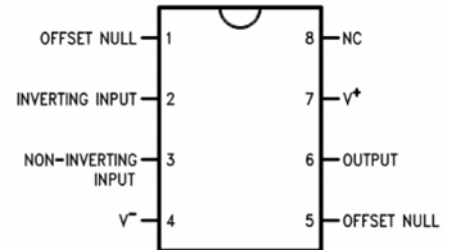


Fig. 3

Medição Da Tensão De Offset:

- Montar e energizar o circuito da Fig. 1
- Observar o nível DC na saída do circuito.
- Curto-circuitar o resistor R3 ($R_3 = 0V$) e medir novamente a tensão de saída.
- Com $R_3 = 0V$, adicione um resistor $R_1 = 1k\Omega$ entre a entrada inversora (ponto A) e o terra. Medir novamente a tensão de saída.

Resistores	$V_c (V)$
$R_2=1M\Omega$ $R_3=1M\Omega$	
$R_2=1M\Omega$ $R_3=0\Omega$	
$R_1=1k\Omega$ $R_2=1M\Omega$ $R_3=0\Omega$	

V_{offset}	
I_{Bias}	
I_{offset}	

- Considerando o efeito da corrente de polarização, corrente de offset e tensão de offset sobre os valores medidos anteriormente, calcular os valores na tabela abaixo.
- Com um potenciômetro de $10k\Omega$ entre os pinos 1, 5 e $-VCC$ (como mostrado na Fig. 2) zera a tensão DC de saída.
- Remover os resistores, curto circuitar as entradas A e B para o terra e observar o que acontece com o ganho (relacionado ao deslocamento do sinal de saída).

- **Comentar os resultados obtidos!**
- **Tirar conclusões**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento!**

LAB-12 – Medição do Slew Rate do Ampop

- **Objetivos:** Verificar a influência do Slew Rate na tensão de saída de um amplificador com ampop.

- **Material:** 2 resistores de 10kΩ, 1 Ampop 741 ou similar, 1 Osciloscópio, 1 Gerador de funções, 1 Fonte de alimentação simétrica.

- **Teoria: procedimento-preparação:**

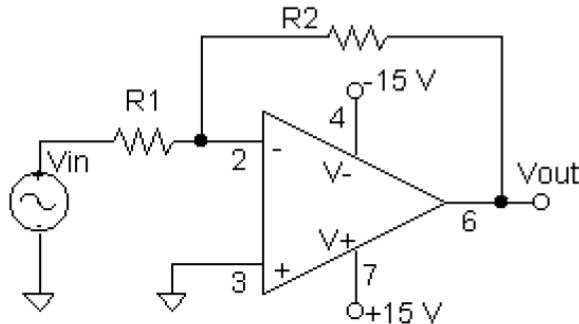


Fig 1

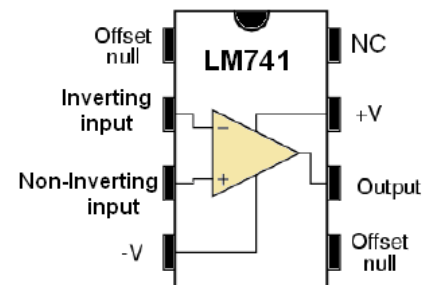


Fig. 2

Medição do Slew Rate:

- i) Montar e energizar o circuito da figura 1;
- ii) Aplicar uma onda quadrada de 10Vpp com 100Hz em Vin. Observar as formas de onda de entrada e saída do circuito.
- iii) Aplicar uma onda quadrada de 10Vpp com 10kHz em Vin. Observar as formas de onda de entrada e saída do circuito.;
- iv) Medir os valores das tensões de pico (positiva e negativa) de saída e esboçar as formas de onda de entrada e de saída;
- v) Medir o tempo (Δt) necessário para a tensão de saída variar de seu valor mínimo para seu valor máximo. Medir tanto o tempo de subida como o de descida.
- vi) Calcular o Slew Rate do Ampop que é definido como $SR = \Delta V / \Delta t$ (dado em V/ μs).
- vii) Compare o valor calculado na prática com aquele fornecido pelo fabricante.
- viii) Aplique um sinal senoidal e verifique a influência do Slew Rate no sinal de saída.

- **Comentar os resultados obtidos**
- **Tirar conclusões**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento**

LAB-13 – Comparador Regenerativo – Schmitt Trigger

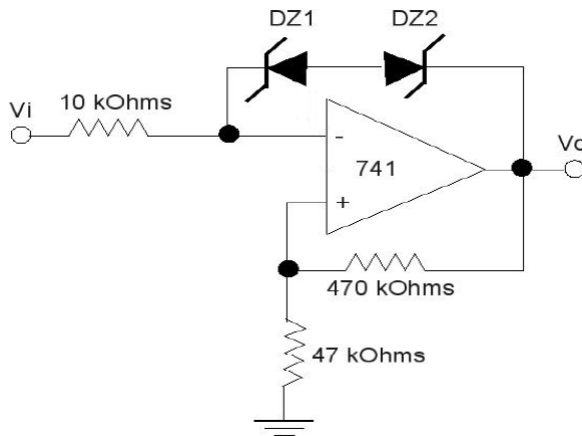


Fig. 1

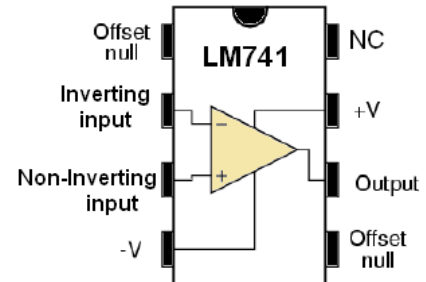


Fig. 2

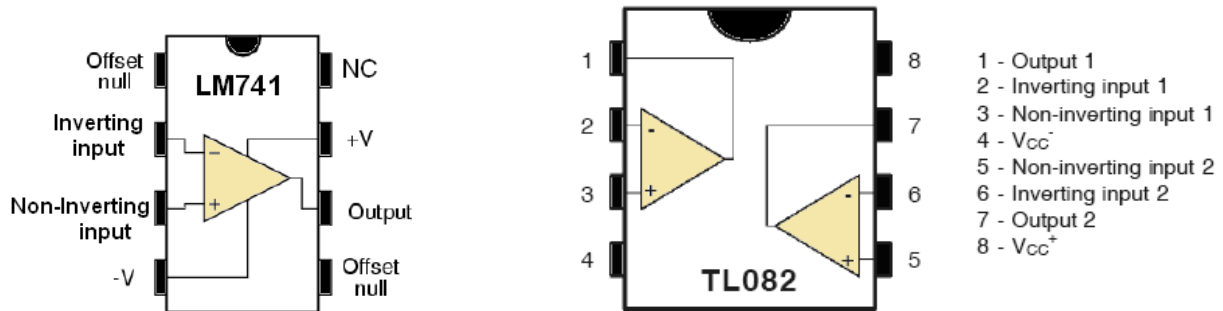
- Procedimento:

- i) Montar o circuito da figura acima com a malha de “realimentação negativa” aberta (sem os diodos DZ1 e DZ2). Energizar o circuito;
- ii) Ajustar o gerador de funções para fornecer um sinal senoidal de 500 Hz e 5 Vp (pico). Aplicar este sinal na entrada do circuito;
- iii) Conectar o canal 1 do osciloscópio à entrada do circuito e o canal 2 à saída do mesmo;
- iv) Medir os valores das tensões de pico (positiva e negativa) de saída e esboçar as formas de onda de entrada e de saída;
- v) Medir o tempo necessário para que o sinal de entrada varie de VDS até VDI. Medir VDS e VDI, bem como as tensões de pico (positiva e negativa) do sinal de saída. Esboçar o gráfico de histerese do circuito;
- vi) Aumentar, gradativamente, a frequência do sinal de entrada para 5 kHz e observar o que acontece com a tensão de saída (manter a amplitude do sinal em 5 Vp);
- vii) Colocar os diodos DZ1 e DZ2 na malha de “realimentação negativa”, conforme indicado na figura acima;
- viii) Repetir os procedimentos *ii*, *iii*, *iv*, *v* e *vi*;
- ix) Explicar por que os tempos de atraso entre as mudanças de polaridade da entrada e da saída diminuíram;
- x) Se o circuito acima fosse montado com o LM311, os resultados obtidos poderiam ter sido melhores? Justificar sua resposta.

- **Comentar os resultados obtidos**
- **Tirar conclusões**
- **Apresentar sugestões para melhoria do experimento**

LAB-14- Retificador de Precisão

- Objetivos: Verificar o funcionamento do circuito retificador de meia onda e de onda completa.
- Equipamentos: Fonte de alimentação, osciloscópio, gerador de sinais, multímetro.
- Material: 4 Resistores de 10Ω , 1 Resistor de $4,7k\Omega$, 2 diodos !N4148, 2 Ampop 741 ou Similar (TL082).

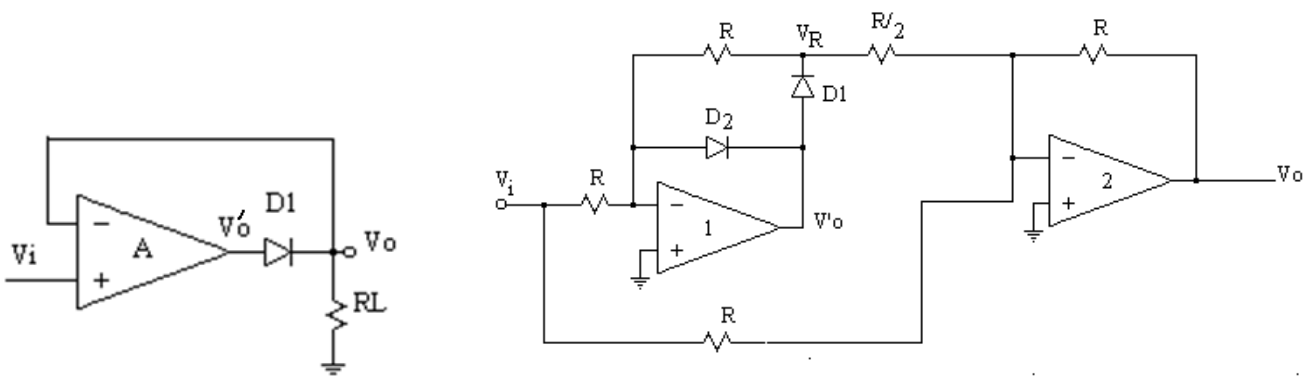


Pré relatório:

- Realizar estudo e equacionamento dos circuitos abaixo (análise qualitativa e quantitativa).
- Realizar simulação DC (característica de transferência) AC (resposta em frequência) e transiente.

- Procedimento:

- Montar e energizar o circuito com alimentação simétrica de 12V.
- Aplicar sinal senoidal na entrada com $V_{in_{pp}} = 0.1V$ e frequências de 100Hz medir as saídas V_o , V'_o e V_R
- Aplicar sinal senoidal na entrada com $V_{in_{pp}} = 1V$ e frequências de 100Hz medir as saídas V_o , V'_o e V_R
- Aplicar sinal senoidal na entrada com $V_{in_{pp}} = 1V$ e frequências de 50kHz medir as saídas V_o , V'_o e V_R
- Comparar os resultados obtidos anteriormente com os teóricos.
- Colocar o osciloscópio em coordenadas XY e obter a característica de transferência.



- Apresentar tabelas, gráficos devidamente caracterizados, comentários, sugestões e conclusões finais.

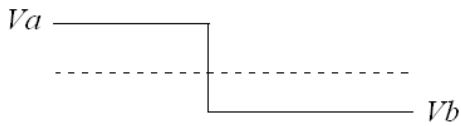
LAB-15- Projeto-2 – Multivibrador Monoestável

Turma A

Equipe	OPamp	T (ms)	Alimentação	gatilho	Níveis Va, Vb
1	LM741				
2	LM741				
3	OP07				
4	OP07				
5	LM747				

Turma B

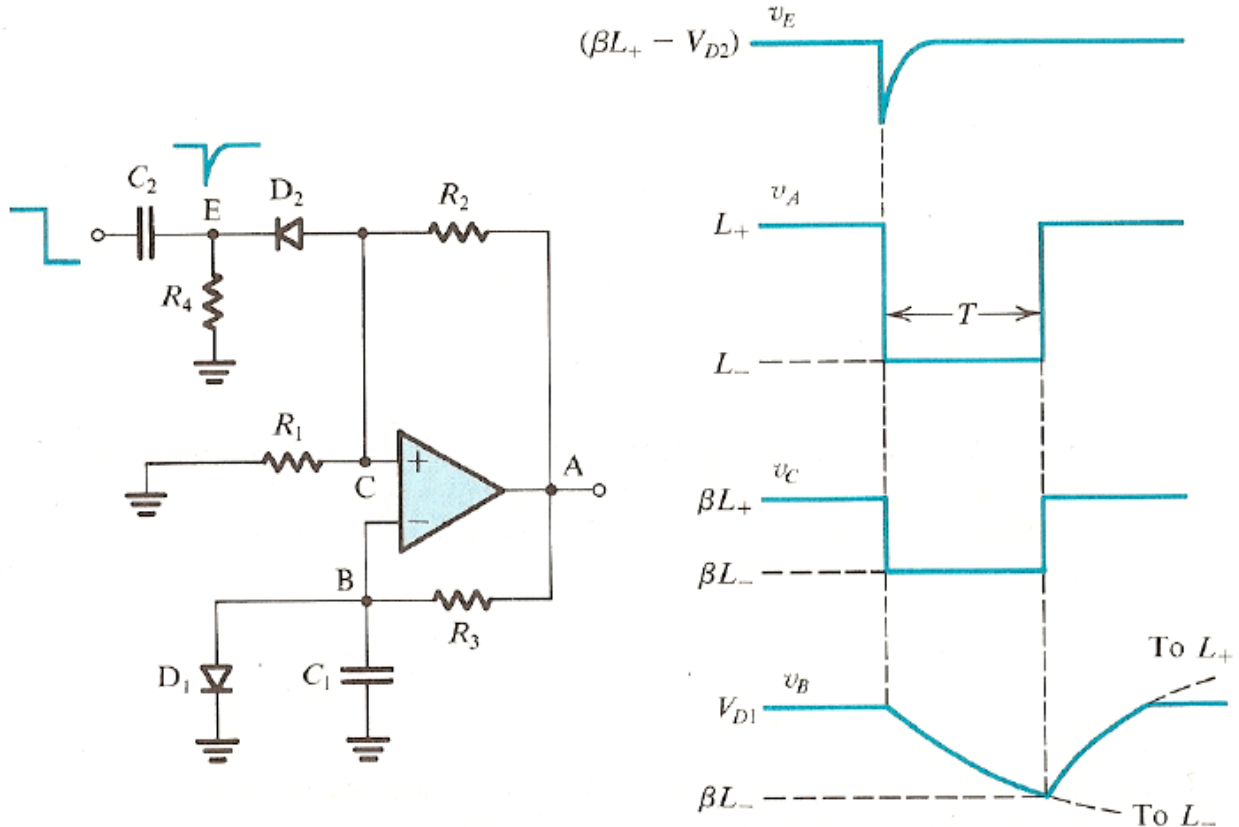
Equipe	OPamp	T (ms)	Alimentação	gatilho	Níveis Va, Vb
1	TL081				
2	TL081				
3	OP07				
4	OP07				
5	LM747				



Utilizar o gerador de sinais para gerar os gatilhos.

O monoestável deve ser feito com opamp

A estrutura fica a critério da equipe. A figura abaixo é uma sugestão de estrutura.



LAB-16- Filtros de Segunda ordem

FILTRO PASSA-BAIXA ATIVO DE SEGUNDA ORDEM

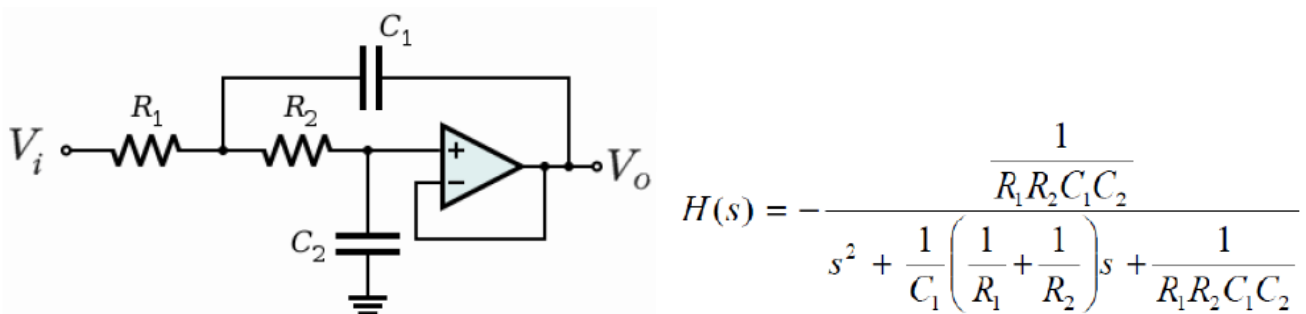
Topologia SALLEN & KEY

O objetivo desta montagem é verificar a funcionalidade de um filtro ativo passa baixa de segunda ordem observando a sua frequência de corte, ganho unitário na faixa de passagem e atenuação na faixa de rejeição.

A estrutura Sallen Key é uma das mais usadas por ser simples e possuir função de transferência $H(s)$ facilmente dedutível.

Monte o circuito da figura abaixo. Aplique um sinal senoidal na entrada e observe os sinais de entrada e saída simultaneamente com o osciloscópio. Inicie o experimento aplicando um sinal com amplitude de 10VPP e com frequência inferior a frequência de corte teórica do filtro. Varie apenas a frequência do sinal de entrada, mantendo a amplitude constante, e observe em que frequência ocorre à atenuação de -3dB correspondente a frequência de corte real do filtro. Compare os valores medidos com os valores teóricos esperados.

Considere $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$ e $C_1 = C_2 = 1\text{ nF}$.



- 1-Deduz a equação característica $H(s)$
 - 2-Determine a função de transferência $H(s)$ específica para o filtro montado com os valores utilizados nos experimentos.
 - 3-Determine teoricamente e experimentalmente a frequência de corte do filtro montado neste experimento.
 - 4-Determine teoricamente e experimentalmente a faixa de passagem, a frequência central, o fator de qualidade Q e as frequências de corte inferior e superior para os filtros deste experimento.
 - 5- Apresente as simulações do circuito e seus gráficos de módulo e fase em dB
- Compare as medidas realizadas com os resultados teóricos. Tire conclusões!
 - Realize a simulação do circuito.

LAB-17 – Projeto-3 – Gerador de Forma de Onda

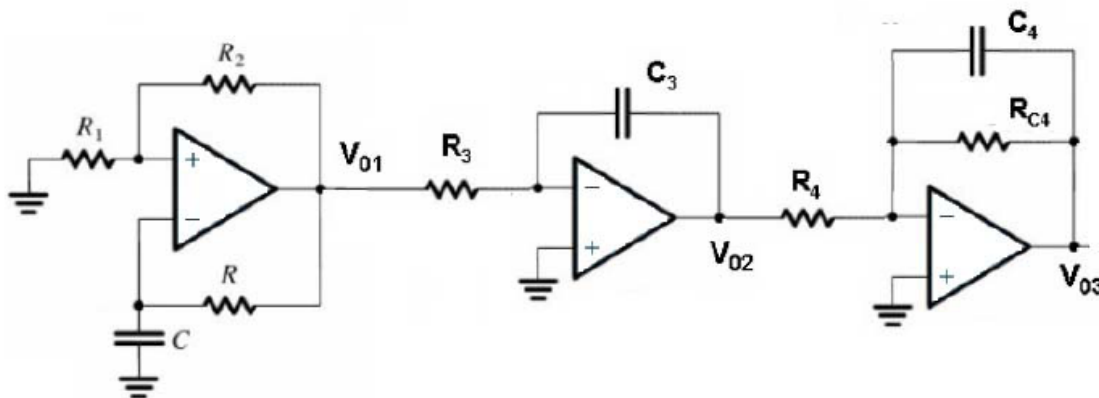
Objetivo: Projetar, montar e testar um gerador de forma de onda com saídas senoidal, triangular e quadrada.

-Material: resistores, capacitores, 1 Ampop TL084 ou similar, 1 Osciloscópio, 1 Gerador de funções, 1 Fonte de alimentação simétrica.

DADOS

Projetar o circuito da figura abaixo utilizando o amplificador TL084, que cumpra as seguintes especificações:

- 1) Frequência de Oscilação de 5kHz;
- 2) O sinal de saída V_{o2} deve ter uma forma de onda triangular com a mesma frequência do sinal V_{o1} ;
- 3) O sinal de saída V_{o3} deve ter uma forma de onda senoidal com amplitude de 1Vp.



REQUISITOS MÍNIMOS DO RELATÓRIO

- 1- Observar o que acontece e esboçar detalhadamente as formas de onda da saída dos três ampops;
- 2- Usando o osciloscópio, medir o ganho de tensão V_{o3}/V_{o2} e comparar com os valores teóricos. Justifique a diferença entre eles;
- 3- Explicar como se processa a geração dos sinais V_{o1} , V_{o2} e V_{o3} no circuito;
- 4- Com base nas suas medições e observações, tirar as conclusões sobre o funcionamento do circuito.

- **Compare as medidas realizadas com os resultados teóricos. Tire conclusões!**
- **Realize a simulação do circuito.**

Obs.: As folhas de dados técnicos dos dispositivos que serão utilizados em todas as experiências terão de ser adquiridas.

LAB-18 – Prova-2 – Referente aos labs anteriores