

PUC ENGENHARIA

**APOSTILA DE
ELETRÔNICA 2**

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUCSP

*Prof. Dr. Marcello Bellodi
2ª versão - 2005*

ÍNDICE

1ª Experiência: "Amplificador Push-Pull Classe B"	01
2ª Experiência: "Curvas Características do JFET"	06
3ª Experiência: "Curvas Características do MOSFET"	10
4ª Experiência: "Circuito Oscilador"	13
5ª Experiência: "Amplificador com Transistor de Efeito de Campo de Junção"	17
6ª Experiência: "Fonte de Corrente"	23
7ª Experiência: "Amplificador Diferencial"	28
8ª Experiência: "Amplificador Operacional: configurações inversora e não inversora" ...	35
9ª Experiência: "Amplificador Operacional: circuitos integrador e diferenciador"	41
10ª Experiência: "Amplificador Operacional: circuito somador"	46
11ª Experiência: "Amplificador Operacional: resposta em frequência"	50

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 1:

AMPLIFICADOR PUSH-PULL CLASSE B

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

1. Lista de material

- 01 osciloscópio de dois canais com cabos
- 01 gerador de funções
- 01 fonte de alimentação variável
- 01 multímetro digital
- 01 protoboard
- 02 diodos 1N4148
- 01 transistor 2N3904 e 2N3906
- resistores: 01 de 100Ω , 02 de 680Ω e 02 de $4,7k\Omega$
- capacitores: 02 de $1\mu F$ e 01 de $100\mu F$

2. Procedimento Experimental

1. Montar o circuito mostrado na figura 1, observando cuidadosamente a polaridade dos componentes.

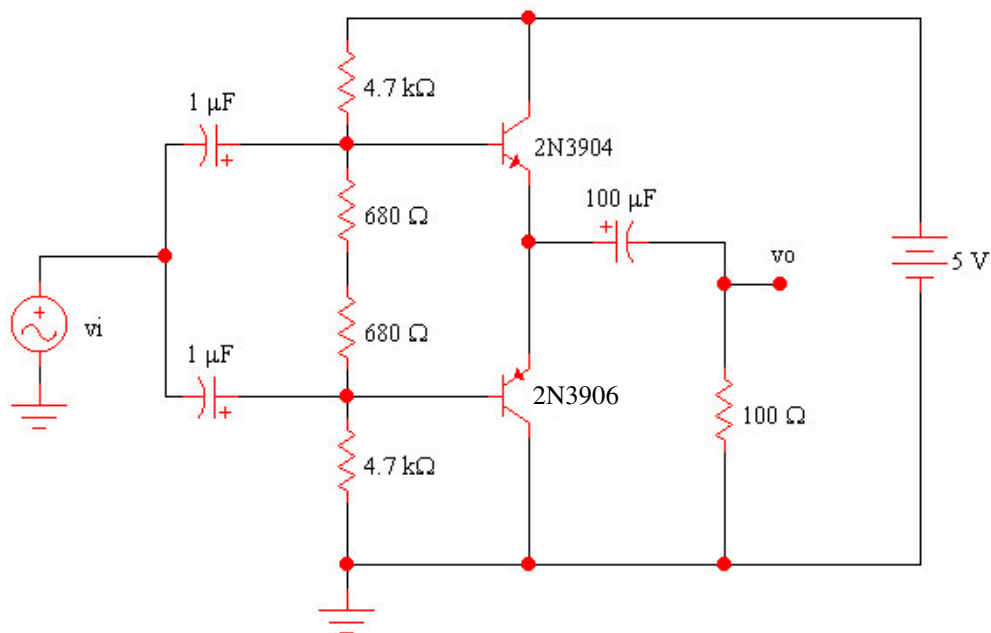


Figura 1 - Circuito amplificador push-pull.

2. Insira o gerador de funções na entrada v_i , com um sinal senoidal com frequência de 1kHz e o nível com 2Vpp.
3. Desenhar o sinal de entrada v_i sincronizado com o sinal de saída v_o , indicando os seus pontos notáveis, no gráfico mostrado na figura 2.

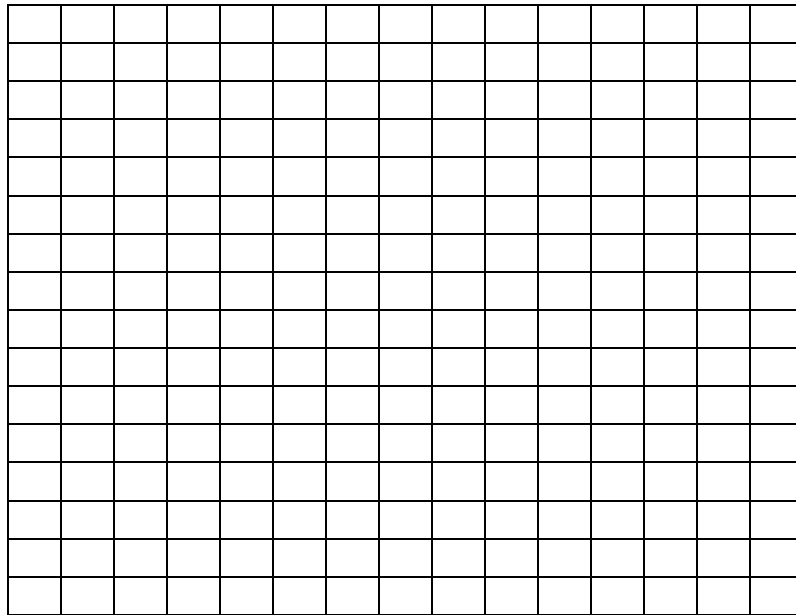


Figura 2 - Sinais v_i e v_o obtidos experimentalmente

4. Utilizando as expressões vistas na aula teórica do assunto, calcule a potência de entrada $P_i(cc)$, a potência de saída $P_o(ca)$, a corrente de pico na carga $I_L(p)$, a potência dissipada em cada transistor P_Q e a eficiência $\% \eta$.

$$P_i(cc) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \quad P_o(ca) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \quad P_Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$I_L(p) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \quad \% \eta = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

5. Varie o valor da amplitude do sinal de entrada v_i e a sua respectiva frequência. O que houve com o sinal de saída v_o ? Discuta os resultados obtidos.

R: _____

6. Repita o item 1, porém agora substitua os resistores de 680Ω por diodos, conforme mostra a figura 3.

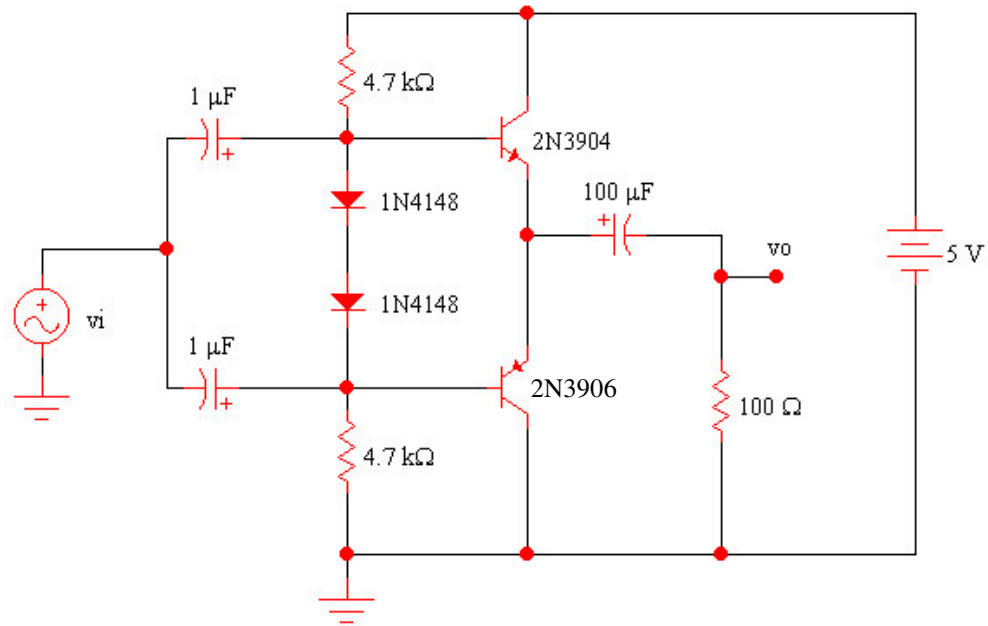


Figura 3 - Circuito amplificador push-pull modificado.

7. Repetir os itens 2 e 3, anotando adequadamente os detalhes da forma de onda no gráfico da figura 4. O que ocorreu com o sinal na saída v_o , quando comparado à montagem anterior?

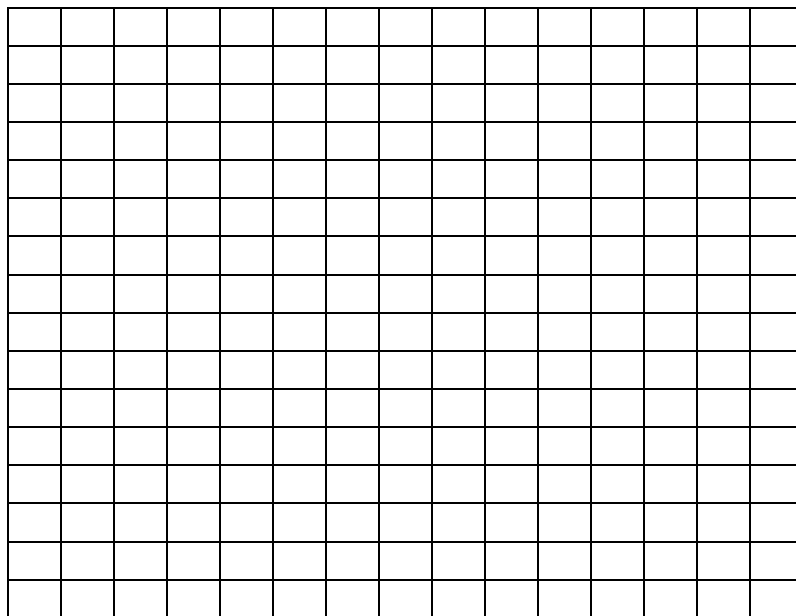
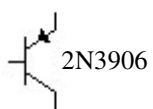
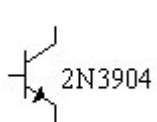


Figura 4 - Dados experimentais relativos ao sinais v_i e v_o .

R: _____

Conclusões

Pinagem dos transistores



LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 2:

CURVAS CARACTERÍSTICAS DO JFET

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

1. Lista de material

- 01 osciloscópio de dois canais com cabos
- 02 multímetros digitais com pontas de prova
- 01 módulo MCM-4/EV com base e fonte
- 01 chave de fenda fina para ajuste dos trimpots da placa

2. Procedimento Experimental

1. Montar o circuito mostrado na figura abaixo, observando cuidadosamente ligações das pontes J18, J30 e J37 conectando-se o amperímetro entre os pontos 23 e 24, o voltímetro entre os pontos 32 e o osciloscópio entre a fonte e o dreno do transistor, conforme mostrado abaixo.

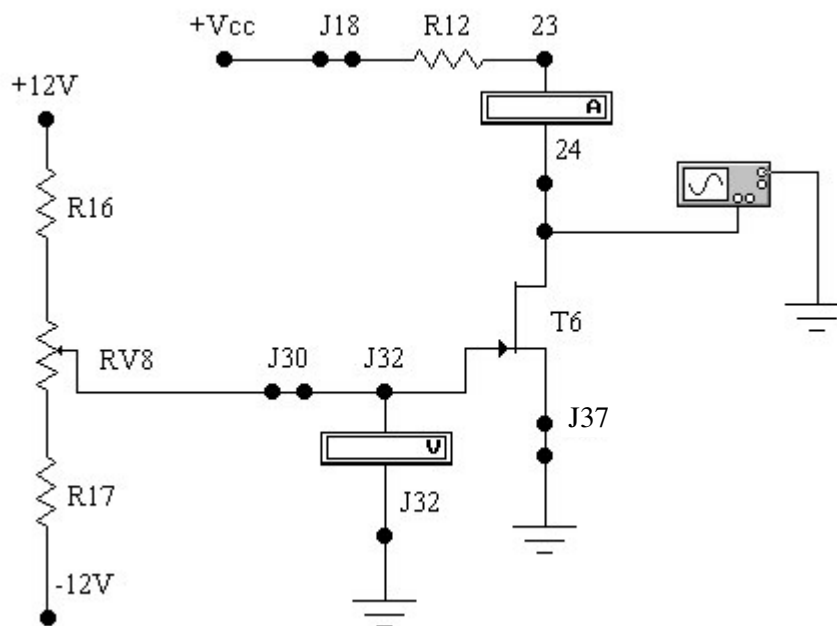


Figura 1- Circuito com FET.

2. Ajuste inicialmente $V_{gs} = 0V$ através do trimpot RV8 (com o auxílio da chave de fenda), monitorando V_{gs} através do voltímetro. Varie o valor de V_{ds} através da fonte de tensão Vcc, de acordo com o mostrado na tabela I, monitorando V_{ds} através do osciloscópio. Anote os valores obtidos na tabela I. Repita o procedimento para os novos valores de V_{gs} , conforme mostrado na tabela I

Tabela I - Levantamento da característica do dreno.

		Vds (V)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10.0
		Ids (mA)								
Vgs (V)	0.0									
	-0.5									
	-1.0									
	-1.5									
	-3.0									
	-4.0									

3. Plote os valores obtidos (da tabela I) para obter a curva característica $I_{ds} \times V_{ds}$ do FET.

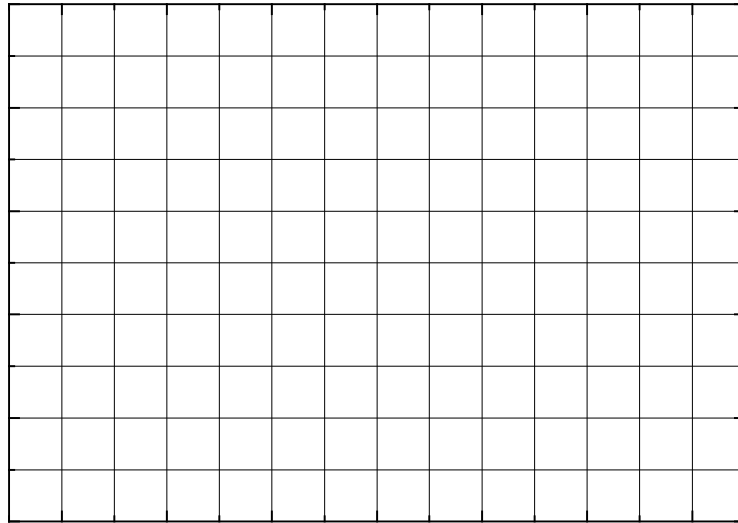


Figura 2 - Curva característica do dreno do JFET.

4. O próximo passo da experiência consiste na análise das características de transferência $I_{ds} \times V_{gs}$. Usando os resultados obtidos na tabela I, anote a corrente de dreno (I_{ds}) com a variação na tensão de porta (V_{gs}) para três valores de tensão de dreno (V_{ds}), conforme mostrado na tabela II.

Tabela II - Características de Transferência.

V_{gs} (V)	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-3.0
V_{ds} (V)	I_d (mA)				
1.0					
4.0					
10.0					

5. Plote os valores obtidos na tabela II na figura 3, e obtenha as características de transferência $I_{ds} \times V_{gs}$ para os três valores de V_{ds} .

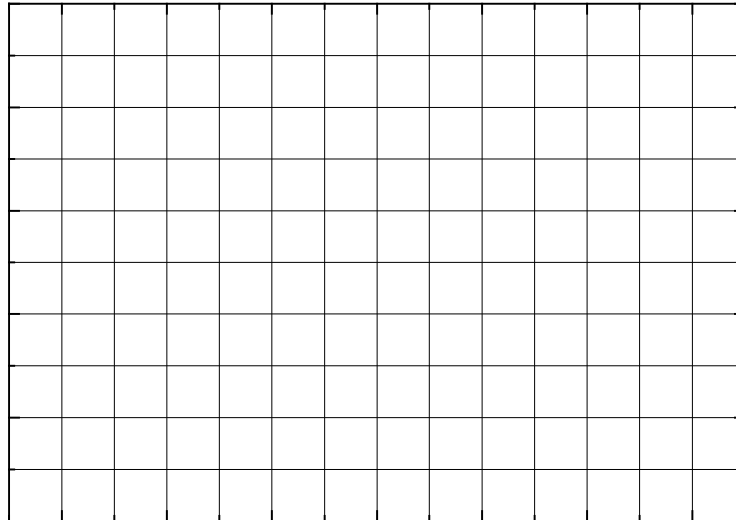


Figura 3 - Curvas características de transferência Ids x Vgs.

6. Dos dados obtidos anteriormente, obtenha os valores de Idss e Vp.

Idss= _____ mA

Vp = _____ V

Conclusões

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 3:

CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOSFET

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

1. Lista de material

- 01 fonte variável dupla
- 02 multímetros digitais com pontas de prova
- 01 protoboard
- 01 transistor 2N7000
- 01 resistor de 100Ω x 5W
- fios e cabos para ligações

2. Procedimento Experimental

1. Montar o circuito mostrado na figura abaixo, observando cuidadosamente as polarizações dos instrumentos e do transistor.

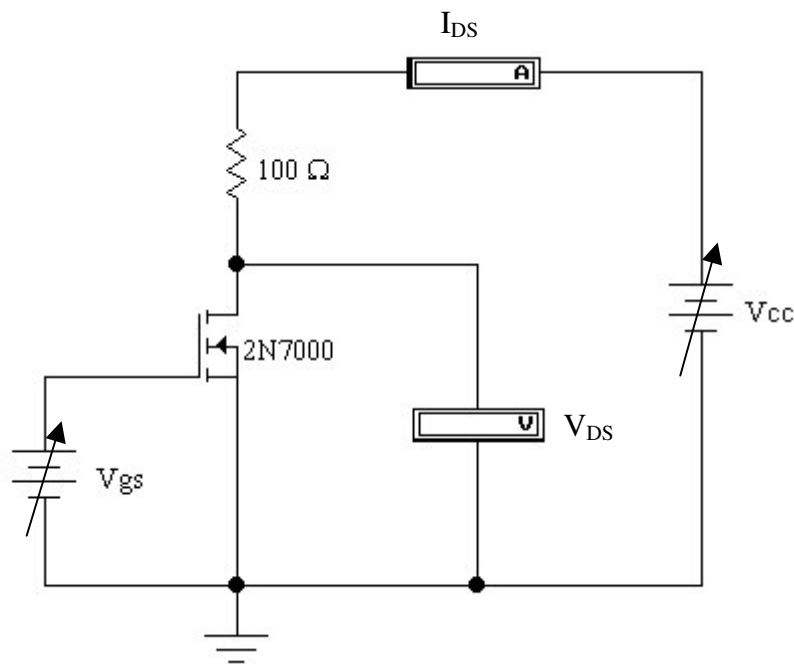


Figura 1 - Circuito com o MOSFET.

2. Levantamento da curva característica do dreno I_{DS} x V_{DS} do MOSFET

2.1. Preencher a tabela I, anotando os valores obtidos para cada condição de V_{GS} . Para tanto, inicialmente ajuste o valor de V_{GS} para +2,0V, mantendo o valor de V_{DS} nulo. Após o ajuste de V_{GS} , varie lentamente o valor da fonte V_{CC} acompanhando a evolução do valor de V_{DS} (com o voltímetro) anotando os respectivos valores I_{DS} de acordo com a tabela I. Repita o procedimento para os diversos valores indicados na tabela para V_{GS} .

Tabela I - Levantamento da característica do dreno do MOSFET.

V_{DS} (V)	I_{DS} (mA)			
	$V_{GS} = +1,5V$	$V_{GS} = +2,0V$	$V_{GS} = +2,5V$	$V_{GS} = +3,0V$
0				
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				
2,5				
3,0				
3,5				
4,0				
4,5				
5,0				

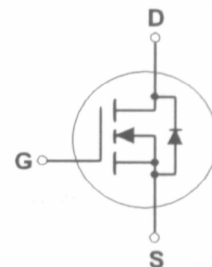
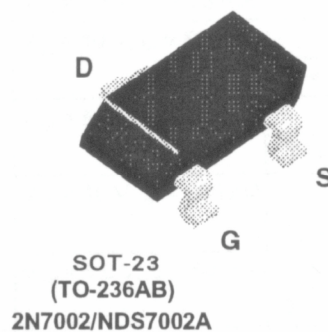
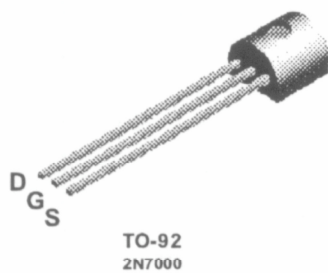
2.2. De posse dos resultados da tabela I, levantar o gráfico da corrente de dreno I_{DS} em função da tensão de dreno V_{DS} . Para tanto, utilizar papel milimetrado, indicando adequadamente cada condição de polarização.

3. Levantamento da curva de transferência do MOSFET em estudo.

3.1. De posse dos resultados obtidos na tabela I, levantar o gráfico da transferência $I_{DS} \times V_{GS}$ do MOSFET. Para tanto, faça o gráfico na mesma folha da curva característica do dreno.

Conclusões

Pinagem do transistor MOSFET 2N7000



LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 4:

CIRCUITO OSCILADOR

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

1. Lista de material

- 01 osciloscópio de dois canais com cabos
- 01 multímetro digital com pontas de prova
- 01 módulo MCM-7 com base e fonte
- 01 chave de fenda fina para ajuste dos trimpots da placa
- fios para ligações

2. Procedimento Experimental

1. Montar o circuito oscilador Ponte de Wien indicado na figura 1, conectando adequadamente cada um dos jumpers, conforme indicado na figura.

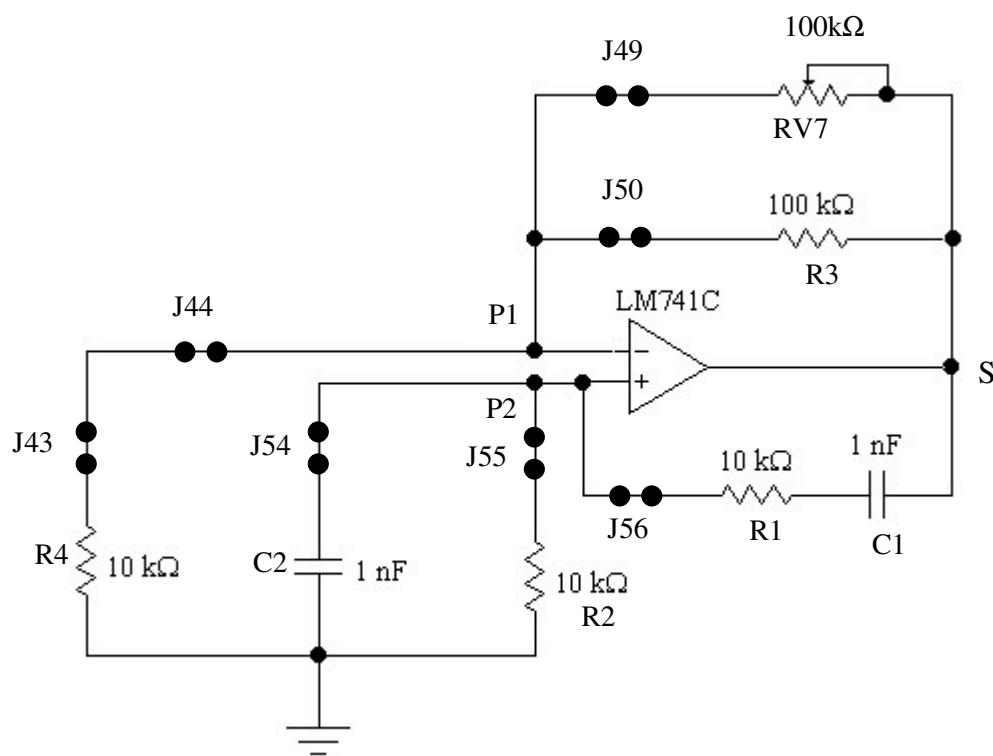


Figura 1- Circuito oscilador Ponte de Wien.

2. Girar completamente para a direita o cursor do trimpot RV7, com o auxílio da chave de fenda presente no kit didático.

3. Conectar a ponta de prova do canal 1 “CH1” com o ponto P2 do circuito e o canal 2 “CH2”, na saída “S” do circuitos Ponte de Wien.

4. Ajustar cuidadosamente o valor de RV7 até que se obtenha um sinal de saída senoidal. Quando estiver OK a forma de onda na tela do osciloscópio, desenhar no campo abaixo as duas formas de onda devidamente cotadas, isto é, indicando os seus respectivos pontos notáveis.

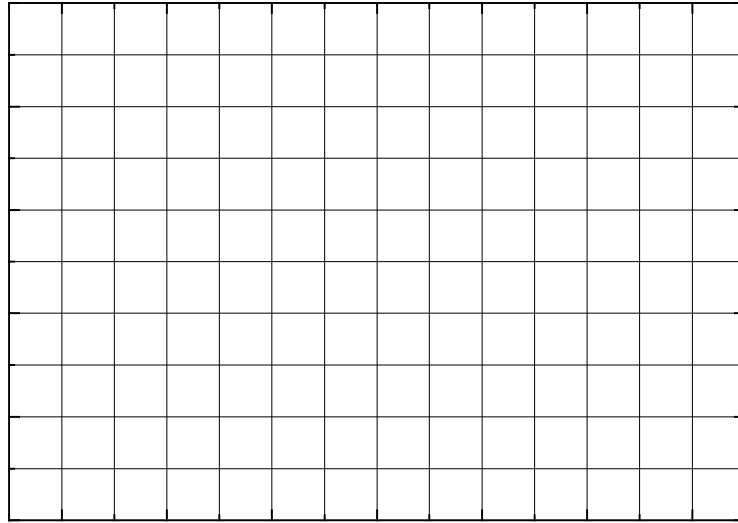


Figura 2 - Formas de ondas medidas no circuito oscilador.

5. Qual foi o valor da frequência F_o experimental? Compare o valor obtido experimentalmente com o valor calculado teoricamente. Utilize para tanto, os conceitos abordados na aula teórica.

f_o (experimental) = _____ Hz

f_o (teórico) = _____ Hz

6. Justifique as possíveis diferenças obtidas entre os valores teórico e experimental, baseando-se nos conceitos vistos em sala de aula.

R: _____

Conclusões

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 5:

“Amplificador com Transistor de Efeito de Campo de Junção - JFET”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

1. Lista de material

- 01 Osciloscópio com 02 pontas de prova
- 01 Fonte cc variável com seus respectivos cabos
- 01 protoboard
- 01 gerador de funções com seus respectivos cabos
- 01 Multímetro Digital com pontas de prova
- 01 caixa de resistências – década
- 06 cabos banana-banana
- 01 transistor BF 245B
- 01 capacitor eletrolítico de $0,47\mu\text{F}$ x 25V
- 01 capacitor eletrolítico de $10\mu\text{F}$ x 25V
- 01 capacitor eletrolítico de $470\mu\text{F}$ x 25V
- 01 resistor de $1\text{k}\Omega$, $2,7\text{k}\Omega$, $4,7\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$ e $10\text{M}\Omega$

2. Procedimento Experimental

OBS: Utilizar o osciloscópio sempre com os dois canais direcionados para leituras em “cc”.

1. Polarização “cc”:

1. 1. Montar o circuito da figura 1, respeitando as polaridades dos componentes eletrônicos.

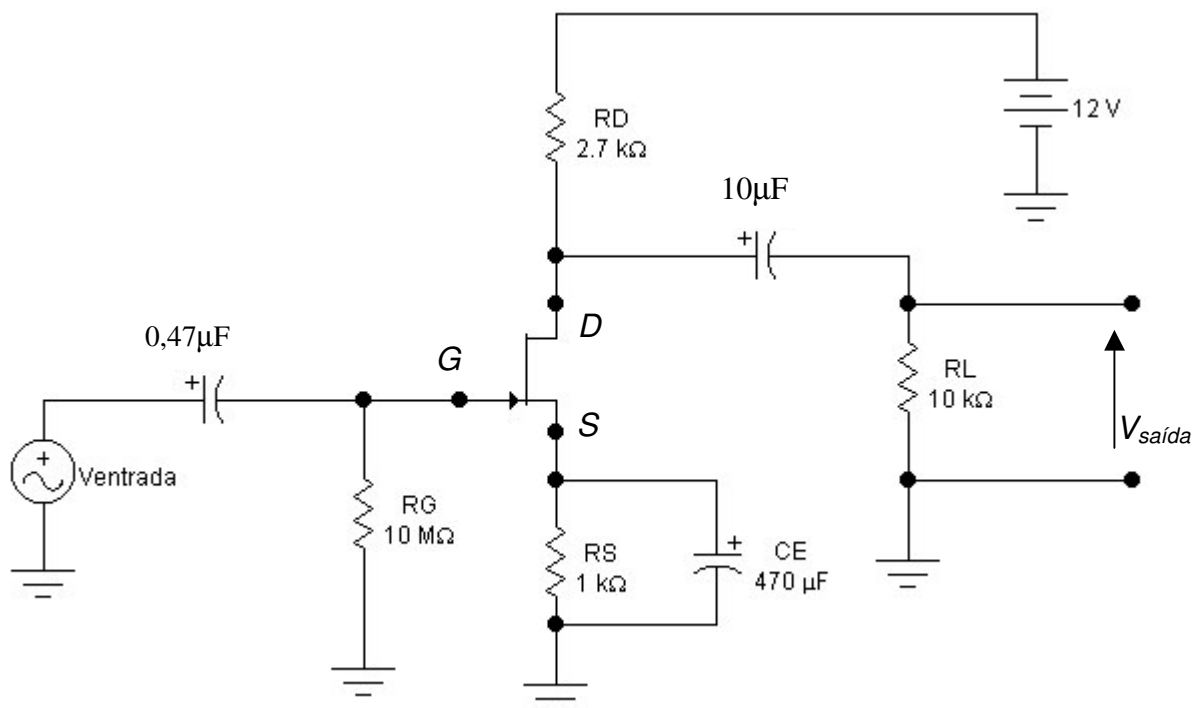


Figura 1 – Circuito Amplificador com o JFET.

1.2. Com o auxílio do voltímetro digital, meça as tensões de polarização V_{RD} , V_{DSq} , V_{RS} sem a aplicação do sinal $V_{entrada}$. Preencha a tabela I com os resultados obtidos.

Tabela I.

	V_{RD} [V]	V_{RS} [V]	V_{DSq} [V]	$I_D = \frac{V_{RD}}{R_D}$ [mA]
Valor Experimental				

2. O amplificador JFET

2.1. Aplicar na entrada ($V_{entrada}$) um gerador de sinais e ajuste o seu nível de tensão de forma que em nenhuma frequência ocorra deformação do sinal de saída ($V_{saída}$). Posteriormente, ajustar $f = 3\text{kHz}$ e $V_{saída}$ sem deformação para determinar o ganho de tensão A_V .

$$A_V = \frac{V_{pp(saida)}}{V_{pp(entrada)}} : \text{Ganho de tensão} \quad A_V = \text{_____ V/V}$$

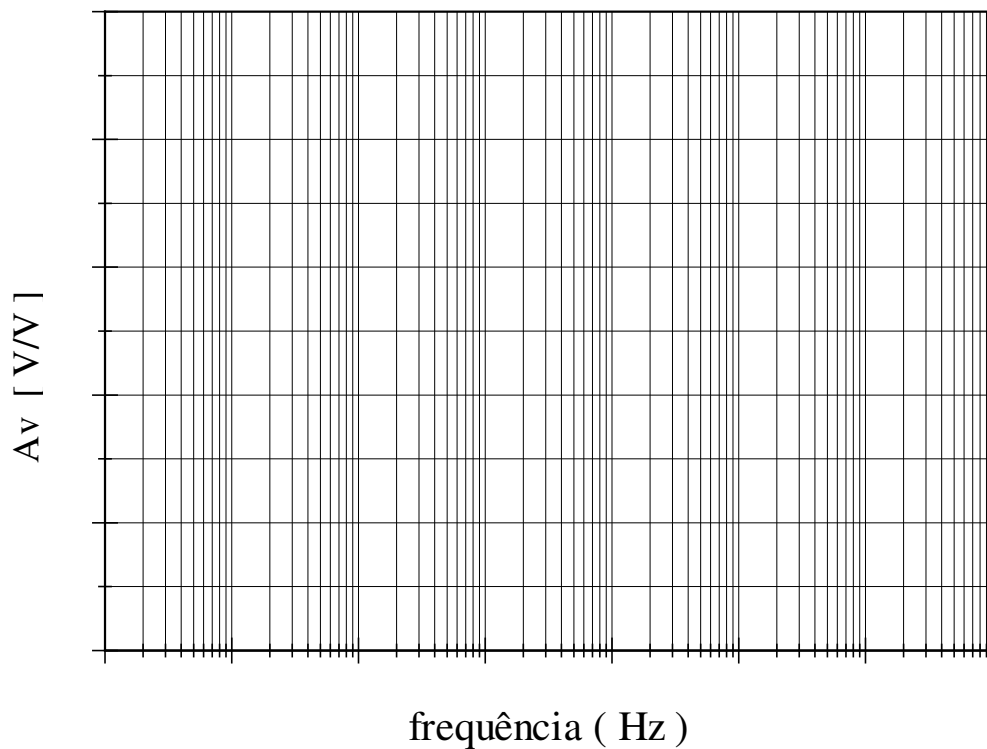
2.2. Varie a frequência desde 20 Hz até 2MHz (**mantendo a tensão de entrada constante**) e meça os valores de $V_{pp(saida)}$ para cada frequência. Com os valores obtidos, determine o ganho de tensão e o ganho normalizado através das seguintes equações, preenchendo adequadamente a tabela II.

Tabela II - Dados experimentais.

$V_{pp(entrada)} = \text{_____ [V_{pp}]}$		
Frequências (Hz)	$V_{pp(saida)}$ [V]	A_V (V / V)
10		
20		
50		
100		
200		
500		
1k		
2k		

5k		
10k		
20k		
100k		
200k		
500k		
1M		
1,5M		
2M		

2.3. De posse dos resultados obtidos na tabela II, levantar o gráfico indicado abaixo (escala monolog).



2.4. Utilizando o gráfico de $A_V = f$ (freq) construído acima, trace uma reta paralela ao eixo das frequências passando pelo valor 0,707 do ganho máximo. Nas intersecções esta reta com o gráfico, baixe perpendicularmente ao eixo das frequências e determine a frequência de corte f_2 , preenchendo a tabela III.

Tabela III - Valor experimental para a frequência de corte f_2 .

	f_2 [Hz]
Valor Experimental	

2.5. Determinar a impedância de entrada do amplificador com o inclusão da resistência auxiliar $R = 100\text{k}\Omega$, conforme mostra a figura 2.

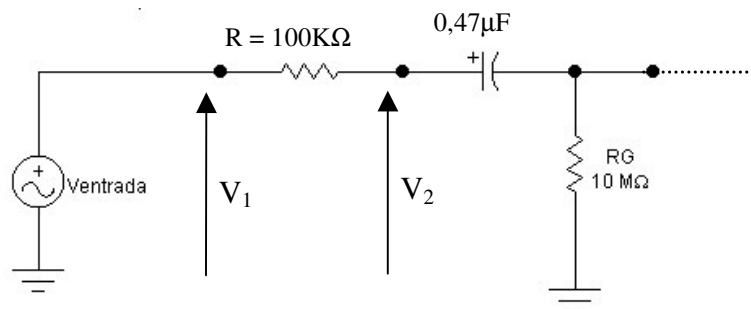


Figura 2 – Medida da impedância de entrada do amplificador.

- Com o auxílio do Ohmímetro medir o valor ôhmico (real) de R. $R = \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$
- Uma vez introduzida a resistência auxiliar $R = 100\text{k}\Omega$, aplicar na entrada (V_{entrada}) um nível de tensão de tal forma que não ocorra deformação do sinal de saída ($V_{\text{saída}}$), na faixa de frequências médias. Em seguida medir V_1 e V_2 (tensão de pico a pico) com o auxílio do osciloscópio.

$$V_1 = \underline{\hspace{2cm}} [\text{Vpp}]$$

$$V_2 = \underline{\hspace{2cm}} [\text{Vpp}]$$

- Logo, a impedância de entrada poderá ser calculada por:

$$Z_{\text{entrada}} = \frac{R \cdot V_2}{(V_1 - V_2)}$$

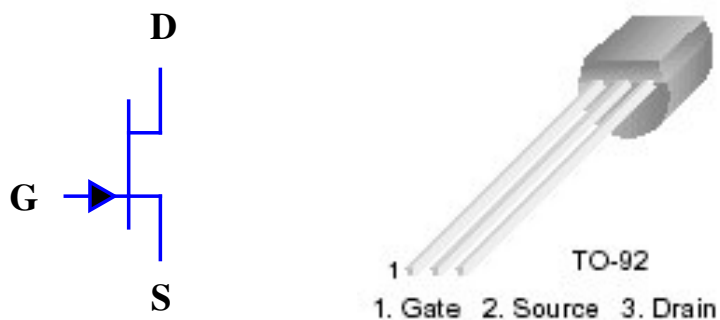
Portanto: $Z_{\text{entrada}} = \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$

2.6. Determine a impedância de saída, medindo a tensão de saída sem carga R_L e depois ligando uma caixa de resistências na saída e ajustando o um valor de resistência para o qual a tensão caia para metade do valor obtido sem carga, mantendo as mesmas condições de V_{entrada} anterior. Nestas condições $R_{\text{caixa}} = Z_{\text{saída}}$.

$$Z_{\text{saída}} = \text{_____} [\Omega]$$

Conclusões

PINAGEM DO TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO - BF 245B



LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 6:

“Fonte de Corrente”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	
5.	Conceito:

I. Lista de Material

- 01 fonte de alimentação
- 02 multímetros digitais com ponta de prova
- 01 protoboard
- 01 transistor BD140
- 01 diodo zener 4735AP - 6,2V x 1 W
- 02 resistores de $100\ \Omega$ x 5 W
- 01 caixa de resistências (década)
- 06 cabos banana-banana
- fios para ligação

II. Parte Prática

1. Montar o circuito apresentado na figura 1 e medir a polarização. Utilizando a década como sendo a carga R_L , ajustar o seu valor para $50\ \Omega$. Preencher os valores solicitados na tabela I.

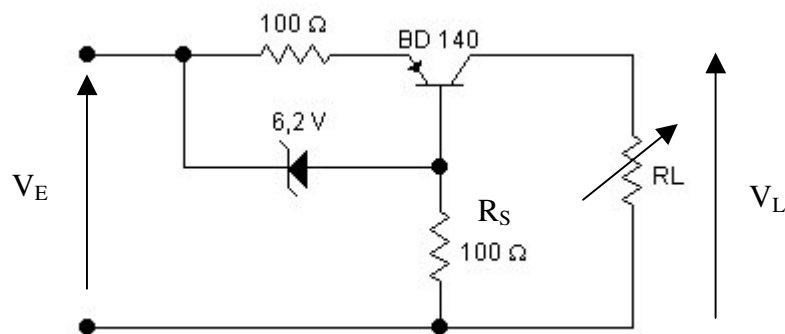


Figura 1 - Circuito da fonte de corrente.

Tabela I - Dados experimentais.

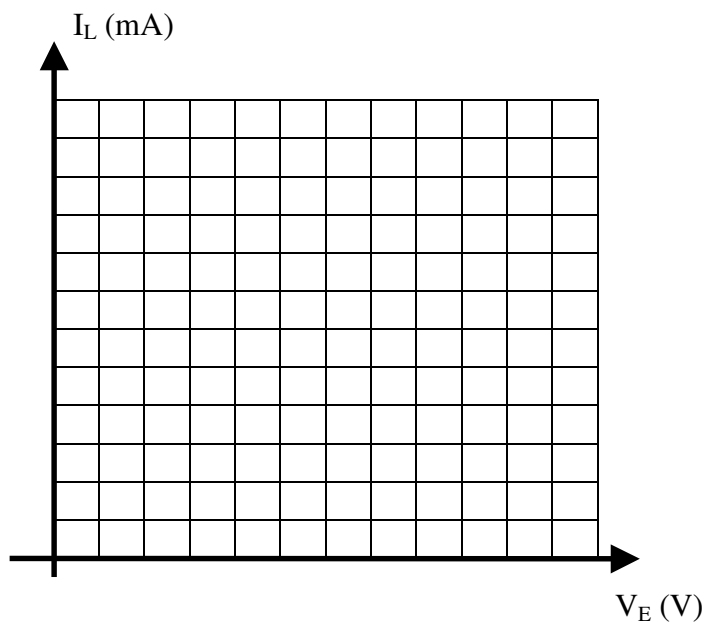
	V_e (V)	V_{RE} (V)	V_L (V)	V_Z (V)	V_{EC} (V)	V_{EB} (V)	V_{RS} (V)
Prático	10V						

2. **Determinação do coeficiente de regulação de entrada.** Variar a tensão de entrada V_e de 7 a 17V, preenchendo adequadamente a tabela II. (medir V_L com voltímetro e calcular I_L)

Tabela II - Valores experimentais para V_L e I_L .

V_E (V)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
V_L (V)											
I_L (mA)											

3. A partir dos dados obtidos na tabela, levantar a curva de I_L x V_e para a determinação experimental do *coeficiente de regulação de entrada* da fonte em estudo.



$$A = \left| \frac{\Delta I_L}{\Delta V_E} \right| : \text{coeficiente de regulação de entrada.}$$

$A =$

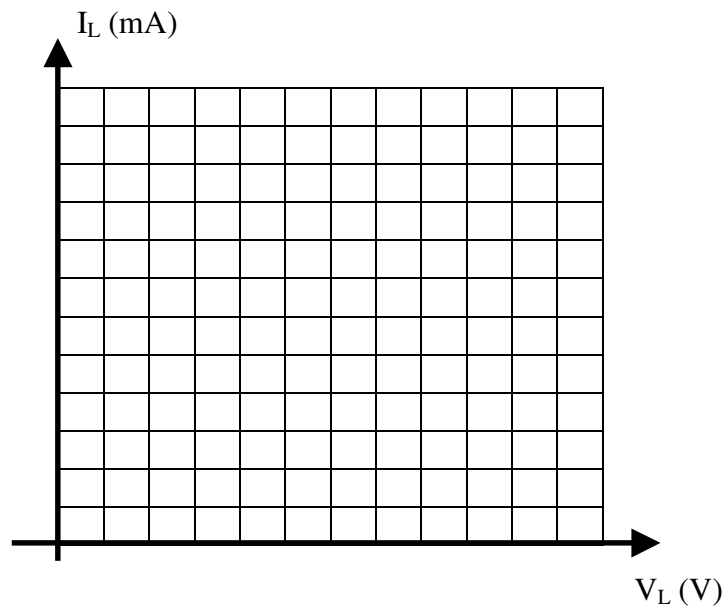
4. **Determinação do coeficiente de regulação de saída.** Ajustar a tensão de entrada V_e do circuito para 10 V e variar o valor de R_L (na década), preenchendo a tabela III adequadamente com os valores obtidos experimentalmente.(medir V_L com voltímetro e calcular I_L).

OBS.: com $R_L = 0\Omega$, medir V_{RE} e $I_L \cong I_E = V_{RE} / R_E$

Tabela III - Valores experimentais para V_L e I_L .

$R_L(\Omega)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$V_L(V)$											
$I_L(mA)$											

5. A partir dos dados experimentais da tabela, levantar a curva de $I_L \times V_L$ para a determinação experimental do *coeficiente de regulação de saída* da fonte em estudo.



$$B = \left| \frac{\Delta I_L}{\Delta V_L} \right| : \text{coeficiente de regulação de saída.}$$

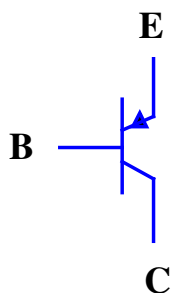
B =

Questão: O que você pode concluir dos resultados obtidos? Justifique as suas conclusões, discutindo amplamente cada resultado.

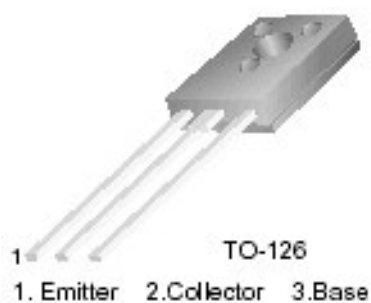
R. _____

PINAGEM DO TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNÇÃO – BD140

Simbologia



Pinagem



LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 7:

“Amplificador Diferencial”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

I. Lista de Material

- 01 módulo MCM5/EV com fonte de alimentação
- 01 gerador de funções com cabos
- 01 osciloscópio com 02 pontas de prova
- 01 multímetro digital
- 01 chave de fenda pequena
- fios para ligação

II. Parte Prática

1. Polarização CC

1.1 Montar o circuito de acordo com o apresentado na figura 1. Cuidado ao montar, especialmente verificando a conexão de cada um dos "jumpers".

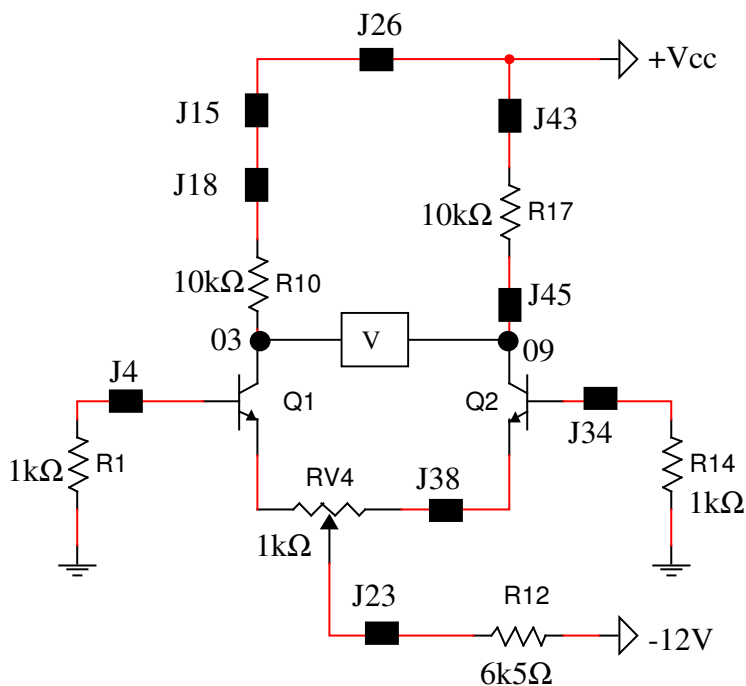


Figura 1 - Montagem CC para o amplificador diferencial

1.2 Ajustar V_{cc} para 12V. Em seguida, com o auxílio do voltímetro medir a tensão entre os coletores $V_{3,9}$ dos transistores Q1 e Q2.

$$V_{3,9} = \text{_____ V}$$

1.3 Qual seria o valor teórico esperado para esta medida? Justifique a sua resposta, comparando com o valor obtido experimentalmente.

R.:

1.4 Em seguida, ajuste o potenciômetro RV4 com o auxílio da chave de fenda, até anular o valor de $V_{3,9}$. Explique através da teoria o significado deste procedimento.

R.:

2 Ganho Diferencial

2.1 Montar o circuito mostrado na figura 2.

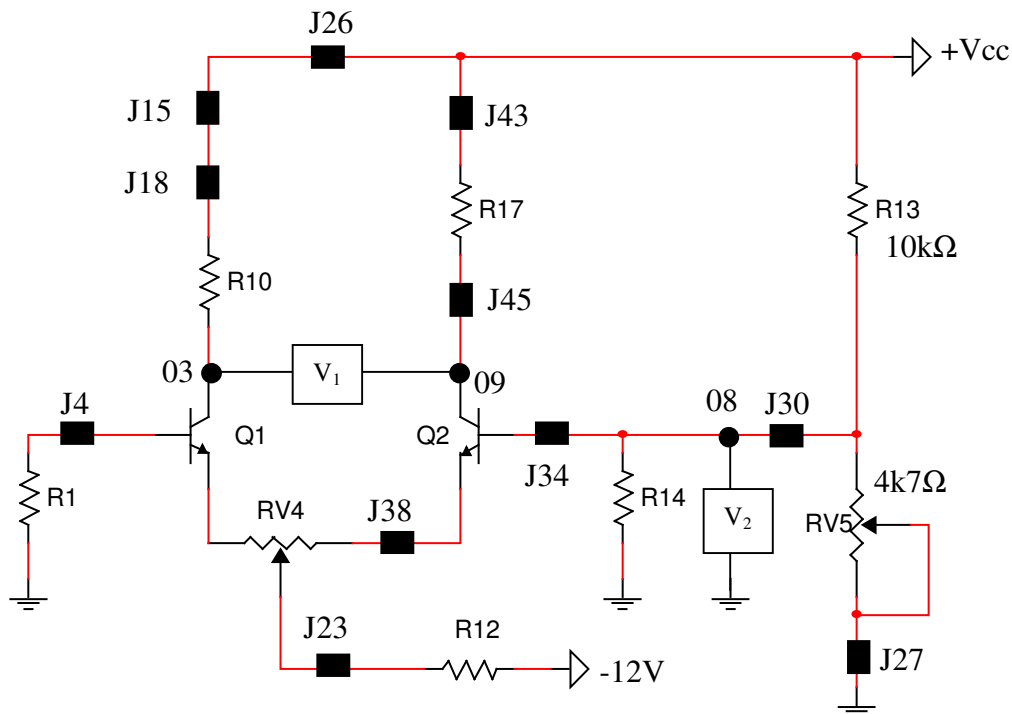


Figura 2 - Montagem do amplificador diferencial na configuração terminação simples

2.2 Ajustar $V_{cc} = 12V$ e regular o potenciômetro RV5 até obter uma tensão de 0V entre a base e o terra do transistor Q2 (V_2). Em seguida, ajuste o potenciômetro RV4 até anular o valor de V_1 .

2.3 Uma vez zerada as tensões V_1 e V_2 , ajuste o valor da tensão aplicada na base de Q2 V_2 de acordo com o mostrado na tabela I. Preencher a tabela mostrada abaixo para os diversos para V_2 , calculando o ganho diferencial de tensão A_d obtido para cada caso.

Tabela I - Determinação do ganho experimental de tensão A_d .

V_2 (mV)	V_1 (V)	A_d (V/V)
100		
200		
400		

3 Ganho em Modo Comum

3.1 No circuito anterior conectar o jumper J32, com o intuito de montar a configuração modo comum, conforme ilustra a figura 3.

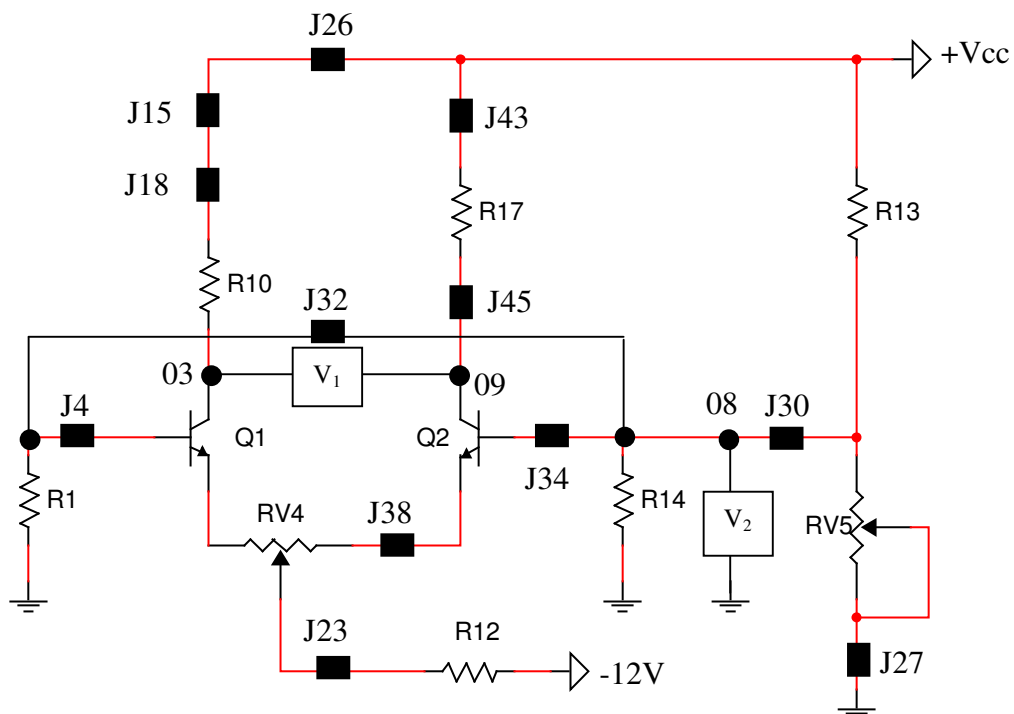


Figura 3 - Montagem do amplificador diferencial na configuração terminação modo comum.

3.2 Ajustar o potenciômetro RV5 até obter uma tensão de entrada V_2 para os transistores Q1 e Q2 sendo igual a zero 0V.

3.3 Ajustar agora o RV4 para garantir o equilíbrio de Q1 e Q2, isto é, $V_1 = 0V$.

3.4 Uma vez zerada as tensões V_1 e V_2 , ajuste o valor das tensões aplicadas nas bases de Q1 e Q2 V_2 de acordo com o mostrado na tabela II. Preencher a tabela mostrada abaixo para os diversos para V_2 , calculando o ganho modo comum A_c obtido para cada caso.

Tabela II - Determinação do ganho modo comum A_c .

V_2 (mV)	V_1 (mV)	A_c (V/V)
100		
200		
400		

3.5 O ganho A_c é igual ao A_d ? Justifique a sua resposta de acordo com a teoria desenvolvida em sala de aula.

R.: _____

3.6 De posse dos valores obtidos até aqui, calcule o valor da rejeição em modo comum $CMRR = A_d / A_c$, com $V_2 = 200mV$. O resultado está dentro do esperado? Justifique a sua resposta de acordo com o discutida na aula teórica.

$$CMRR = A_d / A_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

R.: _____

4 Amplificador de pequenos sinais

4.1 Montar o circuito indicado na figura 4, alimentando o circuito com $V_{cc} = 12V$.

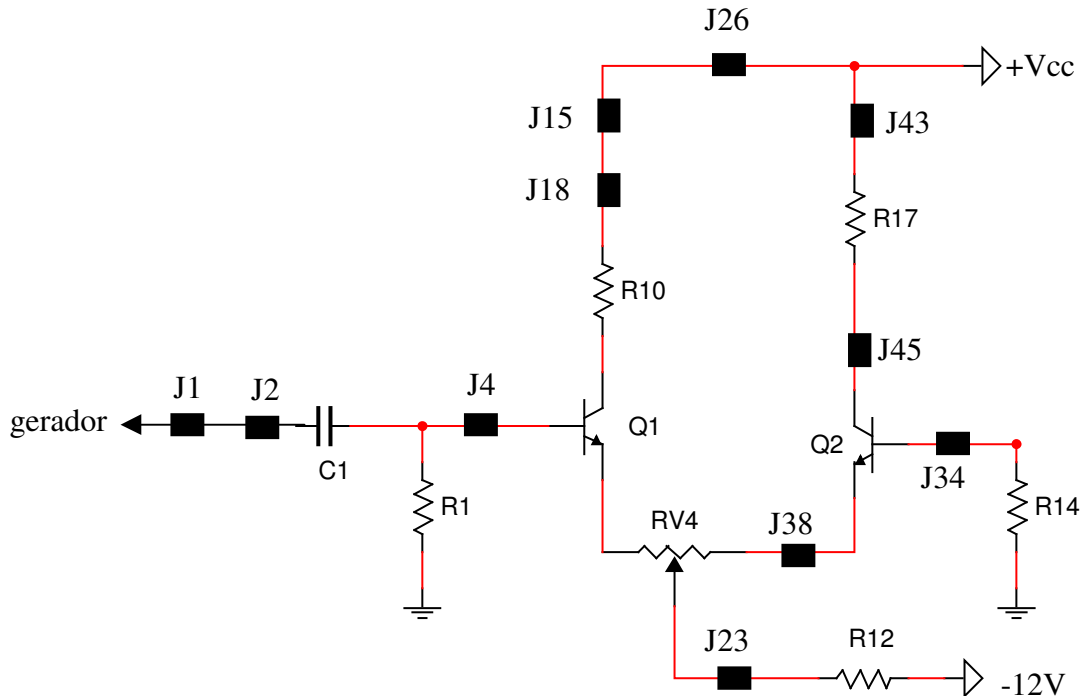
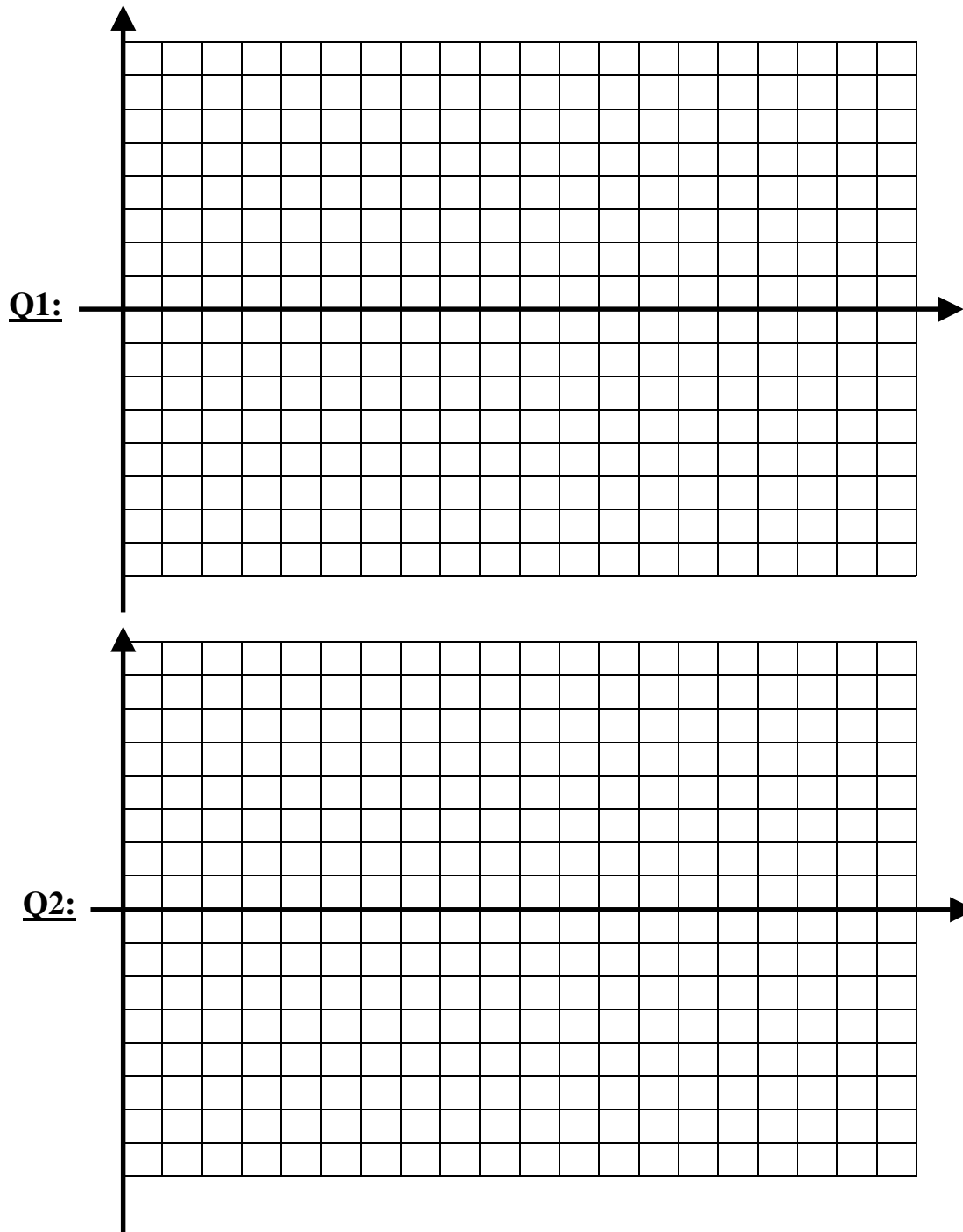


Figura 4 - Montagem de um amplificador para pequenos sinais.

4.2 Desconectar o gerador e ajustar o potenciômetro RV4 para equilibrar o circuito com $V_1 = 0V$.

4.3 Em seguida, reconectar o gerador de funções com uma tensão senoidal de $1V_{pp}$ com uma frequência de $1kHz$.

4.4 Conectar o osciloscópio sendo o canal 1 destinado à medida do sinal de entrada (senoidal) e o canal 2, conectado ao coletor do transistor Q1. Desenhar os sinais sincronizados no tempo, indicando os seus pontos notáveis (vide gráfico na página seguinte). Em seguida, meça os mesmos sinais só que agora para o Q2.



Conclusões:

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 8:

“Amplificador Operacional: configurações inversora e não inversora”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

I. Lista de Material

- 01 osciloscópio digital 02 pontas de prova.
- 01 fonte com seus respectivos cabos.
- 01 Placa Didática “Amplificadores Operacionais” contendo o LM 741.
- 01 gerador de funções com seus respectivos cabos.
- 01 Multímetro Digital com pontas de prova.
- 02 resistores de $10\text{k}\Omega$.
- 01 resistor $100\text{k}\Omega$.
- fios e cabos para as ligações.

II. Parte Prática

OBS: Utilizar o osciloscópio sempre com os dois canais direcionados para leituras em “cc”.

1. Verificação e ajuste do off-set

1.1. Montar o circuito da figura 1, alimentando o circuito com a fonte simétrica com tensão de alimentação igual a 20V. Adotar $R1 = R2 = 10\text{k}\Omega$.

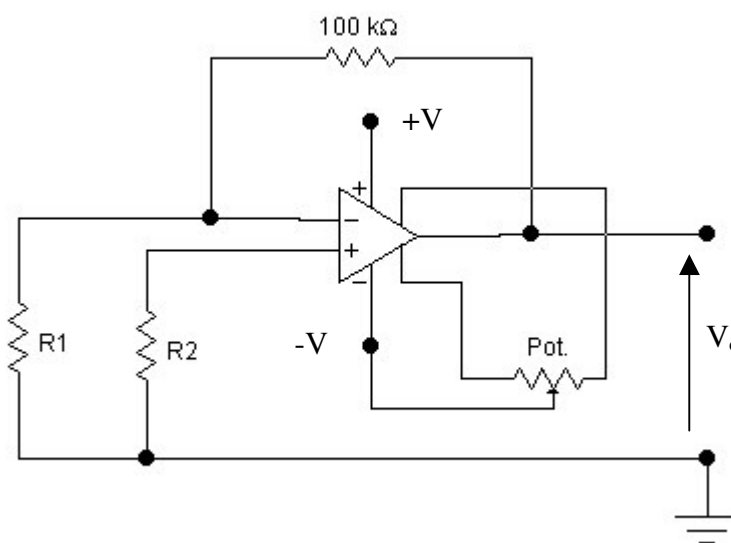


Figura 1 – Circuito para a verificação do offset.

1.2. Medir V_o com voltímetro “cc” em função da posição do potenciômetro de ajuste. Preencher a tabela I com os resultados obtidos.

Tabela I - Verificação do offset

<i>Posição do Potenciômetro</i>	V_o [V]
“esquerda”	
“centro”	
“direita”	

Questão 1: Os valores de V_o foram os esperados? Justifique a sua resposta.

R: _____

1.3. Em seguida, ajustar o potenciômetro para a saída ser nula ($V_o = 0V$), medida com o voltímetro “cc”. Uma vez ajustado o off-set, não tocar mais no potenciômetro!!!!

2. Estudo da entrada inversora

2.1. Montar o circuito mostrado na figura 2.

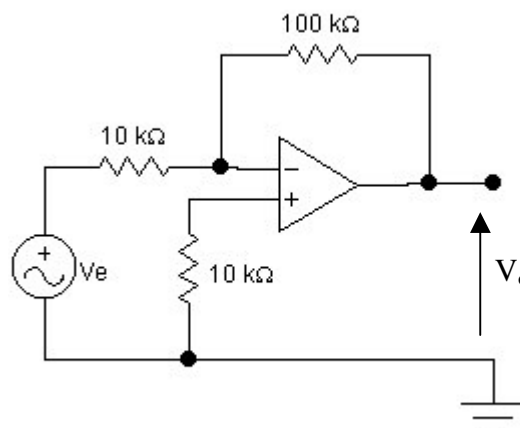


Figura 2 – Estudo da entrada inversora.

2.2. Aplicar um sinal senoidal de frequência $f = 1 \text{ kHz}$ (não se esquecendo de ajustar o offset do gerador!!), na entrada inversora e medir V_o (sem deformação) e V_e simultaneamente, com o auxílio do osciloscópio, para duas condições de alimentação: $V_{CC} = 10V$ e $V_{CC} = 24V$. Para cada caso pede-se:

- Calcular o ganho V_o/V_e
- Observar a defasagem entre os sinais
- Observar V_o de saturação: $V_{o,sat}$

Obs.: Para cada caso, verificar a simetria nos dois semiciclos de V_e (ajustar o “off-set do gerador” se necessário!!!). Na tabela $V_{DC} = V_{CC} / 2$!!

Tabela II - Estudo da configuração inversora.

	“abaixo da saturação”				“no limiar da saturação”	
	V_e [Vpp]	V_o [Vpp]	$A_v = V_o / V_e$	A_v (teor.)	V_{omax} [Vp]	$\%sat = V_{omax} / V_{DC}$
$V_{CC} = 10V$						
$V_{CC} = 24V$						

Questão 2: Os valores de ganho e V_{omax} sem deformação foram os esperados? Discutir e justificar a sua resposta, comparando com valores teóricos.

R: _____

3. Estudo da entrada não-inversora

3.1. Idem ao item 2.1, mas agora para o circuito da figura 3.

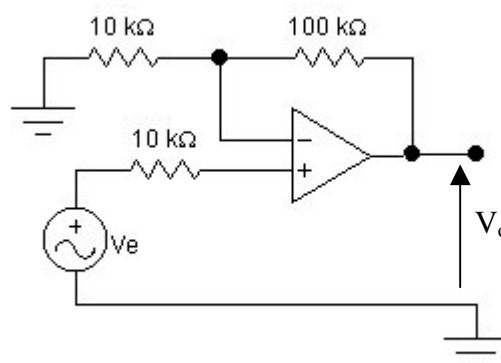


Figura 3 – Estudo da entrada não-inversora.

Tabela III - Estudo da configuração não-inversora.

	“abaixo da saturação”				“no limiar da saturação”	
	V_e [Vpp]	V_o [Vpp]	$A_v = V_o / V_e$	A_v (teor.)	V_{omax} [Vp]	$\%sat = V_{omax} / V_{DC}$
$V_{CC} = 10V$						
$V_{CC} = 24V$						

Questão 3: Os valores de ganho e V_{omax} sem deformação foram os esperados? Discutir e justificar a sua resposta, comparando com valores teóricos.

R:

4. O circuito de Ganho Unitário

4.1. Montar o circuito da figura 4, com $V_{CC} = 20V$.

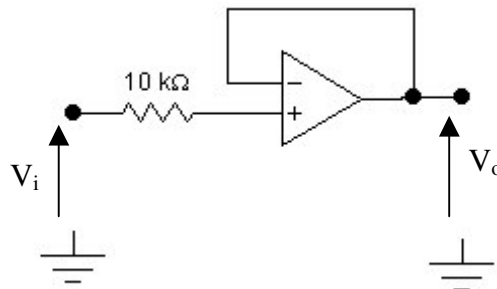
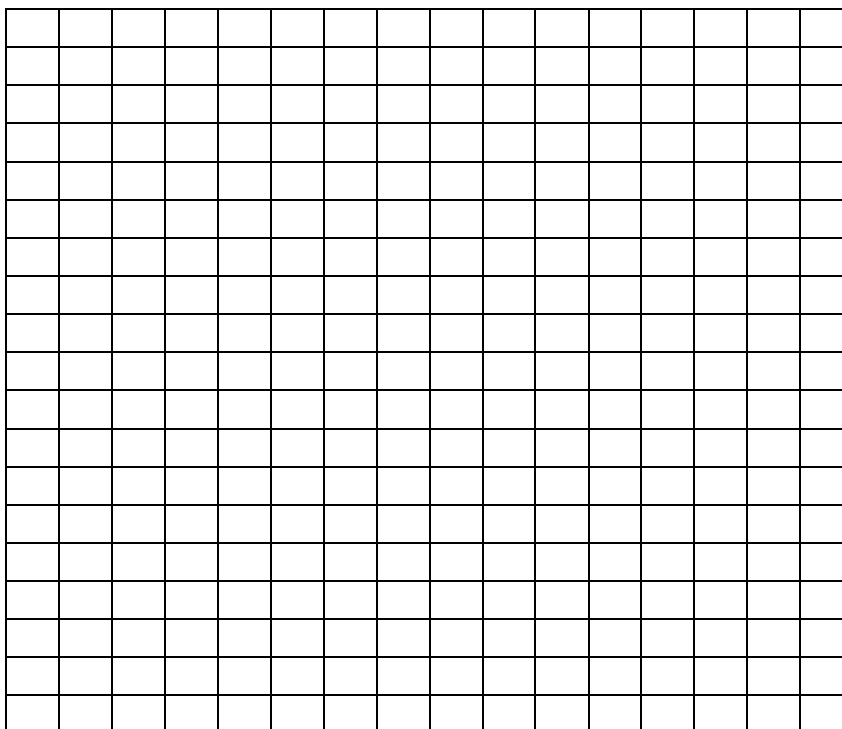


Figura 4 – Amplificador de ganho unitário.

4.2. Medir com o osciloscópio as formas de onda de entrada e saída sincronizadas no tempo, desenhando as formas de onda no campo abaixo. Usar para o sinal de entrada 5Vpp, senoidal e com frequência igual a 1kHz.

Gráficos:



4.3 Calcular teoricamente o ganho da configuração mostrada na figura 4. Em seguida, compare com o valor obtido experimentalmente.

A_v (teórico) = _____ V/V

A_v (experimental) = _____ V/V

Conclusões:

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 09:

“Amplificador Operacional: circuitos integrador e diferenciador”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

I. Lista de Material

- 01 osciloscópio digital 02 pontas de prova.
- 01 fonte com seus respectivos cabos.
- 01 Placa Didática “Amplificadores Operacionais” contendo o LM 741.
- 01 gerador de funções com seus respectivos cabos.
- 01 multímetro digital com pontas de prova.
- 02 resistores de $10\text{k}\Omega$.
- 01 resistor $1\text{k}\Omega$ e $1\text{M}\Omega$.
- 01 capacitor de $0,01\mu\text{F}$.
- fios e cabos para as ligações.

II. Parte Prática:

OBS: 1. Utilizar o osciloscópio sempre com os dois canais na escala “cc”.

2. Ajustar os offsets do amplificador operacional para cada uma das montagens bem como do gerador de funções para cada forma de onda desejada.

3. Utilizar em todo o experimento $V_{CC} = +20\text{V}$

1. Circuito Amplificador Integrador Inversor

1.1. Montar o circuito da figura 1. Medir os sinais de entrada e saída sincronizados no tempo (“cc”), desenhando-os sincronizados no tempo com seus respectivos pontos notáveis e valores médios.

Obs.: a. Os sinais de entrada deverão ser senoidal e quadrado (um por vez), com $f = 1\text{kHz}$ e $0,5\text{Vpp}$ de amplitude.

b. A resistência de $1\text{M}\Omega$ serve para by-pass de corrente contínua.

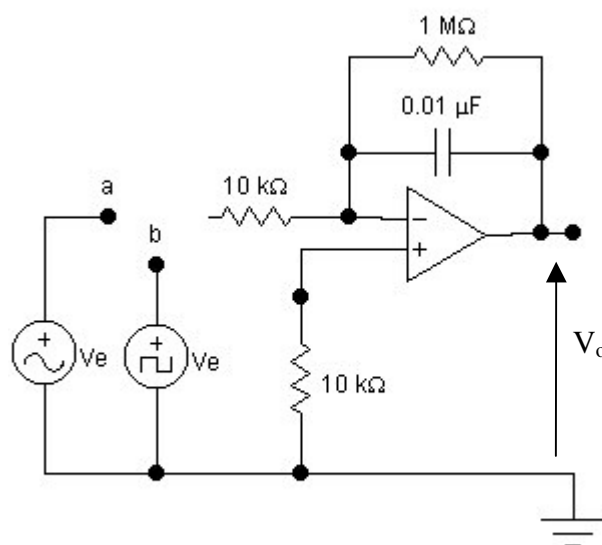
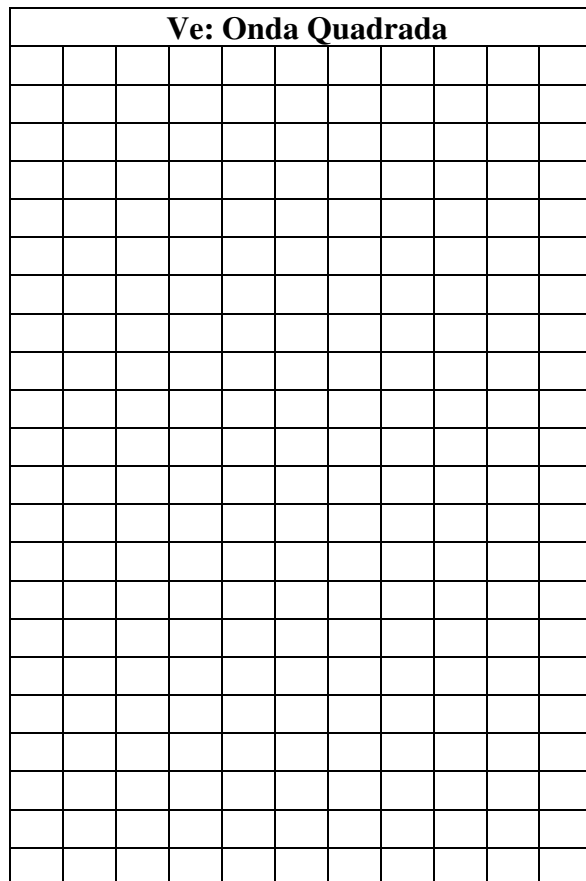
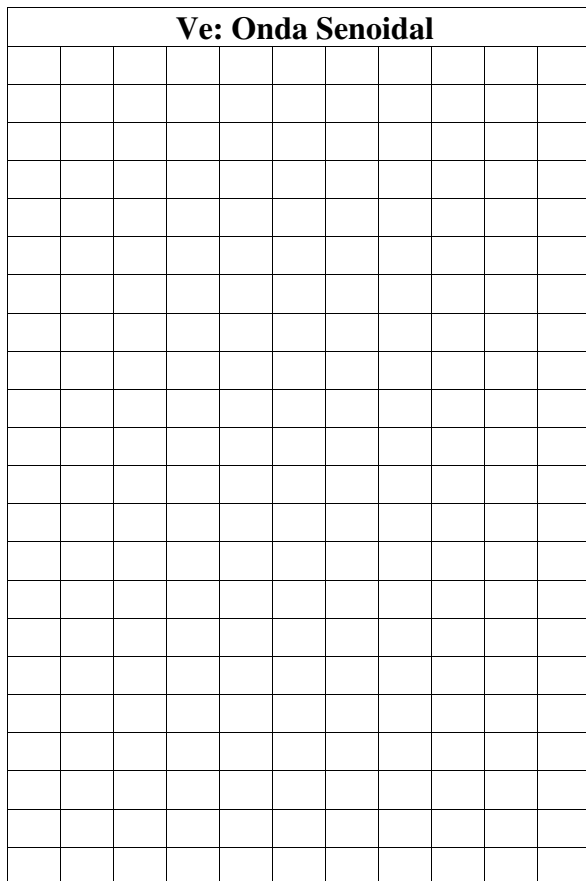


Figura 1– Amplificador integrador inversor.

Gráficos para a configuração do integrador



Questão 1: Para ambos sinais de entrada o sinal de saída Vo foi o esperado? Justificar adequadamente as suas respostas.

R: _____

2. Circuito Amplificador Diferenciador Inversor

2.1. Montar o circuito da figura 2. Medir os sinais de entrada e saída sincronizados no tempo (“cc”), desenhando-os sincronizados no tempo com seus respectivos pontos notáveis e valores médios.

Obs.: Os sinais de entrada deverão ser senoidal e quadrado, com $f = 1\text{kHz}$ e $0,5V_{pp}$ de amplitude.

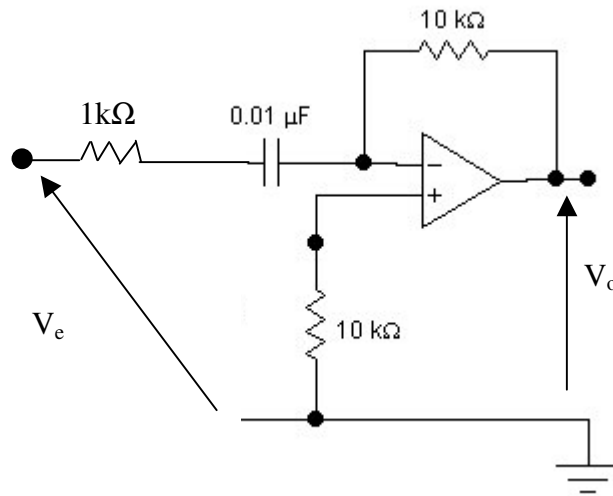


Figura 2 – Amplificador diferenciador inversor.

Gráficos referentes ao circuito diferenciador inversor

Ve: Onda Senoidal													

Ve: Onda Quadrada													

Questão 2: Para ambos sinais de entrada o sinal de saída V_o foi o esperado? Justificar adequadamente as suas respostas.

R: _____

Conclusões

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 10:

“Amplificador Operacional: circuito somador”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

I. Lista de Material

- 01 osciloscópio digital 02 pontas de prova.
- 01 fonte simétrica
- 01 Placa Didática “Amplificadores Operacionais” contendo o LM 741.
- 01 gerador de funções com seus respectivos cabos.
- 01 multímetro digital com pontas de prova.
- 03 resistores de $10\text{k}\Omega$.
- 01 resistor $100\text{k}\Omega$.
- fios e cabos para as ligações.

II. Parte Prática

OBS: 1. Utilizar o osciloscópio sempre com os dois canais na escala “cc”.

2. Ajustar os offsets do amplificador operacional para cada uma das montagens bem como do gerador de funções para cada forma de onda desejada.

1. Montar o circuito da figura 1, onde V1 deverá ser um sinal senoidal cujo $f = 1\text{kHz}$ e amplitude igual a $0,5\text{Vpp}$. A tensão V2 deverá assumir o valor de $0,5\text{V}$ “cc”. Alimentar o circuito com $V_{cc} = +24\text{V}$.

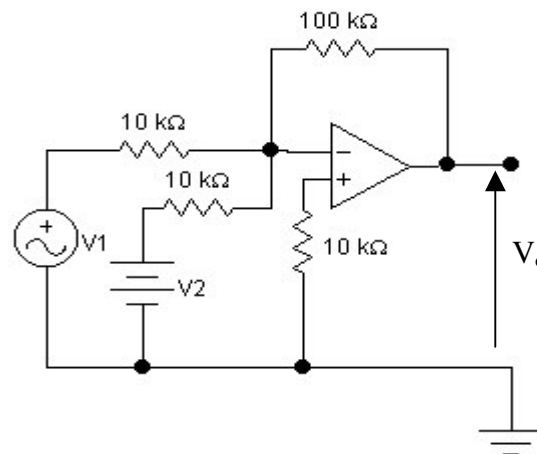
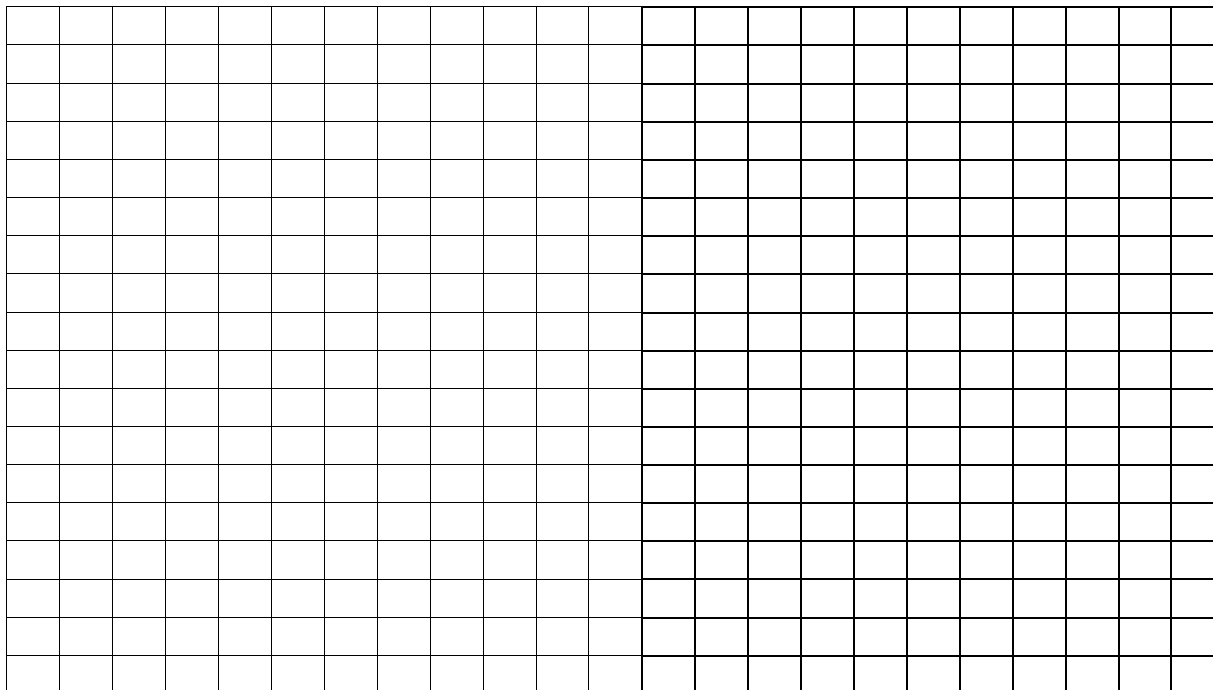


Figura 1 – Amplificador Somador Inversor.

2. Medir os sinais de entrada V_1 e saída V_o com o auxílio do osciloscópio (“cc”), desenhando-as sincronizadas no tempo e com seus respectivos pontos notáveis e **valores médios**.

Gráficos:



3. Calcule teoricamente a expressão gerada pelo circuito montado em laboratório.

$V_o =$ _____

Questão 1: O sinal V_o é o esperado? Discutir os resultados obtidos comparando com o ganho teórico.

R: _____

4. Em seguida, varie progressivamente o valor da fonte V2 entre 0 e 2 V, mantendo V1 constante. Descreva o observado, justificando os resultados obtidos. Dica: observe atentamente o sinal de saída com o auxílio do osciloscópio.

R: _____

Conclusões

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA 2

EXPERIÊNCIA 11:

“Amplificador Operacional: resposta em frequência”

Identificação dos alunos:	Data:
1.	Turma:
2.	
3.	Professor:
4.	Conceito:
5.	

I. Lista de Material

- 01 osciloscópio digital 02 pontas de prova.
- 01 fonte variável com seus respectivos cabos.
- 01 Placa Didática “Amplificadores Operacionais” contendo o LM 741.
- 01 gerador de funções com seus respectivos cabos.
- 01 multímetro digital com pontas de prova.
- 02 resistores de $10\text{k}\Omega$.
- 01 resistor $47\text{k}\Omega$ e $100\text{k}\Omega$.
- fios e cabos para as ligações.

II. Parte Prática

OBS: 1. Utilizar o osciloscópio sempre com os dois canais na escala “cc”.

2. Ajustar os offsets do amplificador operacional para cada uma das montagens bem como do gerador de funções para cada forma de onda desejada.

1. Resposta em frequência

1.1. Montar o circuito da figura 1, com $V_{CC} = 20\text{V}$.

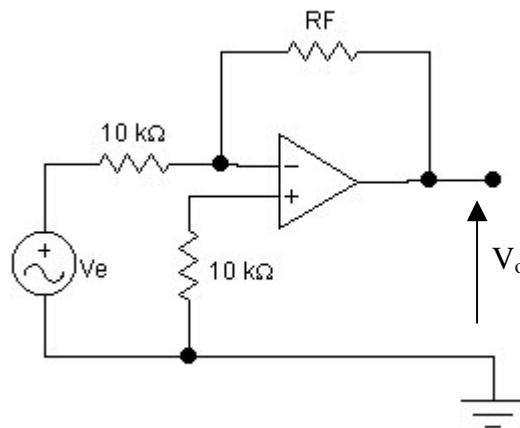


Figura 1 – Estudo da resposta em frequência do Amplificador Operacional.

1.2. Medir a frequência de corte f_c (superior) do amplificador operacional para dois valores de ganho: $R_F = 47\text{k}\Omega$ e $100\text{k}\Omega$.

• Procedimento:

- Inicialmente ajustar o off-set para cada montagem.
- Aplicar V_e de tal forma que V_o esteja longe da saturação (frequências médias: por exemplo $f = 1\text{KHz}$). **Sugestão: $V_o = 10\% \cdot V_{o,max}$!!!**
- Variar a frequência f até que o valor da tensão de saída V_o atinja 70% do valor em frequências médias ($f = f_b$).

Tabela I - Dados experimentais.

RF [Ω]	A = Vo / Ve (f=1kHz)	fb [Hz]
47k		
100k		

2. Slew-rate

2.1. Montar o circuito da figura 2, com VCC = 20V.

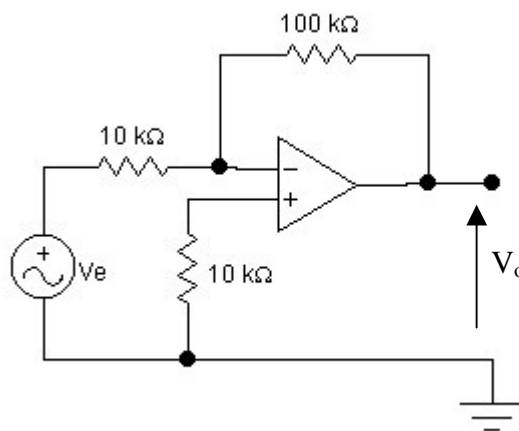
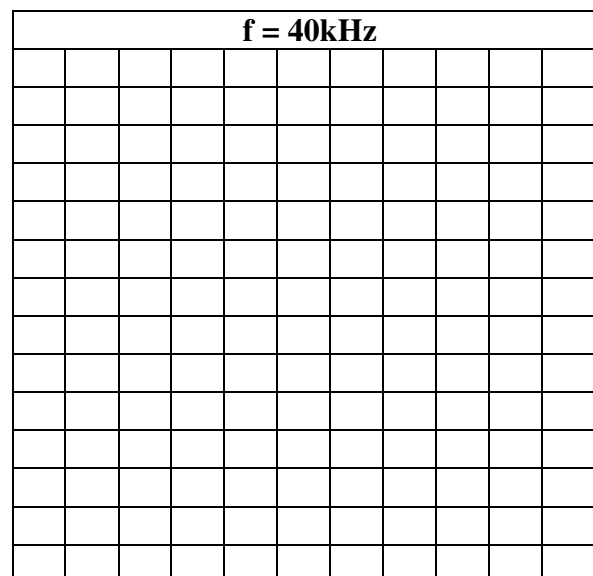
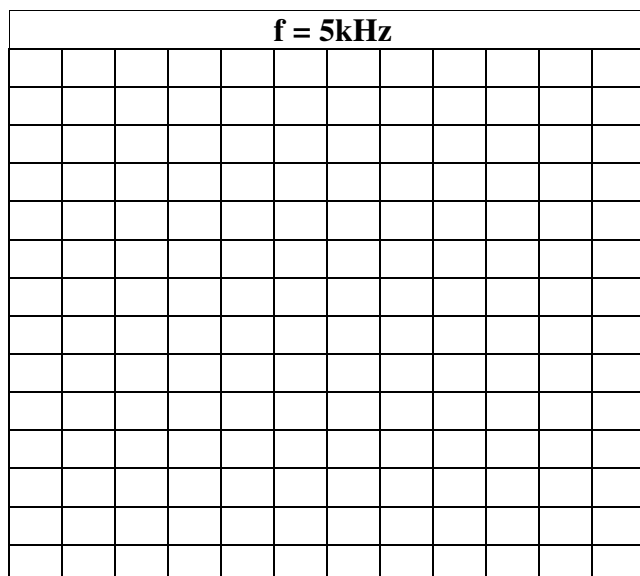


Figura 2 – Estudo do slew-rate do operacional.

2.2. Ajustar o nível de Ve (f=1 kHz) para se ter Vo ≈ Vosat e medir Vo (desenhar as formas de onda sincronizadas no tempo, indicando os seus pontos notáveis) para as seguintes frequências: 5kHz e 40kHz.

Gráficos:



Questão 2: Se slew-rate é $SR = 2\pi \cdot f_{max} \cdot V_{omax}$ [V/ μ s] (para o 741 é 0,5 V/ μ s), que conclusão você tira da observação das formas de onda? Discutir.

R: _____

Conclusões

