

PARTE B PRÁTICA

Arguição: _____

Relatório: _____

- **Exercícios:** podem ser feitos durante a aula, mas recomenda-se que sejam feitos COM ANTECEDÊNCIA.
- **Anotações:** devem ser feitas DURANTE A AULA.
- □ : passos das atividades – para não se perder, MARQUE-AS depois que completá-las

Nome: _____ n. USP: _____ Turma: _____

Colega de equipe (Nome / n. USP): _____

Bancada: _____ Data: _____ Hora de início: _____

- ☐ Ligue o computador e os DOIS MONITORES.
- ☐ A unidade de disco **S:** permite acessar arquivos do servidor \\ts02-00. Copie do servidor a pasta abaixo e o seu conteúdo. Por favor, ajude-nos a manter o computador organizado: coloque os arquivos no lugar correto.
 Pasta: **S:\PMR3333\Exp2**
 Destino: **D:\Public\PMR3333\Turma T**, onde *T* é o número da turma (1, 2, 3, 4 ou 5)
 SOBREESCREVA caso já existam
- ☐ Para fazer a experiência, abra e siga com atenção o arquivo **3333_E2_Roteiro.pdf** contido na pasta copiada

Atividade 1 Ganho de corrente

Vamos usar o circuito emissor comum mostrado abaixo para medir o ganho de corrente do transistor em condições de tensões e correntes da mesma ordem de grandeza dos experimentos que faremos. Para comparar com o *datasheet* do transistor, usaremos aproximadamente uma das condições de teste prevista nele: **I_C aproximadamente 10 mA e V_{CE} aproximadamente 10 V.**

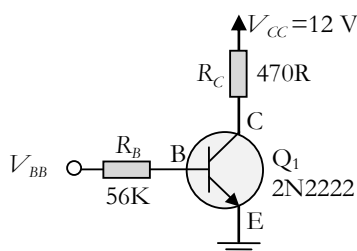


Figura 2.18 Circuito para medida do ganho de corrente

Exercício 1 No circuito da Figura 2.18, assuma que o transistor Q_1 tenha $h_{FE} = 150$, $V_{CEsat} = 0,2$ V e $V_{BEsat} = 0,6$ V. Determine a corrente I_C e tensão V_{BB} para se ter $V_{CE} = 8$ V com o transistor operando na região linear.

I_C : _____ V_{BB} : _____

Exercício 2 Encontre no *datasheet* do transistor 2N2222 os parâmetros a seguir na condição de teste mais próxima aos valores nominais de I_C e V_{CE} adotados nesta atividade. Transcreva o valor mínimo (mín.), típico (Típ.) e máximo (Máx.) deles, as unidades, e as condições em que são válidos. Nos casos em que forem fornecidos apenas o mínimo e o máximo, anote o valor médio como típico. NOTA: o valor máximo de h_{FE} que é dado no *datasheet* é válido em todas as condições de teste.

	mín	Típ.	Máx	Unid.	Condições
V_{CE} de saturação (V_{CEsat})					
V_{BE} de saturação (V_{BEsat})					
Ganho de corrente (β , h_{FE})					

- ☐ Configure a fonte de tensão para fornecer duas tensões positivas: uma para V_{BB} e outra para V_{CC} . Interligue os bornes negativos das duas saídas ajustáveis da fonte de alimentação. O negativo comum também será a referência de tensão (terra) do circuito.
- ☐ Ajuste as saídas da fonte ANTES de conectá-las ao circuito: $V_{BB} = 0\text{ V}$ e $V_{CC} = 12\text{ V}$. Desligue a fonte.
- ☐ Conecte a fonte aos bornes da placa com cabos banana-banana DE CORES DIFERENTES: **preto** para 0 V , **vermelho** para V_{CC} uma **outra cor** para V_{BB} .

Anotação 1a Meça os resistores com o multímetro ANTES DE MONTAR o circuito e anote os valores medidos.

R_B : _____ R_C : _____

- ☐ Monte o circuito no *protoboard*. **SIGA** a sugestão de montagem no **Roteiro** da experiência.
- ☐ Faça-o operar em condição próxima da nominal desejada:
Ligue a fonte e observe a tensão V_{CE} do transistor com o multímetro. Deve começar próximo a 12 V . Aumente V_{BB} aos poucos até que V_{CE} caia para o primeiro valor indicado na Anotação 1b. Nesse ponto, meça a tensão V_{BE} do transistor e as tensões V_{RC} e V_{RB} sobre os resistores R_C e R_B .
- ☐ Repita para os demais valores da tabela. CUIDADO: **não deixe V_{BB} ultrapassar 12 V !**

Anotação 1b Na tabela a seguir, anote as tensões medidas. Com V_{RC} e o valor medido R_C , calcule a corrente I_C (V_{RC}/R_C , é claro). Repita com V_{RB} e R_B para calcular a corrente I_B . Calcule o ganho de corrente $\beta = I_C/I_B$. CUIDADO: **não deixe V_{BB} ultrapassar 12 V !**

V_{CE} (V)	V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	V_{RC} (V)	V_{RB} (V)	I_C (mA)	I_B (mA)	β (A/A)
10,0							
8,0							
4,0							

- ☐ Comunique o menor e o maior ganho encontrados ao professor para serem tabulados na lousa.

Anotação 1c Compare os valores do ponto quiescente (I_{CQ} , V_{CEQ}) e do ganho β previstos no pré-relatório e compare com os valores medidos para $V_{CE} = 8\text{ V}$. **COMENTE.**

Anotação 1d Dentre os **ganhos máximos** medidos pelas equipes, anote o menor β : _____ e o maior β : _____
RESPONDA: por que o circuito emissor comum não é indicado para polarizar o transistor na região linear?

Anotação 1b Anote a hora: _____. Discuta suas conclusões com o professor.

Atividade 2 Corte e saturação

Vamos montar o circuito acionador de led mostrado na Figura 2.3. Usaremos um led vermelho e $R_1 = 470\ \Omega$.

Troque também o resistor de base: use $R_2 = 4,7\text{ k}\Omega$. O circuito deve ser alimentado com $V_{CC} = 12\text{ V}$ e acender o led com I_C próximo a 20 mA (isto é apenas um valor nominal). O transistor Q_1 será o 2N2222.

Exercício 3 Faça o diagrama do circuito de acionamento do led descrito na Atividade 2. Siga o exemplo da Figura 2.18: indique os componente e seus valores nominais ou códigos comerciais (p.ex. “ $R_1\ 470R$ ”, “ $Q_1\ 2N2222$ ”, etc.) e os valores das tensões de alimentação. Anote também o código de cores dos resistores.

- a) V_B : _____ V_E : _____ b) I_E : _____ I_C : _____
 c) V_{CE} : _____ d) I_B : _____ (I_B/I_1 : _____)

- ☐ Desmonte o circuito anterior (mantenha apenas as conexões de alimentação). Separe os componentes que faltam para montar o circuito de polarização de emissor.

Anotação 3a ANTES de montar o circuito, meça os resistores R_1 : _____ R_2 : _____ R_E : _____

- ☐ Desta vez, monte o transistor Q sobre a fenda. **SIGA** a sugestão de montagem no **Roteiro** da experiência.
☐ Alimente V_{CC} com uma fonte ajustável - a outra não será usada e deve ficar desconectada.
☐ Meça com o multímetro as tensões V_B e V_E (com relação a 0 V!) e a tensão V_{CE} (entre C e E!) do transistor.
☐ Meça a tensão coletor-emissor V_{RC} sobre o resistor R_C .

Anotação 3b Anote as tensões: V_B : _____ V_E : _____ V_{CE} : _____
COMPARE com as previstas no pré-relatório e **COMENTE**.

Anotação 3c Anote a tensão: V_{RC} : _____. Com a resistência medida R_C calcule as correntes I_C . Com a tensão V_E e o resistor R_E medidos, calcule I_E (note que I_C e I_E devem ser próximos).

Anotação 3d Anote a hora: _____. **MOSTRE** o circuito funcionando e suas conclusões para o professor.

Atividade 4 Ajuste do osciloscópio e do gerador de funções

- ☐ Verifique a calibração das pontas de prova do osciloscópio (procedimento visto na experiência 1)..
 Conecte as pontas dos dois canais ao terminal “Probe Comp” e a garra de referência ao terminal GND.
 Aperte o botão “Auto Set” e analise as bordas dos sinais. Chame o professor caso estejam muito distorcidas.

Ajuste inicial do osciloscópio

- ☐ **Ativação e seleção de canais:** botão “1” e botão “2”.
- ☐ **Atenuação 10x para as duas pontas:** selecione o canal; o menu “Probe” deve mostrar “10X Voltage” – caso contrário, selecione o menu “Probe” e em seguida o menu “Attenuation” até ajustar em “10X”.
- ☐ **Acoplamento DC nos dois canais:** selecione o canal e ajuste o menu “Coupling” para “DC”.
- ☐ **Limite de banda nos dois canais:** selecione o canal e ajuste o menu “BW Limit” para “On 20MHz”.
- ☐ **Configurações de Trigger:** aperte o botão “Trig Menu” e faça os seguintes ajustes
- **Source:** CH1 – compara o sinal no canal 1 com o nível ajustado de trigger para gerar os disparos
 - **Type:** Edge – faz com que o instante de trigger seja uma das bordas do sinal Source
 - **Slope:** Rising – gera os disparos nas bordas de subida do sinal Source
 - **Mode:** Auto – gera disparos automaticamente caso o sinal Source não atinja o nível de trigger.
 - **Coupling:** DC – mantém o nível DC do sinal Source ao compará-lo com o nível ajustado de trigger.

Ajuste inicial do gerador de funções: onda **senoidal**; frequência de **10 kHz**; amplitude $A_{IN} = 0,4 \text{ V}$ pico a pico e nível DC nulo (ou mínimo **-0,2 V** e máximo **+0,2 V**).

O mostrador do gerador mostra apenas a frequência – para ajustar a amplitude, é necessário observar o sinal gerado no osciloscópio!

- ☐ Com o gerador ainda desligado, conecte o cabo BNC/pinças à saída “50 Ω ” do gerador de sinais. Conecte: pinça positiva (vermelha) do cabo à ponta do canal 1; pinça negativa (preta) à garra de terra da ponta de prova.
- ☐ Selecione a **onda senoidal** no painel do gerador (pressione o botão “Function” correspondente).
- ☐ Ajuste a frequência para 10 kHz (selecione a escala correspondente e ajuste girando o botão “Frequency”).
- ☐ O botão “-20 dB” de estar **apertado** para atenuar a saída (a amplitude desejada é menor que 1 V)
- ☐ Botões “WIDTH” e “SYM.”: apertados (para ficarem desativados).
- ☐ Botões “DC OFFSET”: apertado (para que a saída tenha nível DC nulo).

Ligue o gerador. Verifique o sinal no **canal 1** do osciloscópio. Como não usaremos a ponta do canal 2, prenda-o no terminal de terra do painel do osciloscópio e desative-o.

- ☐ Centralize o sinal e ajuste aproximadamente a amplitude pico a pico para 0,4 V (botão “AMPL.” do gerador).
- ☐ Se este sinal não aparecer estático na tela, ajuste o nível de *trigger* (o botão “Set to 50%” ajuda).
- ☐ Verifique o nível DC: se o sinal não estiver simétrico com relação ao nível de 0 V (indicação “1→” na esquerda da tela), o gerador de funções pode estar com problema! Nesse caso, puxe o botão “DC OFFSET” e ajuste-o.
- ☐ **Função Average:** Caso um sinal esteja muito ruidoso durante a experiência, use o modo “Average” com média de 4 ou mais varreduras: botão “Acquire”, menu “Average” (sem s), e selecione o número de varreduras no menu “Averages” (com s...). Isso melhora a relação sinal/ruído, mas torna a resposta do osciloscópio mais lenta.

Anotação 4a Anote o horário: _____. Em caso de dúvida, peça para o professor conferir a forma de onda.

Atividade 5 Amplificador classe A

Para completar amplificador classe A da Figura 2.4, vamos especificar numa primeira tentativa um ganho $G = 15 \text{ V/V}$ (em módulo) e frequência nominal $f_N = 10 \text{ kHz}$. Para tanto, usaremos os seguintes componentes adicionais: $C_1 = 100 \text{ nF}$, $C_2 = 22 \text{ }\mu\text{F}$ e $R_3 = 470 \text{ }\Omega$ (a verificação de que os capacitores satisfazem os requisitos descritos na seção 2.6 ficam por sua conta, na lista de exercícios).

Exercício 7 EM TRACEJADO, acrescente C_1 , C_2 e R_3 especificados nesta atividade no diagrama feito no Exercício 5 para ter o circuito do amplificador classe A completo (Figura 2.4). Inclua o código de cores de R_3 no diagrama.

Exercício 8 Calcule o ganho de tensão G . Adote $V_T = 0,026 \text{ V}$ (temperatura ambiente).

- ☐ Complete a montagem do amplificador, acrescentado esses componentes no circuito da atividade anterior. CUIDADO PARA NÃO INVERTER A POLARIDADE DO CAPACITOR ELETROLÍTICO C_2 !
- ☐ Conecte o gerador de funções à entrada V_{IN} do amplificador.
- ☐ Observe a entrada V_{IN} no canal 1 do osciloscópio, e a saída V_{OUT} no canal 2. O canal 2 deve ser deixado em acoplamento DC para que você possa ver o sinal excursionando em torno da tensão V_{CQ} do ponto quiescente. Note que os sinais estão defasados de aproximadamente 180° (ou seja, o sinal de saída está invertido com relação ao sinal de entrada).

Anotação 5a Meça com o osciloscópio a amplitude A_{OUT} (pico a pico) do sinal de saída nas frequências indicadas abaixo e preencha a tabela. Em cada frequência, reajuste a amplitude de entrada A_{IN} em 0,4 Vpp. Complete a tabela com os valores calculados de ganho de tensão G e compare com o que foi previsto no pré-relatório.

f (kHz)	A_{IN} (Vpp)	A_{OUT} (Vpp)	G (V/V)
5,0			
10,0			
100,0			

EXPERIMENTE: aumente a amplitude de V_{IN} até causar a saturação de V_{OUT} . Verifique que a saída satura em V_{CC} (em cima) e em V_{EQ} (em baixo).

Anotação 5b Anote a hora: _____. **MOSTRE** o circuito funcionando e suas conclusões para o professor.

Atividade 6 Finalização

Deixe a bancada limpa e em ordem. Falhas nesse procedimento serão penalizadas.

- ☐ Remova os componentes COM CUIDADO.
- ☐ *Check list:* verifique cada um dos itens abaixo.
 - ☐ **Componentes** Guarde os componentes **no espaços “EXP2”** da caixa. Confira a lista no **Roteiro**
 - ☐ **Cabinhos** Guarde todos os cabinhos na caixa. Há algum esquecido na mesa ou caído no chão?
 - ☐ **Placa de *protoboard*** Deixe-a sobre a caixa de componente. Ela está em ordem?
 - ☐ **Equipamentos** Verifique se estão todos desligados.
 - ☐ **Multímetro** Desligado e com os cabos das pontas de prova arrumados. Deixe-o no tampo inferior da bancada, para que possamos conferir facilmente se está desligado.
 - ☐ **Empréstimos** Se usou alguma coisa de outra bancada, devolva e liste: _____
 - ☐ **Defeitos** Se encontrou algum defeito, preencha a Comunicação de Defeito e liste: _____
- ☐ **Limpeza** Limpe a bancada e verifique se não há nada caído no chão (cabinhos, componentes, etc.)
Entregue o pré-relatório e o relatório da experiência (Parte B da apostila).