

Bancada: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Hora de início: \_\_\_\_\_

Nome	n. USP	Turma	Nota: Prova

## PARTE B PRÁTICA

Traga a Parte B para a aula **impressa em papel**.

Nota: Relatório

- **Exercícios:** faça-os com antecedência antes da aula.
- **Anotações:** devem ser feitas durante a aula.
- □ : passos das atividades – para não se perder, **marque** depois de completá-las.
- 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. Ajude-nos a manter o computador organizado: coloque os arquivos no lugar correto.  
Pasta de origem: **S:\PMR3333\Exp4**  
Destino: **D:\Public\PMR3333\Turma T**, onde *T* é o número da turma (1, 2, 3 ou 4)  
**SOBREESCREVA** caso já existam para ter a versão mais recente.
- Abra arquivo **3333\_Exp4\_Roteiro.pdf**. Ele contém um roteiro resumido, com dicas e avisos importantes. Leia atentamente as instruções a seguir e veja o roteiro da atividade antes de montar ou testar o circuito.

### Atividade 1 Ganho de Corrente

Vamos usar o circuito emissor comum da Figura 4.9 (parte A) para medir o ganho de corrente do transistor.

**Exercício 1** a) Desenhe o diagrama do circuito, indicando as correntes e tensões  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $V_{BE}$  e  $V_{CE}$ . Junto do transistor, anote seu código comercial. Anote os valores nominais junto dos resistores e da tensão de alimentação  $V_{CC}$ . b) Represente as saídas da fonte de alimentação e a conexão entre elas. c) Escreva o código de cores dos resistores.

**Exercício 2** a) Anote os parâmetros adotados para o transistor: tensão  $V_{BE}$  de saturação, tensão  $V_{CE}$  de saturação e ganho de corrente. b) Determine a corrente  $I_C$  e tensão  $V_{BB}$  para que o transistor opere com  $V_{CE} = 8\text{ V}$ .

 $I_C$ : \_\_\_\_\_ $V_{BB}$ : \_\_\_\_\_

**Exercício 3** Veja no *datasheet* do transistor 2N2222 os parâmetros a seguir. Considere a condição mais próxima aos valores nominais de  $I_C$  e  $V_{CE}$  desta atividade. Transcreva o valor mínimo, típico (Típ.) e máximo, 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 ( $\beta$ , $h_{FE}$ )					

**Anotação 1a** Meça os resistores com o multímetro **antes de montar** o circuito e anote os valores.

$R_B$ : \_\_\_\_\_  $R_C$ : \_\_\_\_\_

- ☐ Monte o circuito no *protoboard*, inclusive os cabinhos de conexão com os bornes. Veja o **roteiro**.
- ☐ Configure a fonte de tensão para fornecer duas tensões positivas ( $V_{BB}$  e  $V_{CC}$ ). Veja o **roteiro**. Interligue os bornes negativos (pretos) das duas saídas variáveis 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:  $V_{BB} = 0$  V e  $V_{CC} = 12$  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  $V_{BB}$ .
- ☐ 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**, fazendo  $V_{CE}$  cair até o primeiro valor da tabela a seguir (Anotação 1b).
- ☐ 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** Anote as tensões medidas na tabela. 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  $\beta = I_C/I_B$ .

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

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

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

**Anotação 1d** Dentre os  $\beta$  **máximos** lançados na lousa, anote o menor: \_\_\_\_\_ e o maior: \_\_\_\_\_. **RESPONDA:** por que o circuito emissor comum não é indicado para polarizar o transistor na região linear?

**Anotação 1e** Mostre as anotações e conclusões para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

## **Atividade 2** Corte e Saturação

Vamos montar o circuito acionador de led mostrado na Figura 4.11.

**Exercício 4** a) Desenhe o diagrama do circuito, indicando as correntes  $I_B$ ,  $I_D$ ,  $V_{BE}$  e  $V_{CE}$ . Junto do transistor, anote seu código comercial. Anote os valores nominais junto dos resistores e da tensão de alimentação  $V_{CC}$ . b) Escreva o código de cores dos resistores.

**Exercício 5** Determine: a) para  $V_{BB} = 0$  V, a tensão  $V_{CE}$  e as correntes  $I_D$  e  $I_B$ ; b) para  $V_{BB} = 5$  V, a tensão  $V_{CE}$  e as correntes  $I_D$  e  $I_B$ , o fator  $k$  de saturação forçada ( $I_C/I_B$ ); c) a tensão  $V_{BBlim}$  que leva o transistor ao limiar de saturação.

a) ( $V_{BB}=0$  V)  $V_{CE}$ : \_\_\_\_\_;  $I_B$ : \_\_\_\_\_;  $I_C$ : \_\_\_\_\_.

b) ( $V_{BB}=5$  V)  $V_{CE}$ : \_\_\_\_\_;  $I_B$ : \_\_\_\_\_;  $I_C$ : \_\_\_\_\_;  $k$ : \_\_\_\_\_

c)  $V_{BBlim}$ : \_\_\_\_\_

**Anotação 2a** Meça os resistores com o multímetro **antes de montar** o circuito e anote os valores.

$R_1$ : \_\_\_\_\_  $R_2$ : \_\_\_\_\_

- ☐ Monte o circuito para acionar o led. Veja o **roteiro**. **Desligue** a fonte antes de mexer no circuito!
- ☐ Ligue a fonte e ajuste  $V_{BB} = 5$  V (o led deve acender). Meça as tensões indicadas na tabela a seguir com o multímetro e preencha a tabela a seguir. Repita para  $V_{BB} = 0$  V.
- ☐ Com  $V_{R1}$  e o valor medido  $R_1$ , calcule a corrente  $I_C$ . Repita com  $V_{R2}$  e  $R_2$  para calcular a corrente  $I_B$ . Calcule a relação  $I_C/I_B$  (em saturação ou corte, esta não reflete o ganho de corrente do transistor).

**Anotação 2b** Preencha a tabela com as tensões medidas e as correntes calculadas.

	$V_{BB}$	$V_{CE}$ (V)	$V_D$ (V)	$V_{R1}$ (V)	$V_{BE}$ (V)	$V_{R2}$ (V)	$I_C$ (mA)	$I_B$ (mA)	$I_C/I_B$
Saturação	5 V	$V_{CEsat}$ :					$I_{Csat}$ :		
Corte	0 V								

**REPARE:** em corte, a corrente  $I_C$  é praticamente nula, mas a tensão  $V_{CE}$  do transistor *não é* igual a  $V_{CC}$ . A corrente  $I_C$  (ou mesmo a corrente drenada pelo multímetro), apesar de ser muito baixa, é suficiente para fazer o led se polarizar com  $V_F$ , mas sem acender.

**Anotação 2c Compare** os valores de  $V_D$  e  $V_{BE}$  na saturação com os previstos ( $V_F$  e  $V_{BEsat}$ ) e **comente**.

**Anotação 2d Compare** os valores de  $V_{CEsat}$  e  $I_{Csat}$  na saturação com os previstos no exercício e **comente**.

**Anotação 2e** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

### Atividade 3 Polarização de Emissor

Vamos testar inicialmente o circuito de polarização de emissor, indicado na Figura 4.12 (parte A).

**Exercício 6** a) Desenhe o diagrama do circuito (omite C1, C2 e R3), indicando as correntes e tensões  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_B$ ,  $V_E$  e  $V_{CE}$ . Junto do transistor, anote seu código comercial e o número dos pinos. Anote os valores nominais junto dos resistores e da tensão de alimentação  $V_{CC}$ . b) Escreva o código de cores dos resistores.

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

**Anotação 3a Antes** de montar o circuito, meça os resistores

$R_1$ : \_\_\_\_\_  $R_2$ : \_\_\_\_\_  $R_C$ : \_\_\_\_\_  $R_E$ : \_\_\_\_\_

**Exercício 7** Determine o ponto quiescente de operação do transistor de forma aproximada (considere que o ganho de corrente seja infinito). a) As tensões  $V_B$  e  $V_E$ . b) As correntes  $I_E$  e  $I_C$ . c) A tensão coletor-emissor  $V_{CE}$ . d) A corrente  $I_B$  e verifique se  $I_B$  realmente pode ser desprezada (abaixo de 5% de  $I_1$  ou  $I_2$ ).

a)  $V_B$ : \_\_\_\_\_  $V_E$ : \_\_\_\_\_      b)  $I_E$ : \_\_\_\_\_  $I_C$ : \_\_\_\_\_  
c)  $V_{CE}$ : \_\_\_\_\_      d)  $I_B$ : \_\_\_\_\_ ( $I_B/I_1$ : \_\_\_\_\_)

- ☐ Monte o circuito. Veja o **roteiro**.
- ☐ Alimente  $V_{CC}$  com uma das saídas variáveis da fonte de tensão - a outra não será usada.
- ☐ 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!).

**Anotação 3b** Anote as tensões:  $V_B$ : \_\_\_\_\_  $V_E$ : \_\_\_\_\_  $V_{CE}$ : \_\_\_\_\_  
Compare com as previstas no exercício e **comente**.

- ☐ Meça a tensão  $V_{RC}$  sobre o resistor  $R_C$ .

**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  $I_E$ .  
Compare com as previstas no exercício e **comente** (note que  $I_C$  e  $I_E$  devem ser próximos).

$I_C$ : \_\_\_\_\_  $I_E$ : \_\_\_\_\_

**Anotação 3d** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

## **Atividade 4** Ajuste do Osciloscópio e do Gerador de Funções

- ☐ Verifique a calibração das pontas de prova do osciloscópio. Veja o **roteiro**.

- **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**

**ATENÇÃO:** a tela do gerador mostra apenas uma *ilustração* da forma de onda .

O sinal efetivamente gerado deve ser **observado no osciloscópio!**

- ☐ Ligue o gerador e ajuste: sinal **senoidal**; frequência **10 kHz**, excursão **-0,2 V a 0,2 V** (veja o **roteiro**).
- ☐ Conecte o cabo BNC com duas minipinças (uma vermelha e outra preta) à saída “*Output*”.
- ☐ Conecte a pinça positiva (vermelha) na ponta do canal 1, e a pinça negativa (preta) na garra de terra.
- ☐ Ajuste o canal 1 do osciloscópio para visualizar bem o sinal: pelo menos **dois períodos** na horizontal e amplitude do sinal com **máxima excursão visível** na vertical.  
Se o sinal não aparecer **ESTÁTICO** na tela, é necessário ajustar o nível de *trigger*.
- ☐ **Função *Average*:** Caso o sinal esteja muito ruidoso, 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 deixa o osciloscópio mais lento.

**Anotação 4a** Em caso de dúvida, peça para o professor conferir a forma de onda. Anote a hora:\_\_\_\_\_.

## **Atividade 5** Amplificador Classe A

Vamos completar a montagem e teste do amplificador classe A da Figura 4.12 (parte A).

**Exercício 8** a) Desenhe o diagrama do circuito completo. Junto do transistor, anote seu código comercial. Anote os valores nominais junto dos resistores e da tensão de alimentação  $V_{CC}$ . b) Escreva o código de três dígitos do capacitor C1 (revise a apost. C07, se necessário) e o código de cores do resistor R3.

**Exercício 9** Calcule o ganho de tensão  $g$ . Adote a temperatura igual a 25 °C para calcular a tensão  $V_T$  e  $r_{TR}$ .

- ☐ Complete o circuito do amplificador classe A, inserindo os capacitores C1, C2 e o resistor R3.  
**ATENÇÃO:** não ligue o capacitor com a **polaridade invertida!** Veja o **roteiro**.
- ☐ Conecte o gerador de funções à entrada  $V_{in}$  do amplificador e observe no canal 1 do osciloscópio. Observe 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  $V_{CC}$  do ponto quiescente.

**NOTE:** os sinais estão defasados de aproximadamente 180° (saída invertida com relação à entrada).

- ☐ Meça com o osciloscópio a amplitude  $A_{out}$  (pico a pico) do sinal de saída nas frequências indicadas na tabela. Em cada frequência, reajuste a amplitude de entrada  $A_{in}$  em 0,4 V pico a pico (Vpp).

**Anotação 5a** Preencha a tabela e **compare** o ganho  $g$  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** Mostre o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: \_\_\_\_\_.

Visto:

## Atividade 6 Finalização

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

- ☐ Remova os cabinhos e os componentes do *protoboard* **com cuidado**.
- ☐ *Check list:* **VERIFIQUE** e **MARQUE** cada um dos itens abaixo.
  - ☐ **Componentes** Guarde os componentes **no espaços “Exp. 4”** da caixa. Estão todos lá?
  - ☐ **Cabinhos** Guarde todos os cabinhos na caixa. Há algum esquecido na mesa ou caído no chão?
  - ☐ **Cabos (exceto pontas do osciloscópio)** Organizados no porta-cabos na lateral da bancada.
  - ☐ **Placa de *protoboard*** Deixe-a no tampo superior da bancada. Ela está em ordem?
  - ☐ **Equipamentos** Verifique se estão todos desligados, incluindo o **computador** e os **dois monitores**.
  - ☐ **Osciloscópio** Desligue e ajeite as pontas de prova debaixo dele (**não desconecte as pontas!**).
  - ☐ **Não deixe os monitores em *stand-by***. Desligue-os apertando o botão liga/desliga.
  - ☐ **Multímetro** Deixe-o, **DESLIGADO** e com as pontas de prova arrumadas, sobre a **mesa da bancada** (parte de baixo), para podermos conferir facilmente.
  - ☐ **Defeitos** Se encontrou algum defeito, preencha a Comunicação de Defeito e liste:
- ☐ **Perdidos** Confira se há cabinhos, componentes, *etc.* no chão ou esquecidos sobre a bancada.
- ☐ **Limpeza** Limpe a bancada.