

# Escola Politécnica - USP



## PSI 2327 Laboratório de Eletrônica III Exp 4: Amplificadores Múltiplos Estágios

**Equipe:-**

-  
-

**Turma:**

**Profs: -**

-

**Data de Realização do Experimento:**

**Nota:**

**Bancada:**

**2005**

1. Introdução

Esta experiência tem por objetivos gerais:

- Estudar o funcionamento de um amplificador com 2 estágios e acoplamento RC.
- Estudar a influência da malha de realimentação negativa no desempenho do amplificador com dois estágios.
- Utilização do programa PSPICE para análise do circuito proposto e ratificação das hipóteses adotadas.

2. Projeto (item a ser realizado antes da aula experimental)

Amplificador de Dois Estágios

Obs.: O valor da tensão de entrada  $V_e$  apresentado nas figuras 8 e 16 são obtidos através do equivalente Thevenin de entrada (envolvendo  $V_g$ ,  $R_g$ ,  $RD1$  e  $RD2$  como foi feito anteriormente para o experimento Amplificador de Pequenos Sinais no 1º Semestre). Portanto, **MUITO CUIDADO** ao preencher os valores de  $Av_1$  e  $Av_t$  nas tabelas 1, 2 e 3!

2.1 Projete um amplificador com 2 estágios (fig.1) com e sem realimentação utilizando os dados abaixo. Utilize as curvas características do BC547A em anexo. Recalcule todos os valores para os resistores nominais. Com os resultados obtidos preencha as colunas **Calculado** e **Recalculado** das tabelas 1, 2 e 3 do item 5.2.4.

**OBS1:** Os valores abaixo valem para ambos os estágios.

**OBS2:** O ponto quiescente está situado no meio da reta de carga.

**OBS3:** Determine  $R_s$  equivalente a partir dos valores de  $R_g$ ,  $RD1$  e  $RD2$ .

**OBS4:** Utilize resistores e capacitores da série E12 (10; 12; 15; 18; 22; 27; 33; 39; 47; 56; 68; 82)

**DICA:** Veja projeto da apostila pg. 21.

Vcc	12 V
Ic	1mA
Rc	1.22Re
R1//R2	50K
fci	300Hz
RL	4.7K
Rg	50
Vbe	0.6 V
R3	150
R4	33K
C1	10µF
C2	10µF
Cb	68nF
RD1	4950
RD2	50.5

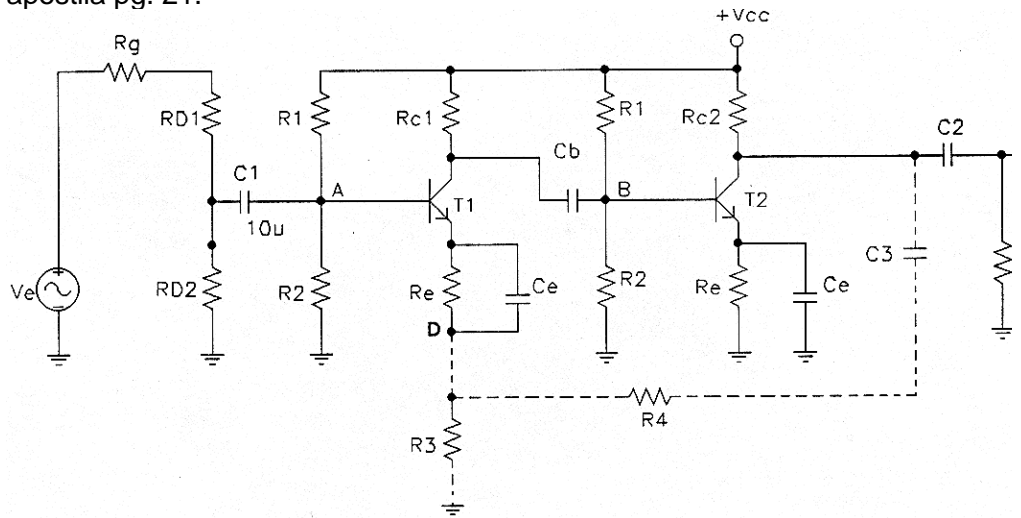


Figura 1

Preencha literalmente a expressão abaixo:

$$V_e = V_g \times \frac{\quad}{\quad}$$

**3. Simulação (a ser realizada antes da aula experimental)**

NOTA: A versão oficial do curso e da disciplina PEE327 é a **PSpice 6.3 Student Version**.

Utilizando os dados fornecidos e com o auxílio dos programas PSPICE e PROBE,

**3.1** Utilizando o programa PSPICE, preencha a coluna **Simulado** da tabela 1 do item 5.2.4 e obtenha as respostas em função da frequência para o módulo do ganho de tensão e fase (utilize um gerador senoidal com  $f=10\text{kHz}$ ,  $R_g = 50$  e  $V_{pp} = 200\text{mV}$ ). Determine os ganhos  $A_{v1}$ ,  $A_{v2}$  e  $A_{vt}$  (ou  $A_{vr}$ ) além das frequências de corte superior e inferior (utilizando o cursor do Probe) nas seguintes situações:

**3.1.1** Circuito sem realimentação (tabela 1 do item 5.2.4);

**3.1.2** Circuito sem realimentação, mas considerando o efeito de (tabela 2 do item 5.2.4);

**3.1.3** Circuito com realimentação (tabela 3 do item 5.2.4).

Anexe as respostas em frequência para serem entregues junto com este relatório.

**OBS:** Para o transistor utilize o modelo BC547A\_AC\_TR que se encontra na biblioteca eval.slb em disquete na Biblioteca da Elétrica, ou então edite o modelo como descrito em [1] pg. 20 para:

```
.MODEL BC547A_AC_TR (IS=3.5E-14, VAF=75, BF=240, IKF=60mA, NE=1.82,
+ISE=80, RE=0.10, BR=4.5, RC=0.50, RB=3.0, NC=2, ISC=80, IKR=10mA,
+CJC==7.6E-12, VJC=0.75, MJC=0.33, CJE=20.5E-12, VJE=0.55, MJE=0.33,
+XTF=2.0, VTF=50, ITF=20E-2, TF=100E-10, XTB=1.47)
```

## 4. Procedimento Experimental

Recomendações gerais:

- **Calibre as pontas de prova;**
- Faça as montagens de forma limpa e organizada;
- Em caso de dúvidas, consulte seu professor antes de ligar a fonte de alimentação;
- Desligue a alimentação do circuito antes de qualquer alteração em seus componentes ou medidas de resistência;
- Mantenha sempre sua bancada limpa e organizada.

### 4.1 Circuito sem realimentação

**4.1.1** Montar o circuito projetado conforme indicado na figura 1. Ajuste  $V_{cc}$  em 12 V. (Não se esqueça que o ramo pontilhado não faz parte dessa montagem e que o nó D deve ser ligado ao terra).

**4.1.2** Medir com o multímetro digital os potenciais quiescentes  $V_{c1}$ (calcule  $I_{c1}$ ),  $V_{c2}$ (calcule  $I_{c2}$ ),  $V_{be1}$ ,  $V_{be2}$ ,  $V_{e1}$ ,  $V_{e2}$  e preencha a tabela 1 do item 5.2.4. Compare estes valores com os valores re-calculados (ou simulados) do projeto. Escreva abaixo as suas conclusões.

**4.1.3** Ajuste o gerador de funções (resistência interna  $R_g=50 \Omega$ ) para fornecer uma forma onda senoidal com tensão de saída 200mVpp e frequência  $f=10$  KHz conectando-o como indicado na fig.1 (desta forma a tensão na entrada do amplificador,  $V_e$  da figura 16, será aproximadamente 2mVpp, pois o atenuador formado por RD1 e RD2 faz com que a tensão de  $V_g$  fique dividida por 100 e que a resistência do gerador equivalente continue  $50 \Omega$ ). **Sempre meça** a tensão na saída do gerador (nó entre  $R_g$  e RD1) e calcule o valor da tensão de entrada do circuito ( $V_e$ ) baseando-se na explicação acima e na expressão determinada no item 2.

Determine  $A_{v1}=V_B/V_e$  e coloque o resultado na tabela 1 do item 5.2.4.  $V_B$  é o potencial do nó B em relação ao terra. Por que deve-se manter o segundo estágio conectado através do capacitor  $C_b$ ?

**4.1.4** Determine  $A_{v2}=V_B/V_S$  e coloque o seu valor na tabela 1 do item 5.2.4. Para tanto:

- Remova o capacitor  $C_b$  do circuito.
- Desconecte o terminal do capacitor  $C_1$  que está ligado no ponto A e conecte este terminal ao ponto B.

Compare com o valor calculado no projeto para os valores nominais dos resistores e discuta abaixo eventuais discrepâncias.

**4.1.5** Calcule  $A_{vt}=A_{v1}.A_{v2}$  e coloque o resultado abaixo.

$A_{vt} =$
------------

**4.1.6** Reconecte  $C_1$  na entrada do primeiro estágio e recoloca  $C_b$ . Mantendo o nível do sinal de saída do gerador no mínimo possível (200mV), meça a amplitude do sinal de saída do segundo estágio e determine o ganho global  $A_{vt}=V_{RL}/V_e$ . ( $V_{RL}$ =queda de tensão nos terminais do resistor  $R_L$ ). Coloque o resultado na tabela 1.

**4.1.7** Explique porque os ganhos obtidos nos itens **4.1.5** e **4.1.6** não coincidem. Por que o valor do ganho no item **4.1.6** é menor?

**4.1.8** Através do programa GANHO levante a resposta em frequência  $A_v \times f$ , colocando a ponta de prova do canal 1 do osciloscópio na saída do gerador e a ponta de prova do canal 2 na saída do circuito ( $V_S$ ). Não esqueça de dizer ao programa GANHO qual o fator de atenuação entre  $V_g$  e  $V_e$ . Imprima o resultado e determine  $f_{ci}$  e  $f_{cs}$ . Coloque estes valores na tabela 1 do item 5.2.4 e compare-os com os valores teóricos e simulados.

**4.1.9** Supondo apenas distorção de segunda harmônica no sinal de saída (sobre o coletor de T2), determine a porcentagem de distorção dada pela fórmula  $D=100 \cdot |B2|/|B1|$  e coloque no espaço abaixo, onde B1 é a amplitude da primeira harmônica (fundamental) do sinal de Vc2 e B2 é a amplitude da segunda harmônica. B1 e B2 podem ser medidos diretamente através do osciloscópio da seguinte maneira. Coloque o sinal de Vc2 no canal 2 e observe-o adequadamente na tela do osciloscópio. Aperte a tecla  $\pm$ , selecione o menu **Function 2**, escolha a opção **FFT** (Fast Fourier Transform). Deverá aparecer na tela as amplitudes das harmônicas do sinal Vc2 (espectro de frequências de módulo). Aperte a tecla **Cursors**, selecione **Source F2** e determine B1 e B2.

**OBS:** Os valores de B1 e B2 são dados em decibéis pelo osciloscópio, eles deverão ser convertidos para volts através da seguinte fórmula  $20\log[B1(V)]=B1(\text{dB})$ .

D =
-----

## 4.2 Circuito sem realimentação, mas sob influência da malha de realimentação

**4.2.1** Conecte o resistor R3 entre o nó D (fig. 1) e o terra e conecte a resistência R4 em paralelo com a resistência de carga RL.

**4.2.2** Determine Av1, Av2 e Avt para esta montagem. Para isso, repita os itens **4.1.3**, **4.1.4** e **4.1.6** (não repita o item **4.1.5**). Coloque os resultados na tabela 2 do item 5.2.4.

## 4.3 Circuito com realimentação

**4.3.1** Neste ponto da experiência o resistor R4 está em paralelo com RL. Retire-o e conecte-o, juntamente com C3, segundo as linhas pontilhadas da fig.1. Mantendo o gerador de funções com o mesmo sinal do item anterior, determine a porcentagem de distorção (como no item **4.1.9**)

D =
-----

**4.3.2** Houve diminuição da porcentagem de distorção com relação ao item **4.1.9**. Por quê?

**4.3.3** Ajuste o gerador de funções para fornecer uma forma onda senoidal com tensão de saída de 400mVpp (não se esqueça que a tensão de entrada no amplificador será aproximadamente 4mVpp) e frequência  $f=10$  KHz. Determine o ganho global  $A_{vt}=V_{RL}/V_e$ . ( $V_{RL}$ =queda de tensão nos terminais do resistor RL). Coloque o resultado na tabela 3 do item 5.24 e explique-o baseado na previsão teórica.

**4.3.4** Através do programa GANHO levante a resposta em frequência  $A_v \times f$ , colocando a ponta de prova do canal 1 do osciloscópio na saída do gerador e a ponta de prova do canal 2 na saída do circuito (VS). Não esqueça de dizer ao programa GANHO qual o fator de atenuação entre  $V_g$  e  $V_e$ . Imprima o resultado e determine  $f_{ci}$  e  $f_{cs}$ . Coloque estes valores na tabela 3 do item 5.2.4 e compare-os com os valores teóricos e simulados.

**5. Análise Final de Dados**

**TABELA 1- Circuito sem realimentação**

Valor	Calculado	Re-calculado*	Simulado	Medido	Desvio
Vcc					
Ve1					
Ve2					
Vc1					
Vc2					
Ic1					
Ic2					
Vbe1					
Vbe2					
Rs					
Rc					
Re					
R1					
R2					
Av1					
Av2					
Avt					
fci					
fcs					

**TABELA 2- Circuito sem realimentação, mas considerando a malha de realimentação**

Valor	Calculado	Re-calculado*	Simulado	Medido	Desvio
Av1					
Av2					
Avt					
fci				—	
fcs				—	

**TABELA 3- Circuito com realimentação**

Valor	Calculado	Re-calculado*	Simulado	Medido	Desvio
Avr					
fcir					
fcsr					

\*OBS: Valor re-calculado significa valor calculado tomando-se os resistores nominais.

## **6. Conclusões**

## **7. Referências Bibliográficas**

- 1 - Apostila PEE 327 “**Amplificadores com múltiplos estágios**”, 1997.
- 2 - Apostila PEE 318, vol1. “**Amplificador de Pequenos Sinais**”, 1997.

## **8. Bibliografia**

- 1 - Millman, J. e Halkias, C. C. **Eletrônica**. Mc Graw Hill, 1981, volume 2.
- 2 - **Schematic capture user’s guide: version 6.2**. Irvine, MicroSim Corp., 1995.
- 3 - Tuinenga, Paul W. **SPICE: a guide to circuit simulation and analysis using Pspice**. Englewood Cliffs, Pentice-Hall, 1988.