

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEEC

**Estudo e Aplicação de Ferramentas de Simulação para Ensaio e Projecto
de Componentes Electrónicos**

(Relatório de Estágio PRODEP)

**Luís Miguel Valente Rodrigues
Miguel Fernando Ramos Faria
João Ricardo Tavares Martins Vieira**

Porto, 30 de Setembro de 1993



Formule de la 3^e section
Statistique 4

129
621.3(047.3)/LCC/1992/RODL
25 09 09



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex, PORTUGAL

Telef. 351-2-317105/107/412/457 · Telex 27323 FEUP P · Telefax 351-2-319280

Porto, Novembro de 1993

SUBPROGRAMA 4 - PRODEP

MEDIDA 4.3 - Estágios Profissionais para Bacharelatos, Licenciaturas e Pós-Graduação

PARECER

Assunto: Estágios de João Ricardo Tavares Martins Vieira, Luís Miguel Valente Rodrigues e Miguel Fernando Ramos Faria

Na qualidade de supervisores dos estágios acima mencionados, cumpre-nos informar:

1. Os estagiários manifestaram dedicação e empenho na execução do trabalho proposto: "Estudo e aplicação de ferramentas de simulação para ensaio e projecto de componentes e circuitos electrónicos".
2. No cumprimento do objectivo proposto, os estagiários revelaram bons conhecimentos, capacidade de aplicação e desenvolvimento desses conhecimentos e espírito de iniciativa. Na verdade, os estagiários estudaram vários programas de análise de circuitos, seleccionaram um pela sua adequação ao fim em vista e desenvolveram um manual de utilização dedicado e guiões para um conjunto de trabalhos complementares do ensaio laboratorial de circuitos electrónicos.

pelo que somos de parecer que foram cumpridos os objectivos que o estágio se propunha atingir.

Prof. Doutor António Maria Lopes da Rocha Quintas

Centro de CIM do Porto

Prof. Doutor Franquelim Fortunato Ferreira

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEEC

**Estudo e Aplicação de Ferramentas de Simulação para
Ensaio e Projecto de Componentes e Circuitos Electrónicos**

(Relatório de Estágio PRODEP)

**Autores: João Ricardo Tavares Martins Vieira
Luís Miguel Valente Rodrigues
Miguel Fernando Ramos Faria**

FEUP, 30 de Setembro de 1993

ESTUDO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO PARA ENSAIO E PROJECTO DE COMPONENTES E CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

PREFÁCIO:

Este projecto realizado no âmbito do PRODEP teve como primeiro objectivo a sensibilização dos alunos dos primeiros anos da licenciatura de Engenharia Electrotécnica e de Computadores para a utilização do computador como ferramenta de simulação. Este procedimento, como complemento do ensaio laboratorial, é vantajoso em vários aspectos. Quando realizado antes do ensaio laboratorial, antecipa aos alunos o comportamento do circuito onde vão trabalhar. Quando realizado depois da verificação experimental, permite a clarificação de aspectos menos compreendidos na banca de laboratórios.

Este projecto é baseado num pacote de *software* de simulação de circuitos, o Micro Cap III.

A partir deste programa foi elaborado um pequeno manual de consulta rápida, afim de introduzir facilmente o aluno ao ambiente de trabalho. Foi ainda realizado um conjunto de pequenos trabalhos constituídos por um guião e respectivos circuitos de testes, com o objectivo de sensibilizar o aluno para este novo método de estudo. Os pontos focados por este trabalho são:

- Amplificação com Amplificadores Operacionais
- Circuitos Limitadores
- Díodo de Junção
- Polarização de Transístores
- Amplificação com Transístores Bipolares
- Amplificação usando o Transístor de Efeito de Campo (JFET)
- Estudo do Par Diferencial

Índice

ÍNDICE:

1 - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO MICRO CAP III.....	4
2- TRABALHOS PROPOSTOS.....	23
3- BIBLIOGRAFIA.....	62

Índice

Manual de Utilização do Micro Cap III

ÍNDICE MANUAL DE UTILIZAÇÃO:

0 - INTRODUÇÃO.....	8
1 - COMO INSTALAR O PROGRAMA.....	10
2 - JANELAS PRINCIPAIS.....	12
2.1 - MODE WINDOW.....	13
A) ACÇÕES POSSÍVEIS.....	13
I) ADD	
II) ZAP	
III) DEF	
IV) MOVE	
V) STEP	
VI) INFO	
B) OBJECTOS ONDE SE PODEM EFECTUAR AS ACÇÕES ANTERIORES..	14
I) COMP	
II) LINE	
III) TEXT	
IV) BOX	
2.2 - COMPONENT WINDOW.....	14
2.3 - JANELA PRINCIPAL.....	14

3 - OPÇÕES PRINCIPAIS.....	15
3.1 - μ.....	16
I) MICRO CAP III	
II) NOTES	
III) CALCULATOR	
IV) HELP	
3.2 - EDITORS.....	16
I) LIBRARY DEVICES	
II) COMPONENT LABELS	
3.3 - VIEW.....	18
I) SCALE	
II) COMPONENT TEXT	
III) GRID TEXT	
IV) MODE NUMBERS	
3.4 - OPTIONS.....	18
I) PALETTE	
II) OUTPUT	
3.5 - WINDOWS.....	18
I) MODE WINDOW	
II) COMPONENT WINDOW	
III) JANELA PRINCIPAL	
3.6 - RUN.....	19

3.7 - TRANSIENT.....	19
1) RUN	
2) SCOPE	
3) STEPPING	
4) MONITOR	
I) USER	
II) PLOT	
III) OUT	
IV) MC	
V) TYPE	
VI) WAVE FORM	
VII) SCALE RANGE	
VIII) FORMAT	
3.8 - MONTE CARLO.....	21

INTRODUÇÃO

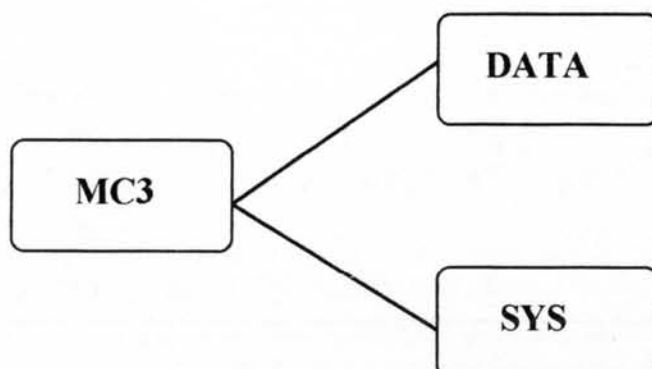
0. INTRODUÇÃO

O *Micro-Cap III* é um programa de análise de circuitos electrónicos. Devido à sua facilidade de manipulação e ao grande interesse que existe em visualizar qualquer ponto de um dado circuito, antes de se passar à sua implementação, achamos que é de todo o interesse a elaboração deste manual que tenta de uma maneira simples e transparente, mostrar o modo de funcionamento e a grande utilidade deste programa, o *Micro-Cap III* versão 2.02 de 1988.

INSTALAÇÃO DO PROGRAMA

1- INSTALAÇÃO DO PROGRAMA

Para o programa correr correctamente, tem que estar instalado com a seguinte estrutura de directórios:



No directório *DATA* encontram-se os ficheiros que contêm os trabalhos. No directório *SYS* são guardados todas as livrarias que o programa necessita.

Para carregar o programa, basta ir ao directório *MC3* , e escrever *MC3* seguido da tecla de *ENTER* que o programa é executado.

JANELAS PRINCIPAIS

2- JANELAS PRINCIPAIS

(*Nota:* Para uma melhor compreensão de todos os comandos, é aconselhável que o utilizador se encontre com o programa já carregado num computador, de modo a que possa mais facilmente seguir todas as indicações deste manual).

Depois do programa ser carregado, aparece no écran, três menus principais. Começando pela coluna mais à esquerda, temos:

2.1-MODE WINDOW - nesta coluna encontram-se todos os comandos que permitem seleccionar a próxima acção a ser tomada. Dentro desta opção podemos ter :

A) Acções Possíveis:

i) *ADD* - adiciona um objecto na localização do cursor. Com a tecla do lado esquerdo do rato sempre pressionada, podemos colocar o objecto na localização desejada, sendo possível ainda modificar a sua orientação, se a tecla do lado direito do rato for pressionada.

ii) *ZAP* - tem a função inversa de *ADD* , isto é, em vez de adicionar um objecto ao circuito, apaga esse objecto.

iii) *DEF* - redefine o objecto onde se encontra o cursor. Por exemplo, quando se pretende mudar o valor da resistência R1 por R2, basta redefinir R2 em lugar de R1. Se escolhermos *OWN*, podemos atribuir directamente o valor ao componente.

iv) *MOVE* -move um objecto que se encontre dentro da janela.

v) *INFO* - informação sobre um componente. Sempre que se carregue no botão do lado esquerdo do rato sobre um componente, são-nos apresentadas as características desse componente.

B) Objectos onde são possíveis efectuar as acções anteriores :

i) *COMP* - componente.

ii) *LINE* - linha. Para desenhar uma linha, coloque o cursor no início da linha e pressione o botão esquerdo do rato. Mova o cursor para o fim da linha e pressione o botão do lado direito.

iii) *TEXT* - texto.

iv) *BOX* - região rectangular pré-definida.

2.2- Na coluna mais à direita, temos a coluna designada por *COMPONENT WINDOW*, onde se encontram todos os componentes que o utilizador pode utilizar como objectos para adicionar ao circuito.

(*Nota:* quando se carrega o programa, apenas se visualiza uma parte desta coluna. Para a sua visualização total, basta colocar o rato no ícone mais à direita (canto superior direito) desta janela e "puxar" com o rato a janela mais para a direita).

2.3- Finalmente, a janela central, que vamos defini-la como *JANELA PRINCIPAL* para uma mais fácil referência. Dentro desta *Janela Principal* podemos observar várias opções principais: *u*, *Editors*, *View*, etc, que iremos tratar com mais cuidado no capítulo seguinte.

OPÇÕES PRINCIPAIS

3- OPCÕES PRINCIPAIS

Vamos agora analisar detalhadamente todas as acções possíveis dentro desta janela principal. Começando da direita para a esquerda :

3.1- Na opção principal **μ** temos a possibilidade de ter acesso às seguintes opções:

i) *MICRO CAP III*

ii) *NOTES* - para escrever qualquer anotação sobre o circuito em análise.

iii) *CALCULATOR* - para efectuar um cálculo numérico rápido.

iv) *HELP* - para consulta do *Help* geral de todo o programa *Micro Cap III*. Geralmente em cada janela existe o *Help* dessa própria janela que pode ser acedido de duas formas: carregando na tecla *F1* ou com o cursor carregar no ícon que possui um *H*.

3.2- Na opção principal **EDITORS** temos acesso às seguintes opções:

i) *LIBRARY DEVICES* - biblioteca onde se encontram as características dos componentes. A biblioteca que nos é apresentada, foi previamente carregada em *Load Library* na opção principal *FILE*. Cada utilizador tem assim a possibilidade de criar a sua própria biblioteca com os seus próprios componentes.

Quando um componente é adicionado ao circuito, a escolha de um dado componente está restrita aos componentes existentes na biblioteca que está a ser utilizada. É claro que novos elementos podem ser adicionados !

Quando se guarda um circuito num ficheiro, o nome da biblioteca que está a ser utilizada é guardada em simultâneo com o circuito. Logo quando se carrega um dado circuito, a biblioteca que foi utilizada na sua concepção é automaticamente carregada.

Dentro da *Library Devices* podemos ter oito tipos componentes diferentes:

- 1- Amplificadores Operacionais
- 2- Diodos
- 3- Dispositivos Bipolares
- 4- Dispositivos MosFets
- 5- Dispositivos JFets
- 6- Fontes Pulsadas
- 7- Fontes Sinusoidais
- 8- Fontes Polinomiais

Para cada um dos tipos de componentes referidos, podemos definir 50 modelos diferentes para cada um desses componentes.

O comando *COPY* é usado para copiar o tipo de componente projectado para um (ou mais) dos 50 modelos diferentes disponíveis para cada componente.

ii) *COMPONENT LABELS* - a biblioteca que é apresentada, tal como acontece no *Library Devices*, é a que foi previamente carregada em *Load Library* na opção principal *FILE*.

Nesta biblioteca temos "letras" que representam valores associados a essas "letras". Por exemplo, se o utilizador definir que R1 vale $1K\Omega$, sempre que exista uma referência com o nome de R1, o programa sabe imediatamente que esse dispositivo possui o valor de $1K\Omega$, com todas as vantagens daí inerentes na menor complexidade apresentada.

Os componentes que podem ser referenciados desta forma são as resistências, condensadores, bobinas, fontes de corrente, interruptores, linhas de transmissão, baterias (fontes de tensão) e transformadores.

3.3- Na opção principal **VIEW** temos acesso às seguintes opções:

- i) *SCALE* -permite visualizar o circuito implementado em várias escalas.
- ii) *COMPONENT TEXT* - permite visualizar ou não as referências dos componentes.
- iii) *GRID TEXT* - permite visualizar ou não o texto introduzido pelo utilizador.
- iv) *NODE NUMBERS* - permite visualizar ou não a numeração dos vários nós existentes no circuito.

3.4- Na opção principal **OPTIONS** temos acesso a várias opções. Entre elas podemos referir:

- i) *PALETTE* -permite modificar as cores do écran.
- ii) *OUTPUT* - permite modificar o destino do resultado (écran, impressora, disco).

3.5- Na opção principal **WINDOWS** podemos seleccionar:

- i) *MODE WINDOW* - permite visualizar ou não a coluna principal, *Mode Window* .
- ii) *COMPONENT WINDOW* - permite visualizar ou não a coluna principal, *Component Window* .
- iii) " *JANELA PRINCIPAL* " - permite visualizar ou não a janela principal.

3.6- Na opção principal **RUN** podemos escolher qual o tipo de entrada do sistema. Ao seleccionarmos uma das suas opções, aparece na *Janela Principal* mais duas opções principais: **TRANSIENT** e **MONTE CARLO**.

3.7- Para se iniciar o processo de análise, após a escolha do tipo de entrada como já foi referido na alínea 3.6, o utilizador vai à opção principal **TRANSIENT** e escolhe a opção de *RUN*. Esta opção ao ser accionada, executa o programa e visualiza os resultados da simulação do circuito.

Voltando novamente à opção principal e escolhendo a opção *SCOPE* (Osciloscópio) podemos ter mais do que um gráfico presente, com a vantagem de uma melhor visualização das ondas resultantes pois o gráfico inferior é uma ampliação da área delimitada no gráfico superior.

Como definir a área que se pretende visualizar com mais pormenor?

Esta área, ou rectângulo, é definido carregando com o botão esquerdo do rato no ponto onde se quer definir o canto superior esquerdo, e com o botão do lado direito do rato o canto inferior esquerdo do rectângulo.

Por baixo do gráfico inferior, está representado o valor inicial e final dessa mesma ampliação, bem como a diferença entre esses dois valores. Também é mostrado o valor inicial e final da variável independente (tempo, frequência, ...) bem como a diferença entre estes dois valores.

A opção de *STEPPING*, dentro desta opção principal *Transient*, permite uma variação de um dado parâmetro, desde um valor inicial até a um valor final, de modo a permitir a visualização de várias situações envolvendo o mesmo circuito.

Se o componente que desejamos variar for um componente definido na biblioteca, *Library Devices* , a forma será:

Variável a incrementar :

Desde :

Até :

Valor do incremento :

Após a definição da operação *Stepping* , se a operação de *RUN* for novamente realizada na opção principal *Transient* , serão representadas todas as curvas que foram previamente definidas.

Dentro desta opção principal *Transient* , o utilizador pode ainda escolher a opção *MONITOR* , que permite controlar quais as formas de onda que vão ser desenhadas, guardá-las em ficheiros ou em disco e usá-las nas rotinas de *Monte Carlo* .

i) *USER* - envia a onda para o ficheiro do utilizador.

ii) *PLOT* -desenha a onda no écran.

iii) *OUT* - guarda a onda no disco ou imprime na impressora.

iv) *MC* - evolui a onda nas rotinas do *Monte Carlo* .

v) *TYPE* - especifica qual o tipo de onda a visualizada:

- V : tensão
- I : corrente
- U : função definida
- P : potência
- E : energia

vi) *WAVEFORM* - descreve qual o tipo de dependência da onda relativamente aos nós de referência:

nó A : tensão no nó A

nó A / nó B : tensão diferencial entre A e B ou a corrente AB que percorre a resistência que está entre o nó A e o nó B.

nó A / nó B / nó C : potência=corrente AB * tensão BC
energia=integral (corrente AB*tensão BC) dt

•*user function* : qualquer função algébrica em função ao tempo e outros nós de tensão. Os nós de tensão têm que ser referenciados a algo através do *grid text labels*. Por exemplo a função $2*OUT*SIN(1E6*T)$ a variável "OUT" refere a tensão no nó definido no esquema como sendo *text* "OUT".

•*grid text* : para referenciar um dado nó, o utilizador pode utilizar o *grid text* como forma de indicar facilmente o nó pretendido. Tem que se utilizar nomes nas funções pretendidas tendo como opções ou usar o numero do próprio nó ou o seu *grid text* para outras formas de onda.

vii) *SCALE RANGE* - define o intervalo de visualização da onda quando na opção *plotting*.

viii) *FORMAT* - define a forma numérica do resultado da análise, ou seja o número de dígitos para as unidades e para as décimas.

3.8- Se o utilizador pretender fazer uma análise estatística a uma dada variável de um circuito, deverá então utilizar as rotinas da opção principal, MONTE CARLO.

Para que as rotinas do *Monte Carlo* sejam activadas, é necessário que o *number of runs* seja superior a 1, isto é, para que exista uma análise estatística é necessário que o circuito seja analisado pelo menos duas vezes. Este *number of runs* é definido dentro da opção *Options*.

A variável a ser testada no *Monte Carlo* é definida na opção *Monitor*

(opção principal *Transient*), definindo na coluna *MC* qual é essa variável.

Como exemplo, para se representar no esquema uma resistência de 100 Ohm que possua uma tolerância de 10%, basta defini-la do seguinte modo: 100/10. O *Monte Carlo* ao ser executado num circuito que possua resistências com estas características vai automaticamente arbitrar valores para elas (dentro da tolerância especificada). Como resultados finais, aparecerá não apenas um resultado mas sim um conjunto possível de resultados, todos devidamente representados pela rotina *Monte Carlo*.

Índice

Trabalhos Propostos

ÍNDICE (TRABALHOS PROPOSTOS):

TRABALHO PROPOSTO Nº 1	
Amplificação com Amplificadores Operacionais	25
TRABALHO PROPOSTO Nº 2	
Circuitos Limitadores	32
TRABALHO PROPOSTO Nº 3	
Díodo de Junção	38
TRABALHO PROPOSTO Nº 4	
Polarização de Transístores	42
TRABALHO PROPOSTO Nº 5	
Amplificação com Transistor Bipolar	46
TRABALHO PROPOSTO Nº 6	
Amplificação usando o Transistor de Efeito de Campo (JFET)	53
TRABALHO PROPOSTO Nº 7	
Estudo do Par Diferencial	59

TRABALHO PROPOSTO Nº 1

AMPLIFICAÇÃO COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

OBJECTIVOS:

- Análise do funcionamento de circuitos com amplificadores operacionais.

1.AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR :

1.1 Carregue o programa MC3, tal como é descrito no manual.

Para fazer a análise deste esquema, é necessário carregar o ficheiro correspondente. Para tal basta na opção principal " *File* " , seleccionar a opção "*Load Circuit*".

Irão aparecer no écran todos os nomes dos ficheiros relacionados com os esquemas dos circuitos de Laboratórios de Electrónica.

Para analisar o Amplificador Não Inversor selecione o ficheiro designado por L1_1_11.

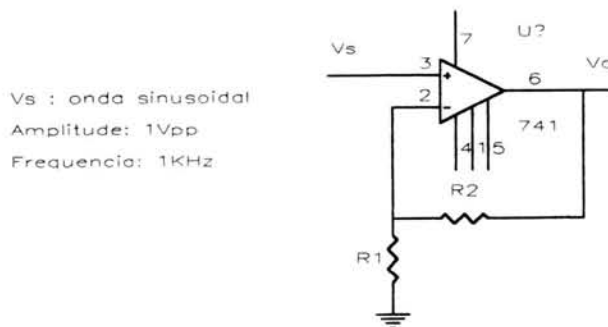


Fig.1.1

Pode verificar que temos uma onda sinusoidal na entrada com amplitude de 1Vpp e frequência de 1KHz. As resistências apresentam todas o mesmo valor de $1K\Omega$.

Na opção principal " *Run* ", se escolher a opção " *Transient* " pode visualizar a forma de onda de entrada (V_s) e a forma de onda de saída (V_o).

Para analisar o comportamento do sinal de saída, em função da resistência de realimentação (resistência que liga o pino negativo do amplificador à saída) basta ir a janela principal, " *Mode Window* ", seleccionar a opção " *Def* " e redefinir novo valor para resistência de realimentação.

Um processo que nos permite visualizar as várias ondas de saída, em simultâneo, em função das várias resistências é seleccionar, na opção principal " *Transient* " , a opção " *Stepping* " que define qual a resistência a variar e qual o intervalo para cada variação. Deste modo pode visualizar um conjunto de formas de ondas de saída parametrizadas com a resistência de realimentação.

R2 (Kohm)	Vs (Vp)	Vo (Vp)	A=Vo/Vs

1.2 Deduza a expressão do ganho e compare com os valores obtidos no MC3.

2. AMPLIFICADOR SEGUIDOR :

2.1 Tal como efectuado em 1.1, o ficheiro que simula o circuito Amplificador Seguidor é o L1_1_22.

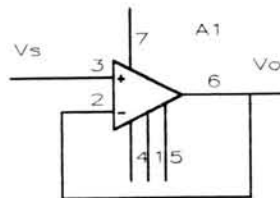


Fig. 2.2

Analise as formas de onda de entrada e de saída e determine o ganho de tensão do circuito.

$$V_i = \text{_____ V} \quad V_o = \text{_____ V} \quad A_v = V_o/V_i = \text{_____}$$

Compare o resultado com o obtido no exemplo anterior.

Este amplificador toma o nome de Amplificador Seguidor, cujas vantagens iremos analisar nas aulas teóricas aquando do estudo da realimentação.

3. AMPLIFICADOR INVERSOR:

3.1 O ficheiro que simula o Amplificador Inversor é o L1_1_31.

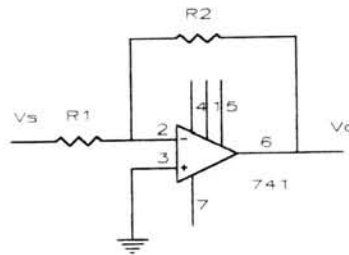


Fig.3.1

Como se pode verificar, a grande diferença em relação aos outros dois exemplos, é que o sinal de entrada é aplicado na porta inversora do AmpOp, daí o nome deste amplificador.

Tal como efectuado no exemplo 1.1, utilize a opção "Stepping" para visualizar as diversas formas de ondas de saída, em função da variação da resistência de realimentação.

R2 (Kohm)	Vs (Vp)	Vo (Vp)	A=Vo/Vs

3.1 Deduza a expressão do ganho e compare com os valores obtidos experimentalmente.

4AMPLIFICADOR SOMADOR (E INVERSOR):

4.1 O ficheiro que simula um Amplificador Somador (e Inversor) é o L1_1_41.

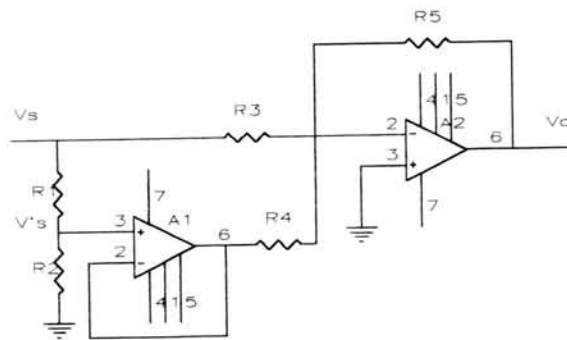


Fig. 4.1

A fonte de alimentação deste circuito é igual à de todos os circuitos até aqui analisados. Pode verificar sempre o tipo de fonte que se encontra no circuito, seleccionando a opção " Info ", da janela principal " Mode Window ". Da mesma forma pode verificar as características de todos os outros componentes.

Visualize e meça as formas de onda de entrada e de saída. Calcule o ganho de tensão do circuito.

$$V_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad A_v = V_o/V_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.2 Deduza a expressão do ganho, calcule-o e compare com o valor obtido através da simulação.

4.3 Justifique porque é que este amplificador toma o nome de somador.

5. AMPLIFICADOR DIFERENCIAL:

5.1 O ficheiro que simula o AMPLIFICADOR DIFERENCIAL é o L1_1_51.

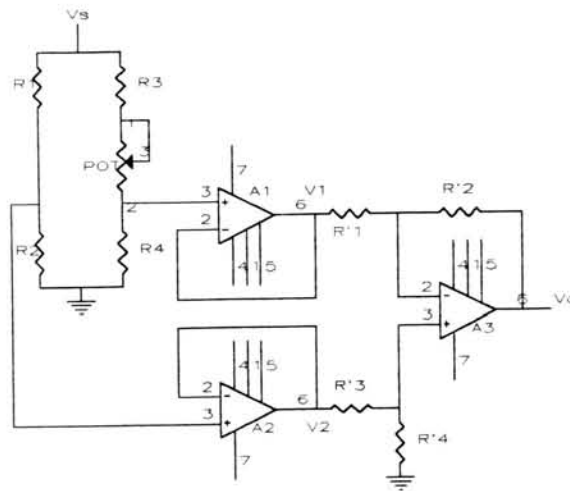


Fig.5.1

Qual será o valor da resistência R_v de modo a termos na saída $(V1-V2)=1V_{pp}$?

Nota : através da opção " Def ", na janela principal " Mode Windows " , pode redefinir vários valores para a resistência R_v de modo a garantir a condição pedida.

Meça o ganho $V_o / (V1 - V2)$.

Nota: existe a possibilidade de visualizar a tensão diferencial $(V2 - V1)$ através do MC3 . Para tal , selecciona-se na opção principal " Transient " , a opção " Monitor " , definindo o Type (V), Waveform (2 / 1), em que 1 e 2 representam nós do circuito, Scale Range (-2 / 2) e claro colocar a "cruz" em Plot .

5.2 Deduza a expressão do ganho $V_o / (V_1 - V_2)$

Nota: faça-o em relação a V_1 e V_2 pelo princípio da sobreposição. Repare que a relação entre os valores utilizados para as resistências levam a uma simplificação dessa expressão, calcule através dessa expressão o ganho esperado e compare com o valor obtido.

5.3 Justifique porque é que o amplificador toma o nome de diferencial.

6. AMPLIFICADOR DIFERENCIAL (MELHORADO):

6.1 O ficheiro que simula o Amplificador Diferencial (melhorado) é o L1_1_61.

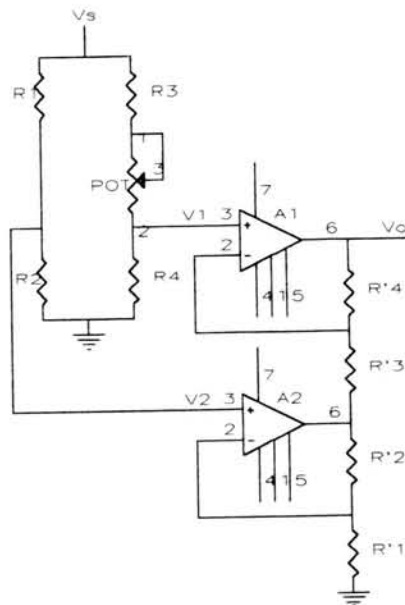


Fig. 6.1

O circuito é em tudo semelhante ao anterior, variando apenas a disposição dos amplificadores à saída (com a eliminação de um deles) .

Ajuste novamente a resistência R_v de modo a ter $(V_1 - V_2) = 1 \text{ Vpp}$.
Meça o valor de $V_o / (V_1 - V_2)$.

$$A_v = V_o / 1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

6.2 Deduza a expressão do ganho $V_o / (V_1 - V_2)$, da mesma forma que efectuada em 5.2

6.3 Justifique porque é que este amplificador toma o nome de diferencial (a razão de ser melhor que o amplificador apresentado no ponto 5 irá ser compreendida quando do estudo da realimentação) .

TRABALHO PROPOSTO Nº 2

CIRCUITOS LIMITADORES

OBJECTIVO:

- Análise do funcionamento de montagens básicas com díodos, nomeadamente, circuitos limitadores ("clipping circuits").
- Verificação experimental das características de transferência de circuitos com díodos estudados nas aulas teóricas.
- Alertar o aluno para o comportamento não ideal do díodo. Correção significativa desse comportamento com recurso a amplificadores operacionais.

1. LIMITADOR SÉRIE:

1.1 Admitindo que o díodo é ideal, desenhe a característica de transferência $V_o=f(V_i)$ do seguinte circuito:

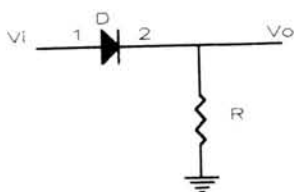


Fig. 1.1

1.2 Utilizando a característica anteriormente calculada, desenhe a resposta a uma onda sinusoidal de frequência $f = 1 \text{ KHz}$ de amplitude 8 Vpp .

1.3 Carregue o programa *MC3*, tal como é descrito no manual.

Para analisar o LIMITADOR SÉRIE basta seleccionar o ficheiro designado por L1_2_11.

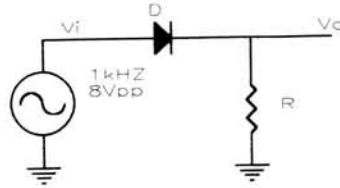


Fig. 1.3

A fonte de alimentação utilizada no MC3 é a mesma referida em 1.2

1.4 Descreva as diferenças encontradas entre a onda de saída visualizada e a resposta ideal calculada no ponto 1.1

1.5 Carregue agora o circuito designado por L1_2_16 que não é mais do que um circuito LIMITADOR SÉRIE COM AJUSTE DE NÍVEL DE LIMITAÇÃO.

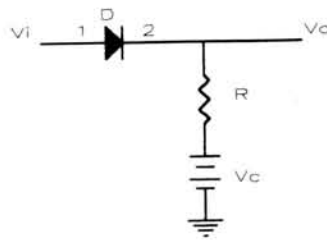


Fig. 1.5

A fonte de tensão apresentada neste esquema é uma fonte de tensão variável recorrendo a uma montagem com um amplificador operacional numa configuração já estudada.

1.6 Como prevê a variação da característica de transferência do circuito em função da variação da tensão V_c ?

1.7 Varie agora a tensão V_c , variando o valor da resistência R_v e observe as diversas formas de ondas representadas.

Para termos várias formas ondas simuladas em simultâneo, devemos seleccionar a opção Stepping (da opção principal Transient) que nos permite definir qual a variável que vai modificar o seu valor e o intervalo de variação de cada espaçamento.

2. LIMITADOR PARALELO COM AJUSTE DE NÍVEL DE LIMITAÇÃO

2.1 Para analisar um LIMITADOR PARALELO COM AJUSTE DE NÍVEL DE LIMITAÇÃO basta seleccionar o ficheiro designado por L1_2_21.

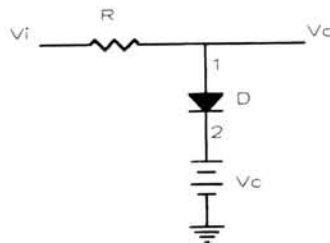


Fig. 2.1

2.2 Como prevê a variação da característica de transferência do circuito em função da variação da tensão V_c ?

2.3 Varie agora a tensão V_c , variando o valor da resistência R_v e observe as diversas ondas representadas.

Para termos a possibilidade de termos, várias ondas esboçadas em simultâneo, devemos seleccionar a opção Stepping (da opção principal Transient) que nos permite

definir a variável que vai modificar o seu valor e o intervalo de variação de cada espaçamento.

3. DUPLO LIMITADOR COM AJUSTE DE NÍVEIS DE LIMITAÇÃO.

3.1 Como prevê que vá variar a característica de transferência do circuito em função da variação da tensão V_c ?

3.2 Para analisar um DUPLO LIMITADOR COM AJUSTE DE NÍVEIS DE LIMITAÇÃO basta seleccionar o ficheiro designado por L1_2_31

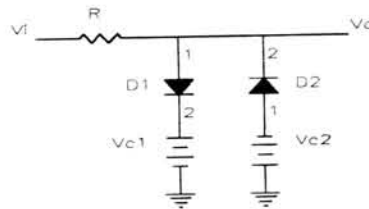


Fig. 3.2

Observe as ondas de saída.

4. APROXIMAÇÃO A DÍODOS IDEAIS:

Como se apercebeu ao longo deste trabalho, e principalmente no ponto 1.4, os circuitos testados não se comportam de uma forma rigorosamente igual ao previsto pela teoria. Como veremos mais tarde, os díodos não são dispositivos com comportamento ideal e daí o afastamento das características de transferência dos circuitos visualizados em relação as características determinadas teoricamente.

Uma forma de obtermos características reais muito próximas das ideais consiste na utilização de amplificadores operacionais conjuntamente com díodos.

Vamos de seguida analisar um destes circuitos.

4.1 Tente determinar, a característica de transferência do seguinte circuito, justificando convenientemente os cálculos efectuados.

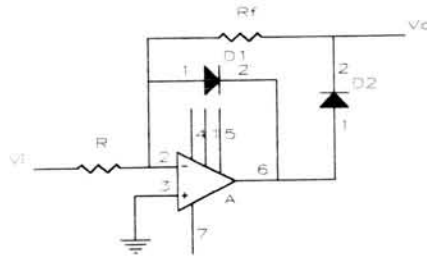


Fig. 4.1

4.2 Para analisar este circuito teremos de carregar o ficheiro L1_2_41.

4.3 Compare as ondas visualizadas, com as ondas dos circuitos apresentados anteriormente.

4.4 Repare que tal como no ponto 2 é possível variar o nível de limitação. Basta para tal seleccionar o ficheiro designado por L1_2_43.

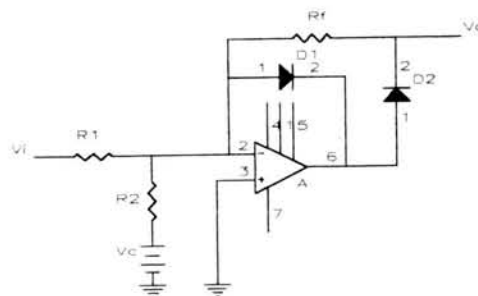


Fig. 4.4

Varie agora a tensão V_c , variando o valor da resistência R_v e observe as diversas ondas representadas.

Para podermos visualizar várias formas de onda em simultâneo, devemos seleccionar a opção Stepping (da opção principal Transient) para definir qual a variável que vai modificar o seu valor e o intervalo de variação de cada espaçamento.

TRABALHO PROPOSTO Nº 3

DÍODO DE JUNÇÃO

OBJECTIVO:

- Análise do funcionamento e determinação experimental directa da característica de transferência do Díodo de Junção
- Determinação do modelo equivalente do Díodo de Junção a partir da característica construída anteriormente e também por via computacional (*MC3*).

1.DETERMINAÇÃO DA CARACTERÍSTICA DE TRANSFERÊNCIA DE UM DÍODO NA ZONA DE CONDUÇÃO DIRECTA.

1.1 Carregue o programa *MC3*, tal como descrito no manual.

Para analisar esta característica seleccione o ficheiro designado por *L1_3_1*.

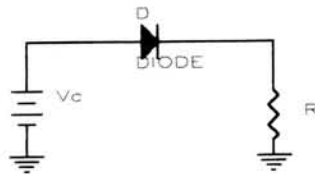


Fig. 1.1

Observe e registe os valores das ondas de entrada e de saída. Calcule a diferença entre elas:

$$(V_f = V_i - V_o).$$

Observe também a corrente que percorre a resistência, ou seja, $I_f = V_o / R$

Para tal, basta seleccionar na opção principal *Transiente*, a opção *Monitor*, definindo o *Type* (*I*), *Waveform* (*1 / 0*), *Scale Range* (*0.001 / 0*) e claro colocar

uma "cruz" em *Plot*. Pode-se assim visualizar a corrente que passa no diodo.

1.2 Com base nos resultados obtidos construa o gráfico $I_f = f(V_f)$, característica Volt-Ampere do diodo.

V_i (v)	V_o (v)	V_f (v)	I_f (A)

2. MODELO EQUIVALENTE:

Uma das aproximações possíveis ao funcionamento de um diodo real leva à utilização do seguinte modelo equivalente:

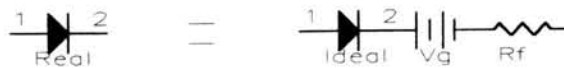


Fig. 2

2.1 Com base na característica calculada em 1.2 procure um valor determinado para V_g e para R_f .

$V_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ v}$ $R_f = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

2.2 Com o modelo calculado determine a característica do circuito.

2.3 Para visualizar a função de transferência, carregue o ficheiro L1_3_2 e compare-a com a sua função calculada.

Nota: a função de transferência pode ser visualizada através da selecção do modo DC na opção RUN da janela principal.

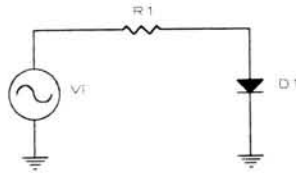


Fig. 2.3

3. A determinação dos elementos do modelo equivalente do Díodo de Junção pode ser feita de uma forma mais directa, sem necessidade de recorrer ao traçado da curva do díodo.

3.1 Carregue o ficheiro L1_3_3

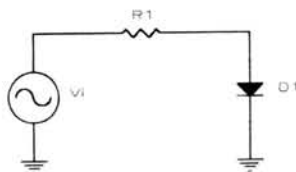
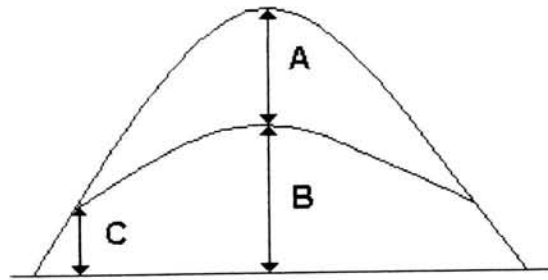


Fig. 3.1

A determinação de V_g e R_f é feita da seguinte forma:



A cota C está relacionado com V_g e as cotas A e B permitem calcular R_f .

TRABALHO PROPOSTO Nº 4

POLARIZAÇÃO DE TRANSISTORES

OBJECTIVOS :

- Dimensionamento e análise do funcionamento de 3 tipos de circuitos de polarização de transistores:
 - polarização directa
 - polarização com "Efeito de Miller"
 - auto polarização
- Medição do ponto de funcionamento estático (PFE).

MONTAGEM 1 : Ausência de polarização

1.1 Comece por carregar o ficheiro "L1_4_11", no programa de simulação de circuitos "Micro Cap III".

NOTA: para obter informações referentes aos componentes da montagem, "clique" com o rato no modo "INFO" sobre o componente em questão.

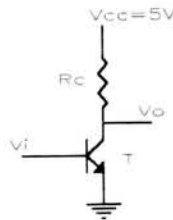


Fig. 1.1

Visualize as formas de onda de entrada e de saída. Comente o andamento de V_o .

1.2 Carregue o ficheiro "L1_4_12"

Repare que a amplitude do sinal de entrada foi aumentada para 1.5V. Visualize de novo as formas de onda e comente o andamento de V_o .

1.3 Que conclusões tira acerca da utilidade do transistor na montagem simulada?

MONTAGEM 2 : Polarização directa

2.1 Carregue o ficheiro L1_4_21.

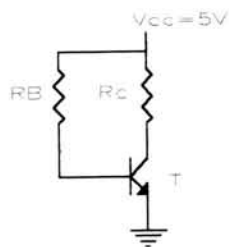


Fig. 2.1

Calcule o valor de R_B de modo que na saída exista uma tensão estática de 2.5V (suponha os valores de V_{BE} e de β_F típicos). Defina, no programa esse valor calculado da resistência de Base.

Nota: Para obter as características referentes a este transistor consulte a livreria do programa, bastando para isso, "clique" sobre o transistor com o rato no modo "Info".

$R_B =$ _____

2.2 Faça a simulação de funcionamento do circuito medindo as correntes de Base e de Colector. Calcule a relação entre elas, isto é, o ganho em corrente em regime estático β_F . Carregue o ficheiro "L1_4_22" que é exactamente igual ao anterior apenas difere no formato de saída ou seja neste ultimo os gráficos são relativos á corrente.

$$I_B = \text{_____ A} \quad I_C = \text{_____ A} \quad \beta_F = I_C/I_B = \text{_____}$$

MONTAGEM 3 : Polarização com " efeito de Miller "

3.1 Carregue o ficheiro L1_4_31.

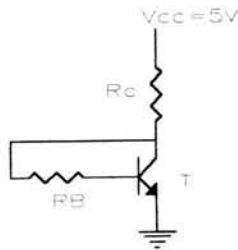


Fig. 3.1

Calcule o valor de R_B por forma que na saída exista uma tensão estática de 2.5V (suponha os valores de V_{BE} e de β_F típicos) e defina-o no programa.

$$R_B = \text{_____}$$

3.2 Execute a simulação e meça o PFE do transistor.

$I_B = \underline{\hspace{1cm}}$ A $I_C = \underline{\hspace{1cm}}$ A $\beta_F = \underline{\hspace{1cm}}$

MONTAGEM 4 : Auto polarização

4.1 Carregue o ficheiro L1_4_41.

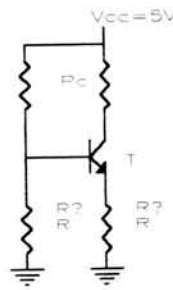


Fig. 4.1

Calcule e defina no programa os valores de R_E , R_1 e R_2 de modo que se obtenha $I_C=1\text{mA}$ e $V_E=0.25\text{V}$.

NOTA: suponha que a corrente em R_2 é 10 vezes maior que a de base e utilize os valores típicos de V_{BE} e de β_F .

4.2 Execute a simulação e meça o PFE do transistor, através do ficheiro L1_4_42.

$I_B = \underline{\hspace{1cm}}$ A $I_C = \underline{\hspace{1cm}}$ A $\beta_F = \underline{\hspace{1cm}}$

TRABALHO PROPOSTO Nº 5

AMPLIFICAÇÃO COM TRANSÍSTOR BIPOLAR

OBJECTIVOS:

- Análise de funcionamento, cálculo analítico e medição experimental do ganho de tensão, de montagens amplificadoras com transístores bipolares: emissor comum com resistência de emissor, emissor comum, colector comum e base comum.
- Dimensionamento do condensador de emissor da configuração de emissor comum com resistência de emissor.
- Familiarização do aluno com a utilização de transístores bipolares funcionando como amplificadores de sinal.

MONTAGEM1 : Emissor Comum com Resistência de Emissor

1.1 Comece por carregar o ficheiro L2_1_11.

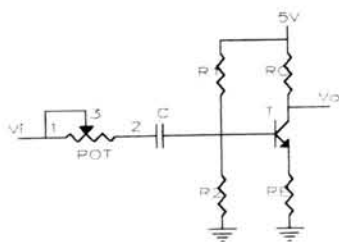


Fig.1.1

Calcule os valores de R_E , R_1 e R_2 por forma a obter $I_C=1\text{mA}$ e $V_E=0.25\text{V}$ (suponha que a corrente em R_2 deva ser 10 vezes maior que a de base, e utilize os valores típicos de V_{BE} e β . Redefina os valores de R_E , R_1 e R_2 no programa com os valores agora calculados, aproximando-os aos valores comerciais das resistências mais próximos.

$$\beta = \text{_____} \quad V_{BE} = \text{_____} \text{ V}$$

$$R_E = \text{_____} \Omega \quad R_1 = \text{_____} \Omega \quad R_2 = \text{_____} \Omega$$

1.2 Com o valor da resistência do potenciômetro nulo, "P"=0 e V_i sinusoidal, 5KHz, 100mVpp, execute o programa e meça o valor do ganho de tensão da montagem.

$$V_i = \text{_____} \text{ V} \quad V_o = \text{_____} \text{ V} \quad A_v = V_o/V_i = \text{_____}$$

1.3 Defina vários valores para a resistência do potenciômetro por forma a que o valor de V_o do ponto anterior caia para metade, executando diversas vezes o programa. O valor de "P" assim obtido será o valor de R_i .

$$R_i = \text{_____} \Omega$$

1.4 Chame o ficheiro L2_1_16

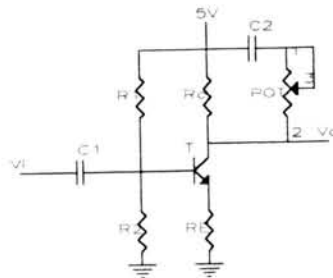


Fig. 1.6

Com o potenciômetro na resistência máxima, execute o programa e meça o valor de V_o .

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Redefina vários valores para a resistência do potenciômetro até que o valor de V_o caia para metade do valor inicial. O valor de "P" obtido, é o valor de R_o .

$$R_o = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

MONTAGEM 2 : Emissor Comum

2.1 Chame o ficheiro L2_1_22.

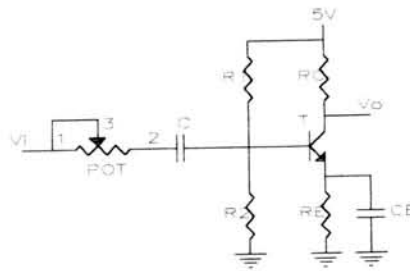


Fig. 2.1

2.2 Dimensione C_e por forma que $f_L=500\text{Hz}$ e determine o novo valor de C_1 (ver explicação no guião de laboratório).

$$C_e = \underline{\hspace{2cm}} \text{ F} \quad C_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ F}$$

2.3 Para evitar o corte e saturação do transistor vamos utilizar um sinal de entrada sinusoidal, frequência = 5 KHz e amplitude = 10 mVp. Execute o programa, meça o valor da tensão de saída e determine o ganho de tensão da montagem.

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad A_v = V_o/V_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V/V}$$

2.3 Defina vários valores para a resistência do potenciômetro por forma que a tensão de saída caia para metade do valor atrás medido. O valor de "P" obtido dará a resistência de entrada do circuito.

$$R_i = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

2.4 Chame o ficheiro L2_1_24

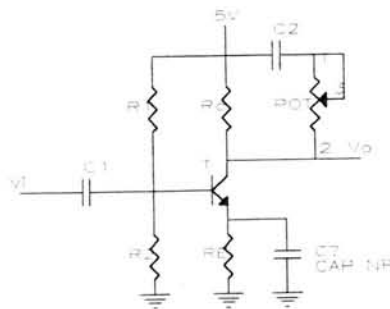


Fig. 2.4

Com o potenciômetro na resistência máxima (100 kΩ), execute o programa e anote o valor da tensão de saída.

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Defina novos valores para a resistência do potenciômetro por forma que o valor da tensão de saída caia para metade. O valor de "P" é a resistência de saída da montagem.

$$R_o = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

MONTAGEM 3 : Colector Comum (ou Seguidor de Emissor)

3.1 Chame o ficheiro L2_1_31

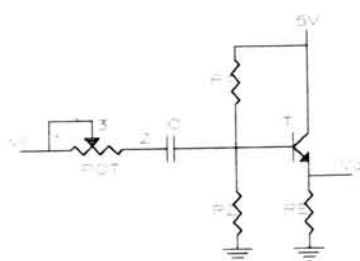


Fig. 3.1

Com o valor do potenciômetro em " P "=0, execute o programa e meça o ganho de tensão da montagem.

$$V_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad A_v = V_o/V_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V/V}$$

3.2 Redefina novos valores para " P " por forma que valor de tensão de entrada caia para metade. O valor encontrado para " P " será o valor da resistência de entrada do circuito.

$$R_i = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

3.3 Chame o ficheiro L2_1_35

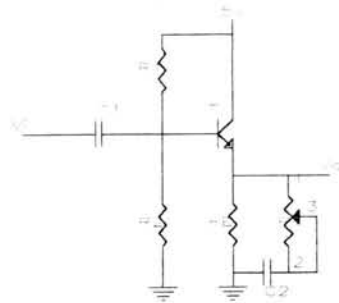


Fig. 3.1.5

Com o potenciômetro na posição máxima (1 K Ω). Execute o programa e anote o valor da tensão de saída.

$$V_o = \text{_____ V}$$

Introduza vários valores para "P" por forma que V_o caia para metade do valor inicial. O valor obtido será a resistência de saída da montagem.

$$R_o = \text{_____ } \Omega$$

MONTAGEM 4 : Base Comum

4.1 Chame o ficheiro L2_1_41

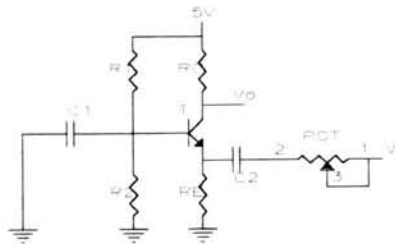


Fig. 4.1

Com o potenciômetro na resistência mínima e V_i com 10mVp, execute o programa e meça o ganho de tensão.

$$V_i = \text{_____ V} \quad V_o = \text{_____ V} \quad A_v = V_o/V_i = \text{_____ V/V}$$

4.2 Defina vários valores para "P" por forma que o valor de V_i caia para metade do inicial. O valor obtido dará o valor de R_i .

$$R_i = \text{_____ } \Omega$$

4.3 Chame o ficheiro L2_1_44

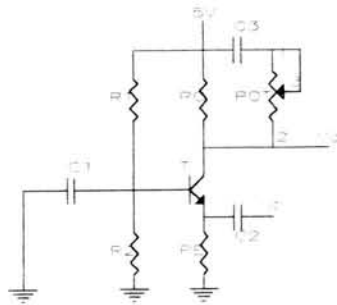


Fig. 4.1.4

Com o potenciômetro na posição máxima (100 K Ω), execute o programa e meça o valor da tensão de saída.

$$V_o = \text{_____ V}$$

Atribua diversos valores a "P" por forma que V_o caia para metade do valor inicial, o valor assim obtido será a resistência de saída.

$$R_o = \text{_____ } \Omega$$

TRABALHO PROPOSTO Nº 6

AMPLIFICAÇÃO USANDO O TRANSÍSTOR DE EFEITO DE CAMPO (JFET)

OBJECTIVOS:

- Familiarização com as características estáticas e dinâmicas dos transístores JFET.
- Utilização de transístores de efeito campo funcionando como amplificadores de sinal.
- Análise do funcionamento das montagens de fonte comum e dreno comum.

MONTAGEM 1 : Determinação da característica do JFET

1.1 Comece por chamar o ficheiro L2_2_11.

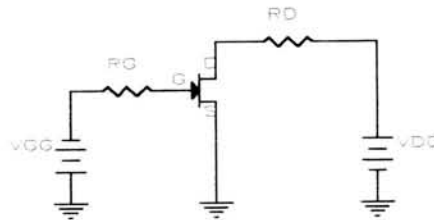


Fig. 1.1

Com $V_{GS}=0$ ($V_{GG}=0$), defina vários valores para V_{DS} (V_{DD}) de forma a obter as tensões indicadas na tabela 1. Meça e registre os valores da corrente I_D para cada valor da tensão V_{DS} .

Sempre que fizer alterações ao circuito tenha o cuidado de verificar se não alterou a numeração dos nós.

1.2 Repita o ponto anterior para os diversos valores de V_{GS} indicados na tabela. Repita até se atingir a tensão de V_{GS} (off) do transistor.

V_{gs}/V_{ds}	0	0.5	1.0	1.5	2	3	5	10	12
0									
-1									
-2									
-3									

MONTAGEM 2 : Polarização do JFET

2.1 Chame o ficheiro L2_2_21

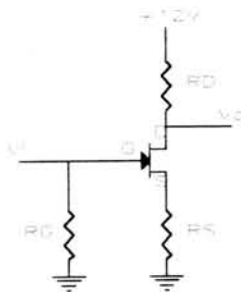


Fig. 2.1

Calcule os valores de R_D e R_S de forma a que se obtenha $I_D=3\text{mA}$ e $V_{DS}=6\text{V}$ (considere para o transistor que $V_p=-4.4\text{V}$ e $I_{DSS}=12\text{mA}$, seleccione os valores comerciais das resistências mais próximos dos determinados e defina-os no programa.

$R_D = \text{_____} \Omega \qquad R_S = \text{_____} \Omega$

2.2 Defina uma fonte de tensão contínua, variável por forma a poder preencher a seguinte tabela.

V_i (v)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
V_o (v)							

2.3 Substitua a fonte de sinal de entrada por uma sinusoidal, freq. = 200 Hz, amplitude = 200 mVp e calcule o ganho de tensão do circuito.

$$V_i = \text{_____ V} \quad V_o = \text{_____ V} \quad A_v = \text{_____ V/V}$$

MONTAGEM 3 : Amplificador em fonte comum com condensador de acoplamento da fonte

3.1 Carregue o ficheiro L2_2_31

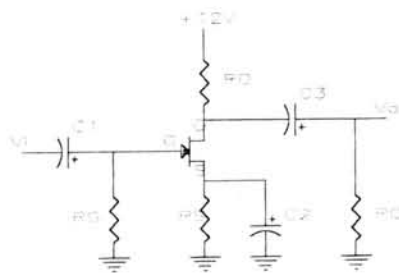


Fig. 3.1

Defina a máxima amplitude do sinal de entrada poderá apresentar, com

frequência de 1 KHz, por forma que não ocorra distorção no sinal de saída.

$V_o = \text{_____ V}$ $V_i = \text{_____ V}$

3.2 Altere o sinal de entrada por forma a obter metade da tensão de saída medida no ponto anterior.

$V_{o/2} = \text{_____ V}$ $V_i = \text{_____ V}$

3.3 Sem alterar a amplitude do sinal de entrada, varie a frequência de acordo com a tabela 3 registando os valores da tensão de saída. Calcule o ganho da montagem para cada caso.

F (Hz)	500	1K	10K	50K	100K	1M
V_o (v)						
A_v						

3.4 Defina de novo o valor da frequência do sinal de entrada com 1 KHz, e tire conclusões sobre o efeito da variação do valor de R_C no ganho de tensão do circuito (mantenha constante a amplitude do sinal de entrada).

R_C (ohm)	100	1K	4K7	10K	100K
V_o (v)					
A_v					

MONTAGEM 4 : Amplificador seguidor de fonte (dreno comum) com condensadores de acoplamento

4.1 Chame o ficheiro L2_2_41.

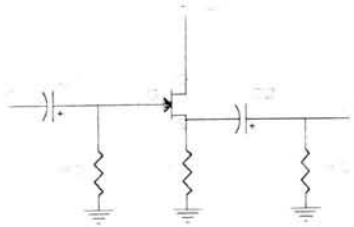


Fig. 4.1

Defina o valor máximo da amplitude do sinal de entrada para o qual não ocorre distorção do sinal de saída.

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4.2 Defina um novo valor para o sinal de entrada de forma a obter metade da tensão de saída medida no ponto anterior.

$$V_o/2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad V_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4.3 Não alterando a amplitude do sinal de entrada, varie a frequência de acordo com a tabela 5 registando os valores da tensão de saída. Calcule o ganho da montagem para cada caso.

F (Hz)	500	1K	10K	50K	100K	1M
V_o (v)						
A_v						

4.4 Defina de novo o valor da frequência do sinal de entrada com 1 KHz e tire conclusões sobre o efeito da variação da resistência R_C no ganho do circuito (

mantenha constante a amplitude do sinal de entrada).

Rc (ohm)	100	1K	4K7	10K	100K
Vo (v)					
Av					

TRABALHO PROPOSTO Nº 7

ESTUDO DO PAR DIFERENCIAL

OBJECTIVOS:

- Estudo experimental das características do Par Diferencial implementado com transistores discretos.
- Medições do ganho diferencial e do ganho em modo comum

MONTAGEM 1 : Par Diferencial com Resistência de Emissor

1.1 Chame o ficheiro L2_3_11.

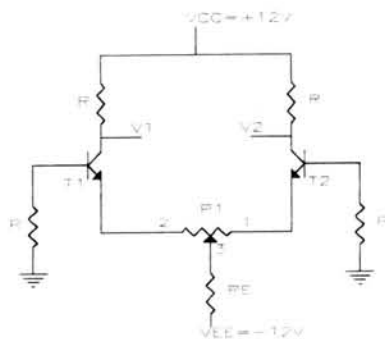


Fig. 1

Defina vários valores para a resistência do potenciômetro por forma a equilibrar o amplificador diferencial (igualdade das tensões de saída V1 e V2).

1.2 Meça os valores das tensões de colector, base e emissor para cada um dos transistores e registe as leituras na tabela 1.

Transistores	Tensão Colector	Tensão Base	Tensão Emissor
T1			
T2			

MONTAGEM 2 : Cálculo do ganho de modo comum (A_c)

2.1 Carregue o ficheiro L2_3_21

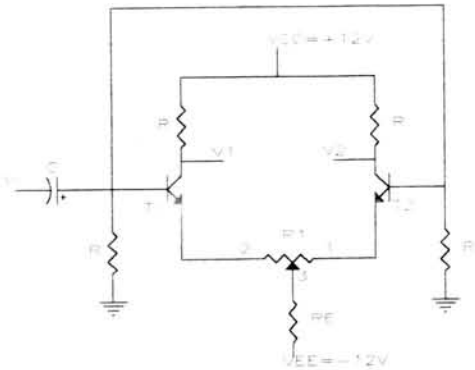


Fig. 2.1

A frequência da fonte deverá ser de 10 KHz e a amplitude deve ser tal que a saída seja máxima sem ocorrer distorção.

Registe os valores de pico da tensão de entrada e da tensão em cada uma das saídas (colectores de T1 e T2) na tabela 2.

	MODO COMUM				MODO DIFERENCIAL			
RE	Vi	V1	V2	Ac	Vi	Vod	Ad	CMRR
15K								
22K								
30K								

2.2 Repita o ponto anterior para os valores das resistências de emissor indicadas na tabela 2 e registre os resultados.

BIBLIOGRAFIA

«Jullman and Grabel, "Microelectronics", 2nd edition, 1987.

MONTAGEM 3 : Cálculo do ganho diferencial (A_d)

«Leach, "Discrete and Integrated Circuit Electronics", Saunders, 1992.

3.1 Carregue o ficheiro L2_3_31

«Guiões dos Trabalhos de Electrónica para as Disciplinas de Laboratórios 1 e Laboratórios 2

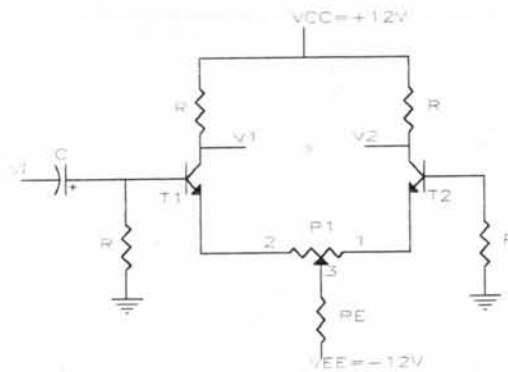


Fig. 3.1

A frequência da fonte deverá ser 10 KHz e uma amplitude tal que a saída seja máxima sem ocorrer distorção.

3.2 Meça a tensão de entrada, a tensão diferencial de saída diferencial de saída ($V_{od}=V_2-V_1$) e calcule o ganho de tensão diferencial. Registe estes valores na tabela 2.

3.4 Repita o ponto anterior para os restantes valores da resistência de emissor indicadas na tabela 2 e registre os resultados.

BIBLIOGRAFIA

- Milman and Grabel, "Microelectronics", 2nd edition, 1987
- Sedra and Smith, "Microelectronic Circuits", 3rd edition, Sounders, 1991
- Leach, "Discrete and Integrated Circuit Electronics", Sounders, 1992
- Guiões dos Trabalhos de Electrónica para as Disciplinas de Laboratórios 1 e Laboratórios 2



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000101643