

Simulação de Circuitos Analógicos e Digitais



Versão Estudante 9.1



PROF. RODRIGO CUTRI

PROIBIDA A REPRODUÇÃO POR QUALQUER MEIO SEM A PRÉVIA AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DO AUTOR RESPEITE O DIREITO AUTORAL CÓPIA ILEGAL É CRIME

DEDICATÓRIA

À minha família e a minha querida namorada pela dedicação e apoio constantes

AGRADECIMENTOS

Aos amigos e professores Mário Pagliaricci e Nilson de Lucca pelo incentivo e orientações sem as quais esta obra não estaria concluída . À Escola de Engenharia Mauá e seus alunos que nos inspiram em buscar cada vez mais o aperfeiçoamento e a busca em divulgar o conhecimento

"Só o conhecimento traz o poder" (Freud)

OBJETIVOS

esta obra tem por objetivos introduzir as simulações de circuitos analógicos e digitais através do software PSpice, servindo como guia passo-à-passo para as principais análises e componentes utilizados num curso de Engenharia Elétrica

SUGESTÕES E COMENTÁRIOS : rodrigocutri@hotmail.com

SITE DO AUTOR :

WWW.ANGELFIRE.COM/PRO/PSPICE

DISTRIBUIÇÃO :

Livraria Esquadro Ltda Praça Mauá , 01 – Bairro Mauá – Cep 09580.500 São Caetano do Sul - São Paulo – Brasil Tel . 4232.1447 – Fax . 4232.1443 liv.esquadro@ig.com.br

TREINAMENTOS E DISTRIBUIÇÃO DO SOFTWARE PSPICE :

Anacom Software e Hardware Ltda.

Rua Nazaret, 807 – Bairro Barcelona São Caetano do Sul, SP Brasil 09551-200 Fone (0xx) 11 3422-4200 Fax (0xx) 11 3422-4242 E-mail: <u>treinamento@anacom.com.br</u> <u>www.anacom.com.br</u>

ÍNDICE

PSpice	5
Aviso e Termo de Responsabilidade	6
1.Desenhando um esquema de um circuito elétrico 1.1 Simulando o circuito	7 .16
2. DC SWEEP (Variando parâmetros p/ obter a Curva de Transferência)	. 20
 Teorema da Superposição e Proporcionalidade 3.1 A função de transferência (Transfer Function)	. 32 . 32 . 35
 4. AC SWEEP (Variando a freqüência) 4.1 Gráfico em função da frequência 4.2 Gráfico da Análise AC na freqüência de 1kHz à 10 kHz 4.3 Gráfico de Bode 	.37 .37 .41 .45
4.4 Análise do Ganho de um Amplificador 4.5 Ganho do Amplificador Operacional	.48
 4.6 Variação Automática do Ganho do Amplificador Operacional 4.6.1 Análise Paramétrica 4.7 Indutância Mútua 	.50 .53 .53 .58
 5. TRANSIENT (Análise Transitória) 5.1 Circuito com capacitor com condições iniciais 5.2 Resposta Transitória do Indutor	.61 .69 .72 .76 .82 .89
 6. Digital Simulations (Simulação com Circuitos Digitais) 6.1 Alimentação dos Sinais Digitais 6.11 Fontes de Sinais Digitais 6.1.2 Digital Clock (Clock Digital) 6.2 Utilizando ao mesmo tempo componentes analógicos e digitais. 6.2.1 Contador 6.3 Observações 	.93 .93 .93 101 104 108 112
 7. Monte Carlo Analyses (Análise do Pior Caso) 7.1 Análise do Pior no Divisor de Tensão	113 113 118

PSpice

O pacote Microsim é um software de simulação desenvolvido pela Microsim Corporation. Ele é composto pelos principais programas:

.Microsim Schematics: onde é feita a edição do circuito;

.Microsim PSpice: responsável pela compilação e interpretação;

.Microsim Probe: visualização gráfica dos resultados obtidos;

.Microsim Stimulus Editor: edição dos estímulos de entrada

Basicamente os arquivos são gerenciados pelo **Design Manager** que é automaticamente aberto quando qualquer outro programa é aberto.



Simuladores de circuitos são poderosas ferramentas de software que permitem a análise de sinais elétricos, sem a necessidade da implementação física dos mesmos.

Possibilitam uma análise em geral mais rápida, segura e barata do que a montagem física do circuito.

Particularmente para o projeto de circuitos integrados, a simulação é uma ferramenta fundamental, pois a implementação física do chip é um processo caro e demorado. Um circuito integrado só é fisicamente construído quando todas as simulações elétricas do circuito mostram o resultado desejado.

A versão utilizada do PSPICE é de propriedade da CADENCE Design Systems, sendo que a versão utilizada neste apostila é a 9.1 (versão estudante).

Aviso e Termo de Responsabilidade

Esta apostila é escrita com autorização de CADENCE Design Systems .

PSpice é uma marca registrada de CADENCE Design Systems

Windows é uma marca registrada de Microsoft Corporation

O autor perante à qualquer pessoa ou sociedade não é responsável com respeito à danos ou perdas causadas pelas informações contidas nesta apostila ou pelo uso de disquetes , cds ou programas que possam acompanhá-la .

1. Desenhando um esquema de um circuito elétrico

Para iniciar devemos ir ao menu de programas e procurar pela pasta PSpice > Schematics



A seguinte tela se abrirá :

:



Tela do Microsim Schematics e seus ícones

Esta tela também é chamada de folha e é nela que iremos desenhar nossos circuitos .

Instruções Gerais :

- O Microsim PSpice não distingue entre caracteres maiúsculos e minúsculos.
- O nome de um campo deve começar com uma letra, mas os caracteres que se seguem podem ser letras, números ou: "\$", "_", "*" ou "%". Nomes podem ter 131 caracteres.

- O número de um campo pode ser inteiro ou real. Números inteiros e reais podem ser seguidos por um expoente inteiro(7E-6, 2.136e3) ou um fator de escala simbólico(7U, 2.136K). Veja a tabela dos fatores de escala:

Símbolo	Forma exponencial
F	1E-15
Р	1E-12
N	1E-9
U	1E-6
М	1E-3
K	1E3
MEG	1E6
G	1E9
Т	1E12

- Letras imediatamente seguindo um número que não são fatores de escala são ignoradas, isso vale também para letras imediatamente seguindo um fator de escala. Por exemplo, 10, 10V, 10Hz e 10A representam o mesmo número. O mesmo pode ser dito para 2.5M, 2.5MA, 2.5MSec e 2.5MOhms.

Vamos agora inserir os componentes que iremos utilizar :

1) Clique no menu **Draw > Get New Part**



A seguinte janela aparecerá:



Caso você queira selecionar os componentes e vê-los, clique em Advanced.

A seguinte janela se abrirá:



Para selecionar os componentes pelas bibliotecas, clique em Libraries. A seguinte janela aparecerá:





Para definir os componentes a serem utilizados siga o exemplo :

Em Part Name digite R , você observará a figura de um resistor , a seguir pressione o botão *PLACE* , você agora poderá colocar o componente sobre sua folha apenas clicando com o mouse .

Insira agora os outros componentes que usaremos digitando :

- EGND para terra ;
- VDC para fonte de tensão contínua ;

É obrigatório a presença de um nó "zero", que será o nó de referência (usualmente o nó de "terra" do circuito), ao qual serão referenciadas todas as tensões calculadas, o "terra" deve sempre ser fixado no circuito.

À seguir pressione o botão CLOSE para sair.

Você deverá ter a seguinte tela agora :

🛃 P	Spic	e So	:hema	tics -	[*So	:hem	atic1	l p.	1]																				
1	<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av	vigate	. ⊻ie	w <u>I</u>	<u>O</u> ptio	ins y	<u>A</u> naly	sis	Tool	s <u>M</u>	larke	rs j	<u>W</u> ind	ow	<u>H</u> elp											
D	2		9	Å	Ēð	ß	<mark>ا</mark> م	€×1	<u>}</u>		<u></u>	. 🔍	Q)(2			9	VD	C					•		ø		
E	1	No	ne	•	ø	P	V	7	I	<u>I</u> }+																			
7									R1										-										
	Ľ								~~	v—	- ·						1				-								
0	Ŀ		• •		•	1.3	/1	-	1k				• •				ZC	0	М					• •		-			
C	Ľ			0\	/ 🗄	<u> </u>															DE	SE	ΞN	H/	٩R	LI	NF	IAS	5 (
₽₿	Ŀ					T .					· 1																		
	Ŀ					Ι.					· - <u>+</u>		• •		•				•				•	• •	•	-			
	l.	• •								•																			

Para melhor visualização utilize os botões de **Zoom**.

Vamos agora desenhar as linhas (wires) que ligarão nosso circuito , para isso clique no botão **Desenhar Linhas (Draw Wire)**, o cursor agora passa a ter a forma de um lápis permitindo que você desenhe as linhas clicando com o mouse no ponto inicial e final da ligação , para sair desta função basta pressionar o lado direito de seu mouse.

Você deve ter agora o seguinte circuito :



Para imprimir o esquema ou gráfico, selecione o menu File > Print

Para rotacionar os componentes , selecione o componente e pressione **Control+R** , ou menu **Edit > Rotate**

Vamos agora explicitar os valores dos componentes :

 Clique 2 vezes sobre o texto **0V** uma caixa de diálogo se abrirá permitindo que você altere o valor da fonte de tensão DC, mude o valor para 10 V e pressione **OK** para confirmar.

Set Att	×		
	C)C	
10			
	<u>0</u> K	<u>C</u> ancel	

2) Vamos agora definir o valor do resistor, clique 2 vezes sobre o texto 1k (valor padrão) uma caixa de diálogo se abrirá permitindo que você altere o valor da resistência, mude o valor para 100 Ohms e pressione OK para confirmar.



Uma outra maneira de ajustar os valores

dos componentes é clicando duas vezes sobre estes.

Por exemplo, ao clicarmos duas vezes sobre um resistor, a seguinte janela aparece:

	Você digita aq	ui as alterações do componente
	R1 PartName: R	×
	Name Value Value Value	<u>Save Attr</u>
Características do componente	 TEMPLATE=R^@REFDES %1 %2 ?TOLERANCE/R^@REF REFDES=R1 VALUE=1k PART=R TOLERANCE= PKGTYPE=RC05 GATE= 	Change Display
	 ✓ Include Non-changeable Attributes ✓ Include System-defined Attributes 	<u>O</u> K Cancel

Selecione cada característica do componente e faça a alteração. Ao alterar os valores clique em **Save Attr**. Ao término, clique em **OK**.

Para salvar o esquema desenhado vá ao menu **Arquivo (Files)**, **Salvar Como (Save As)**:

1	PSpi	ce Sc	:hemat	ics - [*Scl	nemati	c1_p.1 (:	stale)
1	<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> avigate	⊻iew	<u>O</u> ptions	Analy
Г	1	<u>v</u> ew					
_	<u>(</u>	<u>]</u> pen					
	<u>[</u>	lose					<u>I</u>)
	Ē	Export.					_
F	3	<u>ave</u>				Ctrl+S	
븡	9	Save <u>A</u>	<u>i</u> s				

Monte agora o seguinte circuito :



Utilize os componentes VDC, R, EGND e BUBBLE.

clique 2 vezes sobre o componente Bubble , uma caixa de diálogo se abrirá permitindo que você altere o seu texto , ele servirá como um marco de referência para medirmos o valor da tensão nos resistores (todas as tensões são sempre medidas tendo como referência o terminal terra).

1.1 Simulando o circuito

Vamos rodar agora a simulação do programa afim de sabermos qual o valor das tensões nas referências (bubbles) , pressione o botão **Simulate** .

🛃 PS p	ice So	:hemat	ics -
😫 <u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av
		9	*
		ne	•
	Simul	late	· ·

A seguinte tela se abrirá :

E File Edit View Simulation Irace Blot Tools Window Help 語 ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	🔛 So	chematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo - [Text1]	_ 8 ×
▲ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●		<u>File Edit View Simulation Irace Plot Tools Window H</u> elp 🎫	_ 8 ×
▲ S @ S Ⅲ 脏 栞目 凶 汤 咿 \v 求 水 并 择 萍 萍 萌 氓 征 欠 ● S @ S @ S Ⅲ 脏 栞 目 凶 汤 咿 \v 求 水 并 译 亦 萍 萌 氓 征 欠 ● T ext1	1	 ・ ・ ・	
Image: Second secon	<u>.</u>	○○○ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	
Image: Second secon	<u></u>		
Image: Second secon	33		
Text1	đ		
Image: Second			
Text1 No recognized product configuration selected.			
No recognized product configuration selected.			
No recognized product configuration selected.			
4 *C:\Meus documentos\Schematic1.sch	×	No recognized product configuration selected. * C:\Meus documentos\Schematic1.sch	
Reading and checking circuit Circuit read in and checked, no errors		Reading and checking circuit Circuit read in and checked, no errors	
Calculating bias point Bias point calculated		Calculating bias point Bias point calculated	
Simulation complete		Simulation complete	
	Eor Ha		
	i se la	niciae 🖉 🖄 🐽 » 📾 Peni 🦗 Miman 🖗 PSni 🖬 PSni 🖬 PSni 🕼 PSni 🔤 PSni 🔤 PSni 🔤 PSni	

Pressione o botão ao lado :



Aparecerá então o arquivo contendo os valores das tensões simuladas do circuito :

* C:\Meus documentos\Schematic1.sch

**** CIRCUIT DESCRIPTION

* Schematics Version 9.1 - Web Update 1 * Sat Aug 10 02:04:55 2002

** Analysis setup ** .OP

* From [PSPICE NETLIST] section of PSpiceev.ini: .lib "nom.lib"

.INC "Schematic1.net"

**** INCLUDING Schematic1.net **** * Schematics Netlist *

V_V1 \$N_0001 0 100 R_R1 \$N_0001 VA 1K R_R4 VB VA 2K R_R5 VB 0 2K R_R3 0 VA 4K

**** RESUMING Schematic1.cir ****

.INC "Schematic1.als"

**** INCLUDING Schematic1.als **** * Schematics Aliases *

.ALIASES V_V1 V1(+=\$N_0001 -=0) R_R1 R1(1=\$N_0001 2=VA) R_R4 R4(1=VB 2=VA) R_R5 R5(1=VB 2=0) R_R3 R3(1=0 2=VA) ___(VA=VA) ___(VB=VB) .ENDALIASES

**** RESUMING Schematic1.cir **** .probe

.END

* C:\Meus documentos\Schematic1.sch

**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

(VA) 66.6670 (VB) 33.3330 (\$N_0001) 100.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS NAME CURRENT

V_V1 -3.333E-02

TOTAL POWER DISSIPATION 3.33E+00 WATTS

* C:\Meus documentos\Schematic1.sch

**** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .01

1.2 EXERCÍCIOS

1) Determine agora a tensão VA , VB e VC do circuito à seguir : (Gerador de Corrente -> IDC)



2) Determine agora a tensão VA, VB e VC do circuito à seguir :



Uma outra maneira de se ver os resultados é através dos botões V (Tensão) e I (Corrente) :

PSpice Sche	matics - [*Sc	hematic1 p.1]
📮 File Edit I	Draw Navigate	e View Optior	ns Analysis 1
	🕘 X 🖻		<u>+</u> ® &
None	e 🔽 🖉	<u>v</u> <u>v</u>	I

2. DC SWEEP (Variando parâmetros p/ obter a Curva de Transferência)

Até agora para simularmos o circuito com diferentes valores, deveríamos mudar o valor desejado e rodar novamente quantas vezes fossem as analises desejadas, vamos aprender agora como simular o circuito para diferentes valores numa mesma simulação.

Vamos desenhar o circuito abaixo :



A pergunta é : como varia a tensão Vo quando variamos V1. Vamos abrir o menu Analysis > Setup.

N.	PSpie	ce So	:hema	tics	- [*Scl	nemati	c1_p.1 (:	stale)]				
1	<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> a	vigate	⊻iew	<u>O</u> ptions	<u>A</u> nalysis	<u>T</u> ools	<u>M</u> arkers	$\underline{W} indow$	<u>H</u> e
Ľ	1 🖻		8	Å	Ē	2 🖌		<u>E</u> lecti <u>C</u> reat	ical Rul e Netlist	e Check		
		No	one	•	P	<u>_</u>	\mathbf{V} \mathbb{Z} :	E dit S	itimuli			
	1							Se <u>t</u> up)			
<u> </u>	1.							<u>L</u> ibrar	y and In	clude Files		
								<u>S</u> imul	ate		F11	
0								Pro <u>b</u> e	Setup.			_
G	1							Runf	^o īope		F12	2
₽₿	1 ·							Exam	ine <u>N</u> etli	ist		
A	1							Exam	ine <u>O</u> utp	but		
	1.							<u>D</u> ispla	ay Resul	ts on Sche	ematic	•

a seguinte tela se abrirá :

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
Γ	<u>A</u> C Sweep		Options	<u>C</u> lose
Γ	Load Bias Point		<u>P</u> arametric	
	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
Γ	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
•	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
	Digital Setup			

Vamos pressionar o botão DC Sweep , a caixa de diálogo aparecerá , preencha-a conforme o indicado e confirme :

DC Sweep		×
Swept Var. Type	Manag	D/4
Oltage Source	<u>N</u> ame:	IA1
C <u>T</u> emperature	Model Tuper	
C <u>C</u> urrent Source	моден туре.	
O Model Parameter	Mod <u>e</u> l Name:	
C <u>G</u> lobal Parameter	Param. Name:	
Sweep Type	Start Value:	0
<u>Linear</u>	End Maker	
C <u>O</u> ctave	End V <u>a</u> lue:	29
C <u>D</u> ecade	Increment:	1
⊂ Value Li <u>s</u> t	Val <u>u</u> es:	
Nested S <u>w</u> eep	OK	Cancel

Acabamos de dizer ao programa para simular a variação de uma fonte de tensão (Voltage Source), indicamos qual fonte sofrerá a variação (Name : V1), escolhemos o tipo de variação (Linear) e definimos os valores inicial, final e o incremento da variação.

A seguir feche a tela Analysis Setup, verificando que agora o item DC Sweep está selecionado.

Vamos rodar agora a simulação do programa afim de sabermos qual o valor da tensão em Vo em função de V1 , pressione o botão **Simulate** .



A seguinte tela se abrirá :

👹 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo - [Schematic1 (active)]								
	Eile Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help R							
1	1 1 ▼ 🝃 🍃 🗐 🎒 🕺 ½ 🖻 💼 🗠 🗠 🛛 Schematic1 🔹 🕨 🗊							
<u> </u>						1		
۶								
8								
			1					
	ØV	5↓	1 OV	15V	200	25♥		
			U_(1				
	🧟 Schematic1 (
픠	Reading and checking circui	t 🔺						
	Circuit read in and checked, DC Analysis	no errors						
	DC Analysis finished Calculating bias point		Start = 0	V_V1 = 25	End = 25			
	Bias point calculated							
Analysis & Watch & Devices /								
For He	For Help, press F1 V_V1 = 25 100%							
🚮 In	🏨 Iniciar 🛛 🌛 🧭 » 🦞 imag 🚱 PSpi 🔯 PSpi 🔯 PSpi 👘 Pspi 🔛 PSpi 🐺 Sc 🔀 🗘 🕰 💑 02:58							

Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo) e confirme :

Add Traces		
Simulation Output Variables		Functions or Macros
×		Analog Operators and Functions
* I(R1) I(R2) I(Rx) I(Ry) I(V1) V(\$N_00001) V(\$N_00002) V(0) V(R1:1) V(R2:1) V(R2:1) V(Rx:1) V(Ry:1) V(Ry:2) V(V1:+) V(V1:+) V(V1:+) V(1(R1) V1(R1) V1(R2) V1(R1) V1(R2) V1(R1) V1(R2) V1(R1) V1(R2) V1(R1) V1(R2) V1(P(1))	Analog Digital Digital Voltages Currents Nojse (V4/Hz) Alias Names Dubcircuit Nodes UD000000000000000000000000000000000000	Analog Operators and Functions
V2(R1)		IMAX()
Irace Expression: V(Vo)		<u> </u>



Teremos então o gráfico da variação de Vo em função de V1 :

Para inserir um novo gráfico no mesmo eixo repita o procedimento (apenas tenha cuidado para não colocar gráficos com valores máximos muito distantes ou você terá problemas de escala para visualização). Você também pode plotar o gráfico de funções utilizando as variáveis de tensão e corrente , bastando escrever a expressão na tela Add Trace.

2.1 EXERCÍCIO



Plote as tensões Va, Vb e Vc quando a fonte DC varia de 1 à 20 V.

2.2 Curva Característica do Diodo

Componentes : Resistor (R) , Fonte Dc (Vdc) , marcador (Bubble) , Diodo (D1N4148) , Terra (EGND)

Vamos variar a fonte Dc de -15 V à 15 V, modo Linear, incremento 0.1.



Vamos plotar a corrente I(D1).



Vamos agora definir o eixo X como sendo a tensão Vd .

Entre no menu Plot > Axis Settings



Agora pressione o botão Axis Variable (para definirmos qual variável estará representada no eixo x) :

Axis Settings	×
XAvis VALS [Vest[Vest]	
– Data Range	Use Data
Auto Bange	⊙ <u>F</u> ull
C User Defined	C <u>R</u> estricted (analog)
-15V to 15V	-15V to 15V
Scale	Processing Options
• Linear	Fourjer
C Log	E Performance Analysis
Axis Va	riable
OK Cancel <u>S</u> ave A	s Default <u>R</u> eset Defaults Help

Vamos escolher V(Vd) e confimar Ok em seguida até retornarmos a tela do gráfico :



2.3 Curva Característica do Diodo Zener

Plote a curva característica do Diodo Zener do circuito abaixo variando V1 de -15 V à 15 V $\,$:

Componentes : Fonte de tensão (Vdc) , Resistor (R) , marcador (Bubble) , Diodo Zener , Terra (EGND)



Eixo x : V(Vz) Eixo y : -I(R1) (para indicar a corrente no sentido positivo da tensão de referência)



2.4 Circuito com Diodos

Plote a curva correspondente à Vs variando a tensão V1 de -10 V à 20 V :

Componentes : Fonte de tensão (Vdc) , Resistor $\,(R)$, marcador (Bubble) , Diodo , Terra (EGND)



2.5 Curva característica do Transistor



Componentes : Fonte de tensão (VSRC) , Fonte de corrente (ISRC) , Transistor (Q2N222) , Terra (EGND)

Monte o circuito ao lado e configure o **Setup** do **Analysis** conforme indicado abaixo (não se esqueça de ativa o **Nested Sweep**, afim de variar a corrente simultaneamente com a tensão).

DC Sweep	×	DC Nested Sweep	×
Swept Var. Type	<u>N</u> ame: V1	Swept Var. Type Voltage Sourc	Name: 11
 <u>I</u>emperature <u>C</u>urrent Source <u>M</u>odel Parameter <u>Global Parameter</u> 	Model Type:	C Temperature C Current Source C Model Paramete C Global Parameter	Model Type: Model Name: Param. Name:
Sweep Type © Linear © Octave © Decade © Value Li <u>s</u> t Nested Sweep	Start Value: 0 End Value: 10 Increment: 0.1 Values: 0 OK Cancel	Sweep Type C Linear C Octave C Decad C Value List Main Sweep OK	Start Value: 0 End Value: 10m Increment: 2m Values: Values: Cancel

Quando finalizada a simulação voltaremos ao **Probe**, para visualizarmos a curva basta entrar no **Add Trace** > e selecionar IC(Q1), ou seja, corrente de coletor do transistor.

Para desenharmos também a reta de carga , basta acrescentarmos uma nova curva Add Trace > , vamos escrever a expressão da reta de carga (V1_maximo – V_V1)/Rc , ou seja , definimos um valor para V1_Maximo e um valor para Rc (resistor do coletor) , no exemplo fizemos : $(10-V_V1)/25$.



3. Teorema da Superposição e Proporcionalidade

3.1 A função de transferência (Transfer Function)

O comando **Transfer Function** nos diz qual a relação entre uma tensão de saída e uma tensão de entrada , basta ativar a função , definir as variáveis de entrada e saída e simular **Simulate** , a função de transferência estará mostrada no arquivo de saída .



Analysis Setup							
Enabled		Enabled					
	<u>A</u> C Sweep		Options	<u>C</u> lose			
Γ	Load Bias Point		<u>P</u> arametric				
	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity				
	<u>D</u> C Sweep		T <u>emperature</u>				
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	\supset			
1	<u>B</u> ias Point Detail		<u></u> rensient				
	Digital Setup						

A variável de saída deve ser colocada da forma : V(variável_saída).

Transfer Function 🛛 🗙					
<u>O</u> utput Variable:	V(Vs)				
Input Source:	V1				
ОК	Cancel				



**** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$V(Vs)/V_V1 = 5.000E-01$

INPUT RESISTANCE AT $V_V1 = 2.000E+03$

OUTPUT RESISTANCE AT V(Vs) = 5.000E+02

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .18

Ou seja , Vs = k1*V1 = 0.5*V1 .

EXERCÍCIOS

Vamos aplicar o Teorema da Proporcionalidade e da Superposição afim de descobrir quais as relações de V1, V2 e I1 com a tensão de saída Vs, para isso vamos montar o circuito a seguir e determinar as constantes k1, k2 e k3 aplicando o recurso da Função de Transferência (Transfer Function).



Não se esqueça que para respeitar o teorema temos que zerar as outras fontes que não estão sendo analisadas .

 $V_s = k1*V1 + k2*V2 + k3*I1$

k1	
k2	
k3	

3.2 Medindo a resistência equivalente do circuito

Imagine que nos quiséssemos saber qual a resistência equivalente entre dois ptos quaisquer de um circuito , para isso basta puxarmos dois "fios" daqueles pontos , colocar uma referência (**bubble** Vs) afim de sabermos o valor da tensão naquele ponto e ligarmos um gerador de corrente , aplicamos então o **DC Sweep** fazendo variar a corrente de 0 até um valor qualquer , por exemplo 10 , simulamos e plotamos o gráfico de V(Vs)/I_I1 onde Vs é a tensão no bubble e I1 a corrente do gerador , ao analisarmos o gráfico , a leitura do valor constante é a leitura do valor da resistência equivalente naquele pto do circuito . (Lembre-se que para medirmos resistência devemos desligar (zerar) qualquer outra fonte de tensão ou corrente no circuito , o método de leitura aqui empregado serve apenas para circuitos com resistência de circuitos com indutores e capacitores utilize um gerador de corrente alternada com fase zero no lugar do gerador de corrente contínua) .



Para sabermos o valor exato , vá ao menu Trace > Cursor > Display , uma janelinha se abrirá , clique com o cursor esquerdo do mouse sobre a curva , você terá agora a variação númerica caminhando com o cursor sobre a curva .

👺 Schematic3 - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 - [Schematic3 (active)]						
🛛 🛃 E🖲	e <u>E</u> dit <u>∖</u>	/iew	Simulation	<u>Trace</u> <u>P</u> lot T <u>o</u> ols <u>W</u> indow <u>H</u> el	P 🛃	_
巻 ▼	- 🔁 🕻	¥ 🗉	6	Add Trace Delete All Traces	Ins Ctrl+Del	► 11
	R 🙉 🤇	& [■ 🗄 🗱	<u>U</u> ndelete Traces	Ctrl+U	2. 计计算机 资产
9	1.	өк⊤		<u>Frr</u> Fourier Performance Analysis		
¶ 2≣			::::/	<u>C</u> ursor	•	<mark>.</mark> <mark>⊉</mark> isplay
	6	5.4		<u>M</u> acros <u>G</u> oal Functions		Treeze X Eeak
			/	$\overline{\mathcal{Y}_0}$ Eval Goal Function		¥ Irough



Requivalente = 970 Ohms
4. AC SWEEP (Variando a freqüência)

A simulação de circuito com diferentes valores de uma grandeza AC é utilizada em grande parte para a construção de gráficos de Bode, gráficos de ganhos e fases e análise de fasores. O circuito pode ser analisado em uma única freqüência ou em mútliplas frequências. Utilizaremos os componentes VAC e IAC nestas simulações

4.1 Gráfico em função da frequência

Vamos desenhar o circuito abaixo :



Componentes utilizados : VAC, R, L, C, EGND e BUBBLE.

V1 PartName: VAC	×
Name <u>V</u> alue	
ACMAG = 10	<u>S</u> ave Attr
* REFDES=V1 * TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DC/DC @DC/ #ACMAG/	C <u>h</u> ange Display
× SIMULATIONONLY=	<u>D</u> elete
ACMAG=10 ACPHASE=37	
Include Non-changeable Attributes	<u>0</u> K
Include System-defined Attributes	Cancel

O valor de ACMAG, ou seja, a magnitude da fonte AC pode ser interpretado como um valor RMS ou de Pico, à sua escolha, basta escolher a interpretação desejada e todas as outras tensões obtidas serão também interpretadas da mesma maneira.

Para que apareçam no circuito os nomes ACMAG e ACPHASE basta clicarmos em **Change Display** quando inserimos os valores e a seguinte tela apareçera :

Change Attribute				
Name: ACMAG				
Value: hv				
What to Display				
O Value only				
C Name only				
Both name and value				
C Both name and value only if value defined				
C None				
Display Characteristics				
Orient: horizontal 💌 Hjust: center 💌				
Layer: Attribute Tex Vjust: normal				
Size: 100 %				
Changeable in schematic				
Keep relative orientation				
OK Cancel				

Basta selecionar a forma que desejamos que seja vista (Valor / Nome / Nome e Valor / Nenhum), a orientação (Vertical/Horizontal) e confirmar com OK.

Afim de que os valores desejados de tensão e corrente quando da variação da freqüência sejam não somente plotados mas também apareçam no arquivo texto de saída é necessário acrescentar um componente chamado **PRINT.**



Ao clicarmos 2 vezes sobre este componente teremos a seguinte caixa de diálogo :

PRINT4	PartName: PRINT1	×
Name analysis * BEFD analys * TEMF SIMUI PKGR	Value AC V(2,0) VP(2,0) ES-PRINT4 is=AC V(2,0) VP(2,0) VATE = PBINT ?=nalysis @analysis ~analysis TRAN V([%1 ATIONONLY= EF=PRINT4	<u>Save Attr</u> C <u>h</u> ange Display <u>D</u> elete
Inclue Inclue	de N <u>o</u> n-changeable Attributes de System-defined Attributes	<u>Q</u> K Cancel

Ao clicarmos sobre a propriedade **analysis** poderemos alterar seu valor , definimos o valor AC V(2,0) VP(2,0) , que significa que queremos o resultado dos valores simulados em AC Sweep da amplitude da tensão V do nó 2 ao terra (0) e da fase da tensão do nó 2 ao terra (0) . Se quisermos saber sobre outros nós basta dar um comando semelhante na mesma caixa de diálogo ou acrescentar um novo componente **PRINT** . Se quisermos saber os valores em relação à corrente basta no lugar de V colocarmos I , assim teríamos AC I(2,0) IP(2,0) . Podemos fazer as combinações de qualquer nó do circuito , não podemos deixar no entanto de conectar o componente **PRINT** ao circuito em qualquer ponto .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	<u>A</u> C Sweep	\mathbf{D}	<u>O</u> ptions	(<u>C</u> lose)
	Load Bias Point		<u>P</u> arametric	
Γ	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
Γ	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
Γ	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
•	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
	Digital Setup			

A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise Analysis 🛛 🛛 💌						
CAC Sweep Type Sweep Parameters						
Linear	Total Pts.:	101				
○ <u>O</u> ctave	<u>S</u> tart Freq.:	10				
C <u>D</u> ecade	End Freq.:	1.00K				
- Noise Analysis						
<u>O</u> utput Voltage:						
I Noise Enabled	IN					
Interval:						
OK Cancel						

Podemos então definir qual a faixa de freqüência faremos a análise das tensões e/ou correntes , se quisermos saber sobre uma freqüência específica basta selecionarmos para Total Pts : 1 , e Star Freq (freqüência inicial) e End Freq (freqüência final) iguais .

Veja o exemplo de como é o texto no arquivo de saída para 3 pontos de 10 Hz à 30 Hz :

Pressione o botão ao lado para ver o arquivo de simulação :



1.000E+01 1.001E-03 -1.339E+02 1.001E-03

2.000E+01 2.525E-04 -1.384E+02 2.525E-04 3.000E+01 1.124E-04 -1.400E+02 1.124E-04

EXERCÍCIOS

Determine o valor das tensões nos nós 1, 2 e 3 na freqüência de 1kHz e 10 kHz.



Componentes : R , L , C , IDC , VAC , EGND , BUBBLE .

4.2 Gráfico da Análise AC na freqüência de 1kHz à 10 kHz



Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	<u>A</u> C Sweep	D^{-}	Options	<u>C</u> lose
	<u>L</u> oad Bias Point		<u>P</u> arametric	
	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
v	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
	Digital Setup			

A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise Analysis					
AC Sweep Type Sweep Parameters					
 Linear 	Total Pts.:	100			
C Octave	Start Freq.:	1k			
C Decade	End Freq.:	10k			
- Noise Analysis					
Output Voltage:					
I NOISE CHADIEU	IN				
	Interval:				
OK Cancel					

Coloque os valores inicial e final das frequências para a análise , bem como o número de pontos à serem analisados entre os valores inicial e final , à seguir clique em OK .

Vamos rodar agora a simulação do programa, pressione o botão Simulate.



Selecione no Menu Trace > Add Trace

😹 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo - [Schematic1 (active)]						
🛃 <u>F</u> ile <u>E</u> dit <u>V</u> iew <u>S</u> imulation	<u>Trace</u> <u>Plot</u> T <u>o</u> ols <u>W</u> indow	Help 🛃				
<u>**</u> _ ~ ** ¬ /#	🖰 Add Trace	Ins				
	Delete All Traces	Ctrl+Del				
🔍 🔍 🔍 🔍 🛄 hr 🗱	<u>U</u> ndelete Traces	Ctrl+U				

Selecione a tensão V(Vx) , V(Vy) e V(Vz) e confirme :

🧱 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo - [Schematic1 (active)]	_ 8 ×				
🔀 Eile Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help 🎇	_ & ×				
📔 🗸 🚘 😂 🔲 🕺 🛍 🛍 🗠 🗠 🛛 Schematic1 🔹 🕨 🔰					
Q Q Q □ 1 ★ ♥ 目 2 3 8 3 4 4 1 ★ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥ ¥					
₹ 8U					
1KHz 2KHz 3KHz 4KHz 5KHz 6KHz 7KHz 8KHz 9KHz 10KHz	z 11KHz				
Frequency					
🛃 Schematic1 (
Reading and checking circuit					
Calculating bias point Bias point calculated					
AC (and Noise) Analysis Start = 1.000E+03 Freq = 10.09E+03 End = 10.1 AC Analysis finished	00E+				
Simulation complete					
Iniciae Constilar Constra Constilar Constra Constilar Co	4 21:53				

Para marcar algum ponto específico da curva , vá ao menu **Trace > Display > Cursor** para obter o valor do ponto desejado . Depois vá ao menu **Plot > Label > Mark** e teremos assim o ponto identificado no gráfico :





4.3 Gráfico de Bode

Gráficos de Bode permitem visualizar a amplitude e a fase em função da freqüência.

Todas as análise AC assumem que estamos trabalhando com um circuito linear : se a saída é 3 V para 1 V da fonte , para uma saída de 30 V teremos 10 V na fonte . Ou seja , não há consideração quanto as limitações físicas dos componentes pois o que é simulado são situações algébricas . Para ser analisadas do ponto de vista real , podemos então simular a análise com amplitude 1 o que permite que analisemos o circuito obtendo assim o valor de seu ganho .

Vamos utilizar o circuito abaixo : (VAC, R, C, EGND, BUBBLE)



Este circuito é um Filtro Passa Baixas , em alta freqüência o capacitor se comporta como um curto , permitindo portanto a passagem somente de baixas freqüências . Pela equação $\omega = \frac{1}{R.C} = 159$ Hz , temos a freqüência onde teremos a queda de -3 dB do circuito .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup, pressione o botão AC Sweep.

Analysis Setup 🗙					
Enabled		Enabled			
	<u>A</u> C Sweep	$\mathbf{\mathcal{D}}$	Options	<u>C</u> lose	
	<u>L</u> oad Bias Point		<u>P</u> arametric		
Γ	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity		
Γ	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature		
Γ	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction		
•	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient		
	Digital Setup				

A seguinte tela se abrirá :

ł	AC Sweep and Noise Analysis						
	AC Sweep Type Sweep Parameters						
	O Linear		Pts/Decade	20			
	C Octave		Start Freq.:	1			
	O Decade		End Freq.:	10k			
	- Noise Analysis						
	Output Voltage:						
	I Noise Enabled		IN				
	Interval:						
OK Cancel							

Vamos realizar a análise de 1 à 10 kHz com 20 pontos por década . À seguir clique em OK .

Vamos rodar agora a simulação do programa, pressione o botão Simulate.



Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo).



Para mostrar Vo em decibéis basta colocar à expressão dB(V(Vo)) e confirme :

Observe que para ganho 1 temos 0 dB.

Para mostrar a fase de Vo em graus em função da freqüência basta colocar à expressão **Vp(Vo)** e confirme :



Se quiséssemos o gráfico da corrente I em dB teríamos **dB(I(R1))** e para a obtermos o gráfico da fase da corrente basta selecionar a variável desejada na forma **Ip(variável)**.

4.4 Análise do Ganho de um Amplificador

Uma das mais importantes aplicações da análise em freqüência AC Sweep é a resposta em freqüência de um amplificador . Se a análise AC Sweep é realizada num circuito com um transistor , o ponto de operação DC é calculado e o transistor é visto como uma variação de um pequeno sinal ao redor do ponto de operação . Esta análise só pode ser utilizada para calcular o ganho de pequenos sinais e resposta em freqüência . Outras análises devem ser realizadas na simulação de transitórios vista em outro capítulo .

Vamos desenhar o circuito abaixo : (VDC , R , C , BUBBLE , VAC , EGND , Q2N3904)



Vamos obter a análise AC deste amplificador de 1 Hz à 100 MHz com 20 pontos por década .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
$\overline{\mathbf{v}}$	<u>A</u> C Sweep	D	<u>O</u> ptions	(<u>C</u> lose
	<u>L</u> oad Bias Point		<u>P</u> arametric	
Γ	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
Γ	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
▼	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
	Digital Setup			

A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise	. Analysis	×
AC Sweep Type	- Sweep Paramete	rs
C Linear	Pts/Decade	20
C Octave	Start Freq.:	1
O Decade	End Freq.:	100Meg
Noise Analysis		
	Output Voltage:	
	IN	
	Interval:	
OK	Cancel	

À seguir clique em OK .

Para simular seu amplificador sempre deixe habilitado a opção Bias Point Detail.

Vamos rodar agora a simulação do programa, pressione o botão Simulate.



Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo).



Para mostrar Vo em decibéis basta colocar à expressão dB(V(Vo)) e confirme :

4.5 Ganho do Amplificador Operacional

Neste exemplo vamos utilizar o operacional LM324 . Vamos desenhar o circuito abaixo : (VDC , EGND , R , C , VAC , LM324 , OFFPAGE , BUBBLE)



Neste circuito utilizamos um componente chamado OFFPAGE que permite que interliguemos partes distantes do circuito que possuam o mesmo Label . Para definir este Label basta darmos um duplo clique sobre o componente OFFPAGE .

Set Attribute Value	×
LABEL	
Vcc	
OK Cancel	

O ganho deste operacional é a relação Vout/Vin . Lembre da recomendação feita no item 4.3 .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	<u>A</u> C Sweep	$\boldsymbol{\mathcal{S}}$	Options	<u>C</u> lose
	<u>L</u> oad Bias Point		<u>P</u> arametric	
	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
•	<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
	Digital Setup			

A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise Analysis				
CAC Sweep Type	Sweep Parameter	rs		
O Linear	Pts/Decade	20		
C Octave	Start Freq.:	1		
Oecade	End Freq.:	1Meg		
- Noise Analysis				
D Noise Enchlad	Output Voltage:			
I Noise Enableu	I/V			
	Interval:			
OK	Cancel			

Vamos realizar a análise de 1 Hz à 1 MHz com 20 pts/Década . Clique OK e simule .

Pressione o botão Simulate .

PSpice Schematics -				
1 🗄	ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av
D	P		3	*
	(M	N o	ne	•
07	•	Simul	ate	· ·

Selecione no Menu Trace > Add Trace

👹 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 - [Schematic1 (active)]				
	<u>Trace</u> <u>Plot</u> T <u>o</u> ols <u>W</u> indow	Help 💦		
	Add Trace	lns 🗕		
	<u>D</u> elete All Traces	Ctrl+Del		
🍳 🍳 😫 🔍 🔳 🗄 🛠	Undelete Traces	Ctrl+U		

Selecione a tensão V(Vo) e confirme :



O valor obtido é o ganho do operacional na configuração do circuito analisado .

4.6 Variação Automática do Ganho do Amplificador Operacional

4.6.1Análise Paramétrica

Neste exemplo vamos utilizar o operacional LM324.

Vamos desenhar o circuito abaixo : (VDC , EGND , R , C , VAC , LM324 , OFFPAGE , PARAM, BUBBLE)



Neste circuito utilizamos um componente chamado **PARAM** que permite possamos realizar a análise para diferentes valores do componente parametrizado .

No nosso exemplo , o componente parametrizado é o Rf, ao darmos um duplo clique sobre o componente PARAM devemos definir qual o nome do componente parametrizado e qual o seu valor padrão . Assim , vamos definir NAME1= RF_Valor e VALUE1=1 , isso significa que a análise se somente a análise AC SWEEP for realizada , ela será feita para o valor de Rf=1 Ohm .

PM1 PartName: PARAM	×
Name Value REFDES =	Save Attr
REFDES=PM1 TEMPLATE=.PARAM @NAME1=@VALUE1 #NAME2/@NA NAME1=Rf_Valor NAME2= NAME3= VALUE1=1 VALUE2=	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

+Vcc PARAMETERS: +Vec Valor 1 ACMAG=1V ÷ ⁴U1A ACPHASE=0 3 15 Vo V3 C V+ V-2 -11 V2 + LM324 15 -Vcc Rf R1 1k -Vcc {Rf_Valor}

Não podemos esquecer de mudar o valor de Rf para Rf_Valor .

O ganho deste operacional é a relação Vout/Vin . Lembre da recomendação feita no item 4.3 .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.



A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise Analysis				
CAC Sweep Type	Sweep Parameter	rs		
C Linear	Pts/Decade	20		
C Octave	Start Freq.:	1		
Decade	End Freq.:	1Meg		
- Noise Analysis				
	Output Voltage:			
	IN .			
	Interval:			
OK	Cancel			

Vamos realizar a análise de 1 Hz à 1 MHz com 20 pts/Década . Clique OK para confirmar .

Vamos agora definir para quais valores de Rf realizaremos a análise .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Parametric :

Setup			×
	Enabled		
AC Sweep		Options	Close
Load Bias Point		Parametric	\geq
Save Bias Point		Sensitivity	
DC Sweep		Temperature	
Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
Bias Point Detail		Transient	
Digital Setup			
	AC Sweep AC Sweep Load Bias Point Save Bias Point DC Sweep Monte Carlo/Worst Case Bias Point Detail Digital Setup	Setup Enabled AC Sweep Image: Comparison of the set of the	Enabled AC Sweep Options Load Bias Point Image: Colspan="2">Parametric Save Bias Point Image: Colspan="2">Coptions DC Sweep Image: Colspan="2">Temperature DC Sweep Image: Colspan="2">Temperature Monte Carlo/Worst Case Image: Colspan="2">Transfer Function Bias Point Detail Image: Colspan="2">Transfer Function Digital Setup Image: Colspan="2">Transfer Function

Parametric		×
Swept Var. Type	Manag	DEValar
O Voltage Source	iname:	Rr_valor
C Temperature	Model Type:	
C Current Source	model type:	
O Model Parameter	Model Name:	
Global Parameter	Param, Name;	
Sweep Type C Linear C Octave C Decade C Value List	Start Value: End Value: Increment: Values: 1k 10	k 100k 1ME
OK	Cancel	

A seguinte tela se abrirá :

Basta definir as opções como a figura acima . A variável que queremos controlar é um parâmetro global de nome Rf_Valor . Queremos que a análise seja feita para uma lista de valores (1k 10k 100k 1MEG) . Note que também temos a opção de definir uma faixa de valores com o incremento que desejarmos . Após a escolha clique em OK e simule .

Pressione o botão Simulate .



A seguinte tela se abrirá :

😸 Schematic2 - OrCAD PSpice A/D Demo
Eile Yiew Simulation Tools Window Help 🚟
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
≪ ≪ ◎ ≪ Ⅲ 匬 ♥ 目 竺 添 ♥ ↓ ♂ 太 半 矛 坪 萍 蒔 虫 智 定
Available Sections
* D:\Program Files\OrCAD_Demo\PSpiceor = 1.0000E+03 27.0 Deg * D:\Program Files\OrCAD_Demo\PSpiceor = 10.0000E+03 27.0 Deg
* D:\Program Files\OrCAD_Demo\PSpiceor = 100.0000E+03 27.0 Deg * D:\Program Files\OrCAD_Demo\PSpiceor = 1.0000E+06 27.0 Deg
All None OK Cancel
X AC (and Noise) Analysis
Calculating bias point param Rf_Valor = 1.00
AC (and Noise) Analysis Start = 1 Freq = 1.000E+06 End = 1.000E+
AC Analysis finished
Analysis (Watch) Devices /
For Help, press F1 Freq = 1.000E+06 100%
🗶 Iniciar 🗀 Apostilas 📓 Pspice 😥 PSpice 🔯 PSpice 🦉 PSpice 🦉 imagem 🚍 PSpice 👹 Schem <

Um pequeno menu aparece , permitindo que escolhamos para quais valores desejamos realizar a análise . Se desejarmos todos basta selecionar >All e à seguir OK .

Selecione no Menu Trace > Add Trace

🧱 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 - [Schematic1 (active)]				
Bile Edit ⊻iew Simulation	<u>Trace</u> <u>Plot</u> T <u>o</u> ols <u>W</u> indow	Help 🛃		
	Add Trace	lns 💻		
	Delete All Traces	Ctrl+Del		
🍳 🔍 🔍 🔍 🔳 🗄 🛠	Undelete Traces	Ctrl+U		

Selecione a tensão dB(V(Vo)) e confirme :

🔛 Sc	hema	atic2 - (DrCAD PS	pice A/D Der	no - [Schema	atic2 (active)]					
	<u>File</u>	<u>E</u> dit <u>V</u> ie	w <u>S</u> imulat	ion <u>T</u> race <u>P</u>	lot T <u>o</u> ols <u>W</u> in	dow <u>H</u> elp 🊟					_ 8 ×
1	- (iii 🔁	8	X 🗈 I	8 22	Schematic2		• II			
ĨQ	Q (<u>r</u> Q		.₩目⊭		· 🛃 🛛 杰 🛛	人生产学	専員会	霍 叉		
		0.0									1
#		80.									
88 E				<u> </u>	<u>_</u>	مم_		<u>ه</u>			
		40-		\$							
					÷			~		V A	
		ß -	0			•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••					
		0									
		-40 1.	 OHz	_; 10	i Iz	100Hz	: 1.0KH:	; z	10KHz	100KHz	1.0MHz
				▲ dB(V(Va)))		Frequen	сш			
	1	Schema	atic2 (
-	464	1.11									
1	AC (a	nalysis fi	ej Analysis inished				n Bf Valor = 1.0				
	Biasp	ulating bi point cal	ias point Iculated			Start	= 1	Frea = 1	000E+06	End =	1 000E+
	AC (and Noise) Analysis End = 1.000E+06 End = 1.000E+										
	Simul	lation co	mplete		Þ		Analusis / Wat	ch λ Devices	./		
	-					لعلعريا	Fr	eg = 1.000E	+06	100%	
🏦 In	iciar	🗀 Ap	oostilas	Pspice	PSpice	PSpice	PSpice	🥡 imagem.	拱 PSpice	Schem	« 🌯 🔜 17:39

Os gráficos obtidos são o ganho do operacional na configuração do circuito analisado .

4.7 Indutância Mútua

A indutância mútua requer duas partes : o indutor (L) e o coeficiente de acoplamento entre os indutores (K) . Vamos desenhar o circuito abaixo , tomando o cuidado de inserirmos os indutores com a marcação de polaridade conforme o desenho :



(VCA, BUBBLE, L, K_LINEAR, C, R, EGND)

Para definir o acoplamento entre as indutâncias , utilizamos o componente K_Linear . Ao clicarmos duas vezes sobre ele , a seguinte tela se abrirá :

K1 PartName: K_Linear	×
Name Value	
REFDES = K1	Save Attr
* REFDES=K1 * TEMPLATE=Kn^@REFDES L^@L1 ?L2 L^@L2 ?L3 \n+ L^ SIMULATIONONLY= L1=L1 L2=L2 L3= L4=	Change Display Delete
Include Non-changeable Attributes	ОК
Include System-defined Attributes	Cancel

Basta então definir quem é a indutância L1 , L2 , L3 e L4 e qual o coeficiente de acoplamento entre elas COUPLING (sendo que ele deve estar compreendido entre -1 e 1) .

Para o primeiro K_Linear definimos L1=L1 , L2=L2 e Coupling=0.4 , para o segundo definimos L1=L1,L2=L3 e Coupling=0.8 .

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	<u>A</u> C Sweep	\supset	Options	<u>C</u> lose
	Load Bias Point		<u>P</u> arametric	
	<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
	<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
Γ	Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
V	<u>B</u> ias Point Detail		<u>I</u> ransient	
	Digital Setup			

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão AC Sweep.

A seguinte tela se abrirá :

AC Sweep and Noise Analysis							
AC Sweep Type Sweep Parameters							
C Linear	Pts/Decade	20					
C Octave	Start Freq.:	1					
O Decade	End Freq.:	1Meg					
Noise Analysis							
	Output Voltage:						
I Noise Enabled	IN						
	Interval:						
ОК	Cancel						

Vamos realizar a análise de 1Hz à 1MHz com 20 pts/Década . Confirme OK e simule .

Pressione o botão Simulate .

🛃 PSpice Schematics -						
📳 E	ile <u>E</u>	dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av		
	B		3	*		
		No	ne	•		
	0	imula	ate			

Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo) e confirme :

🔛 S (chematic3 -	OrCAD PSpice	A/D Demo - [S	chematic3 (active)]				_ 8 ×
	<u>File E</u> dit <u>V</u> i	ew <u>S</u> imulation	<u>Trace</u> <u>Plot</u> T <u>o</u> ol	ls <u>W</u> indow <u>H</u> elp 🎇				_ & ×
🍟	- 🖻 🖆	; 🖬 🖨 📗	X 🖻 🖬 🖆	🔉 🚅 🛛 Schematic3		Ш		
Ĩ Q	Q Q Q	. 🔟 <u>fr</u> »	♦ 🗏 🗠 婿	穆 ‱ ♂	(关键对读)	1 雪星 叉		
	4.0		1	111				1
<i>,</i> ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	1.2	• 						
88 E			p	o				
Q⊒ 	0.8	v					<u>}</u>	
	<u>я_</u> 4	U					·····	
	0	`						
								d
	6	U.↓ 1.0Hz	10Hz	 1 00Hz	: 1.0KHz	10KHz	100KHz	1.0MHz
		□ V(Vo)			Frequencu			
	Schem	vatic3 (rrequency			
- all			•					
Ň	Reading and Circuit read i	l checking circu n and checked,	no errors					
	Calculating bias point Bias point calculated							
	AC (and Noise) Analysis Start = I Freq = 1.000E+06 End = 1.000E+ AC Analysis finished							
	Simulation complete							
	Analysis (Watch Devices /							
					Analysis / Watch / D	0005+04	100%	

5. TRANSIENT (Análise Transitória)

A análise Transitória permite visualizarmos formas de onda em função do tempo assim como um osciloscópio .

5.1 Circuito com capacitor com condições iniciais

Vamos desenhar o circuito abaixo :

Componentes (BUBBLE , R, C, EGND , Sw_tClose)



Queremos que o capacitor esteja carregado inicialmente com 5 V e que a chave abra em t=1 ms.

Inicialmente vamos definir os atributos do capacitor .Ao clicarmos duas vezes sobre o capacitor a seguinte tela se abrirá :

C1 PartName: c	×
Name Value	
VALUE = 1U	Save Attr
VALUE=1U	Change Display
	Delete
* TEMPLATE=U"@REFDES %1 %2 ?TULERANCE U"@REFL * PART=c	
TOLERANCE=	
Include Non-changeable Attributes	<u> </u>
Include System-defined Attributes	Cancel

Os atributos são :

VALUE	: valor do capacitor em Farads .
IC	: valor da tensão inicial do capacitor em Volts

No nosso caso, VALUE=1U e IC=-5.

O valor de IC é negativo pois queremos que a tensão sobre o resistor seja positiva . Valores negativos de IC fazem com que a tensão siga a convenção de bipolo gerador .

Para definir o tempo de abertura da chave basta clicar duas vezes sobre o nome **tClose** e a seguinte tela se abrirá :

Set Attribute Value	×	
tClo	ise	
1ms		
ОК	Cancel	

Defina o tempo de 1ms e clique em Ok para sair.

Estamos utilizando uma chave inicialmente aberta que após um certo tempo fechará , componente Sw_tClose .

Se quiséssemos uma chave inicialmente fechada que após um certo tempo abrisse deveríamos utilizar o componente Sw_tOpen .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Eurotion	
	Bias Point Detail	🗵 🄇	Transient	D
	Digital Setup			
		-		

A seguinte tela se abrirá :

Transient	×
Transient Analysis	
Print Step:	1ms
Final Time:	6ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	5ms/500
🗖 Detailed Bias Pt.	
📄 Skip initial transient solu	tion
- Fourier Analysis	
Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
ОК	Cancel

Vamos realizar a análise com Print Step 1ms, Final Time 6 ms e Step Celling 5ms/500.

O **Print Step** é utilizado para imprimir o texto no arquivo de saída . A cada **Print Step** segundos os valores serão gravados no arquivo de saída . Se este valor for muito pequeno podemos afetar o tempo de simulação deixando-o muito lento .

Final Time define o tempo total da simulação . A simulação será executada de 0 até Final Time segundos .

O campo **No-Print Delay** permite definir após qual intervalo queremos no arquivo de saída os resultados da simulação, assim se vamos simular até 1 segundo e nos interessa apenas os valores entre 990 ms e 1s, basta setarmos o **No-Print Delay** para 990 ms. Se não desejamos um intervalo específico podemos deixá-lo em branco. Esse parâmetro é utilizado para diminuir o tempo de simulação em análises longas.

CUIDADO COM O TEMPO DE SIMULAÇÃO ENTRE OS PONTOS (STEP CELLING)

O **Step Celling** define o tempo máximo entre os pontos que serão simulados . Quanto menor mais preciso será o meu gráfico , no entanto mais tempo levará a minha simulação . Se deixado em branco o PSpice calculará um tempo de modo que a simulação ocorra no menor tempo possível mantendo o erro dentro de um limite máximo . No nosso caso teremos 500 pontos na simulação pois Step Celling = 5ms/500

Podemos definir ainda que não queremos as condições inicias durante a simulação, para isso basta setarmos a opção **Skip Initial Transient Solution**, no nosso caso queremos que a simulação ocorra com os valores iniciais, vamos assim deixá-lo em branco.

Como vamos simular um circuito onde queremos que as condições iniciais sejam calculadas pelo simulador durante a análise transitória devemos **desabilitar a opção Bias Point Detail**.

Analysis	Analysis Setup 🔀					
Enabled		Enabled				
	AC Sweep		Options	Close		
	Load Bias Point		Parametric			
	Save Bias Point		Sensitivity			
	DC Sweep		Temperature			
	Monte Carlo/Worst Case	5	Transfer Function			
	Bias Point Detail	(💌)	Transient			
\sim	Digital Setup					

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



Selecione no Menu Trace > Add Trace

Eile Edit View Simulation Trace Plot Tools Window Help		
	👼 Eile Edit View Simulation Trace Plot Tools Window Help 🕵	
📔 👻 🛱 🗐 🗸 🔛 🎮 🔤 🚔 🖂	🔄 🗸 🛱 🗐 🚑 📗 🚔 Add Trace 🛛 Ins	
Delete All Traces Ctri+Del	O O O O O O O O O O O O O O O O O	1

Selecione a tensão V(Vr) e confirme :



Selecione a tensão V(Vc) e confirme :



EXERCÍCIOS



Componentes (VDC, R, C, EGND, BUBBLE)



2) Ache Vo.





3) Ache Vo.





5.2 Resposta Transitória do Indutor

Vamos desenhar o circuito abaixo :

Componentes (BUBBLE , R, L, EGND , Sw_tClose)



Queremos que o indutor esteja descarregado inicialmente , assim IC=0 e que a chave abra em t=0 ms .

Inicialmente vamos definir os atributos do indutor .Ao clicarmos duas vezes sobre o indutor a seguinte tela se abrirá :

L1 PartName: L	×
Name Value VALUE = 10mH	Save Attr
VALUE=10mH IC= * REFDES=L1 * TEMPLATE=L^@REFDES %1 %2 ?TOLERANCE L^@REFC * PART=L TOLERANCE= PKGTYPE=L2012C	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Os atributos são :

VALUE	: valor do indutor em Henry .
IC	: valor da corrente inicial do indutor em Ampere

No nosso caso, VALUE=10mH e IC=0.

O valor de IC pode ser positivo ou negativo dependendo do sentido que queremos a corrente inicialmente carregada no indutor .

Para definir o tempo de abertura da chave basta clicar duas vezes sobre o nome **tClose** e a seguinte tela se abrirá :

Set Attribute Value	×
tClose	
1ms	
OK Cancel	

Defina o tempo de 0ms e clique em Ok para sair.

Estamos utilizando uma chave inicialmente aberta que após um certo tempo fechará , componente Sw_tClose .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Eurotion	
~	Bias Point Detail	🗹 🄇	Transient	\mathbf{D}
	Digital Setup			

A seguinte tela se abrirá :

Transient	×
Transient Analysis	
Print Step:	1ms
Final Time:	10ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	
🔲 Detailed Bias Pt.	
📃 🔲 Skip initial transient soluti	on
- Fourier Analysis	
Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
ОК	Cancel

Vamos realizar a análise com Print Step 1ms, Final Time 10 ms.

O **Print Step** é utilizado para imprimir o texto no arquivo de saída . A cada **Print Step** segundos os valores serão gravados no arquivo de saída . Se este valor for muito pequeno podemos afetar o tempo de simulação deixando-o muito lento .

Final Time define o tempo total da simulação . A simulação será executada de 0 até **Final Time** segundos .

Como vamos simular um circuito onde queremos que as condições iniciais sejam calculadas pelo simulador durante a análise transitória devemos **desabilitar a opção Bias Point Detail**.

Analysis Setup				
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
	Bias Point Detail	(⊡)	Transient	
\sim	Digital Setup			
		1		

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



Selecione no Menu Trace > Add Trace

😹 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 - [Schematic1 (active)]			
	<u>Irace</u> <u>P</u> lot T <u>o</u> ols <u>W</u> indow <u>I</u>	<u>H</u> elp 🛃	
	Add Trace	Ins	
	Delete All Traces	Ctrl+Del	
🔍 🔍 🔍 🔍 🔲 🖅 🛠	Undelete Traces	Ctrl+U 🙀	

Selecione a corrente I(IL) e confirme :



5.3 Circuito Grampeador com Zener

Vamos desenhar o circuito abaixo :



Componentes : (VPWL , R , BUBBLE , EGND , D1N750 (Zener))

O componente VPWL é um tipo de fonte de tensão onde podemos construir segundo a nossa vontade a forma de onda que quisermos desde que ela seja feita por linhas retas.
Clicando duas vezes sobre o componente VPWL teremos :

V1 PartName: VPWL	×
Name Value	
REFDES = V1	Save Attr
REFDES=V1 TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DCIDC @DCI ?ACIAC @	Change Display
AC= T1=	Delete
V1= T2= ▼	
✓ Include Non-changeable Attributes	ок
✓ Include System-defined Attributes	Cancel

Os atributos DC e AC são para as análises DC e AC respectivamente , como estamos interessados na análise transitória eles podem ser deixados de lado .

A curva é construída de maneira bem simples : no tempo T1 teremos a tensão V1 , no tempo T2 teremos a tensão V2 e assim por diante .

Nós vamos construir uma fonte com uma onda triangular de amplitude +-15 V conforme a tabela abaixo :

T1	T2	Т3	T4
0	1m	3m	4m
V1	V2	V3	V4
0	15	-15	0

V1 PartName: VPWL	×
Name Value	Shup Attr
V1=0 T2=1m V2=15 T3=3m V3=-15 T4=4m V4=0	Change Display
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Após definir os parâmetros do componente, clique ok para confirmar.

Analysis	5etup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Eurotion	
	Bias Point Detail	🗵 🄇	Transient	
	Digital Setup			

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

A seguinte tela se abrirá :

Transient	X
Transient Analysis	
Print Step: 1ms	
Final Time: 4ms	
No-Print Delay:	
Step Ceiling: 0.0	Ims
🔲 Detailed Bias Pt.	
Skip initial transient solution	
- Fourier Analysis	
🗖 Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
OK Cance	el

Vamos definir o passo de 1ms Tempo final de 4 ms e intervalo entre os pontos de 0.01 ms

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vin) e confirme :





À seguir selecione V(Vo) e confirme :

5.4 Análise de Fourier na Tela Gráfica

Vamos desenhar como demonstração o circuito à seguir :



Componentes (VSIN , EGND , R , BUBBLE)

Vamos definir a amplitude e a frequência dos geradores de tensão senoidal , para isso basta dar um duplo clique sobre eles :

V1 PartName: VSIN	×
Name Value	
REFDES = V1	Save Attr
REFDES=V1 TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DC/DC @DC/ ?AC/AC @	Change Display
AC=	Delete
VOFF=0 VAMPL=10	
FREQ=60	
Include Non-changeable Attributes	ОК
Include System-defined Attributes	Cancel

Definimos VOFF=0 (offset), VAMPL=10 (amplitude) e FREQ=60 (Frequência do sinal em Hz) para o 1º gerador e VOFF=0 (offset), VAMPL=5 (amplitude) e FREQ=180 (3º Harmônica).

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
	Bias Point Detail		Transient	
	Digital Setup			



Vamos definir o passo de 0.1ms Tempo final de 20 ms e intervalo entre os pontos de 0.001 ms

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



🔛 fo	urier - C	rCAD PSpi	ice A/D Dem	o - [fourier	(active)]							_ 8 ×
	<u>Eile E</u> dit	: <u>V</u> iew <u>S</u> im	ulation <u>T</u> race	e <u>P</u> lot T <u>o</u> ols	; <u>W</u> indow <u>H</u>	elp 🚰						_ & ×
1	- 🖻	i 🎏 🔲 e	5 % □	6 6 2	😑 🛛 fou	rier		Т				
	9, Q	Q III	<u>fn</u> ₩ 🗏	🗠 🌠	ষ্ট 🖓 🗸	★ ¥ >	F 🖂 🚈 3	8 4 3 8	r %			
۶												
3												
đ												
¢۵												
		0s	2ms	4ms	óms	8ms	10ms	12ms	14ms	16ms	18ms	2 0ms
							Time					
	i 🛃 fo	urier (active))									
×	* D:\Do	c\Bodriao\4	- vpostilas\fourie	r.sch		×		1				
-	Reading Circuit re) and check ead in and c	ing circuit hecked, no err	ors								
	Calculat Bias poi	ing bias poir nt calculated	nt for Transient	Analysis		Time step	= 262.3E-09	Time = .02			End = .02	
	Transier Transier	ht Analysis ht Analysis fi	nished									
	Simulati	on complete				An An	alysis (Watch	λ Devices∕				
							Time	:= .02		100%	ППП	
赶 Ir	niciar 🛙	Pspice2 ·	· 👔 imag	em 🚱	PSpice A	PSpice D	. 📑 PSpice	M 🔣 PSp	oice S 🛛	fourier	« 🌯 📑	4 17:25

Selecione no Menu Trace > Add Trace





Selecione a tensão V(Vin) e confirme :

Para observar o espectro do sinal basta clicar sobre o botão FFT ou no menu **Trace > Fourier** :

👹 fourier - OrCAD PSpice A/D	Demo - [fourier (active)]	
🛛 🛃 Eile Edit Yiew Simulation	<u>Trace</u> Plot T <u>o</u> ols <u>W</u> indow <u>H</u> elp	-1
	Add Trace Insert	
	Delete All Traces Ctrl+Delete	
] < < < < <	Undelete Traces Ctrl+U	医骨腔炎
	FFT Fourier	
	Performance Analysis	
	<u>C</u> ursor	· - ɨ - · ː · · · · · · · · · · · · ·
100	Macros	
	<u>G</u> oal Functions	
	🏹 Eval Goal Function	
RU		



Teremos então o gráfico com o espectro do sinal plotado :

Para melhor visualização, alteramos a escala das freqüências no eixo x, para isso vá ao menu **Plot > Axis Settings**, defina a faixa desejada e clique em Ok :

Axis Settings				X
X Axis Y Axis	× Grid Y Grid			
Data Range C Auto Re User De OHz	inge ifined to 3KHz		se Data Full Restricted (analog)	\$
- Scale		P	ocessing Options	
 Linear 			Fourier	
C Log		Г	Performance Analysis	
		Axis Variable		
OK	Cancel	Save As Defa	ult Reset Defaults	Help

5.5 Análise de Fourier com PSpice

As amplitudes e as freqüências componentes de um sinal podem ser obtidas através da análise transitória de um sinal .

Como exemplo vamos desenhar o circuito à seguir :



Componentes (VPULSE, EGND, R, BUBBLE)

O VPULSE é uma fonte de tensão pulsada (pode ser utilizada para criar uma onda quadrada), para ajustar seus parâmetros, vamos clicar duas vezes sobre ele :

V1 PartName: VPULSE	×
Name Value V1 = 5	Save Attr
V1=5 V2=0 TD=5ms TR=1U TF=1U PW=0.001 PER=2ms	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Parâmetros do VPULSE :

- Período (PER) : definimos o período da forma de onda em segundos
- Tempo de subida (TR): definimos o tempo de subida do sinal
- Tempo de descida (TF) : definimos o tempo de descida do sinal

- Tamanho do pulso (PW) : definimos o tamanho do pulso , este deve ser menor que o período definido . Para obtermos uma onda quadrada , PW=PER/2 .
- Tensão inicial (V1) : valor inicial da amplitude da tensão do pulso
- Tensão do pulso (V2) : valor final da amplitude da tensão do pulso
- Tempo de espera (TD) : no começo da análise , a fonte de tensão começa com a tensão inicial (V1) por um tempo igual ao tempo de espera (delay time) . Depois deste tempo a tensão muda do valor inicial para a tensão (V2) .

O pulso terá uma amplitude definida pela faixa de V1 à V2.

No nosso caso , queremos uma onda quadrada de +- 5V , 1 KHz , assim :

TR=TF= 1 Us ; PER= 2ms ; PW=1 ms ; V1=+5 ; V2=-5 ; TD=0

Após o ajuste dos parâmetros clique OK para sair .

É importante lembrar que tempo de subida e descida não devem ser totalmente zerados pois podem vir a ocasionar erros de convergência em circuitos mais complexos.

Obs .: Como estamos realizando a análise transitória os parâmetros DC e AC ficam em branco , não sendo necessário definí-los .

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
	Bias Point Detail		Transient	
	Digital Setup			

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Transient	×
Transient Analysis	
Print Step:	0.1ms
Final Time:	20ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	0.001m
🗖 Detailed Bias Pt.	
🔲 🔲 Skip initial transient so	lution
- Fourier Analysis	
🔽 Enable Fourier	
Center Frequency:	1k
Number of harmonics	9
Output Vars.: (Vin)	I(R1)
ОК	Cancel

Vamos definir o passo de 0.1ms Tempo final de 20 ms e intervalo entre os pontos de 0.001 ms

Como queremos a análise de Fourier de um determinado sinal , vamos habilitar a análise (Enable Fourier) .

Definimos a frequência central como a freqüência da nossa fundamental , no nosso caso 1kHz .

À seguir definimos o nº de harmônicas que queremos analisar e de quais variáveis queremos realizar a análise.

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



te fo	ourier - C	DrCAD PSpi	ice A/D Dem	o - [fourier	(active)]							_ 8 ×
	<u>E</u> ile <u>E</u> dit	: ⊻iew <u>S</u> im	ulation <u>T</u> race	e <u>P</u> lot T <u>o</u> ols	<u>W</u> indow <u>H</u> e	Ip 🛃						_ 8 ×
*	- 🖻	; 🍃 🖬 é	5 % □	6 6 2	C four	ier		🕨 п 🖣				
]@	. Q. Q.	, ♀ Ⅲ	<u>fn</u> ₩ 🗏	🗠 🌠 1	₿`\s- O <mark>r</mark>	<u></u>] ★ ¥ ;	約24 24 25	* A % (
Ð												
8												
Ð												
æ												
			1	1	1							
		8 5	2ms	4ms	óms	8ms	10ms	12ms	14ms	16ms	18ms	2 0ms
							Time					
	e 📓 fo	ourier (active)	յ									
×	* D:\Do	c\Rodrigo\4	\postilas\fourie	r.sch	<u> </u>							
Ī	Circuit r	g and cneck ead in and c	ing circuit hecked, no eri	ero:								
	Bias poi	ting bias poir int calculated	ht for Transient B	Analysis		Time step	= 262.3E-09	Time = .02			End = .02	
	Transier Transier	nt Analysis nt Analysis fir	nished									
	Simulati	on complete			_ . []	An An	alysis / Watch	λ Devices∕				
							Time	= .02		100%		
# I	niciar 6	Pspice2 -	• 🦉 imag	em 😔 i	Spice A	PSpice D	. 🔄 📴 PSpice	M 🔣 PSp	ice S 🛛	📕 fourier	« 🌯 📑	4 17:25

Selecione no Menu Trace > Add Trace





Selecione a tensão V(Vin) e confirme :

Para visualizar o arquivo de saída que contém a análise de Fourier das variáveis, pressione o botão ao lado :



* Schematics Version 9.1 - Web Update 1
* Sun Apr 27 18:25:16 2003
* Analysis setup ** .tran 0.1ms 20ms 0 0.001m .four 1k 9 V([Vin]) I(R_R1)

* From [PSPICE NETLIST] section of PSpiceev.ini: .lib "nom.lib"

.INC "fourier.net" **** INCLUDING fourier.net **** * Schematics Netlist *

R_R1 0 Vin 1k V_V1 Vin 0 +PULSE 5 -5 0 1U 1U 0.001 2ms

**** RESUMING fourier.cir **** .INC "fourier.als"

**** INCLUDING fourier.als **** * Schematics Aliases *

.ALIASES R_R1 R1(1=0 2=Vin) V_V1 V1(+=Vin -=0) _(Vin=Vin) .ENDALIASES

**** RESUMING fourier.cir **** .probe

.END

* D:\Doc\Rodrigo\Apostilas\fourier.sch

**** FOURIER ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(Vin) DC COMPONENT = 4.900000E+00

HARMONIC FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED NO (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG)

11.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+010.000E+0022.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+019.000E+0133.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+011.800E+0244.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+012.700E+0255.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+013.600E+0266.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+014.500E+0277.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+015.400E+0288.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+016.300E+0299.000E+032.000E-011.000E+00-9.000E+017.200E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.828427E+02 PERCENT

**** FOURIER ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R_R1)

DC COMPONENT = -4.900000E-03

HARMONIC FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED NO (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG)

1	1.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	0.000E+00
2	2.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-9.000E+01
3	3.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-1.800E+02
4	4.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-2.700E+02
5	5.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-3.600E+02
6	6.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-4.500E+02
7	7.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-5.400E+02
8	8.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-6.300E+02
9	9.000E+03	2.000E-04	1.000E+00	9.000E+01	-7.200E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.828427E+02 PERCENT

JOB CONCLUDED	
TOTAL JOB TIME	2.56

5.6 Integrador com Amplificador Operacional Ideal

Vamos desenhar o circuito à seguir :



Componentes (OPAMP , EGND , VPULSE , R , C , BUBBLE)

Neste circuito estamos utilizando um amplificador operacional ideal, este componente deve somente ser utilizado para fins de simulação. Seu comportamento não corresponde totalmente à realidade quando da montagem de um protótipo. Ele é muito útil devido à limitação do número de amplificadores reais que podem ser utilizados na versão estudante do PSpice, já que ele não apresenta restrições quando ao número de seu uso.

Vamos definir os parâmetros do VPULSE (Secção 5.4) :

No nosso caso , queremos uma onda quadrada de +- 10V , 1 KHz , assim :

TR=TF= 1 Us ; PER= 1ms ; PW=0.5 ms ; V1=+10 ; V2=-10 ; TD=0

Após o ajuste dos parâmetros clique OK para sair .

Podemos definir também os parâmetros do operacional , como ganho (GAIN) e tensão de alimentação (VPOS/VNEG) :

U1 PartName: OPAMP	×
Name Value	Save Attr
TEMPLATE=E^@REFDES %OUT 0 VALUE {LIMIT(V(%+,% ▲ PART=0PAMP VP0S=+15V VNEG=-15V GAIN=1E6 PKGTYPE= PKGREF=U1	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Ao definirmos os valores de alimentação do operacional ideal estamos também definindo seus valores de saturação (limite máximo e mínimo de tensão de saída).

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Analysis Setup					
Enabled		Enabled			
	AC Sweep		Options	Close	
	Load Bias Point		Parametric		
	Save Bias Point		Sensitivity		
	DC Sweep		Temperature		
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function		
	Bias Point Detail		Transient		
	Digital Setup				
		-			

1	Fransient	X
	Transient Analysis	
	Print Step: 20ns	
ĺ	Final Time: 10m	
	No-Print Delay:	
	Step Ceiling:	
	🗖 Detailed Bias Pt.	
	Skip initial transient solution	
	Fourier Analysis	
	Enable Fourier	
1	Center Frequency:	
	Number of harmonics:	
•	Output Vars.:	
	OK Cancel	

Vamos definir o passo de 20 ns Tempo final de 10 ms

A simulação deve demorar um pouco, se desejar uma simulação mais rápida altere o Print Step

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



Selecione no Menu Trace > Add Trace

👹 Schematic1 - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 [Schematic1 (active)]					
🛃 <u>F</u> ile <u>E</u> dit <u>V</u> iew <u>S</u> imulation	<u>Trace</u> <u>Plot</u> T <u>o</u> ols <u>W</u> indow	Help 💦			
<u>"</u> 	Add Trace	lns 💻			
	Delete All Traces	Ctrl+Del			
🔍 🔍 🔍 🔍 🛄 🗄 🛠	<u>U</u> ndelete Traces	Ctrl+U			

Selecione a tensão V(Vin) e V(Vo) e confirme :



6. Digital Simulations (Simulação com Circuitos Digitais)

O PSpice pode simular circuitos puramente analógicos , puramente digitais ou uma associação de ambos . Na versão do estudante temos limitações quanto ao número de componentes e nós que podemos simular o que não permite que utilizemos circuitos muito complexos . Os circuitos digitais podem ser analisados sob qualquer tipo de simulação que já estudamos , mas geralmente nos interessamos mais pela análise transitória onde podemos observar o sinal da saída dos pinos em um determinado intervalo de tempo . Por isso vamos demonstrar a utilização dos circuitos digitais com ênfase na análise transitória (secção 5).

6.1 Alimentação dos Sinais Digitais

Apesar de termos que utilizar fontes analógicas para alimentar nossos circuitos digitais o PSpice faz internamente a conversão Analógico-Digital afim de providenciar um sinal digital para os componentes digitais . Essas conversões são realizadas por pequenos circuitos mas que farão que a simulação fique mais longa e que o limite de uso da versão estudante seja logo alcançado . Por isso vamos nos dedicar a conhecer fontes de alimentação digitais .

6.11 Fontes de Sinais Digitais

A fonte STIM nos permite definir qualquer seqüência de bits no tempo .



Ao clicarmos duas vezes sobre ela a seguinte tela se abrirá :

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value	
TIMESTEP =	Save Attr
TIMESTEP=	Change Display
COMMAND2=	Delete
COMMAND4= COMMAND5=	
COMMAND6=	
✓ Include Non-changeable Attributes	ОК
Include System-defined Attributes	Cancel

Ela nos permite definir os tempos e as amplitudes de nosso sinal , como se definíssemos a carta de tempos daquele sinal .

No nosso exemplo temos :



TEMPO ABSOLUTO

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value	
COMMAND5 =	Save Attr
TIMESTEP= COMMAND1=0s 0 COMMAND2=1m 1 COMMAND3=3m 0 COMMAND4=4m 1	Change Display Delete
COMMAND5= COMMAND6=	
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Ou seja , do tempo 0 até 1 ms teremos nível 0 , de 1
m até 3ms nível 1 , de 3ms à 4 ms nível 0 e de 4ms em diante nível 1 .

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

Analysis Setup 🔀					
Enabled		Enabled			
	AC Sweep		Options	Close	
	Load Bias Point		Parametric		
	Save Bias Point		Sensitivity		
	DC Sweep		Temperature		
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function		
	Bias Point Detail		Transient		
	Digital Setup				

Transient	×
- Transient Analysis	
Print Step:	10Us
Final Time:	10ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	
🔲 Detailed Bias Pt.	
🔲 Skip initial transient solu	ition
- Fourier Analysis	
🔲 Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
ОК	Cancel

Vamos definir o passo de 10 Us Tempo final de 10 ms

Feche a tela e simule .

Pressione o botão Simulate .



a 🔛	mplificad	lor - OrCAI	D PSpice A/D	Demo - [ar	nplificador (active)]						_ 8 ×
	<u>Eile E</u> dit	<u>V</u> iew <u>S</u> im	ulation <u>T</u> race	e <u>P</u> lot T <u>o</u> ols	<u>W</u> indow <u>H</u> e	lp 🛃						_ & ×
" ਵਿ	-	😂 🖬 e	5 % ⊑	2 8 2	⊆ amp	lificador		• п				
]@	, 🔍 🔍	Q 🛛	<u>fn</u> ₩ 🗏	🗠 🌠 १	₿`ver of	★¥ >	ド날까고	* A % 4	r (%)			
-												
92 E												
QEI R												
			1.00		2mc	lunc	Emc	é mc	7mc	9.5	0.00	10mc
		82	1115	2115	3115	4115	21115	UHS	7 115	01115	9115	TUNS
							Time					
	💆 an	nplificador (j									
×	Reading) and check	ing circuit									
Î	Calculat	ead in and c ing bias poir	hecked, no err ht for Transient	ors Analysis		1						
	Bias poi Transier	nt calculated nt Analysis	1			Time step	= 1.569E-09	Time = .01			End = .01	
	Transier Simulati	nt Analysis fir on complete	nished									
	(<u> </u>					An	alysis (Watch) Devices /				
For H	elp, press	F1					Time	= .01		100%		
# 1	niciar 🤅	🗅 Apostilas	Bepice.	🦉 image	🖸 🚱 PSp	ice 📴 P:	Spice 📴 P	Spice	PSpice	📕 amplif	« 🍓 📑	09:07

Selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vsinal) e confirme :

💭 Digital_Fonte - OrCAD PSpice A/D Demo - [Digital_Fonte (active)]	<u> I</u> ×
🛃 Eile Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help 🚟	<u> </u>
🖹 🔹 📁 🔚 🎒 🕺 X 🖻 🛍 🕰 💭 📿 🛛 Digital_Fonte 🕒 🕨	
	1
Ø Usinal IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII	
0s 1ms 2ms 3ms 4ms 5ms 6ms 7ms 8ms 9ms 10m	IS
Reading and checking circuit Circuit read in and checked, no errors	
Calculating bias point for Transient Analysis Bias point calculated	
Transient Analysis End = .01 End = .01	
Simulation complete	
Analysis (Watch) Devices /	
	<u>~~</u>
💆 Iniciar 🔟 PspiceZ_re) 🦉 imagem - P 🧐 Pspice Ap 🔛 Pspice Des 🕎 Pspice Sch 📇 Pspice Me 👹 Digital_F 🛛 🙁	J:49

TEMPO RELATIVO

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value TIMESTEP =	Save Attr
TIMESTEP= COMMAND1=0s 0 COMMAND2=+1m 1 COMMAND3=+2m 0 COMMAND4=+2m 1 COMMAND5= COMMAND6=	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Ao configurarmos como tempo relativo, teremos os tempos sendo definimos à partir do último instante. Vamos definir a mesma forma de onda do exemplo anterior utilizando tempo relativo. O sinal permanece em zero no instante inicial até 1 ms, mudando para o nível 1, permanece lá por 2ms e muda para o nível 0, permanece por 2ms e muda para o nível 1 onde fica pelo restante do tempo.

Procedemos da mesma forma para plotar o sinal de V(Vsinal).



REPETIÇÃO DE LOOPS

Como muitos sinais são periódicos um comando chamado GOTO é utilizado para termos o looping do sinal .

Vamos demonstrá-lo produzindo um sinal de clock de 1kHz por quatro pulsos de clock e um sinal de 500 Hz por seis pulsos de clock :

Vamos definir os parâmetros da seguinte maneira :

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value	
COMMAND6 =	Save Attr
TIMESTEP= COMMAND1=0s 0	Change Display
COMMAND2=LABEL=LOOP1	Delete
COMMAND4=+0.5ms 0	
COMMANDS=+0.5ms GOTO LOOPT 3 TIMES	
Include Non-changeable Attributes	OK
Include System-defined Attributes	Cancel

Como não é possível demonstrar todos os parâmetros em uma única imagem vamos continuar sua edição em outra imagem :

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value TIMESTEP =	Save Attr
COMMAND5=+0.5ms GOTO LOOP1 3 TIMES COMMAND6=LABEL=LOOP2 COMMAND7=+1ms 1 COMMAND8=+1ms 0 COMMAND9=+1ms GOTO LOOP2 5 TIMES COMMAND10= COMMAND11=	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

A seguinte tela se abrirá :

Transient	×
- Transient Analysis	
Print Step:	10Us
Final Time:	20ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	
🔲 Detailed Bias Pt.	
🔲 🔲 Skip initial transient solu	ution
- Fourier Analysis	
🔲 Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
OK	Cancel

Vamos definir o passo de 10 Us Tempo final de 20 ms



Feche a tela e simule .Pressione o botão Simulate .

A tela do Probe (Gráfica) se abrirá , selecione no Menu **Trace > Add Trace**



Selecione a tensão V(Vsinal) e confirme :



Se desejarmos que um loop de um pulso se repita indefinidamente use "-1" para o número de vezes que o loop deve ser repetido :

COMMAND9 = +1ms GOTO LOOP2 -1 TIMES

6.1.2 Digital Clock (Clock Digital)

Se quisermos utilizar um clock com uma freqüência constante , um componente chamado **DigClock** é utilizado :



Este componente nada mais é do que um caso particular do componente STIM visto na secção anterior .

Ao clicarmos duas vezes sobre ela a seguinte tela se abrirá :

DSTM2 PartName: DigClock	×
Name Value	
DELAY =	Save Attr
DELAY= ONTIME=.5uS OFFTIME=.5uS STARTVAL=0 OPPVAL=1 I0_MODEL=I0_STM I0_LEVEL=0	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes Include System-defined Attributes 	OK Cancel

Os atributos são :

DELAY	: define o tempo de espera do sinal em zero até começarem os pulsos
ONTIME	: define o tempo em que o sinal ficará em nível alto (1)
OFFTIME	: define o tempo em que o sinal ficará em nível baixo (0)
STARVAL	: se 0 permite o funcionamento do clock, se 1 desabilita o clock e o deixa
	em nível alto
OPPVAL	: se 1 permite o funcionamento do clock, se 0 desabilita o clock e o deixa
	em nível baixo

No nosso exemplo , queremos um sinal de 1kHz com tempo de espera de 0.5 ms , definimos : DELAY= 0.5ms ; ONTIME = 0.5 ms ; OFFTIME =0.5 ms ; STARVAL=0 e OPPVAL=1 . Clique ok para confirmar e sair .

Observe que a onda não necessariamente tem que ser quadrada podendo assumir também a forma retangular .

Vamos agora ao menu A	Analysis > Setup	, pressione o botão	Transient.
0			

Analysis Setup 🔀							
Enabled		Enabled					
	AC Sweep		Options	Close			
	Load Bias Point		Parametric				
	Save Bias Point		Sensitivity				
	DC Sweep		Temperature				
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function				
	Bias Point Detail		Transient				
	Digital Setup						
		·					

Transient	×
- Transient Analysis	
Print Step:	10Us
Final Time:	20ms
No-Print Delay:	
Step Ceiling:	
🔲 Detailed Bias Pt.	
🔲 Skip initial transient solu	ution
- Fourier Analysis	
🔲 Enable Fourier	
Center Frequency:	
Number of harmonics:	
Output Vars.:	
OK	Cancel

Vamos definir o passo de 10 Us Tempo final de 20 ms

Feche a tela e simule . Pressione o botão **Simulate** .



A tela do Probe (Gráfica) se abrirá , selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vsinal) e confirme :

🧱 Digital_Fonte - OrCAD PSpice A/D Demo 🛛 - [Digital_Fonte (active)]	_ 8 ×							
😹 File Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help 🕵	_ 8 ×							
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1								
●●●●●								
Wsinal								
05 2ms 4ms 6ms 8ms 10ms 12ms 14ms 16ms 18ms Time	2 Øms							
2 📓 Digital_Fonte								
Reading and checking circuit Circuit read in and checked, no errors Calculating bias point calculated Transient Analysis Transient Analysis Transient Analysis Simulation complete Analysis (Watch) Devices /								
Time= .02								
🏄 Iniciar 🖻 Pspice2_re 🦉 imagem - P 🚱 PSpice Ap 🎼 PSpice Des 🕎 PSpice Sch 🛃 Digital_F 🔄 PSpice Me 🗖	× 11:30							

6.2 Utilizando ao mesmo tempo componentes analógicos e digitais

Vamos desenhar o circuito abaixo de um amplificador operacional que proporciona o clock de um flip-flop J-K :



Componentes (VPULSE ; BUBBLE ; EGND ; STIM1 ; OPAMP , R , D1N750 ; 7414 ; 74107 ; HI)

Todos os circuitos seqüenciais lógicos que possuem a função clear devem ter seus estados lógicos iniciais definidos antes de simularmos o circuito .

Se não definirmos o estado inicial dos circuitos seqüenciais lógicos o PSpice não saberá qual estado inicial deve ser simulado, como o estado inicial é indefinido ele não poderá simular os estados seguintes.

O sinal digital está configurado da seguinte maneira :

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value	Save Attr
TIMESTEP=	Change Display
COMMAND2=1u 0 COMMAND3=20u 1 COMMAND4=	Delete
COMMAND5= COMMAND6=	
Include Non-changeable Attributes	ОК
Include System-defined Attributes	Cancel

O clear do flip-flop terá o estado inicial nulo no tempo definido entre 0 e 20 us, permanecendo em nível lógico 1 após este tempo.

A tensão pulsada VPULSE será definida como uma onda quadrada de 1kHz com tensões entre -1 e 1 V :

V1 PartName: VPULSE	×
Name Value	
V1 = 1	Save Attr
V1=1 V2=-1	Change Display
TD=0 TR=1U TF=1U PW=0.0005 PER=1ma	Delete
✓ Include Non-changeable Attributes	ОК
Include System-defined Attributes	Cancel

O amplificador operacional tem um ganho definido pelos resistores de 10 vezes e produz uma tensão quadrada de +- 10V em 1kHz no bubble Vo .

U1	PartName: OP	AMP	×
N	lame	Value	
P	KGTYPE	=	Save Attr
××	REFDES=U1 TEMPLATE=E [^] (₽REFDES %OUT O VALUE {LIMIT(V(%+,%-▲	Change Display
×	PART=OPAMP VPOS=+15V		Delete
L	VNEG=-15V GAIN=1000		
L	PKGTYPE=	▼	
F	Include Non-ch	ingeable Attributes	ок
V	Include System-	defined Attributes	Cancel

A forma de onda será ceifada por um diodo zener que limita a tensão no bubble Vo1 .

Esta tensão é compatível com o nível TTL do 7414 . A saída do Schimit-Trigger deve ser uma onda quadrada de 0 à 5 V com freqüência de 1 kHz (Vo2) .

O flip-flop está funcionando como um divisor por 2 (as entradas (J=K=1) são definidas por um componente chamado **HI** que insere um nível lógico alto nas entradas), assim as saídas Q e Qbarrado devem estar com freqüência de 500 Hz e defasadas de 180°.

Se quisessemos um nível lógico baixo podemos utilizar o componente LO.



Vamos agora ao menu Analysis > Setup , pressione o botão Transient.

A seguinte tela se abrirá :

Transien	t	×		
_ Transie	nt Analysis			
Pri	nt Step:	1ms		
Fin	ial Time:	15m		
No	-Print Delay:			
Ste	ep Ceiling:			
🔲 Detailed Bias Pt.				
Skip initial transient solution				
Fourier Analysis				
	Enable Fourier			
Ce	nter Frequency:			
Nu	mber of harmonics:			
Ou	itput Vars.:			
	OK	Cancel		

Vamos definir o passo de 1ms Tempo final de 15 ms

Feche a tela e simule . Pressione o botão **Simulate** .



A tela do Probe (Gráfica) se abrirá , selecione no Menu **Trace > Add Trace**



Selecione a tensão V(Vo), Vo2, Q e Qbarrado e confirme :



Os sinais digitais são dispostos em um gráfico separado dos sinais analógicos, mas ambos dividem a mesma escala de tempos.

6.2.1 Contador

Vamos simular o circuito de um contador :

O 74393 é um contador binário de 0 à 15 :



As configurações do operacional , do VPULSE e da análise transitória seguem os mesmos valores do item anterior 6.2, sendo que a única mudança foi no sinal digital STIM :

DSTM1 PartName: STIM1	×
Name Value	
TIMESTEP =	Save Attr
TIMESTEP= COMMAND1=0s 0 COMMAND2=1u 1 COMMAND3=2u 0 COMMAND4= COMMAND5=	Change Display Delete
 COMMAND6= ✓ Include Non-changeable Attributes ✓ Include System-defined Attributes 	OK Cancel


Observe que nos esquemas, não aparecem os pinos de alimentação das portas lógicas, pois o PSpice providencia um circuito para sua alimentação mas não o mostra afim de não tumultuar a visualização dos circuitos na tela.

Em muitos casos temos pinos de componentes que não serão utilizados , o PSpice necessita que todos os pinos estejam conectados , assim , para pinos que não serão utilizados , basta conectá-los ao componente NC (not connected).

Vamos fazer um outro exemplo :

Contador Binário com o 7393 :

RO1 RO2 | Qd Qc Qb Qa

1	1	0 0 0	0
0	Х	Count	
Х	0	Count	

As configurações do operacional , do VPULSE e da análise transitória seguem os mesmos valores do item anterior 6.2.1 .



Observe que este componente (7493) não possui Clear ou Preset, mas temos que definir qual o estado inicial dos seus flip-flops internos.

Vamos agora ao menu	Analysis > Setup	, pressione o botão	Digital Setup
		, pressione e courc	

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
	Bias Point Detail		Transient	
<	Digital Setup	\triangleright		

A seguinte tela se abrirá :

Digital Setup		X
Timing Mode Minimum Typical Maximum Worst-case (Min/Max)	Default A/D Interface C Level 1 Level 2 C Level 3 C Level 4	OK Cancel Help
Flip-flop Initialization C All X C All 0 C All 1		

Nela podemos definir qual o estado inicial dos flip-flops ([All 0] Todos 0 ; [All 1] Todos 1 ; [All X] Indefinido) .

Depois é só simular normalmente assim como nos casos anteriores .



6.3 Observações

Quando inserirmos um componente digital temos que tomar um certo cuidado . Vamos exemplificar inserindo um componente 7400 :



Ao inserirmos novamente o mesmo componente o PSpice mantém a mesma pinagem mudando a numeração como se fosse um novo componente :

como queremos que seja utilizado ainda o mesmo circuito integrado visto que o mesmo possui 4 portas lógicas internas vamos renomear a porta lógica dando um duplo clique sobre sua referência U1A (figura1) :

U1A	Edit Reference Design	ator 🔀	U1A
$\frac{1}{2}$	Package Reference Designator:	U2	$\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}$
7400	Gate:		7400
	Package Type: (Footprint)	A B C D	
	ОК	Cancel	7400
figura 1	figura 2		figura 3

Agora basta mantermos a mesma referência mudando U2 para U1 e alterando o Gate (pinos) para B (figura 2), assim teremos a numeração do segundo conjunto de pinos do CI (figura 3) e assim por diante se quisermos outras portas lógicas basta alterar para C e D.

7. Monte Carlo Analyses (Análise do Pior Caso)

As análises Monte Carlo são utilizadas para observar como as tolerâncias dos componentes podem afetar o desempenho do circuito . A análise do pior caso é utilizada para encontrar os valores máximos e mínimos de um parâmetro dada as tolerâncias dos componentes . A análise do pior caso demonstra estatisticamente qual a probabilidade de uma dada situação .

A análise somente pode ser executada quando temos fontes cujos parâmetros são variáveis em amplitude ou freqüência (DC Sweep / AC Sweep / Transient).

7.1 Análise do Pior no Divisor de Tensão

Vamos utilizar como exemplo um divisor de tensão como o desenho abaixo :

Componentes (VDC, BUBBLE, R, EGND)



Para definirmos a tolerância absoluta dos resistores , basta dar um duplo clique sobre cada um deles . A seguinte tela se abrirá :

 R1 PartName: r	×
 Name Value	
 TEMPLATE = R^@REFDES %1 %2 ?TOLERANCE/R^@	Save Attr
* TEMPLATE=R^@REFDES %1 %2 ?TOLERANCE/R^@REF ▲ * REFDES=R1 VALUE=1k * PART=r TOLERANCE=+-5% PKGTYPE=RC05 GATE_	Change Display Delete
 Include Non-changeable Attributes	ОК
 Include System-defined Attributes	Cancel

No parâmetro tolerância, definimos a percentagem de variação do valor total do resistor. Clique OK para sair.

Muitos dos componentes do PSpice já possui o campo TOLERANCE para ser preenchido.

No menu **Analyses > Setup** definimos as condições da variação e qual variável será análise no menu **Monte Carlo/Worst Case** :

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
◄	DC Sweep		Temperature	
~	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
V	Bias Point Detail		Transient	
	Digital Setup			

Nós queremos determinar qual o pior caso para o ganho máximo , desde que o ganho é dado por Vo/Vin e Vin varia de 10 V à 20 V com incremento de 1 V de amplitude , a amplitude do ganho é exatamente o valor de Vo/Vin .

A análise será do pior caso (**Worst Case**). A análise será feita em DC porque queremos determinar qual o ganho em DC do circuito. A variável de saída (output var) que queremos monitorar é a tensão **V(Vo)**. Como queremos à máxima variação escolhemos **MAX**.

Monte Carlo or	Monte Carlo or Worst Case 🛛 🛛 🔀			
Analysis	ase O Monte	e Carlo MC Runs:		
Analysis Type C AC O DCO) Transient ()	lutput Var: V(Vo)		
Function O YMAX @	мах о м	IN O RISE O FALL		
Range Lo:	Range Hi:	Rise/Fall:		
MC Options		WCase Options		
Output	🗖 List	🔲 Output All 📃 List		
🔍 None	Seed	Vary		
	Seed.	● Dev C Lot C Both		
O First"				
	×Value:	- Direction		
ОК	Cancel	Devices:		

Vamos definir a variação da fonte VDC :

DC Sweep		×
Swept Var. Type Voltage Source	Name:	V1
 Temperature Current Source Model Parameter Global Parameter 	Model Type: Model Name: Param. Name:	
Sweep Type C Linear C Octave C Decade C Value List	Start Value: End Value: Increment: Values:	10 20 1
Nested Sweep	OK	Cancel

Feche a tela e simule . Pressione o botão **Simulate** .

PSpice Schematics -				
📳 <u>E</u> ile	e <u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av	
	3	e	*	
	No.	ne	•	
	Simul	ate		

A tela do Probe (Gráfica) se abrirá , onde podemos escolher qual as características das variações queremos plotar (nominal [MINAL] e pior caso [L DEVICES]), no nosso caso são todas (All). Clique ok para sair.

Available Sections	
* D:\Doc\Rodrigo\Apostilas\pior_casoMINAL * D:\Doc\Rodrigo\Apostilas\pior_casoL DEVICES	27.0 Deg 27.0 Deg
All None	OK Cancel

selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo) e confirme :



Temos o gráfico da tensão Vo com os valores nominais dos resistores e também no pior caso de máxima variação .

Para obtermos o gráfico da variação do ganho , no menu **Trace > Add Trace** defina a equação V(Vo)/V(Vin) e teremos o gráfico do ganho nominal e máximo do circuito :



Vamos calcular manualmente o ganho e verificar à solução simulada :

$$Vo/Vin = R2/(R1+R2)$$

Sendo R2= 1000 Ω e R1=1000 Ω - O Ganho Nominal é : Vo/Vin = 0.5 Sendo R2= 1050 Ω e R1=950 Ω - O Ganho Máximo do pior caso é : Vo/Vin = 0.525 Sendo R2= 950 Ω e R1=1050 Ω - O Ganho Mínimo do pior caso é : Vo/Vin = 0.475

Vemos que o resultado simulado correspondeu ao esperado .

7.2 Análise Monte Carlo do Divisor de Tensão

A análise Monte Carlo é utilizada para responder à questão : Que percentagem do meu circuito atingirá ou não minhas especificações ? . Analisando pelo pior caso podemos verificar quais os valores máximos e mínimos do meu parâmetro analisado , vemos assim se o circuito como um todo atende nossa especificação . Se isto não ocorrer podemos utilizar a análise Monte Carlo para estimar que percentagem do circuito será aceitável .

Um exemplo é o ganho do divisor de tensão , no caso anterior vimos que o ganho ficou entre 0.475 e 0.525 , mas se nossa especificação mínima fosse 0.49 , que percentagem do circuito atenderia nossa especificação . Isso é o descobriremos .



Vamos utilizar o mesmo circuito anterior modificando a fonte DC por uma AC (VAC) :

No menu **Analyses > Setup** definimos as condições da variação e qual variável será análise no menu **Monte Carlo/Worst Case** :

Analysis	Setup			×
Enabled		Enabled		
\checkmark	AC Sweep		Options	Close
	Load Bias Point		Parametric	
	Save Bias Point		Sensitivity	
	DC Sweep		Temperature	
~	Monte Carlo/Worst Case		Transfer Function	
~	Bias Point Detail		Transient	
	Digital Setup			

Vamos definir a variação da fonte VAC em 1 V numa freqüência fixa em 1 kHz :

P	AC Sweep and Noise Analysis						
	AC Sweep Type	- Sweep Parameter	8				
	 Linear 	Total Pts.:	1				
•	C Octave	Start Freq.:	1k				
	C Decade	End Freq.:	1k				
	Noise Analysis						
		Output Voltage:					
:	I Noise Enabled	IN					
		Interval:					
	ОК	Cancel					

O ganho não muda em nada , o fato de utilizarmos uma AC é que podemos fixar a amplitude já que queremos saber a variação do ganho .

A análise será de Monte Carlo . O número de vezes que o análise será efetuada será de 100 (MC Runs 100) . Para cada vez , cada parte que possui uma tolerância terá um valor aleatório escolhido dentro de sua faixa de tolerância . A análise será feita em DC porque queremos determinar qual o ganho em DC do circuito . A variável de saída (output var) que queremos monitorar é a tensão V(Vo) . Vamos escolher YMAX pois queremos a resposta da saída ordenada do maior para à menor diferença do valor nominal . YMAX define a função :

f = |V(Vo) - 0.5| onde 0.5 é o valor nominal do ganho

Monte Carlo or Worst Case 🛛 📉							
- Analysis							
🔿 Worst Case 💿 Monte Carlo 🛛 MC Runs: 100							
Analysis Type							
AC O DCO Transient Output Var: V(Vo)							
Function							
⊙ YMAX O MAX O MIN O RISE O FALL							
Range Lo:	Range Hi:	Rise/Fall:					
MC Options		WCase Options					
Output-	🗖 List	🗖 Output All 📘 List					
O None		-Vary					
● All	Seed:	C DevC Lot C Both					
◯ First*							
C Every*	*∀alue:						
C Runs*		Direction					
		© HI O LO					
ОК	Cancel	Devices:					

Quanto à MC Outputs vamos escolher All pois queremos os valores intermediários da saída para cada tentativa . Clique OK para sair

Pressione o botão Simulate .

PSpice Schematics -						
📳 <u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> raw	<u>N</u> av			
		3	X			
	No	ne	Ţ			
	Simul	ate				

A tela do Probe (Gráfica) se abrirá , selecione All ,selecione no Menu Trace > Add Trace



Selecione a tensão V(Vo) e confirme :

e teremos o Histograma com as percentagens de amostras em função dos valores do ganho :



Os desvios são dados em relação ao valor nominal :

Nossa especificação mínima para o ganho era de 0.49, assim como temos 40 amostras **(havíamos definido 100 amostras mas a versão estudante tem um limite máximo de 40)** basta verificar quantas delas não atendem , ou seja , estão localizadas abaixo de 0.49. No nosso caso temos cerca de 18 % .Este número representa a quantidade de circuitos que não passarão na especificação mínima à cada 40 unidades . Quanto maior o número de amostras mais precisão teremos .

SOBRE O AUTOR : Rodrigo Cutri

Nascido em 1979, em São Caetano do Sul, formado em Técnico em Eletroeletrônica pela E.T.E Jorge Street e em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia Mauá, tendo recebido o prêmio como sendo o melhor aluno de sua turma .É Professor das disciplinas Cálculo II, Física II, Laboratório de Fundamentos de Engenharia Elétrica e Materiais Elétricos na Escola de Engenharia Mauá. Atualmente faz Mestrado na área de Eletrônica de Potência na linha de pesquisas sobre Filtros Ativos de Potência na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

SOBRE O LIVRO :

O objetivo deste livro é introduzir o aluno no uso do software PSpice , visando permitir um contato com um software de simulação de circuitos . O livro recheado de figuras e exercícios é ideal para aqueles que querem começar a trabalhar com simulações e para aqueles que querem um texto que lhes permita serem autodidatas no seu aprendizado .

CONTEÚDO :

PSpice	5
Aviso e Termo de Responsabilidade	6
1.Desenhando um esquema de um circuito elétrico 1.1 Simulando o circuito	7 16
2. DC SWEEP (Variando parâmetros p/ obter a Curva de Transferência)	20
 Teorema da Superposição e Proporcionalidade	
 4. AC SWEEP (Variando a freqüência)	
 4.5 Granco de Bode 4.4 Análise do Ganho de um Amplificador 4.5 Ganho do Amplificador Operacional 4.6 Variação Automática do Ganho do Amplificador Operacional 4.6.1 Análise Paramétrica 4.7 Indutância Mútua 	45 48 50 53 53 53 58
 5. TRANSIENT (Análise Transitória) 5.1 Circuito com capacitor com condições iniciais 5.2 Resposta Transitória do Indutor	
 6. Digital Simulations (Simulação com Circuitos Digitais) 6.1 Alimentação dos Sinais Digitais 6.11 Fontes de Sinais Digitais 6.1.2 Digital Clock (Clock Digital) 6.2 Utilizando ao mesmo tempo componentes analógicos e digitais 6.2.1 Contador 6.3 Observações 	
 7. Monte Carlo Analyses (Análise do Pior Caso) 7.1 Análise do Pior no Divisor de Tensão	