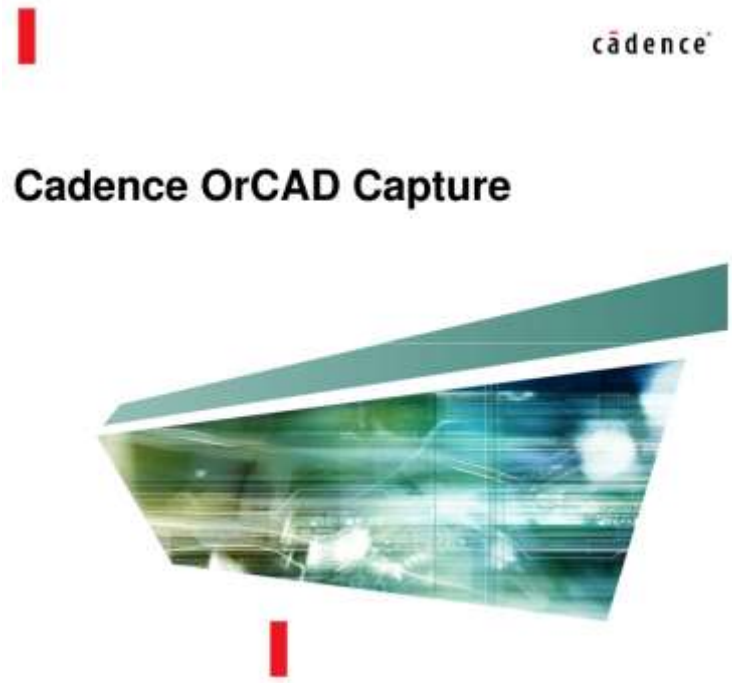
OrCAD
Capture CIS 16.3



Responsáveis

A apostila de **OrCAD** é de responsabilidade do **Programa de Educação Tutorial** do curso de **Engenharia Elétrica** da **Universidade Federal do Ceará**, tendo como principais responsáveis os bolsistas:

- Nestor Rocha Monte Fontenele
- Túlio Naamã Guimarães Oliveira

SUMÁRIO

Criando um novo projeto 5

Ambiente de Trabalho 8

Esquemático de um projeto 10

Simulação 13

Transformadores 18

Fontes 19

- Fonte de tensão contínua (VDC) 19
- Fonte de tensão senoidal no domínio da frequência (VAC) 19
- Fonte de tensão pulsada (VPULSE) 19
- Fonte de tensão senoidal no domínio do tempo (VSIN) 20
- Fonte de tensão controlada por tensão (E) 20
- Fonte de corrente controlada por corrente (F) 20
- Fonte de corrente controlada por tensão (G) 21
- Fonte de tensão controlada por corrente (H) 21

Transiente 22

- Sw_tClose 22
- Sw_tOpen 22

Corrente Alternada Trifásica 24

Exercícios 26

1. Parâmetros globais - Máxima transferência de potência 26
2. Parâmetros de fontes - Curva característica do diodo 28
3. Parâmetros de fontes - Curva característica do diodo zener 30
4. Parâmetros de fontes - Curva característica do transistor 31
5. Diagrama de Bode - Filtros 33

- Passa-Baixa 35
  - Ativo 35
  - Passivo RL 35
  - Passivo RC 35
  - Passivo LC 35
- Passa-Alta 36
  - Ativo 36
  - Passivo RL 36
  - Passivo RC 36
  - Passivo LC 36

- Passa-Faixa 37
  - Ativo 37
  - Passivo RL 37
  - Passivo RC 37
  - Passivo RLC Paralelo 38
  - Passivo RLC Série 38
- Rejeita-Faixa 38
  - Ativo 38
  - Passivo RLC Paralelo 39
  - Passivo RLC Série 39

Criando um novo projeto

Com o OrCAD Capture devidamente instalado, inicie o arquivo “OrCAD Capture CIS”. Este arquivo pode ser acessado em:

Botão Iniciar → Todos os Programas → Cadence → Release 16.3 → OrCAD Capture CIS

Ao iniciar o programa, surgira a tela inicial do OrCAD, Fig. 1.

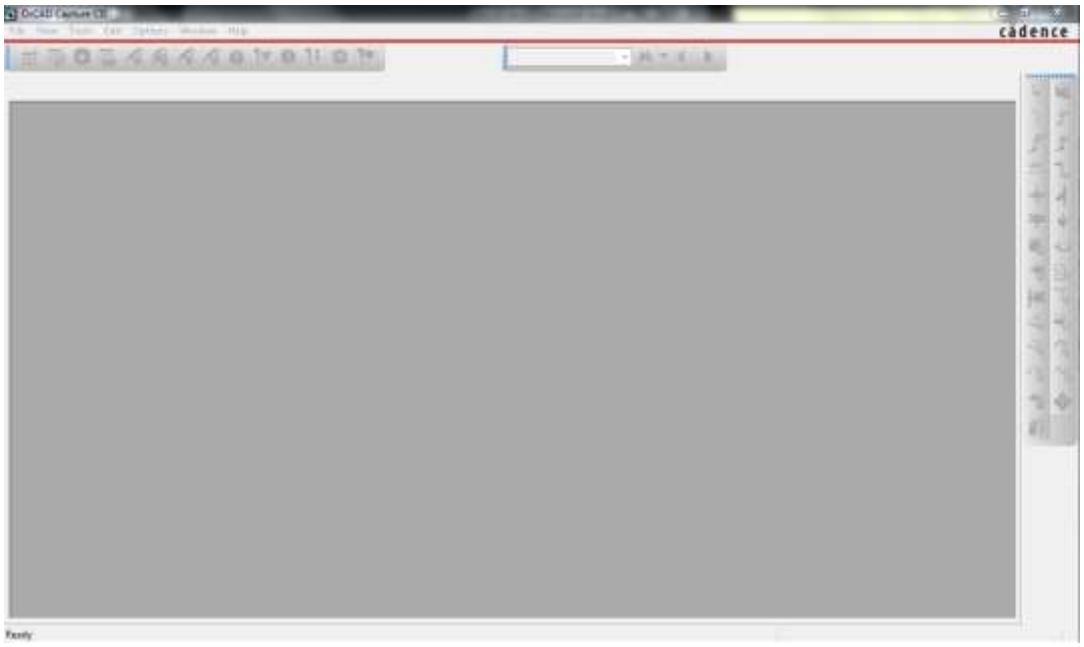


Figura 1 - Tela inicial do OrCAD 16.3.

Para criar um novo projeto, acesse o Menu *File*, Submenu *New*, Opção *Project*, assim como é mostrado na Fig. 2.

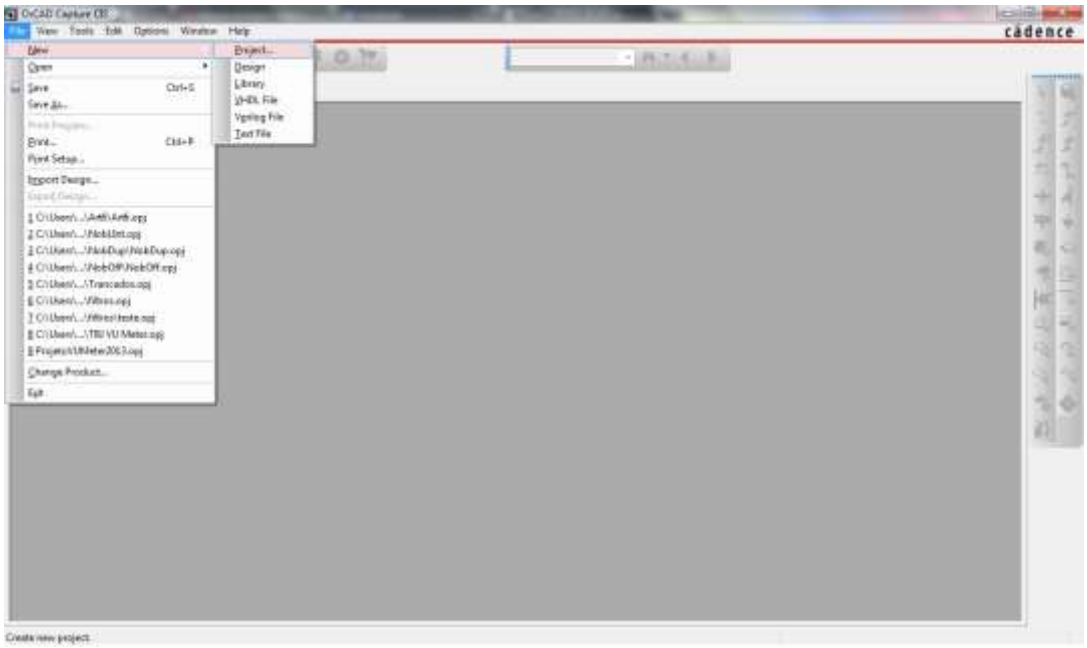


Figura 2 - Criando um novo projeto.

A janela da Fig. 3 representa os tipos de projeto que podem ser criados pelo usuário:

Analog or Mixed A/D: Cria um novo projeto Analógico ou Analógico/Digital. Pode ser um novo projeto em branco ou um dos exemplos que acompanham o OrCAD. Permite que o circuito seja simulado através do PSpice AD.

PC Board Wizard: Meio mais rápido para se iniciar o layout de um circuito.

Programmable Logic Wizard: Meio mais rápido para se iniciar o layout de um circuito para CPLD ou FPGA.

Schematic: Cria um novo projeto de esquemático em branco. Não permite que o circuito seja simulado.

Em nossos estudos sobre o OrCAD, utilizaremos a opção *Analog or Mixed A/D*. Na opção *Name*, coloque o nome do projeto, e na *opção Location*, escolha o local onde o projeto será criado clicando em *Browse*. Em seguida, clique em *OK*.

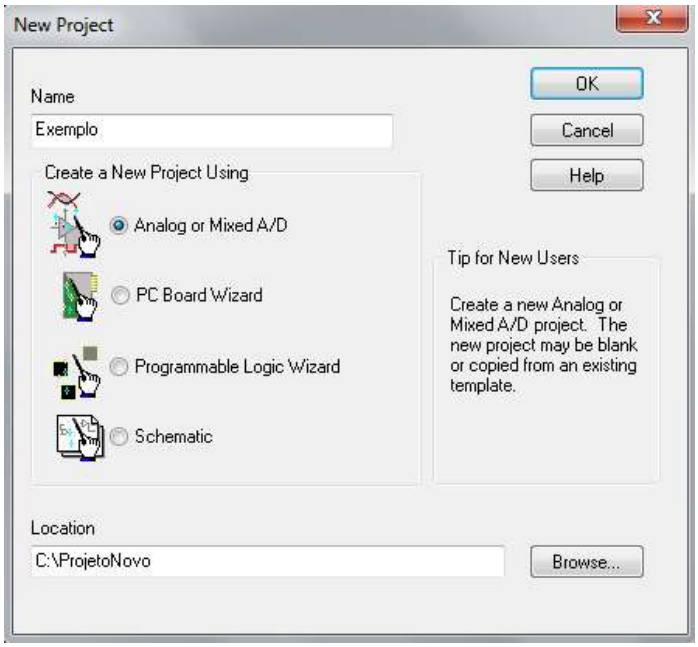


Figura 3 - *New Project.*

Na tela que surgirá, Fig. 4, o usuário pode escolher por criar um novo projeto a partir dos exemplos já existentes no OrCAD, selecionando a opção *Create based upon an existing project* e o exemplo a ser escolhido, ou a partir de um projeto em branco, selecionando a opção *Create a blank project*. Selecione a segunda opção e clique em *OK*.

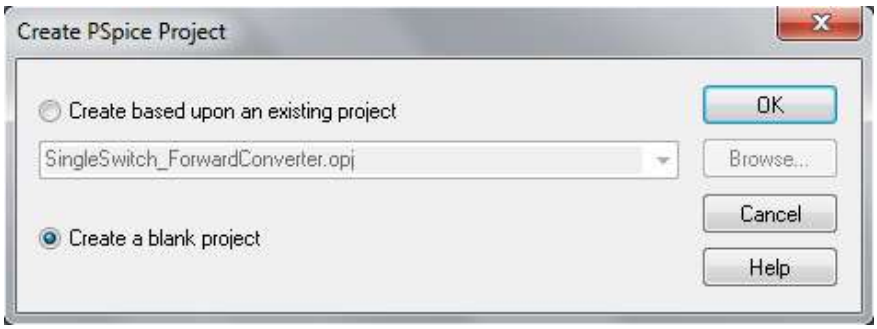


Figura 4 - *Create PSpice Project.*

O novo projeto foi criado e está pronto para ser utilizado, Fig. 5.

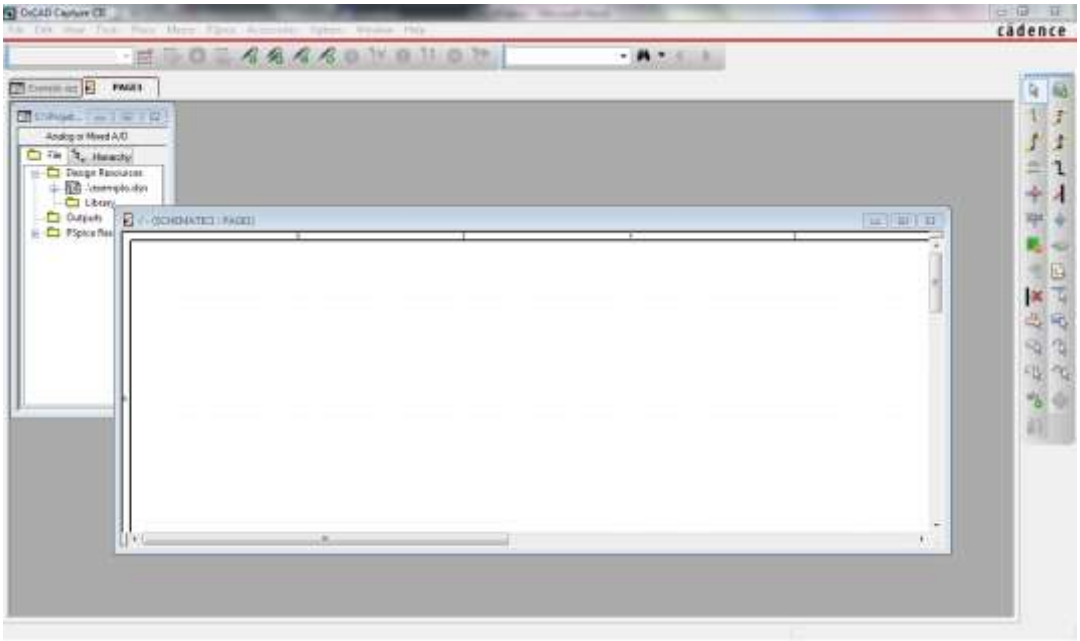


Figura 5 - Tela inicial do projeto.

Ambiente de Trabalho

O Ambiente de trabalho do OrCAD, Fig. 6, é a tela inicial do projeto do OrCAD. Nele estão contidos os principais menus, toolbars e atalhos para se iniciar um projeto.

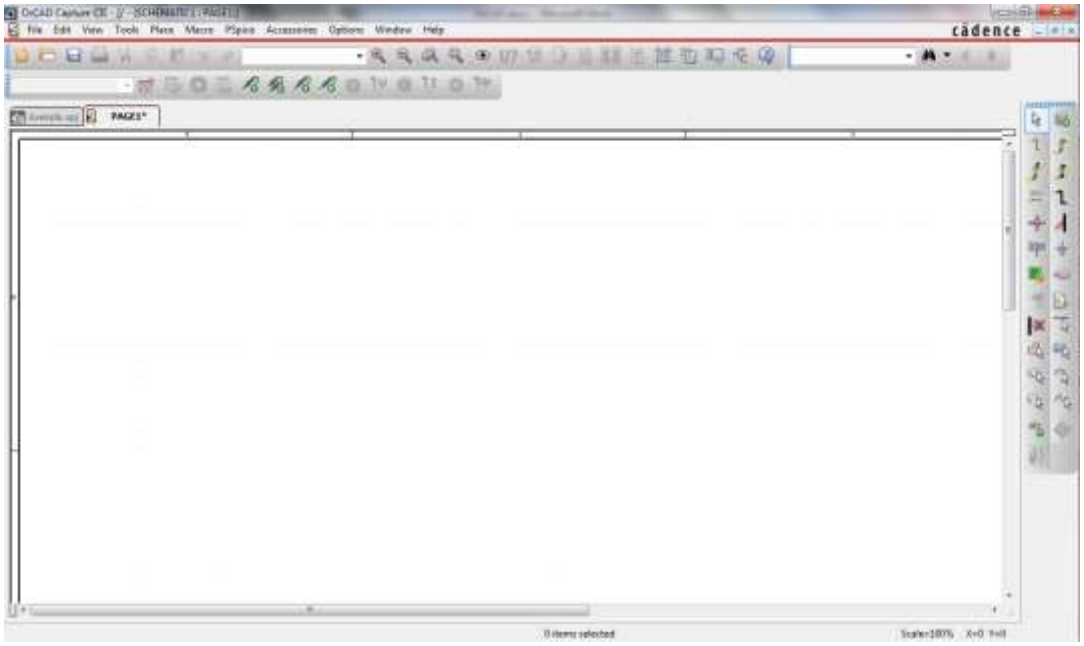


Figura 6 - Ambiente de trabalho do OrCAD 16.3.

Na tela principal do OrCAD, Fig. 7, tem-se:

- Barra de Menus: Barra que contém os principais menus do OrCAD. São eles:
    - *File:* menu onde se pode criar, salvar ou abrir um projeto, imprimir o esquemático, verificar o histórico etc.
    - *Edit:* menu onde se pode editar os componentes do esquemático, como copiar, colar, recortar, rotacionar ou espelhar um componente, voltar ou avançar uma ação etc.
    - *View:* menu onde se pode ativar ou desativar a visualização de algum menu de atalhos na tela principal do OrCAD, aplicar o zoom em determinada área do esquemático etc.
    - *Tools:* menu que permite que o usuário determine os atalhos ativos em cada toolbar.
    - *Place:* menu com os principais comandos do OrCAD, como inserir componentes, conexões, textos etc.
    - *Macro:* menu para criação de Macros do OrCAD.
    - *PSpice:* menu para acesso ao simulador PSpice AD.
    - *Acessories:* menu de acesso a referências.
    - *Options:* menu de opções do OrCAD.
    - *Window:* menu de janelas do OrCAD.
    - *Help:* menu de ajuda do OrCAD.
- *Toolbars:* menus com os principais atalhos para determinada atividade (Capture, Draw, PSpice etc).
- Pasta do Projeto: pasta com os arquivos do projeto, como os esquemáticos e suas simulações.
- Página do Projeto: página de trabalho com o esquemático do projeto.
- Área de Trabalho: área de trabalho para o usuário inserir os circuitos do projeto.
- Barra de Status: barra do status do projeto.
- Barra de Rolagem: barra de rolagem vertical/horizontal da área de trabalho.

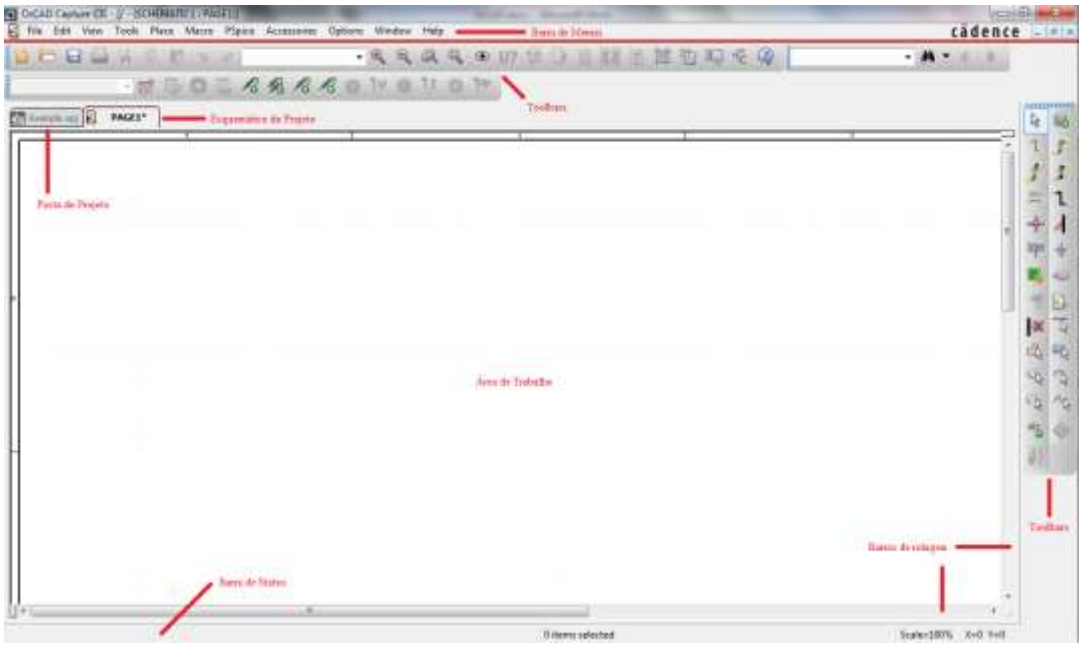


Figura 7 - Tela principal do OrCAD.

Esquemático de um projeto

Depois de criado o projeto, pode-se, finalmente, começar a montar esquemáticos de circuitos. Para se adicionar componentes ao seu esquemático, deve-se, primeiramente, clicar no botão , o que fará com que abra o menu *Place Part* mostrado na Fig. 8.

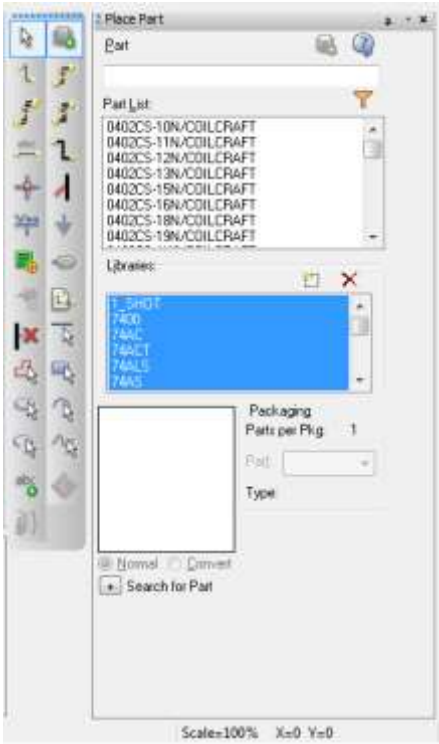


Figura 8 - Menu Place.

Em *Libraries*, são mostradas as bibliotecas disponíveis no OrCAD, onde cada uma delas é composta por diversos componentes, que são mostrados em *Part List*, os quais poderão ser utilizados no seu esquemático. A fim de se facilitar a pesquisa pelos componentes, que é feita em *Part*, geralmente, seleciona-se todas as bibliotecas disponíveis, como também é mostrado na Fig. 8. Para se adicionar as bibliotecas basta clicar em *Add Libraries* (Ícone retângulo no menu *Libraries*) e selecionar todas as bibliotecas que desejar.

Para exemplificar a montagem de um esquemático no OrCAD, vamos montar um circuito retificador meia onda. Primeiramente, devem ser adicionados os componentes que serão utilizados à área de trabalho. No caso em questão, é necessário adicionar um diodo, representado por Dbreak/BREAKOUT, um resistor, representado por R, e uma fonte de tensão alternada, representada por VSIN/SOURCE. Adicione cada um desses componentes pesquisando pelo nome e dando um duplo clique sobre os mesmos. Organize o esquemático de acordo como é mostrado na Fig. 9. Caso queira girar o componente, basta apertar a tecla R.

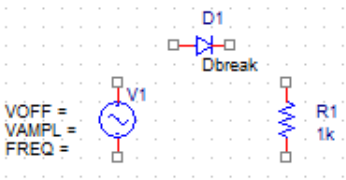


Figura 9 - Componentes adicionados à área de trabalho.

Para se configurar a fonte de tensão alternada, o valor da resistência ou o nome de qualquer um dos componentes, deve-se dar um duplo clique sobre o parâmetro a ser alterado, o que fará com que seja aberta a tela mostrada na Fig. 10. Faça a alteração no campo *Value* e clique em OK.

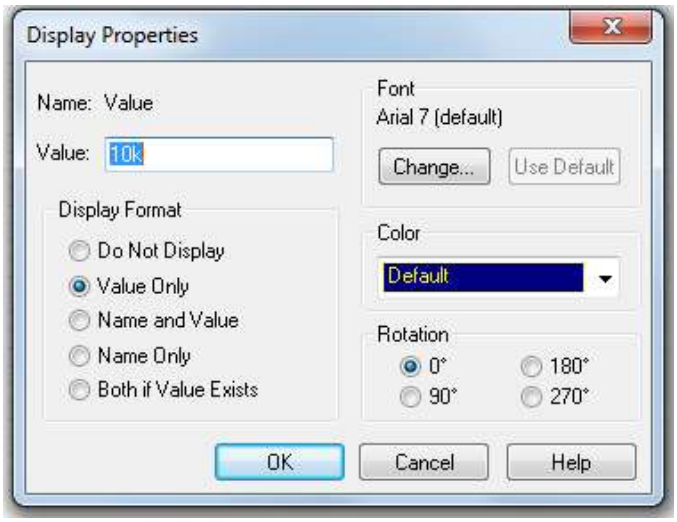


Figura 10 - Display Properties.

Configure cada um dos componentes do mesmo modo como pode ser visto na Fig. 11. Cada um dos parâmetros da fonte de tensão alternada será explicado posteriormente.

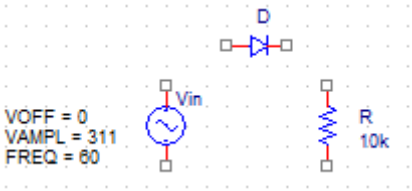


Figura 11 - Configuração dos componentes.

Agora que todos os componentes foram adicionados e configurados, deve-se adicionar a referência do circuito clicando no botão . A tela mostrada na Fig. 12 será aberta. Então, escolha uma das referências disponíveis. Geralmente, é utilizada a referência 0/CAPSYM.

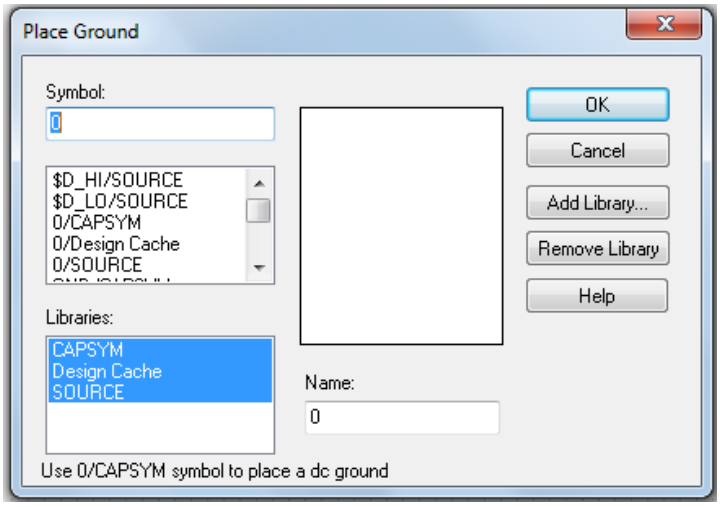


Figura 12 - Place Ground.

Finalmente, deve-se fazer a ligação dos componentes que foram adicionados. Para isso, clique no botão e faça as ligações conforme é mostrado na Fig. 13.

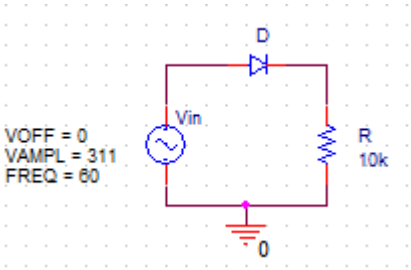


Figura 13 - Ligação dos componentes.

Simulação

Após montado todo o esquemático do circuito, pode-se, finalmente, fazer a simulação do mesmo. Para criar uma nova simulação, clique, primeiramente, em PSpice, na barra de menus, e, em seguida, em *New Simulation Profile*. Digite o nome da simulação e aperte em *Create*. Será, então, aberta a tela mostrada na Fig. 14.

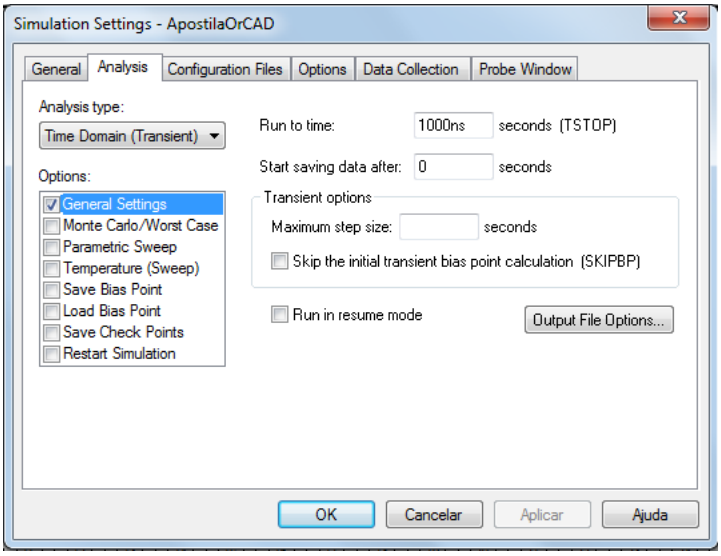


Figura 14 - Simulation Settings.

Para se escolher o tipo de análise que será feita na simulação, clica-se em *Analysis* e depois em *Analysis type*. Escolha o tipo de análise mostrada na Fig. 14 e altere apenas o tempo de simulação em *Run to time* para 35 ms. Em seguida, clique em OK.

O PSpice A/D simula tensão, diferença de tensão, corrente e potência. As ponteiras utilizadas para realizar essas simulações são mostradas da esquerda para a direita, respectivamente, na Fig. 15, e podem ser encontradas nos *Toolbars* do OrCAD.

Figura 15 - Ponteiras para simulação.

Para se simular tensão ou diferença de tensão, basta selecionar a ponteira em questão e clicar nos pontos desejados no circuito. No caso em que se deseja simular o comportamento da corrente, deve-se selecionar a ponteira de corrente e clicar na ponta de algum dos componentes. Por último, caso se queira simular a potência, deve-se selecionar a ponteira de potência e clicar em cima de algum dos componentes. Se for clicado em um ponto qualquer do circuito que não seja a ponta ou em cima de algum dos componentes, no caso da simulação da corrente ou potência, respectivamente, ocorrerá um erro na simulação.

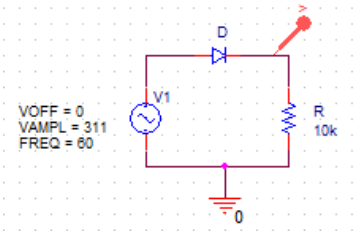


Figura 16 - Exemplo do uso da ponteira de tensão.

Para o exemplo do circuito retificador de meia onda, selecione a ponteira de tensão e clique em um ponto qualquer entre o resistor e o diodo conforme é mostrado na Fig. 16. Em seguida, clique no botão . Abrindo-se a simulação no PSpice A/D, pode-se ver a tela mostrada na Fig. 17.

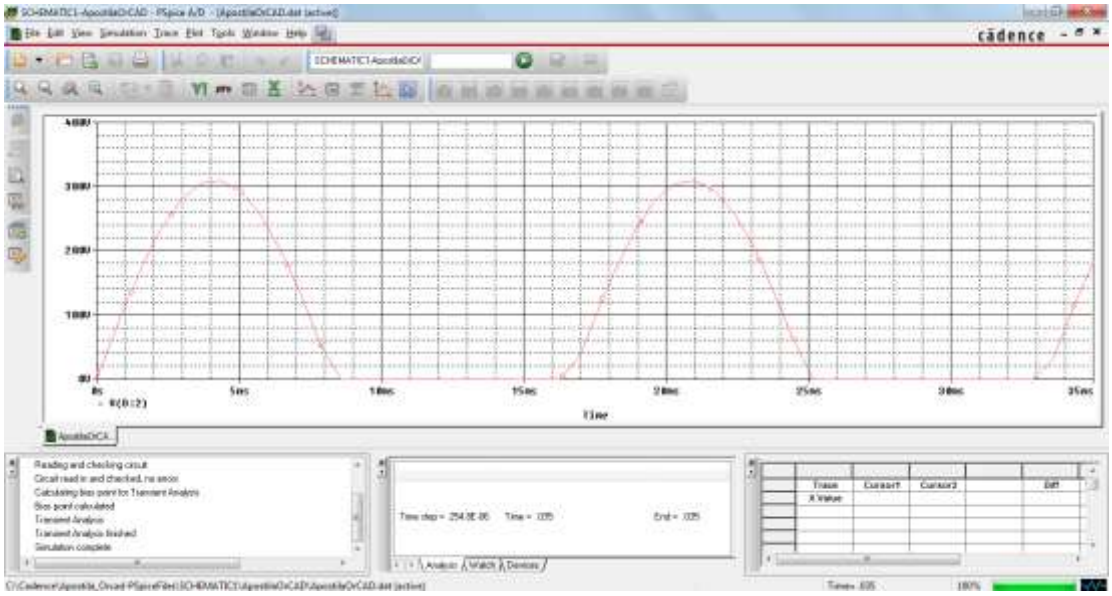


Figura 17 - Simulação no PSpice A/D.

Clicando-se sobre o eixo X ou Y, abrir-se-á a tela mostrada na Fig. 18. Nessa tela, pode-se alterar, dentre outras coisas, os intervalos dos eixos que serão mostrados na tela de simulação, clicando-se em *User Defined*, e as variáveis de cada um dos eixos, clicando-se em *Axis Variable*.

Figura 18 - *Axis Settings.*

O PSpice A/D possui outras diversas ferramentas para modificar a visualização o seu gráfico, como, por exemplo, a edição das propriedades da curva mostrada na tela de simulação. Para isso, aperte o botão direito do mouse sobre a curva e, depois disso, clique em *Trace Property*, o que fará com que seja aberta a tela mostrada na Fig. 19. Como se pode observar, podem ser alteradas a cor, o padrão, o símbolo e a largura utilizada.

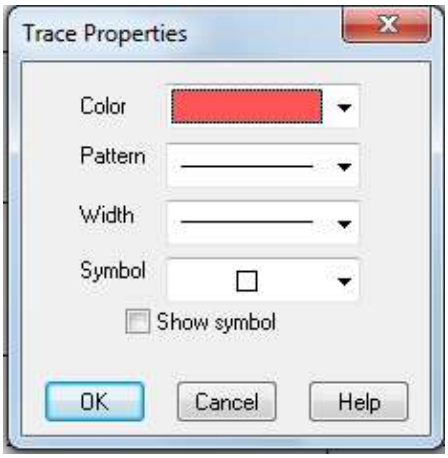


Figura 19 - *Trace Property*.

Além de mudar as propriedades das curvas, é possível também alterar a cor do fundo e da grade do gráfico. Para isso, basta clicar em *Tools* e depois em *Options*. Será aberta, então, uma nova tela. Clique na aba *Collor Settings*, como mostrado na Fig. 20, e altere as cores como desejar.

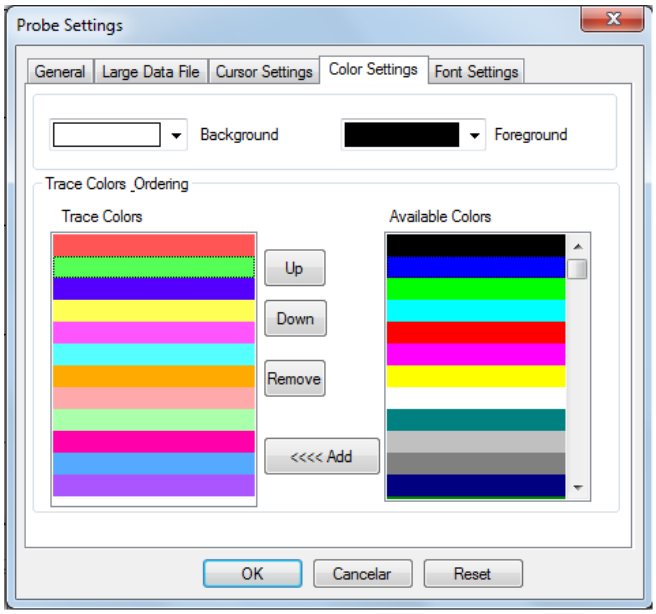


Figura 20 – *Probe Settings*.

Observando-se o canto inferior esquerdo da tela de simulação, pode-se encontrar a representação da curva que está sendo mostrada. No caso em questão, conforme mostrado na Fig. 17, tem-se "V(D:2)". Caso queira-se alterar ou acrescentar alguma curva, dê dois cliques sobre a representação mostrada.

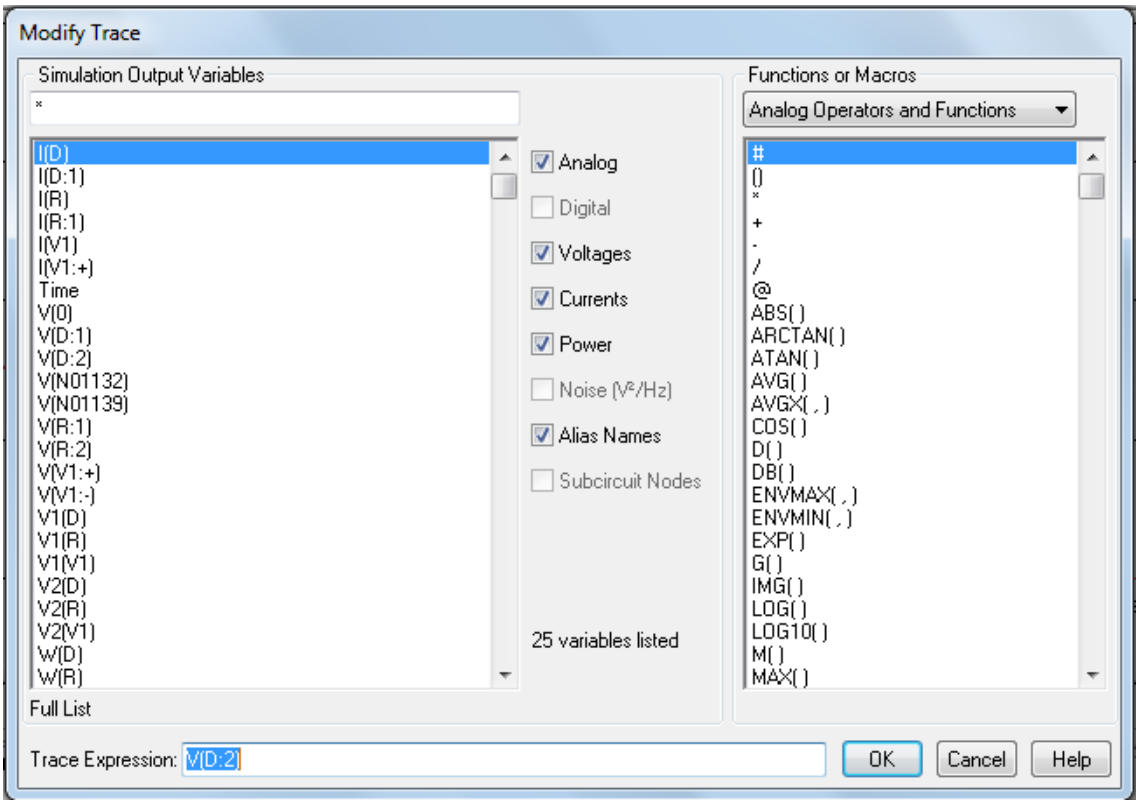


Figura 21 - *Modify Trace.*

Na parte direita da tela mostrada na Fig. 21, são mostradas diversas funções que podem ser aplicadas às variáveis simuladas. Duas funções bastante úteis são as funções AVG e RMS, que encontram o valor médio e eficaz, respectivamente, da curva. Elas, assim como todas as outras, são usadas com a seguinte sintaxe, para o caso em questão:

$$AVG(V(D{:}2))$$

$$RMS(V(D{:}2))$$

Há ainda a possibilidade de serem mostrados dois ou mais gráficos distintos na mesma tela. Para isso, primeiramente, clique com o botão direito do mouse sobre qualquer parte da tela e, em seguida, clique em *Add Plot*. A tela ficará como a mostrada na Fig. 22. Volte até a área de trabalho do OrCAD e adicione uma nova ponteira. Observe que no gráfico selecionado, ou seja, aqueles aos quais serão adicionadas as curvas, aparece “SEL >>>” no lado esquerdo do mesmo.

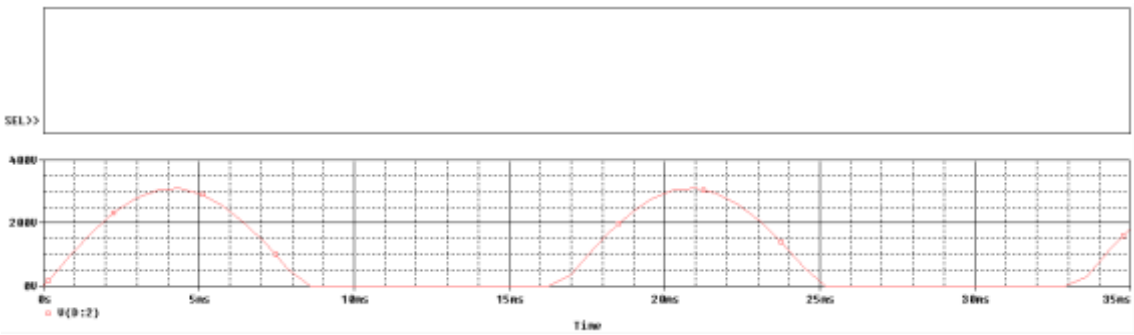


Figura 22 – Adicionando um novo gráfico.

Outra opção que o OrCAD também fornece é a de fixar as curvas dispostas na simulação bem como as características da simulação (espessura das curvas, tempo de simulação analisado, *subplots*, zoom etc). Para isso, deve-se acessar o Menu *Probe Window* em *Simulation Settings*, Fig. 14. Com isso, a tela da Fig. 23 surgirá.

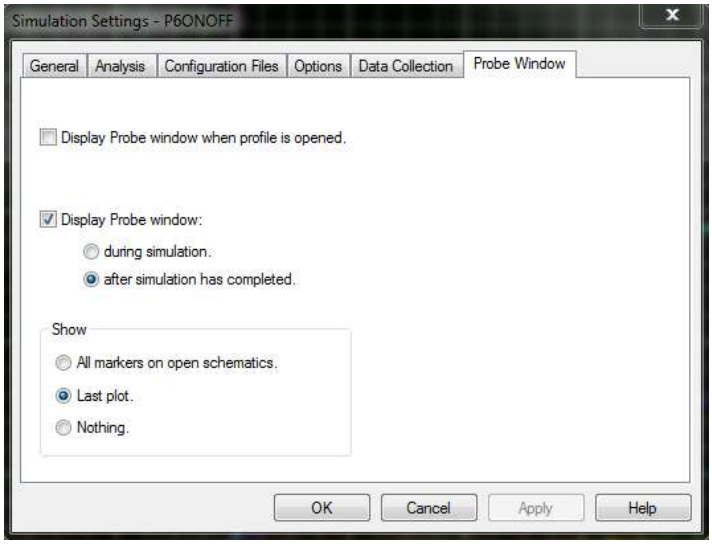


Figura 23 - *Simulations Settings: Probe Window*

No Menu *Probe Window*, deve-se ativar a opção *Last Plot* no Submenu *Show*, o que fará com que a última configuração de simulação seja mantida. Caso o usuário deseje voltar para a situação padrão, onde todas as curvas com ponteiras ativas no esquemáticos são dispostas na simulação, basta ativar a opção *All markers on open schematics*.

Transformadores

Nas bibliotecas do OrCAD não existe o componente transformador propriamente feito. Então, para se fazer uso de um transformador no mesmo, é preciso realizar o acoplamento de duas ou mais bobinas, dependendo, logicamente, do transformador a ser utilizado.

Para se exemplificar a montagem de um transformador no OrCAD, vamos fazer o acoplamento de apenas duas bobinas.

Primeiramente, devem ser adicionados os indutores à área de trabalho. Em seguida, deve-se adicionar o componente K_Linear/ANALOG mostrado na Fig. 24.

Figura 24 - Componente K_Linear.

Para se realizar o acoplamento dos indutores adicionados anteriormente à área de trabalho, deve-se dar dois cliques sobre a letra K, que está dentro do quadrado mostrado na Fig. 24. Então, será aberta uma tela como a mostrada na Fig. 25.

	A
	SCHEMATIC1 : PAGE1
Color	Default
COUPLING	1
Designator	
Graphic	K_Linear.Normal
ID	
Implementation	
Implementation Path	
Implementation Type	PSpice Model
L1	
L2	
L3	
L4	
L5	
L6	
Location X-Coordinate	620
Location Y-Coordinate	180
Name	INS1395

Figura 25 - Acoplamento dos indutores utilizando o K_Linear.

Nos campos L1 e L2, digite os nomes dos indutores a serem acoplados. Caso seja necessário o acoplamento de mais de duas bobinas, podem ser utilizados também os campos L3, L4, L5 e L6. Salve, volte para o esquemático e altere o valor das indutâncias para os que você deseja utilizar.

Fontes

Dentre as bibliotecas que o OrCAD possui, a biblioteca *Source* é a que contém os diferentes tipos de fontes independentes que são utilizados para simulação de circuitos. A seguir, serão apresentados os principais tipos de fontes independentes presentes na biblioteca:

- **Fonte de tensão contínua (VDC)**

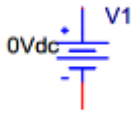


Figura 26 - Fonte VDC.

  - Parâmetros:
    - 0Vdc - Valor da fonte de tensão em *Volts* [V]

- **Fonte de tensão senoidal no domínio da frequência (VAC)**

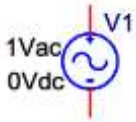


Figura 27 - Fonte VAC.

  - Parâmetros:
    - 1Vac - Valor eficaz da fonte de tensão alternada em *Volts* [V]
    - 0Vdc - Valor de offset de tensão contínua em Volts [V]

- Fonte de tensão exponencial (VEXP)

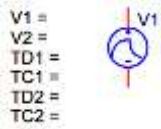


Figura 28 - Fonte VEXP.

  - Parâmetros
    - V1 - Valor de tensão inicial em Volts [V]
    - V2 - Valor te tensão final em Volts [V]
    - TD1 - Tempo no qual inicia a passagem de V1 para V2
    - TC1 - Constante de tempo para a primeira passagem
    - TD2 - Tempo no qual inicia a passagem de V2 para V1
    - TC2 - Constante de tempo para a segunda passagem

- **Fonte de tensão pulsada (VPULSE)**

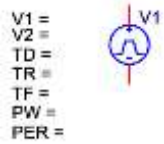


Figura 29 - Fonte VPULSE.

- Parâmetros
  - V1 - Valor de tensão inicial em Volts [V]
  - V2 - Valor de tensão final em Volts [V]
  - TD - Tempo de atraso
  - TR - Tempo de subida de V1 para V2
  - TF - Tempo de subida de V2 ´para V1
  - PW - Tempo ativo, em V1
  - PER - Período para repetição da onda

- **Fonte de tensão senoidal no domínio do tempo (VSIN)**

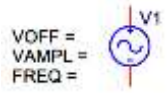


Figura 30 - Fonte VSIN.

- Parâmetros
  - VOFF - Valor de offset de tensão contínua em Volts [V]
  - VAMPL - Valor de amplitude da tensão Volts [V]
  - FREQ - Frequência da senóide

O OrCAD também possui fontes de corrente independentes com os mesmos parâmetros das fontes de tensão mencionadas, bastando substituir a letra “V” pela letra “I” para representar as fontes de correntes (IDC, IAC, IEXP, IPULSE, ISIN).

Além das fontes independentes, o OrCAD também possui fontes dependentes de tensão ou de corrente. Essas fontes se encontram na biblioteca *Analog* e serão apresentadas a seguir:

- **Fonte de tensão controlada por tensão (E)**

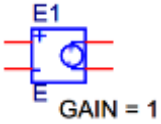


Figura 31 - Fonte E.

- Parâmetros
  - GAIN - Ganho de tensão por tensão [V/V]

- **Fonte de corrente controlada por corrente (F)**

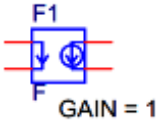


Figura 32 - Fonte F.

- Parâmetros
  - GAIN - Ganho de corrente por corrente [I/I]

- **Fonte de corrente controlada por tensão (G)**

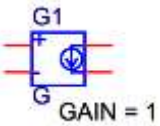


Figura 33 - Fonte G.

  - Parâmetros
    - GAIN - Ganho de corrente por tensão [I/V]

- **Fonte de tensão controlada por corrente (H)**

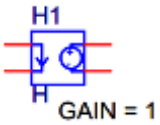


Figura 34 - Fonte H.

  - Parâmetros
    - GAIN - Ganho de tensão por corrente [V/I]

Transiente

Para trabalhar com circuitos transientes RC ou RL no OrCAD, utiliza-se os componentes Sw_tClose e Sw_tOpen, presentes na biblioteca *ANL_MISC*. Esses componentes são demonstrados a seguir:

- **Sw_tClose**

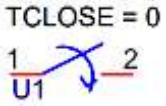


Figura 35 - Chave Sw_tClose.

  - Parâmetros
    - TCLOSE - Tempo no qual a chave irá fechar em segundos [s]

- **Sw_tOpen**

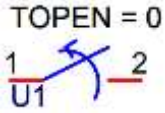


Figura 36 - Chave Sw_tOpen.

  - Parâmetros
    - TOPEN - Tempo no qual a chave irá abrir em segundos [s]

Na Fig. 37, mostra-se um circuito que demonstra a aplicação desses componentes em circuitos transientes. Nas Fig. 38 e 39, observa-se a tensão (verde) no capacitor e a corrente (vermelho) no resistor.

Nesse circuito, a chave U1 fecha e U2 abre em T = 0s, fazendo com que o capacitor se carregue, aumentando seu valor de tensão e diminuindo a corrente que passa pelo resistor.

Em T = 2ms, a chave U3 abre e U4 fecha, fazendo com que a fonte de tensão saia do circuito, o capacitor, que passe a funcionar como "fonte de tensão", se descarregue, diminuindo o seu valor de tensão e invertendo o sentido da corrente.

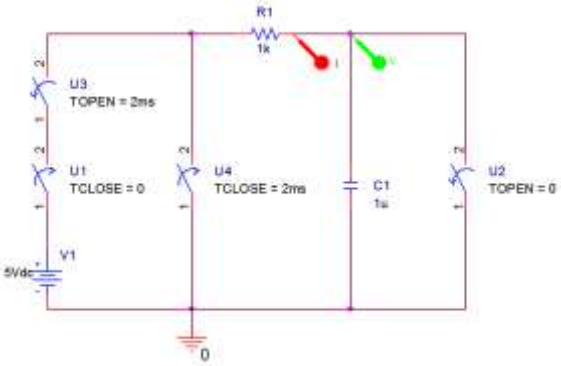


Figura 37 - Circuito transiente.

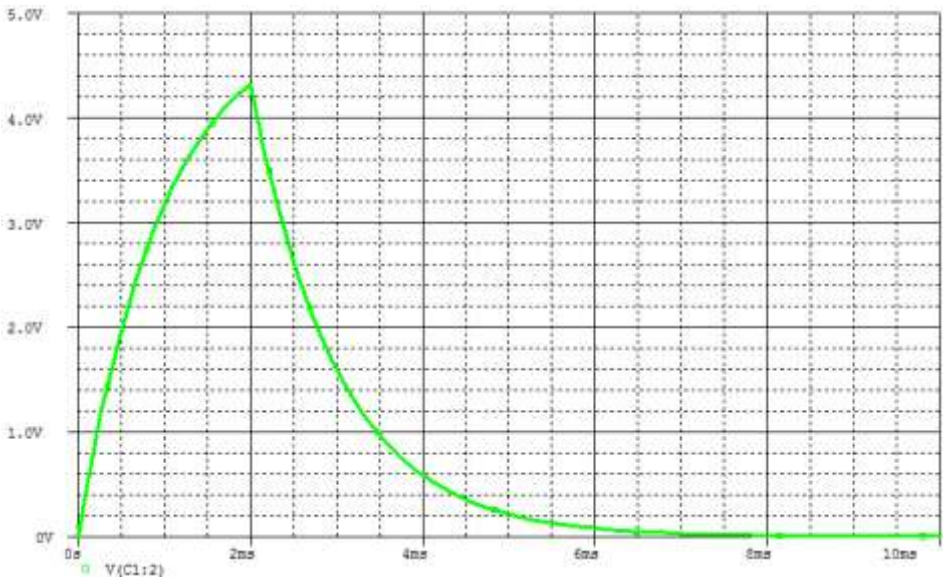


Figura 38 - Tensão no capacitor.

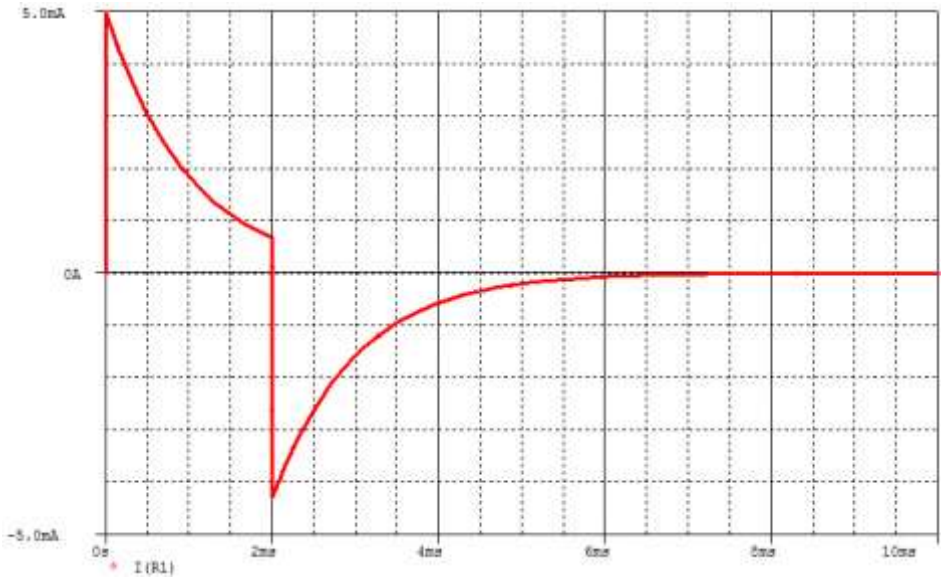


Figura 39 - Corrente no resistor.

Corrente Alternada Trifásica

Como visto anteriormente, dentre os parâmetros visíveis da fonte VSIN, não consta a fase (ângulo de defasamento) da onda senoidal, por padrão, esse ângulo é igual a zero. No entanto, ao se trabalhar com circuitos trifásicos no OrCAD deve-se alterar o defasamento das fontes de tensão senoidais. O procedimento para alterar a fase de cada fonte é demonstrado a seguir.

Após a montagem do circuito trifásico com a inserção de todos os componentes, como por exemplo o contido na Fig. 40, selecione uma das fontes de tensão, clique com o botão direito em cima da fonte de tensão desejada e escolha a opção "*Edit Properties...*" ou dê um duplo clique na fonte senoidal, com isso, irá abrir a janela com as propriedades do componente escolhido, Fig 41.

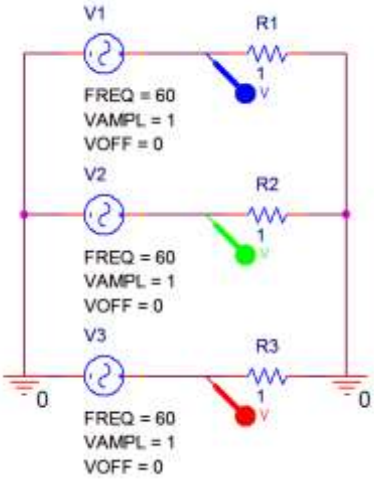


Figura 40 - Circuito trifásico.

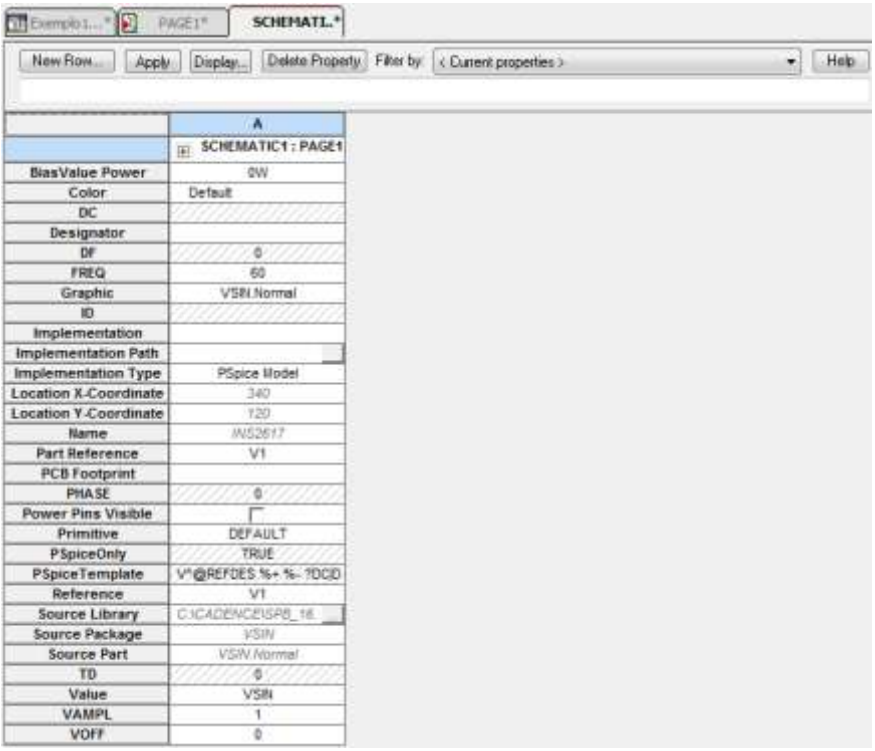


Figura 41 - Propriedades de componente.

Na coluna/linha *PHASE*, digite o ângulo de defasagem, em graus, da fonte de tensão senoidal escolhida. No exemplo acima, digite os valores 0, -120 e -240 para as fontes V1, V2 e V3, respectivamente. Na simulação contida na Fig. 42, observa-se o funcionamento do circuito trifásico bem como o defasamento da forma de onda da tensão de cada fonte do circuito (V1 - Azul, V2 - Verde e V3 - Vermelho).

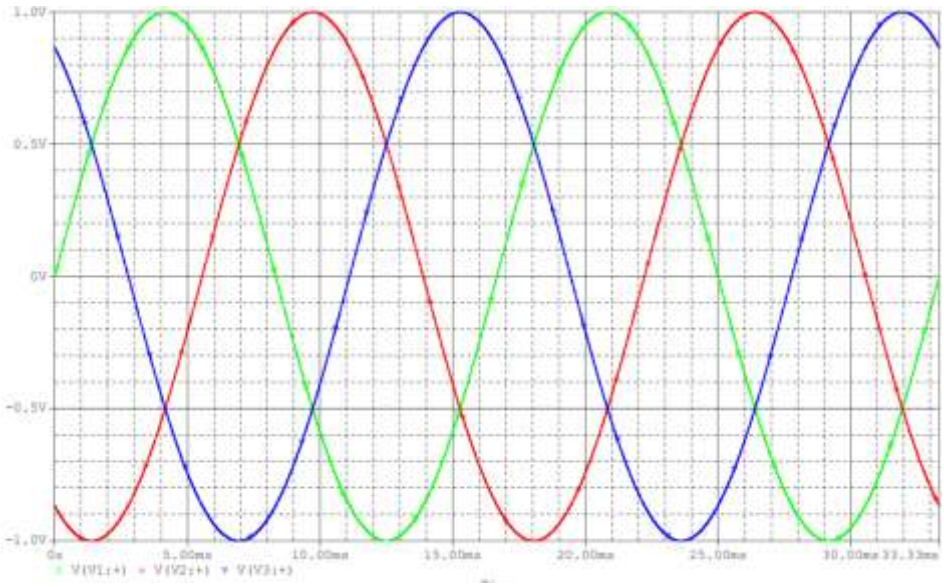


Figura 42 - Formas de onda de tensão trifásica equilibrada.

Exercícios

1. Parâmetros globais - Máxima transferência de potência

Em certas situações, necessita-se analisar um circuito com a variação de um determinado parâmetro como, por exemplo, o valor de um resistor.

No circuito da Fig. 43, deseja-se variar o valor da resistência Ro para encontrar a máxima potência transferida para a carga Ro. Essa variação é feita utilizando-se parâmetro globais. Para isso, deve-se adicionar o componente *PARAM*, pertencente a biblioteca *SPECIAL*. No valor do resistor Ro, digita-se "{Rvar}", onde Rvar será a variável parametrizada.

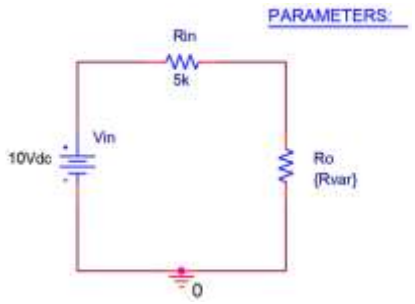


Figura 43 - Circuito parametrizado.

Com o circuito montado, dê um clique duplo no componente *PARAM* adicionado, a tabela de propriedades será aberta. Clique em *New Row... / New Column...* . Em Name, digite o nome da variável parametrizada, Rva, e em *Value*, o valor nominal do componente. Clique em *Apply* e, em seguida, em *Cancel*, Fig. 44.

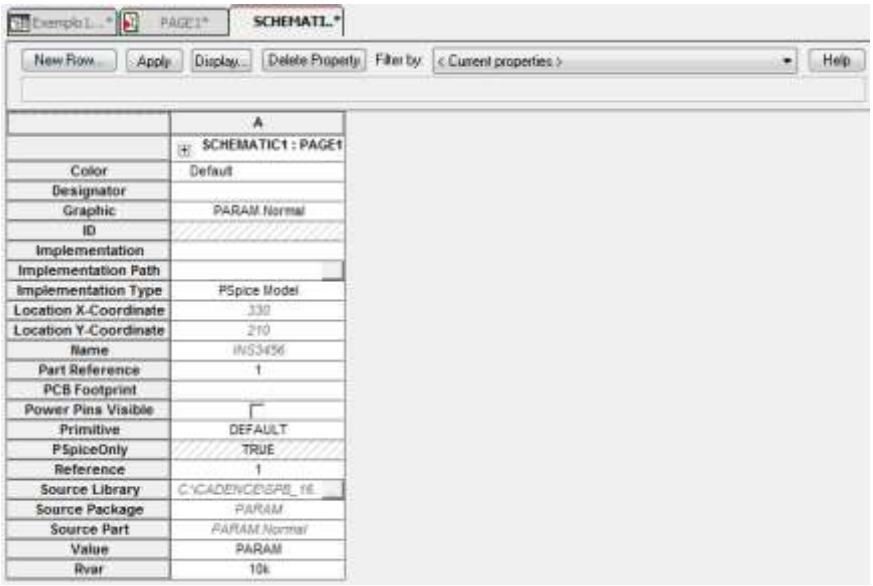


Figura 44 - Propriedades de componente.

Em seguida, acesse as propriedades da simulação clicando em *Edit Simulation Profile*. No menu *Simulation Settings*, selecione a aba Analysis. Em *Analysis Type*, selecione DC Sweep e marque a opção *Primary Sweep*. Em *Sweep Variable*, marque a opção *Global Parameter* e digite o nome da variável parametrizada, Rvar, em *Parameter name*.

Em *Sweep type*, estipula-se os parâmetros de variação para a simulação, Fig. 45. Em seguida, inicia-se a simulação.

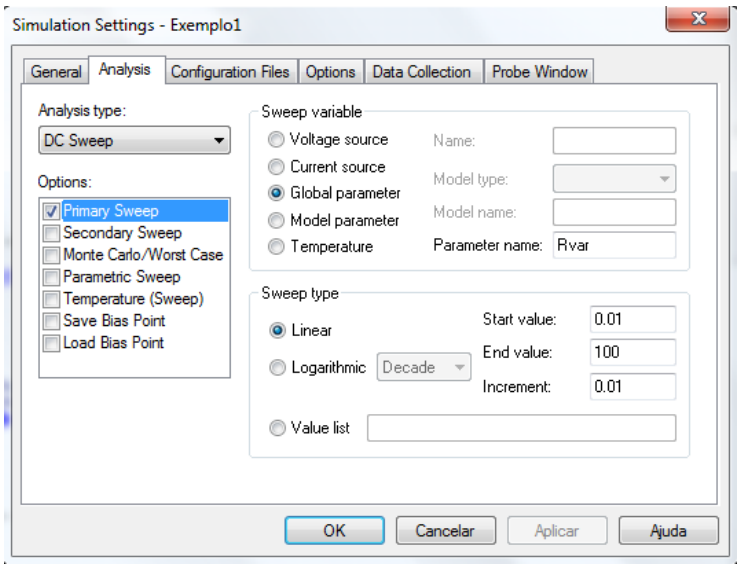


Figura 45 - *Simulation settings.*

Adiciona-se uma ponteira de potência no resistor Ro a fim de se verificar o gráfico de Potência na carga (Potência de Saída versus Resistência de Carga Ro), Fig. 46.

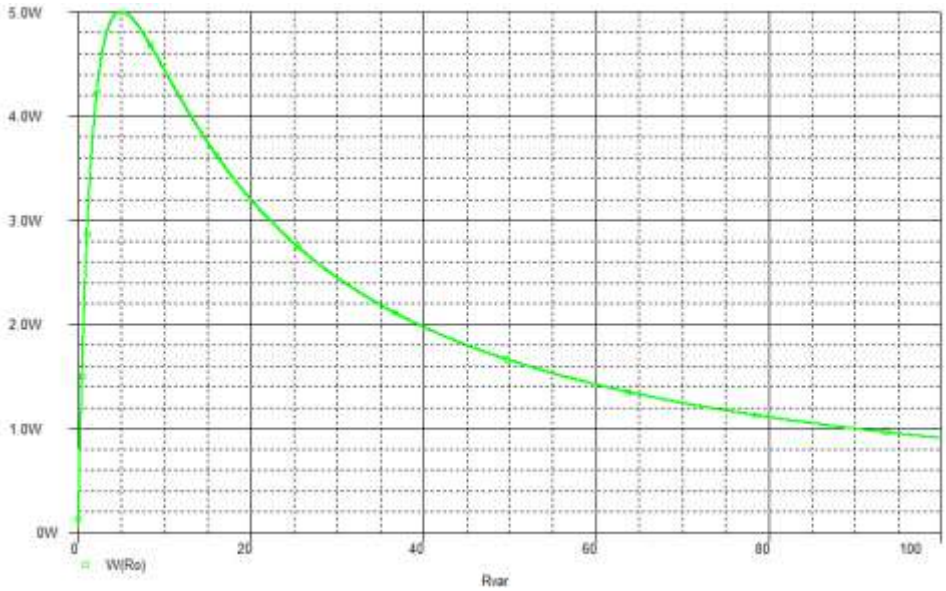


Figura 46 - Potência de saída.

2. Parâmetros de fontes - Curva característica do diodo

Diferente dos parâmetros globais, quando se deseja variar algum parâmetro das fontes existentes no OrCAD, não se necessita adicionar componente algum, bastando escolher a opção *Voltage Source*, para fontes de tensão, ou *Current Source*, para fontes de corrente, ao invés de *Global Parameter* em *Sweep Variable* (Menu *Simulation Settings*, aba *Analisys*, Opção *DC Sweep*), Fig. 47.

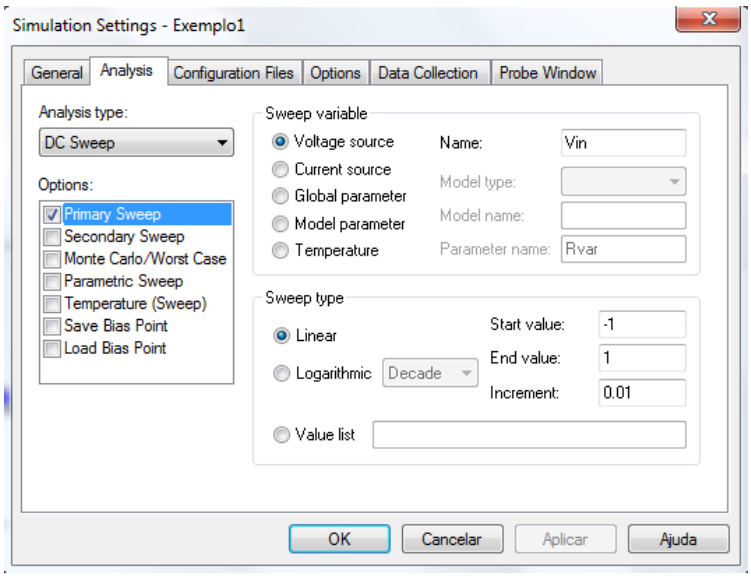


Figura 47 - *Simulation settings.*

Utiliza-se o circuito da Fig. 48 para encontrar acurva característica do diodo variando-se o valor da tensão de entrada e analisando-se a corrente através do diodo. Na Fig. 49 encontra-se a Curva Característica do Diodo (Corrente no Diodo versus a Tensão no Diodo).

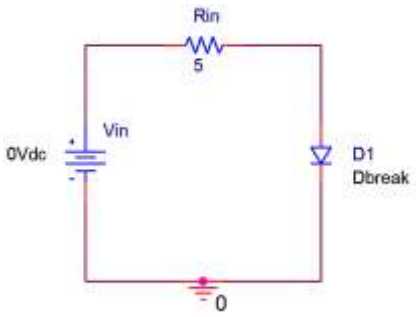


Figura 48 - Circuito de análise do diodo.

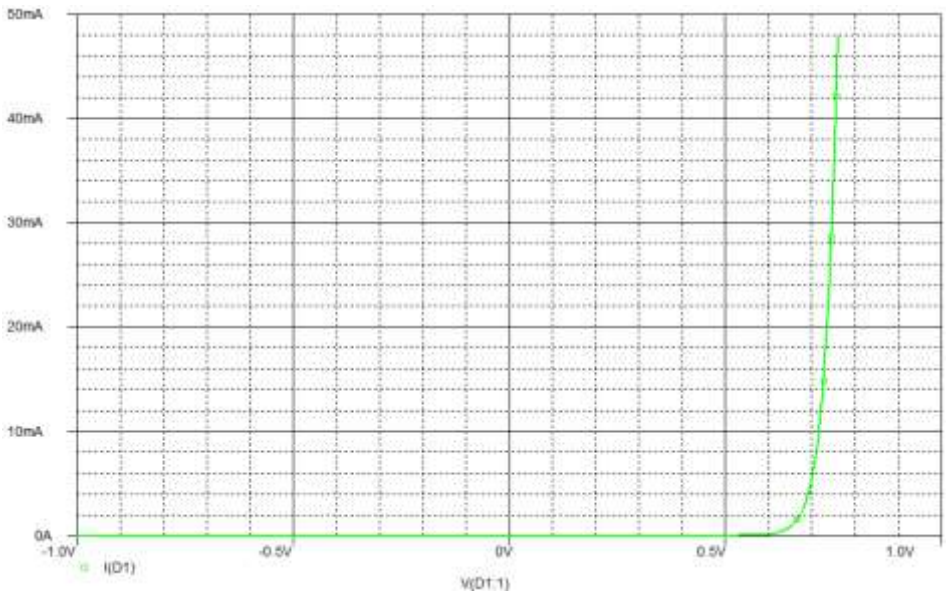


Figura 49 - Curva característica do diodo.

3. Parâmetros de fontes - Curva característica do diodo zener

Assim como visto no exemplo 2, simula-se o circuito da Fig. 50 para o levantamento da curva característica do diodo zener, com os parâmetros definidos na Fig. 51.

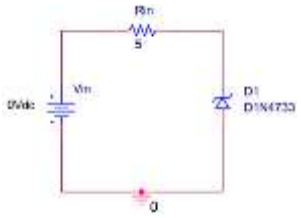


Figura 50 - Circuito de análise do diodo zener.

Figura 51 - *Simulation settings.*

Encontra-se a curva característica do diodo zener variando-se o valor da tensão de entrada e analisando-se a corrente através do diodo. Na Fig. 52 encontra-se a Curva Característica do Diodo Zener (Corrente no Diodo versus a Tensão no Diodo).

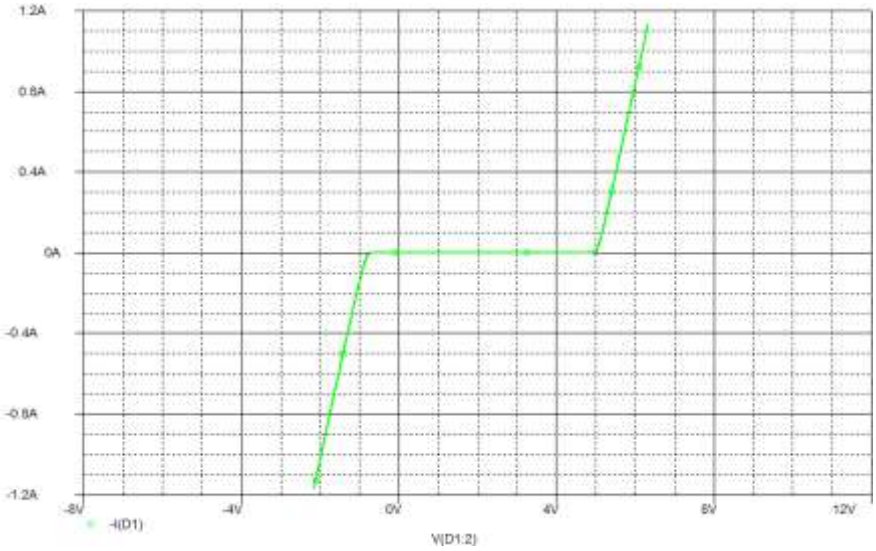


Figura 52 - Curva característica do diodo zener.

4. Parâmetros de fontes - Curva característica do transistor

Em alguns circuitos, se faz necessário variar um parâmetro de mais de um componente simultaneamente, como, por exemplo, no levantamento da curva característica do transistor, Fig 53. Neste caso, definem-se os parâmetros como estipulados na Fig. 54 para a fonte com o parâmetro variável principal, *Primary Sweep*. Para a fonte com parâmetro variável secundário, define-se os parâmetros com estipulados na Fig. 55.

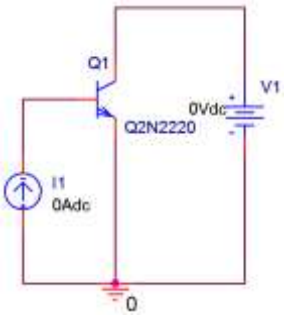


Figura 53 - Circuito de análise do transistor.

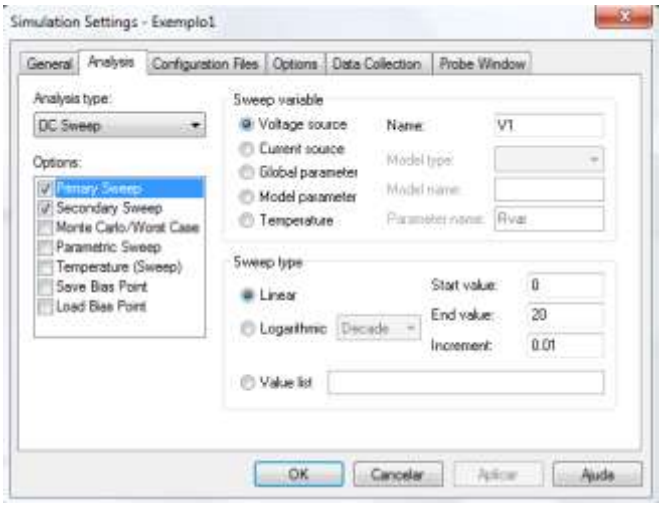


Figura 54 - *Simulation settings*.

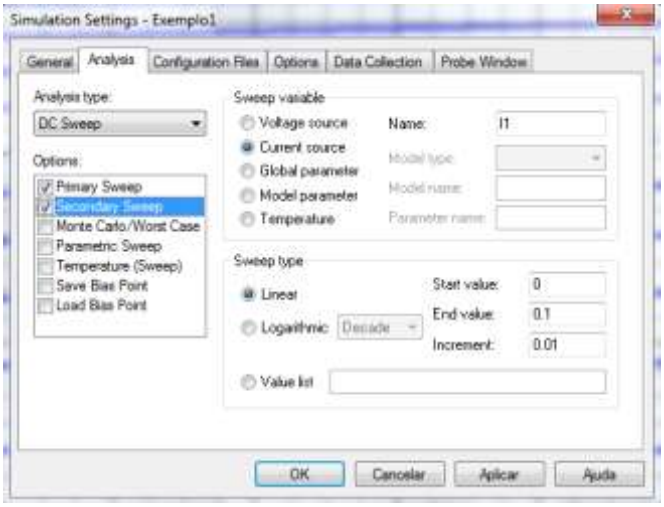


Figura 55 - Simulation settings.

Encontra-se a curva característica do transistor variando-se o valor da tensão coletor-emissor e da corrente de base do transistor analisando-se a corrente através do coletor. Na Fig. 56 encontra-se a Curva Característica do Transistor (Corrente no Coletor versus a Tensão Coletor-Emissor).

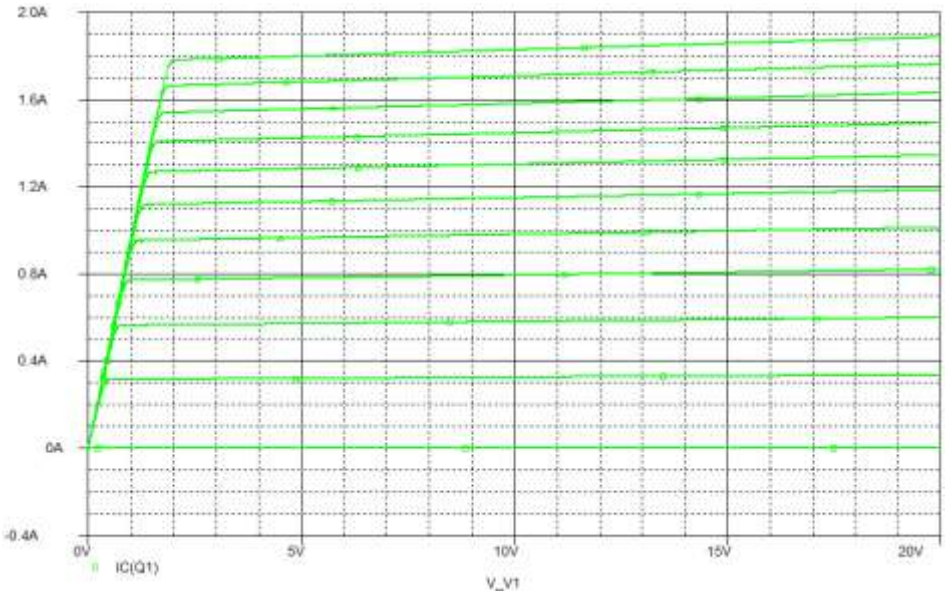


Figura 56 - Curva característica do transistor.

5. Diagrama de Bode - Filtros

Filtros elétricos/eletrônicos são circuitos utilizados para atenuar condições indesejadas de frequência, como as harmônicas, ou selecionar situações desejadas a partir de um sinal de entrada aplicando uma função matemática linear.

Os Filtros podem ser classificados quanto ao tipo de tecnologia utilizada:

- ***Passivo*:** utiliza-se apenas componentes passivos (Resistores, indutores e capacitores)
- ***Ativo*:** utiliza-se componentes ativos (Amplificadores Operacionais) e passivos. Diferente dos filtros passivos, os filtros ativos também permitem incrementar os sinais passantes de entrada através do ganho do Amp-Op.

E também quanto ao eu funcionamento:

- ***Passa-baixa*:** permite a passagem de sinais de baixa frequência e atenua sinais acima da frequência de corte do filtro.
- ***Passa-alta*:** permite a passagem de sinais de alta frequência e atenua sinais abaixo da frequência de corte do filtro.
- ***Passa-faixa*:** permite a passagem de sinais com frequência dentro de determinada faixa e atenua sinais com frequência fora da faixa.
- ***Rejeita-faixa*:** atenua sinais com frequência dentro de determinada faixa e permite a passagem de sinais com frequência fora da faixa.

Para verificar o funcionamento desses tipos de circuitos, plota-se o Diagrama de Bode, no domínio da frequência e não mais no do tempo. Para isso, utiliza-se a fonte de tensão VAC. Na janela de simulação, Fig. 57, usa-se a opção AC Sweep/Noise, define-se os valores inicial e final de frequência e quantos pontos deseja-se mostrar na simulação. Para verificar o Diagrama de Bode, utiliza-se a ponteira *dB Magnitude of Voltage* que fica no menu "Pspice/Markers/Advanced". Na Fig. 58 verifica-se o circuito de um filtro RC passa-baixa e na Fig. 59 o respectivo Diagrama de Bode. Verifica-se que simulação demonstra o Ganho G_V da tensão de saída Vs no eixo vertical, em [dB], e a frequência f no eixo horizontal, em [Hz].

$$G_V = 20.\log_{10}|Vs|$$

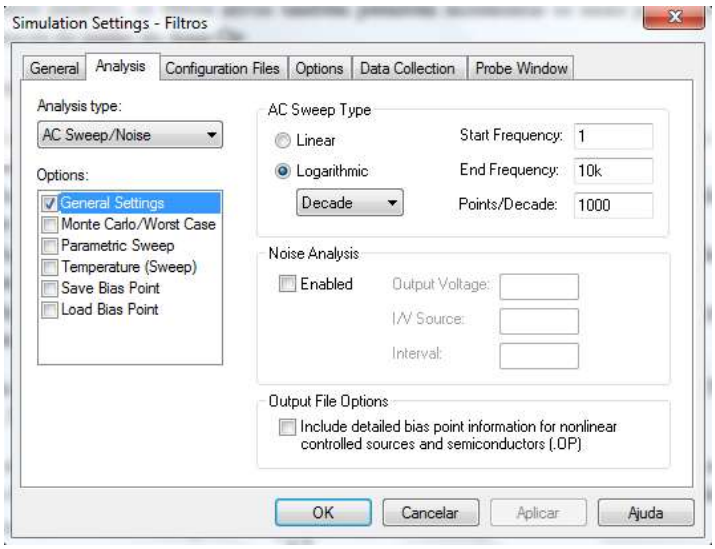


Figura 57 - *Simulation Settings - AC Sweep/Noise*.

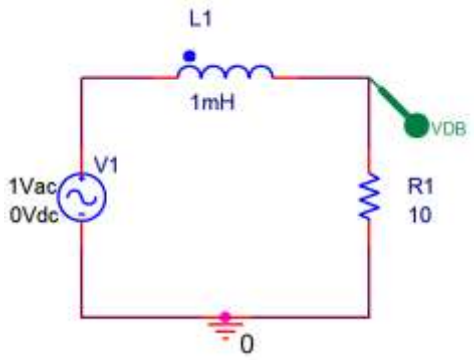


Figura 58 - Filtro RC Passa-Baixa.

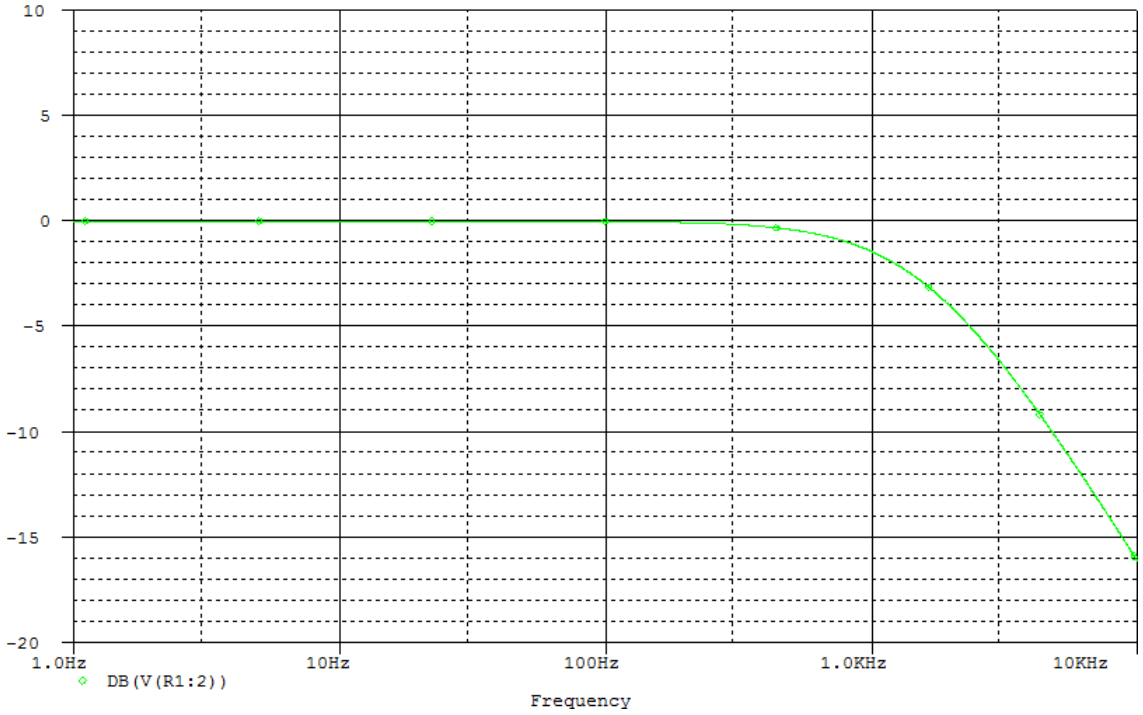
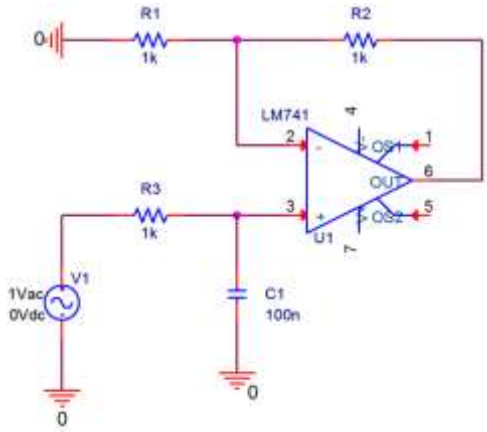


Figura 59 - Diagrama de Bode da tensão de saída do Filtro RC PB.

A seguir, estão dispostos os principais circuitos utilizados para a utilização de filtros e o cálculo da frequência de corte (Frequência na qual a potência de saída corresponde a metade da potência de entrada ou na qual o sinal de saída corresponde a $1/\sqrt{2}$ do sinal de entrada):

- **Passa-Baixa**

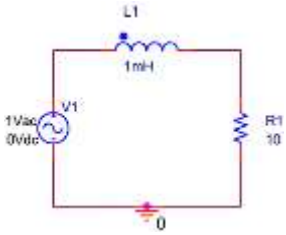
  - **Ativo**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.R_3.C_1}$$

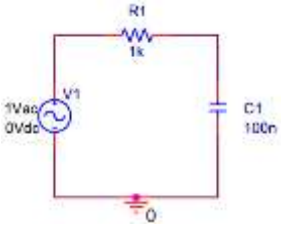
$$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

  - **Passivo RL**



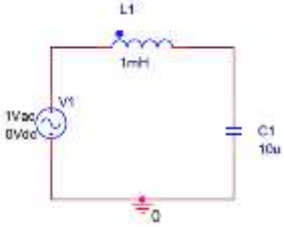
$$f_0 = \frac{R_1}{2.\pi.L_1}$$

  - **Passivo RC**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1}$$

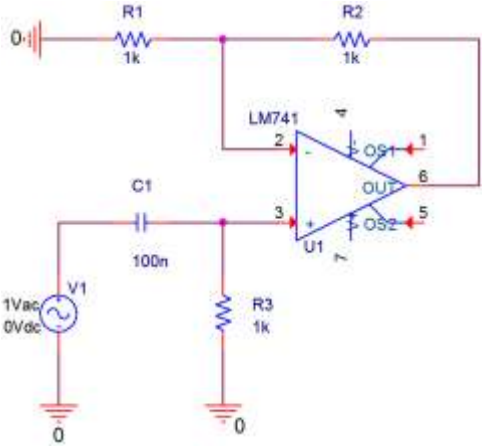
  - **Passivo LC**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L_1.C_1}}$$

- **Passa-Alta**

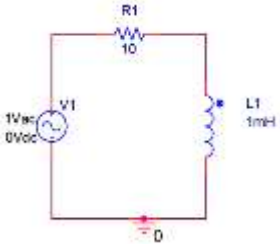
  - **Ativo**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.R_3.C_1}$$

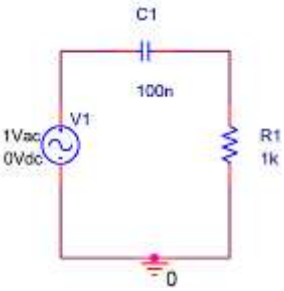
$$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

  - **Passivo RL**



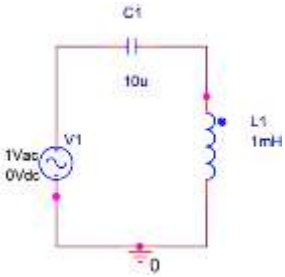
$$f_0 = \frac{R_1}{2.\pi.L_1}$$

  - **Passivo RC**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1}$$

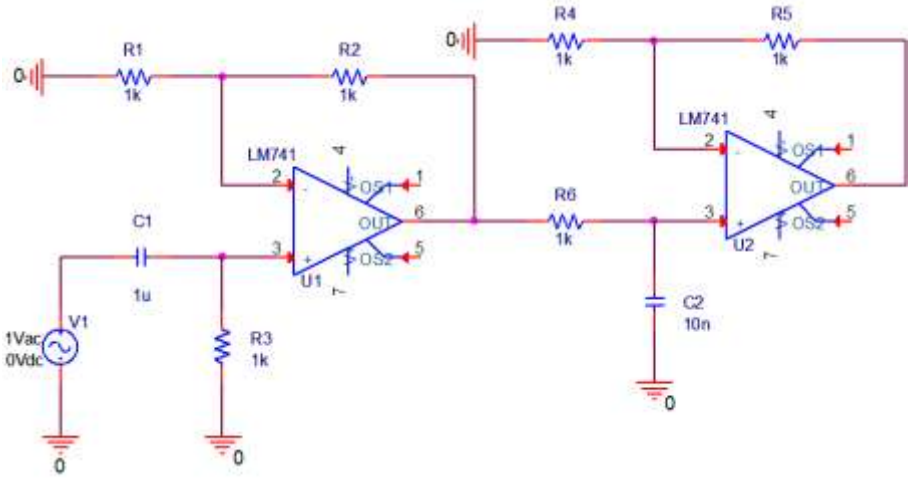
  - **Passivo LC**



$$f_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L_1.C_1}}$$

- **Passa-Faixa**

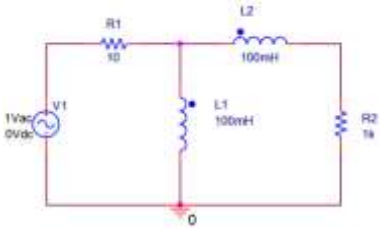
  - **Ativo**



$$f_{0inf} = \frac{1}{2.\pi.R_3.C_1} \qquad f_{0sup} = \frac{1}{2.\pi.R_6.C_2}$$

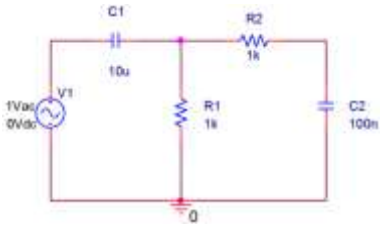
$$A_V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).\left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right)$$

  - **Passivo RL**



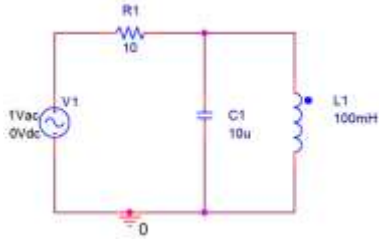
$$f_{0inf} = \frac{R_1}{2.\pi.L_1} \qquad f_{0sup} = \frac{R_2}{2.\pi.L_2}$$

  - **Passivo RC**



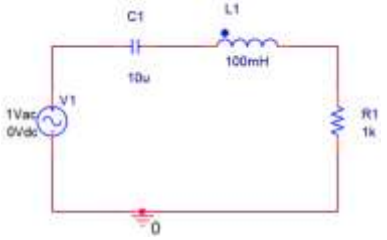
$$f_{0inf} = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1} \qquad f_{0sup} = \frac{1}{2.\pi.R_2.C_2}$$

- **Passivo RLC Paralelo**



$$f_{0inf} = \frac{R_1}{2.\pi.L_1} \qquad f_{0sup} = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1}$$

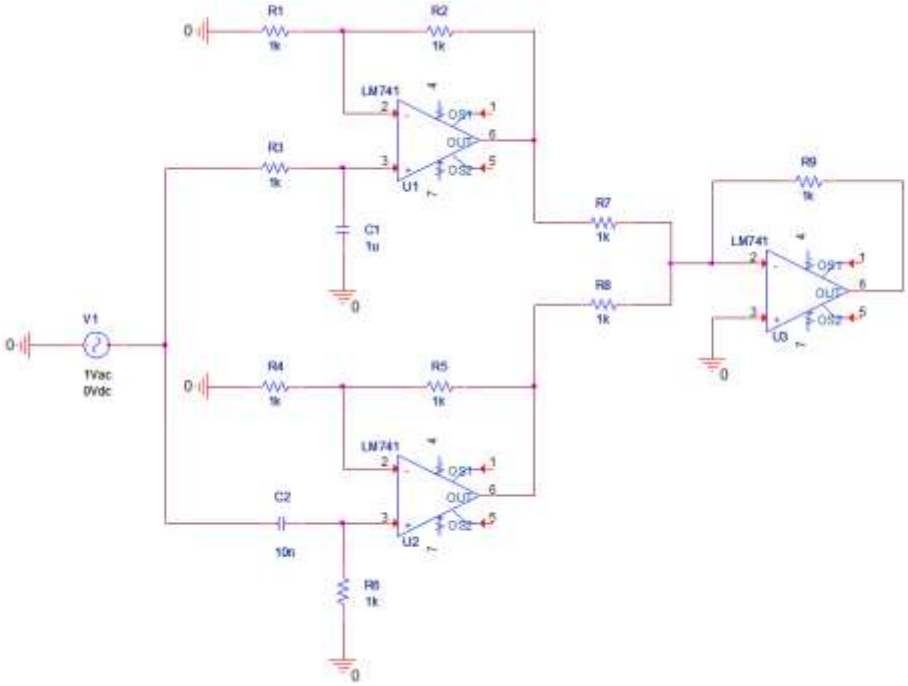
- **Passivo RLC Série**



$$f_{0inf} = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1} \qquad f_{0sup} = \frac{R_1}{2.\pi.L_1}$$

- **Rejeita-Faixa**

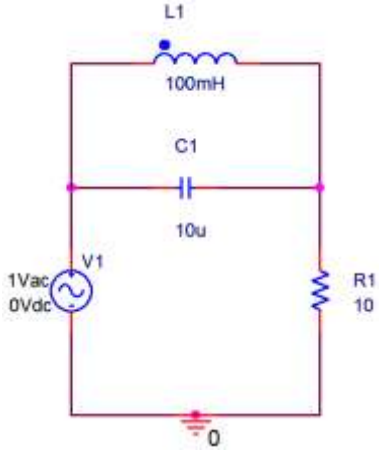
- **Ativo**



$$f_{0inf} = \frac{1}{2.\pi.R_3.C_1} \qquad f_{0sup} = \frac{1}{2.\pi.R_6.C_2}$$

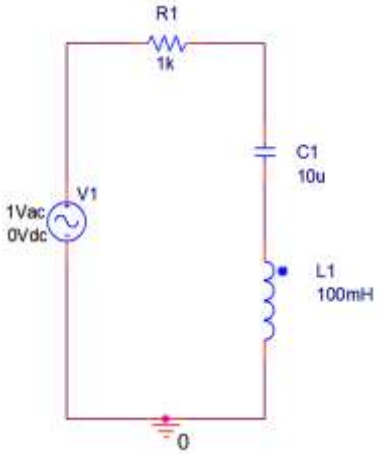
$$A_{Vinf} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).\left(-\frac{R_9}{R_7}\right) \qquad A_{Vsup} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right).\left(-\frac{R_9}{R_8}\right)$$

- **Passivo RLC Paralelo**



$$f_{0inf} = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1} \qquad f_{0sup} = \frac{R_1}{2.\pi.L_1}$$

- **Passivo RLC Série**



$$f_{0inf} = \frac{R_1}{2.\pi.L_1} \qquad f_{0sup} = \frac{1}{2.\pi.R_1.C_1}$$