Guia para Uso do Simulador
Quite Universal Circuito Simulator – QUCS)

Laboratórios de Eletrônica Básica II

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho

(Professor do DEE/UFES)

10/01/2021

1. Introdução

Este Guia apresenta os passos necessários para utilizar o software de uso gratuito do simulador QUCS (Quite Universal Circuito Simulator) nos roteiros dos laboratórios da disciplina Eletrônica Básica II do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

As aulas de laboratório serão realizadas de forma síncrona, nas quais serão explicadas aos alunos as instruções sobre como realizar as experiências utilizando o simulador QUCS. Essas aulas ficarão gravadas para possibilitar que os alunos façam nova visualização, se necessário. Então, os alunos devem fazer por conta própria as experiências (atividade assíncrona) e entregar um Relatório antes da aula seguinte, contendo os gráficos das simulações e as explicações sobre os resultados.

Para as simulações, será utilizado o Software QUCS (o qual é totalmente gratuito, e pode ser "baixado" do link: http://qucs.sourceforge.net/download.html).

No final do semestre os alunos deverão realizar uma Prova Individual (*PI*), onde deverão realizar a simulação de um circuito elétrico, e explicar os gráficos obtidos. A Nota Final (NF) do laboratório será calculada da seguinte forma:

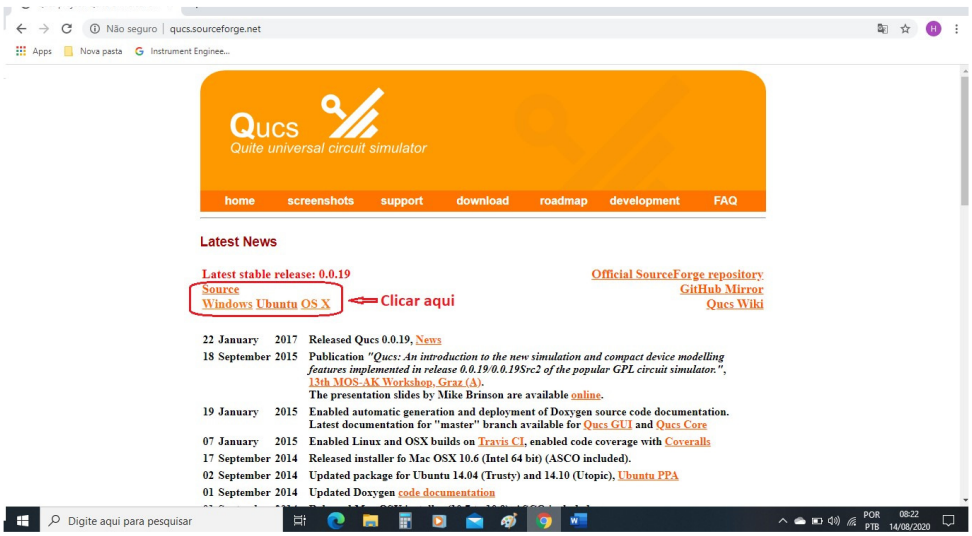
$$NF = 0{,}4MR + 0{,}6PI,$$

onde *MR* é a média das notas dos relatórios.

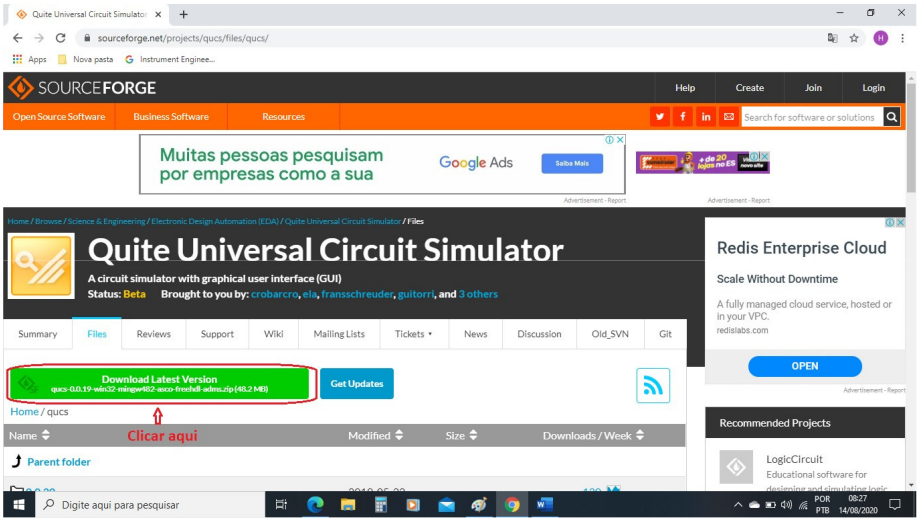
2. Fazendo o Download do Simulador QUCS

2.1 Baixar o software do simulador QUCS (o qual é totalmente gratuito)

O software do QUCS pode ser baixado do link: http://qucs.sourceforge.net/download.html, cuja tela é mostrada abaixo.



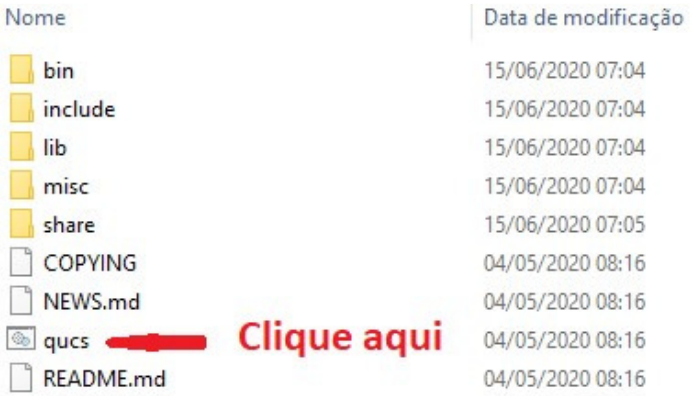
2.2 Clique então onde indicado na figura acima. Abaixo é mostrada a tela seguinte.



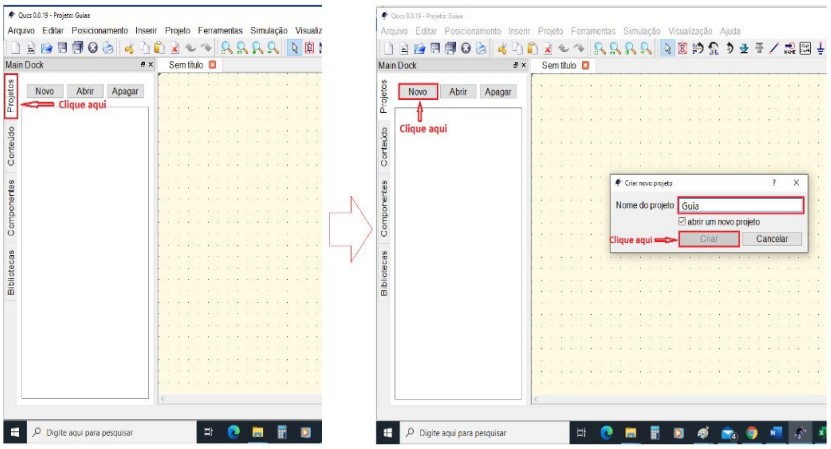
2.3 O arquivo do programa aparecerá no canto inferior esquerdo da tela

2.4 A partir deste ponto, seguir as instruções para carregar o programa no computador.

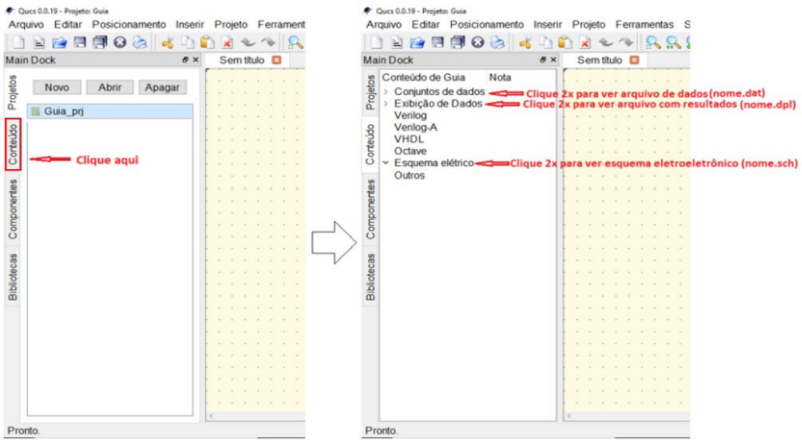
Após descompactar o arquivo .zip, você terá todos os arquivos necessários para executar o QUCS, os quais estão mostrados abaixo. Para executar o QUCS, clique no arquivo “qucs” mostrado abaixo.



Clicando no arquivo “qucs”, a tela abaixo será carregada. O QUCS tem uma estrutura de Projeto. Assim, a primeira etapa é criar um Projeto.



Uma vez criado o Projeto, a sua estrutura pode ser vista clicando na aba “Conteúdo”.

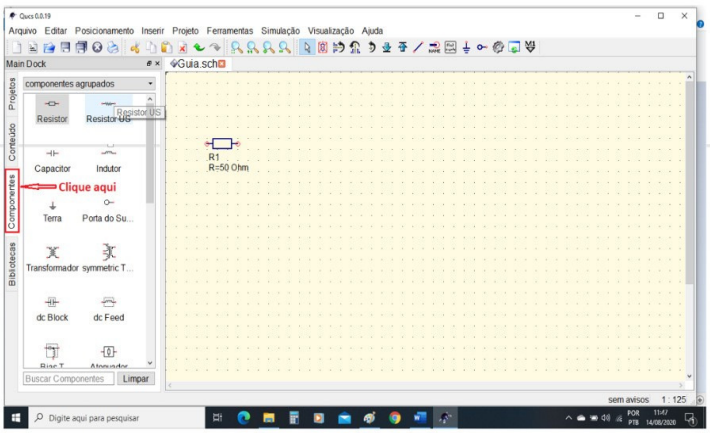


2.5 Construção do circuito eletrônico que se quer simular

Para isso, o primeiro passo é encontrar os componentes que compõem o circuito.

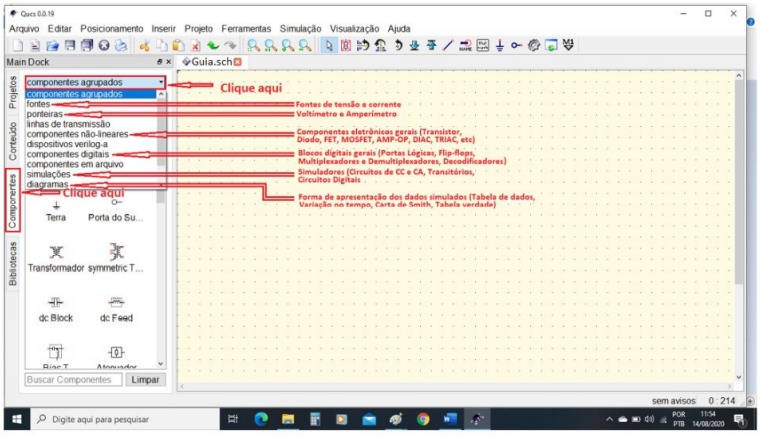
2.5.1 Encontrar os componentes mais gerais

Veja a figura a seguir, a qual mostra os componentes mais comuns em circuitos (Resistência, Capacitor, Indutor, Terra etc.).



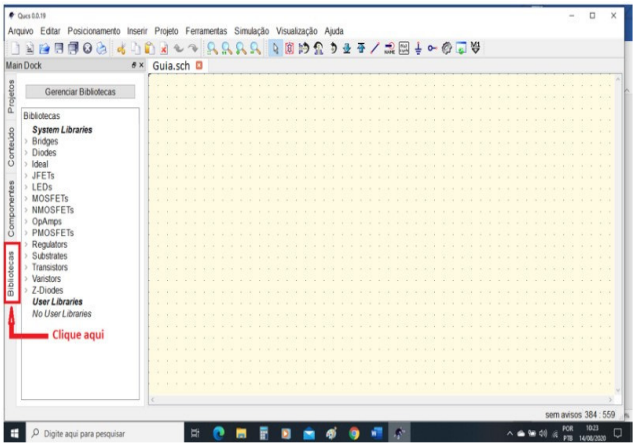
2.5.2 Encontrar outros componentes e recursos

Pode-se encontrar outros componentes e recursos que não sejam os mostrados acima (“componentes agrupados”), clicando na aba “Componentes”.



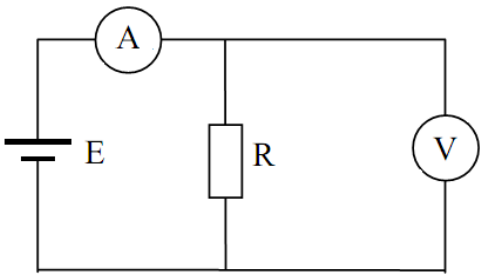
2.5.3 Encontrar componentes com características específicas

Veja a figura a seguir, a qual mostram componentes com características específicas (aba “Biblioteca” → tipo do componente (Bridges, Diodes, Z Diodes → Componente.



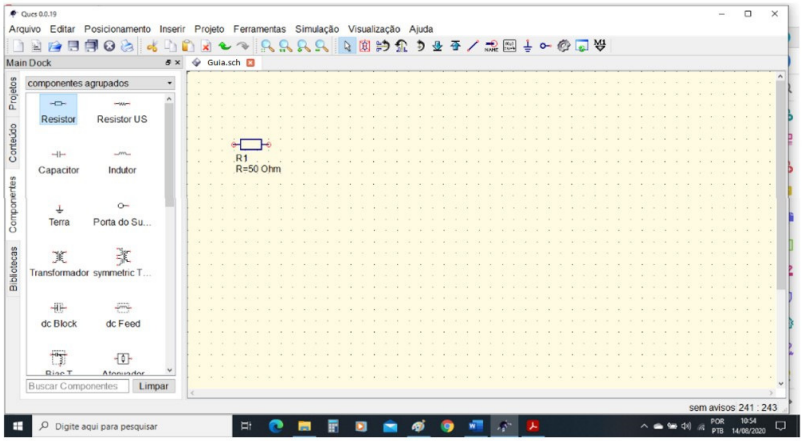
2.5.4 Construir o circuito eletrônico

Para começar a ver como funciona o simulador QUCS, vamos aprender como medir a corrente (A) fornecida por uma fonte de tensão CC (E) para uma resistência (R), medindo a tensão (V) sobre ela, tal como mostrado a seguir.



2.5.4.1Carregar um componente na área de trabalho

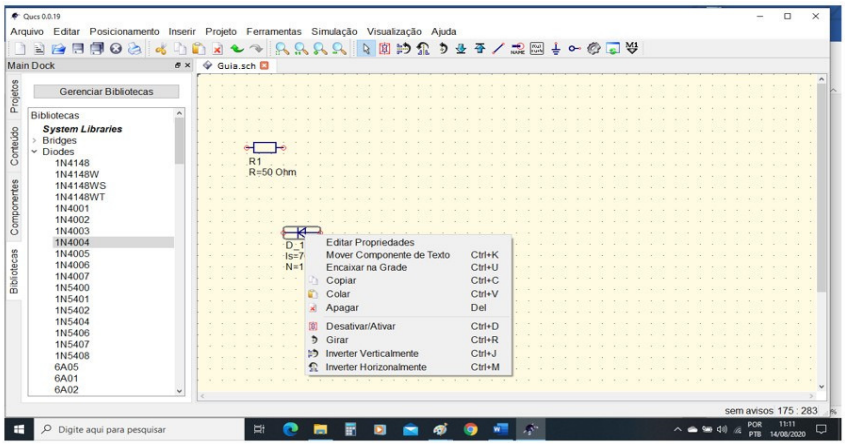
Para “puxar” um componente, clicar primeiro na aba à esquerda da tela mostrada nos itens 2.5.2 (aba “Componente”). O clique do mouse faz com que o componente fique “ligado” ao mouse, de forma que, ao movê-lo, o componente o acompanha. Assim, mova o componente para a área de trabalho até o ponto onde deseja fixá-lo. Para fixá-lo clique de novo no mouse.



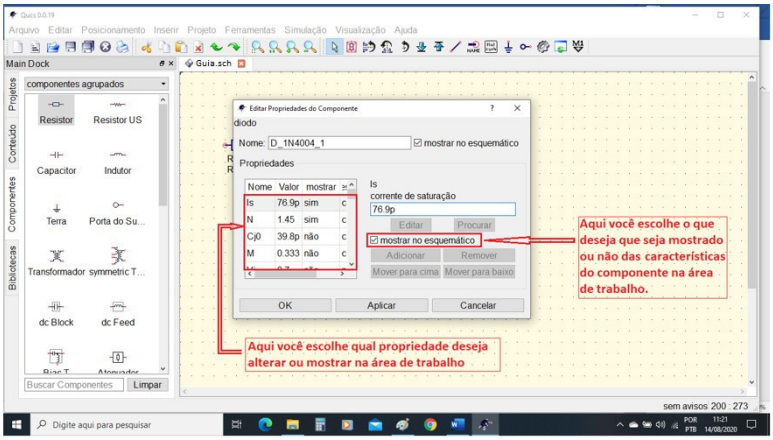
Veja que o componente já vem com valores pré-fixados. Na figura acima o resistor já vem com o valor de 50 Ω. Se o componente tem características específicas, o procedimento é o mesmo, alterando a aba de “Componente” para “Biblioteca”.

2.5.4.2 Modificar as propriedades de um componente

Para modificar as propriedades de um componente já inserido na área de trabalho, clicar com o botão direito do mouse com o cursor em cima dele. Antes você terá que sair do modo replicar componente, pois uma vez que se você o escolheu e o fixou pela primeira vez, esse modo permanece. Para sair desse modo, clique em “ESC”.



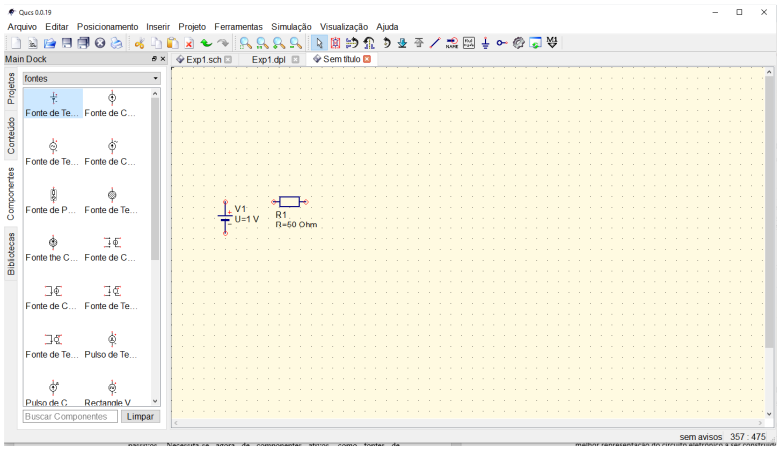
As operações mais comuns neste caso são: “Girar”, “Inverter” (horizontal ou verticalmente) e “Editar Propriedades”. As duas primeiras são executadas a cada clique no botão direito do mouse seguido de um clique na operação desejada. Ao clicar na operação “Editar Propriedades”, isto faz abrir outra janela, conforme mostrado abaixo.



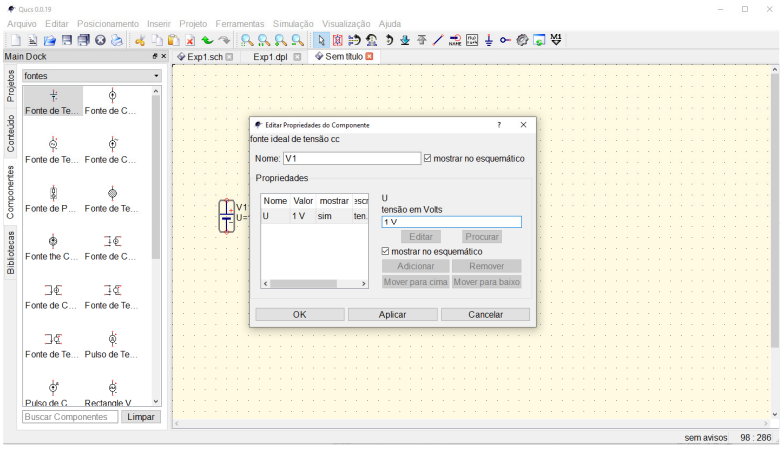
Se deseja fazer mais de uma alteração, entre uma alteração e a seguinte, deve-se clicar em “Aplicar” para que aquela tenha validade. Para retornar à área de trabalho clicar em “Ok”.

2.5.4.3 Carregar componentes ativos

Até o momento foram carregados para a área de trabalho os componentes passivos. Necessita-se agora de componentes ativos, como fontes de alimentação. Para o circuito do item 2.5.4, necessita-se de uma fonte de Corrente Contínua (CC). Deve-se então buscá-la na sequência de abas “Componentes” → “fontes” → “Fonte de Tensão cc”.



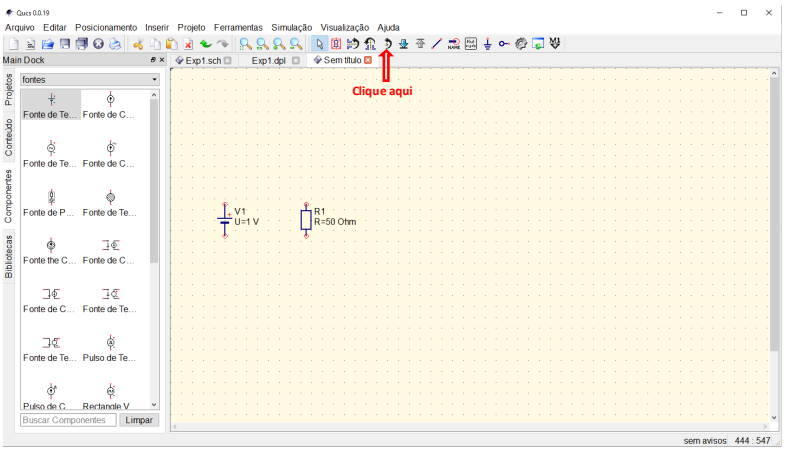
Veja que a fonte vem com 1 V de tensão. Para alterar este valor, deve-se clicar duas vezes com o cursor em cima da fonte e aparecerá uma janela de configuração.



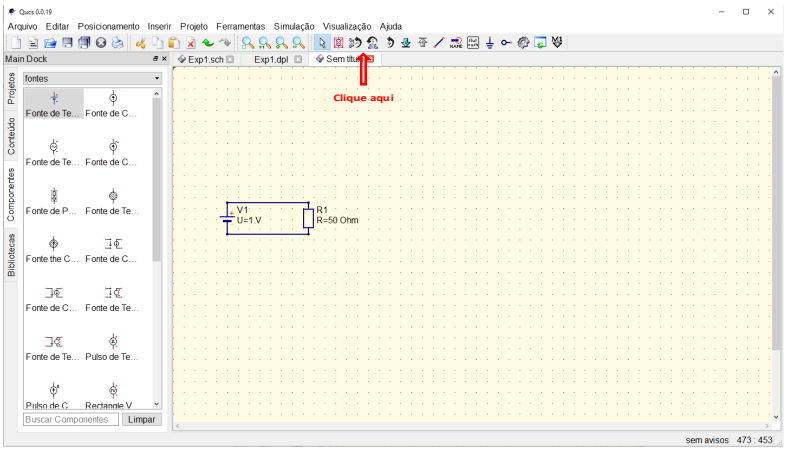
O cursor já se posiciona onde alterar a tensão da fonte para o valor desejado.

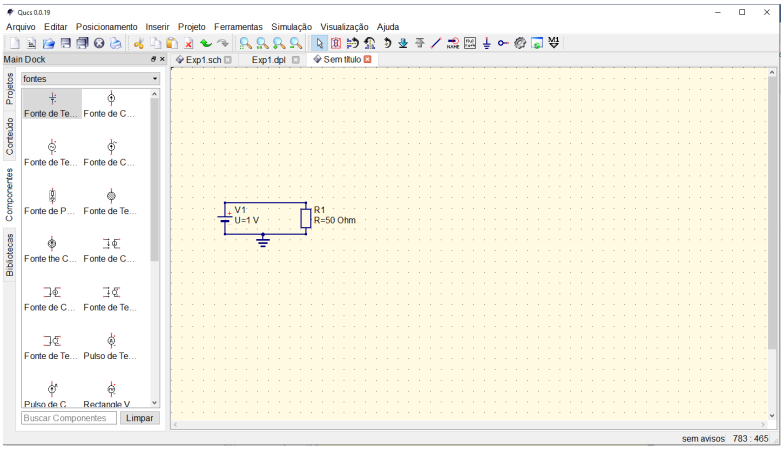
2.5.4.4 Interligação de componentes

Deve-se, agora, interligar os componentes inseridos. Antes, deve-se observar que, como originalmente inseridos, a interligação fica com um arranjo pouco comum ao usado em diagramas de circuitos eletrônicos. Assim, certamente será necessário girar e deslocar estes componentes antes de interligá-los. Utilizando os procedimentos anteriores, as alterações de valor, deslocamentos e giros estão na figura abaixo. Para buscar as linhas de interconexão entre componentes, clicar onde indicado na figura abaixo.



Clique no terminal do primeiro componente a interligar, arraste o cursor na direção do segundo componente e clique novamente no seu terminal. A figura abaixo mostra a ligação entre V1 e R1, começando por V1, reproduzindo a representação da parte esquerda da figura acima. Para isso, arraste o cursor horizontalmente até que fique alinhado com o terminal de V1. Clique neste ponto e, em seguida, arraste o cursor até o terminal de R1 e dê o clique nele, finalizando a conexão. Fazendo desta forma você pode interligar componentes em qualquer direção. Os componentes totalmente interligados são mostrados abaixo. Falta agora colocar a "referência" (Terra) para o circuito. Para isto, é só clicar no símbolo do Terra e arrastá-lo até onde deseja inseri-lo.

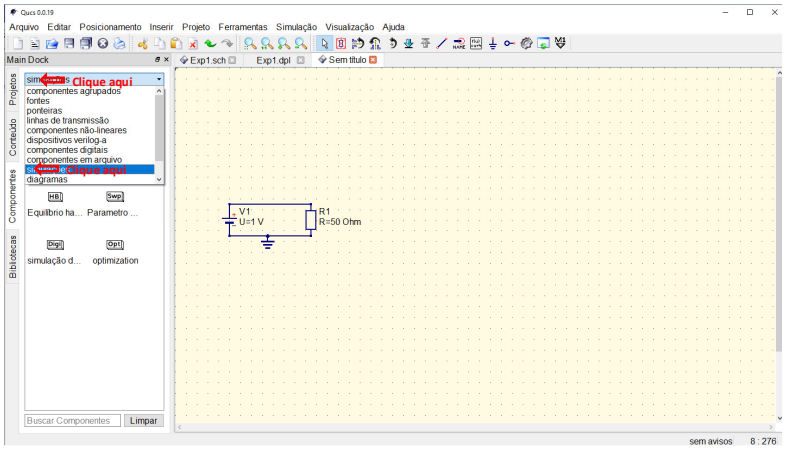




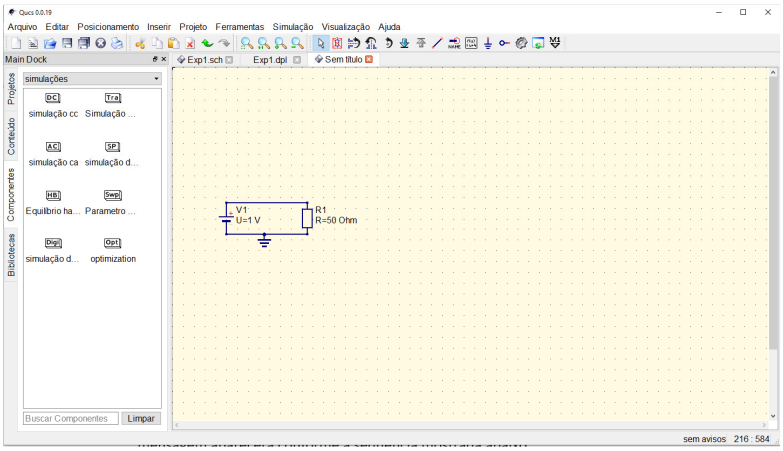
2.6 Simulação

2.6.1 Simulação CC

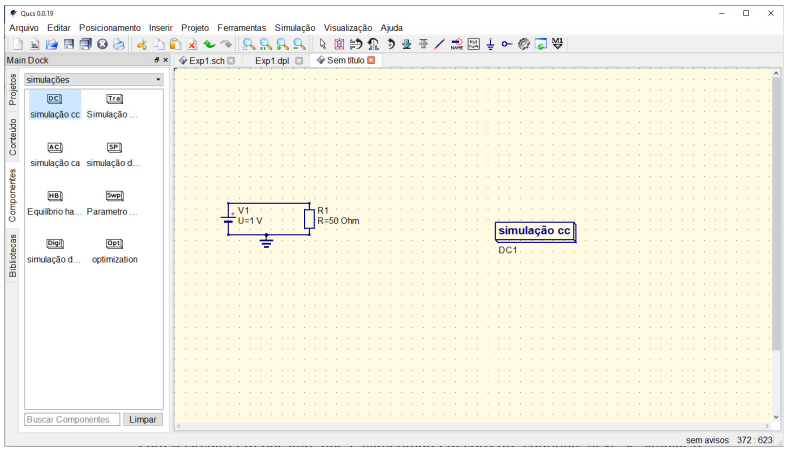
Para o circuito em questão, que é alimentado em corrente contínua (CC), vamos simular o seu comportamento através da tensão e da corrente na resistência. Para isto, clique na aba “simulações”, tal como indicado na figura seguinte.



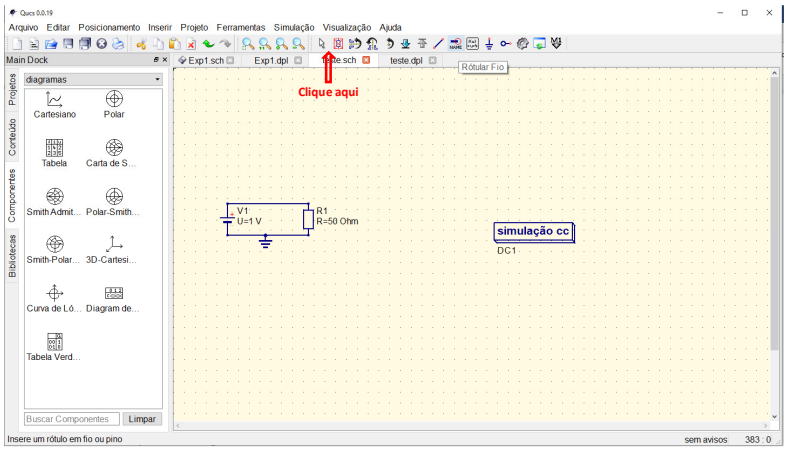
As opções de simulação são apresentadas a seguir.



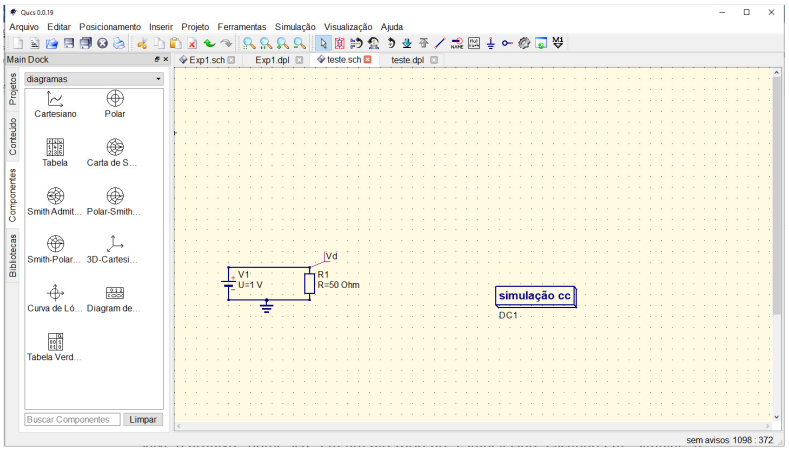
Para o circuito em questão, que é alimentado em corrente contínua, deve-se simular o seu comportamento através da tensão e da corrente na resistência. Assim, deve-se escolher a simulação CC. Na tela da figura abaixo, clique em “simulação cc”, e arraste o ícone até a área de trabalho (ver figura abaixo).



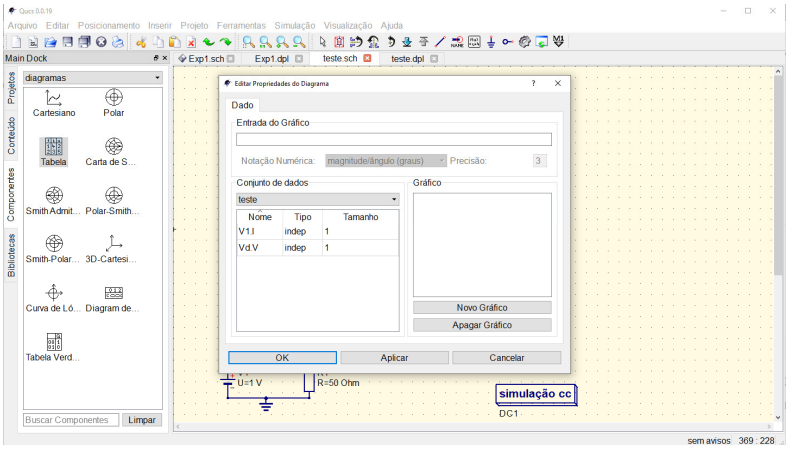
Deve-se definir agora o “ponto de medição”. Para isto, clique na aba “Rotular Fio”. Arraste então o cursor até a linha de interligação onde deseja monitorar. Ao clicar na linha, uma janela se abrirá para que você dê um nome para referenciar o ponto. Neste processo a grandeza medida é tensão.



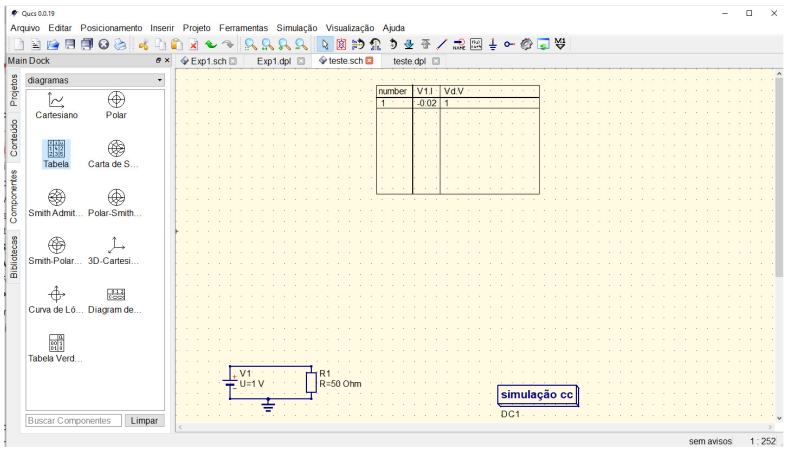
O nome atribuído à grandeza medida foi “Vd” (ver figura a seguir).



Agora, clicando na aba “Simulação” na parte superior da tela, o programa vai solicitar que você salve o arquivo “nome.sch” em um diretório pré-estabelecido. Neste caso, o nome dado foi “teste.sch”. Execute agora a sequência “Simulação” → “Simular”. Falta definir agora o tipo de apresentação desejada para mostrar os dados. Para este caso, o mais adequado é que os dados sejam apresentados na forma de uma tabela. Para se chegar a esta tabela, clique na Aba “diagramas” e logo escolha “Tabela”. Será então mostrada a figura abaixo.

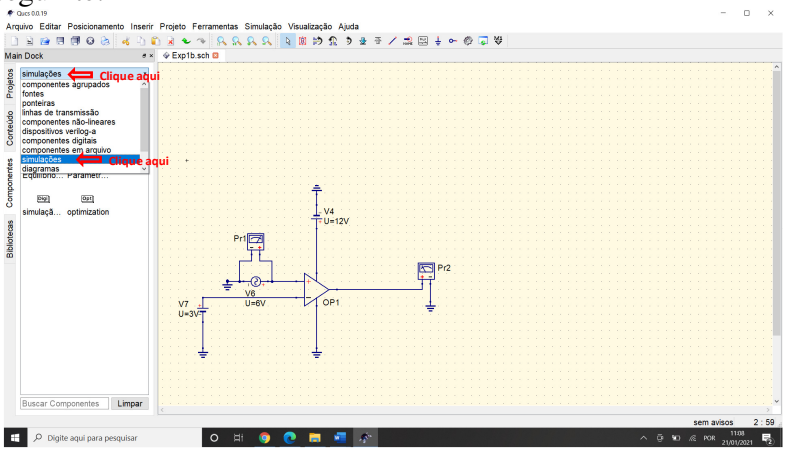


A tela acima mostra as variáveis V1.I (corrente da fonte de tensão CC) e Vd.V (tensão da fonte de tensão no nó onde está localizada a ponta Vd). Para ver os valores da corrente fornecida pela fonte CC e a tensão Vd sobre a resistência, basta clicar duas vezes em cada uma destas variáveis, e depois clicar em “OK”. Na figura abaixo são mostrados os valores de ambas as variáveis.

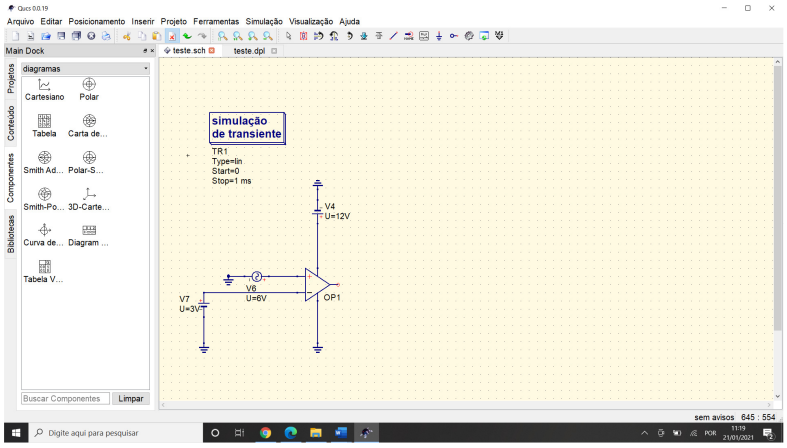


2.6.2 Simulação em Corrente Alternada (Transitório)

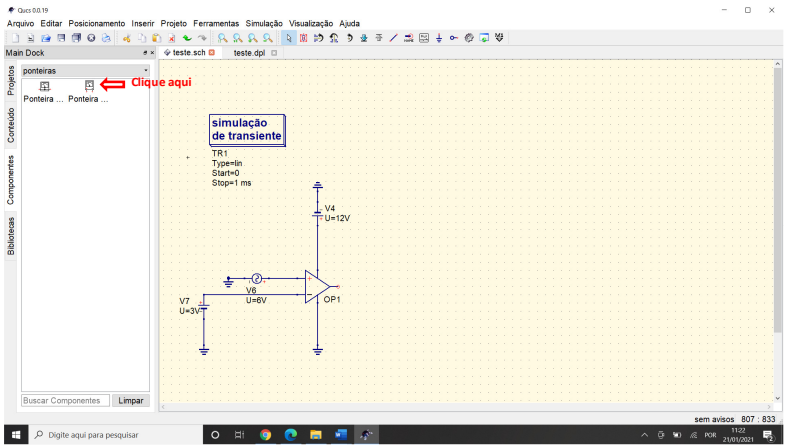
Para um circuito com sinais em corrente alternada, para simular o seu transitório, o procedimento para simulação é o seguinte: clique na aba “simulações”, tal como indicado na figura seguinte.



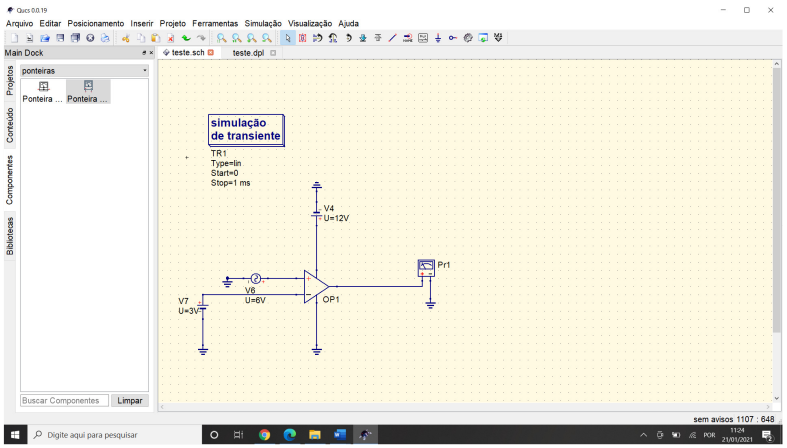
Para o circuito em questão, que possui sinais alternados e se deseja analisar o seu transitório, deve-se escolher a simulação de transitório. Na tela da figura abaixo, clique em “Simulação de transitório”, e arraste o ícone até a área de trabalho (ver figura abaixo).



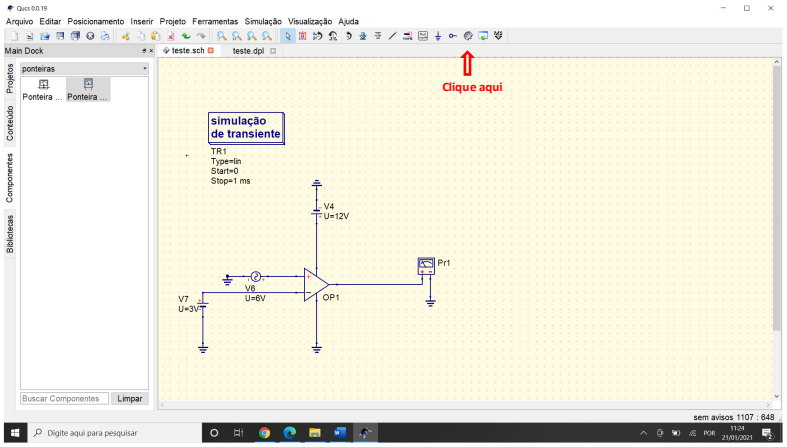
Agora deve-se inserir as ponteiras de medição. Para ver o sinal transitório na saída do circuito, deve-se escolher a ponteira de tensão (ver figura a seguir).



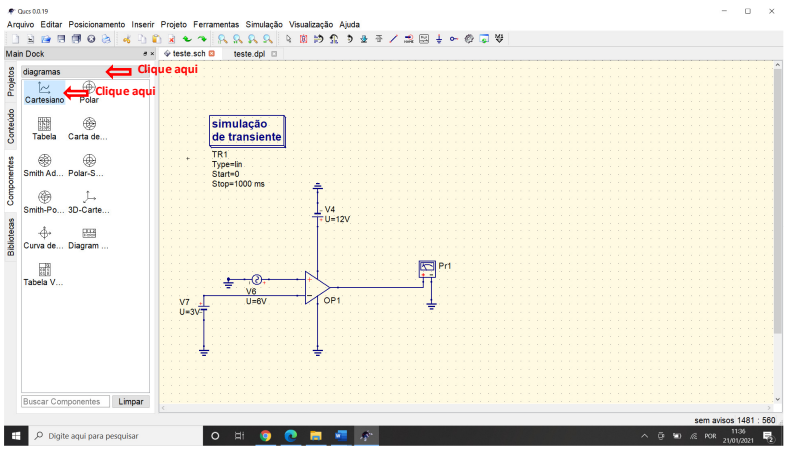
Arraste então a ponteira de tensão e leve-a até a saída do circuito (Ver figura a seguir).



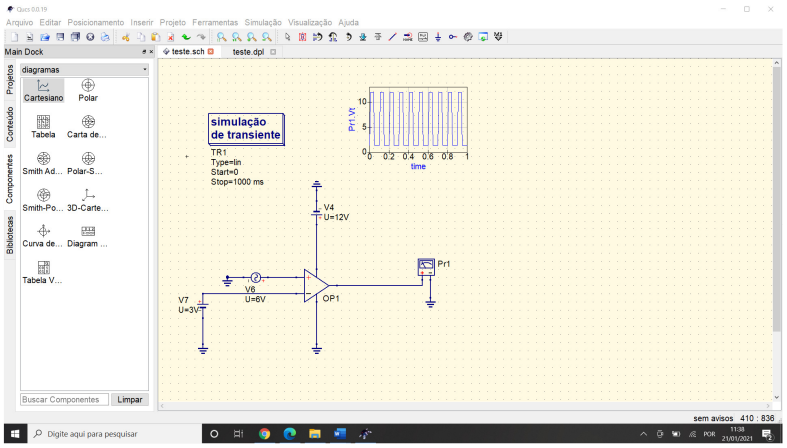
Agora devem-se definir os parâmetros da simulação. Para isto, clique na caixa "simulação de transiente" e ajuste os parâmetros. No caso em questão, está sendo utilizada uma fonte de sinal senoidal de frequência 10 Hz. Assim, o período do sinal é de 100 ms. Se é desejado visualizar 10 ciclos do sinal senoidal, então deve-se ajustar o parâmetro "Parar" em 1000 ms. Também deve-se definir o parâmetro "Passo", que é a amostragem do sinal. Como o sinal possui 100 ms de período, uma boa escolha para visualizar adequadamente o sinal é utilizar um "Passo" de 1/10 do período, ou seja, 10 ms. Agora pode-se simular o circuito. Para isto, clique no símbolo de engrenagem mostrado abaixo.



Agora deve-se definir como queremos visualizar o sinal. Deve-se então escolher a opção "diagramas" (Ver figura abaixo) e escolher "Cartesiano".



Arraste então o diagrama para a área de trabalho e posicione-a onde deseje. Ao posicioná-la, será aberto o diagrama para que se escolha qual ponteira se deseja visualizar. No caso em questão, queremos visualizar a ponteira Pr1. Ao clicarmos em "Pr1" e dar Ok, já será mostrado o gráfico do sinal de saída (Ver figura abaixo).



Referências

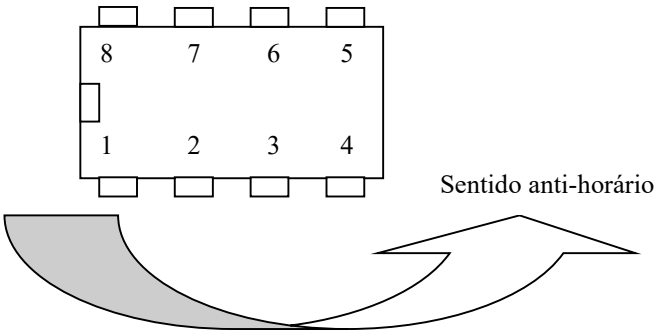
1. Quite Universal Circuito Simulator – QUCS. Disponível em: http://qucs.sourceforge.net/download.html. Obtido em 01/09/2020.
2. Guzzo, H. G. Guia para Uso do Simulador QUCS nos Laboratórios de Eletrônica Básica I. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.

EXPERIÊNCIAS

EXPERIÊNCIA 1

CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE UM AMPLIFICADOR OPERACIONAL (AMP. OP.):

O Amp. Op. a ser utilizado nesta experiência é o "chip" 741, cujo encapsulamento é em forma DIP de oito pinos, com largura de 300 mil (milésimos de polegada), e distância entre os pinos de 10 mil. Visto de cima, a partir da parte superior esquerda, os pinos estão em sequência de 1 a 8, no sentido anti-horário. Isso é ilustrado na figura abaixo.



A função dos pinos é a seguinte:

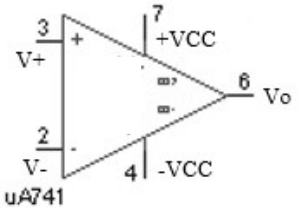
Pino 1 : Anulação de "off-set"
Pino 2 : Entrada inversora do Amp. Op. (V-)
Pino 3 : Entrada não inversora do Amp. Op. (V_+)
Pino 4 : Alimentação inferior do Amp. Op. (-Vcc)
Pino 5 : Anulação de "off-set"
Pino 6 : Saída do Amp. Op. (V_0)
Pino 7 : Alimentação superior do Amp. Op. (+Vcc)
Pino 8 : Não tem conexão elétrica

COMPARADOR

O Amp. Op. drena muito pouca corrente em suas entradas inversora e não inversora (de alguns micro a pico-amperes) e entrega em sua saída ($\boldsymbol{V_o}$) o resultado da expressão $\boldsymbol{V_o = A(V_+ - V_-)}$, onde $\boldsymbol{A}$ é uma expressão complexa ($\boldsymbol{A \approx \frac{10^6}{jS}}$). Como nesta experiência as entradas são tensões CC (0 Hz), o valor de $\boldsymbol{A}$ é muito alto (aproximadamente 100.000 V/V), o que irá saturar a saída do Amp. Op, pois o módulo da saída de um Amp. Op. não pode ser maior do que o módulo de sua tensão de alimentação. Além do mais, existem perdas de tensão internas em um Amp. Op. Assim, $\boldsymbol{V_o}$ somente poderá ter valores de +VCC-L+ ou -VCC+L-, onde L+ e L- são as perdas de tensão internas do Amp. Op. (que normalmente variam de 0,6 a 2 V).

PARTE 1

Utilize o simulador QUCS para simular o circuito mostrado na Figura abaixo e meça as correntes de entrada do Amp. Op. Meça também o valor da tensão Vo para diferentes valores de ±VCC (± 12 V, ± 8 V, ± 5 V) para os seguintes valores de entrada inversora e não inversora:



- V+ = 6 V e V- = 5 V
- V+ = 5 V e V- = 6 V

Preencha então a tabela abaixo com os valores medidos na simulação.

Tensões de Alimentação (± VCC)	**Tensões de Entrada**	**Vo**	**Corrente de Entrada Inversora**	**Corrente de Entrada Não Inversora**	**Corrente de Saída**	**Corrente de Saída**
± 12 V	V+ = 6 V V- = 5 V					
	V+ = 5 V V- = 6 V					
± 8 V	V+ = 6 V V- = 5 V					
	V+ = 5 V V- = 6 V					
± 5 V	V+ = 6 V V- = 5 V					
	V+ = 5 V V- = 6 V					

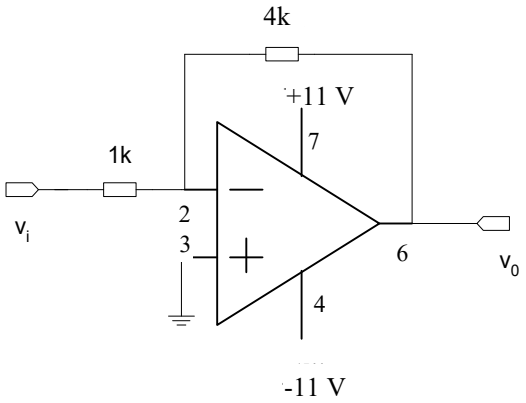
PARTE 2

Agora insira uma onda senoidal de 6 V de amplitude e 10 Hz de frequência na entrada não inversora (V+), e insira uma tensão CC de 3 V na entrada inversora (V-). Desenhe o sinal de saída no espaço e explique a forma de onda obtida.

EXPERIÊNCIA 2

MULTIPLICADOR INVERSOR

Utilize o simulador QUCS para simular o multiplicador inversor abaixo, e aplique em sua entrada v_i um sinal senoidal de amplitude de 1 V e frequência 10 Hz.



Use o QUCS para obter a forma de onda do sinal de saída e os valores de tensão da tabela abaixo, comparando-os com os valores esperados.

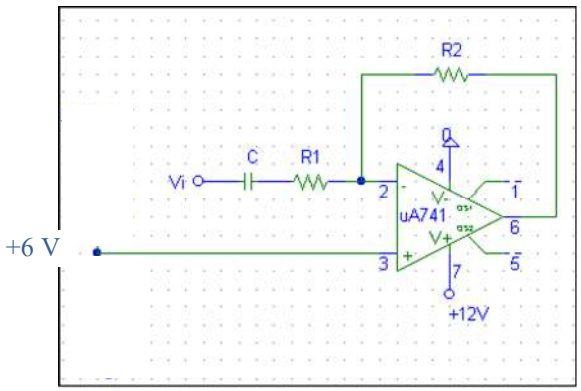
Vi (V)	**V_0 (V)**	**Ganho (V_0/V_i) (V/V)**

Tensão no Pino 3	**Tensão no Pino 2**

Repita agora para V_i=3V e preencha a tabela abaixo. Compare então o valor de V_0 obtido na simulação com o valor esperado. Qual a razão desta diferença?

MULTIPLICADOR INVERSOR COM ALIMENTAÇÃO UNIPOLAR

Utilize o simulador QUCS para simular o multiplicador inversor abaixo, e aplique em sua entrada v_i um sinal senoidal de amplitude de 1 V e frequência 10 Hz. R1= 1 kΩ; R2=4 kΩ; C= 160 µF. Desenhe os sinais de entrada e de saída do circuito e preencha a tabela abaixo.

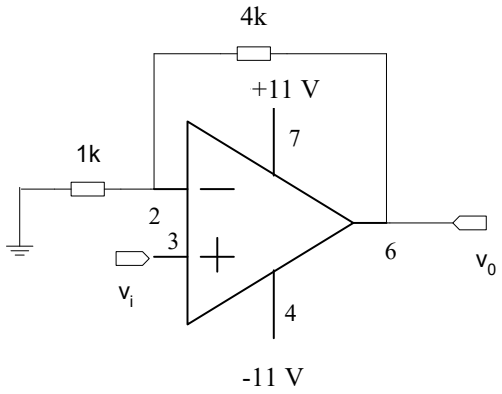


V_i (V)	V_0 (V)	Ganho (V_0/V_i) (V/V)

Tensão no Pino 3	Tensão no Pino 2

MULTIPLICADOR NÃO-INVERSOR

Utilize o simulador QUCS para simular o multiplicador não-inversor abaixo, e aplique em sua entrada V_i um sinal senoidal de amplitude de 1 V e frequência de 10 Hz.



Use o QUCS para obter os valores de tensão da tabela, comparando-os com os valores esperados.

V_i (V)	V_0 (V)	Ganho (V_0/V_i) (V/V)

Tensão no Pino 3	Tensão no Pino 2

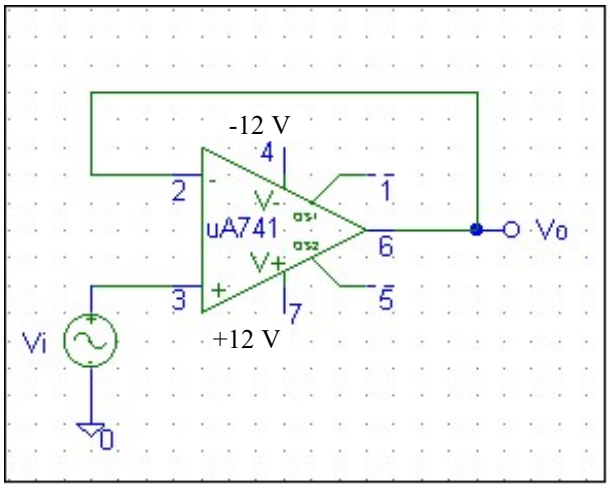
Repita agora para V_i=3V e preencha as tabelas abaixo. Compare então o valor de V_0 obtido na simulação com o valor esperado. Compare também os valores obtidos para os sinais no Pino 3 e Pino 2. Qual a razão desta diferença?

V_i (V)	V_0 (V)	Ganho (V_0/V_i) (V/V)

Sinal no Pino 3	Sinal no Pino 2

BUFFER (SEGUIDOR DE TENSÃO) E SLEW RATE

Utilize o simulador QUCS para simular o "buffer" de tensão, que é o circuito mostrado abaixo. Use uma entrada senoidal de amplitude 10 V e frequência de 100 Hz.



Desenhe o sinal de saída. Aumente agora a frequência até que o sinal de saída deixe de ser exatamente igual ao sinal de entrada. Meça então esta frequência máxima de operação sem distorção do sinal (f_{max}) e calcule o valor do "Slew Rate (SR)" do Amp. Op. ($SR=2\pi f_{max}V_0$). O valor nominal é de 0,5 V/μs. Preencha então a tabela abaixo com o valor medido.

SR	

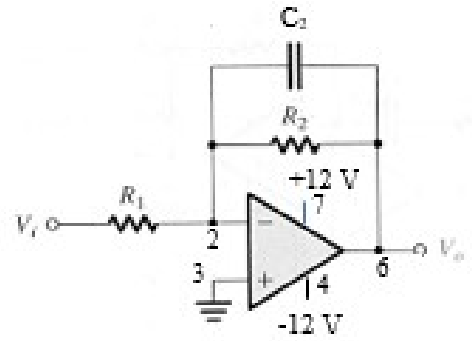
Aplique, agora, um sinal quadrado de amplitude 1 V e frequência 100 kHz ao buffer de tensão. Desenhe o sinal de saída e meça de novo o valor do "Slew Rate (SR)" ($SR=\Delta V/\Delta t$) do Amp. Op. Preencha então a tabela abaixo com o valor medido.

SR	

EXPERIÊNCIA 3

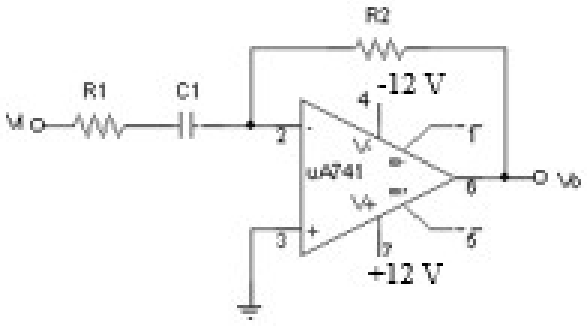
INTEGRADOR INVERSOR NÃO-IDEAL

Utilize o simulador QUCS para simular o integrador inversor não-ideal abaixo e aplique um trem de pulsos quadrados com frequência de 200 Hz e níveis de tensão entre 0 e 1 V (amplitude 0,5 V e Offset de 0,5 V). Desenhe então a forma de onda do sinal de saída, indi[+11 V] a sua amplitude (compare-a com a teoricamente esperada). Mude agora a frequência do sinal de entrada para 4 Hz e veja que o sinal de saída muda sua forma para uma onda aproximadamente quadrada. Dados: R_1=100 KΩ, R_2=100 kΩ, C_2=0,1 μF. Desenhe a forma de onda obtida.



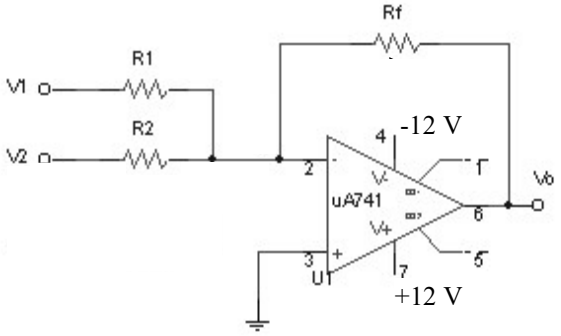
DERIVADOR INVERSOR NÃO-IDEAL

Utilize o simulador QUCS para simular o derivador não-ideal abaixo e aplique um trem de pulsos quadrados com frequência de 10 Hz e níveis de tensão entre 0 e 1 V. Desenhe a forma de onda obtida. Mude agora a frequência do sinal de entrada para 200 Hz e veja que o sinal de saída muda sua forma para aproximadamente quadrado. Dados: R_1=100 KΩ, R_2=100 kΩ, C_1=0,1 μF. Desenhe a forma de onda obtida.



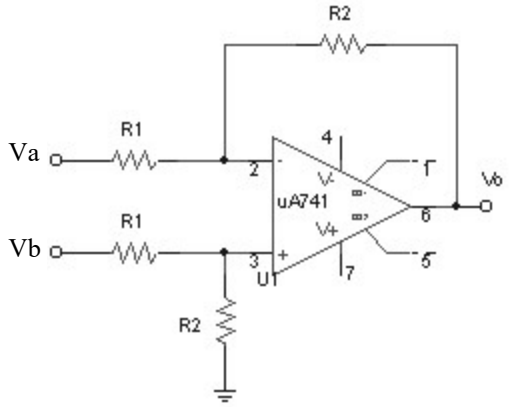
SOMADOR INVERSOR

O circuito abaixo faz uma operação de soma entre as entradas V1 e V2. Para Rf=R2=R1=100 kΩ, V1 = 6 V e V2 = 5 V. Verifique que: Vo = -(V1+V2). Aplique agora nas entradas do amp. op. dois sinais senoidais com amplitudes de 0,1 V e frequências de 10 e 100 Hz, respectivamente, e Rf=100 kΩ e R2=R1=10 kΩ. Desenhe as formas de onda de entrada e a forma de onda obtida na saída do circuito.



SUBTRATOR

O circuito abaixo faz uma operação de subtração entre as entradas Vb e Va. Para R2=R1=100 kΩ, verifique que: Vo = Vb-Va, sendo Vb = 6 V e Va = 5 V.



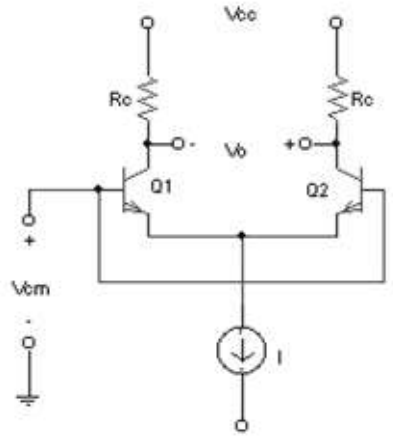
EXPERIÊNCIA 4

AMPLIFICADORES DIFERENCIAIS

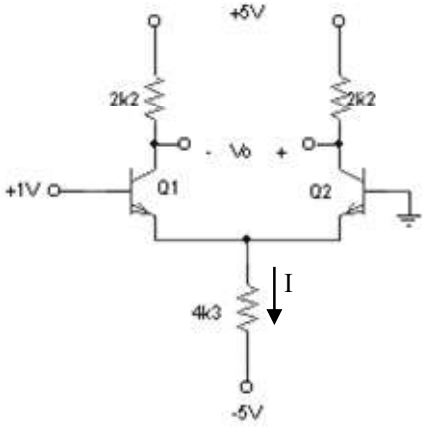
Um amplificador diferencial, como o nome diz, amplifica a diferença de sinais em suas entradas, eliminando sinais comuns. A resposta deste tipo de amplificador depende do tipo de sinais aplicados em suas entradas (sinais “grandes”, “médios” e “pequenos”). Simule os circuitos abaixo e obtenha o valor da tensão de saída para cada um dos mesmos.

PARTE 1: SINAIS COMUNS

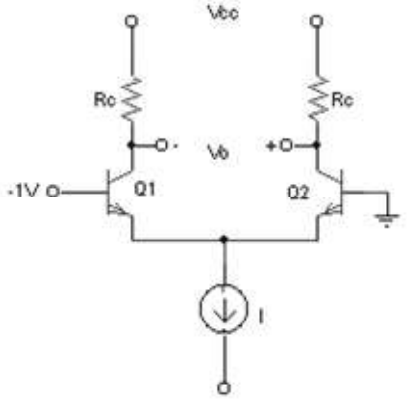
Dados: Rc=10 kΩ, Vcc=10 V; I= 1 mA e Vcm= 1 V



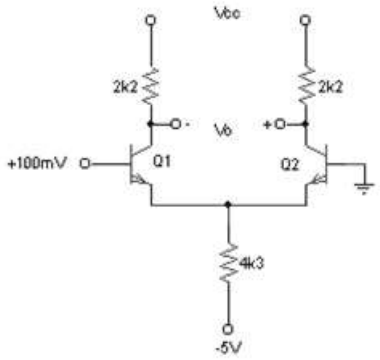
PARTE 2: GRANDES SINAIS POSITIVOS



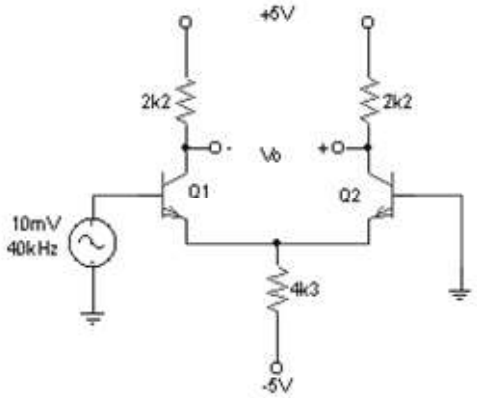
PARTE 3: GRANDES SINAIS NEGATVOS



PARTE 4: SINAIS MÉDIOS



PARTE 5: PEQUENOS SINAIS



EXPERIÊNCIA 5

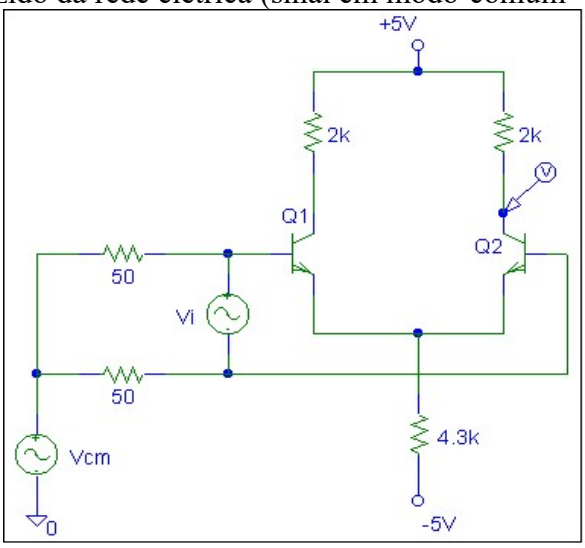
AMPLIFICADORES DIFERENCIAIS

PARTE 1

Projete e simule um amplificador diferencial que forneça uma tensão de saída diferencial de 1 V para sinal de entrada diferencial de 10 mV. Verifique que a máxima tensão de entrada em modo comum para este projeto é de aproximadamente 7 V.

PARTE 2

Simule o amplificador diferencial abaixo se a entrada é um sinal diferencial Vi de 10 mV e 1 kHz, mas também existe na entrada um sinal induzido da rede elétrica (sinal em modo-comum - Vcm) de amplitude 100 mV.

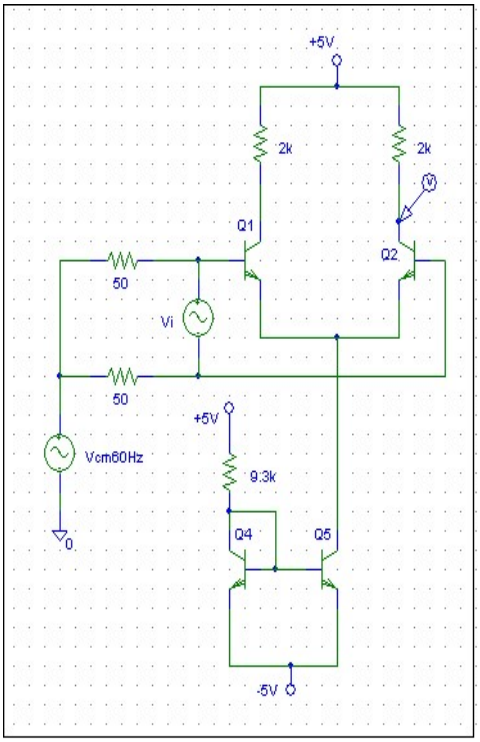


PARTE 3

Simule agora o amplificador diferencial anterior, mas com resistências de coletor de 98 Kω, tensões de alimentação para 100 e -100 V, e resistência de fonte de corrente de 99.3 Kω. Observe agora o sinal de saída gerado e explique por que não se nota mais a presença do sinal de 60 Hz no sinal de saída.

PARTE 4

Simule agora o circuito abaixo e verifique o sinal de saída, comparando-o com o sinal mostrado na Parte 2. Explique o porquê da diferença de sinais.

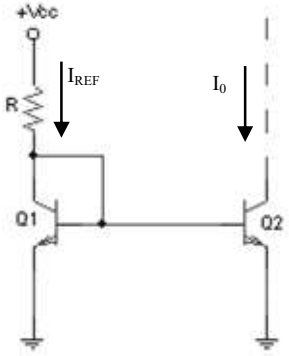


EXPERIÊNCIA 6

FONTES DE CORRENTE E AMPLIFICADORES DIFERENCIAIS COM CARGA ATIVA

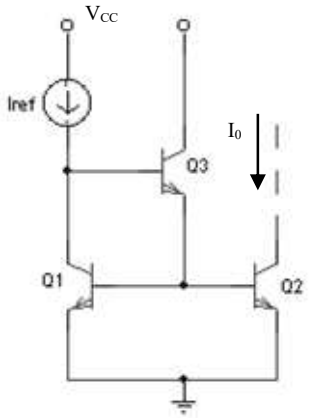
PARTE 1

Simule o Espelho de Corrente Simples abaixo, designando o valor de resistência R para gerar 1 mA na saída (utilize uma resistência na saída, verificando o seu máximo valor possível).



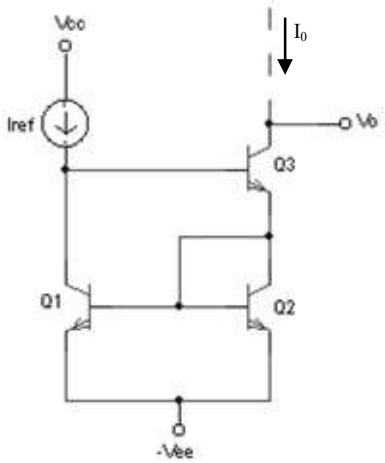
PARTE 2

Simule o Espelho de Corrente com Compensação de Corrente de Base abaixo, designando o valor de resistência R para gerar 1 mA na saída (utilize uma resistência na saída, verificando o seu máximo valor possível).



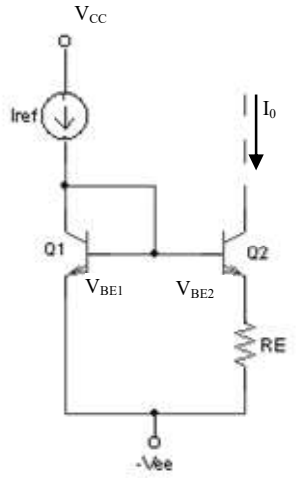
PARTE 3

Simule o Espelho de Corrente Wilson, designando o valor de resistência R para gerar 1 mA na saída (utilize uma resistência na saída, verificando o seu máximo valor possível).



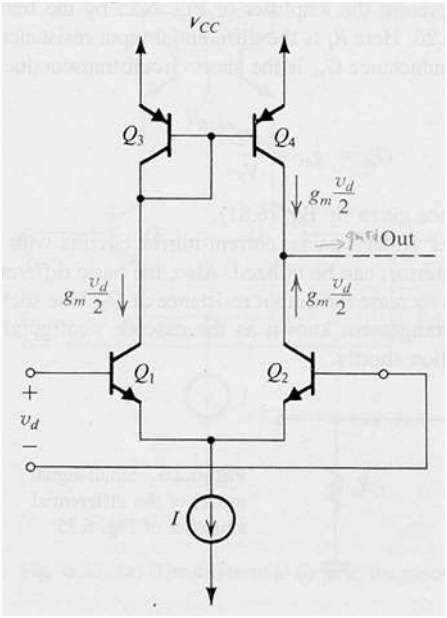
PARTE 4

Simule a Fonte de Corrente Widlar, designando o valor de resistência R e RE para gerar 10 µA na saída (utilize uma resistência na saída, verificando o seu máximo valor possível).



PARTE 5

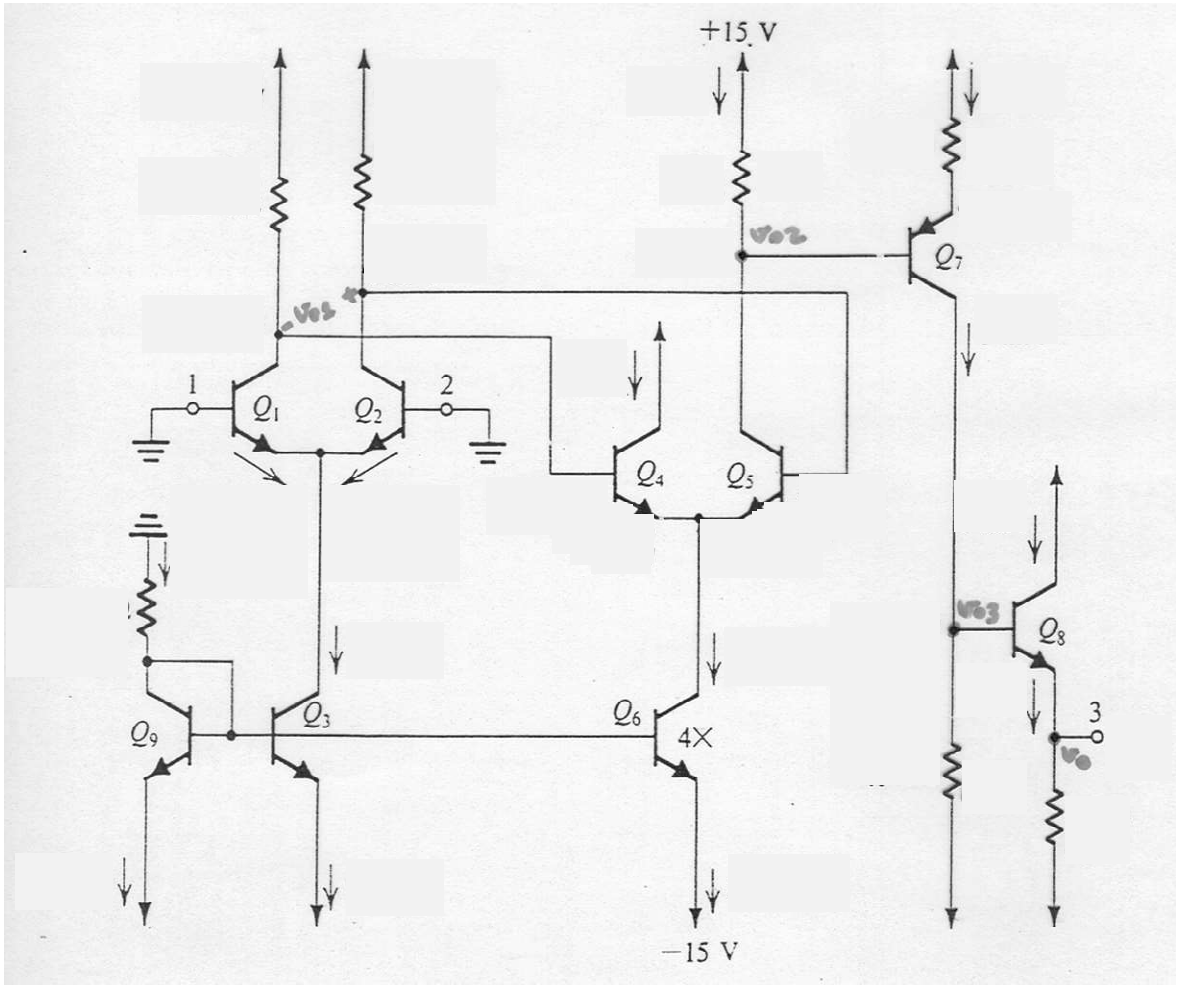
Simule o Amplificador Diferencial com Carga Ativa abaixo, verificando o ganho resultante para um sinal senoidal de 1 mV de amplitude e 1 kHz de frequência.



EXPERIÊNCIA 7

AMPLIFICADOR MULTIESTÁGIO

Simule o Amplificador Multiestágio abaixo, determinando todas as correntes e tensões CC de polarização do circuito, e os ganhos de cada estágio do circuito para entrada de pequeno sinal.

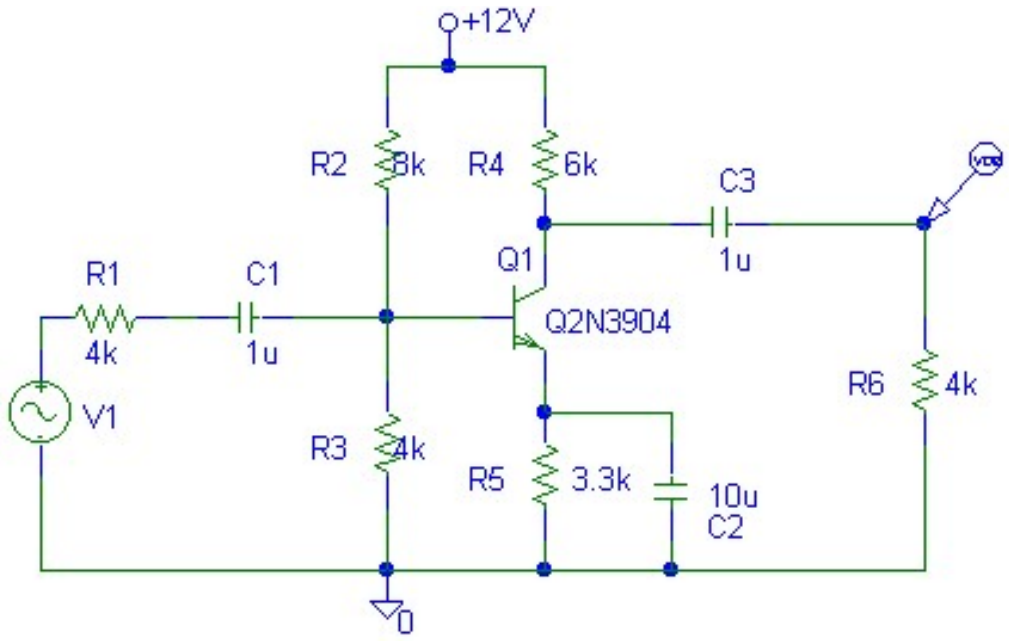


EXPERIÊNCIA 8

RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

Simule o amplificador baseado em transistor bipolar abaixo, e determine:

- O ganho em banda média (AM) do amplificador
- A frequência de corte inferior (fL) e superior (fH) do amplificador
- O gráfico de resposta em frequência do amplificador

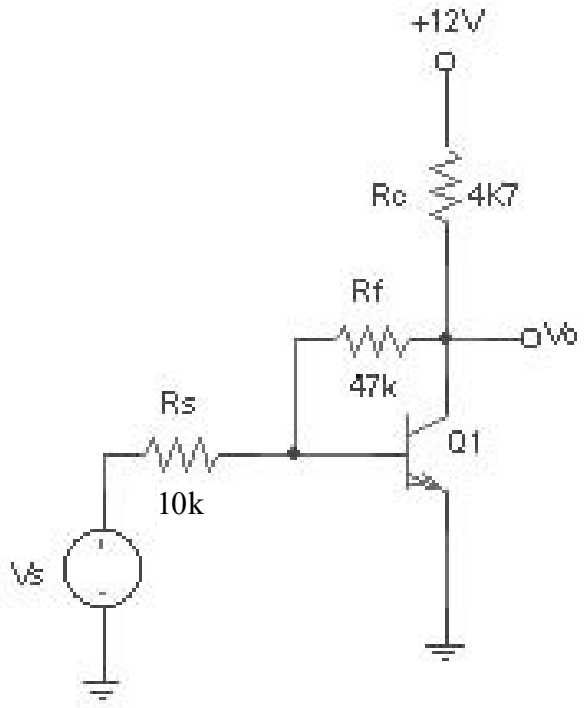


EXPERIÊNCIA 9

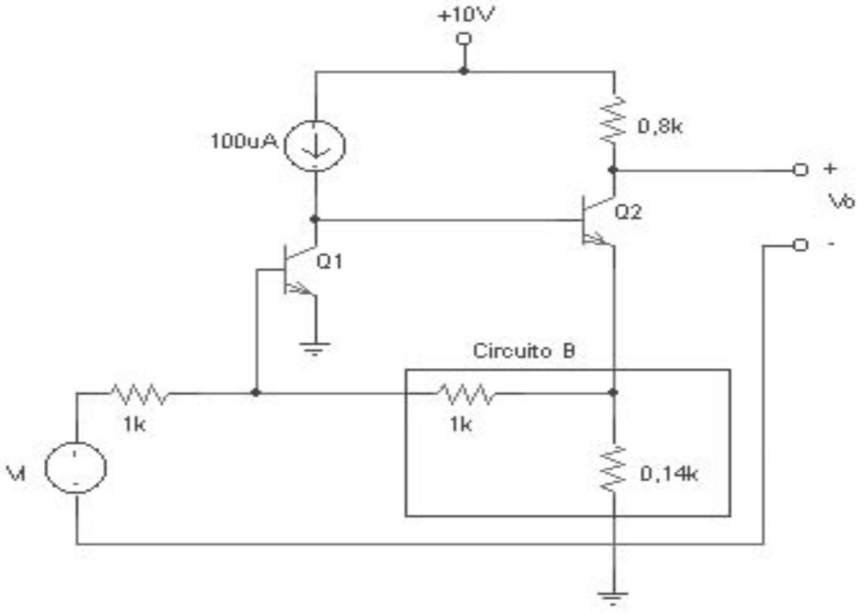
REALIMENTAÇÃO

Obtenha o ganho de tensão e o sinal de saída (para entrada de 10 mV) dos circuitos realimentados abaixo.

CIRCUITO A



CIRCUITO B

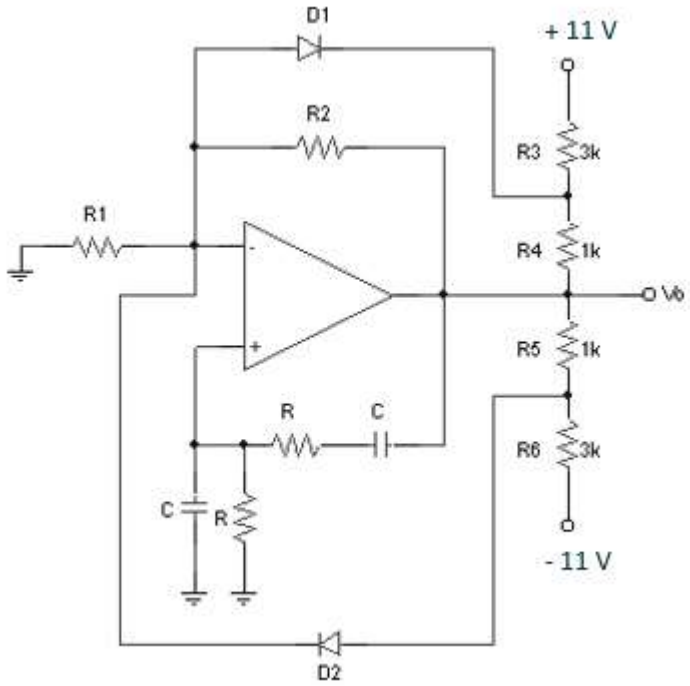


EXPERIÊNCIA 10

OSCILADORES SENOIDAIS BASEADOS EM AMP. OP. E TRANSISTOR

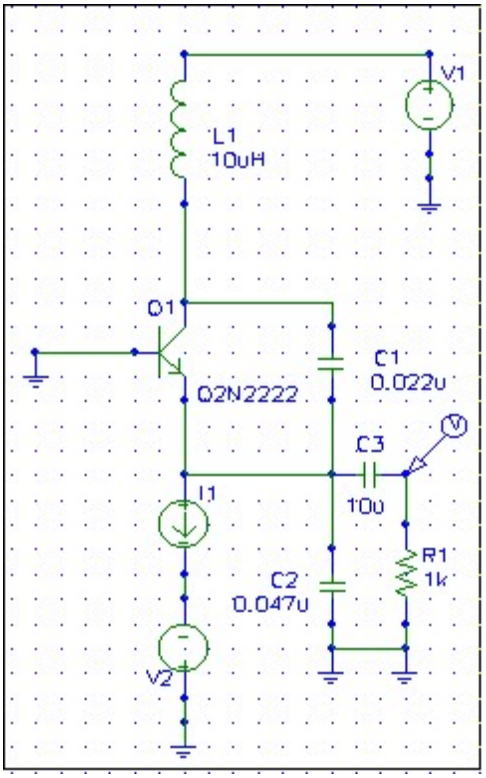
Simule os osciladores senoidais abaixo, verificando os sinais de saída.

OSCILADOR RC



Dados: R= 10 kΩ e C= 16 nF; R1= 10 kΩ; R2= 30 kΩ, e tensões iniciais iguais a zero para os capacitores

OSCILADOR LC (COLPITS)



Dados: V1=V2= 10 V; I1= 1 mA