# Guia para Uso do Simulador Quite Universal Circuito Simulator — QUCS)

# Laboratórios de Circuitos Elétricos I

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho (Professor do DEE/UFES)

01/09/2020

## 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 Circuitos Elétricos I 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:

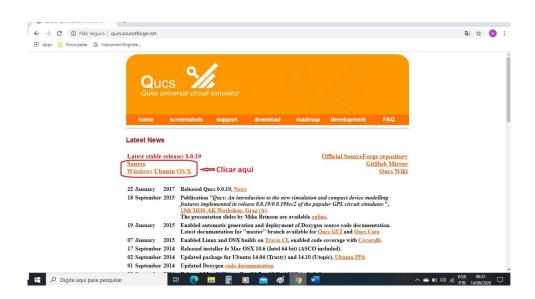
$$NF = 0.4MR + 0.6PI$$
,

onde MR é a média das notas dos relatórios.

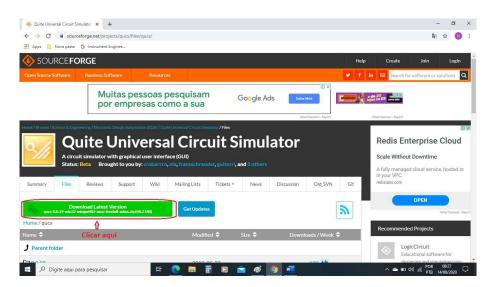
### 2. Fazendo o Download do Simulador QUCS

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

O software do QUCS pode ser baixado do link: <a href="http://qucs.sourceforge.net/download.html">http://qucs.sourceforge.net/download.html</a>, 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

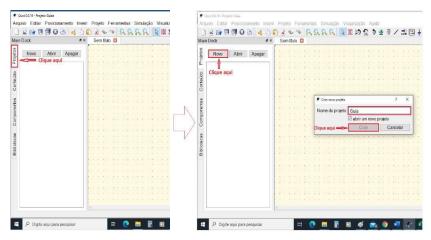


2.4 A partir deste ponto, seguir as instruções para carregar o programa no computador.

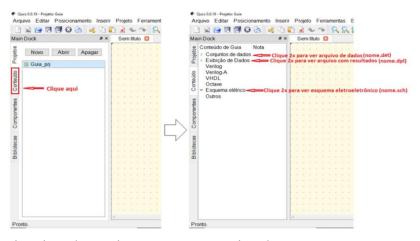
Após descompactar o arquivo .zip, você terá todos os arquivos necessários para executar o QUCS, os quais estão mostrados abaixo. Para executar o QUCS, clique no arquivo "ques" mostrado abaixo.



Clicando no arquivo "ques", a tela abaixo será carregada. O QUES 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".

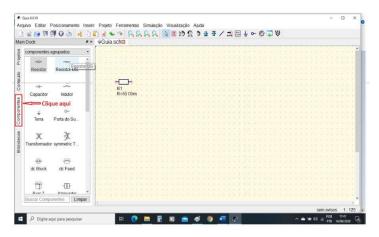


# 2.5 Construção do circuito eletrônico que se quer simular

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

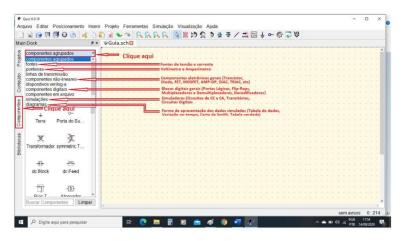
# 2.5.1 Encontrar os componentes mais gerais

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



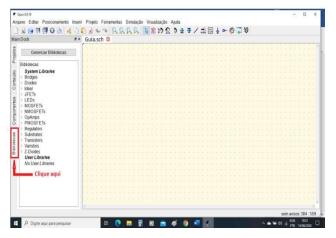
# 2.5.2 Encontrar outros componentes e recursos

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



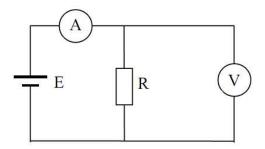
# 2.5.3 Encontrar componentes com características específicas

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



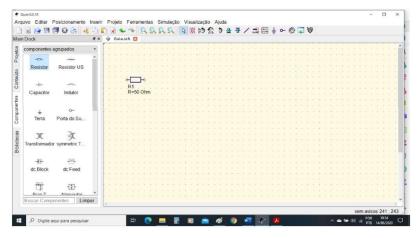
## 2.5.4 Construir o circuito eletrônico

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. Este é o circuito a ser simulado na Experiência 1.



# 2.5.4.1 Carregar um componente na área de trabalho

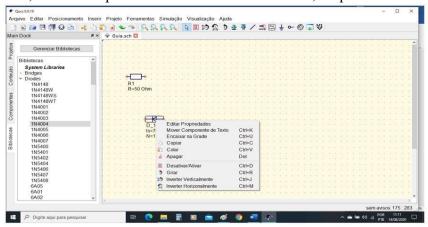
Para "puxar" um componente, clicar primeiro na aba à esquerda da tela mostrada nos itens 2.5.2 (aba "Componente"). O clique do mouse faz com que o componente fique "ligado" ao mouse, de forma que, ao movê-lo, o componente o acompanha. Assim, mova o componente para a área de trabalho até o ponto onde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



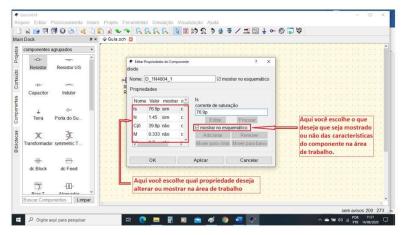
Veja que o componente já vem com valores pré-fixados. Na figura acima o resistor já vem com o valor de 50  $\Omega$ . Se o componente tem características específicas, o procedimento é o mesmo, alterando a aba de "Componente" para "Biblioteca".

# 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".



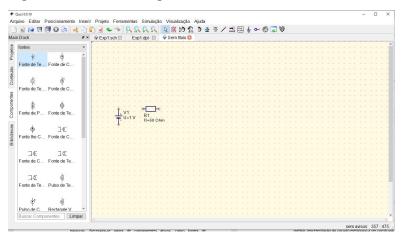
As operações mais comuns neste caso são: "Girar", "Inverter" (horizontal ou verticalmente) e "Editar Propriedades". As duas primeiras são executadas a cada clique no botão direito do mouse seguido de um clique na operação desejada. Ao clicar na operação "Editar Propriedades", isto faz abrir outra janela,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



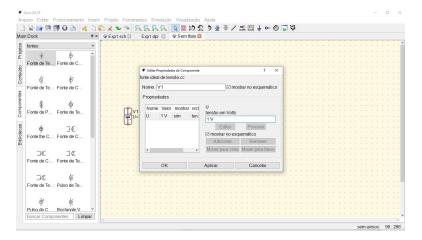
Se deseja fazer mais de uma alteração, entre uma alteração e a seguinte, deve-se clicar em "Aplicar" para que aquela tenha validade. Para retornar à área de trabalho clicar em "Ok".

## 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".



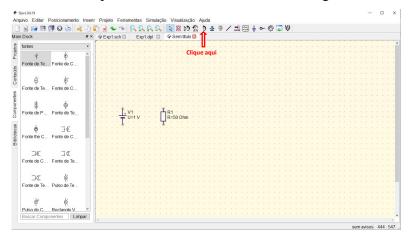
Veja que a fonte vem com 1 V de tensão. Para alterar este valor, deve-se clicar duas vezes com o cursor em cima da fonte e aparecerá uma janela de configuração.



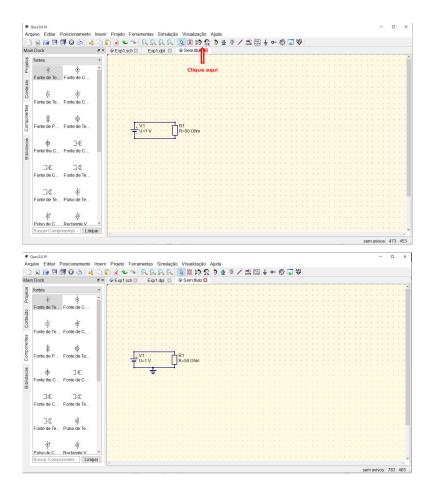
O cursor já se posiciona onde alterar a tensão da fonte para o valor desejado.

# 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.

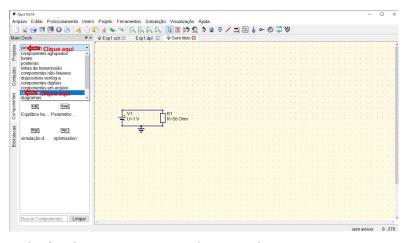


Clique no terminal do primeiro componente a interligar, arraste o cursor na direção do segundo componente e clique novamente no seu terminal. A figura abaixo mostra a ligação entre V1 e R1, começando por V1, reproduzindo a representação da parte esquerda da figura acima. Para isso, arraste o cursor horizontalmente 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.

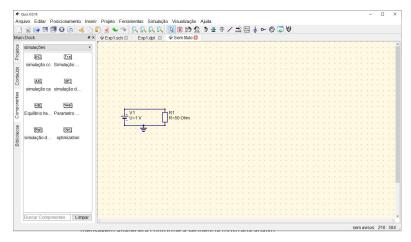


# 2.6 Simulação

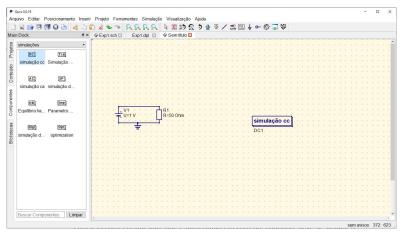
Para o circuito em questão, que é alimentado em corrente contínua, vamos simular o seu comportamento através da tensão e da corrente na resistência. Para isto, clique na aba "simulações", tal como indicado na figura seguinte.



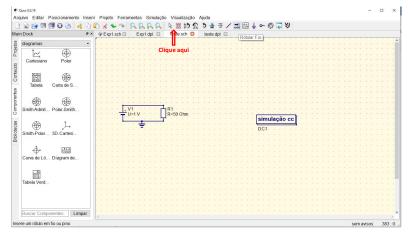
As opções de simulação são apresentadas a seguir.



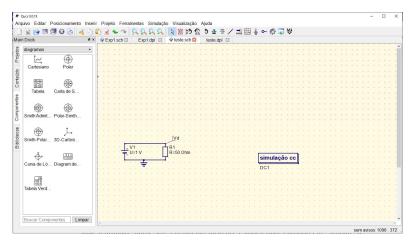
Para o circuito em questão, que é alimentado em corrente contínua, deve-se simular o seu comportamento através da tensão e da corrente na resistência. Assim, deve-se escolher a simulação CC. Na tela da figura abaixo, clique em "simulação cc", e arraste o ícone até a área de trabalho (ver figura abaixo).



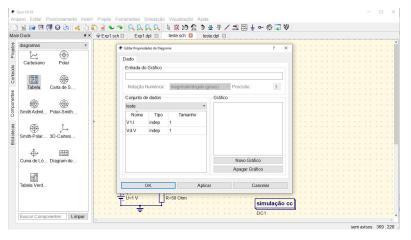
Deve-se definir agora o "ponto de medição". Para isto, clique na aba "Rotular Fio". Arraste então o cursor até a linha de interligação onde deseja monitorar. Ao clicar na linha, uma janela se abrirá para que você dê um nome para referenciar o ponto. Neste processo a grandeza medida é tensão.



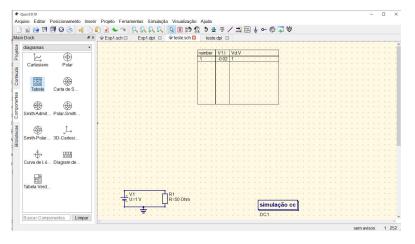
O nome atribuído à grandeza medida foi "Vd" (ver figura a seguir).



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.



# Experiência Nº 01 Equipamentos, Resistores e Lei de Ohm

## **OBJETIVO**

• Verificar a Lei de Ohm

#### **LEI DE OHM**

Em 1827, o físico George Simon Ohm descobriu que, para condutores metálicos, a tensão (V) varia linearmente com a corrente elétrica (I). Isto é, a razão entre a tensão e a corrente elétrica é constante. Esta constante foi denominada resistência (R) do condutor, e a equação (1) fícou então conhecida como Lei de Ohm:

$$V = RI \tag{1}$$

### **PROCEDIMENTO**

Utilize o simulador QUCS para simular o circuito mostrado na Figura 1 utilizando inicialmente uma resistência de  $560 \Omega$ . Varie então o valor da fonte de tensão (E) de acordo com os valores mostrados na Tabela 1 e anote os valores de tensão e de corrente medidos. Repita o procedimento utilizando os demais valores de resistência mostrados na Tabela 1.

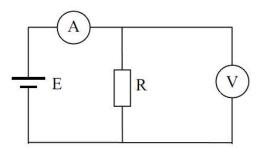


Figura 1 Circuito resistivo para obtenção de valores de V e I.

Tabela 1 Valores de tensão e de corrente obtidos por simulação.

	R=5	60Ω	R=1	k8Ω	R=4	k7Ω	R=1	5kΩ
Fonte de tensão (E)	V	I	V	I	V	I	V	I
3 V								
4 V								
5 V								
7,5 V								
10 V								
12 V								

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos para a tabela, verifique se a equação (1) é cumprida, ou seja, se está de acordo com a Lei de Ohm.

# Leis de Kirchhoff

## **OBJETIVO**

- Verificar através de simulação a Lei de Kirchhoff das Correntes
- Verificar através de simulação a Lei de Kirchhoff das Tensões

#### **LEI DE KIRCHHOFF**

O comportamento dos circuitos elétricos é governado por duas leis básicas chamadas "Leis de Kirchhoff", as quais decorrem diretamente das leis da conservação da carga e da energia existentes no circuito. Estas leis estabelecem relações entre as tensões e correntes dos diversos elementos dos circuitos, servindo assim como base para o equacionamento matemático dos circuitos elétricos. O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff foi quem elaborou e publicou estas leis pela primeira vez em 1848.

### A. Lei de Kirchhoff das Correntes

A Lei de Kirchhoff das Correntes é baseada no Princípio da Conservação da Carga Elétrica de um circuito e estabelece que: "O somatório algébrico das correntes em qualquer nó de um circuito é nulo."

### B. Lei de Kirchhoff das Tensões

A Lei de Kirchhoff das Tensões é baseada no Princípio da Conservação da Energia em um circuito e estabelece que: "O somatório algébrico das tensões em qualquer malha de um circuito é nulo."

### **PROCEDIMENTO**

Utilize o simulador QUCS para simular o circuito mostrado na Figura 2. Obtenha então os valores das tensões e correntes nos três resistores e anote os valores calculados na Tabela 2. Considere os seguintes valores de resistência e de tensão nas fontes:  $R_1=280 \Omega$ ;  $R_2=560 \Omega$ ;  $R_3=180 \Omega$ ;  $V_1=10 V$  e  $V_2=10 V$ .

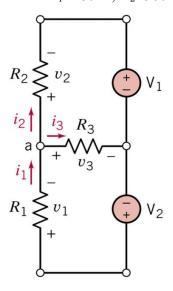


Figura 2 Circuito a ser simulado.

Tabela 1 Valores calculados e medidos do circuito simulado.

	Valores Calculados	Valores Medidos	Erro (%)
<b>V</b> 1			
V2			
<i>V</i> 3			
i <sub>1</sub>			
i <sub>2</sub>			
i <sub>3</sub>			

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos para a tabela, verifique se foi possível demonstrar a Lei de Kirchhoff das Correntes e a Lei de Kirchhoff das Tensões. Justifique suas respostas.

# Associação Série de Resistores e Divisor de Tensão Resistivo

## **OBJETIVO**

- Calcular a resistência equivalente de uma associação série de resistores
- Comprovar por simulação a equivalência entre o circuito contendo a associação série e o circuito contendo apenas a resistência equivalente
- Comprovar por simulação a equação do divisor de tensão resistivo

### A. Associação série de resistores

Em uma associação série de resistores, todos os elementos são percorridos pela mesma corrente. Seguindo o princípio da equivalência de circuitos, é possível demonstrar que o circuito formado pela associação série de "n" resistores é equivalente a um circuito contendo apenas um resistor equivalente.

### B. Divisor de tensão resistivo

Em uma associação série de resistores, pode-se demonstrar que a tensão sobre qualquer um dos resistores da associação será uma fração da tensão total sobre os resistores. Esta fração é dada pela equação:

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{k=1}^n R_k} v_s \tag{3.3}$$

### **PROCEDIMENTO**

Para o circuito mostrado na Figura 3, calcule os valores das tensões e corrente nos três resistores e anote os valores calculados na Tabela 3.1. Considere os seguintes valores de resistência:  $R_1$ =470  $\Omega$ ;  $R_2$ =820  $\Omega$ ;  $R_3$ =1200  $\Omega$ .

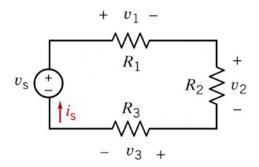


Figura 3 Circuito a ser simulado.

Tabela 3.1 Valores calculados do circuito.

<b>V</b> s	İs	<b>V</b> 1	<b>V</b> 2	<b>V</b> 3
3 V				
5 V				
10 V				

Agora, faça a simulação do circuito mostrado na Figura 3, e meça os valores das tensões e corrente nos três resistores, obedecendo aos sentidos e polaridades mostrados na figura. Anote os valores medidos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Valores obtidos por simulação do circuito.

<b>V</b> s	İs	<b>V</b> 1	V2	<b>V</b> 3
3 V				
5 V				
10 V				

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Compare os valores calculados e obtidos por simulação das Tabelas 3.1 e 3.2, e calcule o erro dos valores medidos. Os valores de erro são aceitáveis? Quais os seus possíveis motivos? Foi possível comprovar a equação do divisor de tensão resistivo?

# Associação Paralela de Resistores e Divisor de Corrente Resistivo

## **OBJETIVO**

- Calcular a resistência equivalente de uma associação paralela de resistores
- Comprovar por simulação a equivalência entre o circuito contendo a associação paralela e o circuito contendo apenas a resistência equivalente
- Comprovar por simulação a equação do divisor de corrente resistivo

### A. Associação paralela de resistores

Em uma associação paralela de resistores, todos os elementos estão submetidos à mesma diferença de potencial elétrico (tensão elétrica). É possível demonstrar que o circuito formado pela associação paralela de "n" resistores é equivalente a um circuito contendo apenas um resistor.

### B. Divisor de corrente resistivo

Em uma associação paralela de dois resistores, conforme a mostrada na Figura 4.1.

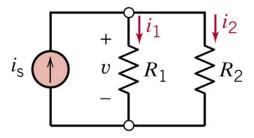


Figura 4.1 Associação paralela de dois resistores.

Pode-se demonstrar que as correntes que circulam pelos resistores ( $i_1$  e  $i_2$ ) serão uma fração da corrente total fornecida pela fonte. Esta fração é dada pelas equações:

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_S \tag{4.1}$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_S \tag{4.2}$$

### **PROCEDIMENTO**

Para o circuito mostrado na Figura 4.2, calcule os valores das correntes nos três resistores e anote os valores calculados na Tabela 4.1. Considere os seguintes valores de resistência:  $R_1$ =470  $\Omega$ ;  $R_2$ =820  $\Omega$ ;  $R_3$ =1200  $\Omega$ .

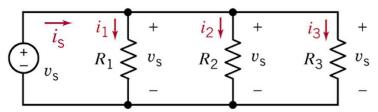


Figura 4.2 Circuito a ser simulado.

Tabela 4.1 Valores calculados do circuito.

Vs	İs	İ1	İ2	i <sub>3</sub>
3 V				
5 V				
10 V				

Agora, faça a simulação do circuito mostrado na Figura 4.2, e meça os valores das correntes nos três resistores, obedecendo os sentidos e polaridades mostrados na figura. Anote os valores medidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Valores obtidos por simulação do circuito.

<b>V</b> s	is	İ1	İ2	İз
3 V				
5 V				
10 V				

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Compare os valores calculados e medidos das Tabelas 4.1 e 4.2 e calcule o erro dos valores medidos. Os valores de erro são aceitáveis? Quais os seus possíveis motivos? Foi possível comprovar experimentalmente a equação do divisor de corrente resistivo?

# Princípio da Superposição

## **OBJETIVO**

• Verificar por simulação o Princípio da Superposição em circuitos lineares

### Princípio da Superposição

Todo circuito linear obedece ao Princípio da Superposição, o qual afirma que, quando um circuito é alimentado por mais de uma fonte independente de energia, a resposta total do circuito é igual à soma das respostas individuais com apenas uma fonte de excitação. A resposta individual é a resposta do circuito quando apenas uma das fontes está ativa e todas as outras estão desativadas. Ou seja, deve-se analisar o circuito com apenas uma fonte de cada vez. Vale ressaltar que uma fonte de tensão "desativada" é equivalente a um curto-circuito, e uma fonte de corrente "desativada" repouso é equivalente a um circuito aberto.

Para o circuito mostrado na Figura 5.1, de acordo com o Princípio da Superposição, pode-se calcular a tensão v, mostrada no circuito, da seguinte forma:

$$v = v_1 + v_2$$

onde:

- $v_1$  é a tensão sobre o resistor de 4  $\Omega$ , quando o circuito é alimentado apenas pela fonte de tensão (fonte de corrente equivale a um circuito aberto)
- $v_2$  é a tensão sobre o resistor de 4  $\Omega$ , quando o circuito é alimentado apenas pela fonte de corrente (fonte de tensão equivale a um curto-circuito)

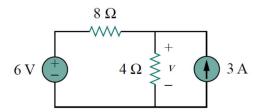


Figura 5.1 Circuito resistivo analisado.

Para obter a tensão  $v_1$ , deve-se "desativar" a fonte de corrente, como mostra a Figura 5.2.

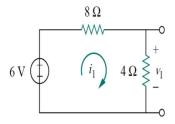


Figura 5.2 Circuito resistivo alimentado apenas pela fonte de tensão (fonte de corrente "desativada").

Por outro lado, para obter a tensão  $v_2$  , deve-se "desativar" a fonte de tensão, como mostra a Figura 5.3.

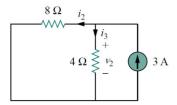


Figura 5.3 Circuito resistivo alimentado apenas pela fonte de corrente (fonte de tensão "desativada").

### **PROCEDIMENTO**

Para o circuito mostrado na Figura 5.4, calcule, utilizando o Princípio da Superposição, os valores das correntes nos três resistores e anote os valores calculados nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3. Considere os seguintes valores de resistência:  $R_1$ =560  $\Omega$ ;  $R_2$ =1,8  $k\Omega$ ;  $R_3$ =4,7  $k\Omega$ .

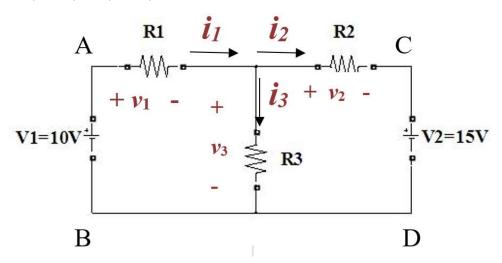


Figura 5.4 Circuito experimental.

Tabela 5.1 Valores calculados apenas com a fonte V1 ativa.

<b>V</b> 1	V <sub>2</sub>	<b>V</b> 3	İ1	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>

Tabela 5.2 Valores calculados apenas com a fonte V2 ativa.

<b>V</b> 1	<b>V</b> 2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İ3

Tabela 5.3 Valores calculados totais – Adição dos valores das Tabelas 5.1 e 5.2.

<b>V</b> 1	V2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İз

Agora, utilize o simulador para medir os valores das tensões e correntes nos resistores da Figura 5.4, obedecendo os sentidos e polaridades mostrados na figura. Anote os valores medidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Valores medidos do circuito simulado.

<b>V</b> 1	V2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İз

Retire agora a fonte V2 do circuito, "desativando" a fonte de tensão V1 (ou seja, curto-circuite os terminais "C" e "D"), e meça a corrente e a tensão nos resistores do circuito. Anote os valores obtidos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Valores medidos do circuito experimental com apenas a fonte V1 ativa.

<b>V</b> 1	V <sub>2</sub>	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İ3

Insira novamente a fonte V2 no circuito e "desative" a fonte V1 do circuito (ou seja, curto-circuite os terminais "A" e "B"), e meça a corrente e a tensão nos resistores do circuito. Anote os valores obtidos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Valores medidos do circuito experimental com apenas a fonte V2 ativa.

<b>V</b> 1	V <sub>2</sub>	<b>V</b> 3	İ1	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>

Some agora os valores obtidos nas Tabelas 5.5 e 5.6 e anote os valores obtidos na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 Adição dos valores das Tabelas 5.5 e 5.6.

<b>V</b> 1	<b>V</b> 2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İ3

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Compare os valores calculados e medidos das Tabelas 5.3 e 5.7 e calcule o erro dos valores medidos. Os valores de erro são aceitáveis? Quais os seus possíveis motivos? Foi possível comprovar experimentalmente o Princípio da Superposição?

# Teorema e Circuito Equivalente de Thévenin

## **OBJETIVO**

- Calcular o circuito equivalente de Thévenin de um circuito contendo apenas fontes independentes e resistores
- Determinar por simulação o circuito equivalente de Thévenin de um circuito contendo apenas fontes independentes e resistores
- Comprovar por simulação o teorema de Thévenin

### Teorema de Thévenin

O teorema de Thévenin diz que qualquer rede resistiva contendo fontes independentes e/ou controladas pode ser substituída por um circuito equivalente contendo apenas uma fonte de tensão independente ( $V_{Th}$ ) em série com uma resistência ( $R_{Th}$ ), conforme mostrado na Figura 6.1.

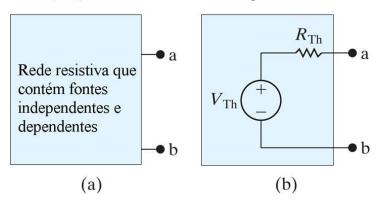


Figura 6.1 Circuito equivalente de Thévenin.

A. Determinação da fonte de tensão equivalente de Thévenin  $(V_{Th})$ 

O valor da fonte de tensão equivalente ( $V_{Th}$ ) pode ser obtido calculando-se ou medindo-se a tensão entre os terminais "a" e "b" do circuito da Figura 6.1.a, quando estes estão em aberto.

B. Determinação da resistência equivalente de Thévenin  $(R_{Th})$ 

A resistência equivalente de Thévenin pode ser calculada da seguinte forma:

- 1. Aplica-se um curto-circuito entre os terminais do circuito da Figura 6.1.a
- 2. Mede-se ou calcula-se o valor da corrente de curto (Icc) que irá fluir do terminal "a" para o terminal "b"
- 3. Calcula-se o valor da resistência equivalente utilizando a seguinte equação:

$$R_{Th} = \frac{V_{Th}}{I_{cc}} \tag{6.1}$$

## **PROCEDIMENTO**

Para o circuito mostrado na Figura 6.2, calcule os valores da tensão  $v_{ab}$  e da corrente i na resistência de 1 k $\Omega$ , ligada entre os terminais "a" e "b". Anote os valores calculados na Tabela 6.1. Determine agora o equivalente de Thévenin do circuito, e calcule novamente a tensão e a corrente na resistência de 1 k $\Omega$ , utilizando agora o circuito equivalente de Thévenin. Anote os valores calculados na Tabela 6.1.

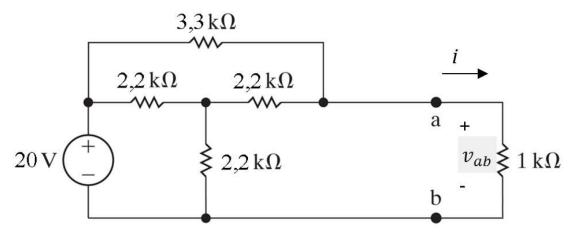


Figura 6.2 Circuito a ser simulado.

Tabela 6.1 Valores calculados.

	Circuito Original	Circuito Equivalente de Thévenin
$V_{\mathrm{ab}}$		
i		

Simule agora o circuito mostrado na Figura 6.2 e meça os valores da tensão  $v_{ab}$  e da corrente i. Anote os valores medidos na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Valores medidos com o circuito simulado.

Circuito Original		
<b>V</b> ab		
i		

Retire agora a resistência de 1 k $\Omega$  do circuito, deixando os terminais "a" e "b" em aberto. Meça e anote abaixo o valor da tensão em aberto, que é o valor da tensão da fonte de Thévenin:

$$V_{Th} = V$$

Estabeleça um curto-circuito entre os terminais "a" e "b" do circuito, meça e anote abaixo o valor da corrente de curto que fluirá do terminal "a" para o terminal "b":

$$I_{cc} = A$$

Calcule então o valor da resistência equivalente de Thévenin utilizando a equação (6.1), e anote abaixo:

$$R_{Th} = \Omega$$

Monte agora o circuito equivalente de Thévenin do circuito mostrado na Figura 6.2, utilizando os valores de  $V_{Th}$  e  $R_{Th}$  obtidos anteriormente. Meça então os valores da tensão  $v_{ab}$  e da corrente i, e anote os valores medidos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Valores medidos com o circuito simulado.

Circuito Original		
<b>V</b> ab		
i		

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Compare os valores calculados e medidos das Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3, e calcule o erro dos valores medidos. Os valores de erro são aceitáveis? Quais os seus possíveis motivos? Foi possível comprovar experimentalmente a equivalência entre os dois circuitos?

# Medição de Tensão e Corrente CA em Circuitos Monofásicos

## **OBJETIVO**

- Realizar medições de grandezas elétricas em corrente alternada (CA) com o multímetro
- Calcular valores eficazes de grandezas elétricas senoidais em regime permanente

### A. Fontes e Funções Senoidais

Uma fonte senoidal produz uma tensão ou uma corrente que varia senoidalmente com o tempo, conforme mostrado na equação (7.1) e na Figura 7.1.

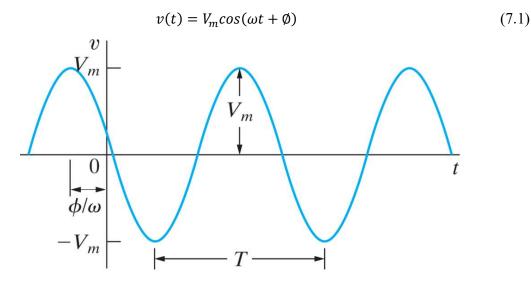


Figura 7.1 Forma de onda da tensão senoidal da equação (7.1).

A tensão fornecida por esta fonte é uma função senoidal, que se repete em intervalos regulares de tempo. Este intervalo de tempo é chamado de período (*T*) da função, sendo medido em segundos. A quantidade de vezes (ciclos) que a função se repete em 1 s, é chamada de frequência (*f*) e é medida em hertz (Hz). A relação entre o período da função e sua frequência é dada por:

$$T = \frac{1}{f} \tag{7.2}$$

A frequência angular da função é medida em radianos por segundo (rad/s) e é dada por:

$$\omega = 2\pi f \tag{7.3}$$

A amplitude do sinal, ou valor máximo que a função pode assumir, é dado por Vm. O ângulo  $\emptyset$  na equação (7.1) é chamado de ângulo de fase, sendo responsável por determinar o valor da função senoidal em t=0.

### B. Valor Eficaz de uma Função Senoidal

O valor eficaz ou rms (*root mean square*) de uma função periódica f(t) é definido como a raiz quadrada do valor médio da função ao quadrado, ou seja:

$$f_{\rm rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt}$$
 (7.4)

No caso de uma tensão ou de uma corrente senoidal, seu valor eficaz é dado por:

$$V_{\rm rms} = \sqrt{\frac{1}{T}} \int_0^T V_{\rm m}^2 \cos^2(\omega t + \emptyset) dt$$

$$V_{\rm rms} = \frac{V_{\rm m}}{\sqrt{2}}$$
(7.5)

Portanto, para saber o valor eficaz de uma tensão ou de uma corrente senoidal, basta dividir o valor de sua amplitude máxima por  $\sqrt{2}$ .

### **PROCEDIMENTO**

Para o circuito mostrado na Figura 7.2, calcule os valores eficazes de tensão e de corrente nos resistores e na fonte de tensão. Anote os valores calculados na Tabela 7.1.

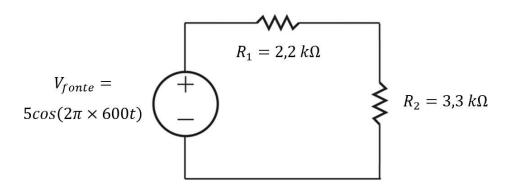


Figura 7.2 – Circuito experimental.

Tabela 7.1 Valor eficaz calculado das tensões e das correntes na fonte e nos resistores.

	Fonte	R <sub>1</sub>	$R_2$
$V_{ef}$			
$I_{ef}$			

Simule agora o circuito mostrado na Figura 7.2 e ajuste o gerador de sinais para fornecer uma amplitude de 5 V (10 V de pico a pico) e frequência igual a 600 Hz. Obtenha então os gráficos da forma de onda da tensão na fonte e nos dois resistores, anotando também o seu valor de amplitude (*Vm*) e seu período (*T*) na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 Amplitude e período das tensões medidas na fonte e nos resistores.

	V <sub>Fonte</sub>	V <sub>R1</sub>	$V_{R2}$
$V_m$			
T			

Meça agora o valor eficaz das tensões e das correntes na fonte e nos dois resistores e anote os valores medidos na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 Valor eficaz medido das tensões e das correntes na fonte e nos resistores.

	Fonte	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
$V_{ef}$			
$I_{ef}$			

Com os valores anotados na Tabela 7.2, calcule os valores eficazes das tensões na fonte e nas resistências, e preencha a Tabela 7.4.

Tabela 7.3 Valor eficaz calculado das tensões e das correntes na fonte e nos resistores.

	Fonte	R <sub>1</sub>	$R_2$
$V_{ef}$			
$I_{ef}$			

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

Compare os valores calculados e medidos das Tabelas 7.3 e 7.4, e calcule o erro dos valores medidos. Os valores de erro são aceitáveis? Quais os seus possíveis motivos? Foi possível comprovar experimentalmente a equação do valor eficaz de uma grandeza senoidal?

# Medição de Impedância e Potência em Circuitos CA

## **OBJETIVO**

- Medição de impedância em circuitos CA
- Realizar medidas de potência aparente e ativa em circuitos CA

### A. Impedância

Define-se como impedância a razão entre o fasor tensão de um elemento de circuito e seu fasor de corrente. Assim, a impedância de um resistor é R, a impedância de um indutor é jwL e a impedância de um capacitor é 1/jwC. Em todos os casos, a impedância é medida em ohms. A parte imaginária da impedância é denominada reatância. Os dados de impedância e reatância para cada um dos componentes passivos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 8.1 Dados de impedância e reatância.

Elemento de Circuito	Impedância	Reatância
Resistor	R	-
Indutor	jωL	$\omega L$
Capacitor	1/ <i>jω</i> C	$-1/\omega C$

### **PROCEDIMENTO**

Parte 1: para o circuito da Figura 1 calcule a tensão e corrente do circuito, e obtenha a sua impedância, reatância e resistência, e anote os valores nas Tabelas 8.2 e 8.3. Valores:  $R=330 \Omega/0.5 W$ ;  $C=0.33 \mu F$ .

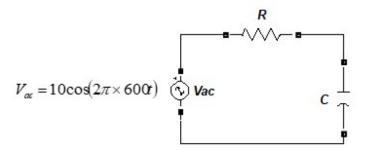


Figura 8.1 Circuito RC série.

Tabela 8.2 Fasores de tensão e corrente do circuito RC série.

	Fonte	Resistor	Capacitor
$\overline{V}$			
I			

Tabela 8.3 Impedância, resistência e reatância do circuito RC série.

Impedância	Resistência	Reatância
_		

Simule agora o circuito mostrado na Figura 8.1, ajustando o gerador de sinais para fornecer um sinal senoidal com 10 V de amplitude e 600 Hz de frequência. Meça então a tensão na fonte e a tensão no resistor. Anote na Tabela 8.4 os valores obtidos. Meça agora a defasagem entre a tensão no resistor e no capacitor, e também os anote na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 Valores obtidos na simulação do circuito RC série.

	Fonte	Resistor	Capacitor
Tensão			
Defasagem em relação R			

Parte 2: para o circuito da Figura 8.2 calcule as tensões e correntes do circuito, a potência ativa, reativa e aparente do circuito e anote os valores nas Tabelas 8.5 e 8.6.

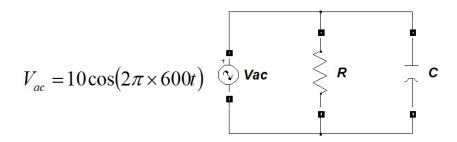


Figura 8.2 Circuito RC paralelo.

Tabela 8.5 Fasores de tensão e corrente calculados do circuito RC paralelo.

	Fonte	Resistor	Capacitor
V			
I			

Tabela 8.6 Valor de potência calculado do circuito RC paralelo.

Potência						
Aparente (VA)	Ativa (W)	Reativa (VAr)				

Agora, simule o circuito mostrado na Figura 8.2, ajustando o gerador de sinais para fornecer um sinal senoidal com 10 V de amplitude e 600 Hz de frequência. Meça então a tensão e corrente na fonte, no resistor e no capacitor, e anote-os na Tabela 8.7.

Tabela 8.7 Valores obtidos na simulação do circuito RC série.

	Fonte	Resistor	Capacitor
V			
I			

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

- 1) Para o circuito da Figura 8.1, determine a impedância, a tensão eficaz e a corrente eficaz para cada elemento utilizando os dados da Tabela 8.4
- 2) Com os dados da Tabela 8.4, desenhe o diagrama fasorial do circuito da Figura 8.1
- 3) Para o circuito da Figura 8.1, analise criticamente os valores medidos e calculados no que diz respeito a valores eficazes de tensão e de corrente, e defasamento entre tensão e corrente em cada elemento do circuito
- 4) Com os dados Vfonte e Ifonte da Tabela 8.7, calcule a potência aparente do circuito da Figura 8.2
- 5) Com dados de tensão e corrente no resistor e no capacitor da Tabela 8.7, determine as potências ativa e reativa do circuito da Figura 8.2
- 6) Com dados calculados no item anterior, determine a potência aparente do circuito e o fator de potência
- 7) Monte o triângulo das potências com os valores calculados no item 5 e 6
- 8) Compare os valores de potência aparente encontrados nos itens 4 e 6
- 9) Comente a interferência de componentes não resistivos (indutores e capacitores) na transferência de potência e corrente da fonte para o circuito

# Medição de Tensão, Corrente e Potência em Circuitos Trifásicos – Conexão Y

### **OBJETIVO**

Realizar medidas de tensão, corrente e potência em circuitos trifásicos

### A. Circuitos Trifásicos

O estudo dos circuitos trifásicos é um caso particular dos circuitos polifásicos. Por razões técnicas e econômicas, o sistema trifásico tornou-se padrão em geração, transmissão e distribuição dentre todos os sistemas polifásicos.

Os sistemas trifásicos possuem a flexibilidade de poder atender cargas monofásicas, bifásicas e trifásicas, sem qualquer alteração em sua configuração, porém, as cargas não trifásicas ocasionam desequilíbrio no sistema.

Um típico sistema trifásico é constituído por três fontes de tensão conectadas a cargas por três ou quatro fios (ou linhas de transmissão), sendo que um sistema trifásico é equivalente a três circuitos monofásicos. As fontes de tensão podem ser ligadas em estrela (Y), conforme mostrado na Figura 9.1a ou em delta ( $\Delta$ ), como mostrado na Figura 9.1b.

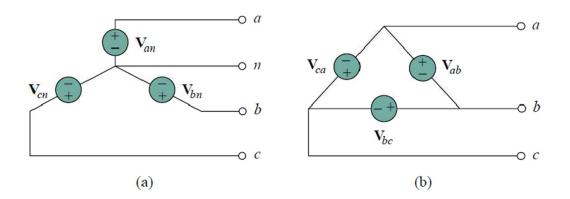


Figura 9.1 Fontes de tensão trifásicas: (a) conexão Y; (b) conexão Δ.

Como as conexões da fonte, uma carga trifásica pode ser conectada em estrela ou delta, dependendo da aplicação final. A Figura 9.2a mostra uma carga conectada em estrela (Y), e a Figura 9.2b mostra uma carga conectada em delta  $(\Delta)$ . A conexão de carga estrela ou delta é dita equilibrada se as impedâncias de fase são iguais em magnitude.

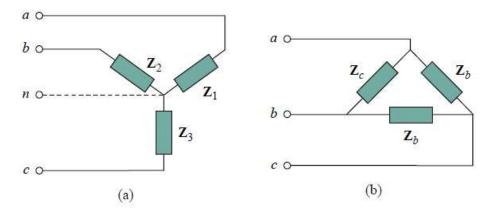


Figura 9.2 Diferentes configurações de cargas trifásicas: (a) estrela (Y); (b) delta ( $\Delta$ ).

### **PROCEDIMENTO**

Os circuitos das Figura 9.3 e 9.4 estão conectados a uma fonte trifásica equilibrada em Y, cuja tensão de fase é  $V_{AN} = 100 \ V$  (correspondente à tensão de linha, a qual é  $V_{AB} = 173 \ V$ ). Calcule as tensões e as correntes do circuito e anote os valores na Tabela 9.1.

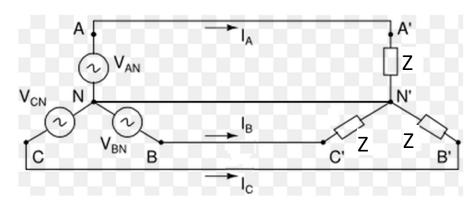


Figura 9.3 Circuito a ser simulado, com fontes com 60 Hz de frequência.

A impedância (Z) é composta por um conjunto de duas resistências, sendo uma de 300  $\Omega$  e outra de 600  $\Omega$ , ligadas em paralelo. Estas resistências estão ligadas em série com dois indutores, sendo um de 0,8 H (equivalente a uma reatância indutiva de 300  $\Omega$ ) e outro de 1,6 H (correspondente a uma reatância indutiva de 600  $\Omega$ ) também ligados em paralelo, como mostrado na ligação trifásica da Figura 9.4.

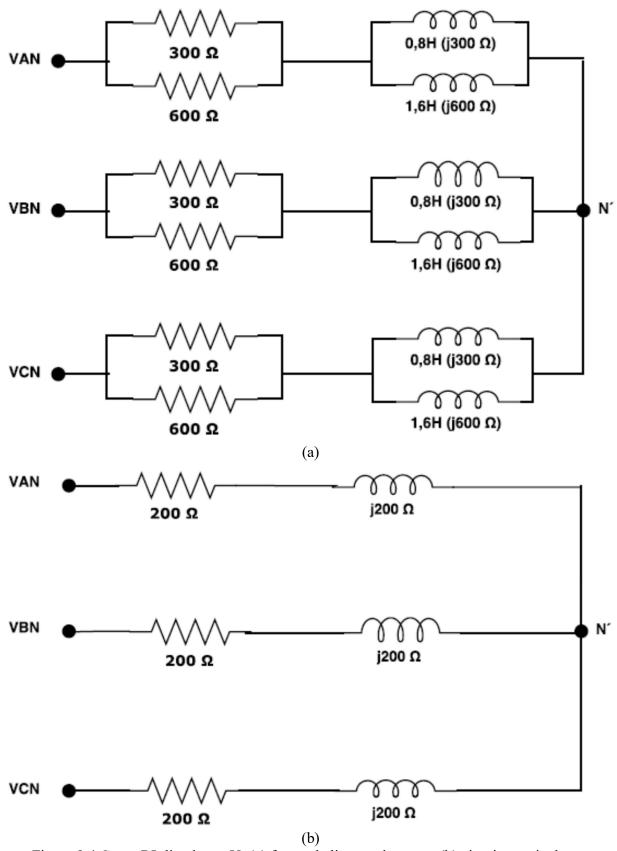


Figura 9.4 Carga RL ligada em Y: (a) forma de ligação da carga; (b) circuito equivalente.

Tabela 9.1 Valores de tensão e corrente calculados para o circuito.

Tensão de Linha (V)		Tensão de Fase (V)		Corrente (A)	
V <sub>AB</sub>	V	/ <sub>AN</sub>		I <sub>A</sub>	
V <sub>BC</sub>	V	BN		I <sub>B</sub>	
V <sub>CA</sub>	V	CN		Ic	
	1		•	I <sub>N</sub>	

Calcule agora as potências ativa, reativa e aparente do circuito, e anote os valores na Tabela 9.2.

Tabela 9.2 Valores de potência calculados para o circuito.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (Var)		Potência Aparente (VA)		
P <sub>A</sub>		Q <sub>A</sub>		S <sub>A</sub>		
P <sub>B</sub>		$Q_B$		S <sub>B</sub>		
P <sub>C</sub>		Q <sub>C</sub>		S <sub>C</sub>		

Simule agora o circuito mostrado na Figura 9.3, utilizando a Figura 9.4. Meça então, a tensão de linha, a tensão de fase, a corrente de linha e a corrente de neutro do circuito, e anote os valores obtidos na Tabela 9.3.

Tabela 9.3 Valores de tensão e corrente obtidos na simulação.

Tensão de Linha (V)		Tensão de Fase (V)		Corrente (A)	
$V_{AB}$		$V_{AN}$		I <sub>A</sub>	
V <sub>BC</sub>		$V_{BN}$		Ι <sub>Β</sub>	
$V_{CA}$		$V_{CN}$		I <sub>C</sub>	
				I <sub>N</sub>	

Meça também as potências ativa, reativa e aparente, e anote os valores na Tabela 9.4.

Tabela 9.4 Valores de potência obtidos na simulação.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (VAr)		Potência Aparente (VA)	
P <sub>A</sub>		$Q_A$		S <sub>A</sub>	
P <sub>B</sub>		$Q_B$		S <sub>B</sub>	
Pc		Qc		Sc	

Ainda para o circuito da Figura 9.3, altere a carga da fase B para uma resistência de 300  $\Omega$  ligada em série a um indutor de 0,8 H (equivalente a uma reatância indutiva de 30  $0\Omega$ ), e altere também a carga da fase C para uma resistência de 600  $\Omega$  ligada em série a um indutor de 1,6 H (equivalente a uma reatância indutiva de 600  $\Omega$ ). Meça então a tensão de fase, a corrente de linha e a corrente de neutro do circuito, e anote os valores obtidos na Tabela 9.5.

Tabela 9.5 Valores de tensão e corrente obtidos para o circuito – carga desequilibrada.

Tensão de Fase (V)		C	orrente (A)
V <sub>AN</sub>		I <sub>A</sub>	
$V_{BN}$		Ι <sub>Β</sub>	
V <sub>CN</sub>		I <sub>C</sub>	
		I <sub>N</sub>	

Meça também as potências ativa, reativa e aparente, e anote os valores obtidos na Tabela 9.6.

Tabela 9.6 Valores de potência obtidos para o circuito- carga desequilibrada.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (VAr)		Potência Aparente (VA)	
P <sub>A</sub>		$Q_A$		S <sub>A</sub>	
P <sub>B</sub>		$Q_B$		S <sub>B</sub>	
P <sub>C</sub>		$Q_{C}$		Sc	

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

- 1) Demonstre para um circuito Y-Y a relação entre tensão de fase e tensão de linha.
- 2) Obtenha a relação entre as tensões de linha e de fase para o circuito, com base nos dados da Tabela 9.3. Compare com o resultado do item anterior.
- 3) Qual a relação entre as correntes de linha e fase no circuito? Justifique a sua resposta.
- 4) Para o circuito, com todas as cargas iguais, qual foi e qual deveria ser a corrente teórica no condutor neutro? Justifique a sua resposta.
- 5) O que aconteceu com o circuito quando foram alteradas as cargas em relação às tensões e às correntes obtidas na Tabela 9.5? Justifique a sua resposta. Utilize os dados aferidos de tensão e corrente para ratificar sua justificativa.

# Medição de Tensão, Corrente e Potência em Circuitos Trifásicos – Conexão Δ

## **OBJETIVO**

• Realizar medidas de tensão, corrente e potência em circuitos trifásicos

### **PROCEDIMENTO**

Os circuitos das Figura 10.1 e 10.2 estão conectados a uma fonte trifásica equilibrada em  $\Delta$ , cuja tensão de fase é  $V_{AN} = 100 \ V$  (correspondente à tensão de linha, a qual é  $V_{AB} = 173 \ V$ ). Calcule as tensões e as correntes do circuito e anote os valores na Tabela 10.1.

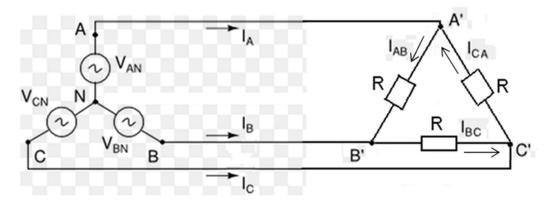


Figura 10.1 Circuito a ser simulado, com fontes com 60 Hz de frequência.

A impedância Z é composta por um conjunto composta por uma resistência de  $600~\Omega$  ligada em série com um indutor de 1,6 H (correspondente a uma reatância indutiva de  $600~\Omega$ ), como mostrado pela ligação trifásica da Figura 10.2.

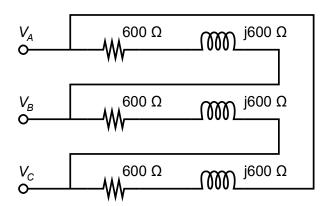


Figura 10.2 Carga RL ligada em  $\Delta$ .

Tabela 10.1 Valores de tensão e corrente calculados para o circuito.

7	Tensão (V)		ente de Linha (A)	Corrente de Fase (A)	
$V_{AB}$		I <sub>A</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{BC}$		I <sub>B</sub>		I <sub>BC</sub>	
$V_{CA}$		I <sub>C</sub>		I <sub>CA</sub>	

Calcule agora as potências ativa, reativa e aparente do circuito, e anote os valores na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 Valores de potência calculados para o circuito.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (Var)		Potência Aparente (VA)		
P <sub>A</sub>		Q <sub>A</sub>		S <sub>A</sub>		
P <sub>B</sub>		Q <sub>B</sub>		S <sub>B</sub>		
Pc		Qc		S <sub>c</sub>		

Simule agora o circuito mostrado na Figura 10.1, utilizando a Figura 10.2. Meça então, a tensão de linha, a tensão de fase, a corrente de linha e a corrente de neutro do circuito, e anote os valores obtidos na Tabela 10.3.

Tabela 10.3 Valores de tensão e corrente obtidos na simulação.

7	Tensão (V)		ente de Linha (A)	Corrente de Fase (A)	
$V_{AB}$		I <sub>A</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{BC}$		I <sub>B</sub>		I <sub>BC</sub>	
$V_{CA}$		Ic		I <sub>CA</sub>	

Meça também as potências ativa, reativa e aparente, e anote os valores na Tabela 9.4.

Tabela 10.4 Valores de potência obtidos na simulação.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (Var)		Potência Aparente (VA)	
P <sub>A</sub>		$Q_A$		S <sub>A</sub>	
P <sub>B</sub>		Q <sub>B</sub>		S <sub>B</sub>	
Pc		Qc		S <sub>c</sub>	

Ainda para o circuito da Figura 10.1, altere a carga da fase B para uma resistência de 1200  $\Omega$  ligada em série a um indutor de 3,2 H (equivalente a uma reatância indutiva de 1200  $\Omega$ ) e altere também a carga da fase C para uma associação de resistências em paralelo, sendo uma de 600  $\Omega$  e outra de 1200  $\Omega$ , ligadas em série com uma associação de indutores em paralelo, sendo um de 1,6 H e outro de 3,2 H (equivalentes à reatâncias indutivas de 600  $\Omega$  e 1200  $\Omega$ , respectivamente), e meça a tensão de linha, a corrente de linha e a corrente de fase do circuito, e anote os valores medidos na Tabela 10.5.

Tabela 10.5 Valores de tensão e corrente obtidos para o circuito – carga desequilibrada.

Tensão (V)		Corre	ente de Linha (A)	Corrente de Fase (A)	
$V_{AB}$		I <sub>A</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{\text{BC}}$		I <sub>B</sub>		I <sub>BC</sub>	
$V_{CA}$		Ic		I <sub>CA</sub>	

Meça também as potências ativa, reativa e aparente e anote os valores medidos na Tabela 10.6.

Tabela 9.6 Valores de potência obtidos para o circuito- carga desequilibrada.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (VAr)		Potência Aparente (VA)	
P <sub>A</sub>		$Q_A$		S <sub>A</sub>	
P <sub>B</sub>		$Q_B$		S <sub>B</sub>	
Pc		Q <sub>C</sub>		Sc	

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

- 1) Demonstre para um circuito Y-Δ a relação entre corrente de fase e corrente de linha
- 2) Obtenha a relação entre as correntes de linha e de fase no circuito, com base nos dados da Tabela 10.3. Compare com o resultado do item anterior
- 3) Qual a relação entre as correntes de linha e fase no circuito experimental? Justifique a sua resposta
- 4) O que aconteceu com o circuito quando foram alteradas as cargas em relação às tensões e às correntes obtidas na Tabela 10.5? (Justifique a sua resposta. Utilize os dados aferidos de tensão e corrente para ratificar sua justificativa)
- 5) Qual a relação entre as correntes de linha obtidas para o circuito da Experiência 09 em comparação com os valores obtidos para a Experiência 10? Compare os valores medidos nas situações em que a carga está equilibrada (Justifique a sua resposta)

# Referências

- 1. Quite Universal Circuito Simulator QUCS. Disponível em: <a href="http://qucs.sourceforge.net/download.html">http://qucs.sourceforge.net/download.html</a>. 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.
- 3. Freitas, T. R. S. Roteiros de Experiências de Circuitos Elétricos I. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.