# 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: <u>http://qucs.sourceforge.net/download.html</u>).

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: <u>http://qucs.sourceforge.net/download.html</u>, cuja tela é mostrada abaixo.



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

Apps 📴 Nova pasta	G Instrument Enginee	les/qucs/										48 ¥	
SOURCE <b>FO</b>	RGE							1	lelp	Create	Join		Login
pen Source Software	Business Software	Resource	es 🛛						fin	Search	or software	or solutio	ons 🕻
	Muitas p por emp	essoas p resas co	oesquisam mo a sua	Goog	le Ads	Saibs Mais	©×		A the				
e / Browse / Science & Engin	eering / Electronic Design Aut	mation (EDA) / Quil	te Universal Circuit Simo	ulator / Files		Advertiser	ment - Report		A	vertisement - Report			
	ite Uni	versa	al Circi	uit Sim	ulat	Advertises	ment - Report		~	Redis El	nterpris	e Clo	bud
e / Browse / Science & Engine Que A circuit Status:	eering / Electronic Design Auv Lite Uni t simulator with graph Beta Brought to yo	vertion (EDA)/Que Versa ical user interfa i by: crobarcro	te Universal Circuit Sine al Circu ace (GUI) , ela, fransschreud	uito / Files uit Sim ler, guitorri, and 3 o	ulat	Atvertise	ment - Report		20 0	Redis El Scale Witho	nterpris ut Downtin	e Clo ne vice. hos	oud
e / Browse / Science & Engen Qu A circui Status: ummary Files	t simulator with graph Beta Brought to yo Reviews Suppo	t Wiki	te Universal Circuit Sim al Circui ace (GUI) , ela, fransschreud Mailing Lists	lator / Files uit Sim ler, guitorri, and 3 o Tickets • N	ulate	Advertise <b>O</b>	Old_SVN	Git		Redis El Scale Witho A fully manag in your VPC. redislabs.com	nterpris ut Downtin ed cloud se	e Clo ne vice, hos	oud
e / Bravae / Science & Engin Que A circuit status: ummary Files ges db.19 Max 2 m	t simulator with graph Beta Brought to yo Reviews Suppo	mation (EDA) / Que VETS3 ical user interfi a by: crobarcro t Wiki	te Universal Circuit Sim al Circuit ace (GUI) , ella, fransschreud Mailling Lists Get Updatee	inter / Files <b>Litt Sim</b> ler, guitorri, and 3 o Tickets • N	ulate	Advertised OT	Old_SVN	Git		Redis El Scale Witho A fully manag in your VPC. redislabs.com	nterpris ut Downtin ed cloud ser OPEN	e Clo ne vice, hos	sted (
<ul> <li>/ Itravae / Science &amp; Engre</li> <li>Que circuit</li> <li>Status:</li> <li>Immary</li> <li>Files</li> <li>Que circuit of the science of th</li></ul>	t simulator with graph Reviews Support	wation (EDA) / Qu VETS3 ical user interfr i by: crobarcro t Wiki	et Universit Circuit Sin al Circuit ace (GUI) , eta, fransschreuc Mailing Lists Get Updatee	inter / Files uit Sim ler, guitorri, and 3 o Tickets • N	ulate thers ws Disc	Advertise OC ussion	Old_SVN	Git		Redis Eu Scale Witho A fully managi in your VPC. redislabs.com	nterpris ut Downtin ed cloud ser OPEN	e Clo ne vice, hos Adverts	Sted
ef Brower (Science & Experi Quint Control of Control Status: unmary Files Ref ques me / ques	t simulator with graph Beta Brought to yo Reviews Suppo Need Latest Version ment Latest Version Chicar aqui	t Wiki	et Universit Circuit Sin al Circuit ace (GUI) e elle, fransschreud Mailing Lists Get Updater Modifie	attor / Files Let, guittor Fi, and 3 o Tickets • N	ulat thers ws Disc	OC ussion Download	Old_SVN	Git		ertisenet - Seport Redis Er Scale Witho A fully manag in your VPC. redislabs.com Recommend	nterpris ut Downtin ed cloud ser OPEN ed Project	e Clo ne vice, hos Advertis	Suc

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".

Main Dock	4 - 1 6 # ×	Sem titulo	8	Main Dock	0 👌 🤞 🗋 🛍 # x	Sem titulo	9.9.1	
Novo Aber Apa Gua_pri Clique aqui	igar		⇔	g Controldo de Guía Controls de dad Controls de dad Controls de Cad Verilog A Verilog A VHDL Octave Seguena elétrico Outros Seguena elétrico Seguena elétrico Segu	Nota Nota Clique 2 Clique 2 Clique 2 Clique 2x p	x para ver arc	quivo de dados (nome.c uivo com resultados (n	at) ome.dpl
Pronto				Pronto				

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.).

E C C C		ACui	2.00	• 1	6.6	6.56	9	8	10	B	212	Ð	2	-	/	NITE		÷	0-	¢7	5	Ø.							
DOCK	5 N	rou	a.su	160	-		-				-				-		147		- 14.1		-		-	-	 	-	-	 	
componentes agrupa	ados •																												1
-0-	-																												
-	Resistor UIS																												
Resistor Re	sistores	11.2																											
				_	8.0																								
HE	in.		् न		÷ -																								
Canadas			R	-50 0	hm																								
Capacitor	INCLU		1940		Saul.																								
Clique a	iqui																												
	0-																												
Torra Dort	a da Cu																												
iena Pou	a uu ou																												
x	3																												
Transformador com	motric T																												
Transionnador Sym	neuro i																												
																													17
	Smi																												
de Block d	c Ecod																												
UC DIOCK U	creed																												
104	-07-																												
Rine T At	v volume																												
Buscar Componente	s Limpar																												
charten company																													

### 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".

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	102 *** 898	요 🔽 🖄 🗊 🎝 🕸 좀 🖊 📰 🗄 수 🗞 🗖 🛱	
n Dock	σ× ∲Guia.sch□		
componentes agrupados componentes agrupados fontes	Clique aqui	=Fonte: de tensão e corrente	
ponteiras linhas de transmissão componentes não-lineares		= Voltimetro e Amperimetro = Componentes eletrônicos gerais (Transistor,	
dispositivos verilog-a componentes digitais		Diodo, FET, MOSFET, AMP-OF, DIAC, TRIAC, etc) = Blocos digitais gerais (Portas Lógicas, Flip-flops, Multipleasdores e Demultiplexadores, Decodificadores)	
simulações		Simuladores (Circuitos de CC e CA, Transitórios, Circuitos Digitais	
↓ 0- Terra Porta do Su		= Forma de apresentação dos dados simulados (Tabela de dados, Variação no tempo, Carta de Smith, Tabela verdade)	
x š			
Transformador symmetric L			
dc Block dc Feed			
∰ ⊕			
Buscar Componentes	r .		

### 2.5.3 Encontrar componentes com características específicas

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

in Dock	<i>e</i> ×	Ŷ	G	Jia	i.s	ch																																		
Gerenciar Bibliofecas           Bibliofecas           System Libraries           Bindges           Diologia           TN14148           TN4148W           TN4001           TN4002           TN5402           TN5402           TN5406           TN5406           GA01           GA05           GA01           GA02		A REPORT OF	- THE R ALL STATE THE R POLY NOT THE A PLAN WITH A DATA			- RR	1=50	e)hr	1=7=1		Ed Mc En Cc Cc Ap De Git	lita pilita pilita pilita pilita pilita pilita pilita pilita pilita pilita	ur F Grixa ar r gar ter ter	Pro Do arr	opr ma /At enti	iec Gr tiva zot	dan ner ar	den le	s	e Ti	ext	•	Ct Ct Ct Ct Ct Ct	1+k1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1+L1						 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· 수국 등 등을 통을 수 없을 수 있는 것이라. 승규 등 등 것이 많은 것이 못 입을 못 했다.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	것 같은 것 같은 것은 것은 것 같은 것은 것은 것은 것 같은 것은 것을 같은 것을 같다.	1 100 10 100 100 100 100 100 100 100 10			가 가져 가 가지 않는 것 것같 것 것을 못할 것 것 않다. 것 것같 것 같 것 같 것 같 같 같	10 101 10 100 101 10 101 10 101 101 10 10	计读出字 遗测遗子学 遗子官子官 遗传遗医	

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"  $\rightarrow$  "fontes"  $\rightarrow$  "Fonte de Tensão cc".

Dock	8 0 0 0 0 0 8 :	× 4	Exp	01.sr	ch 🖸		E	p1.	dpl		4	₩ ∳S	em	titu	0	iL.	9	~	 1	R.A.	r Es	9		et.	-su	~								
ontes	•													5. 9							<u>x</u>										2	0.9		5
- 11	h ^	i le :																																
Ť-	Ŷ																																	
onte de Te	Fonte de C																																	
Te.	10																																	
Q.	Ŷ																																	
onte de Te	Fonte de C																																	
ġ.	Ġ.								-	_																								
Tente de D	Casta da Ta				Ŷ	1/1		. 4	۲L		٥.																							
onte de P	Fonte de re				-#	Ú.	1 V		R1																									
					T				R=	50 ¢	hn	۰. ۱																						
da	7.6																																	
Ŷ																																		
onte the C	Fonte de C																																	
75																																		
16	76																																	
onte de C	Fonte de Te																																	
	1.																																	
76	ę.																																	
onte de Te	Pulso de Te																																	
÷	ö																																	
ulso de C	Rectangle V Y																																	
0.000.065.07	Reconnerv																																	

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.

lair	) 🗟 🚰 🗟 🛃 😂 🍪   🍕 4			
- all	II DOCK	• Express Express • Seminor	 	
2	fontes •			
5	÷ 6 ^			
	Fasta da Ta			
	Ponte de le Ponte de C	a second s		
		the Prophedades do Componente     f X     the exception of the except		
	8 B	fonte ideal de tensão co		
	Eoste de Te Eoste de C	Nome V1		
	Tome de le Tome de o			
		Propriedades		
	Fonte de P., Fonte de Te.,	V1 Nome Valor mostrar sscr tensão em Volts		
	1	Editor Deserver		
	¢ 30	Cunal Process		
	Fonte the C Fonte de C	Imostrar no esquematico		
		Adicionar Remover		
		Mover para cima Mover para baixo		
	76 76			
	Fonte de C Fonte de Te			
		OK Apicar Cancelar		
	70 6			
	7.87 45			
	Fonte de Te Pulso de Te			
	di 6			
	T T			
	Puso de C. Reclande V *			
	Buscar Componentes Limpar			

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.

) 🖹 😭 🗏 🗐 😡 🍐 💰 -	ù 🛍 🗟	• •	R R R R	👌 🖹 🖻 🕯	5 🕹	· /	NHE COL	ļ į o	0	₽ ₩		
ain Dock d	9× ∲Ex	p1.sch 🖾	Exp1.dpl 🖾	🗇 Sem titulo 🖾								
Simerical Clique aqui componentes agrupados fontes ponteiras linhas de transmissão componentes não-lineares dispositivos verilog-a												
componentes digitais componentes em arquivo sicondo Clique aqui diagramas												
Equilibrio ha Parametro		+ \ 	/1 J=1 V	R1 R=50 Ohm								
Bigi Opt simulação d optimization			÷.									

As opções de simulação são apresentadas a seguir.

Arc	uvo Editar Posicionamento	Inserir	Projeto Ferrar	mentas Simulação	Visualização	Ajuda 🖞 🚽	否	1	] <u>‡</u>	0- 6	) 🗔 🕯	₩				
lai	n Dock	ðх	🕸 Exp1.sch 🖸	Exp1.dpl 🖾	🗇 Sem titulo 🖾											
S	simulações	•														
5	[00] [Tes]															
8																
	simulação cc Simulação															
3																
	act int															
5																
1	simulação ca simulação d															
	(un) (new)															
	(UD) (SWE)															
	Equilibrio ha Parametro				R1											
			T		R=50 Unm											
	INell Post			<u>1</u>												
				🔁												
	simulação d optimization															
ŝ																
	Buscar Componentes Limp	ar														

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).

ivo Editar Posicionament	o Inseni	Projeto Ferrar	nentas Simulação	Visualização	Ajuda	• m 1 •	- /M - M1		
Dock	e ×	Exp1.sch	Exp1.dpl	I teste sch ☑	teste.dpl	a 100 4 V	- 83 ( <b>8</b> 1 <b>△</b>		
diagramas									 
•									
Cartesiano Polar		2 R K R K R H							
		2. 2. 3. 2. 3. 3. 3.							
1112 (Q9)		20 20 20							
Tabela Carta de S									
1 (A)									
Smith Admit Dolar Smith									
official Admit. 1 oki-officia.									
A L									
Smith Balar 2D Cartoni				lVd					
Smith-Polar 3D-Cattest		· · · · · · ·							
			/1 r r r r	R1					
å. 🚥		1 · · · · · ·	J=1V····	R=50 Ohm				<b>N</b>	
ψ. ແລະ		L				SI	mulação co		
Curva de Lo Diagram de.			. <del>.</del>				21	-	
0									
61 6									
Tabela Verd									
Buscar Componentes	mpar								

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"  $\rightarrow$  "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.

gramas · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		Editar Propriedade     Dado     Entrada do G     Notação Nu	les do Diagra Gráfico umérica	IMB		7	×								
artesiano Polar Tabela Carta de S		Dado Entrada do G Notação Nu	Gráfico												
artesiano Polar		Entrada do G	Gráfico												
Tabela Carta de S		Entrada do G	Gráfico				1								
Tabela Carta de S		Notação Nu	umérica:				1 .								
Tabela Carta de S		Notação Nu	umérica:												
Tabela Carta de S		Notação Nu	umérica:												
an an				magnitude/ångulo	(graus) * Preci	são: 3									
an an		Conjusto do a	dadaa		Crético										
		Conjunio de l	uauus		Gialico										
		teste													
inn Admit Polar-Smith		Nome	Tipo	Tamanho											
	F 2 2 2 3	V1.	indep	1											
(#) L		VdV	inden	1											
ith-Polar 3D-Cartesi															
\$ (2770)															
Φ 1888	1 2 2 2 3														
rva de Ló Diagram de					No	vo Gráfico									
					Apa	gar Gráfico									
011	1 2 2 2 3														
pilo Verd		Ok	ĸ	Ani	cor	Cancelar									
iola volu				1.464	-cui	Guilcour									
		U=1 V · · ·	1.1	R=50 Ohm		and provide a second									
			<u> </u>			simulaçã	o cc	1.0.0							
		이 지지 술 지				DC1		1.1							
	Ith Admit Polar-Smith The Polar 3D-CartesI Add Lo Diagram de ela Verd car Componentes Limpar	th Admst Polai-Smith	ah Admt Polar Smith ⊕ Lob. Diagram de ⊕ Lob. Diagram de ⊕ La Verd □ Cartess ↓ United to the second secon	mAdmt Polar.Smith	thAdmt     Polar Smith       Im.Polar.     Im.Polar.Smith       Im.Polar.     Im.Pola	th Admt Polar Smith	th Admit Polar Smith	mhAnhL PolarSmith	mhAntl Polar.Smith	mhdmt Polar.Smith	mh/dmt Polar."mith	mhdmh. Polar≦mih	mAdmt Polar.Smith	mAdmt Poler.Smith	mhdml     Polar Smith       Imhdml     Norm       Tip Otar Smith     Norm       Imhdml     Norm

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) ficou 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.

	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								

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

# **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.

# Experiência Nº 02 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.

	Valores Calculados	Valores Medidos	Erro (%)
V1			
V2			
V3			
i1			
i2			
із			

### Tabela 1 Valores calculados e medidos do circuito simulado.

### **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.

# Experiência № 03 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.

Vs	is	<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.

Vs	is	<b>V</b> 1	<b>V</b> 2	<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?

# Experiência Nº 04 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	is	i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	İ3
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.

Vs	is	İ1	i2	i3
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?

# Experiência Nº 05 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<sub>1</sub> é a tensão sobre o resistor de 4 Ω, quando o circuito é alimentado apenas pela fonte de tensão (fonte de corrente equivale a um circuito aberto)
- v<sub>2</sub> é a tensão sobre o resistor de 4 Ω, 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 ape	enas com a fonte V1 ativa.
-----------------------------------	----------------------------

<b>V</b> 1	<b>V</b> 2	<b>V</b> 3	İ1	i2	İ3

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

Tabela 5.2 Valores calculados apenas com a fonte V2 ativa.

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	<b>V</b> 2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İ3

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	V2	V3	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.

<b>V</b> 1	V2	V3	İ1	İ2	İ3

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

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

<b>V</b> 1	V2	<b>V</b> 3	İ1	İ2	İ3

Tabela 5.7 Adição dos valores das Tabelas 5.5 e 5.6.

# **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?

# Experiência Nº 06

# 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 6.1Circuito 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
Vab		
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		
Vab		
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 simul	lad	lo
---	-----	----

Circuito Original		
Vab		
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?

## Experiência Nº 07

# 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>	$R_2$
Vef			
Ief			

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.

	V <sub>Fonte</sub>	V <sub>R1</sub>	V <sub>R2</sub>
$V_m$			
Т			

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

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>
Vef			
Ief			

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 <sub>2</sub>
Vef			
I <sub>ef</sub>			

## 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?

# Experiência Nº 08

# 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.

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

Tabela 8.1 Dados de impedância e reatância.

#### 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
V			
Ι			

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

Impedancia	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			
Ι			

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.

	Fonte	Resistor	Capacitor
V			
Ι			

### **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
- 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

# Experiência Nº 09

# 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.

Tens	ão de Linha (V)	/) Tensão de Fase (V)		C	Corrente (A)
V <sub>AB</sub>		V <sub>AN</sub>		I <sub>A</sub>	
V <sub>BC</sub>		V <sub>BN</sub>		I <sub>B</sub>	
V <sub>CA</sub>		V <sub>CN</sub>		I <sub>C</sub>	
				I <sub>N</sub>	

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

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

Tabela 9	.2 Valc	ores de	e potêno	ia cal	lculad	dos p	para o circuito.	

Potê	ncia Ativa (W)	Potência Reativa (Var)		Potên	cia 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		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.

Tens	ensão de Linha (V) Tensão de Fase (V		são de Fase (V)	C	Corrente (A)
V <sub>AB</sub>		V <sub>AN</sub>		I <sub>A</sub>	
$V_{\text{BC}}$		V <sub>BN</sub>		Ι <sub>Β</sub>	
$V_{CA}$		V <sub>CN</sub>		Ι <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.

Potê	Potência Ativa (W) Potência Reativa (VAr) Potência A		Potência Reativa (VAr)		cia Aparente (VA)
P <sub>A</sub>		Q <sub>A</sub>		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.

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

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

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 <sub>A</sub>		S <sub>A</sub>	
$P_B$		Q <sub>B</sub>		S <sub>B</sub>	
Pc		Qc		Sc	

# **RESULTADOS E CONCLUSÕES**

- 1) Demonstre para um circuito Y-Y a relação entre tensão de fase e tensão de linha.
- 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.

# Experiência Nº 10

# 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  $\Delta$ .

Tensão (V)		Corrente de Linha (A)		Corrente de Fase (A)	
$V_{AB}$		Ι <sub>Α</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{\text{BC}}$		Ι <sub>Β</sub>		I <sub>BC</sub>	
$V_{\text{CA}}$		Ι <sub>c</sub>		$I_{CA}$	

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

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

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

Tabela 10.2 Valores de potência calculados para o circuito.

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.

Tensão (V)		Corr	ente de Linha (A)	Corrente de Fase (A)	
$V_{\text{AB}}$		I <sub>A</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{\text{BC}}$		Ι <sub>Β</sub>		I <sub>BC</sub>	
V <sub>CA</sub>		I <sub>c</sub>		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 <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>	

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.

Tensão (V)		Corrente de Linha (A)		Corrente de Fase (A)	
$V_{AB}$		I <sub>A</sub>		I <sub>AB</sub>	
$V_{\text{BC}}$		Ι <sub>Β</sub>		I <sub>BC</sub>	
$V_{\text{CA}}$		I <sub>C</sub>		$I_{CA}$	

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

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 <sub>A</sub>		S <sub>A</sub>	
P <sub>B</sub>		Q <sub>B</sub>		S <sub>B</sub>	
Pc		Qc		Sc	

# **RESULTADOS E CONCLUSÕES**

- 1) Demonstre para um circuito Y- $\Delta$  a relação entre corrente de fase e corrente de linha
- 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
- 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: 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.
- 3. Freitas, T. R. S. Roteiros de Experiências de Circuitos Elétricos I. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.