



**Universidade Federal de Uberlândia**  
Faculdade de Engenharia Elétrica  
FEELT

## **CIRCUITOS TRIFÁSICOS DESEQUILIBRADOS**

Relatório da Disciplina de Experimental de Circuitos Elétricos II  
por

Lesly Viviane Montúfar Berrios  
11811ETE001

Prof. Wellington Maycon Santos Bernardes  
Uberlândia, Dezembro / 2019

# Sumário

<b>1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introdução teórica</b>	<b>2</b>
2.1	Método dos 3 Wattímetros . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Preparação</b>	<b>3</b>
3.1	Materiais e ferramentas . . . . .	3
3.2	Montagem . . . . .	4
3.2.1	Carga em estrela com neutro conectado . . . . .	4
3.2.2	Carga em estrela com neutro isolado . . . . .	5
3.2.3	Carga em triângulo desequilibrado . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Dados Experimentais</b>	<b>6</b>
4.1	Carga em estrela com neutro conectado . . . . .	6
4.2	Carga em estrela com neutro isolado . . . . .	6
4.3	Carga em triângulo desequilibrado . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Análise sobre segurança</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Cálculos, análise dos resultados e questões</b>	<b>8</b>
6.1	Análise teórica do circuito . . . . .	8
6.1.1	Carga em estrela com neutro conectado . . . . .	8
6.1.2	Carga em estrela com neutro isolado . . . . .	9
6.1.3	Carga em triângulo desequilibrado . . . . .	11
6.2	Análise comparativa: experimento <i>vs.</i> teoria . . . . .	12
6.2.1	Sobre a presença do neutro no circuito desequilibrado . . . . .	12
6.2.2	Sobre a ausência do neutro no circuito desequilibrado . . . . .	12
6.2.3	Ilustrando as medidas de tensão e corrente na forma de fasores . . . . .	12
6.2.4	Sobre a configuração no medidor <i>Kron</i> . . . . .	14
<b>7</b>	<b>Simulação computacional</b>	<b>15</b>
7.1	Carga em estrela com neutro conectado . . . . .	15
7.2	Carga em estrela com neutro isolado . . . . .	17
7.3	Carga em triângulo desequilibrado . . . . .	19
<b>8</b>	<b>Conclusões</b>	<b>20</b>

# 1 Objetivos

Pretende-se investigar experimentalmente acerca do efeito da presença do fio neutro em circuitos trifásicos desequilibrados, ligados em estrela.

## 2 Introdução teórica

Um sistema trifásico equilibrado é o ideal para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em corrente alternada. O uso de tensões e correntes trifásicas igualmente defasadas permite uma transferência de potência de forma igualitária e evita sobrecargas na rede. Entretanto, o desequilíbrio em circuitos polifásicos é comum e podem ocorrer devido a presença de cargas trifásicas desequilibradas, distribuição de cargas monofásicas sem planejamento e pela variação nos ciclos de demanda de cada fase, como observa-se na Figura 1.

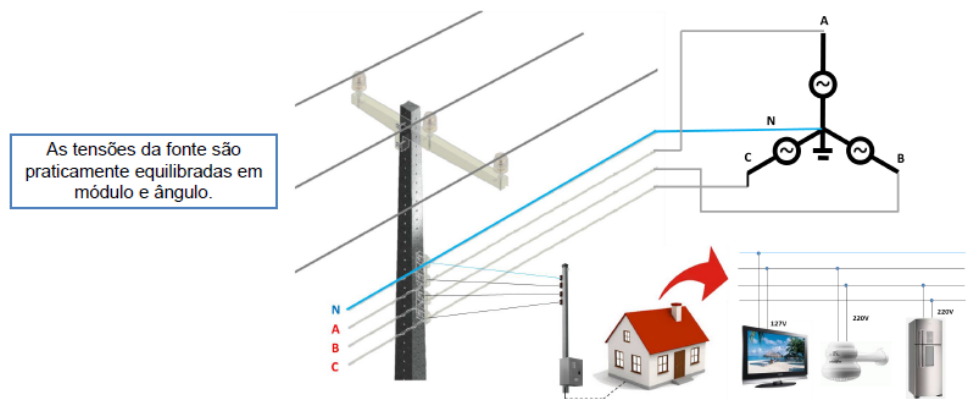


Figura 1: Distribuição desuniforme de cargas entre as fases [1].

Nesse contexto, é de interesse estudar circuitos elétricos desequilibrados, com o intuito de verificar os efeitos do deslocamento do neutro na rede elétrica.

### 2.1 Método dos 3 Wattímetros

O método dos 3 wattímetros, no qual é conectado um wattímetro por fase, é pouco comum, a menos que se deseje as potências de cada fase. É aplicável em circuitos onde o fator de potência varia continuamente como, por exemplo, no caso da obtenção das características de um motor síncrono, que graças a seu fator de potência elevado e variável são usados na correção de fator de potência e precisam de uma fonte de corrente contínua ou retificada para sua excitação, além de exigirem um complexo equipamento de controle.

Para circuitos elétricos a 4 Fios (Y com neutro) necessariamente, deve-se utilizar esse método, como no circuito da primeira montagem desse experimento (Figura 3). A medição de potência de cada wattímetro por fase referente a um ponto **P**, como mostrado na Figura 2. Ainda é possível provar a indepência da medição de cada wattímetro com o ponto **P**, que pode ligar-se a qualquer uma das fases caso não haja neutro (sistema a 3 fios). Assim, o wattímetro correspondente à fase ligada ao ponto **P** será desnecessário para a medição da potência trifásica pois medirá com  $V_L = 0V$ , recaindo se, portanto, no método dos dois wattímetros

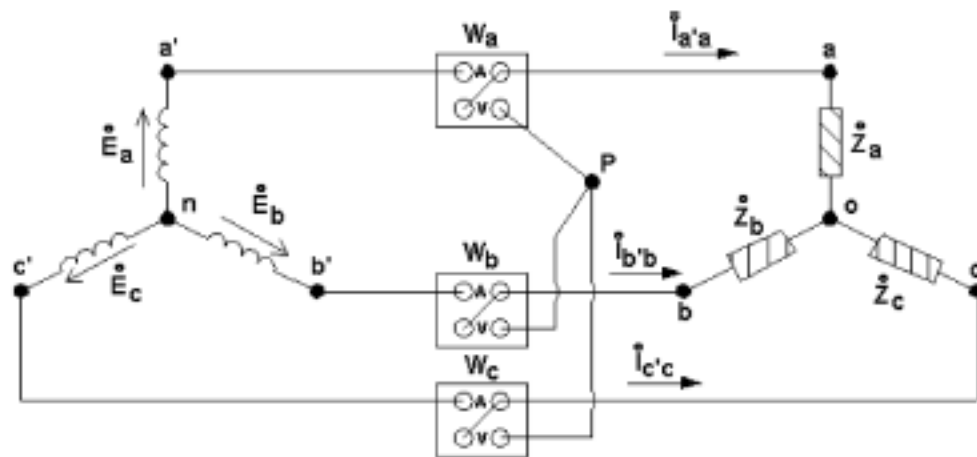


Figura 2: Ligação de wattímetros no sistema trifásico [1].

## 3 Preparação

### 3.1 Materiais e ferramentas

- 1 - **Fonte:** Alimentará todo o circuito. Possui frequência de  $60\text{ Hz}$ .
- 2 - **Regulador de tensão (Varivolt):** Também chamado de autotransformador, permitirá obter o valor desejado de corrente a partir da regulação correta da tensão fornecida pela fonte.
- 3 - **Conectores:** Para as conexões no circuito foi utilizado majoritariamente cabos banana-banana.
- 4 - **Medidor eletrônico KRON Mult K:** Possibilita encontrar a medição da potência real (P) - vatímetro, reativa (Q) e aparente (S) do circuito. Ele também possui função de cofasímetro, instrumento elétrico que mede o fator de potência ( $\text{fp}$ ,  $\cos\theta$ ) ou o ângulo da impedância  $\theta$  do circuito, para um circuito com a impedância  $Z = Z\angle\theta$ .

- 5 - **Amperímetro analógico AC:** Instrumento utilizado para acompanhar visualmente o aumento da corrente.
- 6 - **Reatores de 200 mH:** Foram utilizados 3, para compor a carga do circuito trifásico. Sendo  $L = 200mH$  e  $R_L = 3,8\Omega$ .
- 7 - **Resistores de  $50\Omega$ :** Foram utilizados 3, para compor a carga do circuito trifásico.
- 8 - **Capacitores de  $45,9\mu F$ :** Foram utilizados 3, para compor a carga do circuito trifásico. Sendo  $C = 45,9\mu F$ . Sendo sua resistência quase nula, portanto desprezível nessa aplicação (Esquenta pouco, logo dissipa menos energia).

## 3.2 Montagem

### 3.2.1 Carga em estrela com neutro conectado

A montagem utilizada observa-se na Figura 3, a qual ilustra o circuito na sequência de fases ABC. Pretende-se com este circuito investigar-se acerca do efeito do neutro em circuitos trifásicos desequilibrados. Usou-se TL=0000, TC=TP=1 como configurações no medidor *Kron*. Aplica-se uma tensão linha  $V_L = 100V$  com o auxílio do *Varivolt*, em frequência de 60Hz. Ademais, a carga desequilibrada possui os seguintes parâmetro:  $R = 50\Omega$ ,  $R_L = 3,8\Omega$ ,  $L = 166mH$  e  $C = 45,9\mu F$ .

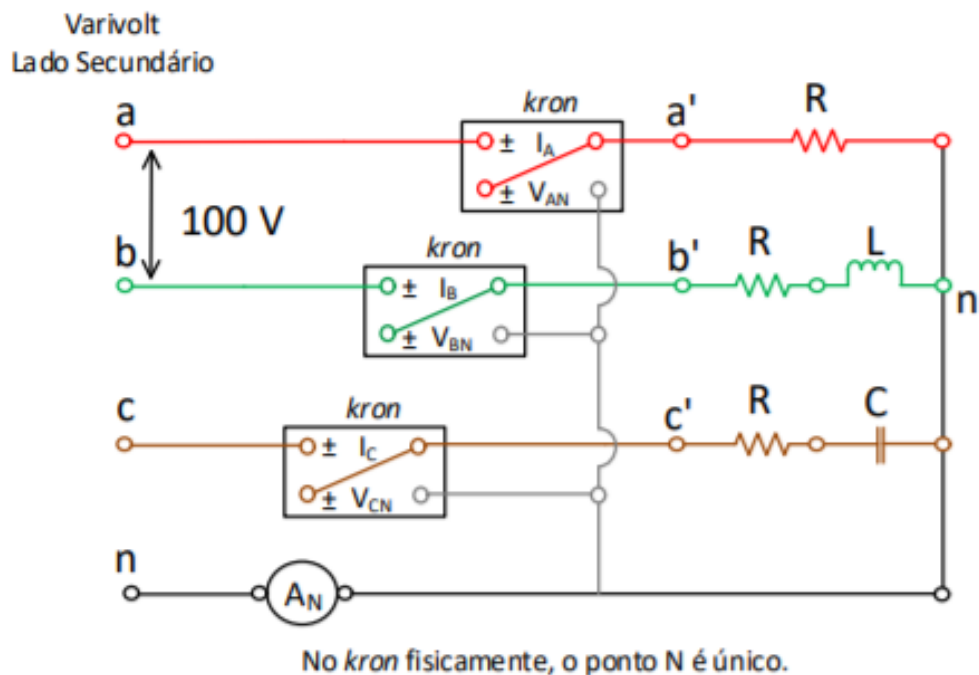


Figura 3: Circuito esquemático da montagem 1.

### 3.2.2 Carga em estrela com neutro isolado

Com os mesmos parâmetros de impedância e tensão de entrada, porém agora com neutro isolado, mantém-se a configuração do medidor *Kron*. Entretanto, nessa situação espera-se deslocamento da tensão no neutro, ou seja,  $V_{n'n} \neq 0$ .

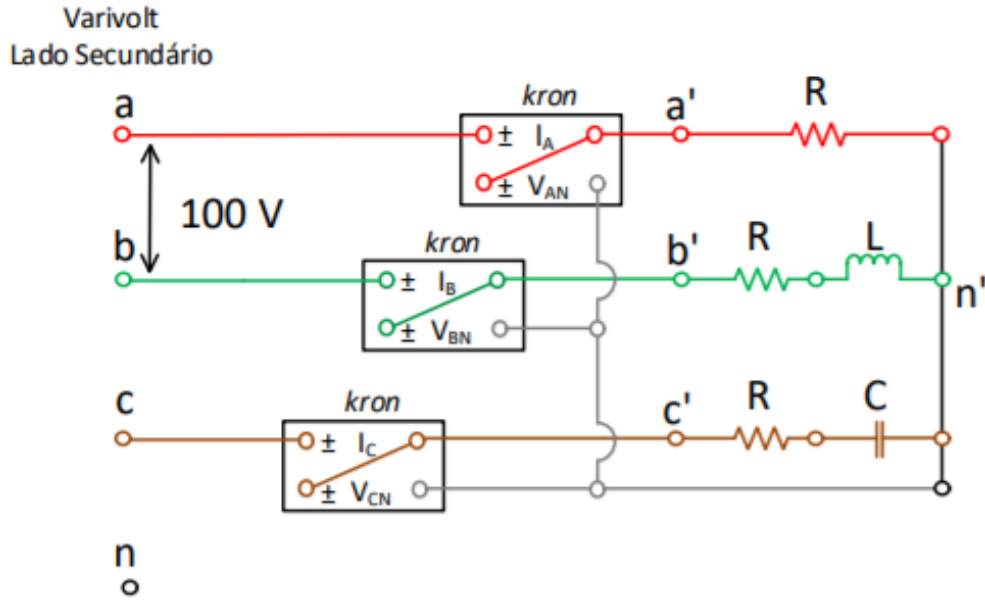


Figura 4: Circuito esquemático da montagem 2.

### 3.2.3 Carga em triângulo desequilibrado

Agora, na conexão em triângulo e sem neutro, a configuração TL é diferente (TL=0048, 3 $\phi$  sem Neutro). Nessa montagem, tem-se tensão de entrada  $V_{AB} = 50V$ , a fim de evitar-se correntes próximas ou superiores a 1,8A no medidor *Kron*.

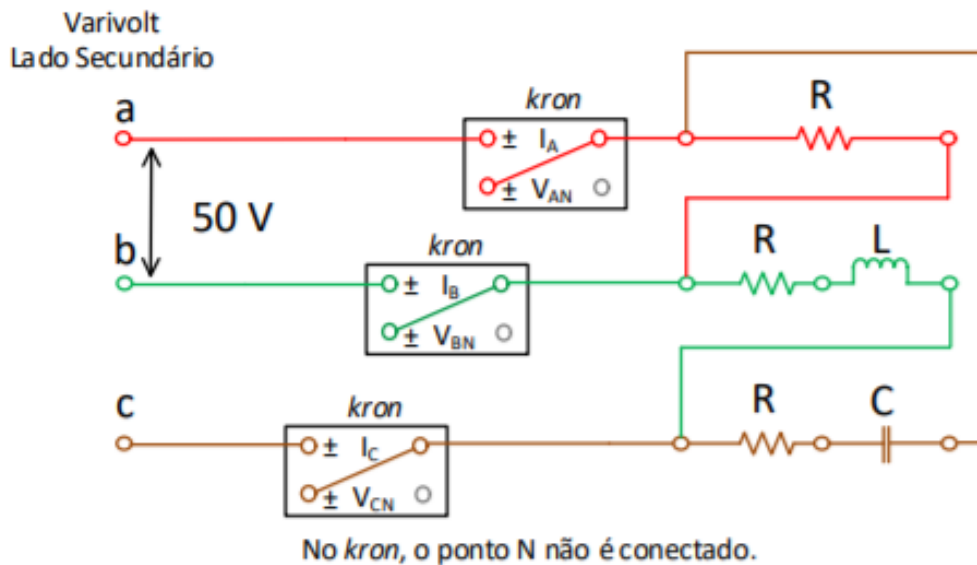


Figura 5: Circuito esquemático da montagem 3.

## 4 Dados Experimentais

### 4.1 Carga em estrela com neutro conectado

Dos dados da Tabela 1, ainda tem-se  $P_T = 115,5\text{W}$ ,  $Q_T = 61,42\text{VAr}$  e  $S_T = 144,24\text{VA}$ . Enquanto que para sequência de fases CBA (Tabela 2),  $P_T = 118,16\text{W}$ ,  $Q_T = 60,7\text{VAr}$  e  $S_T = 155,79\text{VA}$ .

Tabela 1: Dados experimentais da primeira montagem em sequência ABC.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$A_N$ (A)	$V_{N'N}$ (V)
A	96,10	55,89	1,13	63,84	0,30	64,16	1	0,21	0
B	100,07	56,57	0,62	22,12	27,68	35,58	0,625		
C	99,69	58,82	0,76	29,54	33,44	44,50	0,659		

Tabela 2: Dados experimentais da primeira montagem em sequência CBA.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$A_N$ (A)	$V_{N'N}$ (V)
A	100,50	57,60	1,096	63,25	0,24	63,51	1	1,6	0
B	99,25	57,45	0,641	23,94	27,85	36,76	0,652		
C	100,70	58,34	0,767	30,57	32,61	55,52	0,683		

### 4.2 Carga em estrela com neutro isolado

Dos dados da Tabela 3, ainda tem-se  $P_T = 122,92\text{W}$ ,  $Q_T = 55,16\text{VAr}$  e  $S_T = 149,04\text{VA}$ . Enquanto que para sequência de fases CBA (Tabela 4),  $P_T = 125,598\text{W}$ ,  $Q_T = 146,509\text{VAr}$  e  $S_T = 193,813\text{VA}$ .

Tabela 3: Dados experimentais da segunda montagem em sequência ABC.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$V_{N'N}$ (V)
A	96,01	62,03	1,24	77,34	0,30	77,60	1	0
B	100,6	54,74	0,59	20,24	25,60	32,78	0,621	
C	99,51	54,98	0,70	25,34	29,26	38,66	0,654	

Tabela 4: Dados experimentais da segunda montagem em sequência CBA.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$V_{N'N}$ (V)
A	100,4	14,18	0,210	3,968	0,069	3,963	1	42
B	97,79	81,92	1,002	57,21	72,29	91,69	0,690	
C	101,4	87,82	1,123	64,42	74,15	98,16	0,655	

### 4.3 Carga em triângulo desequilibrado

Dos dados da Tabela 5, ainda tem-se  $P_T = 88,603\text{W}$ ,  $Q_T = 37,569\text{VAr}$  e  $S_T = 96,969\text{VA}$ . Enquanto que para sequência de fases CBA (Tabela 6),  $P_T = 94\text{W}$ ,  $Q_T = 4,303\text{VAr}$  e  $S_T = 91,19\text{VA}$ .

Tabela 5: Dados experimentais da terceira montagem em sequência ABC.

	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP
A	5,63	42,38	17,26	45,82	0,925
B	1,472	39,40	17,75	43,84	0,911
C	0,266	6,823	2,559	7,309	0,934

Tabela 6: Dados experimentais da terceira montagem em sequência CBA.

	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP
A	1,018	29,56	3,584	29,81	0,993
B	0,963	28,35	0,628	28,35	1
C	1,21	36,09	0,091	33,03	1

## 5 Análise sobre segurança

Os óculos de segurança são Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e são utilizados para a proteção da área ao redor dos olhos contra qualquer tipo de detrito estranho, que possa causar irritação ou ferimentos. Também protegem contra faíscas, respingos de produtos químicos, detritos, poeira, radiação e etc [3]. É importante a utilização desse equipamento durante os experimentos a fim de evitar qualquer dano, além de preparar o profissional para o manejo correto e seguro de qualquer equipamento. Além disso, foi de extrema importância a presença do professor ou técnico na verificação da montagem do circuito antes de energizá-lo. Assim, reduziu-se riscos de curtos-circuitos ou sobrecarga na rede.



## 6 Cálculos, análise dos resultados e questões

### 6.1 Análise teórica do circuito

Como o circuito é desequilibrado, a análise deve ser feita fase por fase. No entanto, há uma certeza: as tensões da fonte são equilibradas em módulo e ângulo. Assim, sabendo-se que  $V_L = V_F \sqrt{3} \angle 30^\circ$ , tem-se os seguintes dados:

$$\begin{bmatrix} E_{AB} \\ E_{BC} \\ E_{CA} \end{bmatrix} = 100V \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \begin{bmatrix} E_{AN} \\ E_{BN} \\ E_{CN} \end{bmatrix} = 57,74V \angle -30^\circ \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix}$$

#### 6.1.1 Carga em estrela com neutro conectado

Primeiramente, é possível descrever as impedâncias como abaixo:

$$\begin{cases} Z_A = 50 \, [\Omega] \\ Z_B = 53,8 + j 62,58 \, [\Omega] \\ Z_C = 50 - j 57,79 \, [\Omega] \end{cases} \quad \text{e também} \quad \begin{cases} Y_A = 0,02 \, [S] \\ Y_B = 0,0122 \angle -49,31 \, [S] \\ Y_C = 0,0131 \angle 49,13 \, [S] \end{cases}$$

Como os neutros da fonte e da carga estão conectados, não há deslocamento de neutro,  $V_{n'n} = 0$ . Portanto, a tensão na carga é a mesma da fonte, como consequência da presença do neutro.

$$\begin{aligned} P_A &= \Re \{ I_A^* \cdot V_{AN} \} = I_A V_{AN} \cdot \cos \theta_A \\ Q_A &= \Im \{ I_A^* \cdot V_{AN} \} = I_A V_{AN} \cdot \sin \theta_A \\ S_A &= I_A^* \cdot V_{AN} \end{aligned}$$

Cálculo de corrente:  $V = R \cdot I$

$$\begin{aligned} (57,74 \angle 0^\circ) &= Z_A \cdot I_A \Rightarrow I_A = 1,155 \angle 0^\circ [A] \\ (57,74 \angle -120^\circ) &= Z_B \cdot I_B \Rightarrow I_B = 0,6997 \angle -169,3^\circ [A] \\ (57,74 \angle 120^\circ) &= Z_C \cdot I_C \Rightarrow I_C = 0,756 \angle 169,1^\circ [A] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_N &= I_B + I_C \\ I_N &= 1,155 \angle 0^\circ + 0,6997 \angle -169,3^\circ + 0,756 \angle 169,1^\circ \\ I_N &= 0,275 \angle 177,3^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,155 \angle 0^\circ \\ 0,6997 \angle -169,3^\circ \\ 0,756 \angle 169,1^\circ \end{bmatrix}$$

$$S_A = I_A \cdot V_{AN} = 1,155 \angle 0^\circ \cdot 57,74 \angle 0^\circ = 66,69 \angle 0^\circ [VA]$$

$$S_B = I_B \cdot V_{BN} = 0,6997 \angle -169,3^\circ \cdot 57,74 \angle 120^\circ = 40,4 \angle 70,7^\circ [VA]$$

$$S_C = I_C \cdot V_{CN} = 0,756 \angle 169,1^\circ \cdot 57,74 \angle 120^\circ = 43,65 \angle -70,9^\circ [VA]$$

$$\cos \theta_A = \cos 0^\circ = 1$$

$$\cos \theta_B = \cos 70,7^\circ = 0,331$$

$$\cos \theta_C = \cos (-70,9^\circ) = 0,327$$

A partir dos cálculos acima é possível montar uma tabela (Tabela 7) com os dados teóricos das grandezas de tensão e corrente no circuito. O cálculo é análogo para sequências de fases CBA, e os resultados são contemplados pela Tabela 8.

Tabela 7: Dados teóricos para a montagem 1, em sequência ABC.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$A_N$ (A)	$V_{N'N}$ (V)
A	100,0	57,74	1,155	66,69	0	66,69	1	0,275	0
B	100,0	57,74	0,699	13,37	38,13	40,4	0,331		
C	100,0	57,74	0,756	14,27	41,25	43,65	0,327		

Tabela 8: Dados teóricos para a montagem 1, em sequência CBA.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$A_N$ (A)	$V_{N'N}$ (V)
A	100,0	57,74	1,155	66,69	0	66,69	1	1,610	0
B	100,0	57,74	0,663	24,96	29,03	38,28	0,652		
C	100,0	57,74	0,716	27,04	31,26	41,34	0,654		

### 6.1.2 Carga em estrela com neutro isolado

Para esta montagem, como não há presença do fio neutro, haverá deslocamento de neutro, ou seja  $V_{n'n} \neq 0$ , como é mostrado nos cálculos abaixo.

$$V_{N'N} = \frac{E_{AN} \cdot Y_A + E_{BN} + Y_B + E_{CN} \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

$$V_{N'N} = \frac{57,74 \angle 0^\circ \cdot 0,02 + 57,74 \angle -120^\circ \cdot 0,0122 \angle -49,31 + 57,74 \angle 120^\circ \cdot 0,0131 \angle 49,13^\circ}{0,02 + 0,0122 \angle -49,31^\circ + 0,0131 \angle 49,13^\circ}$$

$$V_{N'N} = 7,678 \angle 176,5^\circ$$

Assim, é possível realizar o cálculos das grandezas de tensão e corrente para seqüências de fase ABC. A Tabela 9 contempla os resultados teóricos obtidos.

Tabela 9: Dados teóricos para a montagem 2, em seqüência ABC.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$V_{N'N}$ (V)
A	100,0	65,41	1,308	85,56	0	85,56	1	7,678
B	100,0	54,75	0,668	23,84	27,73	36,57	0,652	
C	100,0	53,88	0,706	24,88	28,77	38,04	0,654	

Analogamente, faz-se os cálculo para seqüência de fases CBA, e obtém-se os resultados da Tabela 10.

$$V_{N'N} = \frac{E_{AN} \cdot Y_A + E_{BN} + Y_B + E_{CN} \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

$$V_{N'N} = \frac{57,74 \angle 0^\circ \cdot 0,02 + 57,74 \angle 120^\circ \cdot 0,0122 \angle -49,31 + 57,74 \angle -120^\circ \cdot 0,0131 \angle 49,13^\circ}{0,02 + 0,0122 \angle -49,31^\circ + 0,0131 \angle 49,13^\circ}$$

$$V_{N'N} = 43,15 \angle -2,839^\circ$$

Tabela 10: Dados teóricos para a montagem 2, em seqüência CBA.

	$V_L$ (V)	$V_F$ (V)	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP	$V_{N'N}$ (V)
A	100,0	11,84	0,237	2,086	0	2,806	1	43,15
B	100,0	86,14	1,051	44,54	78,79	90,53	0,492	
C	100,0	83,76	1,097	38,13	83,61	91,88	0,415	

### 6.1.3 Carga em triângulo desequilibrado

Para carga em triângulo, tem-se as impedâncias e admitâncias descritas abaixo.

$$\begin{cases} Z_{AB} = 50 \text{ } [\Omega] \\ Z_{BC} = 53,8 + j 62,58 \text{ } [\Omega] \\ Z_{CA} = 50 - j 57,79 \text{ } [\Omega] \end{cases} \quad \text{e também} \quad \begin{cases} Y_{AB} = 0,02 \text{ } [S] \\ Y_{BC} = 0,0122 \angle -49,31 \text{ } [S] \\ Y_{CA} = 0,0131 \angle 49,13 \text{ } [S] \end{cases}$$

Ademais, com o intuito de manter as correntes de linha com módulos inferiores a 2A, a tensão de linha passa a ser de 50V. Logo tem-se:

$$\begin{bmatrix} E_{AB} \\ E_{BC} \\ E_{CA} \end{bmatrix} = 50V \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \begin{bmatrix} E_{AN} \\ E_{BN} \\ E_{CN} \end{bmatrix} = 28,87V \angle -30^\circ \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix}$$

Assim, é possível calcular e organizar os dados teóricos para as sequências ABC e CBA, respectivamente, nas Tabelas 11 e 12.

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{50 \angle 0^\circ}{50} = 1 \angle 0^\circ$$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{50 \angle 120^\circ}{53,8 + j 62,58} = 0,929 \angle 57,4^\circ$$

$$I_{AC} = \frac{V_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{50 \angle -120^\circ}{50 - j 57,79} = 0,654 \angle -70,87^\circ$$

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = 1 \angle 38,18^\circ$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} = 0,928 \angle 122,5^\circ$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} = 1,429 \angle -101,5^\circ$$

Tabela 11: Dados teóricos para a montagem 3, em sequência ABC.

	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP
A	1,647	39,28	-26,80	47,55	0,826
B	1,599	41,50	20,24	46,16	0,899
C	0,241	6,828	-1,352	6,96	0,981

Tabela 12: Dados teóricos para a montagem 3, em sequência CBA.

	$I_L$ (A)	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	FP
A	1	10,74	-26,80	28,87	0,372
B	0,928	22,58	-14,39	26,79	0,843
C	1,429	27,36	-30,9	41,26	0,663

## 6.2 Análise comparativa: experimento *vs.* teoria

### 6.2.1 Sobre a presença do neutro no circuito desequilibrado

Como visto na análise teórica e experimental, a ligação do neutro da fonte com o da carga provocou  $V_{n'n} = 0$ , fazendo com que a tensão fornecida pela fonte seja completamente recaída sobre a carga. Entretanto, o fio neutro tbm funciona como fuga para a corrente resultante, sendo  $I_N = I_A + I_B + I_C$ , já que no circuito desequilibrado as correntes não se anulam.

### 6.2.2 Sobre a ausência do neutro no circuito desequilibrado

Na ausência do fio neutro a corrente resultante da soma das correntes de linha  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$  não tem como fugir pelo neutro, além disso manifesta-se por meio de uma diferença de potencial  $V_{n'n}$ , uma vez que o neutro da carga não estará mais conectado ao da fonte (referencial), que neste momento está isolado.

### 6.2.3 Ilustrando as medidas de tensão e corrente na forma de fasores

A partir do resultado teórico, é interessante verificar a disposição de grandezas de tensão e corrente num diagrama fasorial, assim constatar o desequilíbrio visualmente (Figuras 6, 7 e 8).

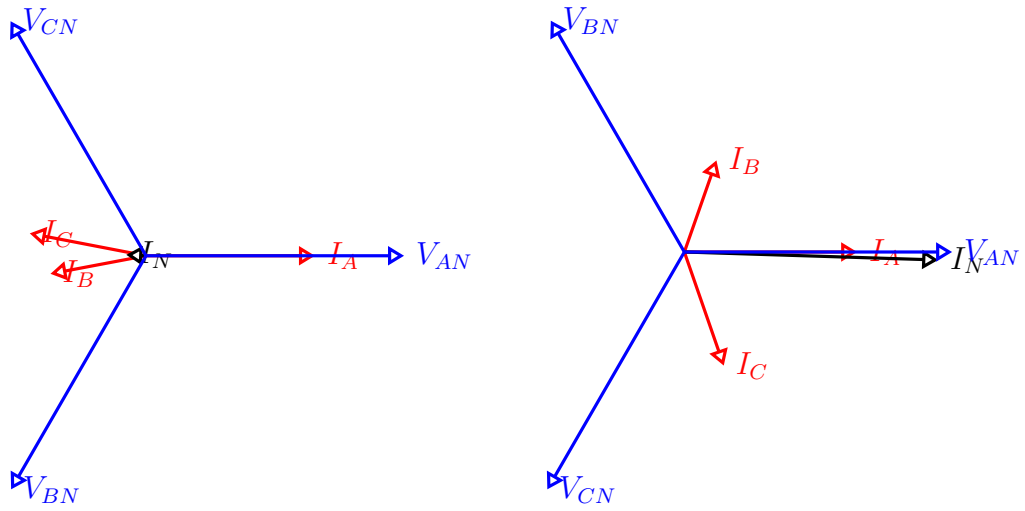


Figura 6: Diagrama fasorial para a montagem 1 em fase ABC e CBA respectivamente.

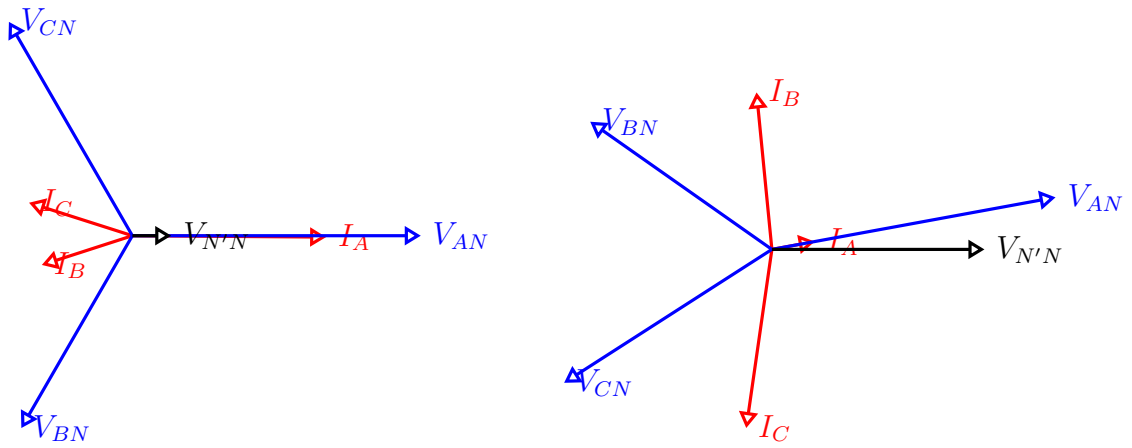


Figura 7: Diagrama fasorial para a montagem 2 em fase ABC e CBA respectivamente.

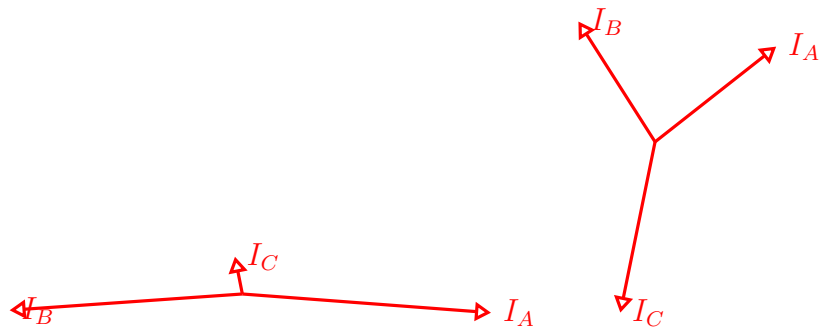


Figura 8: Diagrama fasorial para a montagem 3 em fase ABC e CBA respectivamente.

#### 6.2.4 Sobre a configuração no medidor *Kron*

Na Figura 9 tem-se a aplicação apropriada para cada configuração TL, logo se a configuração TL=0003 tivesse sido usada na montagem 1, ou seja, em um circuito desequilibrado, não se obteria os valores de interesse, já que o medidor *Kron* assume que a carga seja trifásica e procede os cálculos das grandezas trifásicas, por meio de somente os sinais de tensão e uma corrente. Assim, a impedância de uma fase qualquer é facilmente calculada pela Lei de Ohm, a qual o *Kron* considerará erroneamente como a mesma impedância para as outras duas fases.

Com relação a segunda configuração (TL=0049), para as outras duas montagens, também não é possível, já que nessa configuração assume-se cargas equilibradas, assim o *Kron* fará o cálculo da terceira a partir da aritmética das outras duas obtidas mediantes, o que é errôneo, pois dado que as cargas são desequilibradas, as correntes também deveriam ser, à tensão de linha equilibrada.

<b>TL 00</b>	<b>Trifásico Equilibrado ou Desequilibrado Estrela (3F + N)</b> 3 elementos 4 fios
<b>Aplicação:</b>	Medição de circuitos trifásicos estrela (3F + N). O uso de transformadores de corrente e potencial somente é necessário caso a corrente ou tensão do sistema exceda os limites especificados no capítulo <i>Características Técnicas</i> . É imprescindível que a sequência das fases esteja em sentido horário (R-S-T).

(a)

<b>TL 03</b>	<b>Trifásico Equilibrado (3F + N)</b> 1 elemento 2 fios
<b>Aplicação:</b>	Medição de circuitos trifásicos estrela (3F + N) em que ocorre equilíbrio de tensões e correntes (por exemplo: um motor, pelo fato da impedância de seus enrolamentos ser praticamente igual, é uma carga equilibrada). Desta forma, bastará o medidor receber os sinais de uma tensão e uma corrente para proceder ao cálculo das grandezas trifásicas. O uso de transformadores de corrente e potencial somente é necessário caso a corrente ou tensão do sistema exceda os limites especificados no capítulo <i>Características Técnicas</i> .

(b)

<b>TL 48</b>	<b>Trifásico Desequilibrado Delta (3F) – 3 elementos</b> 3 elementos 3 fios – 2TPs
<b>Aplicação:</b>	Medição de circuitos trifásicos delta (3F), com uso de 3 (três) transformadores de corrente (elementos) e 2 (dois) transformadores de potencial. O uso de transformadores de corrente e potencial somente é necessário caso a corrente ou tensão do sistema exceda os limites especificados no capítulo <i>Características Técnicas</i> . É imprescindível que a sequência das fases esteja em sentido horário (R-S-T).

(c)

<b>TL 49</b>	<b>Trifásico Equilibrado Delta (3F) – 2 elementos</b> 2 elementos 3 fios – 2TPs
<b>Aplicação:</b>	Medição de circuitos trifásicos delta (3F), com uso de 2 (dois) transformadores de corrente (elementos) e 2 (dois) transformadores de potencial. O uso de transformadores de corrente e potencial somente é necessário caso a corrente ou tensão do sistema exceda os limites especificados no capítulo <i>Características Técnicas</i> . É imprescindível que a sequência das fases esteja em sentido horário (R-S-T).

(d)

Figura 9: Informação do manual do usuário do medidor *Kron* para as configurações de Tipo de Ligação (a) TL00, (b) TL03, (c) TL48 e (d) TL49 [2].

## 7 Simulação computacional

### 7.1 Carga em estrela com neutro conectado

Para sequência de fases ABC tem-se:

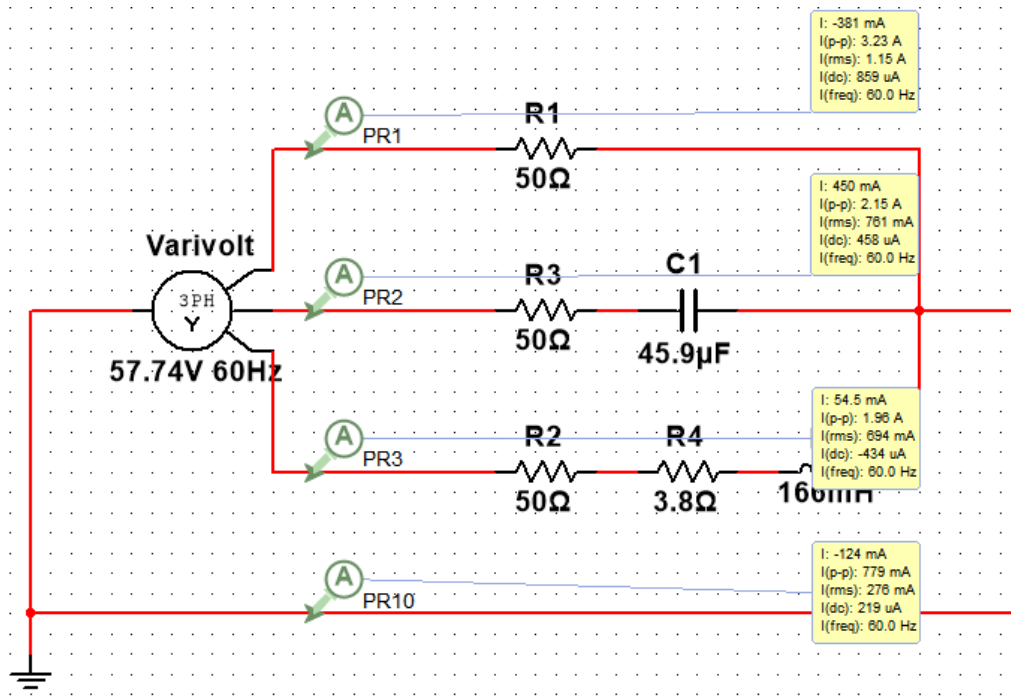


Figura 10: Correntes de linha da montagem 1 em sequência de fases ABC.

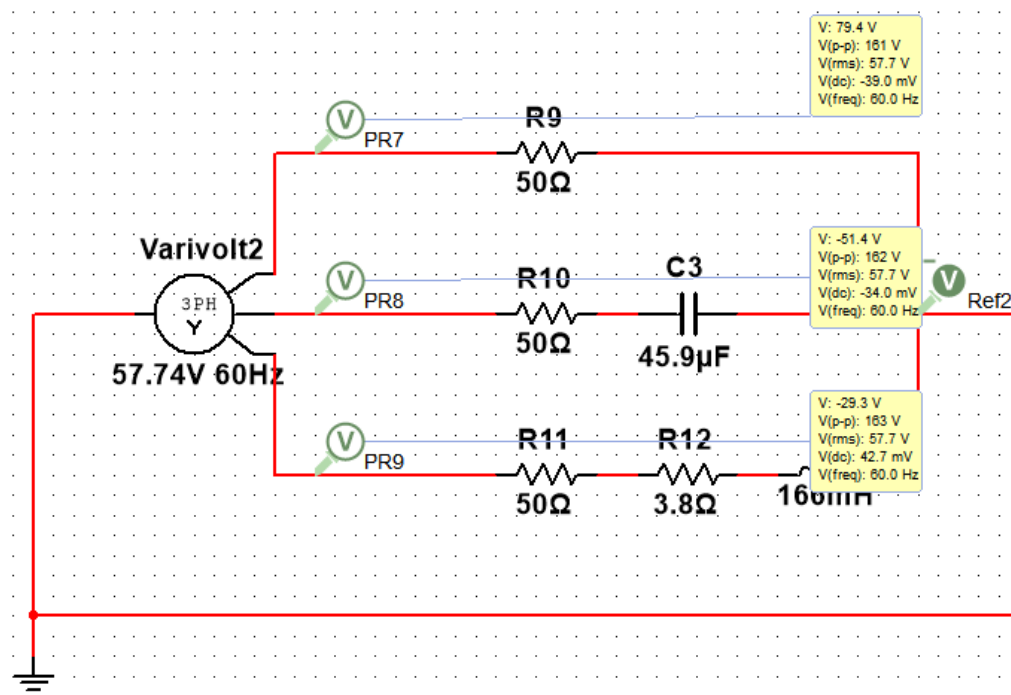


Figura 11: Tensões de fase da montagem 1 em sequência de fases ABC.



Para sequência de fases CBA tem-se:

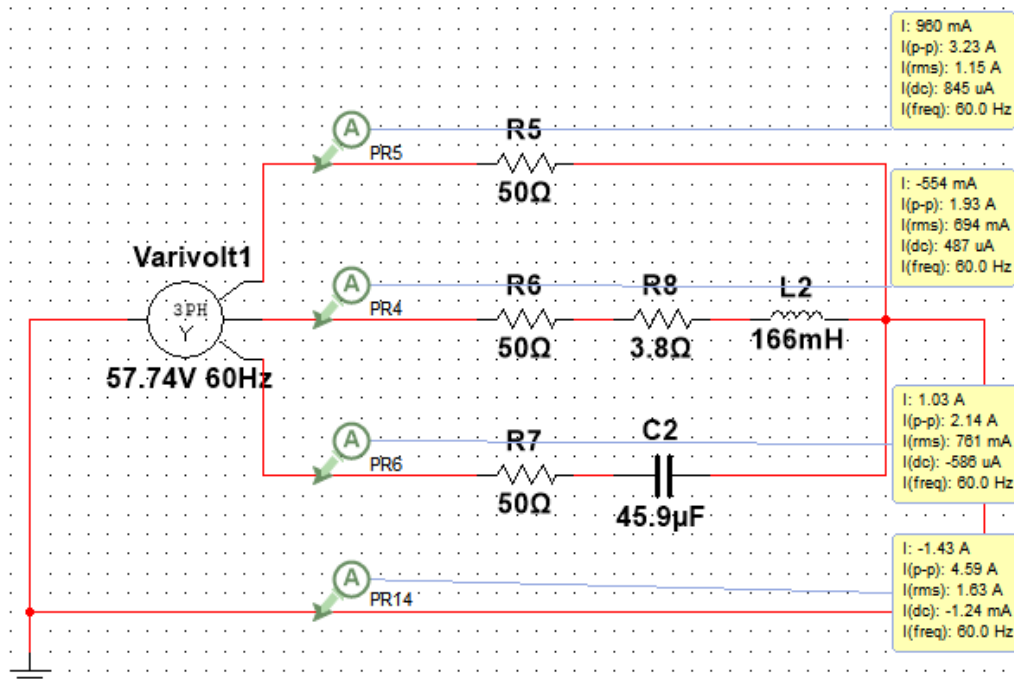


Figura 12: Correntes de linha da montagem 1 em sequência de fases CBA.

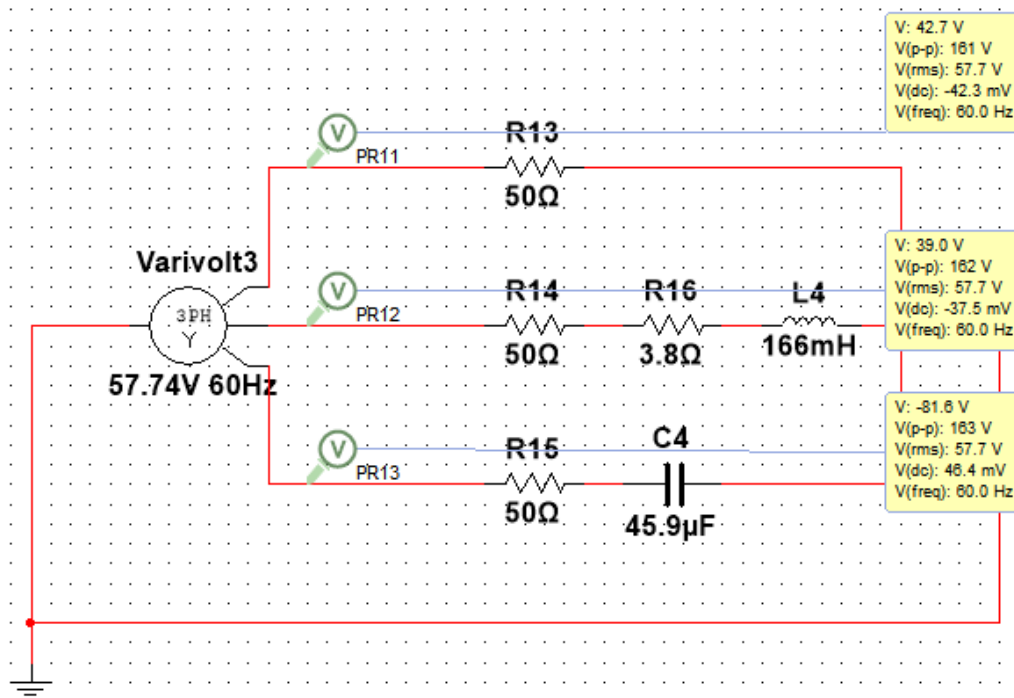


Figura 13: Tensões de fase da montagem 1 em sequência de fases CBA.

## 7.2 Carga em estrela com neutro isolado

Para sequência de fases ABC tem-se:

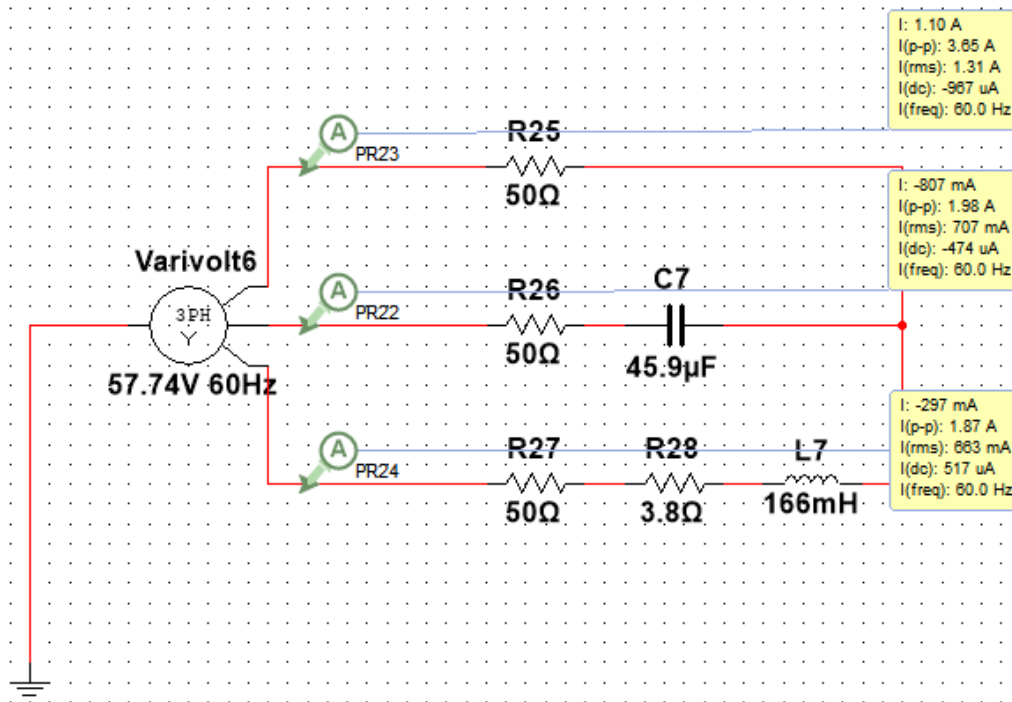


Figura 14: Correntes de linha da montagem 2 em sequência de fases ABC.

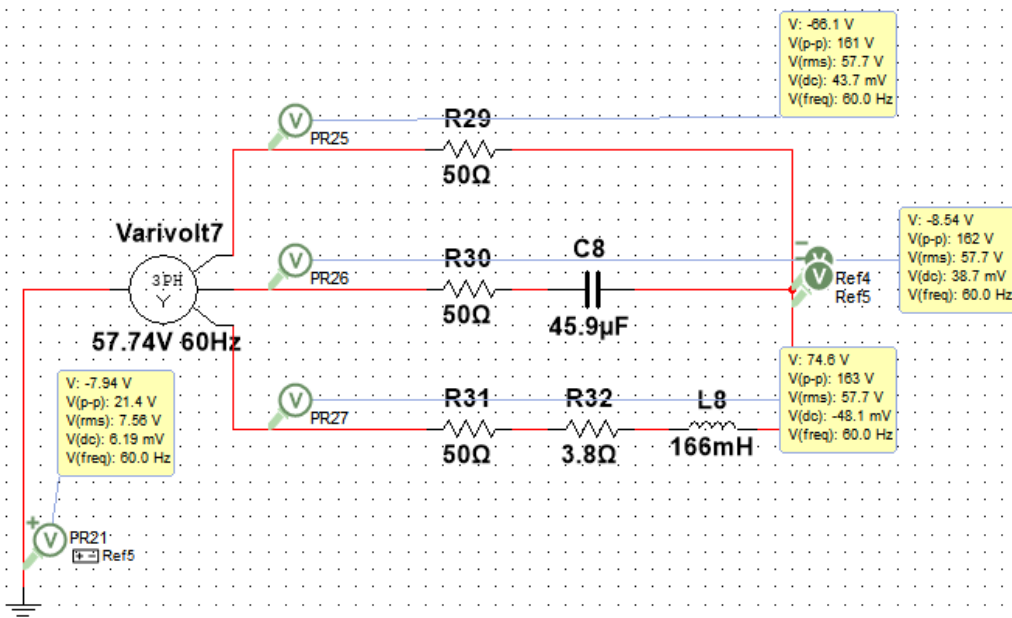


Figura 15: Tensões de fase da montagem 2 em sequência de fases ABC.

Para sequência de fases CBA tem-se:

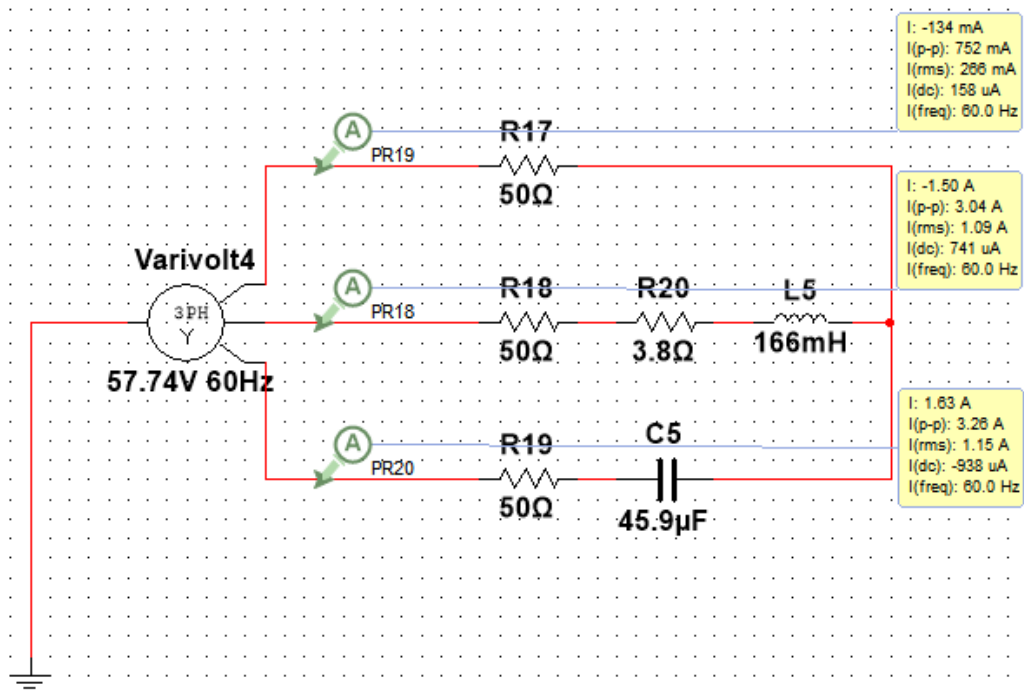


Figura 16: Correntes de linha da montagem 2 em sequência de fases CBA.

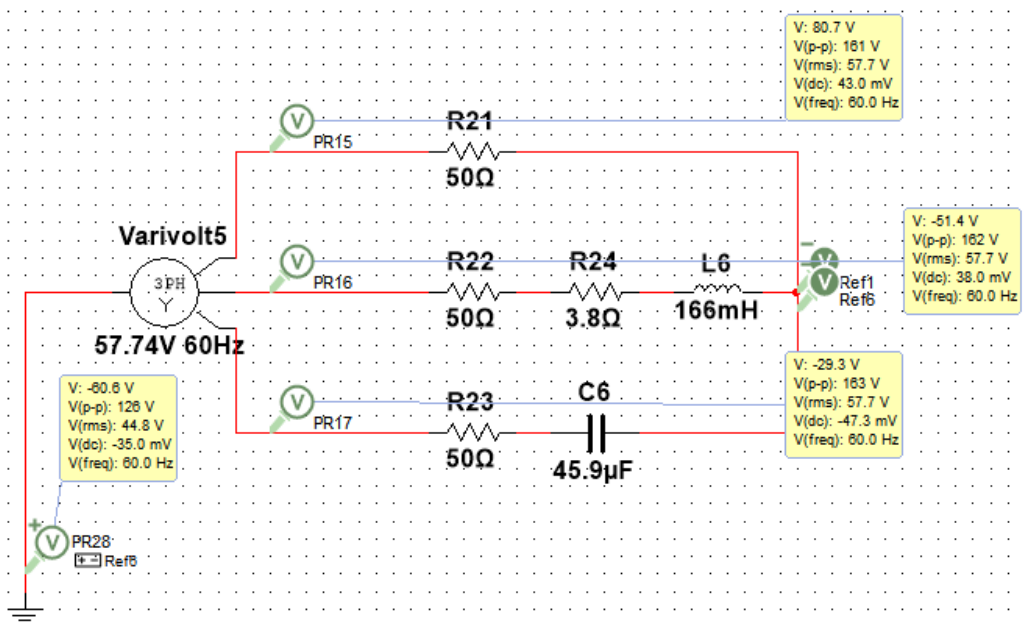


Figura 17: Tensões de fase da montagem 2 em sequência de fases CBA.

### 7.3 Carga em triângulo desequilibrado

Para sequência de fases ABC tem-se:

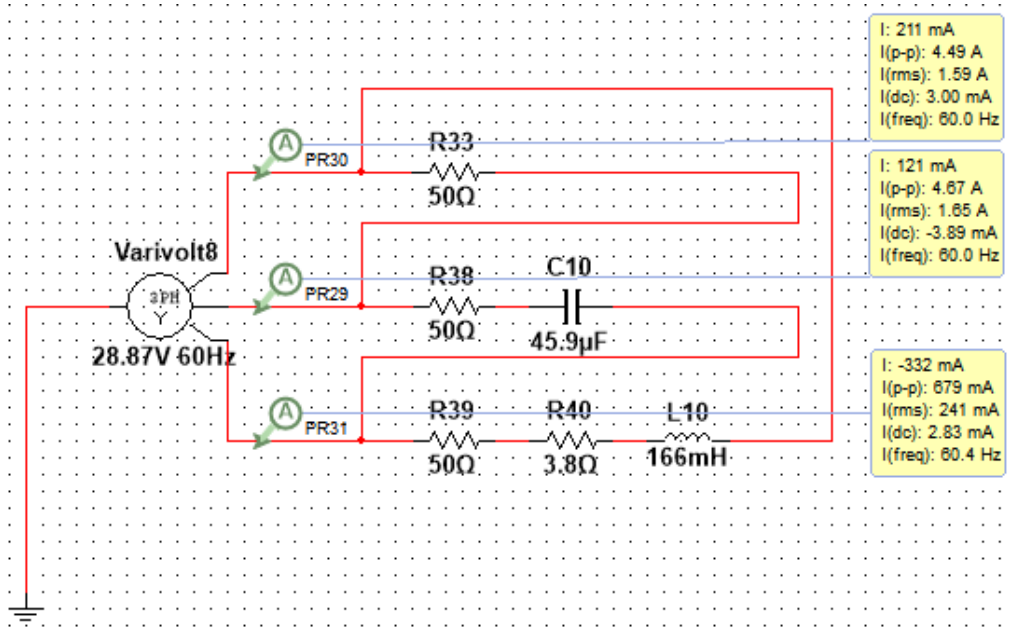


Figura 18: Correntes de linha da montagem 3 em sequência de fases ABC.

Para sequência de fases CBA tem-se:

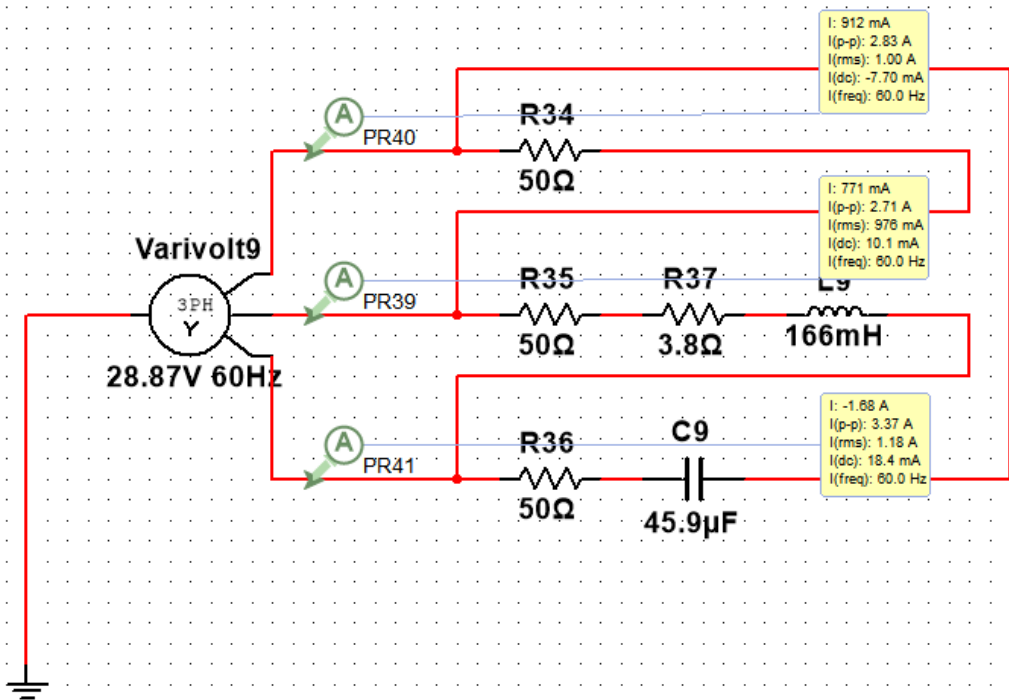


Figura 19: Correntes de linha da montagem 3 em sequência de fases CBA.

## 8 Conclusões

A presença do fio em circuito equilibrados, como visto em experimentos anteriores, não era de grande efeito, dado que as correntes se anulavam no ponto de encontro  $n'$  da carga em estrela equilibrada, resultando em  $I_N = 0$ . Entretanto, para circuitos desequilibrados isso não ocorre, como verificado neste experimento.

Dada uma carga trifásica desequilibrada em configuração estrela, investigou-se teóricamente e experimentalmente acerca de 2 situações: neutro conectado e neutro isolado. No caso do neutro conectado, o fio neutro serve como fuga para corrente resultante da interação das 3 correntes de cada fase, sendo notável que  $V_{n'n} = 0$ . Já no caso do neutro isolado, o desequilíbrio manifesta-se no deslocamento de neutro, logo  $V_{n'n} \neq 0$ .

## Referências

- [1] P. H. O. Rezende, "Circuitos Polifásicos Desequilibrados", 2018.
- [2] KRON Instrumentos Elétricos, "Mult-K 05 e Mult-K 120: Medidores de Energia e Transdutores Digitais de Grandezas Elétricas", Kron Medidores., 2018.
- [3] SafetyTrabi, "Óculos de segurança: Saiba quando utilizar este EPI", SafetyTrab, 2019. Disponível em: <https://www.safetytrab.com.br/blog/oculos-de-seguranca/>. Acesso em: ago. 2019.