

Experiência N° 09

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

**1. OBJETIVOS**

- Obter medidas de tensão, corrente e potência em circuitos trifásicos.

**2. INTRODUÇÃO**

**2.1. 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. A diferença é que no caso Y há uma linha chamada neutro.

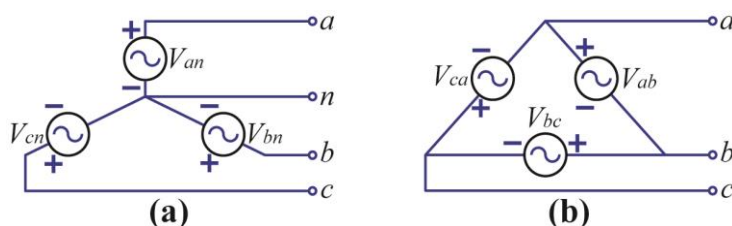


Figura 9.1. Fontes de tensão trifásicas: (a) conexão Y; (b) conexão  $\Delta$ .

**Vantagens:**

- Condutores de menor diâmetro podem ser usados para transmitir a mesma potência à mesma tensão.
- Menores custos de fabricação/manutenção e linhas mais leves são mais fáceis de instalar - torres de sustentação podem ser mais delgadas e mais espaçadas.
- Equipamentos e motores trifásicos apresentam melhores características de partida e operação, pois a transferência de potência da fonte para a carga nestes sistemas está menos sujeita a flutuações.
- Em geral a grande maioria dos motores de grande porte é trifásica, porque a partida não necessita de um projeto especial ou de circuitos externos adicionais.

## Experiência No 09 - Medição de Tensão, Corrente e Potência em Circuitos Trifásicos – Conexão Y

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.

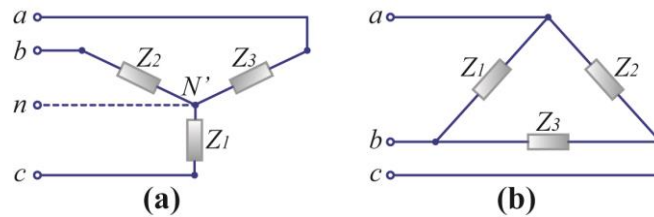


Figura 9.2. Diferentes configurações de cargas trifásicas: (a) estrela (Y); (b) delta ( $\Delta$ ).

Na Figura 9.3(a) pode ser observado que, quando uma das tensões induzidas for zero, o valor instantâneo das outras duas corresponderá a 86,6 % do valor máximo positivo ou negativo. Além disso, quando duas das tensões induzidas têm o mesmo módulo (em  $0,5E_m$ ) e o mesmo sinal, a terceira tensão tem a polaridade oposta e um valor de pico. Como observado no diagrama fasorial na Figura 9.3(b), se aplicamos a lei de Kirchhoff para tensões à malha inferior (AB) vemos que  $E_{AB} - E_{AN} + E_{BN} = 0$  ou  $E_{AB} = E_{AN} - E_{BN} = E_{AN} + E_{NB}$ . Com análise vetorial vemos que  $E_{AB} = 2x = 2 \cos(30^\circ) E_{AN} = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} E_{AN}$ , com o que concluímos que o módulo da tensão de linha conectada em Y é

$$E_L = \sqrt{3}E_\phi \rightarrow E_\phi = E_{AN} \angle 30^\circ \text{ ou } E_{CN} \angle 150^\circ \text{ ou } E_{BN} \angle 270^\circ \quad 9.1$$

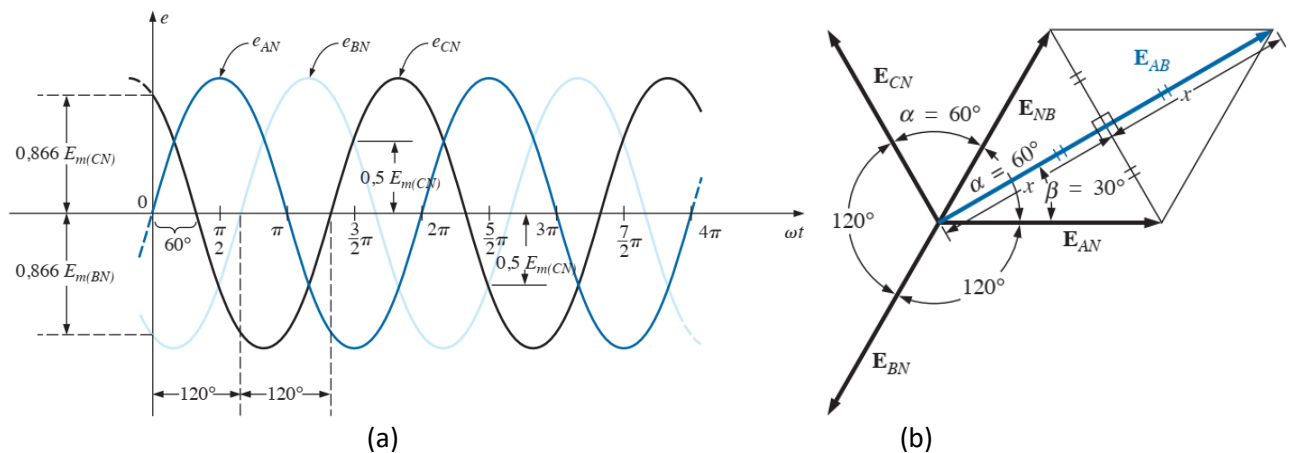


Figura 9.3 (a) Tensões de fase de um gerador trifásico; (b) Determinação de uma das tensões de linha de um gerador trifásico.

Num circuito trifásico com conexão Y-Y como o apresentado na Figura 9.4, se a **carga é equilibrada** ( $Z_1 = Z_2 = Z_3$ ) a conexão do **neutro pode ser removida**. Para que a carga seja equilibrada, é preciso que o ângulo de fase seja o mesmo para cada impedância. **Em circuitos desequilibrados é necessário manter o fio neutro** para transportar a corrente resultante de volta para o gerador conectado em Y. Note que as três correntes de fase do gerador são iguais às correntes de linha e as correntes de fase de carga, e que a tensão de fase é igual à tensão de carga mesmo sendo a carga desequilibrada.

$$I_{\phi g} = I_L = I_{\phi L} \text{ e } V_\phi = E_\phi, \text{ logo } I_{\phi L} = \frac{V_\phi}{Z_\phi} \text{ e } E_L = \sqrt{3}V_\phi \quad 9.2$$

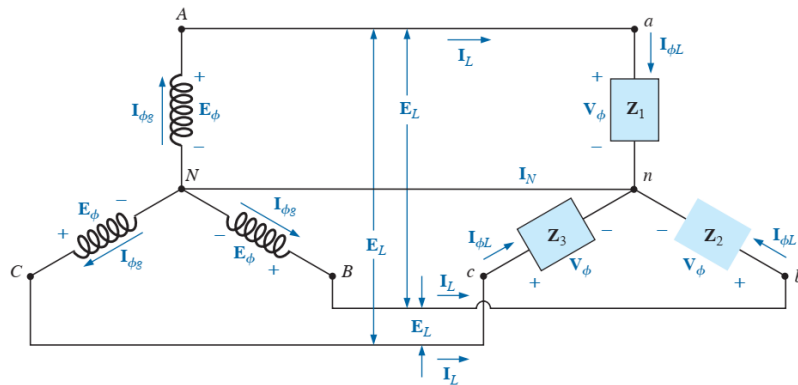


Figura 9.4. Gerador em Y com uma carga em Y.

### Potência para carga equilibrada

**Potência média:** A potência média fornecida a cada fase pode ser determinada por:

$$P_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \cos \theta_{I_{\phi}}^{V_{\phi}} = I_{\phi}^2 R_{\phi} = \frac{V_{\phi}^2}{R_{\phi}} \quad (\text{watts}, W) \quad 9.3$$

**Potência total.** Potência total fornecida à carga equilibrada é dada por:

$$P_T = 3P_{\phi} \rightarrow \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta_{I_{\phi}}^{V_{\phi}} = 3 I_L^2 R_{\phi} \quad (\text{watts}, W) \quad 9.4$$

**Potência reativa.** A potência reativa associada a cada fase e total podem ser determinadas por:

$$Q_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \sin \theta_{I_{\phi}}^{V_{\phi}} = I_{\phi}^2 X_{\phi} = \frac{V_{\phi}^2}{X_{\phi}} \quad \text{e} \quad Q_T = 3Q_{\phi} \quad (\text{VAR}) \quad 9.5$$

**Potência aparente.** A potência aparente associada a cada fase e total podem ser determinadas por:

$$S_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \quad \text{e} \quad S_T = 3S_{\phi} = \sqrt{3} E_L I_L \quad (\text{VA}) \quad 9.6$$

**Fator de potência.** O fator de potência do sistema é dado por:

$$F_p = \frac{P_T}{S_T} = \cos \theta_{I_{\phi}}^{V_{\phi}} \quad 9.7$$

### 3. PROCEDIMENTO

Os circuitos das Figura 9.5 e 9.6 estão conectados a uma fonte trifásica equilibrada em Y, cuja tensão de fase é  $V_{AN} = 100 \text{ V}$  (correspondente à tensão de linha, a qual é  $V_{AB} = 173 \text{ V}$ ) e frequência de 60 Hz. Calcule as tensões e as correntes do circuito e anote os valores na Tabela 9.1.

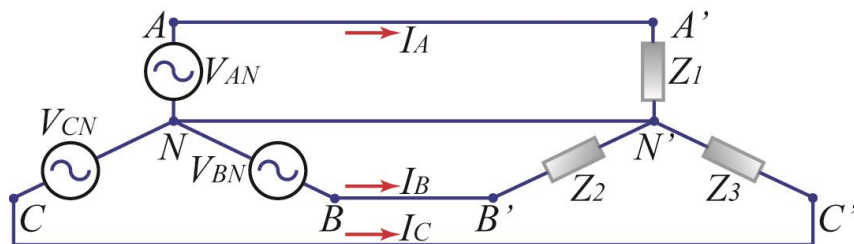


Figura 9.5. Circuito a ser simulado, com fontes com 60 Hz de frequência.

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,

## Experiência No 09 - Medição de Tensão, Corrente e Potência em Circuitos Trifásicos – Conexão Y

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.

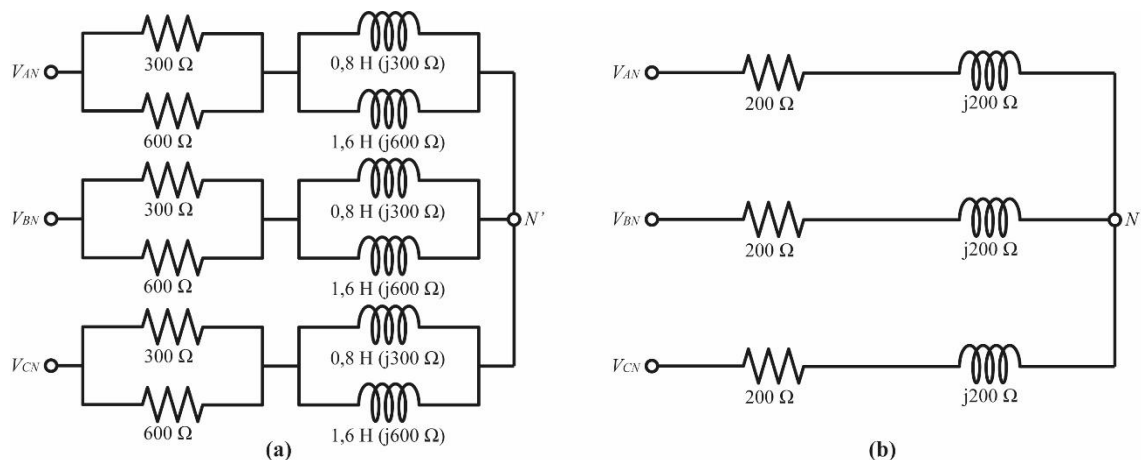


Figura 9.6 Carga RL ligada em Y: (a) forma de ligação da carga; (b) circuito equivalente.

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

Tensão de Linha		Tensão de Fase (v)		Corrente (A)	
$V_{AB}$		$V_{AN}$		$I_A$	
$V_{BC}$		$V_{BN}$		$I_B$	
$V_{CA}$		$V_{CN}$		$I_C$	
				$I_N$	

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)	
$P_A$		$Q_A$		$ S_A $	
$P_B$		$Q_B$		$ S_B $	
$P_C$		$Q_C$		$ S_C $	

Simule agora o circuito mostrado na Figura 9.5 utilizando a Figura 9.6. 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		Tensão de Fase (v)		Corrente (A)	
$V_{AB}$		$V_{AN}$		$I_A$	
$V_{BC}$		$V_{BN}$		$I_B$	
$V_{CA}$		$V_{CN}$		$I_C$	
				$I_N$	

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)	
$P_A$		$Q_A$		$ S_A $	
$P_B$		$Q_B$		$ S_B $	

Experiência No 09 - **Medição de Tensão, Corrente e Potência em Circuitos Trifásicos – Conexão Y**

$P_C$		$Q_C$		$ S_C $	
-------	--	-------	--	---------	--

Ainda para o circuito da Figura 9.5, altere a carga da fase B para uma resistência de  $300\ \Omega$  ligada em série a um indutor de  $0,8\text{ H}$  (equivalente a uma reatância indutiva de  $300\ \Omega$ ), e altere também a carga da fase C para uma resistência de  $600\ \Omega$  ligada em série a um indutor de  $1,6\text{ H}$  (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)		Corrente (A)	
$V_{AN}$		$I_A$	
$V_{BN}$		$I_B$	
$V_{CN}$		$I_C$	
		$I_N$	

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

Tabela 9.6. Valores de potência obtidos na simulação.

Potência Ativa (W)		Potência Reativa (Var)		Potência Aparente (VA)	
$P_A$		$Q_A$		$ S_A $	
$P_B$		$Q_B$		$ S_B $	
$P_C$		$Q_C$		$ S_C $	

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

- 4.1. Demonstre para um circuito Y-Y a relação entre tensão de fase e tensão de linha.
- 4.2. 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.
- 4.3. Qual a relação entre as correntes de linha e fase no circuito? Justifique a sua resposta.
- 4.4. Para o circuito, com todas as cargas iguais, qual foi e qual deveria ser a corrente teórica no condutor neutro? Justifique a sua resposta.
- 4.5. 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.

#### OBSERVAÇÃO:

Dado o elevado valor de tensão utilizado no experimento, não será realizado um experimento real, mas sim uma simulação do referido circuito, incluindo-se as fontes (três, uma para cada fase), com os valores  $V_{AN} = 100 \text{ sen}(2\pi 60t)$ ,  $V_{BN} = 100 \text{ sen}(2\pi 60t + 120^\circ)$  e  $V_{CN} = 100 \text{ sen}(2\pi 60t + 240^\circ)$  e as resistências e indutâncias mostradas nas figuras.

O simulador a ser utilizado é o QUCS, disponível livremente na internet para sistemas Windows ou Linux (favor baixar a partir do link <https://sourceforge.net/projects/qucs/files/qucs-binary/0.0.19/qucs-0.0.19-win32-mingw482-asco-freehdl-adms.zip/download> e instalar em sua máquina).