

MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ATIVA EM CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Relatório 03 de ELT 229

Barcelos C.O.¹, Batista, H.O.B.², Alves, W.F.O.³
Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil

Laboratório de Polifásicos, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

E-mails: celso.barcelos@ufv.br¹, hiago.batista@ufv.br², werikson.alves@ufv.br³.

Resumo - Este relatório tem como objetivo analisar as medições de potência ativa em cargas trifásicas. Os métodos mais comuns são o Método dos dois wattímetros e o Método dos três wattímetros. Dito isso, será verificado o comportamento da potência ativa e reativa em diferentes combinações de conexões de cargas trifásicas equilibradas e desequilibradas.

Palavras-chaves - Potência Ativa, Método dos dois Wattímetros.

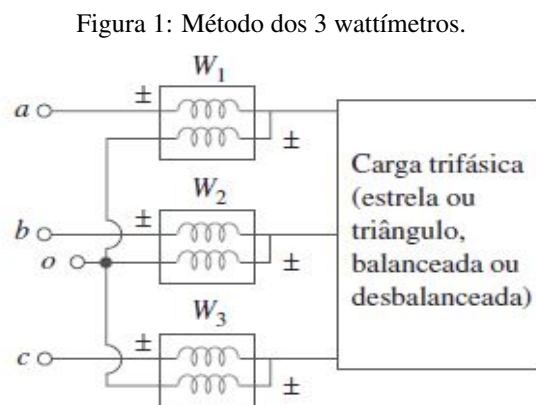
1 Introdução

Antes de tudo, Potência Ativa é definida como a potência que é absorvida pela carga sendo transformada em calor ou em trabalho. Já a Potência Reativa varia cossenoidal-mente no tempo, isso representa que se trata de uma potência que ora é absorvida pela carga, ora é fornecida pela, seu valor médio uma energia que durante um quarto de período, é absorvida pela carga e armazenada no campo magnético ou no campo elétrico ligado ao circuito, e no período seguinte, é devolvida à rede (ROBBA, 2000)

Em um circuito trifásico equilibrado, a potência ativa total pode ser obtida medindo-se a potência correspondente em uma fase e multiplicando-se este valor pelo número de fases. Já para circuitos polifásicos desequilibrados, a potência ativa total pode ser obtida conectando-se um wattímetro em cada fase e somando-se as leituras, essa técnica é conhecida como *Método dos três wattímetros*.

Mais precisamente, o Método dos três wattímetros funcionará independentemente da carga estar equilibrada ou desequilibrada, conectada em Δ ou Y. Logo o Método dos três wattímetros é adequado para medição de potência em um sistema trifásico no qual o fator de potência

(FP) varia constantemente. A potência média total é a soma das leituras dos três wattímetros. A Figura 1 apresenta uma ilustração de como os 3 wattímetros devem ser conectados ao circuito.

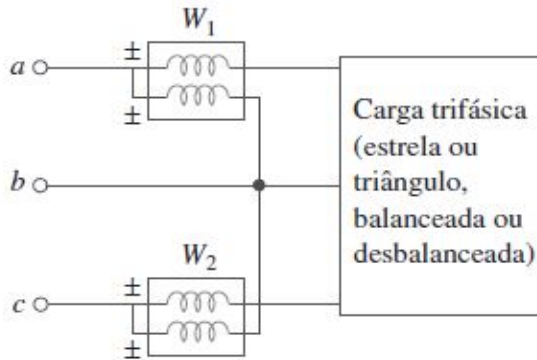


Fonte: Extraída de [3].

Outra maneira de se determinar a potência ativa e/ou reativa é através do *Método dos dois wattímetros*. Onde segundo (SADIKU, 2013), o Método dos dois Wattímetros é de modo geral o mais usado para medições de potências trifásica. Os dois wattímetros devem estar ligados apropriadamente a duas fases quaisquer. Observe na Figura 2 que a bobina de corrente de cada wattímetro mede

a tensão de linha e que o terminal b foi tomado como ponto de referência para medição das potências do circuito.

Figura 2: Método dos 2 wattímetros.



Fonte: Extraída de [3].

Além disso, também vale destacar que o terminal \pm da bobina de tensão está ligado à linha na qual a bobina de corrente correspondente está conectada. Embora os wattímetros individuais não leiam mais a potência absorvida por qualquer fase em particular, a soma algébrica das leituras dos dois wattímetros é igual à potência média total absorvida pela carga, independentemente se ela estiver conectada em estrela ou triângulo, e se estiver equilibrada ou não. Assim, a Potência média total é igual à soma algébrica das leituras dos dois wattímetros. Portanto, as simulações realizadas focarão na medição de potência ativa em circuitos equilibrados e desequilibrados, usando para isso três ou dois wattímetros

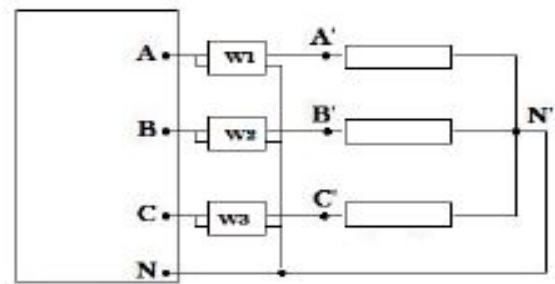
2 Metodologia

Para realização deste relatório, foi necessário o uso dos seguintes componentes;

- Painel Trifásico (Tensão de linha 220 V);
- Quatro Resistores 100 Ω / 500 W;
- 3 capacitores de 25 μF ;
- Multímetros.

Dado o circuito abaixo, inicialmente as simulações foram realizadas tendo o mesmo como base de análise.

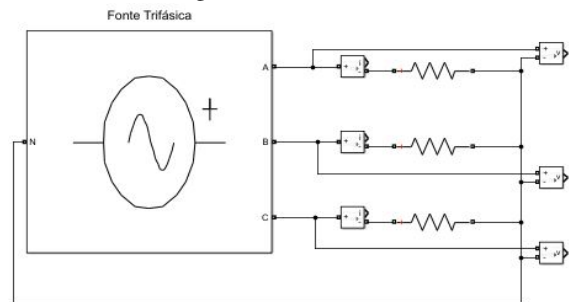
Figura 3: Circuito simulado.



Fonte: Extraída de [1]

Foi conectado uma carga em Y equilibrada utilizando quatro fios onde cada fase possui um resistor como carga e os wattímetros foram conectados nas fases A, B e C de acordo com o Método dos três wattímetros. Em seguida, realizou-se as medições de potência de cada fase. A Figura 4 ilustra o circuito correspondente para esta simulação.

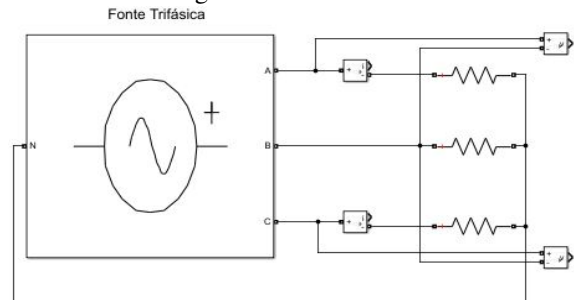
Figura 4: Circuito 2.1.



Fonte: Próprio autor.

Mantendo o circuito anterior, foi medido a potência trifásica total pelo Método dos dois Wattímetros com ponto em comum na fase b.

Figura 5: Circuito 2.2.

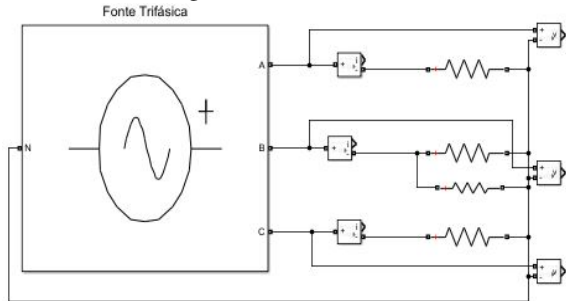


Fonte: Próprio autor.

Após a inclusão de mais um resistor, conectado em paralelo com o resistor existente na fase b do circuito,

com o intuito de desequilibrar o circuito, realizou-se novamente as medidas de potência por fase pelo Método dos 3 wattímetros.

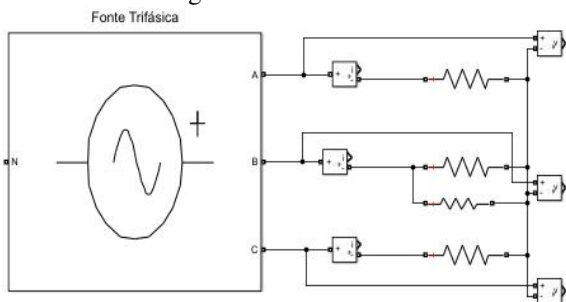
Figura 6: Circuito 2.3.



Fonte: Próprio autor.

Após desconectar o neutro do circuito da Figura 6, realizou-se as medições de potências em que, uma das pontas de cada wattímetro foi conectada no ponto N'. Vide Figura 7.

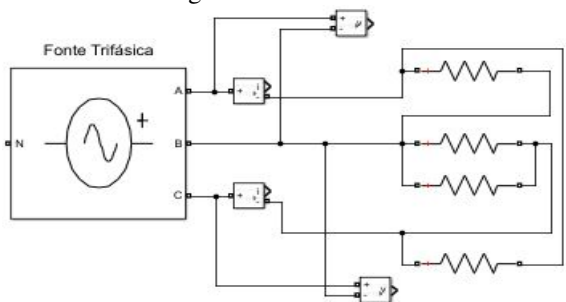
Figura 7: Circuito 2.4.



Fonte: Próprio autor.

Tendo conectado uma carga em Δ com um resistor de $100\ \Omega$ entre A e B, e entre C e A. Entre B e C conectou-se 2 resistores de $100\ \Omega$ em paralelo. Aplicou-se o Método dos dois wattímetros com a fase b como ponto comum para medirmos a potência trifásica total.

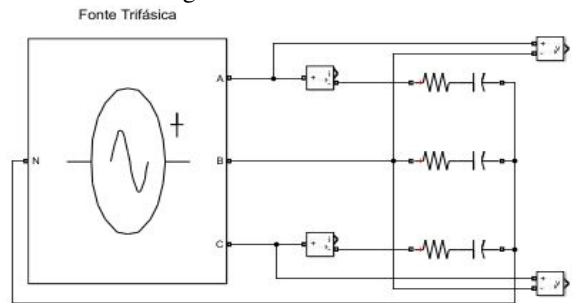
Figura 8: Circuito 2.5.



Fonte: Próprio autor.

No circuito da Figura 9, foi utilizado 2 wattímetros conectados de tal forma que a fase b foi tomada como ponto comum. Assim, com os valores das leituras dos 2 wattímetros, calculou-se o valor da potência reativa total por meio dessas leituras.

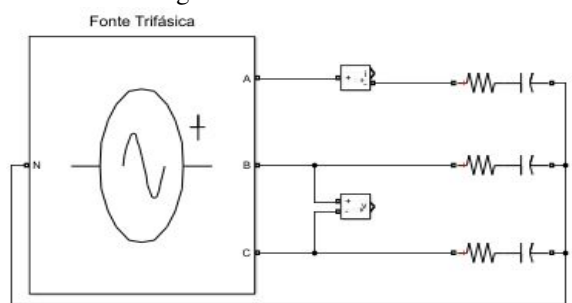
Figura 9: Circuito 2.6.1.



Fonte: Próprio autor.

Através da aplicação de apenas 1 wattímetro, onde a bobina de potencial foi conectada entre as fases b e c e a bobina de corrente na fase a, o circuito correspondente pode ser visto na Figura 10. Por meio deste, foi calculada a potência reativa total.

Figura 10: Circuito 2.6.2.



Fonte: Próprio autor.

3 Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas simulações dos circuitos apresentados anteriormente,

Tabela 1: Valores simulados.

| | P_{w1} | P_{w2} | P_{w3} |
|--------------|------------|----------|----------|
| 2.1 | 161,3 | 161,3 | 161,3 |
| 2.2 | 242 | - | 242 |
| 2.3 | 161,3 | 322,7 | 161,3 |
| 2.4 | 211,7 | 181,5 | 211,8 |
| 2.5 | 726 | - | 1210 |
| 2.6.1 | 183,6 | - | 44,1 |
| 2.6.1 | -241,6 VAR | | |
| 2.6.2 | -139,5 | - | - |
| 2.6.2 | -241,6 VAR | | |

Enquanto que a Tabela 2 é referente aos resultados medidos nas práticas realizadas em laboratório. Note que para o circuito 2.6.2, o resultado obtido para a potência ativa é negativo, tanto que durante a leitura no laboratório, observou-se a agulha do wattímetro analógico ser atraída para o sentido contrário ao da escala do aparelho, ou seja, tendeu para o lado esquerdo. Para corrigir esse efeito, é necessário inverter a conexão de uma das bobinas do wattímetro, seja a de potencial ou a de corrente, para fazer a leitura correta, mas atentando-se de anotar esse resultado como um valor negativo. O caso descrito acima é justificado pelo fato de que devido a carga ser capacitiva, temos um fator de potência adiantado, logo quando temos que o ângulo de fase da carga $\phi < -60^\circ$, a leitura da potência ativa será negativa, assim como fora confirmado.

Tabela 2: Valores medidos.

| | P_{w1} | P_{w2} | P_{w3} |
|--------------|------------|----------|----------|
| 2.1 | 160 | 150 | 160 |
| 2.2 | 240 | - | 250 |
| 2.3 | 160 | 310 | 160 |
| 2.4 | 210 | 190 | 210 |
| 2.5 | 720 | - | 1200 |
| 2.6.1 | 190 | - | 50 |
| 2.6.1 | -242,5 VAR | | |
| 2.6.2 | -140 | - | - |
| 2.6.2 | -242,5 VAR | | |

Desta forma, de posse desses resultados, construiu-se a Tabela 3 para análise comparativa entre os valores teóricos (simulados) adotados como nossa referência, e os valores práticos (medidos em laboratório). Perceba que os valores negativos em alguns casos, é devido ao fato de

que os resultados medidos em laboratório são menores que os valores de referência (simulados/teóricos).

Tabela 3: Erro percentual (%)

| | P_{w1} | P_{w2} | P_{w3} |
|--------------|----------|----------|----------|
| 2.1 | -0,81 | -7,01 | -0,81 |
| 2.2 | -0,83 | - | 3,31 |
| 2.3 | -0,81 | -3,94 | -0,81 |
| 2.4 | -0,80 | 4,68 | -0,85 |
| 2.5 | -0,83 | - | -0,83 |
| 2.6.1 | 3,49 | - | 13,35 |
| 2.6.1 | 0,37 | | |
| 2.6.2 | 0,36 | - | - |
| 2.6.2 | 0,37 | | |

4 Conclusão

Percebe-se, portanto, que medir cada uma das potências individuais, ou aplicar o método dos dois wattímetros, ambas as técnicas nos levam aos mesmos resultados. Além disso, também conseguimos verificar que podemos calcular a potência reativa a partir da potência ativa, usando o método dos dois wattímetros. Também pôde ser comprovado, que utilizando apenas um wattímetro é possível encontrar a potência reativa dividida por um fator de $\sqrt{3}$.

Ademais, também foi calculado os erros relativos das medições de potência ativa, apresentados na Tabela 3. Como observado, foi obtido apenas um erro mais expressivo de 13,35 %, uma explicação plausível é devida aos parâmetros construtivos dos componentes, pois eles possuem uma tolerância de erro em relação às suas grandezas nominais, por isso observamos pequenas variações entre os valores esperados (simulados) e os medidos. Além disso, deve-se ressaltar que os wattímetros utilizados nas medições são analógicos, o que consequentemente pode acarretar erros sistemáticos durante a realização das leituras já que o **valor da divisão** do aparelho (diferença entre os valores correspondentes a duas referências consecutivas da escala) é de 20 W, logo algumas medições precisaram ser estimadas.

Em suma, podemos concluir também que as simulações computacionais são capazes de representar experimentos laboratoriais com uma precisão satisfatória. Dessa forma, esta técnica torna-se muito viável quando se deseja determinar os parâmetros e grandezas em ex-

perimentos, mas não se detêm dos componentes físicos necessários.

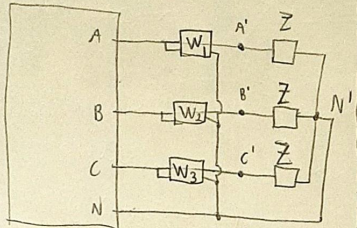
Referências

- [1] PRATES M. O. *PRÁTICA 04 – Simulação para análise da influência do fator de potência na medição de potência ativa em circuitos trifásicos*. 2020.
- [2] Carlos César Barioni OLIVEIRA, Hernán Pietro SCHMIDT, Nelson KAGAN, and Ernesto João ROBBA. Introdução a sistemas elétricos de potência—componentes simétricas. *São Paulo: Editora Blucher*, 2000.
- [3] ALEXANDER Charles K SADIKU, Matthew NO. and Sadiku. *Fundamentos de circuitos elétricos*. AMGH Editora, 2013.

Anexos

Seguem em anexo os cálculos teóricos empregados para determinação das grandezas elétricas desejadas.

Relatório 3 - Elt 209



(*)

$$\begin{aligned} V_{AN} &= 127 \angle 0^\circ \text{ V} & V_{AB} &= 220 \angle 30^\circ \text{ V} \\ V_{BN} &= 127 \angle -120^\circ \text{ V} & V_{BC} &= 220 \angle -90^\circ \text{ V} \\ V_{CN} &= 127 \angle 120^\circ \text{ V} & V_{CA} &= 220 \angle 150^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$Z = 100 \Omega$$

$$Z_n = 0 \rightarrow V_{nn'} = 0 \text{ V}$$

$$I_A = \frac{V_{AN} + V_{nn'}}{Z} = 1.27 \angle 0^\circ \text{ A}; I_B = 1.27 \angle -120^\circ \text{ A}; I_C = 1.27 \angle 120^\circ \text{ A}$$

$$P_A = V_{AN} \cdot I_A = 161.29 \angle 0^\circ \text{ W}; P_B = 161.29 \angle 120^\circ \text{ W}; P_C = 161.29 \angle -120^\circ \text{ W}$$

$$(3.2) P_A = V_{AB} \cdot I_A \cos(30^\circ) = 241.97 \text{ W}$$

$$P_C = V_{BC} \cdot I_C \cos(30^\circ) = 241.97 \text{ W}$$

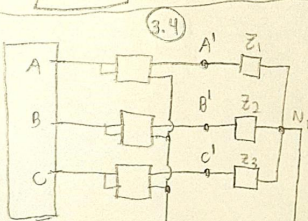
* Utilizando os valores de corrente do item 3.1.

$$Z_1 = Z_3 = 100 \Omega \text{ e } Z_2 = 50 \Omega; Z_n = 0 \rightarrow V_{nn'} = 0 \text{ V}$$

(*) Utilizando os mesmos valores de entrada de tensão.

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A} = 1.27 \angle 0^\circ \text{ A}; I_B = 2.54 \angle -120^\circ \text{ A}; I_C = 1.27 \angle 120^\circ \text{ A}$$

$$P_A = V_{AN} I_A = 161.29 \angle 0^\circ \text{ W}; P_B = 322.58 \angle 120^\circ \text{ W}; P_C = 161.29 \angle -120^\circ \text{ W}$$



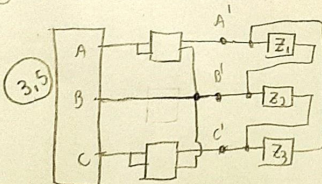
(*)

$$Z_1 = Z_3 = 100 \Omega; Z_2 = 50 \Omega; Z_n = \infty \Omega$$

$$V_{nn'} = - \frac{1.27 \angle 0^\circ + 2.54 \angle -120^\circ + 1.27 \angle 120^\circ}{0.01 + 0.02 + 0.01 + 0} = 31.75 \angle 60^\circ \text{ V}$$

$$I_A = \frac{V_{AN} + V_{nn'}}{Z_A} = 1.45 \angle 10.89^\circ \text{ A}; I_B = 1.90 \angle -120^\circ \text{ A}; I_C = 1.45 \angle 109.11^\circ \text{ A}$$

$$P_A = V_{AN} I_A = 211.69 \angle 21.79^\circ \text{ W}; P_B = 181.45 \angle 120^\circ \text{ W}; P_C = 211.69 \angle -141.79^\circ \text{ W}$$



(3.5)

$$Z_1 = Z_3 = 100 \Omega; Z_2 = 50 \Omega$$

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_A} = 2.2 \angle 0^\circ \text{ A}; I_{BC} = 4.4 \angle -120^\circ \text{ A}; I_{CA} = 2.2 \angle 120^\circ \text{ A}$$

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = 3.81 \angle -30^\circ \text{ A}; I_B = 5.82 \angle -139.11^\circ \text{ A}; I_C = 5.82 \angle 79.11^\circ \text{ A}$$

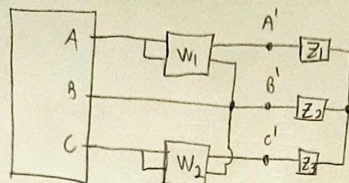
$$P_A = V_{AB} \cdot I_A \cos(\varphi) = 726 \text{ W}; P_C = 1209.98 \text{ W}$$

$$V_{AB} = V_{AN} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$V_{BC} = V_{BN} = 220 \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$V_{CA} = V_{CN} = 220 \angle 120^\circ \text{ V}$$

3.6.1



$$Z_1 = 100 + j106.10 \angle -90^\circ \Rightarrow Z_1 = Z_2 = Z_3 = 145.80 \angle -46.7^\circ \Omega$$

(*** Condição equilibrada e simétrica $\Rightarrow V_{NN'} = 0V$

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A} = 0.87 \angle 46.7^\circ A; I_B = 0.87 \angle -73.3^\circ A; I_C = 0.87 \angle 166.7^\circ A$$

$$V_{AN} = 127 \angle 0^\circ [V] \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{AB} = 220 \angle 30^\circ [V] \\ V_{BN} = 127 \angle -120^\circ [V] \\ V_{CN} = 127 \angle 120^\circ [V] \end{array} \right.$$

$$V_{AB} = 220 \angle 30^\circ [V] \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{BC} = 220 \angle -90^\circ [V] \\ V_{CA} = 220 \angle 150^\circ [V] \end{array} \right.$$

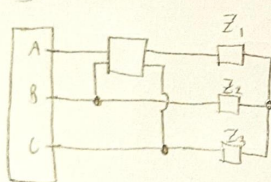
$$V_{CN} = 127 \angle 120^\circ [V] \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{AB} = 220 \angle 30^\circ [V] \\ V_{BC} = 220 \angle -90^\circ [V] \\ V_{CA} = 220 \angle 150^\circ [V] \end{array} \right.$$

$$P_A = V_{AB} I_A \cos \varphi = 183.55 W //$$

$$P_C = V_{BC} I_C \cos \varphi = 44.08 W //$$

$$Q = \sqrt{3} (P_C - P_A) = -241.57 VAR //$$

3.6.2



$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 145.8 \angle -46.7^\circ ; (***) \Rightarrow V_{NN'} = 0V$$

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A} = 0.87 \angle 46.7^\circ A$$

$$P = V_{BC} I_A^* = 191.63 \angle -136.7^\circ = -139.46 W$$

$$Q = \sqrt{3} P = -241.56 VAR //$$