

INFLUÊNCIA DO FATOR DE POTÊNCIA NA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ATIVA EM CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Relatório 04 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 por objetivo analisar a influência do fator de potência na medição de potência ativa e reativa em circuitos trifásicos utilizando wattímetros analógicos. Resultados simulados e calculados serão levantados para comparação com resultados práticos. Os erros relativos serão levantados para devida validação teórica.

Palavras-Chave - Cargas trifásicas, Potência trifásica, Medição de Potência Ativa e Reativa .

Introdução

Nos circuitos trifásicos equilibrados, a potência ativa total pode ser obtida através da medição das potências em cada fase individualmente e multiplicando este resultado pelo número de fases. Entretanto, para circuitos desequilibrados, geralmente a obtenção da potencia ativa total é realizada conectando-se um wattímetro em cada fase e somando-se as leituras obtidas.

Na simulação, a medição costuma ser feita com base no Teorema de *Blondel*, no qual, para um circuito de n fases são necessários $n - 1$ wattímetros. Por meio deste teorema, é possível medir tanto a potência ativa quanto a reativa. No caso da potência ativa, basta somar a leitura dos dois wattímetros. Para a leitura de potência reativa em circuitos desequilibrados, basta multiplicar por $\sqrt{3}$ a diferença das leituras.

Com isso, é possível, determinar o fator de potência do circuito, por meio do triangulo de potência, já que são conhecidas as potências ativas e reativas. Porém, deve-se atentar para o fato de que quando o Fator de Potência (FP) for menor do que 0,5, ou seja, $FP < 0,5$, uma das leituras será negativa, necessitando assim inverter uma das

bobinas (de potencial ou de corrente) do wattímetro, caso este seja analógico.

Portanto, o foco de estudo deste documento, consiste em analisar a dependência do fator de potência com relação a capacitância equivalente de um circuito trifásico.

Metodologia

Como pode ser observado em [2], temos a seguinte relação para as potências ativa e reativa quando aplicamos o Método dos dois wattímetros em um circuito trifásico. Seja a potência ativa trifásica dada pela Equação 1,

$$P_{3\phi} = W_1 + W_2 \quad (1)$$

Já a potência reativa trifásica é dada pela Equação 2,

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}(W_1 - W_2) \quad (2)$$

Podemos observar em (ROBBA, 2000, p.90) que quando os resultados das potências ativas e reativas são conhecidos, temos a seguinte relação desses parâmetros

com o ângulo ϕ ,

$$\tan(\phi) = \frac{Q_{3\phi}}{P_{3\phi}} \quad (3)$$

Dessa forma, conhecendo a tangente do ângulo ϕ , é possível determinar o mesmo aplicando a relação inversa, assim como na seguinte expressão,

$$\phi = \tan^{-1}(\phi) \quad (4)$$

Enquanto o Fator de Potência é obtido por,

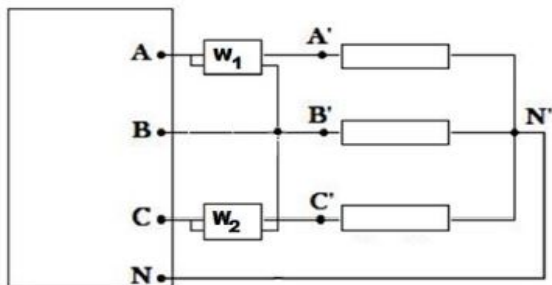
$$FP = \cos(\phi) \quad (5)$$

Para realização das simulações, foi se necessário a utilização dos seguintes componentes,

- Painel Trifásico (Tensão de linha 220V);
- Três Resistores (100 Ω /500 W);
- Dois Wattímetros;
- Nove capacitores de 22 μ F.

Como apresentado na Figura 1, as simulações realizadas tomaram esta configuração como base, onde para cada uma, foi realizado uma recombinação das impedâncias por fase conectadas à fonte trifásica. Além disso, ressalta-se que em todas as simulações, foi adotado o ponto em comum na fase b para aplicação do Método dos dois wattímetros.

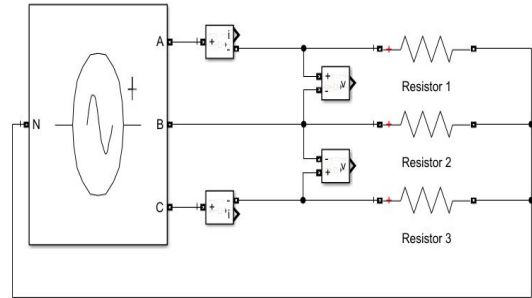
Figura 1: Circuito Simulado.



Fonte: Extraída de [1]

No circuito da Figura 2, foi conectada em cada fase uma resistência e foi medido a potência ativa utilizando o Método dos dois wattímetros.

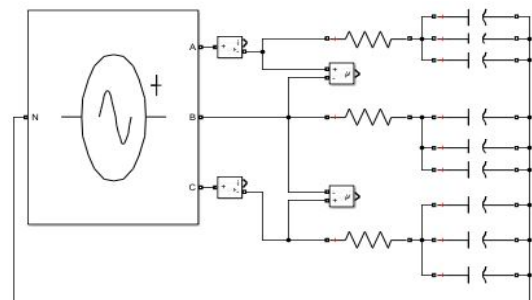
Figura 2: Carga Resistiva



Fonte: Próprio autor.

No circuito da Figura 3, foi conectada em cada fase uma resistência em série com três capacitores em paralelo, e foi medido a potência ativa utilizando o Método dos dois wattímetros.

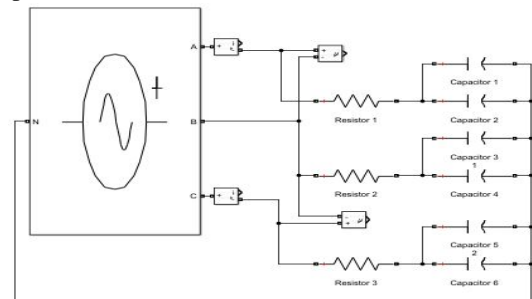
Figura 3: Carga resistiva em série com três capacitores em paralelo.



Fonte: Próprio autor.

Dado o circuito da Figura 4, foi conectada em cada fase, uma resistência em série com dois capacitores em paralelo, e foi medido a potência ativa utilizando o Método dos dois wattímetros.

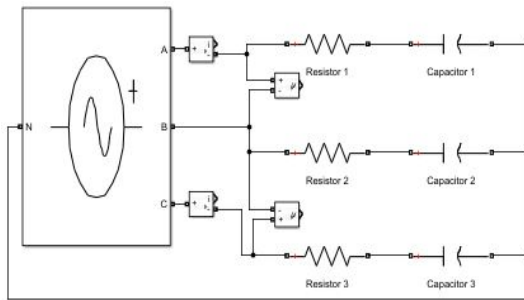
Figura 4: Carga resistiva em série com dois capacitores em paralelo.



Fonte: Próprio autor.

O circuito da Figura 5 é semelhante aos circuitos anteriores, porém foi utilizado apenas um capacitor em série com a resistência para cada uma das três fases.

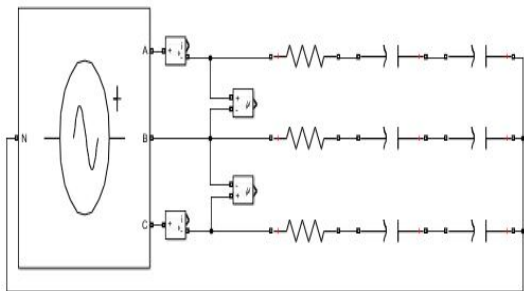
Figura 5: Carga resistiva em série com um capacitor.



Fonte: Próprio autor.

Após conectada em cada fase, uma resistência em série com dois capacitores também em série, mediu-se a potência ativa. Vide Figura 6.

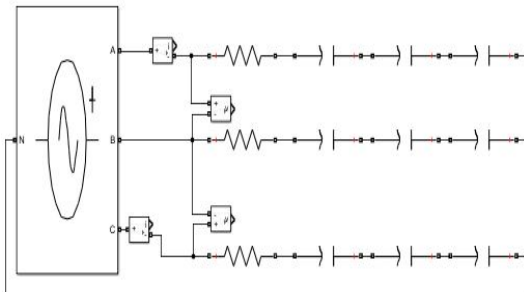
Figura 6: Carga resistiva em série com dois capacitores.



Fonte: Próprio autor.

Inserindo mais um capacitor em série no circuito anterior, resultando em uma resistência em série com três capacitores também em série, foi medida a potência ativa. O circuito completo é apresentado na Figura 7.

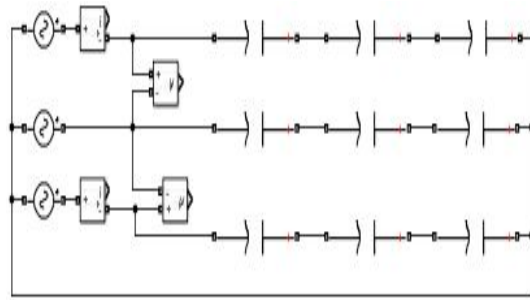
Figura 7: Carga resistiva em série com três capacitores.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, como pode ser visto na Figura 8, temos um circuito com três capacitores conectados em série com cada uma das fases. As potências ativas e reativas foram calculadas pelo Método dos dois wattímetros,

Figura 8: Carga capacitiva três capacitores.



Fonte: Próprio autor.

Atente-se que ao longo da apresentação dos circuitos usados nas simulações, o fator de potência em cada caso, foi se tornando cada vez menor.

Resultados

A Tabela 1 a seguir contém os resultados coletados nas simulações dos experimentos práticos,

Tabela 1: Resultados obtidos nos ensaios em laboratório.

	Medido		Calculado			
	P_{w1}	P_{w2}	$P_{3\Phi}$	$Q_{3\Phi}$	$\cos \theta$	θ
R	240	240	480	0	1	0°
R+3C	260	170	430	-155,8	0,940	$-19,92^\circ$
R+2C	240	130	370	-190,5	0,889	$-27,24^\circ$
R+C	180	30	210	-259,8	0,629	$-51,05^\circ$
R+C/2	90	-10	80	-173,2	0,419	$-65,20^\circ$
R+C/3	60	-10	50	-121,2	0,381	$-67,58^\circ$
C/3	40	-40	0	-138,5	0	-90°

Tabela 2: Resultados Teóricos.

	Simulado		Calculado			
	P_{w1}	P_{w2}	$P_{3\Phi}$	$Q_{3\Phi}$	$\cos \theta$	θ
R	242	242	484	0	1	0°
R+3C	256,7	160	416,7	-167,4	0,928	$-21,89^\circ$
R+2C	239,3	115,7	355	-214	0,856	$-31,09^\circ$
R+C	167,3	30,0	197,3	-237,8	0,638	$-50,32^\circ$
R+C/2	85,0	-13,9	71,0	-171,2	0,383	$-67,47^\circ$
R+C/3	53,1	-18,7	34,4	-124,3	0,266	$-74,54^\circ$
C/3	38,6	-38,6	0	-133,7	0	-90°

A Tabela 2 apresenta os valores encontrados por meio das simulações realizadas. Em cada caso, esses valores coletados foram utilizados para determinação das potências trifásicas ativa e reativa por meio das Equações 1 e 2.

De posse desses valores, encontramos o ângulo de fase ϕ e consequentemente o fator de potência ($\cos(\phi)$) através das Equações 4 e 5, respectivamente.

Tabela 3: Erros relativos

	Erro %	
	P_{w1}	P_{w2}
R	-0,83	-0,83
R+3C	1,28	6,25
R+2C	0,29	12,36
R+C	7,59	0,00
R+C/2	5,88	-28,06
R+C/3	12,99	-46,52
C/3	3,63	3,63

Conclusão

Foi constatado que para o circuito trifásico com carga RC, quanto menor era sua capacitância equivalente, menor é o fator de potência registrado, pois o ângulo θ tende a -90° . Observou-se também, que o fator de potência é diretamente proporcional a potência ativa, que por sua vez, também é diretamente proporcional a capacitância. Ademais, é importante ressaltar que para medições em que o fator de potência foi menor que 0,5, as leituras em um dos wattímetros apresentaram resultados negativos.

Além disso, dados os erros relativos, o valor mais expressivo de $-46,52\%$ pode ser explicado devido as variações de resistência e capacitância devido a suas tolerâncias, e somado a isto, ainda temos a escolha do instrumento de medição, neste caso, o wattímetro analógico. Os wattímetros utilizados possuem uma resolução de 10 W, isso acarreta em uma medição relativamente imprecisa, ou seja, com uma certa margem de erro, além de possíveis erros devido a paralaxe. Dessa forma, vale pontuar que atualmente existem aparelhos mais adequados para esta finalidade, como por exemplo os Analisadores de Qualidade de Energia, que são capazes de realizar leituras com maior exatidão.

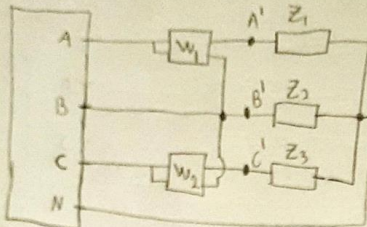
Referências

- [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.

Anexo

Problema 04 - Ekt 229



$$\begin{aligned} V_{AN} &= 127 \angle 0^\circ \text{ V} & V_{AB} &= 220 \angle 30^\circ \text{ V} \\ V_{BN} &= 127 \angle -120^\circ \text{ V} & V_{BC} &= 220 \angle -90^\circ \text{ V} \\ V_{CN} &= 127 \angle 120^\circ \text{ V} & V_{CA} &= 220 \angle 150^\circ \text{ V} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{nnn} = 0 \text{ V} \\ Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z \end{array} \right.$$

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A}$$

[R] $Z = R = 100 \Omega$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{3\phi} = P_{w1} + P_{w2} \\ Q = \sqrt{3}(P_{w2} - P_{w1}) \\ \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \theta = \arctan \left(\frac{Q}{P} \right) \end{array} \right.$$

$$P_{w1} = V_{AB} \cdot \left(\frac{V_{AN}}{Z} \right) \cos \theta_1 = 220 \times \frac{127}{100} \cos(30^\circ - 0^\circ) = 241.97 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{3\phi} = 483.93 \text{ W} \end{array} \right.$$

$$P_{w2} = V_{CB} \cdot \frac{V_{CN}}{Z} \cos \theta_2 = 220 \times \frac{127}{100} \cos(90^\circ - 120^\circ) = 241.97 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{3\phi} = 0 \text{ VAR} \end{array} \right.$$

$$\cos \theta = 1 \Rightarrow \theta = 0^\circ$$

[R+3C] $Z = R + \left[\frac{1}{x_c} + \frac{1}{x_c} + \frac{1}{x_c} \right]^{-1} = 107.77 \angle -21.90^\circ \Omega$

$$P_{w1} = 220 \times \left(\frac{127}{107.77} \right) \cos(30^\circ - 21.9^\circ) = 316.66 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{3\phi} = 416.64 \text{ W} \end{array} \right.$$

$$P_{w2} = 220 \times \left(\frac{127}{107.77} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ + 21.9^\circ) = 159.98 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{3\phi} = -167.45 \text{ VAR} \end{array} \right.$$

$$\cos \theta = 0.93 \Rightarrow \theta = 21.90^\circ$$

[R+2C] $Z = R + \frac{x_c}{2} = 116.77 \angle -31.08^\circ \Omega$

$$P_{w1} = 220 \angle 30^\circ \cdot \frac{127 \angle 0^\circ}{116.77 \angle -31.08^\circ} = 239.24 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{3\phi} = 354.94 \text{ W} \\ \cos \theta = 0.86 \end{array} \right.$$

$$P_{w2} = 220 \cdot \left(\frac{127}{116.77} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ - 31.08^\circ) = 115.70 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{3\phi} = -213.98 \text{ VAR} \\ \theta = 31.08^\circ \end{array} \right.$$

[R+C] $Z = R + x_c = 156.64 \angle -50.33^\circ \Omega$

$$P_{w1} = 220 \left(\frac{127}{156.64} \right) \cos(30^\circ - 50.33^\circ) = 167.20 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{3\phi} = 197.22 \text{ W} \\ \cos \theta = 0.64 \end{array} \right.$$

$$P_{w2} = 220 \left(\frac{127}{156.64} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ - 50.33^\circ) = 29.97 \text{ W} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{3\phi} = -237.79 \text{ VAR} \\ \theta = 50.33^\circ \end{array} \right.$$

$$\boxed{R + C/2} \Rightarrow Z = R + 2X_C = 261.06 \angle -67.48^\circ \Omega$$

$$\left. \begin{aligned} P_{W_1} &= 220 \left(\frac{127}{261.06} \right) \cos(30^\circ - 67.48^\circ) = 84.94 \text{ W} \\ P_{W_2} &= 220 \left(\frac{127}{261.06} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ - 67.48^\circ) = -13.93 \text{ W} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P_{3\phi} &= 71.01 \text{ W} \\ Q_{3\phi} &= -171.24 \text{ VAR} \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} \cos\theta &= 0.38 \\ \theta &= 67.48^\circ \end{aligned} \right.$$

$$\boxed{R + C/3} \Rightarrow Z = R + 3X_C = 375.28 \angle -74.55^\circ \Omega$$

$$\left. \begin{aligned} P_{W_1} &= 220 \left(\frac{127}{375.28} \right) \cos(30^\circ - 74.55^\circ) = 53.06 \text{ W} \\ P_{W_2} &= 220 \left(\frac{127}{375.28} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ - 74.55^\circ) = -18.7 \text{ W} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P_{3\phi} &= 34.36 \text{ W} \\ Q_{3\phi} &= -124.29 \text{ VAR} \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} \cos\theta &= 0.27 \\ \theta &= 74.55^\circ \end{aligned} \right.$$

$$\boxed{C/3} \Rightarrow Z = 3X_C = 361.72 \angle -90^\circ \Omega$$

$$\left. \begin{aligned} P_{W_1} &= 220 \left(\frac{127}{361.72} \right) \cos(30^\circ - 90^\circ) = 38.62 \text{ W} \\ P_{W_2} &= 220 \left(\frac{127}{361.72} \right) \cos(90^\circ - 120^\circ - 90^\circ) = -38.62 \text{ W} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P_{3\phi} &= 0 \text{ W} \\ Q_{3\phi} &= -133.79 \text{ VAR} \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} \cos\theta &= 0 \\ \theta &= 90^\circ \end{aligned} \right.$$