

REVISÃO ACERCA DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA EMPREGADOS EM MEDIDORES ELETRÔNICOS¹

**Lorenzo Ratzlaff Hermann², Nathaly Priscila Müller³, Luís Fernando Sauthier⁴,
Maurício de Campos⁵, Paulo Sérgio Sausen⁶**

¹ Pesquisa institucional desenvolvida no Espaço Mais Inovação, pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) e financiada pela CEEE/Equatorial Energia.

² Bolsista PROFAP, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, lorenzo.hermann@sou.unijui.edu.br.

³ Bolsista PROFAP, aluna do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, nathaly.muller@sou.unijui.edu.br.

⁴ Professor Mestre no curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, luis.sauthier@unijui.edu.br.

⁵ Professor Doutor no curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, campos@unijui.edu.br.

⁶ Professor Doutor no curso de Ciência da computação da Unijuí, sausen@unijui.edu.br.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento expressivo da demanda por eletricidade e a popularização da geração distribuída resultou na redução da confiabilidade e no aumento das perdas elétricas nos atuais sistemas de potência, bem como o surgimento de um fluxo bidirecional de energia (LAMIN, 2013). Nesse contexto, as redes elétricas inteligentes (REI) visam otimizar todo o sistema já existente, promovendo maior eficiência, confiabilidade, qualidade energética e integração com novas tecnologias (VASCONCELOS, 2016).

Tais redes são caracterizadas pelo uso de sensores e tecnologias de automação e telecomunicações, permitindo a implementação de estratégias de controle e otimização mais eficientes (FRACARI; SANTOS; SANCHEZ, 2015). Um dos pilares das REIs são os medidores inteligentes, os quais consistem em medidores eletrônicos de energia com diversas funcionalidades, dentre as quais pode-se destacar um fluxo bidirecional de dados, em tempo real, entre consumidores e concessionárias (ZHENG; GAO; LIN, 2013).

No que tange a operação de tais equipamentos, os medidores eletrônicos empregam microprocessadores e outros circuitos integrados para realizar a aferição das grandezas elétricas pertinentes, de forma digital. Além disso, devido à ausência de uma legislação sólida, esses medidores são projetados e validados somente para condições puramente senoidais, fazendo com que as medições apresentem divergências significativas quando modelos de diferentes fabricantes são submetidos a formas de onda distorcidas (SUHETT et al., 2009).

Nesse contexto, considerando que os níveis de distorção harmônica na rede têm aumentado consideravelmente devido a propagação de cargas não lineares, as variações supracitadas constituem um problema relevante (SUHETT, 2008). Uma das grandezas com

maior complexidade na aferição é a potência reativa, visto que ela não apresenta um conceito bem definido na presença de formas de onda distorcidas e, conseqüentemente, não possui uma metodologia de cálculo padronizada (SUHETT, 2008).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca dos principais métodos empregados pelos fabricantes para o cálculo da potência reativa em medidores eletrônicos.

METODOLOGIA

O referido trabalho consiste em uma pesquisa de caráter exploratório. A metodologia utilizada baseia-se na revisão bibliográfica de artigos, monografias, dissertações e teses visando explorar as principais técnicas aplicadas para mensurar, de forma digital, a demanda de potência reativa em medidores de energia elétrica.

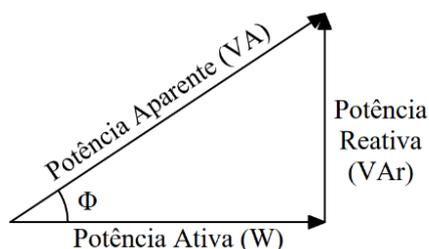
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na atual seção serão discorridos brevemente dois dos métodos mais citados pelos autores na literatura utilizada para o embasamento teórico.

TÉCNICA DO TRIÂNGULO DAS POTÊNCIAS

A técnica do triângulo das potências é a mais simples empregada em medidores de energia eletrônicos. Tal método parte das definições de potência convencionais para sistemas senoidais e, portanto, se baseia na suposição de que as três componentes, aparente (S), ativa (P) e reativa (Q) se relacionam através do triângulo retângulo apresentado na Figura 1 (SUHETT, 2008; MOULIN, 2002).

Figura 1 – Triângulo das potências.



Fonte: Autores, 2023.

Geralmente, os medidores eletrônicos realizam a aquisição das formas de onda com um período de amostragem fixo. Por conseguinte, pode-se calcular os valores eficazes (RMS) de tensão e corrente, a partir de seus valores instantâneos amostrados, conforme a equação abaixo:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N x_n^2}{N}} \quad (1)$$

Onde N é o número total de amostras do período de integração considerado e x é o valor instantâneo na amostra n . A partir da multiplicação dos valores RMS de tensão e corrente, obtém-se a potência aparente. Analogamente, a potência ativa pode ser calculada conforme a seguinte expressão:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N v_n i_n}{N} \quad (2)$$

Nesse contexto, pode-se definir a potência reativa como:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3)$$

Desta forma, visto que a técnica do triângulo das potências foi elaborada para circuitos puramente senoidais, ela apresenta ótimos resultados para sistemas operando em tais condições (MOULIN, 2002). Além disso, outra vantagem deste método é a sua simplicidade matemática, o que demanda pouco esforço computacional do microcontrolador embarcado no *hardware* do medidor.

Por fim, a partir da análise da equação acima, pode-se verificar que as potências aparente e ativa englobam todos os efeitos de distorção harmônica que possam estar presentes na tensão e/ou corrente do circuito. Conseqüentemente, a potência reativa também leva em consideração tais efeitos (MORSI, 2012; SUHETT, 2008).

TÉCNICA DO DESLOCAMENTO DE 90°

Outro método amplamente utilizado para o cálculo da potência reativa consiste em realizar o deslocamento de um dos sinais de entrada, tensão ou corrente, em 90°. Nesse caso, a potência reativa pode ser calculada diretamente, em um sistema discreto, pela seguinte equação:

$$Q = \frac{\sum_{n=1}^N v_{n(90)} i_n}{N} \quad (4)$$

Onde N é o número total de amostras do período de integração considerado e $v_{n(90)}$ e i_n são, respectivamente, os valores instantâneos da tensão defasada em 90° com relação ao sinal original e corrente na amostra n . Apesar da equação (4) ser simples, a dificuldade do método consiste em obter um defasamento de 90° constante para um dos sinais de entrada.



O deslocamento de fase pode ser realizado de diferentes maneiras, tanto analógicas, com amplificadores operacionais, quanto digitais, diretamente no *firmware* do microcontrolador. Dentre as formas analógicas, pode-se citar a implementação de um filtro passa-baixas na etapa de condicionamento de sinal do circuito de aquisição. Caso o filtro seja projetado para uma frequência de corte muito inferior a fundamental, a saída estará defasada em 90° e atenuada em 20dB/década com relação à entrada (GRIGORESCU et al., 2009; MOULIN, 2002).

No que tange os métodos digitais comumente empregados, pode-se citar a Transformada de Hilbert e o deslocamento de amostras. O primeiro consiste em uma transformação linear capaz de gerar um deslocamento de 90° constante em todas as frequências do sinal, sem alterar a magnitude do mesmo. Apesar da transformada em questão ser ideal para tal finalidade, seu algoritmo requer um alto poder de processamento, o que torna sua aplicação muitas vezes inviável em medidores que possuem um *hardware* mais simples (PEREIRA; VILLALVA; RUPPERT, 2016).

O deslocamento de amostras, por sua vez, consiste em atrasar o sinal de entrada em um quarto do período de amostragem. Tal deslocamento é realizado dentro das rotinas implementadas no código do microcontrolador, após a leitura da forma de onda pelos conversores AD.

Embora o método supracitado seja elementar, sua principal desvantagem está associada as possíveis variações na frequência fundamental do sinal, as quais irão resultar num diferente número de amostras a serem deslocadas. Nesse sentido, surge a necessidade da implementação de um algoritmo auxiliar que, num primeiro momento, meça a frequência do sinal de entrada para, posteriormente, realizar o deslocamento dos valores amostrados. Tal rotina resulta em um acréscimo de complexidade computacional, representando um ponto negativo desta técnica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o presente resumo expandido apresentou de forma geral dois dos métodos mais utilizados para a aferição de potência reativa em medidores eletrônicos, explorando suas vantagens e desvantagens. Enquanto o método do triângulo das potências apresenta resultados satisfatórios para sistemas ideais ou com baixos níveis de distorção harmônica, a técnica do



deslocamento de 90° é mais indicada para sistemas substancialmente distorcidos, à custo de maior complexidade computacional.

Palavras-chave: Medidor de Energia. Potência Reativa. Distorção Harmônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRACARI, F.; SANTOS, I. d.; SANCHEZ, G. **Smart grid: uma nova forma de controle de energia elétrica.** Rev. de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia, v. 2, p. 15–22, 2015.

GRIGORESCU, S. D.; CEPISCA, C.; POTIRNICHE, I.; GHITA, O.; COVRIG, M. **Numerical simulations for energy calculation in power measurements.** In: Proceedings of the European Computing Conference (ECC09) and Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Intelligence (CI09). [S.l.: s.n.], 2009. p. 152–158.

LAMIN, H. **Análise de Impacto Regulatório da Implantação de Redes Inteligentes no Brasil.** 322 pág. Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

MORSI, W. **Electronic reactive energy meters' performance evaluation in environment contaminated with power quality disturbances.** Electric power systems research, Elsevier, v. 84, n. 1, p. 201–205, 2012.

MOULIN, E. **Measuring reactive power in energy meters.** Metering international, v. 1, n. 1, p. 52–54, 2002.

PEREIRA, L. S.; VILLALVA, M. G.; RUPPERT, E. **Desenvolvimento de medidor de inteligente de energia elétrica com algoritmo de baixo custo computacional.** VI Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2016.

SUHETT, M. R. **Análise de Técnicas de Medição de Potência Reativa em Medidores Eletrônicos.** 106 pág. Dissertação (Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

SUHETT, M. R.; JR, J. E. R. A.; OLIVEIRA, S. C. G.; WATANABE, E. H. **Medição de potência reativa em sistemas com formas de onda não-senoidais.** VIII CBQEE, Blumenau/SC, 2009.

VASCONCELOS, M. V. L. **Análise de Custo-Benefício da Implantação das Redes Elétricas Inteligentes nas Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica do Brasil.** 103 pág. Dissertação (Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

ZHENG, J.; GAO, D. W.; LIN, L. **Smart meters in smart grid: An overview.** In: IEEE. 2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech). [S.l.], 2013. p. 57–64.