



Obtenha Medições Precisas em Condições Não Senoidais de Sistemas de Energia Modernos

Sri Lakshmi Nalla

© 2018 por Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Todos os direitos reservados.

Todos os nomes de marcas ou produtos que aparecem neste documento são marcas comerciais ou marcas comerciais registradas de seus respectivos proprietários. Nenhuma marca registrada da SEL pode ser usada sem permissão por escrito. Os produtos SEL que aparecem neste documento podem estar cobertos por patentes dos EUA e de outros países. 20180529

Resumo

Os sistemas de energia modernos estão experimentando um crescente número de formas de onda distorcidas causadas por circuitos de chaveamento rápido e elementos não lineares. Essas ondas distorcidas prejudicam a eficiência dos sistemas e equipamentos finais e podem também afetar negativamente a precisão de medições de faturamento. A mais importante função de medidores de faturamento é a medição precisa em todas as condições do sistema, mas nem todos os níveis de faturamento possuem medidores que podem medir com exatidão e precisão todo o espectro de energia consumida em todas as condições.

Alguns medidores podem perder precisão em condições não senoidais se não forem projetados para medir diferentes tipos de formas de onda. Para avaliar o desempenho da precisão de medidores de faturamento para condições de sistemas de energia modernos, formas de onda não senoidais foram adicionadas na mais recente versão da norma do *American National Standards Institute* (Instituto Nacional de Normas Americanas) (ANSI) C12.20, ANSI C12.20-2015. Essa revisão também adicionou a nova classe de exatidão de 0,1, tornando-se o padrão de exatidão mais rigoroso da indústria. Esse artigo discute como o SEL-735 – Medidor de Qualidade e Faturamento de Energia excede os requisitos de testes não senoidais para conformidade com a classe de exatidão ANSI 0,1. Também ilustra que o SEL-735 é altamente qualificado para aplicações de medição de faturamento nas condições desafiadoras dos sistemas de energia atuais.

Introdução

Várias aplicações, como medições em interligações, medição tarifária, verificação da fatura de energia e submedição, requerem medição de energia de alta precisão. Medidores de faturamento qualificados devem contabilizar com precisão o uso e as perdas de energia nas condições mais exigentes do sistema de energia. Isso resulta em cobrança justa e um entendimento exato das perdas do sistema de energia.

Tradicionalmente, os sistemas de energia eram dominados por cargas lineares e geração síncrona de energia. As formas de onda eram quase perfeitamente senoidais com distorção muito pequena. Atualmente, os sistemas de energia alimentam um número crescente de cargas chaveadas e não lineares que causam distorções mensuráveis nas formas de onda. Por exemplo, muitos consumidores estão adotando sistemas de iluminação fluorescente com eficiência energética e LED's, que utilizam fonte de alimentação chaveada. Fontes não convencionais de geração de energia, como parques eólicos, parques solares, células de combustível e baterias, também estão tornando-se mais comuns. Essas fontes não geram sinais senoidais ideais pois usam elementos não lineares para converter energia CC (contínua) para CA (alternada). Medidores que são caracterizados e testados usando ondas senoidais podem não atingir o mesmo nível de exatidão em condições de ondas não senoidais. Portanto, é muito importante entender a precisão de um medidor em condições senoidais e não senoidais para garantir que seja adequado para a aplicação escolhida.

Desafios da Medição de Formas de Onda de Cargas Chaveadas e Não Lineares

Atualmente, a maioria das formas de onda observada pelos medidores são não senoidais devido aos tipos de cargas modernos. Por exemplo, a Figura 1 ilustra uma oscilografia de corrente trifásica associada a um prédio comercial que está equipado com lâmpadas de LED, impressoras, máquinas copiadoras, computadores, sistemas HVAC e outras cargas de impedância não constante.

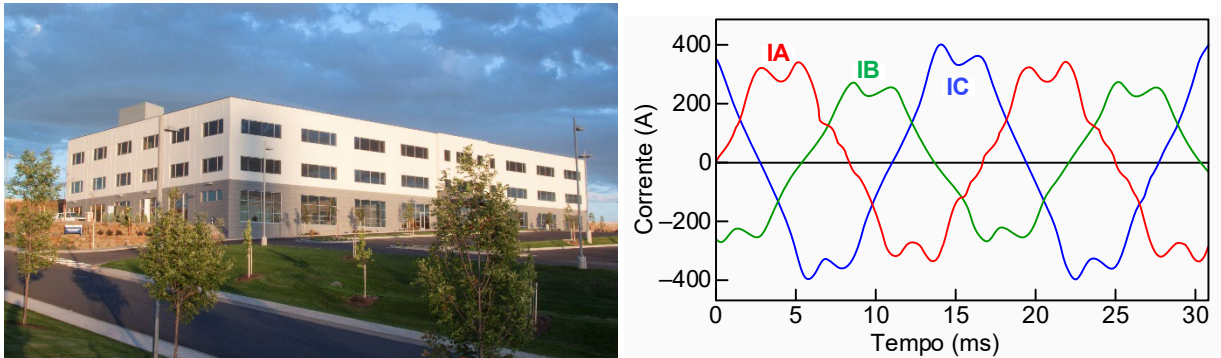


Figura 1 Corrente trifásica de um prédio comercial

As Figuras 2 a 4 demonstram como lâmpadas fluorescentes, carregadores de bateria e inversores de frequência variável causam ondas não senoidais. Pequenas distorções de tensão também resultam de distorções de corrente.

Nota: As Figuras 2 a 4 foram capturadas em tempo real usando o recurso SEL-735 Wave View, que exibe os sinais nos domínios do tempo e da frequência.

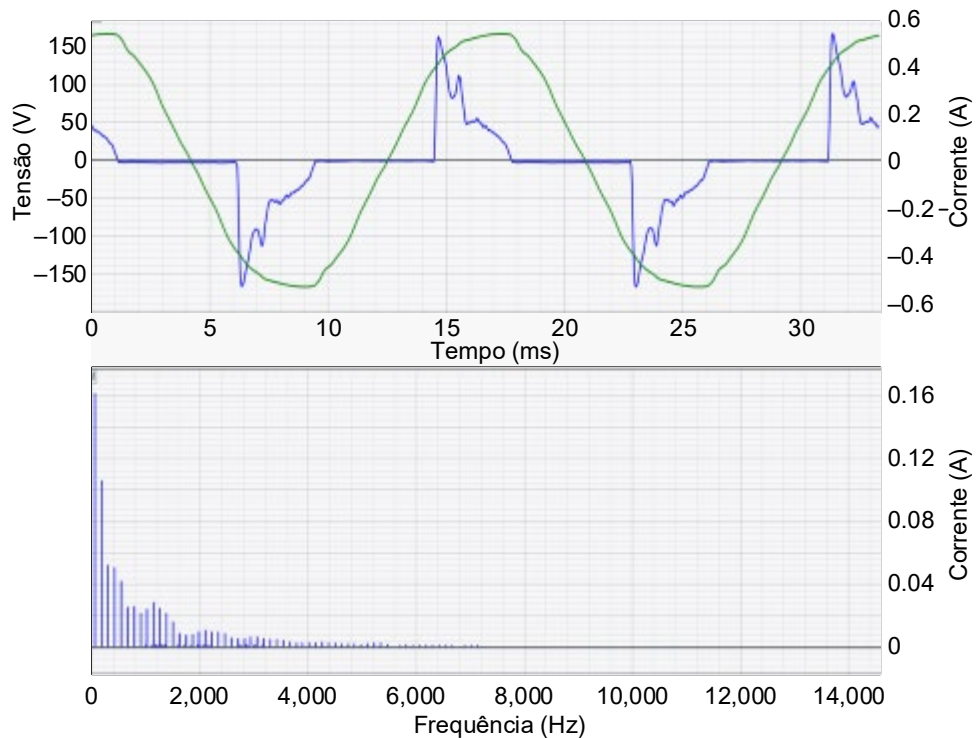


Figura 2 Forma de onda de uma lâmpada fluorescente

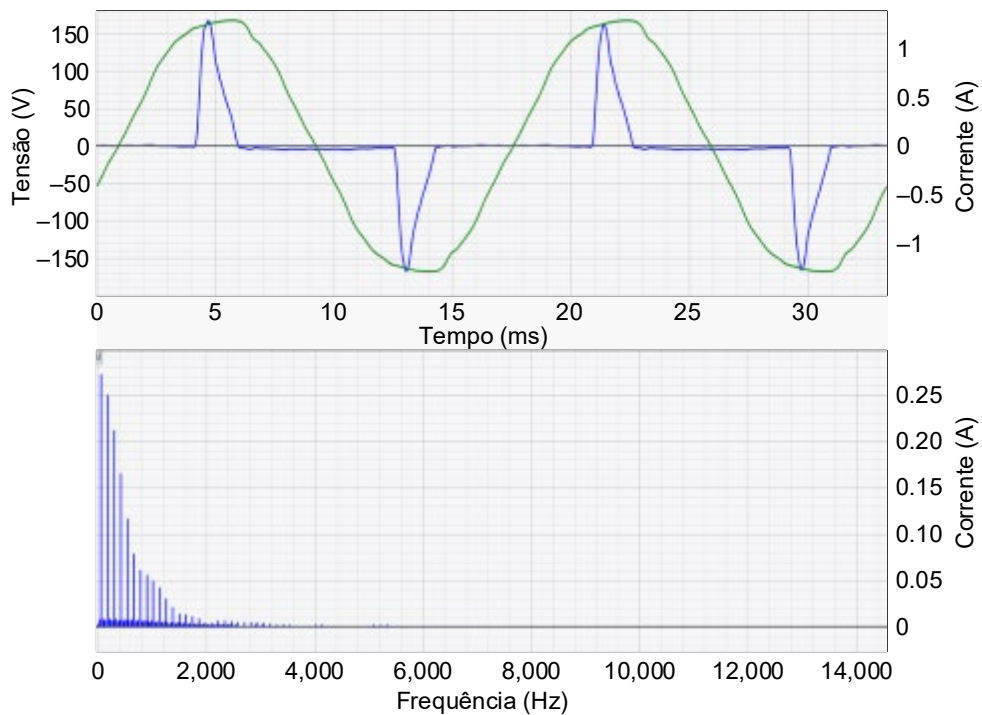


Figura 3 Forma de onda de um carregador de bateria

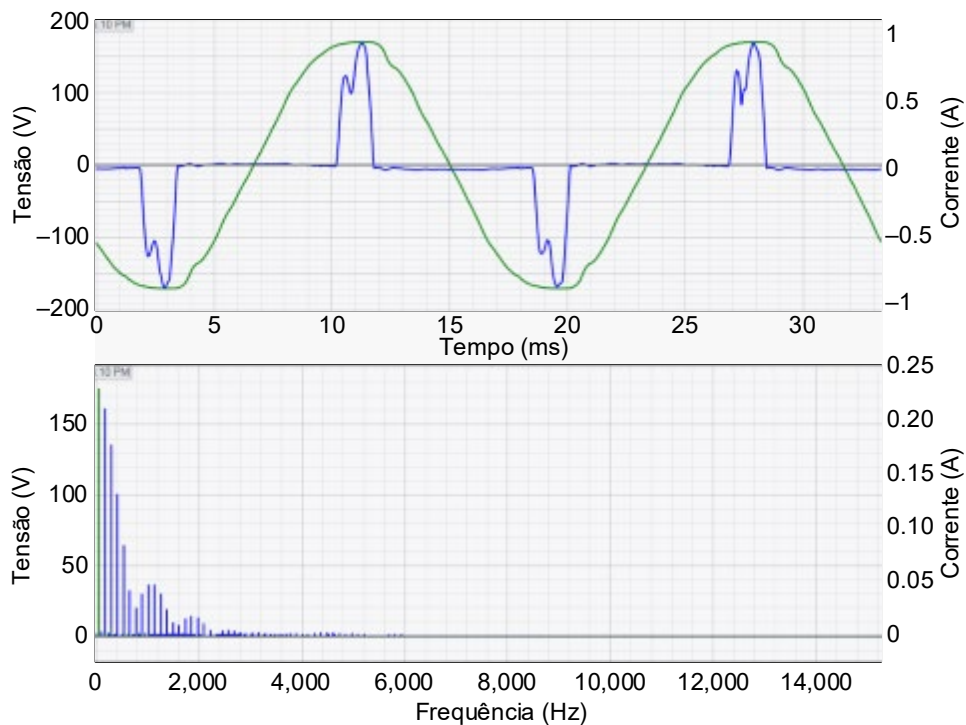


Figura 4 Forma de onda de um inversor de frequência

Cargas chaveadas e não lineares resultam em formas de onda com as seguintes características:

- Uma borda de subida rápida.
- Múltiplas passagens por zero.
- Distorções na tensão e/ou corrente.

Muitos medidores não são projetados para medir esses tipos de formas de onda e somente fornecem medições precisas quando as tensões e correntes aplicadas são senoidais. Um medidor de faturamento qualificado garante desempenho preciso em todas as condições do sistema, em conformidade com a classe de exatidão mais rigorosa para todas as condições de testes especificadas na mais recente norma ANSI de medições de faturamento, incluindo condições não senoidais.

ANSI C12.20-2015 Requisitos para Medidores de Faturamento

A ANSI C12.20 é uma norma bem definida de medições de faturamento na América do Norte. Antes do lançamento da ANSI C12.20-2015, a ANSI C12.20 especificava apenas requisitos de precisão de medição de faturamento em condições senoidais com níveis de desempenho da classe de exatidão de 0,2 e 0,5.

A ANSI C12.20-2015 (lançada em Abril de 2017) inclui revisões para garantir que os medidores de estado sólido forneçam medições confiáveis e altamente precisas sob todas as condições do sistema de energia. As revisões incluem o seguinte:

- Condições de teste expandidas que incluem o desempenho de medidores sob condições não senoidais.
- Uma nova classe de exatidão de 0,1 com requisitos de precisão mais rigorosos que a classe de exatidão anterior de 0,2.

Medições precisas de sinais não senoidais, especialmente com correntes no nível de miliamperes, necessitam de taxas de amostragem de alta velocidade, resolução ampla e algoritmos de medição sofisticados. A Figura 5 mostra como a taxa de amostragem pode afetar a medição de energia. Medir com precisão a forma de onda da corrente de lâmpadas LED requer um medidor que amostrasse a uma taxa de pelo menos 8 kHz.

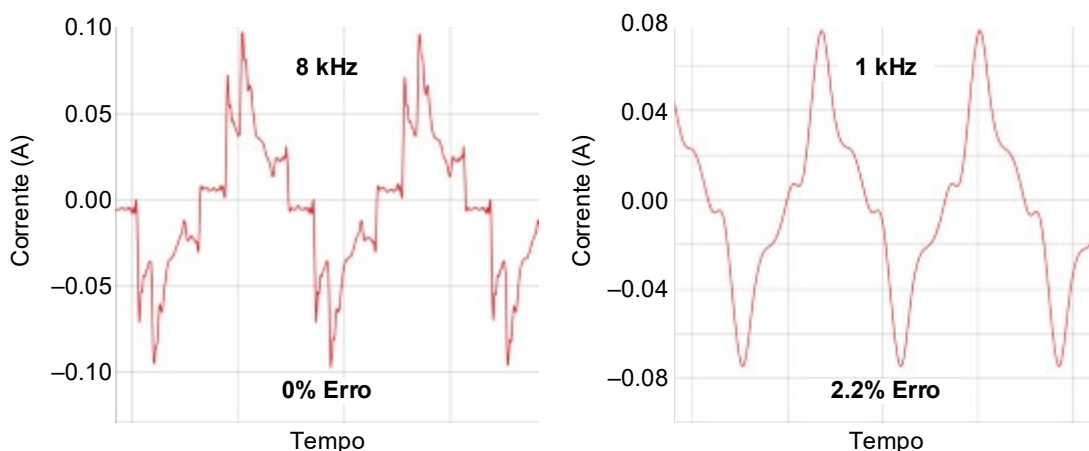


Figura 5 O aumento da taxa de amostragem melhora a precisão

O SEL-735 cumpre com a classe de exatidão 0,1 da ANSI em uma ampla faixa de corrente, sob todas as condições do sistema, incluindo formas de onda não senoidais. O SEL-735 também excede os requisitos da norma internacional de medição de faturamento, IEC 62053-22, que lista a classe de exatidão 0,2 como a mais rigorosa.

A ANSI C12.20-2015 especifica 44 testes separados que um medidor deve passar para alegar conformidade. Esses testes contabilizam uma ampla variedade de influências, incluindo

alterações na corrente de carga, fator de potência, temperatura, distorção harmônica e condições ambientais, como interferência de surtos e de radiofrequência.

As Figuras 6 a 11 mostram as seis novas condições de testes não senoidais adicionadas na ANSI C12.20-2015 que replicam as condições de carga no mundo real. Os consumidores podem ter certeza de que os medidores em conformidade com esta norma terão um desempenho preciso, mesmo sob condições não senoidais.

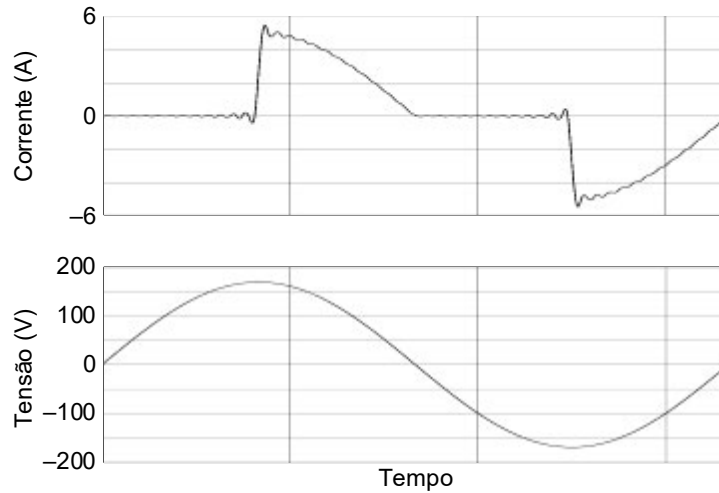


Figura 6 Test 39: Forma de onda com ângulo de disparo de 90°

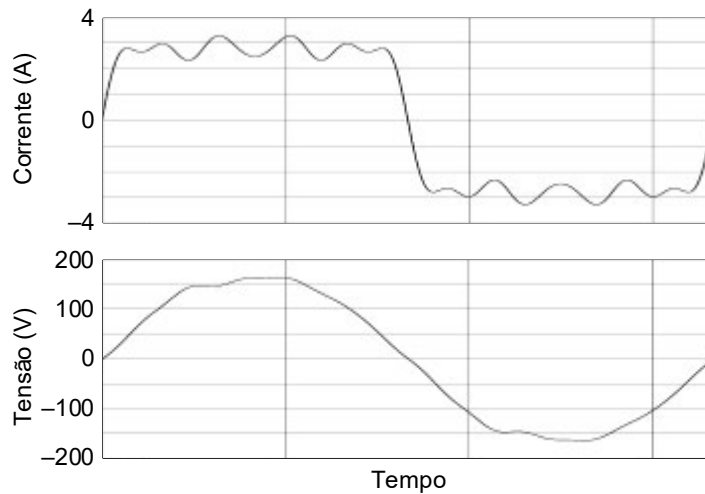


Figura 7 Test 40: Forma de onda "Quadriform"

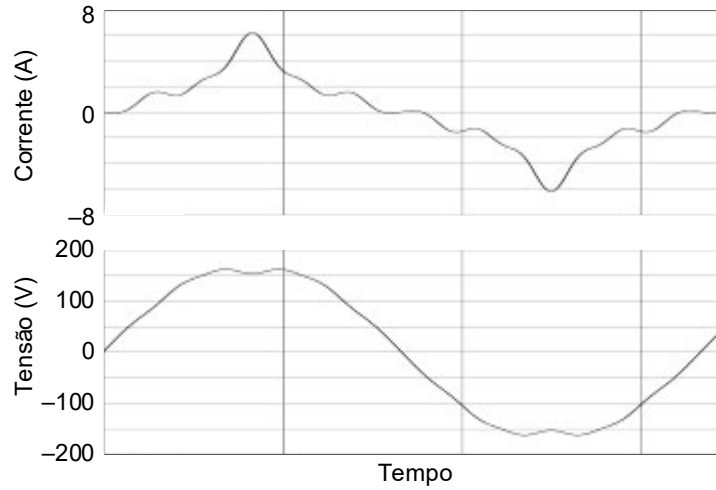


Figura 8 Test 41: Forma de onda com picos

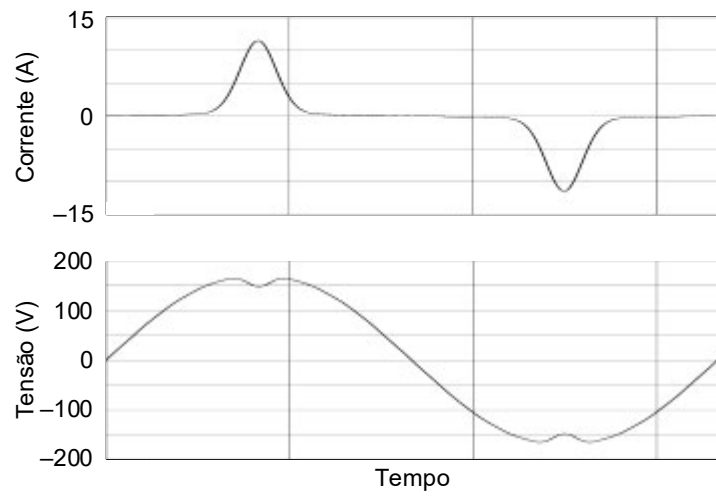


Figura 9 Test 42: Forma de onda pulsada

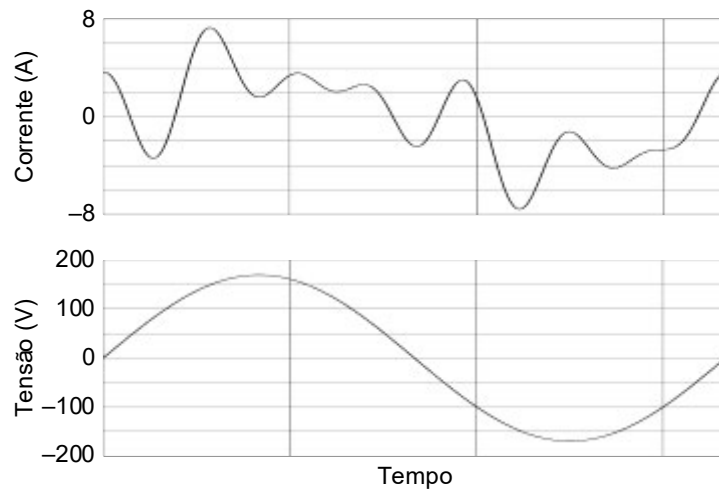


Figura 10 Test 43: Forma de onda da corrente com múltiplos cruzamentos por zero

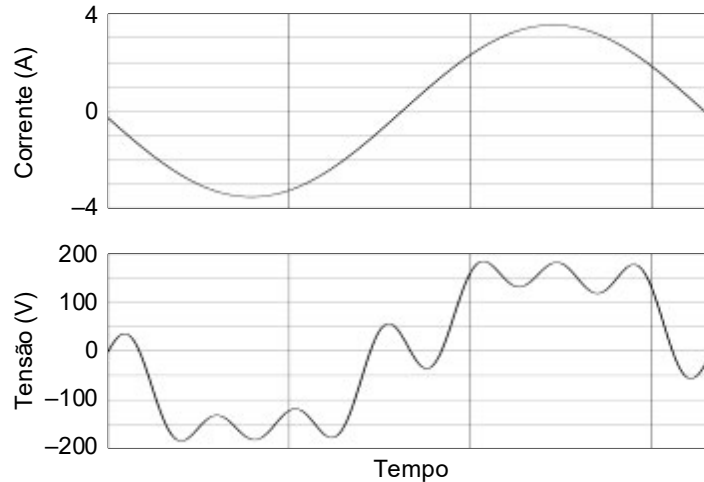


Figura 11 Test 44: Forma de onda da tensão com múltiplos cruzamentos por zero

SEL-735 Fornece Excepcional Precisão de Medição

A ANSI C12.20-2015 define os requisitos de desempenho de medidores para diferentes classes de corrente. O SEL-735 excede os novos requisitos não senoidais para a classe de exatidão de 0,1 da ANSI. Por exemplo, a Tabela 1 ilustra que o SEL-735 reporta um erro de somente 0,006% quando testado com distorção de forma de onda com pico. O SEL-735 cumpre com as classes de exatidão de 0,1 da ANSI e de 0,2 da IEC para as classes de corrente CL2, CL10 e CL20 em 50 e 60 Hz.

Tabela 1 SEL-735 Desempenho Excepcional com Distorção de Forma de Onda com Pico

Forma de Onda de Tensão	Forma de Onda de Corrente	Desempenho de Referência da Classe de Exatidão de 0,1 (%)	Erro de Medição do SEL-735 (%)
Senoidal	Senoidal	±0,05	0,003
Senoidal	Com Pico	±0,2	0,006
Com Pico	Com Pico	±0,3	0,006

As Figuras 12 a 14 mostram os resultados dos testes para a classe de exatidão de 0,1 da ANSI para o SEL-735 e de outros dois medidores avançados em condições não senoidais, variação do fator de potência e a influência de harmônicos.

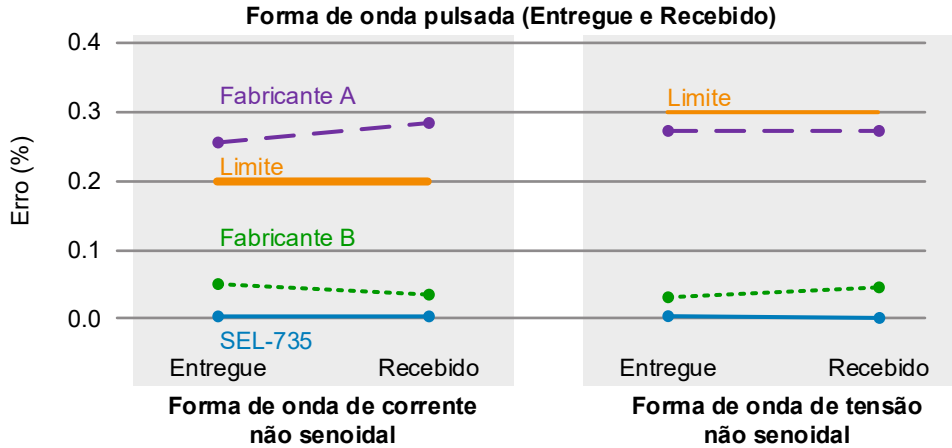


Figura 12 SEL-735: Desempenho preciso sob condições não sinusoidais

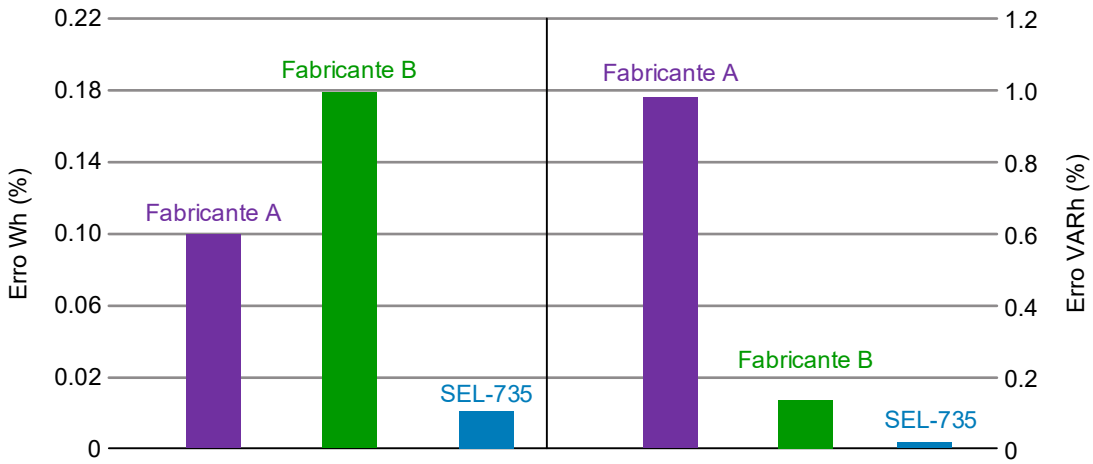


Figura 13 SEL-735: Desempenho confiável para 0,025A e fator de potência de 0,5

Alguns medidores podem perder precisão significativa quando o sinal medido inclui harmônicos, como mostra a Figura 14.

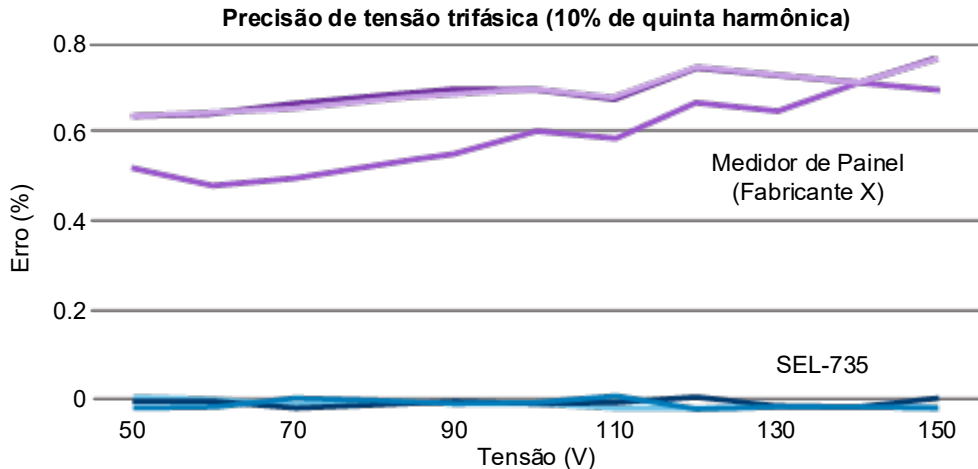


Figura 14 SEL-735: Performance de alto nível comparada com medidores de baixo nível sob a influência de harmônicos

Maior Confiabilidade com a Instalação de Medidores com Maior Precisão

Vastas quantidades de energia passam por uma instalação de medição de transmissão todos os dias. A instalação de medidores e transformadores para instrumentos precisos garante uma contabilidade exata das transações e perdas de energia. Essa contabilidade exata também leva a um retorno justo dos investimentos.

A Tabela 2 mostra, por exemplo, que uma concessionária de transmissão se beneficia da diminuição do erro de medição quando sua instalação de medição incorpora instrumentos de medidas de alta precisão, como um medidor de classe de exatidão ANSI 0,1 e um transformador IEEE 0,15.

Tabela 2 Benefícios da Instalação de Medidores de Alta Precisão em uma carga de 10 MW

Classe de Exatidão do Medidor	ANSI 0,2	Nova ANSI 0,1
Classe de Exatidão do Transformador	IEEE 0,3	IEEE 0,15
Erro de Medição do Medidor (M)	0,2%	0,1%
Erro Total de Medição do TP e TC (IT) ^a	0,735% ^b	0,367% ^c
Erro Total do Sistema ^d (S _{error})	0,762%	0,381%
Custo Total do Erro Medido (Usando \$0.10 ^e /kWh) ^f	\$67.000	\$33.000

a O cálculo do erro é baseado nos valores do fator de correção da relação fornecidos em IEEE C57.13 em PF = 1 e no documento técnico da SEL, "Increasing Metering Accuracy by Optimizing the Analog-to-Digital Converter Characteristics."

b Para TCs e TPs com 0,3% de erro; o erro total do transformador para instrumento é $\sqrt{(3 \cdot \text{CTerror}\%^2) + (3 \cdot \text{PTerror}\%^2)}$.

c Para TCs e TPs com 0,15% de erro; o erro total do transformador para instrumento é $\sqrt{(3 \cdot \text{CTerror}\%^2) + (3 \cdot \text{PTerror}\%^2)}$.

d Erro total do sistema é uma combinação do erro de precisão do medidor e erro total do transformador para instrumento: $\sqrt{(\text{M}\%)^2 + (\text{IT}\%)^2}$.

e Preço médio de varejo nos Estados Unidos, de acordo com a U.S. Energy Information Administration (<https://www.eia.gov/electricity/state/>).

f O valor equivalente em dólar para uma carga de 10 MW é $(10 \text{ MW} \cdot 365 \cdot 24) \cdot \frac{\$0.10}{\text{kWh}} \cdot \frac{\text{Serror}\%}{100}$ (arredondando para um valor inteiro).

Medição Exata e Precisa

A exatidão de um medidor é o quanto a medição concorda com uma referência, e a precisão é a consistência das repetidas medições. Um teste de exatidão em aproximadamente 1.000 medidores SEL-735 relatou um erro máximo de 0,025 %, com o desvio padrão (precisão) de 0,006 %, como mostra a Figura 15. Isso demonstra o desempenho excepcionalmente preciso e exato do SEL-735.

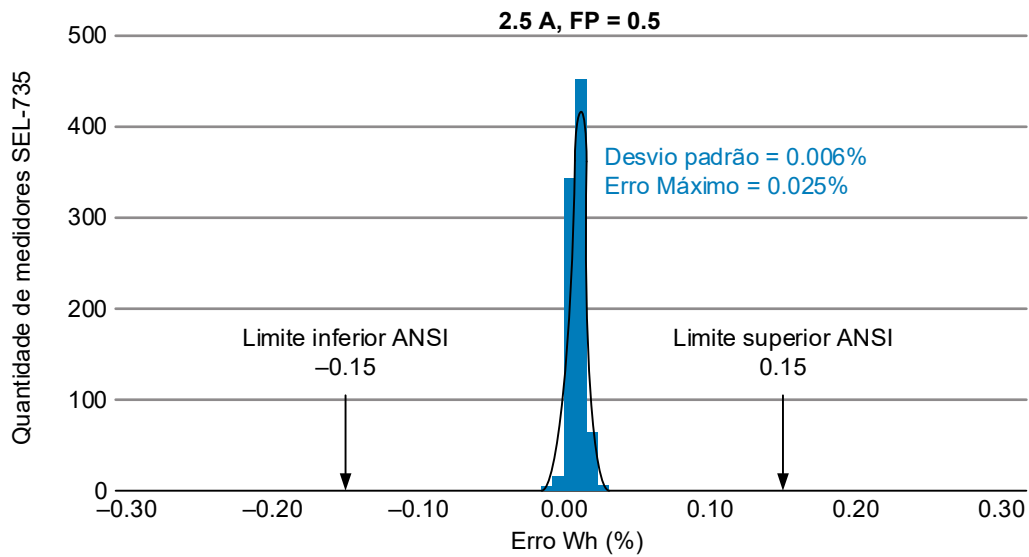


Figura 15 Dados estatísticos validam a precisão do SEL-735

Conclusão

Medição precisa é um fator crucial para aplicações em medições de faturamento. No sistema de energia atual, onde a forma de onda senoidal esperada pode ser altamente distorcida, selecionar o medidor correto para medições precisas de energia é muito importante. A seleção de um medidor de nível de faturamento, como o SEL-735, que atenda todas as condições do sistema especificadas pela ANSI e exceda os requisitos mais rigorosos de classe de exatidão da indústria (ANSI 0,1), ajuda a garantir a medição exata e precisa do consumo e das perdas de energia.



Tornando a energia elétrica mais segura,
mais confiável e mais econômica

Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
Tel: (19) 3518 2110 | Email: vendas@selinc.com | Web: www.selinc.com.br

