

# Tutorial

## Variações de tensão de curta duração – Parte I

### Introdução

O Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodint) [1], em sua oitava revisão, apresenta aspectos específicos associados com a caracterização dos eventos de variação de tensão de curta duração (VTCD). Nesse sentido, o item 8.2.2 do módulo 8 do Prodint estabelece, de forma clara e objetiva, os equacionamentos para caracterização de um evento individual de VTCD. Ao mesmo tempo, o item 9.1.11 estabelece a necessidade de agregação de eventos simultâneos e/ou consecutivos visando a consolidação do indicador denominado Fator de Impacto (FI), o qual, por sua vez, caracteriza a severidade da incidência de eventos de VTCD em um determinado ponto de monitoração. Diante desse contexto, o objetivo principal deste tutorial é apresentar os conceitos relacionados ao processo de agregação de eventos de variação de tensão de curta duração, assim como apresentar exemplos práticos de aplicação para as diversas situações passíveis de ocorrência nos sistemas elétricos de uma forma geral.

### Fundamentos teóricos

Conforme estabelecido na bibliografia pertinente ao tema [1-3], um evento individual de variação de tensão de curta duração deve ser caracterizado pela sua duração e amplitude. No caso do Prodint, as expressões utilizadas para determinação da amplitude e duração de um evento individual de VTCD são indicadas em (1) e (2), respectivamente

$$V_e = \frac{V_{res}}{V_{ref}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

$V_e$  é a amplitude do evento de VTCD (em %);

$V_{res}$  é a tensão eficaz residual do evento de VTCD (em Volt);

$V_{ref}$  é a tensão eficaz de referência (em Volt).

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (2)$$

Em que:

$\Delta t_e$  é a duração do evento de VTCD (em milissegundos);

$t_f$  é o instante final do evento de VTCD;

$t_i$  é o instante inicial do evento de VTCD.

A caracterização de um evento de VTCD deve ser efetuada considerando-se a variação momentânea ou temporária da tensão eficaz em um determinado barramento ou ponto de conexão. Nesse sentido, torna-se importante a definição do método de registro da tensão eficaz ao longo do tempo. Assim, o valor eficaz deve ser calculado com base nos valores discretos amostrados diretamente da tensão instantânea, conforme expressão (3).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (3)$$

Sendo:

$N$  o número de amostras da tensão instantânea por ciclo da tensão fundamental;

$v_i$  a  $i$ -ésima amostra da tensão instantânea em cada ciclo;

$V_{rms}$  o valor eficaz calculado para uma janela de 1 ciclo de duração da tensão instantânea.

A referência [2] determina que a equação (3) deve ser aplicada a cada ciclo da tensão instantânea, a partir da passagem por zero, com atualização (ou deslizamento de janela) a cada 1/2 ciclo. A referência [3], de forma particular, também considera o cálculo do valor eficaz para janelas consecutivas de 1 ciclo de duração, estabelecendo, porém, duas formas possíveis de deslizamento das janelas de cálculo do valor eficaz. Dessa forma, são especificados deslizamentos de janela a cada 1/2 ciclo para medidores Classe A e 1 ou 1/2 ciclo para medidores Classe S. Adicionalmente, as terminologias  $V_{rms(1)}$  e  $V_{rms(1/2)}$  são comumente utilizadas para diferenciar essas duas formas de cálculo do valor eficaz. A Figura

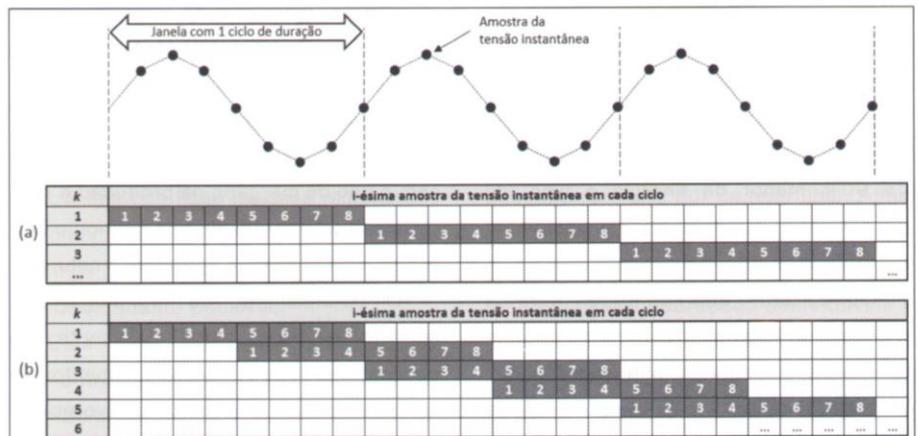


Figura 1 – Exemplo de cálculo do k-ésimo valor eficaz considerando-se uma tensão instantânea amostrada a uma taxa de 8 amostras por ciclo, sendo: (a) deslizamento da janela amostral a cada ciclo [Vrms(1)] e (b) deslizamento da janela amostral a cada 1/2 ciclo [Vrms(1/2)].

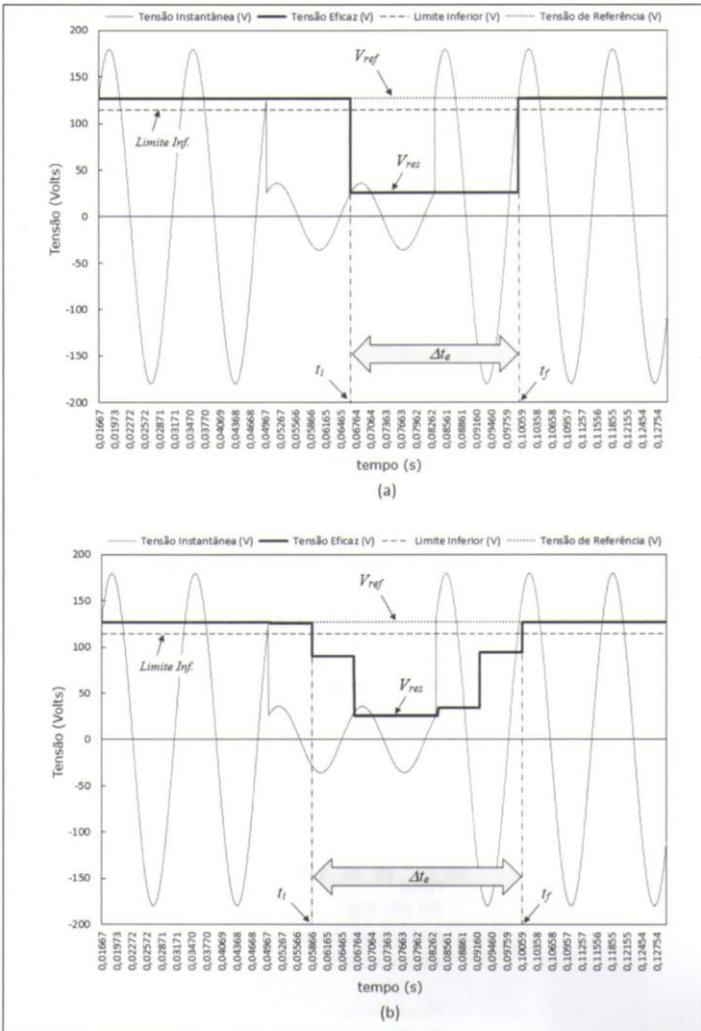


Figura 2 – Caracterização de um mesmo evento de VTCD considerando-se o cálculo do valor eficaz da tensão de duas formas distintas: (a) deslizamento da janela amostral a cada ciclo [ $V_{rms}(1)$ ] e (b) deslizamento da janela amostral a cada 1/2 ciclo [ $V_{rms}(1/2)$ ].

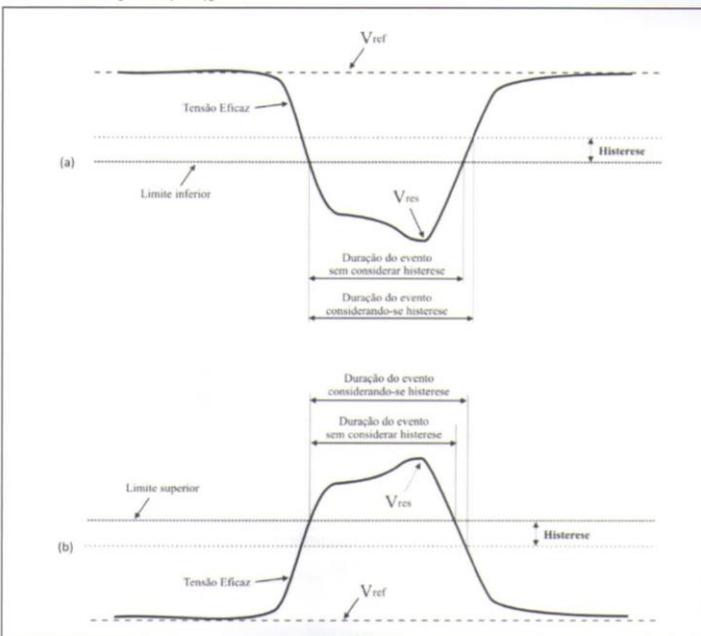


Figura 3 – Caracterização de eventos de VTCD com e sem a consideração de histerese em: (a) eventos de afundamento momentâneo de tensão e (b) eventos de elevação momentânea de tensão.

1 ilustra de forma simplificada o processo de obtenção do valor eficaz, considerando-se os procedimentos de cálculo associados com  $V_{ms}(1)$  e  $V_{ms}(1/2)$ .

A Figura 2 ilustra, a título de exemplo, os resultados obtidos para o cálculo da duração e amplitude de um mesmo evento de VTCD, com 33,33 ms (2 ciclos) de duração e 20% de amplitude, com início em 45° na onda de tensão instantânea, considerando-se  $V_{ms}(1)$  e  $V_{ms}(1/2)$ .

Analisando-se os resultados indicados na Figura 2, evidencia-se uma diferença entre os atributos do evento para as duas formas de cálculo consideradas. No caso da Figura 2(b), a duração do evento é aproximadamente 1/2 ciclo maior que a duração calculada na Figura 2(a). De fato, diferenças entre as duas formas de cálculo do valor eficaz, notadamente em termos de duração, poderão eventualmente ocorrer no caso de eventos muito rápidos ( $\Delta t_e < 3$  ciclos).

Um outro conceito importante relacionado com a caracterização de eventos de VTCD diz respeito à utilização de um limite de histerese para definição da duração de cada evento. A terminologia histerese utilizada nesse contexto não deve ser confundida com fenômeno da histerese magnética, responsável pelo atraso entre a densidade de fluxo e o campo magnético em materiais ferromagnéticos. No contexto específico das VTCDs, essa terminologia representa um limite um pouco maior (ou menor, no caso das elevações momentâneas de tensão) para identificação do instante final de um evento. Essa prática torna-se importante no caso de eventos nos quais a tensão comporta-se de forma oscilante em torno do limiar de identificação do instante final do evento, podendo levar a erros de interpretação que resultem na caracterização de múltiplos eventos quando, na realidade, se trata de um único evento de VTCD. A Figura 3 ilustra a aplicação da histerese na caracterização de eventos de afundamentos e elevações momentâneas de tensão.

Apesar do fato de que o uso da histerese não se encontra indicado de forma explícita no Prodist, o mesmo documento, em seu item 9.1.3, estabelece que os instrumentos de medição devem atender aos requisitos mínimos estabelecidos na norma IEC 61000-4-30. Dessa forma, em consonância com o estabelecido em [3], o valor de histerese típico a ser considerado pelos medidores de parâmetros da qualidade da energia elétrica será igual a 2% da tensão de referência ( $V_{ref}$ ).

### Referências:

- [1] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Procedimentos de Distribuição. Módulo 8, Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 8. 2016.*
- [2] IEEE PES. *IEEE Guide for Voltage Sag Indices. IEEE Std 1564 -2014.*
- [3] IEC – International Electrotechnical Commission. *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4.30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods. IEC 61000-4-30. Edition 2.0, 2008-10.*

\*José Rubens Macedo Jr. é engenheiro eletricista, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica. Desenvolveu seu pós-doutorado no Worcester Polytechnic Institute - WPI, em Massachusetts, nos Estados Unidos. É Senior Member do The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) desde 2007. Atualmente, é professor da Faculdade de Engenharia Elétrica junto à Universidade Federal de Uberlândia (UFU).