V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil

Código: AJU 04 106
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

# AVALIAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO DECORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM SISTEMAS ELÉTRICOS

Ricardo J. O. Carvalho* Marconi Januário Rafael Eduardo Werlich

Universidade Regional de Blumenau – FURB
Departamento de Engenharia Elétrica

## RESUMO

Curto-circuitos em linhas de transmissão são uma das principais causas de distúrbios do tipo afundamento de tensão (sags). A magnitude e os efeitos desses distúrbios podem ser avaliados experimentalmente fazendo-se uso de componentes em escala reduzida. Equipamentos dos sistemas elétricos são montados de forma a constituírem instalações elétricas típicas cujos valores das tensões representam sistemas elétricos industriais reais.
O trabalho descreve as facilidades e os recursos de um laboratório de qualidade de energia para avaliação de distúrbios em sistemas elétricos. Apresenta-se um estudo de caso de afundamentos de tensão numa instalação industrial, demonstrando as vantagens da implementação de um laboratório para estudo de qualidade de energia.

## PALAVRAS-CHAVE

Afundamento de Tensão, Curto-Circuito, Sistemas de Distribuição.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

As sub-tensões de curta duração, designadas de afundamento de tensão, são causadoras de severos prejuízos em consumidores. Os equipamentos de informática, controladores programáveis e dispositivos eletrônicos em geral são sensíveis às variações na forma de onda da tensão de alimentação requisitando portanto um elevado padrão na qualidade da energia.

As redes de energia dos sistemas de distribuição brasileiro são, com poucas exceções, constituídas de linhas aéreas. Estas linhas estão expostas a distúrbios causados por uma grande variedade de fatores como as adversidades do tempo, contato de animais, falhas de equipamento, acidentes e etc. Esses distúrbios são em grande parte faltas (curto-circuitos) do tipo monofásica.

A legislação do setor elétrico brasileiro não dispõe de dispositivo jurídico que trate especificamente desse assunto e, embora as empresas distribuidoras de energia estejam empenhadas na melhoria da qualidade dos serviços, as ocorrências de distúrbios continuam gerando conflito entre os consumidores e fornecedores de energia elétrica.

Alternativamente o trabalho conjunto de distribuidoras de energia e consumidores tem conduzido a ações e medidas corretivas visando diminuir a vulnerabilidade dos consumidores [1].

O trabalho está organizado em cinco itens. No item dois, é feita uma introdução aos efeitos de curto-circuitos em instalações industriais. No item três é feita a descrição dos requisitos de um laboratório de qualidade de energia, e no item seguinte, é feita a descrição de um estudo de caso do tipo afundamento de tensão. Finalmente, algumas considerações são apresentadas no item de conclusões.

* Rua Araçatuba 83 - CEP 89030-080 – Blumenau - SC - BRASIL
Tel.: +55 (047) 221-6029 - FAX: +55 (047) 221-6001 - E-mail: ricjose@furb.br

## 2.0 - CURTO-CIRCUITO EM SISTEMAS ELÉTRICOS

Faltas em linhas aéreas de transmissão e distribuição são as principais fontes dos afundamentos de tensão. A magnitude do afundamento de tensão depende da topologia da rede, do tipo de defeito e da localização do mesmo. A duração do evento depende do tempo de atuação dos dispositivos de proteção na eliminação do defeito. Os defeitos do tipo monofásico são os mais frequentes nos sistemas de distribuição. Dados estatísticos de concessionárias de energia indicam, em média que 70% das faltas são monofásicas [2].

A intensidade e duração das sub-tensões momentâneas são requisitos básicos para avaliação dos efeitos desse tipo de distúrbio. Com base nessas informações é possível avaliar o grau de sensibilidade dos equipamentos da planta industrial como:

a) equipamentos de informática;
b) controladores programáveis;
c) circuito de controle em equipamentos de eletrônica de potência;
d) contatores e relés eletromecânicos;
e) lâmpadas de descargas.

A identificação do grau de sensibilidade associado a cada tipo de carga permite a tomada de decisão de medidas corretivas para minimizar os efeitos dos afundamentos de tensão.

Medidas simples como o ajuste nos dispositivos de proteção, mudança de tap de transformadores, correção do sistema de aterramento, entre outras, vêm sendo aplicada com sucesso na mitigação desse tipo de problema.

A busca de alternativas para substituição de determinados equipamentos da instalação por outro similar, mais robusto, faz parte do conjunto de medidas mitigadoras.

Em algumas situações é necessário recorrer a instalação de dispositivos do tipo “no-break” ou compensadores estáticos de tensão para alimentação das cargas sensíveis e fundamentais nos processos produtivos.

## 3.0 - LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE ENERGIA

O laboratório de qualidade de energia incorpora os recursos de um laboratório de eletrotécnica em conjunto com dispositivos de eletrônica de potência, eletrônica analógica/digital e computação. A seguir são descritos alguns requisitos disponíveis no laboratório de QE:

Eletrotécnica:
- conjunto motor-gerador;
- motores de indução;
- transformadores trifásicos e monofásicos;
- cargas resistivas, indutores e capacitores;

Eletrônica:
- dispositivos de eletrônica de potência para montagem de retificadores, conversores e etc;
- placa de interface analógica para aquisição de dados;
- placa conversora de dados analógico/digital;
- kit de processamento digital de sinais.

Equipamentos:
- Fontes programáveis;
- Analisadores de qualidade de energia.

Alguns dos seguintes problemas de qualidade de energia são estudados através de montagens:

a) Avaliação de sobrecarga do condutor neutro em instalações trifásicas a quatro condutores, em decorrência de desequilíbrio de carga;
b) Análise de afundamento de tensão em decorrência de curto-circuito na instalação;
c) Avaliação da sensibilidade de cargas (lâmpadas de descarga, contatores, fontes chaveadas, equipamentos eletrônicos, etc) em decorrência de afundamento de tensão;
d) Análise harmônica em instalações elétricas.

A figura a seguir ilustra uma montagem de laboratório para estudo de afundamento de tensão.

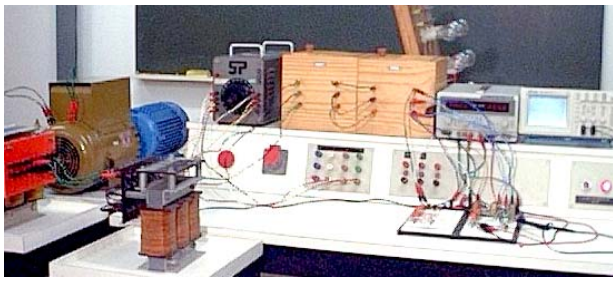

Figura 1: Montagem para estudo de afundamento de tensão

Os seguintes componentes foram utilizados: grupo motor-gerador, linhas de transmissão (construídas a partir de reatores convencionais de lâmpadas fluorescentes), transformadores trifásicos e carga trifásica composta por lâmpadas incandescentes.

A figura 2 mostra um circuito analógico para aquisição das componentes simétricas de corrente e tensão usadas na análise.

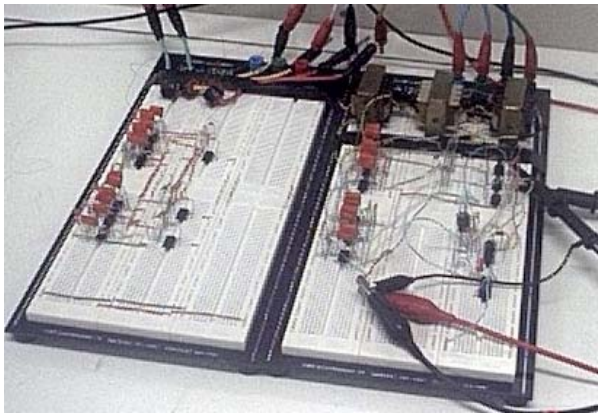

Figura-2: Aquisição de componentes simétricas

A placa permite a aquisição das componentes simétricas das correntes e tensões em qualquer ponto da instalação.

## 4.0 - ESTUDO DE CASO

O diagrama unifilar da figura 3 mostra o sistema elétrico utilizado no estudo de caso.

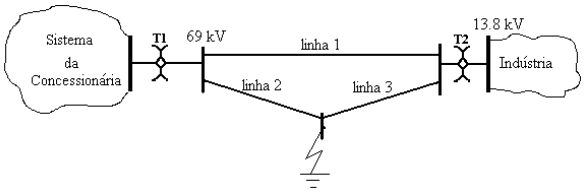


Figura-3 Diagrama unifilar

O sistema representa uma instalação típica de uma unidade consumidora recebendo energia da concessionária através de duas linhas de transmissão. O sistema elétrico foi reproduzido, em escala reduzida, no laboratório.

### 4.1 Dados do Sistema

A montagem é constituída de um gerador trifásico auto-excitado de 4kVA, 380V, 1800rpm, 60Hz ligado em estrela, alimentando um transformador trifásico de 3,5kVA, 60Hz, tensão primária de 380V e secundária de 220V, ligado em triângulo-estrela aterrado, respectivamente. Conectado a este transformador, três conjuntos de impedâncias, 3,22Ω de resistência ôhmica e 29,25Ω de reatância indutiva, por fase, representando cada linha de transmissão. A partir da linha um transformador trifásico de 1kVA, 60Hz, tensão primária de 220V e secundária de 380V, ligado em estrela-estrela aterrado em ambos os lados. Após este, uma carga de 1050W formada por um conjunto de lâmpadas incandescentes, ligadas em estrela e aterrada.

O diagrama de impedâncias do sistema é mostrado na figura 4. Foi adotado como bases 1kVA e 220V na linha.

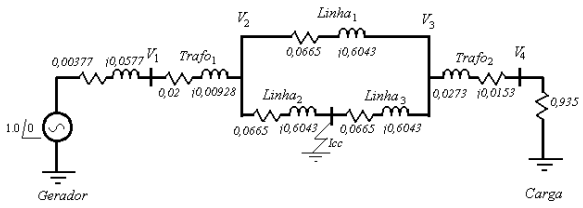


Figura 4: Diagrama de impedâncias

### 4.2 Resultados Obtidos

O estudo de caso corresponde à análise do afundamento de tensão no barramento da indústria, representado pela barra quatro, em decorrência de um curto-circuito monofásico ocorrido entre as linhas dois e três.

A figura a seguir mostra o registro da corrente de curto cuja duração foi de aproximadamente seis ciclos caracterizando um distúrbio do tipo afundamento de tensão [3].

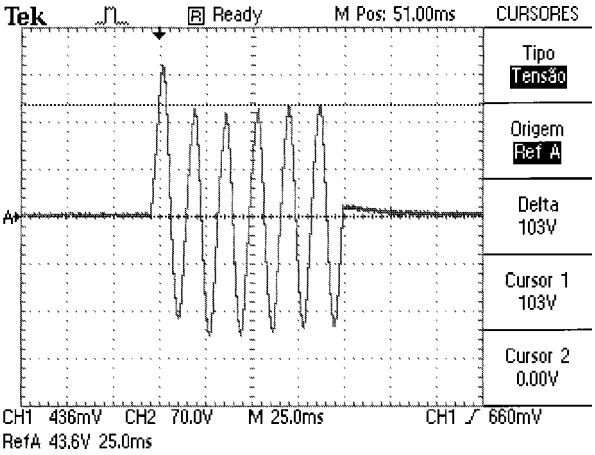


Figura 5: Registro da corrente de curto

Verifica-se que a corrente de curto atingiu a magnitude de aproximadamente 10,3A, ou seja, 3,9 p.u. O afundamento de tensão registrado no secundário do transformador que atende a carga é mostrado na figura 6.

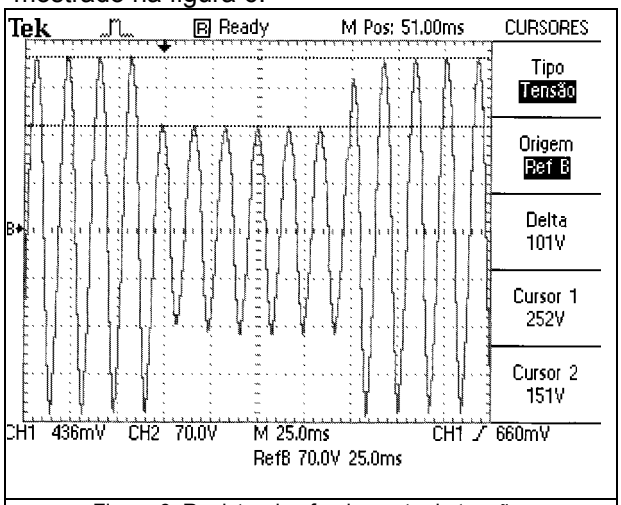


Figura 6: Registro do afundamento de tensão.

Da figura 6 verifica-se a redução no valor RMS da tensão de 178V para 109 volts, correspondendo a um afundamento de tensão de 39% e duração de 0,1 seg.

4.3 Validação dos Resultados

O sistema em estudo foi simulado no Simulink - Matlab [4], fazendo-se uso dos recursos do Power System Blockset. Este software apresenta uma biblioteca para sistemas de potência a qual pode ser integrada aos recursos e facilidades do ambiente Simulink. A figura sete mostra o diagrama do sistema reproduzido.

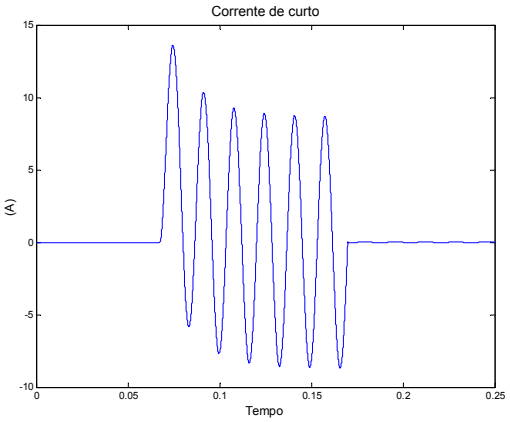


Figura 8: Corrente de curto-circuito

Os valores obtidos na simulação para corrente de curto e tensão na carga são mostrados nas figuras oito e nove respectivamente.
Das figuras oito e nove verifica-se que os valores simulados são semelhantes aos obtidos experimentalmente.

5.0 - CONCLUSÕES

O trabalho mostra as possibilidades de estudo de problemas de qualidade de energia através de ensaios de laboratórios. Os resultados obtidos com o estudo de caso de afundamento de tensão, comparados aos obtidos através de simulações foram bem próximos demonstrando a viabilidade de realização dos estudos através de montagem de laboratório.

O trabalho apresenta algumas informações que podem contribuir para implantação de um laboratório de qualidade de energia.

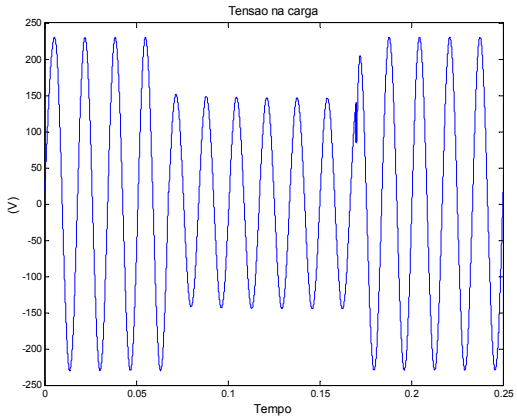


Figura 9: Tensão de fase na carga

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


[1] Costa, P. F. e Santos, I M, “Problemas de Qualidade de Energia em Plantas Industriais”, Eletricidade Moderna, Janeiro, 2000.

[2] Dugan, R. C. McGranaghan, M. F. and Beaty H.W. (1996). Electrical Power Systems Quality, New York, McGraw-Hill

[3] IEEE Std 519-1992, Rocommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

[4] Matlab – Power System Blockset User’s Guide – For use with Simulink, (1998). TEQSIM International, Hidro-Québec, Math Works.


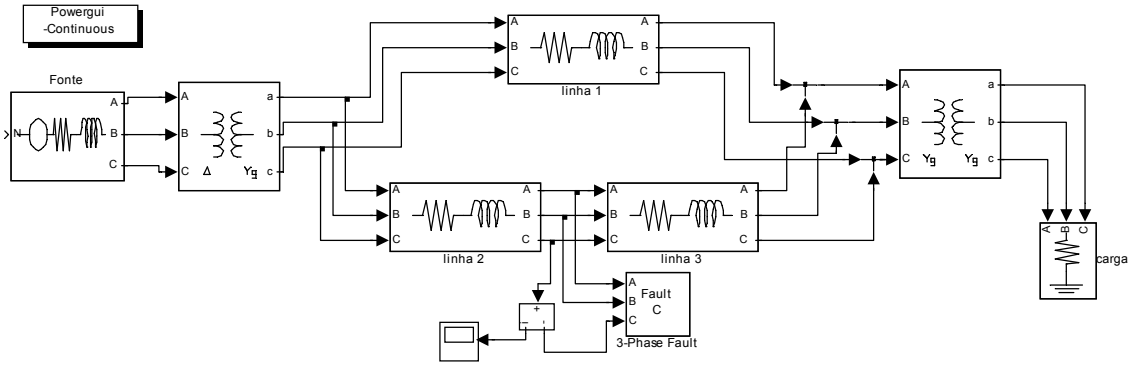


Figura 7: Sistema simulado no Matlab/Simulink