Unisanta Science and Technology, **2016, 6, July**
Published Online 2016 Vol.5 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Sistema para detecção de queima de Fusíveis Internos de Capacitores utilizados em Banco de Subestações de Distribuição de Energia

Alexandre Shozo Onuki, Bruno de Souza Nascimento, Lenon Loureiro Martins, Márcio de Oliveira Filho e Nikoly de Fátima Horn Augusto

UNISANTA – Universidade Santa Cecília –Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail*:* shozost@yahoo.com.br

Received October, 2015

Resumo: Este trabalho foi fruto de um estudo realizado pela Universidade Santa Cecília na Concessionária de Distribuição de Energia Local, sendo o mesmo derivado do Trabalho de Pesquisa intitulado "Sistema Digital de Medição de Correntes de Bancos de Capacitores Série e Transmissão dos Dados Adquiridos Através de Dispositivos Sem Fio" realizado através do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica e financiado pela Empresa EATE – Empresa Amazonense de Transmissão de Energia S.A, onde foi desenvolvida uma metodologia que possibilita o monitoramento de queima de fusíveis internos de capacitores que compõem os Bancos utilizados em Estações de Distribuição para compensação de reativos em redes primárias, para tanto foram desenvolvidos algoritmos adaptativos para realizar a supervisão de tal contingência através da observância do comportamento da tensão de neutro do conjunto em questão.

Palavras chave: Distribuição de Energia, Banco de Capacitores, Monitoramento de Ruptura de Fusível Interno de Capacitores, Sistema de Supervisão.

System for detection of Fuse Burn Internal Capacitors used in Bank of Power Distribution Substation

Abstract: This work was the result of a study by University Santa Cecilia at the dealership location Power Distribution, and the same derived from Research Paper entitled "Digital Capacitor Banks Electric Current Measurement System Series and Data Transmission Device Bought Through no wire" conducted by the Research and Development program of ANEEL - National Electric Energy Agency and financed by the Company EATE - Amazonense Company Power Transmission S.A., the same was developed a methodology that enables the monitoring of burning internal fuses capacitors that make up the banks used in distribution stations for reactive compensation in networks primary, therefore were developed adaptive algorithms to perform the supervision of the contingency by observing the behavior of the neutral voltage of the set in question.

Keywords: Energy Distribution, Capacitor Bank, Monitoring Break Internal Fuse Capacitors and Supervision System

1. Introdução

Os bancos utilizados para compensação de reativos em redes de distribuição primária normalmente são composto de capacitores conectados em uma configuração estrela, onde em cada fase são ligadas diversas unidades em paralelo.

A proteção empregada para este tipo sistema baseia-se normalmente na associação da elevação da tensão de neutro com o desbalanceamento das reatâncias originado normalmente pela ruptura de um fusível interno de um dos elementos que forma o capacitor. A metodologia de pro-

Copyright © 2016 ISESC.

teção citada não assegura uma grande efetividade devido ao fato de que, em alguns casos a alteração das características do capacitor em função da contingência pode causa uma elevação relativamente pequena na tensão monitorada ou até a redução de seu valor devido à existência de um desbalanceamento inicial do conjunto ou a queima de fusíveis pré-existente, nestes casos o sistema de proteção tornasse inoperante.

2. Desenvolvimento da Metodologia Detecção de Contingência

A metodologia para realizar a supervisão de ruptura de fusíveis internos de capacitores foi baseada no fato de que a tensão de neutro em bancos de capacitores conectados em estrela sem a conexão a terra varia em função de um desbalanceamento das reatâncias dos elementos que compõem sistema em questão.

O processo para detectar a contingência em questão é realizado através de um método comparativo entre os valores da tensão de neutro de uma determinada amostra e um obtido através do levantamento de registros de históricos, tal desenvolvimento foi descrito a seguir.

A. Valor da média de tensão

Este parâmetro tem por objetivo criar uma referência para aferir o desvio da tensão de neutro, o mesmo foi denominado de $V_{Méd}$ que e é calculado de forma dinâmica através de uma média de valores registrados no histórico, para tal cálculo é utilizada uma quantidade de amostras que antecedem a análise, sendo esta determinada pelo parâmetro NAM que é definido com base em uma análise prévia do histórico do sistema.

B. Valor do desvio do comportamento da tensão de neutro do Banco de Capacitores

Para determinar o desvio do valor da tensão de neutro em uma determinada amostra, foi definido o parâmetro nomeado de MDV que se refere ao resultado da diferença entre os valores de MTR e $V_{Méd}$ em módulo.

C. Limite do desvio do comportamento da tensão de neutro do Banco de Capacitores

Para definir o limite de variação da tensão de neutro foi criado o parâmetro denominado como LVM que basicamente define o maior valor que MDV poderá assumir em uma determinada amostra sem a indicação de alarme, tal parâmetro é calculado através do levantamento da oscilação natural através do parâmetro MDV associado a uma faixa adicional definida por FAE, a metodologia em questão foi descrito a seguir.

O parâmetro denominado como VMV refere-se à amplitude máxima das oscilações naturais da tensão de neutro e é determinado através do levantamento da maior valor de MDV em um determinado período definido pelo parâmetro NAH, vale citar que, este parâmetro realiza uma estimativa em função do comportamento do Sistema Elétrico que alimenta o banco e das não linearidades existentes nos capacitores. Para evitar atuações indevidas foi desenvolvida uma faixa adicional ao limite determinado por VMV, para tanto, o parâmetro denominado de FAE adiciona valores percentuais ao valor do parâmetro em questão em cada amostra, vale citar que, se torna necessário à adoção de um limite superior devido aos desequilíbrios temporários de tensão do sistema de alimentação ou eventuais imprecisões no sistema de monitoramento do Banco de Capacitores.

D. Metodologia para identificação de anomalia no comportamento da tensão de neutro

O sistema identificará alguma anomalia no comportamento da tensão do neutro do Banco de Capacitores, quando o parâmetro MDV for maior que o definido por LVM em uma determinada amostra, este fato foi tratado como um registro de alarme.

E. Sistemática utilizada para a confirmação de Falha

Para evitar atuações indevidas decorrentes às falhas de medição ou variações nas tensões de alimentação do Banco de Capacitores que ocorrem de forma passageira, foi necessário criar um parâmetro que determina uma quantidade mínima de registros de alarmes para confirmação de uma falha ou queima de um fusível de um elemento interno do capacitor, para tal definição foi utilizado o parâmetro denominado de NAF.

F. Metodologia para o reestabelecimento do sistema pós-contingência

Para reestabelecer o sistema de monitoramento após o registro de uma falha de forma automática é necessário identificar se a tensão de neutro está estabilizada em uma nova faixa de operação (quando ocorre uma ruptura de um fusível interno de um capacitor a configuração do conjunto de reatância é alterada para um novo patamar), para tanto é utilizada à metodologia semelhante a que foi apresentada na identificação do desvio de tensão apresentada anteriormente, o processo inicia com a suspensão da supervisão após a identificação de uma falha, está pausa deve ocorrer em uma quantidade de amostras igual ao definido por NAH para que seja calculado um novo valor do limite LVM, a partir deste instante, o processo de supervisão deverá se reiniciado. Também existe a possibilidade de realizar esta operação de forma manual.

3. Testes Preliminares para Aferir o comportamento do Algoritmo

Os testes iniciais utilizaram dados levantados manualmente em laboratório e foram realizados com auxilio

Copyright © 2016 ISESC

de planilha

A. *Testes da atuação do sistema no monitoramento de variação da tensão*

Os testes iniciais para aferir o comportamento do algoritmo no monitoramento da variação da tensão foram realizados utilizando diversos dados levantados em laboratório, no exemplo descrito na tabela 1 é descrito um destes resultados no processo de análise foram adotados os seguintes parâmetros NAM = 5, NAH = 10, NAF = 5 e FAE = 80%, através do que foi ilustrado é possível verificar que ocorreu o primeiro registro de alarme na amostra 41, porém a falha somente foi confirmada cinco ciclos posteriores, também no processo foi necessário impedir a atualização dos parâmetros Vméd e LVM para evitar que os novos valores deturbem a análise realizada, tal processo foi destacado em azul na tabela em questão. Os resultados de tais ensaios demostraram um desempenho satisfatório no monitoramento proposto, vale ressaltar que em todos os casos houve a detecção da variação de tensão e que existiram indicações de alarmes isolados sem a confirmação de falhas devido a ruídos na medição no laboratório.

B. *Teste de funcionamento pós-detecção de Falha*

Na tabela 2 é apresentado um exemplo de reestabelecimento, no mesmo é possível verificar que após a detecção da falha, o sistema suspendeu o monitoramento entre as amostras 46 e 55 (devido à adoção do valor de NAH=10) e reiniciou o processo de supervisão na amostra 56, vale ressaltar que, a faixa de oscilação do valor de MTR após o reinício foi entre 66 e 68 V.

Tabela 1. Exemplo do monitoramento da variação da tensão.

Amostra	MTR (V)	Vmed (V)	MDV (V)	LVM (V)	Status	
35	4,898	5,425	0,527	0,9207	Sem Registro de Alarme	
36	5,332	5,177	0,155	0,9486	Sem Registro de Alarme	
37	5,394	5,1925	0,2015	0,9486	Sem Registro de Alarme	
38	4,836	5,1615	0,3255	0,9486	Sem Registro de Alarme	
39	4,402	5,115	0,713	0,9486	Sem Registro de Alarme	
40	4,526	4,991	0,465	1,2834	Sem Registro de Alarme	
41	68,634	4,7895	63,8445	1,2834	Alarme	
42	67,766	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
43	67,022	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
44	66,65	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
45	67,394	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	Falha

Tabela 2. Exemplo do funcionamento do sistema de reestabelecimento automático do monitoramento.

Amostra	MTR (V)	Vmed (V)	MDV (V)	LVM (V)	Status	
35	4,898	5,425	0,527	0,9207	Sem Registro de Alarme	
36	5,332	5,177	0,155	0,9486	Sem Registro de Alarme	
37	5,394	5,1925	0,2015	0,9486	Sem Registro de Alarme	
38	4,836	5,1615	0,3255	0,9486	Sem Registro de Alarme	
39	4,402	5,115	0,713	0,9486	Sem Registro de Alarme	
40	4,526	4,991	0,465	1,2834	Sem Registro de Alarme	
41	68,634	4,7895	63,8445	1,2834	Alarme	
42	67,766	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
43	67,022	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
44	66,65	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	
45	67,394	4,7895	60,6825	1,2834	Alarme	Falha
46	66,96	67,208	0,248			
47	66,278	67,0065	0,7285			
48	66,464	66,8205	0,3565			
49	66,464	66,774	0,31			
50	66,402	66,5415	0,1395			
51	66,774	66,402	0,372			
52	66,588	66,526	0,062			
53	67,146	66,557	0,589			
54	66,216	66,7275	0,5115			
55	66,278	66,681	0,403			
56	66,712	66,557	0,155	1,0602	Sem Registro de Alarme	Restabelecimento
57	65,72	66,588	0,868	1,0602	Sem Registro de Alarme	
58	65,782	66,2315	0,4495	1,5624	Sem Registro de Alarme	
59	66,402	66,123	0,279	1,5624	Sem Registro de Alarme	
60	66,154	66,154	0	1,5624	Sem Registro de Alarme	

Copyright © 2016 ISESC

4. Testes de Desempenho dos Algortimos

Nesta segunda fase de testes foram realizados com os dados levantados em campo e os resultados de simulações laboratoriais, também nesta etapa da pesquisa foram desenvolvidos um aplicativo que possibilitou a análise de forma automática o grande volume de informação gerada e um protótipo para simulação do banco de capacitores.

A. Desenvolvimento do Aplicativo de Monitoramento

Foi desenvolvido um aplicativo que possibilitou a análise dos valores de tensão do neutro proveniente do registro histórico de um Banco de Capacitores e de um relê de proteção digital que supervisiona o protótipo que simula o comportamento de um banco de capacitores, também foi criada uma IHM para a realização das alterações dos parâmetros e a visualização do comportamento das variáveis analisadas.

B. Testes de Desempenho dos Algoritmos

Os testes dos algoritmos em questão foram realizados por intermédio do aplicativo desenvolvido utilizando inicialmente dados levantados em campo e posteriormente os resultados de simulações em protótipo laboratorial devido à inexistência de registros de falhas em campo durante o período de análise.

- ***Testes de Desempenho dos Algoritmos Utilizando Dados Levantados em Campo***

Para tal avaliação, foi utilizado um histórico de registros da tensão de neutro de banco trifásico de características nominais de 13.8 kV, 2.4 MVAr e configurado em estrela não aterrada, vale citar que, cada capacitor do conjunto possui potência nominal de 200 kVAr e é formado por quatro elementos em série e três em paralelo todos protegidos por fusíveis e o mesmo é conectado ao barramento de saída de um dos transformadores da estação de distribuição.

Foram realizados quatro registros de tensão (em períodos distintos) com 300 amostras, os mesmos foram apresentados de forma gráfica na figura 1, as oscilações apresentadas representam a variação natural existente no sistema devido ao desbalanceamento de tensão das fases, conforme citado, não foi possível levantar registros de contingências.

Os quatro registros apresentados na figura 1 foram analisados pelo aplicativo e para tal avaliação foram utilizados os seguintes parâmetros NAM = 4, NAH = 40, NAF = 5 e FAE = 15%.

O resultado da análise do registro 1 foi apresentado na figura 2, sendo possível verificar que foi detectado um alarme indevido (destaque em vermelho), porém devido a quantidade de amostras com incidência de alarmes ser inferior ao definido por NAF, não ocorreu a confirmação da falha.

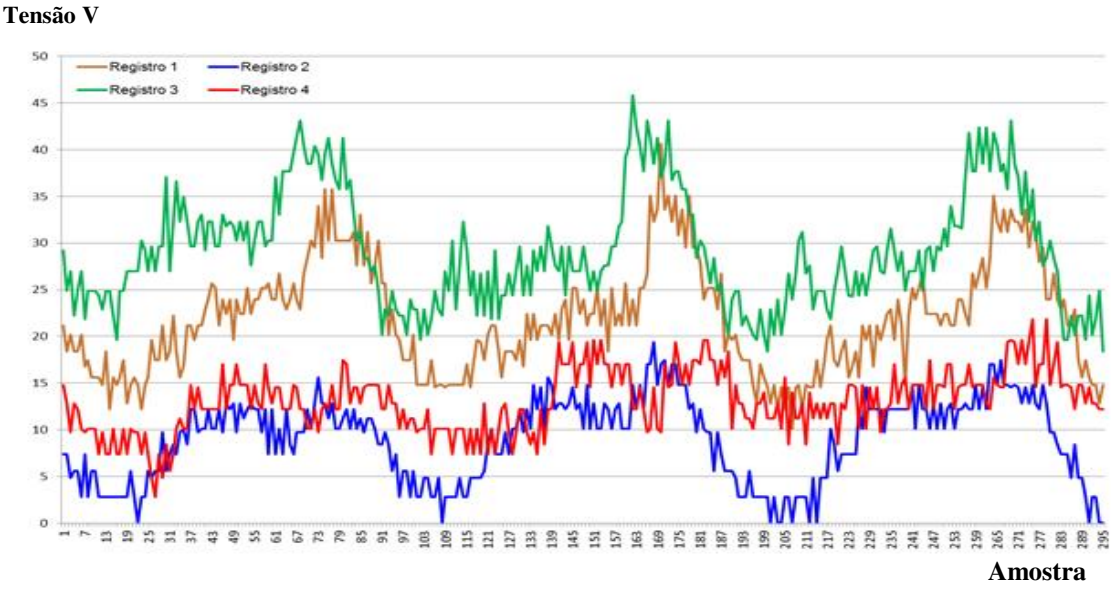


Figura 1. Registro da tensão de neutro em banco de capacitores.

Copyright © 2016 ISESC

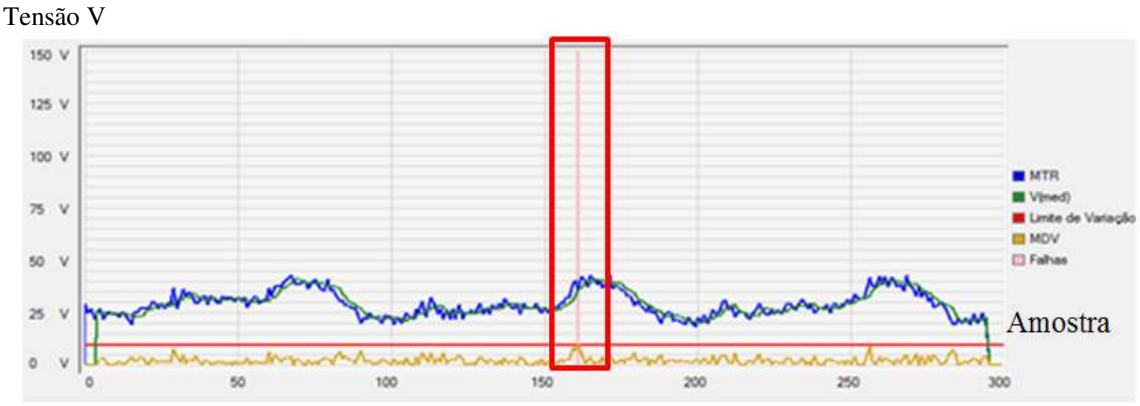


Figura 2. Resultado da análise do registro 1.

O restante das simulações também apresentaram ocorrências isoladas de alarmes indevidos, porém em nenhum dos casos houve confirmação de falhas, demonstrando que o sistema atuou de forma adequada, porém não foi possível aferir o comportamento do algoritmo em uma ocorrência de contingências [5].

- ***Testes de Desempenho dos Algoritmos Utilizando Dados Levantados em Laboratório***

Como verificado anteriormente não foi possível avaliar o comportamento dos algoritmos em situação de contingência, para obter dado que possibilitem tal análise foi desenvolvido um protótipo com as dimensões reduzidas e proporcionais as encontradas no Banco de Capacitores em questão.

O protótipo foi desenvolvido utilizando resistores cujos valores foram determinados objetivando a manutenção da proporcionalidade da tensão em relação à corrente verificada no Banco de capacitores, o mesmo foi concebido para possibilitar a simulação de inúmeros tipos de contingências (ruptura de fusíveis dos elementos internos do capacitor), os dados foram adquiridos por meio de um rele digital e que a tensão registrada foi multiplicada por fator de proporcionalidade para que os resultados sejam similares ao que seriam encontrados em campo.

Nos testes foram utilizados cinco ensaios que são caracterizados por séries de simulações de seis contingências escolhidas de forma aleatória e ilustradas na tabela 3.

Vale salientar que, a cada contingência ocorre uma simulação da ruptura de um fusível interno de um capacitor referente a uma determinada fase e que no início de qualquer caso não existe um desbalanceamento significativo no conjunto.

Os registros das tensões de neutro levantadas no protótipo referentes aos cinco ensaios citados na tabela 3 foram apresentados de forma gráfica na figura 3.

Tabela 3. Descrição dos casos simulados no protótipo.

Ensaio	Contingência - Simulação de ruptura de um fusível					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
1	Fase A	Fase B	Fase C	Fase C	Fase C	Fase C
2	Fase B	Fase B	Fase B	Fase C	Fase B	Fase C
3	Fase B	Fase A	Fase A	Fase C	Fase C	Fase C
4	Fase C	Fase C	Fase C	Fase C	Fase A	Fase B
5	Fase B	Fase B	Fase C	Fase C	Fase C	Fase A

Copyright © 2016 ISESC

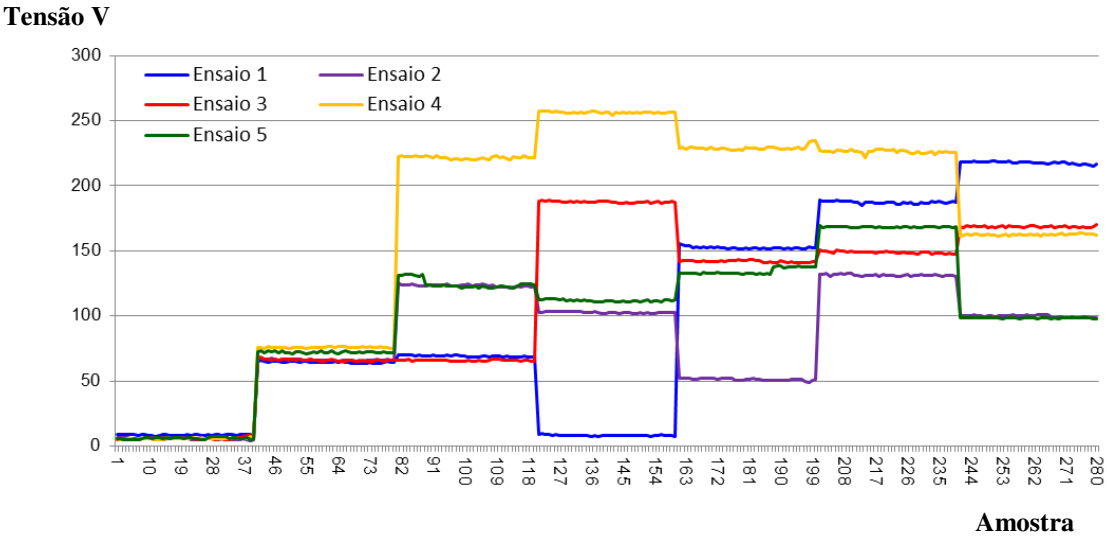


Figura 3. Registros das tensões referentes às simulações realizadas no protótipo.

Os registros apresentados na figura 3 foram analisados pelo aplicativo utilizando os parâmetros apresentados anteriormente, na figura 4 é ilustrado o resultado referente aos dados obtidos no ensaio 01, onde é possível verificar que as rupturas de fusíveis simuladas (setas em azul) foram detectadas, também ocorreram diversos alarmes (riscos estreitos) que não foram interpretadas como falhas.

Avaliando os resultados dos outros ensaios foi possível concluir que houve semelhança no comportamento no monitoramento da ruptura de fusíveis internos dos capacitores, ou seja, todas as simulações foram visualizadas pelo algoritmo, também foi possível verificar que em algumas simulações de queima de fusíveis ocorreram pequenas variações na tensão analisada (destaque em vermelho na figura 4) dificultando a sensibilização do aplicativo em questão, tal fato ocorre quando a alteração da reatância proveniente da contingência causa uma variação de tensão próxima à faixa de balanceamento, vale citar que, a oscilação pode ser nula em casos onde são realizadas comparações entre duas amostras opostas e simétricas ao ponto de equilíbrio de reatâncias, na figura 5 é ilustrado um exemplo de tal comportamento, este empecilho poderá ser eliminado caso seja realizada uma análise comparativa entre os fasores das tensões.

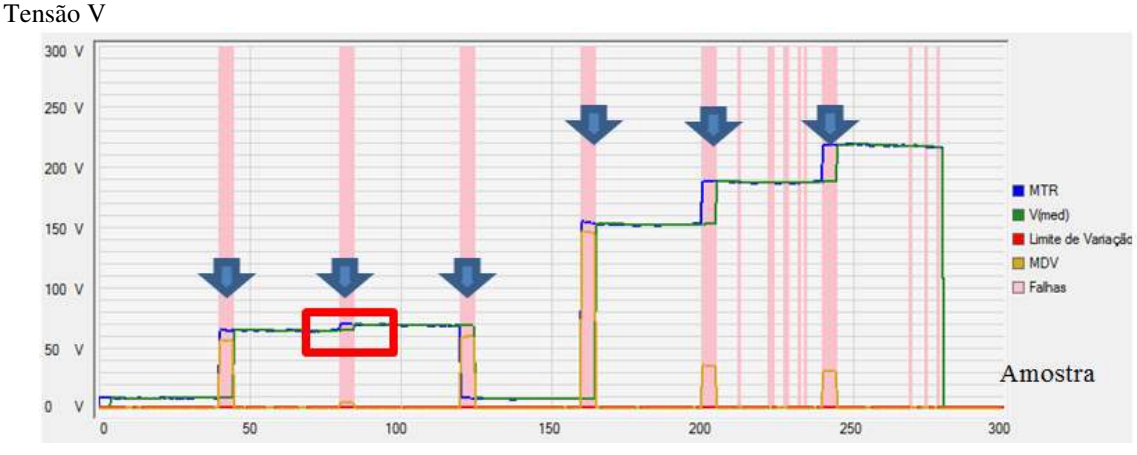


Figura 4. Resultado da análise do ensaio 1.

Copyright © 2016 ISESC

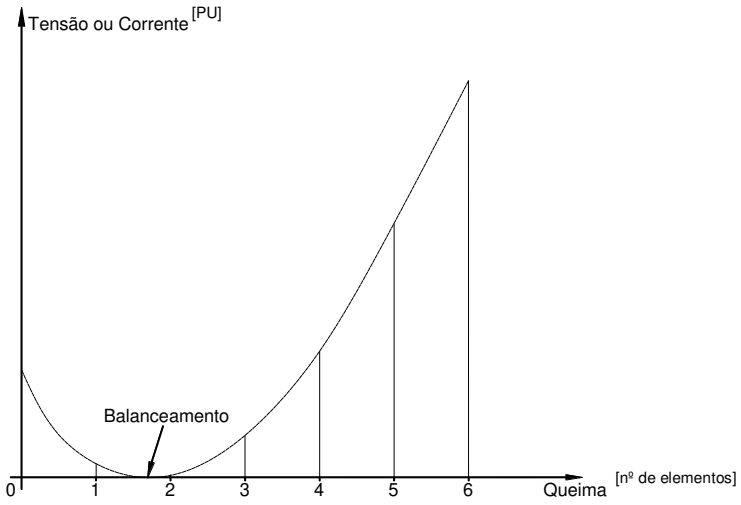


Figura 5. Gráfico referente ao comportamento típico das tensões de neutro em função da variação das impedâncias provocada pela queima de elementos capacitivos [3].

C. Conclusões

De forma geral a metodologia apresentada mostrou excelente confiabilidade no que diz respeito à detecção de ruptura de fusíveis internos de capacitores de Banco utilizados em subestações de distribuição, porém algumas considerações podem ser apresentadas:

- O custo da implantação do sistema é de certa forma baixo, devido à maioria dos Bancos de Capacitores já possuem o monitoramento de tal parâmetro através de relê digital;
- O algoritmo poderá ser implantado em qualquer computador que possa receber os dados das tensões de neutro em tempo real ou através de levantamento do histórico;
- Existe a necessidade de um sistema historiador para a realização da avaliação dos dados que antecedem a amostra em análise;
- Os ajustes que devem ser realizados no algoritmo necessitam de uma prévia análise do histórico de operação do sistema, para não haver atuações indevidas;
- Como cada Banco de Capacitores possui uma característica própria é importante à realização de um estudo prévio para avaliar o comportamento da tensão de neutro em função das contingências que se espera monitorar;
- Foi verificado que devido ao monitoramento somente do módulo de tensão o algoritmo poderá não se sensibilizado em alguma situação, tal fato pode ser corrigido caso seja utilizado um sistema de medição que possibilite levantar o fasor da variável em questão.

Referências

[1] Domingues, L. M. Desenvolvimento de Algoritmo para Monitoramento de Anormalidade em Bancos de Capacitores Shunt 2015 Trabalho de Conclusão de Curso - - Universidade Santa Cecília, Acervo Da Biblioteca Da Universidade.

[2] M. Torres, E. L. Carvalho Junior, W. Campos, A. Degan Fávaro, P. R. Andreus, S. S. de Andrade, A. Rocco, A. S. Onuki, e G. Roberto Bellon..“Sistema Digital de Medição de Correntes de Bancos de Capacitores Série e Transmissão dos Dados Adquiridos Através de Dispositivos Sem Fio”, Relatório TBE – Transmissora Brasileira de Energia, ITPBS – Instituto Tecnológico de Pesquisa da Baixada Santista e ECIL - Informática Indústria e Comércio LTDA, 2012.

[3] Samineni, S., Labuschagne C., and Pope J., “Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection,” proceedings of the 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2010.

[4] Moxley, R.; Pope, J.; Allen, J.. Proteção de Banco de Capacitores de Alta Tensão para Configurações Simples e Complexas - Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Disponível em: <www.selinc.com.br/art_tecnicos/6505-Protecao-de-Banco-de-Capacitores-para-Configuracoes_Simples-e-Complexas.pdf> Acessado 28 set. 2015.

[5] Passos, A. C., Duarte, L. H. S., Novais, M. S., Alves, M. F. – Teoria e Proposta Para Avaliação da Degradação de Longa Duração de Capacitores de Potência SNPTEE, 2003.

Copyright © 2016 ISESC