

Metodologia de Testes para Avaliação da Proteção de Banco de Capacitores sob Transitórios de Corrente

Agno G. O. Abílio

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itabira (MG), Brasil
agno_mg@yahoo.com.br

Marcel F. C. Parentoni

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itabira (MG), Brasil
parentoni@unifei.edu.br

Rafael C. Souza

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itabira (MG), Brasil
rafaelcunhasouza@yahoo.com.br

José E. L. Almeida

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itabira (MG), Brasil
j.eugenio@unifei.edu.br

Aurélio L. M. Coelho

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itabira (MG), Brasil
aurelio.coelho@unifei.edu.br

Bruno de Nadai Nascimento

Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI)
Itajubá (MG), Brasil
nadaibruno@gmail.com

Resumo – Este trabalho apresenta uma metodologia de testes para executar a avaliação da proteção de bancos de capacitores sob transitórios de corrente. Para isso, o estudo é realizado de duas formas: através de simulações computacionais e por meio de montagem em laboratório. Na primeira etapa, sinais decorrentes de curtos-circuitos são simulados em ATPDraw, convertidos para o formato COMTRADE, carregados em um equipamento de teste e injetados em um relé numérico comercial para avaliar a sua resposta de sobrecorrente. A segunda etapa compreende montagem laboratorial. Cargas capacitivas físicas são chaveadas a fim de gerar desbalanço de corrente. Os sinais de subcorrente decorrentes desse desbalanço são aplicados no mesmo relé de proteção para avaliar sua resposta. Os principais resultados e conclusões são apresentados.

Palavras-chave – Curto-circuito, desequilíbrio de capacitância, proteção de banco de capacitores, relé de proteção, sobrecorrente temporizada, subcorrente.

I. INTRODUÇÃO

Bancos de capacitores (BCs) são equipamentos construídos por uma combinação série-paralela de células capacitivas, utilizados no sistema elétrico de potência (SEP) para suprir a potência reativa dos elementos indutivos do sistema [1], [2]. Dentre os principais efeitos atenuados pelos BCs pode-se citar a correção do fator de potência, a redução de perdas e a filtragem de harmônicos. Os BCs estão sujeitos a falhas internas e externas que podem afetar seu funcionamento ou até mesmo danificá-los. Por essa razão, se faz necessária a utilização de dispositivos de proteção para evitar indevidas operações.

A proteção de bancos de capacitores é realizada de maneira interna e externa. As proteções externas visam proteger o banco contra solicitações externas oriundas do sistema e solicitações causadas pela operação do banco de capacitores. As proteções externas são meios para controle de sobretensões e sobrecorrentes transitórias, desconexões do banco em caso de faltas severas e proteção contra operação em condições anormais [2].

Para realização da proteção de BCs são geralmente utilizados relés. De acordo com [3], os relés de proteção podem ser eletromecânicos, analógicos, digitais ou numéricos

e são conectados ao SEP para detectar situações intoleráveis ou indesejáveis de operação dentro de uma área designada (zona de proteção). A proteção de BCs pode ser realizada com a utilização de relés específicos para tal aplicação.

Com o advento dos relés numéricos, o engenheiro de proteção encontrou mais praticidade em obter esquemas diversos para proteção bem como um controle maior das variáveis e do sistema de proteção como um todo. Porém, ainda são encontrados na indústria e no SEP relés de proteção sem os recursos básicos da tecnologia recente como oscilografia, *software* de ajuste e conexão via rede *ethernet*, exigindo do engenheiro conhecimento prático para trabalhar com o mesmo. O relé de proteção de banco de capacitores SPAJ 160 C da fabricante ABB [4], utilizado neste trabalho, é um exemplo desse tipo de dispositivo. Para avaliação e comissionamento desse tipo de tecnologia de relé, é necessário dispor de *hardware* e *software* capazes de emular situações operacionais que o mesmo venha a estar submetido.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma metodologia de testes para avaliar a resposta do relé SPAJ 160 C quando submetido a transitórios de corrente: sub e sobrecorrente. Para isso, o estudo é realizado de duas formas: através de simulações computacionais e por meio de montagem em laboratório. Na primeira etapa, sinais decorrentes de curtos-circuitos são simulados em ATPDraw, convertidos para o formato COMTRADE, carregados em um equipamento de teste e injetados em um relé numérico comercial para avaliar a sua resposta de sobrecorrente. A segunda etapa compreende montagem laboratorial onde cargas capacitivas físicas são chaveadas a fim de gerar desbalanço de corrente. Os sinais de subcorrente decorrentes desse desbalanço são aplicados no mesmo relé de proteção para avaliar sua resposta.

Além dessa seção introdutória, este texto contém: uma breve fundamentação teórica na seção 2; os materiais e métodos empregados são apresentados na seção 3; os principais resultados e discussões são abordados na seção 4 e por fim tece-se uma conclusão geral sobre o trabalho na seção 5.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos gerais acerca de bancos de capacitores, dispositivos de proteção e sobre os

distúrbios que serão analisados para avaliar as funções de proteção do banco de capacitores, necessários para compreensão do trabalho.

A. Banco de Capacitores

Bancos de capacitores são construídos utilizando-se de unidades capacitivas associadas em série e paralelo, a fim de se obter certa potência capacitiva para certa tensão aplicada [5]. De acordo com a norma IEEE 18-2002 [6] essa associação deve respeitar um padrão para que, na ocorrência de um defeito, que leve a perda de uma unidade capacitiva, a tensão sobre as unidades remanescente em relação à tensão nominal do banco não seja maior que 110% [7].

Os BCs são classificados de acordo com a presença do elemento fusível que os protege de falhas internas podendo ser sem elo fusível “Fuseless”, com elo fusível interno e com elo fusível externo.

A partir de fechamentos elétricos das unidades capacitivas se formam os bancos de capacitores. Dentre os mais usuais temos os fechamentos do tipo delta, estrela aterrada, estrela não aterrada, dupla estrela aterrada e dupla estrela não aterrada, há também o fechamento em ponte H que diz respeito à conexão em cada fase. Dentre os fechamentos supracitados as conexões em estrelas são as mais usuais [7].

B. Dispositivos de proteção

A proteção de bancos de capacitores é realizada por esquemas internos e externos com o objetivo de proteger não só o banco, mas também o sistema ao qual o mesmo está conectado.

Os esquemas internos tem foco na proteção contra falhas internas do próprio banco, isolando componentes defeituosos, e o banco em caso de falhas severas que o leve a um desligamento total.

Já os esquemas externos de proteção visam à proteção do banco contra solicitações externas oriundas do sistema e a proteção do sistema contra as solicitações causadas pela operação do BC [2]. Para esse tipo de proteção utilizam-se equipamentos e/ou relés que apresentam funções diversas, tais como para-raios, reatores de amortecimento, resistores de pré-inserção, disjuntores, fusíveis limitadores e relés das mais diversas características.

Com relação aos relés de proteção, as características desejáveis são: rapidez, confiabilidade, sensibilidade, seletividade, robustez e longa vida útil [1].

C. Distúrbios analisados para avaliação da proteção do banco de capacitores

Neste trabalho, os distúrbios analisados para avaliação da proteção são: sobrecorrente e “desequilíbrio de capacitância”, que aqui neste estudo refere-se a retirada de uma capacitância do BC que leva a uma subcorrente. A seguir uma breve descrição de cada um destes distúrbios.

1) Sobrecorrente

A sobrecorrente é um distúrbio muito comum nos sistemas elétricos. Qualquer aumento no valor da corrente nominal de um equipamento é considerado uma sobrecorrente. Tal distúrbio pode acarretar inúmeros prejuízos dependendo da intensidade e/ou do tempo de duração do evento e, também, da

sensibilidade do equipamento sujeito à sobrecorrente.

Geralmente a sobrecorrente é ocasionada por sobrecarga ou curtos-circuitos. Um BC sujeito à sobrecorrentes pode ter suas unidades capacitivas queimadas comprometendo o funcionamento do mesmo. Os valores permissíveis de sobrecorrente em um banco de capacitores são: 135% para sobrecorrente em bancos com fechamento em estrela aterrada e 125 % para bancos com fechamentos não aterrados, definidos em [8].

2) Desequilíbrio de Capacitância (Subcorrente)

O desequilíbrio de capacitância nas fases de um banco é um distúrbio que vem atrelado a outros, pois um desequilíbrio de capacitância pode ocorrer após um pico de corrente na entrada do BC ou, por exemplo, pode levar a uma subcorrente nas fases do BC.

A queima de unidades capacitivas em uma determinada fase leva a um aumento da reatância na fase, resultando em uma diminuição da corrente de fase e um aumento da tensão nas unidades capacitivas conectadas em paralelo à unidade capacitiva queimada (levando em consideração BCs com tecnologia de fusível interno). Este foi o caso investigado na segunda etapa deste trabalho. Para garantir que outras unidades capacitivas não sejam severamente afetadas com a queima de apenas uma unidade capacitiva, o projeto do BC deve ser feito de modo que a queima de uma unidade não resulte em uma sobretensão superior a 10% nas outras unidades capacitivas do banco conforme definido em [7]

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização dos testes no relé de proteção foi dividida em duas etapas. A primeira etapa foi realizada a partir de simulações e a injeção de correntes através da mala de testes CMC 356 da Omicron, com o intuito de testar a função ANSI 51. A segunda etapa consistiu em montar um BC trifásico de pequeno porte a partir de décadas capacitivas e resistivas presentes no laboratório da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, afim de provocar desbalanço nos valores de capacitância nas fases do banco e verificar o comportamento das correntes de fase no mesmo, com o objetivo de testar a função ANSI 37. A Fig. 1 apresenta o esquemático da primeira etapa da metodologia adaptada de [9] para os fins deste trabalho.

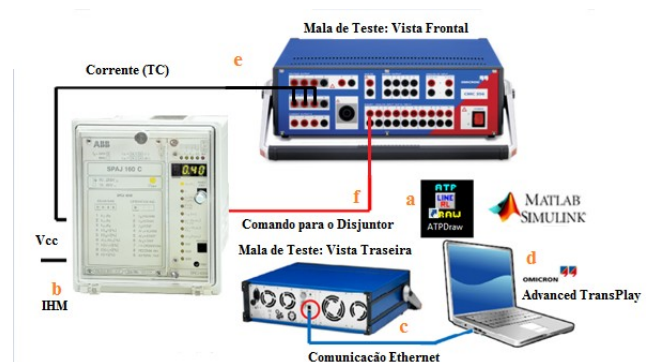


Fig. 1. Arquitetura do sistema de testes (adaptada) [9].

As subetapas “a” a “f” expostas na Fig. 1 foram implementadas em laboratório para a realização dos testes referentes à primeira etapa, como descritas a seguir:

- Inicialmente, foi simulado um modelo de alimentação trifásica de um banco de capacitores de 200 [MVar], 765 [kV] e 150,94 [A] no *software* ATPDraw, sendo todos estes valores trifásicos. Tais valores foram coletados de um BC real, cujas informações podem ser encontradas em [10]. A redução de escala dos níveis de corrente para adequar aos níveis do relé foi efetuada utilizando o *software* MatLab utilizando uma dinâmica de programação onde apenas se multiplicava o sinal por um vetor reduzindo assim a amplitude do sinal porém mantendo as características do mesmo, simulando um transformador de corrente (TC) com relação ideal de transformação de 1000:1. Em seguida foram simulados diferentes curtos-circuitos externos ao banco de capacitores. Os sinais de corrente simulados foram convertidos para o formato COMTRADE conforme o padrão [11] para que pudessem ser carregados na mala de teste da Omicron CMC 356, a qual teve atribuída a função de reproduzir os sinais simulados no ATPDraw (ver item d) para injetá-los no relé de proteção (ver item e). A Fig. 2 apresenta o sistema de um banco de capacitores trifásico com fechamento em estrela simplificado implementado no ATPDraw;



Fig. 2. Sistema modelado no ATPDraw.

- Alimentação, fechamento (para entrada de corrente de 1[A]) e parametrização das funções de proteção do relé numérico de banco de capacitores SPAJ-160C por meio da sua Interface Homem-Máquina (IHM). As funções ajustadas foram: sobrecorrente temporizada (ANSI 51) e subcorrente (ANSI 37);
- Realização da comunicação entre o computador e a mala de testes via cabo *ethernet*;
- Uma vez realizada a comunicação do *software* da mala de teste com o computador, os arquivos COMTRADE foram carregados no módulo de reprodução de sinais *Advanced Transplay* do *software* Omicron Test Universe;
- Seleção dos sinais secundários de corrente (TC) reproduzidos na mala de teste e ligação do cabeamento dos mesmos com as respectivas entradas do relé;
- Conexão da saída do sinal *trip* do relé com uma entrada digital da mala de testes para medir o tempo total da atuação da proteção em resposta aos distúrbios aplicados.

A partir da realização dos procedimentos supracitados, foi possível analisar a atuação do relé de proteção de BCs para diferentes curtos-circuitos.

Quanto a segunda etapa de testes do relé, foi montado um BC com alimentação trifásica de 220[V], 175 [VAr] de potência reativa trifásica e 0,65 [A] de corrente de fase. Estes

valores já consideram elementos resistivos de 138,29 [Ω] em série em cada fase do BC. A disposição dos elementos citados e montados em laboratório é apresentada na Fig. 3.

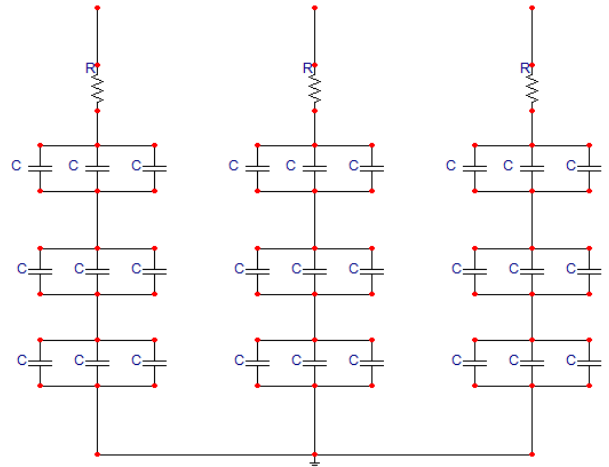


Fig. 3: Disposição dos capacitores para montagem do banco.

A partir da montagem do banco conforme apresentado na Fig. 3, utilizou-se todos os capacitores com os mesmos valores de capacitância, fazendo-se que cada fase do BC tenha capacitância nominal $C = 19,1819$ [μF]. O ensaio consistiu em retirar elementos capacitivos de uma mesma fase com a finalidade de provocar um desbalanço de capacitância nesta fase em relação às outras e parametrizar o relé para que o mesmo atuasse quando o banco apresentasse tal desequilíbrio. Os elementos resistivos na entrada de cada fase proporcionam uma redução da corrente nas fases do banco para que possa ser utilizada a entrada de um 1[A] do relé sem a necessidade da utilização de um sensor de efeito Hall ou um transformador de corrente (TC).

Uma vez que o relé não apresenta recursos de *software* para coleta de oscilografias e registro de eventos, para efeito de monitoramento da corrente nas fases do banco e no ponto de neutro, foram utilizados um osciloscópio Tektronix (TPS2024B) e um avaliador de qualidade da energia da marca Dranetz (MavoWatt20) conforme apresentado na Fig. 4.



Fig. 4: Esquemático da montagem do Banco.

Na análise dos resultados foram considerados os tempos de atuação da função de proteção coletados na mala de teste no que se refere à primeira etapa, bem como as indicações apresentadas no *display* e *LED's* frontais do relé para ambas as etapas.

A seguir são apresentados os procedimentos utilizados para realização dos testes das funções de proteção de sobrecorrente temporizada (ANSI 51) e de subcorrente (ANSI 37) do relé de BC utilizado nesse estudo.

A. Procedimento de Teste da Função (ANSI 51)

O teste para verificar a atuação do relé para a função de sobrecorrente temporizada partiu da parametrização do mesmo através de sua IHM. No manual do equipamento em [4] há instruções e um breve exemplo de como é feita uma parametrização utilizando sua IHM. Conforme especificado em [8] o ajuste do valor de *pickup* de corrente deve ser configurado para 135% do valor RMS da corrente nominal do banco, e assim foi feito. Posteriormente, os arquivos resultantes das simulações no ATPDraw foram convertidos para a extensão COMTRADE com o objetivo de serem carregados na mala de testes. Com o ajuste de *pickup* no relé para 135% do valor RMS da corrente nominal do banco, ao carregar na mala de testes, os sinais resultantes das simulações de curto-circuito, é esperado que o relé se comporte de maneira a respeitar a curva de tempo inverso da ANSI presente no manual do relé em [4]. Tal curva é apresentada na Fig. 5.

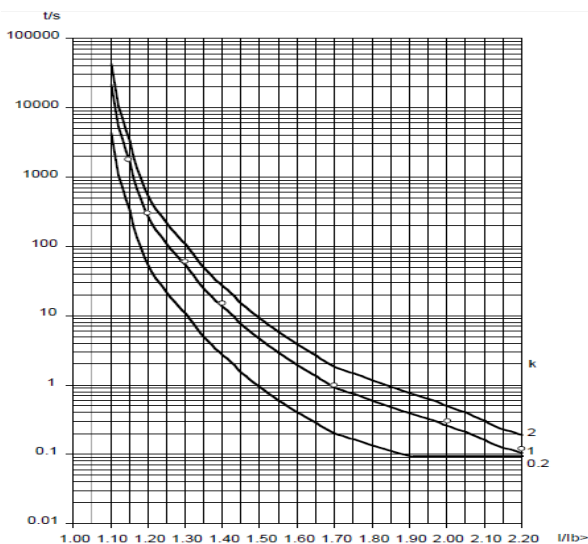


Fig. 5: Gráfico adaptado de [4]: curva de tempo inverso – ANSI.

A relação $I/I_b >$ representa a relação entre a corrente na entrada do relé e a corrente de *pickup*. O fator k é responsável pelo deslocamento vertical da curva de tempo inverso.

Durante a etapa de simulações, todos os curtos circuitos foram aplicados após 1,5 [s] de simulação, para que o banco de capacitores estivesse em regime permanente.

B. Procedimento de Teste da Função (ANSI 37)

O relé SPAJ-160C apresenta, também, a função 37 de proteção contra subcorrente. No presente trabalho essa função de proteção foi utilizada para detectar desbalanço das capacitâncias nas fases do banco de capacitores, uma vez que esse evento produz uma diminuição na corrente do BC. Outra maneira de detectar o desbalanço das capacitâncias é monitorando a corrente de neutro do BC.

Como mencionado anteriormente, a capacitância em cada

fase do BC é de $C = 19,1819 [\mu F]$, o que acarreta em uma reatância capacitiva de aproximadamente $138,2857 [\Omega]$ em cada fase do banco (para uma frequência $f = 60 [Hz]$).

Conforme os elementos capacitivos de um grupo paralelo de uma fase do banco são retirados de operação, simulando a queima do mesmo, a reatância capacitiva da fase tende a aumentar, levando a uma redução na corrente de fase. Para o banco montado em laboratório, ver Fig. 3, a perda de um capacitor em uma das fases leva a uma redução de aproximadamente 14,29% na capacitância e na corrente da respectiva fase. Dessa maneira a abordagem utilizada foi a de parametrizar o relé para efetuar o *trip* com uma corrente de 90% da corrente nominal, não permitindo a variação maior que 10% conforme definido em [8].

Nesta etapa os parâmetros configurados no relé sob teste são: “I<” em % e o tempo em segundos. O parâmetro “I<” é configurado em relação a corrente I_n de entrada do relé, que no caso foi utilizada como 1 [A]. Como a corrente nominal do banco montado é de 0,65 [A], “I<” foi configurada para 59% de I_n (que equivale a 90% de corrente nominal de BC). Portanto, o relé atuará quando a corrente de entrada for menor que o valor ajustado de “I<”.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões das simulações e testes realizados considerando os distúrbios descritos nas seções anteriores. Conforme as recomendações de [8], os níveis de corrente em um banco de capacitor não podem ser superiores a 135% de seu valor RMS. Para que o banco seja percorrido com valores de corrente acima de 135% de sua corrente nominal, foram simulados vários cenários de curtos-circuitos.

A. Simulações de Faltas

Os resultados obtidos nas simulações realizadas no *software* ATPDraw mostram o comportamento das correntes de fase do BC com as especificações descritas anteriormente (ver item a da seção 3) quando da ocorrência de um curto circuito.

Ao aplicar um curtos-circuitos trifásico via simulação, as correntes das fases aumentam consideravelmente até se estabilizarem em um valor de pico próximo a 9 [kA] conforme mostrado na Fig. 6.

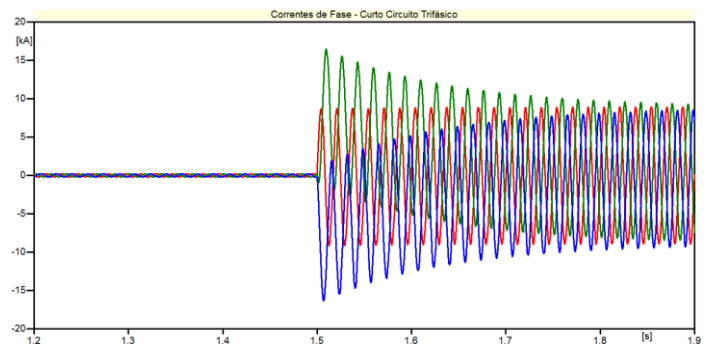


Fig. 6: Correntes de fases do banco de capacitores quando da ocorrência de um curto-circuito trifásico.

As correntes das fases em curto-circuito apresentaram características semelhantes em todas as simulações de curto circuito se estabilizando em um valor RMS próximo de 6,3

[kA]. Levando em consideração o valor RMS das correntes após a ocorrência do curto e a curva de tempo inversa apresentada anteriormente, a relação “ I/I_b ” atinge valores suficientes para que a atuação do relé seja a mais rápida possível que, no caso, é de cerca de 80 [ms] conforme [8].

B. Avaliação da Proteção (ANSI 51)

Levando em consideração o valor RMS das correntes após a ocorrência do curto e a curva de tempo inversa apresentada anteriormente, a relação “ I/I_b ” atinge valores suficientes para que a atuação do relé seja a mais rápida possível que, segundo [4], é de cerca de 80 [ms].

Como o relé utilizado não apresenta oscilografia, a análise dos resultados aos testes efetuados é embasada no tempo de atuação e nas indicações no *display* e *LED*’s frontais do relé após a atuação do mesmo. A informação do tempo de atuação do relé é adquirida através de relatório gerada pela mala de testes. A Fig. 7 apresenta as indicações no *display* e *LED*’s do relé após a injeção das correntes do curto FFF realizada pela mala de testes, e a Fig. 8 ilustra parte do relatório gerado pela mala indicando o tempo de atuação do relé.



Fig. 7: Indicações após atuação do relé.

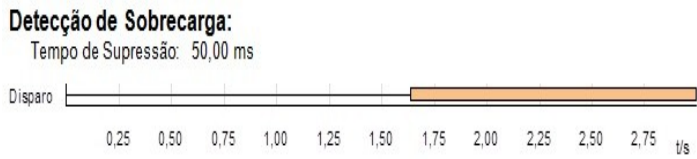


Fig. 8: Informações de tempo de resposta do relé.

A sinalização do *LED* vermelho aceso na Fig. 7, no canto inferior direito, mostra que o relé atuou. A sinalização de número 3 no *display* frontal indica que o motivo pela qual o relé atuou é sobrecorrente conforme especificado em [4]. Já as sinalizações dos *LED*’s amarelos acima do *display* indicam em quais fases houve a sobrecorrente. No caso do curto-circuito trifásico há uma sobrecorrente em todas as três fases que alimentam o banco de capacitores, o que resulta nas indicações luminosas nas três fases no painel frontal do relé. A Fig. 8 mostra que o relé atuou após aproximadamente 1,63 [s] após o início da simulação, sendo que o mesmo levou 50 [ms] para a detectar o curto circuito. Assim sendo, o tempo que o

relé demorou a enviar o sinal de *trip* após a detecção da falha resultou aproximadamente nos 80 [ms] como esperado.

Os testes e as análises foram repetidos com todos os sinais de correntes resultantes das simulações gerando uma tabela com os resultados adquiridos nesta etapa conforme apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da atuação do relé para função de sobrecorrente temporizada.

Teste	Indicação de trip	Indicação display	Indicação LED's	Tempo de detecção [ms]
FT	Ok	3	L1	50
FFT	Ok	3	L1-L2	50
FFFT	Ok	3	L1-L2-L3	50
FF	Ok	3	L1-L2	50
FFF	Ok	3	L1-L2-L3	50

A Tabela 1 mostra que os resultados da primeira etapa de testes e as indicações do painel frontal do relé, tanto no *display* quanto nos *LED*’s, corresponderam ao esperado, sendo que em todos os testes o relé atuou devido à sobrecorrente nas fases que alimentam o BC.

C. Avaliação da Proteção (ANSI 37)

Para a avaliação destes testes no relé SPAJ-160C, a parametrização do mesmo foi feita para que quando houvesse uma subcorrente correspondente a 90% da corrente nominal o mesmo atuasse. Ao se energizar o banco montado, conforme apresentado na Fig. 3, a corrente nas fases apresentou valores próximos a 0,65[A] de acordo com cálculos teóricos.

Ao retirar sucessivamente unidades capacitivas de uma das fases do circuito houve um aumento na corrente de neutro conforme apresentado nas Figs. 9 e 10, quando duas e quatro unidades capacitivas são desligadas, respectivamente.

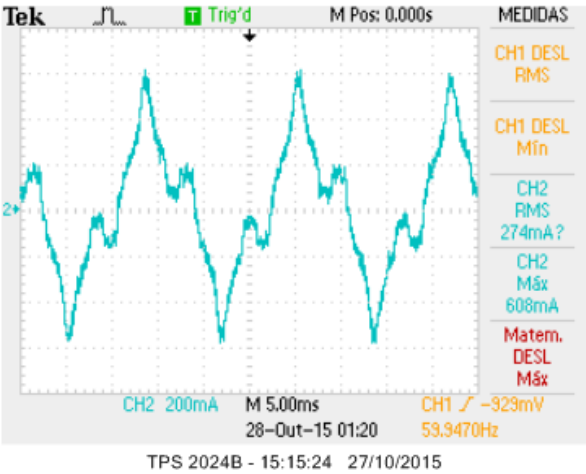


Fig. 9: Corrente de neutro quando duas unidades capacitivas de uma mesma fase estão desligadas.

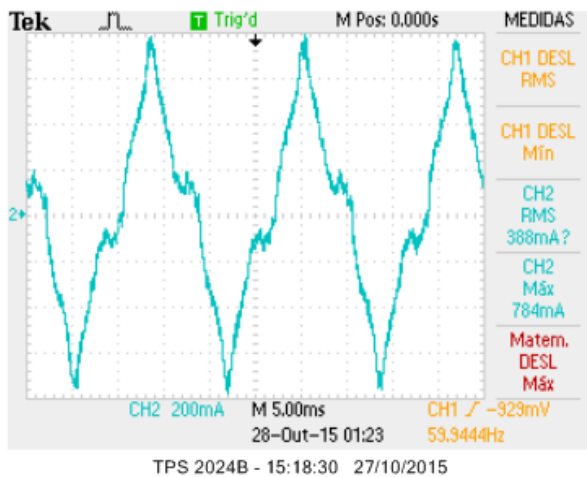


Fig. 10: Corrente de neutro quando quatro unidades capacitivas de uma mesma fase estão desligadas.

Simultaneamente ao aumento da corrente de neutro do BC, houve uma diminuição na corrente da fase onde as unidades capacitivas foram retiradas do circuito.

Decorrido alguns segundos após a retirada da primeira unidade capacitiva do circuito, o relé apresentou a indicação de *trip* e o código de número 7 em seu *display* frontal, conforme apresentado na Fig. 11.

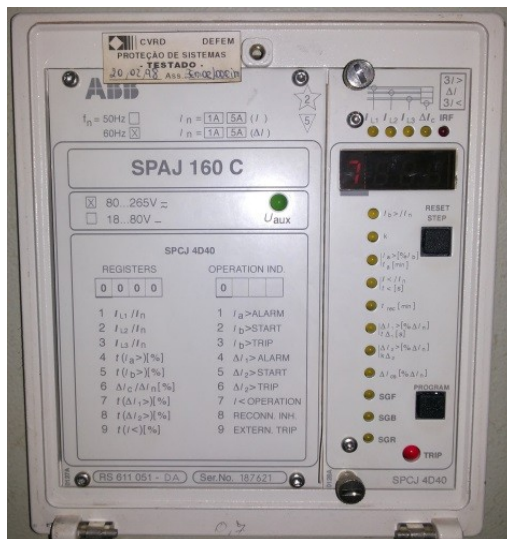


Fig. 11: Indicação após a atuação do relé.

A sinalização do LED vermelho aceso, no canto inferior direito, na Fig. 11 mostra que o relé atuou. A sinalização de número 7 na *display* frontal indica que o motivo pela qual o relé atuou é subcorrente conforme especificado em [4]. Assim sendo, não foi necessário retirar outra unidade capacitiva para que o relé detectasse uma subcorrente, respeitando a especificação de não tolerar um desequilíbrio de capacitância maior que 10% em uma das fases do banco de capacitores.

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para os testes realizados demonstraram a correta atuação do relé analisado, respeitando os parâmetros definidos, bem como os tempos de atuação e respostas dentro dos padrões desejados e exigidos pelas normas.

A atuação do relé para o teste de sobrecorrente temporizada (ANSI 51) respeitou as referências de tempo determinadas na curva de tempo inverso do relé.

No caso do desequilíbrio de capacitância, os efeitos registrados foram o aumento da corrente de neutro e a diminuição da corrente da fase na qual as capacitâncias estavam conectadas. Nesse caso, a função de subcorrente (ANSI 37) também atuou corretamente para os cenários analisados.

De forma geral, podem-se citar as seguintes contribuições do trabalho:

- Mostrar como um sistema de testes, seja computacional ou por meio de práticas laboratoriais, pode auxiliar previamente aos testes de comissionamento da proteção de bancos de capacitores;
- A disponibilização de subsídios para realização de testes e para ajustes das funções contra sub e sobrecorrente de banco de capacitores.

Como trabalho futuros, os autores sugerem a realização dos testes para outras configurações de banco de capacitores e para relés de variados tipos de fabricantes que detenham das mesmas funções de proteção aqui analisadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira e a Vale por disponibilizar de toda a estrutura necessária para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Kinderman, "Proteção de Sistemas Elétricos de Potência," 3 ed. Florianópolis: Labplan, 2005.
- [2] S. O. Frontin, "Equipamentos de Alta Tensão – Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas" 1 ed. Brasília: Teixeira, 2013.
- [3] M. G. M. Silva, "Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Digitais," Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- [4] ABB – Substation Automation, "Capacitor Protection Relay SPAJ 160 C Manual," Finland, 1995.
- [5] M. Bishop, T. Day, A. Chaudhary "A Primer on Capacitor Bank Protection," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol.37, No 4 July/August 2001.
- [6] *IEEE Standard for Shunt Power Capacitors*, IEEE Std. 2013.6466331, Feb. 2013.
- [7] T. Smith, "Determining Settings for Capacitor Bank Protection," *IEEE GE Digital Energy/Multilin 2010*.
- [8] Power System Relaying Committee, "IEEE Guide for the Protection of Shunt Capacitor Banks," *IEEE Power and Energy Society*, pp 7, march 2013.
- [9] A. L. M. Coelho, "Análise da resposta transitória de transformadores de corrente de proteção e o impacto em relés de sobrecorrente numéricos", MSc. dissertation, Electrical Engineering Department, Itajubá Federal University, Itajubá, 2011.
- [10] C. Ferreira, "Curso de Transitórios Eletromagnéticos - Professor Cláudio Ferreira" Apostila, Fupai. 2012.
- [11] *IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems*, IEEE Std. C37.111-1999, Oct. 1999.