

Confiabilidade em Sistemas Elétricos através da utilização de Relés Direcionais no Sistema Elétrico da Energisa Paraíba

Rusângela Rodrigues Guido Cavalcanti
Energisa Paraíba, João Pessoa, Brasil
rusangela@energisa.com.br

Ricardo Marques Soares
Energisa Paraíba, João Pessoa, Brasil
ricardosoares@energisa.com.br

Resumo — Neste trabalho é apresentado e analisado a utilização de relés de sobrecorrente direcionais associados aos disjuntores instalados em linhas de distribuição de alta tensão 69 kV que operam em circuitos duplos com a existência de impedância mútua nas linhas. Para isto, foi considerado um caso prático de uma ocorrência envolvendo as subestações do eixo Mussurê/Cristo e Mussurê/João Pessoa da ENERGISA-PB. Foram ainda discutidas as medidas adotadas para solucionar os problemas identificados quando da atuação dos relés direcionais em caso de curto-circuito.

Palavras-chave—Confiabilidade, Curto-circuito, Elemento direcional, Tensão de sequência negativa, Tensão de sequência zero.

I. INTRODUÇÃO

Um sistema de proteção é aplicado para detectar as anomalias que ocorrem na instalação protegida, desligando-a e protegendo-a contra os efeitos da deterioração que poderiam decorrer da permanência da falha ou defeito por tempo elevado.

Além dos efeitos da deterioração, podem ocorrer também instabilidades no sistema de potência no caso de falhas sustentadas por tempos acima de determinados limites.

Assim, o sistema de proteção deve detectar a anomalia e remover o componente do sistema elétrico sob falha, o mais rápido possível e de preferência, somente o componente sob falha.

Desta forma a ENERGISA-PB utiliza em seu sistema elétrico relés digitais com a função de sobrecorrente direcional ativada, buscando confiabilidade e seletividade.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alguns requisitos básicos de um sistema de proteção são seletividade, confiabilidade, velocidade, economia, simplicidade e manutenibilidade. Visando atender os requisitos básicos de um sistema de proteção, a ENERGISA-PB utiliza em seu sistema a proteção de sobrecorrente direcional, a qual

possui uma característica extra associada a direção da corrente medida, e não somente ao módulo a corrente medida. O código ANSI para a função direcional de sobrecorrente é 67.

A Fig. 1 a seguir mostra a conexão de proteção digital, com as funções de sobrecorrente direcionais de fase e neutro, conforme visto há necessidade de informações de tensão através de TPs de linha ou de barra.

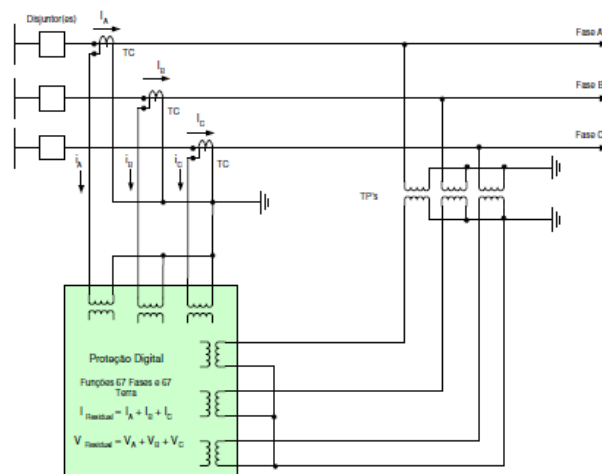


Figure 1. Conexão para proteção digital – direcional de corrente.

A função direcional de sobrecorrente deve atuar apenas se duas condições forem satisfeitas:

- Intensidade de corrente acima do limite mínimo de ajuste;
- Corrente em um determinado sentido.

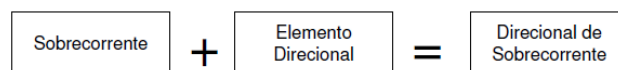


Figure 2. Conceito da função de sobrecorrente direcional.

Esta característica é muito importante para um esquema adotado de proteção, uma vez que, delimitando as condições com a imposição do fator direção, há maiores facilidades para obter seletividade (isto, é desligar o mínimo de componentes do sistema, para isolar a falha) no menor tempo possível.

Os elementos direcionais nos relés são capazes de determinar a direção da falta, estes são usados para controlar os elementos de sobrecorrente aumentando a segurança.

Os elementos direcionais respondem à mudança do ângulo de fase entre uma quantidade de polarização e uma quantidade de operação.

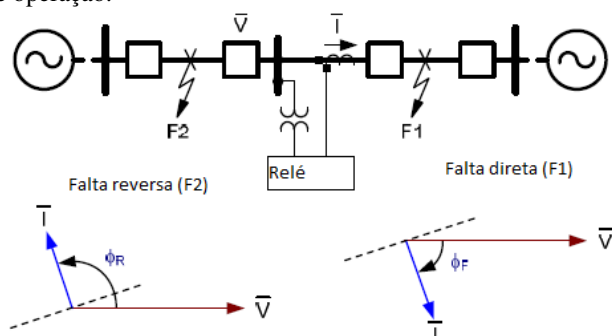


Figure 3. Princípio básico do elemento direcional.

Na Fig. 3, a tensão da fase em falta, V , é a quantidade de polarização, e a corrente da fase em falta, I , é a quantidade de operação. Devido às linhas serem predominantemente indutivas, as defasagens existentes entre I e V é o ângulo de impedância ϕ_F , para faltas na linha à frente do relé. Para faltas reversas ou na linha adjacente, a defasagem existente entre I e V será de aproximadamente 180 graus menos o ângulo de impedância da malha de defeito, ϕ_R .

A quantidade de polarização deve ter um sinal estável e confiável, não importa onde a falha está localizada.

III. ESTUDO DE CASO

Neste item será abordado um caso real de atuação indevida do relé de sobrecorrente direcional 12J2 da subestação Cristo-CRI devido a um curto-circuito na linha de distribuição de alta tensão – LDAT 02J3 Cristo/João Pessoa (ver Fig. 4 baixo).

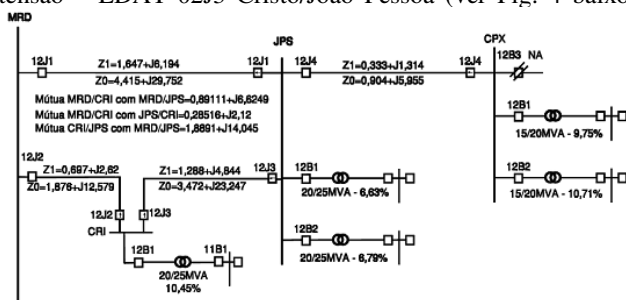


Figure 4. Diagrama unifilar eixo Mussuré II/Cristo/João Pessoa.

Em 22/10/2014 às 13:33:01h ocorreu interrupção das cargas da subestação CRI devido aos desarmes dos disjuntores 12J1 da subestação Mussuré II-MRD e 12J2 da subestação CRI (ambos com a função de sobrecorrente direcional ativada).

O 12J3 da subestação JPS se sensibilizou às 13:32:59 registrando a função 67AN com as correntes de defeito de fase A = 5.150 A, fase B = 5.350 A, fase C = 498 A e Neutro = 1.170 A e localizador de falta 0,57 km.

O 12J3 da subestação CRI se sensibilizou às 13:33:00 registrando a função 67AN com as correntes de defeito de fase A = 2.219 A, fase B = 452 A, fase C = 337 A e Neutro = 2.154 A e localizador de falta 5,71 km.

O 12J2 da subestação CRI abriu às 13:33:00 registrando a função 67ABN com as correntes de defeito de fase A = 6.246 A, fase B = 6.652 A, fase C = 3.667 A e Neutro = 3.315 A e localizador de falta -5,31 km. Simultâneo ocorreu o desarme com religamento automático com sucesso no 12J1 da subestação Mussuré II atuando a função 51C.

A causa da ocorrência identificada pelo Departamento de Manutenção – DEMA foi rompimento do cabo guarda e acessórios após curto causado por objeto estranho/animal que fez com que o cabo guarda se aproximasse ou tocasse na fase C da LDAT 02J3 CRI/JPS, próximo da subestação João Pessoa conforme visto na Fig. 5.



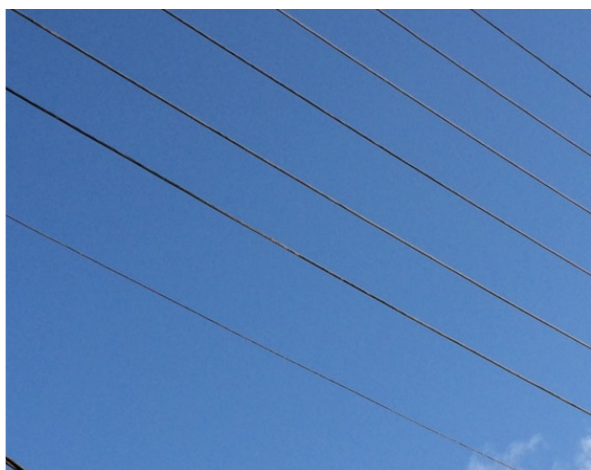


Figure 5. Fotos cabo guarda e acessórios após curto-circuito.

Devido as LDATs 02J1 MRD/JPS, 02J2 MRD/CRI e 02J3 CRI/JPS operarem em circuito duplo, verifica-se a existência de impedância mútua entre os trechos de linha, conforme mostrado na Fig. 4.

O relé associado ao disjuntor 12J3 da subestação JPS não abriu (ver Fig. 6) por causa da abertura do 12J1 da subestação MRD (disjuntor de propriedade da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF), causado pela ionização do arco na linha 02J1 MRD/JPS.

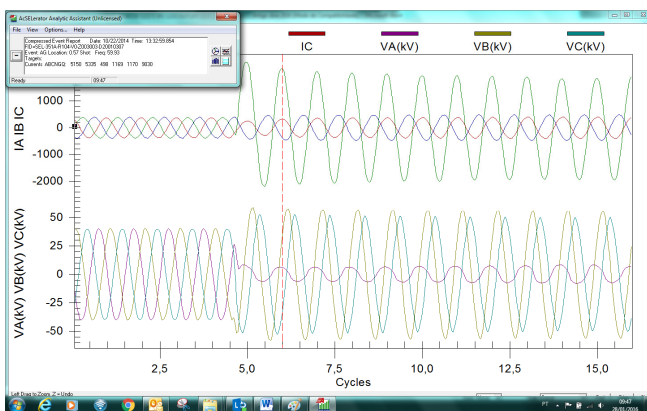


Figure 6. Oscilografia do 12J3 da subestação JPS.

O relé associado ao 12J1 da subestação MRD é um relé eletromecânico IAC51-B, logo o mesmo não possui oscilografia, apenas o que foi obtido com a CHESF foi o registro do qualímetro associado ao transformador 230/69 kV – 04T2 MRD, confirmando a redução da corrente devido a atuação do 12J1 MRD.

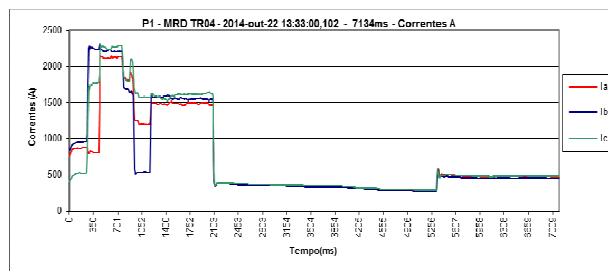


Figure 7. Registro de corrente do Qualímetro associado ao 04T2 MRD.

O relé associado ao disjuntor 12J3 da subestação CRI não abriu por causa da abertura indevida da proteção instantânea do relé de sobrecorrente direcional do 12J2 da subestação CRI (de acordo com a Fig. 9), apesar do mesmo estar com a direcionalidade “vendo” o barramento de Mussurú II. Conforme registro oscilográfico abaixo do 12J3 da subestação CRI o relé se sensibilizou, mas não abriu.

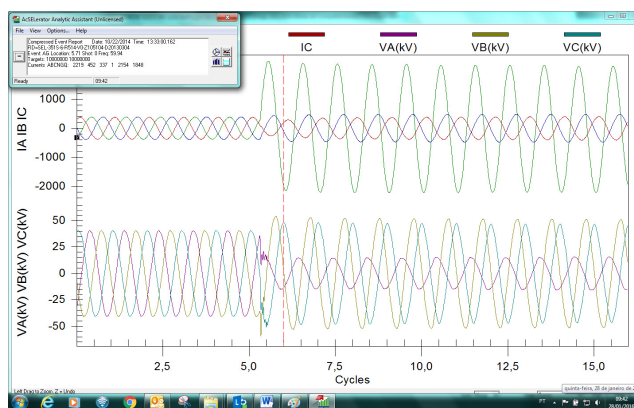


Figure 8. Oscilografia do 12J3 da subestação CRI.

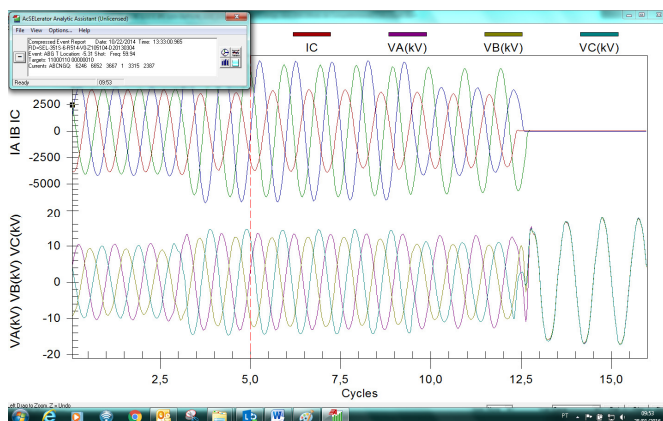


Figure 9. Oscilografia do 12J2 da subestação CRI.

De acordo com a oscilografia do 12J2 CRI, o curto-circuito começou trifásico, onde o relé corretamente declarava falta reversa através do elemento polarizado por tensão de seq. positiva ($32PR = 1$, proteção direcional de fase reversa), porém, houve uma evolução das correntes das fases A e B o

que tornou a componente de sequência negativa elevada e fez com que o relé adotasse a polarização por tensão, sensibilizando o elemento 32PF (proteção direcional de fase direta), ou seja, o fato das correntes das fases A e B subirem consideravelmente enquanto a fase C permaneceu inalterada, resultou em uma corrente de neutro de 3.315 A, e fez com que o relé alterasse a polarização do elemento direcional para sequência negativa, causando a atuação do mesmo para um defeito reverso.

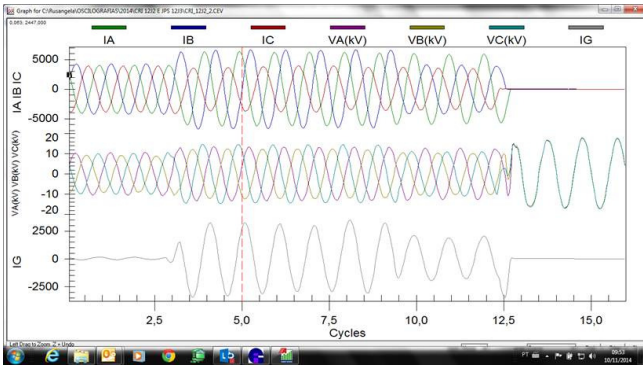


Figure 10. Oscilografia do 12J2 da subestação CRI, com a corrente de neutro.

A. Operação do elemento direcional para uma falta envolvento a terra em linhas paralelas

O relés utilizados nos disjuntores associados aos 12J2 CRI, 12J3 CRI e 12J3 JPS, são relés da Schweitzer Engineering Laboratories-SEL, modelo SEL351-A. Estes relés tem a flexibilidade da escolha do funcionamento do elemento direcional, que pode ser selecionado pelo usuário, os quais são:

- Q-impedância de sequencia negativa;
- V-impedância de sequencia zero;
- I-corrente polarizada;
- Qualquer combinação de Q, V ou I.

Durante a ocorrência, os relés estavam configurados em ORDER = QV, o que significa que o relé usa primeiro a tensão de sequencia negativa como elemento de polarização, assumindo que não é suficiente a corrente de sequência negativa, em seguida o relé usa a tensão de sequência zero como elemento de polarização para fazer a decisão da direcionalidade.

A escolha da zona de atuação do relé direcional nos relés da SEL é calculada a partir das impedâncias de sequência positiva (Z1) e sequência zero (Z0) que são informadas nos relés pelo usuário, e os limiares são definidos automaticamente por $ZF2 = 0,5 \cdot ZL1 \ \Omega$ e $ZR2 = ZF2 + 0,1 \ \Omega$. O relé declara que a direção é para frente quando o Z2 medido é menor que Z2F e declara que a direção é reversa quando o Z2 medido é maior que Z2R.

Nesta ocorrência verificou-se que linhas conectadas em circuitos duplos onde existe o acoplamento mútuo, caso haja

uma falta envolvendo a terra em uma das linhas paralelas provocará uma corrente de sequencia zero que fluirá pelo acoplamento mútuo.

Como mostrado na Fig. 11 e Tabela I, a corrente de sequência negativa no 12J2 da subestação CRI é muito baixa em relação a corrente de falta.

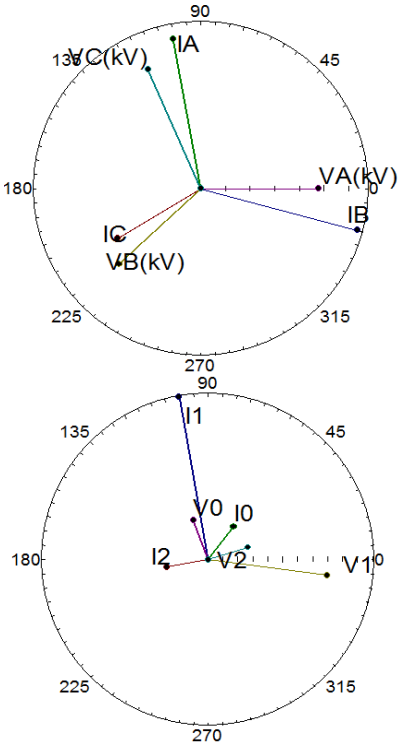


Figure 11. Grandezas de fase e componentes de sequência.

TABLE I. MAGNITUDE E ÂNGULO DAS GARDEZAS DE FASE E SEQUÊNCIA.

Canal	Magnitude	Ângulo
IA	6236,6	97,1
IB	6621,5	341,9
IC	3831,6	210,4
IG	3120,7	44,5
VA(kV)	13,3	0
VB(kV)	12,7	219,6
VC(kV)	14,4	111
I0	1040,3	44,5
I1	5545,5	97,5
I2	784,8	182,1
V0	1,9	106,9
V1	13,4	350,4
V2	1,2	13,2

Havia pouca corrente de sequência negativa ($3I_2 = 2.354,4$ A), de modo que o elemento direcional automaticamente mudou para o elemento direcional de sequência zero ($3I_0 = 3.120,9$ A). Como resultado, o elemento direcional de terra (67G) no relé associado ao disjuntor 12J2 da subestação CRI afirmou na direção de atuação, causando uma atuação indesejada deste disjuntor.

A solução para esta e aplicações semelhantes é desativar os elementos direcionais de sequência zero. O elemento de sequência zero deve ser desativado quando houver uma possibilidade de acoplamento mútuo devido a linhas paralelas, logo o usuário deve selecionar no ORDER = Q (isto é, para usar somente a impedância de sequência negativa).

A direcionalidade baseada em sequência negativa é totalmente confiável. A direcionalidade baseada em sequência zero pode apresentar falhas levando os relés a declararem defeito à frente para curtos reversos, principalmente para LDATs paralelas ou com acoplamento mútuo.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o estudo de um caso da ENERGISA-PB com a aplicação de relés de sobrecorrente direcionais em linhas paralelas com acoplamento mútuo, considerando o eixo 02J1 MRD/JPS, 02J2 MRD/CRI e 02J3 CRI/JPS.

Através da verificação das oscilografias foi constatado que a escolha correta do elemento direcional é muito importante, visto que em caso de linhas que operam em paralelo a escolha pelo ORDER = Q, garante a atuação correta do relé de sobrecorrente direcional.

Foi realizada a alteração dos elementos direcionais dos relés associados a disjuntores de linhas que operam em circuito duplo da ENERGISA-PB.

Como proposta adicional está sendo estudada a possibilidade de implantação de proteção diferencial de linha nos circuitos que operam em anel, através de um esquema de teleproteção PUTT-transferência de trip com subalcance permissivo, garantindo assim uma maior velocidade, segurança e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] A. J. S. Campos, “Apresentação Relé SEL421 aplicado no 230 kV”, CHESF, Pernambuco, 2015.
- [2] E. C. da Silva, “Proteção de Sistemas Elétricos de Potência – Guia Prático de Ajustes”, 1ª edição – Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.
- [3] G. Kindermann, “Curto-Circuito”, - 3ª Edição - Florianópolis, 2003.
- [4] K. Zimmerman e D. Costello, “Fundamentals and Improvements for Directional Relays”, Schweitzer Engineering Laboratories, 2010.
- [5] M. Malta, N. M. Junior, P. A. R. Dantas e S.Z. Gama, “Apostila do Curso Controle e Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade de Pernambuco”, 1ª Edição - Escola Politécnica de Pernambuco.
- [6] P. K. Maezono, “Apostila do Curso de Proteção de Sistema de Subtransmissão”, 2ª edição - Virtus Consultoria e Serviços Ltda, 2010.
- [7] Schweitzer Engineering Laboratories, Manual de Instrução do Relé SEL351-S, 2012.