

Tutorial Avançado de Análise de Eventos

Parte 1: Questões

Karl Zimmerman, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Sumário—Os relatórios de evento continuam a ser um recurso inestimável dos relés baseados em microprocessador. A análise de alguns eventos é relativamente simples e direta, mas outros exigem experiência e conhecimento considerável do sistema de potência e do sistema de relés de proteção para encontrar a causa raiz. Esta sessão fornece diversos exemplos de eventos avançados do mundo real, tempo para avaliação dos mesmos, e soluções.

I. INTRODUÇÃO

Os relatórios de evento fornecidos nesta sessão são obtidos de aplicações do mundo real, tendo sido editados até um certo ponto apenas para que o proprietário envolvido não fosse revelado. Eles fornecem a oportunidade de aprender e melhorar nosso sistema de potência. Queremos agradecer aos engenheiros e técnicos que compartilham informações e respectivos conhecimentos para o benefício de nossa indústria.

Diversos exemplos de estudos de caso provenientes de uma grande variedade de aplicações de proteção e sistemas de potência são aqui fornecidos, incluindo exemplos de eventos na distribuição, transmissão, transformador e barramento.

Em cada caso, fornecemos uma parte ou todo o seguinte:

- Uma breve introdução da aplicação e do problema.
- Os relatórios de evento necessários para resolver o problema.
- O manual de instrução do produto envolvido.
- Referências para leitura futura e instrução adicional.

Os alunos precisam usar seu próprio computador pessoal com os seguintes softwares instalados: SEL Compass®, ACSELERATOR QuickSet® SEL-5030 Software e ACSELERATOR Analytic Assistant® SEL-5601 Software. Estes programas estão disponíveis para download sem custos em www.selinc.com. Também será útil ter disponíveis os manuais de instrução dos relés que estão sendo usados nos eventos dos exemplos.

Os alunos deverão responder às perguntas efetuadas neste documento. Estas questões são destinadas a orientar a análise, manter os esforços da classe focados na mesma direção e destacar os principais pontos da lição. Por favor, documente a solução para cada estudo de caso no formato de um documento Microsoft® Word com notas e capturas de tela dos softwares apropriados.

Alguns dos eventos destacam a necessidade de capturar determinados formatos de evento. Por exemplo, é sempre recomendado que os usuários capturem um formato comprimido filtrado e comprimido não filtrado ou formato COMTRADE para cada evento. Em alguns casos, é exigido um COMTRADE da onda viajante.

Finalmente, os instrutores estão disponíveis para responder às questões, compartilhar dicas e destacar as lições aprendidas. Divirta-se!

II. O ELEMENTO DIRECIONAL OPERA PARA FALTA REVERSA

Este evento ocorreu numa linha de 230 kV protegida por um Sistema de Proteção de Transmissão SEL-311C. Os esquemas de transferência de trip direto e transferência de trip com sobrealcance permissivo (POTT) eram aplicados com elementos de proteção de fase e de terra. O relé deu trip para uma falta reversa aparente, conforme mostrado na Fig. 1.

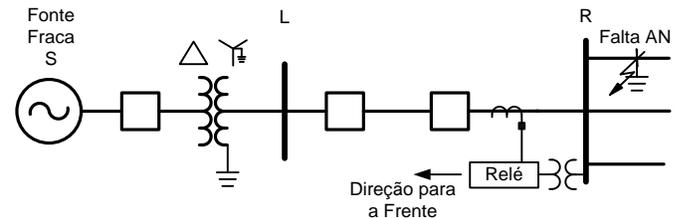


Fig. 1. Diagrama unifilar do sistema do exemplo

Primeiro, considere a operação esperada. Para uma falta externa (falta reversa a partir do terminal R), nenhum trip seria esperado. Os relés do terminal L vão provavelmente detectar uma falta à frente e enviar um sinal de trip permissivo para o terminal R. A única possibilidade de ocorrer um trip é se houvesse uma falha da proteção ou do disjuntor para eliminar a falta a partir da linha protegida. No entanto, o que realmente ocorreu foi um trip no terminal R.

Abra o evento denominado **2_EXAMPLE_2_311C.cev**. Além disso, para analisar as lógicas e os ajustes do relé, é necessária alguma familiaridade com o relé e esquema de proteção.

- II-a Que elementos do relé estão programados para dar trip, e quais esquemas de trip são aplicados?
- II-b Qual elemento ou elementos do relé realmente produziram a condição de trip?
- II-c Que tipo de falta ocorreu? Foi uma falta na direção à frente ou reversa? Os elementos do relé operaram corretamente?
- II-d Como foi ajustado o elemento direcional? O relé usou sequência-negativa, sequência-zero, ou ambas?
- II-e Os ajustes foram aplicados corretamente?

III. TRIP DE ALTA VELOCIDADE DA ZONA 1 PARA FALTA NA LINHA DE 345 kV

Neste exemplo, um Sistema de Proteção, Automação e Controle SEL-421 deu trip em alta velocidade para uma falta na linha. As concessionárias envolvidas consideraram esta operação como sendo correta. No entanto, aqui temos a oportunidade de analisar os relatórios do evento. O que podemos aprender de uma operação correta? O diagrama unifilar é mostrado na Fig. 2.

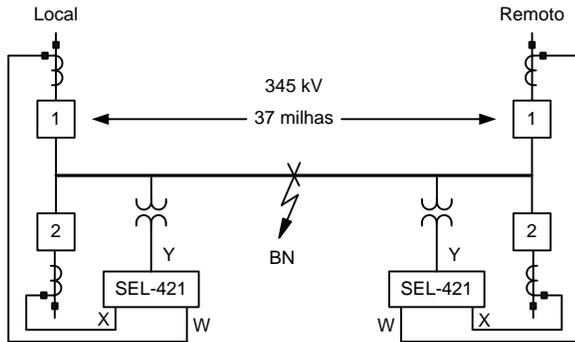


Fig. 2. Diagrama unifilar do sistema do exemplo

Nesta seção, apresentamos os três eventos seguintes:

- Evento filtrado comprimido do SEL-421 local com 8 amostras por ciclo.
- Evento não filtrado COMTRADE do SEL-421 local.
- Evento filtrado do SEL-421 remoto com 4 amostras por segundo (não compatível com o ACSELERATOR Analytic Assistant).

Cada evento possui dados úteis que podemos usar para avaliar a performance do sistema de proteção. Primeiro, abra o evento filtrado comprimido local **3_421_LOCAL.CEV**.

- III-a Que tipo de falta ocorreu?
- III-b Quais esquemas de proteção são usados no relé?
- III-c Qual elemento interno do relé causou o trip? Quanto tempo demorou para o relé operar? Quanto tempo levou para o(s) disjuntor(es) eliminar a falta?
- III-d O relé e o sistema de proteção operaram corretamente conforme esperado?
- III-e Abra o evento COMTRADE local **HR_10003_421_LOCAL.DAT**. Avalie as correntes e tensões não filtradas antes, durante e após a falta. Que observações podemos fazer, e há alguma preocupação?
- III-f Avalie o esquema DCB (Directional Comparison Blocking – Bloqueio por Comparação Direcional). Quais entradas e saídas foram atribuídas para o esquema DCB? As entradas e saídas locais foram ativadas como esperado?
- III-g Abra o evento remoto **3_421_REMOTE.txt**. O SEL-421 remoto enviou um sinal de bloqueio? O que pode ter causado a ativação da entrada BT do SEL-421 local?

IV. LOCALIZAÇÃO DE FALTAS POR ONDAS VIAJANTES

O Sistema Avançado de Automação, Controle e Proteção Diferencial de Linha SEL-411L tem agora a capacidade de fornecer a localização de faltas através de ondas viajantes (TW: “Traveling Wave”), a qual mede o tempo em que transitórios de alta frequência produzidos por faltas são detectados em cada extremidade da linha. A função de localização de faltas baseada em TW usa os elementos de proteção internos, o canal de comunicações com o terminal remoto e a sincronização de tempo baseada no Sistema de Posicionamento Global (baseado em GPS). O localizador de faltas por TW usa as medições de um transformador de corrente (TC) convencional.

Embora a estimativa de localização da falta possa ser fornecida automaticamente a partir de cada extremidade, é conveniente ser capaz de avaliar e calcular a estimativa usando relatórios de evento.

Para este exemplo, analisamos uma falta BN real em uma linha de 161 kV de 72.77 milhas em uma área de terreno irregular na parte ocidental dos Estados Unidos. Os dados reais da linha, informações do evento e detalhes do cálculo das ondas viajantes estão descritos em [1]. A fórmula básica para cálculo da localização da falta é mostrada em (1).

$$TWFL = \frac{LL + (T_{waveA} - T_{waveB}) \cdot c \cdot LPVEL}{2} \quad (1)$$

onde:

TWFL é a localização da falta baseada em TW a partir do Terminal A local.

LL é o comprimento da linha.

TwaveA é o tempo de chegada de TW registrado no Terminal A.

TwaveB é o tempo de chegada de TW registrado no Terminal B.

c é a velocidade da luz.

LPVEL é a velocidade de propagação de TW em por unidade (pu) da velocidade da luz.

A partir de [1], a velocidade de propagação da TW é um parâmetro-chave no cálculo da localização da falta, sendo tipicamente obtido a partir de programas de estimação dos parâmetros da linha. Podemos também estimar a velocidade de propagação usando medições de TW com o seguinte:

- Informações da TW local registradas durante testes de energização da linha ou reator.
- Informações da TW local e remota registradas durante faltas externas.

Abra os relatórios de evento denominados **4_TW_10002_LOCAL.DAT** e **4_TW_10002_REMOTE.DAT** para encontrar o tempo preciso do transitório da falta. Usando o recurso de *zoom* do ACSELERATOR Analytic Assistant e selecionando **Line and Points** na seleção **Style**, podemos visualizar o pico das formas de onda locais e remotas. Podemos selecionar o ponto de pico numa determinada fase para obter a estampa de tempo.

- IV-a Qual é a estampa de tempo para cada evento?

IV-b Calcule TWFL usando os tempos observados e parâmetros restantes, os quais são os seguintes:

- LPVEL = 0.98821 (ajuste determinado a partir do teste do sistema).
- $c = 186282.39705$ milhas por segundo.
- LL = 72.77 milhas.

V. OPERAÇÃO DO DIFERENCIAL DO TRANSFORMADOR

Uma falta em um alimentador de distribuição produziu uma operação indesejada em um relé diferencial do transformador. A Fig. 3 mostra o diagrama unifilar do sistema.

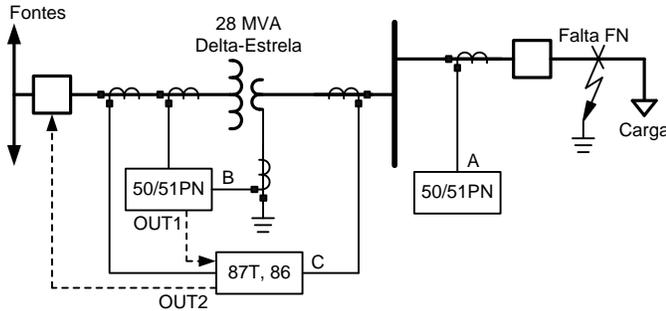


Fig. 3. Diagrama unifilar do sistema

Para analisar este evento, é importante primeiro entender a seguinte operação esperada:

- O religador (A) deve operar primeiro.
- O relé de sobrecorrente de retaguarda do transformador (B) deve operar em segundo lugar.
 - O relé protege o transformador com base na curva de danos.
 - O relé coordena com o controlador do religador a jusante (“downstream”).
 - A saída de B é conectada como uma entrada no Relé C, que atua como um relé de bloqueio.
- O relé diferencial do transformador (C) 87T deve restringir.

Ocorreu realmente o seguinte:

- Houve uma falta fase-terra no alimentador.
- A religador A não deu trip.
- A chave seccionadora (“circuit-switcher”) do lado de alta deu trip.
- A subestação e todas as cargas foram desenergizadas.

Para encontrar a causa raiz, vamos analisar os relatórios de evento. Abra os eventos **5_YELLOW Event Files 587 2-4-12.CEV** e **5_YELLOW Event Files 551 2-4-12.CEV**.

V-a Onde foi a falta (interna ao transformador ou externa à zona de proteção)? O Relé B operou? Baseando-se apenas nos relatórios de evento e no diagrama unifilar, que observações podem ser feitas?

V-b Que problemas, ajustes, fiação, testes, e assim por diante contribuíram para estas operações incorretas?

VI. APLICAÇÃO DO RELÉ DIFERENCIAL DE BARRAS

A Fig. 4 mostra o diagrama unifilar de uma barra de 138 kV protegida por um esquema diferencial de barras de alta impedância. A barra possui duas fontes de linha de alimentação, dois transformadores alimentando uma carga radial, um para-raios e um banco de capacitores. O banco de capacitores é controlado manualmente (energizado e desenergizado) pelos operadores do sistema para ajustar a tensão do sistema.

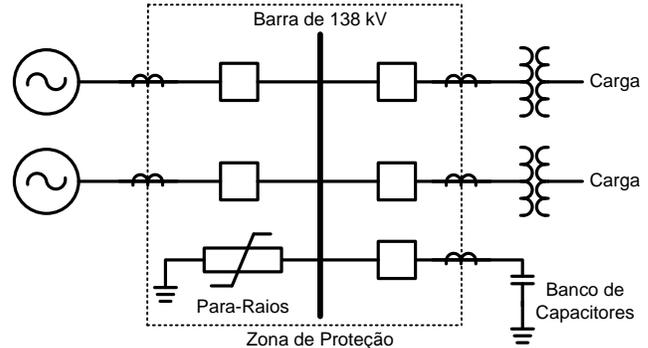


Fig. 4. Diagrama unifilar da zona de proteção do diferencial de barras

Em um esquema com diferencial de barras de alta impedância, as saídas de todos os TCs são ligadas em paralelo e conectadas através de um resistor de alto valor (2000 ohms no Relé Diferencial de Alta Impedância SEL-587Z). Os TCs são selecionados com a mesma relação (neste caso, todos os TCs de 2000:5). Se uma corrente desequilibrada fluir, tal como para uma falta interna, é desenvolvida uma tensão através do resistor e o relé compara a tensão com um valor limite pré-definido. O limite é normalmente definido para suportar uma falta externa se um TC saturar completamente.

Em uma ocasião, o diferencial de barras de alta impedância operou quando o banco de capacitores foi desenergizado. Para avaliar este evento, abra os arquivos do evento **6_SEL_587Z FILTERED.CEV** e **6_SEL_587Z RAW.CEV**.

Consulte [2] para obter mais informações sobre este evento.

VI-a Que elemento produziu o trip? Como o elemento foi ajustado?

VI-b Não houve nenhuma outra falta no sistema no instante do trip. O trip foi diretamente relacionado com a desenergização do banco de capacitores. Qual é a possível causa do trip?

VI-c Se a causa raiz for a condução do para-raios, quais medidas de proteção podem ser adotadas?

VII. TRIP DO ELEMENTO DE FALTA À TERRA RESTRITA (REF)

Uma fábrica de grande porte foi submetida a dois trips críticos do transformador, os quais causaram uma perda de produção enquanto os trips estavam sendo investigados. Os transformadores eram na realidade três transformadores monofásicos com três enrolamentos conectados em estrela-estrela-delta. Um diagrama trifilar simplificado é mostrado na Fig. 5. A Fig. 6 mostra um diagrama de fiação mais detalhado, onde pode-se observar um transformador de reserva.

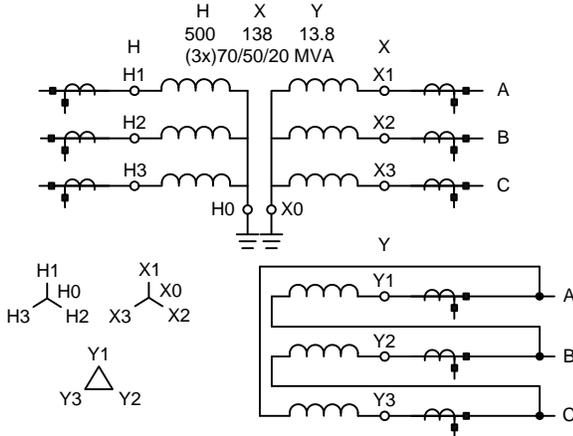


Fig. 5. Diagrama trifilar simplificado

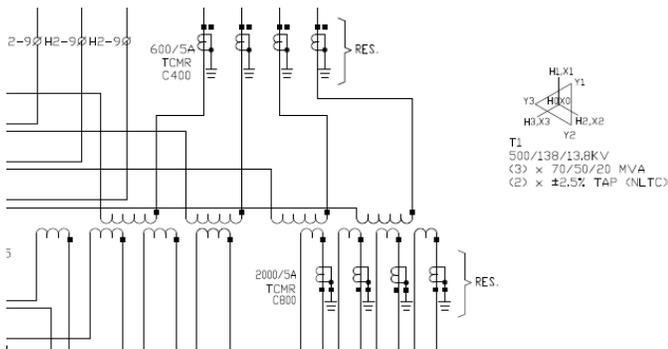


Fig. 6. Captura de tela detalhada mostra transformadores monofásicos conectados em estrela-estrela-delta com um transformador de reserva.

As questões e discussão desta seção seguem uma sequência de eventos que permite determinar a causa raiz. Abra o evento **7_CEV_S4_L30_1 initial trip.CEV**.

VII-a Quais elementos foram ajustados para dar trip, e qual elemento produziu o primeiro trip? Como o elemento foi ajustado?

VII-b Abra o evento **7_CEV_S4_L15_1-trip after load.CEV**. Qual elemento produziu o segundo trip?

VII-c O que pode ter causado o trip?

VIII. O SOBRECORRENTE DIRECIONAL DE TERRA OPERA PARA UMA FALTA REMOTA

Um relé de proteção de linha deu trip para uma falta AN na barra remota e sinalizou Zona 1, o que foi considerado uma operação incorreta. Ver a Fig. 7.

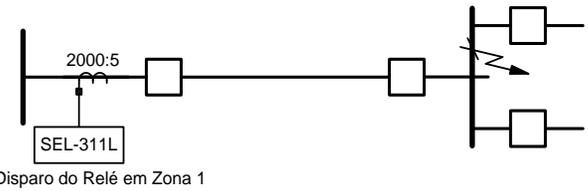


Fig. 7. Diagrama unifilar mostra o trip na Zona 1 para uma falta na barra remota

O relatório inicial do campo indicou que houve operação de um elemento de distância da Zona 1.

Abra o evento **8_311L_67G1 operation.cev**.

VIII-a Quais elementos foram ajustados para dar trip, e qual elemento produziu o trip? Como o elemento foi ajustado?

VIII-b O que pode ter causado o aumento inesperado da corrente? Quais ações podem ser tomadas para evitar que isto ocorra no futuro?

IX. O DIFERENCIAL DE CORRENTE DE LINHA OPERA PARA A CORRENTE DE CARREGAMENTO DA LINHA

Um esquema diferencial de corrente de linha (87L) operou para uma falta CA fora da zona de proteção do elemento de sequência-negativa (87L2) em um cabo de 230 kV de 5.6 milhas sem carga em derivação. Por definição, esta é uma operação não desejada. A Fig. 8 mostra um diagrama unifilar básico. Observe que esta linha é radial com apenas uma carga derivada e um reator na Subestação G.

Abra o evento **SEL-311L_STATION G_LINE GH1.cev**.

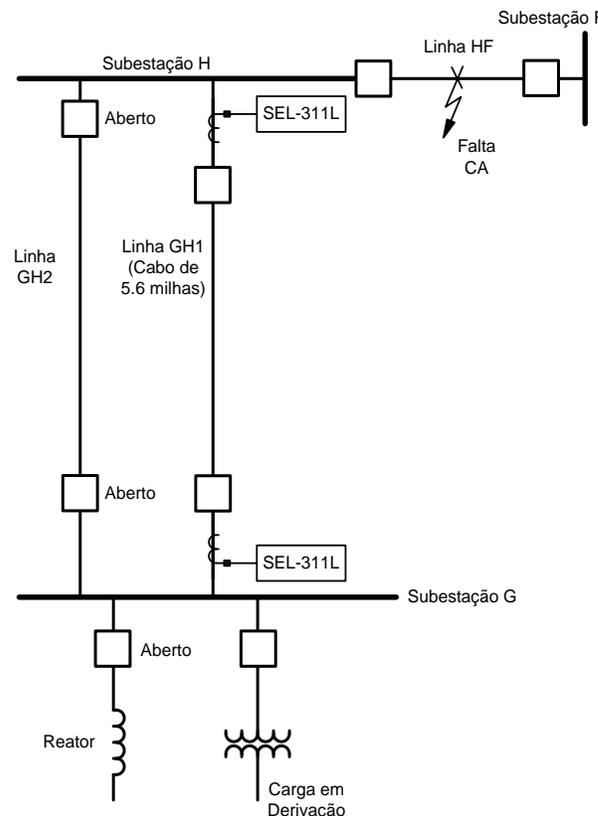


Fig. 8. Diagrama unifilar do sistema básico

- IX-a Quais elementos foram ajustados para dar trip, e qual elemento produziu o trip? Como o elemento foi ajustado?
- IX-b Havia corrente diferencial nas correntes de pré-falta? O que pode ter causado isto?
- IX-c Qual era a corrente de carregamento da linha? Que medidas podem ser adotadas para evitar operações futuras? Os eventos **SEL-411L STATION G LINE GH1_REPLAY.cev** e **SEL-411L STATION G LINE GH1_REPLAY_LINE CHARGING COMPENSATION ENABLED.cev** serão necessários para completar este exercício.
- IX-d Que medidas podem ser adotadas para evitar operações futuras?

X. AGRADECIMENTOS

O autor agradece às contribuições de David Costello, Oskar Reynisson, Normann Fischer, Lee Underwood, Tony Lee, Bill Fleming, Mike Collum, Mangapathirao V. Mynam, e de muitos engenheiros de concessionárias e indústrias que forneceram eventos e ajudaram a determinar a causa raiz dos eventos contidos nesta análise.

XI. REFERÊNCIAS

- [1] S. Marx, B. K. Johnson, A. Guzmán, V. Skendzic, and M. V. Mynam, "Traveling Wave Fault Location in Protective Relays: Design, Testing, and Results", proceedings of the 16th Annual Georgia Tech Fault and Disturbance Analysis Conference, Atlanta, GA, May 2013.
- [2] K. Koellner, O. Reynisson, and D. Costello, "High-Impedance Bus Differential Misoperation Due to Circuit Breaker Restrikes", proceedings of the 67th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, GA, May 2013.

XII. BIOGRAFIA

Karl Zimmerman é gerente técnico regional baseado na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. em Fairview Heights, Illinois. Seu trabalho inclui o fornecimento de suporte de produtos e aplicações e treinamento técnico para usuários de relés de proteção. Ele é um membro sênior do IEEE Power System Relaying Committee and presidente do Grupo de Trabalho D25, Distance Element Response to Distorted Waveforms. Karl recebeu seu BSEE da University of Illinois em Urbana-Champaign e tem mais de 20 anos de experiência na área de proteção de sistemas. Ele é autor de mais de 25 papers e guias de aplicação sobre sistemas de relés de proteção, e recebeu o prêmio 2008 Walter A. Elmore Best Paper Award da Georgia Institute of Technology Protective Relaying Conference.