



Estudo de Caso

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES

**A cidade de Clayton  
implementa melhoria da  
proteção dos alimentadores  
subterrâneos por meio do  
sistema SEL-FT50 e SEL-FR12**



Estudo de Caso

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES

## A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

Região  
Carolina do Norte,  
EUA

---

Clayton Public Power, uma concessionária municipal da Carolina do Norte, estava enfrentando um problema comum para as concessionárias - como fornecer energia segura e confiável para seus clientes e, ao mesmo tempo, maximizar a vida útil de seus equipamentos. Seu sistema de distribuição inclui subestações onde cabos subterrâneos conduzem energia para linhas aéreas que, por sua vez, atendem seus clientes. Se houvesse uma falta nas linhas, o sistema era religado automaticamente para restaurar a energia rapidamente e manter o fornecimento para os clientes. Este método funcionava quando ocorriam faltas momentâneas, mas se a falta fosse permanente, no cabo subterrâneo ou nos reguladores de tensão, o sistema ainda religava, podendo causar danos aos equipamentos da subestação.

Para garantir que o sistema não religue em faltas permanentes em cabos subterrâneos, em 2018 a Clayton Public Power instalou o SEL-FT50 e SEL-FR12 Transmissor e Sistema Receptor de Faltas. Esse sistema protege os caros equipamentos da Clayton Public Power de danos, eliminando a exposição desnecessária à corrente de falta, enquanto mantém os benefícios do religamento automático em linhas aéreas.



## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

### Um problema há muito estabelecido

Muitas concessionárias de energia elétrica utilizam rede subterrâneas para realizar a saída da subestação, redes essas que depois fazem a transição para a rede aérea. Essa prática comum ajuda as concessionárias a minimizar a quantidade de cabos aéreos na subestação, reduzindo as chances de uma falta aérea. Embora um segmento do alimentador seja subterrâneo, a maior parte do alimentador é aéreo. Portanto, o religamento automático é normalmente habilitado na subestação para ajudar a eliminar faltas temporárias na rede aérea. Essa prática garante o fornecimento de energia ininterrupta para os clientes, mas não sem riscos. Cada tentativa de religamento expõe a fase com falta à corrente de falta, conforme mostrado na Figura 1. Além disso, as fases sem falta são submetidas a correntes de energização durante o religamento do circuito.



Figura 1 - Exemplo simplificado de sequência típica de religamento automático.

Os esquemas de religamento automático destinam-se a eliminar faltas temporárias (por exemplo, vegetação ou vida selvagem) da rede aérea. O religamento automático pode evitar que faltas temporárias causem uma interrupção permanente. No entanto, as faltas nos cabos subterrâneos são quase sempre permanentes e, portanto, não podem ser eliminadas pelo religamento. Não há benefícios em religar para faltas permanentes. O religamento em faltas permanentes expõe todo o alimentador e os equipamentos da rede elétrica conectados a grandes correntes de falta a cada religamento. Embora os sistemas de distribuição possam lidar com essas correntes de falta em curto prazo, tais eventos afetam negativamente a vida útil geral do sistema e contribuirão para a falha do equipamento. Como muitas outras empresas de serviços públicos, a Clayton Public Power presumiu que não poderia evitar os danos de religamento em faltas em cabos subterrâneos que estão conectados às linhas aéreas.

## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

### Subestação Northside

A subestação Northside da Clayton Public Power tem quatro alimentadores trifásicos. Cada alimentador (e cada regulador de tensão do alimentador) é protegido pelo Controle Avançado de Religadores SEL-651R, conforme mostrado na Figura 2. Os alimentadores saem individualmente da cerca da subestação como cabos subterrâneos antes de chegar a um poste de transição aéreo-subterrânea, onde fazem a transição para condutores aéreos. Cada controle de religador foi configurado para religar duas vezes de forma a permitir a eliminação de faltas na rede aérea e evitar a interrupção permanente do fornecimento de energia para faltas temporárias. No entanto, com o controle do religador na subestação, não havia como o controle determinar se a falta era no trecho subterrâneo ou aéreo. Portanto, uma falta permanente no cabo subterrâneo sempre resultaria em dois religamentos, quando ele nunca deveria ter sido religado.

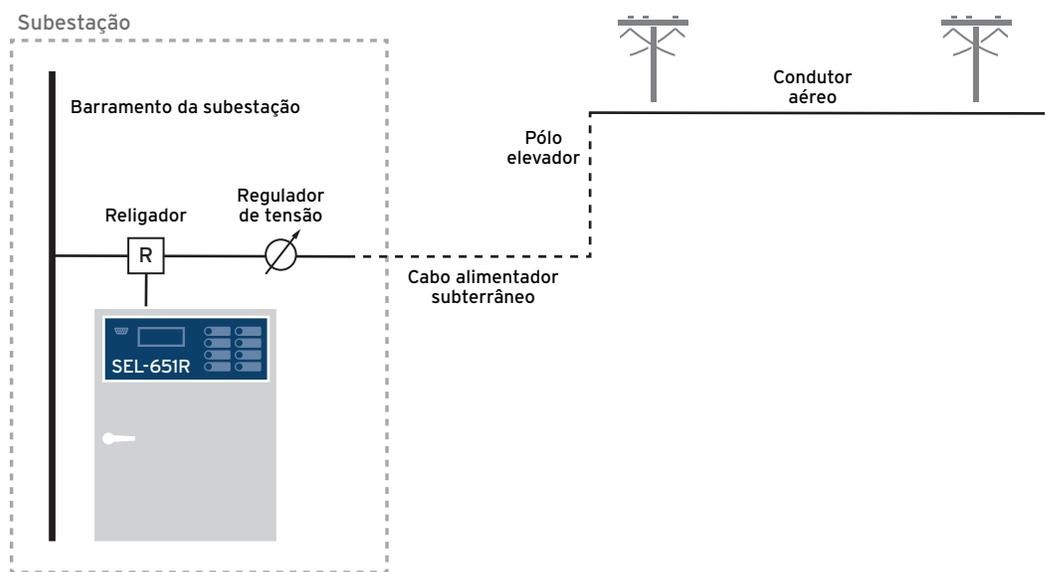


Figura 2 — Diagrama de uma linha simplificada da subestação Northside em Clayton Public Power.

### Uma solução simples e econômica

A Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) apresentou uma solução para a Clayton Public Power que protege os equipamentos da concessionária durante faltas permanentes nos cabos subterrâneos que saem da subestação, enquanto mantém o fornecimento de energia para os clientes da Clayton Public Power durante faltas temporárias no resto do sistema. O Sistema Transmissor e Receptor de Dados de Falta SEL-FT50 e SEL-FR12 aumenta a visibilidade para o controle do religador da subestação, fornecendo informações precisas sobre o ponto de transição no alimentador onde o cabo muda para uma linha aérea. Esta informação permite que o controle do religador bloqueie seletivamente o religamento para faltas subterrâneas no alimentador. A Clayton Public Power instalou o sistema em sua subestação Northside para implementar um esquema de bloqueio de religador de alta velocidade para faltas em cabos subterrâneos.

## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

Os sistemas SEL-FT50 e SEL-FR12 fornecem indicação de falta de alta velocidade diretamente para o controle do religador da subestação. A latência típica do sistema é de 6 ms (ou seja, menos da metade de um ciclo do sistema elétrico). Isso é rápido o suficiente para influenciar as decisões de proteção antes que o controle do religador atue na falta. O receptor de falta SEL-FR12 se conecta diretamente ao controle do religador da subestação por meio de um cabo serial e usa o protocolo MIRRORRED BITS<sup>®</sup> para comunicar a indicação da falta e o status do link de comunicação sem fio com os transmissores de falta. Quando um transmissor detecta uma falta de corrente, ele rapidamente transmite uma mensagem de falta ao receptor. O controle do religador se conecta ao receptor e é programado, via equações de controle SELLOGIC<sup>®</sup>, para acelerar o trip, ajustar a coordenação ou alterar os esquemas de religamento para melhorar a proteção.

### Lógica de programação do controle do religador

A Clayton Public Power modificou a lógica de programação do SEL-651R por meio das equações de controle SELLOGIC mostradas na Figura 3. Esta lógica usou as entradas de comunicações MIRRORRED BITS específicas do receptor de falta (correspondendo ao link de comunicação sem fio e status de falta de cada um dos transmissores) para modificar a lógica de bloqueio do religamento do SEL-651R.

Quando o SEL-651R detecta uma falta, a lógica avalia se o controle do religador recebeu uma mensagem de falta de algum dos transmissores. Como os transmissores são instalados no poste de transição aéreo-subterrâneo além do cabo subterrâneo, o controle do religador recebe o status de falta MIRRORRED BITS para todas as faltas na linha aérea. O controlador do religador então emite um comando de religamento ao religador para tentar eliminar uma falta temporária e restaurar a alimentação na rede aérea. Se o controle do religador detecta uma falta e não recebe um MIRRORRED BIT de status de falta, então a falta ocorreu antes do poste de transição aéreo-subterrâneo no cabo subterrâneo ou no regulador de tensão.

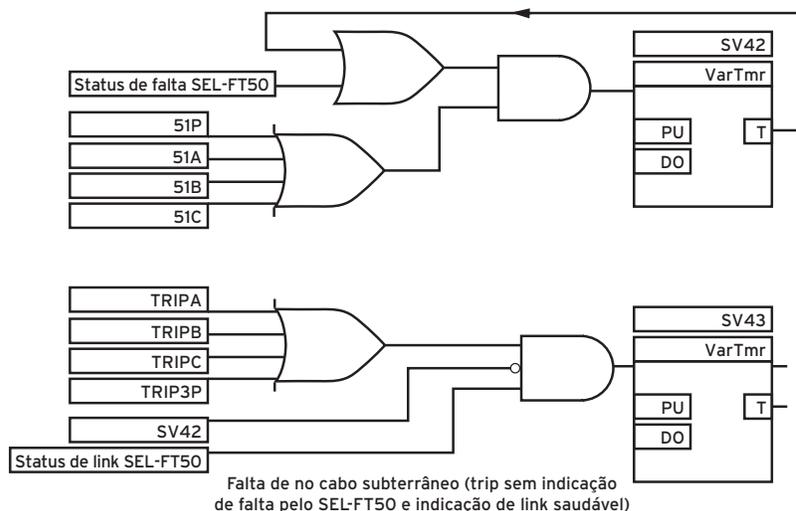


Figura 3 - A programação lógica do relé SEL-651R define como usará a indicação de status de cada transmissor.

## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

Se não for detectado um link sem fio ativo com os transmissores no momento da falta, o esquema de bloqueio de religamento é desabilitado. Essa lógica garante que o religamento não seja bloqueado se o transmissor ou receptor falhar.

### Testes de laboratório validam a operação

A Clayton Public Power testou a solução para ajustar as configurações sem afetar o sistema de distribuição. Os engenheiros da Clayton Public Power trabalharam com os engenheiros de aplicação da SEL na validação e teste das configurações. Eles primeiro desenvolveram a lógica de programação para o controle do religador e aplicaram no laboratório um SEL-651R que era idêntico ao controle do religador de campo. Os seguintes equipamentos foram usados para os testes de laboratório:

- Um receptor de falta SEL-FR12
- Um Controle Avançado do Religador SEL-651R-2
- Três transmissores de falta SEL-FT50
- Um cabo serial SEL C272A
- Três Mini Loops de Corrente SEL MCL120
- Três transformadores de corrente SEL CT Split-Core clamp-on

Os engenheiros conectaram o SEL-FR12 por meio de um cabo serial ao SEL-651R para estabelecer as comunicações MIRRORING BITS seriais. Em seguida, as unidades SEL-FT50 foram conectadas aos loops de corrente MCL120, conforme mostrado na Figura 4, permitindo uma forma simples de alimentar e realizar a operação dos transmissores. O MCL120 fornece um campo magnético (equivalente ao produzido por 10 A de corrente de carga fluindo através de um único condutor aéreo) para alimentar o transmissor por meio de acoplamento magnético. Ele também simula uma falta, produzindo um campo magnético maior ao pressionar um botão. Depois de conectar um TC portátil de fixação a cada MCL120, os engenheiros conectaram cada TC às entradas de corrente no SEL-651R, conforme mostrado na Figura 5.



Figura 4 — Loops de corrente MCL120 conectados aos transmissores SEL-FT50 no laboratório de teste.

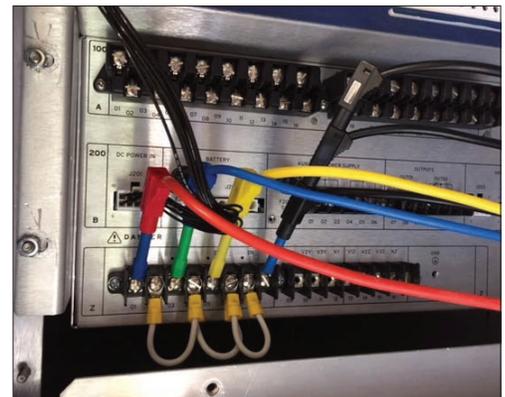


Figura 5 — TC conectado às entradas de corrente do SEL-651R no laboratório de teste.



## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

Depois de confirmar o status do link sem fio de cada transmissor no receptor, os engenheiros conduziram várias simulações para testar a operação da lógica de controle do religador para uma falta na rede aérea, uma falta na rede subterrânea e uma falta durante uma falha de link sem fio de qualquer transmissor.

Durante o teste de falta na rede aérea, o SEL-651R religou normalmente após receber uma mensagem de falta do SEL-FT50. Para o teste de falta na rede subterrânea, os engenheiros removeram um SEL-FT50 de um MCL120 e então simularam uma falta antes que o status do link de comunicação SEL-FT50 caísse. O SEL-651R identificou que havia um status de link para o SEL-FT50 e os transmissores, mas nenhum status de falta, então ele bloqueou para evitar religamento em uma falta na rede subterrânea.

Para o teste final, os engenheiros removeram novamente um SEL-FT50 de um MCL120, mas desta vez eles esperaram até que o SEL-FR12 identificasse o status do link perdido. Quando eles simularam uma falta, o SEL-651R religou conforme o esperado após identificar a falta e desabilitar o esquema de bloqueio devido à perda do link de comunicação.

Os testes de simulação de laboratório demonstraram que o esquema de bloqueio funcionou corretamente para evitar o religamento em faltas na rede subterrânea. Para faltas na rede aérea ou durante a falha na comunicação com os transmissores de falta, os testes mostraram que o SEL-651R irá religar normalmente.

### Comissionamento

Os engenheiros espelharam os testes de laboratório em campo para o comissionamento na subestação Northside. No entanto, eles usaram apenas dois loops de corrente MCL120 e um TC para o teste de campo. Utilizando um alimentador sobressalente na subestação, os engenheiros transferiam a carga e isolavam cada alimentador para executar as sequências de testes e confirmar o funcionamento do esquema em cada religador. A pequena quantidade de equipamentos e a simplicidade do esquema tornaram possível testar e comissionar todos os quatro alimentadores em apenas meio dia. No geral, levou apenas alguns meses para ir do conceito a uma solução totalmente comissionada.

Operadores de linha instalaram três transmissores de falta, um em cada fase na parte aérea dos alimentadores no poste de transição aéreo-subterrânea. Como eles podiam instalar os transmissores com uma vara de manobra na linha ativa, seus clientes não foram afetados pela atualização. Todos os transmissores foram configurados por meio de chaves de controle (DIP) para se comunicarem sem fio com um SEL-FR12 instalado no gabinete de controle do SEL-651R para o alimentador associado, conforme mostrado na Figura 6.

Os engenheiros instalaram um SEL-FR12 no painel de controle do religador SEL-651R para cada alimentador da subestação, conforme mostrado na Figura 7. Uma antena omnidirecional de baixo ganho foi conectada ao SEL-FR12 (mostrado na Figura 8) para receber mensagens dos transmissores SEL-FT50 instalados fora da subestação Northside (conforme mostrado na Figura 9).

## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

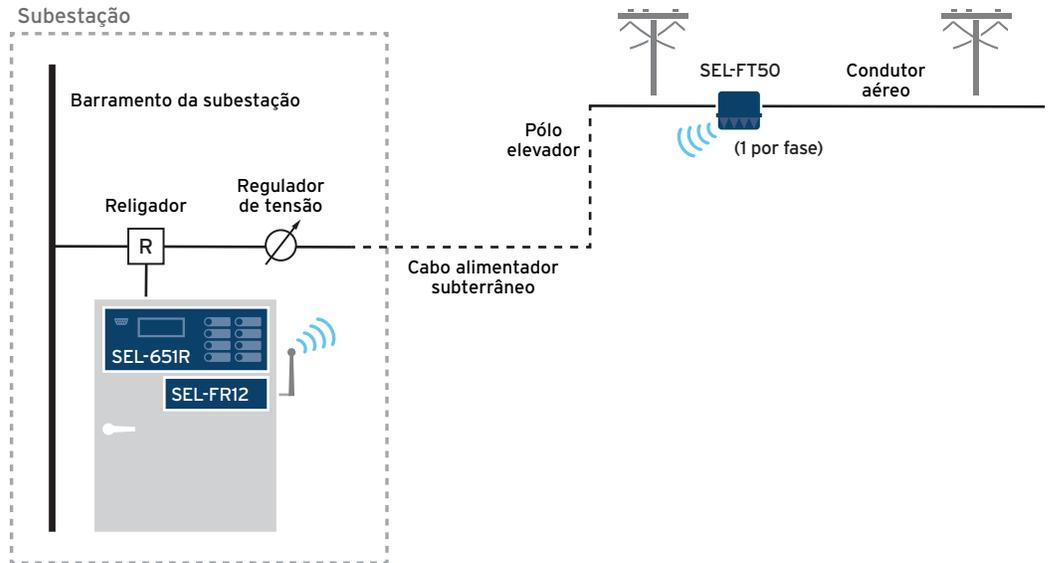


Figura 6 - Visão geral da aplicação da subestação de distribuição com o sistema SEL-FT50 e SEL-FR12.



Figura 7 — SEL-FR12 instalado no painel de controle do religador SEL-651R.



Figura 8 - Antena omnidirecional conectada ao SEL-FR12 para se comunicar com os transmissores SEL-FT50.

## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12



Figura 9 - Um trabalhador de linha instala um SEL-FT50 fora da subestação Northside na seção aérea do alimentador.

### Destaques da detecção bem-sucedida do primeiro evento do sistema

Poucos meses após o comissionamento, ocorreu uma falta na rede aérea de um dos alimentadores da subestação Northside. O relatório de evento do SEL-651R (mostrado na Figura 11) mostra que o controle recebeu um MIRRORRED BIT de status de falta do SEL-FR12 e religou com sucesso devido a uma falta na rede aérea. A Figura 12 mostra a declaração do MIRRORRED BIT de status de falta do SEL-FT50 do SEL-FR12. Este MIRRORRED BIT foi declarado aproximadamente 4 ms após o início da falta.

A Figura 13 mostra o primeiro evento de trip para a falta. Como o MIRRORRED BIT do status de falta foi recebido do SEL-FT50, a lógica nunca foi confirmada e o SEL-651R não foi bloqueado. O Sequencial de Eventos (SER) mostrou que este alimentador religou e eliminou a falta temporária.

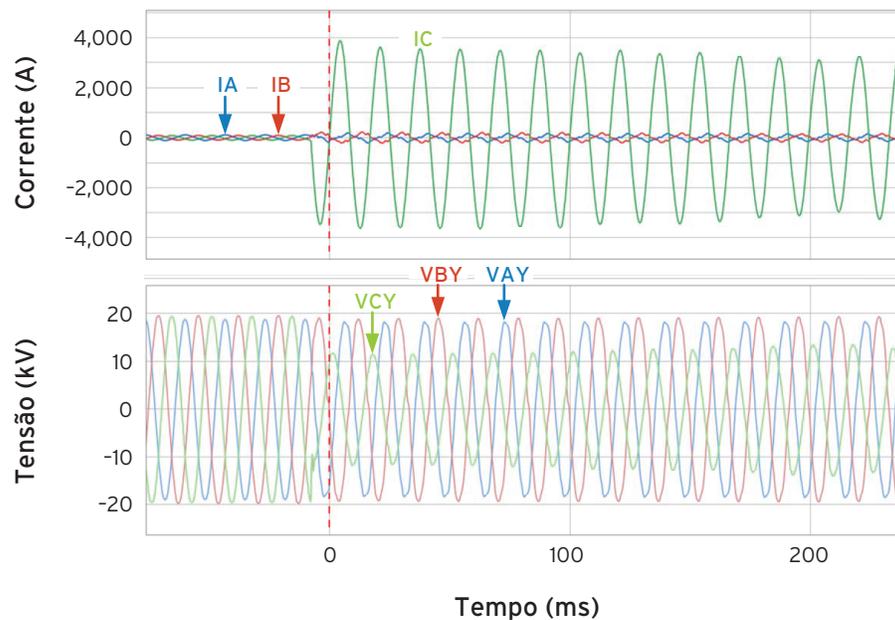


Figura 10 - Oscilografia do SEL-651R mostrando o início de uma falta na Fase C.



## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

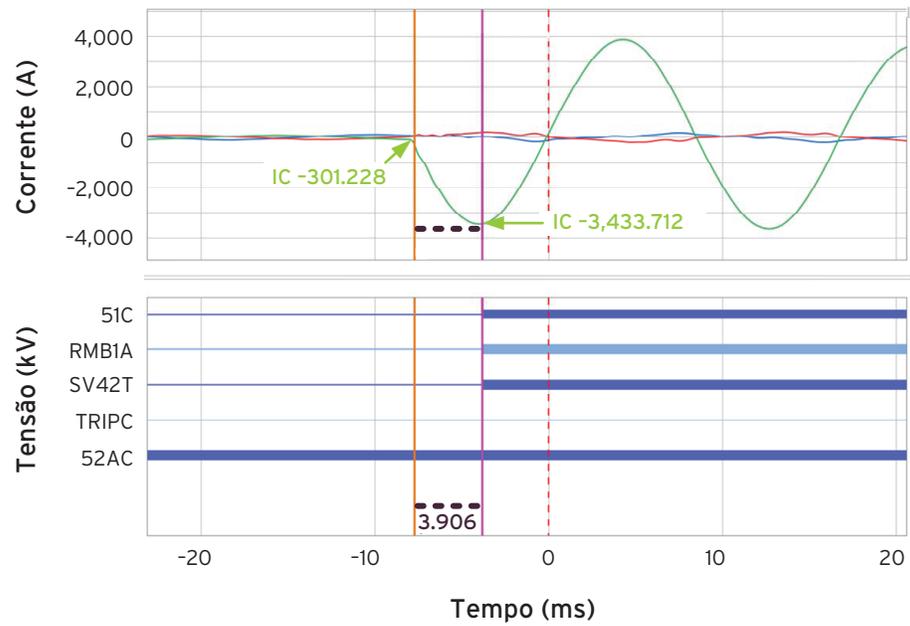


Figura 11 — A atuação do MIRRORRED BIT do status de falta do SEL-FT50 do SEL-FR12 aproximadamente 4 ms após o início da falta.

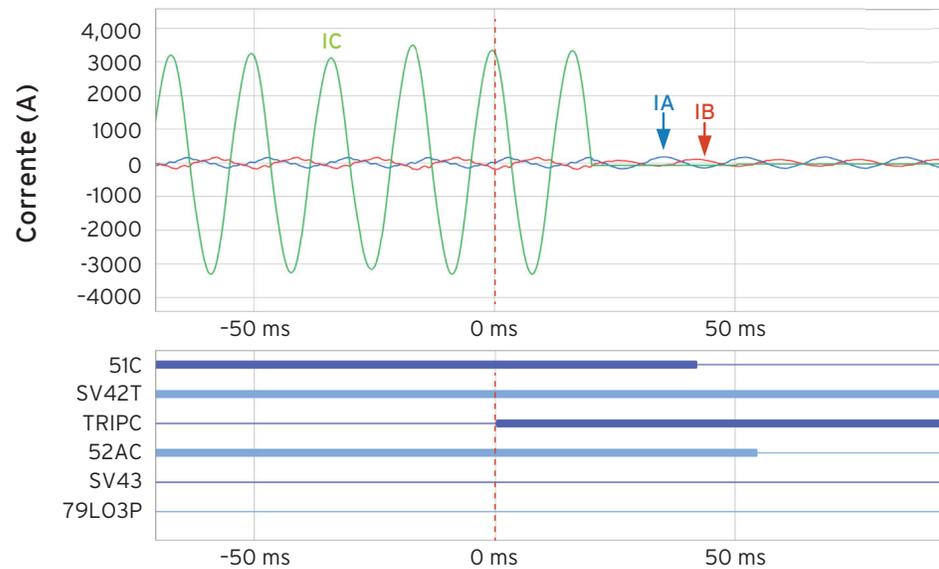


Figura 12 — O primeiro evento de trip para a falta.



## Estudo de Caso

A cidade de Clayton implementa melhoria da proteção dos alimentadores subterrâneos por meio do sistema SEL-FT50 e SEL-FR12

### Conclusão

Em alimentadores mistos com linhas subterrâneas e aéreas, as concessionárias não precisam assumir os riscos associados ao religamento em faltas permanentes nas seções de cabos subterrâneos. Os sistemas SEL-FT50 e SEL-FR12 fornecem a visibilidade para distinguir entre faltas nas seções aéreas e subterrâneas. Isso permite que as concessionárias implementem um esquema de religamento automático para linhas aéreas, evitando que faltas temporárias se tornem interrupções permanentes, enquanto bloqueiam o religamento nas seções subterrâneas para proteger o equipamento, eliminando correntes de falta desnecessárias.

Clayton Public Power usou essa tecnologia para melhorar a proteção da distribuição para os equipamentos da subestação e melhorar a confiabilidade do sistema. A simplicidade da solução SEL-FT50 e SEL-FR12 permitiu que eles avaliassem o conceito inicial e implementassem uma solução totalmente desenvolvida, testada, instalada e comissionada em apenas alguns meses.

### Sobre a Clayton Public Power

A Clayton Public Power é a concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica para residentes e empresas na cidade de Clayton, Carolina do Norte. Clayton é uma cidade satélite da capital do estado, Raleigh, e está localizada a 30 minutos de carro do Research Triangle, uma região do estado que engloba três grandes universidades (Duke University, North Carolina State University e University of North Carolina em Chapel Hill) e é um ponto de atração de negócios. A proximidade de Clayton com essas áreas contribuiu para um crescimento populacional significativo de mais de 300 por cento nos últimos 20 anos. Como seu sistema continua crescendo com a demanda, a Clayton Public Power se esforça para encontrar novas maneiras de melhorar a segurança, confiabilidade e economia de seu sistema de distribuição elétrica.

### Sobre a SEL

A Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) tem tornado a energia elétrica mais segura, confiável e econômica desde 1984. A SEL atende ao setor de energia elétrica em todo o mundo por meio do projeto, fabricação, fornecimento e suporte de produtos e serviços para proteção, controle e monitoramento de sistemas de energia.



Tornando a energia elétrica mais segura, confiável e econômica  
(19) 3515.2000 | vendas@selinc.com | www.selinc.com.br