



Caso de estudio

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES

**La ciudad de Clayton
mejora la protección de
alimentador subterránea
usando el sistema
SEL-FT50 y SEL-FR12**



Caso de estudio

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Región

Carolina del Norte,
EE.UU.

Clayton Public Power, una empresa de servicios públicos de Carolina del Norte, se enfrentaba a un problema común para las empresas de servicios públicos: cómo proporcionar energía segura y confiable a sus clientes mientras se maximiza la vida útil de sus equipos. Su sistema de distribución incluye subestaciones donde los cables subterráneos llevan energía a las líneas aéreas que, a su vez, sirven a sus clientes. Si había una falla en las líneas, su sistema se volvía a cerrar automáticamente para restaurar rápidamente la energía y mantener la energía para sus clientes. Este método funcionó cuando hubo fallas momentáneas, pero si la falla era permanente, en el cable subterráneo o en los reguladores de voltaje, su sistema aún se reconectaba, dañando potencialmente el equipo de la subestación.

Para asegurarse de que el sistema no se volviera a cerrar en fallas permanentes en cables subterráneos, en 2018 Clayton Public Power instaló el sistema transmisor y receptor de fallas SEL-FT50 y SEL-FR12. Este sistema protege los costosos equipos de Clayton Public Power de daños al eliminar la exposición innecesaria a la corriente de falla mientras mantiene los beneficios del recierre automático en las líneas aéreas.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Un problema establecido desde hace mucho tiempo

Muchas empresas de servicios eléctricos colocan cables de alimentación subterráneos fuera de la subestación antes de hacer la transición del alimentador a una línea eléctrica aérea. Esta práctica común ayuda a las empresas de servicios públicos a minimizar el desorden de cables aéreos en la subestación, lo que reduce las posibilidades de una falla aérea. Aunque un segmento del alimentador es subterráneo, la mayor parte del alimentador tiene una construcción aérea. Por lo tanto, el recierre automático generalmente se habilita en la subestación para ayudar a eliminar fallas momentáneas en la línea eléctrica aérea. Esta práctica garantiza que se entregue energía ininterrumpida a los clientes, pero no está exenta de riesgos. Cada intento de reconexión en la falla expone la fase con falla de la línea eléctrica a la corriente de nivel de falla, como se muestra en la Figura 1. Además, las fases sin fallas experimentan corrientes de irrupción a nivel de falla, una condición de reenergización.

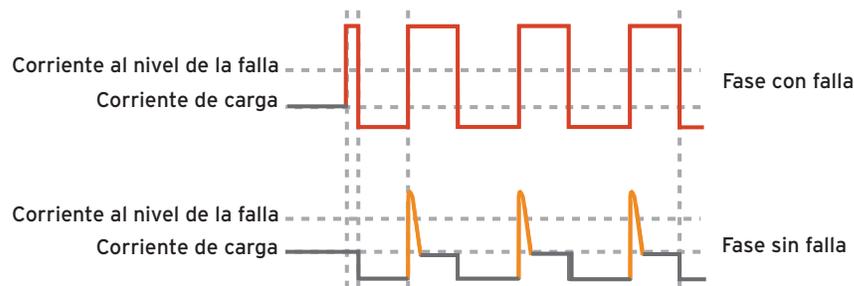


Figura 1: ejemplo simplificado de una secuencia típica de recierre automático.

Los esquemas de reconexión automática están destinados a eliminar la causa de una falla (por ejemplo, vegetación o vida silvestre) de las líneas eléctricas aéreas. El recierre automático puede evitar que fallas momentáneas provoquen una interrupción permanente. Sin embargo, las fallas en los cables subterráneos son casi siempre permanentes y, por lo tanto, no se pueden eliminar mediante un recierre. No hay beneficios por volver a cerrar en fallas permanentes. El recierre en fallas permanentes expone todo el alimentador y el equipo de servicios públicos conectado a grandes corrientes de falla en cada reconexión. Si bien los sistemas de distribución pueden manejar estas corrientes de falla a corto plazo, tales eventos impactan negativamente la vida útil general del sistema y contribuirán a la falla del equipo. Como muchas otras empresas de servicios públicos, Clayton Public Power asumió que no podrían evitar los daños por reconectar en fallas en los cables subterráneos que están conectados a las líneas eléctricas aéreas.

Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Subestación Northside

La subestación Northside de Clayton Public Power tiene cuatro alimentadores trifásicos. Cada alimentador (y el regulador de voltaje en línea de cada alimentador) está protegido por un control de restaurador avanzado SEL-651R, como se muestra en la Figura 2. Los alimentadores salen individualmente de la cerca de la subestación como cables subterráneos antes de llegar a un poste elevador, donde pasan a los conductores aéreos. Cada control de restaurador se configuró para volver a cerrarse dos veces en la falla para permitir que una falla en las líneas aéreas se despeje y para evitar interrupciones sostenidas del cliente por fallas momentáneas. Sin embargo, con el control de restaurador en un punto de monitoreo central en la subestación, no había forma de que el control determinara si la falla era subterránea o aérea. Por lo tanto, una falla permanente en el cable subterráneo siempre resultaría en dos reconexiones, cuando nunca debió haber sido reconectado.

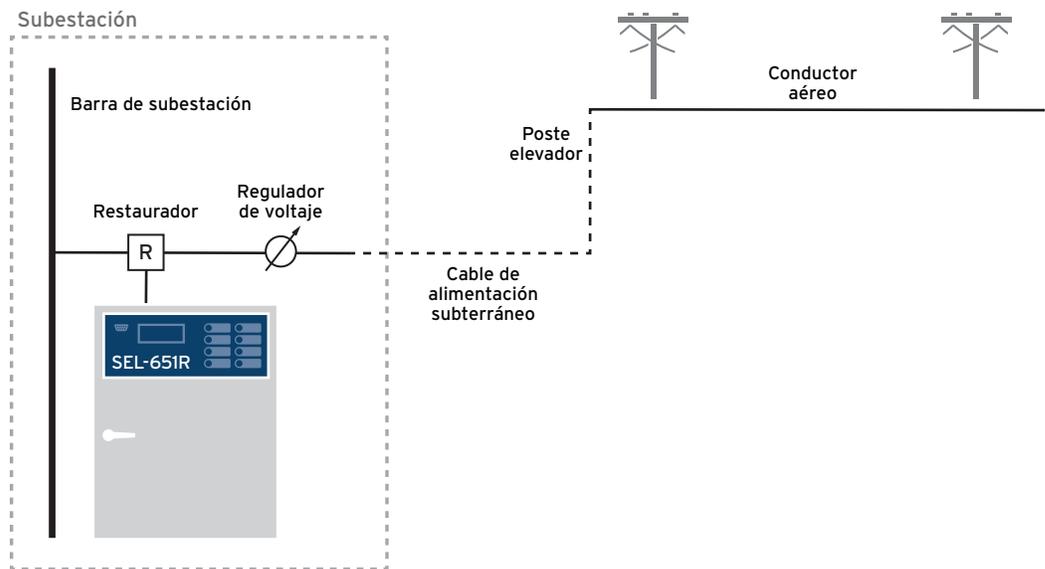


Figura 2 — Diagrama unifilar simplificado de la subestación Northside en Clayton Public Power.

Una solución sencilla y económica

Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) presentó una solución a Clayton Public Power que protege los equipos de servicios públicos durante fallas permanentes en cables subterráneos que salen de la subestación mientras mantiene la energía encendida para los clientes de Clayton Public Power durante fallas momentáneas en el resto del sistema. El sistema transmisor y receptor de fallas SEL-FT50 y SEL-FR12 aumenta la visibilidad del control de restaurador de la subestación al proporcionar información precisa sobre el punto de transición en el alimentador donde el cable cambia a una línea aérea. Esta información permite que el control de restaurador bloquee selectivamente la reconexión por fallas subterráneas en el alimentador. Clayton Public Power instaló el sistema en su subestación Northside para implementar un esquema de bloqueo de restauradores de alta velocidad para fallas de cables subterráneos.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

El sistema SEL-FT50 y SEL-FR12 proporciona una indicación de fallas de alta velocidad directamente al control de restaurador de la subestación. La latencia típica del sistema es de 6 ms (es decir, menos de la mitad de un ciclo del sistema de energía). Esto es lo suficientemente rápido para influir en las decisiones de protección antes de que el control de restaurador actúe sobre la falla. El receptor de fallas SEL-FR12 se conecta directamente al control de restaurador de la subestación a través de un cable serial y usa el protocolo MIRRORRED BITS® para comunicar la falla y el estado del enlace de comunicaciones inalámbricas de los transmisores de fallas. Cuando un transmisor detecta corriente de falla, transmite rápidamente un mensaje de falla al receptor. El control de restaurador se conecta al receptor y se programa, a través de las ecuaciones de control SELLOGIC®, para acelerar el disparo, ajustar la coordinación o alterar los esquemas de reconexión para mejorar la protección.

Lógica de programación del control de restaurador

Clayton Public Power modificó la lógica de programación del SEL-651R mediante las ecuaciones de control SELLOGIC que se muestran en la Figura 3. Esta lógica utilizó las entradas de comunicaciones específicas MIRRORRED BITS del receptor de fallas (correspondientes al enlace de comunicaciones inalámbricas y al estado de fallas de cada uno de los transmisores) para modificar lógica "drive to lockout" del SEL-651R.

Cuando el SEL-651R detecta una falla, la lógica evalúa si el control de restaurador ha recibido un mensaje de falla de cualquiera de los transmisores. Debido a que los transmisores están instalados en el poste ascendente más allá del cable subterráneo, el control de restaurador recibe una señal de estado de falla MIRRORRED BITS para todas las fallas en la línea aérea. El control de restaurador luego emite un comando de reconexión al restaurador para intentar despejar una falla momentánea y restaurar la energía en el alimentador aéreo. Si el control de restaurador detecta una falla y no recibe un estado de falla Mirrored Bit, entonces la falla ocurrió antes del poste ascendente en el cable subterráneo o en el regulador de voltaje en línea.

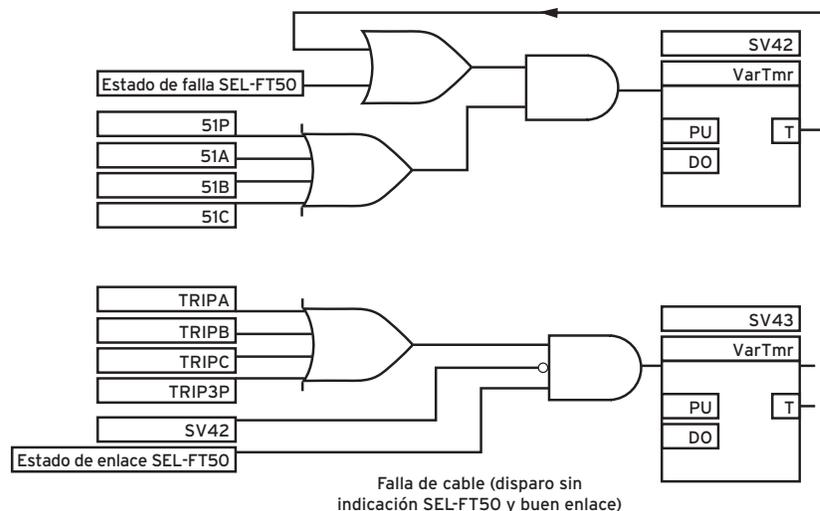


Figura 3 — La programación lógica del relé SEL-651R define cómo usará la indicación de estado de cada transmisor.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Si no se detecta un enlace inalámbrico activo con los transmisores en el momento de la falla, se deshabilita el esquema de bloqueo de recierre. Esta lógica asegura que el recierre no se bloquee si el transmisor o el receptor fallan.

Las pruebas de laboratorio validan la operación

Clayton Public Power probó la solución para ajustar la configuración sin afectar el sistema de distribución. Los ingenieros de Clayton Public Power trabajaron con los ingenieros de aplicaciones de SEL locales en la validación y prueba de la configuración. Primero desarrollaron la lógica de programación para el control de restaurador y le aplicaron un SEL-651R en el laboratorio que era idéntico al control de restaurador de campo. Para las pruebas de laboratorio se utilizó el siguiente equipo:

- Un receptor de fallas SEL-FR12
- Un control de restaurador avanzado SEL-651R-2
- Tres transmisores de falla SEL-FT50
- Un cable serial SEL C272A
- Tres mini circuitos de corriente SEL MCL120
- Tres transformadores de corriente de núcleo dividido SEL CT con abrazadera

Los ingenieros conectaron el SEL-FR12 al SEL-651R mediante un cable serial para establecer las comunicaciones MIRRORING BITS seriales. Luego, sujetaron cada SEL-FT50 a su propio circuito de corriente MCL120, como se muestra en la Figura 4, para alimentar y desconectar los transmisores de forma sencilla utilizando un tomacorriente de 120 Vac. El MCL120 proporciona un campo magnético (equivalente al producido por 10 A de corriente de carga en un solo conductor aéreo) para alimentar el transmisor mediante un acoplamiento inductivo. También simula una falla al producir un campo magnético más grande al presionar un botón. Después de conectar un TC portátil con abrazadera a cada MCL120, conectaron cada TC a las entradas de corriente en el SEL-651R, como se muestra en la Figura 5.



Figura 4 — Los circuitos de corriente MCL120 conectados a los transmisores SEL-FT50 en el laboratorio de pruebas.



Figura 5 — El TC conectado a las entradas de corriente del SEL-651R en el laboratorio de pruebas.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Después de confirmar el estado del enlace inalámbrico de cada transmisor en el receptor, los ingenieros realizaron múltiples simulaciones para probar el funcionamiento de la lógica de control de restaurador en busca de una falla aérea, una falla subterránea y una falla durante una falla de enlace inalámbrico de cualquier transmisor.

Durante la prueba de falla aérea, el SEL-651R volvió a cerrarse normalmente después de recibir un mensaje de falla del SEL-FT50. Para la prueba de falla subterránea, los ingenieros quitaron un SEL-FT50 de un MCL120 y luego simularon una falla antes de que el estado del enlace de comunicaciones SEL-FT50 cayera. El SEL-651R identificó que había un estado de enlace para el SEL-FT50 y los transmisores pero no un estado de falla, por lo que se dirigió al bloqueo para evitar que se reconectara en una falla subterránea.

Para la prueba final, los ingenieros retiraron nuevamente un SEL-FT50 de un MCL120, pero esta vez esperaron hasta que el SEL-FR12 identificó el estado de enlace perdido. Cuando simularon una falla, el SEL-651R volvió a cerrarse como se esperaba después de identificar la falla y deshabilitar el esquema de bloqueo debido a la pérdida del enlace de comunicaciones.

Las pruebas de simulación de laboratorio demostraron que el esquema de bloqueo funcionó correctamente para evitar reconexiones en fallas subterráneas. Para fallas aéreas o si se pierde la comunicación con los transmisores de fallas, las pruebas mostraron que el SEL-651R se volverá a cerrar en las fallas de forma normal.

Puesta en servicio

Los ingenieros reflejaron las pruebas de laboratorio en el campo para la puesta en servicio en la subestación Northside. Sin embargo, utilizaron solo dos circuitos de corriente MCL120 y un TC para la prueba de campo. Usando un alimentador de repuesto en la subestación, los ingenieros transfirieron la carga y aislaron cada alimentador para ejecutar las secuencias de prueba y confirmar la operación del esquema en cada restaurador. La pequeña cantidad de equipo y la simplicidad del esquema hicieron posible probar y poner en marcha los cuatro alimentadores en solo medio día. En general, solo tomó unos meses pasar del concepto a una solución completamente puesta en servicio.

Los trabajadores de línea instalaron tres transmisores de fallas, uno en cada fase de la porción aérea de los alimentadores en el poste vertical. Debido a que podían instalar los transmisores con un hot stick en la línea en vivo, sus clientes no se vieron afectados por la actualización. Todos los transmisores se configuraron mediante interruptores de control (DIP) para comunicarse de forma inalámbrica con un SEL-FR12 instalado en el gabinete de control SEL-651R para el alimentador asociado, como se muestra en la Figura 6.

Los ingenieros instalaron un SEL-FR12 en el gabinete del control de restaurador SEL-651R para cada alimentador en la subestación, como se muestra en la Figura 7. Se conectó una antena omnidireccional de baja ganancia al SEL-FR12 (que se muestra en la Figura 8) para recibir mensajes de los transmisores SEL-FT50 instalados justo afuera de la subestación Northside (como se muestra en la Figura 9).

Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

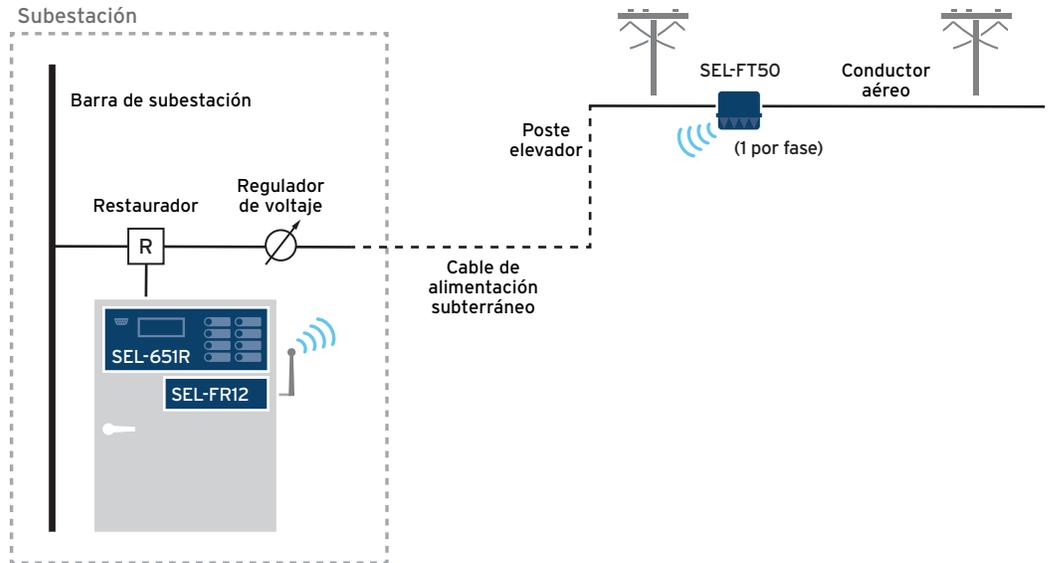


Figura 6 — Descripción general de la aplicación de la subestación de distribución con el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12.



Figura 7 — Un SEL-FR12 instalado en el gabinete del control de restaurador SEL-651R.



Figura 8 — Antena omnidireccional conectada al SEL-FR12 para comunicarse con los transmisores SEL-FT50.

Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12



Figura 9 — Un trabajador de línea instala un SEL-FT50 fuera de la subestación Northside en la sección aérea del alimentador.

Aspectos destacados de la detección exitosa del primer evento del sistema

Unos meses después de la puesta en servicio, ocurrió una falla en la sección aérea de uno de los alimentadores de la subestación Northside. El informe de eventos del SEL-651R (mostrado en la Figura 11) muestra que el control recibió un MIRRORRED BIT de estado de falla del SEL-FR12 y se volvió a cerrar exitosamente por una falla aérea. La Figura 12 muestra la confirmación del MIRRORRED BIT de estado de falla del SEL-FT50 del SEL-FR12. Este bit reflejado se asertó aproximadamente 4 ms después del inicio de la falla.

La Figura 13 muestra el primer evento de disparo de la falla. Debido a que el MIRRORRED BIT de estado de falla se recibió del SEL-FT50, la lógica nunca se confirmó y el SEL-651R no condujo hasta el bloqueo. El registrador de eventos secuenciales (SER) mostró que este alimentador se volvió a cerrar y despejó la falla momentánea.

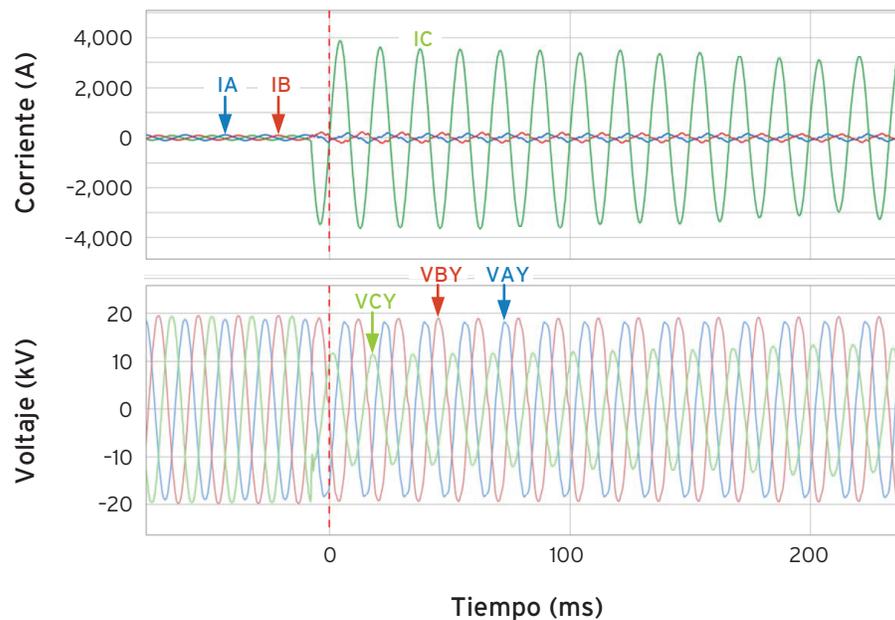


Figura 10 — Oscilografía del SEL-651R que muestra el inicio de una falla en la Fase C.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

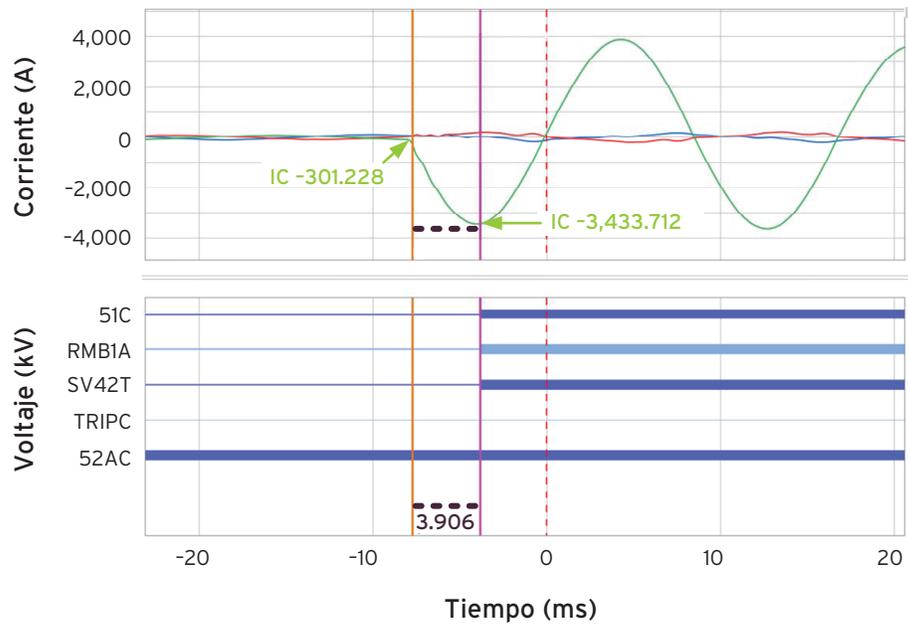


Figura 11 — La confirmación del MIRRORRED BIT de estado de falla del SEL-FT50 desde el SEL-FR12 aproximadamente 4 ms después del inicio de la falla.

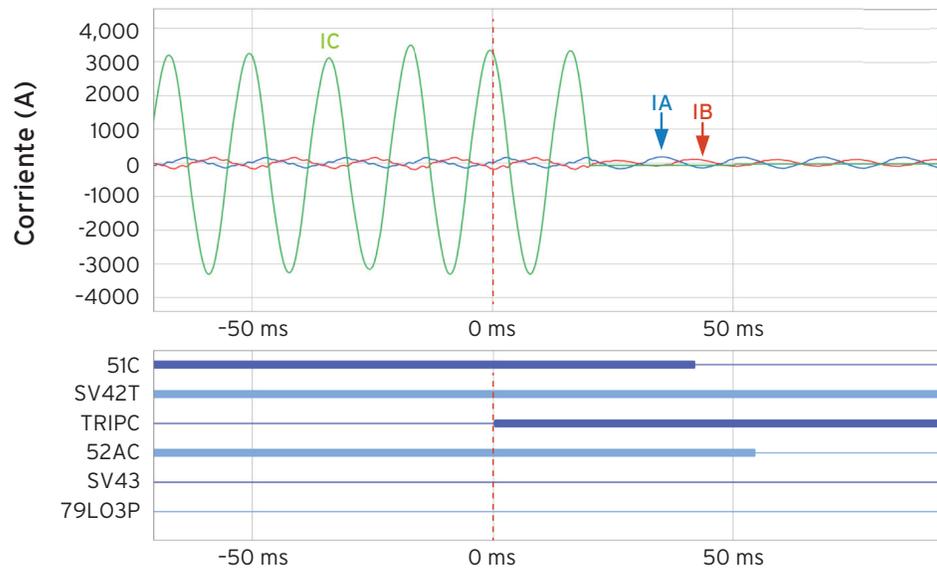


Figura 12 — El primer evento de disparo de la falla.



Caso de estudio

La ciudad de Clayton mejora la protección de alimentador subterránea usando el sistema SEL-FT50 y SEL-FR12

Conclusión

En alimentadores mixtos con líneas subterráneas y aéreas, los servicios públicos no tienen que asumir los riesgos asociados con la reconexión en fallas permanentes en las secciones de cables subterráneos. El sistema SEL-FT50 y SEL-FR12 proporciona la visibilidad para distinguir entre fallas en secciones aéreas y subterráneas. Esto permite que las empresas de servicios públicos implementen un esquema de reconexión automática para las líneas aéreas, evitando así que las fallas momentáneas se conviertan en cortes permanentes, mientras bloquea la reconexión en las secciones subterráneas para proteger el equipo al eliminar las corrientes de falla innecesarias.

Clayton Public Power utilizó esta tecnología para mejorar la protección de la distribución de los equipos de la subestación y mejorar la confiabilidad del sistema. La simplicidad de la solución SEL-FT50 y SEL-FR12 les permitió pasar de un concepto a una solución completamente desarrollada, probada, instalada y puesta en servicio en solo unos pocos meses.

Acerca de Clayton Public Power

Clayton Public Power brinda servicio eléctrico a residentes y negocios en la ciudad de Clayton, Carolina del Norte. Clayton es una ciudad satélite de la capital del estado, Raleigh, y se encuentra a 30 minutos en automóvil del Research Triangle, una región del estado que comprende tres universidades importantes (Duke University, North Carolina State University y University of North Carolina en Chapel Hill) y es un punto de atracción para las empresas. La proximidad de Clayton a estas áreas ha contribuido a un crecimiento demográfico significativo de más del 300 por ciento en los últimos 20 años. A medida que su sistema continúa creciendo con la demanda, Clayton Public Power se esfuerza por encontrar nuevas formas de mejorar la seguridad, confiabilidad y economía de su sistema de distribución eléctrica.

Sobre SEL

Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) ha hecho que la energía eléctrica sea más segura, confiable y económica desde 1984. SEL sirve a la industria de la energía eléctrica en todo el mundo mediante el diseño, la fabricación, el suministro y el soporte de productos y servicios para la protección, el control y el monitoreo del sistema de energía.



Haciendo la energía eléctrica más segura, más confiable y más económica
(+52) 01 800 228 2000 | servicioclientes@selinc.com | selinc.com/es