

Experiencia de una compañía eléctrica con las pruebas de extremo a extremo orientadas a la aplicación de los esquemas de protección del alimentador EHV

Eoin Cowhey, ESB International, Irlanda | Alan Rossiter, ESB Networks, Irlanda

Resumen

Las pruebas de extremo a extremo orientadas a la aplicación son un tipo de prueba del sistema que se centra en la validación de los esquemas de protección independientemente de los ajustes y el tipo de relé de protección. Los valores de falla para las pruebas se basan en parámetros reales del sistema y en las características de la planta en lugar de en valores idealizados que se utilizan en métodos de realización de pruebas de protección de estado estacionario convencionales.

El siguiente artículo describe la estrategia de una compañía eléctrica para realizar pruebas de extremo a extremo, que comprende desde métodos de estado estacionario tradicionales hasta la evolución de pruebas orientadas a las aplicaciones para probar un complejo esquema de protección de una red de tensión extraalta (EHV); también se describen las metodologías de prueba empleadas y los problemas identificados.

1 Introducción

La UE ha establecido objetivos legalmente vinculantes para los Estados miembros a fin de aumentar el uso de fuentes de energía renovables para 2020. Irlanda se ha fijado un objetivo en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (NREAP) para incrementar la presencia de electricidad procedente de fuentes renovables en el sistema eléctrico irlandés hasta el 40 % en 2020.

La principal fuente utilizada por Irlanda para obtener energía renovable es el viento, principalmente en la costa oeste de Irlanda.

La red de la región suroeste no disponía de capacidad suficiente para acoger unos niveles de penetración tan altos procedentes de la generación variable de energía renovable; por ello, era necesario llevar a cabo mejoras en la infraestructura de la red con el fin de evitar una reducción excesiva de las fuentes de energía renovable.

Hay cinco tipos de límites de seguridad del sistema que requieren una reducción:

- Requisitos de estabilidad del sistema (estabilidad transitoria, dinámica y de inercia síncrona)
- Requisitos de la reserva operativa, incluida la reserva negativa
- Requisitos de control de tensión
- Requisitos del aumento de carga matutina

- Límite de penetración no síncrona del sistema (SNSP3) (actualmente del 50 %)

Actualmente, el límite de penetración no síncrona del sistema (SNSP3) es del 50 %, pero con las mejoras en la infraestructura de red estratégicas previstas, se incrementará hasta el 75 %.

La conexión 3 permite conectar aproximadamente 4000 MW de energía eólica y también permite la emisión de ofertas de conexión de unos 1700 MW procedentes de nuevos proyectos con generadores convencionales en todo el país. Esto incluye nuevas centrales termoeléctricas eficientes y centrales hidroeléctricas reversibles.

Permitirá conectar una gran cantidad de proyectos de energía convencional y de renovables a la red irlandesa a lo largo de la próxima década de una manera eficiente capaz de mantener la seguridad del suministro, promover la competencia y alcanzar el objetivo del 40 % establecido para las energías renovables para 2020.

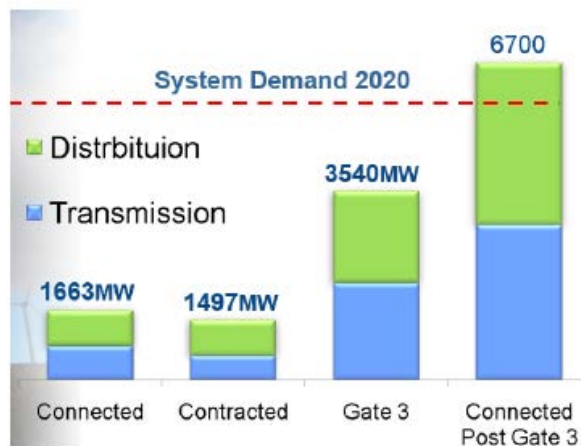


Figura 1: Previsiones sobre energías renovables para 2020

Con el fin de facilitar la integración de los 1076 MW de energía renovable previstos en el sistema eléctrico de la región suroeste, se han construido cuatro estaciones nuevas de 220/110 kV y una estación nueva de 400/220/110 kV simultáneamente.

El plan de energización de las estaciones del suroeste era tal que la puesta en marcha de las cinco estaciones debía completarse durante un periodo de 6/7 meses. Estas condiciones para la puesta en marcha supusieron el doble de la carga de trabajo habitual y, para poder cumplir con los objetivos establecidos, fue necesario externalizar la puesta en marcha del sistema de transmisión por primera vez.

Se consideró que la realización de pruebas orientadas a la aplicación era una estrategia ideal para la auditoría y la validación técnica de los trabajos de puesta en marcha realizados por la empresa externa, lo cual proporcionó un nivel superior de garantía.



Figura 2: Ubicación de las cinco estaciones de 220 kV del suroeste

2 Descripción general de la protección

2.1 Disposición típica de protección para la red de EHV

En redes de tensión extraalta (EHV) en Irlanda, de 220 y 400 kV, suele utilizarse un esquema de protección duplicado. Un esquema de protección convencional consta de un relé de distancia con un relé de distancia/diferencial duplicado. Si hay disponibles enlaces de fibra óptica o por hilo piloto, se debe utilizar un relé diferencial como dispositivo de protección duplicado; de no ser así, se puede utilizar un relé de distancia. Los relés de protección duplicados y principales también deben ser de diferentes fabricantes. A continuación, se presenta una lista de las funciones de protección incorporadas en los IED de protección de la red:

- Protección de distancia
- Protección diferencial
- Faltas a Tierra por comparación direccional (DCEF)
- Interdisparo permisivo (principalmente POTT)
- Recierre automático (AR) de alta velocidad de 1/3 polos
- Funciones de AR de comprobación de sincronismo
- Zonas de bloqueo de AR para secciones de cable
- Bloqueo de AR remoto y aceleración de zona a partir de esquemas de protección bus-zona
- Sobrecorriente de emergencia/respaldo

2.2 Política de ajustes del alcance de las zonas de distancia contiguas en Irlanda

La protección de distancia se configura generalmente con cinco zonas de protección principales y una zona controlada adicional. La zona controlada puede emplearse para bloquear el funcionamiento de recierre automático para las fallas en secciones de cables en el extremo de la línea, ya sea local o remoto. Las secciones de cable típicas de entrada a las estaciones tienen poca longitud, aproximadamente 100-500 metros.

De las cinco zonas de protección principales, hay 3 zonas hacia adelante y 2 zonas hacia atrás; el alcance típico de las zonas se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Tiempos y alcances típicos de la distancia

Zona	Alcance	Tiempo
1. ^a hacia delante	80-85 % de la línea protegida	0 s
2. ^a hacia delante	100 % de la línea protegida + 60 % de la línea más corta que sale de la siguiente estación.	0,3 s
3. ^a hacia delante	100 % de la línea protegida + 120 % de la línea más larga que sale de la siguiente estación.	0,9 s
1. ^a en retroceso	70 % de la línea hacia atrás más corta.	0,45 s
2. ^a en retroceso	200 % de la línea hacia atrás más larga.	1,1 s

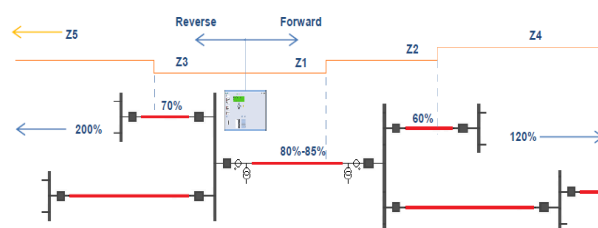


Figura 3: Alcances de las zonas de impedancia en una topología de red típica

3 Recierre automático

3.1 Filosofía del recierre automático

En Irlanda, más del 80 % de los fallos del sistema son transitorios, por lo tanto, se utiliza el recierre automático (AR) para permitir el restablecimiento de la central sin la inspección o intervención del operador, y con el fin de mantener la solidez e integridad del sistema. El recierre automático no está permitido en secciones de cable de XLPE, dado que es

poco probable que el fallo sea transitorio, ni en cables de aceite fluido, ya que se considera peligroso.

La filosofía del recierre automático en EHV se basa en un AR mono o tripolar de alta velocidad. El AR monopolar es el único permitido cerca de grandes alimentadores de generación, ya que el recierre tripolar puede causar daños en el rotor del generador por pérdida de sincronismo.

En el nivel de transmisión sólo se permite un intento de recierre, ya que no se pueden tolerar las reiteradas caídas de tensión reiteradas y altas corrientes de falla.

Los tiempos muertos típicos para el recierre son del orden de 600-700 ms para recierre tripolar en faltas entre fases, y de 900-1000 ms en fallas monofase.

3.2 Supervisión del recierre automático

Tal y como se ha mencionado en la sección 2.2, la supervisión del recierre automático se implementa a veces con una zona de distancia adicional, la cual se puede utilizar para bloquear el recierre automático para una falla en una sección de cable local (dentro de la zona controlada) o una falla de sección de cable en el extremo remoto de la línea (zona exterior controlada). Se utiliza una salida binaria "interbloqueo de AR" adicional para bloquear el recierre del dispositivo duplicado.

Allá donde las secciones de cable estén instaladas en los extremos local y remoto de la línea protegida, o si hay una sección de cable dentro de la línea, se utiliza un IED de distancia específico para supervisar las secciones de cable. Las funciones de comprobación de sincronismo también pueden incorporarse a este tipo de IED.

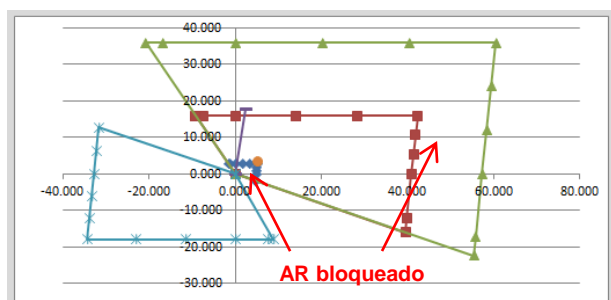


Figura 4: Alcances de zonas de impedancia cuadrilaterales para el bloqueo de AR en secciones de cable remotas y locales

3.3 Esquemas de aceleración de zona utilizados en Irlanda

En Irlanda, las líneas de transmisión suelen tener una longitud entre corta y media. Para estos tipos de líneas, se utilizan esquemas de disparo transferido de sobrealcance permisivo (POTT) junto con protección de distancia. Los esquemas POTT utilizan una zona de sobrealcance o utilizan la zona 2 para cubrir un alcance mayor que la longitud de la línea protegida.

Los IED remotos y locales emitirán un disparo acelerado a sus extremos opuestos en caso de detectarse una falla en cualquier punto de la línea protegida. Los esquemas POTT también son útiles si el interruptor de potencia del extremo remoto está abierto o si existe una alimentación débil en el extremo remoto, ya que todavía se puede lograr el disparo acelerado en el 100 % de la línea.

Los esquemas de disparo transferido de subalcance permisivo (PUTT) no son tan habituales y generalmente están reservados para líneas más largas, donde los ajustes de la impedancia de línea real no se pueden calcular con precisión debido a la acumulación de errores. Con los esquemas PUTT, se emite un disparo transferido para cualquier falla que se detecte en la 1ª zona de protección. En este tipo de esquemas, se asume que la falla está en la línea si se detecta en primera zona en cualquiera de los dos extremos de la línea.

3.4 Esquemas de teleprotección

Si en la estación hay disponible una conexión de fibra óptica, se utiliza una interfaz de entrada/salida binaria, de lo contrario, se utilizan dispositivos de onda portadora (PLC) convencionales. En un esquema de protección de distancia duplicada, se deben emplear dos formas de teleprotección.

Determinados medios de comunicación de teleprotección, como los dispositivos de onda portadora (PLC), disponen de una cantidad demasiado limitada de canales disponibles para poder satisfacer los requisitos completos de teleprotección de los esquemas de protección. La ventaja principal de utilizar una conexión de fibra en lugar de un dispositivo de onda portadora es que el primero dispone de cuatro canales en lugar de dos. Además, los dispositivos de interfaz de E/S de fibra presentan retrasos de propagación muy bajos, del orden de menos de 10 ms.

En situaciones en las que no hay disponibles suficientes canales de teleprotección de E/S, el bloqueo de AR del extremo remoto de la protección de la zona de bus local (BZP) se comparte por los canales de PTT. Esto se logra prolongando el pulso del PTT desde la BZP del extremo local hasta el extremo remoto. Se utiliza entonces un temporizador de descodificación (definido en la lógica programable del IED de distancia del extremo remoto) para bloquear el AR si el pulso de PTT recibido es mayor de 300 ms. El objetivo de proporcionar un pulso de PTT prolongado desde la BZP al relé del extremo remoto es acelerar el disparo de la protección, así como bloquear el recierre remoto.

Tabla 2: Asignaciones de canales de teleprotección

Device	77-1 (TEBIT)				Device	77-2 (PLC)	
	Channel					Channel	
	1	2	3	4		1	2
	POTT	DCEF	POTT	AR Block	POTT	DCEF	
Main 1 Distance	X	X		X	X	X	
BZP	X		X	X	X		
Main 2 Distance			X	X	X		

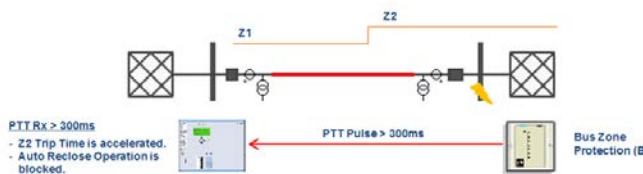


Figura 5: Implementación del PLC de la aceleración de zona y canal de bloqueo del AR desde BZP

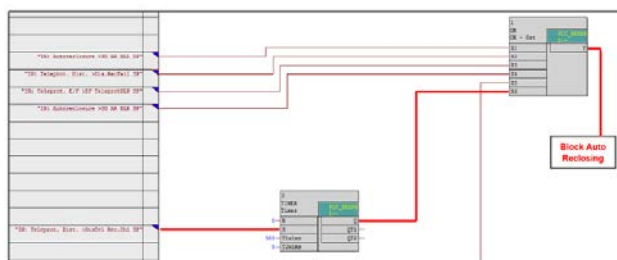


Figura 6: Lógica del AR de bloqueo del PLC

4 Enfoque tradicional a las pruebas de extremo a extremo

4.1 Punto a punto

A lo largo de la historia, las pruebas de extremo a extremo se han limitado a pruebas funcionales mediante la estimulación del canal PTT Tx correspondiente y la observación de la respuesta del IED. El ingeniero encargado de la puesta en marcha se aseguraba de que esta señal de transmisión de teleprotección se recibía en los IED de protección de la línea remota y de que se producía la aceleración de la zona. Con la experiencia acumulada a lo largo de los años, se llegó a la conclusión de que este enfoque presentaba algunas carencias.

Para probar el funcionamiento fiable y correcto del recierre automático tanto en la protección duplicada como en la principal en ambos extremos de la línea, es importante que el ingeniero encargado de la puesta en marcha garantizara que los pulsos de PTT fueran inferiores a 300 ms para fallas en la línea, ya que un PTT Rx superior a 300 ms bloquearía el ciclo de recierre automático.

Con la técnica de estimulación mencionada, no es posible probar de forma reiterada y fiable la funcionalidad del recierre automático debido a las estrictas tolerancias de tiempo.

4.2 Estado estacionario

Debido a los retos esbozados en la sección 4.1 anterior y con la llegada de una referencia de temporización global fácilmente accesible y utilizable (GPS), la realización de pruebas de teleprotección evolucionó hacia las pruebas de extremo a extremo sincronizadas.

Las pruebas de extremo a extremo utilizan dos o más equipos de pruebas sincronizados en múltiples ubicaciones para simular una falla en una línea de transmisión simultáneamente. Las respuestas de los IED se evalúan de forma automática comparándolas con valores correctos/incorrectos predefinidos utilizando rutinas de pruebas automatizadas. Este método permitió una prueba más holística de la interacción de todos los componentes de un sistema de protección distribuida.

Al principio, las pruebas de extremo a extremo por GPS se llevaban a cabo en pares de IED de protección individuales, por ejemplo, de Principal 1 a Principal 1, y se repetía la prueba de Principal 2 a Principal 2; sin embargo, acabaron evolucionando hasta realizar la inyección en la protección de Principal 1 y Principal 2 simultáneamente.

Las pruebas por GPS de estado estacionario implican el cálculo de los puntos de prueba pertinentes en el sistema eléctrico con el fin de poner a prueba la respuesta del esquema de protección. Estos puntos de prueba derivan de la configuración específica del alimentador tal y como se aplica a los relés de protección.

En un esquema permisivo típico, como POTT, es importante verificar la seguridad y fiabilidad del esquema de protección; en otras palabras, debe comprobarse que el relé local no emita un PTT Tx para una falla dentro de la zona de sobrealcance y que tampoco emita un PTT Tx para una falla tras el relé de protección local o fuera de la zona de sobrealcance.

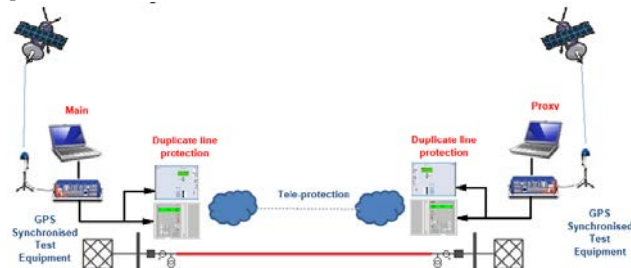


Figura 7: Configuración de prueba de extremo a extremo por GPS de estado estacionario

La Figura 8 ilustra pruebas por GPS de estado estacionario típicas, que se llevarían a cabo para verificar de forma funcional que un esquema POTT funciona como se espera.

Se llevaría a cabo una prueba inicial (Posición 1) para garantizar que los ajustes de la prueba en cada extremo son correctos y que los medios de

teleprotección están operativos. La prueba inicial consiste en inyectar una falla de Zona 1 en los relés de protección local y remoto de forma simultánea y observar que los interruptores de potencia se disparan y recierran en el tiempo de la Zona 1.

Si el resultado de la prueba inicial es correcto, el ingeniero encargado de la puesta en marcha situado en la estación A forzará un valor de falla fuera de la zona 1, pero dentro de la zona de sobrealcance (Posición 2). El ingeniero encargado de la puesta en marcha situado en la estación B debe forzar una falla dentro de la zona 1. Ambos relés deben recibir la señal permisiva procedente del extremo remoto respectivo. Los relés B se deben disparar y recerrar en el tiempo de la zona 1, y los relés A se deben disparar y recerrar en un tiempo acelerado aproximadamente equivalente al tiempo de la zona 1 más el retraso de propagación de teleprotección.

Esta prueba se debe repetir para la posición 3, es decir, el ingeniero situado en la estación B debe forzar una falla fuera de la zona 1 pero dentro de la zona de sobrealcance, y el ingeniero situado en la estación A debe forzar una falla en la zona 1.

Se llevarán a cabo más pruebas para examinar la seguridad del esquema (Posición 4), lo cual abarca la simulación de una falla hacia atrás en los relés A y la aplicación de una falla hacia adelante en los relés B dentro de la zona de sobrealcance. El relé A debe recibir una señal PTT Rx del relé B y no acelerar sus temporizadores de zona. El relé B debe disparar y recerrar, mientras que el relé A debe disparar sin recerrar.

Esta prueba debe repetirse en el lado opuesto (Posición 5).

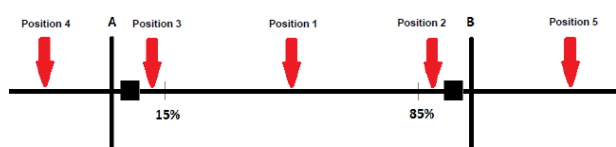


Figura 8: Puntos de prueba típicos para la realización de pruebas de extremo a extremo de estado estacionario

Algunas de las desventajas de este método de pruebas por GPS de estado estacionario son:

- Los ingenieros situados en cada lado de la línea protegida fuerzan ubicaciones de falla arbitrariamente basándose solo en los parámetros que se han aplicado en los relés de distancia locales.
- Los ajustes de protección podrían presentar alcances de zona incorrectos, y sin embargo las pruebas podrían pese a ello dar un resultado correcto.
- La falla puede no corresponder a la misma ubicación si se observa desde la estación A y la estación B, es decir, el ingeniero situado en la estación A puede forzar una falla en el 70 % de la longitud de la línea si se observa desde A, y en la estación B se puede forzar una falla

en el 70 % de la longitud de la línea si se observa desde B.

- Las magnitudes de falla están idealizadas y no son realistas.
- Los ingenieros están en contacto entre ellos por teléfono mientras se realiza la prueba; en caso de que falle una prueba, la resolución de problemas puede ser difícil y lenta, ya que el diagnóstico requiere de información del portátil remoto para tener una visión completa del problema.
- Se trata más de una prueba funcional que de una prueba de sistema.

Existe un ejemplo real donde no se activó correctamente el recierre automático para una falla transitoria en la línea; se descubrió durante el análisis de registros de falla (observe la Figura 9) que el pulso de PTT Rx fue superior a 300 ms, lo cual causó el bloqueo de un ciclo de recierre automático en el relé.

Se descubrió que esto se debió a la activación de una función de eco de teleprotección en los relés de protección duplicado y principal mientras compartían el mismo canal del portador PLC. La solución a este problema particular fue apagar la función de eco en el IED de protección duplicado.

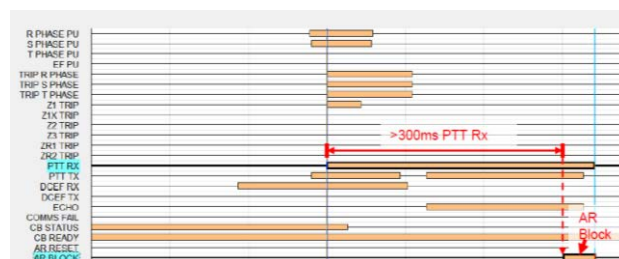


Figura 9: Registros de falla tras un PTT Rx prolongado que bloqueó el AR

5 Evolución a las pruebas de extremo a extremo orientadas a la aplicación

5.1 Pruebas de extremo a extremo orientadas a la aplicación

Las pruebas de extremo a extremo orientadas a la aplicación son un tipo de prueba del sistema que se centra en la comprobación de los esquemas de protección independientemente de los ajustes y el tipo de relé. Con este método de prueba, los puntos de falla y los valores se calculan independientemente de los ajustes del relé, por lo tanto, se presentan valores de corriente y tensión de falla más realistas para el esquema de protección. Esto garantiza que el ingeniero disponga de una visión más precisa sobre cómo se comportará la protección en situaciones de falla reales.

Los valores de falla se basan en parámetros reales del sistema, como las impedancias de fuente y los datos de impedancia de línea. El comportamiento del sistema de protección es lo único que se examina con este método.

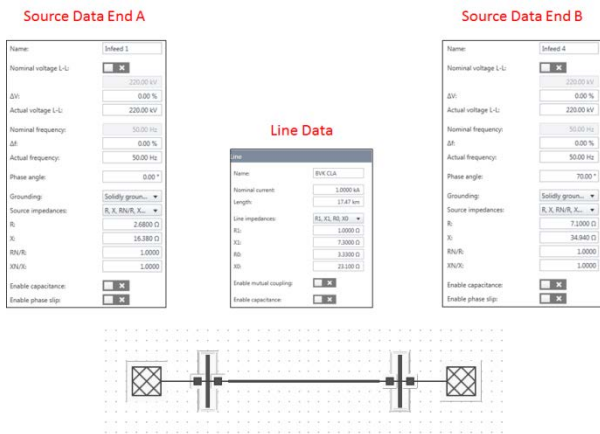


Figura 10: Datos de línea y fuente necesarios para un modelo de línea individual

5.2 Ventajas

Las ventajas principales de las pruebas orientadas a la aplicación son que los valores de falla para la prueba del esquema de protección se calculan sin considerar el tipo de relé, la configuración y los ajustes. Este método también proporciona un enfoque más sencillo para la prueba de funciones avanzadas, como:

- Oscilación de potencia
- Fallas a tierra transitorias
- Acoplamiento mutuo en líneas paralelas
- Teleprotección compleja
- Pruebas secuenciales, como un ciclo de recierre automático fallido o una situación de fallo del interruptor de potencia con la función de bucle cerrado iterativo

Una función importante es la simulación de la saturación del transformador de corriente, que se puede utilizar para examinar los efectos directos en el esquema de protección de la saturación del TC durante estados de falla. Se pueden introducir directamente en el software los datos del TC o se pueden importar los resultados de las pruebas de verificación del TC. Esto puede resultar útil para analizar los efectos en la protección de TC desparejados; por ejemplo, el uso de TC de clase P en un extremo y de TC TPZ en el extremo opuesto de la línea.



Figura 11: Introducir/importar datos del TC realistas directamente del CT Analyzer

Otra ventaja sobre las pruebas por GPS de estado estacionario es que el sistema también controla varios dispositivos de prueba desde una sola ubicación, siempre que exista alguna forma de conexión a Internet (en esta aplicación se empleó la tecnología 3G). Esto reduce el tiempo de resolución de problemas de forma significativa y un solo ingeniero puede ver inmediatamente la respuesta del esquema de protección, y de todos los dispositivos sometidos a prueba en un solo ordenador. Esto proporciona seguridad adicional, ya que se evita el intercambio de información por teléfono entre los ingenieros para determinar si la evaluación del esquema de protección arroja un resultado satisfactorio o no.

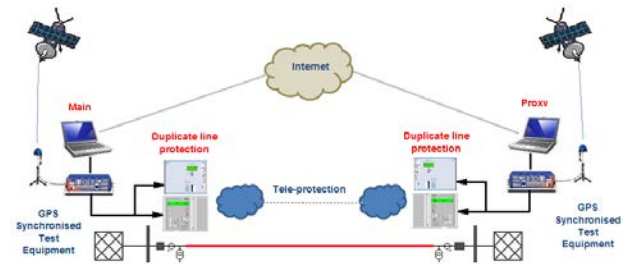


Figura 12: Configuración de la prueba orientada a la aplicación de protección de línea duplicada

6 Experiencia práctica de las pruebas orientadas a la aplicación

La Figura 13 muestra el modelo de 220 kV de las estaciones del suroeste. Los datos de línea de las diferentes secciones incluyen el modelado de los 2 cables submarinos entre Kilpaddoge y Moneypoint, y los datos significativos del tendido de ACSR y HTLS.

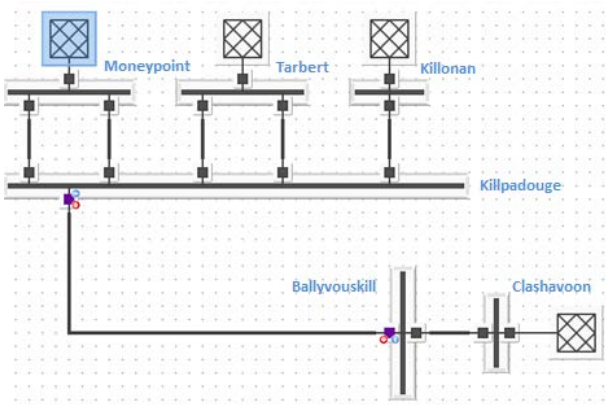


Figura 13: Modelo del sistema de 220 kV del suroeste

Station	Bay	Voltage	Circuit	Length (km)	R+ (Ohms)	X+ (Ohms)	R0 (Ohms)	X0 (Ohms)	Source Resistance RSA (Ohms)	Source Resistance XSA (Ohms)	Source Resistance RSB (Ohms)	Source Resistance XSB (Ohms)
Ballyvouskill	Clashavoon	220	1	17.47	1.0	7.3	3.33	23.1	6.12	37.86	7.1	34.94
Ballyvouskill	Knockanure	220	1	65.69	3.73	27.5	13.26	91.27	7.83	37.78	3.78	24.21
Knockanure	Kilpaddoge	220	1	21.48	1.37	8.86	4.6	29.26	7.69	43.61	2.64	17.17
Kilpaddoge	Killonan	220	1	67.79	3.95	28.37	13.67	93.02	2.79	18.2	4.83	23.4
Kilpaddoge	Tarbert	220	1	2.48	0.27	0.91	0.64	2.11	2.67	16.3	2.74	16.87
Kilpaddoge	Tarbert	220	2	2.43	0.26	0.9	0.61	2.1	2.68	16.4	2.74	16.88
Kilpaddoge	Moneypoint	220	1	5.02	1.44	1.02	2.84	0.58	2.68	16.32	2.68	16.38
Kilpaddoge	Moneypoint	220	2	4.93	1.42	1.0	2.79	0.57	2.68	16.32	2.68	16.38

Figura 14: Línea del suroeste y modelos de impedancia de fuente

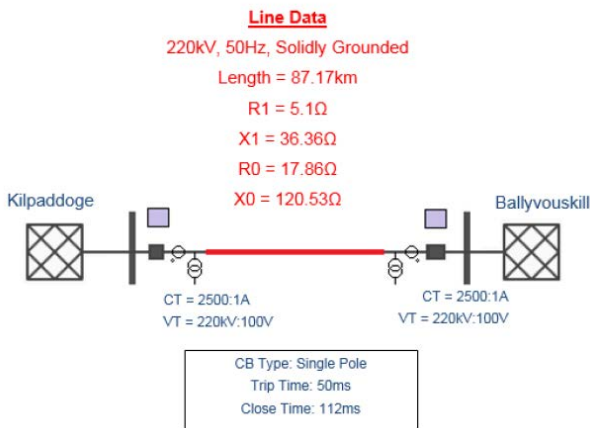


Figura 15: Datos de la línea Kilpaddoge – Ballyvouskill de 220 kV

6.1 Casos de prueba

6.1.1 Prueba 1: Flujo de carga

El propósito de esta prueba es confirmar la estabilidad del esquema de protección en condiciones de carga normales. Se confirma que:

- Todo el esquema de protección permanece estable
- No existe corriente diferencial. (Hay disponible una instalación para la medición de la corriente de carga del cable o de la línea)

- La dirección del flujo eléctrico medida es correcta en todos los IED del esquema

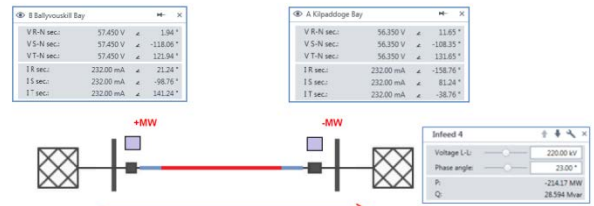


Figura 16: Caso de estabilidad del flujo de carga

6.1.2 Prueba 2: Falla en el 50 % de la línea

Una falla en el centro de la línea se despejará con éxito mediante un ciclo disparo/recierre.

- La falla se detecta en zona 1 de la protección de distancia en cada extremo, y en la protección diferencial
- No se necesita una aceleración de la zona para un disparo rápido
- No se produce bloqueo de recierre por ninguna falla detectada en secciones del cable ni por ningún pulso de PTT prolongado
- En este ejemplo, debe observarse en ambos extremos una operación de disparo y recierre correcta

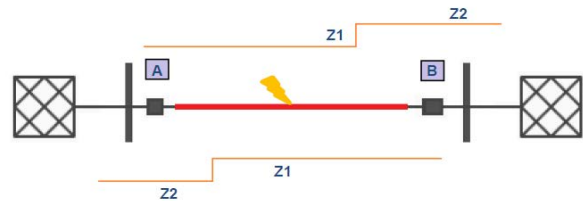


Figura 17: Posición de falla del 50 % de la línea

6.1.3 Prueba 3: Falla en el primer/último 20 % de la línea (fuera de la sección del cable)

Esta prueba sirve para verificar la aceleración correcta de la zona; se aplica una falla transitoria en el primer, y a continuación en el último, 20 % de la línea. La falla se selecciona fuera del alcance de la zona controlada empleada para bloquear el AR de la sección del cable.

- El relé local detecta la falla y dispara en zona 1, y la protección diferencial dispara
- El relé remoto detectará la falla en la zona 2, pero el tiempo de disparo se acelerará por un PTT Rx procedente del relé local
- No se debe producir bloqueo de recierre por ninguna falla detectada en secciones del cable ni por ningún pulso de PTT prolongado
- En este ejemplo, debe observarse en ambos extremos una operación de disparo y recierre correcta

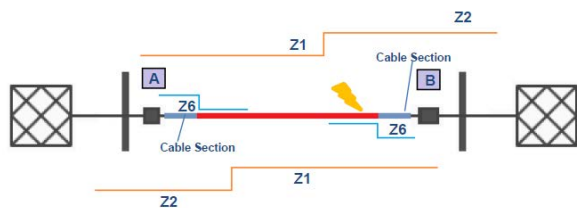


Figura 18: Falla en el último 15 % de la línea (fuera de la sección del cable si es posible)

6.1.4 Prueba 4: Falla en la sección de cable

Se simula una falla en la sección de cable en serie en cualquier extremo.

- El relé local detecta la falla y dispara en la zona 1, y la protección diferencial dispara
- El relé remoto detectará la falla en la zona 2, pero el tiempo de disparo se acelerará mediante un PTT Rx procedente del relé local
- La falla también debe detectarse en la zona controlada que cubre la sección de cable; esto dará lugar a lo siguiente:
- Emisión de un bloqueo interno de recierre automático a la función de recierre automático.
- Emisión de un interbloqueo de recierre automático al dispositivo de protección duplicado mediante una salida binaria
- No debe producirse ninguna operación de recierre automático

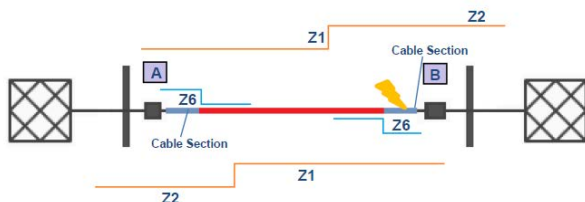


Figura 19: Falla en la sección de cable

6.1.5 Prueba 5: Falla en la siguiente línea

Para esta prueba, se simula una falla en la siguiente línea, que se despejará por la protección de dicha línea. En este ejemplo, la protección de la línea sometida a prueba debe permanecer estable.

- La protección diferencial debe permanecer estable
- La protección DCEF debe detectar la falla hacia adelante en el extremo A, pero se detecta hacia atrás en el extremo B, de modo que no se produce ningún disparo del DCEF
- La protección de impedancia debe detectar la falla en el extremo A en la zona 2, y en dirección hacia atrás en el extremo B
- Dado que se detecta la falla hacia atrás en el extremo B, no se envía ningún pulso de PTT al extremo A para acelerar el disparo
- La protección de la siguiente sección de la línea deberá despejar la falta antes de que los

temporizadores de zona expiren en la protección sometida a prueba

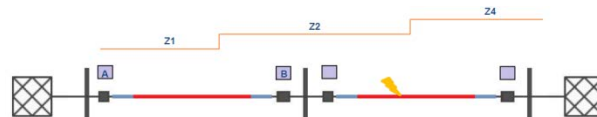


Figura 20: Falla fuera de la protección principal de la línea

6.1.6 Prueba 6: Recierre automático fallido (no se despejó la falla)

En esta situación, se vuelve a simular una falla permanente al 50 % aproximadamente de la línea. Sin embargo, esta vez la falla sigue presente después de un ciclo de disparo/recierre, y debe emitirse un disparo final tripolar después de que se vuelva a detectar la falla.

- La falla se detecta por la zona 1 de la protección de distancia en ambos extremos y por la protección diferencial
- No se necesita una aceleración de la zona para un disparo rápido
- No se produce bloqueo de recierre por ninguna falla detectada en secciones del cable ni por ningún pulso de PTT prolongado
- En este ejemplo, debe observarse en ambos extremos una operación de recierre y disparo
- Dado que la falla sigue presente, toda la protección debe disparar de nuevo de forma permanente y el interruptor de potencia debe permanecer abierto

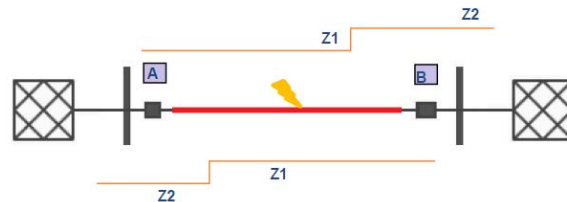


Figura 21: Falla permanente

7 Resultados

7.1 Problemas identificados

7.1.1 Se recibió un disparo de tres polos después de un comando del AR duplicado de bloqueo para una falla en una fase

Se simuló una falla y el polo R del IP se disparó en ambos extremos como se esperaba.

Dado que la protección diferencial tenía el tiempo muerto más breve, antes de emitir un comando de cierre al interruptor de potencia ocurrió lo siguiente:

- La protección diferencial emitió un interbloqueo de recierre automático al dispositivo de distancia tal y como se esperaba.
- Esto debería de haber cancelado el ciclo de recierre automático en la protección de distancia e impedido la emisión de un

comando de cierre adicional hacia el interruptor de potencia.

Durante esta operación, se descubrió que, en el momento de recibir el comando de interbloqueo de recierre automático procedente del relé diferencial, se emitió un disparo tripolar desde la protección de distancia antes de que la orden de cierre del interruptor de potencia fuera emitida por la protección diferencial.

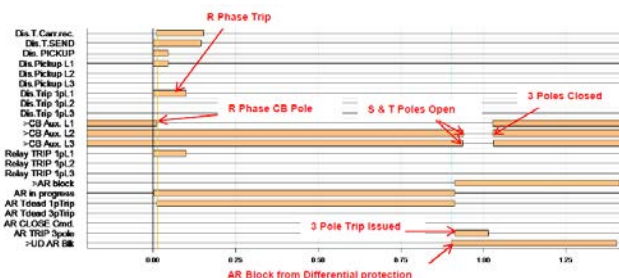


Figura 22: Disparo de 3 polos al recibir una entrada duplicada de bloqueo desde la protección diferencial duplicada

Se descubrió que la causa de ello fue un ajuste incorrecto del relé de protección de distancia, el cual causaba un disparo de tres polos al recibir un bloqueo de recierre automático local desde el relé de protección duplicado. Véase la Figura 23.

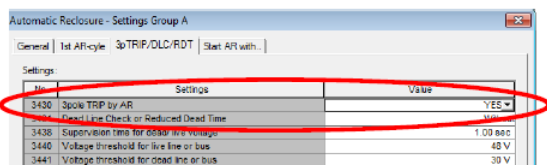


Figura 23: Se ha identificado un ajuste incorrecto

7.1.2 Comando de cierre del interruptor de potencia prolongado procedente de la protección diferencial tras un ciclo de recierre automático fallido

Durante una prueba de recierre automático fallida en la que haya una falla de R-E permanente en la línea y en la que una operación de recierre/disparo no consiga despejar la falla, se esperaría que, tras la detección de la falla después de una operación de recierre, la protección actúe de la manera siguiente:

- Cancelando el ciclo de recierre automático y deteniendo el comando de cierre del interruptor de potencia
- Emitiendo un disparo final de tres polos

Sin embargo, tras las pruebas se observó en el registro de señales que el comando de cierre del interruptor de potencia no se detuvo, y permaneció activo durante 300 ms adicionales después de que el relé detectara la falla de nuevo.

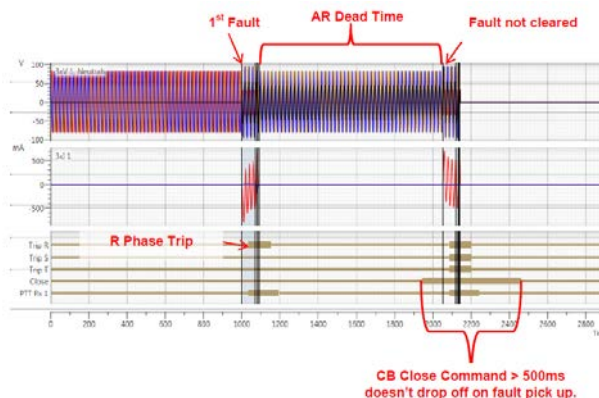


Figura 24: Comando de cierre del interruptor de potencia prolongado

- El comando de cierre del interruptor de potencia procedente de la protección diferencial no se detuvo tras la segunda detección de la falla R-E. El relé emitió correctamente un disparo final trifásico, pero el comando de cierre del interruptor de potencia se mantuvo después
- El circuito antibombeo del interruptor de potencia de 220 kV bloqueó la operación de cierre adicional mientras se mantuvo el comando de cierre del interruptor de potencia
- Se descubrió que la causa de ello era la utilización de un temporizador de extensión de pulso en la salida binaria del comando de cierre del interruptor de potencia

8 Conclusión

En este artículo, los autores han resumido el proceso adoptado por una compañía eléctrica para adaptar su enfoque para las pruebas de esquemas de protección distribuida a partir de la experiencia adquirida con el paso del tiempo.

El artículo resume la experiencia de la compañía en el uso de un enfoque de pruebas orientadas a la aplicación y detalla cómo esta metodología de realización de pruebas ha permitido detectar varias anomalías en la parametrización del esquema de protección que se pasaron por alto con los métodos de prueba tradicionales.

Dado que los sistemas de protección se han vuelto cada vez más complejos, esto presenta retos completamente nuevos para los ingenieros encargados de la puesta en marcha para corroborar la correcta funcionalidad de esos esquemas. Las pruebas funcionales convencionales, que verifican que los valores establecidos en el relé sean correctos, ya no son suficientes en muchos casos, y puede que se pasen por alto muchos errores de ajuste de protección anteriores.

La principal ventaja de las pruebas orientadas a la aplicación es que los parámetros del sistema reales, como la longitud de línea, la impedancia de línea, el

factor K, y el SIR se utilizan para verificar el correcto funcionamiento del esquema, independientemente de los ajustes de protección derivados. También permite realizar pruebas en escenarios mucho más complejos y con varias condiciones del sistema, por ejemplo, con una alimentación de dos extremos, alimentación débil, flujo de carga, oscilación de potencia, y los efectos de la saturación del TC y del acoplamiento mutuo.

Las pruebas orientadas a la aplicación examinan el desempeño de la protección en el sistema eléctrico empleando escenarios muy realistas. Esto permite al ingeniero disfrutar de un alto grado de certeza de que el esquema de protección operará tal y como se espera, independientemente del medio de teleprotección, el proveedor de relés de protección, la cantidad de dispositivos de protección o la complejidad de los esquemas.

Referencias

- [1] G. Ziegler, Numerical Distance Protection: Principles and Applications, 4th ed. Erlangen:
- [2] Paithankar Y. G., Bhide S. R., Fundamentals of Power System Protection, Prentice Hall of India Limited, New Delhi, 2009
- [3] AREVA, ALSTOM, Network Protection and Application Guide, 2011 Edition
- [4] D Costello, K Zimmerman; Moving the Focus from Relay Element Testing to Protection System Testing, PACWORLD Conference 2015.

OMICRON es una compañía internacional que presta servicio a la industria de la energía eléctrica con innovadoras soluciones de prueba y diagnóstico. La aplicación de los productos de OMICRON brinda a los usuarios el más alto nivel de confianza en la evaluación de las condiciones de los equipos primarios y secundarios de sus sistemas. Los servicios ofrecidos en el área de asesoramiento, puesta en servicio, prueba, diagnóstico y formación hacen que la nuestra sea una gama de productos completa.

Nuestros clientes de más de 140 países confían en la capacidad de la compañía para brindar tecnología de punta de excelente calidad. Los Service Centers en todos los continentes proporcionan una amplia base de conocimientos y un extraordinario servicio al cliente. Todo esto, unido a nuestra sólida red de distribuidores y representantes, es lo que ha hecho de nuestra empresa un líder del mercado en la industria eléctrica.

Para obtener más información, documentación adicional e información de contacto detallada de nuestras oficinas en todo el mundo visite nuestro sitio web.