

MÉTODO DE REGRESIÓN PARA LAS PRUEBAS DE MANTENIMIENTO – UN MÉTODO SEGURO PARA DETECTAR LOS COMPONENTES DEFECTUOSOS

Richard Marenbach, Michael Albert (OMICRON electronics Deutschland GmbH, Alemania)

richard.marenbach@omicronenergy.com

Alemania

Resumen

Los ciclos de vida de los modernos IED de protección son cada vez más cortos. Además, está disminuyendo el tiempo entre actualizaciones del firmware de estos dispositivos. Por lo tanto, está aumentando la necesidad de estrategias cualificadas para las pruebas. La compañía eléctrica necesita verificar, por ejemplo, los requisitos funcionales, la calidad del nuevo firmware, la corrección de la puesta en servicio, los ajustes de los parámetros y otros aspectos.

Este artículo se centra en el método de prueba basado en regresión, bien conocido en el campo del desarrollo de software. Un procedimiento de prueba fijo desarrollado durante la fase de puesta en servicio, se establece como referencia para otras pruebas. El método requiere definiciones escritas de los tipos de pruebas a las que debe someterse el IED durante su ciclo de vida. Debido a la alta calidad de la documentación, la compañía eléctrica acaba disponiendo además de una buena herramienta para mantener los conocimientos de la empresa. Esto es muy importante para apoyar el sistema interno de gestión de los conocimientos.

Con este nuevo método, podría aumentarse la calidad, a la vez que reducirse el tiempo de las pruebas.

Palabras clave: prueba de regresión, estrategia de pruebas, ciclo de vida del IED, gestión de los conocimientos, prueba de mantenimiento

1 Introducción

Los requisitos para probar los modernos IED están aumentando cada vez más. Los ciclos de vida de los IED son cada vez más cortos y es necesario probar o verificar cientos de parámetros. Además, las finalidades de las pruebas son a menudo muy diferentes. Desde el punto de vista del fabricante, está en el punto de mira la calidad del producto, y desde el punto de vista de la compañía eléctrica, tienen que comprobarse los requisitos funcionales, la nueva actualización del firmware, la calidad de la puesta en servicio y otros aspectos.

En este contexto, es muy importante estudiar en primer lugar el ciclo de vida completo de un IED, desde la fase de planificación e ingeniería hasta su retirada del servicio. Todas las pruebas durante la planificación, la ingeniería y el montaje terminan finalmente con la prueba de aceptación en campo (SAT), que es la prueba final realizada para comprobar si un IED está listo para cumplir la finalidad de su aplicación.

2 El ciclo de vida de un activo

En el siguiente apartado se indican las diferentes fases del ciclo de vida de un IED desde el punto de vista de la compañía eléctrica. Se ignoran aquí las fases que tiene lugar primordialmente en las instalaciones del fabricante del IED. En [1] se ofrece una descripción detallada de las diferentes fases. Las diferentes fases podrían denominarse como sigue:

- Fase de planificación
- Fase de licitación
- Fase de aceptación en fábrica
- Fase de puesta en servicio
- Fase de mantenimiento

Durante cada fase se deben realizar diferentes tareas relacionadas con las pruebas. Pero durante estas tareas también pueden producirse errores. Estos errores tienen que evitarse o corregirse.

Durante la fase de planificación del sistema de protección queda definido todo el sistema. El ingeniero de planificación tiene que considerar qué activos primarios quiere proteger y cómo. El sistema de protección se caracteriza por su selectividad, velocidad, confiabilidad y disponibilidad. Todos estos atributos tienen que elegirse de tal manera que se cumpla la filosofía de protección de la compañía eléctrica. Hay que responder a varias preguntas, como por ejemplo: ¿Qué funciones de protección se utilizan? Si se requiere un sistema de protección duplicado, ¿qué funciones de protección desempeñan el IED 1 o el 2? ¿Cómo se realiza la protección de respaldo? ¿Qué sistema de comunicaciones se utiliza dentro de la subestación o entre subestaciones?

La fase de licitación es probablemente la más importante de todas. Incluye muchos pasos diferentes. En primer lugar, tiene que definirse un procedimiento de pre-homologación que incluya la descripción de todos los casos de pruebas a las que hay que someter a un nuevo IED de protección para homologarlo [2]. Un procedimiento de pre-homologación ayuda a eliminar la presión del tiempo en el proceso de licitación porque puede iniciarse en cualquier momento antes de publicarse la licitación. De esta manera, el fabricante y su producto pueden quedar pre-homologados y el emisor de la licitación sabe que solo pueden ofertarse los productos que cumplen sus requisitos y así puede concentrarse en otros temas, tal como el precio [3]. El procedimiento de pre-homologación puede incluir una descripción escrita de las pruebas que el IED tiene que superar o incluso archivos digitales que los equipos de prueba específicos puedan ejecutar. Para una descripción más detallada, véanse los apartados siguientes.

La fase de prueba de aceptación en fábrica (FAT) se realiza, como su nombre indica, en la fábrica del IED. El propio cliente o alguien más que presencie las pruebas también forma parte del procedimiento. La funcionalidad del IED puede probarse en su armario de protección. Incluso las comunicaciones entre los IED dentro del mismo cubículo o entre cubículos u otros procesos remotos pueden formar parte de la prueba. Como parámetros, muy a menudo se utiliza una configuración estándar del cliente para comprobar el desempeño del IED.

3 Fase de puesta en servicio y SAT

La fase de puesta en servicio comienza con la entrega de los armarios de protección en las instalaciones. Todos los IED, todos los procesos, todos los canales de comunicación tienen que probarse. Se montará todo el sistema para que quede en perfecto funcionamiento. Esto incluye también los TCs, TTs, las Merging Units y los IPs.

Durante la fase de puesta en servicio, todos los componentes del sistema de protección tienen que cablearse y conectarse entre sí. Además, todos los parámetros del IED deben ajustarse a los valores deseados. Por lo tanto, se requieren muchos casos de prueba con diferentes tipos de finalidades de prueba.

Finalidad de las pruebas	Contenido (a modo de ejemplo)
Esquema general de protección	Probar si el sistema de protección (todos los IED instalados) de una línea paralela está funcionando correctamente: selectividad para todo tipo de fallas, si la protección de respaldo está configurada apropiadamente, si la protección ante fallas del IP está funcionando apropiadamente.
Verificación de los parámetros del IED	Probar si el IED está funcionando correctamente con los ajustes actuales de los parámetros dentro de las tolerancias descritas por el fabricante
Comunicación con subestaciones	Probar si la comunicación dentro de la subestación o con los procesos remotos está funcionando como se desea
Esquemas lógicos de disparo	Comprobar si el esquema lógico autodesarrollado dentro del IED está funcionando según la definición
Extremo a extremo	Comprobar si el esquema de teleprotección o el IED diferencial de línea están funcionando correctamente
Alarmas	Comprobar si todas las alarmas se generan del modo deseado. El operador de pruebas debe prestar plena atención a la definición de un caso de prueba de tal forma que solo se dispare la alarma comprobada y no otras.
Verificaciones del cableado	Comprobar si todos los cables están conectados a los terminales correctos

Una prueba (con testigos) de aceptación en campo (SAT) concluirá este procedimiento. Para los procedimientos siguientes es necesario que se utilice un equipo de prueba que registre automáticamente todos los casos de prueba utilizados y pueda volver a reproducirlos posteriormente con los mismos valores de prueba y la misma precisión.

4 Requisitos para la realización de pruebas de puesta en servicio precisas

Después de una prueba de aceptación en campo se formula una pregunta principal: ¿está el sistema de protección ahora en condiciones de comportarse como debería? También es cierto que nunca se puede estar 100% seguro de que el sistema de protección no presente fallas que puedan provocar un mal funcionamiento en determinadas condiciones, pero las personas encargadas de las pruebas pueden establecer procedimientos bien definidos para eliminar el mayor número posible de fallas en la fase de puesta en servicio.

Para las siguientes consideraciones se supone que se ha producido una fase de pre-homologación bien definida para que los IED de protección utilizados puedan ofrecer las funcionalidades deseadas.

Para conseguir la más alta calidad en las pruebas de puesta en servicio, los elementos de dichas pruebas deben ser los siguientes:

- Una descripción de las funciones del sistema que deben someterse a prueba (especificación de requisitos funcionales para la puesta en servicio – Commissioning Functional Requirement Specification, CFRS)
- Una descripción de cómo se deben probar las funciones (especificación de requisitos de las pruebas de puesta en servicio – Commissioning Testing Requirement Specification, CTRS)
- Herramientas de prueba con una precisión al menos 10 veces superior a las tolerancias de los IED utilizados
- Herramientas de prueba que puedan definir el procedimiento de prueba mucho antes de la SAT.
- Herramientas de prueba que puedan guardar todos los resultados de la prueba de manera que no tenga que realizarse ninguna acción manual, y no permitan que el informe de la prueba pueda modificarse posteriormente sin notificación
- Una descripción de cómo deben utilizarse las herramientas de prueba para la aplicación en cuestión (manual de usuario de los planes de prueba personalizados)
- Las personas encargadas de realizar las pruebas, que entienden el sistema de protección y saben cómo usar el sistema de prueba.

En Figura 1 se presenta una muestra de una CTRS y un manual de usuario.

380kV OHL Feeder Maintenance Testing Requirements Specification

OMICRON

6 Teleprotection for Distance Protection

Assumptions:

- > The overreaching zone, which is active during the teleprotection scheme, is named Zzoom. This can be e.g. zone Z1B for Siemens relays or Z2 for Alstom relays.
- > Supported teleprotection schemes:
 - o Permissive Underreach Transfer Trip with zone acceleration Zoom (PUTT with Zoom)
 - o Permissive Overreach Transfer Trip (POTT) with overreaching zone Zoom
 - o Blocking of overreaching zone Zoom
- > The trip time of the overreaching zone for the schemes PUTT with Zoom and POTT is equal to the trip time of zone Z1: $t(Zzoom) = t(Z1)$. For the blocking scheme, a time delay can be set.
- > The reaches of under- and overreaching zones are not tested. The protected section (line) is used to verify the correct operation of the protection respectively the teleprotection function.

6.1 Considerations

In order to protect 100% of a line with distance protection, the relays on both sides have to communicate with each other using a teleprotection scheme. The considerations in this sections are based on Figure 6.1. The local relay is the relay under test.

Figure 6.1: Considered scenario for testing teleprotection schemes for distance protection

PUTT with Zoom

When a fault in zone Z1 of the local relay occurs, it sends a signal to the remote relay on the opposite line end. The remote relay receives the signal and trips, if the fault is detected in its zone Zoom. The local relay trips in zone Z1.

All possible signal changes and reactions of the relays for faults illustrated in Figure 6.1 are summarised in the following table:

Fault	a	1	b	2	3	4	c
Location (loc. rel.)	< (Z1-Zzoom)	<10%	1%	50%	99%	101%	> Zzoom
Send (loc. rel.)	0	0	1	1	0	0	0
Receive (loc. rel.)	0	0	0	1	1	0	0
Trip local relay	Zrev	Zrev	Z1	Z1	Zzoom	Z2	Z2
Trip remote relay	Z2	Z2	Zzoom	Z1	Z1	Zrev	Zrev

Because of similar signals of the local relay (send and trip signal), the following faults are neglected for the test:

- > a = 1
- > b = 2
- > c = 4

© OMICRON 2017 09.11.2017 13:31:00 Seite 19 von 53

380kV OHL Feeder Maintenance Short Testing Manual

OMICRON

Figure 1: Connection Diagram

Table 1: Assignment of CMC binary signals

Function Group	Binary Outputs			Binary Inputs				
	CB closed (aux. 52a)	CB open (aux. 52b)	Receive	Gen. Trip (52/53 Start)	Send	Echo	Close Cmd	AR not ready
Line Differential			x*		x			
Distance					x			
Teleprotection Distance			x		x	x		
Weak Infeed					x		x	
Switch onto fault	x**	x**	x*	x	x			
Automatic Reclosure	x**	x**	x*		x		x	x
Directional Earth Fault			x*		x			
Teleprotection for Earth Fault			x		x	x		
Synchronism Check				x				x
Power Swing								x

*: Only if a blocking scheme of the corresponding teleprotection is active.
 **: Only the CB binary signals which are required by the relay logic have to be wired.

© OMICRON 2017 07.11.2017 15:50:00 Seite 6 von 18

Figura 1: Ejemplo de CTRS y manual del usuario de las pruebas

Si se cumplen todos estos requisitos, los documentos de prueba, incluidos todos los archivos de prueba y los resultados de la SAT, pueden guardarse para utilizarlos como referencia para pruebas posteriores en la fase de mantenimiento.

5 ¿Qué es una prueba de regresión?

Para explicar por qué esta referencia es tan importante para la realización de pruebas adicionales, haremos un breve repaso a otro tipo de procedimientos de prueba que se utilizan en el desarrollo de software.

Si se han desarrollado nuevos componentes de software en el software de OMICRON, también hay que asegurarse de que los componentes de software antiguos sigan funcionando en la nueva versión del software como lo hacían en la versión anterior. Para ello, se realiza una prueba de regresión. Por lo tanto, se necesita un equipo en prueba que pueda utilizarse como referencia: el llamado "banco de pruebas de relés".

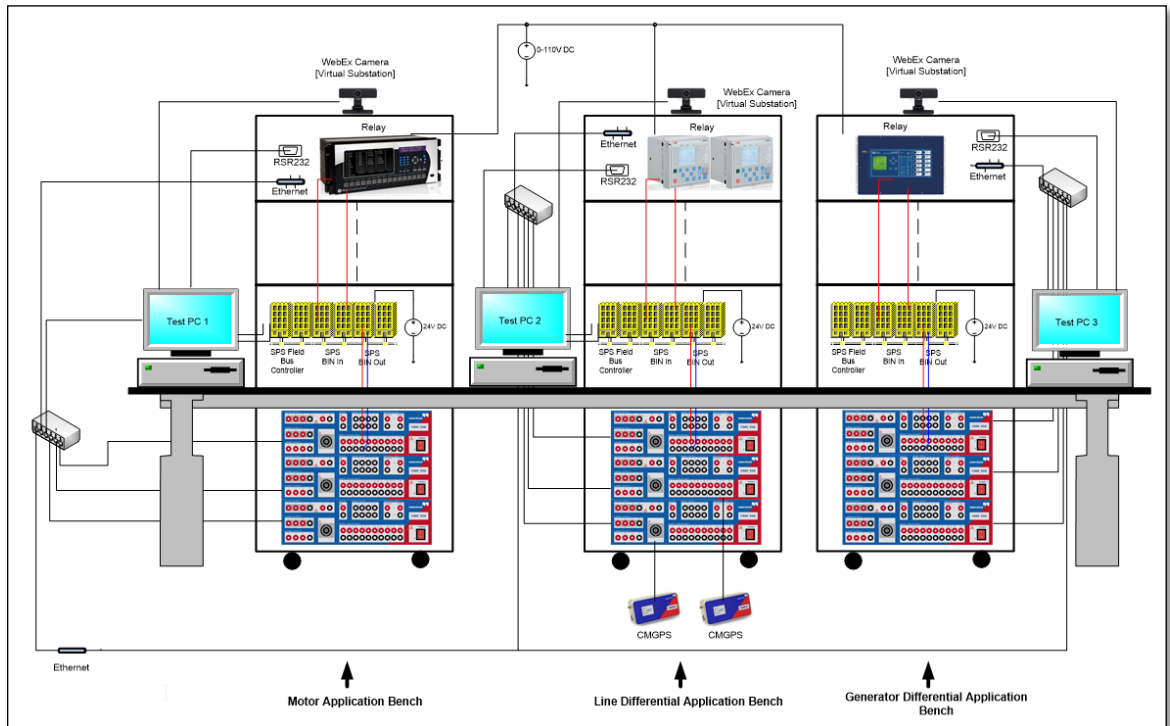


Figura 2: Concepto para un banco de pruebas de relés

El banco de pruebas de relés es principalmente un sistema de pruebas que contiene diferentes bastidores donde se montan diferentes IED de protección. Estos IED tienen parámetros específicos para ofrecer muchas funciones de protección diferentes. Lo importante es que a partir del momento en que los IED del banco de pruebas de relés hayan sido ajustados, está estrictamente prohibido tocar los IED de alguna manera que pudiera modificar accidentalmente el comportamiento funcional de los mismos.

El siguiente ejemplo explica cómo funciona esto: Durante el desarrollo de una versión de software (por ejemplo, la V1.0), los verificadores del software informarán de todos los errores que hayan identificado durante sus procedimientos de prueba a los desarrolladores de software, que entonces podrán eliminarlos para que esta versión del software esté lista para su distribución a los clientes. Si ahora se desarrolla una nueva versión de software (por ejemplo, la V2.0), es muy sencillo probar las funcionalidades sin cambios del software utilizando este banco de pruebas. Si el software bajo prueba falla, los probadores pueden estar muy seguros de que, debido a que nada ha cambiado en el banco de pruebas, la causa del mal comportamiento no deseado es una falla en la nueva versión del software.

Un método de prueba basado en este concepto se denomina prueba de regresión. Este principio puede utilizarse ahora para las pruebas de mantenimiento de los IED, en las que se utilizarán los archivos de las pruebas SAT como referencia. Por lo tanto, está estrictamente prohibido realizar cambios durante la fase de mantenimiento en los archivos de pruebas SAT.

6 Pruebas en la fase de mantenimiento

Transcurrido un tiempo desde su puesta en servicio, el IED se someterá a su primera revisión de mantenimiento, que en muchas compañías eléctricas se realiza a los 4 años. El objetivo de esta comprobación es evaluar si todo el IED en sus procesos circundantes sigue funcionando correctamente. La finalidad principal de las pruebas de mantenimiento es, por lo tanto, buscar componentes defectuosos. En lo que sigue, se supone que nadie ha cambiado los valores de los parámetros del IED desde que tuvo lugar la SAT. Sin embargo, puede que convenga realizar una comprobación de los parámetros antes de realizar las pruebas para confirmar que los ajustes resultantes de la SAT siguen siendo los presentes en el IED.

Aunque no se hayan realizado cambios en el armario del IED desde la SAT, pueden producirse hechos imprevistos, como por ejemplo:

- Envejecimiento de los componentes
- Deriva de los componentes (valores nominales fuera de tolerancia)
- Contactos flojos debido a problemas mecánicos
- Debilidad de los aislamientos
- Señales desconectadas por ataque de animales
- Otros

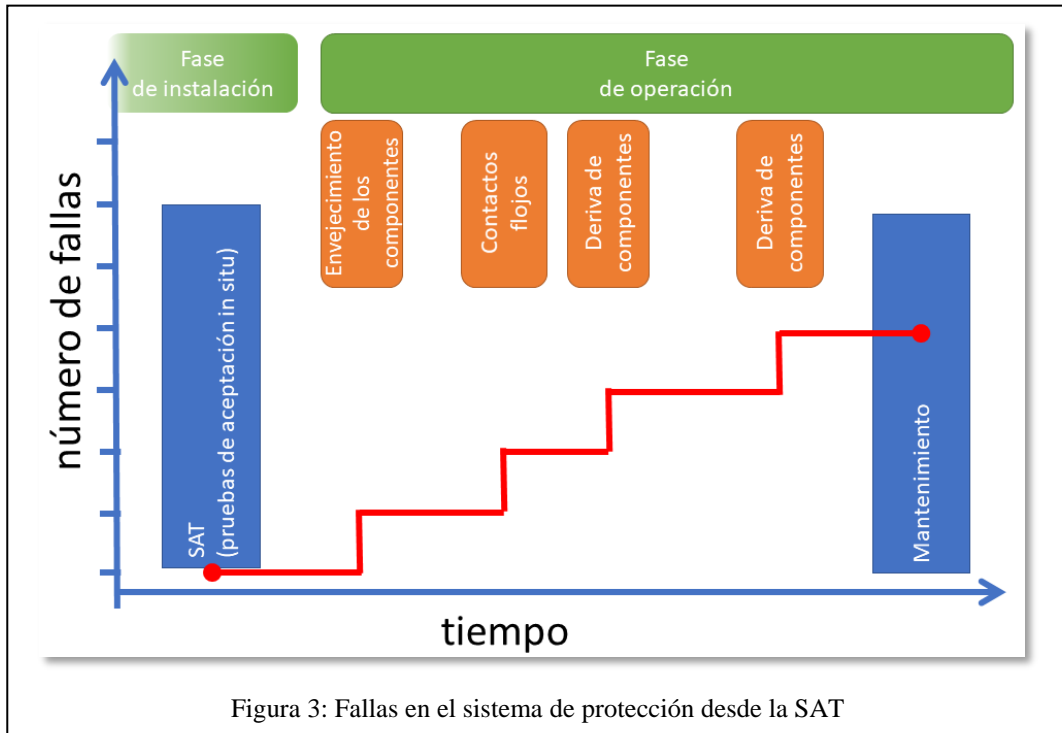


Figura 3: Fallas en el sistema de protección desde la SAT

Esto significa que, en el tiempo transcurrido desde la última SAT, el sistema de protección puede presentar una serie de errores que no se han observado hasta ahora debido al mal funcionamiento de la protección (Figura 3). Será necesario entonces usar las definiciones de las pruebas y los archivos de las pruebas SAT para la prueba de mantenimiento. Normalmente la SAT incluye muchos casos de prueba y conviene preguntarse si todos estos casos de prueba también son necesarios para las pruebas de mantenimiento. Esto depende de la filosofía de la compañía eléctrica y las respuestas pueden ser muy diversas, desde "usaremos los mismos casos de prueba que en la SAT" hasta "solo haremos una inspección visual".

El uso de las secuencias de prueba altamente homologadas de la SAT garantiza que todas las fallas que hayan surgido desde la SAT puedan detectarse durante la prueba de mantenimiento.

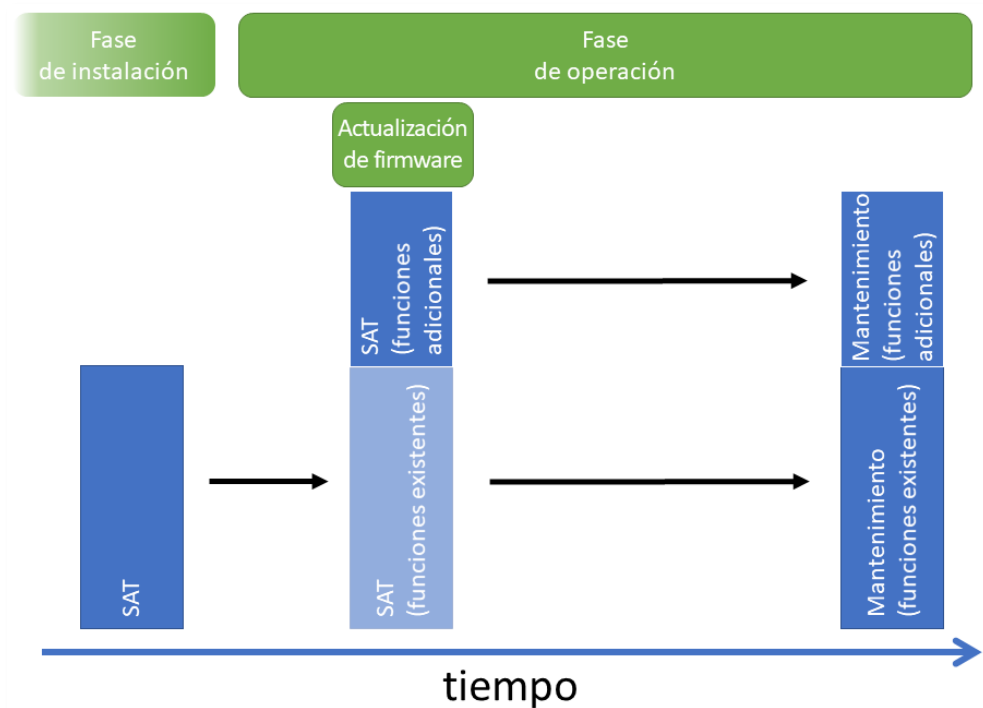


Figura 4: Procedimientos para las pruebas de la actualización del firmware

7 Actualizaciones de firmware y otros cambios

Hoy en día se da a menudo el caso de que antes de la fecha prevista para la prueba de mantenimiento, es necesario cargar un nuevo firmware en el IED. Entonces será necesario introducir también una especie de proceso de pre-homologación antes de aplicarse el nuevo firmware.

Habrá que considerar entonces tres escenarios diferentes:

- El fabricante del IED solo ha eliminado las fallas funcionales del IED que no suponen ninguna funcionalidad nueva: en este caso, el operador de pruebas puede utilizar los casos de prueba de la SAT. Esto ofrece la mayor calidad y celeridad de las pruebas.
- El fabricante del IED ha añadido funcionalidades adicionales (por ejemplo, un parámetro de protección que hasta ahora no era visible es ahora visible para el usuario, por lo que el valor puede modificarse). El operador de pruebas puede utilizar las secuencias de prueba de la SAT. Además, las nuevas funcionalidades tienen que probarse en una especie de SAT y las secuencias de prueba de la SAT podrían utilizarse para conseguir la calidad de prueba deseada (Figura 4).
- Muy a menudo la compañía eléctrica aprovecha la actualización del firmware (o incluso las pruebas de mantenimiento) también para actualizar algunos parámetros del relé, ya que los datos primarios del sistema eléctrico han cambiado mientras tanto. En este caso conviene disponer de un sistema de prueba que pueda reproducir todos los casos de prueba, no como valores absolutos sino como valores relativos en relación con los parámetros del relé. De todos modos, se recomienda entonces realizar una especie de SAT (no necesariamente con testigos) basada en archivos de prueba de alta calidad.

8 Alcance de las pruebas SAT y de mantenimiento

Muy a menudo se debate acerca de lo que una prueba de mantenimiento debe incluir, tal como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta el tiempo de prueba neto y bruto necesario (que es equivalente a la relación entre el tiempo de prueba global y el tiempo de prueba del IED).

Se ha demostrado en muchas subestaciones que una filosofía de pruebas estandarizada implementada en un sistema de pruebas totalmente automatizado puede aplicar muchos casos de prueba en un tiempo muy corto. Los ejemplos muestran que una SAT de un IED diferencial de línea a un nivel de 400 kV requiere un tiempo de prueba

de 1,5 horas (sin probar las alarmas). Este es el tiempo neto de prueba sin incluir el desplazamiento hasta la subestación, preparar el alimentador para las pruebas, conectar el equipo de prueba, etc. Esto significa que incluso si el número de casos de prueba en las pruebas de mantenimiento es solo el 50 % del número de casos de prueba de la SAT, solo se podrían ahorrar 45 minutos en el tiempo de prueba, que en este caso es solo el 10 % del tiempo bruto de prueba (Figura 5).

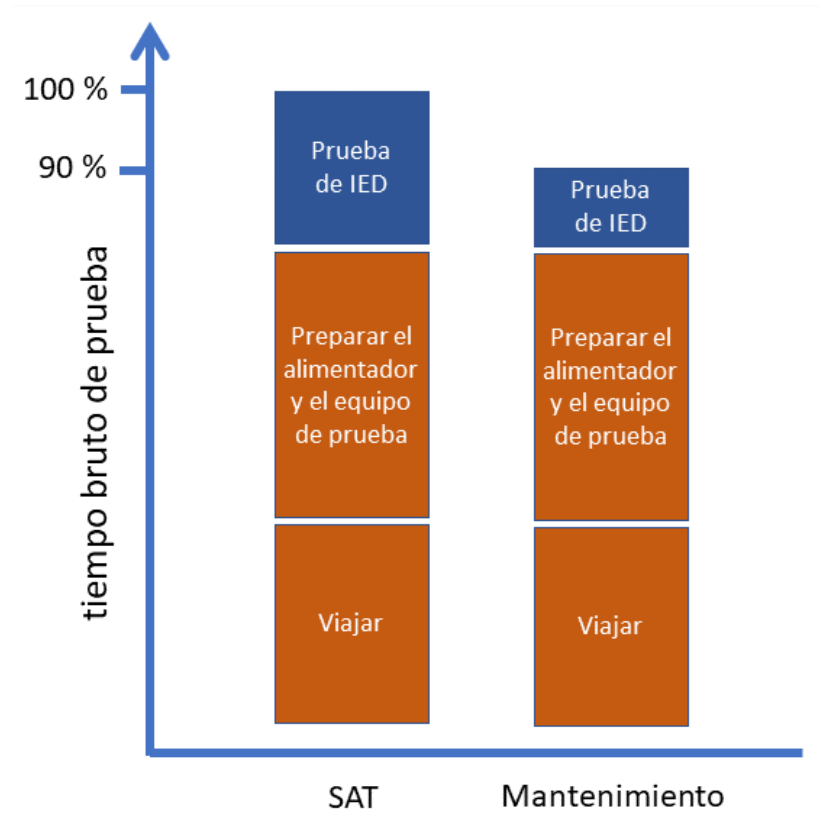


Figura 5: Comparación del tiempo bruto de las pruebas SAT y de mantenimiento

Por esta razón, muchas compañías eléctricas utilizan soluciones de pruebas totalmente automatizadas que no diferencian entre las pruebas SAT y las de mantenimiento. Siempre utilizan todas las secuencias de prueba de la SAT.

9 Gestión de los conocimientos y calidad de las pruebas

El uso de un método de prueba estandarizado basado en una especificación de requisitos funcionales para la puesta en servicio (CFRS) y una especificación de requisitos de las pruebas de puesta en servicio (CTRS) puede suponer muchas ventajas para la compañía eléctrica, como se demuestra en varios casos realizados **Error! Reference source not found.****Error! Reference source not found.**[4].

El propio operador de pruebas ahorra tiempo en el desarrollo del procedimiento de prueba: el procedimiento de prueba ya está definido y solo es necesario configurar los parámetros modificados antes de iniciar la prueba de un nuevo dispositivo de protección. Todos los planes de prueba incluyen las mismas pruebas, lo que significa que la calidad de las pruebas puede controlarse mejor y, en definitiva, mejorarse. Trabajar en equipo es más fácil, ya que todos trabajan con las mismas normas. Los miembros del equipo pueden intercambiar sus experiencias y compartir conocimientos.

Y como argumento muy importante, esta estandarización ayuda a mantener el know-how de las personas en la empresa. Documenta la experiencia de la empresa. Facilita mucho la preparación de las clases de capacitación para los nuevos empleados para sincronizarlos con la filosofía de pruebas de la compañía eléctrica.

Pueden reconocerse nuevas funciones de protección o nuevos algoritmos (mejorados) en las funciones de protección, y la solución de pruebas actualizada puede facilitarse a cada operador de pruebas al mismo tiempo. El desarrollo de tal prueba solo se realiza una vez.

10 Conclusiones

Dado que los ciclos de desarrollo de los fabricantes de IED serán más cortos en un futuro próximo, también es necesario adaptar los procesos de prueba dentro de una empresa. Estudiar a fondo los principios de trabajo puede dar lugar a una mayor eficiencia en el tiempo y la calidad de las pruebas.

- Aspectos de calidad: Las pruebas se reproducen y repiten mejor que las pruebas manuales.
- Ahorro de costes al ahorrar tiempo en la preparación, ejecución y documentación de la propia prueba.
- Conservación de los conocimientos de los empleados experimentados de la empresa mediante la redacción de documentos estándar.
- Aspectos de resolución de problemas técnicos por un equipo central de especialistas y difusión de una solución estandarizada a los operadores de pruebas en campo.
- Aspectos de la mejora de la profundidad de las pruebas mediante el uso de casos de prueba que son altamente sofisticados. Por lo general, no todas estas pruebas las lleva a cabo el mismo técnico de pruebas.
- Uso de funciones avanzadas de las herramientas de pruebas que los técnicos de pruebas quizás no conozcan.

Referencias

- [1] Regression test approach for testing of protection IEDs to improve field testing quality and support knowledge management (Método de pruebas de regresión para probar los IED de protección con el fin de mejorar la calidad de las pruebas en campo y apoyar la gestión de los conocimientos), Michael Albert, Richard Marenbach, DPSP 2018, Belfast, 2018
- [2] Prequalification of new Assets using the Example of Distance Protection Devices (Pre-homologación de nuevos activos usando el ejemplo de dispositivos de protección de distancia), Christoph Trabold, Michael Albert, Richard Marenbach (OMICRON electronics Deutschland), PAC World Conference 2016, Ljubljana, 2016
- [3] Rules applicable to procurement by entities operating in the water, energy, transport and postal services sectors until 2016 (Reglas aplicables a las compras de entidades de los sectores de agua, energía, transporte y servicios postales hasta 2016), Directiva 2014/25/EU
- [4] 380-kV-OHL protection testing at National Grid using customized test plans (Pruebas de protección de líneas aéreas de 380 kV en National Grid usando planes de pruebas personalizados), Nashmi H. Al-Harbi, Ahmed Abdulhamied M. Yanbawi (National Grid, Saudi Arabia), OMICRON Saudi User Meeting, Al-Khobar, Saudi Arabia, 7th – 9th of May 2017

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 160 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.