

Conmutación en punto de onda / conmutación controlada

Dr. Klaus Böhme / Stefan Werben, Siemens AG / Christopher Pritchard, OMICRON

Resumen

La conmutación controlada es una forma de abrir y cerrar los interruptores de potencia exigiendo menos esfuerzo al equipo. Ahora también está disponible con los dispositivos SIPROTEC 5. La posibilidad de utilizarla junto con una unidad de protección/control abre nuevas oportunidades y ahorro en recursos de cableado. El seminario trata su aplicación y explica cómo se probó el dispositivo.

Introducción/resumen del problema

La conmutación controlada, o la conmutación en punto de onda (Point on Wave, PoW), reduce las exigencias de esfuerzo al equipo y conmutador durante las operaciones de conmutación, y minimiza la perturbación del sistema. Aumenta la vida útil del equipo y reduce el envejecimiento. Reduce las fallas del sistema (por ejemplo, reajustes de los condensadores), lo que a su vez aumenta la disponibilidad. La operación de conmutación (una operación de apertura y/o cierre, dependiendo de la aplicación) se lleva a cabo de forma selectiva en fase con ángulos de conmutación predeterminados. Algunos fabricantes ofrecen dispositivos especializados.

Dado que las unidades de protección/control están específicamente diseñadas u optimizadas para un tipo diferente de aplicación en la que el ángulo de cierre preciso no es una consideración importante (apertura rápida de 1 ó 3 polos), normalmente no pueden conseguirse las precisiones de conmutación necesarias utilizando las salidas binarias (relés) existentes. La plataforma SIPROTEC 5 cumple todos los requisitos en términos de protección y conmutación controlada. La conmutación controlada exige nuevos métodos de prueba que se describen a continuación.

La energización de un banco de condensadores/carga capacitiva se utiliza como ejemplo para explicar el principio de la conmutación controlada. El mismo principio se aplica a otros equipos/cargas que utilizan diferentes ángulos de conmutación.

Efecto de los diferentes ángulos de cierre

Los efectos de los diferentes ángulos de cierre pueden verificarse muy fácilmente mediante una simulación, por ejemplo, RelaySimTest. Las observaciones para

un sistema MSCDN (Mechanical Switched Capacitor with Damping Network, condensador conmutado mecánicamente con red de amortiguación) se describen en [1]. Este sistema MSCDN generaría las corrientes de avalancha que se muestran en la figura 1. Como se puede ver claramente, la amplitud de la corriente en un ángulo de cierre desfavorable ($\Phi=90^\circ$) es notablemente más alta, exigiendo un mayor esfuerzo al sistema, al conmutador y al sistema MSCDN.

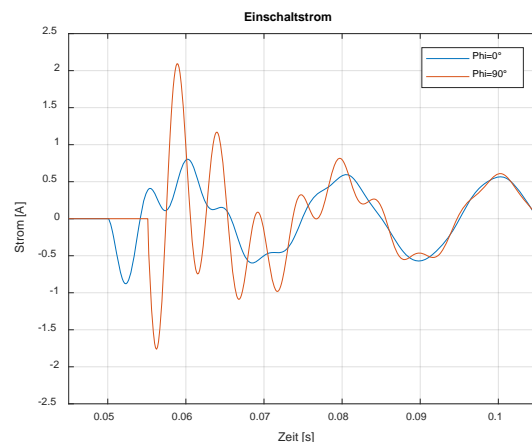


Figura 1: La corriente de avalancha en ángulos de cierre favorables y desfavorables en un sistema MSCDN

La figura 2 ilustra la corriente máxima de las tres fases en una operación de cierre de 3 polos por encima del ángulo de cierre. En este caso, es imposible encontrar ningún ángulo que reduzca la tensión durante la operación de cierre. Los polos del interruptor de potencia deben energizarse por separado para evitar las altas corrientes de avalancha. Esto se muestra de la misma manera en la figura 3. Las corrientes de avalancha correspondientes a los ángulos de cierre L1:0°, L2:120°, L3:60° (en el caso del cierre de equipos capacitivos) pueden reducirse notablemente. La figura 3 muestra el desplazamiento a estos ángulos óptimos.

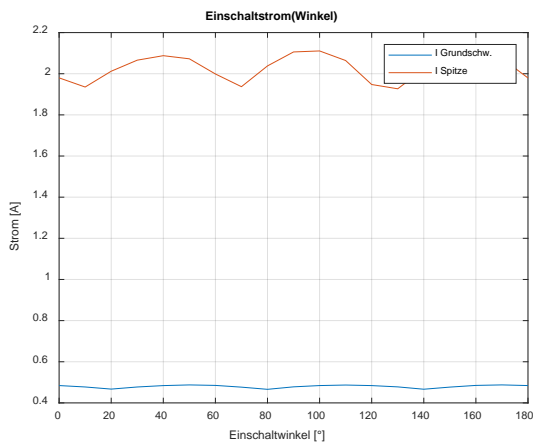


Figura 2: Corriente máxima en función del ángulo de cierre durante el cierre de 3 polos

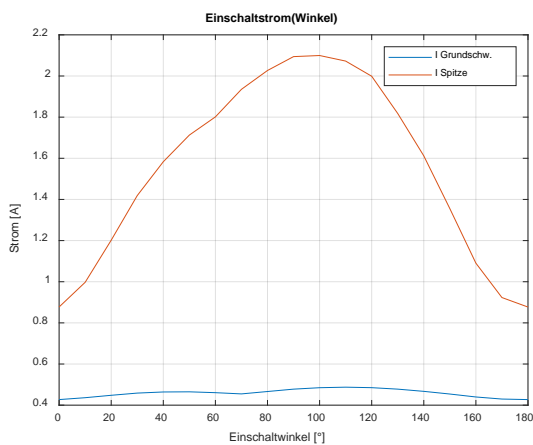


Figura 3: Corriente máxima en función del ángulo de cierre durante el cierre de 1 polo (L1:0°/L2:120°/L3:60°)

Conmutación controlada

El ángulo de conmutación está dictado por el dispositivo que se conmuta. En el caso de una carga capacitiva o banco de condensadores, el paso por cero de la tensión en la fase correspondiente es la mejor opción. Utilizando el paso por cero ($\Phi = 0^\circ$) de un valor de referencia medido, los datos del interruptor de potencia y el ángulo de cierre especificado, se realiza un cálculo para determinar el instante en el que el contacto del dispositivo tendría que energizarse para asegurar que el interruptor de potencia cumple los requisitos. A una determinada tensión de referencia U_{L1} , se requiere una secuencia de cierre L1:0°/L2:120°/L3:60° relativa al paso por cero de la tensión de referencia para conmutar una carga capacitiva. Para calcular el instante en que debe accionarse el contacto que excita el interruptor de potencia, necesitamos saber los tiempos de conmutación mecánica y eléctrica (tiempo de cierre y tiempo de establecimiento respectivamente). Estos varían en función del tiempo de prearco

que requiere el arco del interruptor de potencia para establecer el contacto eléctrico. El tiempo de cierre/apertura también dependerá de lo siguiente:

- Tensión de control del circuito de apertura/cierre
- Temperatura
- Presión del interruptor de potencia

Si es necesario, todo ello puede tenerse en cuenta durante los períodos de conmutación mediante mediciones realizadas con entradas de amplificadores de aislamiento. Esto puede tener lugar con características lineales o específicas. Estas variables se utilizan en el cálculo del instante de conmutación.

La figura 4 ilustra el principio de la operación de cierre.

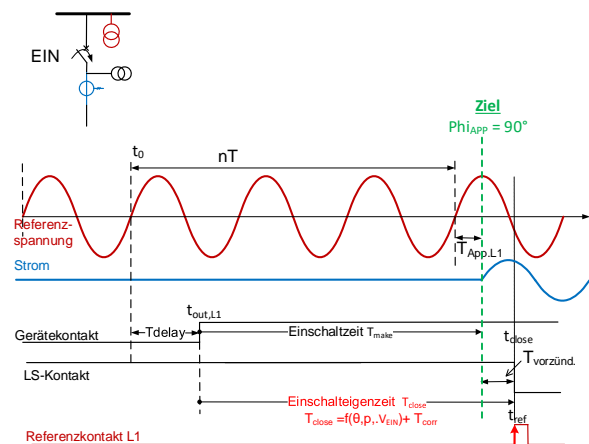


Figura 4: Principio de la conmutación controlada

Se requiere un bajo nivel de dispersión en el tiempo de cierre del dispositivo para lograr buenos resultados de conmutación. La dispersión del tiempo de cierre de las salidas binarias mecánicas normales (relés) es de 1 a 2 ms. Una dispersión del tiempo de 1 ms produce, en un sistema de 50 Hz, un error de ángulo de cierre de 18° . Esto da lugar a un aumento de la corriente máxima de alrededor del 30% (véase la figura 3). Con respecto al tiempo de cierre del dispositivo, se requiere una precisión de $<100 \mu s$, que equivale a $1,8^\circ$. Los contactos utilizados deben tener la menor dispersión posible del tiempo de cierre. Los contactos mecánicos no son adecuados en este caso. Los componentes sistemáticos constantes del tiempo de cierre pueden tenerse en cuenta en el cálculo del instante de cierre.

El sistema SIPROTEC 5 cuenta con "relés semiconductores" que, además de los muy cortos retardos de disparo, también tienen una dispersión muy baja del tiempo de cierre. Esto produce precisiones de cierre del dispositivo tan bajas como $<50 \mu s$.

Método de prueba

El punto de referencia del tiempo de cierre es el paso por cero de una tensión definida, por ejemplo, U_{L1} . Todos los tiempos de cierre se relacionan con este punto de paso por cero. Los tiempos de conmutación se utilizan para calcular el tiempo en el que el relé del dispositivo debe activarse para alcanzar el objetivo de cierre deseado. La fuente utilizada para la prueba tiene que mostrar un alto grado de estabilidad temporal, que los dispositivos CMC 256/356, por ejemplo, garantizan. La secuencia de conmutación puede emitirse mediante el Secuenciador de Estados, mientras que la medición del establecimiento de contacto en comparación con la tensión de referencia se realiza mediante un osciloscopio. La configuración y el principio de medición se muestran en la figura 5.

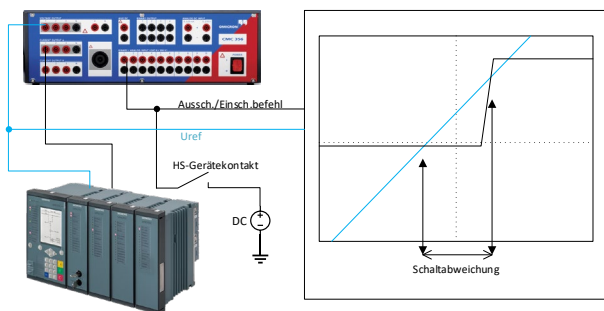


Figura 5: Configuración/principio de medición

Se mide la desviación del tiempo de cierre entre el paso por cero de la tensión de referencia y la operación de contacto del dispositivo. Esta indica una desviación del tiempo de cierre del contacto del dispositivo de $<30 \mu\text{s}$ ($<0,18^\circ$). Más significativo en este caso es la baja dispersión temporal de los resultados. Las inexactitudes sistemáticas pueden compensarse mediante los ajustes. La medición de ejemplo de la figura 6 dio como resultado una desviación del tiempo de cierre entre el paso por cero de la tensión de referencia y la operación de contacto de $3,0 \mu\text{s}$ ($0,054^\circ$).

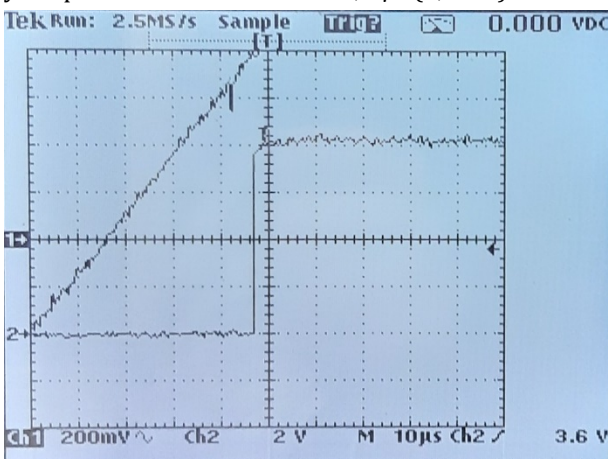


Figura 6: Medición de la desviación del tiempo de cierre

Un método de medición sencillo pero similar es utilizar las entradas del amplificador de aislamiento. Normalmente se utilizan para compensar la tensión de control de los circuitos de apertura y cierre o para registrar los contactos de referencia (en el caso de los interruptores de potencia de Siemens, el contacto de referencia señala el establecimiento mecánico de contacto del interruptor), etc. A través del contacto se aplica una tensión continua externa ($\leq 10 \text{ V}$) al amplificador de aislamiento. La evaluación del registro de fallas generadas ($f_{\text{muestreo}}=8 \text{ kHz}$) permite evaluar en el laboratorio de manera aproximada el cierre y la apertura para una prueba exploratoria (resolución de tiempo: $125 \mu\text{s}$).

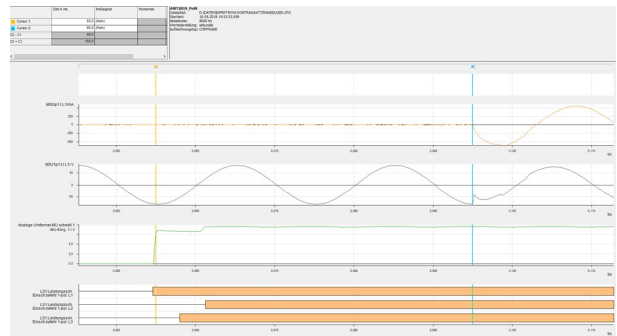


Figura 7:

El uso del Secuenciador de Estados también facilita la medición directa usando un equipo de prueba CMC adecuado. Una medición directa mediante las entradas binarias del CMC356 no puede alcanzar el mismo nivel de precisión que la medición con el osciloscopio, ya que las entradas binarias se leen a una frecuencia de muestreo de 10 kHz (en otras palabras, cada $100 \mu\text{s}$). Esto equivale a una desviación angular de $1,8^\circ$ y, por lo tanto, es aceptable a los efectos de una prueba exploratoria de la función y/o de los ajustes. Los dispositivos CMC más antiguos, tales como el CMC156, no alcanzan esta tasa de muestreo.

Se requiere una simulación en bucle cerrado para ver los efectos de la conmutación sobre el equipo. Las reacciones (o acciones) del dispositivo tienen un efecto directo en la simulación. Esto es complejo y sólo se puede lograr con costosos simuladores en tiempo real, como el RTDS (Real Time Digital Simulator, simulador digital en tiempo real).

Un método más fácil es usar la función de simulación iterativa en bucle cerrado de RelaySimTest. De esta manera, la simulación se realiza varias veces para tener en cuenta la respuesta de conmutación. La simulación se ejecuta de la siguiente manera:

1. Emisión de las variables de simulación, ignorando los comandos. Los comandos se miden durante la segunda vuelta.

2. Emisión de las variables de simulación, esta vez incluyendo los comandos medidos anteriormente.
3. Si hay muy poca variación entre el primer y el segundo conjunto de comandos, la simulación es correcta y se termina; de lo contrario, son necesarias más iteraciones de simulación.

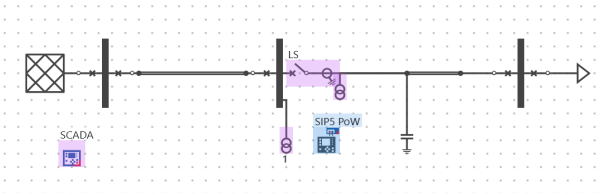


Figura 8: Sistema simulado (carga capacitiva)

En el caso de una carga capacitiva (o un banco de condensadores), se realizó la simulación iterativa de bucle cerrado del sistema representado en la figura 8 para una operación de conmutación favorable (figura 9) y una operación de conmutación con un ángulo de cierre desfavorable (figura 10). La mayor distorsión armónica es claramente evidente.

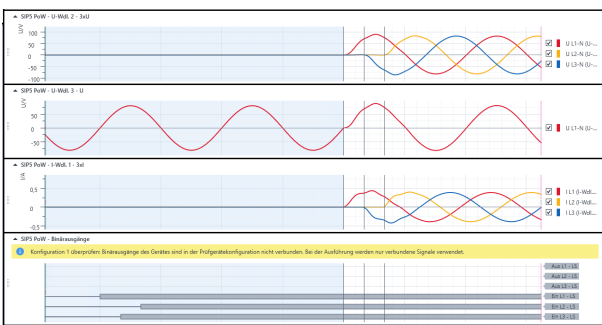


Figura 9: Operación de conmutación favorable

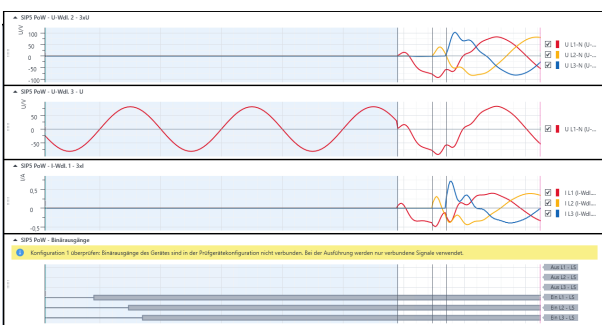


Figura 10: Operación de conmutación desfavorable

Integración en la función de control

El control del interruptor de potencia se realiza actualmente mediante una unidad combinada de protección/control. En la actualidad, se requiere otro dispositivo si se desea controlar/conmutar el

interruptor de potencia en sincronía con las fases. Para integrar esto en el sistema de control, será necesario algún cableado externo adicional para la coordinación con la unidad de protección/control. La integración completa de la función de "conmutación en punto de onda" en la función de control de una unidad de protección/control significa un dispositivo menos y menos gastos de ingeniería e instalación. Como la unidad de control está integrada en el sistema de control del proceso, los recursos adicionales necesarios para la conmutación controlada son muy inferiores. Si el dispositivo dispone de "conmutación en punto de onda" y se ha activado, se controlarán todas las operaciones de conmutación.

La función "conmutación en punto de onda" está incluida en el grupo de funciones del interruptor de potencia. La función también tiene bloques de funciones para habilitarla y deshabilitarla, por lo que puede personalizarse para la aplicación específica en cuestión.

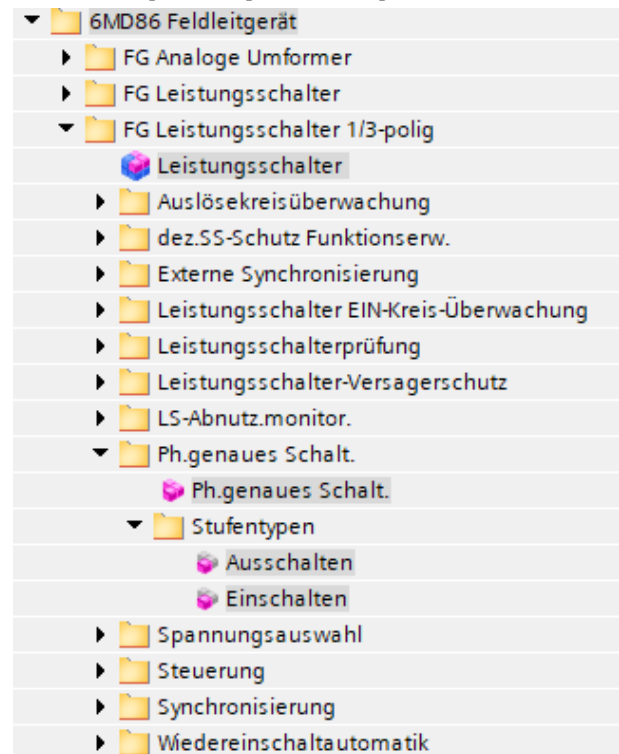


Figura 11a: Conmutación en punto de onda en la biblioteca de DIGSI 5



Figura 11b: Parámetro de conmutación en punto de onda en el grupo de funciones del interruptor de potencia.

Resumen

La conmutación controlada permite que todo el equipo se abra y se cierre de manera que exija un menor esfuerzo al equipo. La integración de la conmutación controlada en la función de control permite implementar la conmutación automatizada y eficiente en punto de onda. Existen varios métodos de prueba para comprobar los resultados. La simulación iterativa en bucle cerrado con RelaySimTest permite probar directamente los efectos de la operación de cierre en las variables del sistema.

Referencias

- [1] Poster: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leitechnik 2018, [Investigación sobre la respuesta dinámica de los bancos de condensadores y sus efectos en la protección, la tecnología de protección y el control de procesos] Dr. Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, 50Hertz Transmission
- [2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [Manual, PSD-Control 2.x User Program for PSD01, PSD02 and PSD03 Devices], Siemens AG 2012

Acerca de los autores



El **Dr. Klaus Böhme** nació en Berlín en 1963. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Técnica de Berlín hasta 1989. La universidad le concedió un doctorado en 1994. Klaus ha sido desde 1992 empleado de Siemens AG, donde se dedica al desarrollo de dispositivos de protección digital. Como desarrollador y director de proyectos, fue responsable del desarrollo de varios dispositivos, comenzando con el 7UM5 V2.x antes de progresar a los SIPROTEC 4 y SIPROTEC 5. Su trabajo se ha centrado en los campos de la protección de generadores, la función de sincronización y los dispositivos de protección de alimentadores. Actualmente es el Experto Clave Superior para nuevas aplicaciones de la plataforma SIPROTEC 5.



Stefan Werben nació el 1 de junio de 1964 en Nijmegen, Países Bajos. Se graduó en la Escuela Goethe de Einbeck, Alemania, en 1983. Stefan estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Técnica de Braunschweig (Brunswick, Alemania) y obtuvo su licenciatura en 1990. En 1991, se fue a los EE.UU. por un año para estudiar administración de empresas en la Universidad del Sur de Illinois en Carbondale. Se incorporó a Siemens AG en Berlín en 1992 como desarrollador de software para dispositivos de protección digital. Después de desarrollar software y gestionar proyectos de desarrollo, en 1998 se trasladó a un puesto de gestión de proyectos en Nuremberg, donde trabaja desde 2001 como director de productos para dispositivos de protección.

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.