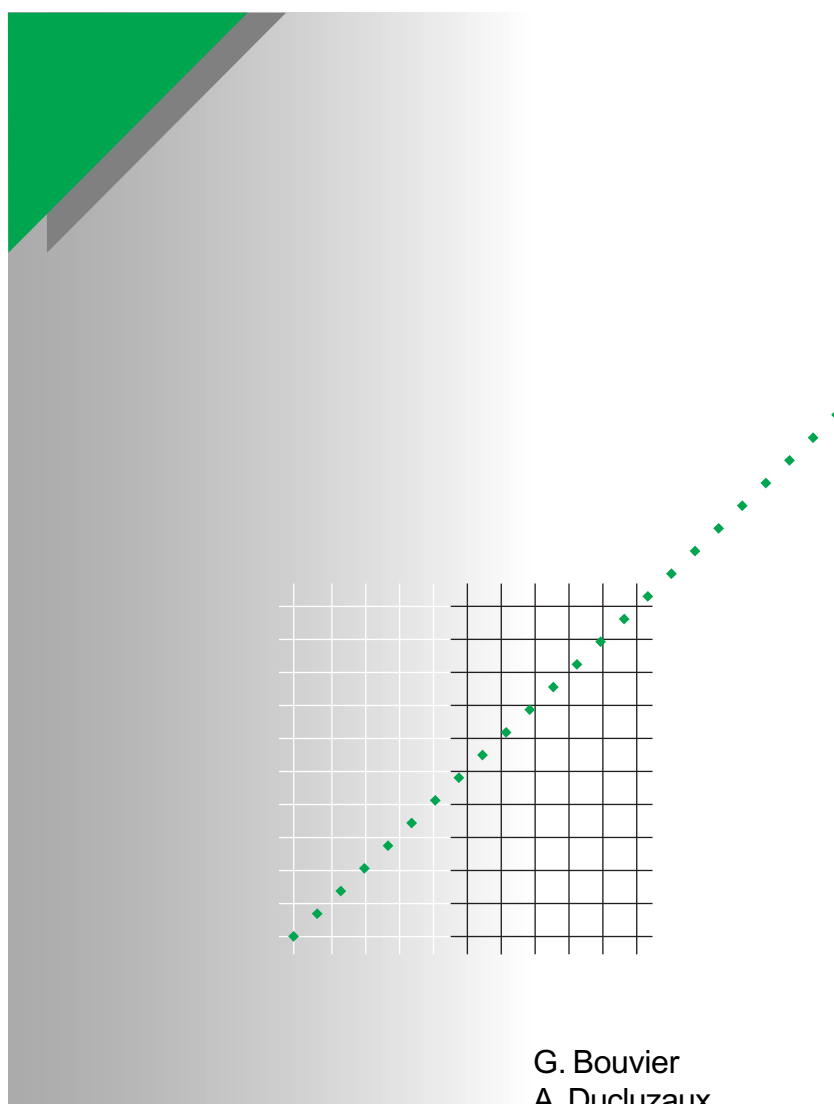


Cuaderno Técnico nº 038

Arcos de defecto en los juegos de barras de los cuadros

Merlin Gerin
Modicon
Square D
Telemecanique



La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneiderelectric.es>

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider
C/ Miquel i Badia, 8 bajos
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80

Fax: (93) 219 64 40

e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» del **Grupo Schneider**.

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 038 de Schneider Electric».

cuaderno técnico nº 038

Arcos de defecto en los juegos de barras de los cuadros

Por: G. Bouvier y A. Ducluzaux

Trad.: Ll. Figueras

Edición francesa: abril 1983

Versión española: octubre 1996

Georges BOUVIER

Ingeniero IEG, entró en Merlin Gerin en 1948, después de haber sido profesor de enseñanzas técnicas.

Dirigió el laboratorio de ensayos de gran potencia, los servicios técnicos BT y la investigación de aparataje de baja tensión.

Sus trabajos originaron la aparición de los primeros interruptores automáticos selectivos DMG, utilizados en la marina, así como de los primeros interruptores automáticos limitadores (1954), capaces de cortar hasta 100 000 A eficaces en BT.

Dejó su actividad profesional en 1970.

André DUCLUZAUX

Ingeniero ESME en 1950 y licenciado en Ciencias en 1951, entró en los establecimientos Merlin Gerin en 1952.

Desde el principio participó en los estudios de cuadros prefabricados BT, después en la puesta a punto de la aparataje de la unidad de ensayos de potencia.

En 1960 en la oficina de estudios para los interruptores automáticos BT de gran intensidad desarrolló los interruptores automáticos DA y después se le encargó de las investigaciones en BT.

En 1969 pasó a ser responsable de proyecto en el Departamento de Investigaciones Generales.

Es en este marco donde desarrolla, a partir del efecto Thompson, un nuevo concepto de interruptores automáticos ultrarrápidos para los limitadores de muy gran intensidad.

Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Arcos de defecto en los juegos de barras de los cuadros

Resumen

No puede considerarse nula la probabilidad de aparición de un arco de defecto en un juego de barras. Su comportamiento y su velocidad se han estado analizando con un dispositivo que realiza series de fotografías a una frecuencia elevada. Parece que los destrozos provocados por el arco son tanto menores cuanto mayor es su velocidad y si su recorrido no se bloquea. Tanto el fabricante como el instalador y el usuario deben tomar todas las precauciones para reducir la probabilidad de aparición de un arco y sus consecuencias.

Índice

1 Nacimiento del arco de defecto	p. 5
2 Comportamiento del arco defecto	p. 6
3 Reducción de la probabilidad de aparición de un arco	p. 10
4 Limitación de las consecuencias de un arco	p. 11
Bibliografía	p. 13

Introducción

La aparición de un arco de defecto entre las barras de un cuadro es un accidente cuya probabilidad es extremadamente pequeña si la instalación está bien diseñada, construida y mantenida.

Los datos estadísticos recogidos durante largo tiempo y en un gran número de instalaciones en servicio muestran que esta probabilidad, desgraciadamente, no es nula.

Teniendo en cuenta las graves consecuencias que se derivan de una descarga en un cuadro (parada de la producción de una fábrica, coste de la puesta en servicio, accidentes de personas) resulta claro que tanto el diseñador como el instalador y el usuario deben de poner todo su empeño en conseguir que la probabilidad de aparición del arco sea muy pequeña y que, si llega a producirse, sus consecuencias sean mínimas.

1 Nacimiento de un arco de defecto

Las causas de aparición de un arco de defecto en una instalación pueden clasificarse en tres categorías:

- las causas evolutivas;
- las causas mecánicas;
- las sobretensiones.

Las causas evolutivas

Son consecuencia de un debilitamiento progresivo de la resistencia de aislamiento entre fases o entre fases y masa.

Este debilitamiento puede ser consecuencia de depósitos que, si se produce una condensación o un estado higrométrico excepcional, pueden provocar la formación de un punto de resistencia superficial tal que puede abrirse una brecha en la superficie del aislante.

Según la naturaleza del aislante, este defecto inicial puede eliminarse por sí mismo o empeorarse, creando un arco de defecto.

Este fenómeno se constata a veces al volver a conectar una instalación después de varios días de paro, período en el que pueden producirse condensaciones al no estar ya la instalación a una temperatura superior a la del ambiente. Este es el caso concreto y particular de las instalaciones de cristalerías, en las que el aire ambiente transporta polvo de carbonato de sodio y en las que además los riesgos de variaciones higroscópicas son elevados.

El resultado final será el mismo si la suciedad de la superficie de los aislantes se debe a salpicaduras de líquidos que contengan electrolitos.

El accidente puede pasar desapercibido y producirse en el transporte o durante los trabajos de mantenimiento de la instalación. Se notará más tarde en la explotación con condiciones higroscópicas excepcionales. Es lo mismo con condensaciones sobre materiales almacenados a la orilla del mar y mal protegidos.

La degradación progresiva del aislamiento puede igualmente deberse a un calentamiento local accidental, por ejemplo, por una mala conexión o por un aflojamiento progresivo de un borne. La elevación de la temperatura en un punto próximo a otro defectuoso puede inducir a la descomposición y la carbonización progresiva de los aislantes cercanos, lo que puede ser el origen un arco de defecto, inicialmente entre fases o entre fase y masa y después degenerar en un defecto trifásico.

Las causas mecánicas

Se deben a la intervención de un elemento conductor ajeno a la propia estructura de la instalación.

Este es el caso de intervenciones inadecuadas del personal de mantenimiento: no siempre se respetan estrictamente las normas que fijan las precauciones a tomar en caso de actuaciones en partes bajo tensión. Se observa, por ejemplo, que para no perturbar el funcionamiento general de una instalación, un electricista que tiene que realizar una verificación, abre los paneles posteriores de un cuadro, y sobre el juego de barras así accesible, se

pone a trabajar pensando que tendrá suficiente cuidado. Cuando una herramienta se resbala y escapa de las manos, o cuando una lámpara de pruebas (prohibida!) explota, se produce una descarga general con riesgo de quemaduras graves para el operador imprudente.

Los resultados serán los mismos si un objeto conductor «olvidado» en la parte superior del cuadro (herramienta, trozo de una barra, tuerca, arandela, cuña metálica, etc.), llega a desplazarse poco a poco por el efecto de las vibraciones y cae entre dos barras, o entre dos bornes de un cable.

Pueden incluso presentarse incidentes debidos a la presencia insólita de un animal en el interior de un cuadro (gato, ave, rata, etc.).

Las sobretensiones

Algunas sobretensiones de valor elevado producen descargas en cuadros correctamente diseñados e instalados. Sin embargo, estos casos excepcionales se pueden producir especialmente en BT.

En las redes de BT pueden encontrarse sobretensiones que alcanzan los 8 ó 10 kV. Proviene de la transmisión, por la capacidad de los transformadores de MT/BT, de sobretensiones «normales» que aparecen en MT, por ejemplo, al cortar la corriente magnetizante de un transformador en vacío.

La instalación de limitadores de sobretensiones en los bornes de BT de un transformador es el mejor medio de protegerse contra este tipo de incidentes.

2 Comportamiento del arco de defecto

El desplazamiento de un arco de defecto sobre el embarrado de un cuadro es bastante imprevisible. Sin embargo tenemos ciertas leyes generales que nos permiten explicar y prever su comportamiento.

Características del arco

Es estudiando la propia naturaleza del arco como se consigue encontrar la explicación de su comportamiento: el arco eléctrico está constituido por una columna de gas conductor (plasma) que es llevada a una alta temperatura (de 6 a 12 000 K) por los arcos producidos en los interruptores o en los defectos.

Su forma, que puede ser cualquiera, no tiene normalmente nada que ver con la de un arco, como haría suponer su nombre; su sección puede considerarse circular, en ausencia de agentes externos, y es el resultado del equilibrio entre la presión interna del gas caliente y la constricción magnética del paso de su propia intensidad. La transmisión de corriente queda asegurada en el arco por los electrones libres que se desplazan en sentido inverso del sentido convencional de la corriente. Las partículas positivas ionizadas, presentes en la columna en número casi igual al de los electrones, no conducen más que una parte muy pequeña de la corriente debido a su masa, mucho mayor que la de los electrones. Estas partículas positivas existen para compensar la presencia de electrones.

El arco es pues semejante a un conductor gaseoso cuya forma se adapta instantáneamente a las fuerzas electrodinámicas que actúan sobre él; tiene una gran movilidad debido a su masa, que es muy pequeña.

La columna del arco está forzosamente unida en sus dos extremos a conductores sólidos (o líquidos), por las llamadas «raíces» del arco. Estas zonas son las

catódicas y anódicas, de muy escasa longitud (10^{-4} cm), asiento de los fenómenos esenciales para mantener el proceso del arco. Estas raíces del arco son unas conexiones eléctricas, extremadamente móviles, a la superficie de los conductores, a través de las que circula la corriente produciendo su fusión. El arco es un conductor eléctrico cuya resistencia es elevada y muy variable dependiendo especialmente de la intensidad que lo recorre. Es más práctico considerar «la tensión de arco» o su caída de tensión que su resistencia: la tensión de arco, cuyo valor mínimo es del orden de 15 a 30 V, alcanza, para los arcos de defecto, valores que pueden estar entre los 100 y 300 V.

Su expresión es $U_a = u_e + \ell E$:

u_e es la suma de las caídas de tensión catódicas y anódicas, 20 V de media,

■ ℓ es la longitud del arco (en cm),

■ E es el gradiente de potencial de la columna de arco (V/cm).

Por un arco en el aire, en reposo, naturalmente enfriado, E vale de 15 a 20 V/cm, pero puede alcanzar 50 V/cm cuando el arco está frío.

El desplazamiento del arco

La propagación de un arco de defecto sobre un juego de barras de un cuadro se realiza sobre la acción de las fuerzas electrodinámicas ejercidas sobre el arco por los

conductores sobre los que se desplaza, o por cualquier otro conductor próximo con un campo importante.

El sentido del desplazamiento del arco es tal que el flujo abrazado por el bucle formado por el arco y sus conductores de transporte debe tender hacia un máximo (figura 1).

Así por regla general, **el arco se desplaza sobre las barras alejándose de la fuente, incluso si este desplazamiento le obliga a descender por las barras verticales.**

El efecto térmico de chimenea que tiende hacer subir al arco es generalmente despreciable respecto a las acciones electrodinámicas proporcionales al cuadrado de la intensidad.

La fuerza electrodinámica F que actúa en un arco generado entre dos conductores paralelos es [7]:

$$F = \frac{2}{10^7} I^2 L \left(\frac{2d+a}{a} \right).$$

Bajo la acción de la fuerza F el arco adquiere una cierta velocidad V limitada por la resistencia del aire R en el que se desplaza. Esta resistencia R es de la forma $R = K \cdot V^2 \cdot d$, en la que K es un coeficiente en función de la geometría del arco asimilada a un cuerpo sólido. El movimiento pasa a ser muy rápido y uniforme cuando $E = R$, siendo entonces la velocidad del arco:

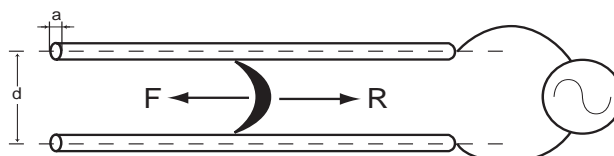


Fig. 1.

$$V = L \sqrt{\frac{2}{10^7 K d}} L \left(\frac{2d + a}{a} \right).$$

Hay que remarcar que la **velocidad de desplazamiento del arco es proporcional a la intensidad instantánea que lo recorre**; esta velocidad disminuye ligeramente cuando la longitud del arco aumenta, es decir, con el espaciamiento de las barras, así como con la tensión de servicio [4].

Verificaciones experimentales

La medida de la velocidad de desplazamiento de los arcos en los juegos de barras, así como su comportamiento ante los cambios de dirección de las barras o por los obstáculos aislantes que encuentra en su recorrido son objeto de una serie de ensayos (**figura 2**).

Para recoger un gran número de datos, además de un conjunto de registros oscilográficos clásicos, se ha necesitado un sistema de registro óptico.

En vez de utilizar una cámara de cine de gran velocidad (5 a 8 000 imágenes por segundo) que sin embargo hubiera dado resultados satisfactorios, se ha preferido un método de fotografías con una cadencia elevada, atendiendo a su facilidad de instalación y de análisis de resultados, para un número importante de ensayos sucesivos.

Este método consiste en superponer, sobre un mismo cliché fotográfico una serie de imágenes tomadas con una elevada cadencia sobre el mismo juego de barras; puesto que el arco se desplaza a gran velocidad, la posición concreta en que se encuentra se fotografía, por ejemplo, cada centésima de segundo.

Por el simple examen de las fotografías obtenidas es fácil determinar su velocidad media, así como interpretar el comportamiento del arco frente a las múltiples configuraciones de los juegos de barras y de los obstáculos situados sobre su recorrido.

Son especialmente válidos los clichés de color, que nos permiten conseguir una clara diferenciación entre la columna de arco, las nubes ionizadas y los humos que lo envuelven. Desde un punto de vista práctico el registro fotográfico es simple: una cámara fotográfica clásica abarca el campo visual donde se desarrolla el fenómeno a analizar: el arco. Su obturador normal se abre unos instantes antes de empezar el ensayo y se vuelve a cerrar un poco después. Durante este tiempo se coloca delante del objetivo un disco que gira a 50 rpm arrastrado por un pequeño motor síncrono. En este disco se han practicado unas aberturas radiales. Al pasar estas ventanas delante del objetivo, se toma la foto. El tiempo de exposición depende de su anchura.

Con discos diferentes se ha conseguido tomar imágenes con diversas cadencias, comprendidas entre 50 y 300 imágenes por segundo, lo que corresponde a exposiciones de 0,5 a 2 ms.

Velocidad de desplazamiento

El arco se desplaza a velocidades muy altas, del orden de 200 a 250 m/s para corrientes del orden de 15 a 20 kA eficaces en un juego de barras BT, separadas, en el aire, 300 mm.

Se habla de velocidad media en corriente alterna. En efecto, la inercia del arco es menor cuando la velocidad instantánea se anula en el instante que la intensidad pasa por cero (donde se apaga instantáneamente), creciendo después de nuevo para alcanzar un máximo que corresponde al valor de pico de la onda senoidal de la intensidad de corriente.

Este fenómeno se ha puesto en evidencia con fotografías tomadas a gran cadencia (200 a 300 imágenes por segundo) en el curso de un ensayo en corriente alterna monofásica.

Desperfectos propios del arco

Si el arco de defecto se propaga libremente sobre barras sin discontinuidades ni cambios bruscos de plano y sin encontrar obstáculos metálicos o aislantes, su paso no provoca prácticamente ningún deterioro. Las raíces del arco se desplazan en saltos sucesivos dejando trazas insignificantes, sólo pequeñas manchas circulares de algunos mm de diámetro.

Por el contrario, si el arco es frenado o parado en su camino, aunque sólo sea durante algunas centésimas de segundo, provoca entonces serios estragos: fusión de metal, combustión de aislantes.

Obstáculos en el recorrido del arco

Sin embargo, el comportamiento del arco frente las discontinuidades de las barras sobre las que se propaga o ante los obstáculos que encuentra es relativamente aleatorio.

Así, un cambio brusco de dirección de un juego de barras rectilíneo puede hacer o que el arco se mantenga en el ángulo vivo formado por las barras o que siga la nueva dirección que se encuentra a su paso.

Para parar la propagación del arco, el proceso aparentemente más apropiado es el de hacer pasar las barras a través de una pantalla aislante. Ésta sólo cumplirá correctamente su función si constituye una verdadera pantalla moldeada alrededor de las barras conductoras. Una holgura del orden de un milímetro entre la pantalla aislante y el metal de las barras es suficiente para que el gas ionizado consiga provocar el recebado al otro lado de la pantalla.

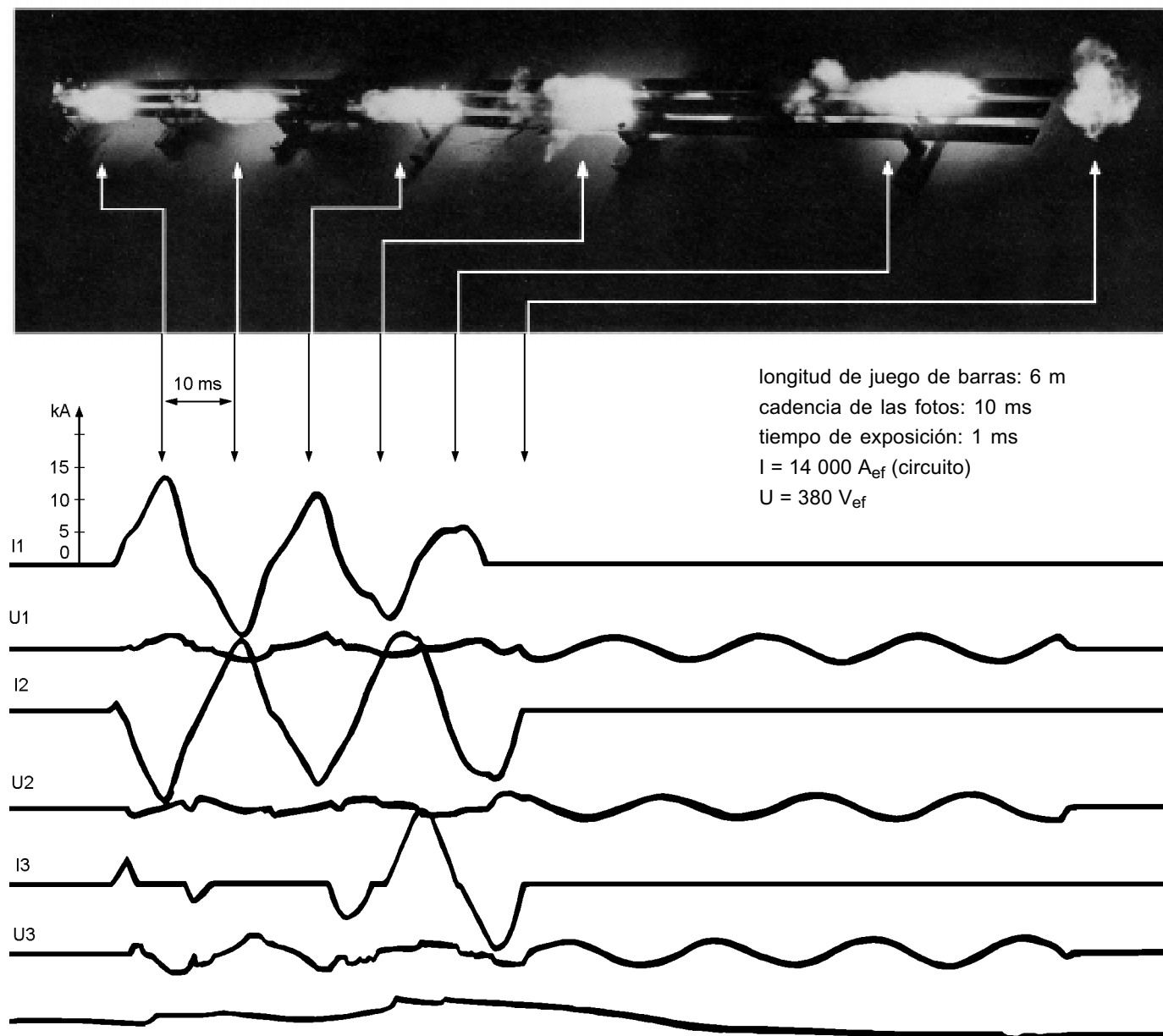


Fig. 2: Oscilograma y fotografía correspondiente a un ensayo de propogación de arco sobre un circuito de 14.000A ef, 300V.

Los diversos efectos del arco

El efecto térmico: constituye la más importante manifestación del arco eléctrico:

La energía calorífica $E_A = U_a \cdot I_{cc} \cdot t$ es proporcional:

- a la tensión de arco U_a , del orden de un centenar o más de voltios,
- a la intensidad de defecto eficaz, I_{cc} , generalmente de varias decenas de millares de amperios en BT, menos en MT,
- a la duración del defecto t , que depende del tiempo de intervención de los relés de protección y del interruptor automático asociado.

El calor liberado funde el metal, carboniza los aislantes, calienta el aire próximo y aumenta bruscamente la presión si el entorno es reducido.

Se suele subestimar, a menudo, el enorme calor liberado por los arcos de defecto. Por ejemplo: una corriente de defecto de 10 000 A durante 1/10 s es suficiente para fundir la mitad de un cable de 150 mm².

El efecto de presión: resulta del calentamiento muy rápido de un volumen de aire reducido; es lo que hace comparar, por lo que se ha podido comprobar, un cortocircuito a una explosión. Si a los cuadros no se les ponen pantallas o puertas que resistan estas presiones internas, se agravan de los daños causados a las instalaciones.

El cebado de un arco se acompaña siempre de un **ruido impresionante**, efecto sonoro que es consecuencia de la variación brusca de la presión. En corriente alterna, este ruido será como un trueno.

El efecto luminoso de un arco es muy conocido, además de su intenso brillo; se produce en parte por las radiaciones ultravioleta, capaces de dañar la vista de una persona próxima, pero sobre todo por la ionización del entorno.

El efecto de ionización puede provocar reencendidos entre partes con tensión que, con una atmósfera normal, se considera que tienen una separación de aislamiento adecuada. Estos reencendidos tienen como consecuencia la formación de arcos secundarios, independientes del arco inicial y que se propagan sobre otros elementos. Esto explica la aparición de los cebados múltiples que se aprecian en el cuadro después del fogonazo y que hacen que sea muy difícil el buscar el origen exacto del defecto.

3 Reducir la posibilidad de aparición de un arco

La disposición de los elementos debe de poder hacer frente a los riesgos correspondientes, que son muy naturales:

■ los riesgos 1:

Se deben al conjunto de la instalación: calidad de los aislantes, distancias mínimas de aislamiento, apriete adecuado de las conexiones, rigidez de las barras entre los soportes, dimensionado de las barras para soportar eventuales sobreintensidades (calentamientos, resonancia), accesibilidad de animales a las partes con tensión.

■ los riesgos 2:

Se deben a accidentes más o menos previsibles: entrada intempestiva de agua o de vapor de agua en un cuadro, choque de vehículos o cargas debidos a falsas maniobras, vibraciones excesivas producidas por la proximidad de ciertas máquinas.

■ los riesgos 3:

Se deben a la intervención de personas.

Los riesgos 1 pueden eliminarse con una construcción esmerada y con una verificación exhaustiva al acabar el montaje en el taller del montador,

previo a la conexión en el lugar de utilización. Hay que destacar aquí la importancia que tiene el diseño del material en si mismo; los conocimientos técnicos y la experiencia del personal de la ingeniería del estudio del que depende directamente la seguridad de la explotación de las instalaciones.

Los riesgos 2, si bien no pueden eliminarse totalmente, siempre se pueden minimizar escogiendo con cuidado los lugares de implantación de las diferentes partes de la instalación.

Hay que considerar especialmente el caso particular de los cuadros instalados en los navíos: se ha podido constatar la producción de arcos de defecto debidos a la entrada del agua de mar por las conducciones de ventilación o debidos a condensaciones abundantes resultantes de fugas importantes de vapor.

Estos accidentes pueden evitarse con un estudio previo completo de estos riesgos externos y de los medios apropiados para eliminarlos [6].

Los riesgos 3 están directamente relacionados con la actuación y el respeto a las normas de explotación y de intervención del personal. Debe de garantizarse la competencia del personal autorizado para intervenir: de la seriedad que este personal tenga en su trabajo depende directamente la seguridad del conjunto de la instalación o de una industria y hasta su propia seguridad.

Siempre es posible diseñar y realizar los cuadros, donde los juegos de barras y sus derivaciones estén al amparo de toda intervención torpe del personal.

Un primer método consiste en situar todas las barras bajo tensión dentro de jaulas metálicas, permitiendo así al personal poder trabajar con seguridad sobre los circuitos próximos de control.

El método más seguro, pero también el más costoso (muy practicado en USA), consiste en cubrir completamente todas las barras, conexiones y piezas de conexión con barniz clase F y encintar, después del montaje, todas las demás piezas con tensión.

4 Limitación de las consecuencias de un arco

A pesar de todas las disposiciones tomadas, todavía puede presentarse un arco de defecto, aunque sea muy poco probable; se trata entonces de reducir los estragos que pueda ocasionar, a fin de poder restablecer muy rápidamente y con el menor gasto la distribución de la energía.

Se pueden tomar diferentes medidas, sea mejorando los detalles constructivos del cuadro, sea en el diseño del esquema o de las protecciones adoptadas.

Reducir la intensidad de defecto

Los efectos térmicos son proporcionales a la intensidad de cortocircuito, I_{cc} , que normalmente podrán reducirse mucho en BT utilizando interruptores automáticos limitadores [9], [10].

Es pues recomendable utilizar estos interruptores automáticos en las entradas a los cuadros, cuando sus características (calibre, selectividad parcial) son compatibles con la instalación.

Pero en las redes de BT, donde la elevada potencia la suministran normalmente varios transformadores o generadores en paralelo, el valor de la corriente de cortocircuito sobre el juego de barras puede llegar o sobrepasar los 100 kA eficaces. De lo que se deduce un riesgo de destrucción muy importante, en caso de defecto en los cuadros.

Este riesgo se reduce sensiblemente al adoptar esquemas de distribución semejantes a los de las redes de abordaje de los navíos, donde se alcanza un alto grado de seguridad.

Los generadores se reparten sobre dos «semi-juegos» de barras, conectadas permanentemente, según las necesidades de explotación mediante un interruptor automático de acoplamiento (figura 3).

Este aparato de un calibre elevado, de 3 a 6 kA normalmente, debe de ser muy limitador, lo que lleva necesariamente a un principio de diseño muy diferente del de los limitadores clásicos. En efecto, el poder de limitación de los limitadores clásicos disminuye a medida que el

calibre aumenta; aunque en realidad no hay aparatos de este tipo de un calibre superior a 2 000 A.

Merlin Gerin ha desarrollado para resolver este problema un interruptor automático limitador ultra-rápido DURT cuyo tiempo de apertura es inferior a 1 ms (figura 4). La corriente

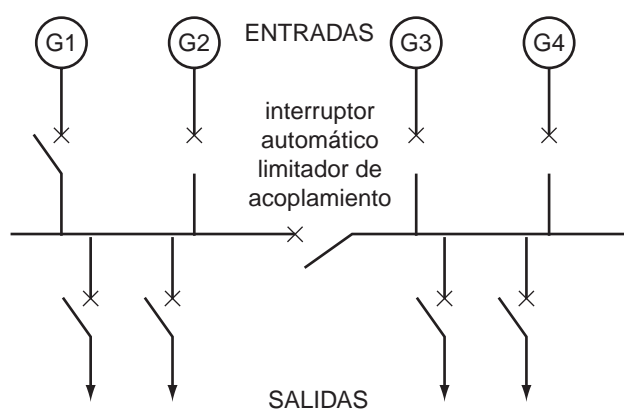


Fig. 3.

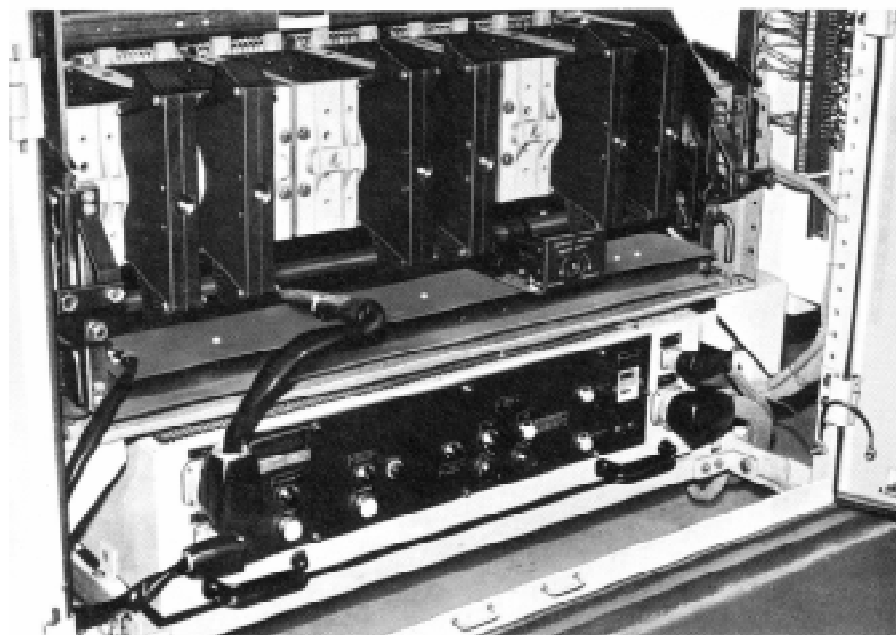


Fig. 4: Interruptor automático limitador ultra-rápido DURT 6.000 instalado en el barco porta-containers FORT DESAIX.

de cortocircuito sobre el juego de barras se encuentra reducido a la mitad de su valor contando que todas las fuentes trabajan en paralelo. Por tanto, se reduce el riesgo en caso de un accidente grave en el cuadro.

Por otra parte, esta disminución importante de la corriente de cortocircuito reduce en la misma proporción el poder de corte de todos los interruptores automáticos aguas abajo; el ahorro así conseguido con estos aparatos compensa el coste adicional de un interruptor automático limitador de acoplamiento.

Reducción del tiempo de defecto

Los efectos térmicos son también proporcionales a la duración de t , que se querrá reducir provocando la eliminación, lo más rápidamente posible, del defecto. Pero los aparatos encargados de esta misión, son los interruptores automáticos de la fuente, que los imperativos de selectividad obligan a menudo a temporizar. Hará falta siempre por lo menos tener cuidado en ajustar su temporización al menor valor posible, sin eliminar en estos tiempos los márgenes de seguridad aparente, lo que sería lamentable en caso de cortocircuito en las barras. Se ha demostrado que un defecto de 20 000 A, relativamente pequeño en BT, se propaga a 300 m/s, casi a la velocidad del sonido; por tanto, el arco tiene tiempo de recorrer 45 m durante los 150 milisegundos de temporización.

Para solucionar esta situación, Merlin Gerin ha desarrollado un nuevo sistema la **selectividad lógica** que permite mantener una selectividad absoluta sin tener que incrementar la temporización de los interruptores automáticos, a medida que se instalan aguas arriba, principio que utiliza la selectividad cronométrica.

Pantallas consumibles y trampas para arcos

Es posible diseñar una disposición de un juego de barras tal que después de un cierto recorrido del

arco, éste quede bloqueado en un extremo sin poder seguir propagándose: se coloca ante el arco una pantalla «fungible» cuyo espesor dependerá de la energía que probablemente tendrá que absorber.

Esta pantalla puede ser o metálica, con lo que el arco se consumirá fundiéndola, o de un aislante mineral, suficientemente resistente al calor. Un aislante orgánico podría provocar, al quemarse, gases tóxicos. Se pueden poner así sobre las barras piezas de forma apropiada cuya misión es derivar el arco en una dirección donde sus consecuencias provoquen menos estragos y estando todas más o menos controladas por una pantalla consumible. Estos dispositivos se denominan «**trampas para arco**».

Pantallas, pasamuros

El fraccionamiento de un juego de barras en varios trozos como se acaba de decir ventajoso añadiendo un aislante físico eficaz entre las diferentes secciones. Los pasamuros constituyen pantallas sobre las que el arco se parará, pero su construcción debe de ser tal que sean resistentes al calor del arco durante el tiempo necesario.

Ventajas de las cajas independientes cerradas

Se produce un cortocircuito en un aparato por haberse olvidado sobre él una herramienta o una pieza metálica. Generalmente el arco que se crea encuentra buenas condiciones locales para permanecer «cogido» sobre el aparato incriminado, ionizando fuertemente las zonas próximas. Resulta que, si el interruptor está situado en un armazón, la ionización puede provocar descargas sobre los interruptores automáticos y juegos de barras vecinos y éstos la descarga general en toda la instalación.

En cambio, si cada aparato está separado del resto de la instalación por paredes metálicas, el riesgo de la generalización del defecto desaparece.

Cada aparato de maniobra se instala en el interior de un **compartimento exclusivo cerrado** donde sin embargo hay una zona neutra reservada para que la expansión del gas evite las sobrepresiones.

El acceso a los bornes de entrada y de salida se realiza por medio de **pasamuros aislantes**, limitando al interior del compartimento las consecuencias de cualquier arco que se produzca en su interior y protegiendo al aparato de un arco de origen externo.

Las maniobras de explotación del aparato (apertura y cierre) así como su puesta fuera de servicio por su entrada o por su salida (desenchufado) se realizan a puerta cerrada.

La retirada se ha de hacer abriendo antes completamente la caja del aparato; por tanto, el personal que ha de trabajar directamente ahí (para mantenimiento, control o sustitución) se encuentra entonces fuera del alcance del juego de barras y al amparo de cualquier «fogonazo» proveniente de otro aparato de ruptura situado en un compartimento vecino.

Resistencia a los arcos internos en los cuadros AT

En las instalaciones de alta seguridad, ha surgido la necesidad de diseñar cuadros prefabricados AT capaces de soportar un arco interno, de tal manera que la seguridad del personal presente en las proximidades del cuadro no sufra ningún peligro por las chispas o las proyecciones de elementos del cuadro.

El diseño de estos cuadros especiales se realiza con ensayos reales en potencia, seguidos de simulaciones con programas de cálculo.

El proceso de evolución de un arco naciente en un espacio cerrado equipado con los captadores indispensables de sobrepresión, produce un conjunto de fenómenos complejos a lo largo de las siguientes fases de análisis:

- **fase de compresión** (de 5 a 15 ms) en la que la presión se eleva entre 1,2 y 1,8 bares,
- **fase de expansión** (una decena de ms) seguida de la apertura de las válvulas de sobrepresión y que coincide con una caída de presión,
- **fase de emisión** (200 a 300 ms) durante la que los gases calientes se evacúan con un régimen casi constante,
- **la fase térmica** (desde 200 ms hasta varios segundos) en la que el arco quema las planchas o los aislantes hasta la perforación. Así una plancha de 4 mm la perfora un arco de 35 kA en 300 ms.

La verificación de la resistencia al arco interno tuvo, ante todo, que estar codificada por una directiva de PEHLA (organismo de ensayo alemán) y posteriormente 1 978 por la modificación nº 2 de la CEI 298, debida a los trabajos del subcomité 17 C.

Deteccción optoelectrónica

Puede conseguirse una notable reducción de los efectos destructores del arco reduciendo su duración por debajo de su límite convencional de un segundo; este límite corresponde al tiempo de intervención de la protección, a menudo más elevada, debido a los imperativos de selectividad. Se consigue esta reducción de la duración del arco instalando detectores optoelectrónicos que producen también la apertura del interruptor automático principal (de entrada o de acoplamiento) en menos de 100 ms.

La fase térmica es prácticamente inexistente, consiguiéndose una reducción notable de los desperfectos y la posibilidad de una reposición rápida del servicio.

Bibliografía

- [1] A. Hochrainer. *Déplacement des arcs de court-circuit dans les installations á haute tension*. ETZ A Bd 7711/5/56.
- [2] E. Eidinger et W. Rieder. *Le comportement des arcs dans un champ magnétique transversal*. Archiv. E élect. Bd 43, 1 957.
- [3] L. Muller. *Propagation d'arcs courts de forte intensité*. Electrizařtsw. H8 4/58.
- [4] L. Fechant. *Vitesses de déplacement d'arcs dans l'air*. RGE 9-59.
- [5] L. Chaineaux et C. Gagnières. *Percement des coffrets par des arcs*. Revue industr. minérale 5/62.
- [6] G. Bouvier. *Incidents sur les installations électriques de bord*. AIMA 1 971.
- [7] A. Ducluzaux. *Los esfuerzos electrodinámicos*. Cuaderno Técnico 7. 2-76.
- [8] R. Calvas y F. Sautriau. *Protección de redes mediante el sistema de la selectividad lógica*. Cuaderno Técnico nº 2; 1/78.
- [9] P. Schuelier. *Corte en BT por limitación de corriente*. Cuaderno Técnico nº 103; 6/80.
- [10] C. Albertin. *Los interruptores automáticos Compact hacia un poder de corte ilimitado*. Cuaderno Técnico nº 116; 6-81.