

Las técnicas de corte en MT (Media Tensión) (Parte 2)

Continuación de la parte 1 <http://www.construsur.com.ar/Article283.html>

2.2 El corte de las corrientes de carga

En explotación normal, en MT, el corte de un circuito se hace:

- sobre una intensidad de carga de algunos amperios o de algunos centenares de amperios, pequeña con relación a la intensidad de cortocircuito (de 10 a 50 kA);
- con un factor potencia superior o igual a 0,8.

El desfase entre la tensión del circuito eléctrico y la intensidad es pequeño y el mínimo de tensión se produce en los alrededores del mínimo de corriente (circuito fuertemente resistivo).

La tensión en los bornes del aparato de corte se iguala entonces a la tensión de la red. Casi sin fenómeno transitorio

En estas condiciones el corte se realiza al paso de cero de corriente, sin dificultad, puesto que el aparato está dimensionado para corrientes elevadas en cuadratura con la tensión.

El corte de corrientes inductivas

- El arranque de corriente

El corte de corrientes inductivas puede dar lugar a sobretensiones provocadas por el corte precoz de la corriente. Es el fenómeno denominado «arranque de corriente».

{pagebreak}

Para corrientes inductivas pequeñas (entre algunos amperios hasta algunas decenas de amperios), la capacidad de enfriamiento de los aparatos dimensionados para la intensidad de cortocircuito es muy elevada en relación con la energía disipada en el arco. Esto genera inestabilidad del arco. Aparece un fenómeno de oscilación ligado a los intercambios de energía entre las capacidades «vistas» por el órgano de corte y las inductancias. Durante esta oscilación a alta frecuencia (del orden de 1 MHz) es posible que la corriente pase por cero y el disyuntor puede interrumpir esta corriente antes del paso normal por cero a la frecuencia industrial (50 Hz).

Este fenómeno de «arranque de corriente» viene acompañado por una sobretensión transitoria principalmente debida al régimen oscilatorio que se establece en el lado de la carga. El valor máximo de la sobretensión ($UC_{m\acute{a}x}$) en el lado de la carga puede darse por la ecuación siguiente:

Formula

en la que :

u_a = tensión de arranque, i_a = intensidad arrancada, n = rendimiento magnético.

{pagebreak}

En el lado de la alimentación, el valor de la tensión es igual al valor de la tensión arrancada y tiende hacia la tensión de red U_n con un régimen oscilatorio que depende de C1 y L1. El valor de la tensión entre los contactos del disyuntor es igual a la diferencia entre estas dos tensiones. Estas relaciones evidencian claramente la influencia de las características de la red sabiendo que la corriente arrancada depende fuertemente de C1 y del aparato correspondiente.

- Reencendidos

Existe otro fenómeno que puede llevar a sobretensiones importantes. Son los reencendidos a la apertura.

De una manera general un reencendido es inevitable para duraciones de arco cortas puesto que la distancia entre contactos no es suficiente para soportar la tensión que aparece en los bornes del aparato. Este es el caso cada vez

que aparece un arco poco tiempo antes del paso por cero de la corriente.

La tensión en el lado de la carga alcanza entonces la tensión del lado de la alimentación con un régimen oscilatorio de alta frecuencia (del orden de 1 MHz). El valor cresta de la oscilación determinada por la tensión de carga

de las capacidades parásitas aguas abajo es entonces el doble del valor precedente.

Si el disyuntor es capaz de cortar la corriente de alta frecuencia, conseguirá cortarla en el primer paso por cero de la corriente, algunos microsegundos

después del reencendido. Entonces es muy probable un nuevo reencendido por el

hecho del aumento de la amplitud de la oscilación y el fenómeno se repite provocando una escalada de la tensión que puede ser

peligrosa para la carga (ver Cuaderno Técnico nº 143).

Conviene mencionar que el mismo fenómeno aparece al cerrar el aparato: se produce un precebado cuando los contactos están suficientemente próximos. Como en el caso de los reencendidos sucesivos, la energía almacenada crece a cada intento de corte, pero el crecimiento de la tensión está limitado por el acercamiento de los contactos.

- Ámbitos de aplicación

El ámbito de aplicación en MT se centra en las corrientes magnetizantes de los transformadores en vacío o poco cargados, en las inductancias shunt y en los motores.

- Transformadores en vacío o poco cargados

A veces los transformadores se maniobran en períodos de poca carga (por ejemplo durante la noche), según las necesidades de gestión de la

red. Las corrientes corresponden entonces a sus corrientes magnetizantes, que van desde algunos amperios hasta algunas decenas de amperios, y su posibilidad de arranque de corriente puede ser importante. Sin embargo, cresta, los factores de sobretensión posibles son en general pequeños por las capacidades y las inductancias que se ponen en juego.

En distribución aérea, el riesgo ligado a la aparición de sobretensiones es todavía más pequeño puesto que los descargadores de tensión limitan las sobretensiones.

Por otro lado, las normas que se refieren a los transformadores definen ensayos de ondas de choque que permiten verificar su capacidad para

soportar las sobretensiones de maniobra.

-Las inductancias shunt

Estas inductancias se utilizan para compensar la componente reactiva de las líneas o para evitar la elevación de tensión de líneas muy largas y poco cargadas. Se utilizan con más frecuencia en AT, pero también en MT. Las sobretensiones de corte permanecen en general por debajo de un factor de sobretensión igual a 2,5 como resultado de las impedancias implicadas. Si hay un riesgo de que las sobretensiones de corte superen este límite, hay que colocar descargadores de sobretensión y resistencias de corte en paralelo con el disyuntor.

-Los motores

Los bobinados, estático y rotórico, de los motores provocan que la intensidad que absorben en vacío y sus corrientes de arranque sean esencialmente inductivas. Dado el número importante de maniobras, las sobretensiones son muy frecuentes y pueden resultar críticas por la degradación progresiva del aislamiento que provocan, en particular si las aperturas tienen lugar durante las fases de arranque. Como regla general, hay que elegir disyuntores que no se reenciben, o con una probabilidad muy pequeña de reencibido. Si no, es posible instalar o bien sistemas R-C en los bornes de los motores para derivar las corrientes transitorias de alta frecuencia, o bien sistemas limitadores de tensión del tipo ZnO.

-El corte de corrientes inductivas y las normas

No existen normas internacionales para el corte de corrientes inductivas, sin embargo el informe técnico 61233 de la CEI estipulan los ensayos para los disyuntores usados para la alimentación de motores y de inductancias shunt.

- Motores

Para los ensayos de laboratorio de disyuntores con tensiones asignadas comprendidas entre un 1 kV y 17,5 kV, se especifica un circuito normalizado que simula un motor con el rotor bloqueado.

- Inductancias shunt

Están poco extendidas en MT, sin embargo de vez en cuando se utilizan en 36 kV. Los ensayos, efectuados el laboratorio sobre un circuito trifásico, están definidos únicamente para tensiones asignadas superiores a 12 kV.

{pagebreak}

El corte de corrientes capacitivas

El corte de corrientes capacitivas puede dar lugar a sobretensiones debidas a reencibidos durante el período de restablecimiento de la tensión.

- El corte de corrientes capacitivas en principio no tiene dificultad. En efecto, cuando el aparato interrumpe la corriente, la tensión en los bornes del generador es máxima puesto que la intensidad y la tensión están desfasadas en $(\pi/2)$;

puesto que el condensador permanece cargado a este valor después del corte de corriente, la tensión en los bornes del interruptor, inicialmente nula, aumenta lentamente sin TTR y con una derivada en relación al tiempo nula en el origen.

- Por contra los problemas de reencibido son delicados. En efecto después de un semiperíodo, la tensión de red se ha invertido y la tensión en los bornes del interruptor alcanza dos veces el valor de la tensión de cresta. Así pues, los riesgos de reencibido entre los contactos son elevados y aumentan tanto más cuanto más lenta sea la apertura.

Si hay recebado en la cresta de tensión, la capacidad se descarga entonces en la inductancia del circuito creando una corriente oscilante cuya tensión de cresta es $3E$

Si el corte es efectivo en el cero de corriente siguiente, el condensador permanece cargado a una tensión $3E$. Cuando la tensión «e» se invierte de nuevo, la tensión en los bornes del interruptor es igual a $5E$. Esta sobretensión puede significar entonces un nuevo recebado. El fenómeno puede continuar por sí mismo con una tensión en los bornes del interruptor que puede alcanzar los valores de $5E$, $7E$, etcétera.

Para cualquier recebado que haya tenido lugar durante el cuarto de período que sigue al cero de corriente, puede observarse una «escalada de tensión» y llevar a valores de cresta inadmisibles para las cargas.

Por contra, los reencendidos cuyas apariciones dependen del dimensionamiento del aparato de corte son tolerables: la tensión de oscilación en los bornes del condensador permanece inferior, en valor absoluto, al valor cresta de la tensión

del generador, lo que no presenta peligro particular para los aparatos.

Como recordatorio, el ensayo de sobretensión de condensadores se realiza a 2,25 veces su tensión asignada.

La regeneración dieléctrica del medio intercontactos debe ser suficientemente rápida para que no haya un recebado después del cuarto período.

- Establecimiento de corrientes capacitivas y recebados

Durante el cierre del aparato de mando que alimenta las cargas capacitivas se producen fenómenos específicos de los circuitos capacitivos.

Así, la puesta bajo tensión de una batería de condensadores provoca una sobreintensidad importante a frecuencia elevada

cuya amplitud de cresta viene dada por la ecuación

donde

L_0 = inductancias de la red aguas arriba,

L = inductancias de conexión a la batería, generalmente pequeñas frente a L_0 .

{pagebreak}

En el caso de baterías en escalones, el fenómeno todavía se acentúa a nivel de cada escalón por la presencia de la energía almacenada en los condensadores que ya están bajo tensión: las corrientes transitorias pueden alcanzar varios centenares de veces la intensidad asignada con frecuencias de varios kHz debido a los pequeños valores de las impedancias de conexión entre escalones.

Después de los recebados a nivel de los contactos del aparato de mando (reencendido de un arco conductor antes de la unión de los contactos), estas corrientes transitorias elevadas provocan una erosión precoz de los contactos y eventualmente su soldadura. Para limitar estos fenómenos, se colocan en serie con la batería unas inductancias de limitación (impedancias de choque).

Así, para una batería de condensadores de n escalones de capacidad unitaria C , la ecuación anterior resulta:

donde

L = inductancias de limitación (impedancias de choque), elevadas frente a L_0 .

Hay que notar que existen aparatos adaptados a esta aplicación y deben especificarse.

-Los campos de aplicación

Las corrientes capacitivas tienen principalmente dos orígenes: los cables y las líneas, así como las baterías de

condensadores.

- Los cables y líneas

Se trata de corrientes de carga de cables en vacío y de líneas aéreas largas (compensadas o no). En varios países europeos (sobre todo en los países del sur de Europa, Francia, Italia, España, ...) las redes aéreas de MT son largas y por tanto particularmente sensibles a las sobretensiones atmosféricas. En estas líneas hay pues un número elevado de desconexiones y por tanto de reconexiones.

- Las baterías de condensadores

Están situadas en derivación en las redes y sirven para compensar la energía reactiva de las líneas (redes de transporte) y de las cargas (MT/BT). Permiten aumentar las potencias activas transportadas y disminuir las pérdidas en la línea. Pueden ser:

– únicas en el caso de una compensación pequeña y de una carga estable,
– o en escalones (múltiples o fraccionados).

Este tipo de batería es muy utilizado por ciertas por los distribuidores de energía. Está asociada a un automatismo y el número de maniobras puede ser importante (varias operaciones al día): hay que especificar los aparatos teniendo en consideración un número de maniobras adaptado a esta necesidad.

- El corte de corrientes capacitivas y las normas

{pagebreak}

La norma CEI 60056 (4ª edición 1987) da, para todas las tensiones, unos valores de PdC asignado para los disyuntores situados como protección de los cables que pueden estar descargados. Pero esta especificación no obligatoria se considera inútil para las tensiones inferiores a 24 kV.

En lo que concierne al PdC asignado para los disyuntores situados como protección de líneas en vacío, la especificación se limita a los aparatos cuya tensión asignada es ≥ 72 kV.

No se especifica ningún valor para las baterías de condensadores.

La CEI 60056 especifica también, para los aparatos de mando y protección, unos ensayos de maniobra (figura 14) sobre corrientes capacitivas para las líneas en vacío, los cables en vacío y las baterías simples de condensadores, pero no especifica nada para las líneas largas ni para los bancos de filtros.

Las tendencias normativas, para las aplicaciones que comportan corrientes capacitivas, se orientan hacia la definición de aparatos con poca probabilidad de reencendidos, con una especificación ampliada en cuanto a las magnitudes y al número esperado de maniobras para garantizar su aptitud de empleo.

2.3 El corte de corrientes de defecto

En el caso de un cortocircuito, el desfase entre la intensidad y la tensión es siempre muy importante porque las redes son esencialmente inductivas. Cuando la corriente pasa por cero la tensión de la red está en su máximo o casi.

En MT, la intensidad de cortocircuito alcanza algunas decenas de miles de amperios, en consecuencia el corte se hace sin arranque de corriente porque el arco es muy estable. Como se ha descrito anteriormente, se descompone en tres fases:

- un período de espera de paso por cero de corriente,
- un período de extinción,
- un período de restablecimiento.

Las corrientes de cortocircuito

- Los diferentes tipos de defecto (Cuaderno Técnico n° 152)

Entre todos los tipos de fallo (tripolar, bipolar, monopolar y a tierra), el incidente más frecuente es el fallo monopolar a tierra (80% de los cortocircuitos). En general se debe a roturas de aislamiento fase-tierra posteriores a sobretensiones de origen atmosférico, a roturas o contorneos del aislador o trabajos de ingeniería civil.

Los cortocircuitos trifásicos son raros (5% de los casos) pero sirven como referencia para los ensayos pues sus corrientes de cortocircuito y sus TTR son más elevadas que para los fallos monofásicos o bipolares.

El cálculo de corrientes de fallo hace intervenir las características de las redes y los esquemas de conexión a tierra (neutro aislado,

directamente puesto a tierra o impedante). Se han desarrollado métodos de cálculo normalizados (CEI 60909).

Actualmente, el cálculo de simulación por ordenador está muy extendido y los servicios de Schneider han desarrollado y disponen de programas que permiten obtener resultados muy fiables.

- Localización de los defectos

- Los fallos en los bornes de salida del disyuntor

En estas condiciones es cuando la intensidad de cortocircuito es más importante puesto que no está limitada más que por las impedancias situadas aguas arriba del aparato. Aunque este tipo de fallo es muy poco frecuente, es el que se

tiene en consideración para la especificación de disyuntores en MT.

- El defecto en la línea

Este tipo de defecto es más frecuente que el anterior en redes aéreas, pero en MT, las características de arco de los disyuntores y de las conexiones disyuntores/cables/líneas hacen que la limitación sea inferior a la provocada por

un cortocircuito en los bornes. Así pues no existen ensayos específicos para los

disyuntores de MT. En AT este tipo de cortocircuito necesita unos ensayos particulares para los fallos próximos puesto que los fenómenos de reflexión de ondas provocan una TTR muy exigente.

- Acoplamiento en oposición de fase (figura 15)

Se trata de un cortocircuito particular que se produce al conectar dos generadores no sincronizados.

Cuando dos generadores han perdido su sincronismo, la tensión en los bornes del

disyuntor de acoplamiento es igual a la suma de las tensiones de cada generador. Las corrientes que debe conectar entonces el disyuntor pueden alcanzar la mitad del valor de intensidad correspondiente un

cortocircuito en el punto de

acoplamiento. Ese máximo se alcanza en el caso de un acoplamiento en oposición de fases.

La norma CEI 60056 (§ 4106) exige que en este caso, el aparato pueda conectar el 25% de la intensidad de fallo en sus bornes bajo una tensión igual a 2,5 veces la tensión con relación a tierra, lo que cubre los valores prácticos encontrados.

- Formas de las corrientes de cortocircuito

Cuando hay un cortocircuito, la intensidad de corriente durante el período transitorio es suma de dos componentes, una simétrica o periódica (i_a) y otra asimétrica o aperiódica (i_c)

{pagebreak}

La componente simétrica (i_a) es producida por la fuente a alterna que alimenta la intensidad de cortocircuito. La componente aperiódica (i_c) se crea por la energía electromagnética almacenada en la inductancia en el momento de cortocircuito. Su valor en el instante del fallo es igual y opuesta a la de la componente simétrica para asegurar la continuidad de intensidad. Decece con una constante de tiempo L/R , característica de la red, cuyo valor normalizado vale 45 ms. De ahí resultan las expresiones siguientes:

$I = \text{Intensidad máxima} = E/Z_{cc}$

$\phi_i = \text{ángulo eléctrico que caracteriza el desfase entre el instante inicial del fallo y el origen de la onda de intensidad.}$

Dos casos extremos:

- El cortocircuito se produce justo en el instante en el que la tensión (e) pasa por cero. La componente simétrica y la componente continua tienen su valor máximo. El régimen de establecimiento se llama de asimetría total.
- El instante inicial de cortocircuito coincide con el paso por cero de la componente alterna de intensidad: la componente continua es nula y el régimen se llama simétrico.

El Poder de Corte

El poder de corte (PdC) se define como la intensidad más elevada que un aparato puede cortar bajo su tensión asignada en un circuito cuya TTR responde a una especificación precisa. El aparato debe poder cortar todas las corrientes de cortocircuito que tengan una componente periódica inferior a su PdC y una componente aperiódica cualquiera cuyo porcentaje no sobrepase un valor especificado.

Sin embargo, según el tipo de aparato, ciertas corrientes de fallo, más pequeñas que el PdC, pueden resultar difíciles de cortar, puesto que producen unos tiempos de arco muy largos con riesgos de que no se corte.

- El corte en trifásico

Debido al desfase de las corrientes en un sistema trifásico, el corte se produce de la manera siguiente:

- El disyuntor interrumpe la corriente de la primera fase (fase 1 en la figura 17) cuya corriente pasa por cero.

El régimen se convierte entonces en bifásico y todo ocurre como si el punto N se desplazara a N'. La tensión que se establece sobre la primera fase, en los bornes del contacto abierto AA' es la que existe entre A y N', que vale:

k es el factor del primer polo. Su valor varía de 1 a 1,5 según que el neutro esté directamente puesto a tierra o perfectamente aislado.

- 1/2 período más tarde las otras dos fases llegan a su vez a cero, el disyuntor corta y la red vuelve a convertirse en equilibrada con relación al punto neutro.

La TTR depende pues de los regímenes de neutro. La norma precisa los valores a tener en cuenta para los ensayos tomando el valor 1,5

para la MT y las redes de neutro aislado. Para los otros casos se toma el valor 1,3.

- El cierre de un disyuntor sobre una corriente de fallo

Puesto que los fallos son a veces temporales, en la explotación normal es habitual cerrar el disyuntor después de la interrupción de una corriente de defecto. Sin embargo ciertos fallos son permanentes y el disyuntor debe poder restablecer la intensidad de cortocircuito.

{pagebreak}

El cierre que se acompaña de un preencendido provoca una onda de tensión de frente rápido cuya cresta de corriente puede alcanzar teóricamente $2,5 I_{cc}$ en la hipótesis de una asimetría total, de una constante de tiempo de 45 ms a 50 Hz y sin efecto de desfase de polos.

Por tanto a los disyuntores se les exige un poder de cierre.

- Poder de corte normalizado

La conformidad de los disyuntores a las normas se demuestra especialmente por su capacidad de cortar todas estas corrientes llamadas corrientes críticas. La norma CEI 60056 (§ 4.104) impone una serie de ensayos que permiten validar el PdC del aparato y verificar su aptitud para las maniobras de cierre y de apertura repetidas.

El PdC asignado se caracteriza por dos valores

- El valor eficaz de su componente periódica llamado generalmente «poder de corte».

Los valores normalizados de PdC asignado se toman de las series de Renard (6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 kA) sabiendo que en la práctica, las corrientes de cortocircuito tienen valores comprendidos entre en 12,5 kA y 50 kA en MT.

- El porcentaje de la componente aperiódica

Corresponde al valor alcanzado al final de un tiempo t igual a la duración mínima de apertura del disyuntor, a la que se le añade un semiperíodo de la frecuencia asignada para los aparatos de fuente auxiliar. La constante de

tiempo de disminución exponencial normalizada es de 45 ms. Hay otros valores superiores en estudio para casos particulares.

Los ensayos de corte en cortocircuito se hacen con los valores especificados de TTR, para valores de intensidad de 10, 30, 60 y 100% del PdC según la tabla de la figura 18.

Con:

A = maniobra de apertura,

CA = maniobra de cierre seguida

inmediatamente de una maniobra de apertura.

Salvo especificación particular, las secuencias asignadas de las maniobras se definen así:

- Para los aparatos sin nuevo cierre automático rápido

A - 3 min - CA - 3 min - CA

o bien

CA - 15 seg - CA.

- Para los aparatos previstos para un cierre automático rápido

A - 0,3 seg - CA - 3 min - CA.

Bibliografía: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 193 de Schneider Electric».