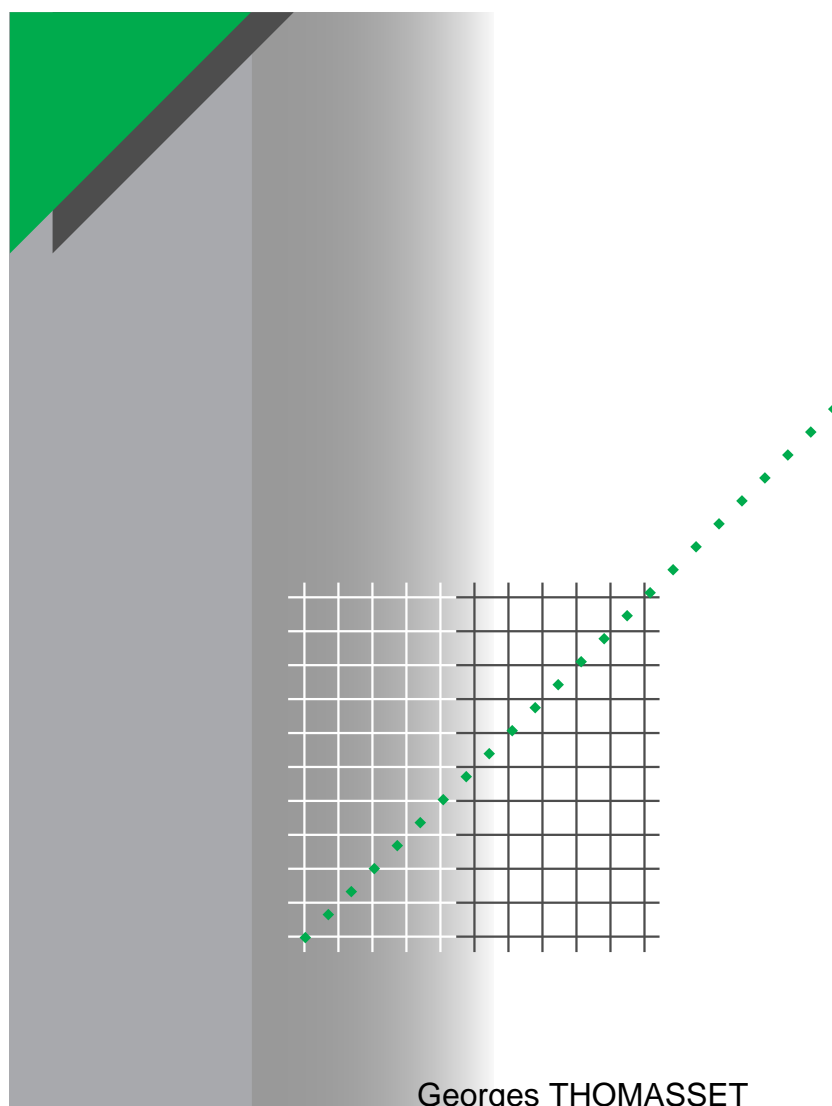


# Cuaderno Técnico nº 161

## Conmutación automática de fuentes en las redes AT y BT

|   |                           |
|---|---------------------------|
|  | <b>Merlin Gerin</b>       |
|  | <b>Eunea Merlin Gerin</b> |
|  | <b>Modicon</b>            |
|  | <b>Telemecanique</b>      |
|  | <b>Mesa</b>               |
|  | <b>Himel</b>              |
|  | <b>Square D</b>           |



Georges THOMASSET

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](mailto:formacion@schneiderelectric.es)

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» de **Schneider Electric España S.A.**

#### **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 161 de Schneider Electric».

# Cuaderno Técnico nº 161

## Conmutación automática de fuentes en las redes AT y BT



**Georges THOMASSET**

Diplomado Ingeniero IEG en 1971.

Después realizó diversos estudios sobre el diseño de redes industriales complejas en la Dirección Técnica de la Sociedad Merlin Gerin.

Después de haber dirigido la oficina de estudios «Distribución Pública MT» y «Energía Hidráulica» pasó a ser responsable, en 1984, del servicio técnico de la unidad industrial del Departamento de Fabricación de Conjuntos.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: junio 1992

Versión española: marzo 2001



# Conmutación automática de fuentes en redes AT y BT

El corte de la alimentación eléctrica, aunque sea pasajero, es hoy en día un handicap importante, tanto para las industrias cuyo proceso de fabricación no soporta paradas, como para los edificios de gran altura, cuyos circuitos de seguridad deberían estar siempre operativos.

Así, la conmutación de fuentes normales de alimentación sobre fuentes de sustitución o de emergencia, ha pasado a ser una operación cada vez más utilizada en la distribución eléctrica, tanto pública como privada.

En este Cuaderno Técnico se estudian las dificultades de instalación de los dispositivos de conmutación, ... y las soluciones técnicas a aplicar. A continuación se presentan también diferentes formas de conmutación con ejemplos prácticos. Por último, en una tabla se hace una síntesis de los principales campos de aplicación.

|          |   |           |           |
|----------|---|-----------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>   | <b>p.</b> | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Diversos tipos de conmutación</b>  | <b>p.</b> | <b>6</b>  |
|          | 2.1 Problemas que presenta la conmutación y precauciones                          | p.        | 6         |
|          | 2.2 Presencia de un defecto en la red aguas abajo                                 | p.        | 6         |
|          | 2.3 Características de la fuente de sustitución                                   | p.        | 6         |
|          | 2.4 Elaboración de las órdenes de conmutación                                     | p.        | 7         |
|          | 2.5 Corte de tensión durante una conmutación no síncrona                          | p.        | 9         |
|          | 2.6 Enclavamiento mecánico entre los aparatos de maniobra de BT y entre los de AT | p.        | 9         |
|          | 2.7 Resistencia dieléctrica de los aparatos de maniobra AT                        | p.        | 9         |
| <b>3</b> | <b>Conmutación síncrona</b>   | <b>p.</b> | <b>10</b> |
|          | 3.1 Ejemplo nº 1  | p.        | 11        |
|          | 3.2 Ejemplo nº 2  | p.        | 11        |
|          | 3.3 Ejemplo nº 3  | p.        | 11        |
| <b>4</b> | <b>Conmutación con corte</b>  | <b>p.</b> | <b>13</b> |
|          | 4.1 En baja tensión   | p.        | 13        |
|          | 4.2 Ejemplo (BT)  | p.        | 13        |
|          | 4.3 En alta tensión   | p.        | 15        |
|          | 4.4 Ejemplo nº 1 (AT)   | p.        | 15        |
|          | 4.5 Ejemplo nº 2 (AT)   | p.        | 16        |
| <b>5</b> | <b>Conmutación pseudosíncrona</b>   | <b>p.</b> | <b>18</b> |
|          | 5.1 Principio   | p.        | 18        |
|          | 5.2 Campo de utilización  | p.        | 18        |
|          | 5.3 Dificultades  | p.        | 19        |
|          | 5.4 Conmutación ultrarrápida con control de defasaje                              | p.        | 19        |
| <b>6</b> | <b>Cuadro resumen</b>   | <b>p.</b> | <b>22</b> |
| <b>7</b> | <b>Conclusión</b>   | <b>p.</b> | <b>23</b> |
|          | <b>Anexo: Descripción resumida de un comparador de fases</b>                      | <b>p.</b> | <b>24</b> |

# 1 Introducción

Los dispositivos de conmutación de fuentes se utilizan para asegurar la continuidad de la alimentación de ciertos receptores prioritarios, por motivos de seguridad de personas o para mantener un ciclo de producción. El mecanismo de conmutación actúa o por un fallo en la alimentación principal, normalmente en servicio, o por una orden voluntaria.

Estos dispositivos se usan especialmente:

- para la alimentación:
  - de ordenadores,
  - de edificios de gran altura,
  - de alumbrado y sistemas de emergencia y seguridad: valizas de aeropuertos, locales de pública concurrencia, etc.,
  - sistemas auxiliares esenciales de centrales térmicas,
  - cadenas completas de fabricación cuyo proceso no soporta ninguna parada temporal de ningún elemento de la cadena (siderurgia, petroquímica, etc.),
- en la distribución pública de MT para:
  - conmutación de líneas y de transformadores AT en centros de transformación,
  - alimentación, en doble derivación, de centros de transformación AT-A ( $U \leq 50$  kV)/BT ( $U \leq 1$  kV).

Los equipos que se instalan para realizar la aparamenta de conmutación son muy variados, por ejemplo, en los circuitos de potencia, los aparatos de maniobra pueden ser contactores electromagnéticos o estáticos, interruptores automáticos o interruptores, y esto tanto en baja como en alta tensión.

El mando de estos aparatos puede ser:

- manual: es la disposición más elemental y económica. Requiere la intervención del operario de la explotación; la duración de paso de la fuente que falla a la fuente de sustitución o de emergencia puede ser muy larga (el operario tiene que desplazarse),
- automático: es el dispositivo más rápido y... el más utilizado.

Sin embargo, el esquema de principio puede, en la mayor parte de los casos, reducirse a la alimentación normal, una alimentación de sustitución o de seguridad y un juego de barras que es el punto común de las dos alimentaciones a partir del cual se alimentan los receptores.

## 2 Diversos tipos de conmutación

Normalmente se utilizan tres sistemas de conmutación de fuentes:

- **síncrona:**  
duración de transferencia: nula  
(ejemplo: acoplamiento de generadores),
- **con corte:**  
duración de transferencia: 0,2 a 30 s,  
(ejemplo: función de conmutación normal/emergencia en BT),

- **pseudo-síncrona:**  
duración de transferencia: 100 a 300 ms,  
(ejemplo: reaceleración en marcha de motores asíncronos).

Toda conmutación debe estar precedida por el cumplimiento satisfactorio de un cierto número de condiciones, algunas de las cuales obligan a tomar precauciones especiales.

### 2.1 Problemas que presenta la conmutación y precauciones

Para realizar la instalación de un sistema de conmutación de fuentes que responda adecuadamente a las exigencias de continuidad de servicio exigidas por el usuario, ya desde la fase de diseño, hay que estudiar detenidamente ciertos aspectos para tomar precauciones especiales:

- la presencia de un defecto de red aguas abajo,
- las características de la fuente de sustitución,

- la elaboración de las órdenes de conmutación,
- la ausencia de tensión durante el tiempo de conmutación (caso de una conmutación no síncrona),
- el enclavamiento mecánico de los aparatos de maniobra entre sí, tanto en BT como en AT,
- la resistencia dieléctrica de los aparatos de maniobra (en AT).

### 2.2 Presencia de un defecto en la red aguas abajo

Cuando un defecto situado aguas abajo del punto de conmutación ha provocado la apertura de la alimentación normal, se recomienda no conmutar las fuentes de

alimentación. En este caso hay que bloquear el circuito de mando del dispositivo de conmutación, mediante una orden proveniente del sistema de protección de la red aguas abajo.

### 2.3 Características de la fuente de sustitución

La potencia nominal, la potencia de cortocircuito, las impedancias de las conexiones y el régimen de neutro de la fuente de sustitución pueden ser muy diferentes de los de la fuente principal. Así por ejemplo, la fuente principal puede ser un transformador de 800 kVA, 380 V, 50 Hz,  $I_{cc} = 20$  kA y en cambio, la fuente de sustitución puede ser un grupo electrógeno de 200 kVA,  $I_{cc} = 1$  kA en régimen transitorio.

Por tanto, las protecciones contra los defectos entre fases y fase-tierra de la red de emergencia pueden, en ciertas condiciones, no funcionar adecuadamente cuando la red de distribución se alimenta desde la fuente de sustitución (o de emergencia).

Luego, para encontrar un sistema de protección compatible con las características eléctricas, los sistemas de explotación y de mantenimiento de las dos fuentes de

alimentación, hay que hacer un estudio muy cuidadoso de las protecciones. Hay que destacar especialmente dos casos: la «reaceleración al vuelo» de varios motores y la alimentación de varios transformadores-reductores cargados.

■ red de distribución con varios motores

Si la potencia de la fuente de sustitución es baja, después de la conmutación de la fuente principal sobre esta fuente de sustitución, es necesario limitar la corriente de conexión y de servicio permanente.

Para esto hay que proceder a:

- una desconexión de parte de las cargas,
- un rearranque escalonado de los motores para volver a conectarlos, si ha habido una interrupción.

Sin estas precauciones y teniendo en cuenta la menor potencia de la fuente de sustitución, las caídas de tensión serían prohibitivas y los

motores no podrían acelerar (par motor menor que el par mecánico resistente),

■ conexión de varios transformadores-reductores en la red de distribución aguas abajo

Cuando la conmutación se realiza en AT, hay que tener en cuenta las corrientes de conexión de los transformadores AT/BT que suelen ser del orden de 10 a 15 veces su corriente nominal. En efecto, si la fuente de sustitución es un grupo electrógeno BT, su alternador no puede proporcionar corrientes tan elevadas a tensión nominal y se comportan como si alimentara un cortocircuito. Por tanto, la tensión que proporciona durante los primeros instantes de la conmutación es muy baja, lo que no facilita en modo alguno el rearranque de los motores. Por esto es preferible desconectar todos los transformadores-reductores lado AT antes de la conmutación para después irlos conectando escalonadamente.

## 2.4 Elaboración de las órdenes de conmutación

Son los controles de tensión los que originan las órdenes de conmutación:

- corte de tensión de la alimentación normal (o principal) para mandar, si la fuente de sustitución es un grupo electrógeno, el arranque de su motor,
- presencia de tensión estabilizada en la salida de la fuente de sustitución, para ordenar el paso de la carga a la fuente de sustitución,
- presencia de tensión en la alimentación normal, para volver a la situación normal.

### Las órdenes de conmutación

- Para el paso de la fuente principal a la fuente de sustitución

Un corte o una bajada de tensión de la alimentación principal pueden ser:

- permanente, a continuación de:
  - un disparo de un aparato de protección aguas arriba,
  - una sobrecarga importante de la red que provoca una gran bajada de tensión,
  - etc.,
- pero también transitoria, debida a:
  - la actuación de los automatismos de reenganche, rápido o lento, de las líneas aéreas del distribuidor,
  - un cortocircuito entre fases, eliminado normalmente por los dispositivos de protección,
  - etc.

Por tanto, la actuación del detector de falta de tensión de la fuente principal deberá ser generalmente retardada para evitar ordenar la conmutación de fuentes cuando hay un corte o una bajada de tensión transitorias.

Además, si la fuente de sustitución está constituida por un grupo electrógeno, cuya orden de arranque se da precisamente cuando no está la tensión principal, hay que esperar a que se estabilice la tensión de grupo antes de dar la orden de conmutación (algunos segundos).

- Para el paso de la fuente de sustitución a la fuente principal

El retorno de la tensión de la fuente principal puede estar precedido por intentos de reenvío de tensión a la línea principal, necesarios para:

- localizar un defecto,
- realizar un bucle de fuentes después de un incidente,
- efectuar ensayos después de una reparación o modificación de la línea principal.

La acción del detector de presencia de retorno de red de la fuente principal tendrá que tener una temporización muy larga (algunas decenas de segundo a varios minutos).

### Nota:

a) los dispositivos que permiten pasar de la fuente principal a la fuente de sustitución, sin retorno automático a la fuente principal

después de la reaparición de la tensión de ésta, suelen llamarse conmutadores,

b) los dispositivos con retorno automático a la fuente principal suelen llamarse inversores normal-socorro.

#### **Dificultades en la detección de la falta de tensión en la alimentación normal**

■ mantenimiento de la tensión en la red de distribución al producirse un corte en la red de alimentación

Al cortarse la alimentación, la tensión en la red de distribución puede ser mantenida por:

□ la tensión residual que «devuelven» los motores asíncronos, en proceso de ralentización durante un tiempo aproximado de 0,3 a 1 s,

□ la tensión inducida en los bornes de los motores síncronos en proceso de ralentización,

□ la tensión debida a la descarga de los condensadores que pueda haber conectados a esta red.

Al mantenerse la tensión por los motivos citados, no es posible efectuar una conmutación rápida de fuentes, puesto que los dispositivos convencionales simples, como los relés voltimétricos de tensión mínima, no pueden detectar rápida y eficazmente la ausencia de la tensión principal.

■ cortes de tensión transitorios en los que no deben actuar los dispositivos de conmutación. Estos cortes los origina la actuación de los automatismos de red, como son los reenganches rápidos o lentos, el cambio o conmutación de transformadores o de líneas AT en los centros de transformación AT, etc.

En las redes BT sucede lo mismo, debido a caídas de tensión excesivas provocadas por sobreintensidades transitorias (defecto entre fases o fase-tierra eliminado por las protecciones selectivas de la red, arranque de grandes motores, etc.).

■ elección y cableado de los detectores, con:

□ un solo relé monofásico

Generalmente, cuando hay un único relé monofásico de detección, se conecta entre dos fases de la entrada normal. En este caso, puede producirse un fallo de la otra fase sin que lo «vea» el relé; por tanto, no habría conmutación y la alimentación de los receptores sería defectuosa.

Para que este sistema sea satisfactorio, no ha de ser posible que la alimentación trifásica pueda funcionar inadecuadamente con sólo dos de las fases, de ahí el empleo de protecciones, como interruptores automáticos tripolares o fusibles con contacto auxiliar de fusión que den una orden de corte omnipolar.

Si no, para paliar este inconveniente, es necesario instalar o dos relés conectados entre dos fases diferentes o tres relés conectados en triángulo.

□ tres relés monofásicos

Sin embargo, este último montaje (tres relés conectados en triángulo) puede ser peligroso si los relés tienen su umbral ajustado entre el 20 y el 30% de la tensión nominal. En efecto, cuando se produce el corte de una sola fase, los dos relés que tienen un borne conectado a esta fase quedan en serie y son alimentados por las otras dos fases sanas. La tensión en bornes de estos dos relés pasa a ser la mitad de su tensión nominal, tensión superior al valor de ajuste citado ( $0,2 U_n$ ). Por tanto no se da ninguna orden de conmutación. Por este motivo es preferible utilizar tres relés conectados en estrella o tres relés conectados en triángulo pero ajustados al 60% de  $U_n$ , o, mejor todavía, un relé trifásico de tensión con campo giratorio.

□ un único relé voltimétrico trifásico

Si la red de distribución tiene conectados motores trifásicos asíncronos, este tipo de relés no permite la detección del fallo de una fase de alimentación en el juego de barras, puesto que estos motores proporcionan, precisamente al juego de barras, la tensión de la fase cortada. Por tanto, es necesario conectar un relé amperimétrico, trifásico de campo giratorio, en la entrada normal.

■ montaje de los detectores

Los relés instantáneos electromagnéticos son normalmente sensibles a los choques mecánicos que hacen rebotar sus contactos... originando así la aparición de órdenes de conmutación erróneas. Estos casos se presentan normalmente en el montaje en puerta, cuya instalación tiene que ser por tanto muy cuidadosa para evitar todas las vibraciones que podrían ser susceptibles de perturbar al equipo.



## 2.5 Corte de tensión durante una conmutación no síncrona

Este corte de tensión, aunque transitorio, es generalmente suficiente para hacer caer todos los contactores cuyas bobinas se alimenten del circuito de potencia.

El dispositivo de conmutación automática puede perder mucha de su eficacia puesto que los receptores mandados por estos contactores, ahora caídos, ya no están alimentados. Por el contrario, se permite un re arranque manual escalonado de los motores mediante los pulsadores de «marcha».

Para evitar tener que hacer esta reconexión manual, es preferible alimentar las bobinas de los contadores o con una fuente auxiliar segura (batería o grupo giratorio con volante de inercia) o con un relé temporizado a la reconexión, o incluso, a partir del circuito de potencia, utilizando un rectificador y un condensador conectados en paralelo con la

bobina. En este caso, la energía necesaria para mantener el contactor en posición cerrado durante el breve corte de tensión, la suministra el condensador. Pero, para que el valor de la capacidad del condensador «reserva» no tenga que ser demasiado elevado, la duración del corte de tensión debe de ser muy breve (algunos centenares de milisegundos) y el consumo de la bobina, muy bajo.

Con todo, téngase presente que la instalación de estas soluciones obliga a que la fuente de sustitución pueda soportar el conjunto de los receptores y, en especial, todos los motores en situación de «re arranque al vuelo».

**Nota:** Puesto que al abrir el circuito de mando de una bobina, aparecen importantes tensiones inducidas en sus bornes, el rectificador y el condensador deben soportar estas tensiones.

## 2.6 Enclavamiento mecánico entre los aparatos de maniobra de BT y entre los de AT

En los dispositivos de conmutación síncrona, los dos aparatos de maniobra (fuente principal y de sustitución) pueden estar simultáneamente cerrados. Pero, en los otros sistemas de conmutación, debe haber, en todas las instalaciones, un enclavamiento mecánico de

los aparatos entre sí y de sus circuitos eléctricos para impedir la alimentación simultánea de los circuitos de mando de los dos aparatos. Se recomienda esta precaución en todas las instalaciones y normalmente lo exigen las compañías suministradoras.

## 2.7 Resistencia dieléctrica de los aparatos de maniobra AT

La resistencia dieléctrica de los aparatos de maniobra de la fuente de reemplazo empleados en los sistemas de conmutación síncrona y pseudosíncrona deben estar especialmente adaptados. En efecto, durante el tiempo de

espera de las condiciones de acoplamiento, los polos de estos aparatos pueden estar sometidos, entre la entrada y la salida, a dos veces la tensión simple de la red (tensión de las dos fases a conectar en oposición de fase).

## 3 Conmutación síncrona

La fuente principal y la fuente de sustitución tienen que tener la posibilidad de sincronizarse, es decir:

- sus vectores de tensión han de estar en fase,
- su frecuencia y amplitud han de ser idénticas.

Esta conmutación ofrece grandes posibilidades en cuanto a que el cambio de fuente puede realizarse **antes del corte de tensión** en la fuente en servicio, con lo que los receptores no sufren ningún corte de alimentación.

Los siguientes ejemplos explican este tipo de conmutación.

### 3.1 Ejemplo nº 1

#### Explotación de centros de transformación de interconexión AT/MT con doble juego de barras (figura 1)

Los dos juegos de barras están alimentados por las líneas de transporte AT de la red de interconexión, el interruptor automático de acoplamiento está abierto y los dos juegos de barras están sincronizados. Las derivaciones de línea y los transformadores están conectados a uno u otro de los juegos de barras **A** o **B**. Para cambiar la alimentación de una derivación (cambio de juego de barras), suponiendo que estuviera alimentado en la barra **A**, es suficiente con:

- cerrar el interruptor automático de acoplamiento (1) sin verificar las condiciones de acoplamiento porque los dos juegos de barras están sincronizados,

- cerrar el 2º seccionador de derivación (2b) de la salida en cuestión,
- abrir el primer seccionador de derivación (2a),
- abrir el interruptor automático de acoplamiento (1).

La derivación queda entonces alimentada por el otro juego de barras **B**.

**Nota:** durante todo el tiempo de conmutación, todas las derivaciones quedan en paralelo sobre los dos juegos de barras; la potencia de cortocircuito es entonces elevada y las características eléctricas del material deben de ser suficientes para soportar este modo de utilización si la probabilidad de defecto durante estas maniobras es elevada.

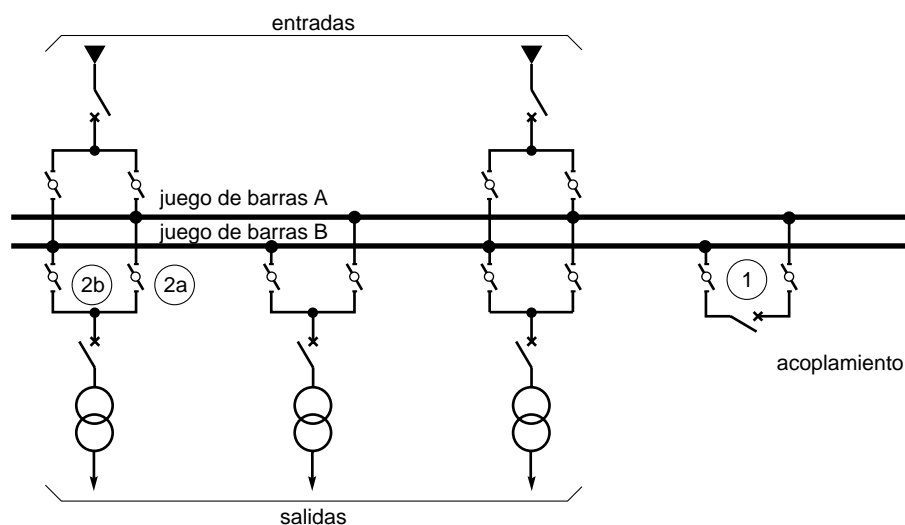


Fig. 1: Esquema de un centro de transformación de interconexión AT/MT con doble juego de barras.

## 3.2 Ejemplo nº 2

### **Sustitución de un generador en servicio por un elemento de reserva en una central autónoma de producción de energía eléctrica formada por grupos electrógenos**

Estos grupos generadores necesitan un mantenimiento periódico frecuente; la central funciona con  $n - 1$  grupos, siendo el elemento enésimo el de reserva o el que está en mantenimiento.

La sustitución de un grupo en servicio por un grupo en reserva se realiza de la manera siguiente: el alternador del grupo en reserva es arrastrado hasta la velocidad de sincronismo y hasta la tensión nominal; la orden de conexión del interruptor automático se da después de verificar las condiciones de acoplamiento (tensiones y frecuencias iguales y defasaje nulo).

Con el objeto de conseguir la igualdad de todas estas magnitudes en el momento de acoplamiento y mantenerlas después de éste, el alternador y el motor térmico de arrastre están dotados de un regulador de tensión y de velocidad.

Las condiciones de acoplamiento se consiguen:

- o por la intervención de un operario que da, siguiendo las indicaciones del voltímetro y del frecuencímetro diferenciales y del sincronoscopio, las órdenes de aumento o

disminución al regulador de velocidad y las órdenes de aumento o disminución de la excitación al regulador de tensión para poder dar la orden de conexión al interruptor automático cuando las condiciones de acoplamiento son satisfactorias.

En este caso es posible utilizar un autómata llamado «acoplador». Este autómata se encarga de verificar las condiciones de acoplamiento y da la orden de conexión, efectuándose siempre de forma manual las operaciones de regulación.

- o con un «acoplador síncrono» que es un autómata especializado unido a un regulador de tensión. Este autómata da las órdenes de aumento o disminución de velocidad al motor de arrastre y ordena el cierre del interruptor automático de acoplamiento, siendo el regulador de tensión el que da las órdenes de aumento o disminución de la excitación al alternador. De esta forma el acoplamiento se realiza automáticamente.

Después del acoplamiento, el grupo que hay que desconectar se va descargando (actuación sobre el regulador de velocidad) y se desconecta de la red abriendo su interruptor automático de acoplamiento. De esta manera la sustitución se realiza sin perturbar la red de distribución y sin pérdida de carga.

## 3.3 Ejemplo nº 3

### **Conmutación automática sin corte de un SAI (sistema de alimentación ininterrumpida), sobre una red pública utilizando un contactor estático (figura 2)**

Esta situación se da con mucha frecuencia: alimentación de ordenadores, centros de proceso de datos, medida, regulación, etc.

El contactor estático es un dispositivo que permite utilizar la red como emergencia del ondulator. Hay que destacar el hecho de que no hay ningún corte de tensión, ni transitorio, si se corta (accidental o intencionadamente) la tensión del ondulator.

Para conseguir este resultado, el ondulator mantiene su tensión permanentemente en fase con la de la red. Sin embargo, la conmutación no es posible si el valor de la tensión de red no es correcto.

La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

- el ondulator, regulado en tensión, manteniéndose en fase y en frecuencia sincronizado con la red, alimenta la utilización. El conmutador estático está abierto; la red no suministra energía,

- la conmutación ondulator-red se produce:

- por parada del ondulator:

- o por defecto interno,

- o por orden voluntaria,

- por detección de sobrecarga lado utilización.

La orden de conmutación cierra siempre instantáneamente el contactor estático. En el último caso (sobrecarga) las dos fuentes funcionan un corto instante en paralelo y a continuación el ondulator se desconecta.

■ la conmutación red-ondulador se ordena voluntariamente

Después de poner en marcha el ondulator, el proceso automático es el siguiente:

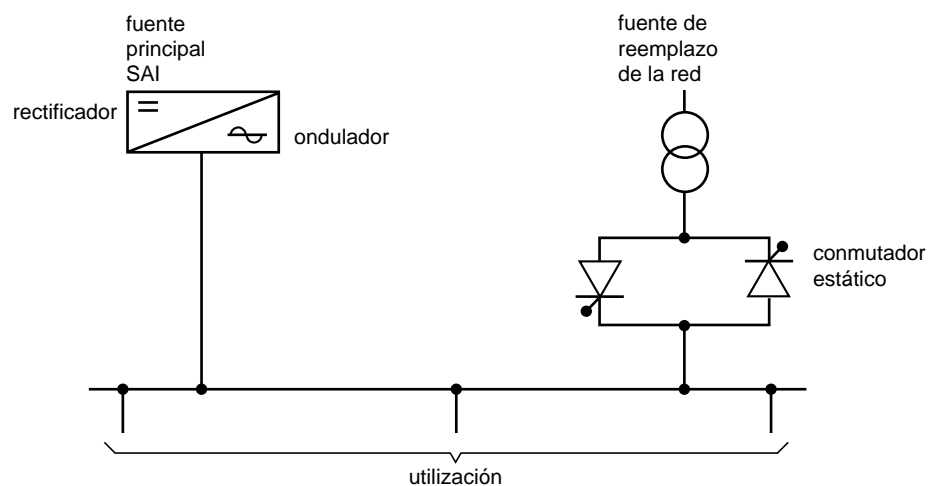
- sincronización del ondulator sobre la red,
- puesta en paralelo de la red y el ondulator,
- apertura del contactor estático,
- el ondulator queda entonces permanentemente sincronizado con la red y alimenta él solo a la carga.

#### Importancia del conmutador estático

El conmutador estático de corriente alterna permite conseguir:

■ una tensión permanente sobre la utilización, comparable en fiabilidad a la solución obtenida con dos onduladores en paralelo actuando el uno como emergencia del otro, pero a un precio menor,

■ en caso de sobrecarga en el lado de la utilización, un dispositivo ultrarrápido ordena al contactor estático conectar la red en paralelo con el ondulator. Esta disposición permite aprovechar la potencia de cortocircuito de la red para eliminar defectos aguas abajo sin tomar precauciones especiales, a parte de las normales de la selectividad.



**Fig. 2:** Esquema de un circuito alimentado por dos fuentes con conmutación automática sin corte utilizando un contactor estático.

## 4 Conmutación con corte

Este tipo de conmutación de fuentes es el más utilizado tanto en baja como en alta tensión. Su campo de utilización se extiende tanto a la industria como al sector terciario. El tiempo de

conmutación varía normalmente entre 0,5 y 30 s, lo que no excluye valores inferiores para ciertos casos especiales.

### 4.1 En baja tensión

Puesto que los responsables de la utilización de las redes BT suelen ser poco especializados, los dispositivos de conmutación deberían ser simples.

#### Aparamenta

El tipo de apartamento de maniobra a instalar depende de la frecuencia de las conmutaciones:

- para un número importante de conmutaciones: el contactor,
- para un número bajo de conmutaciones (una por semana): el interruptor automático.

#### Circuito de mando

Los circuitos de mando de los aparatos de maniobra se alimentan o mediante una fuente auxiliar segura (una batería por ejemplo) o directamente del circuito de potencia del aparato a controlar.

#### Alimentación

Generalmente, la fuente principal de alimentación es la red de distribución pública BT o una red BT privada aislada por un

transformador AT/BT, alimentado lado AT por la red de distribución pública.

La fuente de sustitución puede ser:

- una segunda red BT independiente de la primera,
- un grupo electrógeno con tiempo cero para tomar rápidamente el servicio,
- un grupo electrógeno con arranque manual o automático cuando hay corte de tensión en la fuente principal,
- un SAI,
- etc.

Estas diferentes fuentes de sustitución, en la mayor parte de los casos de potencia mucho menor que la red principal, tienen una autonomía limitada. Cuando la red segura se alimenta mediante una fuente de sustitución, es normalmente adecuado y hasta obligatorio desconectar una parte de la carga y no reaccelerar más que los motores extraordinariamente prioritarios (capítulo 2º).

### 4.2 Ejemplo (BT)

#### Esquema

El esquema más frecuente de conmutación de fuentes BT con desconexión automática de servicios no preferentes, es el de la **figura 3**.

#### Principio de funcionamiento

Puesto que las dos fuentes no pueden ponerse en paralelo, los interruptores automáticos  $J_n$  y  $J_r$  están enclavados mecánicamente: su mando eléctrico está hecho de tal manera que una orden simultánea a los dos interruptores automáticos provoca solamente el funcionamiento de uno.

Un conmutador de tres posiciones indica el modo de funcionamiento:

posición 1 = parado,

posición 2 = automático,

posición 3 = conexión voluntaria de la fuente de sustitución y desconexión del interruptor de acoplamiento.

- posición 1 = parada

Todos los circuitos de mando están desconectados y todos los interruptores abiertos.

- posición 2 = automático
  - la tensión de red normal está presente; el interruptor automático correspondiente y el de acoplamiento están cerrados,
  - para un corte de tensión superior a 0,4 s (hasta 10 s) el autómata de conmutación da las órdenes de desconexión al interruptor normal y de acoplamiento y una orden de arranque al grupo electrógeno,
  - después de recibir la información de «tensión grupo correcta» el autómata da una orden de conexión al interruptor automático de la fuente de sustitución,
  - al retorno de la tensión normal, después de una temporización de 10 a 180 s:
    - apertura del interruptor automático  $J_r$ ,
    - cierre del interruptor automático  $J_n$ ,
    - orden de parada al grupo,
    - cierre del interruptor automático  $J_c$ .

■ posición 3 = conexión voluntaria

Permite desconectar voluntariamente el interruptor de acoplamiento mientras la red de seguridad está conectada a la fuente de reemplazo.

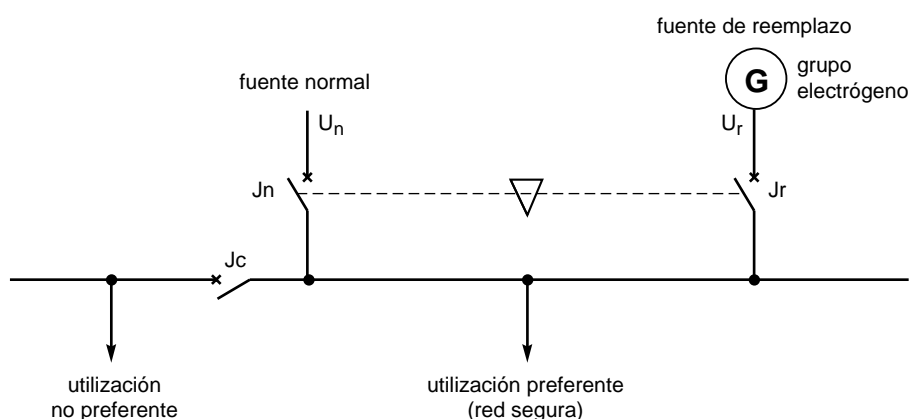
**Caso especial: reaceleración de motores BT**

Es aconsejable prever un autómata de reaceleración de motores, cuando la red de seguridad alimenta a un número importante de motores que deben reacelerar lo más

rápido posible después de un corte en la alimentación principal. Esta necesidad es frecuente; es especialmente importante en las industrias de proceso y para la seguridad de personas y de los trabajos. En efecto, al desaparecer la fuente principal y si no hay ningún tipo de artificio especial todos los contactores abren. Al volver la alimentación no queda alimentado ningún receptor controlado por los contactores.

Por el contrario, si el control y la protección de los motores se hace con interruptores automáticos, éstos reabren simultáneamente al volver la tensión. Si las bobinas de los contactores de las derivaciones motor están alimentadas por una red de corriente alterna, la utilización de relés temporizados a la desconexión (capítulo 1) permite también mantener su orden de marcha durante el corte de tensión.

En general no hay que temer la reaparición de la alimentación, puesto que las alimentaciones residuales de los motores asíncronos están en proceso de ralentización; porque, en este instante ( $t = + 500$  ms) la amplitud de estas últimas es inferior al 20% de  $U_n$ , valor tolerado por los fabricantes para una realimentación en oposición de fase. Pero la protección general (de sobreintensidad) de la red de distribución puede tener que soportar la suma de las corrientes de reenganche de los motores.



**Fig. 3.**

## 4.3 En alta tensión

Las conmutaciones de fuentes realizadas en alta tensión ponen en juego potencias importantes; deben de ofrecer garantías todavía superiores en cuanto a la seguridad de funcionamiento del conjunto del dispositivo. La conmutación en alta tensión se utiliza sobre todo cuando los receptores preferentes son numerosos o cuando no están alimentados por

cuadros de alimentación de niveles inferiores del sistema de distribución.

Las órdenes de mando de los aparatos de maniobra las generan autómatas electrónicos estándar.

Los dos ejemplos que siguen aclaran este tipo de conmutación.

## 4.4 Ejemplo nº 1 (AT)

### Dispositivo «normal emergencia»

Esto requiere un aparato de maniobra para cada entrada y un autómata de tipo RCV420 (figura 4).

### Principio

El autómata controla las operaciones. Tiene por objetivo detectar la ausencia de tensión en la fuente normal y ordenar automáticamente la conmutación de la utilización a una fuente de sustitución cuando se cumplen dos condiciones:

- presencia de tensión en la fuente de emergencia,
- y
- ausencia de defectos en la instalación.

### Funcionamiento

El autómata tiene dos entradas de alta impedancia: una «normal» conectada a un divisor capacitativo conectado entre una fase de la red normal y tierra y la otra «emergencia» conectada de la misma manera a una fase de la red de sustitución o de emergencia.

Cuando hay un corte de la tensión de entrada «normal» actúa un temporizador  $T_1$  (0,1 s a 1 s) que al acabar el ciclo da un impulso de apertura al aparato de maniobra de la red normal y un impulso de cierre al aparato de maniobra de la fuente de reemplazo (emergencia).

Si no hay tensión en la fuente de sustitución (emergencia) el temporizador  $T_1$  queda bloqueado por la entrada «emergencia» y la conmutación queda bloqueada.

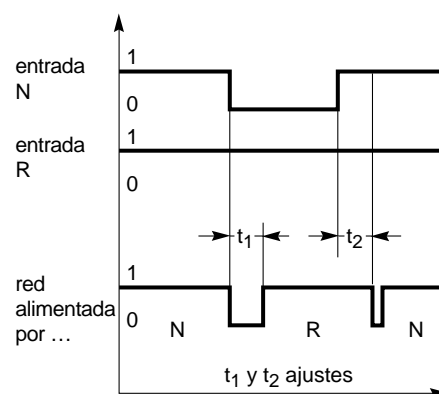
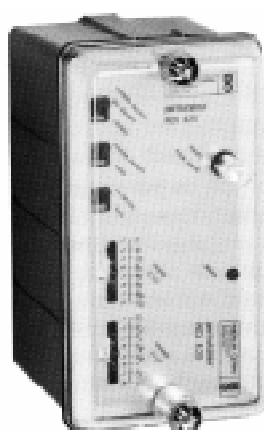


Fig. 4: Autómata «normal-emergencia» RCV420 y su secuencia de funcionamiento (Merlin Gerin).

Hay que indicar que el automático RCV420 tiene una segunda entrada «emergencia» que se presenta como un bucle en el que el contacto de un relé de tensión exterior puede colocarse para impedir la conmutación cuando está abierto. Si la tensión vuelve a la red «normal» un segundo temporizador T2 (10 a 100 s) entra en acción y al final de su temporización, da una orden transitoria de

apertura al aparato de maniobra de la red «emergencia» y una orden de cierre al aparato de red «normal».

Por lo que se refiere a la detección de un defecto que afecte a la instalación, debe quedar asegurada por un aparato exterior que tenga un contacto de cierre que actuando en la entrada «defecto» del automático impida la conmutación.

## 4.5 Ejemplo nº 2 (AT)

### Dispositivo «doble derivación»

Este dispositivo se utiliza mucho en Francia para la alimentación en doble derivación de centros de transformación MT/BT conectados directamente a la red de distribución pública MT. Tienen:

- un aparato de maniobra para la entrada (interruptor AT),
- un automático electrónico del tipo RVH (figura 5).

### Principio

La alimentación normal de un montaje en doble derivación (figura 6) puede quedar asegurada por una u otra de las entradas a escoger; el sistema es perfectamente reversible.

La detección de presencia o falta de tensión es idéntica que en el dispositivo «normal-emergencia».

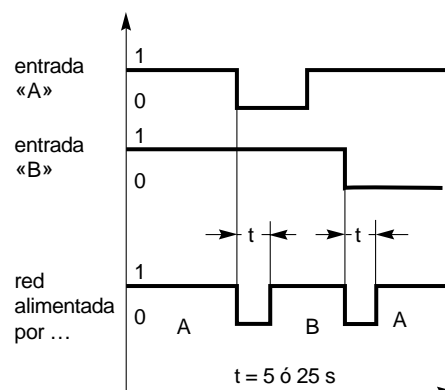


Fig. 5: Automata «doble derivación» RVH215 y su secuencia de funcionamiento (Merlin Gerin).

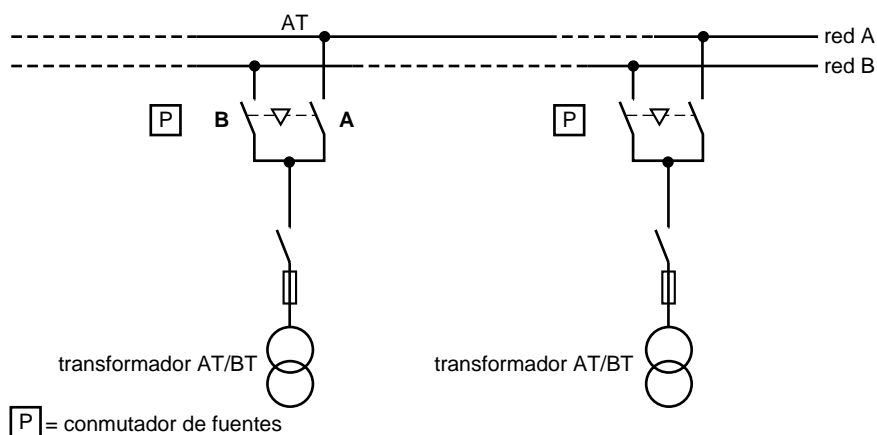


Fig. 6: Esquema de una distribución en doble derivación.



La detección de los defectos fase-tierra o fase-fase en la red de utilización queda asegurada por el autómata que recibe la información de los toroides (3 toros por entrada).

En funcionamiento normal, toda la conmutación queda sujeta a ciertas condiciones eléctricas y se efectúa a continuación de maniobras realizadas tanto manual como automáticamente.

El detalle de estas maniobras se da a continuación.

■ conmutación manual

El usuario provoca manualmente la apertura del interruptor **A** y después el cierre del interruptor **B**, después de haber verificado que se cumplen las siguientes condiciones:

- ausencia de tensión en la derivación **A**,
- presencia de tensión en la derivación **B**,
- ausencia de defecto en el centro de transformación (red aguas abajo).

Las condiciones para volver a la alimentación normal son:

- verificación de la ausencia de defecto en el centro de transformación,

- apertura manual del interruptor **B**,
- cierre manual del interruptor **A**,
- conmutación automática

El autómata provoca el cierre del interruptor **A** después de cerrar el interruptor **B** si se cumplen las siguientes condiciones:

- ausencia de tensión en la derivación **A**,
- presencia de tensión en la derivación **B**,
- ausencia de defecto en el centro de transformación,

□ mantenimiento de estas informaciones durante 5 a 30 s consecutivamente. Esta duración de 30 s se utiliza sobre todo para que puedan llegar al final de su ciclo los reenganchadores automáticos usados en las redes de líneas aéreas.

El retorno de la tensión en la derivación **A** no provoca la conmutación de la derivación **B** hacia **A**, pero esta conmutación puede ser actuada manualmente por el usuario.

## 5 Conmutación pseudosíncrona

### 5.1 Principio

La duración de estas conmutaciones de fuentes suele ser del orden de 150 ms.

El esquema más frecuentemente recomendado es el de la **figura 7**.

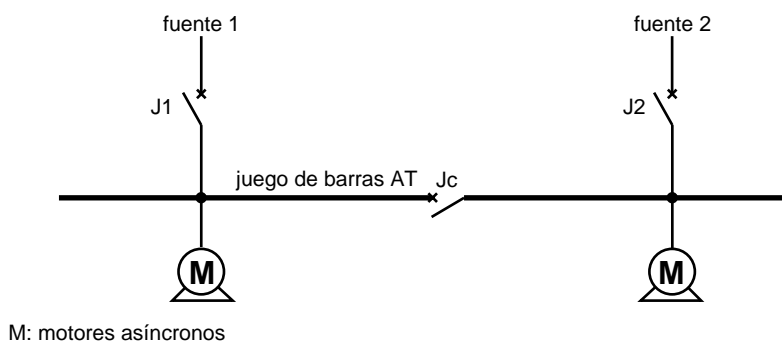
En condiciones normales de explotación, las dos semibarras se alimentan respectivamente de las dos entradas, estando abierto el interruptor de acoplamiento.

El fallo de una de las dos fuentes provoca la entrada del dispositivo de conmutación rápida

que, con ciertas condiciones, da dos órdenes diferentes:

- una de cierre al interruptor automático de acoplamiento,
- una de apertura al interruptor automático de la fuente que ha fallado.

El semi-juego de barras correspondiente a la fuente con defecto queda por tanto alimentado.



**Fig. 7.**

### 5.2 Campo de utilización

El caso típico es el de instalaciones conectadas a dos fuentes AT que tienen un gran número de motores asíncronos. Estos últimos, teniendo en cuenta las exigencias de las máquinas arrastradas por estos motores, no deben quedar afectados ni por una parada momentánea ni por una ralentización importante durante el período de transferencia de la fuente principal hacia la fuente de reemplazo.

Esta aplicación se ve especialmente en las industrias químicas y petroleras y generalizando, en las industrias cuyos procesos de fabricación no toleran ninguna parada temporal de ningún elemento de su cadena; también se aplica en las alimentaciones auxiliares de las centrales térmicas.

5.3 Dificultades

La dificultad de este tipo de conmutación reside principalmente en el hecho de que un motor asíncrono trifásico, proporciona en sus bornes, durante el proceso de ralentización cuando se ha cortado la red, una tensión trifásica alterna de frecuencia y amplitud decrecientes inducida por el flujo remanente del motor.

La amplitud máxima de esta tensión residual disminuye de una manera exponencial en función del tiempo con una constante de tiempo que depende de:

- la potencia del motor,
- el régimen de conexiones estatóricas:
- estator abierto, caso de un corte de la alimentación trifásica,
- estator en cortocircuito, caso de un defecto trifásico en la alimentación.

Por el contrario, la tensión nominal de alimentación del motor no modifica mucho más el valor de la constante de tiempo.

La tabla de la **figura 8** da valores aproximativos de las constantes de tiempo de extinción del flujo residual para motores asíncronos de caja media.

La realimentación rápida de motores en proceso de ralentización, sin precauciones

especiales, puede llevar a un acoplamiento en oposición de fases entre la fuente de reemplazo y la red de utilización cuya tensión ha sido mantenida por los motores asíncronos.

Solamente los motores AT aislados con resina epoxy pueden permitir una realimentación en oposición de fase. Sin embargo, hay que indicar que en este caso la corriente de pico es igual aproximadamente a 3 veces la corriente de arranque del motor, o sea, de 15 a 20  $I_n$ . Esto supone que el conjunto de la red de distribución se encuentra en situación perturbada altamente peligrosa:

- caída de tensión y esfuerzos electrodinámicos muy importantes y repetitivos,
- disparo intempestivo de los interruptores automáticos de protección contra cortocircuitos francos,
- etc.

Por todos estos motivos, no es posible realimentar de una manera ultrarrápida los motores sin comparación del defasaje de la tensión de la fuente con la tensión residual. Por el contrario, con un dispositivo que compare el defasaje de las tensiones es posible conmutar de una manera ultrarrápida las fuentes. En el anexo puede verse una descripción resumida de un comparador de fases.

| potencia del motor                            | 10 kW  | 100 kW | 200 kW | 400 kW | 800 kW |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| constante de tiempo, estator en cortocircuito | 0,02 s | 0,03 s | 0,04 s | 0,06 s | 0,1 s  |
| constante de tiempo, estator abierto          | 0,3 s  | 0,4 s  | 0,6 s  | 1,1 s  | 1,5 s  |

**Fig. 8:** Constantes de tiempo de extinción del flujo residual para motores asíncronos con caja mediana.

5.4 Conmutación ultrarrápida con control de defasaje

Las maniobras posibles de una conmutación ultrarrápida están indicadas en los tres diagramas de la **figura 9**.

**Secuencia A:**

La orden de conmutación activa la apertura de un interruptor automático separador J1 ó J2; al final de la apertura, el comparador de fase actúa y suministra, si las condiciones de conmutación son favorables, una orden de enganche al interruptor automático de acoplamiento Jc.

**Secuencia B:**

La orden de conmutación ordena la apertura de un interruptor automático separador J1 ó J2 y la conexión del comparador de fases. Cuando las condiciones de conmutación son favorables, el comparador de fases da una orden de conexión al interruptor automático de acoplamiento Jc.

**Secuencia C:**

La orden de conmutación activa la actuación del comparador de fases. Cuando las

condiciones de conmutación son favorables, el comparador da simultáneamente una orden de conexión al interruptor de acoplamiento Jc y una orden de desconexión a uno de los interruptores separadores J1 ó J2.

#### Notas:

a) La secuencia C se prefiere normalmente porque consigue una duración de conmutación más corta.

b) La elaboración de la orden de conmutación puede implicar ciertas dificultades como son:

- detección de la ausencia real de tensión de alimentación normal en presencia de tensión residual,
- rapidez de actuación,
- etc. ...

#### Condiciones que debe satisfacer una red para realizar un acoplamiento rápido

La primera condición que debe de satisfacerse en el momento de realizarse efectivamente el acoplamiento se expresa por la inecuación:

$$|\overline{U_s} - \overline{U_m}| < |\overline{U_n}| + |\overline{U_r}| \quad (\text{figura 10}).$$

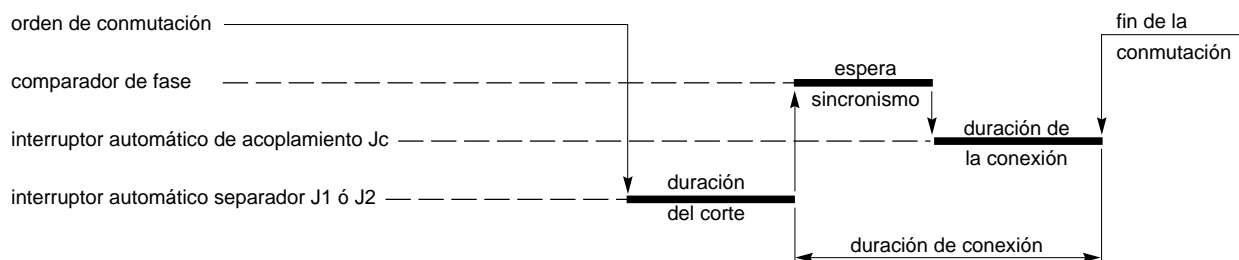
En general los motores pueden soportar un acoplamiento en oposición de fase, después de la desconexión de la fuente primera, cuando la medida de la tensión residual en sus bornes no sobrepasa el valor  $U_r$  igual a 25% de  $U_n$ .

Esta primera condición, aunque necesaria, no es suficiente para que funcione rápidamente el reenganche «al vuelo» de los motores que todavía están girando. En efecto, aunque el acoplamiento se haga controladamente y cumpla la inecuación citada, todos los motores tienen una velocidad inferior a su velocidad nominal y absorben por tanto una intensidad superior a su corriente nominal.

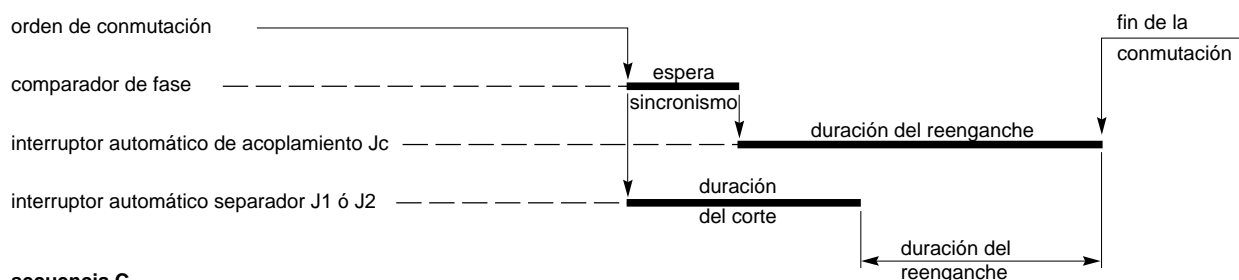
Para favorecer el éxito del reenganche «al vuelo» de los motores durante una conmutación rápida, es necesario que:

- la velocidad que tengan los motores, en el instante de volver a alimentarlos, sea lo más elevada posible. Esto depende de:
  - la duración del corte de alimentación,
  - la inercia de las masas giratorias,
  - el par resistente durante el reenganche,

#### secuencia A



#### secuencia B



#### secuencia C

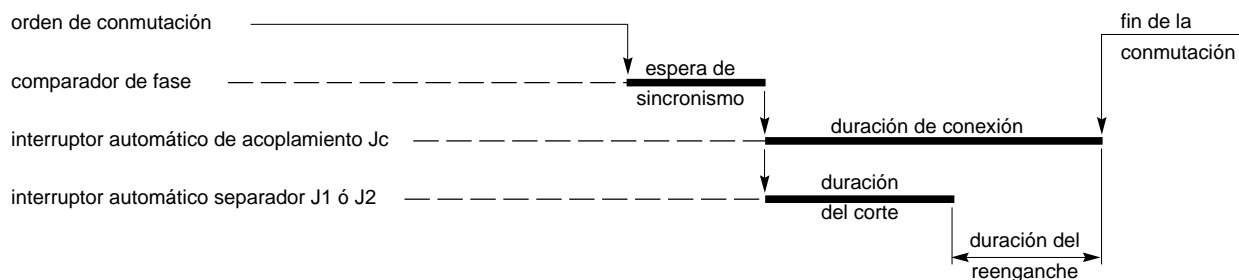
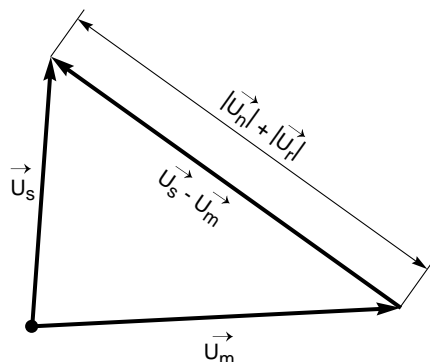


Fig. 9.



$\overline{U_s}$  = tensión de la fuente que realimenta a los motores (fuente de sustitución).

$U_m$  = tensión en bornes de los motores después de la desconexión de su primera fuente (tensión residual).

$\overline{U_n}$  = tensión nominal del motor.

$\overline{U_r}$  = tensión residual admisible del motor.

$$|\overline{U_s} - \overline{U_m}| < |\overline{U_n}| + |\overline{U_r}|$$

**Fig. 10:** Magnitudes eléctricas e inecuación que condicionan el funcionamiento de un acoplamiento rápido.

■ el valor de la caída de tensión de la red de alimentación ha de ser pequeña. Esto depende de:

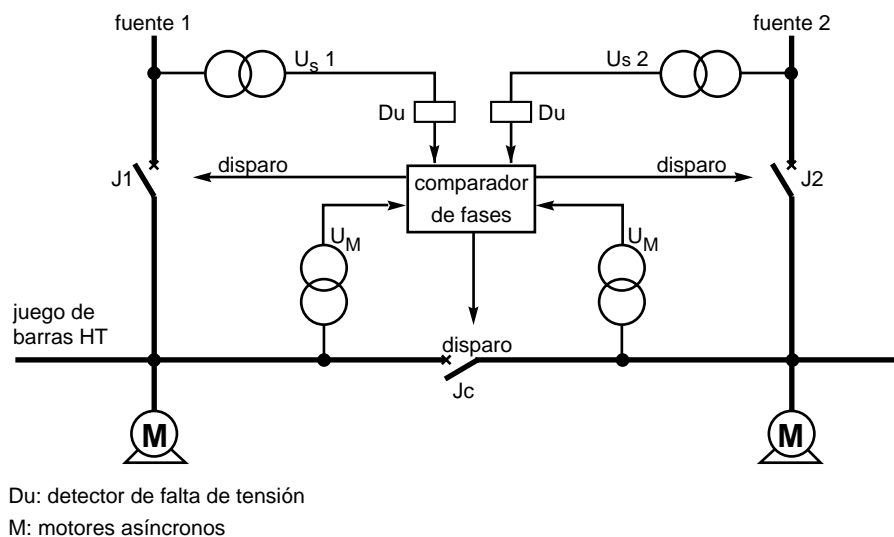
- la impedancia de las canalizaciones eléctricas,
- la intensidad absorbida por los motores,
- el número de motores a rearmar,
- el valor del par motor durante el tiempo de rearmar ha de ser superior (cuanto más mejor) al par resistente.

El par motor es función de:

- el valor nominal del par motor con tensión nominal,
- la situación del par en el margen de velocidad comprendido entre la velocidad en la que se efectúa el arranque y la velocidad nominal,
- la tensión aplicada a los bornes del motor.

Hay que tener presente que si el deslizamiento de los motores es importante en el momento de la realimentación, durante todo el tiempo de rearmar la intensidad absorbida por los motores es constante y próxima, en una primera aproximación, a la intensidad de arranque (la curva de intensidad absorbida por un motor asíncrono en función de su velocidad de rotación es relativamente plana).

Esquema del sistema de conmutación rápida en la **figura 11**.



**Fig. 11.**

## 6 Cuadro resumen

|                                   | tipo de conmutación   |  |   |  |
|-----------------------------------|---|--|---|--|
|                                   | síncrona  | con corte BT   | AT  | pseudosíncrona   |
| <b>ejemplos de aplicación</b>     | - conmutación del juego de barras,<br>- sustitución de un generador por otro,<br>- conmutación de un SAI sobre la red | En la industria y sector servicios:<br>- alimentación de circuitos auxiliares de un centro de transformación,<br>- alimentación de almacenes de grandes superficies,<br>- etc. | - alimentación con 2 entradas AT conmutables<br>- alimentación con una fuente normal y una de sustitución | - «rearranque al vuelo» de motores asíncronos  |
| <b>duración de la conmutación</b> | nula  | 0,5 a 10 s   | 1, a 30 s   | 0,06 a 0,3 s   |
| <b>dispositivos utilizados</b>    | - acoplador<br>- sincroacoplador<br>- conjunto SAI con contactor estático (EPS2000 y 5000).                           | - inversor de fuente automático con interruptor automático (Compact y Masterpact).   | - celda con conmutador (equipado con VM6 DDM y NSM).  | - interruptor automático AT rápido con comparador de fase                              |
| <b>observaciones</b>              | la conmutación debe hacerse con ausencia total de tensión en la fuente principal                                      |  |   | Dificultades de producción de la orden de conmutación (presencia de tensión residual). |

## 7 Conclusión

Después de haber descrito las condiciones de funcionamiento que se han de cumplir y las exigencias técnicas a tener en cuenta, se impone poner en práctica la conclusión siguiente.

Antes de proceder a la elección de un dispositivo de conmutación, es aconsejable y hasta necesario conocer:

- la calidad de las fuentes, la principal y la de reemplazo:

- ☐ amplitud, duración y periodicidad de las bajadas de tensión,

- ☐ duración y periodicidad de los cortes de tensión, (presencia o no de un automatismo de rearranque en servicio aguas arriba, tal como un interruptor de reenganche rápido y lento),

- ☐ potencia disponible,

- las exigencias de los receptores en cuanto a la continuidad del suministro:

- ☐ no toleran ningún corte de la alimentación,

- ☐ toleran pequeños cortes de tensión (de 0,3 s, 1 s, 30 s, etc.).

## Anexo: descripción resumida de un comparador de fases

La medida del desfase entre dos fuentes se efectúa por la diferencia de dos vectores de tensión  $U_s$  y  $U_m$ , o sea:

$$\overline{U_s} - \overline{U_m} = \overline{U},$$

siendo

$$\overline{U_s} = U_s \cdot \sin \omega_1 t \text{ (tensión de la fuente de}$$

sustitución),

$$\overline{U_m} = U_m \cdot \sin \omega_2 t \text{ (tensión residual).}$$

**Nota:** el escribir  $|U_s| = |U_m| = |U_a|$  permite

simplificar los cálculos.

Utilizando la fórmula trigonométrica

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

es posible escribir:

$$\overline{U_s} - \overline{U_m} = 2 \cdot U_a \cdot \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t = \overline{U}.$$

La envolvente de la tensión de pulsación

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \text{ no está afectada por la pulsación}$$

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \text{ que expresa la evolución en el}$$

tiempo del defasaje entre  $\overline{U_s}$  y  $\overline{U_m}$  (figura 12).

La tensión  $\overline{U_s} - \overline{U_m}$  se rectifica y después se

filtra. Los valores instantáneos de la tensión de la curva envolvente o de la tensión de pulsación así obtenida permiten determinar el desfase entre las dos tensiones senoidales a comparar: el valor instantáneo mínimo corresponde a un desfase nulo.

Cuando la tensión de la curva envolvente desciende por debajo del umbral de ajuste, el comparador proporciona una orden de conmutación hasta que la tensión de la curva envolvente vuelve a rebasar el valor umbral.

Si la diferencia entre las dos frecuencias es importante, el comparador impide la conmutación porque, en este caso, no son adecuadas las condiciones de conmutación ultrarrápida. Por el contrario, si la tensión residual es inferior a un valor predeterminado (0,20 a 0,60  $U_n$ , por ejemplo) la conmutación puede hacerse a pesar de que exista una diferencia importante de frecuencias.

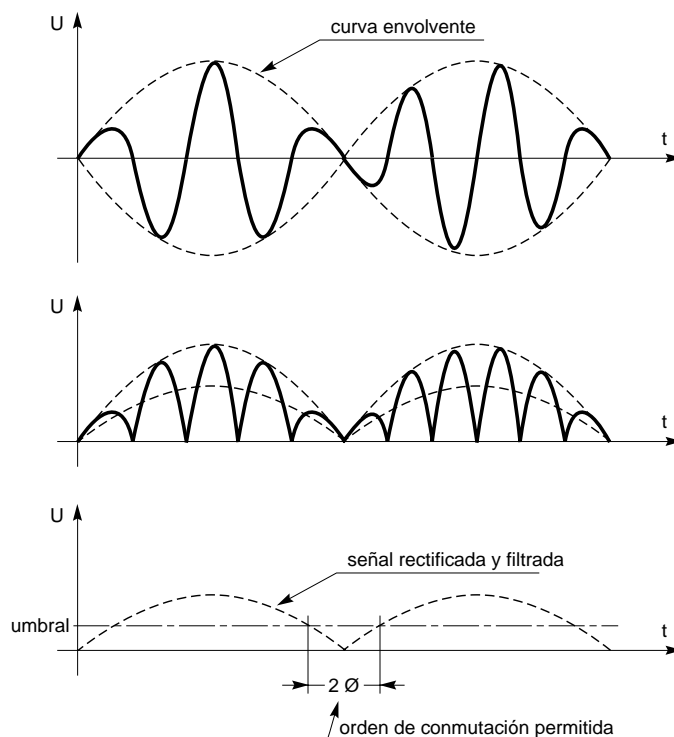


Fig. 12.