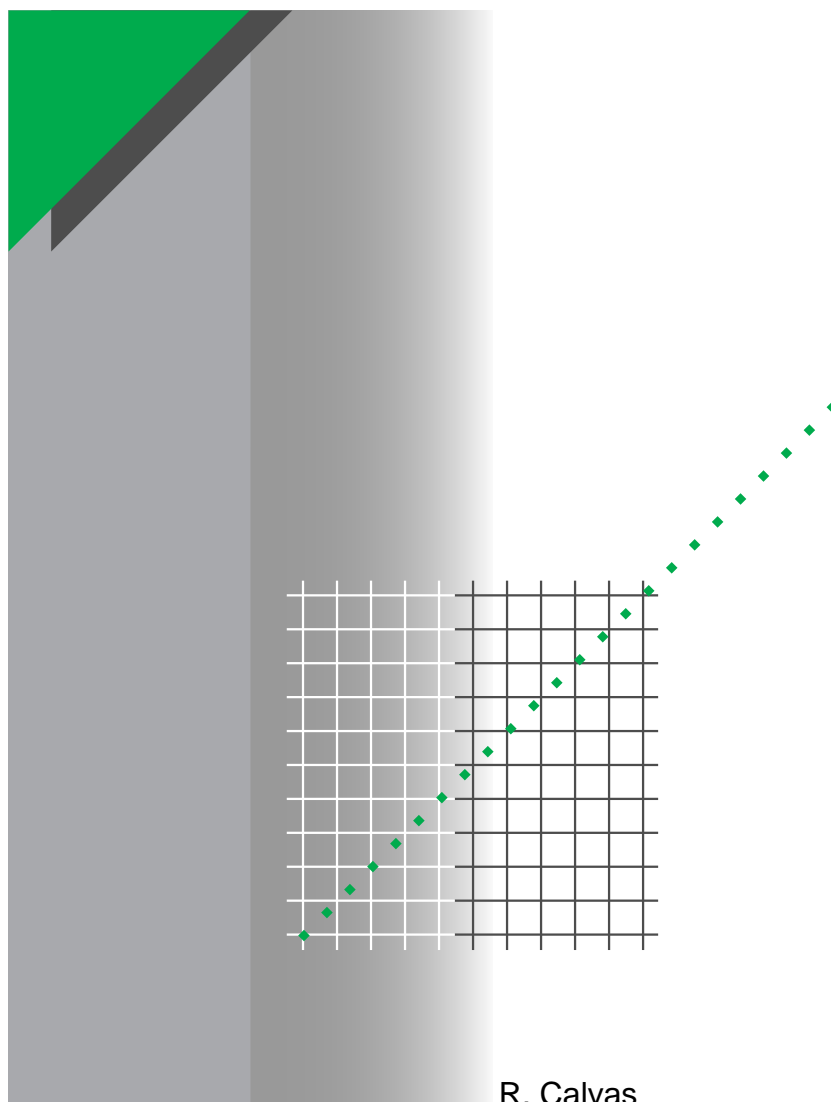


Cuaderno Técnico nº 114

Los dispositivos diferenciales de corriente residual en BT



R. Calvas

Merlin Gerin

Eunea Merlin Gerin


Modicon

Telemecanique

Mesa

Himel

Square D

Schneider
 **Electric**

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» 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 114 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 114

Los dispositivos diferenciales de corriente residual en BT



Roland CALVAS

Ingeniero ENSERG 1964 (Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et Radioélectricité de Grenoble) y diplomado en el Institut d'Administration des Entreprises, entró en Merlin Gerin en 1966.

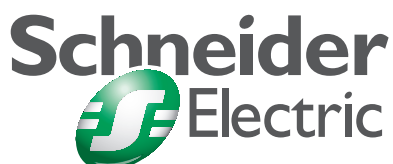
Durante su largo recorrido profesional ha sido responsable comercial, después responsable de marketing del sector de protección de personas contra riesgos eléctricos.

Actualmente es el responsable de la comunicación técnica en el Grupo Schneider.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: febrero 1998

Versión española: febrero 2001



Aislamiento:

Disposición que impide la transmisión de una tensión (y por tanto el paso de una corriente) entre un elemento normalmente bajo tensión y una masa o tierra.

Conductores activos:

Se consideran como conductores activos en toda instalación los destinados normalmente a la transmisión de la energía eléctrica. Esta consideración se aplica a los conductores de fase y al conductor neutro en corriente alterna y a los conductores polares y al compensador en corriente continua. Se exceptúa el conductor CPN cuya función es la de «conductor de protección». (CP) es prioritario respecto a la función «neutro».

Conductor de protección (CP o CPN):

Conductores que, según las prescripciones conectan las masas de los equipos eléctricos y ciertos elementos conductores a la toma de tierra.

Contacto directo:

Contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos (conductores y piezas normalmente con tensión).

Contacto indirecto:

Contacto de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión (generalmente después de un defecto de aislamiento).

Corriente de defecto o de falta, I_d :

Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

Corriente de fuga:

Corriente que en ausencia de un defecto de aislamiento, retorna a la fuente a través de la tierra o del conductor de protección.

Corriente diferencial residual:

Valor eficaz de la suma vectorial de las corrientes que recorren todos los conductores activos de un circuito en un punto determinado de la instalación eléctrica.

Corriente diferencial residual de funcionamiento I_f :

Valor de la corriente diferencial residual que provoca el funcionamiento de un dispositivo diferencial.

Según las normas de construcción a 20° C y para el umbral fijo de $I_{\Delta n}$, los dispositivos diferenciales en BT deben respetar:

$$\frac{I_{\Delta n}}{2} < I_f < I_{\Delta n}$$

En AT los relés «homopolares» tienen una corriente de funcionamiento igual al umbral indicado en amperios.

Defecto de aislamiento:

Ruptura del aislamiento que provoca una corriente de defecto a tierra o una corriente de cortocircuito a través del conductor de protección.

Dispositivo Diferencial Residual (DDR):

Aparato en el que la magnitud que influye en su funcionamiento es la corriente diferencial residual. Normalmente forma parte o está asociado a un aparato de corte.

Electrización:

Aplicación de una tensión entre dos partes del cuerpo de un ser vivo.

Electrocución:

Electrización que provoca la muerte.

Esquema de Conexión a Tierra (ECT):

Todavía llamado «régimen de neutro». La norma CEI 60364 establece tres esquemas principales de conexión a tierra que definen las posibles conexiones del neutro de la fuente y de las masas a la tierra o al neutro. Para cada uno de estos esquemas hay que definir las protecciones eléctricas adecuadas.

Fibrilación cardíaca:

Es una disfunción del ritmo cardíaco que corresponde a la pérdida de sincronismo en su actividad (diástole y sístole). Puede estar causada por la excitación periódica que provoca el paso de una corriente alterna a través del cuerpo. Su última consecuencia es la parada de la circulación sanguínea.

Masa:

Parte conductora susceptible de ser tocada y normalmente aislada de las partes activas pero que accidentalmente puede estar sometida a una tensión peligrosa a consecuencia de un defecto de aislamiento.

Régimen de neutro:

Ver esquema de conexión a tierra.

Tensión límite de seguridad (U_L):

Tensión U_L por debajo de la cual no hay riesgo de electrocución.

Los dispositivos diferenciales de corriente residual en BT

El dispositivo diferencial está reconocido actualmente en todo el mundo como un medio eficaz para asegurar, en BT, la protección de personas contra los riesgos eléctricos debidos a contactos directos o indirectos.

Su perfecta elección y utilización requieren un buen conocimiento de las instalaciones eléctricas, especialmente de los esquemas de conexión a tierra, de las tecnologías que se utilizan y de sus posibilidades.

En este Cuaderno Técnico se abordan todos estos conocimientos enriquecidos con las respuestas de los servicios técnicos de Schneider a las múltiples cuestiones que se les plantean.

| | | | |
|----------|--|--|--------------|
| 1 | Introducción | 1.1 Campo de aplicación de los DDR | p. 6 |
| | | 1.2 El dispositivo diferencial de corriente residual y la protección diferencial | p. 6 |
| | | 1.3 Los DDR, aparatos de protección útiles | p. 7 |
| 2 | Los efectos fisiopatológicos de la corriente eléctrica en el organismo humano | 2.1 Efectos en función de la intensidad de corriente | p. 8 |
| | | 2.2 Efectos en función del tiempo de exposición | p. 8 |
| | | 2.3 Efectos en función de la frecuencia | p. 11 |
| 3 | Las protecciones contra los defectos de aislamiento | 3.1 Normas de instalación | p. 12 |
| | | 3.2 El riesgo del contacto directo | p. 13 |
| | | 3.3 Protección contra incendios | p. 13 |
| | | 3.4 Esquema «TT» | p. 13 |
| | | 3.5 Esquema «TN» | p. 14 |
| | | 3.6 Esquema «IT» | p. 15 |
| 4 | Principio de funcionamiento y descripción de los DDR | 4.1 Principio de funcionamiento | p. 16 |
| | | 4.2 Captadores | p. 16 |
| | | 4.3 Relés de medida y actuadores | p. 19 |
| | | 4.4 Normas de fabricación de los productos | p. 21 |
| | | 4.5 Distintos tipos de aparatos | p. 23 |
| 5 | Mejor utilizar los DDR | 5.1 La CEM: obligaciones de los fabricantes e implicaciones de los instaladores | p. 24 |
| | | 5.2 Una necesidad: la selectividad | p. 25 |
| | | 5.3 Evitar las dificultades conocidas | p. 28 |
| | | 5.4 DDR para redes mixtas y de corriente continua | p. 30 |
| 6 | Conclusión | | p. 34 |
| 7 | Bibliografía | | p. 35 |

1 Introducción

1.1 Campo de aplicación de los DDR

En las instalaciones eléctricas los contactos directos e indirectos van siempre asociados a una corriente de defecto que no vuelve a la fuente por los conductores activos. Estos contactos representan un peligro para las personas y para los bienes (Cuadernos Técnicos nºs 172 y 173).

Por esto los DDR «Dispositivos Diferenciales de corriente Residual» cuya función principal

es detectar precisamente estas corrientes diferenciales residuales son muy útiles.

Además los DDR supervisan el aislamiento de los cables y de los receptores eléctricos. De ahí su uso frecuente para señalar un bajo aislamiento reduciendo los efectos perniciosos de la corriente de defecto que le sigue.

1.2 El dispositivo diferencial de corriente residual y la protección diferencial

No hay que confundir estos dos conceptos.

Un «dispositivo diferencial de corriente residual» (DDR), es un dispositivo de protección asociado a un captador toroidal que abarca los conductores activos. Su función es la detección de una diferencia de corriente o mejor dicho, de una corriente residual (**figura 1**).

La existencia de una corriente diferencial residual es indicativa de un defecto de aislamiento entre un conductor activo y una masa o tierra. Esta corriente toma un camino anormal, generalmente la tierra, para volver a la fuente.

El DDR va normalmente asociado a un aparato de corte (interruptor, interruptor

automático, contactor) para realizar automáticamente la desconexión de la tensión del circuito con defecto.

Una «protección diferencial» implica uno o varios dispositivos de medida cuya función es detectar una diferencia entre la corriente de entrada y la corriente de salida de una parte de la instalación: línea, cable, transformador o máquina (generador, motor...).

Esta protección se emplea sobre todo en media y alta tensión. Hay diferenciales de tierra (de corriente homopolar) para la protección contra defectos de aislamiento (**figura 2**) y diferenciales de corriente para la protección contra defectos entre fases (**figura 3**).

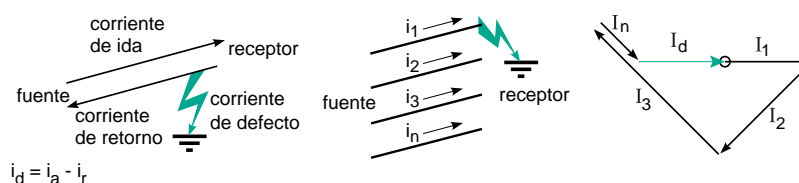


Fig. 1: Una fuga de corriente provoca una corriente diferencial de defecto i_d .

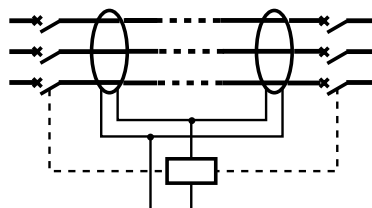


Fig. 2: Protección diferencial a tierra.

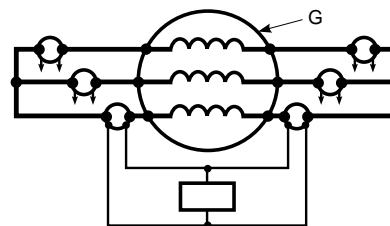


Fig. 3: Protección diferencial de corriente.

1.3 Los DDR, aparatos de protección útiles

El esquema de conexión a tierra –ECT– previsto es el primer factor que influye en la elección y empleo de los DDR para una instalación.

- En el ECT TT (neutro a tierra) la protección de personas contra los contactos indirectos se basa en el empleo de los DDR.

- En el ECT IT y TN los DDR de media y baja sensibilidad (MS y BS) se utilizan:

- para limitar el riesgo de incendio,
- para evitar los efectos destructivos de una gran corriente de defecto,
- para la protección de las personas contra los contactos indirectos (salidas de gran longitud).

- Con todos los ECT, los DDR de alta sensibilidad (AS) son una protección complementaria contra los contactos directos. Además, son obligatorios en la distribución final en muchos países.

Su especial interés se ha visto confirmado en estos últimos años por la bajada sustancial del número de personas electrocutadas. El resultado de una encuesta realizada por la CEI en Japón en agosto de 1982 demostró ya entonces la efectividad de estos dispositivos (**figura 4**).

«El interruptor automático diferencial está generalmente reconocido (en todo el mundo industrial) como el mejor y más fiable de los dispositivos de protección que se hayan desarrollado como medida de protección contra los contactos indirectos en el campo de la BT».

Estas palabras fueron pronunciadas por el profesor C.F. DALZIEL (Berkeley-USA) uno de los pioneros del estudio de los efectos de la corriente eléctrica en el hombre en el 5º coloquio internacional de la AISS (Lucerne 1978).

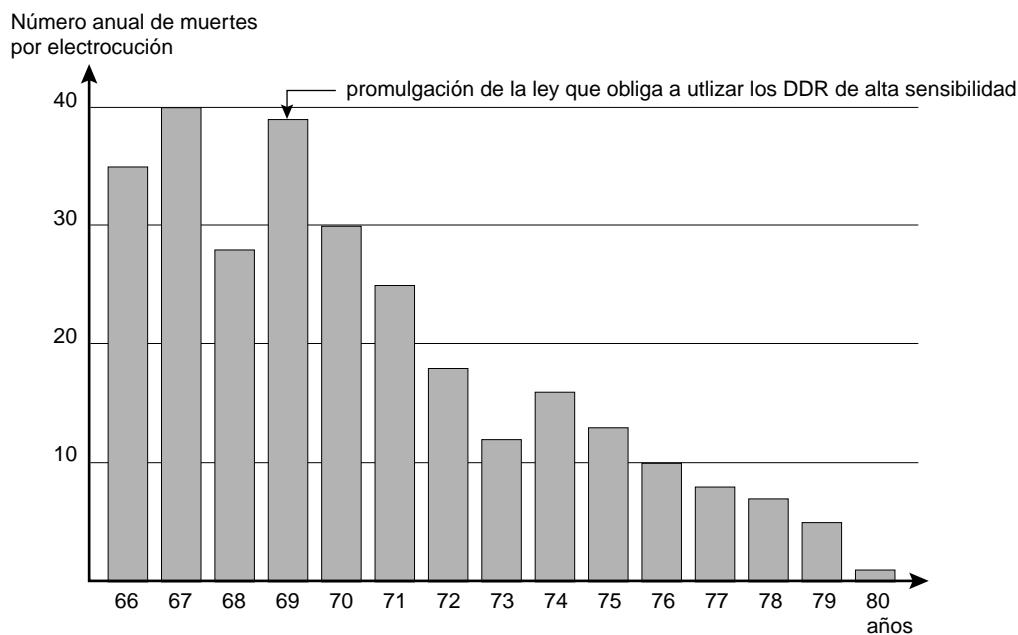


Fig. 4: Gráfica que indica la evolución del número de muertes por electrocución debidas a la utilización de herramientas portátiles en las empresas japonesas. La disminución empieza en 1970, año siguiente al de la promulgación de la ley que obligaba al uso de DDR de alta sensibilidad.

2 Los efectos fisiopatológicos de la corriente eléctrica en el organismo humano

Los efectos fisiopatológicos de la corriente eléctrica en el organismo humano (tetanización, quemaduras externas e internas, fibrilación ventricular y parada cardíaca) dependen de diversos factores: de las características fisiológicas del individuo humano concreto, del entorno (húmedo o seco, por ejemplo) y también de las características de la corriente que atraviesa el cuerpo.

Puesto que la misión principal de los DDR es la protección de personas, es evidente que para utilizar e instalar adecuadamente estos

aparatos es necesario conocer los umbrales de sensibilidad de los seres humanos y los posibles riesgos.

El Comité Electrotécnico Internacional (CEI) estudió el problema con el fin de unificar a nivel mundial los diferentes puntos de vista que reflejaban y hasta defendían frecuentemente prácticas, costumbres y normas nacionales. Muchos estudiosos han aportado sus conocimientos a esta empresa y han contribuido a clarificar el problema (Dalziel, Kisslev, Osypka, Biegelmeier, Lee, Koeppen, Tolazzi, etc.).

2.1 Efectos en función de la intensidad de corriente

Se ha comprobado que los efectos de la corriente eléctrica que atraviesa el organismo

humano dependen de la frecuencia y de la intensidad de la corriente (**figura 5**).

| Efectos (para $t < 10$ s) | Intensidad de la corriente (mA) | | |
|---|---------------------------------|----------|--------|
| | continua | 50/60 Hz | 10 kHz |
| Ligero cosquilleo, umbral de percepción | 3,5 | 0,5 | 8 |
| Choque molesto, pero sin perder el control muscular | 41 | 6 | 37 |
| Umbral de no poder soltar | 51 | 10 | 50 |
| Gran dificultad respiratoria | 60 | 15 | 61 |
| Umbral de parálisis respiratoria | - | 30 | - |

Fig. 5: Efectos de las bajas intensidades de corriente eléctrica sobre los seres humanos

2.2 Efectos en función del tiempo de exposición

Los riesgos de agarrotamiento muscular, de parada respiratoria o de fibrilación cardíaca irreversible (ver terminología) aumentan proporcionalmente con el tiempo de exposición del cuerpo humano a la corriente eléctrica (**figura 6**).

En el ábaco de esta figura hay que destacar sobre todo las zonas 3 y 4 en las que el peligro es real.

■ Zona 3 (situada entre las curvas **b** y **c1**)

Para las personas que están en esta situación no hay ningún peligro para el organismo. Pero hay una probabilidad de contracción muscular, de dificultades respiratorias y de trastornos reversibles por la formación de impulsos que pueden afectar al corazón. Todos estos fenómenos aumentan con el valor de la intensidad de la corriente y con el tiempo.

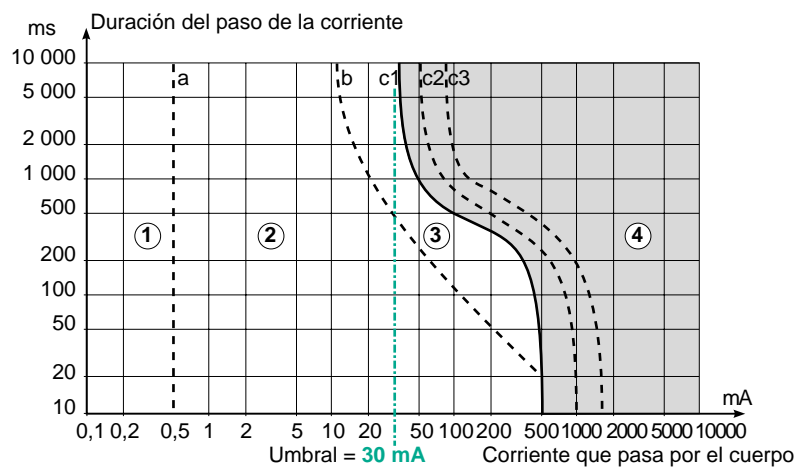


Fig. 6: Duración del paso de la corriente por el cuerpo humano en función de la intensidad de esta corriente. En este ábaco, los efectos de la corriente alterna (de 15 a 100 Hz) se han dividido en cuatro zonas (CEI 60497-1).

| Tensión de contacto presunta (V) | Tiempo máximo de corte del dispositivo de protección (s) | |
|---|--|--------------------|
| | corriente alterna | corriente continua |
| ■ Locales o emplazamientos secos o húmedos: $U_L \leq 50$ V | | |
| < 50 | 5 | 5 |
| 50 | 5 | 5 |
| 75 | 0,60 | 5 |
| 90 | 0,45 | 5 |
| 120 | 0,34 | 5 |
| 150 | 0,27 | 1 |
| 220 | 0,17 | 0,40 |
| 280 | 0,12 | 0,30 |
| 350 | 0,08 | 0,20 |
| 500 | 0,04 | 0,10 |
| ■ Locales o emplazamientos húmedos: $U_L \leq 25$ V | | |
| 25 | 5 | 5 |
| 50 | 0,48 | 5 |
| 75 | 0,30 | 2 |
| 90 | 0,25 | 0,80 |
| 110 | 0,18 | 0,50 |
| 150 | 0,10 | 0,25 |
| 220 | 0,05 | 0,06 |
| 280 | 0,02 | 0,02 |

Fig. 7: Duración máxima de mantenimiento de la tensión de contacto según la norma CEI 3654.

■ **Zona 4** (situada a la derecha de la curva **c1**)

Además de los efectos indicados para la zona 3, la probabilidad de fibrilación ventricular es:

- alrededor del 5% entre las curvas **c1** y **c2**,
- inferior al 50% entre las curvas **c2** y **c3**,
- más del 50% al sobrepasar la curva **c3**.

Los efectos fisiopatológicos como la parada cardíaca, la parada respiratoria y las quemaduras graves, aumentan con el valor de la intensidad de corriente y con el tiempo de exposición.

Para impedir llegar a esta situación y correr estos riesgos, se admite el empleo de DDR con funcionamiento instantáneo con un margen inferior a 30 mA.

En una aproximación general la CEI 60364 indica los tiempos de funcionamiento para los DDR en función de la tensión de contacto. Las tablas de la **figura 7** indican estos valores.

Tensión límite de seguridad (U_L)

Según las condiciones del entorno, especialmente la presencia o no de agua, la tensión límite de seguridad U_L (tensión por debajo de la cual no hay riesgo para el hombre) es en corriente alterna de:

- 50 V para locales secos y húmedos,
- 25 V para locales mojados, por ejemplo para las canteras al aire libre.

Contactos directos

Estos contactos, normalmente con piezas bajo tensión, son peligrosos para tensiones superiores a U_L , y las principales protecciones que se utilizan son el distanciamiento y el aislamiento.

En distribución terminal, el DDR, como protección complementaria, puede detectar una corriente de defecto que atraviesa a una

persona, con cualquier ECT. Su umbral de funcionamiento, según la tabla de la **figura 5** debe ser menor o igual a 30 mA y además su funcionamiento ha de ser instantáneo porque el valor de la corriente de defecto que depende de las condiciones de explotación puede sobrepasar 1 A.

Contactos indirectos

Cuando se produce un contacto con una masa puesta accidentalmente bajo tensión, el umbral peligroso está también determinado por la tensión límite de seguridad U_L .

Para que no pueda haber peligro cuando la tensión de la red es superior a U_L hace falta que la tensión de contacto sea inferior a U_L .

En el esquema de la **figura 8**, cuando el neutro de la instalación está conectado a tierra (esquema TT), siendo:

R_A = resistencia a tierra de las masas de la instalación y,

R_B = resistencia de la puesta a tierra del neutro,

lo que corresponde a elegir un umbral de funcionamiento ($I_{\Delta n}$) del diferencial tal que

$$U_d = R_A I_d \leq U_L$$

y por tanto $I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$

El tiempo de actuación de la protección debe escogerse en función de la tensión de defecto

$$U_d = \frac{R_A}{R_A + R_B} U$$

(**figura 7**).

Hay que indicar muy claramente que si la equipotencialidad no está absoluta y correctamente asegurada, la tensión de contacto es igual a la tensión de defecto.

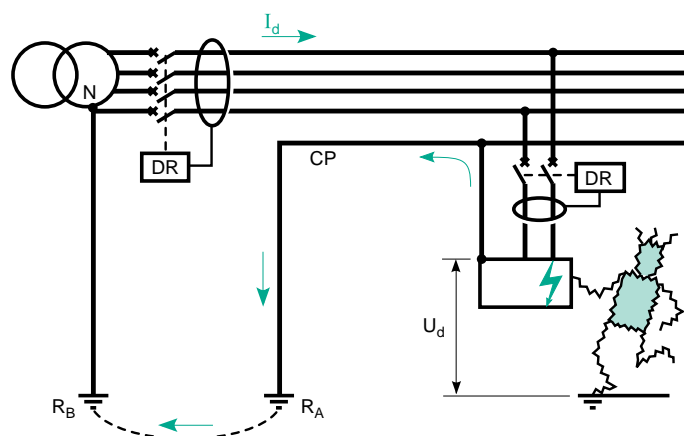


Fig. 8: Principio de aparición de la tensión de defecto.

2.3 Efectos en función de la frecuencia

La Norma CEI 60479-2 se refiere a los efectos de la corriente alterna superior a 100 Hz. La impedancia de la piel disminuye de forma inversamente proporcional a la frecuencia. La Norma indica que el factor de la frecuencia (que es la razón, para un mismo efecto fisiológico, de la corriente a la frecuencia f respecto a la corriente a la frecuencia de 50/60 Hz) aumenta con la frecuencia.

Por otra parte, se ha constatado que de 10 a 100 kHz el umbral de percepción aumenta

aproximadamente de 10 mA a 100 mA en valor eficaz.

Las normas no obligan todavía a aplicar una norma de funcionamiento especial, a pesar de que los grandes fabricantes, conscientes de los riesgos potenciales que representan estas corrientes, vigilan para que los umbrales de los aparatos de protección que proponen estén por debajo de la curva de fibrilación ventricular definida por la norma CEI 60479-2 (**figura 9**).

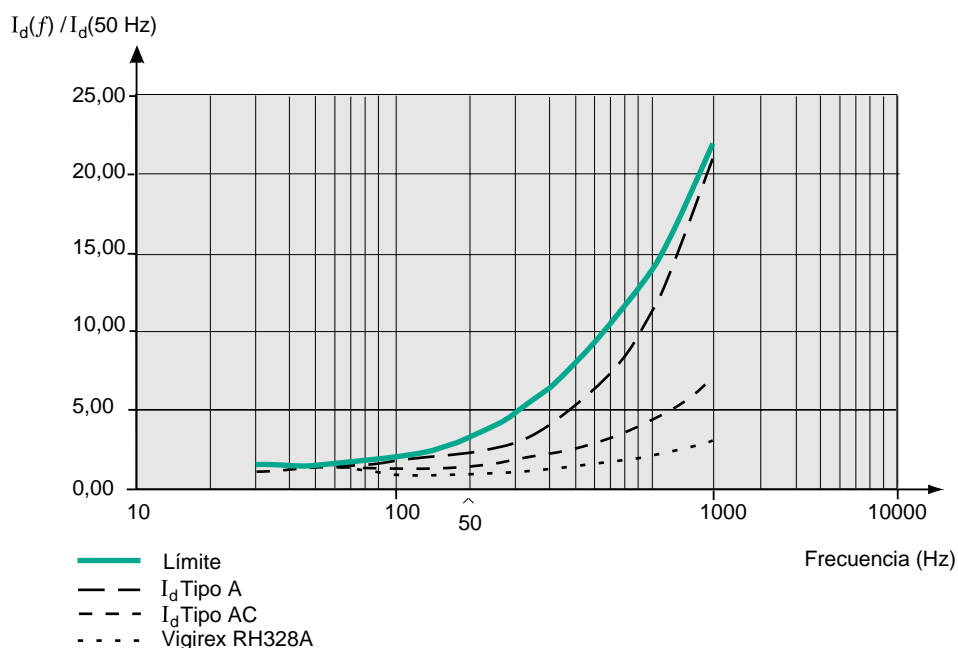


Fig. 9: Variaciones del umbral de fibrilación ventricular (según la CEI 60479-2) y de los umbrales de diversos DDR ajustados a 30 mA, para frecuencias comprendidas entre 50/60 Hz y 2 kHz (fuente: Merlin Gerin).

3 Las protecciones contra los defectos de aislamiento

3.1 Normas de instalación

Los DDR se emplean en instalaciones eléctricas, domésticas e industriales. Su uso depende de normas y especialmente de la CEI 60364. Esta Norma establece los tres esquemas principales de conexión de la red eléctrica a tierra: son los Esquemas de Conexión a Tierra o ECT, todavía llamados a veces «regímenes de neutro» más o menos utilizados en todos los países (**figura 10**).

La Norma especifica para cada uno de los esquemas de conexión a tierra con toda precisión la forma de utilización de los DDR porque el riesgo eléctrico depende mucho de la elección del ECT (Cuaderno Técnico nº 172).

Prevé también las precauciones básicas que en condiciones normales de utilización reducen considerablemente los riesgos eléctricos, por ejemplo:

- distanciamiento e interposición de obstáculos,

- aislamiento –aparatos de clase II– y transformadores de seguridad,
- conexión a tierra de las masas,
- equipotencialidad.

Reglas generales

Sea el que sea el ECT utilizado en una instalación, las normas exigen que:

- cada masa de utilización debe de estar conectada a una toma de tierra mediante un conductor de protección,
- las masas de utilización simultáneamente accesibles deben de estar conectadas a una misma toma de tierra,
- un dispositivo de corte debe desconectar automáticamente toda la parte de una instalación donde aparezca una tensión de contacto peligrosa,
- los tiempos de corte de este dispositivo deben de ser menores que el tiempo máximo definido (**figura 7**).

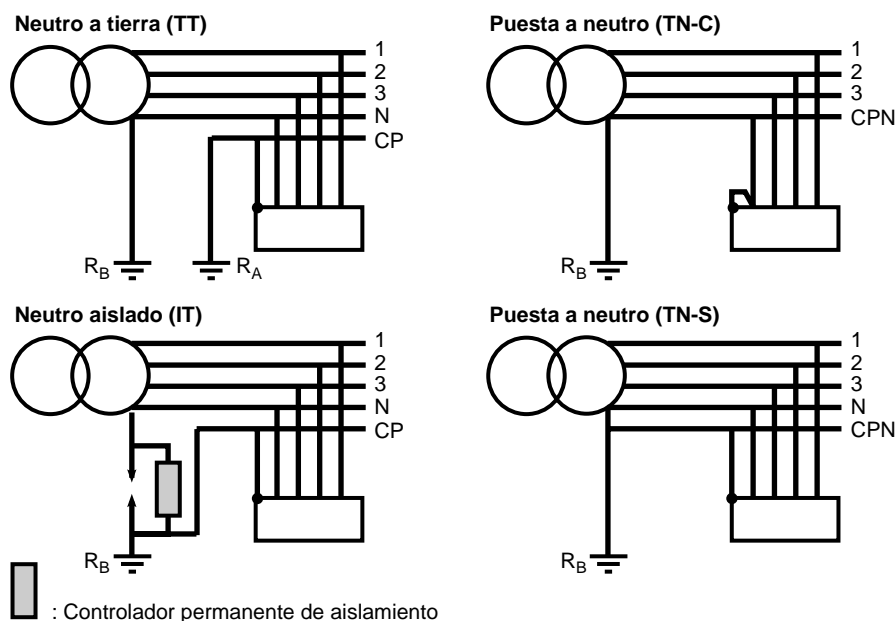


Fig. 10: Los tres principales esquemas de conexión a tierra o ECT son los esquemas TT, TN e IT, definidos por la CEI 60364-3. El TN puede ser TN-C (con neutro y conductor de protección unificados) y TN-S (con neutro y conductor de protección separados).

3.2 El riesgo del contacto directo

Sea el que sea el ECT, este riesgo es el mismo para las personas. Por tanto, las protecciones previstas por las normas son las mismas y utilizan las posibilidades de los DDR de alta sensibilidad.

En efecto:

- Una persona en contacto con un conductor bajo tensión sufre el paso de una corriente de defecto y por tanto queda expuesta a los riesgos fisiopatológicos anteriormente descritos.

- Un DDR situado aguas arriba del punto de contacto puede medir la corriente que atraviesa a la persona e interrumpir la corriente peligrosa.

La normativa reconoce como medida de protección complementaria el empleo de DDR de alta o muy alta sensibilidad (≤ 30 mA) cuando existe el riesgo de contacto directo debido al entorno, a la instalación o a la actuación de las personas (artículo 412.5.1 de la CEI 60364). Este riesgo existe también cuando el conductor de protección puede estar cortado o no existir (maquinaria portátil).

En este caso el empleo de DDR de alta sensibilidad es obligatorio.

Así, las normas indican que hay que proteger con DDR de sensibilidad mejor o igual de 30 mA los circuitos que se alimentan con tomas de corriente cuando:

- están situadas en locales mojados o instalaciones temporales,
- son de calibre ≤ 32 A.

Nota:

La norma CEI 60479 indica que la resistencia del cuerpo humano es superior o igual a $1000\ \Omega$ para el 95% de las personas expuestas a una tensión de contacto de 230 V, cuando sufren el paso de una corriente de 0,23 A.

Un DDR con un umbral de 30 mA no limita la corriente, pero su funcionamiento instantáneo asegura que ésta no rebasará 0,5 A (**figura 6**).

Por tanto, la utilización de DDR de 5 ó 10 mA de sensibilidad no mejora la seguridad, sino que por el contrario, aumenta el riesgo de disparos intempestivos no despreciables debido a la existencia de fugas capacitativas (capacidades distribuidas en cables y filtros).

3.3 Protección contra incendios

Independientemente del ECT utilizado, las instalaciones eléctricas de locales con riesgo de incendio o explosión deben de tener DDR de sensibilidad $I\Delta n \leq 500$ mA, porque está

demostrado que, el contacto «puntual» entre dos piezas metálicas, puede producir incandescencia en dicho punto con una corriente de tan sólo 500 mA.

3.4 Esquema «TT»

La protección de personas contra los contactos indirectos

En este esquema la protección se basa en la utilización de DDR.

La corriente de defecto depende de la resistencia de defecto de aislamiento (R_d) y de las resistencias de la toma de tierra. Una persona en contacto con la envolvente

metálica de un receptor con defecto de aislamiento (**figura 8**) puede quedar sometida a la tensión desarrollada en la toma de tierra del receptor (R_A).

Ejemplo:

Con $U = 230$ V, $R_A = R_B = 10\ \Omega$ y $R_d = 0$, si la persona no está en una zona equipotencial, queda sometida a $U_c = U_d = 115$ V.

La protección debe de quedar necesariamente asegurada por la instalación de DDR de media o baja sensibilidad que deberán provocar la desconexión del equipo con defecto desde el momento en que la tensión U_d sea superior a la tensión límite de seguridad U_L . Recordemos que su umbral de funcionamiento debe de ser igual a:

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A}.$$

3.5 Esquema «TN»

Repaso:

- Con este ECT, la corriente de un defecto franco de aislamiento se convierte en un cortocircuito.
- En TN-C teniendo en cuenta que el neutro y el conductor de protección son el mismo conductor, los DDR no se pueden utilizar. El estudio que sigue se refiere por tanto especialmente al TN-S.

La protección de personas contra contactos indirectos

La corriente de defecto depende de la impedancia del bucle de defecto, por tanto, la protección queda normalmente asegurada mediante las protecciones contra sobreintensidades (cálculo / medida de las impedancias de bucle).

Si la impedancia es demasiado elevada y no permite que la corriente de defecto actúe en las protecciones de sobreintensidad (cables de gran longitud) una solución válida es la utilización de DDR de baja sensibilidad ($I\Delta n \geq 1 \text{ A}$).

Por otra parte, este esquema no se puede aplicar cuando por ejemplo la alimentación proviene de un transformador cuya impedancia homopolar sea demasiado elevada (acoplamiento estrella-estrella).

La protección de aparatos eléctricos y de circuitos

En el esquema de puesta a neutro, los defectos de aislamiento originan grandes corrientes de defecto equivalentes a las de cortocircuito.

El paso de tales corrientes tiene evidentemente consecuencias perjudiciales importantes, por ejemplo: perforación de las chapas del circuito magnético de un motor, lo que obliga a cambiarlo entero en vez de reparar sus bobinados. Estos peligros pueden

La protección de máquinas y bienes

Los valores de los umbrales de disparo de los DDR necesarios para la protección de personas en el esquema TT están muy por debajo de las corrientes de defecto que pueden deteriorar los circuitos magnéticos de las máquinas (motor) o provocar un incendio.

Por tanto, los DDR evitan esta destrucción de origen eléctrico.

reducirse mucho utilizando DDR de baja sensibilidad (3 A, por ejemplo) y con funcionamiento instantáneo, y por tanto, capaces de reaccionar antes de que la corriente alcance un valor importante.

Nótese que esta protección es tanto más importante cuanto mayor sea la tensión de servicio, porque la energía disipada en el punto del defecto es proporcional al cuadrado de la tensión.

La consecuencia económica de estas posibles averías hay que valorarla, porque es un criterio que no se puede pasar por alto en la elección del ECT.

Detección del defecto de aislamiento entre el neutro y el conductor de protección (CP) o las masas del edificio

Este tipo de defecto transforma sin que se note y peligrosamente el esquema TN-S en TN-C. Una parte de la corriente de neutro (incrementada por la suma de corrientes armónicas de 3^{er} rango y sus múltiplos) circula continuamente por el CP y por las estructuras metálicas de los edificios con dos consecuencias:

- la equipotencialidad del CP no queda asegurada (piénsese que unos pocos voltios pueden perjudicar el funcionamiento de los sistemas digitales conectados a redes o buses y que deben de tener la misma referencia de potencia),

- la circulación de corriente por las estructuras, aumenta el riesgo de incendio.

Los DDR permiten evidenciar este tipo de defecto.

Detección de defecto de aislamiento sin disparo y protección de bienes

Aunque en el esquema IT la norma obliga a supervisar el aislamiento, en el esquema TN-S no es obligatorio. Pero cualquier disparo

debido a un defecto de aislamiento produce un paro en la explotación y obliga a hacer muy frecuentemente costosas reparaciones antes de poder volver a conectar. Por ello, cada vez más los usuarios piden dispositivos de prevención para poder intervenir antes de que un defecto de aislamiento se convierta en un cortocircuito. En TN-S, una respuesta a esta necesidad es la señalización mediante el empleo de DDR con márgenes de sensibilidad

comprendidos entre 0,5 y algunos amperios que pueden detectar pequeñas pérdidas de aislamiento (tanto sobre las fases como sobre el neutro) y dar la alarma correspondiente a los usuarios.

Además, utilizando DDR con disparo para $I_{\Delta n} \leq 500 \text{ mA}$ disminuye el riesgo de incendio de origen eléctrico y se evita la destrucción de los materiales.

3.6 Esquema «IT»

La protección de personas contra los contactos indirectos

Ante un primer defecto de aislamiento, la corriente de defecto es muy baja y la tensión de defecto no es peligrosa: las normas obligan a señalar este defecto (función de los CPA-controlador permanente de aislamiento) y a buscarlo; ésta es precisamente la función que cumplen los aparatos de búsqueda de defectos con tensión.

Al producirse un segundo defecto la instalación está en situación similar a un defecto en esquema TN, pero hay que distinguir dos casos: una sola toma de tierra para todas las masas o varias tomas de tierra.

■ Caso de una sola toma de tierra

La protección queda asegurada normalmente por la protección contra sobrecorrientes (cálculo/medida de las impedancias de bucle).

■ Caso de varias tomas de tierra

Cuando se produce el segundo defecto que afecta a equipos no conectados a la misma toma de tierra, la corriente de defecto puede no alcanzar el umbral de disparo de los relés de sobrecorriente. Las normas obligan a utilizar un DDR para cada grupo de masas interconectadas a una misma toma de tierra.

■ En todos los casos, con una o varias tomas de tierra

Si la impedancia de un bucle de defecto es demasiado elevada (cables de gran longitud) una solución simple y práctica es la utilización de DDR de baja sensibilidad (1 a 30 A).

Protección de bienes, aparatos eléctricos y circuitos

Aunque al producirse el primer defecto no hay riesgo especial para los materiales, un segundo defecto origina normalmente grandes corrientes de defecto equivalentes a las de cortocircuito, como en el esquema TN.

Los DDR de media o baja sensibilidad pueden preverse para los casos más críticos (locales con riesgo de incendio o explosión, máquinas sensibles y caras), buscando que el riesgo del segundo defecto quede especialmente reducido, sobre todo cuando la búsqueda del primer defecto puede hacerse de forma sistemática. En efecto, con la hipótesis de que se produzca un defecto cada 3 meses y que repare en el mismo día, el tiempo medio entre dos «defectos dobles» es de alrededor de 22 años.

4 Principio de funcionamiento y descripción de los DDR

4.1 Principio de funcionamiento

Los DDR están todos constituidos al menos por dos elementos:

- El captador

Ha de ser capaz de suministrar una señal eléctrica útil cuando la suma de las corrientes que circulan por los conductores activos es distinta de cero.

- El relé de medida

Compara la señal eléctrica suministrada por el captador con un valor de referencia y da, con

un posible retardo programado la orden de apertura al aparato de corte asociado.

El dispositivo de mando de apertura del aparato (interruptor o interruptor automático) situado aguas arriba del circuito eléctrico controlado por el DDR se llama disparador o actuador.

El conjunto del DDR está representado en el diagrama de la **figura 11**.

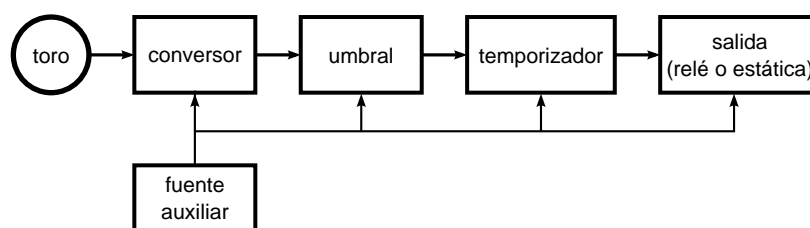


Fig. 11: Esquema funcional de un DDR electrónico con fuente auxiliar.

4.2 Captadores

En los circuitos de corriente alterna se utilizan normalmente dos tipos de captadores:

- el transformador toroidal, que es el captador más utilizado para medir corrientes de fuga,

- los transformadores de corriente, que se utilizan en AT y en MT y a veces en BT.

El transformador toroidal

Abarca todos los conductores activos y por tanto se excita mediante el campo magnético residual correspondiente a la suma vectorial de las corrientes que recorren las fases y el neutro.

Por tanto, la inducción en el toro y la señal eléctrica disponible en bornes del arrollamiento secundario, son una imagen de la corriente diferencial residual.

Este tipo de captador permite detectar corrientes diferenciales desde algunos

miliamperios hasta algunas decenas de amperios.

Los transformadores de corriente –TC–

Para medir la corriente diferencial de un circuito eléctrico trifásico sin neutro deben de instalarse tres transformadores de corriente según la disposición de la **figura 12**.

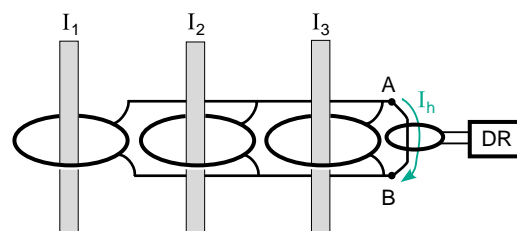


Fig. 12: La suma vectorial de las corrientes de fase da la corriente diferencial.

Los tres TC producen corrientes que quedan conectadas en paralelo y hacen circular entre A y B una corriente que es la suma vectorial de las tres corrientes y por tanto, la corriente diferencial residual.

Este montaje llamado de Nicholson se utiliza normalmente en MT y en AT cuando la corriente de defecto a tierra puede alcanzar varias decenas y hasta centenas de amperio.

Para su utilización hace falta prestar atención a la clase de precisión del TC: con TC de clase 5% no hay que efectuar un ajuste de la protección de tierra por debajo del 10% de la corriente nominal.

Casos particulares

■ Alimentación (entradas) de gran potencia

El montaje de TC de Nicholson, que es el que se usará en BT cuando los conductores son barras o cables de gran sección para transportar grandes intensidades, no permite aunque se utilicen TC aparejados, ajustes compatibles con la protección de personas (umbral $I\Delta n \leq U_L / R_u$).

Hay varias soluciones:

□ si el problema está en el cuadro general aguas abajo del transformador, se puede pensar en:

- o bien instalar un toro en cabeza de la instalación en la conexión a tierra del neutro BT del transformador (**figura 13**). En efecto, según las leyes de Kirchhoff, la corriente diferencial vista por (N) es exactamente la misma que la que ve (G) para cualquier defecto que se produzca en la distribución BT,
- o bien instalar un toro en cada salida, conectados todos en paralelo a un único relé (**figura 14**).

Cuando el relé de medida (normalmente electrónico) no necesita para funcionar más que una señal muy débil, es posible trabajar con toros como «generadores de corriente». Puestos en paralelo, producen la imagen de la suma vectorial de las corrientes primarias.

Este montaje está previsto en las normas de instalación, pero es complicado. Sin embargo, por razones de selectividad, se prefiere utilizar un DDR para cada salida.

□ Si la dificultad consiste en que no se pueden abarcar todos los cables en paralelo con un solo toro, es posible colocar un toro para cada grupo (abarcando todos los conductores activos) y conectar todos los toros en paralelo (**figura 15**).

Sin embargo, hay que destacar:

□ que cada toro ve n espiras en cortocircuito (3 en la figura), lo que puede reducir su sensibilidad,

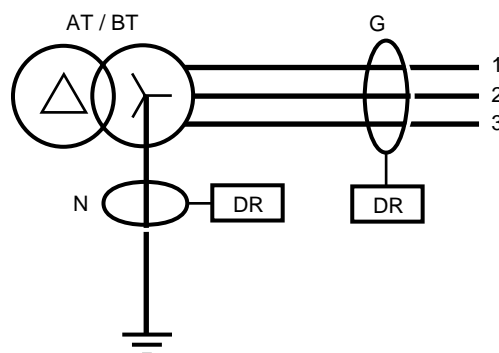


Fig. 13: El toro N indica el mismo valor que el toro G.

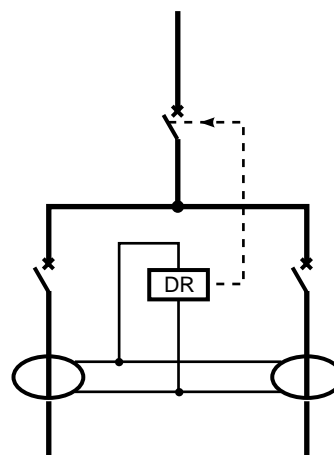


Fig. 14: Los toros situados en las derivaciones y conectados en paralelo a un único relé solucionan la imposibilidad de poner un toro a la entrada.

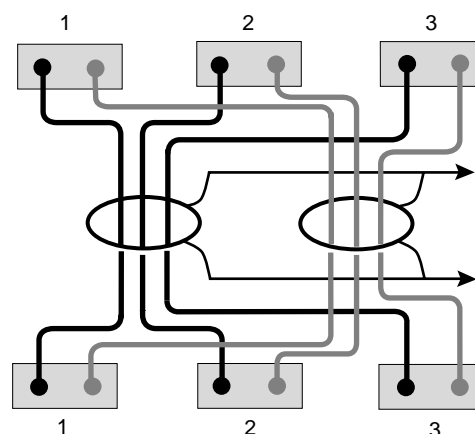


Fig. 15: Disposición de los toros en los diversos cables unifilares de gran sección en paralelo.

□ si las conexiones tienen diferentes impedancias, cada toro indicará una falsa corriente homopolar. Pero si se efectúa una conexión serie, se puede limitar adecuadamente esta falsa corriente homopolar,

□ este montaje necesita que cada toro tenga marcados los bornes de salida S1-S2 en función del sentido de la circulación de energía. Esta solución requiere la colaboración de los fabricantes de DDR.

■ Salidas de gran potencia

Para que la «respuesta» del toro sea fiel y lineal hay que colocar los conductores activos dentro del toro lo más centrados posible, para que su actuación magnética se compense perfectamente cuando no hay corriente residual. En efecto, el campo magnético creado por un conductor disminuye proporcionalmente con la distancia; así en la **figura 16** la fase 3 provoca en el punto A una saturación magnética local y no tiene por tanto una actuación proporcional. Sucede lo mismo si el toro queda situado cerca o dentro de un codo del cableado (**figura 17**). La aparición de una inducción residual parásita, con grandes intensidades, hará aparecer en el secundario del toro una señal que puede provocar un funcionamiento intempestivo. Este riesgo es tanto más importante cuanto menor sea el umbral de funcionamiento del DDR respecto a las corrientes de las fases, especialmente en caso de cortocircuito.

En casos difíciles (que sea elevada la razón: $I_{\text{fase máxima}} / I_{\Delta n}$) hay dos soluciones que permiten resolver el riesgo de disparos intempestivos:

- utilizar un toro mucho mayor de lo necesario, por ejemplo de un diámetro que sea el doble del necesario para pasar los cables,
- colocar un manguito en el toro.

Este manguito debe ser de material magnético para homogeneizar el campo magnético (hierro dulce, chapa magnética) (**figura 18**).

Una vez tomadas estas precauciones:

- centrado de los conductores,
 - toro de grandes dimensiones,
 - y manguito magnético,
- la razón

$$I_{\text{fase}} \frac{I_{\text{fase máxima}}}{I_{\Delta n}}$$

puede llegar a ser de 50 000.

Utilización de DDR con toro incorporado

Hay que indicar que los DDR con toro incorporado aportan una solución integral a los instaladores y usuarios, puesto que el

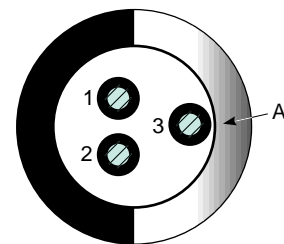


Fig. 16: Un mal centrado de los conductores en el toro produce en éste una saturación magnética local en el punto A, que puede provocar disparos intempestivos.

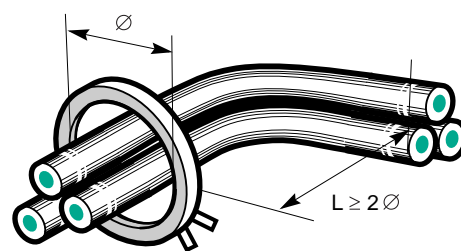


Fig. 17: El toro debe de estar suficientemente separado del codo de los cables para no provocar disparos intempestivos.

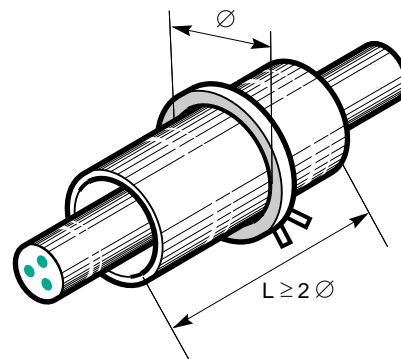


Fig. 18: Si se coloca dentro del toro un manguito de material magnético con los cables en su interior, reduce el riesgo de disparos intempestivos debidos a los efectos magnéticos de los picos de corriente.

fabricante estudia y resuelve adecuadamente todos los problemas técnicos:

- resuelve el problema del centrado de los conductores activos y, para pequeñas intensidades, puede prever y distribuir adecuadamente varias espiras primarias alrededor del toro,
- puede hacer «trabajar» al toro con una inducción elevada para maximizar la energía captada y minimizar la sensibilidad a las inducciones parásitas (grandes corrientes).

4.3 Relés de medida y actuadores

Los DDR se pueden clasificar en tres categorías según su forma de instalación o su tecnología.

Según su forma de instalación:

«**autoalimentados en corriente**»: es el aparato en el que la corriente de defecto suministra la energía necesaria para el disparo. La mayor parte de especialistas consideran este tipo de alimentación como la más segura. En muchos países, y especialmente en Europa, esta categoría de DDR es la aconsejada para las instalaciones domésticas y similares (normas EN 61008 y 61009).

«**con alimentación auxiliar**»: es el aparato en el que una fuente de energía independiente de la corriente de defecto suministra la energía necesaria para el disparo. Estos aparatos (normalmente de diseño electrónico) solamente podrán provocar el disparo si la fuente de energía auxiliar está disponible en el momento de la aparición de la corriente de defecto.

«**autoalimentados en tensión**»: es un aparato con «fuente auxiliar» pero que se alimenta del circuito controlado. Así, cuando se alimenta el circuito, el DDR queda alimentado y si no hay tensión, el DDR no está activo, pero evidentemente no hay peligro. Estos aparatos proporcionan un seguro adicional cuando se diseñan para funcionar correctamente con baja tensión, hasta 50 V (tensión de seguridad). Este es el diseño de los bloques Vigí, que son DDR asociados a los interruptores automáticos «Compact» de la marca Merlin Gerin.

Pero los DDR también pueden clasificarse adicionalmente según su alimentación en función de que su funcionamiento sea o no «**de seguridad positiva**».

Se consideran como aparatos de «seguridad positiva» dos tipos de aparatos:

- aquéllos cuyo disparo no depende de la corriente de defecto: todos los aparatos autoalimentados en corriente son aparatos de seguridad positiva,
- y aquéllos, muy poco utilizados, cuyo disparo no depende solamente de la corriente de defecto, pero que se sitúan automáticamente en posición de disparo (posición de seguridad) cuando todavía no se cumplen las condiciones para asegurar el disparo en presencia de una corriente de defecto (por ejemplo, una baja tensión de hasta 25 V).

Según su tecnología:

«**Dispositivos electromagnéticos**». Estos dispositivos modernos son «autoalimentados en corriente». Utilizan el principio de enclavamiento magnético (**figura 19**). Es suficiente una potencia eléctrica muy pequeña ($100\ \mu\text{VA}$ en algunos modelos) para vencer la fuerza de enclavamiento y provocar mediante un amplificador mecánico la apertura de los contactos.

Están muy extendidos («seguridad positiva») y se adaptan muy bien para la fabricación de DDR de una única sensibilidad.

«**Dispositivos electrónicos**». Se utilizan sobre todo en la industria porque la electrónica permite:

- que la entrada de señal sea de una potencia muy baja,
- tener unos umbrales y unas temporizaciones exactas y ajustables (lo que permite conseguir una selectividad óptima al disparo).

Debido a estas dos características están especialmente indicados para la fabricación de:

- DDR con toros separados, que van asociados a los interruptores automáticos de gran calibre y a los contactores,
- DDR asociados a interruptores automáticos industriales hasta 630 A.

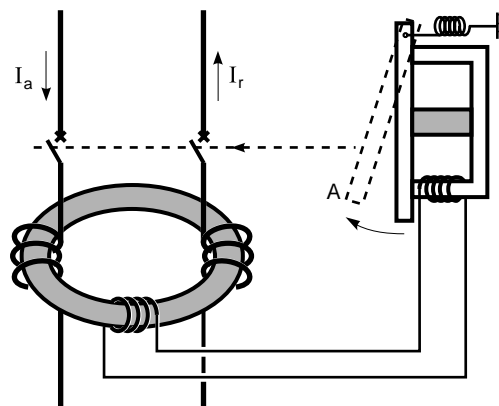


Fig. 19: La corriente de defecto, mediante el toro, produce la energía que alimenta al electroimán cuya armadura móvil se mantiene cerrada debido a la atracción del imán permanente. Cuando se alcanza el umbral de disparo, el electroimán anula la atracción del imán permanente y el resorte abre el circuito magnético que actúa mecánicamente sobre el interruptor automático.

La energía que necesitan para funcionar estos sistemas electrónicos es normalmente muy baja. Los DDR con dispositivos electrónicos se fabrican por tanto con los diferentes tipos de alimentación antes citados, o sea, «autoalimentados en tensión» o «con alimentación auxiliar».

«**Dispositivos mixtos**» (autoalimentados en corriente). Esta solución consiste en intercalar entre el toro y el relé de accionamiento magnético un dispositivo de tratamiento de la señal. Esto permite:

- conseguir un umbral de funcionamiento preciso y fiel,
- obtener una gran inmunidad a los parásitos y transitorios de corriente con frente abrupto y ésto respetando tiempos de funcionamiento compatibles con las curvas de seguridad.

A título de ejemplo, los DDR del tipo «si» de la marca Merlin Gerin son dispositivos mixtos,

- fabricar DDR temporizados

Un principio similar se utiliza en MT. En efecto, durante muchos años en los centros de transformación de distribución de energía eléctrica (centros MT/BT) los relés de disparo necesitaba una batería de acumuladores, lo que producía muchos problemas. La asociación de un dispositivo electrónico autoalimentado en corriente y un disparador electromecánico de disparo magnético ofrece una solución satisfactoria, fiable y a un coste razonable que permite la supresión de la batería de acumuladores.

Imperativos de utilización

La CEI 60364, § 531-2-2-2 indica para los dispositivos con fuente auxiliar que no son de seguridad positiva: «su utilización está permitida si están colocados en las instalaciones explotadas por personas advertidas o cualificadas».

Test de buen funcionamiento

Un DDR es un aparato de seguridad. Por tanto, es importante que tenga un dispositivo de prueba tanto si es electromagnético como electrónico o mixto.

Aunque los dispositivos autoalimentados en corriente se muestran como los más seguros, la instalación de la seguridad positiva con las otras fuentes de energía «autoalimentadas en tensión» o con «fuente auxiliar» confiere a los DDR una seguridad aumentada que no debe sin embargo hacer olvidar la práctica de aplicarles un test periódico.

- Preconizar el test periódico de los DDR

En la práctica la seguridad positiva perfecta, especialmente por lo que se refiere a defectos internos, no existe. Por ello, en Francia, los

DDR que utilizan una fuente auxiliar están reservados a las instalaciones industriales y a las grandes instalaciones de servicios, y los DDR «autoalimentados en corriente» a las instalaciones domésticas o análogas; lo que cuadra perfectamente con las posibilidades intrínsecas antes citadas.

En todos los casos hay que aconsejar el test periódico para evidenciar un posible defecto interno.

- La forma de realizar el test es importante
- Al realizar la prueba siempre habrá que tener en cuenta el hecho de que existen siempre en la instalación eléctrica corrientes de fuga capacitativas a tierra y frecuentemente corrientes de fuga resistiva debidas a un aislamiento degradado.

El captador toroidal ve la suma vectorial de todas estas corrientes de fuga (I_d) y esta suma puede distorsionar el funcionamiento del test, lo que es muy probable cuando el circuito de prueba es el de la **figura 20**. A pesar de esto, el principio de funcionamiento del test está muy extendido, porque comprueba el conjunto toro-relé-aparato de corte.

Las normas de construcción limitan la corriente de test, lo que explica un cierto número de fallos de los DDR durante una prueba, como indica la suma vectorial (**figura 20**) de las corrientes de fuga (I_d) y de la corriente de test (I_{test}). Por ejemplo, las normas CEI 61 008 y 61 009 indican que la corriente de test no debe sobrepasar $2,5 I_{\Delta n}$ para un DDR utilizable en 230 ó 400 V, ó $1,15 I_{\Delta n}$ si está alimentado a 230 V -20%.

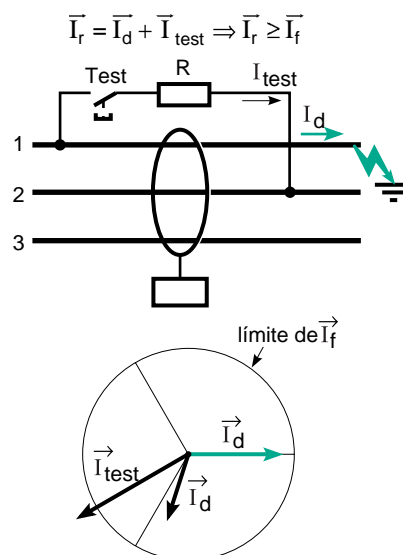


Fig. 20: Ciertos circuitos de test hechos en la instalación no pueden funcionar en presencia de una corriente de defecto débil.

El principio de funcionamiento del test antes citado se utiliza en tomas de corriente con diferencial incorporado, interruptores e interruptores automáticos diferenciales. Por lo que se refiere a los relés diferenciales con el toro separado, se aplica el mismo principio, aunque es el instalador quien debe realizar el circuito de prueba. Sin embargo, hay relés, por ejemplo, los Vigirex de la marca Merlin Gerin que tienen la función «test» y que además controlan permanentemente la continuidad del circuito de detección (conexión toro-relé y bobinado del toro).

■ La verificación del umbral de funcionamiento
Esta verificación, todavía más que en el caso del test, debe de hacerse teniendo siempre presente que pueden atravesar el captador corrientes de fuga «naturales» o no del circuito aguas abajo.

Hay que hacerlo todavía más que para el test, teniendo siempre presente la idea de las corrientes de fuga «naturales» o no del circuito aguas abajo que pueden atravesar el captador. Una buena medida debería hacerse siempre desenchufando el circuito aguas abajo.

4.4 Normas de fabricación de los productos

En el anexo están citadas las principales normas de fabricación que se refieren a los DDR.

Para los DDR, la CEI tiene normalizados tipos, valores de umbral o sensibilidad y curvas de funcionamiento.

DDR de tipo AC, A o B a elegir en función de la corriente a detectar

La corriente que transportan las redes eléctricas no es exactamente senoidal, por eso la Norma CEI 60755 ha definido tres tipos de DDR: los tipos AC, A y B, según la corriente diferencial a detectar (**figura 21**):

■ el tipo AC para corrientes alternas senoidales,

■ el tipo A para corrientes alternas senoidales, continuas pulsantes o continuas pulsatorias con una componente continua de 0,006 A, con o sin control de ángulo de fase, tanto si se aplican bruscamente como si aumentan lentamente,

■ el tipo B para las mismas corrientes que el tipo A, pero más puras porque provienen de rectificadores:

□ de media onda que con una carga capacitativa produce una corriente continua alisada,

□ trifásicas de media onda o doble onda.

Sensibilidades ($I_{\Delta n}$)

Están normalizadas por la CEI:

■ alta sensibilidad –AS–: 6 - 10 y 30 mA,

■ media sensibilidad –MS–: 100 - 300 y 500 mA,

■ baja sensibilidad –BS–: 1 - 3 - 5 - 10 y 20 A.

Evidentemente, la AS se utiliza sobre todo para la protección contra contactos directos, en cambio, las otras sensibilidades (MS y BS) se utilizan para todas las otras necesidades de protección, contra contactos indirectos (esquema TT) contra los riesgos de incendio y la destrucción de máquinas.

Curvas de disparo

Tienen en cuenta los estudios mundiales realizados sobre el riesgo eléctrico (CEI 60479) y muy especialmente:

■ los efectos de la corriente eléctrica para la protección contra los contactos directos,

■ la tensión límite de seguridad en el caso de protección contra contactos indirectos.

Para aplicaciones domésticas y similares, las normas CEI 61008 (interruptores diferenciales) y 61009 (interruptores

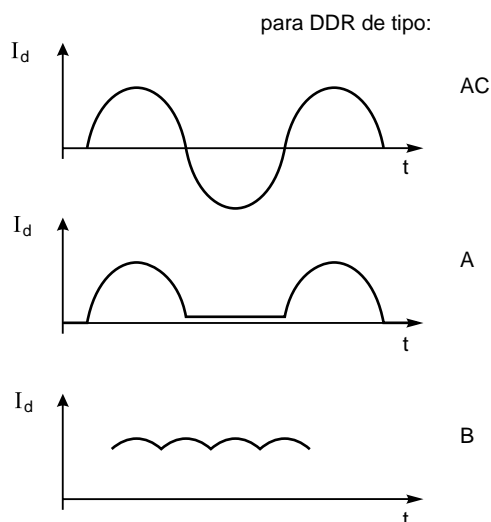


Fig. 21: Formas de onda de corrientes de defecto previstas en las normas de fabricación de los DDR.

automáticos diferenciales) definen valores normalizados de tiempo de funcionamiento (tabla de la **figura 22** que corresponde a las curvas de funcionamiento G y S –**figura 23**):

- la curva G para los DDR instantáneos,
- la curva S para los DDR selectivos con valor de temporización muy corto, por ejemplo los utilizados en Francia para los interruptores automáticos de distribución.

Las curvas para los interruptores automáticos diferenciales de potencia vienen indicadas en el anexo B de la norma CEI 60947-2.

Todas estas normas definen los tiempos máximos de funcionamiento en función de la razón I_d/I_f para los DDR con tiempo de respuesta dependiente (normalmente electromagnéticos).

Los DDR electrónicos utilizados sobre todo en la industria y las grandes instalaciones de servicios, tienen generalmente un umbral y una temporización regulables y su tiempo de respuesta es independiente de la corriente de defecto.

Recordemos que la CEI 60364 fija los tiempos máximos de corte de los circuitos finales para los esquemas TN e IT (**figura 24**).

Para el esquema TT, el tiempo de funcionamiento de los DDR se escoge en función de la tensión de defecto; en la práctica los DDR de tipo «G» y «S» son válidos para los circuitos terminales con tensiones de red $\leq 230/440$ V. La norma concreta también que se admite un tiempo de 1 segundo con el esquema TT para los circuitos de distribución para poder fijar los niveles de selectividad necesarios para la continuidad del suministro.

| Tipo | I_n (A) | $I_{\Delta n}$ (A) | Valores normalizados del tiempo de funcionamientos y de no funcionamiento (en segundos), con: | | | | |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|---|------------------------|------------------------|-------|---|
| | | | $I_{\Delta n}$ | $2 \cdot I_{\Delta n}$ | $5 \cdot I_{\Delta n}$ | 500 A | |
| General (instantáneo) | Todos los valores | Todos los valores | 0,3 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | tiempo de funcionamiento máximo |
| Selectivo | > 25 | > 0,030 | 0,5 | 0,2 | 0,15 | 0,15 | tiempo de funcionamiento máximo |
| | | | 0,13 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | tiempo de no funcionamiento mínimo |

Fig. 22: Valores normalizados del tiempo de funcionamiento máximo y de tiempo de no funcionamiento según CEI 61008.

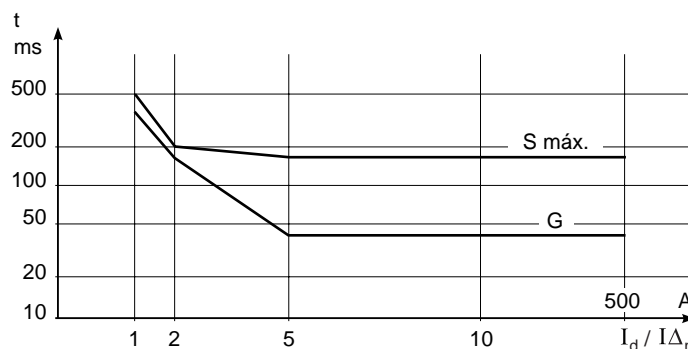


Fig. 23: Curvas de tiempo de funcionamiento máximo para los interruptores automáticos o interruptores diferenciales «S» y para uso general instantáneo «G».

| Tensión nominal de la red entre fase y tierra (Vca) | Tiempo máximo de corte (s) | | |
|---|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | TN | IT neutro no distribuido | IT neutro distribuido |
| 120-127 | 0,8 | 0,8 | 5 |
| 220-230 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| 400 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| 580 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |

Fig. 24: Tiempos máximos de corte.

Además de las características citadas para el funcionamiento de los diferenciales, las normas de productos fijan todavía:

- la resistencia a los choques mecánicos y a las sacudidas,
- la temperatura ambiente y la humedad,
- la endurancia mecánica y eléctrica,
- la tensión de aislamiento, y la resistencia a la onda de choque,

■ los límites de CEM.

Prevén también las normas ensayos de tipo, y verificaciones periódicas de calidad y de prestaciones que han de efectuar los fabricantes o por organismos oficiales.

De esta manera garantizan al usuario la calidad de los productos y la seguridad de las personas.

Los DDR también tienen sus marcas de calidad, por ejemplo: la marca NF-USE en Francia.

4.5 Distintos tipos de aparatos

Según las normas, existen DDR tecnológicamente diferentes adaptados a los dos campos de aplicación principales: el doméstico y el industrial.

La aparamenta se escoge, en función del ECT de la red y del tipo de protección necesaria (contra contacto directo, contra contacto indirecto, protección de receptores, ...). Pero todavía es necesario:

- definir su tipo (A, AC o B) a partir de las características de la red (alterna, mixta...),

■ analizar los requerimientos de la explotación (necesidad de selectividad, necesidad de seguridad positiva...), para fijar por último:

- el valor del umbral necesario (sensibilidad),
- los ajustes de tiempo (retardo).

La tabla de la **figura 25** presenta una síntesis de los diferentes equipos.

| Campo de aplicación - tipos | ECT de la red | Sensibilidad | Temporización |
|---|---|---|--|
| Doméstico y análogos | | | |
| Prolongador con protección diferencial (corte por contacto integrado) | TT - TN - IT | $\leq 300 \text{ mA}$ | 0 |
| Toma de corriente diferencial (corte por contacto integrado) | TT - TN - IT | 30 mA | 0 |
| Interruptor diferencial | TT - TN - IT | 30 - 300 mA | 0 |
| Interruptor automático diferencial | | | |
| ■ de distribución | TT | $I\Delta n = 500 \text{ mA}$ valor frecuente | Tipo «S» como opción (red perturbada con o sin pararrayos) |
| ■ uso terminal (final de rama) | TT | 30 - 300 mA | 0 |
| Industrial y gran terciario | | | |
| Interruptor diferencial | TT - (TN e IT en protección de circuito de tomas cte.) | 30 - 300 mA | 0 |
| Interruptor automático diferencial | | | |
| ■ de potencia | TT - (TN e IT de protección contra incendio, de máquinas y derivaciones de gran longitud) | 30 mA - 30 A | 0 a 1 s |
| ■ uso terminal (final de rama) | TT - (TN e IT en protección contra incendios, de máquinas) | 30 - 300 mA | 0 |
| Relé diferencial con tomo de separado | TT - (TN - IT en protección contra incendios, de máquinas, y derivaciones de gran longitud) | 30 mA a 30 A | 0 a 1 s |

Fig. 25: Presentación general de diversos DDR.

5 Mejor utilizar los DDR

5.1 La CEM: obligaciones de los fabricantes e implicaciones de los instaladores

La CEM (compatibilidad electromagnética) consiste en controlar los parásitos eléctricos y sus efectos: un aparato no debe ser perturbado ni perturbar su entorno.

Evidentemente, los fabricantes de cualquier equipo eléctrico deben respetar ciertas normas de CEM. Los DDR están probados en cuanto a su compatibilidad electromagnética (emisión y susceptibilidad) según la Directiva Europea que prescribe el respeto a un cierto número de normas (ejemplo: EN 61543 para los DDR de uso doméstico).

Pero las instalaciones eléctricas producen o transmiten perturbaciones (Cuaderno Técnico nº 187), que pueden ser permanentes o temporales, alternas o de impulsos, de baja o de alta frecuencia. Pueden ser conducidas o radiadas, de modo continuo o diferencial, con su origen dentro o fuera del edificio. Entre las perturbaciones más perjudiciales están las sobretensiones.

Resistencia a las sobretensiones

Los DDR pueden ser sensibles a las descargas de rayo, sobre todo en las redes aéreas, porque son especialmente susceptibles a las perturbaciones atmosféricas. En efecto, según la distancia real al generador, una red BT puede estar sometida:

- a una sobretensión, que aparece entre los conductores activos y tierra; la perturbación se deriva a tierra mucho antes llegar a los DDR (**figura 26a**),
- a una sobreintensidad, una parte de la cual se descarga en la red aguas arriba del DDR, especialmente a través de las capacidades parásitas (**figura 26b**),
- a una sobreintensidad que soporta el DDR y que se debe a cebados o descargas aguas abajo (**figura 26c**).

Esta problemática es conocida técnicamente y los fabricantes de DDR la tienen normalmente presente. Citemos, por ejemplo:

- en los relés electromagnéticos se coloca un diodo en paralelo con el circuito de excitación del relé. Esta solución se utiliza en los interruptores automáticos de distribución,

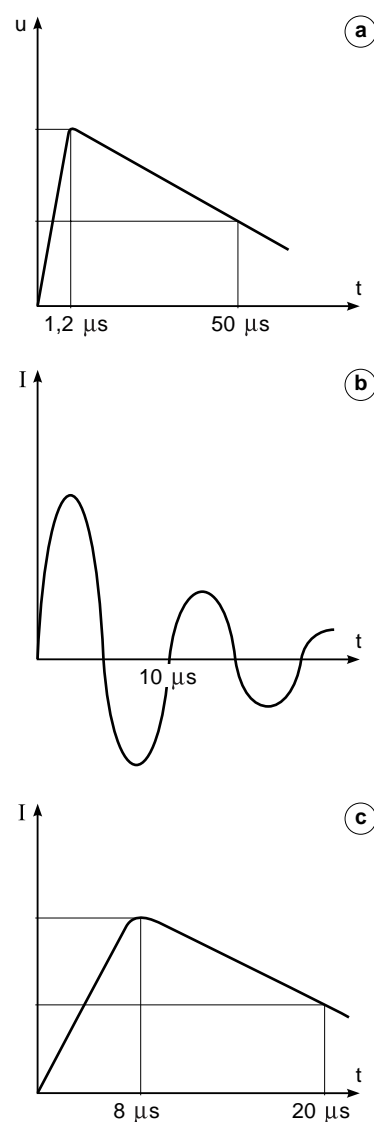


Fig. 26: Ondas normalizadas, de tensión y de corriente, representativas del rayo.

■ en los relés electrónicos, se coloca un filtro paso bajo en el punto de tratamiento de la señal de entrada (**figura 11**).

Las normas de fabricación prevén la existencia de DDR inmunizados contra las corrientes parásitas; son los DDR de tipo «S» ($I\Delta n \geq 100 \text{ mA}$). Pero los fabricantes proponen también aparatos de alta sensibilidad e inmunidad reforzada, como los DDR de tipo «si» ($I\Delta n \leq 100 \text{ mA}$) de la marca Merlin Gerin. Así, ante esta dificultad, la calidad que se consiga en la instalación sólo depende de la elección del aparato.

Influencia de la elección del ECT en el diseño de las instalaciones

Los diseñadores de la instalación y los instaladores, al respetar las reglas del arte, son también parte activa de este campo, especialmente en la elección del ECT de la

instalación. Por ejemplo, deben de saber, que en el esquema TN, existen varias corrientes que pueden originar perturbaciones por radiación en los equipos sensibles:

- cuando se produce un defecto de aislamiento, circulan corrientes de valor importante por el CP, por las masas de los aparatos y por las estructuras,
- en el esquema TN-C, son las corrientes de desequilibrio de cargas, las que circulan permanentemente a través de las estructuras metálicas de los edificios,
- en el esquema TN-S estas corrientes de desequilibrio se presentan también cuando se produce un defecto de aislamiento entre el neutro y el conductor de protección. Además, este defecto, que no detectan las protecciones contra sobreintensidades, cambia oculta y perversamente el esquema TN-S en esquema TN-C.

5.2 Una necesidad: la selectividad

El objeto de la selectividad y el objeto de la coordinación de las protecciones es conseguir que sólo la derivación afectada por un defecto quede desconectada por el funcionamiento de su protección.

Selectividad «vertical»

Este tipo de selectividad es la que se aplica al funcionamiento de dos protecciones situadas en serie en un mismo circuito (**figura 27**).

La selectividad, teniendo en cuenta las exigencias de funcionamiento de los DDR, puede ser amperimétrica o cronométrica.

■ Amperimétrica, porque, como exigen las normas, un DDR debe necesariamente de actuar para $I\Delta n$, pero no para $I\Delta n/2$. En la práctica, se exige una razón de 3, es decir $I\Delta n_{\text{superior}} \geq 3 \cdot I\Delta n_{\text{inferior}}$.

■ Cronométrica, porque, todo mecanismo, para reaccionar necesita un tiempo, por mínimo que sea, al que a veces hay que añadir una temporización o retado voluntario.

Por tanto, la doble condición de no-disparo de D_a para un defecto aguas abajo de D_b es:

$$I\Delta n(D_a) > 2 \cdot I\Delta n(D_b),$$

y

$$tr(D_a) > tr(D_b) + tc(D_b) \text{ o } tr(D_a) > tf(D_b),$$

siendo:

tr = retardo al disparo = tiempo de no-funcionamiento,

tc = tiempo que separa el instante del corte (incluido en tiempo de arco) del momento en que el relé de medida da la orden de corte,

tf = tiempo de funcionamiento, desde la detección del defecto hasta la interrupción total de la corriente de defecto.

Los relés electrónicos retardables, pueden presentar un fenómeno de memorización del defecto para su circuito umbral; por tanto, hay que tener en cuenta un «tiempo de memoria» $-tm-$ (**figura 28**) durante el que no pueden disparar después de la apertura del aparato aguas abajo:

$$tr(D_a) > tr(D_b) + tm.$$

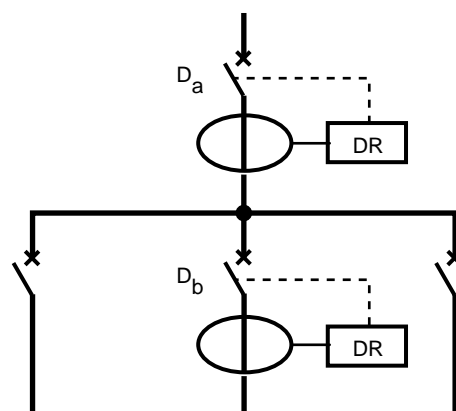


Fig. 27: Selectividad vertical.

Nota:

Al ajustar la selectividad pueden aparecer dificultades cuando hay que instalar interruptores automáticos diferenciales y relés diferenciales, porque:

- el interruptor automático diferencial está ajustado para un tiempo de retardo $-tr-$,
- el relé diferencial tiene un tiempo de funcionamiento característico o temporizado a un valor t que corresponde al tiempo que pasa entre la aparición del defecto y la transmisión de la orden de apertura al órgano de corte (figura 29).

Hay que calcular entonces el tiempo t_f y t_r (o t) sucesivamente o consecutivamente (con $2.I\Delta n$) para cada DDR conforme se sube en la instalación, desde la distribución terminal hacia el origen de la instalación.

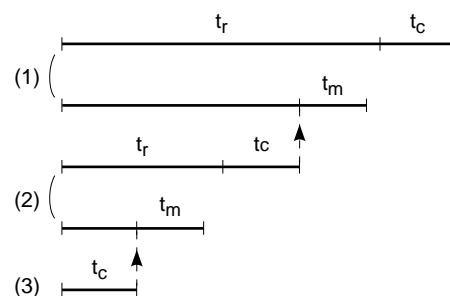


Fig. 28: La temporización de un DDR aguas arriba debe de tener en cuenta tanto el tiempo de corte asociado a un DDR aguas abajo como el tiempo de memoria del relé aguas arriba.

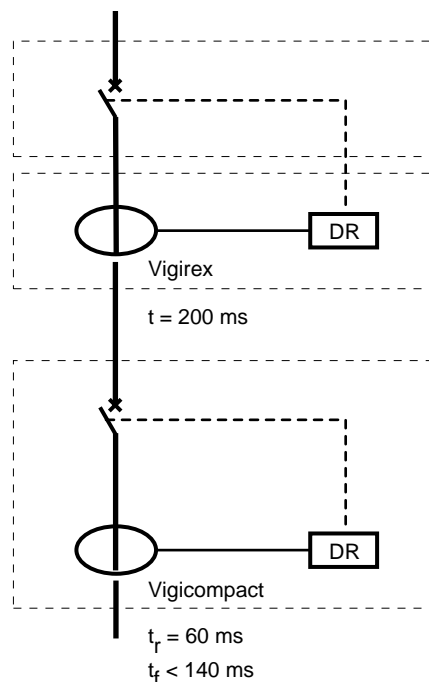
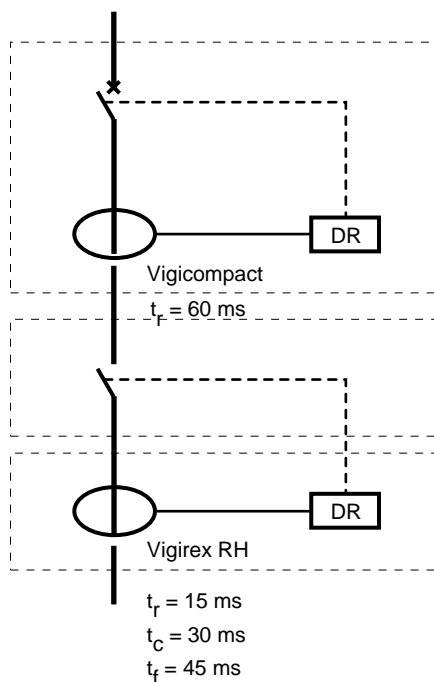


Fig. 29: Dos ejemplos de selectividad cronométrica, asociando un interruptor automático diferencial de tipo Vigicomact y un relé Vigirex (Merlin Gerin). Nótese que estos tiempos son muy inferiores a los de disparo que indica la figura 24.

Selectividad «horizontal»

Llamada a veces «de selección de circuitos» y prevista en ciertas normas, permite quitar el dispositivo diferencial situado a la entrada de un armario de distribución cuando todas sus derivaciones de salida están protegidas con un interruptor automático diferencial. De esta forma, cuando hay un defecto, sólo abre la salida afectada, puesto que los otros interruptores automáticos diferenciales no ven dicha corriente de defecto (**figura 30**). Los dispositivos diferenciales pueden tener todos los tiempos t_r (o t) idénticos.

En la práctica, en la selectividad horizontal pueden producirse algunos disparos intempestivos de los dispositivos de protección, llamados «disparos por simpatía», especialmente en redes que tienen líneas de

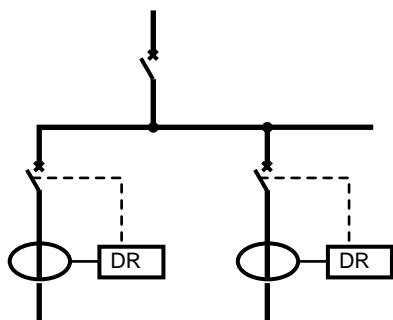


Fig. 30: Ejemplos de selectividad horizontal.

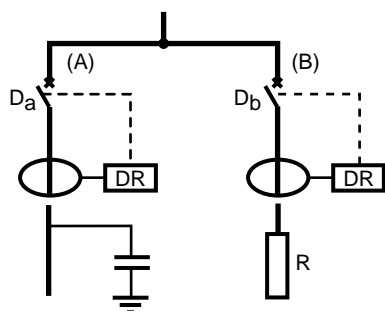


Fig. 31: La existencia de una capacidad en la derivación A puede provocar:

■ que dispare D_a al abrir D_b , y/o

■ que dispare D_a al conectar la derivación A. Puede ser necesaria la utilización de DDR temporizados para evitar disparos intempestivos provocados por las sobretensiones de rayo o de maniobra de la aparamenta.

gran extensión (capacidades parásitas de cables no equilibradas) o filtros capacitativos (ordenadores).

Dos ejemplos:

■ Caso 1 (**figura 31**)

La apertura de D_b , de cuyo circuito se alimenta un receptor R que puede producir sobretensión (por ejemplo, un equipo de soldar), provoca una sobretensión en la red.

Esta sobretensión produce en la derivación A, protegida por D_a la aparición de una corriente capacitativa a tierra. Esta corriente puede deberse a las capacidades parásitas de los cables o a filtros capacitativos conectados a tierra.

Una solución: el DDR de D_b puede ser instantáneo pero el de D_a debe de ser temporizado.

Hay que indicar que con esta configuración, la temporización del DDR (D_a) es normalmente imprescindible porque, al conectar el circuito A, las capacidades (parásitas o no) provocan la aparición de una corriente diferencial oscilatoria amortiguada (**figura 32**).

Como ejemplo, puede decirse que en unas medidas efectuadas al conectar un gran ordenador con un filtro antiparásitario se obtuvieron unos valores de:

- 40 A (primer pico),
- $f = 11,5$ kHz,
- duración de la amortiguación (66%): 5 períodos.

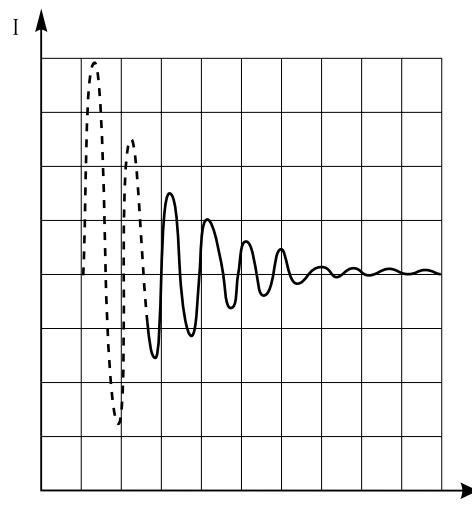


Fig. 32: Onda de corriente transitoria que se produce cuando se cierra un circuito muy capacitativo.

■ Caso 2 (figura 33)

Un defecto franco de aislamiento en la fase 1 de la derivación B, lleva a esta fase a la tensión de tierra. La corriente capacitiva absorbida a través de A provocará «por simpatía» el disparo del DDR correspondiente. Este fenómeno se produce, sea el que sea el ECT, pero afecta, sobre todo, a redes con esquema IT.

Estos dos ejemplos muestran claramente que es necesaria la temporización de los DDR en

las derivaciones de gran longitud o con filtros capacitivos.

La utilización de DDR direccionales es otra solución para evitar los disparos debidos a «retornos» de corriente capacitiva a través de la derivación sana.

Un DDR de este tipo, al detectar la corriente de defecto la compara con un valor umbral previsto, pero además no dispara más que si la corriente que atraviesa el toro circula en sentido «descendente».

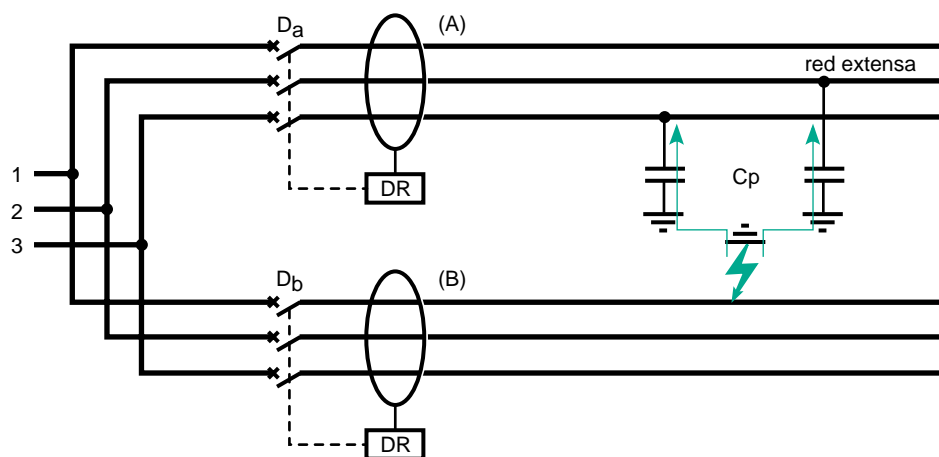


Fig. 33: Al producirse un defecto, D_a puede abrir a la vez que D_b . Normalmente es necesario utilizar DDR temporizados para evitar disparos intempestivos en las derivaciones sanas.

5.3 Evitar la dificultades conocidas

Tener en cuenta las corrientes de fuga

La lectura de los párrafos anteriores deja muy claro que hay que fijarse mucho en las corrientes, normalmente capacitivas, que «engañan» a los DDR y que pueden provocar grandes desajustes en la explotación.

■ Corrientes de fuga de 50 Hz - 60 Hz

Al hacer el estudio de una instalación es importante valorar las longitudes de las diversas derivaciones y si los equipos que hay que instalar tienen elementos capacitivos conectados a tierra. Después habrá que pensar en repartir estas cargas para reducir la importancia de este fenómeno.

Los filtros antiparasitarios (obligatorios según la directiva europea sobre la CEM) que se instalan en los microordenadores y otros aparatos electrónicos producen en monofásica corrientes permanentes de fuga, a 50 Hz, del orden de 0,5 a 1,5 mA por aparato.

Estas corrientes de fuga se suman si los aparatos están derivados de la misma fase. En cambio, si los aparatos están distribuidos entre las tres fases, estas corrientes se anulan mutuamente cuando están equilibradas (suma vectorial). Esta reflexión tiene todavía más importancia si los DDR instalados son de alta sensibilidad. Para evitar disparos intempestivos la corriente permanente de fuga no debe ser mayor de $0,3 \cdot I_{\Delta n}$ con el esquema TT o TN, y de $0,17 \cdot I_{\Delta n}$ con el esquema IT.

■ Corrientes de fuga transitorias

Estas corrientes se manifiestan al conectar un circuito que tenga un desequilibrio capacitivo (figura 33) o cuando hay sobretensiones de modo común. Los DDR de tipo «S» ($I_{\Delta n} \geq 300$ mA) y de tipo «si» ($I_{\Delta n} = 300$ mA), además de los DDR ligeramente temporizados, evitan los funcionamientos intempestivos.

■ Corrientes de fuga de alta frecuencia

Los grandes productores de perturbaciones, en términos de CEM, son, por ejemplo, los rectificadores a tiristores cuyos filtros tienen condensadores que producen una corriente de fuga de AF que pueden alcanzar el 5% de la corriente nominal.

Inversamente a lo que sucede con las corrientes de fuga a 50 - 60 Hz, cuya suma vectorial es nula, estas corrientes de AF no son sincrónicas con las tres fases y su suma produce una corriente de fuga. Para evitar disparos intempestivos, los DDR deberían ser insensibles a estas corrientes de AF (equiparse con filtros paso bajo), como son los DDR industriales y los DDR de tipo «S» y de tipo «si» de Merlin Gerin tienen esta cualidad.

■ Corrientes debidas al rayo

Si la instalación tiene pararrayos, hay que evitar instalar el captador del DDR en el camino de la derivación de la corriente producida por el rayo (figura 34); si no, hay que instalar DDR inmunizados contra estas corrientes (retardados o de tipo «S»).

Mantenimiento del ECT

Cuando se prevé la instalación de fuentes de reemplazo o de emergencia, hay que estudiar la protección de personas y bienes con las diversas configuraciones posibles de la instalación porque la posición del neutro respecto a tierra puede ser diferente.

Al alimentar, aunque sea provisionalmente, una instalación con un grupo electrógeno, es necesario conectar la masa del grupo con la red de tierra existente, sea el que sea el ECT; además, en el esquema TT hay que poner a tierra el neutro del alternador, puesto que si

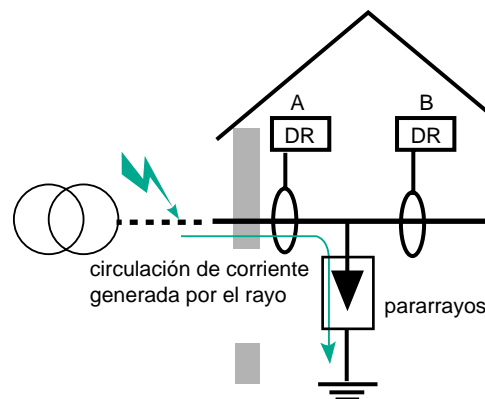


Fig. 34: En una instalación con un pararrayos, según las obligaciones locales, el DDR puede colocarse: en A, con un DDR retardado o de tipo «S», o en B colocando un DDR estándar.

no, las corrientes de defecto no llegan al umbral de disparo de los DDR.

Cuando en una instalación con esquema TT hay un SAI -Sistema de alimentación estática ininterrumpida- es necesario instalar una toma a tierra del neutro aguas abajo del SAI para que puedan funcionar correctamente los DDR (contacto K de la figura 35), pero no es indispensable para la seguridad de las personas, porque:

- la instalación pasa a ser IT y el primer defecto no es peligroso (norma C 15-402 § 6.2.2.2),
- la probabilidad de que se produzca un segundo defecto de aislamiento durante el funcionamiento con el SAI es muy baja, debido a la escasa autonomía de las baterías del SAI.

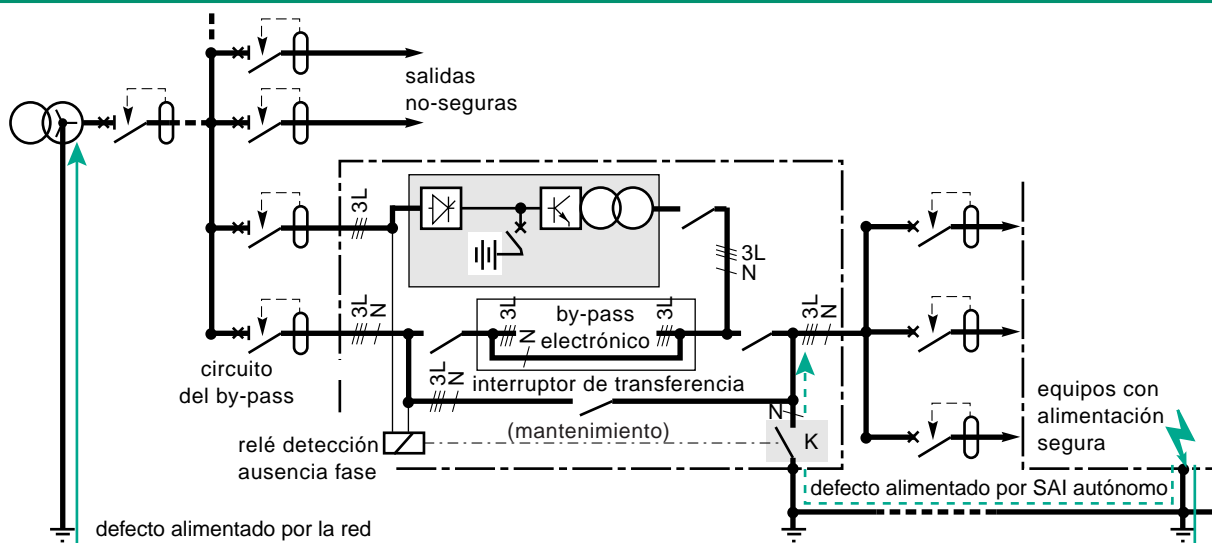


Fig. 35: Cuando se detecta la ausencia de red en la alimentación del SAI, el contactor K aplica el esquema TT aguas abajo del SAI.

5.4 DDR para redes mixtas y de corriente continua

Un defecto de aislamiento con corriente continua resulta mucho menos peligroso que en corriente alterna

Experiencias efectuadas (figura 5) han puesto de manifiesto que el hombre, con bajas corrientes, es unas cinco veces menos sensible a la corriente continua que a la alterna de 50/60 Hz.

Hasta sobrepasados los 300 mA no aparece riesgo de fibrilación ventricular.

En las normas de instalación CEI 60479 se da como valor aproximado el doble, pero teniendo en cuenta el hecho de que en la práctica las corrientes de defecto son direccionales aunque no siempre sean alisadas.

Esto queda reflejado en la gráfica de la figura 36, hecha a partir de la tabla de la figura 7.

Nótese que un rectificador alimentado con una tensión alterna de 400 V entre fases produce una tensión de contacto directo de 270 V de continua, lo que corresponde a un tiempo de corte máximo de 0,3 s.

Las normas de fabricación de los DDR tienen en cuenta la existencia de corrientes no alternas. Se refieren a los casos típicos indicados en la figura 21 y descritos en los test correspondientes. A título de ejemplo, los interruptores diferenciales deben de actuar para $I_d \leq 1,4 \cdot I_{\Delta n}$ en todos los casos correspondientes a la figura 37, y con o sin la superposición de una componente continua con un rizado de hasta 6 mA; disparan tanto si la corriente de defecto se aplica bruscamente como si aumenta lentamente de 0 a $1,4 \cdot I_{\Delta n}$ en 30 s.

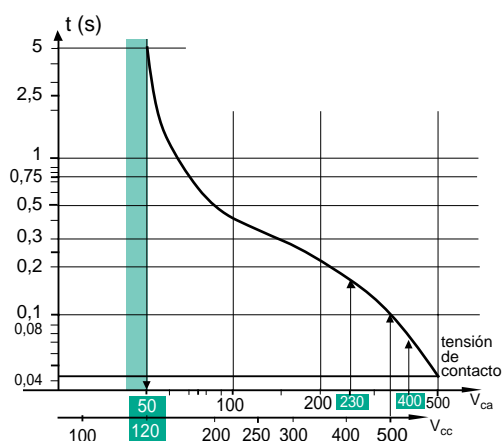
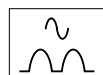


Fig. 36: Tiempos establecidos a partir de los tiempos máximos de corte de un DDR fijados por la NF C 15-100.

Los DDR que cumplen los requisitos de estos ensayos se pueden marcar en la parte frontal con el símbolo:



Las corrientes de defecto reales

Son una imagen de las tensiones que hay entre el punto del defecto y el neutro de la alimentación.

La forma de onda de la corriente de defecto muy difícilmente es la misma que la de la tensión aplicada o de la corriente que circula y que absorbe la carga.

Son muy poco frecuentes las tensiones y corrientes de defecto de tipo continuo puro (tasa de ondulación nula).

■ En el ámbito doméstico, la distribución y los rectificadores son monofásicos, lo que corresponde a los esquemas A a F de la figura 38. Los DDR de tipo A aseguran la protección de personas. Sin embargo, los del esquema B, no detectan la corriente de defecto más que si se aplica instantáneamente. Nótese que el montaje E está cada vez más extendido, porque se utiliza como circuito de entrada de las alimentaciones conmutadas, que se utiliza mucho en los aparatos domésticos (TV, microondas, ...) pero también en el campo profesional (ordenadores, fotocopiadoras, etc...).

■ En la industria, la mayor parte de los rectificadores son trifásicos (montajes G a K de la figura 39).

Ciertas configuraciones pueden producir una corriente de defecto continua con una pequeña tasa de rizado:

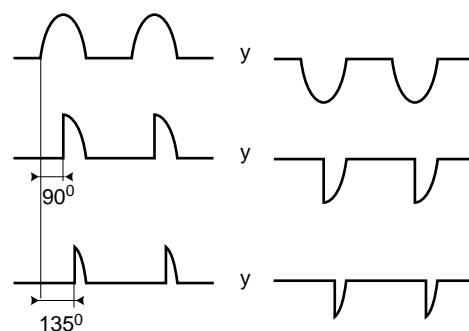


Fig. 37: Formas de onda de las corrientes de test de los DDR de tipo A.

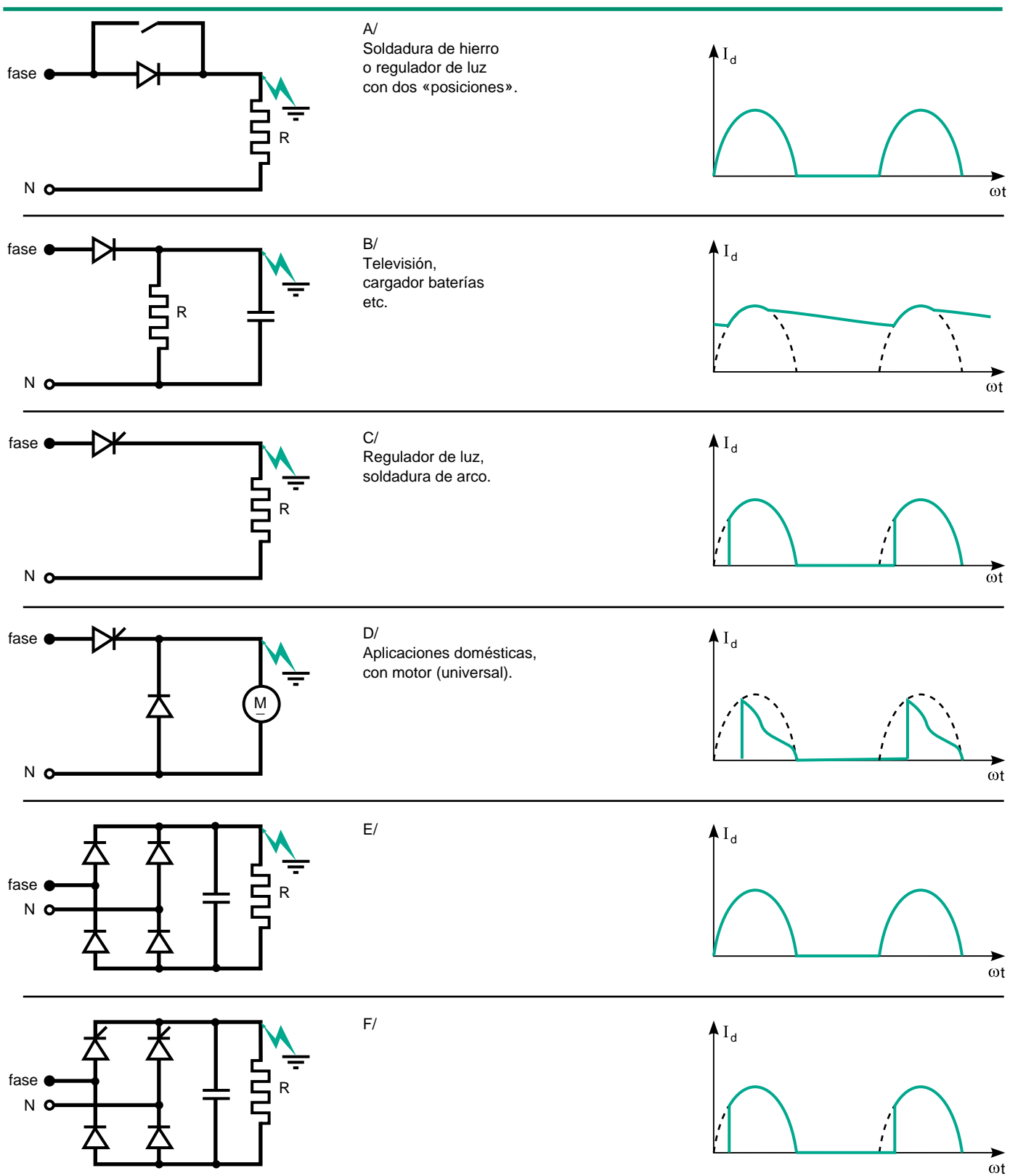
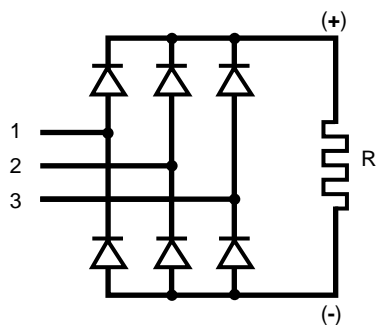
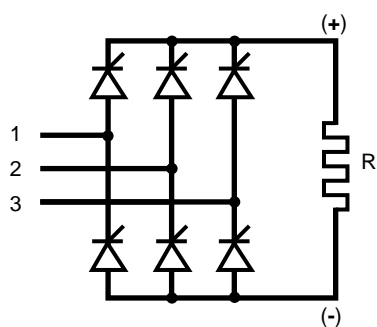
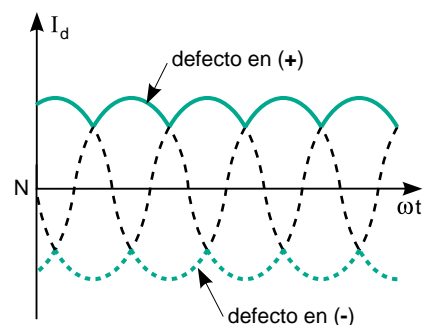


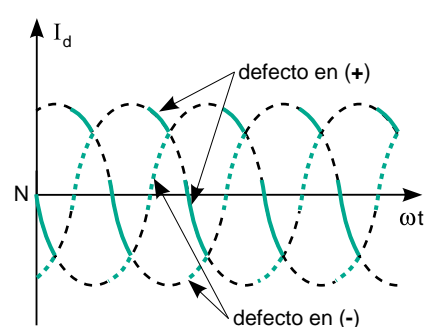
Fig. 38: Forma de las corrientes de defecto detectadas con rectificadores alimentados en monofásica cuando se produce un defecto de aislamiento en su polo positivo.



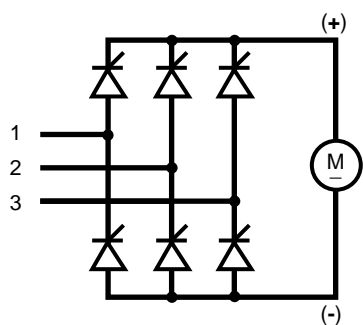
G/
Rectificador para:
■ equipo de soldadura,
■ electroimán,
■ electrólisis,
etc.



H/
Rectificador controlado para:
■ red cc industrial,
■ electroforesis.

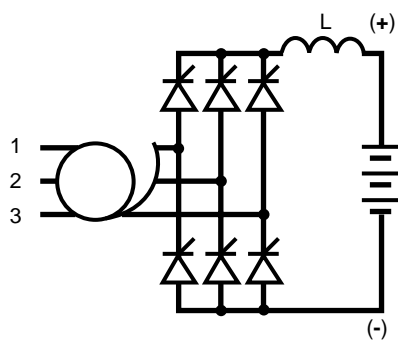


Nota: La corriente de un defecto en (+) sigue el límite superior de las zonas de conducción. Del mismo modo, la corriente de defecto en (-) sigue el límite inferior.

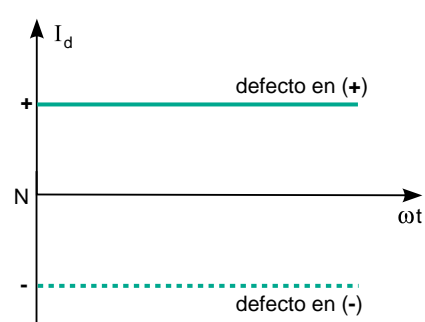


J/
Variador de velocidad para motor cc.

Nota: La corriente de defecto es «pulsante» a baja velocidad y casi cc pura a alta velocidad.



K/
Cargador de baterías
estacionario para:
■ red auxiliar cc,
■ ondulator.



Nota: En este esquema, la bobina de filtro (L) influye en la conducción (cíclica y por pares) de los tiristores de tal manera que el punto de defecto (+) o (-) está siempre eléctricamente unido al neutro; por ello, la corriente de defecto es casi una cc pura.

Fig. 39: Forma de las corrientes de defecto detectadas con rectificadores alimentados en trifásica cuando se produce un defecto en su salida.

□ Montajes G y H

La configuración G produce una tensión rectificadora que tiene permanentemente un pequeño rizado y cuyas corrientes de defecto son difíciles de detectar con un DDR.

Por el contrario, la configuración H produce una corriente de defecto muy cortada y por tanto detectable por el DDR. Sin embargo, es equivalente al montaje G cuando conduce a doble onda.

□ Montaje J

Este montaje, frecuente, corresponde especialmente a los reguladores de velocidad para motores de corriente continua. Debido a la fuerza contraelectromotriz y a la autoinducción de los motores, se produce una corriente de defecto más alisada que en los anteriores montajes G y H. Sin embargo, independientemente del ángulo de conducción de los tiristores, los DDR situados aguas arriba del variador deben de ser capaces de asegurar la protección.

Ciertos DDR estándar pueden servir mediante un ajuste adaptado a su umbral $I\Delta n$.

A título de ejemplo, la **figura 40** da la sensibilidad de un DDR, con tecnología electrónica analógica, en función de la tensión de salida del variador aplicada al motor.

□ Montaje K

Con esta configuración, un defecto en el circuito de continua no provoca un $d\phi/dt$ en los captadores magnéticos de los DDR, por lo que éstos quedan entonces «ciegos». Este montaje, si se utiliza un transformador en vez de un autotransformador, es peligroso porque los DDR de tipo AC y A no actúan.

Casos particulares: el retorno de cc

Analicemos lo que sucede cuando se produce un segundo defecto en la parte de alterna de una red (**figura 41**) que tiene un rectificador

del tipo G de los antes citados. Si la alimentación (A) del rectificador no está supervisada por el DDR o si el DDR está mal elegido o si no está operativo por alguna razón, el defecto de aislamiento de la parte de continua se mantiene.

Pero si se produce un defecto en una derivación de corriente alterna (B), la corriente de defecto es igual a $i_1 + i_2...$ Y, si el DDR situado en dicha salida es de tipo AC, no es seguro que actúe dentro del umbral asignado.. Por esto, la norma C15-100 §532-2-4-1 dice:

«Cuando los equipos eléctricos capaces de producir una corriente continua están conectados aguas abajo de un dispositivo DR, hay que tomar precauciones para que, en caso de defecto a tierra, las corrientes continuas no perturben el funcionamiento del DDR y no comprometan la seguridad».

Por tanto es conveniente:

- elegir muy bien el DDR situado justo aguas arriba del sistema rectificador,
- eventualmente, utilizar en el resto de la instalación DDR de tipo A.

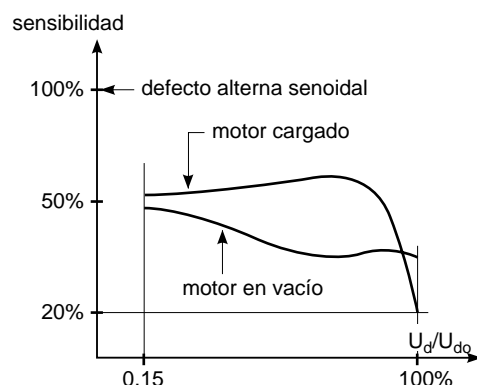


Fig. 40: Evolución de la sensibilidad de un DDR electrónico situado aguas arriba de un rectificador a tiristores.

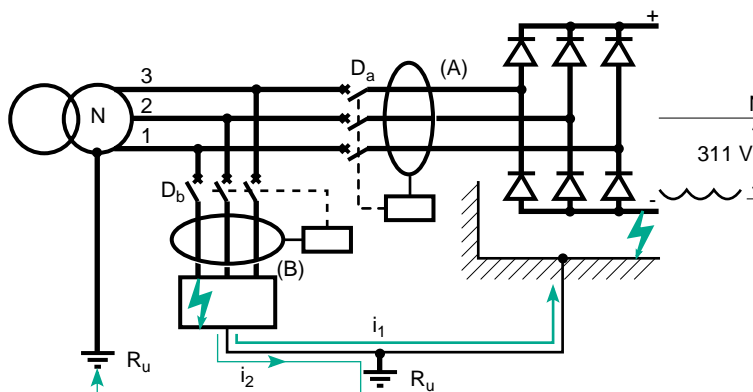


Fig. 41: Una corriente de defecto mantenida en la salida del rectificador (D_a no dispara) puede dejar ciego el DDR situado en B.

6 Conclusión

Puesto que la electricidad, como fuente de energía, tiene una importancia cada vez mayor, tanto en las viviendas como en el sector servicios y en la industria, es muy útil recordar los riesgos de la electricidad, cuantificarlos y dar a conocer los DDR.

Los DDR tienen, como equipo, sus ventajas y sus límites. Todavía perfectibles, estos dispositivos tienen cada vez más importancia en la protección de personas y de bienes.

Todos los países industrializados utilizan muchísimo los DDR, y con diferentes ECT, tanto en la industria como en las viviendas.

Generalizado, esto es lo que hay que recordar de las normas y de las prácticas de instalación:

- Para la protección de personas contra riesgos de contactos indirectos, un DDR es:
 - obligatorio con el esquema TT,
 - necesario con el esquema IT, si hay varias tomas de tierra,
 - a prever en el caso de derivaciones de gran longitud con los esquemas TN e IT.

■ Para la protección de personas contra los riesgos de los contactos directos, un DDR es muy útil y frecuentemente impuesto por las normas como medida complementaria para cualquier ECT.

■ Los DDR forman parte también de las protecciones contra:

- los riesgos de incendio de origen eléctrico,
- la destrucción de máquinas con el esquema TN,
- las perturbaciones electromagnéticas con el esquema TN-S (supervisión del aislamiento de neutro).

Los DDR actuales respetan las normas de construcción (capítulo 4) y continúan avanzando en fiabilidad e inmunidad frente a fenómenos parásitos que no correspondan a defectos de aislamiento del neutro.

Este estudio, en cuanto que contribuye a un mejor conocimiento de los diferenciales, debe de contribuir también a la seguridad de todos.

7 Bibliografía

Normas

A partir de 1997 las nuevas publicaciones, ediciones, revisiones y enmiendas CEI a las publicaciones existentes tienen una designación dentro de la serie 60000.

El usuario ha de saber que las publicaciones antiguas, impresas antes de 1997 continúan llevando los números antiguos en las copias impresas, a la espera de ser revisadas.

Normas «Productos»

- CEI 60479: Guía de los efectos de una corriente que atraviesa en cuerpo humano.
- CEI 60755: Reglas generales relativas a los dispositivos de protección de corriente diferencial residual.
- CEI 60947-2: Aparata de BT. 2ª parte: interruptores automáticos.
- CEI 61008: Interruptores automáticos de corriente diferencial residual para usos domésticos y análogos.
- CEI 61009: Interruptores automáticos para usos domésticos y análogos.
- UTE C 60-130: Dispositivos de protección de corriente diferencial residual.
- Norma en proyecto: Toma de corriente diferencial.

Normas « instalación »

- CEI 60364: Instalaciones eléctricas de baja tensión.
- UTE C 15-401: Guía práctica, instalación de grupos motor térmico - generador.
- UTE C 15-402: Guía práctica de sistemas de alimentación sin corte -SAI- de tipo estático.

Cuadernos Técnicos Schneider

- Protección de personas y sistemas de alimentación estática. Cuaderno Técnico nº 129. J-N. FIORINA
- Evolución de los interruptores automáticos BT con la norma CEI 60947-2. Cuaderno Técnico nº 150. E. BLANC.
- Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro). Cuaderno Técnico nº 172. B. LACROIX y R. CALVAS
- Los esquemas de conexión a tierra en el mundo y su evolución. Cuaderno Técnico nº 173. B. LACROIX y R. CALVAS
- Las perturbaciones de los sistemas electrónicos y los esquemas de conexión a tierra. Cuaderno Técnico nº 177. R. CALVAS
- Coexistencia de altas y bajas corrientes. Cuaderno Técnico nº 187. R. CALVAS y J. DELABALLE.

Otras publicaciones

Le guide Schneider de l'installation électrique BT. Editeur CITEF, S.A.