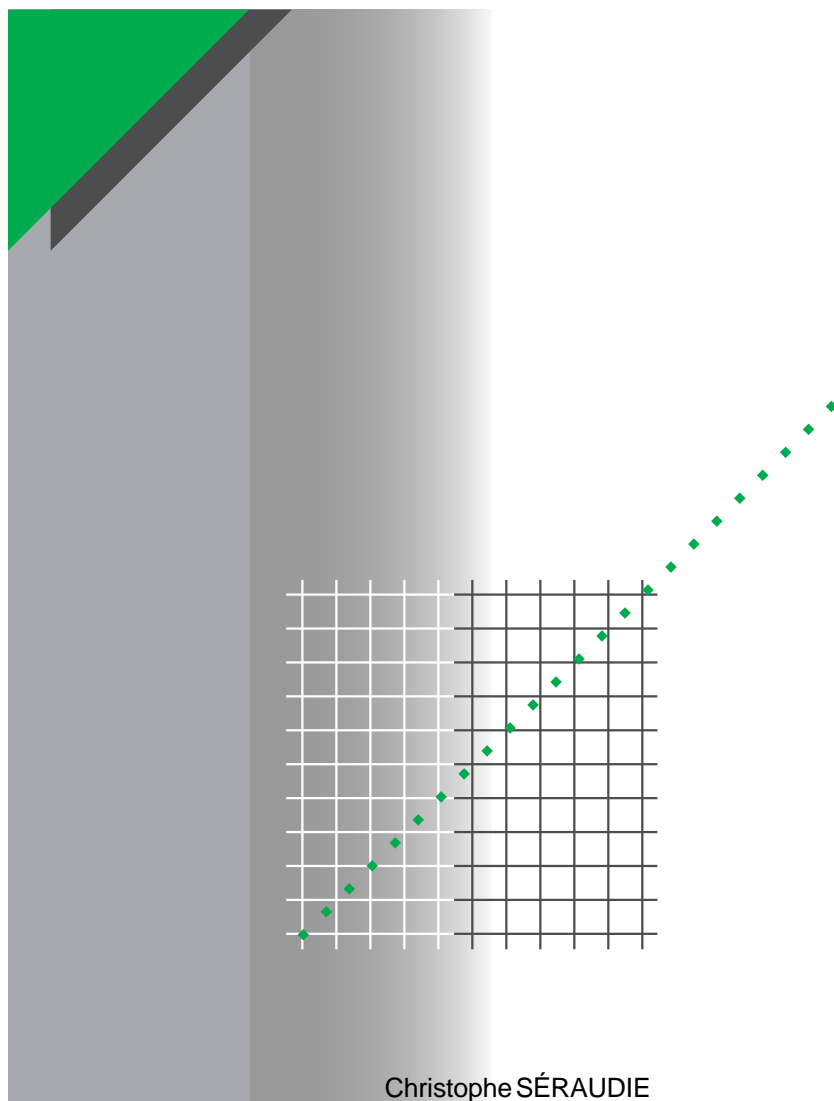


Cuaderno Técnico nº 179

Sobretensiones y limitadores de sobretensiones en BT –coordinación del aislamiento en BT–



Christophe SÉRAUDIE

Merlín Gerín

Modicon

Square D

Telemecanique



Los **Cuadernos Técnicos** constituyen 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.

Los **Cuadernos Técnicos** desarrollan los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipamientos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Estas publicaciones pueden ser consultadas en Internet a partir de nuestra WEB Corporativa:
www.schneiderelectric.es

Igualmente puede solicitarse un ejemplar de cada **Cuaderno Técnico** 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 (España).

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Colección de Publicaciones Técnicas» del **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 179 de Schneider Electric».



Christophe SÉRAUDIE

Diplomado por el Centro de Estudios Superiores de Técnicas Industriales-CESTI- en 1986, y después doctorado en materiales cerámicos en 1990 (tesis preparada en la Universidad de Limoges con contrato de CNRS «Cerámicas y compuestos»).

Entra en Merlin Gerin ese mismo año en el grupo de investigación «corte en baja tensión».

En 1992 toma a su cargo el desarrollo de productos limitadores de sobretensión en la división baja tensión terminal.

Cuaderno Técnico 179

Sobretensiones y limitadores de sobretensiones en BT –coordinación del aislamiento en BT–

Por: C. Séraudie

Trad. José M^a Giró

Edición francesa: septiembre 1995

Versión española: enero 2000



Terminología

Corriente de descarga nominal I_n o máxima $I_{m\acute{a}x}$:

Valor de pico de la corriente en la onda 8/20 μs (fig. 9), utilizada para los ensayos de funcionamiento.

Corriente de fuga I_f :

Corriente que circula por el limitador cuando se alimenta a su tensión máxima de régimen permanente.

Corriente de continuación I_s :

Corriente cedida por la red y derivada por el limitador después del paso de la corriente de descarga (este fenómeno sólo se presenta en las tecnologías con descargadores).

ECT:

Esquema de conexión a tierra, antiguamente llamado, en Francia, «régimen de neutro».

Filtro:

Aparato específicamente destinado a eliminar las sobretensiones de maniobra o las de frecuencia industrial.

Limitador de sobretensiones:

Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y, de entre ellas, las sobretensiones de rayo y a derivar las ondas de corriente. Éstas tienen al menos una componente no lineal. (Según NF C 61-740).

Modo común (perturbaciones de...):

Las que se aplican y se propagan entre los conductores activos y las masas o tierra.

Modo diferencial (perturbaciones de...):

Las que sobreponen a la tensión de red y se propagan entre los diversos conductores activos.

Niveles de protección:

El mayor de los valores de tensión residual y la tensión máxima de cebado.

Pararrayos:

Dispositivo que atenúa o descresta ciertos tipos de sobretensiones. En Francia este término se reserva, sobre todo, para las protecciones contra las sobretensiones con origen en la MT en las instalaciones de BT con conexión a tierra IT.

Pararrayos de punta Franklin:

Elemento metálico encargado de captar el rayo para derivarlo a tierra.

Tensión residual U_r :

Tensión que aparece en los bornes de un limitador de sobretensiones (componente o apartamento) durante el paso de una corriente de descarga.

Tensión máxima de cebado:

Tensión de pico de onda 1,2/50 μs (característica particular de los componentes del tipo explosor).

Sobretensiones y limitadores de sobretensiones en BT

–coordinación del aislamiento en BT

La coordinación del aislamiento en BT es la adecuación realizada entre los diversos valores de sobretensiones que pueden aparecer en la red eléctrica (o en una instalación) y la rigidez dieléctrica a las sobretensiones de los materiales industriales o domésticos que aquella alimenta, teniendo en cuenta la posibilidad de incluir en dicha red dispositivos limitadores.

Esta disciplina proporciona una mayor seguridad a equipos y materiales y aumenta la disponibilidad de la energía eléctrica.

Por tanto, para controlar la coordinación del aislamiento, es necesario:

- sopesar los valores de tensión y la energía de las sobretensiones,
- conocer las características de los materiales instalados y su localización,
- escoger las protecciones adecuadas, sabiendo que, para un determinado material, no hay más que un valor de rigidez dieléctrica a las sobretensiones (normalmente fijado por su norma de construcción).

En este Cuaderno Técnico las perturbaciones, las protecciones y, en particular, los limitadores se estudian bajo el punto de vista de su normativa y de su instalación.

Este Cuaderno Técnico se refiere sustancialmente a las instalaciones BT (<1000 V) en el ámbito industrial, terciario y doméstico.

Índice

1	Las sobretensiones	p. 6
	1.1 Sobretensiones de origen atmosférico	p. 7
	1.2 Sobretensiones por descargas electrostáticas	p. 10
	1.3 Sobretensiones de maniobra	p. 11
	1.4 Sobretensiones a frecuencia industrial	p. 12
2	Los dispositivos de protección contra las sobretensiones	p. 13
	2.1 Los principios de protección	p. 13
	2.2 Los componentes	p. 16
	2.3 La instalación de los componentes	p. 18
3	Las normas y aplicaciones	p. 21
	3.1 Normas producto	p. 21
	3.2 Normas horizontales	p. 22
	3.3 Guía de instalación de los limitadores de sobretensión	p. 23
	3.4 Instalación de los limitadores	p. 24
4	Conclusión	p. 27
5	Bibliografía	p. 28

1 Las sobretensiones

Hay cuatro tipos de sobretensiones:

- de origen atmosférico,
- por descarga electrostática,
- de maniobra,
- a frecuencia industrial.

Sus principales características se resumen en la tabla de la **figura 1** y se definen en las publicaciones CEI 1000-4.

Estas perturbaciones que se superponen a la tensión de red pueden aplicarse de dos modos diferentes:

- en modo común, entre los conductores activos y tierra,
- en modo diferencial, entre los diferentes conductores activos.

En los dos casos, los daños ocasionados provienen de una descarga eléctrica, que produce la destrucción de los materiales sensibles y especialmente de los componentes electrónicos.

Las instalaciones sufren periódicamente un cierto número de sobretensiones, que no se pueden despreciar (**figura 2**). Estas

sobretensión	duración	pendiente del frente de subida, o frecuencia	amortiguación en función de la distancia
atmosférica	muy corta (μs)	muy elevada ($1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$)	fuerte
descarga electrostática	muy corta (ns)	elevada ($\approx 10 \text{ MHz}$)	muy fuerte
de maniobra	corta (ms)	media (1 a 200 kHz)	media
a frecuencia industrial	larga (s) o muy larga (h)	frecuencia de red	nula

fig. 1: los cuatro tipos de sobretensiones presentes en las redes eléctricas.

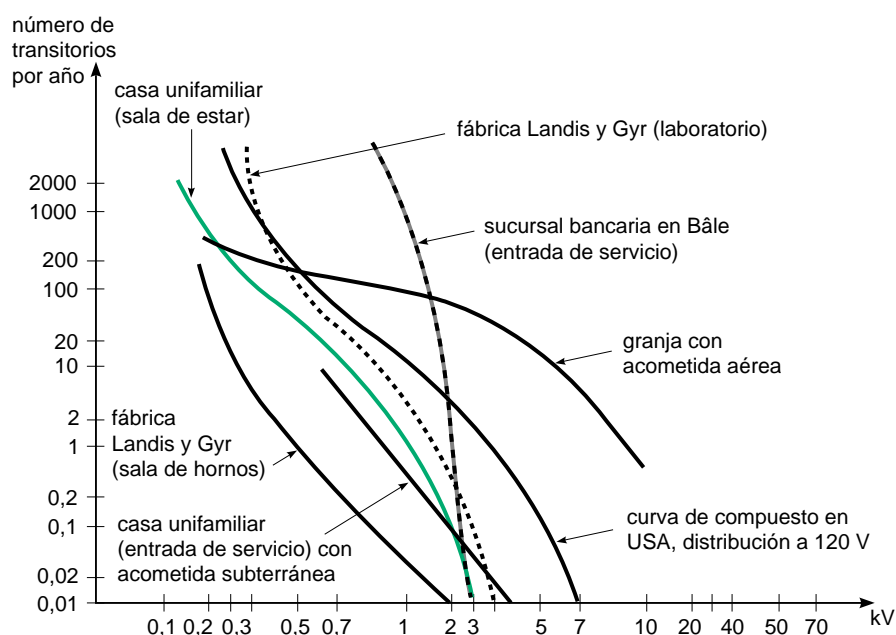


fig. 2: frecuencia anual y valores de pico de las sobretensiones (datos de Landis y Gyr publicados por el IEEE).

perturbaciones provocan fallos de funcionamiento y hasta la destrucción de materiales, lo que lleva, en consecuencia, a la interrupción del servicio.

Hay aparatos de protección, como los limitadores de sobretensiones, supresores,

explosivos o pararrayos de alta y baja tensión. Pero, para protegerse adecuadamente de las diversas sobretensiones que aparecen en la red, es necesario conocerlas bien, definiendo sus características. Éste es precisamente el objeto del presente capítulo.

1.1 Sobretensiones de origen atmosférico

El rayo es un fenómeno natural, cuyos efectos son a la vez espectaculares y destructores.

En Francia, dos millones de rayos causan cada año la muerte de 40 personas y 20 000 animales; 15 000 incendios, 50 000 cortes en las redes eléctricas y telefónicas y la destrucción de numerosos transformadores y millares de electrodomésticos. El coste total de los efectos del rayo se calcula en casi mil millones de francos al año.

No todas las regiones tienen el mismo riesgo: normalmente en cada país hay un mapa de

niveles ceráunicos. Para poder determinar con más precisión el peligro de exposición al rayo de un lugar concreto, es mejor acudir a los mapas editados por sociedades especializadas en la detección de las tormentas y los fenómenos asociados (**figura 3**).

El rayo es consecuencia de la formación de nubes tempestuosas que, con el suelo, forman un auténtico dipolo. El campo eléctrico en el suelo puede alcanzar, entonces, hasta unos 20 kV/m. Por saltos sucesivos una chispa llega de la nube al suelo, creando un canal ionizado por el que circula el arco de retorno o descarga de

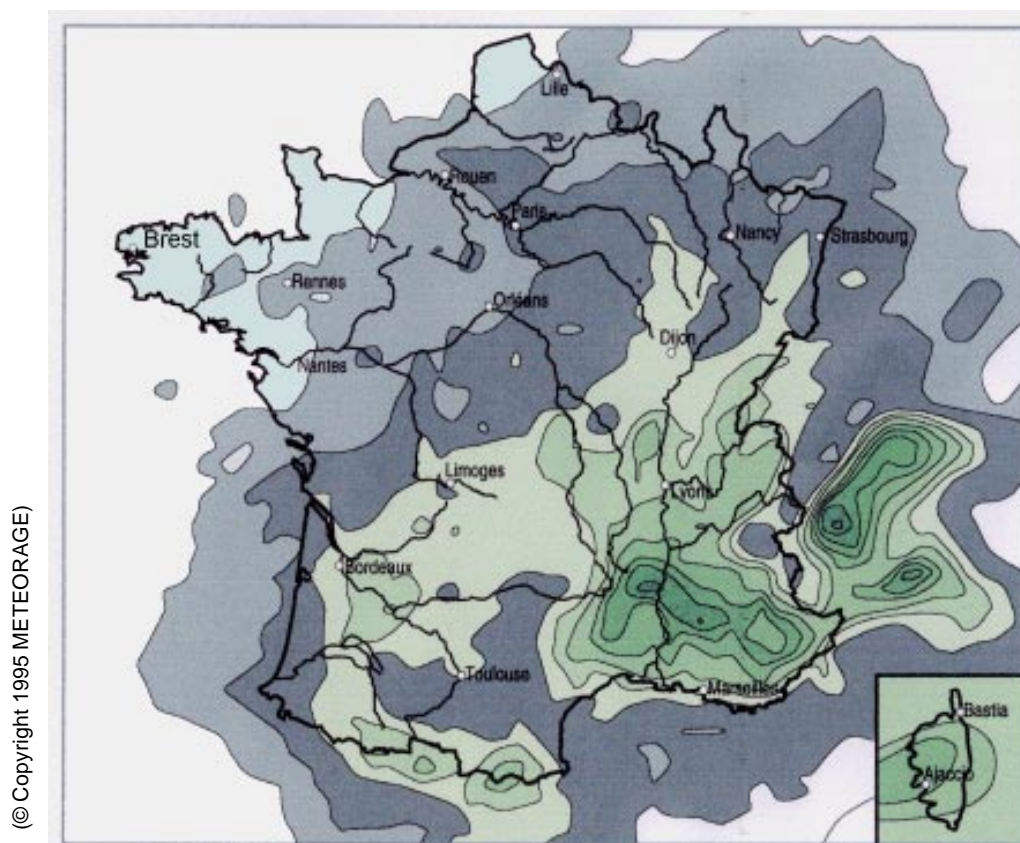


fig. 3: gráfica de número de impactos de rayo en Francia. Cada tono corresponde a una densidad.

rayo (figura 4). Dependiendo de la polaridad de la nube respecto al suelo, se habla de descarga negativa (nube negativa) o positiva (nube positiva) y, según el origen de la chispa, la descarga es ascendente o descendente.

Se ha observado que, en los países de clima templado (incluida Francia), la mayor parte de rayos son negativos, pero los que tienen más energía son los positivos.

Los efectos de los rayos se pueden estudiar bajo dos aspectos diferentes: cuando el elemento que se estudia es el que ha recibido directamente el rayo, que es lo que se llama «caída directa de rayo» y cuando el elemento estudiado no sufre más que sus efectos, que es el caso de la «descarga indirecta de rayo».

Cuando cae un rayo en una estructura, su corriente produce una sobretensión impulsional.

Caída directa de rayo

En el campo de la electrotecnia, el rayo «directo» es el que alcanza directamente las instalaciones eléctricas (líneas aéreas, centros de transformación, ...).

Su energía es muy importante, puesto que el 50% de rayos sobrepasan los 25 kA de pico y el 1% llega a sobrepasar los 180 kA (figura 5). La rampa de subida de estas descargas puede

alcanzar 100 kA/μs. Y además el rayo rara vez es único: normalmente se detectan varios impulsos o descargas separados unas decenas de milisegundos (figura 6).

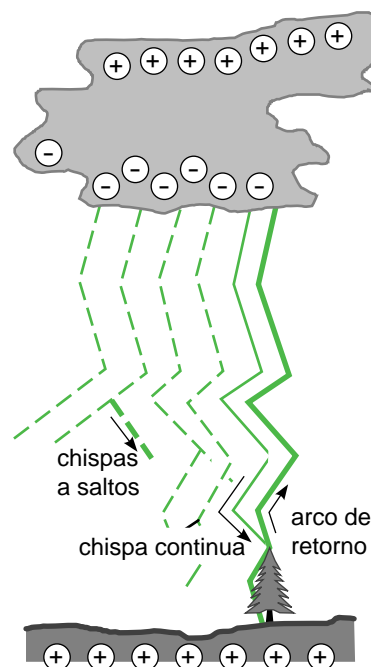


fig. 4: esquematización de la caída de rayo.

probabilidad de rebose	pico de corriente	carga	pendiente	$\int i^2 dt$	duración total	número de descargas
P (%)	I (kA)	Q (C)	S (kA/μs)	(kA ² .s)	T (s)	n
50	26	14	48	0,54	0,09	1,8
10	73	70	74	1,9	0,56	5
1	180	330	97	35	2,7	12

fig. 5: principales características de la caída de rayo (fuente Soulé).

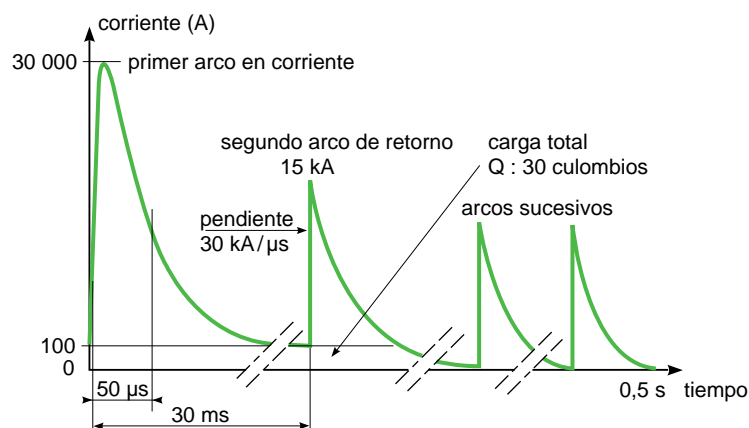


fig. 6: forma de la corriente de rayo nube-suelo negativa.

Se conocen perfectamente los efectos destructores del rayo: electrocución de los seres vivos, fusión de materiales e incluso incendio de edificios. La instalación de un pararrayos en los edificios disminuye estos riesgos lo mismo que los cables de guarda que protegen las líneas de MAT.

Descarga indirecta de rayo

Es la manifestación a distancia de una descarga directa de rayo.

Aquí se estudian sus efectos en tres aspectos: las sobretensiones conducidas, la elevación del potencial de tierra y la radiación.

■ las sobretensiones conducidas son la consecuencia de una descarga en las líneas aéreas.

Pueden alcanzar varios centenares de kilovoltios.

Si el impacto tiene lugar en una red de MT, la transmisión a través del transformador al lado de BT se realiza por acoplamiento capacitivo (**figura 7**). En general, en el lado de BT aparece menos del 4% de la amplitud de la sobretensión del lado de la MT. Un estudio estadístico realizado en Francia indica que el 91% de las sobretensiones en el domicilio de un abonado de BT no sobrepasan los 4 kV, y el 98%, los 6 kV.

■ cuando se deriva a tierra la corriente de un rayo, se produce una elevación del potencial de tierra. Si la descarga se produce en las proximidades de tomas de tierra, la variación de potencial de tierra alcanza las instalaciones eléctricas (**figura 8**). Así, a una distancia dada D de un punto de descarga de un rayo, el potencial U se expresa por la ecuación:

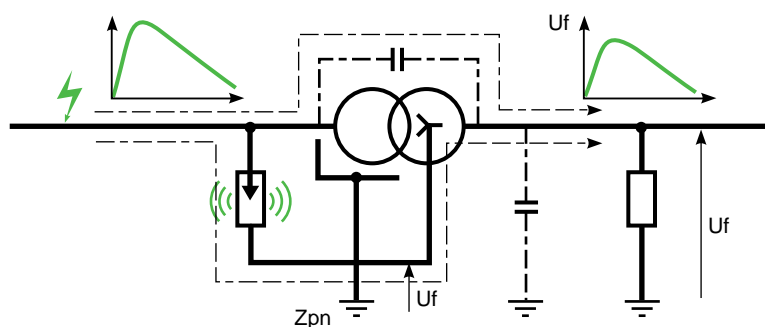


fig. 7: la transmisión de una sobretensión de rayo, desde MT a BT, se efectúa por acoplamiento capacitivo en los arrollamientos del transformador.

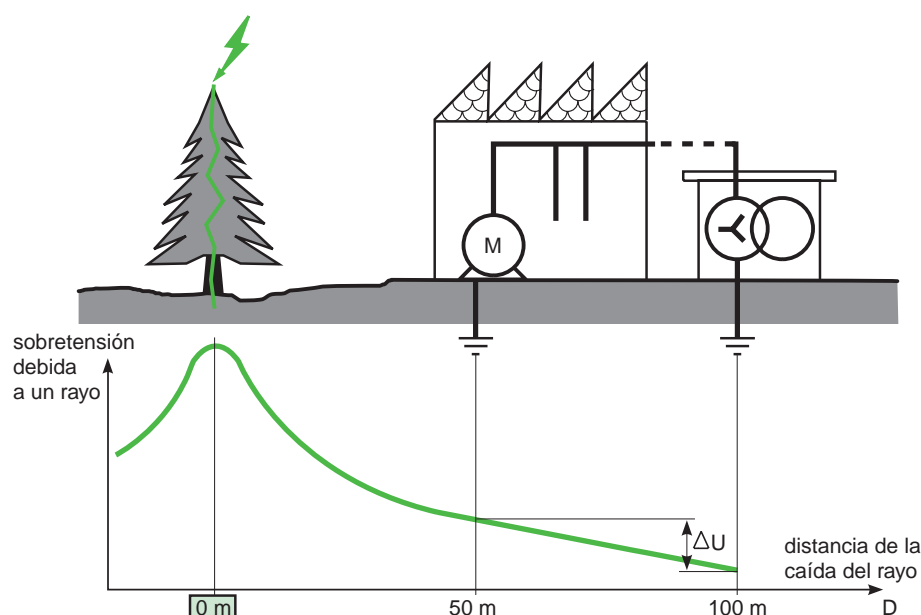


fig. 8: diagrama para visualizar la rampa y las diferencias de potencial en tierra de una instalación eléctrica.

$$U \approx 0,2 \cdot I \cdot \rho_s / D$$

siendo:

I : corriente de rayo,

ρ_s : resistividad del suelo.

Al aplicar los valores de la **figura 8**, que son:

$$I = 20 \text{ kA},$$

$$\rho_s = 1000 \Omega \cdot \text{m},$$

$$D_{\text{neutro}} = 100 \text{ m},$$

$$D_{\text{instalación}} = 50 \text{ m},$$

se obtiene como resultado que el potencial de la toma de tierra del neutro alcanza 40 kV en el momento en el que el de la toma de tierra de la instalación es de 80 kV, lo que supone una diferencia de potencial entre la toma de tierra del neutro y la de la instalación de 40 kV. Este ejemplo se refiere a un caso típico, puesto que en realidad los valores que se alcanzan en las instalaciones rara vez sobrepasan los 10 kV. Además, hay que tener también siempre presente que esta sobretensión depende de la resistividad del suelo.

Es este fenómeno el que explica normalmente la electrocución indirecta por rayo de los animales: así, por ejemplo, a 100 m del punto de caída, un caballo en un prado llega a tener que soportar entre sus patas delanteras y traseras una diferencia de tensión de 500 voltios.

■ la radiación es otro efecto, porque una caída indirecta de rayo puede producir una variación extremadamente rápida del campo electromagnético, originando dicha variación tensiones inducidas en los bucles. Así, es normal medir cerca de las tormentas, tensiones inducidas de un centenar de voltios por metro cuadrado de bucle.

Los campos eléctricos asociados, radiados por un relámpago, pueden alcanzar los 50 kV/m, pudiendo inducir tensiones importantes en los circuitos abiertos que actúan como antenas.

Estos fenómenos se caracterizan por tener un frente de subida muy brusco y una amortiguación rápida.

El estudio estadístico de las sobretensiones y las sobreintensidades debidas al rayo ha llevado a la normalización de ondas que se representa en la **figura 9**.

La clasificación de materiales según estos tipos de ondas es una referencia para conocer su rigidez dieléctrica al rayo.

La respuesta a estos diferentes efectos del rayo se trata indirectamente, al hablar de los dispositivos de protección, en el capítulo 3.

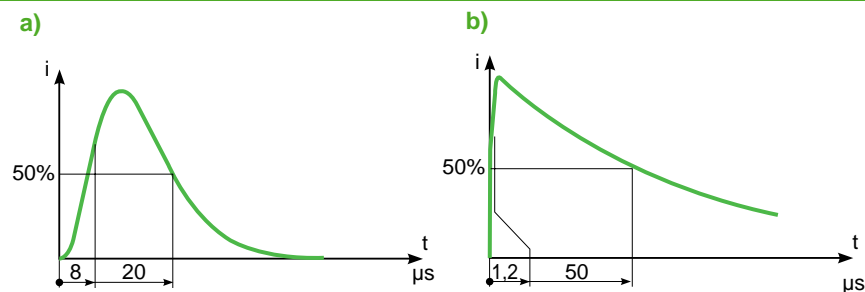


fig. 9: formas de onda de rayo normalizada: a) onda «de corriente» 8/20 μs; b) onda «de tensión» 1,2/50 μs.

1.2 Sobretensiones por descargas electrostáticas

En un medio muy seco es frecuente que una persona se cargue electrostáticamente, por frotamiento (especialmente con moquetas sintéticas), alcanzando una tensión de varias decenas de kilovoltios. Su descarga es un impulso de corriente de algunas decenas de

amperio. Después de estas descargas, cuyo frente de subida es muy rápido (de algunos nanosegundos como máximo), se han encontrado perforaciones en algunos componentes electrónicos.

1.3 Sobretensiones de maniobra

Este tipo de fenómenos se presenta en redes eléctricas que sufren modificaciones bruscas de sus circuitos (abertura de aparatos de protección, apertura y cierre de aparatos de mando). Las sobretensiones producidas se propagan en general en forma de ondas de alta frecuencia con amortiguación rápida.

Conmutación de corrientes inductivas

Cuando se establecen o interrumpen circuitos inductivos se pueden producir impulsos de gran amplitud y de un tiempo corto de subida. Así, el interruptor de mando de un motor eléctrico, un transformador BT/BT, un contactor, y hasta un simple relé... producen una sobretensión de modo diferencial cuya amplitud puede sobrepasar los 1000 voltios con frentes de subida de algunos microsegundos.

Las sobretensiones de maniobra por conmutación de corrientes inductivas también pueden tener su origen en la red MT.

Conmutación de circuitos capacitivos

Aunque las redes eléctricas son normalmente inductivas, la presencia de capacidades

(baterías de condensadores o simplemente líneas en vacío), constituye un circuito resonante LC. Las maniobras producen entonces sobretensiones de tipo oscilatorio. En caso de cebado después de un corte, se pueden encontrar sobretensiones hasta tres veces mayores.

Interrupción de una gran corriente con un órgano de corte

Interrumpir una corriente de cortocircuito produce sobretensiones si el corte es muy rápido y sin consumo de energía en el arco. Estas sobretensiones pueden ser muy importantes al fundirse ciertos fusibles (del orden de 1,5 kV). Un caso similar bien conocido es el corte de corriente que se produce en la soldadura por arco: las sobretensiones observadas alcanzan la decena de kilovoltios.

El estudio estadístico de las sobretensiones de maniobra ha llevado a la normalización de las ondas que se presenta en la **figura 10**.

La clasificación de materiales según estos tipos de ondas es una referencia para conocer su rigidez dieléctrica a las sobretensiones de maniobra.

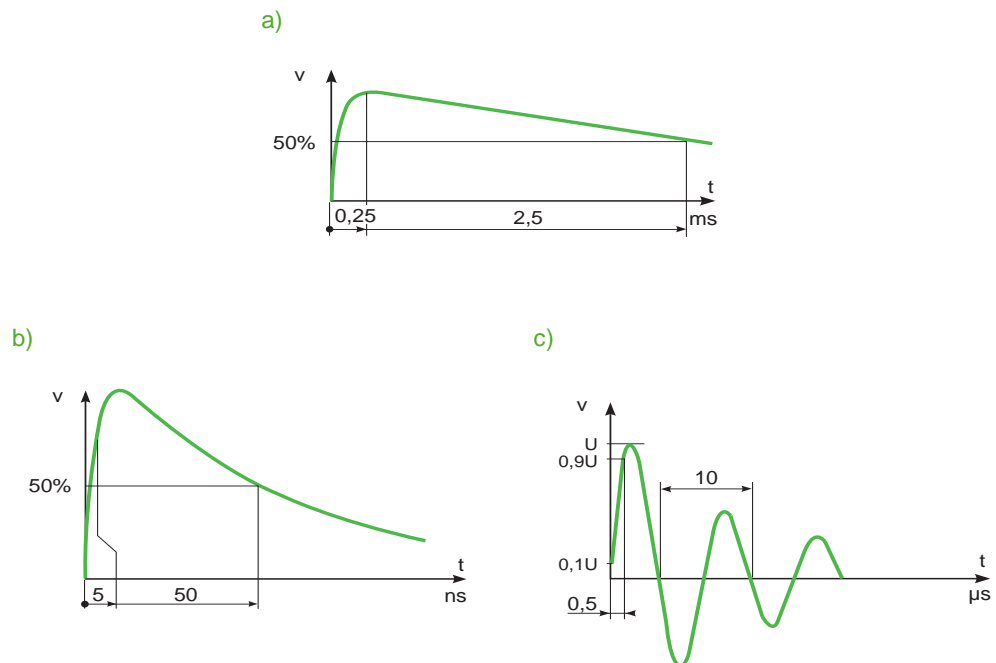


fig. 10: formas de ondas normalizadas que representan las sobretensiones de maniobra: a) onda «muy amortiguada» 250/2500 µs; b) onda «impulsional recurrente» 5/50 ns, que simula, por ejemplo, la fusión de un fusible; c) onda «senoidal amortiguada» 0,5 µs/100 kHz.

1.4 Sobretensiones a frecuencia industrial

La característica principal de estas sobretensiones es su frecuencia, que sigue la de la red: normalmente 50, 60 ó 400 Hz.

Corriente de fuga en las autoválvulas de media tensión

Cuando cae un rayo en una línea de MT provoca el cebado de las autoválvulas que dejan pasar inmediatamente hacia tierra una corriente, de la frecuencia de la red, hasta que actúan las protecciones del centro de transformación. Esta corriente implica, durante una fracción de segundo, una elevación del potencial de tierra de la red de BT y un riesgo de descarga por retornos a través de los materiales BT, si la toma de tierra de las autoválvulas es la misma que la del neutro de BT.

Esta sobretensión puede aparecer varias veces seguidas, por ejemplo durante los intentos de conexión a tensión, cuando el defecto de aislamiento sigue presente (lo que sucede en los ciclos de reenganche automático en las redes de distribución rural). Este riesgo no existe en las autoválvulas de óxido de cinc que no tienen corriente subsiguiente.

Una elevación de potencial de tierra de este tipo se produce en la red BT también en el caso de

descarga MT/masa de un transformador MT/BT, si la masa del transformador está conectada a la tierra del neutro.

Corte de la continuidad del neutro

Aunque las redes de distribución son generalmente trifásicas, la mayor parte de los aparatos son monofásicos. En función de las necesidades de cada abonado de BT, se pueden producir desequilibrios en la tensión. El caso más peligroso es el del corte del neutro, que puede llevar a una subida de potencial peligrosa para los aparatos previstos para funcionar a tensión simple y que entonces se ven sometidos a una tensión próxima a la tensión compuesta.

El defecto de aislamiento

En el caso de una red trifásica con el neutro aislado o impedante, el que una fase se derive a tierra somete a las otras dos a la tensión compuesta respecto a tierra.

De entre todas estas sobretensiones, las más peligrosas son las que se propagan en modo común, sean de rayo, sean de frecuencia industrial cuando la corriente homopolar en MT es importante.

2 Los dispositivos de protección contra las sobretensiones

Para garantizar la seguridad de las personas, la protección de los bienes, y, en cierta medida, la continuidad del servicio, la coordinación del aislamiento busca reducir la probabilidad de fallo de origen dieléctrico del material. Hay varios componentes encargados de limitar o

suprimir las sobretensiones definidas anteriormente. Estos dispositivos utilizados en la fabricación de aparatos de protección contra las sobretensiones están ya muchas veces incluidos en ciertos aparatos de BT, especialmente los electrónicos.

2.1 Los principios de protección

El nivel de sobretensión que puede soportar un material depende de sus dos características eléctricas principales, que son:

- la distancia de aislamiento en el aire,
- la longitud de línea de fuga de sus aislantes o su recorrido.

Categoría de la sobretensión:		I: para materiales conectados a circuitos en los que se han tomado las medidas para limitar las sobretensiones transitorias de bajo nivel	II: para materiales consumidores de energía, alimentados a partir de una instalación fija	III: para materiales de instalaciones fijas y en el caso de que la fiabilidad y la disponibilidad del material sean objeto de especificaciones especiales	IV: para materiales utilizados en el origen de la instalación
nivel de polución ambiental	imperativos de construcción				
	tensión asignada de resistencia al choque	1,5 kV	2,5 kV	4 kV	6 kV
	tensión ensayo 1,2/50µs a nivel del mar	1,8 kV	2,9 kV	4,9 kV	7,4 kV
1 = Sin polución o sólo seca, no conductora	distancia mínima de aislamiento en el aire	0,5 mm	1,5 mm	3 mm	5,5 mm
2 = Situación normal o sólo polución no conductora	distancia mínima de aislamiento en el aire	0,5 mm	1,5 mm	3 mm	5,5 mm
3 = Polución conductora o seca no conductora que se convierte en conductora por la condensación	distancia mínima de aislamiento en el aire	0,8 mm	1,5 mm	3 mm	5,5 mm
4 = Conductividad persistente y elevada debida a una polución causada, por ejemplo, por polvo conductor, niebla o lluvia	distancia mínima de aislamiento en el aire (en mm)	1,6 mm	1,6 mm	3 mm	5,5 mm

fig. 11: tensiones de resistencia al choque y distancias de aislamiento (CEI 947-1), aplicables a equipos instalados en redes de BT de 230/400 V.

Los dispositivos de protección contra las sobretensiones se clasifican según su función:

- las protecciones primarias, que actúan ante la caída directa de rayo,
- las protecciones secundarias, que completan las anteriores y que se encargan de todos los otros fenómenos de sobretensión.

Hay que destacar que todos estos dispositivos y su instalación deben tener también en cuenta las perturbaciones electromagnéticas debidas a las corrientes de gran intensidad y/o de gran di/dt (corrientes de descarga de rayo, por ejemplo).

La distancia de aislamiento

La distancia de aislamiento es la distancia más corta entre dos conductores. Esta distancia, en el aire, es muy importante en el fenómeno de descargas.

El riesgo de cebado depende de la tensión aplicada y del grado de polución.

Es por esto por lo que los aparatos eléctricos deben satisfacer ciertas normas (figura 11) que definen especialmente cuatro categorías de sobretensiones y cuatro grados de polución.

El grado de «polución normal» se valora de forma diferente según la aplicación:

- para aplicaciones industriales: salvo prescripción en contra de la norma del material correspondiente, los materiales para las aplicaciones industriales están en general destinados a ser utilizados en ambientes con grado de polución 3,
- para aplicaciones domésticas: salvo prescripción en contra de la norma del material correspondiente, los materiales para las aplicaciones domésticas y similares están en general destinados a ser utilizados en entornos con grado de polución 2.

La longitud de la línea de fuga en los aislantes

La línea de fuga es la distancia más corta, a lo largo de la superficie de un material aislante, entre dos partes conductoras.

En este campo, también los aparatos eléctricos deben de cumplir las normas (figura 12).

Sin embargo, en una instalación eléctrica sus especificaciones constructivas (distancia de aislamiento y línea de fuga), especialmente para los receptores, pueden resultar insuficientes. Es por tanto muy conveniente el empleo de los aparatos de protección que se describen a continuación.

Las protecciones primarias

Estas protecciones se componen de un captador, de un conductor eléctrico específico y de una tierra y cumplen tres funciones: captan los rayos, los derivan a tierra y los dispersan en el suelo.

Los dispositivos de captura son los pararrayos, de los que existen muy diversas formas, tales como los cables de guarda de las líneas aéreas de alta tensión o las puntas de Franklin que se colocan en la parte superior de los campanarios.

Todos ellos están conectados a tierra para derivar la corriente de rayo, mediante un solo conductor (normalmente un conjunto de conductores de cobre) o, mejor, mediante varios.

La toma de tierra que debe estar especialmente cuidada, se realiza normalmente con varios conductores de cobre enterrados separadamente.

grado de polución	1	2			3			4		
índice de resistencia al seguimiento	≥ 100	≥ 600	≥ 400 a 600	≥ 100 a 400	≥ 600	≥ 400 a 600	≥ 100 a 400	≥ 600	≥ 400 a 600	≥ 175 a 400
tensión asignada de aislamiento										
400 (V)	1	2	2,8	4	5	5,6	6,3	8	10	12,5
500 (V)	1,3	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8	10	12,5	16
630 (V)	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	12,5	16	20

fig. 12: distancia en milímetros de las líneas de fuga para equipos eléctricos (extraído de la publicación CEI 947-1).

La instalación y elección de un pararrayos se determinan a partir de la corriente de rayo máxima aceptable para la instalación y para la zona a proteger. En función de esta corriente máxima (o corriente de cresta de la primera descarga) la utilización del modelo electrogeométrico permite el cálculo de la distancia de cebado crítico. Esta distancia de cebado se utiliza como radio de una esfera ficticia que gira sobre el suelo y que viene a chocar contra los edificios a proteger. Solamente la zona bajo la esfera queda protegida para las intensidades de rayos superiores o iguales al valor de referencia. Todos los elementos en contacto con esta esfera están expuestos a la caída directa de rayo (**figura 13**).

Las protecciones secundarias

Éstas se encargan de los efectos indirectos del rayo y/o de las sobretensiones de maniobra o a frecuencia industrial.

Agrupan:

- los limitadores de sobretensión para redes BT,
- los filtros,
- los supresores de transitorios.

En ciertas condiciones hay otros aparatos que pueden también cumplir esta función:

- los transformadores,
- los pararrayos,
- los estabilizadores y los sistemas de alimentación interrumpida (SAI).

En la práctica estos dispositivos tienen dos efectos: o limitar la tensión de choque (que son las protecciones paralelas), o limitar la potencia que se transmite (que son las protecciones serie).

■ los limitadores de sobretensión.

En BT este tipo de aparataje ha progresado mucho en materia de seguridad con los ensayos normalizados reforzados: resistencia nominal a 20 choques de rayo, en vez de 3 como antes, y ensayos específicos a frecuencia industrial.

Por otra parte, con las últimas normas, una vez instalado un limitador de sobretensión puede pasar sin mantenimiento, puesto que su eventual deterioro después de una falta muy fuerte debe quedar señalizado (señala distancia, alarma técnica, ...).

Así existe toda una gama de limitadores de sobretensión: desde modulares para montaje en carril DIN simétrico, e instalables en un cuadro general de BT o en una caja de distribución, hasta modelos empotrables situados en las cajas de las tomas de corriente. Permiten cualquier derivación de corrientes (desde 1 a 65 kA) con niveles de protección variable (de 1500 a 2000 voltios).

■ los filtros y los transformadores.

Un filtro utiliza el principio de circuito RLC. Se calcula suponiendo que la perturbación a filtrar ha sido correctamente identificada. Su objetivo se sitúa muy especialmente en la atenuación de sobretensiones de maniobra. Un transformador puede también realizar una función de filtro: su

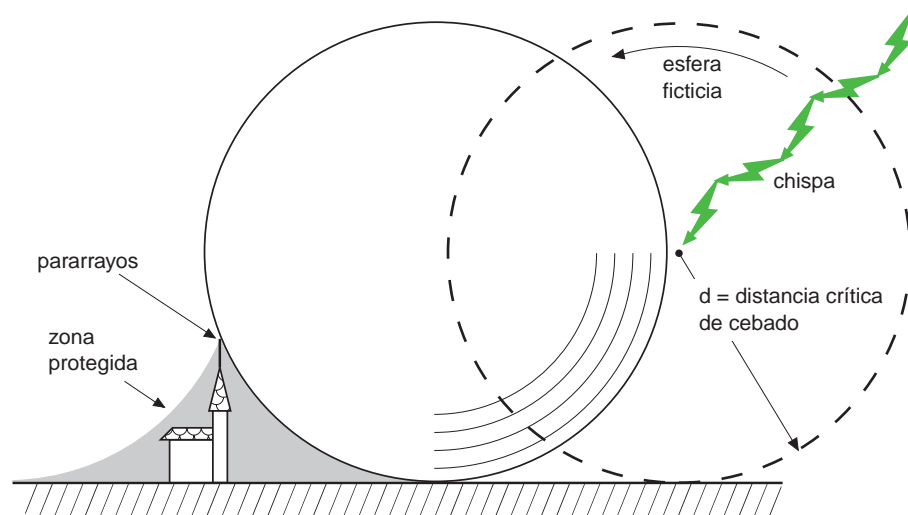


fig. 13: principio de modelo electrogeométrico utilizado para definir la zona protegida por un pararrayos de punta tipo Franklin.

autoinducción atenúa las sobretensiones y reduce la pendiente del frente de la onda.

- los supresores de transitorios.

Un supresor de transitorios es un «super» limitador/filtro en el sentido de que puede disipar energías importantes (debidas a las sobretensiones) y que su nivel de protección está bien adaptado a los materiales electrónicos.

Estos dispositivos tienen normalmente un gran defecto, puesto que sus filtros, por su montaje en serie, obligan a un dimensionamiento directamente ligado a la corriente nominal que conducen, por lo que se utilizan, sobre todo, en las últimas posiciones de la distribución.

- los pararrayos.

Los pararrayos se definen en la norma NF C 63-150. Se utilizan en las redes llamadas de neutro aislado o impedante (esquema IT), instalados a la salida del transformador MT/BT (figura 14). Permiten derivar a tierra sobretensiones de gran energía y soportan la corriente de defecto «a tierra» de la red de MT.

- los estabilizadores y los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI o UPS).

Estos equipos tienen muchas veces varios de los dispositivos descritos anteriormente y por tanto, con ellos, forman parte de las protecciones secundarias.

Los otros tipos de protección

Las sobretensiones afectan tanto a las redes telefónicas y conmutadas como a las de BT. La única diferencia con las redes de BT es el valor de las sobretensiones, que suele ser menor.

Existen diversas formas de protecciones telefónicas:

- módulos para montar sobre tarjetas de circuito impreso para centrales telefónicas,
- cajas modulares para montar sobre «carril DIN simétrico», pensadas para proteger uno o varios pares telefónicos (figura 15), para los abonados (del sector terciario y doméstico),

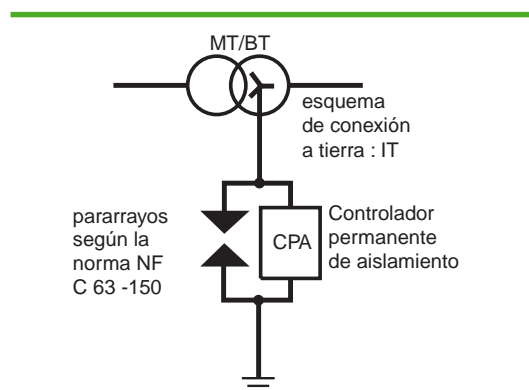


fig. 14: esquema de instalación de un limitador de sobretensión.



fig. 15: limitador de sobretensión para red telefónica (Merlin Gerin: limitador PRC).

- alargos o prolongadores mixtos para «alimentación baja tensión-telefonía» para aplicaciones tipo Minitel.

Por último, todos los equipos de transmisión de datos pueden ser atacados y afectados por las sobretensiones; también hay que recomendar el uso de limitadores de sobretensiones adecuados para las instalaciones de domótica (tipo BatiBUS), informáticas o multimedia.

2.2 Los componentes

Los dispositivos de protección están diseñados con diversos componentes; algunos de ellos, como las bobinas, las resistencias o los condensadores, son ya perfectamente conocidos por los electricistas; pero en cambio, el comportamiento de otros elementos, como las varistancias, descargadores o componentes de silicio se va a explicar a continuación.

Estas explicaciones se dan en el marco de los limitadores de sobretensión de BT, para aparatos que tengan volúmenes muy parecidos (por ejemplo, el tamaño de un mecanismo modular), porque las dimensiones son también un criterio de elección importante para el instalador.

Los varistores

Este componente se llama también VOM «Varistor de Óxido Metálico», (GEMOV los de la marca General Electric y SIOV los de Siemens) o, simplemente, resistencia variable, puesto que su comportamiento no es lineal.

Presentados, la mayor parte de las veces, en forma de pastilla cilíndrica, es un sólido cerámico compuesto, al principio, de carburo de silicio (SiC) y ahora, de óxido de cinc (ZnO). El grosor de la pastilla determina su característica en tensión, y, su superficie, la energía que puede disipar.

Su ventaja principal es la razón entre la energía disipada y el coste, que la sitúa como un componente incontestable en la fabricación de limitadores de sobretensión.

La mayor dificultad está en su colocación, porque:

- una serie de descargas de poca energía provoca un calentamiento que acelera su envejecimiento,
- una energía mayor implica la destrucción del componente, porque se queda en cortocircuito,
- una energía mucho más fuerte provoca, normalmente, la explosión de la varistancia.

Actualmente, estos inconvenientes se han minimizado por el saber-hacer de los fabricantes de limitadores:

■ un sistema de desconexión evita el embalamiento térmico y deja fuera del circuito el elemento defectuoso,

■ asimismo, un revestimiento con una resina ignífuga sirve también para encerrar las grandes energías que hay que disipar...

El explosor

Puede ser al aire (como los antiguos explosores de cuernos situados en la redes aéreas de MT), o con envoltorio aislante para el encaminamiento por la superficie de un dieléctrico, o con gas en el interior de un tubo estanco.

Tiene la ventaja de permitir transportar grandes energías y tener una capacidad parásita muy baja.

Sus inconvenientes se redican en:

- su elevada tensión de paso a conducción que depende de lo brusco del frente de la onda,
- su tiempo de respuesta largo que depende también de lo escarpado del frente de la onda,
- la existencia de una corriente de fuga (de difícil extinción),
- una posible deriva de su tensión umbral.

En el caso de los explosores al aire (BT en el interior), la tensión de cebado depende también de las condiciones atmosféricas (humedad y presión) y, por tanto, del lugar de utilización (humedad local y altitud): se pueden observar desviaciones de hasta el 40%.

Los componentes de silicio

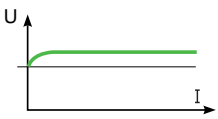
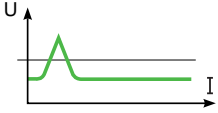
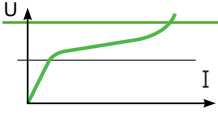
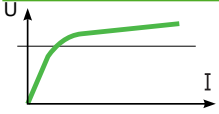
característica U/I	componente	corriente de fuga I_f	corriente subsiguiente I_s	tensión residual U_r	energía conducida E	tiempo de conducción t
	dispositivo ideal	0	0	baja	alta	corto
	explosor	0	fuerte	baja pero U_s alta	alta	largo
	varistancia	baja	0	baja	alta	medio
	diodo	baja	0	baja	baja	corto

fig. 16: principales características de los componentes para los dispositivos de protección contra las sobretensiones.

Con este nombre se agrupan varios componentes electrónicos (diodos, tiristores, triacs, ...).

Estos componentes, desde el punto de vista de su baja capacidad de disipación energética, se utilizan principalmente en BT y, sobre todo, en líneas telefónicas. Su tiempo de respuesta y tensión residual son bajas.

En general, estos componentes al destruirse se cortocircuitan, es decir, producen un fallo eléctrico fácil de detectar.

Cómo escoger un componente

Para un fabricante de limitadores de sobretensiones, esta elección se hace a partir de diversas características:

- la tensión de umbral, U_c , o de paso a conducción,
- la tensión residual, U_r , al pasar la perturbación,
- la corriente de fuga, I_f , a tensión de red,
- el tiempo de respuesta,
- la capacidad parásita,
- la disipación de energía,
- el tipo de fallo, ...

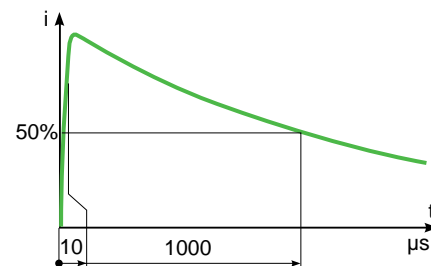


fig. 17: onda 10/1000 μ s, especialmente utilizada para estudiar el envejecimiento de los varistores.

A título orientativo, se citan algunas en el cuadro de la figura 16.

La valoración de estas características se hace con diversos ensayos, según las magnitudes (tensión, intensidad, energía, ...).

Para esto se utilizan ondas normalizadas que reproducen las perturbaciones y las sobretensiones descritas en el capítulo anterior. En especial, para estudiar el envejecimiento de las varistancias se usa una onda 10/1000 μ s, aplicada varias veces (figura 17).

2.3 La instalación de los componentes

Para obtener el máximo beneficio de las ventajas de cada uno de estos componentes, la mejor solución es usarlos conjuntamente.

Por tanto, la instalación en el interior de aparatos destinados a utilizarse sin más complicaciones en las instalaciones eléctricas, necesita un esquema previo. Pero no hay un esquema-tipo: sólo un conjunto bien adaptado a las necesidades puede satisfacer al usuario. En la práctica, es un montaje bien conocido y además bien comprobado, que permite juntar juiciosamente las ventajas descritas anteriormente, teniendo en cuenta los datos de entrada (rayo, ...) y de salida (tensión residual baja, ...).

Definiendo bien el esquema se consigue también el equilibrio técnico-económico que satisface al usuario con una buena relación calidad/precio.

Los principales aparatos de protección contra las sobretensiones en la red BT, son:

- los filtros,
- los limitadores de sobretensiones,
- los supresores de transitorios,
- y, para las redes telefónicas, limitadores específicos.

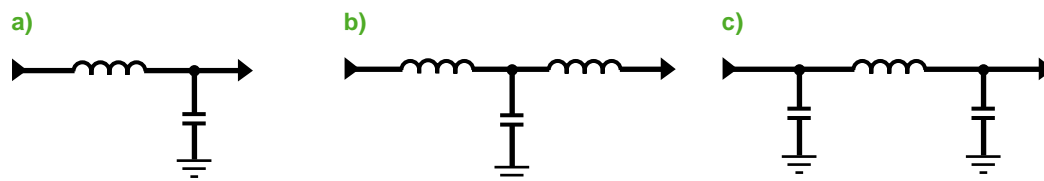


fig. 18: esquemas clásicos de filtros utilizados en BT: a) en «L»; b) en «T»; c) en « π ».

Filtros

Basados en la asociación de autoinducciones y condensadores, tienen muchas configuraciones posibles (**figura 18**).

Según el esquema, en «L», «T» o « π », su atenuación es diferente.

Para conseguir una buena adaptación del dispositivo, la elección de los componentes, que se hace a partir de un cálculo en función de las bandas pasantes de las perturbaciones a controlar, requiere conocer bien las impedancias de la instalación.

Limitadores de sobretensiones para BT

En la **figura 19** se puede ver el esquema de un limitador de sobretensión para BT simple y eficaz: las tres varistancias así conectadas protegen la instalación en modo común y en modo diferencial.

Para conseguir una buena razón disipación-energética/tensión-residual, se utiliza otra combinación de componentes, hecha para una sola fase, según el esquema de la **figura 20**:

- el explosor disipa la energía,
- las autoinducciones puestas en serie aplanan los frentes de onda, de modo que los componentes «sensibles», durante las sobretensiones, se encuentran con esfuerzos eléctricos suavizados,
- y la varistancia fija la tensión residual.

Las autoinducciones se dimensionan en función de las características de los componentes y de la corriente nominal de la línea a proteger. Este último punto lleva muy frecuentemente a que este tipo de dispositivos de protección tengan un volumen y un precio considerables.

Supresores de transitorios

Basados en esquemas que integran filtros-limitadores, eliminan eficazmente las sobretensiones energéticas. Eventualmente pueden necesitar además un transformador con pantalla conectada a tierra para bloquear las perturbaciones de AF de modo diferencial, y las tensiones de BF de modo común.

Reservados para instalaciones sensibles, se suelen presentar bajo la forma de un armario de grandes dimensiones.

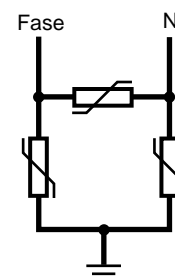


fig. 19: esquema y fotografía de un limitador de sobretensiones de BT monofásico (limitador PF15 de gama media de Merlin Gerin).

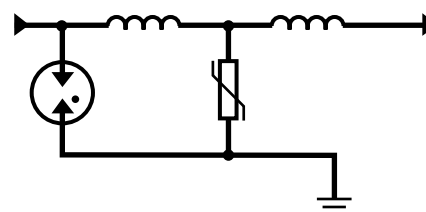


fig. 20: esquema completo de un limitador de sobretensiones BT, con autoinducciones en serie. Es más que un filtro...

Limitadores de sobretensión para circuitos de datos y telefónicos

El descargador de gas es un componente adecuado para la protección de las líneas telefónicas:

- la tensión de alimentación es lo suficientemente baja como para que el descargador no tenga corriente de fuga después del paso de una sobretensión,
- la tensión de recorte es superior a la corriente de llamada.

Entre el conjunto de dispositivos empleados, se usan varios esquemas electrónicos diferentes. Hay que distinguir especialmente:

- los empleados en los nodos de transmisión de datos, por ejemplo, los relés herzianos,
- los previstos para instalarse en las centrales telefónicas,
- los destinados a la protección de un simple par telefónico, instalados, por ejemplo, en la entrada de una vivienda.

Todos estos dispositivos tienen unas características eléctricas casi idénticas (tensión de paso a conducción, tiempo de respuesta, corriente de fuga), porque las tensiones de utilización de estas redes es baja. Pero su instalación y capacidad de disipación de energía son diferentes.

En una vivienda, se puede instalar un limitador de sobretensiones destinado a proteger una acometida telefónica junto al cuadro BT del abonado y puede utilizar la toma de tierra de la instalación eléctrica.

La **figura 21** muestra dos esquemas internos de este tipo de limitador de sobretensiones para un par telefónico de abonado, uno con tres elementos y el otro con una presentación compacta en una versión con «3 bornes». Ésta última es la mejor: permite equilibrar mejor las protecciones en modo común y, al estar más próximos los electrodos, reducir la tensión de cebado.

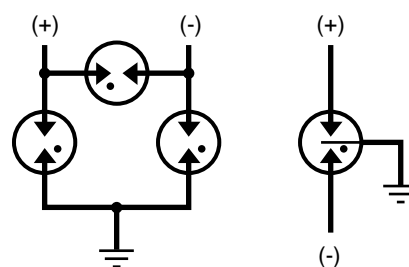


fig. 21: empleo de un explosor de gas en una red telefónica, con componentes bipolares o con un único componente tripolar.

3 Las normas y aplicaciones

La necesidad creciente de disponibilidad de energía eléctrica así como la evolución de los materiales y las instalaciones eléctricas (de potencia y, sobre todo, de señal) ha llevado al desarrollo de limitadores de sobretensiones. En Francia, desde el principio se normalizaron estas protecciones contra el rayo. A nivel europeo e internacional estas normas deberían de editarse antes de fin de siglo.

El conjunto de textos normativos que se refieren a este tema se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- las normas sobre productos, para el diseño y fabricación de limitadores de sobretensión,
- las normas horizontales, que se refieren al diseño e instalación de los diversos materiales,
- las guías de instalación, específicas para los limitadores de sobretensión en BT.

Este capítulo termina con una toma de contacto global de todos estos temas, seguida de ciertos detalles de instalación.

3.1 Normas producto

La conformidad de un producto con las normas es una garantía para los usuarios en cuanto a su funcionamiento y su seguridad.

Los aparatos eléctricos, en su gran mayoría, deben de adecuarse a las normas de fabricación que les son específicas. Así, para la distribución eléctrica, los interruptores automáticos de uso industrial responden a la norma CEI 947-2 (NF C 63-120) y los de uso doméstico, a la norma CEI 898 (NF C 61-410). Los contactores e interruptores deben de cumplir, por otra parte, la norma CEI 947. De la misma manera, los cuadros y armarios deben de respetar también normas, como la CEI 439-1.

Con estos textos, todos los componentes de las redes eléctricas, incluidos los receptores, están sujetos a especificaciones bajo el punto de vista de su aislamiento y su resistencia a las sobretensiones (**figura 22**).

Los limitadores de sobretensiones se colocan para asegurar la protección de los diversos componentes eléctricos.

Desde 1987 hay en Francia una norma «producto» específica para limitadores de sobretensiones en BT: la NF C 61-740.

La exigencia de conformidad con esta norma permite aumentar la seguridad que se aporta a las instalaciones y a la protección de sus usuarios.

La versión 1995 de la norma NF C 61-740 define especialmente las condiciones normales de funcionamiento en servicio, las características asignadas, su clasificación, etc.

Pero esta norma describe, sobre todo, los ensayos que garantizan la seguridad. A parte de los ensayos «clásicos» (conexión, envolventes, ...), hay previstos otros más específicos:

- la verificación de un valor de tensión residual U_r a la corriente nominal de descarga I_n (onda 8/20 μ s) y de la tensión máxima de cebado al choque eléctrico (onda 1,2/50 μ s). El mayor de estos valores es el nivel de protección del limitador de sobretensión (por ejemplo 1 500 V),
- la verificación de funcionamiento correcto después de 20 descargas a corriente nominal de descarga I_n , por ejemplo 20 kA (sin desconexión y sin ninguna variación de las características del limitador de sobretensión),

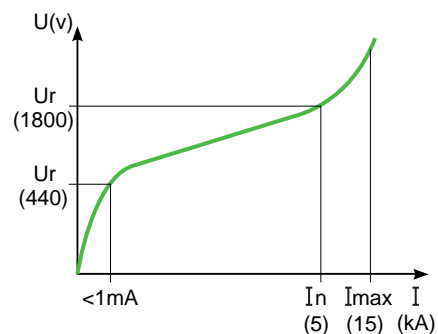


fig. 22: curva $U = f(I)$ de un limitador de sobretensiones.

- la verificación de funcionamiento correcto después de una descarga con la máxima corriente de descarga $I_{m\acute{a}x}$, por ejemplo, 65 kA (puede producirse una desconexión rearmable, pero sin ninguna desviación de las características del limitador),
- la verificación de la desconexión en caso de aumento descontrolado de la temperatura del limitador,
- el ensayo de la resistencia a las corrientes de defecto de la desconexión en caso de cortocircuito del limitador. Esta desconexión se puede hacer mediante fusibles o con interruptores automáticos externos al limitador,
- el ensayo con las sobretensiones transitorias de frecuencia industrial (50 Hz, 1 500 V, 300 A,

200 ms), no debiendo producirse manifestaciones exteriores al limitador (llamas, proyecciones, ...),

- el ensayo de envejecimiento, que consiste en verificar durante 1 000 horas la resistencia del material al someterlo a la tensión máxima de régimen permanente U_c ,

- el ensayo de calentamiento, necesario cuando el limitador tiene elementos como resistencias o autoinducciones.

Todos estos controles se han definido para que el limitador de sobretensiones que los supere sea de hecho un producto seguro.

En la norma internacional que se está redactando, habría que recuperar todos estos ensayos.

3.2 Normas horizontales

Entre esta categoría de textos normativos hay dos que hacen especial referencia a este tema; se trata de las publicaciones CEI 364 (NF C 15-100) y CEI 664.

La CEI 364 se refiere a a las instalaciones eléctricas en edificios y la CEI 664, a la coordinación de aislamientos de los materiales de BT.

La CEI 364

Define solamente dos situaciones: una llamada «natural» y otra, «controlada»:

- la situación «natural» es la de las instalaciones alimentadas por redes BT enteramente subterráneas, en las que es suficiente que los materiales cumplan la norma de fabricación referente a la resistencia al choque eléctrico;
- la situación «controlada» es la de las instalaciones alimentadas por líneas aéreas BT de cable desnudo o retorcido, en las que los materiales han de tener una resistencia al choque compatible con las sobretensiones previsibles.

Pero en los dos casos el limitador de sobretensión está para prevenir, porque:

- en la situación llamada «natural», pueden aparecer sobretensiones por elevación del potencial de tierra como consecuencia de una descarga indirecta de rayo (**figura 8**) o por un defecto en el transformador MT/BT.
- la situación llamada «controlada» no es siempre posible, debido a la gran variedad de valores de rigidez dieléctrica de los componentes y por la diversa durabilidad de todas las combinaciones posibles.

En Francia, la norma NF C 15-100 retoma estas definiciones y en particular, su párrafo 443 retoma también la definición de las categorías de sobretensiones, volviendo a enviar al lector al párrafo 534 para la elección de los materiales y su instalación.

La CEI 664

De aplicación general en BT, está dividida en cuatro partes:

- Parte 1: principios, prescripciones y ensayos;
- Parte 2: prescripciones para las distancias de aislamiento, las líneas de fuga y el aislamiento sólido;
- Parte 3: utilización de revestimiento para las tarjetas de circuito impreso de los aparatos electrónicos;
- Parte 4: guía de aplicación.

Todos los ensayos y medidas garantizan el funcionamiento absolutamente seguro de los materiales que allí se describen.

La tabla de la **figura 11** da los valores fijados, por la norma CEI 664, de la distancia de aislamiento en el aire para la fabricación de los diversos tipos de aparataje eléctrica. Esta tabla muestra que la rigidez dieléctrica a las sobretensiones es diferente según la situación de los aparatos en la instalación.

En esta misma norma, CEI 664, se estudian las longitudes de las líneas de fuga para comprobar la rigidez dieléctrica del recorrido exigida para la fabricación de los diversos tipos de aparataje eléctrica (**figura 12**).

Aunque la norma tiene en cuenta el riesgo de polución (de la que hay previstos varios

niveles), los efectos climáticos y el envejecimiento de los materiales y componentes que van reduciendo poco a poco la rigidez dieléctrica del material.

Hoy en día, los materiales electrónicos e informáticos tienen un valor de rigidez dieléctrica que no corresponde siempre al

mínimo exigido para la clase I (1 500 V). Todavía más, estos materiales se pueden conectar a la red eléctrica en el origen de la instalación, conectándolos donde sólo deberían de instalarse aparatos de clase III o IV. Por tanto, es necesario instalar limitadores de sobretensión al principio de la instalación.

3.2 Guía de instalación de los limitadores de sobretensión

Hay varios documentos que tratan sobre la instalación de los limitadores de sobretensiones: la norma NF C 15-531 se centra en las normas de instalación de estos limitadores en BT y la norma NF C 15-100 se refiere al conjunto de todas las instalaciones eléctricas de BT.

A nivel internacional se está redactando una norma. Tendrá por equivalente la norma NF C 15-443 (que al parecer reemplazará la norma NF C 15-531) que trata diferenciadamente tres temas importantes:

- la evaluación del riesgo de rayo,
- la selección de los limitadores de sobretensión,
- la instalación de dichos limitadores.

Para la evaluación del riesgo, se propuso a la comisión de estudio una fórmula basada en criterios científicos. Tiene en cuenta las características del lugar y del entorno:

- la densidad cerámica,
- la naturaleza de la red de distribución,
- la topografía del lugar,
- la posible presencia de pararrayos.

La selección de los limitadores depende:

- del nivel de riesgo,
- de la susceptibilidad de los materiales,
- de los esquemas de conexión a tierra (ECT)

de la red eléctrica. Sea el que sea el ECT, ante el riesgo de rayo, toda instalación eléctrica debe de estar equipada con limitadores de sobretensiones (**figura 23**) que pueden estar constituidos de diversas maneras, según estos ECT.

Estas diferencias se deben:

- al tratamiento o no, de las sobretensiones en modo diferencial,
- a la tensión máxima de régimen permanente U_c :
 - entre conductores activos y tierra:
 - $U_c > 1,5U_n$ con esquemas TT y TN,
 - $U_c > 1,73U_n$ con esquema IT;
 - entre fases y neutro, $U_c > 1,1 U_n$, con cualquier tipo de red.

Notas:

1.- El hecho de conectar el neutro a tierra no impide que las sobretensiones lleguen a los conductores de las fases.

2.- Los limitadores de sobretensión, cuya utilización es obligatoria con el esquema IT, se sustituyen con descargadores contra sobretensiones a 50 Hz provenientes de la MT. Estas dos protecciones no se interfieren en su funcionamiento: por tanto, los limitadores son necesarios para las sobretensiones de origen atmosférico.

3.3 Instalación de los limitadores

Se refiere este apartado a diversas reglas (importancia de las conexiones equipotenciales, protecciones escalonadas o en cascada, utilización de dispositivos diferenciales residuales) cuya aplicación puede variar a veces según la finalidad de la instalación (sector terciario industrial o doméstico).

Importancia de las conexiones equipotenciales

Los principios de la CEM (compatibilidad electromagnética) indican que las instalaciones

de BT no deben de tener más que una toma de tierra para todos los usos.

Esta toma de tierra se pone cerca del origen de la instalación y es en este punto donde hay que instalar el limitador «principal» (**figura 24**) teniendo la precaución de reducir al máximo la impedancia de su circuito (reducción de sus conexiones a los conductores activos y a tierra, así como la impedancia del dispositivo de desconexión). De esta manera, si el limitador pasa a conducción, los receptores quedan sometidos, como mucho, a la tensión de

protección U_p , igual a la tensión residual del limitador aumentada de la caída de tensión en las conexiones y en el dispositivo de protección... de ahí la importancia de una instalación bien hecha según las reglas del arte.

Repaso: un metro de cable tiene una inductancia de $1 \mu\text{H}$; la aplicación de la fórmula $\Delta U = L \cdot di/dt$, con una onda $8/20 \mu\text{s}$ y una corriente de 10 kA propaga una tensión de unos $1000 \text{ V}_{\text{cresta}}$ por metro; de ahí la importancia de

reducir al mínimo la longitud de los cables de conexión del limitador.

Protecciones en cascada

Después de la caída de un rayo de gran amplitud, el valor de la corriente derivada por el limitador hace que la tensión de protección pueda sobrepasar la tensión de rigidez dieléctrica de los materiales sensibles. Por tanto, es necesario asegurar la protección de

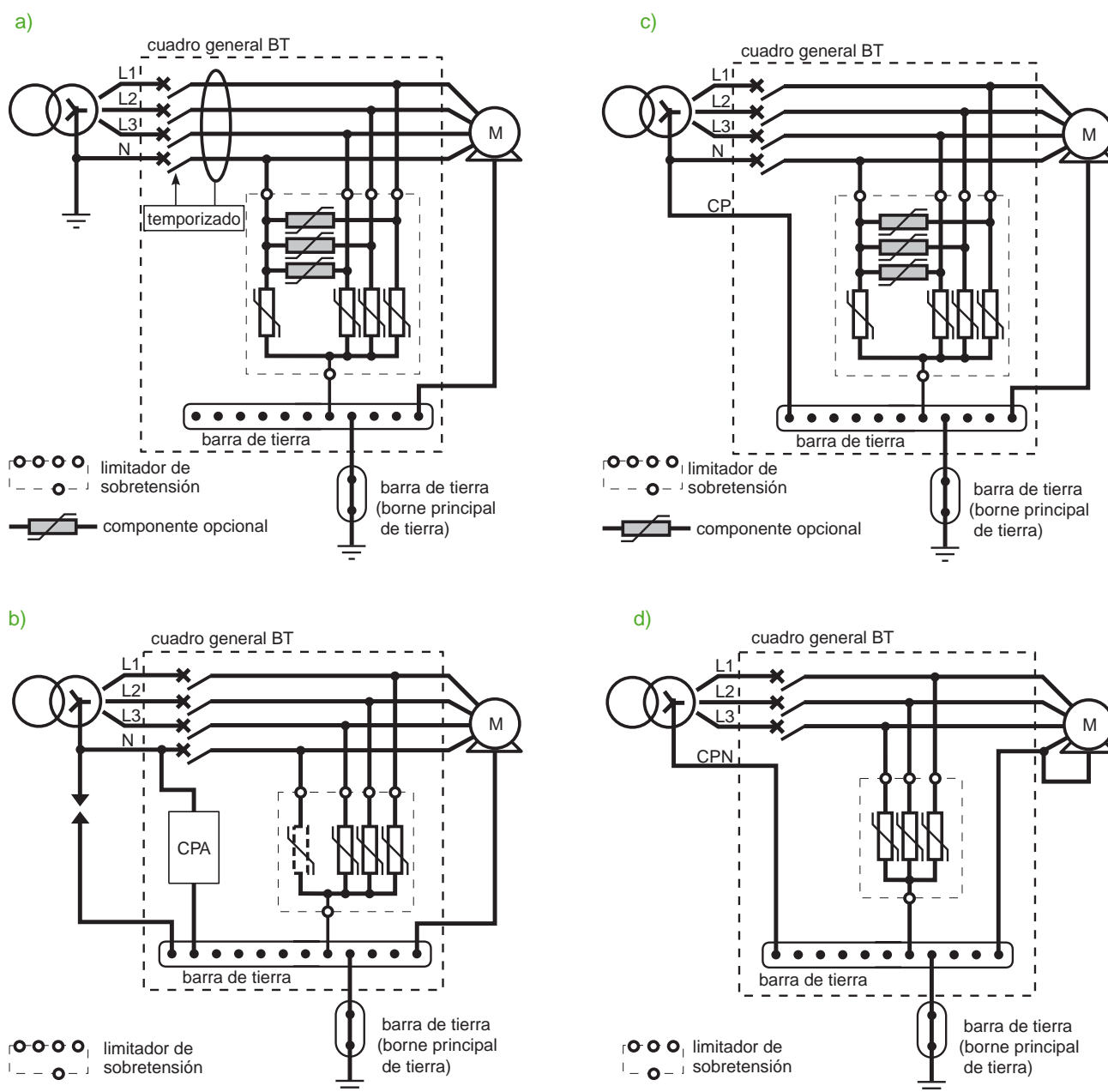


fig. 23: elección del modo de protección contra sobretensiones (de modo común o diferencial) dependiendo del esquema de conexión a tierra de la instalación eléctrica: a) esquema TT; b) esquema IT; c) esquema TN-S; d) esquema TN-C.

estos materiales con la instalación de los limitadores «secundarios» (figura 24).

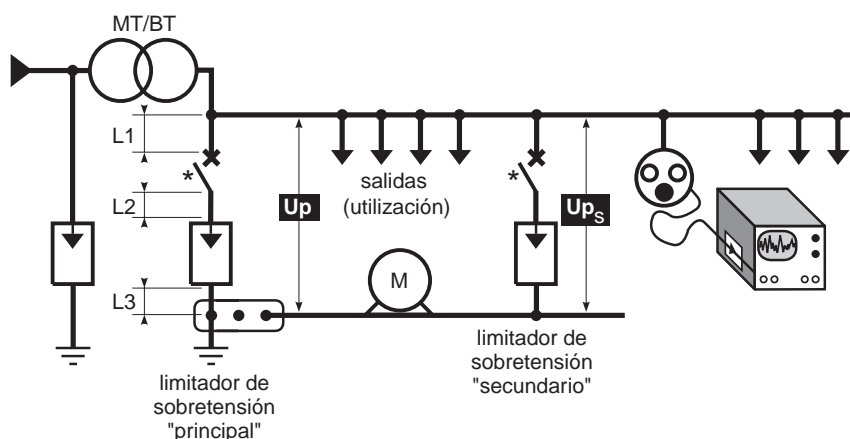
Para que los limitadores «secundarios» sean eficaces, es necesario que estén instalados a más de 10 metros del limitador «principal». Esta conexión es importante porque la impedancia del cable realiza un desacoplamiento entre los dos niveles de protección (como se ve en la figura 25).

Hay que saber que muchos aparatos eléctricos y sobre todo, electrónicos, tienen su alimentación protegida contra sobretensiones por varistancias en modo diferencial. El «cascading» se aplica por tanto también entre

el limitador de la instalación encargado de proteger el aparato sensible y éste último; por tanto se necesita hacer el estudio de los niveles de protección.

Nota 1: la presencia de limitadores en MT próximos a los situados en BT constituye otro de los casos de «cascada» utilizando las diferencias de tensión de cebado de los limitadores MT y BT y el desacoplo realizado por el transformador MT/BT.

Nota 2: cuando cerca del origen de la instalación se conectan dispositivos electrónicos que tienen filtros en modo común o diferencial, estos filtros deben de poder soportar la tensión de protección U_p (figura 24).



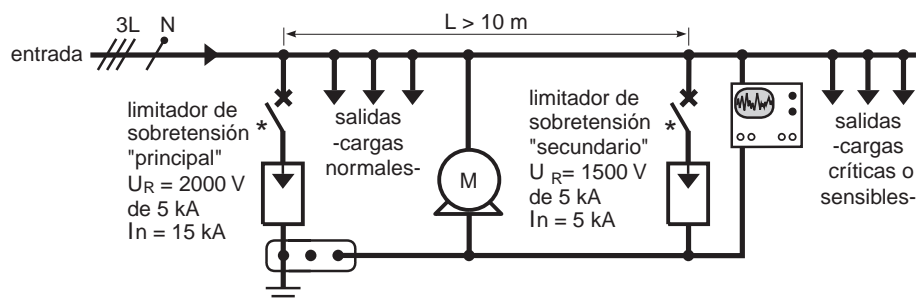
Nota: para mejorar la eficacia de la protección es conveniente reducir las longitudes de los cables L1, L2 y L3.

U_p = tensión de protección aguas abajo del limitador principal.

U_{ps} = tensión de protección antes del limitador secundario.

* = dispositivo de desconexión del limitador al final de su vida: en cortocircuito.

fig. 24: posición de los limitadores de sobretensión en una instalación de BT.



La longitud «L» se ha definido para limitadores con varistores.

* = dispositivo de desconexión del limitador al final de su vida: en cortocircuito.

fig. 25: ejemplo de dos limitadores colocados en cascada.

Coexistencia de dispositivos diferenciales residuales y limitadores de sobretensiones

En las instalaciones equipadas con un DDR en su origen, es lógico colocar el limitador aguas arriba del DDR (**figura 26a**). Sin embargo, ciertas compañías eléctricas no permiten intervenir a este nivel de la instalación; es el caso de los abonados BT en Francia. Entonces, es necesario prever un diferencial temporizado o selectivo para que la derivación de corriente a través del limitador no provoque disparos intempestivos (**figura 26b**).

Asimismo, si hay que instalarlos cerca de los DDR de alta sensibilidad (10 ó 30 mA) los limitadores de sobretensión deben de ponerse justo aguas arriba de estos DDR.

En resumen

En los sectores terciario, industrial o doméstico, la instalación de un limitador de sobretensiones debe de respetar, siempre, las siguientes necesidades:

- todo limitador de sobretensiones debe de estar complementado por un dispositivo de corte (desconexión cuando está en

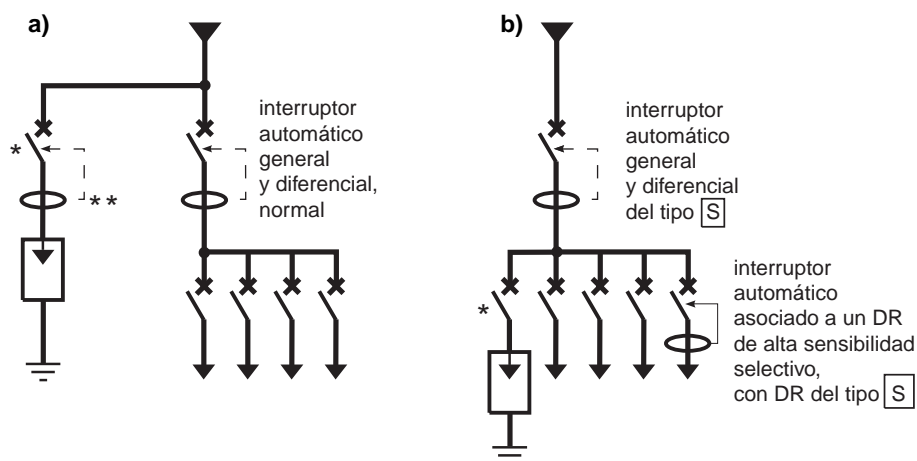
cortocircuito): un fusible o un interruptor automático.

Este dispositivo debe de estar adaptado al limitador de sobretensiones y a sus conexiones (por calibre y curva de disparo o de fusión), pero también a su punto de la instalación (por su poder de corte). En general, los fabricantes necesitan las características de este dispositivo para prever para cada tipo de limitador de sobretensiones.

- las conexiones del limitador de sobretensiones a los conductores activos y del limitador de sobretensiones a la conexión equipotencial principal deben de ser lo más cortas que se pueda: 50 cm como máximo (capítulo 2 y **figura 24**),

- el cableado de un limitador de sobretensiones no debe de hacer un bucle alrededor de materiales sensibles a los fenómenos electromagnéticos (relojes electrónicos, programadores, ...).

Nota: todo esto es importante referirlo en los documentos técnicos de los fabricantes, sea para una elección inicial, sea por los imperativos de la instalación de los limitadores de sobretensiones.



* = dispositivo de desconexión del limitador al final de su vida: en cortocircuito.

** = dispositivo de protección diferencial para la protección de personas, unido, aquí, al de desconexión general.

fig. 26: posición de un limitador de sobretensiones en una instalación de abonado de BT, para una distribución en esquema TT:

a) montaje simple (propuesto en Francia por EDF),

b) montaje aconsejado que permite una selectividad mejor con DDR de alta sensibilidad.

4 Conclusión

En nuestro tiempo, se exige la máxima disponibilidad de la energía eléctrica por diversas razones: por las puramente económicas (búsqueda de la máxima productividad), por imperativos de seguridad o, simplemente, por la comodidad de las aplicaciones domésticas. Por tanto, es evidente, en este contexto, que es una exigencia profesional el saber suprimir, o al menos reducir al máximo, los riesgos y consecuencias de las sobretensiones.

Esta exigencia pasa por el control de la coordinación del aislamiento en BT y en primer lugar por la aplicación de un método simple de investigaciones que lleve a la asociación y elección correcta de los materiales y los limitadores de sobretensiones. Estos últimos (los limitadores de sobretensiones) deben de limitar las sobretensiones previsibles en la red a unos valores aceptables para los primeros (los materiales).

Para lo que hace falta:

- hacer una estimación de las sobretensiones (de origen atmosférico, de maniobra o de frecuencia industrial) que pueden aparecer en la red eléctrica (capítulo 1),
- conocer las características de los materiales instalados y, muy especialmente, su rigidez dieléctrica a las ondas de choque eléctrico (capítulo 2),
- escoger las protecciones teniendo en cuenta los dos puntos anteriores, pero también el esquema de conexión a tierra de la red eléctrica.

Pero esta «aproximación teórica» debe de completarse con un «saber-hacer» del

instalador: como se ha explicado en las páginas anteriores, el no respetar ciertas reglas elementales, vuelve completamente ineficaces los limitadores de sobretensiones aunque estén bien escogidos (capítulo 4).

En este campo, hay que acordarse muy bien de la importancia de:

- acortar las conexiones de los limitadores de sobretensiones,
- tener una única toma de tierra para todos los usos,
- respetar la distancia mínima entre dos limitadores de sobretensión,
- escoger un DDR selectivo o retardado cuando está situado aguas arriba de un limitador de sobretensión.

Así como las normas que se refieren a los limitadores de sobretensiones son estables, las relativas a la coordinación del aislamiento en las instalaciones eléctricas de BT no deberían serlo tanto. Es necesario constatar que los profesionales de la electricidad deben de adaptarse rápidamente para satisfacer a los usuarios-clientes.

Para alcanzar esta evolución, conviene destacar la importancia que puede tener la documentación de los constructores de limitadores de sobretensión (ver la Guía de limitadores de sobretensiones Merlin Gerin) que incluye conjuntamente:

- explicaciones simplificadas de los fenómenos de las sobretensiones y de las perturbaciones electromagnéticas,
- los elementos técnicos indispensables para la selección y, sobre todo, para las asociaciones citadas.

5 Bibliografía

Normas

- NF C 15-531: Guía práctica: Protección contra las sobretensiones de origen atmosférico. Instalación de limitadores de sobretensión.
- NF C 61-740 -1995-: Material para instalaciones alimentadas directamente por una red de distribución pública de BT. Limitadores de sobretensión para BT.
- CEI 364: Instalaciones eléctricas en edificios.
- CEI 439-1: Montaje de aparellaje de BT. 1ª parte: montajes en serie y sus derivados.
- CEI 664: Coordinación del aislamiento de materiales en sistemas (redes) de BT.
- CEI 898: Interruptores automáticos para instalaciones domésticas.
- CEI 947-1: Aparellaje de BT. 1ª parte: reglas generales.
- CEI 947-2 : Aparellaje de BT. 2ª parte: interruptores automáticos.

Publicaciones diversas

- Guía de protección contra el rayo. Merlin Gerin.
- El rayo: comprenderlo para protegerse. Nathan Editor.
- Parásitos y perturbaciones de equipos electrónicos. Dunod Éditeur. A. CHAROY.

Cuadernos Técnicos Schneider

- Las perturbaciones eléctricas en BT. Cuaderno Técnico nº141 - R. CALVAS.
- La CEM: la compatibilidad electromagnética. Cuaderno Técnico nº149 - F. VAILLANT.
- El rayo y las instalaciones eléctricas de AT. Cuaderno Técnico nº168 - B. DE METZ-NOBLAT.