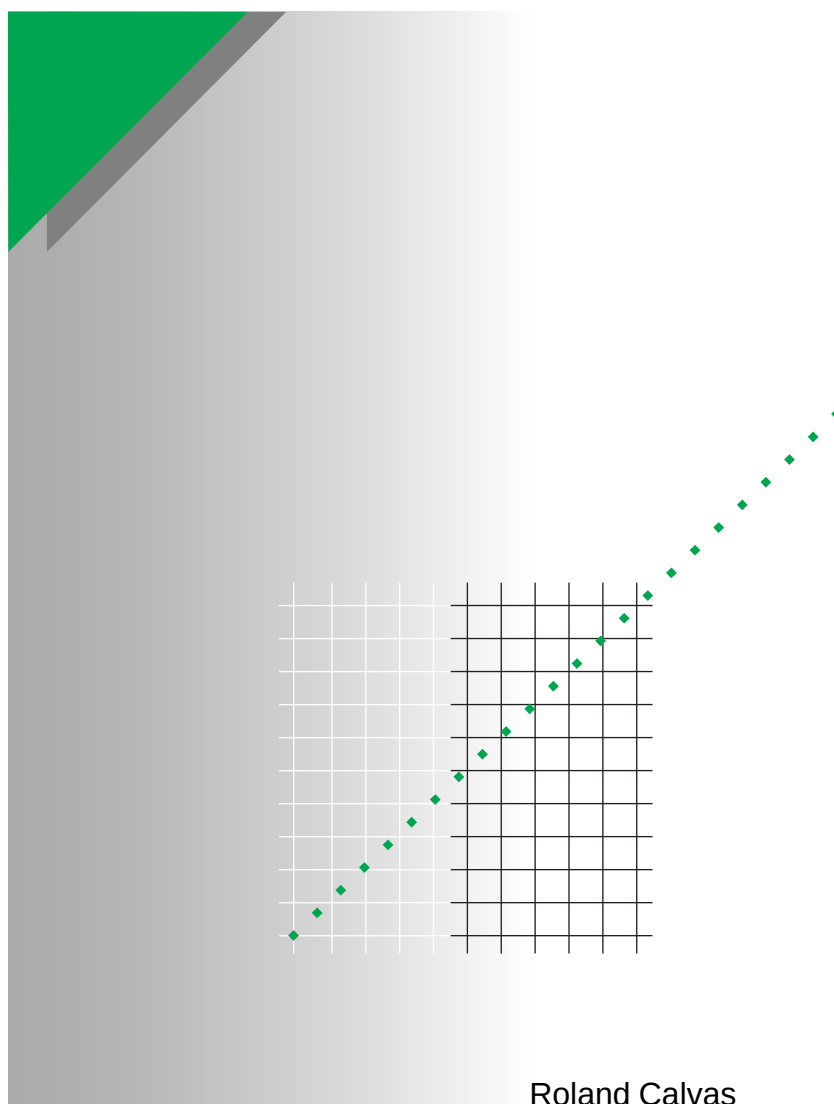


Cuaderno Técnico nº 177

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra



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:

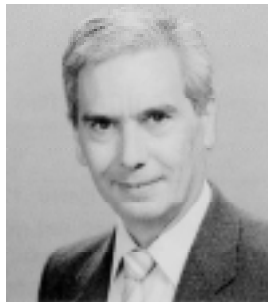
<http://www.schneider-electric.com.ar>

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

Advertencia

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

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 177 de Schneider Electric».



Roland CALVAS

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

Después de su recorrido profesional, pasa a ser responsable comercial y posteriormente responsable de marketing de la rama de protección de personas.

Actualmente está en la red de comunicación técnica del Grupo Schneider.

Merlín Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

cuaderno técnico nº 177

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra

Por: Roland Calvas

Trad.: José M^a Giró

Edición francesa: septiembre 1995

Versión española: junio 1998

Versión argentina: junio 2003

Terminología

BT	Baja Tensión.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
CEM	Compatibilidad Electromagnética.
CPI	Controlador Permanente de la Aislación
DDR/AS	Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Alta Sensibilidad IDn - 30 mA.
DDR/BS	Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Baja Sensibilidad.
DDR/MS	Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Media Sensibilidad.
DLD	Dispositivo de Localización de Defectos.
DPCC	Dispositivo de Protección Contra Cortocircuitos.
ECT	Esquema de Conexión a Tierra (anexo I).
Electrificación	Acción y efecto de electrificar, es decir, de comunicar una carga eléctrica a un cuerpo.
Electrocución	Acción y efecto de electrocutar, es decir, matar por medio de una corriente o descarga eléctrica.
IDn	Valor de ajuste de sensibilidad de funcionamiento de un DDR.
Línea de potencia, línea de señal	A lo largo de todo el Cuaderno Técnico se habla, por contraposición, de ambos tipos de sistemas o líneas como emisoras o receptoras de las perturbaciones que pueden generar o sufrir. En el texto original francés se habla, respectivamente, de líneas de «corriente fuerte» y líneas de «corriente débil». (N. del T.)
MT	Media Tensión (1000 a 33000 V, según según Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19587).
Perturbador, perturbado	Aparato o situación que introduce/recibe interferencias o parásitos diversos en/de la red, en el sentido de «contaminante/contaminado» (N. del T.)
SEC	Sistemas electrónicos/digitales de comunicaciones.

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquema de conexión a tierra

Índice

1 Introducción		p. 6
2 Las perturbaciones de origen externo a las redes BT	Corrientes telúricas	p. 7
	Corrientes erráticas de tierra de 50 Hz	p. 7
	Corrientes de descarga en los transformadores MT/BT	p. 7
	Sobretensiones de maniobra en redes de MT	p. 7
	Tensiones armónicas	p. 7
	Tensiones y corrientes de rayo	p. 8
	Perturbaciones AF	p. 8
3 Las perturbaciones procedentes de la propia red	Corrientes y tensiones armónicas	p. 9
	Sobretensiones de maniobra (modo diferencial) en la red BT	p. 10
	Grandes corrientes de defecto	p. 10
4 La coexistencia de la «distribución de potencia» y de la «distribución de señal»	Minimizar las perturbaciones emitidas	p. 11
	Actuar sobre los acoplamientos	p. 12
	Masas y tierra	p. 14
	Sistema ideal de tierra y masa	p. 15
5 Los ECT y los sistemas electrónicos de comunicaciones	ECT, SEC y perturbaciones en baja frecuencia	p. 16
	ECT, SEC y perturbaciones en alta frecuencia	p. 18
6 Conclusión		p. 21
Anexo 1: Los ECT según la IEC 60364		p. 22
Anexo 2: Ejemplo de preparación de un local libre de perturbaciones electromagnéticas		p. 23
Bibliografía		p. 25

Hoy en día, la electrónica de potencia y el proceso de señales (analógicas y, sobre todo, digitales) está presente en todo tipo de edificios.

La informática, la automatización, los sistemas jerárquicos de mando y control tienden todo un «manto» alrededor de las redes eléctricas que los alimentan.

Si los receptores no lineales (rectificadores, variadores de velocidad, convertidores, fuentes de alimentación conmutada...) son perturbadores, los sistemas electrónicos de señal son agredidos por perturbaciones e interferencias eléctricas y magnéticas de todo tipo.

La elección del esquema de conexión a tierra –ECT– no es independiente de los sistemas electrónicos, especialmente cuando se utilizan líneas digitales (buses) para comunicaciones.

Este cuaderno técnico, después de un análisis de las perturbaciones que existen en las instalaciones de BT, aporta su luz sobre las ventajas e inconvenientes de los ECT en cuanto a la coexistencia de sistemas de potencia y sistemas de señal.

1 Introducción

Una señal eléctrica se caracteriza:

- por su frecuencia,
- por su tensión,
- por su intensidad.

En las grandes redes de los países industrializados, la frecuencia es perfectamente estable. Puede variar en «la isla» de una instalación privada cuando se emplean fuentes de alimentación de emergencia; pero esta variación no tiene efecto notable en los ECT ni en los dispositivos de protección que necesitan.

La frecuencia sea de 50 ó de 60 Hz no es determinante; en cambio, en

ciertas redes que distribuyen la potencia a 400 Hz, hay que tener en cuenta la influencia de las capacidades de fuga a tierra en la elección del sistema de conexión a tierra.

Las corrientes y tensiones presentes en las instalaciones eléctricas, en circunstancias normales y en el caso de defecto de aislación, son esencialmente variables en valor y en forma de onda, pudiendo apartarse ésta mucho de la sinusoide. Se detecta especialmente en las corrientes que resultan de un defecto

de aislación, aguas abajo de un convertidor estático (CT n° 114).

Los fenómenos que deforman o perturban la sinusoide de red tienen orígenes diversos y según el ECT pueden introducir perturbaciones de diversa naturaleza no sólo en la distribución de BT sino también en los sistemas electrónicos de comunicaciones.

Existen tres ECT definidos por la publicación IEC 60364 y presentados, en Argentina, en la Reglamentación AEA/02; se analizan también en los Cuadernos Técnicos n° 172 y 173 y en el resumen que se hace en el **anexo 1**.

2 Perturbaciones de origen externo a las redes de BT

Corrientes telúricas

Se trata de corrientes de frecuencia inferior a 50 Hz, debidas a las tormentas magnéticas solares. Circulan por la tierra a gran profundidad. Pueden afectar a las protecciones de líneas de transporte, pero no son perjudiciales a nivel de las redes de BT, que no suelen ser muy largas y además sin efecto cuando no tienen más que una toma de tierra.

Corrientes erráticas de tierra de 50 Hz

Tienen su origen en los defectos de aislación de las redes de MT o AT, explotadas con ECT a tierra impedante, y también en ciertas instalaciones de tracción eléctrica donde la corriente de retorno pasa por tierra. Por lo tanto, hay que estar atentos a las instalaciones de BT situadas en la proximidad de centros de transformación.

Pueden provocar perturbaciones por impedancia común en el funcionamiento de las líneas de señal, distribuidas por los edificios, si su referencia de potencial no es única (varias tomas de tierra). Hay que destacar que las corrientes erráticas han sido la causa del abandono de los relés voltimétricos de tierra sensibles a la tensión de defecto.

Corrientes de descarga en los transformadores MT/BT

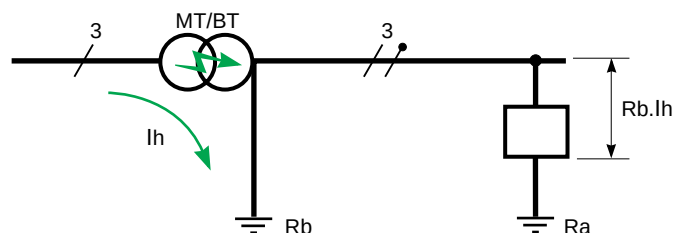
Su intensidad depende del ECT de la red MT. Su efecto (sobretensión) depende de la interconexión de las masas de los receptores de BT con la toma de tierra del neutro (**figura 1**).

Así, en un esquema TT, para evitar una descarga de retorno de los elementos de BT, la resistencia R_b deberá ser inferior a:

$$R_b = \frac{2U + 1000}{I_{h_{MT}}}$$

a - En TT

Los conductores activos quedan a potencial $R_b \cdot I_h$ respecto a tierra; por tanto, hay peligro para los receptores.



b - En TN

Las masas de todos los receptores quedan al potencial $R_b \cdot I_h$ respecto a tierra; por tanto, hay peligro de contacto indirecto.

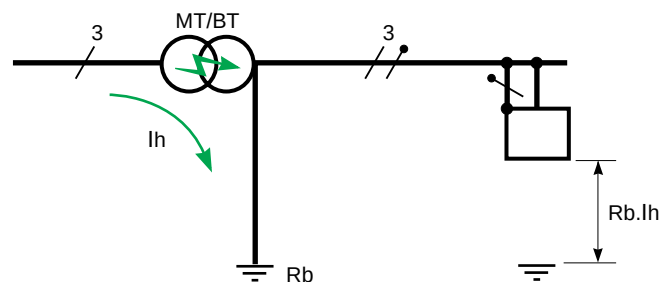


Fig. 1: Riesgos derivados de una descarga MT - BT en el transformador.

Hay que destacar que la publicación IEC 60364 sustituye $2U + 1000$ V:

- por $U + 1200$ V, en TT y TN,

- y por $U \cdot \sqrt{3} + 1200$ V en IT;

indica también, por otra parte, que esta sobretensión máxima no debe durar más de 5 segundos.

En régimen TN, para evitar el riesgo de «contacto indirecto», es necesario que el edificio sea totalmente equipotencial. Sucede lo mismo en el régimen IT en el momento de la descarga (puesta en cortocircuito) del limitador de sobretensión, si R_B y R_A se confunden.

Sobretensiones de maniobra en redes de MT

Las sobretensiones con origen en MT quedan muy atenuadas debido a lo estrecho de su banda pasante y al

transformador MT/BT (en modo diferencial). Sus posibles efectos son independientes de la elección del ECT de la instalación de BT.

Tensiones armónicas

Los generadores de armónicos que poseen los usuarios perturban la red de MT. Como consecuencia de esto se produce una deformación de la onda de tensión MT y, por tanto, de la de BT.

Los receptores de BT de un abonado no perturbador absorben, por tanto, corrientes armónicas, quedando afectadas las corrientes resultantes de un defecto de aislación.

Hoy en día, los distribuidores de energía eléctrica están muy preocupados por el deterioro de la onda de MT, a pesar de que los

transformadores estrella-triángulo (Dy11) no transmiten el tercer armónico y sus múltiplos de la BT a la MT... La tabla de la **figura 2** da los valores de perturbación armónica máximos admitidos por las compañías eléctricas; la norma EN 50 160 da los mismos valores, salvo para el tercer armónico y sus múltiplos.

Recordemos que:

$$\tau_n(\%) = \frac{Y_n}{Y_1} \cdot 100$$

En las redes de BT privadas es frecuente notar niveles de tensión y corriente armónicas mucho más altas.

Tensiones y corrientes de rayo

Después de la caída de un rayo, directa o indirecta, sobre una línea aérea que alimenta un centro de transformación MT/BT los limitadores de sobretensiones situados a la entrada MT del centro de transformación limitan la onda de tensión y derivan la corriente de rayo (Cuaderno Técnico nº 168).

La onda de tensión, en modo común, es transmitida sobre los arrollamientos BT del transformador por las capacidades parásitas entre los arrollamientos MT y BT.

Esta onda, cuyo nivel no suele sobrepasar los 6 kV, aparece simultáneamente en todos los conductores activos.

La puesta a tierra del neutro (directa en TT o TN, o a través del limitador de sobretensión, en IT) no puede atenuar más que la sobretensión que aparece en el neutro y provoca la aparición de una sobretensión en modo diferencial (entre neutro y fases).

Si hay riesgo de sobretensión será muy conveniente instalar limitadores de sobretensiones entre todos los conductores activos y tierra, sea el que sea el ECT (Cuaderno Técnico nº 179).

armónicos impares no-múltiplos de 3		armónicos impares múltiplos de 3		armónicos pares	
rango armónico	tensión armónico %	rango armónico	tensión armónico %	rango armónico	tensión armónico %
	BT/MT		BT/MT		BT/MT
5	6	3	1,5	2	2
7	5	9	0,3	4	1
11	3,5	15	0,2	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21		10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
25	1,5				
> 25	0,2+0,5*25/h				

La EDF (Electricidad de Francia) ha adoptado estos valores límite, que pueden parecer relativamente severos, a partir de las medidas realizadas en las redes y que corresponden a niveles de armónicos para los que los aparatos perturbados y perturbadores coexisten en la red en condiciones aceptables.

Fig. 2: Valores de perturbaciones armónicas de la tensión admitidas en las redes de distribución MT y BT.

Las conexiones deben de ser lo más cortas posible: $\Delta U = L\omega\hat{I}$, con $L = 1 \mu\text{H/m}$; $\omega = 2 / t_m$, siendo t_m el tiempo de subida de la corriente.

La derivación a tierra de la corriente de rayo crea sobretensiones en la red de BT de modo similar al caso de la descarga del transformador (**figura 1**), normalmente con una atenuación, debida a las capacidades parásitas, que depende del recorrido de la onda en la red.

Perturbaciones de AF

A parte de las «descargas de rayo», los emisores de radio y televisión, las emisoras de banda ciudadana, los walkie talkies generan campos electromagnéticos permanentes o transitorios. La maniobra normal o con cortocircuito de los aparatos de corte genera campos electromagnéticos de tipo pulsante. Por ejemplo, se han encontrado campos de 40 kV/m a una distancia de 1 metro de una celda de MT.

Los campos permanentes, transitorios o pulsantes se convierten, por efecto antena o lazo, en parásitos conductores que pueden perturbar o interferir en los equipos electrónicos autónomos (si su inmunidad es insuficiente) y en los sistemas electrónicos de comunicaciones, si las conexiones de señal están mal hechas.

3 Las perturbaciones procedentes de la propia red de BT

Corrientes y tensiones armónicas

Los receptores industriales (convertidores estáticos...), comerciales (iluminación fluorescente, equipo informático...) y hasta los domésticos (microondas, televisores...) son cada vez más generadores de armónicos (**figura 3**).

■ iluminación fluorescente

La Reglamentación AEA/02 fija los niveles máximos del porcentaje de armónicos emitidos para el 3º; 5º; 7º y 9º armónico:

La norma EN 55 015 indica los niveles de perturbaciones radiantes que no hay que sobrepasar.

Como referencia, algunas normas europeas fijan, en un (1) mA, la corriente máxima de fuga a tierra (a través del conductor PE).

■ rectificadores de puente de Graëtz

La norma IEC 60146-4 dice cuáles son las corrientes armónicas que producen los rectificadores, pero no existe todavía una norma que fije los niveles que no han de sobrepasar (Cuadernos Técnicos números 152 y 160).

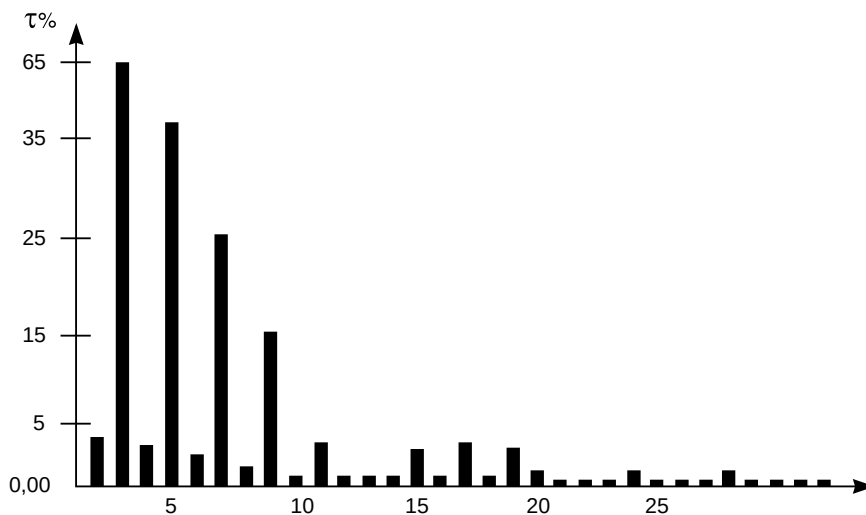
■ fuentes de alimentación conmutadas (por modulación de ancho de impulso)

Estos convertidores, dada la frecuencia de conmutación 10 a 30 kHz, generan corrientes armónicas de frecuencia muy elevada que conviene atenuar (filtros de alta frecuencia).

Son varios y perjudiciales los efectos de las corrientes armónicas:

■ si uno o varios receptores generan corrientes del tercer armónico y sus múltiplos (3 k), éstos, en ausencia de defecto, se suman y circulan por el neutro. Si el neutro es común con el PE (esquema TN-C), esta corriente provoca una variación del potencial de masa que puede ser perjudicial a los

a - alimentación conmutada



b - variador de velocidad trifásico

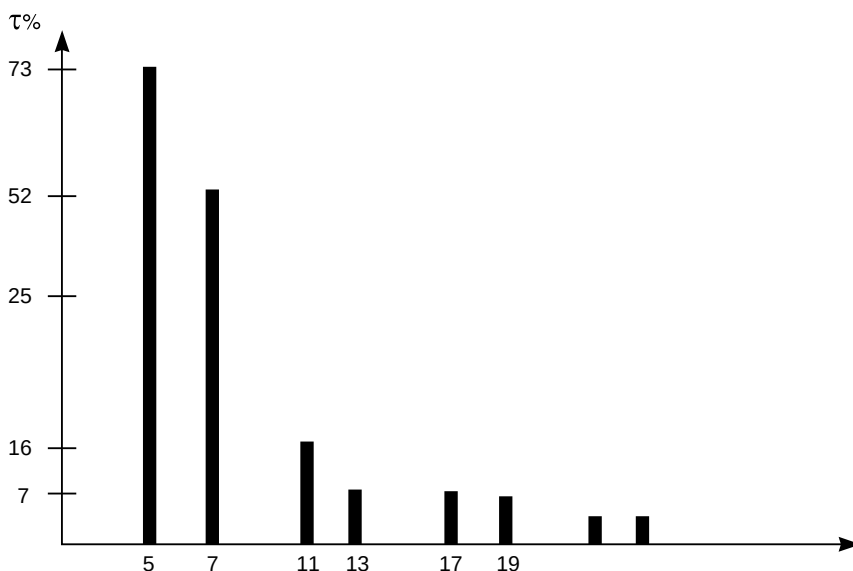


Fig. 3: Ejemplos de espectros de armónicos de receptores.

receptores sensibles (tensiones parásitas en modo común y respecto a tierra).

- después de un defecto de aislación en un receptor-generator de corrientes armónicas (convertidores estáticos), la onda de corriente de defecto tiene una forma muy variable que depende del esquema y del punto de defecto.
- las corrientes de defecto de aislación con armónicos pueden ser causa de mal funcionamiento de las protecciones. La solución sería:
 - en TN e IT, los interruptores automáticos deberían tener un término sensible a la corriente eficaz real (valor rms),
 - en TT, los DDR deberían ser de clase A (aptos para funcionar sobre corrientes pulsantes o deformadas).

Sobretensiones de maniobra (modo diferencial) en la red de BT

Se producen principalmente por el corte de corrientes normales o de defecto.

Citemos:

- la abertura de circuitos de mando de contactores y relés, si no están equipados con filtros RC;
 - el corte de corrientes de cortocircuito por los DPCC con tensión de arco muy elevada;
 - hay que destacar que el corte de corriente de defecto de aislamiento en régimen TN puede provocar una sobretensión de modo común.
- Estas sobretensiones pueden perturbar el funcionamiento de ciertos

elementos sensibles... y abarcan los dispositivos de protección con fuente auxiliar que, por construcción, deberían de estar inmunizados.

Grandes corrientes de defecto

Se trata esencialmente de corrientes de cortocircuito entre conductores activos (o a través del PE en TN e IT para el segundo defecto).

Si los diversos conductores son unifilares y no agrupados, el campo magnético, entonces radiante por los conductores activos (y por el PE en TN e IT), puede provocar funcionamientos intempestivos de los equipos electrónicos próximos a las canalizaciones eléctricas o con cables de entrada/salida de señal.

En la tabla de la **figura 4** se presenta un resumen de las perturbaciones y de sus efectos en función del ECT.

perturbaciones	efectos	
corriente de tierra	creación de una diferencia de potencial de BF entre dos tomas de tierra alejadas	TN : riesgo nulo para personas y circuitos electrónicos TT : riesgo nulo si hay una sola toma de tierra de utilización IT : ídem TT
descarga MT/BT en el transformador	tensión de modo común para redes de BT ($R_B \cdot I_{h_{MT}}$)	TN : riesgo para personas si la equipotencialidad del edificio no es total TT : riesgo para los materiales IT : ídem TN cuando el limitador de sobretensión se cortocircuita
rayo en MT	transmisión capacitativa a la red BT	TN : riesgo para el material en modo diferencial TT : ídem TN IT : ídem TN; el limitador sólo actúa en un conductor activo
corrientes armónicas en redes BT	corriente del 3 ^{er} armónico y múltiplos en el neutro	TN : no equipotencialidad del PEN en TN-C TT : sin problemas IT : sin problemas
corrientes de defecto de aislamiento	campo magnético caída de tensión en CP	TN : riesgo para los materiales sensibles y/o de comunicaciones TT : sin problemas IT : ídem que en TN, si hay defecto doble

Fig. 4: Principales perturbaciones y sus efectos, según el ECT.

4 La coexistencia de la «distribución de potencia» y de la «distribución de señal»

Hoy en día, la electrónica está por todas partes: en los captadores, en los accionadores, en los sistemas de control y mando de procesos de los edificios y de la distribución eléctrica. Todos estos equipamientos están alimentados por la red de BT y no deben de ser sensibles a las diversas perturbaciones antes citadas.

Los fabricantes «responsables» saben inmunizar muy bien los aparatos, en otras palabras, controlar su susceptibilidad a los fenómenos electromagnéticos. Para ello, toman como referencia las normas de compatibilidad electromagnética, por ejemplo, la IEC 61000 (Cuaderno Técnico nº 149).

Paralelamente la normalización tiende a minimizar las perturbaciones emitidas por los perturbadores.

Por tanto, la coexistencia normalizada entre aparatos perturbadores y aparatos perturbados no está resuelta puesto que en el control eléctrico quedan cuestiones como:

- ¿cómo se comporta una instalación eléctrica como perturbadora? Son determinantes tanto el modo de realizar las instalaciones como el ECT que se elija.
- con este planteamiento ¿cómo atenuar las señales perturbadoras y sus efectos sobre los componentes (electrónicos) sensibles? Es el

problema de la correcta coexistencia entre electrotecnia y electrónica, en otros términos, entre la potencia y la señal.

Para que esta coexistencia sea buena, hay que minimizar las perturbaciones de las fuentes y evitar las conexiones entre la fuente y la víctima potencial.

Minimizar las perturbaciones emitidas

Como hemos visto en los capítulos anteriores, hay varios tipos de perturbaciones y pueden ser de modo común o de modo diferencial, de baja o alta frecuencia, conducidas o radiadas (tabla de la **figura 5**). Para limitarlas hay varias soluciones posibles:

En la red MT:

- utilizar limitadores de sobretensiones de óxido de zinc y conectarlos con un cable lo más corto posible a una toma de tierra distinta de la del neutro de BT, para limitar las sobretensiones de rayo,
- limitar las corrientes homopolares MT y reducir al mínimo la resistencia de la toma de tierra del neutro de BT, para evitar las descargas de retorno, si hay varias tomas de tierra,
- utilizar transformadores MT/BT en los que el acoplamiento bloquee ciertas corrientes armónicas, para limitar las perturbaciones por armónicos.

En el origen de la red de BT:

- evitar conectar la toma de tierra del neutro con la del transformador y la de los pararrayos (esta separación de tierras se utiliza para los centros de transformación aéreos, situados en postes, en distribución aérea rural),
- instalar limitadores de sobretensiones en el origen de la red de BT, conectados de la forma más corta posible a la toma de tierra del neutro para limitar las sobretensiones de rayo que pasan a través del transformador,
- evitar el ECT TN-C porque el PEN transporta corrientes armónicas (tercer armónico y sus múltiplos) y así perturba la referencia de potencial que es el PE para los equipos electrónicos.

En la red de BT:

para minimizar los campos magnéticos radiantes:

- evitar, tanto como se pueda, el empleo de cables unipolares que generan, en caso de cortocircuito, un campo magnético importante,
- no separar el PE de los conductores activos, o al menos, utilizar cables que integren el PE,
- no utilizar cables blindados cuya envolvente constituye el PE o tubos de acero como conductor de protección, (el campo radiado por los conductores activos se bloquea y el PE genera un campo magnético),
- privilegiar los ECT que minimizan las corrientes de defecto de aislamiento (reducción de campo magnético),

	modo común	modo diferencial
perturbaciones BF	■ subida de potencial de la red BT (descarga MT/BT) ■ fuerte corriente de defecto en el PE ■ armónicos de 3^{er} rango en el PEN ■ toma de tierra Ra de valor demasiado alto en TT	■ corrientes y tensiones armónicas ■ corrientes de cortocircuito
perturbaciones AF	■ sobretensión y corriente de rayo ■ sobretensión de maniobra AT	■ sobretensión y corriente de rayo ■ corte de una Icc por un DPCC con gran tensión de arco

Fig. 5 : Los diversos tipos de perturbaciones según el modo y la frecuencia.

- evitar el conectar en varios puntos el PE a las estructuras metálicas del edificio, especialmente en TN porque la importante corriente de defecto de aislación (eventualmente cargada de armónicos) puede tomar caminos perturbadores (!un campo de sólo 0,7 A/m ya afecta las pantallas de rayos catódicos!),

- minimizar la corriente de inserción de condensadores (resistencias o autoinducciones de choque),

- en IT, si la red es corta, utilizar una impedancia (neutro impedante) para «fijar» el potencial de neutro a tierra,

- colocar los cables de potencia en canalizaciones metálicas para cables vigilando la continuidad de este «plano de masa» y su conexión con la conexión equipotencial principal (encaminamiento horizontal y vertical).

Esto minimiza mucho la radiación electromagnética.

- «colocar trampas» a las sobretensiones:

- poniendo circuitos RC en las bobinas de los contactores, relés...,
- protegiendo los equipos sensibles con limitadores de sobretensiones o descargadores.

A nivel de receptores: todos los materiales eléctricos son objeto de normas que limitan su emisión de parásitos de AF. Pero para las emisiones perturbadoras BF, hoy en día, solamente los aparatos de intensidad nominal - 16 A tienen límites definidos (norma IEC 60555-2/1.000-3.2).

Existen numerosas soluciones para minimizar las corrientes armónicas: filtros pasivos o activos, convertidores estáticos con muestra senoidal,...

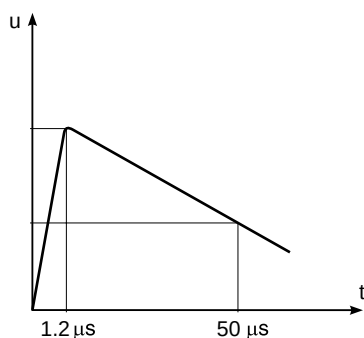
Actuar sobre los acoplamientos

No todos los acoplamientos se pueden atenuar en la fuente de alimentación; para evitar errores de funcionamiento de los equipos electrónicos, hay que minimizar la transferencia entre el emisor y su «víctima». Existen numerosos tipos de acoplamiento posibles y para explicarlos tomemos el ejemplo de la corriente de rayo (figura 6).

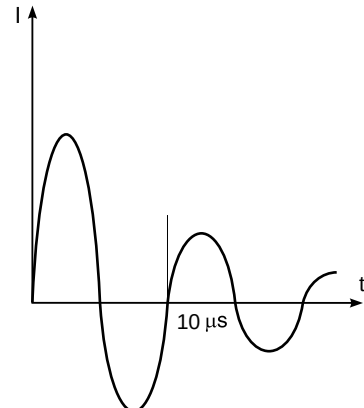
Cuando cae un rayo en una línea aérea de MT o BT, la corriente de cresta en el punto de impacto puede llegar a alcanzar varias decenas de kA.

La di/dt y la $\int i^2 dt$ son muy importantes.

a - onda de tensión de rayo ($f_0 = \frac{1}{\pi t_m}$)



b - onda de corriente de rayo sin cebado (f = 100 kHz)



c - onda de corriente de rayo con perforación de la aislación o conducción de un pararrayos

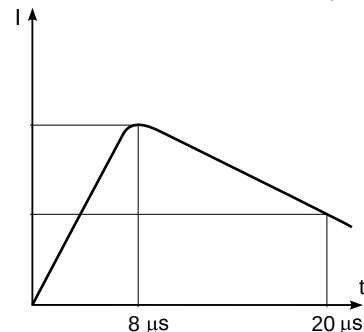


Fig.6: Algunas ondas de rayo normalizadas.

Acoplamiento por impedancia común

Tomemos por ejemplo un esquema TN, en el que todas las masas están conectadas (figura 7).

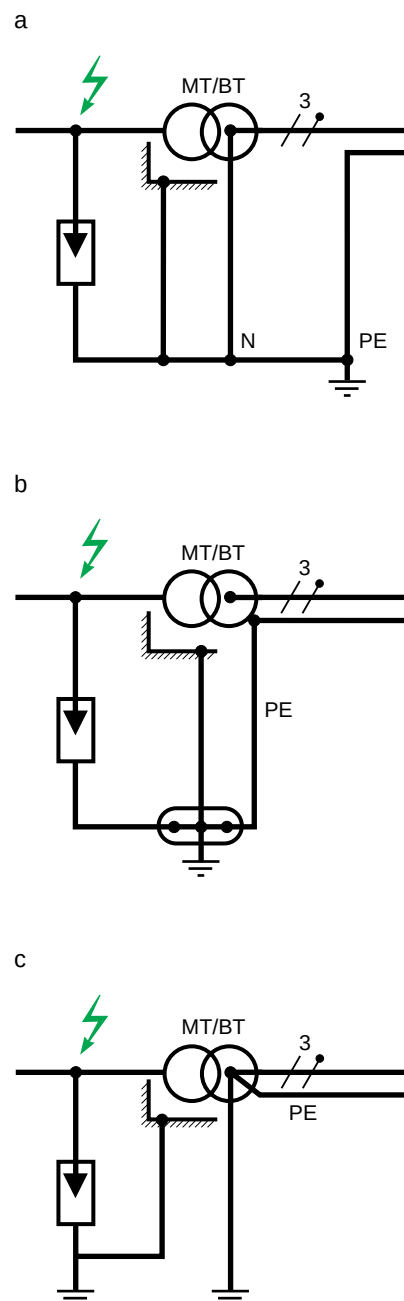


Fig.7: Evitar el acoplamiento por impedancia común frente a las perturbaciones con origen en MT.

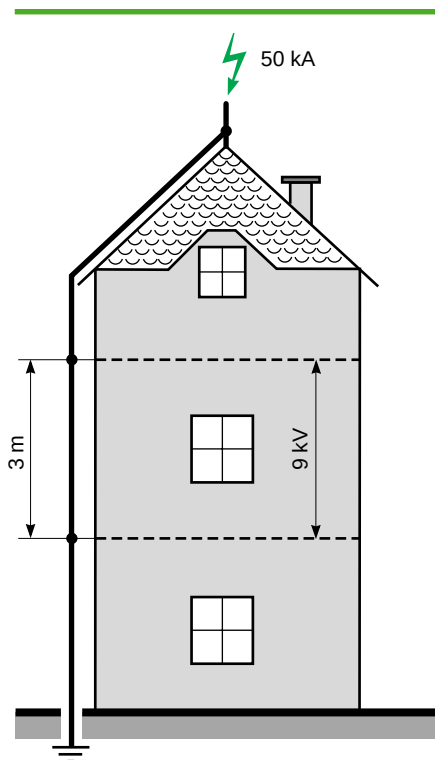


Fig. 8: Tensión «de modo común» generada entre dos plantas por una corriente de rayo de 50 kA.

Si $\hat{I} = 25 \text{ kA}$, la $di/dt = 25 \text{ kA}/8 \text{ ms}$, y una conexión N-PE de 1 metro con una autoinducción lineal de $1 \mu\text{H/m}$, la tensión ΔV desarrollada entre N y CP (figura 7-A), es:

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 10^{-6} \times \frac{25 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} = 3 \text{ kV}$$

¡Esta es la tensión que se va a aplicar entre neutro y masa de los equipos BT!

La solución consiste en realizar las conexiones en estrella a partir de una sola toma de tierra, mejor que utilizar dos tomas de tierra (figura 7-b y c).

Normalmente, un conductor eléctrico recorrido por una corriente anormal (de defecto) genera entre sus extremos una diferencia de tensión que puede ser perturbadora: es el acoplamiento por impedancia común. Fijémonos en otro ejemplo relacionado con la instalación de un pararrayos.

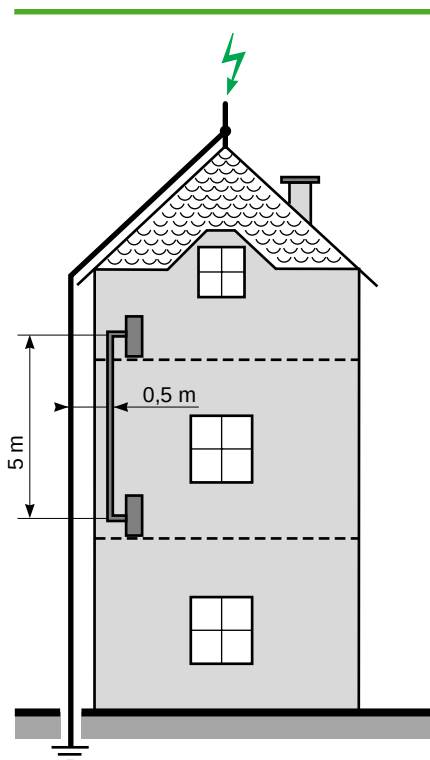


Fig. 9: El acoplamiento inductivo crea tensiones en modo diferencial en las líneas de señal.

Supongamos que las estructuras del suelo, en parte metálicas, estén conectadas a la bajada del pararrayos (figura 8):

con:
 $L = 0,5 \mu\text{H/m}$ (conductor plano)
 $\hat{I} = 50 \text{ kA}$
 el ΔV entre plantas, será:

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 1,5 \cdot 10^{-6} \times \frac{50 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} = 9,4 \text{ kV}$$

¡Evidentemente, la equipotencialidad en el edificio es muy dudosa!

Una de las soluciones consiste en multiplicar los conductores de bajada y separarlos de todo circuito eléctrico, tendiendo a conseguir una «caja de Faraday».

Hay que destacar que para atenuar la penetración en el edificio de las ondas EM de rayo resultantes de la descarga de rayo próxima, es necesario que la distancia entre los conductores que constituyen la caja sea inferior a la décima parte de la longitud de onda λ . Con un $t_m = 1 \mu\text{s}$:

$$f = \frac{1}{\pi t_m} = \frac{10^6}{\pi}$$

$$\frac{\lambda}{10} = \frac{1}{10} \frac{300 \times 10^6}{\frac{10^6}{\pi}} \approx 100 \text{ m}$$

Acoplamiento capacitativo

El material de MT (24 kV) tiene una rigidez dieléctrica a la caída de rayo (onda $1,2/50 \mu\text{s}$) de 125 kV .

El coeficiente de transferencia capacitativo entre los 20 kV y los 400 V es generalmente de 0,04 a 0,1 (IEC 60071-2 indica que puede alcanzar 0,4).

Así una onda de rayo de 100 kV , con un coeficiente de 0,07, transmite a la BT una onda homotética de 7 kV , en modo común.

Por tanto:

- el material de BT de un centro de transformación tiene generalmente una aislación reforzada (10 kV),
- las celdas eléctricas pueden soportar hasta 12 kV de la onda de choque (PRISMA y sus accesorios),
- y los interruptores automáticos de potencia tienen una resistencia dieléctrica de 8 kV en modo común, según la norma IEC 60947-2.

La transferencia capacitativa de perturbaciones es todavía más importante cuando la tensión y la frecuencia son elevadas.

Todo conductor «de potencia» transmite, por efecto capacitativo, una tensión parásita a los conductores «de señal» que siguen el mismo recorrido a una distancia insuficiente.

Acoplamiento inductivo

Supongamos que un edificio esté equipado con un pararrayos y que tenga una línea de señal de unos 5 m instalada a unos 50 cm de distancia del cable de descenso del pararrayos (figura 9).

La superficie del bucle del cable de señal, será: $S = L \times L' = 5 \times 0,005 = 0,025 \text{ m}^2$:

siendo:

L : longitud de cable,

L' : separación entre los dos conductores de la línea de señal.

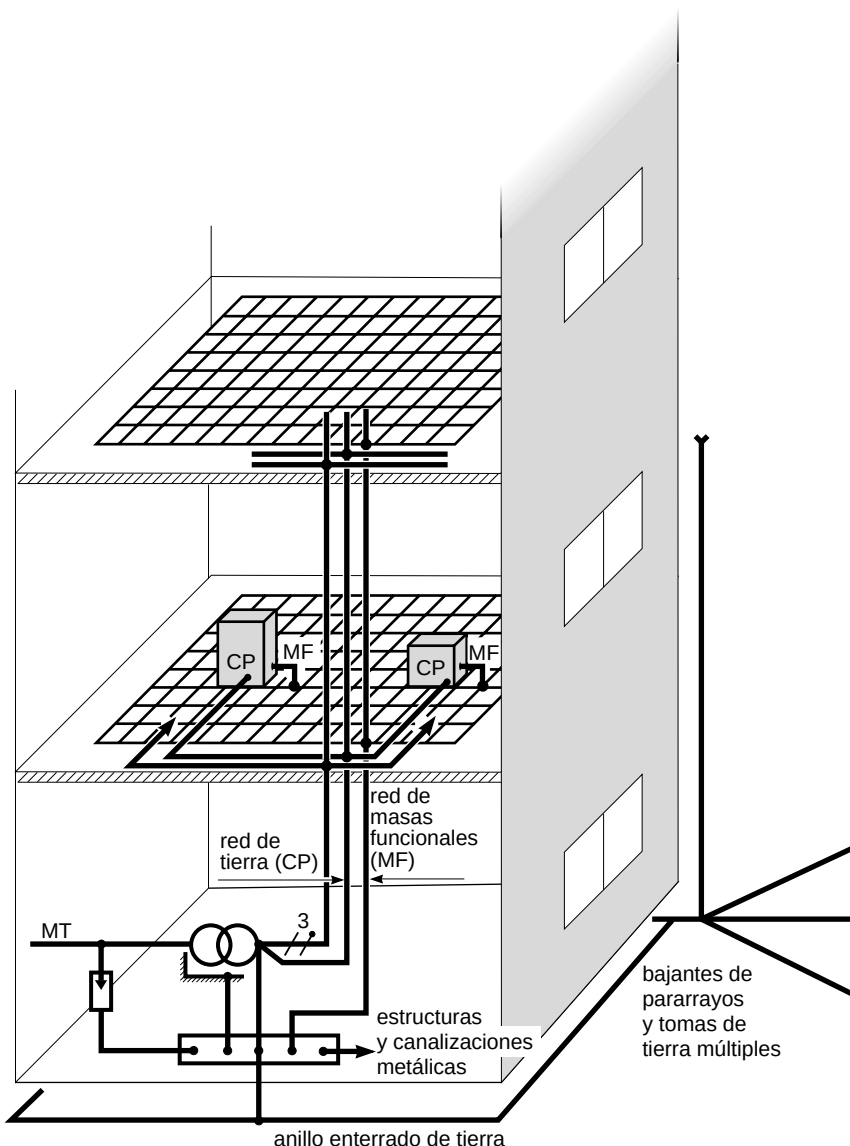


Fig.10: Ejemplo de sistema de tierra y masas.

Según el teorema de Ampère:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R}; \phi = B \cdot s \text{ y } u = \frac{d\phi}{dt},$$

de donde:

$$\hat{u} = -\mu_0 \cdot S \cdot \frac{dH}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot S}{2\pi \cdot R} \cdot \frac{di}{dt}$$

sea con $di = 50 \text{ kA}$ y $dt = 8 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

$$\hat{u} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,025}{2\pi \cdot 0,5} \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} \approx 60 \text{ V.}$$

Esta tensión impulsional se superpone a la tensión útil (algunos voltios), interfiere en dicha línea e incluso llega a dañar los aparatos electrónicos de comunicaciones.

La solución es evitar los recorridos comunes y próximos entre los circuitos con gran di/dt (de potencia) y los circuitos de distribución de señal... y utilizar pares trenzados para la transmisión de información.

Los acoplamientos se deben sobre todo al modo de estar hechas las instalaciones.

A título de ejemplo, se presentan, en el **anexo 2**, las medidas tomadas en un hospital para estar seguros de realizar los electroencefalogramas sin «parásitos».

Masas y tierra

Para facilitar la comprensión de los capítulos siguientes, damos algunas definiciones:

- **tierra (profunda):** masa conductora del planeta que es la referencia de modo común de las instalaciones eléctricas,
- **toma de tierra:** conductor en contacto directo con la tierra,
- **resistencia de la toma de tierra:** resistencia entre el (o los) conductor(es) que constituyen la toma de tierra y la tierra profunda,
- **red de tierra:** conjunto de conductores de protección (PE) ligado a la toma de tierra, cuyo objeto es evitar la aparición de una tensión peligrosa entre las masas eléctricas y la tierra en caso de defecto de aislación (contacto indirecto),
- **masa eléctrica:** parte conductora de un material eléctrico que puede quedar con tensión cuando se produce una falla de aislación,
- **masa funcional:** parte conductora de un material electrónico que tiene una misión de pantalla y frecuentemente de referencia de potencial (0 voltios). Un material de clase II no tiene masa eléctrica, pero puede tener una masa funcional,
- **masa de acompañamiento:** estructura de masa o conductor, tal como una plancha mallada, un electrocanal metálico o un blindaje, que acompañan de principio a fin a un cable de señal al que protegen para conseguir reducir los acoplamientos electromagnéticos (HF) o comunes,
- **redes de masas funcionales:** conjunto de conductores de masa de acompañamiento y de estructuras conductoras de los edificios que tienen la misión de equipotencialidad y de pantalla frente a las perturbaciones.

Conviene destacar que un sistema de tierra tiene la misión de protección de personas (50 Hz) y que el sistema de

masas tiene una misión funcional en la transmisión de información y la lucha contra las perturbaciones electromagnéticas.

Sistema ideal de tierra y de masa

El esquema de la **figura 10** es un ejemplo por los siguientes motivos:

- las perturbaciones externas (de rayo, de maniobra, o por descarga AT/masa) afectan mínimamente al equipamiento del edificio, porque:
 - hay muchos conductores de descenso del pararrayos y tomas de tierra múltiples en forma radial,
 - las diferentes puestas a tierra «eléctricas» están conexionadas en estrella a una única toma de tierra.
- el conductor PE (sea cual sea el ECT) no afecta a las masas funcionales electrónicas, porque:
 - no hay acoplamiento por impedancia común (la red de tierra -

PE- está separada de la red de masas funcionales). En la práctica esto se hace en la distribución (a nivel de cada piso) pero no es obligatorio para la columna de montantes,

- hay poco campo radiante si el PE está en el mismo cable que los conductores activos y si el cable está en una canaleta metálica con continuidad eléctrica y conectado al PE en el origen de la instalación.
 - Todos los cables «de señal» van sobre una plancha mallada (para reducir las interferencias) a una distancia de los circuitos eléctricos mayor ≥ 30 cm para evitar los efectos de acoplamiento magnético. Un conductor de masa de acompañamiento puede sustituir a la plancha mallada o completar su efecto para minimizar los efectos de bucles eventuales en alta frecuencia.
- Las conexiones de señal entre pisos circulan por una canaleta metálica que asegura la conexión «de las masas funcionales».

La red de tierra -PE- y la red de masas funcionales podrán constituir una sola y única red si se dan dos condiciones esenciales:

- ausencia de perturbaciones AF de gran dv/dt y gran di/dt , y
- que las corrientes de defecto en el PE o PEN sean pequeñas y sin armónicos.

Ciertos especialistas de la CEM indican que, aunque no se cumplan completamente estas condiciones, las redes de masas y tierra pueden estar íntimamente conectadas, a condición de que las planchas, las estructuras, los conductos de cables estén muy mallados (búsqueda de la equipotencialidad total por división de corrientes y minimización de bucles).

Esta solución difícil de realizar a nivel de grandes obras (interconexión de los encofrados metálicos y de todos los herrajes) puede convenir para edificios muy especializados tales como centros informáticos y centrales telefónicas.

5 Los ECT y los sistemas electrónicos de comunicaciones (SEC)

En el apartado anterior, hemos tratado de la coexistencia entre las instalaciones eléctricas y los aparatos electrónicos. La situación se complica con el desarrollo de conexiones digitales que gobiernan las electrónicas en los sistemas de comunicaciones de mando y control. En este tema, vamos a examinar más detalladamente los problemas que pueden presentar los esquemas de conexión a tierra de las redes de BT en los sistemas electrónicos de comunicaciones.

Los sistemas de comunicaciones, antes del desarrollo de los microprocesadores:

- utilizaban señales analógicas (0 a 10 V, 4 a 20 mA) de baja frecuencia,
- eran poco frecuentes y localizados (conexión captador-aparato de medida),
- eran sensibles a las perturbaciones BF, de ahí la conexión de las masas en estrella para evitar los acoplamientos de modo común.

Además, había perturbaciones de AF y las tensiones inducidas eran fáciles de filtrar.

Hoy en día, las conexiones entre los dispositivos electrónicos son digitales (buses) a frecuencia elevada y con corrientes muy débiles. Estas conexiones son cada vez más numerosas y extensas (redes de ordenadores, captadores y accionadores a «inteligentes», sistemas de gestión técnica, ...)

Según el ECT utilizado, la forma de conectar las masas funcionales y los recorridos relativos de las conexiones de señal respecto a la distribución de potencia, se puede observar:

- la existencia de perturbaciones por impedancia común debidas a corrientes de defecto en el PE,
- la creación de bucles amplios (con conexiones digitales) y, por consiguiente, muy sensibles a las perturbaciones emitidas por los equipos emisores de señales (normales o parásitas) de alta frecuencia.

ECT, SEC y perturbaciones en baja frecuencia

Frecuentemente, teniendo los componentes electrónicos necesidad de una alimentación eléctrica, sus masas eléctricas y funcional se conectan a una red de tierra (PE) que sigue el camino arborescente de la red eléctrica.

Las perturbaciones de BF aparecen en la red por acoplamiento de tipo impedancia común o por inducción (recorridos paralelos y próximos).

Acoplamiento por impedancia común

Tomemos un ejemplo: cuando un defecto de aislación provoca la circulación de una corriente en el PE, entre los puntos de conexión de un aparato (1) y su captador (2), aparece una caída de tensión entre los puntos C y D (**figura 11**). Esta tensión (u) aparece entre (1) y (2) y puede afectar a la transmisión de las señales.

Si, por ejemplo, el cable es coaxil, la tensión (U) aplicada a la malla va a aparecer en modo diferencial en la conexión.

Este fenómeno resulta más o menos importante según el tipo de cable empleado y depende de la impedancia de transferencia en el dominio de la frecuencia considerada.

■ en TN-C las corrientes que circulan por el neutro, y por tanto por el PEN, hacen variar mucho la referencia de potencial de los diferentes aparatos de SEC. Este ECT no es conveniente; todavía menos si las corrientes armónicas circulan por el neutro, a menos que se separe totalmente el sistema de masas funcional y el sistema de tierra.

■ en TN-S pero también en TN-C, los defectos de aislación implicarían la circulación de corrientes de cortocircuito (con un gran di/dt) en el PE, que:

- modificaría la referencia de potencial del SEC (ver ejemplo precedente),
- podrían provocar la circulación de corrientes perturbadoras en las estructuras metálicas de los edificios (por esto interesa más interconectar las estructuras al borne principal de tierra que a la red de tierras en diversos puntos).

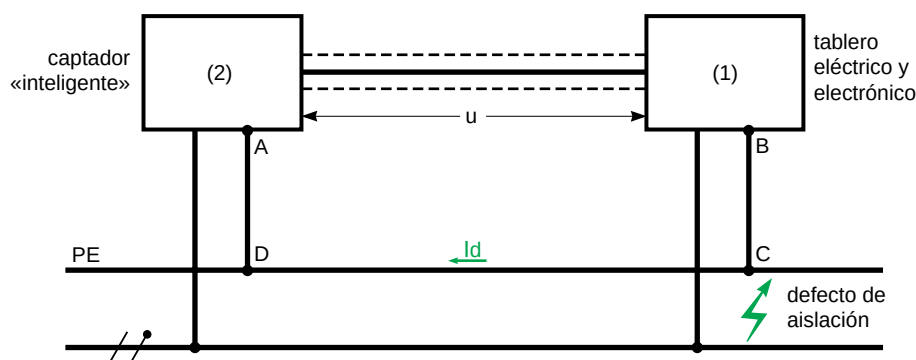


Fig.11: La caída de tensión en el PE, debida a la corriente de defecto, interfiere las líneas de los aparatos de comunicaciones (puede sobrepasar $U_0/2$ en el esquema TN, siendo $sección_{PE} < sección_{fase}$).

■ en IT, al primer defecto, las corrientes de defecto son normalmente inferiores a un amperio y por tanto no perjudiciales. En caso de defecto doble, si el primer defecto no ha sido encontrado y eliminado, la situación es la misma que en el TN-S.

■ en TT, es absolutamente evidente que si los sistemas de comunicaciones están conectados a tomas de tierra diferentes, los problemas de equipotencialidad son tan importantes como en TN; por tanto, el sistema de comunicaciones obliga a una única toma de tierra.

En este caso, los defectos de aislación implican la circulación, por el PE, de corrientes de defecto de aproximadamente 20 A, «poco perturbadoras» respecto a los 20 kA en TN.

Para evitar la aparición de estas perturbaciones entre aparatos de comunicaciones las soluciones son:

- evitar los ECT que hacen circular una gran corriente por el PE,
- aislar los 0 voltios electrónicos de las masas electrónicas (y por tanto usar transformadores separadores, si es necesario).

Recordemos que los equipos de proceso de datos deberán llevar un transformador separador (IEC 60950) y que diversas normas exigen que las masas funcionales de los aparatos de proceso de datos estén conectadas directamente al borne principal de tierra,

- utilizar materiales de clase II, lo que suprime la conexión al PE,
- evitar las tomas de tierra múltiples (en TT y en IT) si existe riesgo de corrientes erráticas por tierra.

Acoplamiento por inducción (diafonía inductiva)

Recordemos que, según las leyes del electromagnetismo, toda corriente que circule por un conductor genera un campo magnético. Si este campo es variable, provoca una variación de flujo, y por tanto, una tensión parásita en cualquier bucle próximo.

Para evitar la aparición de campo magnético:

- los conductores activos y el PE deben de ser un mismo cable (los

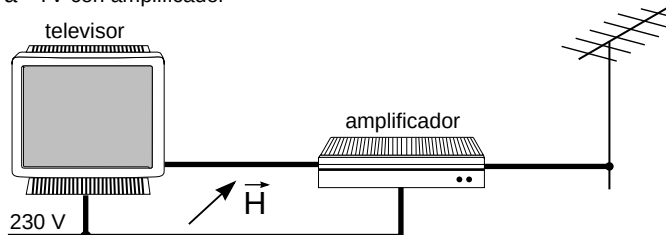
campos radiados por los diversos conductores se anulan). Recordemos que las corrientes de defecto de aislación en TN pueden caracterizarse por $\Delta i \approx 50 \text{ kA}$ con $\Delta t \approx 5 \text{ ms}$.

- no es aconsejable permitir que las estructuras formen parte del circuito de retorno, porque sino, la suma vectorial de corrientes en el cable no es cero.

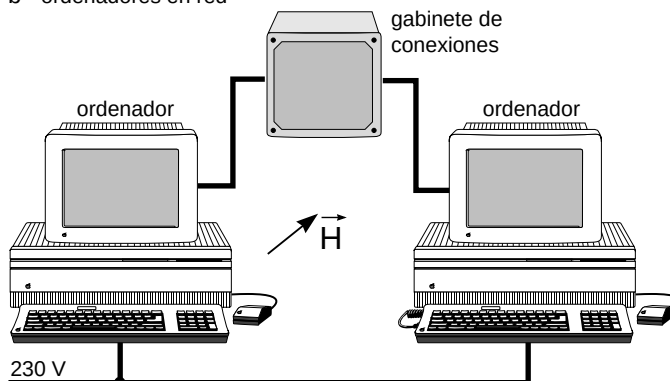
Y para limitar los acoplamientos, es necesario:

- evitar todos los recorridos paralelos y próximos entre conductores con gran di/dt (descenso de pararrayos, conductores de protección) y las líneas de señal.
- utilizar para las líneas de señal cables de pares trenzados (las tensiones desarrolladas en los bucles sucesivos se anulan).

a - TV con amplificador



b - ordenadores en red



c - ordenador e impresora

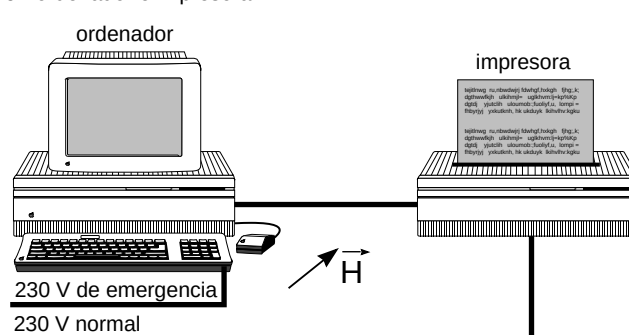


Fig.12: Ejemplos de bucles inductivos que provocan descargas en los sistemas electrónicos de comunicaciones.

ECT, SEC y perturbaciones en AF

Los sistemas digitales repartidos en los edificios son muy sensibles a las perturbaciones de alta frecuencia permanentes o transitorias, radiantes o conducidas.

Las perturbaciones radiadas de AF

Estas perturbaciones son debidas a señales de frecuencia generalmente superior a un MHz. Tienen por origen las soldaduras, los hornos de arco, los walkie talkies y otros emisores tales como los aparatos de corte de AT o los balastros electrónicos.

De hecho, existen muchas normas que limitan las emisiones de AF (entre ellas la EN 55011), pero no todos los aparatos las cumplen.

Si el «ruido» aportado por estas perturbaciones a los sistemas de comunicación electrónicos es independiente del ECT, es absolutamente necesario evitar que se formen bucles cerrados al conectar las redes de las líneas de señal con los circuitos electrónicos (figura 12).

En efecto, un campo electromagnético radiado induce una corriente en el bucle lo que genera tensiones parásitas en las transmisiones de las líneas de señal. Y cuanto mayor es el bucle, más importante es la perturbación.

El rayo, fenómeno natural, es el perturbador más importante; una descarga de rayo de 50 kA a 100 m de distancia puede producir una tensión de 100 voltios en un bucle abierto de 1 m² y una corriente mayor de 20 A si el bucle está cerrado.

En el esquema de la figura 13, si no hay conductor de acompañamiento, se desarrolla una tensión entre los dos extremos de la conexión de la línea de señal, lo que perturba las señales transmitidas.

El conductor de acompañamiento forma, con la línea de señal, un bucle inductivo de superficie mucho menor (S2) que la superficie inicial (S1+ S2), con lo que se consigue una gran reducción de la perturbación.

Se vislumbran varias soluciones según los materiales instalados:

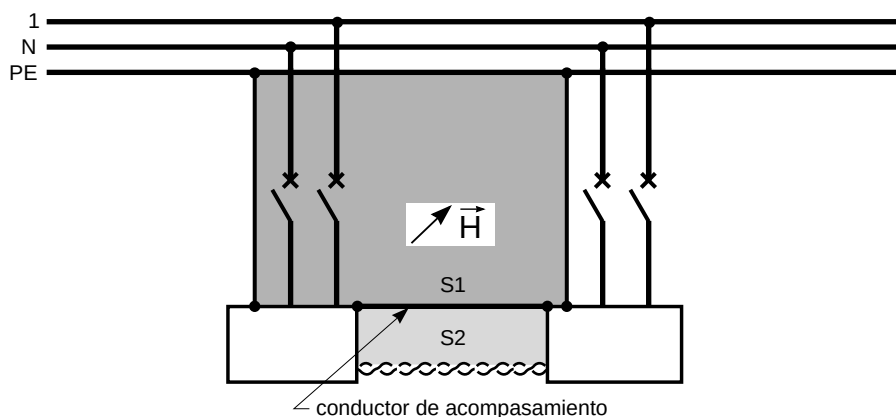


Fig.13: Reducción de la superficie del bucle por masa (o conductor) de acompañamiento (en este ejemplo las masas funcionales y el PE están conectados, lo que no es problema con el esquema TT).

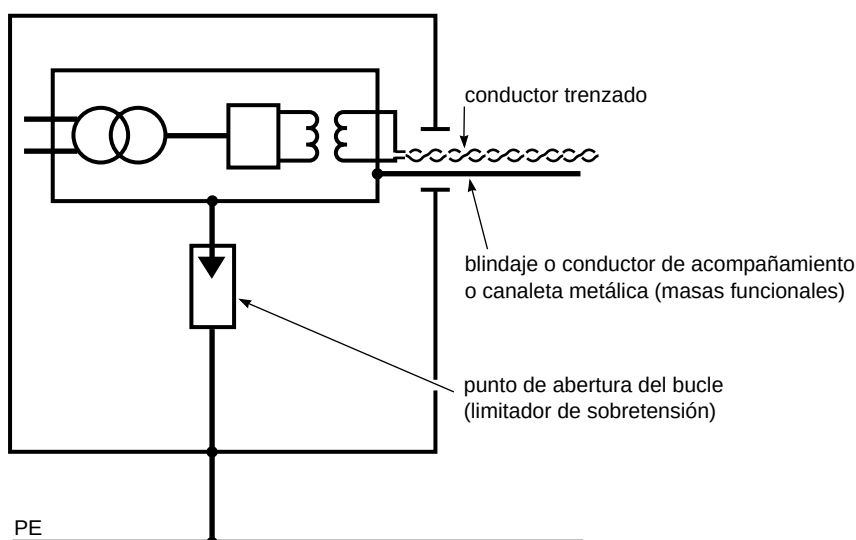


Fig.14: Ejemplo de formas de poner las conexiones para evitar las perturbaciones por efecto bucle en AF.

-1- utilizar un transformador-separador y evitar las capacidades parásitas entre los circuitos electrónicos y la masa eléctrica;

-2- minimizar el área del bucle:

- sea haciendo seguir el mismo camino a los dos circuitos, el de señal y el de alimentación, pero separados unos 30 cm (capítulo anterior),
- sea añadiendo un conductor de acompañamiento si la conexión de señal no está blindada.

Hay que destacar que los planos de masas tienen el mismo papel que el conductor de acompañamiento (canalizaciones metálicas, suelos finamente mallados);

-3- utilizar para las conexiones digitales conductores trenzados (con reducción de la impedancia de transferencia) que estén puestos en una canaleta metálica que sirva como conductor de acompañamiento;

-4- en los casos difíciles de prever un desacoplamiento entre los dos extremos de la conexión digital (entrada y salida) mediante transformadores de impulsos y conectar el blindaje de la conexión digital a la masa electrónica (figura 14).

Recordemos que hay que evitar el conectar las redes de masas funcionales al PE si las corrientes de defecto de aislación son muy fuertes (figura 10) (acoplamiento por impedancia común en 50 Hz);

-5- por último, en los ambientes muy perturbados, la solución es la transmisión por fibra óptica...

Las perturbaciones conducidas de AF

Estas perturbaciones son debidas a las señales de frecuencia típicamente comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz. Tienen por origen el rayo, las sobretensiones de maniobra y ciertas fuentes de alimentación conmutadas.

■ el rayo

En este caso el problema es idéntico, sea el que sea el sistema de ECT: la sobretensión de rayo que llega al origen de una instalación de BT es esencialmente de modo común (afecta a todos los conductores activos). Queda atenuada por las capacidades parásitas conforme se aleja de la fuente.

Así, cuando dos aparatos de comunicaciones se instalan a distancia uno próximo y otro lejano a la fuente, aparece una ddp de AF entre las alimentaciones de estos dos aparatos. De ahí una posible perturbación de las comunicaciones digitales.

La respuesta más sencilla a este problema es instalar en el origen de la instalación de BT (cerca del transformador MT/BT) pararrayos entre cada conductor activo y tierra:

□ o sobre el neutro en TN y TT porque el neutro está conectado a tierra (la sobretensión se deriva directamente a tierra); pero hay que estar atento a tener una conexión lo más corta posible entre la puesta a tierra del neutro y el PE (capítulo anterior),

□ o en el conductor al que está conectado el limitador de sobretensión (normalmente el neutro) en IT, porque este limitador elimina esta sobretensión.

Nota: En TN-S, IT y TT, puede ser necesario añadir en la instalación de baja tensión pararrayos de tensión más baja; también sobre el neutro, debido al acoplamiento capacitivo entre conductores activos.

Para su instalación, ver el Cuaderno Técnico nº 179.

■ las sobretensiones de maniobra (corte de corrientes inductivas) Son, esencialmente, de modo diferencial.

Todos los ECT quedan afectados de la misma forma.

La única solución es atenuar estas sobretensiones en el momento en que se generan.

■ las perturbaciones debidas a las fuentes de alimentación conmutadas Ciertos equipos, tales como los balastros electrónicos de ciertas lámparas y tubos fluorescentes, los televisores, los ordenadores personales... utilizan alimentaciones con fuentes conmutadas (de modulación de ancho de impulso). Son generadores de corrientes armónicas de AF que pueden perturbar los equipos sensibles.

Si éste es el caso, hay tres soluciones:

□ interponer un transformador de aislación con pantalla. A título de ejemplo, los televisores de importación sin transformador son rechazados (pero por razones de seguridad para las personas).

□ utilizar toroides de ferrita

Éstos, en los materiales magnéticos, atenúan, por efecto Joule, las perturbaciones de hasta varias decenas de MHz (figura 15).

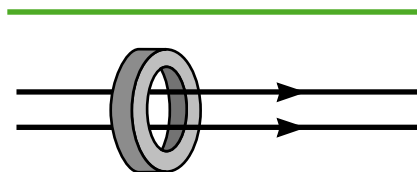


Fig.15: Un toroide de ferrita atenúa las interferencias en modo común.

□ utilizar filtros, como por ejemplo, el de la figura 16

Nota:

El empleo de filtros es una solución eléctrica frecuentemente empleada por los fabricantes de aparatos sensibles. Esta solución debe de respetar las normas aplicables a los equipos que tienen que limitar las corrientes de fuga de 50 Hz. Éstas, en la práctica, varían de 0,2 a 1 mA para los aparatos enchufados a una toma de corriente, pero pueden ser mayores para los equipos fijos de potencia. Por ejemplo, existen filtros que tienen una corriente de fuga de 2,85 mA para una intensidad nominal de 50 A a 50 Hz.

Hay que decir también que los equipos informáticos cumplen la norma IEC 60950, que autoriza para ciertas instalaciones (grandes ordenadores, calculadoras que llevan la etiqueta «corriente de fuga elevada») corrientes de fuga hasta un 5% de I_n , lo que explica la necesidad de aislar su distribución eléctrica, generalmente en el ECT-TN.

La rigidez dieléctrica de los condensadores Cy de la figura 16, con filtros estándar, es otra característica importante: frecuentemente es mucho menor que la de los materiales electrotécnicos.

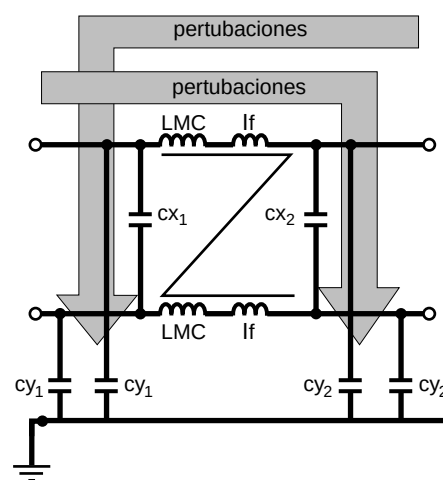


Fig.16: filtro de alta frecuencia.

Los filtros, por tanto, son vulnerables a las sobretensiones de modo común y pueden necesitar una protección de rechazo de las sobretensiones (varistores).

Esto hace plantear el problema de la coordinación de las aislaciones en baja tensión de una forma más general.

Examinemos la influencia de los condensadores C_y sobre los diferentes ECT.

- en régimen TN no afectan a los interruptores automáticos, que son los que se encargan de la protección de personas.
- en régimen IT no afectan si están colocados delante de los dispositivos

de protección contra cortocircuitos. Pero, si los equipos electrónicos que llevan tales filtros son muy abundantes, pueden perjudicar el funcionamiento de los CPI a inyección de corriente de BF, por lo que pueden convenir los aparatos a inyección de corriente continua.

- en régimen TT, las corrientes de fuga debidas a los filtros, cuando los equipamientos electrónicos son numerosos, pueden provocar el funcionamiento intempestivo de los DDR de alta sensibilidad (30 mA) y hasta casi los de media sensibilidad (0,3 A).

Por este motivo las costumbres de los instaladores llevan, hoy en día, a no

proteger más de 3 tomas de corriente con cada DDR de 30 mA.

Hay que destacar que los aparatos de protección han evolucionado para hacer frente a las perturbaciones electromagnéticas, por ejemplo, los DDR:

- son insensibles a las perturbaciones de frente rápido y a las corrientes transitorias,
- están inmunizados contra las corrientes unidireccionales pulsantes,
- mediante un limitador de sobretensiones permiten derivar a tierra, sin disparar, las sobretensiones de rayo (diferencial temporizado al disparo).

6 Conclusión

En cuanto a la protección de personas, los diversos ECT son equivalentes.

Pero con el desarrollo de sistemas digitales de comunicaciones y la proliferación de elementos perturbadores, el diseño de las instalaciones eléctricas exige prestar especial atención a la coexistencia de líneas y circuitos de potencia y líneas y circuitos de señal, y por tanto, reconsiderar los modos de instalación y los esquemas de conexión a tierra.

A nivel de las instalaciones

A este nivel, es necesario reducir al máximo las fuentes de perturbaciones (de potencia y radiantes) y la sensibilidad de los equipos, y especialmente las conexiones de las líneas de señal.

Para esto hará falta:

- evitar conectar conductores de descenso de pararrayos y masas de media tensión a la toma de tierra del neutro (eliminación de sobretensiones de modo común resultante de la conexión por impedancia común),
- que el PE quede alejado de los conductores activos (reducción de los acoplamientos por inducción) y que no esté conectado, en la distribución, a las masas de los receptores eléctricos, sobre todo en TN,
- utilizar canalizaciones de cables metálicas equipotenciales respecto a la conexión equipotencial principal (reducción de la radiación de los cables eléctricos de potencia y efecto de conductor de acompañamiento y plano de masas para los circuitos sensibles).

Las conexiones de las líneas de señal, si están en el mismo soporte, deben de estar completamente separadas de los cables de potencia o mejor, se deben colocar en canalizaciones diferentes y próximas.

En realidad, las conexiones de las líneas de potencia y de líneas de señal tienen normalmente trayectos diferentes. Por esto, hay que utilizar un conductor de acompañamiento (o similar) para los circuitos de señal, y por tanto, crear una red de masas funcionales.

A nivel de las ECT

El esquema TN-C, ya prohibido en los lugares de riesgo de incendio y de explosión, hay que desterrarlo porque las corrientes de neutro que circulan en el PEN afectan a la equipotencialidad.

Por otra parte, si una parte de las corrientes de neutro y de defecto circulan por las estructuras metálicas del edificio, estas corrientes "erráticas", así como el cable fase-PEN se convierten en generadores de campos magnéticos perturbadores.

Para el esquema TN-S, vista la importancia que tienen como perturbadoras las grandes corrientes de defecto, es aconsejable crear un circuito de masa funcional, separado del circuito de tierra (PE) y, por tanto, realmente equipotencial (**figura 10**). Esto va a constituir, junto con los suelos conductores y las estructuras, un efectivo plano de masas derivador y una caja de Faraday.

El esquema IT permite obtener la mejor continuidad del servicio y el nivel de perturbación más débil; pero

hay que prever que pueda ocurrir un doble defecto; las prescripciones son las mismas que en TN-S.

El esquema TT es el que genera el menor nivel de perturbaciones en caso de defecto de aislación permite continuar uniendo íntimamente las masas funcionales y las masas eléctricas y utilizar la estructura y la equipotencialidad.

En definitiva, de cara al nuevo problema de los sistemas de comunicaciones con líneas digitales, lo que hay que plantear es la equipotencialidad, en BF y AF, de todas las masas en toda la instalación.

La respuesta en términos de conexión de los ECT es:

- para todos los ECT: crear un plano de masas (suelos, canalizaciones metálicas para cables), interconectarlos y evitar los bucles de líneas de potencia y de líneas de señal,

- para los ECT TN-S y IT (segundo defecto) separar las redes de tierra (PE) de la red de masa, o mallar muy bien todas las masas para dividir las corrientes de defecto de 50 Hz y las corrientes perturbadoras AF.

Una solución defendida generalmente por los anglosajones es conectar íntimamente todo lo que es metálico; no es aplicable más que en los edificios con estructura metálica y cuya construcción se haya controlado.

- el esquema TT es el que responde mejor al problema propuesto por la proliferación de líneas digitales en los edificios; tiene como condición el que las tomas de tierra de los receptores estén interconectadas por el PE.

Anexo 1: Los ECT según la IEC 60364

Los tres ECT normalizados a nivel internacional están hoy en día regidos por un gran número de normas nacionales, en Argentina, en concreto, están descritos en la Reglamentación AEA/02.

Estos tres esquemas de conexión se estudian con detalle en el Cuaderno Técnico 172, en el que se explican, para cada uno de ellos, los riesgos que presentan y los dispositivos de protección asociada.

De todos modos, conviene recordar de forma resumida el principio de funcionamiento de cada uno.

El esquema TN

(figura 17)

- el neutro de transformador está puesto a tierra,
- las masas de los receptores eléctricos están conectadas al neutro.

El defecto de aislación se convierte en un cortocircuito actuando la protección contra cortocircuitos que desconecta la parte del circuito que tiene el defecto (DPCC).

La tensión de defecto (masa/tierra profunda, llamada «contacto indirecto») es $\approx U_0 / 2$ si la impedancia del circuito de «ida» es igual a la del circuito de «retorno». Si es superior a la tensión límite convencional (U_L) que es normalmente de 50 V, necesita una desconexión tanto más rápida cuanto U_d sea mayor que U_L .

El esquema TT

(figura 18)

- el neutro del transformador está conectado a tierra,
- las masas de los receptores eléctricos están también conectadas a la toma de tierra.

La corriente de defecto de aislación está limitada por la impedancia de la toma de tierra y la parte con el defecto la desconecta un dispositivo diferencial residual –DDR–.

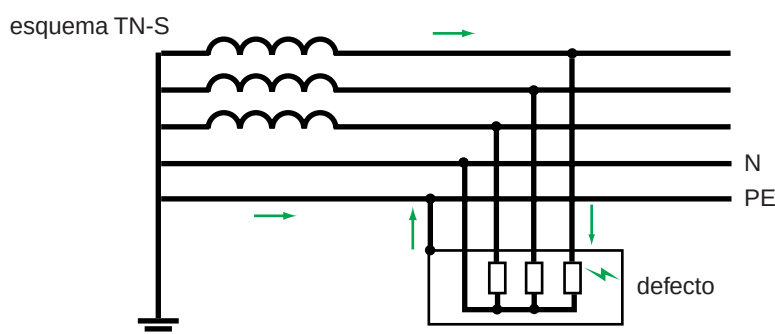
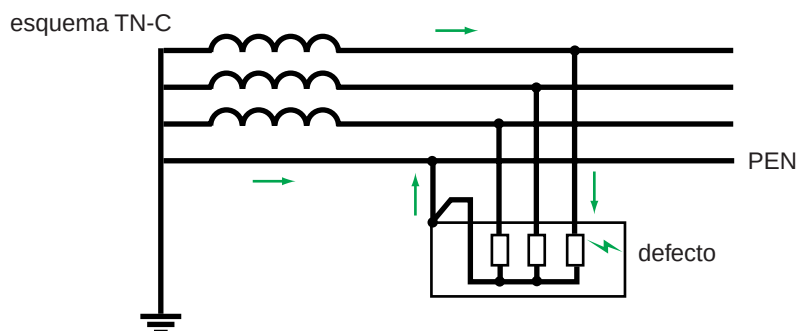


Fig. 17: Esquemas TN-C y TN-S.

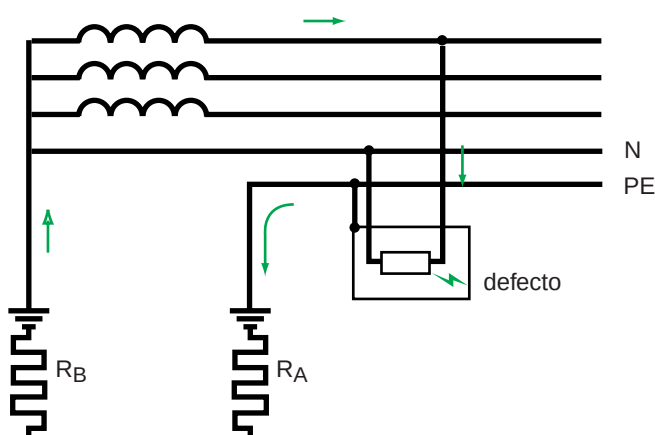


Fig. 18: Esquema TT.

La tensión de defecto es:

$$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}, \text{ superior a la}$$

tensión U_L ; el DDR actúa desde que

$$I_d \geq \frac{U_L}{R_A}.$$

El esquema IT

(figura 19)

- el neutro del transformador no está conectado a tierra. Teóricamente está aislado, pero, de hecho, está conectado a tierra a través de las capacidades parásitas de la red y/o por una gran impedancia, de un valor $\approx 1\,500\,\Omega$ (neutro impedante),

- las masas de receptores eléctricos están conectadas a tierra.

Si se produce un defecto de aislació, de hecho circula una pequeña corriente a través de las capacidades parásitas de la red (1^{er} defecto en la figura 19).

La tensión desarrollada en las tomas de tierra de las masas (de unos pocos voltios) no es peligrosa.

Si se presenta un segundo defecto (figura 19), cuando el primer defecto no ha sido eliminado, hay una corriente de cortocircuito y son los DPCC los que aseguran la protección necesaria.

Las masas de los receptores afectados pasan a tener aplicado el potencial creado por la corriente de defecto en sus conductores de protección (CP).

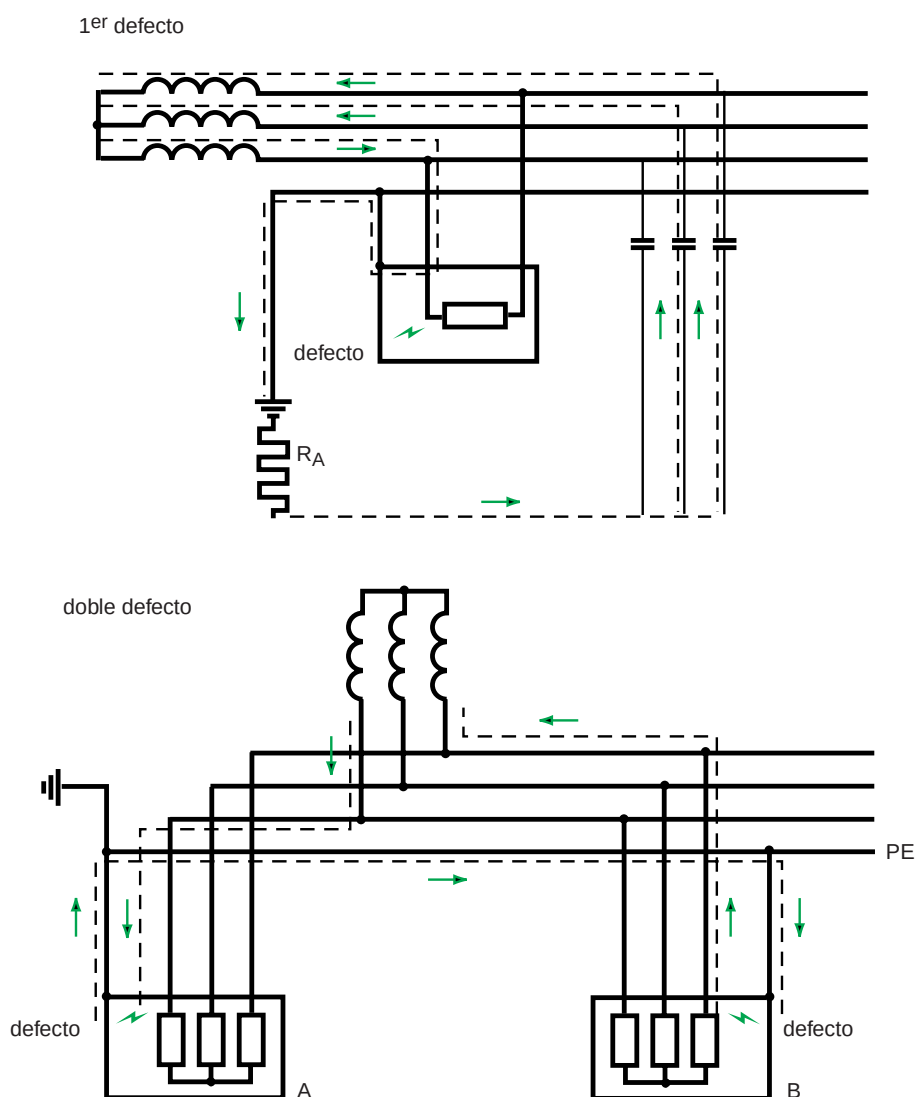


Fig. 19: Esquema IT.

Anexo 2: Ejemplo de preparación de un local libre de perturbaciones electromagnéticas

Se trata de una sala en la que se realizan electroencefalogramas. Éstos son difíciles de leer porque las tensiones de medidas tienen valores muy bajos.

Algunos datos previos

- las tensiones entre la camilla del paciente y la masa del monitor,
 - las tensiones entre las masas de los diversos componentes del sistema de medida, y entre estas masas y las situadas alrededor del paciente,
 - las medidas de campo en todo el local indican que existen campos eléctricos desde algunos mV/m hasta unos 150 mV/m y campos magnéticos de AF desde algunos mA hasta unos 10 mA (las conexiones monitor-captador forman bucles y hacen de antenas, cuando hay, por ejemplo, un scanner próximo o una emisora de radiodifusión!).
- Son importantes los campos magnéticos BF.

Lucha contra los campos eléctricos

- apantallar las paredes y el suelo con moqueta antiestática; techo, con una rejilla,
- sustituir los tubos fluorescentes por lámparas de incandescencia,
- sustituir los reguladores con triacs por autotransformadores variables,
- añadir circuitos antiparasitarios a los interruptores.

Lucha contra los campos magnéticos

- desviar canalizaciones de gran intensidad con esquema TN-C que pasen por el local,
- entre estancias, realizar un blindaje de las canalizaciones por las que pasen conductores eléctricos de gran potencia (la suma de corrientes en el cable puede no ser cero, debido al hecho de que la corriente de neutro vuelve a la fuente, en parte, a través de las masas metálicas del edificio).

Lucha contra las variaciones de potencial de la masa y el PE de la estancia

- con calefacción central, conectar a la caja de Faraday los radiadores y aislarlos del resto de la instalación con manguitos aislantes,
- pasar las tuberías de gases medicinales por la parte exterior de la estancia,

- desacoplar la red eléctrica de alimentación de todas las tomas de tierra por medio de un filtro AF y transformador BT/BT con pantalla (anteriormente las tomas de corriente estaban alimentadas desde diversos circuitos, de ahí el riesgo de creación de bucles),
- desacoplar todas las masas y del PE del local por medio de una autoinducción (hubiera sido muy costoso conectar directamente el PE a la toma de tierra del edificio para realizar una «tierra sin ruido»).

La red eléctrica de esta estancia especializada se ha pasado del esquema TN-C al esquema TT impedante, con riesgo nulo frente a los contactos indirectos (Z_L sustituye a R_B).

En este ejemplo (figura 20), que corresponde a un caso real, la acción de un especialista cualificado ha permitido aplicar la mayoría de las soluciones que permiten evitar cualquier perturbación de los equipos electrónicos sensibles; esto es lo que se hizo en este caso.

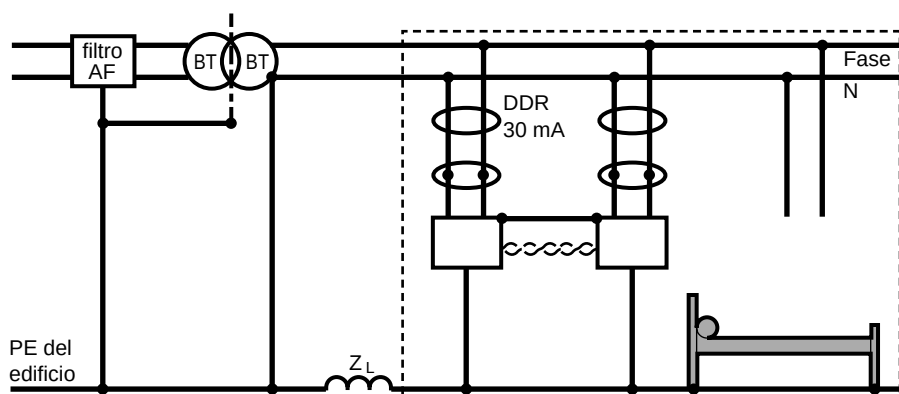


Fig. 20: Alimentación de un local sin interferencias electromagnéticas.

Bibliografía

Normas y decretos

- IEC 60071-2: Coordinación del aislamiento - 2ª parte: Guía de aplicación.
- IEC 60146-4: Convertidores con semiconductores - 4ª parte: Método de especificación de prestaciones y métodos de ensayo de las alimentaciones sin interrupción.
- IEC 60364: Instalaciones eléctricas en edificios.
- IEC 60555-2: Perturbaciones producidas en las redes de alimentación por los aparatos electrodomésticos y equipos similares - 2ª parte: armónicos.
- IEC 60947-2: Aparatos de baja tensión - 2ª parte: interruptores automáticos.
- IEC 60950: Seguridad de los equipos de proceso de datos, incluidos los equipos de ofimática.
- IEC 61000: Compatibilidad electromagnética.
- CSPR 11: Límites y métodos de medida de las características de las perturbaciones electrónicas de los aparatos industriales científicos y médicos a frecuencia radioeléctrica.
- Reglamentación para Instalaciones Eléctricas en Inmuebles de la AEA, edición Agosto 2002.

Cuadernos Técnicos Merlin Gerin

- La compatibilidad electromagnética. CT nº 149. F. VAILLANT.
- Las perturbaciones por armónicos en las redes industriales y su tratamiento. CT nº 152. P. ROCCIA, N. QUILLON.
- Armónicos aguas arriba de rectificadores de los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida. CT nº 160. JN. FIORINA.
- El rayo y las instalaciones eléctricas de AT. CT nº 168. B. de METZ NOBLAT.
- Los esquemas de conexión a tierra en BT (régimenes de neutro). CT nº 172. B. LACROIX, R. CALVAS.
- Evolución y situación mundial de los esquemas de conexión a tierra. CT nº 173. B. LACROIX, R. CALVAS.
- Sobretensiones de rayo en BT: coordinación del aislamiento. CT nº 179. Ch. SERAUDIE