

Cuaderno Técnico nº 062

Puesta a tierra del neutro en una red industrial de MT

Merlin Gerin

Eunea Merlin Gerin

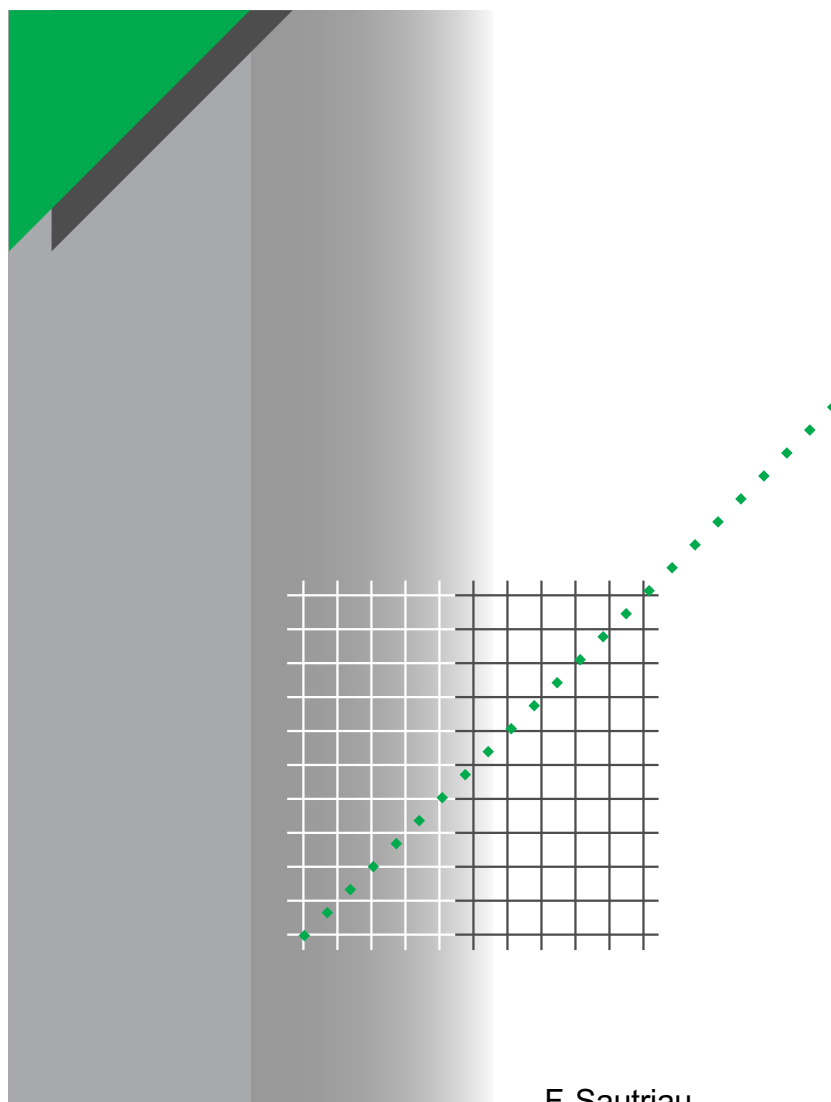
Modicon

Telemecanique

Mesa

Himel

Square D



F. Sautriau

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:
<http://www.schneiderelectric.es>

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider
C/ Miquel i Badia, 8 bajos
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80
Fax: (93) 219 64 40
e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» 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 062 de Schneider Electric».



François SAUTRIAU

Se diplomó como Ingeniero ESE en 1968. En 1970 entró en Merlin Gerin. Después de haberse dedicado al estudio de redes y de protecciones, pasó a responsabilizarse de la oficina de estudios de realización de conjuntos industriales y a continuación de equipos destinados a la marina.

Actualmente es consejero en el servicio de marketing del Departamento de Protección y de Control y Mando.

cuaderno técnico nº 062

Puesta a tierra del neutro en una red industrial de MT

Por: F. Sautriau

Trad.: J.M. Giró

Edición francesa: setiembre 1991

Versión española: marzo 2000

Puesta a tierra del neutro en una red industrial de MT

Índice

1	Introducción	p. 5
2	Puesta a tierra	p. 5
	Puesta a tierra directa	p. 5
	Puesta a tierra intercalando una reactancia	p. 5
	Puesta a tierra intercalando una resistencia	p. 5
3	Exigencias ligadas a las sobretensiones	p. 6
	Puesta a tierra con una reactancia limitadora	p. 6
	Puesta a tierra por resistencia	p. 6
4	Exigencias ligadas a la red	p. 6
5	Exigencias ligadas a los receptores	p. 7
6	Cálculo de las corrientes de defecto	p. 7
7	Métodos de protección de tierra	p. 8
	Regulación de las protecciones de tierra	p. 8
	Puesta a tierra con neutro accesible	p. 9
	Puesta a tierra con un neutro artificial	p. 10
	Anexo: Notas sobre la determinación de las capacidades de la red	p. 11
	Bibliografía	p. 12

La puesta a tierra de una red eléctrica de MT puede realizarse de diversas maneras.

El autor analiza las exigencias relacionadas con cada parámetro de la instalación (sobretensiones, red, receptores) y calcula las corrientes de defecto.

Se describen diferentes sistemas de protección, así como los ajustes necesarios para alcanzar las exigencias requeridas.

1 Introducción

En el diseño de una red eléctrica industrial de MT es necesario elegir un régimen o esquema de conexión a tierra del neutro: el neutro puede estar aislado o conectado a tierra.

El régimen con el neutro aislado, en MT, tiene la ventaja de permitir una continuidad del servicio, no desconectando a la primera falta; sin embargo, requiere que la capacitancia de la red no determine una corriente de falta a tierra excesiva que podría ser peligrosa para el personal y para la aparamenta.

Por otra parte un régimen de neutro aislado implica:

- el riesgo de la aparición de elevadas sobretensiones, que pueden provocar la aparición de otros defectos,
- el empleo de materiales de aislamiento reforzado,
- un control de aislamiento obligatorio,
- una protección contra las sobretensiones, hasta el punto de llegar a ser obligatoria,
- la realización de una protección selectiva compleja contra los defectos a tierra, que, generalmente, no podrá realizarse con simples relés amperimétricos de máxima.

El régimen con el neutro puesto a tierra exige, en general, la desconexión obligatoria al primer defecto pero, sin embargo, tiene otras ventajas:

- amortigua las sobretensiones,
- permite instalar protecciones simples,
- permite el empleo de materiales y en particular de cables, con un nivel de aislamiento menor que con el neutro aislado.

2 La puesta a tierra

El objetivo de este estudio no es el comparar los diferentes regímenes de neutro, sino únicamente determinar, una vez que se ha decidido adoptar la solución de neutro a tierra, la forma de la puesta a tierra, en base a un compromiso entre 3 exigencias, a menudo contradictorias:

- una aceptable amortiguación de las sobretensiones,
- una limitación de los daños y las perturbaciones debidas a una falta a tierra,
- la posibilidad de realizar unas protecciones simples y selectivas.

La puesta a tierra puede ser:

- directa, sin limitación voluntaria de corriente por una impedancia,
- con reactancia,
- con resistencia.

Puesta a tierra directa

Este tipo de puesta a tierra es la que mejor limita las sobretensiones y la selectividad de las protecciones no presenta dificultades.

En cambio, en caso de defecto a tierra, la corriente de falta no queda limitada por ningún elemento específico siendo por tanto máximos los daños y las perturbaciones, y el riesgo para las personas es importante mientras persista el defecto.

Esta solución no es utilizada en la distribución de MT.

Puesta a tierra intercalando una reactancia

Reactancia sintonizada (bobina de Petersen). Esta solución se usa a veces en las redes de distribución pública de MT, y puede utilizarse en la distribución industrial.

Para conseguir la selectividad hay que colocar relés de protección sensibles a la componente activa de la corriente homopolar.

Reactancia de limitación

Esta solución puede provocar sobretensiones elevadas, como se demostró en Le Verre (Etudes et Recherches EDF). Solamente se

puede utilizar con valores pequeños de la reactancia de limitación.

Puesta a tierra intercalando una resistencia

Esta solución es a menudo la más interesante.

Hay dos soluciones posibles:

- la puesta a tierra por reactancia,
- la puesta a tierra por resistencia.

La elección concreta de uno de estos modos de puesta a tierra, depende del valor de la tensión, de la extensión de la red y de la naturaleza de los receptores.

Dependiendo del modo de puesta a tierra existe un criterio para determinar un valor límite de la impedancia con relación al problema de las sobretensiones. A continuación es necesario verificar la compatibilidad con otras exigencias ligadas a la red o a los receptores.

3 Exigencias ligadas a las sobretensiones

Puesta a tierra con una reactancia limitadora

(Figura 1)

El estudio de las sobretensiones, provocadas por la eliminación de los cortocircuitos en las redes con el neutro puesto a tierra, conduce a los siguientes resultados:

- sea $I_0\omega$ la reactancia de limitación de la corriente de defecto a tierra,

- sea $L\omega$ la reactancia de cortocircuito trifásico de la red.

La sobretensión entre neutro y tierra, al eliminar el cortocircuito es, para la red a base de cables de campo

$$\text{radial: } \frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{I_0}{L}}$$

y en los demás casos:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{I_0}{L}}$$

En la práctica, se limita la corriente de defecto a tierra a un 10% como máximo de la corriente de cortocircuito trifásico, tal como hace «Electricité de France» (EDF) en la red de distribución de MT.

Puesta a tierra por resistencia

Tal como recomienda EDF, para las redes alimentadas por grupos hidráulicos, se acepta un valor r para la resistencia que corresponde a una

potencia activa total disipada $\frac{U^2}{3r}$,

igual o superior a la potencia capacitiva $2C\omega U^2$, en presencia de un cortocircuito fase-tierra, o sea:

$$\frac{U^2}{3r} \geq 2C\omega U^2.$$

Dividiendo por $\frac{U}{\sqrt{3}}$, se obtiene

$$\frac{U}{\sqrt{3}r} \geq 2.3C\omega \frac{U}{\sqrt{3}},$$

en donde:

- $\frac{U}{\sqrt{3}r}$ es el valor de la corriente

de defecto a tierra, I_L , en la puesta a tierra;

- $3C\omega \frac{U}{\sqrt{3}}$ es el valor de la

corriente capacitiva I_C de la red, en caso de defecto a tierra.

De donde la relación $I_L \geq 2I_C$.

La determinación de las capacidades de los cables es función de su estructura (para el cálculo, ver [anexo](#)).

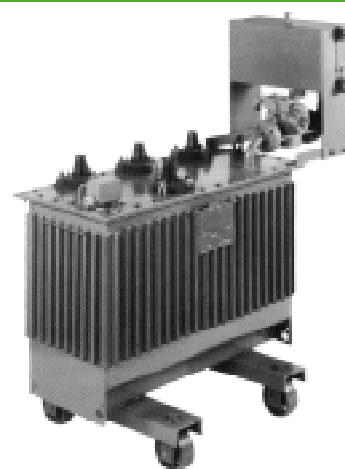


Fig. 1: Una bobina en zigzag o una bobina con punto neutro, constituye una reactancia de limitación de corriente de defecto a tierra.

4 Exigencias ligadas a la red

Los anteriores criterios permiten definir el límite inferior de la corriente de defecto franco fase-tierra.

Para la elección del límite superior es conveniente asegurarse de que la

corriente de defecto no provocará daños o averías a lo largo de su recorrido y en particular en las pantallas de los cables. La intensidad límite soportada por las

pantallas de los cables puede pedirse a sus fabricantes; en general es del orden de los 500 a los 3.000 A, durante 1 segundo.

5 Exigencias ligadas a los receptores

En las redes de distribución de MT los receptores son transformadores que no presentan exigencias particulares en cuanto a la puesta a tierra del neutro de la red de alimentación.

Pero las redes industriales de MT pueden alimentar máquinas

rotativas con tensiones que van de los 3 kV hasta los 15 kV, en Francia, mayoritariamente alrededor de los 5,5 kV, siendo deseable que la corriente de defecto a masa no exceda de los 20 A, al objeto de evitar que se quemen o destruyan las chapas del circuito magnético de

aquellas. En efecto, si bien el rebobinado es una operación bastante frecuente cuando un devanado tiene algún defecto, la reparación de una máquina rotativa cuando el defecto afecta a las chapas es una operación bastante más cara.

6 Cálculo de las corrientes de defecto

El reparto de las corrientes entre los distintos circuitos, si se admite una pequeña aproximación, se calcula con mucha simplicidad.

Este cálculo se hace despreciando la impedancia de cortocircuito de la fuente y las impedancias de enlace frente a la impedancia de la puesta a tierra del neutro y de las capacidades de la red. En otros términos, se considera que las corrientes de defecto a tierra son muy inferiores a las corrientes de cortocircuito trifásico (figura 2).

Para calcular el potencial del neutro respecto a tierra, planteamos las ecuaciones considerando que la suma de las corrientes en el nudo de tierra es cero.

$$I_N + I_{rD} + \sum I_{rS} = 0$$

$$0 = gV_N + [G + j\omega C] (V_N + E) + j\omega C (V_N + a^2 E) + j\omega C (V_N + aE)$$

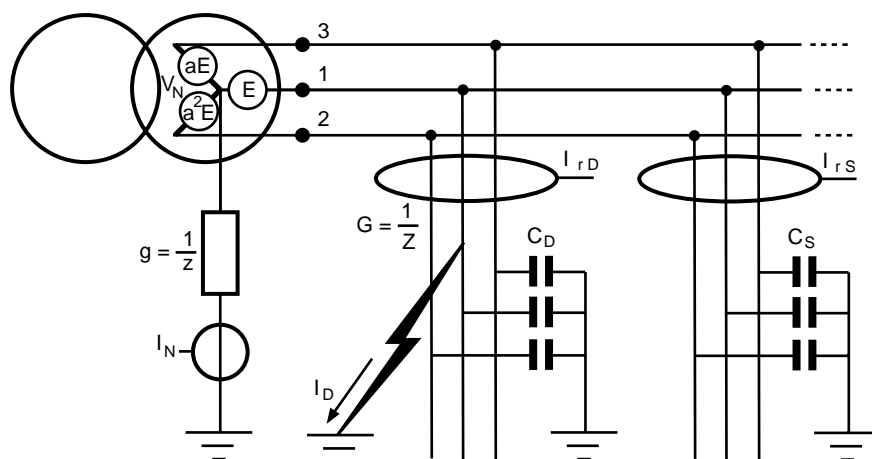
$$0 = V_N [g + G + 3j\omega C] + GE + j\omega CE (1 + a^2 + a).$$

Pero como $1 + a^2 + a = 0$, obtendremos:

$$V_N = \frac{-GE}{g + G + 3j\omega C}$$

o

$$V_N = \frac{-zE}{Z + z + 3j\omega CZ}$$



$z = 1/g$	Impedancia de la puesta a tierra del neutro
$Z = 1/G$	Impedancia del defecto fase-tierra
C_D	Capacidad fase-tierra de la salida con defecto
C_S	Capacidad fase-tierra de una salida sin defecto
$C = \sum C_S$	Capacidad fase-tierra total de la red

E	Tensión simple de la red
V_N	Potencial del punto neutro respecto a tierra
I_N	Corriente en la puesta a tierra del neutro
I_D	Corriente en el defecto
I_{rD}	Corriente residual de la salida con defecto
I_{rS}	Corriente residual en la salida sin defecto

Fig 2: Parámetros de cálculo de las corrientes de defecto a tierra.

Como conocemos V_N , calcularemos la corriente en la puesta a tierra del neutro I_N , en el defecto I_D y las corrientes residuales I_{rD} e I_{rS} , por las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} I_N &= gV_n = \frac{-gGE}{g+G+3j\omega C} = \\ &= \frac{-E}{Z+z+3j\omega Cz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_D &= G(V_N + E) = \\ &= \frac{g+3j\omega C}{g+G+3j\omega C} \cdot GE = \\ &= \frac{1+3j\omega Cz}{Z+z+3j\omega Cz} \cdot E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{rD} &= I_D + 3j\omega C_D V_N = \\ &= \frac{g+3j\omega(C-C_D)}{g+G+3j\omega C} \cdot GE = \\ &= \frac{1+3j\omega(C-C_D)z}{Z+z+3j\omega Cz} \cdot E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{rS} &= 3j\omega C_S V_N = \\ &= \frac{-3j\omega C_S}{g+G+3j\omega C} \cdot GE = \\ &= \frac{-3j\omega C_S z}{Z+z+3j\omega Cz} \cdot E \end{aligned}$$

En caso de un defecto franco ($Z = 0$), las fórmulas anteriores se reducen a: $V_N = -E$

$$I_N = \frac{-E}{z}$$

$$I_D = \left[\frac{1}{z} + 3j\omega C \right] E$$

$$I_{rD} = \left[\frac{1}{z} + 3j\omega(C - C_D) \right] E$$

$$I_{rS} = -3j\omega C_S E.$$

7 Métodos de protección de tierra

El valor de la impedancia de puesta a tierra influye sobre el método de protección necesario contra los defectos fase-tierra. De forma general, cuando más importantes son las corrientes de defecto, más fácil es su detección; e inversamente, cuanto más débiles son las corrientes de defecto, más delicada y sensible a fenómenos parásitos es su detección.

Por otra parte es deseable, y a veces imperativo, realizar esta protección, no en un punto solamente sino sobre cada una de las arterias de la red, con un funcionamiento selectivo entre los relés.

La protección de los defectos fase-tierra se realiza mediante relés de máxima intensidad alimentados por la corriente de tierra.

La medida se puede llevar a cabo:

- mediante un único transformador toroidal atravesado por los tres conductores de fase, el cual nos detectará directamente la suma de las tres corrientes (nula en ausencia de defecto),

- mediante tres transformadores de intensidad, con los secundarios conectados de forma que pueda obtenerse un conductor neutro recorrido por la suma de las tres intensidades de fase.

La solución «transformador toroidal» es la más precisa, si las condiciones de la instalación a base de cables la hacen posible, pero evidentemente no es aplicable en embarrados o líneas aéreas.

La solución «tres transformadores de intensidad» -TI- se usa muy a menudo, particularmente cuando los tres TI son necesarios para otros menesteres. Sin embargo, la medida que se realiza viene afectada por los errores de precisión de cada uno de los TI, especialmente en régimen de sobreintensidad transitoria cuando se saturan los transformadores.

Regulación de las protecciones de tierra

Esta regulación, que debe de escogerse en función de la precisión

de las medidas, ha de asegurar la mejor protección y permitir la selectividad.

Si la medida se realiza por la suma de las corrientes secundarias de los tres TI, estará viciada por la dispersión de los TI. En particular, se mide una corriente homopolar, en ausencia de defecto a tierra, cuando los TI se saturan.

Esta saturación se debe a la excesiva amplitud de la corriente de fase, pero también, muy especialmente, a la componente continua que aparece en la corriente de cortocircuito o en la de conexión asimétrica.

Es preciso hacer notar que durante el régimen transitorio la componente puede provocar la saturación de los TI aún cuando el valor de cresta de la corriente transitoria sea del orden de 10 veces inferior al valor de saturación correspondiente a una corriente simétrica de establecimiento.

Una protección de tierra alimentada por 3 TI debe de ser, por tanto, temporizada para evitar

desconexiones intempestivas causadas por regímenes transitorios. El umbral de regulación no debe ser inferior al 6% del calibre del TI en el mejor de los casos, o del 15 al 20% de dicho calibre en los casos más desfavorables.

Por otra parte, si aparece un defecto a masa en un devanado en estrella en las proximidades del punto neutro, la corriente máxima de defecto sólo será una fracción muy reducida de la corriente límite impuesta por la impedancia de puesta a tierra del neutro. Por tanto, se regula normalmente el umbral al 20% de la corriente máxima limitada por la puesta a tierra del neutro, con objeto de proteger el 80% de los devanados.

Por último, como indica el cálculo de las corrientes de defecto, las partes sanas de la red están recorridas por una corriente homopolar capacitiva. Con objeto de que la protección de una arteria sana no actúe intempestivamente, la regulación del umbral debe de ser un 30% superior al valor de la corriente capacitiva que se tiene en esta arteria cuando afecta a la red un cortocircuito fase-tierra.

Eventualmente se ha de tener en cuenta la presencia de armónicos de tensión que determinan en las capacidades unos valores de corriente tanto más importantes cuanto mayor es el orden del armónico. Hay que recordar que los armónicos de tercer orden y sus múltiplos se suman, aún en el caso de un régimen equilibrado.

Las características de la impedancia de puesta a tierra del neutro y las protecciones deben de estar coordinadas de manera que esta impedancia no pueda ser deteriorada por la propia corriente de defecto antes de su eliminación.

Nota: es conveniente precisar que aquí sólo consideramos la protección de los circuitos y no la protección de las personas.

En resumen:

Cuando en una red de MT se elige el régimen del neutro a tierra es conveniente adoptar una puesta a tierra por resistencia con preferencia a otras soluciones.

Cálculo de r y de I_L

La determinación del valor de esta resistencia r y de la corriente máxima

$$I_L = \frac{U}{\sqrt{3}r} \text{ se hará en función de las}$$

exigencias siguientes:

- la corriente I_L debe ser superior o igual, cuanto menos, al doble de la corriente capacitiva de la red en caso de defecto a tierra $I_L \geq 2 I_C$ a fin de limitar las sobretensiones,
- la corriente I_L debe ser inferior a la sobreintensidad máxima que puedan soportar las pantallas de los cables, en general, de 500 a 3.000 A, según la sección de los cables,
- en una red que alimenta motores de MT, es necesario respetar preferentemente la relación $5 A \leq I_L \leq 20 A$, pero en caso de incompatibilidad con la primera exigencia, I_L puede alcanzar 50 A,
- para asegurar una buena protección a nivel de los receptores, es necesario que la regulación del umbral de I_r no exceda de $0,2 I_L$, siendo $I_r \leq 0,2 I_L$,
- para obtener la selectividad con relación a las protecciones de los enlaces sanos, es necesario respetar la relación $I_r \geq 1,3 I_C$, siendo I_C la corriente capacitiva de los enlaces protegidos en caso de defecto fase-tierra,
- si la medida de la corriente de tierra se hace por 3 TI de calibre I_n , es preciso hacer que $I_r \geq 0,06 I_n$,
- la capacidad térmica de la resistencia r debe permitir el paso de la corriente I_L durante el tiempo máximo de eliminación del defecto a

tierra (1 a 1,5 s) o recíprocamente, la eliminación del defecto a tierra debe ser lo suficientemente rápida para no llegar a deteriorar la resistencia r .

Puesta a tierra con neutro accesible

La resistencia se conecta entre el borne de salida del neutro y la toma de tierra, sea directamente, o con la intervención de un transformador monofásico con su secundario cargado con una resistencia equivalente. Este es el caso que se da en las redes alimentadas por un transformador cuyo secundario, en estrella, tiene el neutro accesible, y para los alternadores con neutro accesible (figura 3).

Cuando la red es alimentada por varios transformadores o alternadores, es preferible que la puesta a tierra del neutro sea única, pues de lo contrario el valor límite del defecto a tierra variaría con el número de fuentes en servicio.

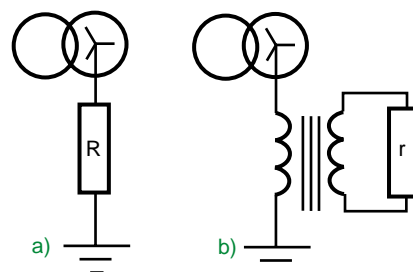


Fig. 3: Puesta a tierra del neutro, en el secundario de un transformador en estrella con el neutro accesible, mediante una resistencia conectada directamente (a) o mediante un transformador monofásico.

Puesta a tierra con un neutro artificial

Cuando el punto neutro de la fuente no es accesible (utilización de devanados en triángulo), o cuando se tienen varias fuentes en paralelo, la puesta a tierra puede hacerse mediante un neutro artificial (figuras 4 y 5) también llamado generador artificial.

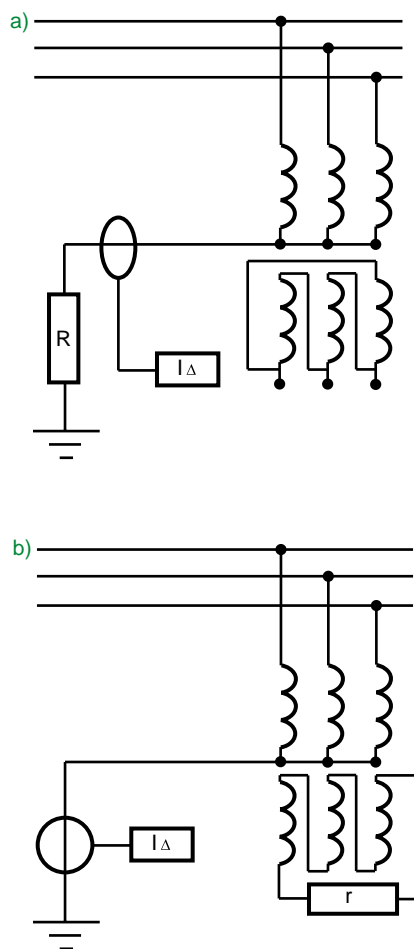


Fig. 4: Puesta a tierra del neutro de una red con un transformador de acoplamiento estrella-triángulo asociado a:
a) una resistencia colocada al lado AT; en este caso, el secundario del transformador puede alimentar a los circuitos auxiliares;
b) una resistencia colocada en serie con el secundario.

Podemos utilizar, en este caso, varias configuraciones diferentes:

- un transformador con conexión estrella-triángulo con una resistencia;
- una bobina en conexión zig-zag (figuras 1 y 6); este sistema se usa en el caso de que la corriente máxima de defecto a tierra tenga valores superiores a 100 A;
- un transformador especial, porque, para conseguir un neutro artificial puede resultar económico utilizar el transformador que se usa para la alimentación de los sistemas



Fig. 5: Transformador especial para punto neutro.

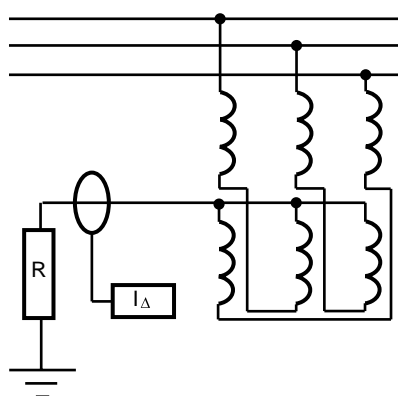


Fig. 6: Puesta a tierra del neutro de una red con bobina en zig-zag.

auxiliares de BT del centro de transformación.

La impedancia resultante $r_0 + jI_0\omega$ es comparable a una resistencia si $r_0 \geq 2I_0\omega$, estando r_0 e I_0 tomadas a la misma tensión.

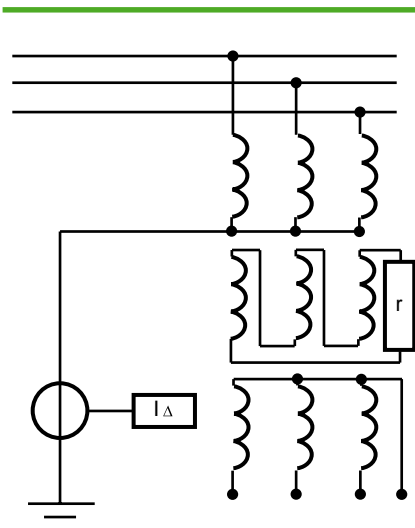


Fig. 7: Puesta a tierra de un transformador con acoplamiento estrella-estrella equipado con un arrollamiento «terciario» en triángulo cerrado sobre una resistencia.

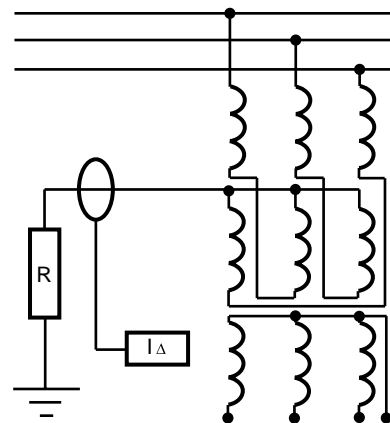


Fig. 8: Puesta a tierra del neutro de una red con transformador acoplado en zig-zag.

Anexo: Notas sobre la determinación de las capacidades de la red

La capacidad de los cables depende de su tipo de construcción:

■ cables unipolares

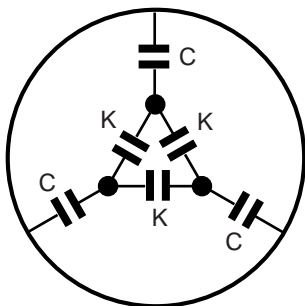
El conductor está envuelto por una pantalla y la capacidad C del cable es la que se mide entre el conductor y la pantalla puesta a tierra.

■ cable tripolar a campo radial

Cada conductor del cable está envuelto por una pantalla y la capacidad C del cable es la que se mide entre cada conductor y su propia pantalla puesta a tierra.

■ cable tripolar con armadura

Una pantalla única envuelve los 3 cables conductores aislados y se tiene una capacidad K entre los conductores y una capacidad C entre un conductor y la pantalla puesta a tierra.



Para los dos primeros casos, cable unipolar y cable tripolar con campo radial, no existe ambigüedad alguna al fijar la capacidad C , pues ésta es única y define la capacidad entre fase y tierra.

En ausencia de defecto y en régimen trifásico equilibrado se tiene en cada fase una corriente capacitiva i_c , absorbida por la capacidad C del cable bajo la tensión simple V , fase-tierra, a la frecuencia de la red:

$$i_c = C \omega V = C \omega \frac{U}{\sqrt{3}}.$$

Esta carga capacitiva, si es trifásica y equilibrada, no produce, en general, perturbación alguna en la red y no afecta a las protecciones.

Sin embargo, cuando la red presenta un defecto a tierra, es decir, cuando una fase se pone a tierra, la capacidad de los cables es vista como una carga desequilibrada constituida por la capacidad C , entre las dos restantes fases sanas y la tierra, bajo la tensión compuesta U .

Por las dos fases sanas circulan unas corrientes de valor $C \omega U$, desfasadas 60° ; la suma de estas dos corrientes se llama corriente capacitiva i_c de la red en caso de defecto a tierra:

$$i_c = 2 C \omega V \cos \frac{\pi}{6} = \sqrt{3} C \omega U$$

o, lo que es igual, $i_c = 3 C \omega V$

En caso del cable tripolar con armadura, la corriente i_c que circula en régimen equilibrado, en ausencia de defecto es:

$$i_c = \sqrt{3} K \omega U + C \omega V = 3 K \omega V + C \omega V$$

o sea $i_c = (3 K + C) \omega V$ por fase, siendo nula la suma de las tres corrientes de fase.

Los fabricantes de cables dan generalmente el valor de la capacidad compuesta $3 K + C$ para los cables con armadura

Por el contrario, cuando la red presenta un defecto a tierra, es decir, cuando una fase está a tierra, la carga capacitiva comprende:

- las tres capacidades K , bajo la tensión compuesta, que constituye una carga equilibrada;
- las 3 capacidades C , de las que 2 están bajo tensiones compuestas desfasadas 60° , y la tercera, bajo una tensión nula, por hallarse cortocircuitada por el defecto.

La suma de estas corrientes (i_c por fase), llamada corriente capacitiva i_c

de la red en caso de defecto a tierra, vale:

$$i_c = 2 C \omega V \cos \frac{\pi}{6} = \sqrt{3} C \omega U$$

o sea: $i_c = 3 C \omega V$.

En resumen, tanto para la determinación de la resistencia de una toma a tierra, como para la regulación de una protección de tierra, lo que interesa conocer es la corriente capacitiva, dada por la expresión:

$i_c = 3 C \omega V$, que sólo hace intervenir la capacidad C , cualquiera que sea el tipo de cable.

En la práctica, bajo la denominación de capacidad estrellada del cable, los fabricantes indican:

- el valor de C para los cables de campo radial,
- el valor de $3 K + C$ para los cables con armadura.

Para los cables con armadura, los fabricantes no suelen indicar el valor de C , pero, bajo demanda, facilitan los resultados de las 3 mediciones siguientes:

- la capacidad C_1 , medida entre un alma conductora y las otras dos almas unidas a la armadura metálica; esta capacidad responde al valor $C_1 = 2 K + C$,
- la capacidad C_2 , medida entre las 3 almas conductoras, unidas entre sí, y la armadura metálica; su valor es $C_2 = 3 C$
- la capacidad C_3 , medida entre las 2 almas conductoras, con la tercera unida a la armadura metálica; tiene en valor: $C_3 = (3K - C)/2$.

De estas tres mediciones, la que más interesa es la C_2 , de la que se deduce directamente el valor de:

$$C = C_2 / 3.$$

Bibliografía

[1] Le Verre: *Les surtensions lors de l'élimination de courts-circuits sur les reseaux dont le neutre est mis à la terre par une réactance*. Boletín de la Société Française des Electriciens, serie 8^a, tomo 1, n° 4 (abril 1960).

[2] E.D.F.: *Note d'orientation sur les protections des groupes hydrauliques*. NP 69 03.