

Tema 7: Puesta a tierra del sistema

Alta Especificidad

Curso 2006/2007

Índice

Introducción

Tipos de puesta a tierra

Obtención de un neutro

Distribución de corrientes de falta a tierra

Comparación de los métodos de puesta a tierra

Introducción

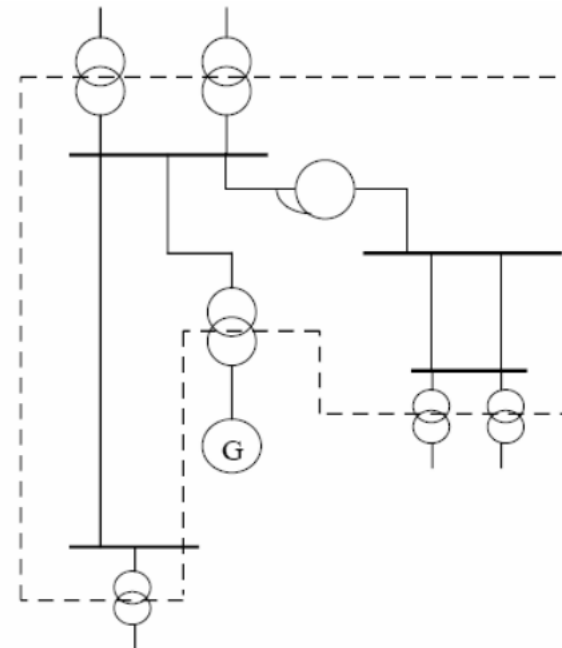
Conceptos generales

El término “puesta a tierra” (grounding) consiste en varias funciones que tienen en común la utilización de la tierra. Se pueden distinguir dos tipos de puesta a tierra:

- **Puesta a tierra de protección:** se puede describir como un método para proteger a las personas y a los equipos de valores de tensión peligrosos. Ejemplos:
 - Conexión de pantallas de cables a tierra para evitar perturbaciones en componentes electrónicos
 - Conexión de los cierres metálicos de un conjunto de celdas de MT
- **Puesta a tierra del sistema:** se puede describir como la conexión deliberada a tierra de un sistema eléctrico en tensión. Esta conexión se realiza normalmente en los puntos neutros, aunque existen otras soluciones

Cualquier sistema eléctrico puede ser puesto a tierra, pero en este tema se trata únicamente de la puesta a tierra de sistemas eléctricos de alta tensión ($V_n \geq 1 \text{ kV}$)

Si un punto del sistema se pone a tierra, todo el sistema comprendido entre los aislamientos galvánicos de los transformadores estará puesto a tierra



Introducción

Razones de uso

- **Seguridad:** para protección tanto de las personas como de los equipos de posibles valores elevados de tensión
- **Fijar la red al potencial de tierra:** para evitar tensiones peligrosas debido a los acoplamientos capacitivos (capacidades parásitas fase-tierra o capacidades entre fases de sistemas a diferente tensión)
- **Reducir las corrientes de falta a tierra:** la conexión del sistema a tierra a través de una impedancia permite limitar las corrientes de falta en caso de faltas a tierra
- **Reducir las sobretensiones:** la puesta a tierra permite reducir las sobretensiones por:
 - Faltas a tierra transitorias: las faltas con arco generan sobretensiones en las fases sanas por generación y reingnición del arco. Estas sobretensiones son especialmente elevadas en sistemas aislados de tierra
 - Aumento del potencial del neutro: en un sistema aislado, una falta a tierra provoca que el neutro del sistema se ponga a la tensión de fase, de forma que las fases sanas se ponen a tensión compuesta. Si se pone a tierra el sistema, la sobretensión será menor cuanto más efectiva sea dicha puesta a tierra (menor sea su impedancia), de forma que el nivel de aislamiento de los equipos puede ser menor (más económicos)
 - Transitorios de maniobra y rayos: la puesta a tierra del sistema, aunque no reduce las sobretensiones por maniobra y rayos, permite redistribuir la tensión entre las fases y reducir la posibilidad de un fallo del aislamiento entre fase y tierra

Introducción

Razones de uso

- **Simplificar la localización de las faltas:** una puesta a tierra del sistema genera una corriente de falta que puede ser detectada con facilidad y que forma la base para localizar el punto de falta
- **Evitar la ferroresonancia:** los transformadores de tensión en una red con neutro aislado pueden, bajo determinadas circunstancias, estar sujetos a sobretensiones elevadas debido a un fenómeno de ferroresonancia, al entrar en oscilación su inductancia (no lineal) con la capacidad a tierra de la red

Las ventajas anteriores pueden llevar a pensar que la práctica seguida por las compañías eléctricas es siempre la de poner el sistema a tierra, sin embargo, la operación del sistema sin puesta a tierra, con el neutro aislado, es una práctica utilizada a nivel de MT porque:

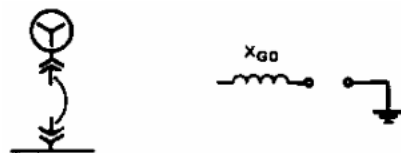
- La puesta a tierra de un punto del sistema no implica corrientes de falta elevadas (sólo las producidas por las capacidades parásitas a tierra), por lo que se mantiene la continuidad del suministro, siempre y cuando no se produzca una segunda falta
- La sobretensión producida en las fases sanas implica unas mayores necesidades de aislamiento de los equipos, pero el sobre coste es asumible para dicho nivel de tensión

Tipos de puesta a tierra

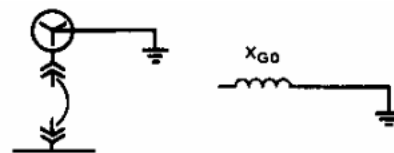
Clasificación

La puesta a tierra del sistema se puede clasificar atendiendo a la naturaleza del circuito que conecta el neutro del sistema a tierra en:

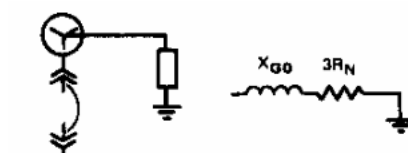
- Neutro aislado (ungrounded)
- Neutro rígido a tierra (solid grounding)
- Neutro impedante (impedance grounding):
 - Puesta a tierra con resistencia (reactance grounding)
 - Puesta a tierra con reactancia (resistance grounding)
 - Puesta a tierra resonante (ground fault neutralizer)



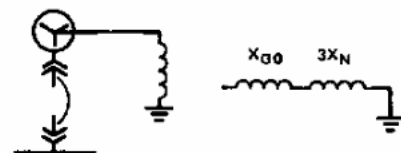
Circuito Homopolar
Neutro Aislado



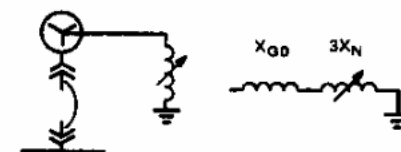
Circuito Homopolar
Neutro Rígido



Circuito Homopolar
Neutro con Resistencia



Circuito Homopolar
Neutro con Reactancia



Circuito Homopolar
Neutro Resonante

Tipos de puesta a tierra

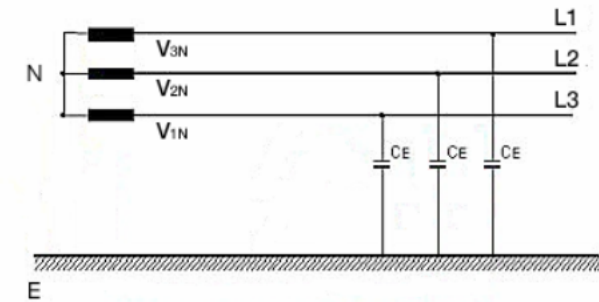
Neutro aislado

Los sistemas con neutro aislado son aquellos que están operados sin una conexión intencional del neutro a tierra

En realidad, los sistemas aislados están puestos a tierra a través de las capacidades a tierra de los elementos del sistema

Ventajas:

- La primera falta a tierra solo causa una pequeña circulación de corriente capacitiva, por lo que se puede operar el sistema sin afectar a la continuidad del suministro
- No es necesario invertir en equipamiento para la puesta a tierra. Si para el sistema de protección



Desventajas:

- Mayor coste de aislamiento de los equipos a tierra. Una falta provoca que las fases sanas se pongan a tensión compuesta respecto a tierra
- Mayores posibilidades de sobretensiones transitorias por faltas con arco, resonancias y ferresonancias, etc.

Su uso está restringido a sistemas de distribución de media tensión. Requiere de esquemas de detección de falta a tierra

Tipos de puesta a tierra

Neutro rígido a tierra

Los sistemas con neutro rígido a tierra son aquellos que están operados con una conexión directa del neutro a tierra

Para asegurar las ventajas de este método es necesario que la puesta a tierra sea efectiva:

- $I_{1\phi} \geq 60\% I_{3\phi}$

- En cualquier punto del sistema:

$$\begin{aligned} R_0 &\leq X_1 \\ X_0 &\leq 3X_1 \end{aligned}$$

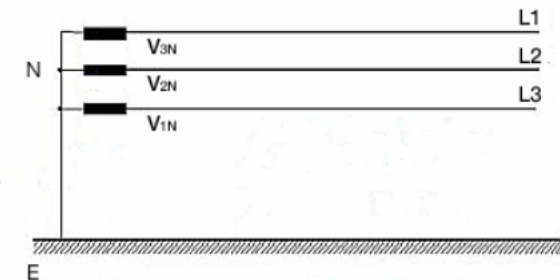
Ventajas:

- Facilidad de detección y localización de las faltas a tierra
- Limitación de las sobretensiones por faltas a tierra y transitorias por maniobras y rayos

Desventajas:

- Faltas a tierra más energéticas. Se requieren protecciones de alta velocidad para limitar los efectos térmicos y mecánicos sobre los equipos

De uso exclusivo en sistemas de AT y MAT, por economía de los aislamientos. En MT su uso depende de la práctica de aplicación de cada compañía.



Tipos de puesta a tierra

Puesta a tierra con resistencia

Los sistemas con neutro puesto a tierra con resistencia son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una resistencia

Dependiendo del valor utilizado de la resistencia de puesta a tierra se diferencian dos métodos:

- Puesta a tierra con alta resistencia:

- $R_0 > 2X_0$

- La corriente de falta a tierra es muy reducida, pero siempre debe ser superior a la corriente capacitiva total del sistema (5 ÷ 30 A en sistemas de MT)

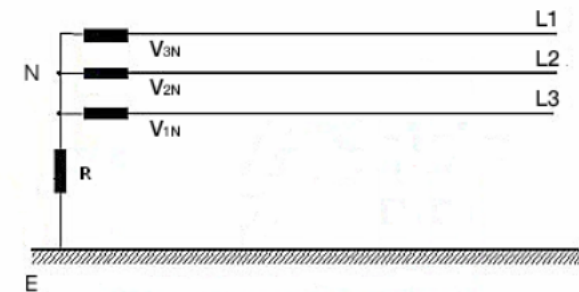
- Puesta a tierra con baja resistencia:

- $R_0 \leq 2X_0$

- La corriente de falta a tierra es elevada, pero mucho menor que si se utiliza neutro rígido (300 ÷ 1000 A en sistemas de MT)

Ventajas y desventajas de la puesta a tierra con baja resistencia:

- Similares al sistema de neutro rígido a tierra, pero con efectos menos dañinos durante la falta al haberse reducido la corriente a tierra



Tipos de puesta a tierra

Puesta a tierra con resistencia

Ventajas de la puesta a tierra con alta resistencia:

- No es necesario dar disparo instantáneo ante una primera falta a tierra
- Reducción de los daños por efectos térmicos y electrodinámicos
- Reducción de las sobretensiones transitorias por maniobras y rayos

Desventajas de la puesta a tierra con alta resistencia:

- Comportamiento para faltas a tierra similar a neutro aislado. Fases sanas a tensión compuesta

Este método permite adaptar los sistemas con neutro aislado, mejorando el comportamiento frente a sobretensiones transitorias sin necesidad de modificar el sistema de protección

Tipos de puesta a tierra

Puesta a tierra con reactancia

Los sistemas con neutro puesto a tierra con reactancia son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una reactancia de valor fijo

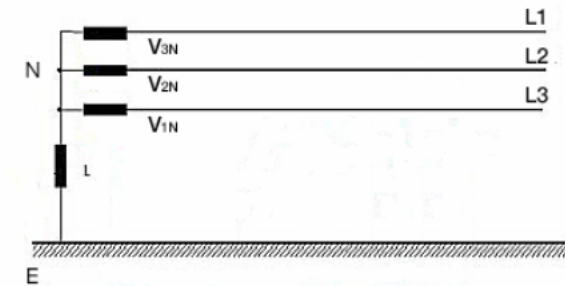
Ventajas:

- Permite reducir las sobretensiones transitorias siempre y cuando:
 - $X_0 < 10X_1$
 - $I_{1\phi} > 25\% I_{3\phi}$ (60% valor preferente)

Desventajas:

- La reducción de la corriente de falta no es tan elevada como en el caso de puesta a tierra con resistencia, por lo que no es una alternativa a esta última

Este método se utiliza fundamentalmente para puesta a tierra de neutros de generadores y para puesta a tierra de transformadores de subestación



Tipos de puesta a tierra

Puesta a tierra resonante

Los sistemas con neutro resonante son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una reactancia de valor variable, denominada bobina Petersen

El coeficiente de inducción de la bobina se ajusta para que resuene con la capacidad a tierra del sistema, de forma que para una falta a tierra, la corriente de falta queda reducida a un pequeño valor resistivo

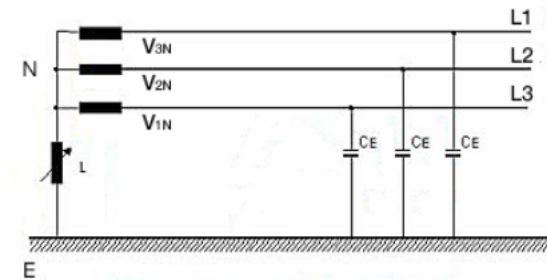
Ventajas:

- Durante una falta a tierra la corriente es muy reducida y está en fase con la tensión, por lo que las faltas con arco se extinguen fácilmente
- Una falta a tierra no implica disparo instantáneo, por lo que se mejora la continuidad del suministro

Desventajas:

- Similar a neutro aislado, las fases sanas se ponen a tensión compuesta durante la falta.
- El sistema de protección es algo más complejo

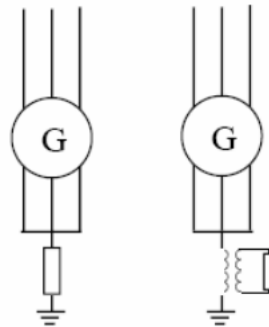
Es un método de puesta a tierra de redes de MT muy utilizado en Europa central



Obtención de un neutro

La mejor forma de obtener un punto neutro para poner a tierra el sistema es utilizar transformadores con conexión en estrella o el neutro de los generadores. En caso de no ser posible se utilizan transformadores o reactancias de puesta a tierra

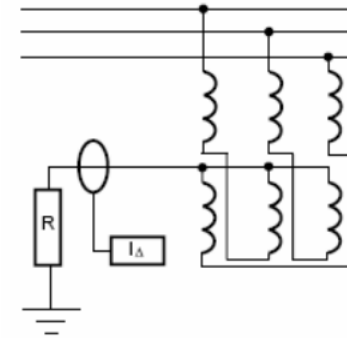
- Puesta a tierra en generadores: los neutros de los generadores generalmente están conectados a tierra a través de una impedancia para reducir la corriente de falta monofásica (falta más común), bien directamente, bien a través de un transformador monofásico



- Puesta a tierra en transformadores:
 - Se utilizan los puntos neutros de transformadores con conexión Y-d y los neutros de los autotransformadores y transformadores Y-y con terciario de compensación en triángulo
 - No se utilizan transformadores con conexión Y-y salvo en algunos casos de puesta a tierra de alta resistencia o resonante, siempre y cuando el transformador sea capaz de aguantar los sobrecalentamientos creados por los flujos de fugas que se cierran por los yugos y los aislantes

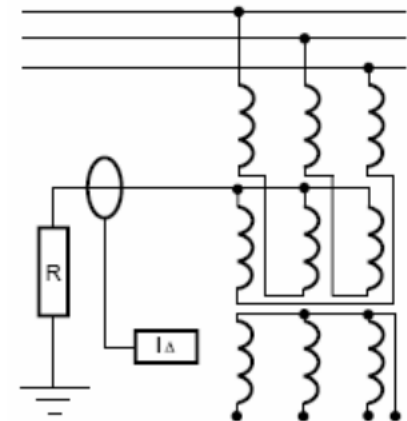
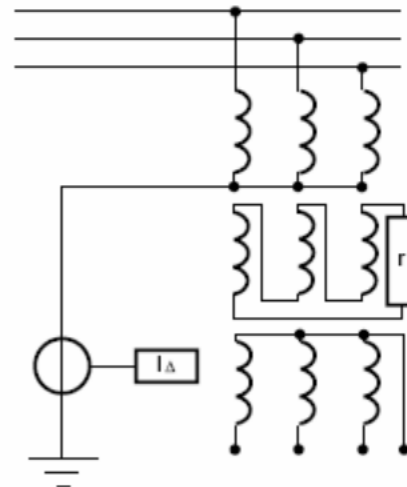
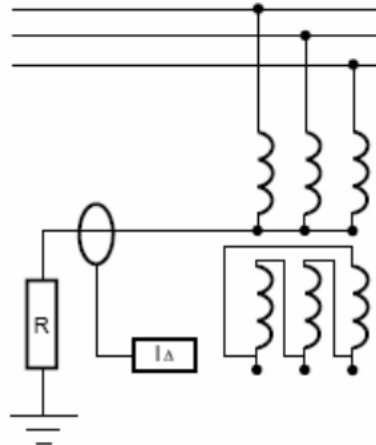
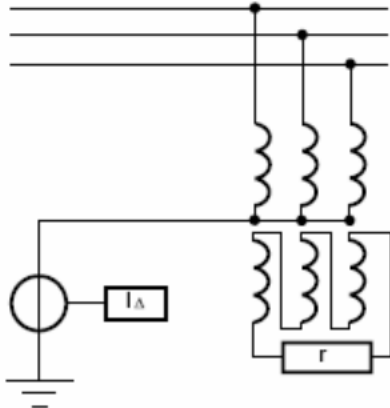
Obtención de un neutro

- Puesta a tierra con reactancia: se conecta en barras una reactancia en zig-zag cuyo neutro va a tierra directamente o a través de una impedancia en función del tipo de puesta a tierra usado



- Puesta a tierra con transformador de puesta a tierra:

- Se utiliza un transformador auxiliar. Este transformador puede utilizarse también para alimentación de circuitos auxiliares

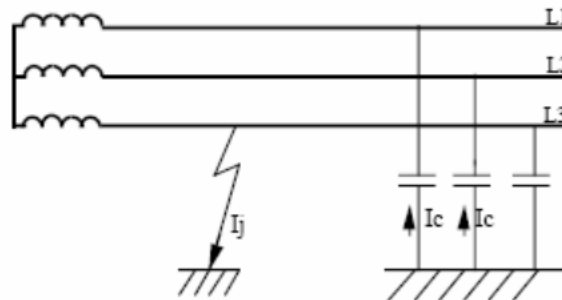


Distribución de corrientes de falta a tierra

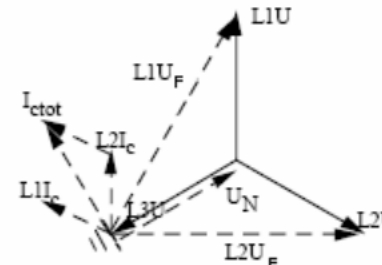
Neutro aislado

Cuando se produce una falta a tierra en un sistema con neutro aislado las corrientes de falta se distribuyen de forma que:

- La fase en falta se pone a tensión de tierra, por lo que no circula corriente a través de la capacidad fase-tierra
- Las fases sanas se ponen a tensión compuesta, por lo que circula corriente capacitiva a través de la capacidad fase tierra. Su valor es $\sqrt{3}$ la corriente capacitiva en régimen permanente
- La corriente de falta es capacitiva e igual a la suma de las corrientes capacitivas de las fases sanas durante la falta. Su valor es 3 veces la corriente capacitiva por fase en régimen permanente



$$I_f = I_{ctot}$$

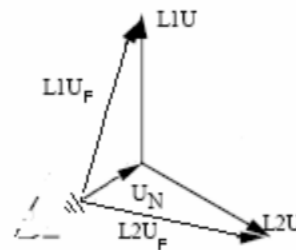
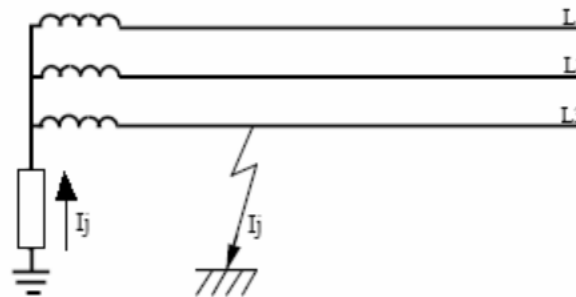


Distribución de corrientes de falta a tierra

Neutro puesto a tierra

Cuando se produce una falta a tierra en un sistema con neutro aislado las corrientes de falta se distribuyen de forma que:

- La fase en falta se pone a tensión de tierra en el punto de falta
- La circulación de corriente de falta depende de la magnitud de la impedancia de puesta a tierra y de la localización del punto de falta
- La corriente que circula por la puesta a tierra es igual a la corriente de falta $I_L = I_f$

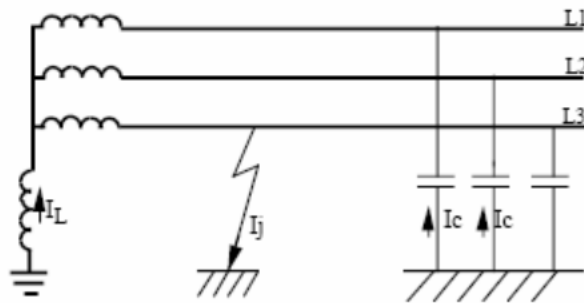


Distribución de corrientes de falta a tierra

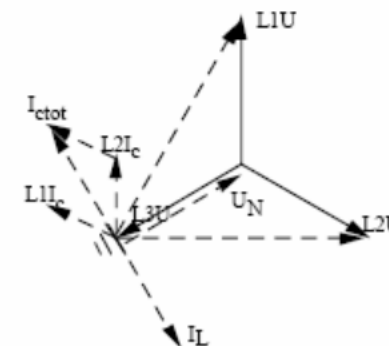
Neutro resonante

Cuando se produce una falta a tierra en un sistema con neutro resonante las corrientes de falta se distribuyen de forma que:

- La fase en falta se pone a tensión de tierra, por lo que no circula corriente a través de la capacidad fase-tierra
- Las fases sanas se ponen a tensión compuesta, por lo que circula corriente capacitiva a través de la capacidad fase tierra. Su valor es $\sqrt{3}$ la corriente capacitiva en régimen permanente
- La corriente del neutro es inductiva e igual a la suma de las corrientes capacitivas de las fases sanas durante la falta. Su valor es 3 veces la corriente capacitiva por fase en régimen permanente
- La corriente de falta es nula (en realidad es un valor resistivo muy pequeño)



$$\begin{aligned} I_L &\equiv I_{ctot} \\ I_f &= 0 \end{aligned}$$



Comparación de los métodos de puesta a tierra

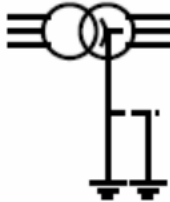
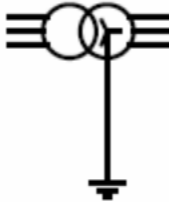
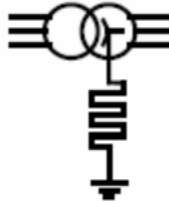
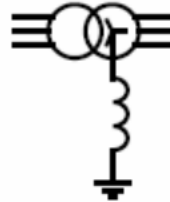
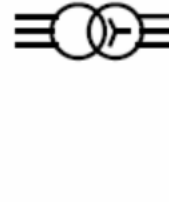
En redes de AT y MAT se utiliza puesta a tierra directa para reducir los solicitaciones por sobretensiones transitorias y disminuir los costes del aislamiento

En redes de MT no existe un método óptimo de puesta a tierra. La elección del método es siempre un compromiso entre los costes de instalación y los de explotación:

Esquemas de neutro MT	Puntos fuertes	Puntos débiles
Neutro directo a tierra y distribuido	Permite la distribución en monofásico o trifásico	■ requiere numerosas tomas de tierra de buena calidad (seguridad) ■ exige un plan de protección complejo ■ provoca elevadas corrientes de defecto a tierra
Neutro directo a tierra y no distribuido	facilita la detección de defectos a tierra	■ provoca elevadas corriente de defecto a tierra
Neutro aislado	limita las corrientes de los defecto a tierra	■ produce sobretensiones más complejas
Neutro sintonizado	favorece la autoextinción de la corriente de defecto a tierra	■ requiere protecciones complejas
Neutro impedante: (comparado con el neutro directo a tierra)	limita las corrientes de los defectos a tierra	■ requiere protecciones más complejas
(comparado con el neutro aislado de tierra)	reduce las sobretensiones	■ provoca corrientes de defecto a tierra más elevadas

Comparación de los métodos de puesta a tierra

Ningún método de puesta a tierra se ha impuesto en el mundo dentro de las redes de MT. Algunas soluciones son específicas de cada país, y dentro de cada país pueden existir distintas soluciones, incluso dentro de una misma compañía eléctrica

esquema					
	neutro distribuido y puesto a tierra en numerosos puntos	neutro puesto directamente a tierra y no distribuido	neutro puesto a tierra a través de una impedancia	neutro puesto a tierra a través de un circuito sintonizado	neutro aislado de tierra
Países					
Australia	■				
Canadá	■				
España		■	■	■	■
Francia			■		
Japón					■
Alemania				■	