

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA  
Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
ELECTRICA**

**SISTEMAS DE ATERRAMIENTO EN MAQUINAS SINCRONAS**

**CURSO :MAQUINAS ELECTRICAS III**

**PROFESOR :JESUS HUBER MURILLOMANRIQUE**

**INTEGRANTES:**

**BELLAVISTA-CALLAO**

**2014**

**1966**

## INDICE

Resumen.....	Pag. 2
Introducción.....	Pag. 3
Marco Teórico.....	Pag. 3
Aspectos generales.....	Pag. 3
Tipos de aterramientos de generadores.....	Pag. 4
Aterramiento en generación.....	Pag. 6
Esquemas de tipos de aterramiento.....	Pag. 8
Características de distintos tipos de aterramiento.....	Pag. 9
Conclusiones.....	Pag. 10
Recomendación.....	Pag. 11
Bibliografías.....	Pag. 11

## **RESUMEN**

En este trabajo trataremos de dar a conocer con detalle todo lo relacionado sobre los sistemas de aterramiento en maquinas síncronas. Explicaremos la importancia que tiene los sistemas aterramiento en maquinas síncronas.

También se va a dar a conocer con detalle todo lo relacionado con el tema de fallas y las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar la protección, para esto se ha tomado como referencia los respectivos fundamentos teóricos, mediante los cuales primero realizaremos una pequeña introducción que describa a los generador, para luego mencionar los protecciones y sus respectivas fallas para realizar el aterramiento.

## **SISTEMAS DE ATERRAMIENTO EN MAQUINAS SINCRONAS**

### **1. INTRODUCCION**

Los generadores síncronos son una parte fundamental de los sistemas eléctricos de potencia, y por lo tanto deben ser protegidos adecuadamente ante cualquier tipo de anomalía que afecte su correcto funcionamiento. De otra parte, ante fallas en el estator del generador se pueden originar grandes sobre corrientes que circulan por el neutro de la máquina y cuya la magnitud está estrechamente relacionada con el tipo de puesta a tierra y con la posición de la falla a lo largo de los devanados del estator. Un generador con un aterramiento mal diseñado está sometido a grandes sobre corrientes que pueden producir daños severos al núcleo de la máquina.

### **2. MARCO TEORICO**

En la industria es muy común el que ciertas máquinas eléctricas como transformadores o generadores, tengan sobre tensiones en sus fases. Es por esto que a estos dispositivos y puntualizando, a nuestro generador síncrono, sea necesario que se le practiquen este tipo de pruebas para que de esta forma se puedan aterrizar a tierra los devanados del estator de nuestra máquina eléctrica

#### **2.1) Aspectos generales**

Los generadores síncronos se ponen a tierra Principalmente debido a las siguientes necesidades:

- Minimizar el daño de la máquina por fallas a tierra.
- Limitar esfuerzos mecánicos producidos por fallas externas.
- Limitar las sobretensiones y los transitorios presentes en las fallas.
- Proveer un medio para la detección de fallas a tierra en la máquina.
- Coordinar la protección del generador con los requerimientos de otros equipos conectados al mismo nivel de tensión, tales como el transformador elevador.

## 2.2) Tipos de aterramiento de generadores

Los generadores son los equipos más costosos de un sistema eléctrico a su vez son los que están sujetos a la mayor cantidad de problemas y defectos eléctricos y mecánicos posibles por ende es necesario conocer las diferentes formas de protección con aterramiento a tierra para su protección.

En términos generales (IEEE C62.92.2) hay seis grandes métodos de aterramiento de generadores:

- **Efectivamente aterrado (aterramiento con baja inductancia)**

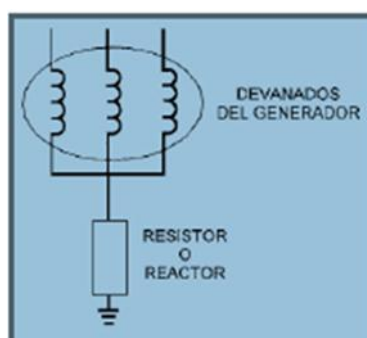
El neutro está puesto a tierra directamente sin ninguna impedancia.

Las corrientes de falla son de alta magnitud. Los relés de sobre corriente de secuencia cero detectan la falla, y se complementan con elementos direccionales.

La detección de fallas a tierra de alta impedancia, es difícil con relés no direccionales con sistemas de 4 conductores.

- **Puesta a tierra de baja impedancia**

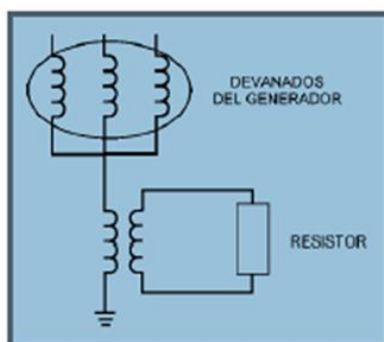
Para el caso de la prueba de puesta a tierra de baja impedancia es utilizada para drenar la corriente de falla a tierra, aproximadamente de 150 a 200% del amperaje de la corriente nominal del generador. Este sistema generalmente es utilizado para los casos en que se cuenta con múltiples unidades generadoras que tienen en común un mismo bus, o para unidades las cuales no incluyen en su configuración un transformador elevador. De esta manera e independientemente de cuál de los dos sea el caso. Con este método se puede suministrar la fuente de tierra para el sistema. En la figura siguiente se muestra el circuito para este caso



**Circuito representativo de la prueba de puesta a tierra de baja impedancia**

- **Puesta a tierra de alta impedancia.**

En lo que respecta a la prueba de puesta a tierra de alta impedancia se emplea mediante la colocación de un transformador de distribución con un resistor secundario. Esto permite reducir los valores de la corriente de falla del generador a valores de entre 5 y 25 amperes. Este tipo de configuración es usado para el caso de generadores los cuales estén conectados en forma unitaria. La figura a continuación muestra dicha descripción.



**Circuito representativo de la prueba de puesta a tierra de alta impedancia**

- **Aterramiento resonante**

El sistema es llamado también compensado.

El neutro está conectado a tierra a través de un reactor variable de alta impedancia con la finalidad de igualarse automáticamente con la capacitancia fase a tierra del sistema. Este reactor es llamado también bobina Petersen, o bobina supresora de arco, o neutralizador de falla tierra.

Teniéndose la opción de inyectar corriente mediante la impedancia durante la falla a tierra y reducir la corriente de falla a cero.

La detección de fallas a tierra de alta impedancia, requiere sensibilidad a la corriente de secuencia cero y se usan elementos de direccionales vatimétricos.

- **No aterrado**

El neutro no está conectado a tierra y el sistema presenta suficiente capacitancia a tierra.

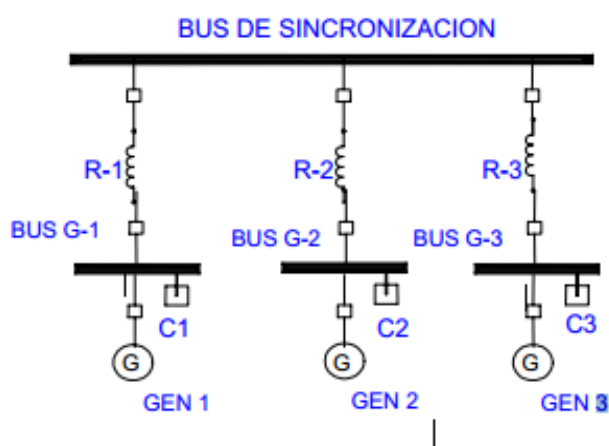
Los relés tensión de secuencia cero o homopolar detectan la falla a tierra, pero no son selectivos y requieren desconexión secuencial de los circuitos, para determinar el circuito fallado, o se puede usar un elemento direccional varimétrico o vatimétrico alimentado con la corriente y tensión de secuencia cero, luego se ubica el tramo fallado, se desconecta este tramo. Otra manera de ubicar la falla a tierra, es con un elemento direccional que mide la reactancia capacitiva homopolar el cual determina el tramo fallado.

### 3. Aterramiento en generación

Los sistemas eléctricos industriales ya sean aislados con generación propia o enlazados con la CFE, pueden tener sus equipos primarios de potencia aterrizados mediante resistencias de baja o alta resistencia, transformador de puesta a tierra con resistencia en el secundario o sólidamente aterrizado. La selección dependerá principalmente del tipo de los relevadores de protección y la magnitud de la corriente de falla monofásica.

Uno de los puntos importantes es el tipo de conexión de puesta a tierra de los neutros de los generadores. En algunos sistemas se utiliza la conexión de una sola fuente de generación a tierra a través de una resistencia de bajo valor, generalmente entre 10 a 20Ω. Este arreglo es para mantener un límite de la corriente de falla monofásica, ya que la aportación máxima será en el punto más cercano al generador aterrizado y la magnitud es simplemente la relación del voltaje de fase a tierra entre el valor de la resistencia, considerando despreciable la impedancia del sistema. Los otros generadores no aportan corriente de falla ya que no están aterrizados. Sin embargo esto no es cierto, debido a la capacitancia a tierra de los cables de energía. Cuando el sistema está balanceado, la suma de estas corrientes a tierra es cero y el neutro tiene el mismo potencial de tierra.

Cuando se presenta una falla a tierra, existirá una circulación de corriente por las capacitancias a tierra de las otras fases. Esto provoca un desplazamiento del neutro, lo que implica que en las fases no falladas pueden presentarse tensiones cercanas al nominal a tierra.



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 falla 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 los cuales son:

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

Pero con efectos menos dañinos durante la falta al haberse reducido la corriente a tierra

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



#### 4. Esquemas de tipos de aterramiento

Pero en la práctica para las normas IEEE C37.101 y IEEE C37.102 el aterramiento de generadores se clasifica de la siguiente manera.

Se agregan dos formas más y no se considera el aterramiento efectivo.

I) Aterramiento de alta resistencia, mediante transformador de distribución.

II) Aterramiento de alta resistencia, mediante resistencia de neutro.

III) Aterramiento de baja resistencia, mediante resistencia de neutro.

IV) Aterramiento de baja reactancia, mediante reactancia de neutro.

V) Aterramiento resonante (GFR).

VI) Aterramiento de alta resistencia, mediante transformador de aterramiento.

VII) Aterramiento de resistencia media, mediante transformador de aterramiento.

VIII) No aterrado

IX) Híbrido.

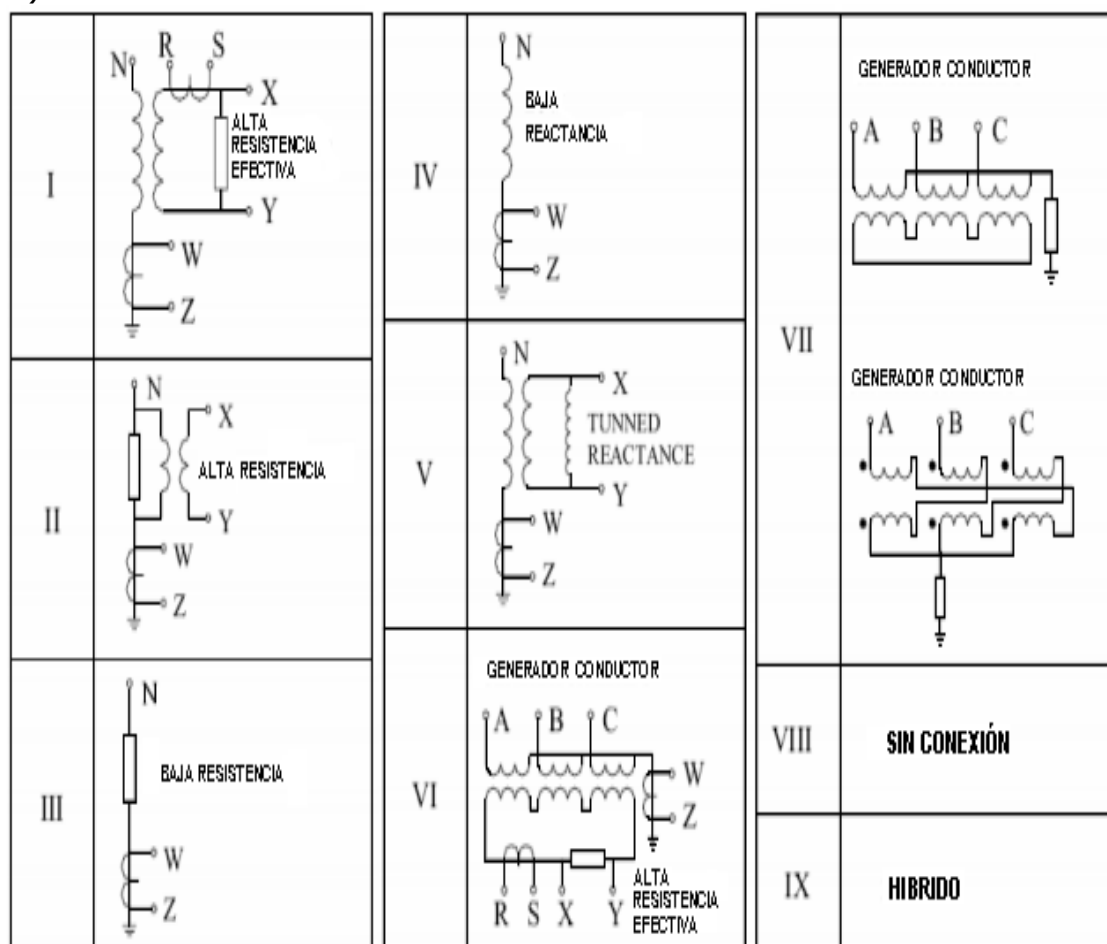


Figura 5. Tipos de Aterramiento

**5. características de los distintos tipos de aterramientos.**

Tipo de tierra del neutral	Corriente de falla Características del método de conexión a tierra	Magnitud de la corriente esperada para el tercer armónico	Comentarios
Generador sin conexión a tierra	0A	Ninguno	0 A para la primera falla a tierra, pero la segunda falla a tierra va a desarrollar el nivel de corriente de falla similar con el método sólidamente conectado a tierra.
Generador sólidamente a tierra	$I_{\phi G} > I_{3\phi}$	Apreciable	A nivel de la corriente de falla de fase a tierra $I_{\phi G}$ puede ser significativamente mayor que el nivel actual de falta trifásica $I_{3\phi}$ .
Generador a Tierra Baja Resistencia	400 A ~ 1200 A	Apreciable	Apreciablemente reducida corriente de falla a tierra mediante una reactancia
Generador a tierra Mediana Resistencia	200 A ~ 400 A	Apreciable	Una variación del método de baja resistencia a tierra a reducir aún más el nivel de corriente de falla a tierra.
Generador a Tierra Alta Resistencia	10 A ~ 45 A	Insignificante, pequeña	Una corriente de falla de fase a tierra se nutre de todos los condensadores del generador y bus del generador.
Generador a Tierra Baja Reactancia	$I_{3\phi} \geq I_{\phi G}$	Apreciable	A nivel de la corriente de fase a tierra fallo $I_{\phi G}$ es casi igual o inferior a un nivel de corriente de falta trifásica $I_{3\phi}$ .
Generador a Tierra Híbrido	10 A ~ 25 A (Alta Resistencia) 200 A ~ 400 A (Baja Resistencia)	Apreciable	El primer nivel de corriente de fallo de tierra será 200A~400A con conexión a tierra de baja resistencia, y 10A~25A después cambia a un esquema de conexión a tierra de alta resistencia.

## **6. CONCLUSIONES**

Los generadores son una parte fundamental del sistema eléctrico y, por tanto, las prácticas de puesta a tierra determinan el tipo de protección por utilizar en la máquina y su coordinación con los demás elementos protegidos.

Uno de los métodos más usados es el de aterramiento basado en la reactancia a tierra, ésta a la vez es muy útil ya que permite reducir las corrientes en caso de falla fase tierra del estator de la máquina. Ante corrientes de falla reducidas, la posibilidad de daños en los equipos asociados se disminuye y por lo tanto se aumenta el índice de continuidad de los generadores.

Los generadores representan el equipo más caro en un sistema eléctrico de potencia y se encuentran sometidos, más que ningún otro equipo del sistema, a los más diversos tipos de condiciones anormales.

Las razones que se exponen a favor de minimizar la cantidad de equipos de protección automática son:

- A razón de que a más equipos automáticos, mayor es el mantenimiento, y si el mantenimiento es defectuoso el equipo se torna menos confiable.
- El equipo automático puede actuar incorrectamente y desconectar el generador de forma innecesaria.
- En algunas ocasiones, el operador puede evitar que un generador salga fuera de servicio en el caso de que su salida implique un trastorno significativo para el sistema eléctrico al que se encuentra conectado.

La protección de los generadores frente a la posibilidad de daños significativos es más importante que la protección a la continuidad momentánea del servicio del sistema eléctrico al que están conectados.

## **7. RECOMENDACIÓN**

Para seleccionar las máquinas síncronas nos debemos asegurar si esta tendrá una máquina asíncrona como carga. Si fuera nuestro caso aplicaríamos el procedimiento de selección recomendado por los fabricantes y a la vez respetar las recomendaciones de la norma VDE 530.

También es necesario que la selección y dimensionamiento del sistema de protección deba ser diseñado a medida.

La protección de ser realizado por equipos altamente sofisticados que presenta un control y protección optimizados

## **8. BIBLIOGRAFÍAS**

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32917/1/cuevasrodriguez.pdf>

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/558/3/modelado%20del%20generador.pdf>.

<http://www.iae.org.ar/archivos/educ7.pdf>

<http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/esep/>