**Universidad Tecnológica de Panamá**

**Facultad de Energía Eléctrica**

**Revisión Bibliográfica de Conversión de Energía I**

**Título:**

**Integrantes:**

Edwin Rodríguez 7-709-1004

**Fecha de Entrega:** de septiembre de 2021

**Profesor:** Dr. Edilberto Hall

**Introducción**

En el campo de la electricidad existen múltiples fenómenos que utilizan principios sencillos para hacer tareas complicadas en diversas áreas de la vida cotidiana. Los generadores y motores son un ejemplo de esto, tienen muchas aplicaciones y son usados en el día a día ya sea para aplicaciones en corriente continua (AC) y en corriente directa (DC) todo depende del uso y capacidad de los mismos para la cual sean requeridos.

Comúnmente, las capacidades de dichas maquinas en la industria al igual que sus aplicaciones resultan ser factores cruciales para el empleo de estos equipos, esta razón es debido a que cuando se tiene un objetivo de trabajo especial, se debe argumentar, investigar y especificar el tipo y forma de trabajo para que el sistema requerido te pueda brindar los resultados deseados con el mínimo de errores o fallas que puedan suscitarse por una mala decisión o decisiones precipitadas.

En este documento se obtendrá información acerca del funcionamiento de distintos equipos eléctricos al igual que sus aplicaciones en la vida cotidiana que brindaran apoyo a futuro en cuanto situaciones de entendimiento o búsqueda de falla, así como de selección de algún equipo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Temas** | | | **# Pag** |
| Parte 1 | La Máquina Sincrónica | |  |
|  | 1.1 | El Generador Sincrónico |  |
|  | Capacidades Instaladas (kVA, MVA) |  |
|  | Sistemas de Enfriamiento |  |
|  | Control de Campo |  |
|  | Gobernador |  |
|  | Protecciones Principales |  |
| 1.2 | Motor Sincrónico |  |
|  | Capacidades (HP) |  |
|  | Aplicaciones practicas |  |
|  | El condensador sincrónico |  |
| Parte 2 | Motores DC | |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**Parte 1: La Máquina Síncrona**

Una máquina sincrónica es una [máquina eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_el%C3%A9ctrica) rotativa de [corriente alterna](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_alterna) cuya velocidad de rotación del eje y la frecuencia eléctrica están sincronizadas y son mutuamente dependientes.

La máquina puede operar tanto como motor o como generador. Como motor síncrono convierte la [energía eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica) en [energía mecánica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_mec%C3%A1nica), la velocidad de rotación del eje depende de la frecuencia de la red eléctrica a la que se encuentra conectado, o bien convierte energía mecánica en energía eléctrica. En este caso es utilizada como [generador síncrono](https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_s%C3%ADncrono) y la frecuencia entregada en las terminales dependerá de la velocidad de rotación y del número de polos la misma.

Las máquinas síncronas se utilizan fundamentalmente como [generadores](https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_el%C3%A9ctrico) de [corriente alterna](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_alterna); en menor medida como motores de corriente alterna, ya que no presentan par de arranque como tales y hay que emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta alcanzar la velocidad de sincronismo. También se utilizan para controlar la potencia reactiva de la red, (corrección del factor de potencia).

* 1. **El Generador Sincrónico**

Un generador síncrono es un dispositivo que convierte potencia mecánica de un primo motor en potencia eléctrica de corriente alterna con un voltaje y frecuencia específicos. Ésta se encuentra compuesta de dos partes: un rotor y un estator. El rotor es la parte móvil del generador, mientras que el estator es la parte fija. Los generadores síncronos se ocupan para producir la mayor parte de la potencia eléctrica que se utiliza en todo el mundo.

Diagram

Description automatically generated

Figura 1. Generador Sincrónico Básico.

La manera en que opera un generador síncrono en un sistema de potencia real depende de sus restricciones. Cuando un generador opera solo, las potencias reales y reactiva por suministrar deben estar determinadas por la carga impuesta y los puntos de ajuste del mecanismo regulador y la corriente de campo controlan la frecuencia y voltaje en las terminales, respectivamente. Cuando se conecta un generador a un bus infinito, su frecuencia y voltaje son constantes, por lo que los puntos de ajuste del mecanismo regulador y la corriente de campo controlan el flujo de potencia real y reactiva del generador.

Las máquinas sincrónicas son clasificadas en dos diseños principales — máquinas de rotor cilíndrico y máquinas de polos salientes. La siguiente figura proporciona una vista de la sección transversal de ambos tipos de construcción. Los generadores impulsados por turbinas de vapor tienen rotores cilíndricos con ranuras en las cuales son colocados los devanados de campo distribuidos. Mientras que, los generadores impulsados por turbinas hidráulicas tienen rotores de polos salientes laminados con devanados de campo concentrados y un gran número de polos.

Diagram

Description automatically generated

Figura 2. Tipos de generador sincrónico.

Cualquiera que sea el tipo del impulsor o diseño de la máquina, la fuente de energía usada para girar la flecha es mantenida en un nivel constante a través de un regulador de velocidad conocido como gobernador. La rotación del flujo de C.D. en el campo del generador reacciona con los devanados del estator y, debido al principio de inducción, se genera una Tensión Trifásica.

1. **Capacidades Instaladas (kVA, MVA)**
2. **Sistemas de Enfriamiento**

* **Generadores enfriados por aire:** Estos generadores se dividen en dos tipos básicos: abiertos ventilados y completamente cerrados enfriados por agua a aire.
  + Los generadores de tipo OV fueron los primeros construidos, el aire en este tipo de generadores pasa sólo una vez por el sistema y considerable cantidad de materias extrañas que pueden acumularse en las bobinas, interfiriendo la transferencia de calor y afectando adversamente al aislamiento.
  + Los generadores tipo TEWC, son un sistema de enfriamiento cerrado, donde el aire recircula constantemente y se enfría pasando a través del tubo del enfriador, dentro de los cuales se hace pasar agua de circulación.
* **Generadores enfriados por hidrógeno:**
  + Se puede decir que el gas de hidrógeno se utiliza como un enfriamiento medio en la carcasa del generador debido a sus propiedades de enfriamiento superiores. El enfriamiento del hidrógeno requiere completamente sistema de circulación sentado.
  + El gas hidrógeno circula por sopladores y los ventiladores atraviesan el rotor y el estator, y luego pasan a través de las bobinas de enfriamiento dentro de la carcasa. Las bobinas transportan aceite o agua para extraer calor del hidrógeno circulante.
  + El enfriamiento con hidrógeno aumenta la carga total la eficiencia del generador es de alrededor del 1 por ciento, pero aumenta la capacidad del generador en alrededor del 25 por ciento del generador del mismo tamaño físico utilizando aire.
  + Los generadores de mayor capacidad, peso, tamaño y los más modernos, usan hidrógeno para enfriamiento en vez de aire en circuito de enfriamiento cerrado.
  + El enfriamiento convencional con hidrógeno puede usarse en generadores con capacidad nominal aproximada de 300 MVA.
* **Generadores enfriados por hidrógeno / agua:** Pueden lograrse diseños de generadores aún más compactos mediante el uso de enfriamiento con agua directo al devanado de la armadura del generador.
* **Refrigeración directa por agua en generador síncrono**
  + Como el enfriamiento por hidrógeno no es suficiente para extraer calor generado en grandes turbo alternadores de tamaños 500 MW o más. Para máquinas tan grandes, el volumen de gas hidrógeno requerido es mucho más grande, por lo tanto su uso puede volverse antieconómico.
  + En tales casos, se utiliza la refrigeración por agua directa. En turbogeneradores muy grandes, los rotores son enfriados directamente con hidrógeno y los devanados del estator son enfriados directamente con agua desmineralizada. El agua es circulada por una bomba centrífuga de motor AC. Los filtros de cartucho se utilizan para filtrar el agua. Estos filtros están diseñados para evitar que las partículas corrosivas metálicas generadas en el bobinado y las tuberías entren en los conductores huecos del bobinado.
  + Ventajas de la refrigeración con agua sobre la refrigeración con hidrógeno: el sistema enfriado por agua es más rápido y eficiente porque la conductividad térmica del agua es mayor que la del hidrógeno; el área de agua del conducto es más pequeña para permitir más espacio para los conductores en la ranura.
  + Desventajas de la refrigeración con agua: el agua, que se utiliza para enfriar, debe estar altamente purificada para que la conductividad del agua no aumente; el enfriamiento con agua es más caro que el enfriamiento con hidrógeno.

1. **Control de Campo**
2. **Gobernador**
3. **Protecciones Principales**

El sistema de protecciones de un generador síncrono se diseña de acuerdo con su capacidad, tamaño e importancia dentro del sistema de potencia. Para cada problema que presenta el generador hay un dispositivo de protección que se encarga de evitar los daños o percances que pueden provocar la salida de operación de este. En la siguiente tabla se muestra la localización y los tipos de problemas que puede presentar un generador síncrono.

Table

Description automatically generated

Tabla 1. Problemas de un generador sincrónico.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de protección convencionales para los problemas más comunes que se presentan en el generador:

* **Protección del estator**
* ***Protección diferencial para fallas entre fases****:* Una falla de fase en el devanado del estator del generador es siempre considerada como seria debido a las altas corrientes encontradas y el daño potencial a los devanados de la máquina, así como a las flechas y el acoplamiento. Por lo tanto, es muy importante minimizar el daño debido a fallas en el estator. Para agravar esta situación, la corriente de falla en un generador no se interrumpe cuando el campo del generador es disparado y el generador es separado del sistema. La energía almacenada en el campo continúa alimentando la corriente de falla por varios segundos. Un método estándar para este tipo de fallas es la protección diferencial y comúnmente se encuentra en unidades generadoras de 1 MVA en adelante. Para este tipo de generadores se utiliza el esquema de protección diferencial de porcentaje variable como se muestran en las siguientes figuras. En estos elementos la pendiente puede variar desde 5% a 50%. Un relé de porcentaje fijo está normalmente entre el 10 y el 25%.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Figura 3. Conexión del relé diferencial de porcentaje de pendiente variable.

* ***Protección convencional para fallas a* tierra**: El núcleo del estator se ve forzadamente comprometido cuando tiene lugar un cortocircuito entre fase y tierra de un generador, debido a que independientemente de la conexión del neutro del generador con respecto a tierra, la carcasa del generador se encuentra conectada a tierra. El daño que origina el cortocircuito a tierra en láminas del estator está sujeto a la intensidad de la corriente de cortocircuito y al tiempo que circula dicha corriente. La intensidad de la corriente que circula, para un cortocircuito de fase a tierra en el estator, está condicionada por el tipo de conexión que tiene el neutro del generador. Dicha intensidad es máxima en el caso en que el neutro está sólidamente conectado a tierra y es mínima si el neutro se encuentra físicamente desconectado de tierra. Las protecciones más empleadas en estos casos son:

1. **Relé diferencial.**  El relé diferencial 87N está conectado para recibir una corriente diferencial en el circuito de la bobina de operación mediante el transformador de corriente en los terminales (RCL) y corriente del neutro a través del transformador de corriente (RCN) entre el neutro (3Io) del generador en su circuito de polarización. La comparación direccional es polarizada para asegurar que exista una restricción positiva para una falla externa, aunque los transformadores de corriente RCN localizados entre el punto neutro y aterrizaje y RCL ubicado en los terminales del generador, tienen características de funcionamiento sustancialmente diferentes. Este esquema proporciona excelente seguridad contra operación incorrecta para fallas externas y proporciona una detección muy sensible de fallas a tierra internas.

Diagram

Description automatically generated

Figura 4. Conexión del relé diferencial tipo producto 87N

1. **Esquema de sobretensión/corriente de neutro.** El esquema de protección más ampliamente usado en sistemas puestos a tierra con alta impedancia consiste en un relé de sobretensión con retardo de tiempo (59GN) conectado a través del resistor de puesta a tierra para medir tensión de secuencia cero, como se muestra en la figura 5. El relé usado para esta función está diseñado para ser sensible a una tensión de frecuencia fundamental e insensible a una tensión de tercer armónico y a otras tensiones armónicas de secuencia cero, que están presentes en el neutro del generador. La tensión en el relé es función de la relación del transformador de distribución y del lugar de la falla. La tensión es máxima para una falla en terminales y disminuye en magnitud a medida que la falla se mueve de los terminales del generador hacia el neutro. Típicamente, el relé de sobretensión tiene un ajuste de pickup mínimo de aproximadamente 5 V.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Figura 5. Esquema de protección convencional de sobretensión.

1. **Protección convencional del 100%.** La protección convencional para detección de falla a tierra del estator en sistemas puestos a tierra con alta impedancia es adecuada, pero sólo proporciona protección sensible para únicamente alrededor del 90% del estator. Esto es debido a que la falla en el porcentaje restante del devanado, cerca del neutro, no causa suficiente tensión y corriente residual de 60 Hz para operar a estos relés. Es importante proteger todo el generador con un sistema de protección de falla a tierra adicional de tal forma que se cubra el 100% del devanado.

* ***Protección contra cortocircuitos entre espiras de igual fase y fases abiertas***. Un cortocircuito entre espiras de una misma fase debe ser localizado y el generador desconectado del sistema, debido a que puede convertirse con facilidad en un cortocircuito de fase a tierra comprometiendo el núcleo del estator. El sistema de protección que se aplica para esta clase de cortocircuito depende de la disposición constructiva del generador. La protección difiere en el caso de un generador con dos enrollados por fase o con un solo enrollado por fase.
* ***Protección contra sobrecalentamiento del estator***. Es usual la protección contra sobrecalentamientos del estator mediante relés del tipo imagen térmica diseñados para reproducir las condiciones de calentamiento que originan las corrientes estatóricas y que al llegar a una cierta temperatura de ajuste cierra sus contactos. Esta protección cuenta con la desventaja de solamente operar para sobrecalentamientos originados por una sobrecarga y no protege contra los sobrecalentamientos producidos por desperfectos en el sistema de refrigeración o por cortocircuitos de las láminas del estator.
* ***Protección contra sobretensiones.*** La sobre velocidad originada por pérdidas de carga o desperfectos en el regulador de tensión producen sobretensiones. Toda sobretensión asociada con una sobrevelocidad es controlada por un regulador automático de tensión. No obstante, en las unidades hidráulicas, el flujo de agua no puede ser interrumpido o deflectado tan rápidamente y puede originarse una sobrevelocidad. En el caso de que la excitatriz se encuentre acoplada directamente a la máquina, la tensión tiende a crecer casi con el cuadrado de la velocidad. Como consecuencia, suele instalarse una protección de sobretensión en generadores accionados por turbinas hidráulicas y también por turbinas de gas, pero no con turbinas a vapor.
* **Protección del rotor**
* ***Protección del devanado de campo contra cortocircuitos a tierra***. A continuación, se muestran los métodos de protección más comunes ante este tipo de falla.

1. ***Método potenciométrico***. Este sistema abarca una resistencia con una derivación central, la que se conecta en paralelo con el enrollado principal del campo. La derivación central de la resistencia se conecta a tierra mediante un relé de sobretensión. Todo cortocircuito a tierra en el enrollado del campo originará una tensión mediante los terminales del relé. Dicha tensión es máxima para cortocircuitos que ocurran en los extremos del enrollado del campo, y se reduce a cero para cortocircuitos en el centro del enrollado.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Figura 6. Esquema de conexión del método potenciométrico.

1. ***Método de inyección de corriente alterna.*** Este sistema abarca un transformador de fuente auxiliar de corriente alterna y su funcionamiento implica que un extremo del primario de este transformador se conecta a tierra y en el otro extremo se conecta un relé de sobretensión y un condensador en serie a uno de los extremos del enrollado principal de campo. Al tener lugar un cortocircuito a tierra el circuito del relé se completa, siendo la corriente a través del relé independiente de la tensión de la excitatriz y solamente una función de la resistencia en el punto del cortocircuito.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Figura 7. Método de inyección de corriente alterna.

1. ***Método de inyección de corriente continua.*** Este sistema es similar al de inyección de corriente alterna y abarca un transformador/puente rectificador. El polo positivo de salida del puente se conecta a tierra, mientras que en el polo negativo se conecta un relé y hacia el polo positivo del enrollado principal de campo como se muestra en la figura 8. Este sistema posee todas las ventajas del de inyección de corriente alterna, sin la desventaja de la circulación de las corrientes de fuga mediante los descansos del rotor.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Figura 8. Método de inyección de corriente continua.

* ***Protección para circuito abierto.*** El circuito abierto en el rotor pocas veces sucede, pero de igual manera es necesario implementar una protección para esta situación debido a que en la apertura se forma un arco eléctrico que puede ocasionar daños en el núcleo del rotor. Un circuito abierto que no implique la tierra provoca una caída repentina de la corriente de campo que puede ser detectada por un relé de pérdida de campo.
* ***Protección contra sobrecalentamiento del rotor***. La circulación de corrientes de secuencia negativa en el estator de un generador, producidas por cortocircuitos asimétricos internos o externos al generador y cargas desequilibradas, originan un campo rotatorio que gira con una velocidad igual al doble de la síncrona con respecto al rotor e inducen en el hierro de este, corrientes de una frecuencia doble con respecto a la fundamental. Dichas corrientes originan un sobrecalentamiento del rotor y pueden producir importantes daños si el generador continúa operando en esas condiciones. Esta situación tiene lugar particularmente en los generadores accionados por turbinas a vapor con sus rotores del tipo cilíndrico.

**////////////////////////////////////////////////**

[**https://www.monografias.com/trabajos93/maquinas-sincronicas/maquinas-sincronicas.shtml**](https://www.monografias.com/trabajos93/maquinas-sincronicas/maquinas-sincronicas.shtml)

Sist. De enfriamiento

<https://illustrationprize.com/es/667-cooling-of-a-synchronous-generator.html>

Protecciones

<https://core.ac.uk/download/pdf/71396063.pdf>