

PUESTA EN PARALELO DE ALTERNADORES

Jefferson Torres, Antonio Vega. Autores.

Universidad Politécnica Salesiana.

Facultad de Ingeniería Electrónica

patojct@hotmail.com

antovs90@hotmail.com

Cuenca- Ecuador.

Resumen.

En el presente trabajo se discute el tema de poner en paralelo generadores síncronos y las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta al momento de su montaje, para esto se ha tomado como referencia los respectivos fundamentos teóricos, mediante los cuales primero realizaremos una pequeña introducción que describa a los generadores síncronos, para luego realizar un estudio de los motivos del porque es necesario la puesta en paralelo de los generadores, estudiar las condiciones necesarias para el montaje en paralelo de dos o más generadores y el respectivo procedimiento para realizar el paralelo de generadores y luego estudiar las maniobras para el acoplamiento y por ultimo revisar de manera breve del control electrónico de las instalaciones modernas, nos centraremos sobre el punto de la sincronización del generador que se va a montar a la barra, mediante una simulación realizada en el programa matlab, y también sobre el procedimiento de toma de carga.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de nuestro cotidiano vivir ocupamos energía eléctrica sin darnos cuenta acupamos elementos que funcionan por medio de tensiones, en la industria es un elemento fundamental para su producción, pero al momento en el que existe un corte de energía, todas

nuestras actividades se ven truncadas y dentro de la industria esto puede representarse como perdidas de dinero, para estos casos existen los generadores de tensión, pero en una industria las potencias que se demandan son altas por lo que si se conecta un solo generador que pueda abastecer la demanda de potencia de una fabrica sería la solución, pero técnicamente esto es erróneo ya que cuando no se trabaje a la potencia nominal la eficiencia de la maquina disminuirá y si existiese un daño en la maquina nuevamente representaría perdidas en la producción, por este motivo se utiliza el paralelo de generadores síncronos porque un daño en una de las maquinas disminuye la potencia pero no desabastece la energía y además se puede controlar el subministro de potencia con lo que se mejoraría la eficiencia y confiabilidad sobre el sistema.

II. FUNDAMENTOS TEORICOS

A. Introducción.

Los generadores síncronos se clasifican por su construcción en: campo giratorio y armadura giratoria, por su tipo de excitación en autoexcitados y excitación separada, y por su tipo de rotor en: polos salientes; para velocidades iguales o menores de 1800 RPM y polos lisos; para velocidades iguales a 3600 RPM. Los generadores síncronos autoexcitados ya

no requieren de escobillas y los de excitación separada requieren de escobillas y en lugar del conmutador utilizan anillos rozantes.

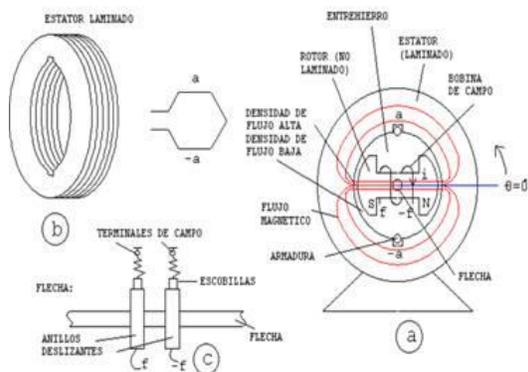


Fig 1. Estructura Del Generador Síncrono.

B. Motivos para la utilización de los generadores síncronos en paralelo

Al igual que le ocurre a las dínamos, a veces es preciso acoplar eléctricamente dos o más alternadores. En nuestro caso el de la compañía suministradora y el que nosotros acoplaremos en el taller. El acoplamiento de los alternadores resulta más complejo que el de las dínamos, debido a la presencia de una nueva característica, la frecuencia, cuyo valor debe ser rigurosamente igual para todos los alternadores. En los alternadores no se usan nunca el acoplamiento en serie por no presentar interés práctico. Además, el funcionamiento de un acoplamiento de alternadores en serie es inestable y peligroso. Es así que varios generadores pueden alimentar una carga mucho mayor que una sola máquina. Tener varios generadores incrementa la confiabilidad del sistema, debido a que si se presenta alguna falla de cualquiera de ellos no produce la pérdida total de potencia en la carga. Tener varios generadores que operan en paralelo permite que sea posible separar uno o más de ellos para

cortes de potencia y mantenimientos preventivos. Se utiliza un solo generador y este opera cerca de plena carga, entonces será relativamente ineficiente. Con varias máquinas más pequeñas trabajando en paralelo, es posible operara solo una fracción de ellas. Las que están operando lo hacen casi a plena carga y por lo tanto de manera más eficiente.

C. Condiciones requeridas para operar en paralelo

Para conectar generadores trifásicos en paralelo es necesario cumplir ciertas condiciones, la figura muestra un generador síncrono G1 que suministra potencia a una carga con otro generador G2 a punto de conectarse en paralelo con G1 por medio del cierre del interruptor (S1). Si el interruptor se cierra de manera arbitraria en cualquier momento, es posible que los generadores se dañen severamente y que la carga pierda potencia. Si los voltajes no son exactamente iguales en cada uno de los generadores que se conectan juntos, habrá un flujo de corriente muy grande cuando se cierre el interruptor. Para evitar este problema, cada una de las tres fases debe tener exactamente la misma magnitud de voltaje y ángulo de fase que el conductor al que se conectara. En otras palabras, el voltaje de fase a debe ser exactamente igual al voltaje en la fase a" y así en forma sucesiva para las fases b-b` y c-c`. Para lograr esto se deben cumplir las siguientes condiciones de puesta en paralelo:

- Deben de ser iguales los voltajes de línea rms.
- Los dos generadores deben tener la misma secuencia de fase.
- Los ángulos de fase de las dos fases deben de ser iguales.

- La frecuencia del generador nuevo, llamado generador en aproximación, debe ser un poco mayor que la frecuencia del sistema en operación.

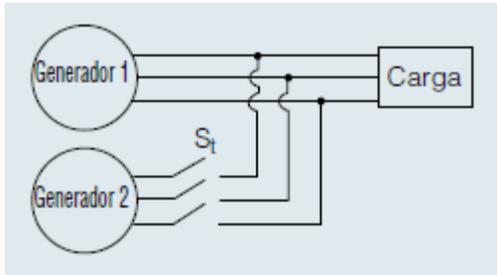


Fig 2. Generador 2 A Punto De Ser Puesto En Paralelo Al Generador 1

Estas condiciones requieren de ciertas explicaciones:

La primera condición: para que dos grupos de voltajes sean idénticos, deben tener la misma magnitud de voltaje rms. Los voltajes en las fases a y a' serán completamente idénticos en todo momento si ambas magnitudes y sus ángulos son iguales, lo que explica la condición.

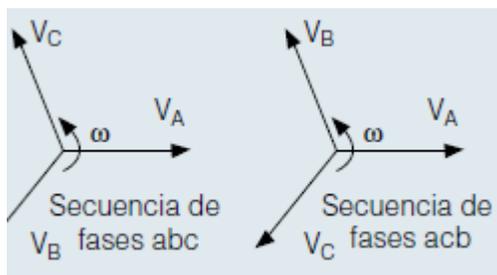


Fig 3. Esquema de secuencia de fases.

Para la segunda condición, esta asegura que la secuencia en la que el voltaje de fase llegue a su pico en los dos generadores sea la misma. Si la secuencia de fase es diferente entonces aun cuando un par de voltajes (los de fase a) estén en fase, los otros dos pares de voltajes estarán desfasados por 120°. Si se conectan los generadores de esta manera, no habrá problema con la fase a, pero

fluirá enormes corrientes en las fases b y c, lo que dañara ambas máquinas.

D. Procedimiento general para conectar generador en paralelo.

1. Verificar Que Los Voltajes Generados Y De Barra Sean Iguales.

Utilizando voltímetros se debe ajustar la corriente de campo del generador en aproximación hasta que su voltaje en los terminales sea igual al voltaje en línea del sistema en operación.

2. Sincronización Del Generador Que Sera Puesto En Paralelo.

La secuencia de fase del generador en aproximación se debe comparar con la secuencia de fase del sistema en operación.

Existen muchas forma de comprobar esto una de ellas es conectar alternativamente un pequeño motor de inducción a los terminales de cada uno de los dos generadores. Si el motor gira en la misma dirección en ambas ocasiones, entonces, entonces la secuencia de fase es la misma en ambos generadores. Si el motor gira en direcciones opuestas, entonces las secuencias de fase son diferentes y se deben invertir dos de los conductores del generador. Otra manera simple es el método de las tres lámparas incandescentes. La operación comienza arrancando la maquina por medio del motor primario teniendo en cuenta que se deben prender y apagar al mismo tiempo las tres lámparas esto indica que existe la misma secuencia de fase, si prenden y apagan muy rápido esto es debido a que tiene diferentes frecuencias esto se arregla subiendo la velocidad del primario motor, esto se hace aumentando el flujo con el reóstato de campo, si prenden y apagan en desorden esto indica que no tienen la misma frecuencia de fases esto se hace

intercambiando la secuencia de fases del alternador hacia la red.

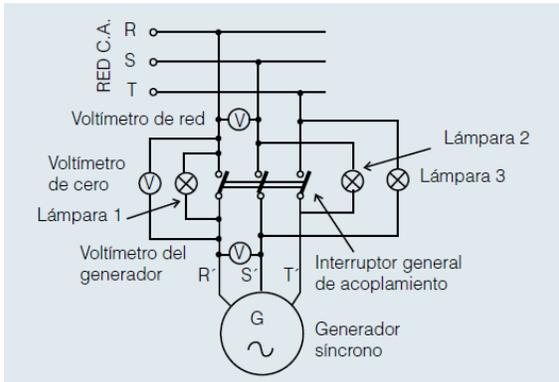


Fig 4. Sincronización Del Generador Por Medio De Un Sincronoscopio De Lámparas.

Si a un generador que va a ser acoplado en paralelo presenta un pequeño desfase entre frecuencias, va a llegar un momento en el cual la diferencia de potencial entre las dos señales de tensiones igual al doble de la tensión nominal de generación, lo que causaría un corto circuito a gran magnitud, mediante una simulación en matlab de dos señales con frecuencias que varían entre sí una decima es posible darnos cuenta de este fenómeno. Utilizaremos una señal de tensión de 100 voltios a una frecuencia de 60Hz y la segunda será una señal de 100 voltios a una frecuencia de 59.9Hz así:

Código Fuente:

Mediante el siguiente código podemos graficar los dos modelos de ondas para analizar qué es lo que sucederá:

```
clear all
clc
t = [0:100:15000]
f=100*(sin(376.99.*t))
g=100*(sin(376.36.*t))
plot (t,f)
hold on
plot (t,g)
hold on
```

```
grid on
xlabel ('(t)')
ylabel ('v(t)')
```

Grafica Obtenida:

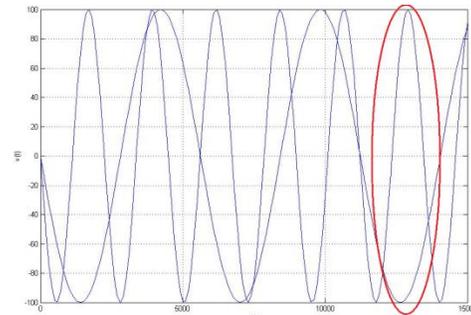


Fig 5. Señales De La Tensión De Barras Desfasada A La Tensión Del Generador

De la grafica de la figura 5 es posible apreciar que en el instante de tiempo $t = 13000\text{ms}$, es decir, en donde está encerrado en un círculo rojo, podemos observar que así la frecuencia del generador sea muy próxima a la frecuencia de la barra de generación se va a dar un momento en el cual se produzca un cortocircuito que puede causar la destrucción de la maquina o causar daños en la barra de generación, por este motivo es necesario tener el cuidado necesario al momento de sincronizar un generador con la barra de generación.

3. Método De Toma De Carga.

Cuando un generador síncrono se conecta a un sistema de potencia, a menudo el sistema de potencia es tan grande que ninguna de las acciones del operador del generador tendrá gran efecto en el sistema de potencia. Este fenómeno se idealiza con el concepto de bus infinito el cual es un sistema de potencia tan grande que su voltaje y frecuencia no cambian sin importar que tanta potencia real y reactiva se le demande o se le suministre.

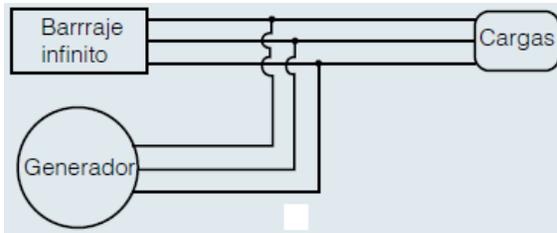


Fig 6. Generador síncrono que opera en paralelo con un bus infinito.

A este proceso de operación de generadores en paralelo con grandes sistemas de potencia se le conoce también como proceso para tomar carga.

Una vez que la máquina cumple con los pasos anteriores de lograr sincronizar al generador este está listo para ser conectado al sistema de generación o barra, si se considera el caso de que esta máquina, se conecta a barras sobre las cuales existen ya trabajando otras máquinas, tales que sus potencias son muy superiores a la del generador que va a ser conectado, de manera que ésta no puede alterar la tensión de barras. Esto quiere decir que conectada la máquina esta no recibe ni entrega energía. Entonces para que la máquina entregue energía porque eso es lo que buscamos nos vamos a encontrar con los siguientes casos:

3.1. Caso 1.

La máquina en vacío: será $I = 0$, $\delta = 0$, $E_0 = V_L$ porque el estar en vacío su fem la que coincide con la tensión de barras.



Fig 7. Diagrama Fasorial Una Vez Conectado El Generador.

3.2. Caso 2.

Si se aumenta la velocidad del primotor. Como δ es una medida de la potencia

desarrollada, el incremento de velocidad resultará en un avance del voltaje generado sobre u en un ángulo δ . Por lo que fluirá una I perpendicular a $j.Xd$. I , en conclusión entrega corriente a la red.

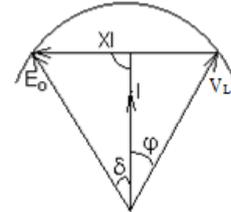


Fig 8. Diagrama Fasorial Al Momento De Incrementar La Velocidad

3.3. Caso 3

Se varía solamente la corriente de excitación.

Sobreexcitado: La corriente se retrasa un ángulo de $\pi/2$

Subexcitado: La corriente se adelanta un ángulo de $\pi/2$

En conclusión, se produce una corriente reactiva pura.

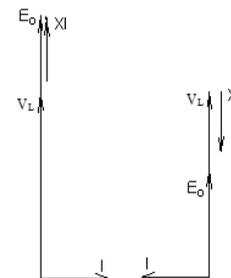


Fig 9. Diagrama Fasorial Al Momento De Incrementar La Corriente De Excitación

3.4. Caso 4.

Se aumenta la velocidad del primotor y la corriente de excitación, lo que produce una diferencia de tensiones entre la tensión del generador y la de línea, entonces la corriente aumenta, con lo que nos permite mejorar el $\cos \phi$ del sistema.

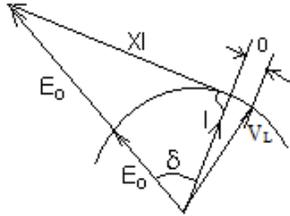


Fig 10. Diagrama Fasorial Al Momento De Incrementar Tanto La Velocidad Como La Corriente De Excitación

Entonces cuando un generador opera en paralelo con un bus infinito tenemos que:

- El sistema al que se conecta el generador controla la frecuencia y voltaje en los terminales del generador.
- Los puntos de ajuste del mecanismo regulador del generador controlan la potencia real suministrada al sistema por el generador.
- La corriente de campo en el generador controla la potencia reactiva suministrada al sistema por el generador.

En conclusión el procedimiento para poner en paralelo generadores síncronos se lo puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se acelera la máquina al número de r.p.m. nominales
2. Se sincroniza la maquina es decir:
 - Se regula la excitación hasta que la fem de bornes sea igual a la de línea
 - Se entra en sincronismo
3. Se conecta al interruptor
4. Se realiza el proceso de toma de carga, es decir:
 - Se aumenta la velocidad del primotor.
 - Se aumenta la corriente de excitación.

E. Maniobras de acoplamiento.

El acoplamiento de un alternador a la red exige la máxima atención por parte de los operarios encargados de dicha operación. Se pone en marcha el motor de corriente continua que acciona el alternador y seguidamente se maniobra sobre el regulador de velocidad hasta conseguir que ésta sea lo más aproximada posible a la velocidad síncrona correspondiente a la frecuencia de la red. Para comprobarlo se observa el frecuencímetro conectado a los bornes del generador. Se maniobra el reóstato que regula la intensidad de la corriente de excitación que recorre las bobinas inductoras hasta conseguir que la fuerza electromotriz generada en el bobinado inducido del alternador (medida por su voltímetro V) sea algo superior que la tensión de la red. Efectuadas la maniobras anteriores, es preciso afinar la igualdad de frecuencias y tensiones, al mismo tiempo hay que observar el sincronoscopio.

F. Modernas instalaciones.

En las modernas instalaciones se emplea unas columnas de sincronización, compuestas por un brazo saliente y giratorio del cuadro general de la central y que tiene dos voltímetros (red y generador), dos frecuencímetros (red y generador) un voltímetro de cero y un sincronoscopio de aguja. En las centrales automáticas o con telemando, el acoplamiento se hace automáticamente con la ayuda de equipos electrónicos.

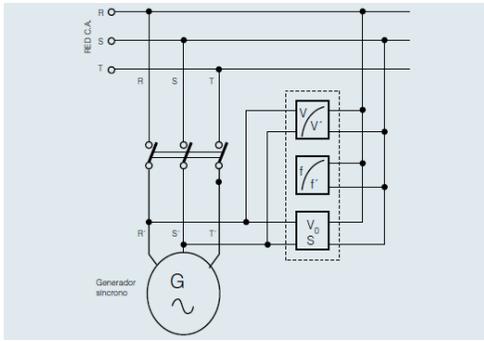


Fig 11. Sistema De Control Electrónico Para Sincronización Para Un Generador

IV. CONCLUSIONES.

Como conclusión general podemos decir que el acoplamiento en paralelo de los generadores es un método por el cual el sistema de generación se hace más eficiente y confiable, pero tenemos que ser muy cautelosos en el procedimiento de la puesta en paralelo de generadores síncronos ya que un error podría causar daños tanto en el generador como en el sistema de generación, tenemos que tener especial cuidado en la sincronización del generador puesto que de esto depende el acoplamiento correcto.

Como conclusiones generales podemos anotar que:

_ Aunque no es necesario es lo más recomendable que los generadores a usarse para realizar el acople de generadores en paralelo deben ser comprados al mismo fabricante y poseer las mismas características técnicas.

_ La sincronía implica que las frecuencias entre la barra de generación y el

generador a ser montado sean las mismas ya que como pudimos observar en la simulación existen partes en las que la diferencia de potencial será el doble de la tensión normal lo que generara un corto circuito de tensiones muy elevadas.

_ Una vez conectado el generador a la barra de generación tenemos que tomar en cuenta la toma de carga a fin de garantizar que el generador acoplado entregue potencia al sistema.

_ Tenemos que tener muy en cuenta que un sistema de montaje en paralelo de generadores no es tan sencillo como se muestran en los gráficos, por lo contrario es un sistema muy complejo y debemos tomar las respectivas precauciones al momento de operarlo.

V. REFERENCIAS

Información tomada de los medios:

[1] “Maquinas Eléctricas”. Autor Ing. Stephen J Chapman, Editoria. Mc Graw Hill.

Medios virtuales:

[2] <http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/descargas/operacion.pdf>.

Autor, Ing. Marco Mesías, Electrosector.

[3] www.ieec.uned.es/Web_docencia/.../Libro%20de%20centrales%202011.pdf.

Autor,

U.N.C