



UNAH-VS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS
EN EL VALLE DE SULA

Sistemas de Excitación de Generadores Síncronos

Introducción

La excitación de los generadores trifásicos se produce mediante corriente continua que recorre el circuito de las bobinas inductoras del rotor, es decir poseen una gran velocidad de respuesta. Por ello, es posible evaluar las cualidades intrínsecas de un sistema de excitación según la rapidez con la cual es capaz de establecer el valor deseado de la tensión. La misión que debe realizar el sistema de excitación puede, por tanto, descomponerse en dos partes:

- Contener la intensidad de corriente retórica en el valor necesario durante la perturbación o el cambio de carga.
- Restablecimiento tan rápido como sea posible del valor prescrito de la tensión en los bornes del generador.

En resumen, mantenimiento de la tensión en el entrehierro y mantenimiento de la tensión en los bornes del alternador, en el presente trabajo se expondrán los sistemas de excitación en los generadores síncronos.

Objetivos

- Identificar los sistemas clásicos de excitación de generadores síncronos (G.S).
- Identificar los sistemas modernos de excitación de generadores síncronos (G.S).
- Comprender el funcionamiento de la excitación en generadores síncronos (G.S).

Generalidades de los Sistemas de Excitación de (G.S)

El sistema de excitación es el que suministra la corriente continua que la máquina síncrona necesita para poder funcionar, ya que su inductor es un devanado de corriente continua. El sistema de excitación no sólo debe proporcionar corriente continua al inductor de la máquina síncrona, sino que también debe ser capaz de regular dicha corriente. En efecto, como se estudiará más adelante, un alternador síncrono necesita de un sistema de control de la corriente de excitación que le permita ajustar la tensión alterna a los valores deseados. Este sistema se denomina regulador automático de la tensión (RAT), que en inglés se convierte en automatic voltage regulator (AVR).

Velocidad de respuesta de las excitatrices

Una máquina de corriente continua como tal excitatriz es preciso por consiguiente, conocer la rapidez con la cual reacciona a un impulso de corriente, la potencia que precisa poner en juego para provocar esta reacción.

La velocidad de respuesta de una excitatriz se expresa en voltios por segundo. De una máquina se dice que es una excitatriz de respuesta rápida cuando siendo su tensión nominal de 200 V, la elevación de tensión es al menos de 600 V/s.

En redes que trabajan en común y en las que se adjudica valor a la estabilidad en el transporte de energía, es necesario que, al producirse cortocircuitos lejanos, la tensión de las centrales que han de trabajar juntas sincrónicamente no baje demasiado durante el tiempo que transcurre hasta la desconexión del cortocircuito, ya que de otro modo desaparecería el sincronismo. Aquí importa tanto la velocidad de respuesta como el tener un exceso de potencia suficiente en la excitatriz.

En caso de cortocircuito, el arrollamiento del inducido provoca un campo opuesto potente, es decir, que la excitatriz tiene que suministrar entonces una potencia más alta que en servicio nominal. Exceso de tensión de un 20 a un 50% de la que corresponde al servicio nominal; techo de la tensión.

Características de funcionamiento de las excitatrices

La tensión de excitación generalmente utilizada, es de 125 V en las centrales de pequeña y mediana potencia y de 250 V en las centrales de gran potencia. Generalmente se utilizan dinamos. Para generadores de pequeña potencia y baja velocidad, potencia de excitación de un 3% de la potencia total del generador.

En generadores de gran potencia y elevada velocidad (por ejemplo, los turbogeneradores) basta con una potencia de excitación equivalente a un 0,5% de la potencia total del generador. En el caso de barras comunes de excitación para varios generadores, la potencia total de excitación debe resultar suficiente para suministrar toda la corriente de excitación, con el equipo de reserva fuera de servicio.

En las excitatrices de respuesta rápida, la tensión máxima que se puede obtener es de unos 320 voltios para 250 voltios de tensión nominal; la velocidad de respuesta es de 400 a 600 voltios por segundo. Las excitatrices construidas para funcionamiento en superexcitación son de tensión nominal más elevada: por ejemplo, 600 V si la tensión de excitación es de 250 V, por lo tanto, su tensión límite de funcionamiento alcanza los 1000 V.

Al hablar de los sistemas de excitación, para conseguir una elevada velocidad de respuesta de una excitatriz, es conveniente el empleo de una excitatriz piloto, que suministre la corriente de excitación a la excitatriz principal. Casi siempre, la excitatriz piloto está directamente acoplada al eje del generador principal aunque, en algunas ocasiones, se disponen con accionamiento por motores eléctricos independientes. La respuesta rápida, la potencia de la excitatriz piloto, es aproximadamente, de 1,5% a 5% de la potencia desarrollada por la excitatriz principal. En caso de superexcitación, la potencia de la excitatriz piloto está comprendida entre 15% y 25% de la potencia de la excitatriz principal.

Sistemas de excitación Clásicos y Modernos

El estudio de la electricidad y sus ramas es un campo muy amplio que cada vez más personas de interesan en ello, por lo tanto es esperarse que se vayan mejorando de manera óptima los sistemas eléctricos, entre ellos, los sistemas de excitación, hoy en día los primeros sistemas de excitación utilizados en generadores síncronos, se les conoce como sistemas de excitación **clásicos**, estos por lo general ya no se utilizan ya que con el pasar de los años se han ido modificando para mejorar su efectividad, los sistemas de excitación actuales en los generadores síncronos se les conoce como sistemas de excitación **modernos**, en el presente trabajo, solo se mencionaran los sistemas de excitación clásicos y se detallaran los sistemas de excitación modernos.

Sistemas Clásicos de Excitación de (G.S)

1. **Sistemas de excitación independiente:** Este sistema era el más empleado antiguamente. En la actualidad no se emplea porque no logra regular la tensión en sus valores bajos; la variación de la tensión no era fina.
2. **Sistemas de excitación propia:** Por medio de una excitatriz auto excitada en derivación, con regulación de la corriente de excitación del alternador, por medio del reóstato de campo de la excitatriz.
3. **Sistemas de excitación por un grupo de excitación:** dicho sistema es el usualmente empleado en los modernos alternadores, entre otras cosas por eliminar el reóstato.
4. **Sistema de excitación por medio de un grupo montado sobre el eje del alternador:** está formado por la excitatriz auto auxiliada y una dinamo elevadora.
5. **Sistema de excitación con tensión auxiliar constante:** Tal como su nombre lo dice, este sistema se caracteriza por mantener la tensión auxiliar constante.
6. **Sistema de excitación mediante grupo excitatriz independiente accionado por un motor eléctrico:** Se emplea mucho, o prácticamente siempre para turboalternadores de muy elevada potencia en los que la velocidad hace muy difícil la construcción de excitatrices con la potencia suficiente. También se ha empleado en centrales hidráulicas para alternadores de baja velocidad.

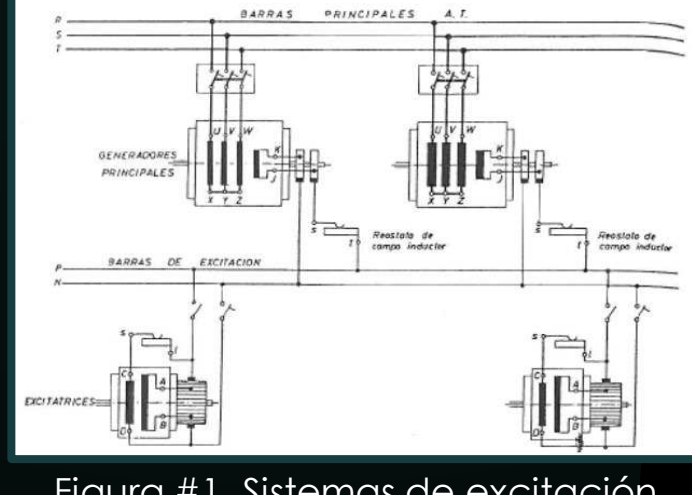


Figura #1. Sistemas de excitación independiente.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

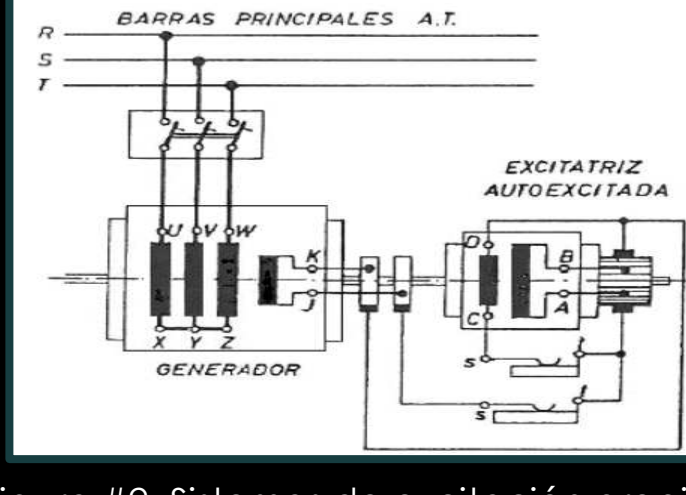


Figura #2. Sistemas de excitación propia.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

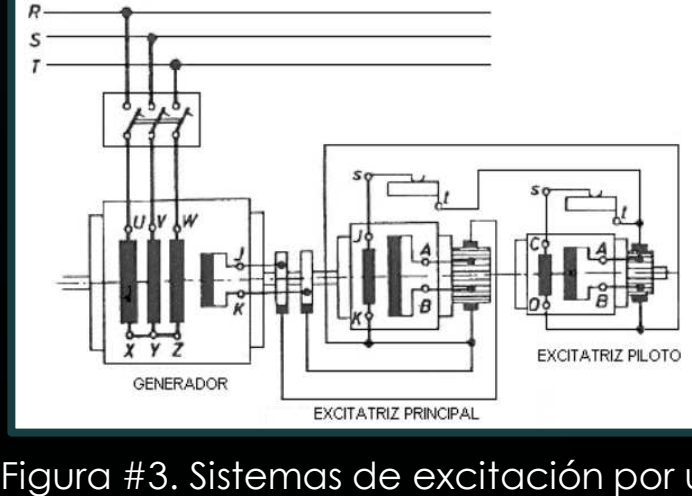


Figura #3. Sistemas de excitación por un grupo de excitación.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

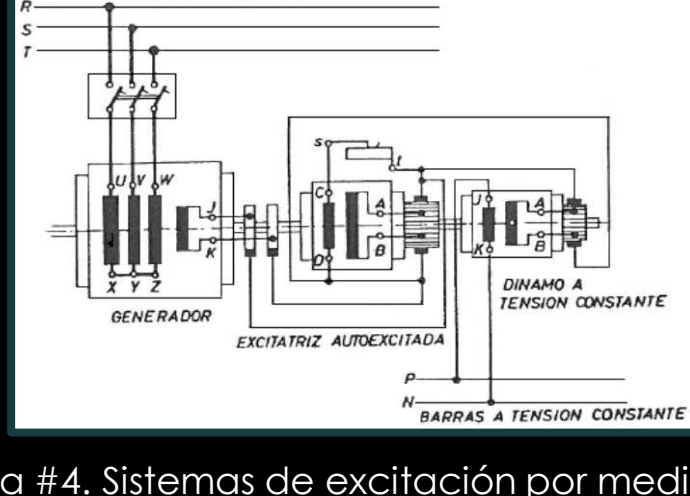


Figura #4. Sistemas de excitación por medio de un grupo montado en el eje del alternador.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

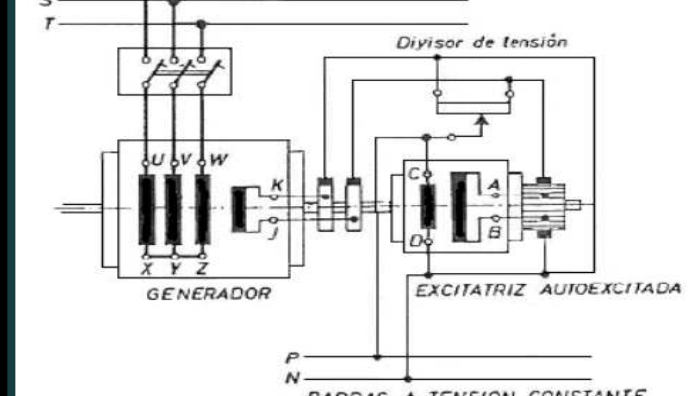


Figura #5. Sistemas de excitación con tensión auxiliar constante.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

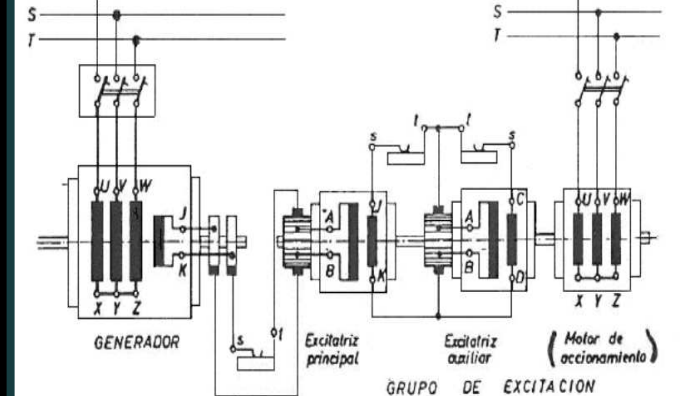


Figura #6. Sistemas de excitación mediante grupo excitatriz independiente accionado por un motor eléctrico.

Fuente: [BLOQUE II.pdf \(unican.es\)](#)

Sistemas Modernos de Excitación de (G.S)

Actualmente los sistemas clásicos de excitación han sido sustituidos por otros sistemas de excitación que utilizan de una manera u otros dispositivos electrónicos varios:

- Diodos.
- Tiristores.
- Amplificadores magnéticos.
- Etc.

Con estos nuevos procedimientos, algunos en periodo de ensayo, se consiguen ventajas importantes, tales como: mayor velocidad de respuesta, menor oscilación en la tensión del alternador, etc. Unas veces emplean excitatrices normales pero cuya tensión está regulada por procedimientos electrónicos, en otras ocasiones, se suprimen el colector y las escobillas, sustituyendo la excitatriz clásica por un conjunto alternador de excitación dispositivo rectificador, a continuación se detallan estos sistemas modernos de excitación en (G.S).

1. Excitación mediante excitatrices de corriente continua

Está representado en la Figura #7. La fuente de corriente continua (c.c.) es una excitatriz; es decir, un generador acoplado al mismo eje que la máquina síncrona y que el motor de accionamiento. En este caso la excitatriz es una máquina de corriente continua de excitación independiente cuyo inductor (alimentado con corriente continua) está en el estator y cuyo inducido está en el rotor y se conecta eléctricamente con el exterior mediante un colector de delgas.

Sucede que esta excitatriz, a su vez, necesita que su inductor esté alimentado con corriente continua por una segunda excitatriz más pequeña. Así pues, tenemos la excitatriz principal y la excitatriz auxiliar o excitatriz piloto (Figura #7), ambas acopladas al mismo eje que la máquina síncrona. La excitatriz piloto es una máquina de corriente continua shunt, es decir, su inductor está conectado en paralelo con su inducido. Por lo tanto, se trata de una máquina auto excitada, ya que su inductor está alimentado por la tensión que se genera en su propio inducido y no necesita de ningún generador externo.

El principal inconveniente de este sistema es que precisa de tres colectores: el colector de anillos de la máquina síncrona y los de delgas de las excitatrices de c.c. Los colectores, especialmente los de delgas, son elementos delicados que son fuente de averías y requieren un mantenimiento cuidadoso que obliga a mantener parada la máquina durante su realización.

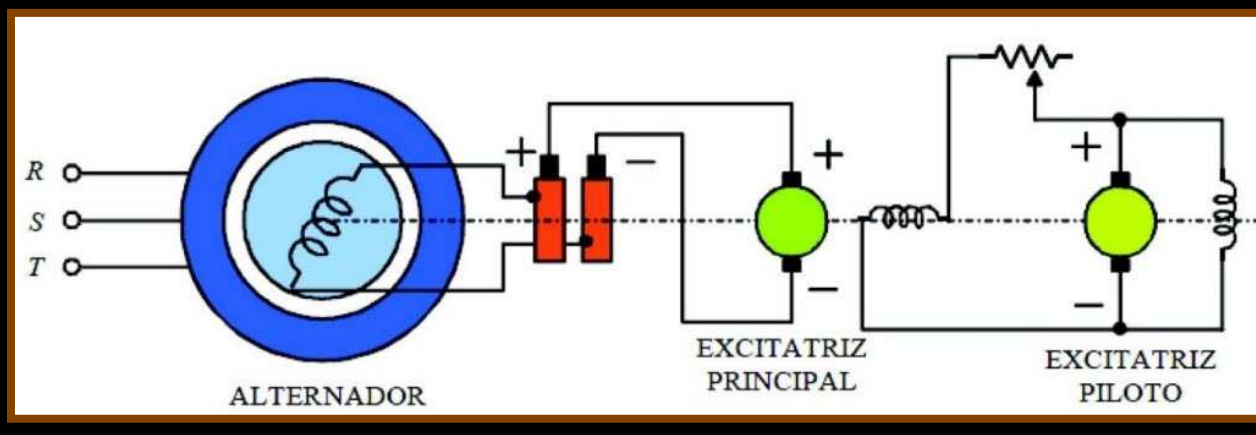


Figura #7. Excitación mediante excitatrices de corriente continua.

Fuente: [Máquinas Eléctricas I \(G862\). Tema 4. Máquinas Síncronas \(unican.es\)](#)

2. Excitación mediante excitatrices de corriente alterna con rectificador

Para evitar los colectores de delgas se pueden utilizar excitatrices de corriente alterna (c.a.) con rectificador (Figura #8). Un rectificador es un elemento electrónico que rectifica una tensión alterna; es decir, la transforma en una tensión continua. El rectificador es no controlado cuando no permite regular la tensión continua que produce y es controlado cuando sí puede controlar electrónicamente el valor de la tensión continua que suministra. Los rectificadores no controlados están fabricados con diodos y los controlados incluyen tiristores o transistores. En este sistema (Figura #8) la excitatriz principal es un alternador síncrono cuyo inducido se conecta a un rectificador de diodos (no controlado) y la excitatriz piloto es una máquina síncrona de imanes permanentes, por lo que carece de colector de anillos cuyo inducido está conectado a un rectificador controlado.

Para regular la corriente de excitación de la máquina síncrona se actúa sobre el rectificador controlado de la excitatriz piloto. Este regula la tensión continua con que se alimenta al inductor de la excitatriz principal; lo que, a su vez, controla la tensión alterna que esta última produce. La tensión continua con que se alimenta el inductor de la máquina síncrona controla su corriente de excitación y es proporcional a la tensión alterna que procede de la excitatriz principal. Por lo tanto, con el rectificador controlado de la excitatriz piloto se consigue un control electrónico de la excitación de la máquina síncrona que presenta varias ventajas respecto al método anterior: mejor rendimiento, ajuste más fino, posibilidad de utilizar un sistema electrónico de control.

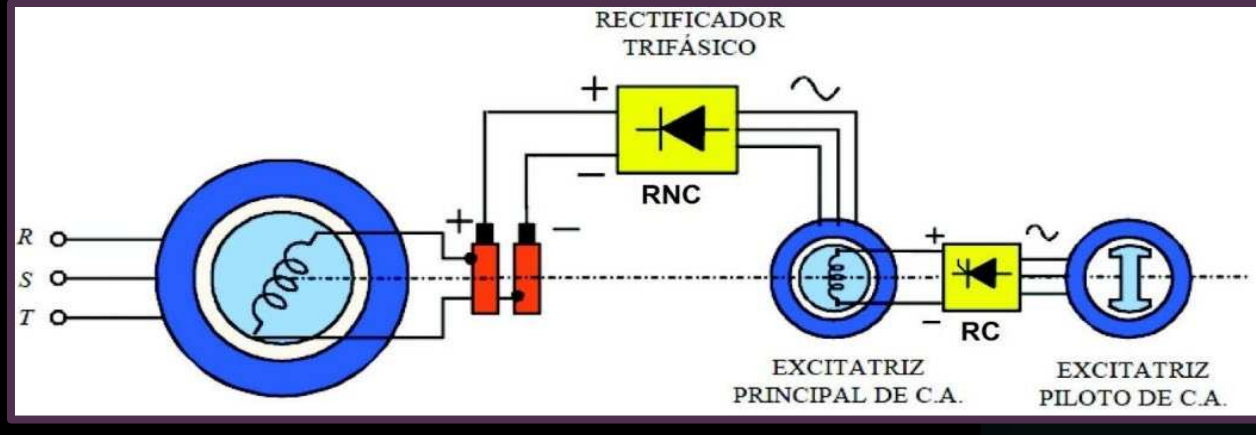


Figura #8. Excitación mediante excitatrices de corriente alterna con rectificador.

Fuente: [Máquinas Eléctricas I \(G862\). Tema 4. Máquinas Síncronas \(unican.es\)](#)

3. Excitación sin escobillas

Este sistema de excitación (Figura #9) proviene del anterior. La diferencia está en la excitatriz principal que ahora tiene una constitución inversa a la habitual, con el inductor en el estator y el inducido en el rotor. El rectificador no controlado de la excitatriz principal se coloca en el rotor y gira con él. Al igual que en el método anterior, el control de la excitación de la máquina síncrona se realiza electrónicamente mediante el rectificador controlado de la excitatriz piloto.

La excitatriz piloto es de imanes permanentes y carece de colector. Su inducido está en el estator donde también está su rectificador controlado que alimenta al inductor de la excitatriz principal, que está en su estator. Por lo tanto, hasta ahora no ha hecho falta ningún colector, pues todos estos elementos -inducido de la excitatriz piloto, su rectificador controlado e inductor de la excitatriz principal- están situados en elementos fijos, sin movimiento. El inducido de la excitatriz principal está en el rotor, donde también está su rectificador no controlado. Luego, la conexión eléctrica entre los dos no precisa de colectores, ya que ambos elementos giran con el rotor y no hay movimiento relativo entre ellos. Finalmente, la tensión continua producida por el rectificador no controlado se suministra al inductor de la máquina síncrona que está ubicado en su rotor. Por lo tanto, la conexión eléctrica entre estos dos elementos que giran conjuntamente -rectificador no controlado e inductor de la máquina síncrona- tampoco precisa de ningún colector. Se tiene, pues, un sistema de excitación "sin escobillas" (brushless en inglés), es decir, sin ningún colector.

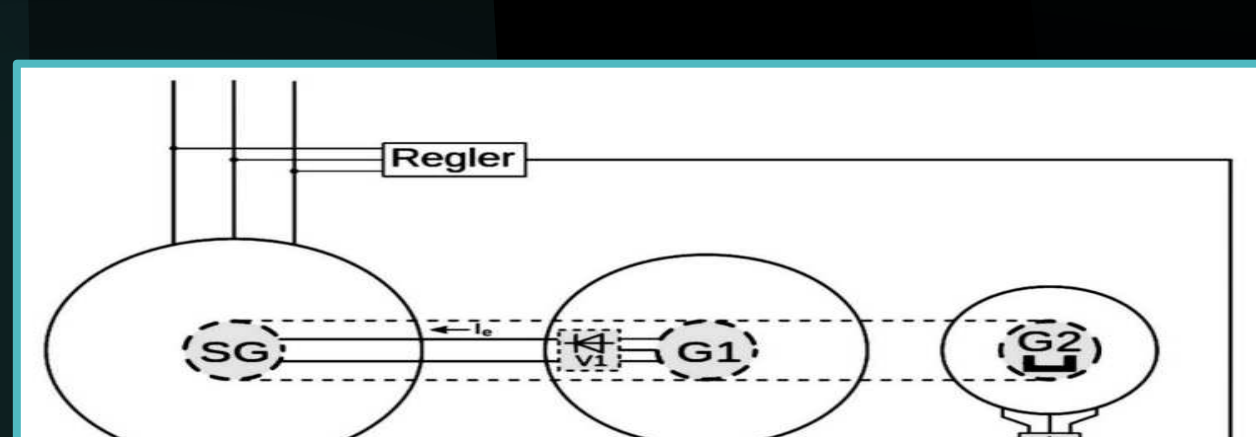


Figura #9. Excitación sin escobillas.

Fuente: [Máquinas Eléctricas I \(G862\). Tema 4. Máquinas Síncronas \(unican.es\)](#)

4. Excitación sin escobillas con autoexcitación indirecta

Este sistema (Figura #10) se puede considerar una modificación del anterior. Sigue utilizando una excitatriz con el inductor en el estator y el inducido en el rotor, donde también está el rectificador no controlado. Esta es la única excitatriz, ya que se suprime la excitatriz piloto de imanes permanentes.

En este sistema el inductor de la excitatriz se alimenta a partir de la tensión alterna que genera la máquina síncrona. Esta tensión alterna se reduce mediante un transformador y se convierte en continua mediante un rectificador controlado, el cual permite, en última instancia, controlar la corriente de excitación de la máquina síncrona. En este sistema tampoco se utilizan colectores de ningún tipo, es un sistema "sin escobillas".

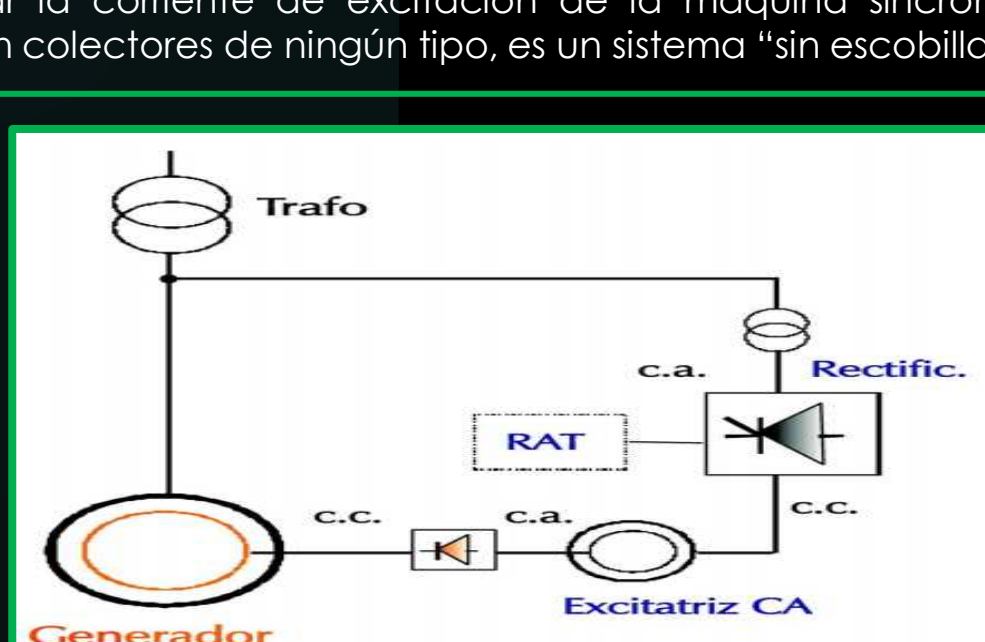


Figura #10. Excitación sin escobillas con autoexcitación indirecta.

Fuente: [Máquinas Eléctricas I \(G862\). Tema 4. Máquinas Síncronas \(unican.es\)](#)

5. Autoexcitación directa

En este sistema (Figura #11a) no se utilizan excitatrices. La tensión de excitación de la máquina síncrona se obtiene directamente de la tensión alterna que su inducido genera. Esta tensión alterna se reduce mediante un transformador y se convierte en tensión continua mediante un rectificador controlado, el cual permite regular la corriente de excitación de la máquina síncrona. Este es un sistema que presenta una respuesta muy rápida, aunque vuelve a requerir que la máquina síncrona tenga un colector de dos anillos.

En los sistemas con autoexcitación, ya sea directa (Figura #11a) o indirecta (Figura #10), es preciso disponer de un sistema de apoyo (baterías) para alimentar al devanado inductor durante el arranque, cuando el alternador aún no ha empezado a producir tensión alterna. Otro problema de estos sistemas con autoexcitación es que un cortocircuito en las inmediaciones de la máquina síncrona provoca una reducción importante en la tensión alterna en bornes de su inducido y, en consecuencia, en el sistema de excitación. Para prevenir lo que se hace es añadir un circuito de compensación que actúe en función de la corriente del inducido. El sistema de compensación no aparece representado en los esquemas de la Figura #10 y de la Figura #11a, pero en la Figura #11b se ha representado un sistema con autoexcitación indirecta que sí lo incluye.

Esta compensación se puede implementar empleando como transformador de excitación uno especial denominado transformador de compoundaje. Este transformador tiene dos devanados primarios, uno de tensión y otro de corriente, que se conectan respectivamente en paralelo y en serie con el inducido

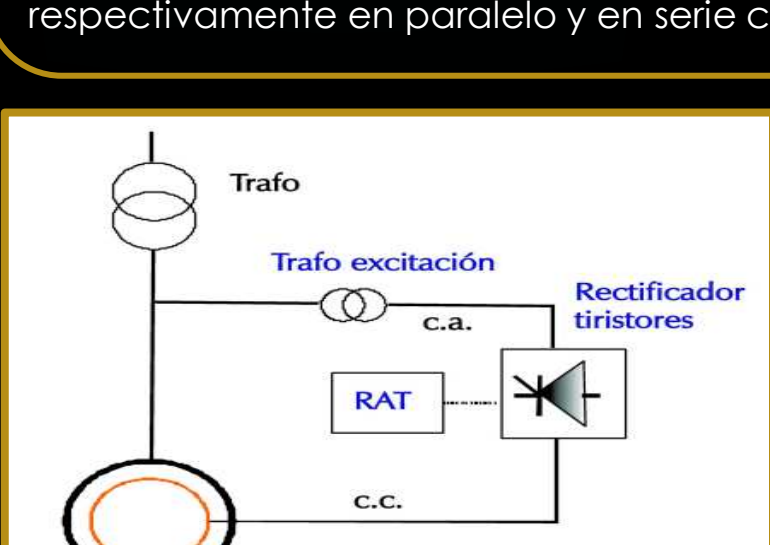


Figura #11a. Autoexcitación directa.

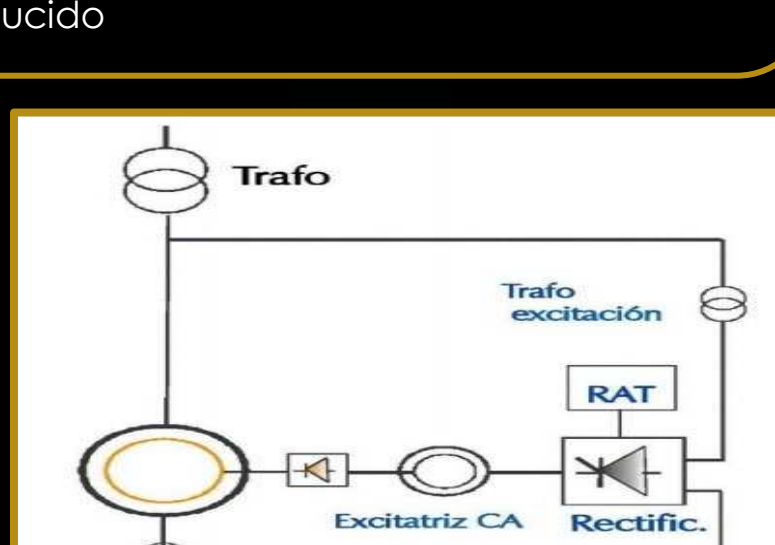


Figura #11b. Excitación sin escobillas con autoexcitación indirecta y compensación.

Fuente: [Máquinas Eléctricas I \(G862\). Tema 4. Máquinas Síncronas \(unican.es\)](#)

Conclusiones

- La excitatriz de un generador eléctrico síncrono de corriente alterna sirve, básicamente, para alimentar de corriente continua el rotor del generador, y convertir éste en un electroimán.
- Conforme se estudian las maquinas síncronas, se van descubriendo nuevas formas de excitación mas eficientes que las usadas en ese momento, el estudio de las maquinas síncronas es muy importante para la comprensión eléctrica de un ingeniero electricista.
- Para excitar el devanado de campo del rotor de la máquina síncrona, se requiere corriente continua. La corriente continua se suministra al campo del rotor de la máquina pequeña mediante un generador de CC llamado Excitante.

Bibliografía

Chapman S. (2012). Maquinas Eléctricas (Quinta edición). Mc Graw Hill. México

Rodríguez M. (2015). Máquinas Síncronas. Recuperado el 30 de mayo de 2021 de:

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/136/course/section/64/tema_04.pdf

Fernández D. Nobles A. (2007). El Generador Síncrono. Recuperado el 30 de mayo de 2021 de:

<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1160/course/section/1407/bloque-energia-II.pdf>