

**SECRETARIA DE EDUCACIÓN PUBLICA
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS.

RESIDENCIA PROFESIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO:

**PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DE POTENCIA EN EL
REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSION DE LAS UNIDADES GENERADORAS DE
LA C. H. BELISARIO DOMÍNGUEZ.**

PRESENTA:

CRUZ GÓMEZ GERARDO DE JESÚS

13270977

ASESOR INTERNO:

ING. JULIO ENRIQUE MEGCHUN VÁZQUEZ

ASESOR EXTERNO:

ARTEMIO DE JESÚS MARTÍNEZ VÁZQUEZ

Índice

1. Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Estado del Arte	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivo	6
1.5 Metodología.....	6
2. Fundamentos teórico.....	7
2.1 sistema de excitación.....	7
2.2 AVR (regulador de voltaje automático).....	12
2.3 Disturbios	16
3. Desarrollo.....	23
3.1 mantenimiento del AVR.....	23
3.2 Descripción de los programas realizados y verificación.....	28
3.3 Pruebas y simulaciones del AVR.....	29
4. Resultados y Conclusiones.....	29
4.1 Resultados.....	29
4.2 Conclusiones.....	31

Puesta en servicio del sistema de estabilización de potencia en el regulador automático de tensión de las unidades generadoras de la C. H. Belisario Domínguez.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En la actualidad los sistemas eléctricos interconectados son sistemas muy grandes, no lineales, con muchos modos de oscilación poco amortiguados, si el amortiguamiento de estos modos son pequeños o negativo, las oscilaciones resultantes producidas por una perturbación pueden llevar a la pérdida del sincronismo de los generadores ocasionando un mal funcionamiento del sistema y posiblemente un apagón. Las oscilaciones demasiado grandes provocan que las tensiones sobrepasen los límites establecidos. Los sensores detectan estas fallas y envían señales de alarma a control y protecciones para que estos actúen. Al salir de operación elementos del sistema, la red se debilita apareciendo problemas de sobrecarga, bajas tensiones, e inestabilidad de tensión.

El sistema está continuamente sujeto a perturbaciones de pequeña magnitud como cambios de carga y generación provocando desequilibrios que causan oscilaciones en el ángulo del rotor de las máquinas síncronas. Por esta razón, estas oscilaciones deben ser amortiguadas ya sea por los elementos de control del sistema, o de alguna otra manera como una actuación directa sobre los parámetros del sistema, con el fin de evitar la pérdida de sincronismo de las máquinas que podría conducir a inestabilidad transitoria.

Las perturbaciones inherentes en los sistemas eléctricos provocan desequilibrios entre el par mecánico y electromecánico de las máquinas, que se manifiestan en forma de crecientes oscilaciones angulares de algunos generadores que pueden llevar a la pérdida del sincronismo. El cambio es el par electromecánico de una máquina síncrona después de una perturbación está compuesto por un componente sincronizante del par, en fase con las desviación del ángulo del rotor, y un componente amortiguante del par en fase con la desviación de la velocidad.

Producidas por perturbaciones en la red o por la operación cerca de los límites de estabilidad de las redes, las oscilaciones de potencia activa entre el generador y la red intercambian energía. Estas oscilaciones electromecánicas del rotor pueden ser amortiguadas por la influencia convenientemente modulada sobre la corriente de excitación. En estas oscilaciones de potencia deben distinguirse diferencias entre:

- Oscilaciones locales entre un generador y los restantes generadores de una Central, con frecuencias típicas de oscilación entre 0,8... 2,0 Hz

- Oscilaciones entre Centrales vecinas, con frecuencias típicas de oscilación entre 1,0... 2,0 Hz.
- Oscilaciones entre diferentes regiones de una red, cada una integrada por varios generadores, con frecuencias típicas de oscilación entre 0,2... 0,8 Hz
- Oscilaciones globales, caracterizadas por oscilaciones colectivas de igual fase de todos los generadores de una red interconectada, con frecuencias típicas de oscilación por debajo de 0,2 Hz

1.2. Estado de arte

Compensadores adelanto-retraso de fase. Los primeros trabajos en el campo de los estabilizadores de potencia se efectuaron en las centrales hidráulicas de Ontario Hydro (Toronto, Canadá) en 1973 [Watson y Manchur, 1973]. Los sistemas de excitación que poseían estas unidades de generación estaban basados en rectificadores giratorios con una ganancia elevada, la cual daba lugar a una disminución del amortiguamiento de los generadores ante pequeñas perturbaciones de la red, que provocaban la pérdida de sincronismo de éstos y su posterior desconexión. Este hecho motivó el desarrollo de los primeros estabilizadores de potencia los cuales se diseñaban mediante técnicas clásicas de control que posteriormente eran modificados en campo aplicando una metodología de prueba y error.

El primer trabajo con estabilizadores de potencia basados en la teoría de control óptimo Cuadrático se presenta en los años setenta en la referencia [Yao-nan et al., 1970], donde la señal de entrada empleada en el estabilizador es la variación de velocidad del rotor. El procedimiento para el diseño del estabilizador se inicia mediante una representación en espacio de estados del generador conectado al nudo de potencia infinita a través de una impedancia, cuya expresión general es $\dot{x} = A x + B u$, donde x es el vector de variables de estado, u el vector de control, A la matriz de estado o de planta y B la matriz de control. El problema de control óptimo consiste en determinar la matriz P del vector de control óptimo $u = -P^{-1} x$, de forma que minimice el índice de desempeño cuadrático

En [Yu y Siggers, 1971] se presentan como novedades el diseño de un estabilizador de potencia que emplea como señal de entrada la potencia de aceleración y un método de cálculo para la estimación inicial de la matriz K . Dicho método empieza con la selección de un coeficiente de amortiguamiento artificial de elevado valor, $KD = 10$, lo cual provoca que la matriz de estado A , se modifique con respecto a su valor original.

Sistemas adaptativos con modelo de referencia (MRAS). Una primera generación de sistemas adaptativos que llegó a ser muy popular dentro de la comunidad investigadora fueron los sistemas adaptativos con modelo de referencia (MRAS). El estado del arte de los MRAS, previamente introducido al control predictivo, se presentó en un famoso estudio en 1974 [Landau, 1974].

Los primeros trabajos sobre estabilización de sistemas eléctricos de potencia mediante el empleo de los MRAS, se presentaron en las referencias [Masiello y Schweppe, 1975][Bollinger y Lalonde, 1977] [Bollinger et al., 1982]. En estos trabajos se emplea un

esquema 98 Capítulo 4 Estado del Arte en el Diseño de Estabilizadores de Sistemas de Potencia adaptativo indirecto, donde la identificación del modelo ajustable es efectuado por el mecanismo de adaptación a través del método de los mínimos cuadrados recurrentes. Partiendo de que el sistema de potencia es caracterizado mediante una representación en espacio de estados, el modelo identificado representa una estimación de la matriz de estado A , a partir de la cual se diseña el estabilizador de potencia aplicando la teoría de control óptimo.

En [Idowu y Ghandakly, 1989] y [Menniti et al., 2000] se presenta el diseño de un estabilizador de potencia coordinado para sistemas multimáquina basado en un MRAS cuyo esquema es del tipo adaptativo directo. El modelo de referencia es una representación en espacio de estados de un sistema eléctrico formado por cuatro nudos, donde uno de ellos es un nudo de potencia infinita, y tres generadores, definido cada uno de ellos por un sistema de seis ecuaciones.

El primer intento de diseño de un regulador autoajutable fue presentado en [Kalman, 1958], donde el algoritmo propuesto combinaba la estimación mediante el método de los mínimos cuadrados con una ley de control que dependía de la aplicación que se considerase.

Los primeros trabajos de diseño de un PSS utilizando algoritmos genéticos fueron [Asgharian y Tavakoli, 1996] [Abdel-Magid et al., 1997]. En estas referencias se propone ajustar un PSS robusto de forma que los parámetros del mismo aseguren la estabilidad del sistema en un amplio margen de operación.

En [Gu y Bollinger, 1989] se presenta el diseño de dos estabilizadores de potencia basados en un STR de mínima varianza, el primero emplea como señal de entrada la variación de velocidad del rotor y el segundo usa la variación de la potencia eléctrica en terminales del generador. El algoritmo de identificación empleados en ambos diseños es el método de los mínimos cuadrados recursivos con factor de olvido. Los resultados obtenidos son considerando un generador conectado a un nudo de potencia infinita al cual se le aplican variaciones abruptas del par mecánico en un rango que va desde 0;05 p.u. hasta 0;2 p.u..

1.3. Justificación

El estabilizador de sistemas de potencia (PSS) tiene como función la introducción de un amortiguamiento adicional cuyo objetivo es la mitigación de los modos inestables que aparecen en los sistemas eléctricos de potencia, los cuales se presentan como oscilaciones mantenidas o crecientes de baja frecuencia en el ángulo del rotor, a pesar de la actuación del regulador automático de tensión (AVR).

La función básica de un estabilizador de sistemas de potencia es añadir amortiguamiento a las oscilaciones del rotor mediante el control de su sistema de excitación, empleando para

ello señales de estabilización auxiliares. Estas oscilaciones de baja frecuencia poco amortiguadas aparecen debido la insuficiencia de par de amortiguamiento. Este tipo de inestabilidad se caracteriza por oscilaciones en el rango de 0.2 a 3 hz, que pueden mantenerse o incluso crecer con el tiempo.

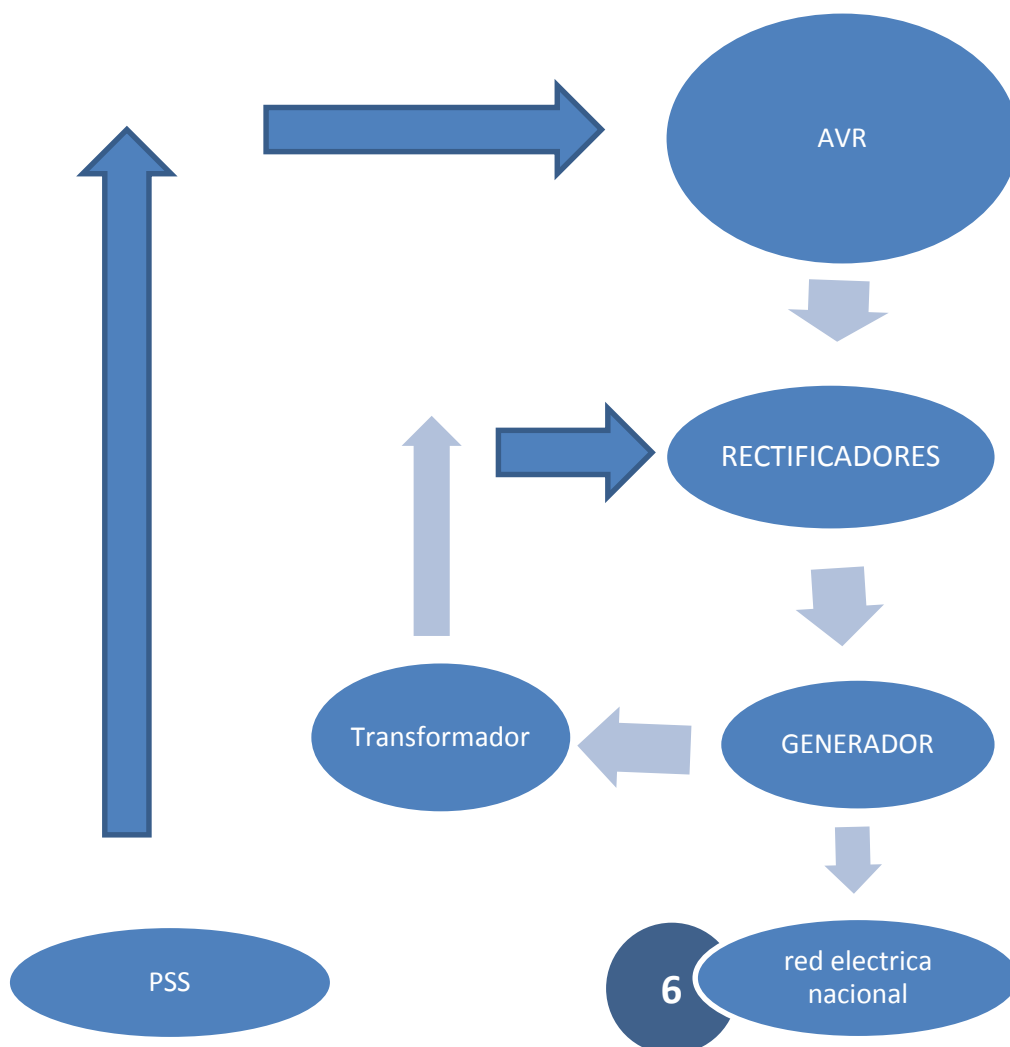
Para proveer amortiguamiento, el estabilizador debe producir una componente de par eléctrico en fase con las variaciones de velocidad del rotor, de esta forma se introduce una componente de par de amortiguamiento que atenúa las oscilaciones. Para ello, el PSS genera una tensión de salida adicional, vs, a partir de una señal de entrada que, generalmente es la velocidad de giro del rotor, aunque hay esquemas en donde se propone el empleo de la frecuencia de salida, la potencia eléctrica generada o una combinación de ambas.

1.4 .Objetivos

Estabilizar el sistema eléctrico de potencia ante perturbaciones, que se presentan como oscilaciones por diferentes disturbios y proteger los equipos en operación.

1.5. Metodología

a) Diagrama a bloques del hardware



AVR.- regulador automático de voltaje, es el cerebro del sistema de excitación que se encarga de controlar y regular la tensión que obtiene del generador hasta llegar su valor nominal **banco de batería.-** es la energía principal o excitación inicial/forzada que le proporciona al generador pasando por el AVR.

Generador.- es la maquina síncrona se encarga de generar corriente alterna, con ayuda de la corriente de campo que le proporciona el banco de batería, donde un aproximado del 5% del voltaje nominal empieza auto excitarse posteriormente rebasando el 10% abre la excitación forzada. **Transformador de excitación.-** aumenta la tensión generada por la maquina síncrona para que esta llegue a su voltaje nominal **Rectificadores.-** rectifica la corriente alterna en corriente continua del ciclo de la auto excitación del generador hasta que este obtenga el voltaje nominal.

Red Eléctrica Nacional.- Es la red interconectada a las líneas de tensión que proporciona energía eléctrica en toda la nación **PSS.-** sistemas de estabilización de potencia, se encarga de monitorear y detectar alguna perturbación en la red eléctrica que se manifiesta con oscilaciones, donde el PSS actúa en conjunto con el regulador automático de voltaje (AVR) para estabilizar la potencia afectada.

b) Diagrama a bloque del software

2.Fundamento teórico

2.1 Sistema de excitación



Es un sistema de control retroalimentado que proporciona al campo del generador la corriente necesaria para mantener la tensión del generador (V_g), en un valor previamente fijado por una señal de referencia de tensión de generador o de corriente de campo, además protege al generador y transformador de máquina de operar en condiciones que estén fuera de sus curvas de operación.

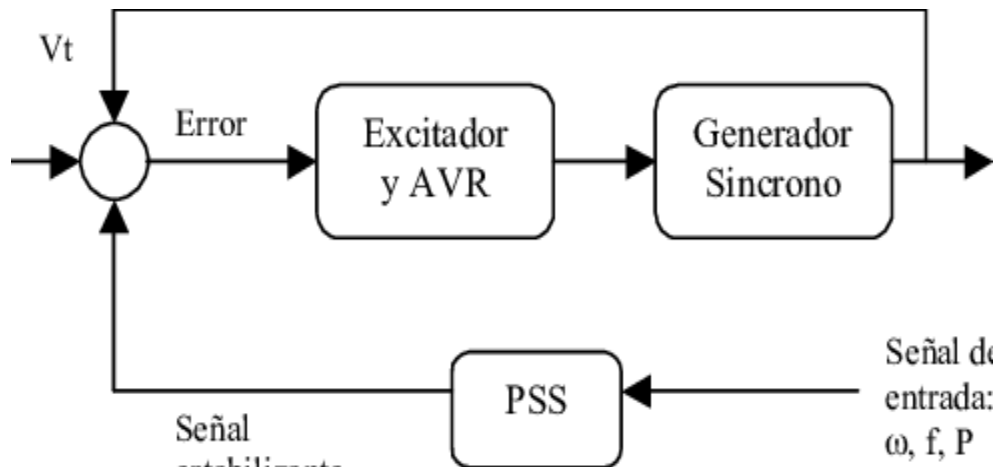


Fig. 2.1 sistema de excitación

el sistema de excitación se debe diseñar y proteger contra interferencias eléctricas transitorias de alta frecuencia provocadas por el alambrado CD, CA y contactos de alarma que se tenga en el equipo, así como la radiación de señales de radiofrecuencia con amplitudes de 2.5 kV y frecuencias comprendidas entre 50 y 2000 khz y duración de 4 segundos.

Para la operación de un generador síncrono se requiere un campo magnético del rotor, el cual es producido por corriente continua que fluye por el bobinado del rotor. Esta corriente continua es proporcionada por el equipo de excitación.

Existen distintos tipos de excitación, utilizando maquinas rotativas o elementos estáticos. Un sistema estático de excitación está conectado a la fuente de alimentación por medio de un transformador. Cuando esta fuente es el mismo estator del generador, se habla "excitación en derivación". Si el transformador es alimentado por una fuente externa (p.e.. un generador piloto montado en el eje del rotor o una la red de servicios auxiliares a la plana), se habla "excitación externa" el voltaje obtenido del transformador es rectificado, regulado y llevado directamente al campo a través de los anillos conectores.

Otra posibilidad es el uso de una maquina excitatriz. Esta puede ser una excitatriz de C.A. sin escobillas y con diodos rotantes o, sobre todo en centrales más antiguas una excitatriz de C.D. la excitatriz funciona como amplificador de su propia corriente de campo. Los rectificadores rotantes se encuentran montados en el eje común del generador y de la excitatriz, y produce la corriente directa necesaria para el rotor. La regulación del campo de la excitatriz es realizada con un regulador de voltaje con una unidad de tiristores totalmente controlada

La excitación efectúa:

- Generación y regulación de voltaje del generador en vacío y operación aislada.

- Generación y regulación de potencia reactiva en la operación en paralelo con la red o con otros generadores. Siendo que la potencia del generador es relativamente pequeña en relación con la red, en voltaje es mantenido principalmente por la red misma

Principales características de los sistemas de excitación

- Excitación totalmente estática para maquinas síncronas con anillos deslizantes.
- Alimentación de potencia a través del transformador de excitación o desde un generador piloto
- Hasta 6400 A de corriente nominal (corriente de excitación máxima continua)
- Sistema completamente digital es decir: control basado en microprocesadores reguladores basados en microprocesadores, con procesamiento de los valores medido en los transformadores de corriente y de potencial en el tiempo real, así como control de compuerta digital.
- Gama de frecuencias de 10Hz a 440Hz
- Excitación manual como regulador de corriente del rotor
- Seguimiento y transferencias automáticas
- Limitadores y funciones adicionales del regulador

En la configuración redundante del sistema de excitación cuenta con dos puentes rectificadores y dos reguladores automáticos de voltaje, cada uno con canal automático/manual con tecnología digital. Gracias a los puentes de tiristores totalmente controlados es posible aplicar voltajes tanto positivos como negativos al campo.

El sistema de excitación se debe proporcionar en gabinetes y todos sus componentes y materiales deben ser retardadores de fuego. Además todas sus partes deben estar diseñadas para operación continua y en forma adecuada en las condiciones de diseño indicada.

Fuentes internas: Los equipos de CA y CD proporcionados deben operar correctamente y sin deterioro en la vida normal de los mismos entre los límites máximo y mínimo indicados en la tabla. Los equipos de CA deben cumplir con las tensiones de utilización correspondientes al intervalo B de la norma ANSI C84.1.

Tabla 1 Límites máximo y mínimo de tensión y variación de frecuencia

Alimentación	480 VCA	127 VCA	250VCD	125 VCD
Tensión máxima	508	132	280	140
Tensión mínima		96	200	100
Tensión mínima cuando se tienen cargas de alumbrado	424			
Tensión mínima cuando no se tienen cargas de alumbrado	416			
Variación de frecuencia en %	+5	+5		

Fig. 2.2 Tabla 2 Limites máximo y mínimo de tensión y variación de frecuencia

Las tensiones en corriente directa a partir de la alimentación en corriente alterna de la comisión, deben obtenerse mediante rectificación directa.

Debe contar con fuentes de alimentación redundantes, que de manera independiente cada una de ellas, tengan la capacidad de proporcionar toda la potencia necesaria para la operación correcta a cada UCE, sin menoscabo de ninguna de sus funciones, una de las fuentes debe contar con alimentación primaria para 250 volts de corriente directa y la otra con alimentación primaria de 220 volts de corriente alterna, cada una de ellas deberá tener la capacidad de alimentar toda la carga asociada a su controlador correspondiente.

La alimentación secundaria de 220 volts de corriente alterna deberá ser tomada del secundario del transformador de excitación, el suministro debe incluir los transformadores reductores necesarios.

Unidad de control de excitación UCE. La UCE debe ser redundante y de tipo estático con tecnología digital basado en microprocesador, ante falla de la UCE principal deberá realizar en forma automática y sin perturbar el proceso a la UCE redundante.

La UCE debe tener la capacidad de comunicarse con el equipo de automatización de la unidad a través de la red del bus de campo, mediante el protocolo de comunicaciones modbus RTU y debe tener un puerto disponible para ello, la configuración y la puesta en servicio.

La UCE debe dos canales de operación, canal automático y canal manual con la capacidad de excitar y desexcitar el generador, que deben cubrir el intervalo que comprende la curva de capacidad del generador y contar con los dispositivos que permitan la transferencia en forma local y remota del canal automático al canal manual y viceversa.

Funciones requeridas de la UCE. Las funciones de la UCE deben operar sobre una plataforma con tecnología digital, desde la medición de señales de retroalimentación hasta la salida de la señal de control para pulsos de disparo de los tiristores y debe contar con las siguientes funciones;

- regulador de tensión del generador (canal automático)
- regulador de corriente de campo (canal manual)
- limitadores de corriente de excitación temporal e instantánea.
- Compensador de reactivo
- Protección sobre voltaje y sobre corriente de campo.

- Interfaces de salidas digitales para monitoreo y automatización
- Puertos de comunicación: -Dos puertos RS232 -Un puerto Ethernet 100 MB como mínimo.
- Generador y amplificador de pulsos
- Control lógico secuencial
- Seguidor automático-manual y manual-automático
- Seguidor UCE en servicio - UCE redundante
- PSS (estabilizador de sistema de potencia)
- MEL (limitador de mínima excitación)
- V/HZ (limitador volts/Hz)
- OEL (limitador de máxima excitación)
- IHM (interfaz humano maquina). Para configuración completa de parámetros y lógica.

Convertidores de tiristores. Los convertidores de potencia son trifásicos de onda completa, completamente intercambiables.

La configuración redundante está formada por dos puentes de tiristores totalmente controlados de seis impulsos cada uno, que puede aplicar tenciones máximas positivas y negativas solicitadas en esta licitación al rotor “modo de dos cuadrantes” los cual permite altas velocidades de regulación.

Equipo de desexcitacion. Como elemento de seguridad, el equipo de desexcitacion es una unidad independiente de los convertidores de potencia y del regulador. Como interruptor de campo (41G) se utiliza un contactor de C.D. con enclavamiento mecánico con dos contactos principales y un contacto de descarga, con dos bobinas de aperturas independientes. En caso de desexcitacion, este conecta el rotor a la resistencia de carga de característica no lineal sin interrupción del circuito rotorico.

Limitador de sobrevoltaje de C.A. y protección de sobrevoltaje de C.A. Los picos de voltaje en la barra de c.a. son absorbidos por un circuito amortiguador R.C. Los sobre voltajes en la barra de c.a. están limitadas por un dispositivo de sobretencion de selenio.

Excitación inicial en operación. El arranque de un generador síncrono en derivación generalmente solo se puede asegurar con medidas adicionales, ya que el voltaje remanente no será suficiente y por lo tanto no se dispondrá de la suficiente energía.

La energía es tomada del banco de baterías, mediante el cierre del contactor de excitación forzada. El puente rectificador inicia su operación aproximadamente al 5% del voltaje nominal del generador e incrementa el voltaje hasta su valor nominal. El contactor de excitación forzada se abre cuando la corriente en el bus de CA excede el 10% de la corriente de excitación en vacío.



Fig. 2.3 banco de baterías

Energía requerida para la excitación inicial debe de ser proporcionada por el banco de batería de la central (250 VCD) y conducida a través de diodos, resistencia de limitación y contactor hasta el rotor. Como alternativa, esta energía también puede ser tomada de la red de servicios auxiliares de la central y conducida por medio de un transformador de adaptación, un puente de diodos y un contactor al rotor.

Al encenderse la excitación, el contactor se cierra y se vuelve abrir tan pronto la corriente de excitación alcance un valor definido. A partir de entonces la unidad de tiristores egul la corriente a su valor de consigna.

2.2 AVR (regulador de voltaje automático)

El AVR básicamente monitorea el voltaje de entrada y el voltaje de salida siendo este funcionamiento autoregurable. Además, tiene como principal función asegurar que el voltaje que se genere sea constante, sin problemas y pueda ser estable de acuerdo a los límites especificados a pesar que las condiciones de carga vayan cambiando.

Los AVR pueden funcionar tanto de manera manual como automática y cuentan con un control que busca el correcto funcionamiento del generador que busca siempre estar dentro de los límites de voltaje que requiera. Estos reguladores tienen la capacidad de estabilizar el voltaje cuando exista un cambio en la demanda de electricidad.



Fig. 2.4 regulador de voltaje automático (AVR)

El sistema de excitación está basado en un diseño probado y casi libre de mantenimiento, se caracteriza por el uso de rectificadores de tiristores como elemento de potencia y de un regulador automático de voltaje digital (AVR) con secuenciador integrado tipo GMR3, la energía de excitación es tomada de terminales y del generador y alimentada al campo mediante un transformador y el rectificador de tiristores.

El cubículo de excitación contiene los circuitos de potencia (excepto el transformador de excitación), el regulador automático de voltaje y el secuenciador completo, el cual es necesario para el control de los componentes individuales.

El sistema también incluye un panel para la operación local con indicación de alarmas, el cual habilita la operación local y la rápida identificación de problemas en caso de falla del sistema de excitación.

El lado de alta de un transformador de excitación se conecta a las terminales del generador y el lado de baja del transformador de excitación alimenta el bus de CA del sistema de excitación, los tres puentes rectificadores de tiristores se conectan a este bus (cada uno está montado en un cubículo) y las salidas de los rectificadores se conectan al bus de CD.

La corriente de excitación se toma del bus de CD y se alimenta al campo mediante el interruptor de campo y el enlace de cambio de polaridad.

Al bus de CA se conecta lo siguiente:

- Transformador de excitación
- Protección de sobrevoltaje de CA
- Circuito de amortiguamiento de transitorio de CA
- Transformadores de protección y sensado de la corriente de excitación
- Alimentador del regulador y del control de compuerta
- Alimentador de los ventiladores
- Rectificador de tiristores

Al bus de CD se conecta lo siguientes:

- Equipo de excitación forzada
- Protección de sobrevoltaje de CD
- Sensado de voltaje y corriente de campo
- Rectificador de tiristores
- Interruptor de campo
- Resistencia de descarga
- Enlace de cambio de polaridad
- Filtro de flecha del generador

Alimentación, la energía de excitación es tomada de terminales del generador mediante una transformador trifásico (conexión en derivación). El devanado secundario del transformador de excitación alimenta el bus de CA del sistema de excitación, a este bus se conecta en paralelo los tres puentes rectificadores de tiristores totalmente controlados, uno de ellos redundante.

Las salidas de los rectificadores se conectan al bus de CD. Desde el bus de CD se alimenta el rotor mediante el interruptor de campo y el enlace de cambio de polaridad (asegurando un desgaste parejo de las escobillas).

Mediante este sistema de excitación con puentes de tiristores totalmente controlados, se logra alimentar voltaje positivo y negativo del rotor.

Regulador de voltaje. El regulador y la unidad de control de compuerta GMR3, es un regulador de voltaje multiprocesado con amplio rango de frecuencia para maquinas síncronas monofásicas o trifásicas. Este incluye un regulador de voltaje completo con limitadores y reguladores adicionales, el circuito de disparo para operación monofásica o trifásica y el control lógico necesario para la adecuada operación del sistema de excitación.

El sistema tiene un diseño modular que puede ser expandido, su diseño básico consiste de 4 procesadores, entradas y salidas digitales y analógicas, una tarjeta procesadora para

convertir los parámetros eléctricos de la máquina y la pre amplificación de los pulsos de disparo.

Por consideraciones de seguridad la fuente de alimentación esta respaldada, durante operación normal el regulador es alimentado desde el bus de tiristores. La segunda fuente de alimentación se conecta al banco de baterías, esta se requiere durante el procedimiento de arranque y paro de la excitación.

El regulador de voltaje consiste en dos lazos de control en conexión maestro-esclavo. El maestro es el regulador de voltaje que controla el voltaje del generador dependiendo del ajuste del canal automático, tiene una características PI(D) con un integrador interno en la retroalimentación. El esclavo es un regulador de corriente del rotor con una característica P(I). La estructura de doble lazo permite lograr una alta velocidad de control y estabilidad en todos los modos de operación.

Las señales de voltaje y corriente son aisladas y acondicionadas para que sean utilizadas por los subprocesadores.

El programa incluye el sistema operativo, el programa del regulador, los ajustes de los parámetros para la tarjeta procesadora principal (MRB) y los diferentes subprogramas utilizados por las tarjetas subprocesadoras (PGS). Todos los programas se almacenan en EPROM's, mientras que los parámetros ajustables se almacenan en EEPROM'S para que puedan ser modificados en caso que sea necesario.

El sistema operativo proporciona la conversación de las entradas y salidas, coordina la secuencia del programa del regulador, el intercambio de datos de los subprocesadores y habilita la comunicación con el regulador mediante la interface serie.

Las principales características del sistema son:

- Regulador del voltaje (maestro, operación automática) a un valor ajustable de voltaje, usando un lazo de corriente del rotor
- Regulación de corriente del rotor como operación manual
- Transferencia automática o manual suave entre modos de operación automático y manual
- Compensación de carga activa y reactiva
- Limitador de máxima corriente del rotor con retardo de tiempo dependiente de la corriente (característica de tiempo inverso), para limitar la máxima corriente continua admisible del rotor.
- Limitador de mínima corriente del rotor (sin retraso), para prevenir la operación por debajo de la corriente mínima admisible.
- Interruptor de prueba en la tarjeta de control de compuerta para pruebas de lazo abierto del circuito de regulación.

Todos los recursos para ajuste y los ajustes del AVR esta integrados en el software, de tal manera que no se requiere del uso de potenciómetro.

Para garantizar la mayor seguridad posible durante operación, se han integrado en el sistema funciones de supervisión de hardware y software muy completas.

- Auto supervisión de los 4 procesadores
- Supervisión de la fuente de alimentación
- Funciones de supervisión (watch dog) en cada tarjeta de circuito impreso
- Auto supervisión de las variables más importantes

Protección de Sobrevoltaje de CD / Protección de Sobrevoltaje del Rotor

Este circuito protege al rotor contra sobrevoltaje de cualquier polaridad, los cuales son causados por fallas en el generador. Consiste de dos tiristores anti paralelo y una unidad de supervisión, los tiristores son controlados por módulos de disparo. Si el voltaje de CD excede el nivel de disparo de uno de los módulos, el correspondiente tiristor será excitado y conectará en corto circuito el bus de CD mediante la resistencia de descarga de campo, la señal de disparo del control de la excitación y del interruptor de campo es iniciada por un relé de supervisión.

Limitadores y Funciones Adicionales

Las siguientes funciones están instaladas en el microprocesador:

- Limitador de corriente del estator con característica de tiempo inverso, para cargas con factor de potencia atrasado o adelantado
- Limitador de Volts/Hertz (sobre flujo)
- Limitador de subexcitación (ángulo de carga), sin retraso
- Estabilizador del sistema de potencia
- Cálculo de la temperatura del rotor

Regulador de Corriente del Rotor (Modo de Operación Manual)

En modo manual se usa el lazo de corriente del regulador para controlar la corriente del rotor dependiendo del ajuste para operación manual, el valor de ajuste del modo manual también forma parte del software y no se requieren potenciómetros. Los limitadores no actúan en este modo para incrementar la seguridad.

2.3 disturbios

Podemos definir a los disturbios eléctricos como perturbaciones que se presentan en cualquier sistema eléctrico, los cuales no necesariamente reflejan la ausencia de tensión, sino que se manifiestan como variaciones en la forma de onda de la tensión y que afectan el funcionamiento de los diversos tipos de equipos conectados al sistema, o en otras palabras, cualquier perturbación en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual puede resultar en una falla o una mala operación de equipos. Estos disturbios pueden ser deformaciones en la onda, los cuales se llegan a presentar en magnitud o en frecuencia.

En el primer caso se pueden encontrar ya sea como sobrevoltajes o como caídas de tensión, que a su vez se dividen en corta y larga duración. En el caso de la frecuencia se presentan con valores distintos al fundamental (60 Hz), ya sean mayores o menores. Los disturbios eléctricos más comunes que se tienen en los sistemas eléctricos son los siguientes:

- Interrupciones.
- Alta tensión de corta duración (swells).
- Alta tensión constante.
- Baja tensión de corta duración (sags).
- Baja tensión constante.
- Picos de alto voltaje.
- Ruido eléctrico.
- Variaciones en la frecuencia.
- Distorsión armónica.

Dichas perturbaciones eléctricas contaminan la energía en forma preocupante, alterando en forma directa los equipos y sistemas críticos (informáticos, de procesos, control estratégico, etc.).

Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchas cargas contienen control basado en microprocesadores e instrumentos electrónicos que son sensibles a los disturbios eléctricos. La tarea constante de disminuir costos en el uso de la energía eléctrica y aumentar la eficiencia en la conversión de ésta ha llevado a la implementación de equipos de alta eficiencia como son: variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y el uso extensivo de equipos de cómputo para optimizar tareas y procesos. Como resultado adverso al ahorro de energía eléctrica, se tienen incrementos significativos en los niveles de armónicas en las redes eléctricas.

Actualmente los consumidores de energía eléctrica se informan más acerca de los problemas asociados con la calidad de la energía como: interrupciones, variaciones de tensión (sags y swells, es decir, depresión y dilatación de voltaje) y transitorios por "switchero" (conexión y desconexión de cargas).

Las compañías suministradoras enfrentan grandes retos en el abastecimiento de energía eléctrica de manera eficiente y con alta calidad, pues deben buscar mantener el equilibrio entre las necesidades de los usuarios y mantener un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética que permita un funcionamiento apropiado de los equipos y sistemas.

La continuidad de la energía depende en muchos aspectos del diseño y operación del sistema. Algunos de los factores que afectan la continuidad de la energía son: protección contra sobretensión, interrupción, recierre por falla, diseño de la línea de transmisión, diseño y operación del sistema. Si un sistema de transmisión o distribución es diseñado apropiadamente para resistir relámpagos y otras sobretensiones, la continuidad de la energía

y la confiabilidad del sistema se incrementan. Del mismo modo, con una apropiada protección contra fallas y una rápida coordinación de relevadores, el sistema es más confiable.

Algunos equipos con componentes no lineales, tales como: (convertidores con tiristores o transistores de potencia, dispositivos de arco eléctrico y otros) causan perturbaciones denominadas genéricamente EMI (Electromagnetic Interferentes – Interferencias Electromagnéticas). Dichas perturbaciones ocasionan una pérdida de rendimiento en la mayor parte de cargas convencionales y sobrecargan innecesariamente las líneas de transmisión. No obstante, el mayor problema no siempre es la pérdida de rendimiento, sino el deterioro que producen en la calidad de la onda de tensión, superponiendo perturbaciones, algunas de carácter periódico y otras de carácter transitorio; las cuales ponen en peligro el buen funcionamiento de una serie de equipos electrónicos, informáticos y de comunicaciones.

De igual forma es importante mencionar que el número de disturbios eléctricos presentes en la actualidad se ha incrementado considerablemente ya que la demanda ha crecido más rápido que la generación de energía eléctrica

Afectaciones de los disturbios. En la actualidad sabemos que los disturbios no sólo afectan el funcionamiento de los equipos que se conectan a la red de suministro y a los que forman parte de la misma red, sino que además disminuyen el tiempo de vida útil de los elementos que los componen. Algunas de las afectaciones son:

- Sobrecalentamiento de cables, conductores y transformadores.
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores.
- Errores en la medición.
- Operación incorrecta de sistemas de protección.
- Daño en elementos primarios de la red.
- Daño bancos de capacitores de corrección de FP.
- Incrementos en la ocurrencia de cortes en el suministro.
- Variaciones de tensión.
- Pérdidas económicas causadas por la detención de procesos completos.
- Daños en equipos sensibles.
- Pérdida de información en equipos de informática.
- Operación deficiente de sistemas de señalización.
- Acortamiento de la vida útil de los equipos, entre otros.

Los disturbios pueden afectar a los sistemas eléctricos dependiendo de su magnitud y duración, es así como se pueden manifestar en menor o mayor grado sobre los equipos, algunos de los efectos producidos por los disturbios son:

Ruido e impulsos eléctricos: Estos pueden ocasionar un funcionamiento errático en cualquier tipo de computadora, se puede inhibir o desprogramar, errores de paridad, teclados bloqueados o información perdida, corrupción de datos, problemas de

comunicación, etc. Si la magnitud del disturbio es muy elevada, el daño puede ser físico e irreversible.

Sobre voltajes y bajo voltajes: Los bajos voltajes del orden del 90% del valor nominal y por un tiempo aproximado de tres ciclos o más serán detectados por los drives como una condición de falla, por lo que operarán interrumpiendo el suministro de energía. Los bajos voltajes al momento del arranque de grandes motores, pueden ocasionar que los contactores de los mismos se abran debido al incremento en la corriente que circula por ellos, o en el caso de que éstos no abran se puede dañar el aislamiento de las bobinas. De la misma forma esto es capaz de producir un sobrecalentamiento de los alimentadores, dañando el aislamiento de los mismos lo que podría provocar un incendio. Por otra parte los sobrevoltajes con duración muy larga, pueden dañar el aislamiento de la electrónica de los equipos.

Distorsión armónica: Este tipo de disturbio puede ocasionar funcionamiento errático de algunos variadores, calentamiento de cables, transformadores y disparos anticipados de interruptores, así como pérdidas innecesarias en el equipo del consumidor, y en determinadas circunstancias, produce zumbidos e interferencia en líneas telefónicas vecinas.

La seguridad del suministro es un aspecto importante en la alimentación de sistemas sensibles y cargas críticas. Una interrupción en la alimentación puede causar la pérdida de muchas horas de trabajo y dinero en centros de gestión, cálculo, diseño, instalaciones industriales de procesos continuos e incluso poner en peligro la vida de personas (control de vuelos, unidades de vigilancia intensiva en hospitales, etc.)

Origen de los disturbios. La producción de los disturbios tiene dos tipos de orígenes, los externos y los internos al sistema eléctrico:

Los de origen externo: son los producidos por las descargas atmosféricas (rayos) en las líneas eléctricas, falla de algún equipo en la red, contactos incidentales entre dos líneas o entre una línea y algún objeto aterrizado, principalmente.



Fig. 2.5 disturbio eléctrico

Los de origen interno: son producidos por la operación de dispositivos de conexión y desconexión, conmutación electrónica (drive's, PLC's, computadoras, etc.), arranque de motores, la distorsión de la señal de entrada producida por armónicos, entre otros.

Los caminos de ingreso a las instalaciones y por consiguiente a los equipamientos son muchos y muy variados, entre los cuales podemos encontrar a los cables eléctricos, líneas de teléfonos, cables coaxiales de radio frecuencia y transmisión, cableados de datos, de alarmas, etc. Generalizando podemos decir que todo conductor, ya sea de cobre o no, que ingresa a un recinto de equipos es un conductor potencial de disturbios. El tipo de líneas de transmisión es un factor importante en la presencia de disturbios, ya que las líneas aéreas se encuentran mucho más expuestas a estos que las subterráneas.

Sistemas aéreos. El único voltaje normalizado en LyFC en media tensión es 23 kV, aunque aún existen algunos circuitos de distribución operando a 6.6 y 13.8 kV, sin embargo están condenados a desaparecer.

El 80% de la red de distribución que operaba LyFC es aérea y por ende sujeta a daños por causas ajenas al organismo tales como vandalismo, choques de vehículos contra postes, ramas de árbol, vientos, granizo, lluvia, robos de conductores de cobre, etc. Aumentando considerablemente la presencia de disturbios, siendo los más comunes las interrupciones sostenidas y los impulsos por recierre cuando el sistema trata de “quemar” la falla al presentarse fallas de fase a fase o de fase a tierra.

Sistemas subterráneos. Solamente el 20% de la red eléctrica que operaba LyFC es subterránea, debido a que la diferencia en costos versus redes aéreas es de 5 a 1, a pesar de esto debe mencionarse que el costo de mantenimiento de las redes subterráneas así como su frecuencia de fallas son menores que el de las redes de distribución aéreas equivalentes.

En el centro de la Ciudad de México se instaló desde hace más de 50 años una red automática que basa su principio de operación en el hecho de que al estar totalmente mallada la red de baja tensión permite que las fallas en baja tensión se auto extingan.

Una vez ingresado el disturbio al recinto, puede afectar el funcionamiento de todo tipo de equipo de comunicaciones como por ejemplo:

- Equipamiento satelital.
- Computadoras.
- Controladores lógicos programables.
- Rectificadores de tecnología de fuente conmutada.
- UPS's.
- Sistemas de comando y control.
- Sistemas de alarmas.
- Sistemas de transferencia automática.
- Rectificadores.
- Dispositivos de alarmas y monitoreo.
- Telefonía fija.
- Equipos conectados a CATV (Community Antenna Televisión).

Interrupciones cortas. Una interrupción ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de carga disminuyen a menos del 10% de los valores nominales por un periodo no mayor a un minuto. Son normalmente provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento.

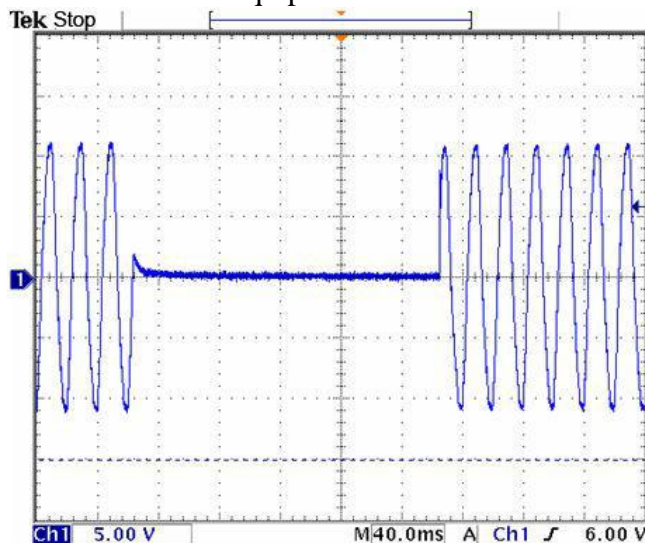


Fig. 2.6 interrupción de voltaje

Depresiones de voltaje (sags). Es un decremento en el valor eficaz de la tensión a la frecuencia fundamental 10, con magnitudes que se encuentran entre el 10% y el 90% del valor nominal y tiene una duración de medio ciclo hasta un minuto.

Éstas pueden ser causadas por operaciones de maniobra asociadas con la desconexión temporal de suministro, por el flujo de corrientes de falla y descargas atmosféricas, así como con la gran demanda de corriente asociada a la conexión de grandes cargas, como puede ser el arranque de motores grandes, ya que éstos tienen corrientes de arranque de seis a diez veces su corriente nominal, con lo que llegan a afectar la señal de voltaje. Sin embargo, estas disminuciones de voltaje usualmente tienen una duración superior a 30 ciclos y la disminución del voltaje es de menor magnitud. En el capítulo tres se observa este tipo de disturbios.

Dilatación de voltaje (swell). Es un incremento en el valor eficaz de la tensión a la frecuencia fundamental, con magnitudes que se encuentran por lo menos un 10% arriba del valor nominal y tiene una duración de medio ciclo hasta un minuto. Generalmente los swell acompañan a las caídas de tensión breves (sags).

Sobrevoltaje. Se llama así a los incrementos en el voltaje eficaz en la forma de onda de CA que ocurren a la frecuencia fundamental y donde el tiempo de duración es mayor a un minuto, por lo que a diferencia del swell dura mucho más tiempo. Normalmente se habla de un sobrevoltaje cuando se tienen valores de al menos 10% arriba del valor nominal.

Distorsión armónica. La distorsión armónica significa simplemente que la forma de onda de la tensión (o corriente) no es una senoidal. Esto resulta de la adición de una o más ondas armónicas que se superponen a la onda fundamental o de 60 Hz y de acuerdo con el orden de la armónica es el grado de distorsión de la onda fundamental. Si se tiene una señal periódica no senoidal, entonces ésta puede descomponerse en una sumatoria de funciones senoidales y cosenoidales armónicamente relacionadas por la frecuencia. La distorsión armónica está compuesta por tensiones o corrientes que tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz) del sistema de suministro.

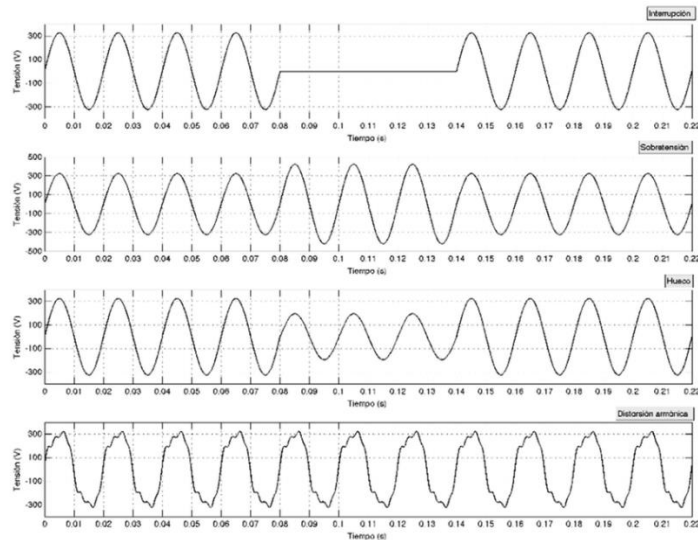


Fig. 2.7 distorsiones eléctricas

Oscilatorios. Es un cambio repentino de baja potencia que afecta la frecuencia, cambiando la condición de estado estable de la tensión, corriente o ambas, que incluye los valores de polaridad. Consiste en el cambio instantáneo de valor, en la polaridad de la tensión o en la corriente. Es descrito por su contenido espectral, duración y magnitud .

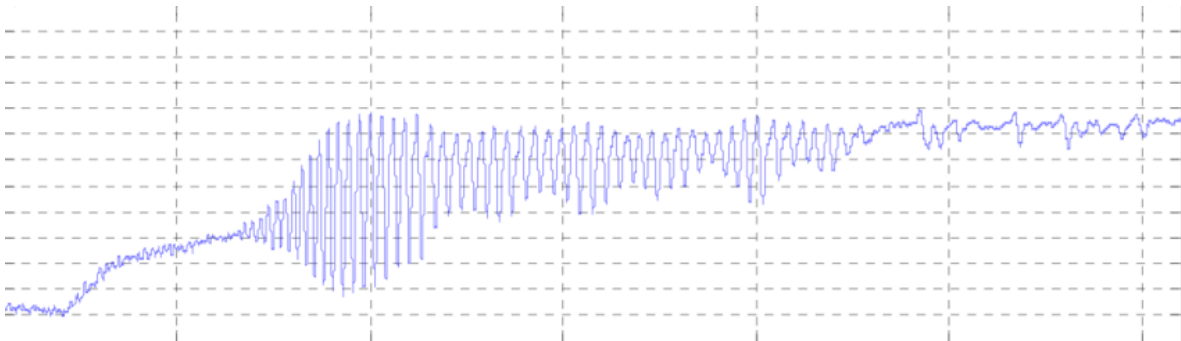


Fig. 2.8 oscilaciones

3. Desarrollo

3.1 Mantenimiento del AVR

El mantenimiento del regulador automático de voltaje (AVR), es la limpieza que se le realiza al gabinete y todas las partes que componen el regulador automático de tensión (AVR), en estas fotos veremos el proceso desde el desmontaje del gabinete del AVR que

este se fue desarrollando hasta llegar en la puesta de servicio del sistema de estabilización de potencia (PSS).



3.1 DESMONTAJE AVR

Se realiza el desmontaje del regulador automático de tensión para su mantenimiento, empiezan a retirar todas las partes del gabinete para su posterior limpieza.

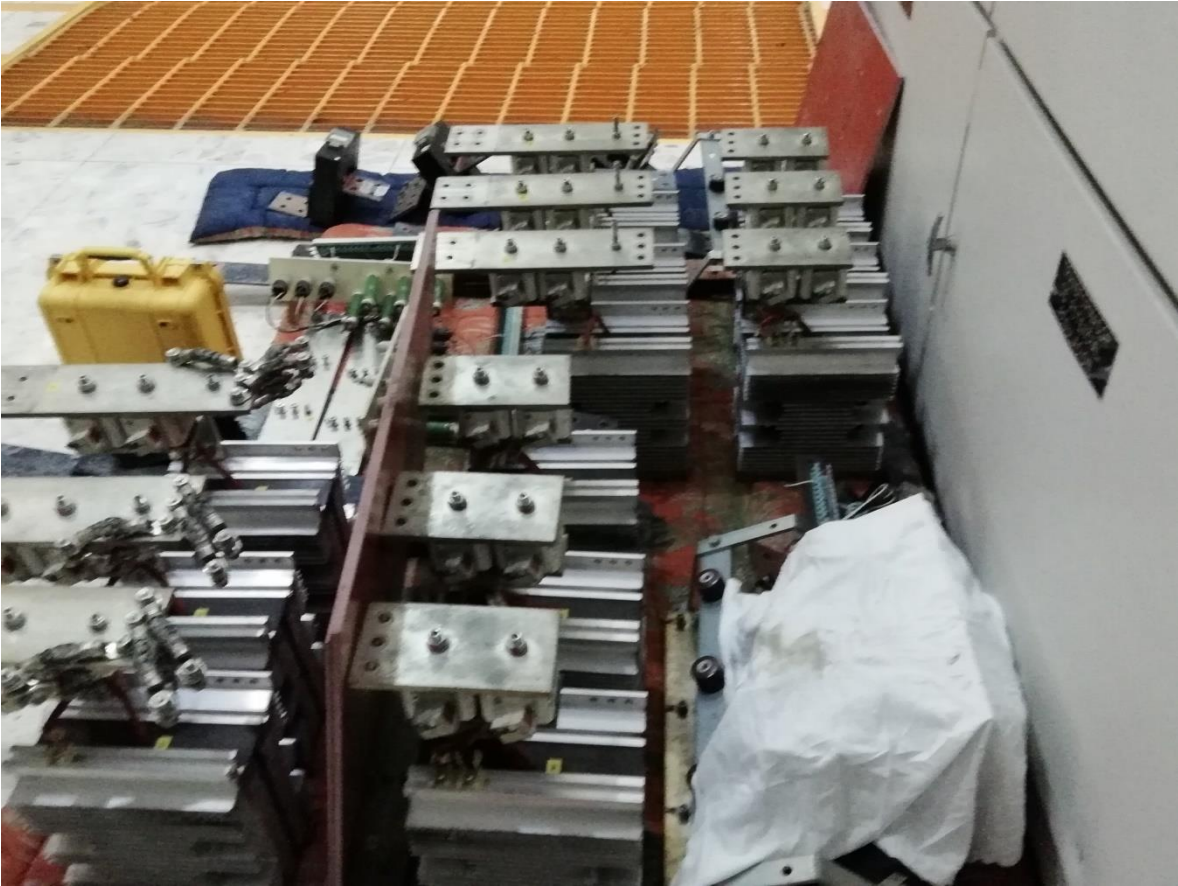


Figura 3.2

En la figura podemos apreciar los tiristores que se conforma el gabinete del AVR, en la que esta conformados por dos puentes y cada puente está integrada 6 tiristores, en el que son desmontados limpiados para su mayor eficiencia.



Figura 3.3

Cada tiristor retirado del gabinete, se realiza pruebas de resistividad para ver los daños o impurezas que estas adquieren atravez del tiempo y su operación continua. Por lo regular, las perturbaciones mencionadas hacen que los puentes de tiristores disminuya su eficiencia al momento de estar en operación por lo que estas son limpiadas con solventes y cepilladas para retirar las impurezas o sustituida dependiendo el daño que esta tenga.



Figura 3.4

Las tarjetas principales como la fuente de entrada analógica, entrada digitales, salidas analógicas y salidas digitales son retiradas y limpiadas para la retirada de impurezas que pueda perjudicar alguna de ellas.



Figura 3.5

Los tiristores y barras de cobre son montados nuevamente, ya que estas fueron retiradas de impurezas y cepillados para su mayor eficiencia, también se realizaron pruebas de resistividad a cada una de los tiristores.

3.2 Descripción de los programas realizados y verificación



Figura 3.6

Se realizan pruebas de alarmas y fallas para la verificación de que todos los equipos, instrumentos y programaciones estén en perfectas condiciones bien conectados y ver que funcionen en tiempo y forma.

Se verifican los datos y funciones del regulador automático de tensión (AVR) estén correctamente y analizan el sistema de estabilización de potencia (PSS), realizan pruebas de simulaciones al AVR en el que simulan la entrada de una perturbación u oscilación en la red y ver como esta se comporta para que el AVR opere en la amortiguación de esta.

3.3 pruebas y simulaciones del AVR



Figura 3.7

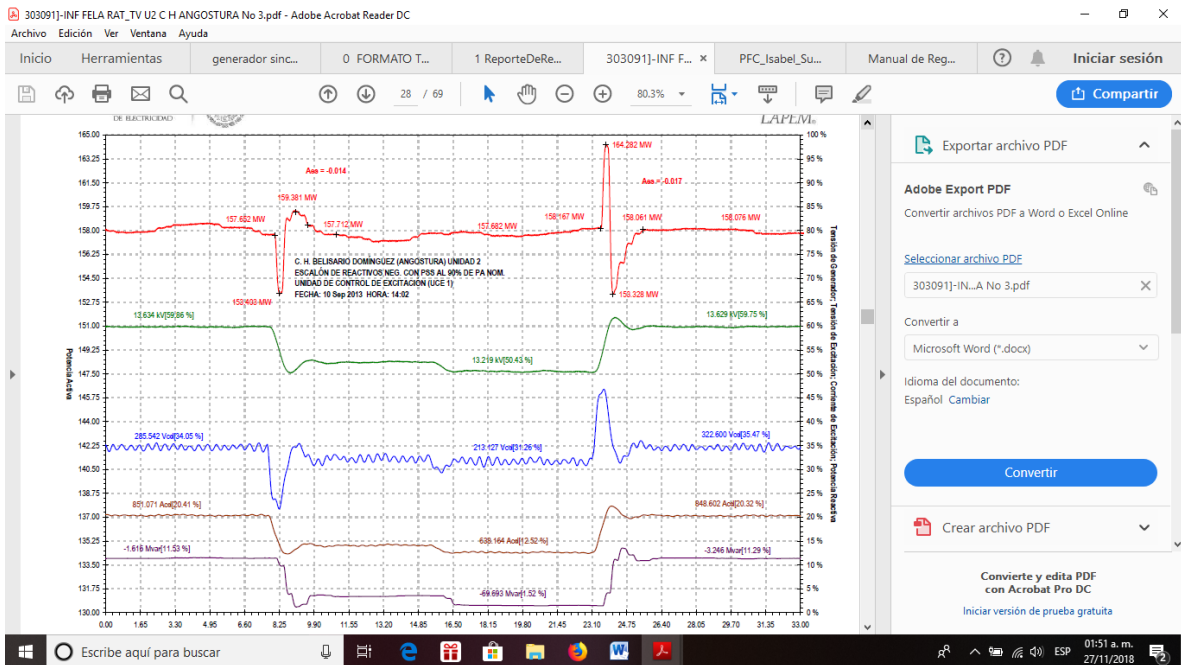
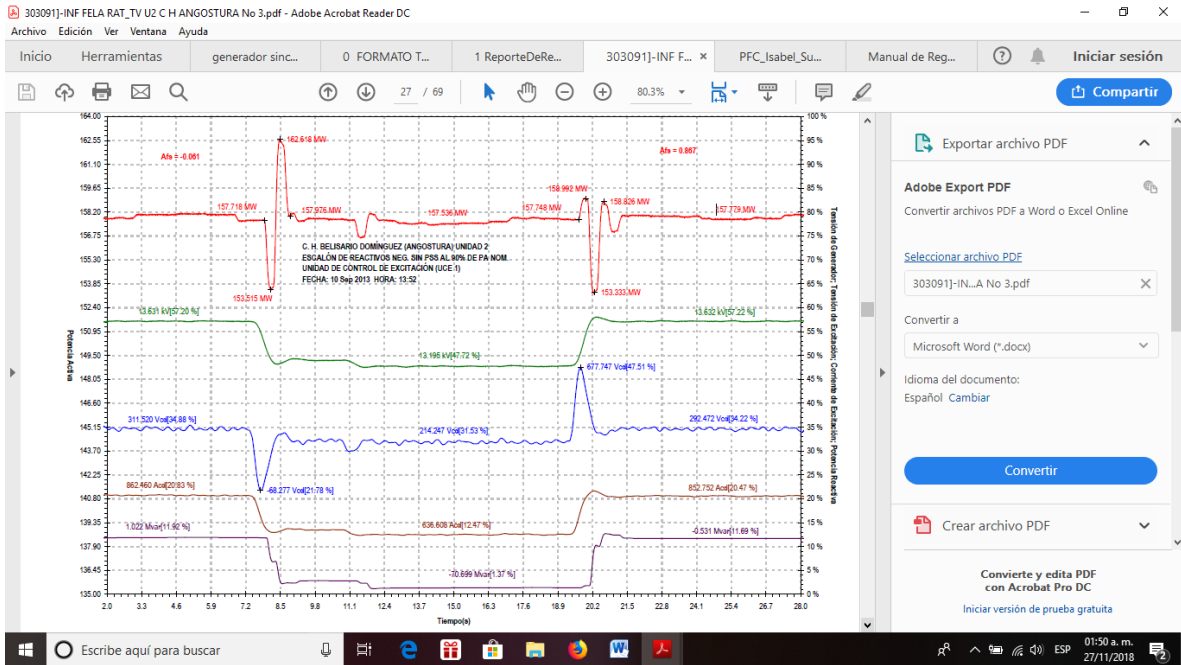
Se realizan pruebas al funcionamiento del AVR como este actúa cuando en generador empieza hacer excitado y este va aumentando o generando mayor voltaje controlado por el AVR hasta llegar a su valor nominal, en la figura muestra el indicador una serie de luminarias incandescentes su intensidad como representación de menor a mayor o mayor a menor.

4. Resultados y conclusiones

4.1 Resultados

Los resultados de las pruebas del sistema de estabilización de potencia están representados en la gráfica. Una, la que indica la representación sin que el PSS opere ante una perturbación de esta magnitud y la otra representa en la gráfica como el sistema de PSS opera y amortigua la perturbación.

Esta grafica ase que se note la diferencia entre un sistema de estabilizacion de potencia que acciona cuando en la red se detecta algún tipo de anomalías que puedan afectar y causar daños.



4.2 conclusiones

El sistema de estabilización de potencia (PSS), cual cuya función tiene como objetivo detectar y estabilizar alguna perturbación presentada en el sistema eléctrico nacional, ya sean por oscilaciones locales, oscilaciones entre centrales vecinas, oscilaciones entre diferentes regiones u oscilaciones globales. El amortiguamiento que este acciona debe ser lo antes posible para evitar daños en los equipos que están interconectados y en operación.

La puesta en servicio del sistema de estabilización de potencia, lleva un proceso largo, de pruebas y simulaciones en la que la CENACE analiza y autoriza que están se realicen en las que asignan un tiempo de inicio y final para el desarrollo de las pruebas necesarias y autorizadas de acuerdo al protocolo que este tiene.

Los equipos de operación, deben estar en excelentes condiciones, por lo que se le realizan un mantenimiento general, del generador, los transformadores de potencia de fase A, fase B, fase C, el transformador de excitación y transformador de servicios propios, el gabinete del AVR (regulador automático de tensión), en la que cada uno asigna personales de trabajo para realizar el desmontaje y posteriormente limpieza de impurezas.

El cerebro y el control absoluto de toda operación y monitoreo lo realiza el regulador automático de tensión (AVR). En el proceso del mantenimiento, se le realizan ciertas pruebas para verificar que este no tenga ningún defecto al ejecutar las pruebas necesarias para el accionamiento del todo el sistema. Los tiristores deben ser desmontados, realizarles pruebas de resistividad para ver que eficiencia desempeña y posteriormente debe ser limpiado y cepillado para retirar impurezas que puedan perjudicar en su desempeño, en caso de que tenga un daño mayor que afecte la eficiencia al ser accionado, este deber ser reemplazado por uno totalmente nuevo, las tarjetas como fuentes de energía, entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales deben ser limpiadas y puestas a pruebas para no tener irregularidades.

Las pruebas que se le realizan al regulador automático de tensión (AVR), son las siguientes, como accionar y representar por focos incandescentes, el control que esta va desempeñando. Esto es controlado de manera en la que viene el control de voltaje de menos a más, donde la serie de focos incandescentes representa que cada vez tiene mayor intensidad en su iluminación y es medido por un osciloscopio donde se observa el desfase de ángulo que esta va obteniendo.

El funcionamiento del AVR (regulador automático de tensión) que esta desempeña es de la siguiente manera, el banco de batería aporta el voltaje y corriente inicial que es llamada: excitación forzosa. El generador este crea un campo magnético y empiezan a generar corriente eléctrica que la manda al transformador de excitación, donde este lo manda al puente de tiristores para que rectifique la corriente alterna que es generada a corriente directa para proporcionarle al generador nuevamente, esto es un ciclo que empieza con un

5% de su valor nominal y al llegar al 10% el banco de batería abre circuito y el generador queda retroalimentándose con ayuda del AVR (regulador automático de tensión), esto sucede en cuestión de segundos, al llegar a su valor nominal, está listo para ser sincronizado a la red eléctrica nacional, la función del AVR cambia y monitorea los disturbios o anomalías que esta puede tener, donde controla la corriente que está proporcionando. El (AVR) regulador automático de tensión va en operación con el (PSS) sistema de estabilización de potencia, donde monitorea las anomalías como perturbaciones en la red este se acciona y manda amortiguar las oscilaciones presentadas a través del control del AVR para controlar la potencia.