



*Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Ingeniería Eléctrica.*

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero Eléctrico

Título: Modernización del sistema de sincronización de la central termoeléctrica de la empresa Ernesto Che Guevara.

AUTOR: RODOLFO CRUZ GUILLEN.

***TUTOR(es): ING. YORDAN GUERRERO ROJAS.
Espec. ELICEO AGUILAR WEST.***

*Moa, Holguín, Cuba. 2010
“Año 52 de la Revolución”*

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

El autor de este trabajo de diploma titulado “Modernización del sistema de sincronización de la central termoeléctrica de la empresa Ernesto Che Guevara.”, certifica su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a hacer uso del mismo con la finalidad académica que estime conveniente.

Rodolfo Cruz Guillén.
Autor

Ing. Yordan Guerrero Rojas.
Tutor

Espec. Eliseo Aguilar West.
Tutor

Agradecimiento

AGRADECIMIENTOS.

En este momento es importante el recuento del camino transitado, donde se resumen los esfuerzos, alegrías y sinsabores. Hoy cuando se termina una etapa de investigación y la elaboración de esta tesis, quiero expresar mi agradecimiento a cuantas personas e instituciones han contribuido a hacerla posible.

Con la ayuda de muchas personas he llegado al punto de ser un profesional, me han ayudado en todas formas a través del largo camino de mis días como estudiante, trabajador, y en los quehaceres del hogar para así lograr terminar este trabajo.

De manera especial tengo que decir gracias a mis padres Aurora Guillén Rodolfo Cruz, quienes han sido mis propulsores en todos los aspectos de mi vida especialmente en parte educacional. Los amo y los respetare para siempre. Gracias a mi esposa por apoyarme y darme la fuerza suficiente para llegar hasta aquí, a mis hijas por siempre estar allí en las buenas y en las malas. Gracias a mis compañeros de trabajo por el apoyo brindado en todo momento, a todos les doy las gracias por su incondicional apoyo y constante ayuda.

Gracias en especial a mi tutor el ing. Yordan Guerrero Rojas por todo su apoyo, consejo y orientación durante la realización de este trabajo, y además en mi formación como ingeniero eléctrico.

A mis compañeros de estudio a los que hoy llegan hasta aquí para lograr este gran objetivo y por que no a los que por una causa u otra no llegaron pero están presente en muchas circunstancias de la vida como estudiantes, todos en realidad son amigos verdaderos. Felicidades a todos, que la vida nos regala todo lo que merecemos.

Muchas gracias a mis profesores ya que sin ellos no seria posible la realidad de poder tener todos los elementos fundamentales para la vida futura como un profesional, gracias por su entrega, por su enseñanza por los momentos buenos y malos en las aulas, en la calle a todos mis felicitaciones y mis mas sincero agradecimiento, muchas gracias.

Dedicatoria

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a mi madre, mi padre, mi esposa, mis hijas los cuales en momentos difíciles me han ayudado me han dado todo su apoyo para hacer realidad el sueño de ser ingeniero, también a mis compañeros de trabajo por su incondicional ayuda.

Tus brazos siempre se abren cuando necesito un abrazo.

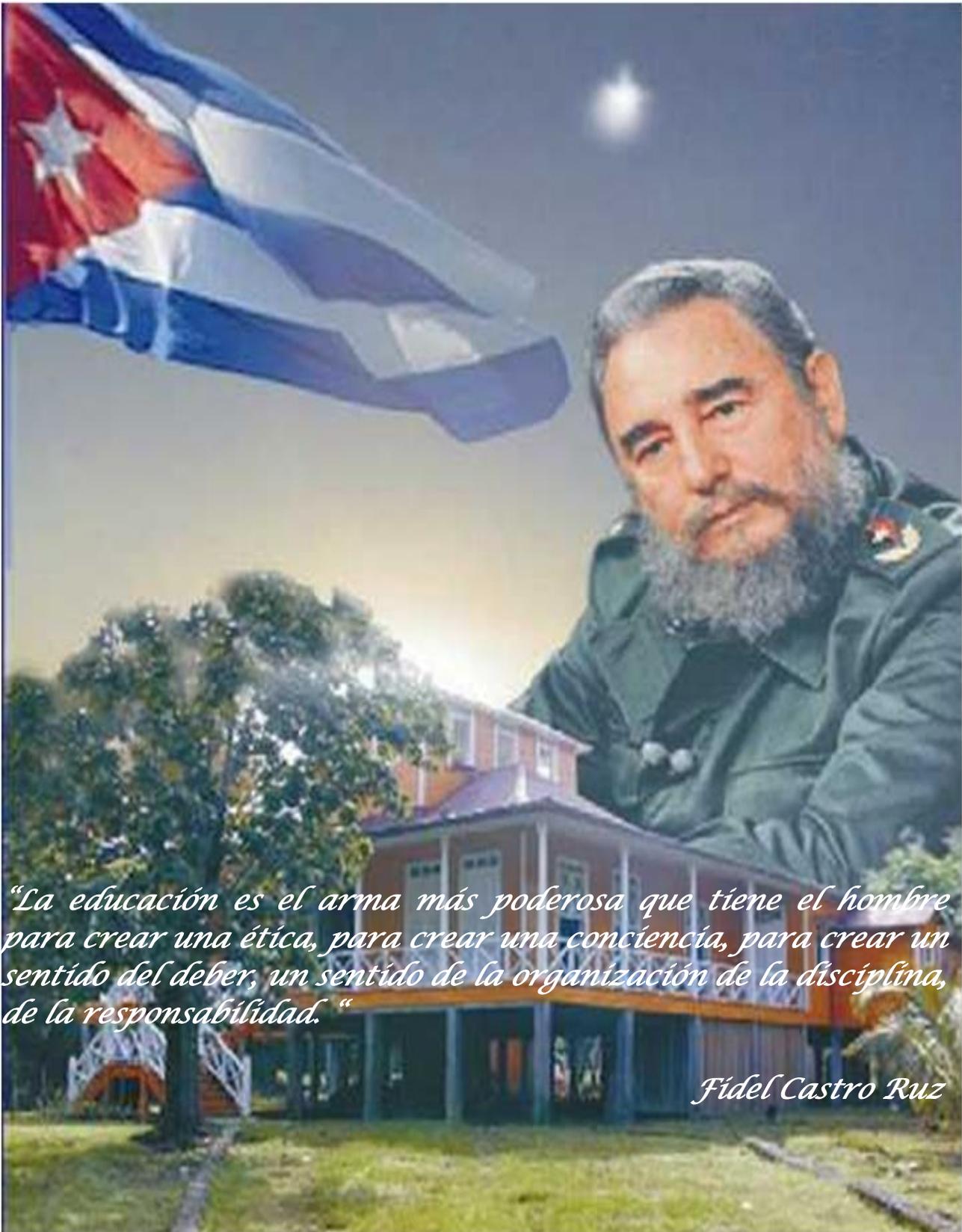
Tu corazón sabe comprender cuándo necesito un amigo.

Tus ojos sensibles se endurecen cuando necesito una lección.

Tu fuerza y tu amor me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba para volar.

Pensamiento

PENSAMIENTO.



“La educación es el arma más poderosa que tiene el hombre para crear una ética, para crear una conciencia, para crear un sentido del deber, un sentido de la organización de la disciplina, de la responsabilidad.”

Fidel Castro Ruz

Resumen

RESUMEN.

Este trabajo consiste en realizar una revisión minuciosa de la ingeniería de detalle, trazado de bandejas para cables, nodos para censar las señales desde los puntos de sincronización, incluye además la revisión de los escenarios de sincronización a través del Sistema Electroenergético Nacional con la fábrica por las líneas 1 (H-310) y 2 (H315), la sección 1-2, sección 2-3, sección 3-4, sección 4-5 y sección 5-1, generador 1 barra 1, generador 2 barra 3, y generador 3 barra 5. Se fundamenta la incorporación del sistema de sincronización al centro de dirección, los métodos de sincronización, regulación y parametrización, el principio de funcionamiento, ajustes, explotación y mantenimiento del synchrotact 5, confección de explotación para el sistema de sincronización y la confección de planos del sistema de sincronización.

En el primer capítulo se aborda la teoría general relacionada con las generalidades de las máquinas eléctricas donde se expresan todas las condiciones, requisitos que deben reunir los generadores para poder realizar las diferentes operaciones de sincronización y las condiciones necesarias para que los mismos trabajen en paralelo. Se da a conocer además las diferentes áreas que componen la planta termoeléctrica, así como el flujo tecnológico de las mismas.

En el segundo capítulo se fundamentan las características principales del Synchrotact 5, su utilización en el sistema de sincronización y las funciones del software asociado Synview. Se muestran las características especiales que registra el mismo teniendo en cuenta los parámetros reales de los elementos que participan durante el proceso de sincronización. Se plantea la metodología a seguir para realizar la sincronización utilizando el panel central con el Synchrotact 5.

Finalmente en el tercer capítulo se analiza el proceso de regulación de tensión y frecuencia, se proponen además las medidas de seguridad para los trabajos de sincronización.

Summary

SUMMARY

The present work consists in accomplishing a meticulous revision of engineering of detail, layout of trays for wires, nodes stops to make a census of the signals from the points of synchronization, it also includes the vision of the scenarios of synchronization through the National Electroenergetic System with the factory for the lines 1 (H 310) and 2 (H315), the section 1-2, section 2-3, section 3-4, section 4-5 and section 5-1, generator 1 bar 1, generator 2, bar 3, and generator 3, bar 5. The incorporation of system of synchronization to the directing center is explained , the methods of synchronization, regulation and determination of the parameters, the beginning of functioning, settings, exploitation and the synchroact 5 maintenance , preparation of exploitation for the synchronization system and the disaining of diagrams of synchronization system .

In the first chapter the general theory related with the generalities of the electric machines it's approached, where all the conditions and the requirements of the generators to develop the different synchronization's operation are exposed and the needed conditions to the parallel operation.

In the second chapter the Synchroact 5 principal characteristics, are exposed, his utilization in the system of synchronization and the functions of the associated software SynView. The special characteristics that the same one record, considering the real parameters of the elements that take part in the process of synchronization. The methodology to follow to accomplish the synchronization utilizing the central panel with the Synchroact 5 itself it's established.

Finally in the third chapter the process of tension and frequency regulation it's examined, besides the security measures for the works of synchronization are proposed.

Introducción

INTRODUCCIÓN GENERAL

Este trabajo consiste en la modernización del sistema de sincronización de la central termoeléctrica, el cual va a sustituir el sistema anterior para lograr un mejor resultado en las operaciones de sincronización en los diferentes nodos del depósito de distribución principal de la planta termoeléctrica.

PROBLEMA.

La conexión sin saltos y de manera confiable de los diferentes nodos de sincronización de la planta termoeléctrica de la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara con un controlador de regulación manual o automática, exige la necesidad de modernizar el sistema de sincronización central.

HIPÓTESIS.

Es posible alcanzar una mejor sincronización de los diferentes elementos o dispositivos principales de la planta termoeléctrica de la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, que garanticen la sincronización automática o manual de todos los elementos si se cuenta con un sistema moderno de sincronización asistido por software.

OBJETIVO GENERAL.

- Modernizar el sistema de sincronización central de la termoeléctrica de la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Elaborar metodología para la realización de los trabajos de sincronización de los diferentes elementos mediante el Synchrotact 5.
2. Comprobar el funcionamiento de los sistemas de regulación de voltaje y frecuencia.

TAREAS DE LA INVESTIGACIÓN.

1. Caracterizar el objeto de estudio.
2. Describir el sistema de sincronización actual.
3. Describir el sistema de sincronización a instalar.
4. Revisión de los planos del sistema de sincronización.

RESULTADOS ESPERADOS.

1. Diseñar un sistema de sincronización que abarque todos los elementos principales que participen en la sincronización de la planta termoeléctrica.
2. Procedimiento para la sincronización de forma precisa (manual o automática) de la termoeléctrica con el Sistema Electroenergético Nacional a través de los interruptores H310 línea 1 y H315 línea 2, ubicados en la segunda y cuarta sección del depósito de distribución principal respectivamente, mediante el uso del Synchrotact 5.
3. Sincronizar de forma precisa (manual o automática) las diferentes secciones de barras del depósito de distribución principal, mediante el uso del Synchrotact 5.
4. Procedimiento para sincronizar de forma precisa (manual o automática) los turbogeneradores 1, 2 y 3 con las secciones 1, 3 y 5 respectivamente mediante el uso del Synchrotact 5.

Indice

INDICE.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
PENSAMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	VII
PROBLEMA.....	VIII
HIPÓTESIS.....	IX
OBJETIVO GENERAL.....	X
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	X
TAREAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	XI
RESULTADOS ESPERADOS.....	XII
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Fundamentos de Máquinas Sincrónicas.....	2
1.2.1 Generalidades.....	2
1.2.2 Funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas.....	3
1.3 Requisitos a tener en cuenta para sincronizar un generador.....	11
1.4 Descripción de la central termoeléctrica de la empresa Ernesto Che Guevara.....	14
1.4.1 Planta de tratamiento químico del agua.....	14
1.4.2 Planta de base de petróleo 36/37 (Mazut).....	15
1.4.3 Área de calderas:.....	15
1.4.4 Área de compresores:.....	16
1.4.5 Área de torres de enfriamiento:.....	16
1.4.6 Área de turbinas:.....	17
1.4.7 Área de subestaciones eléctricas:.....	18
1.5 Descripción del funcionamiento del sistema de sincronización actual.....	19
1.6 Conclusiones parciales.....	21
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS SOBRE EL SYNCHRO TACT 5.	
MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN. ESQUEMAS DE SINCRONIZACIÓN.....	22
2.1 Introducción.....	22

2.2 SYNCHROTECT® 5.	23
2.3. Utilización del SYNCHROTECT 5.	24
2.3.1. Sincronización en paralelo.	24
2.3.2 Sincronización de líneas.	25
2.3.3 Sincronización de generador con líneas energizadas y no energizadas.	25
2.3.4 Alta seguridad de servicio en manual y en automático.	26
2.3.5 Disponibilidad total.	27
2. 3.6 Características especiales.	28
2.3.7 Puesta en servicio rápida.	28
2.3.8 Ventajas adicionales.	29
2.4 Funciones del software Synview.	29
2.4.1 Ajuste de parámetros.	29
2.4.2 Visualización de los valores actuales.	30
2.4.3 Registro de valores transitorios.	30
2.4.4 Memorizado de eventos y fallas.	31
2.5 Descripción del sistema de sincronización a instalar.	31
2.6 Metodología para el funcionamiento del sistema de sincronización, mediante el synchrotact ® 5.	32
2.7 Métodos de sincronización.	36
2.8 Fundamentos del sistema de sincronización manual o automática,	37
2.9 Esquemas de sincronización.	37
2.10 Conclusiones parciales.	43
CAPÍTULO III REGULACIÓN DE VOLTAJE Y REGULACIÓN DE FRECUENCIA.	44
3.1 Introducción.	44
3.2 Regulador de Voltaje.	45
3.1.1 Principios de funcionamiento.	45
3.1.2 Beneficios de contar con un Regulador de Voltaje.	46
3.1.3 Problema de la regulación automática de la excitación.	46
3.1.4 Regulador adecuado.	48
3.2 Control de Potencia Activa.	50
3.3 Regulación de Frecuencia.	51
3.3.1 Regulación primaria de frecuencia.	52

3.3.2 Regulación secundaria de frecuencia.....	52
3.4 Control de potencia reactiva.....	52
3.5 Medios de seguridad y protección para los trabajos de sincronización y para los trabajos con las máquinas eléctricas.....	53
3.6 Protección de la máquina.....	53
3.7 Valoración Social.....	54
3.8 Conclusiones Parciales.....	56
CONCLUSIONES GENERALES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	59
ANEXOS	

Capitulo - 1

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.

1.1 Introducción.

En el siguiente capítulo se hace referencia a los aspectos fundamentales de la teoría de las máquinas sincrónicas relacionados con la operación en paralelo y las medidas a cumplir antes de realizar la sincronización. Se destacan las características principales de las diferentes áreas de la termoeléctrica de la Empresa Ernesto Che Guevara.

1.2 Fundamentos de Máquinas Sincrónicas.

1.2.1 Generalidades

La mayor parte de la energía eléctrica que consumimos se produce con auxilio de los hidrogeneradores y los turboalternadores trifásicos sincrónicos. Los primeros se ponen en rotación mediante hidroturbinas. Mientras que los turbogeneradores se ponen en movimiento por turbinas de gas o vapor. Habitualmente se utilizan generadores compuestos de tensión estabilizada, conformado por un generador sincrónico y un estabilizador de tensión adosado a él o dispuesto en la instalación de maniobra junto al automatismo. Los equipos más modernos no tienen excitatrices rotativas, si no dispositivos de estado sólido que no requieren el montaje de escobillas, sistemas autoexcitados con semiconductores acoplados en el eje.

Existen además pequeñas unidades generadoras que utilizan máquinas sincrónicas que son accionadas por motores de combustión interna diesel y se destinan a la alimentación de cargas autónomas de vital importancia para la economía y la sociedad, en caso de emergencia, o para la producción de energía eléctrica suplementaria o de reserva.

La mayor parte de las máquinas sincrónicas y las de mayor potencia se destinan a las centrales eléctricas clásicas o convencionales, que son aquellas que producen energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada al efecto. El apelativo de "clásicas" o "convencionales" sirve para diferenciarlas de otros tipos de centrales termoeléctricas (nucleares y solares), las cuales generan electricidad a partir de un ciclo termodinámico, pero mediante fuentes energéticas distintas de los combustibles fósiles empleados en la producción de energía eléctrica desde hace décadas, con tecnologías diferentes y mucho más recientes que las de las centrales termoeléctricas clásicas.

La operación más ventajosa de los generadores sincrónicos es de forma conjunta, formando pequeños sistemas de generación-distribución, o como parte de grandes sistemas de potencia, con generación-transmisión-distribución, con las consecuentes transformaciones de voltaje, de acuerdo a las necesidades del sistema a alimentar.

Influencia del régimen de carga, excitación y el sistema.

El funcionamiento de generadores se recomienda de forma general con factor de potencia uno o sobrecargada, para garantizar entre otras cosas un alto coeficiente de sobrecarga estática (aproximadamente dos). Como se puede ver en las expresiones de potencia reducir la excitación conlleva a reducir la potencia máxima que puede desarrollar la máquina y por tanto reducir su capacidad de sobrecarga.

Por otro lado la empresa eléctrica penaliza a los consumidores de energía eléctrica, cuando su factor de potencia es bajo, es decir, cuando demandan mucha potencia reactiva, pues cargan las líneas de transmisión y distribución de esta componente y reduce la capacidad de potencia activa que se puede transmitir, además de aumentar las pérdidas en las líneas.

Los usuarios por evitar ser penalizado introducen la compensación de potencia reactiva con el uso de condensadores, aunque muchas veces solo para burlar a la OBE y que esta le bonifique, exageran y producen más reactivo que el exigido, en ocasiones se aproximan a 0.96 y más. Como se puede deducir de esto las líneas se descargan del reactivo y ya no existen grandes pérdidas, **los generadores no tienen que generar gran cantidad de reactivo y reducen su corriente de excitación. Al disminuir la corriente de excitación significa hacer más débil los polos del rotor y menor coeficiente de sobrecarga**, cuando esto sucede se dice que la máquina está subexcitada.

Unido al debilitamiento del campo magnético y la potencia máxima que puede desarrollar la máquina está su capacidad de respuesta a los cambios bruscos que pueden aparecer en cualquier momento, haciendo a la máquina más vulnerable a las oscilaciones, vibraciones y posibilidad de una pérdida de estabilidad, en conjunto todo influye en garantizar el tiempo de vida a mayor o menor.

1.2.2 Funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas

Merced a que los generadores, conectados al sistema en paralelo, están acoplados unos con otros eléctricamente o por medio de transformadores, sus tensiones varían con una misma frecuencia:

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = \dots = f. \quad (1.1)$$

En este caso las velocidades angulares eléctricas de sus rotores también son iguales entre sí:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \dots = \omega = 2\pi f, \quad (1.2)$$

mientras que las velocidades angulares reales son inversamente proporcional al número de períodos de estos generadores:

$$\Omega_1 = \frac{\omega}{p_1} ; \quad \Omega_2 = \frac{\omega}{p_2} ; \quad \Omega_3 = \frac{\omega}{p_3} \quad \dots \quad (1.3)$$

Por eso se suele decir que los generadores conectados en paralelo funcionan de manera sincrónica uno con respecto a otro, o están en sincronismo, y la conexión para el funcionamiento se denomina sincronización.

La unificación de un gran número de generadores y consumidores en un sistema eléctrico común situado en un extenso territorio es mucho más ventajosa que el uso de generadores aislados para alimentar los grupos autónomos de consumidores. Sin embargo, ante situaciones excepcionales el envío de electricidad desde grandes distancias no es lo óptimo, pueden ocurrir fallas en las líneas, caídas de torres u otro fenómeno. En estas situaciones es donde la generación distribuida alcanza una vital importancia para mantener funcionando puntos vitales en los territorios. La posibilidad de traslado hacia las cercanías de los principales objetivos económicos y sociales, los hace indispensables ante situaciones excepcionales.

Condiciones de la conexión para el funcionamiento en paralelo.

El esquema de conexión de dos generadores sincrónicos trifásicos para el funcionamiento en paralelo con el sistema está mostrado en la figura 1.1.

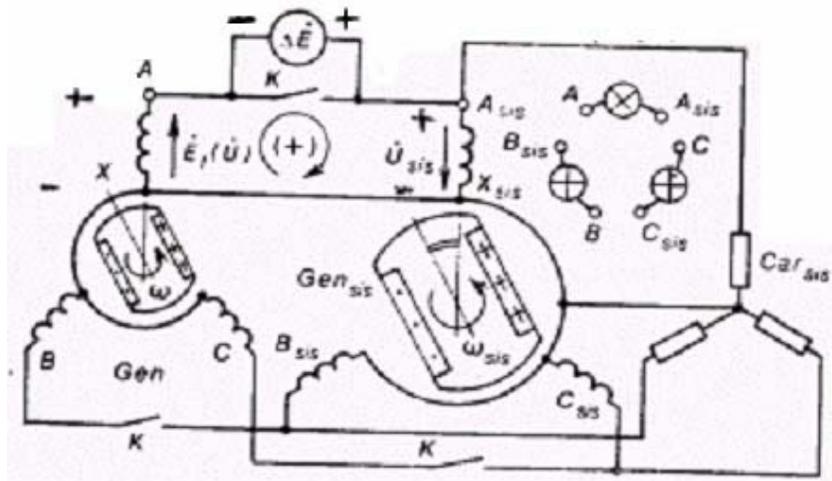


Figura 1.1. Esquema de conexión de un alternador sincrónico para el funcionamiento en paralelo con el sistema.

Para simplificar, el sistema está representado por un generador sincrónico de un período equivalente de potencia infinitamente grande G_{sis} que alimenta la carga, C_{sis} , figurando en este caso el generador Gen como su modelo de un período. Tomemos la dirección positiva de la tensión U_{sis} del circuito generador –sistema, desde el comienzo A_{sis} hacia el final X_{sis} de su fase. Por dirección positiva de las tensiones, la f.e.m. y la corriente en el circuito A_{sis} , X_{sis} , X , A , formando por las fases homónimas de los generadores G_{sis} y G , tomamos la dirección de recorrido del circuito, la cual coincide con U_{sis} y se muestra en el dibujo con una flecha. Entonces, la f.e.m. E_f (o la tensión U) del generador G serán positivas si se dirigen de X a A según se muestra en la figura. Cuando el interruptor K está desconectado, el generador Gen funciona en régimen de marcha en vacío y entre los contactos de fase del interruptor actúa la f.e.m.:

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_f + U_{sis} \tag{1.4}$$

donde:

\dot{E}_f es la fem debida a la excitación.

\dot{U}_{sis} es la tensión del sistema.

Esta fem depende de la f.e.m. \dot{E}_f y su fase respecto a la tensión \dot{U}_{sis} que se caracteriza por el ángulo α en la figura 1.2. Si antes de la conexión la velocidad angular Ω y la corriente de excitación I_f del generador *Gen* están elegidas de tal modo que:

$$\omega = 2\pi f = \frac{\Omega}{p} = \omega_{sis} = 2\pi f_{sis} \quad (1.5)$$

$E_f = U_{sis}$, es decir, la frecuencia f y la f.e.m. E_f del generador coinciden con la frecuencia f_{sis} y la tensión U_{sis} del sistema, respectivamente, entonces, la f.e.m. ΔE en los contactos del interruptor se pueden determinar según la fórmula:

$$\Delta E = 2U_{sis} \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right|. \quad (1.6)$$

Al variar el ángulo α la f.e.m. eficaz puede adquirir valores cualesquiera en la banda $0 \dots 2U_{sis}$

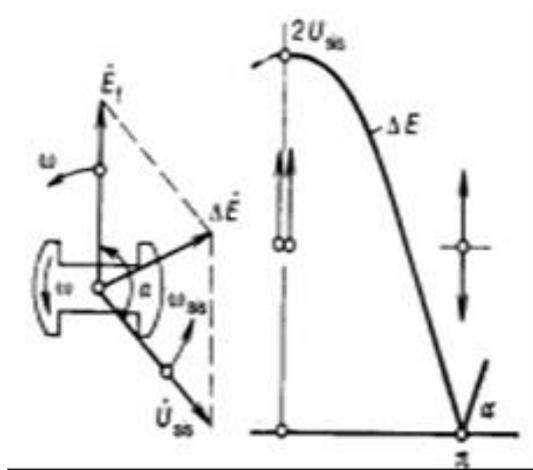


Figura 1.2. Condiciones de sincronización exacta.

La conexión del generador *G* al sistema es lo más favorable si $\alpha = \pi$ cuando $\Delta E = 0$ y $\dot{E}_f = -\dot{U}_{sis}$. En este caso en el devanado del inducido no surgen corrientes transitorias; después de conectar el generador para el trabajo en paralelo con el sistema, la corriente del inducido queda igual a cero y el generador sigue funcionando en el régimen de marcha en vacío ($I=0$). Dicho procedimiento de conexión de un generador para el funcionamiento en paralelo con el sistema, se denomina *sincronización precisa*.

Existe además los que se denomina momento electromagnético M durante el funcionamiento en paralelo, *momento sincronizador*. Este momento mantiene el movimiento sincrónico del rotor después de conectar al funcionamiento en paralelo, además asegura el movimiento sincrónico del rotor para el funcionamiento en paralelo en los regímenes de carga.

Potencias activa y reactiva de una máquina sincrónica conectada al sistema.

Las potencias activas y reactivas P y Q de una máquina sincrónica de polos salientes conectada a un sistema de potencia infinitamente grande, siendo:

$f_{\text{sis}} = \text{const}$ y $U_{\text{sis}} = \text{const}$, dependen de la I y de la fase de la corriente respecto a la tensión

del generador $\dot{U} = -\dot{U}_{\text{sis}}$,

$$P = m_1 U I \cos \varphi \quad (1.7)$$

$$Q = m_1 U I \sin \varphi \quad (1.8)$$

No obstante, la corriente del inducido \dot{I} depende a su vez de la corriente de excitación I_f y de la posición espacial del rotor de la máquina respecto a la tensión de la red U_{sis} , la cual se caracteriza por el ángulo θ comprendido entre el complejo \dot{U}_{sis} y la dirección del eje transversal q .

En una máquina sincrónica insaturada la corriente del inducido \dot{I} se determina por la tensión $\dot{U} = -\dot{U}_{\text{sis}}$ y la f.e.m. de excitación \dot{E}_f y por su orientación mutua; el ángulo entre ellas es igual a θ (la f.e.m. de excitación coincide con la dirección negativa del eje transversal). Durante la marcha en vacío el ángulo $\theta = 0$. Al accionar sobre el rotor el momento exterior M_{ext} , el ángulo θ adquiere un valor tal, con el cual el momento electromagnético M equilibra el momento M_{ext} . Por eso el estudio de los procesos durante el funcionamiento en paralelo se facilita considerablemente si las potencias activas y reactivas se representan en función de la tensión $U = U_{\text{sis}}$, la f.e.m. debida a la excitación E_f y el ángulo θ entre ellas:

$$P = f(U, E_f, \theta) \quad (1.9)$$

$$Q = f(U, E_f, \theta); \quad (1.10)$$

Tomando por direcciones positivas a lo largo de los ejes d y q los sentidos de la corrientes I_d e I_q en este régimen componamos las ecuaciones para las proyecciones de la tensión U sobre las direcciones mencionadas:

$$U \sin \theta = X_q I_q - R I_d \quad (1.11)$$

$$U \cos \theta = E_f - X_d I_d - R I_q \quad (1.12)$$

Resolviendo estas ecuaciones conjuntamente, hayamos que:

$$I_q = \frac{U [\varepsilon R + (X_d \sin \theta - R \cos \theta)]}{X_d X_q + R^2}; \quad (1.13)$$

$$I_d = \frac{U [\varepsilon X_q - (X_q \cos \theta + R \sin \theta)]}{X_d X_q + R^2}; \quad (1.14)$$

donde:

$\varepsilon = E_f / U$ es el coeficiente de excitación.

X_q : reactancia por el eje transversal.

X_d : reactancia por el eje directo.

R : resistencia óhmica.

Finalmente se obtiene la expresión general para la potencia activa:

$$P = P + P^1; \quad (1.15)$$

La componente P^1 esta relacionada con la interacción del rotor no excitado de polos salientes con las corrientes originadas en el devanado del inducido por la tensión U .

La máquina sincrónica conectada a la red con la tensión U y el ángulo θ dado desarrollaría la potencia activa P^1 **merced a la presencia de polos salientes.**

La componente P^1 esta relacionada con la aparición de la excitación caracterizada por la componente ε . Es la potencia que se va a generar suplementariamente en la red con la tensión U al surgir la excitación con ε prefijado.

En la máquina de polos interiores que tiene $X_d = X_q = X_1$, **la componente P^1 no existe.** Señalamos que la necesidad de considerar la resistencia óhmica R surge solo al calcular las

micromáquinas, en las cuales dicha resistencia desempeña un papel notable. En las máquinas sincrónicas grandes que tienen el devanado del inducido con una resistencia óhmica ínfimamente pequeña ($R \ll X_q < X_d$), se puede suponer que $R=0$. Entonces tenemos que:

$$P = P^I + P^{II} = M\Omega \tag{1.16}$$

donde:

$$P^I = \frac{m_1 U E_f}{X_d} \text{sen} \theta ; P^{II} = \frac{m_1 U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \text{sen} 2\theta ; \text{ en una máquina de polos salientes,}$$

$$P^I = P^{II} = \frac{m_1 U E_f}{X_1} \text{sen} \theta ; \text{ en una máquina de polos interiores.}$$

Aceptando como potencia básica S_{nom} se puede escribir las fórmulas de las activas en unidades relativas. Por ejemplo, cuando $R=0$;

$$P_* = \frac{U_* E_{*f} \text{sen} \theta}{X_{*d}} + \frac{U_*^2}{2} \left(\frac{1}{X_{*q}} - \frac{1}{X_{*d}} \right) \text{sen} 2\theta ; \tag{1.17}$$

La potencia reactiva se expresa en una forma propicia para analizar el fenómeno en paralelo de la siguiente manera:

$$Q = \frac{m_1 U^2}{X_d X_q + R^2} * [\varepsilon (X_q \cos \theta - R \text{sen} \theta) - X_q \cos^2 \theta - X_d \text{sen}^2 \theta] ; \tag{1.18}$$

Si $R=0$, en tal caso la inscripción de las componentes aisladas de la potencia reactiva se simplifica

$$Q = Q_d + Q_q , \tag{1.19}$$

donde,

$$Q_d = Q_d^I + Q_d^{II} = m_1 I_d (U \cos \theta) ;$$

$$Q_d^I = \frac{m_1 E_f}{X_d} U \cos \theta ; \quad Q_d^{II} = \frac{m_1 (U \cos \theta)^2}{X_d} ;$$

$$Q_q = -m_1 I_q (U \text{sen} \theta) = -m_1 (U \cos \theta)^2 / X_q .$$

La potencia reactiva longitudinal Q_d corresponde a la corriente longitudinal:

$$I_d = \frac{E_f - U \cos \theta}{X_d} \quad (1.20)$$

y a la componente transversal de la tensión $U_q = U \sin \theta$. La potencia reactiva longitudinal se compone de dos partes:

1) la potencia reactiva $Q_d^1 = m_1 \left(-\frac{U \cos \theta}{X_d} \right) U \cos \theta < 0$, la cual se consume por la máquina

sincrónica inexcitada para originar el campo longitudinal del inducido, siendo la tensión $U_q = U \sin \theta$ y estando avanzada la corriente longitudinal

$$I_{d(U)} = -\frac{U \cos \theta}{X_d}, \text{ en un ángulo de } \pi/2 \text{ respecto a la tensión } \dot{U}_q ;$$

2) la potencia reactiva $Q_d^2 = m_1 \frac{E_f}{X_d} U \cos \theta > 0$, la cual se origina durante la excitación a

cuenta de la corriente longitudinal suplementaria $I_{d(c.c.)} = E_f / X_d$, igual a la corriente de cortocircuito con la f.e.m.; \dot{E}_f y retrasada respecto a la tensión \dot{U}_q en el ángulo $\pi/2$.

La potencia reactiva transversal Q_q se consume por la máquina para crear el campo transversal, siendo la tensión $U_d = U \cos \theta$ y estando avanzada la corriente transversal respecto a la tensión en un ángulo de $\pi/2$.

La potencia reactiva longitudinal Q_d es positiva durante la excitación cuando:

$E_f - U \cos \theta > 0$, $\beta > 0$ y la corriente I_d está retrasada en un ángulo de $\pi/2$ respecto a la tensión $U_q = U \sin \theta$; por lo contrario, para la excitación cuando $E_f - U \cos \theta < 0$, $\beta < 0$ y la corriente I_d avanza respecto a la tensión U_q en un ángulo de $\pi/2$, la potencia reactiva longitudinal siempre será negativa.

El monto de la potencia generada está dado por la carga. Cuando la potencia activa crece también crece el momento y el mecanismo primario actúa por las caídas de velocidad. Por lo que el generador debe aumentar velocidad para compensar. Cuando la velocidad original es alcanzada, el generador reduce la potencia en el mecanismo para emparejar la nueva carga.

1.3 Requisitos a tener en cuenta para sincronizar un generador.

Para conectar un grupo generador a la red pública se necesita el consentimiento de la Empresa Eléctrica (EE), que ha de aprobar el equipamiento (paneles, relés de protección).

Las observaciones siguientes señalan algunas consideraciones básicas que han de tenerse en cuenta para la protección y el control.

- Protección:

Para estudiar la conexión del generador, se requiere datos como los siguientes:

- Potencia inyectada en la red.
- Modo de conexión.
- Corriente de cortocircuito del grupo electrógeno.
- Desbalance de la tensión del generador.

En dependencia del modo de conexión, se requieren funciones específicas de protección contra el desacoplamiento:

- Protección contra sobretensiones y las subtensiones.
- Protección contra las sobrefrecuencias y las subfrecuencias.
- Protección con las sobrefrecuencias de secuencia cero.
- Tiempo máximo de acoplamiento (para acoplamiento momentáneo).
- Potencia inversa real.

Por razones de seguridad, el aparillaje usado para el desacoplamiento ha de estar también provisto con las características de un desconectivo (o sea, segregación total de todos los conductores activos entre el grupo electrógeno y la red de suministro electroenergético).

- Control:

Cuando los generadores en una subestación de cliente funcionan en paralelo con toda la generación del sistema de suministro electroenergético de la EE, en la suposición de que la tensión del sistema electroenergético se reduce por razones operacionales (es común operar los sistemas de Media Tensión (MT) dentro de una gama de $\pm 5\%$ de la tensión nominal, o aún más, cuando lo requieren todas las formas de flujo de la carga).

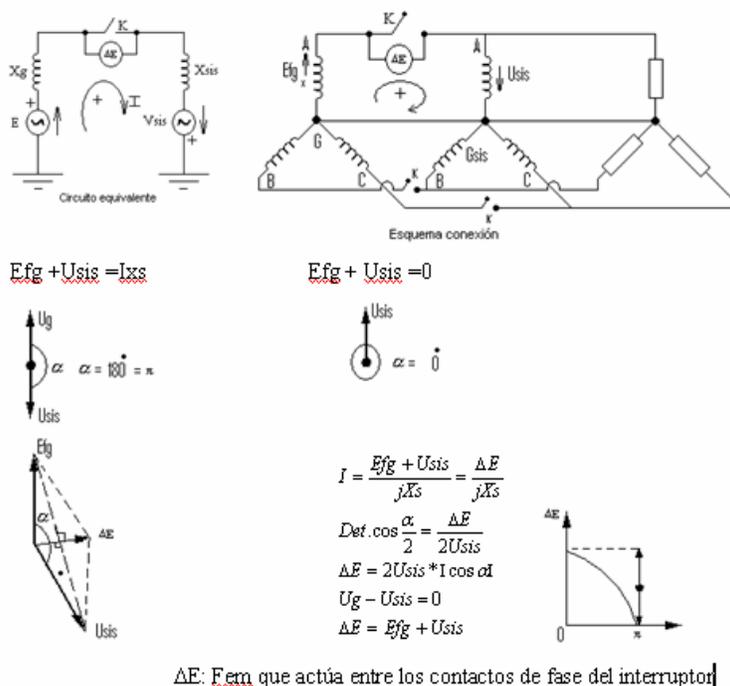
Un Automatic Voltaje Regulator (AVR) ajustado para mantener la tensión dentro de un $\pm 3\%$ intentará inmediatamente elevar la tensión mediante el incremento de la corriente de excitación del alternador.

En lugar de elevar la tensión, el alternador simplemente funcionará a un factor de potencia más bajo que antes, incrementando por tanto su entrega de corriente y continuará haciéndolo hasta que eventualmente sea disparado por sus relés de protección contra las sobrecorrientes. Este es un problema bien conocido y usualmente es superado por la provisión de un interruptor de control de “factor de potencia constante” en la unidad AVR.

Al hacer esta selección, el AVR ajustará automáticamente la corriente de excitación para equiparar con cualquier tensión que exista en el sistema electroenergético, mientras mantiene al mismo tiempo constante el factor de potencia del alternador en el valor preajustado (seleccionado en la unidad de control del AVR).

En caso de que el alternador se haya desacoplado del sistema electroenergético, el AVR debe automáticamente (con rapidez) ser reconmutado a control de “tensión constante”.

Para conectar el generador sincrónico en paralelo con un sistema de potencia u otro generador que alimente una carga, deben observarse ciertos requisitos no solo concernientes a la velocidad y voltaje antes de la conexión, sino también relativos al momento apropiado para cerrar el disyuntor que pone al generador a trabajar en el sistema.



ΔE : Fem que actúa entre los contactos de fase del interruptor

Figura 1. 3 Conexión de dos generadores en paralelo a una carga.

Estos requisitos son los siguientes:

a) La secuencia de los voltajes del generador debe ser igual a la del Sistema Electroenergético Nacional. De no cumplirse esta condición sería imposible la sincronización del voltaje del generador con los del sistema.

b) La frecuencia del generador debe ser ligeramente superior a la del Sistema Electroenergético Nacional.

Esto se hace para que el generador entre al sistema suministrando una pequeña cantidad de potencia activa. Al entrar en el sistema, la velocidad del generador se hace automáticamente igual a la del sistema, ya que este es muy grande en comparación con aquel, o sea, que si previamente a la conexión la velocidad era superior a la sincrónica, el generador se frena al entrar en el sistema y una menor velocidad del motor primario del generador (una turbina, motor de corriente directa, etc.). O sea, velocidad o frecuencia en función de la potencia de salida. Con las características mostrada la frecuencia del generador en vacío es 63 Hz, al conectarlo al sistema de 60 Hz entregará P1 kV al mismo.

Si la frecuencia antes de sincronizar fuera menor de 60 Hz haciendo un análisis similar se llegaría a la conclusión de que al sincronizarse con el sistema la máquina comenzaría a trabajar como motor, lo cual no es permitido, ya que significaría una carga adicional al sistema y puede dañar el motor.

c) El voltaje del generador debe ser aproximadamente igual al del sistema. Con esto se evita la circulación de grandes corrientes en el momento de sincronizar.

Si el voltaje es superior al del sistema la máquina entra suministrando potencia reactiva al mismo, si es inferior entra recibiendo potencia reactiva del mismo.

d) En el instante de sincronizar los voltajes del generador y del sistema deben estar en fase. Si estos no están en fase circulará una gran corriente en el instante de conectar el interruptor la cual será igual o menor que la del cortocircuito pudiendo ser el doble de la misma cuando ambas F_{em} están a 180° .

Evidentemente como el generador y el sistema son trifásicos, lo planteado anteriormente debe asegurarse para las tres fases.

Actualmente es más utilizado el sincronoscopio, instrumento que al conectarse debidamente al generador y al sistema indica mediante una aguja el instante correcto de la sincronización y además, si el generador va atrasado o adelantado respecto al sistema.

Al sincronizar un generador con el sistema se pretende que aquel suministre a éste tanta potencia activa y reactiva de acuerdo con los requerimientos de los consumidores.

1.4 Descripción de la central termoeléctrica de la empresa Ernesto Che Guevara.

La planta termoeléctrica de la empresa de níquel Ernesto Guevara esta formada por diferentes plantas que componen su proceso productivo, la destinación de la misma es la producción de vapor y energía eléctrica para el proceso productivo de la empresa en la producción de níquel. Las diferentes áreas o plantas que componen la termoeléctrica son:

1.4.1 Planta de tratamiento químico del agua.

El agua es recibida desde la planta potabilizadora mediante dos líneas, en esta planta se encarga de realizar el tratamiento químico de el agua con diferentes reactivos químicos en diferentes etapas (desmineralización y suavizamiento) para su posterior utilización en la planta de proceso, además de la distribución de la misma para la producción de vapor en las calderas, en esta área existen una serie de equipos eléctricos los cuales son alimentados desde el deposito de distribución principal a una subestación de distribución a la planta, existen tres transformadores de 10,5/0,48 Kv y tres secciones en las cuales están repartidas las cargas de esta planta.

1.4.2 Planta de base de petróleo 36/37 (Mazut).

Es la planta encargada de recibir almacenar y luego suministrar el petróleo mediante bombas de 75,100 y 110 Kw. de potencia, a las diferentes plantas que componen el proceso productivo de la empresa, los equipos existentes en esta área son alimentados desde una subestación principal de la planta de secaderos y también tienen una alimentación desde el depósito de distribución principal de la termoeléctrica, en esta subestación hay tres transformadores de 10.5/0.48Kv dos secciones de trabajo y una sección de reserva. Esta es una de las áreas importantes ya que de aquí se bombea el petróleo a las calderas para su posterior producción de vapor.

1.4.3 Área de calderas:

En esta área luego de que el agua haya sido tratada y el petróleo bombeado hacia las calderas se recibe en las mismas para la producción de vapor, este vapor va a ser utilizado para el proceso productivo de la empresa, así como para transformación de energía mecánica en energía eléctrica, aquí en ésta área existen 7 calderas de ellas en explotación hay 2 Eslovacas de 150 TN/h y 3 soviéticas de 75 TN/h de vapor para el consumo del sistema de la empresa tales como recuperación de amoniaco, planta de hornos de reducción y para el consumo de la planta para el calentamiento de petróleo soplado entre otras operaciones que se realicen en la planta, la alimentación eléctrica de esta área proviene de una subestación de 0,48 kV para toda la valvulería y una alimentación de 6,3 kV para los motores de los ventiladores de las mismas. En dicha subestación existen 3 transformadores de 0,48 kV y tres secciones de ellas dos de trabajo y una de reserva alimentada desde el depósito de distribución principal de la empresa.



Figura 1.4 Calderas.

1.4.4 Área de compresores:

Esta área es la encargada de la producción del aire para sus diferentes utilidades en nuestra empresa, entre ellos están: el aire de servicio, el aire tecnológico, el aire de transporte neumático, en cantidad y calidad requerida para el consumo necesario para las diferentes plantas del proceso de producción de nuestra empresa. Estos compresores son alimentados con un voltaje de 6,3 kV desde la subestación principal de esta área.

1.4.5 Área de torres de enfriamiento:

Las torres tienen como finalidad la disipación del calor generado en el proceso para lo cual se cuenta con cinco torres montadas con nuevas tecnologías de dos secciones cada una repartidas en dos ciclos en el ciclo 1 están las piro metalúrgicas a las cuales pertenecen las plantas de secaderos, hornos de reducción, termoeléctrica y servicios energéticos, en el ciclo 2 están las hidrometalúrgicas a las cuales pertenecen las plantas de lixiviación y lavado, recuperación de amoníaco, calcinación y sinter, talleres y laboratorios. El agua caliente que

retorna a las torres a una temperatura de 45 grados desde los distintos consumidores a través de dos tuberías en cada ciclo en el caso del ciclo 1 llega a las columnas hidráulicas igualando la presión y temperatura pasando luego a las torres de enfriamiento y en caso del ciclo 2 llega por dos tuberías directamente a las torres, las torres de enfriamiento de tiro inducido producen el intercambio de calor entre el fluido a enfriar y el aire inducido a través del ventilador. El aire es expulsado a la atmósfera como vapor de agua producido como resultado del intercambio de calor el agua enfriada sale de las torres aproximadamente a 31 grados para ambos ciclos. Estos motores de los ventiladores de las torres de enfriamiento son alimentados de una subestación de 0.48 kV.

1.4.6 Área de turbinas:

En esta área tenemos como objetivos fundamentales el bombeo del agua para las calderas mediante bombas de alimentar las cuales están alimentadas de una sub-estación de 6,3 kV, luego que el vapor proveniente de las calderas llega a la turbina el mismo hace girar el rotor de la máquina hasta llevarlo a 3600 rpm para luego su posterior sincronización con el SEN, obteniendo la energía eléctrica deseada para su utilización en la alimentación de los diferentes equipos de la empresa para la producción y los servicios necesarios. En esta área también se deben chequear los parámetros de trabajo de las máquinas así como las bombas alimentadoras de agua a las calderas, además también se encarga de mantener una presión y flujo constante de vapor en este caso a la planta de recuperación de amoníaco por una línea de vapor de 2 atm, y para hornos, puerto, calcinación y base de petróleo por una línea de vapor de 10 atm.

Descripción tecnológica de la turbina.

La Turbina de vapor de tipo 12/12-3,5/1/0,2 de potencia nominal de 12 MW/h y contrapresión nominal de 1 kgf/cm^2 , está destinada a mover el generador de corriente alterna de tipo 6HY 56267012.

En la figura siguiente se pueden apreciar el conjunto Turbina-Generador de dos unidades de la central termoeléctrica objeto de estudio.



Figura 1.5 Turbogeneradores.

1.4.7 Área de subestaciones eléctricas:

La planta termoeléctrica consta de diferentes subestaciones eléctricas las cuales están destinadas para la distribución, transformación y transmisión de la energía. En primer lugar tenemos el depósito de distribución principal en el cual se encuentra ubicado la gran cantidad de interruptores los cuales distribuyen la energía para las diferentes subestaciones de la empresa, en el depósito de distribución principal se encuentran los interruptores de los dos transformadores de enlace con el Sistema Electroenergético Nacional los cuales alimentan las 5 secciones del depósito de distribución principal. De esta subestación se alimentan las diferentes subestaciones para el uso interno de la planta y también están ubicados los interruptores de los tres turbogeneradores de nuestra planta, el voltaje llega a los transformadores principales desde una subestación de punta gorda con un voltaje de 110 kV y los transformadores lo reducen a 10,5 kV siendo alimentada ésta y las líneas que salen de aquí a las diferentes plantas con este voltaje de 10,5kV. En las diferentes subestaciones de la empresa hay instalados transformadores los cuales se encargan de bajar o subir el voltaje

según lo requieran los equipos de cada área los voltajes más frecuentes son 630, 480, 380, 220, 110 volts así como voltajes más bajos.

En esta área se encuentra ubicado un local de baterías de 230 volts, las cuales se encargan de la alimentación de los circuitos de corriente directa que son utilizados en los circuitos de alumbrado de emergencia, circuitos de protección, señalización, instrumentación así como los circuitos de control y mandos de los diferentes equipos de la planta.

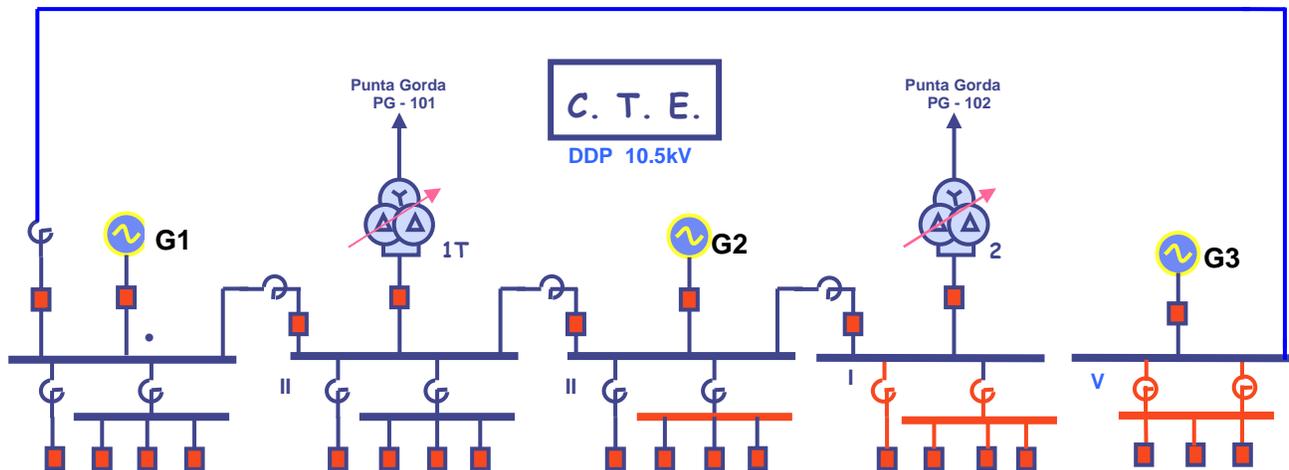


Figura 1.6 Esquema monolineal del depósito de distribución principal de la planta termoeléctrica, con los elementos principales que participan en la sincronización.

1.5 Descripción del funcionamiento del sistema de sincronización actual.

El sistema de sincronización actual es un sistema en el cual se emplea la sincronización de los elementos principales de la planta de forma manual y automática, este proceso se realiza en un pupitre de sincronización el mismo está ubicado en la sala de mandos térmicos. En este pupitre existen diferentes instrumentos que nos permiten realizar las operaciones, éstos son: sincronoscopio, frecuencímetro, el Multilin donde se registran todos los parámetros de trabajo de la máquina en tiempo real, también se encuentran los mandos de los reguladores de tensión y corriente, así como los mandos de los interruptores que intervienen en el proceso de sincronización, con este sistema se sincroniza los dos turbogeneradores de vapor con la red, aquí también se tienen en cuenta los parámetros de voltaje y frecuencia de la máquina con respecto al Sistema Electroenergético Nacional.

Para la sincronización de los transformadores de enlace con el Sistema Electroenergético Nacional además de los interruptores de enlace entre secciones se realiza la operación en una pizarra donde están ubicados los diferentes mandos correspondientes con los elementos a sincronizar, además de los diferentes instrumentos que intervienen en este proceso, esta pizarra se encuentra ubicada en la sala eléctrica de la planta, es decir, ambas salas quedan algo distantes una de la otra, por lo que en caso de un disparo o una emergencia se dificulta la rápida operación de los elementos a los operadores eléctricos los cuales son los encargados y responsables de operar estos elementos para así de esta forma garantizar la constante distribución de energía a los diferentes consumidores para un mejor funcionamiento de nuestra empresa.

Teniendo en cuenta los avances de la ciencia y la técnica y la posibilidad de la adquisición de las nuevas tecnologías se hizo necesario la adquisición de nuevos elementos para la modernización del sistema de sincronización de la termoeléctrica; para hacerlo mucho más confiable, preciso y eficiente en las diferentes manipulaciones referentes a este sistema utilizando estas nuevas tecnologías; con estos elementos los cuales son de gran importancia para la planta y para el trabajo de todos los consumidores de nuestra empresa.

Para asegurarse que todas estas condiciones se cumplen, es necesario un circuito de sincronización que comprende un sistema de Multilin los cuales se encargaran de registrar los datos suficientes para la sincronización además del frecuencímetro y el sincronoscopio instalado para tal objetivo. También se encuentran instaladas las lámparas que se usan con este fin de igual manera.

1.6 Conclusiones parciales.

En este capítulo se ha querido dar a conocer las áreas de proceso que componen la planta termoeléctrica, es decir se ha querido dar una breve explicación detallada del flujo tecnológico de la planta. Dando a conocer de manera muy breve las características de la misma así como la destinación de cada área y la importancia que tiene en el proceso de producción de la planta.

Además de esto se ha dado ha conocer la forma de sincronización actual y la forma en la que se realizará la sincronización con el sistema a montar. Con la implementación de la modernización en nuestra planta para la sincronización de todos los elementos principales de la planta los cuales son: los transformadores de enlace con el Sistema Electroenergético Nacional, los tres turbogeneradores así como los interruptores de enlace entre secciones de barra, además de la ubicación del panel central de sincronización, dando a conocer algunas de las características principales de nuestra planta para el proceso productivo de la empresa.

Capitulo - 2

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS SOBRE EL SYNCHRO TACT 5.
MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN. ESQUEMAS DE SINCRONIZACIÓN.

2.1 Introducción.

El equipo tecnológico es parte de la planta termoeléctrica destinada a la producción del vapor y de la energía eléctrica para la fábrica procesadora de níquel. La empresa trabaja en servicio permanente y por eso tiene las máximas exigencias para el suministro con energías. El suministro de la energía eléctrica para la termoeléctrica tiene el sistema de dirección y la parte de la dirección es también el conjunto de sincronización.

El suministro de la red eléctrica tiene el seguro en primer grado. El equipo tiene la alimentación con dos entradas del distribuidor de corriente directa 220 V DC con la derivación de diodo. Proponemos los cables multifilares de mando y de señalización para el mando desde el sistema de dirección. Un cable desde un campo para el mando también la señalización. Los cables son flexibles, trenzados y para la unión a las regletas serán usadas las piezas terminales.

2.2 SYNCHROTECT® 5.

SYNCHROTECT® 5 es la quinta generación de la familia de dispositivos de sincronización construidos en Suiza por ABB Switzerland. Los productos SYNCHROTECT de ABB encuentran su aplicación en la sincronización automática de generadores con la red y en la puesta en paralelo de líneas síncronas. Están diseñados para operación totalmente automática y equipada en configuración a canal doble o simple.



Figura 2.1 SYNCHROTECT 5

Los equipos de sincronización son necesarios en las centrales donde un generador debe ser acoplado a la red correspondiente o en subestaciones, para conectar en paralelo dos líneas de transmisión ya síncronas. Los interruptores de potencia solo pueden ser cerrados cuando las tensiones en ambos lados del interruptor abierto están en sincronismo.

En caso de no ser así se pueden producir perturbaciones en la red, disparo del interruptor, solicitudes perjudiciales o en casos extremos incluso daños en el generador y transformador.

SYNCHROTECT 5 garantiza una sincronización segura y fiable tanto en su utilización como dispositivo de vigilancia para la puesta en paralelo manual como también en su aplicación como sistema de sincronización independiente totalmente automático.

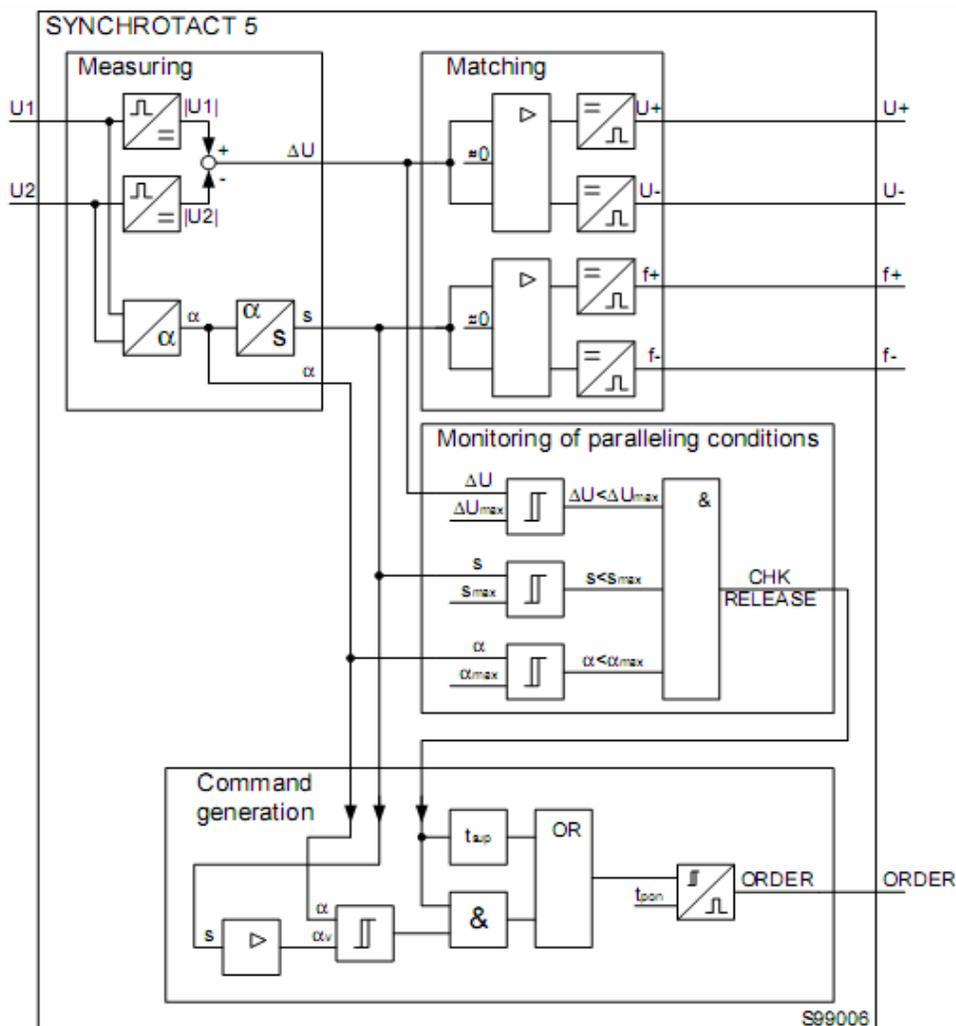


Figura 2.2 Esquema general con las diferentes conexiones del Synchronact® 5.

2.3. Utilización del SYNCHROTECT 5.

El SYNCHROTECT 5 es utilizado para diferentes tareas como se puede apreciar en las siguientes figuras:

2.3.1. Sincronización en paralelo.

Mediante la operación del Sistema Electroenergético Nacional utilizando el Synchronact 5 se pueden realizar operaciones de sincronización en paralelo de diferentes generadores con la red tal y como se muestra en la figura 2.3.

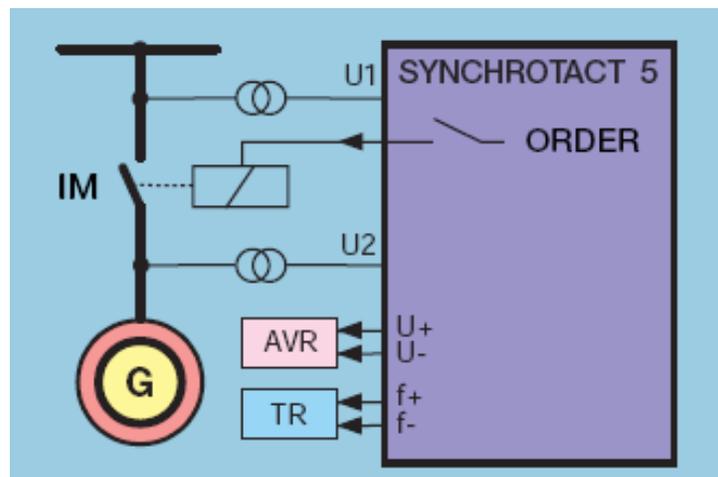


Figura 2. 3 Sincronización automática y acoplamiento en paralelo de generadores con la red.

2.3.2 Sincronización de líneas.

En las diferentes líneas síncronas se podrá realizar las operaciones de sincronización utilizando el dispositivo de sincronización esto se puede apreciar en la figura 2.4.

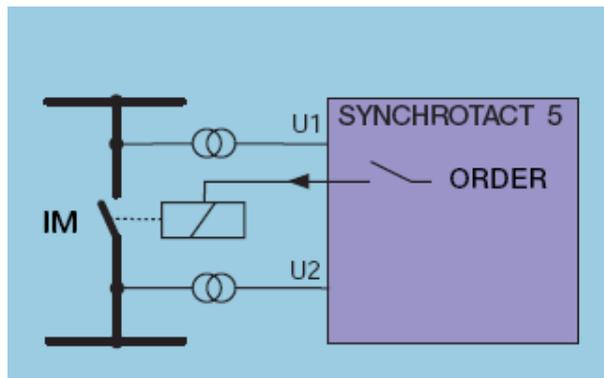


Fig. 2.4 Acoplamiento automático en paralelo de líneas síncronas y de barras.

2.3.3 Sincronización de generador con líneas energizadas y no energizadas.

Estos dispositivos son utilizados también en la sincronización de los diferentes dispositivos anteriormente expuestos así como en su función en automático y manual en la conexión de generadores y las líneas de tensión o en líneas que no estén energizadas, es decir una línea luego de su mantenimiento puede ser sincronizada mediante este dispositivo sin ninguna dificultad, como se puede apreciar en la figura 2.5.

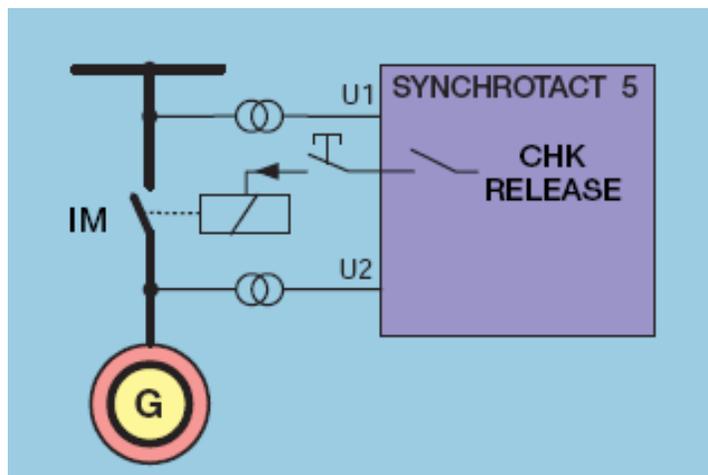


Figura 2.5 Supervisión del acoplamiento en paralelo automático o manual de líneas y síncronas (Synchrocheck) y conexión de generadores y líneas sin tensión o líneas muertas (Dead Bus).

El diseño flexible del SYNCHROTECT 5 permite maximizar la seguridad y la disponibilidad del aparato para diferentes configuraciones.

El concepto “canal doble” significa que al sincronizar los contactos de salida de dos canales se encuentran conectados en serie, de manera que una posible orden de acoplamiento de un canal dado en un momento inadecuado, resultaría bloqueada por el otro canal. Esta configuración aumenta la seguridad de servicio de la instalación.

El concepto “redundancia” es utilizado en aparatos poseyendo dos sistemas trabajando en paralelo. En caso de pérdida de uno de los dos sistemas, el segundo asegura la ejecución de la función. Esta configuración acrecienta la disponibilidad de la instalación.

2.3.4 Alta seguridad de servicio en manual y en automático.

En la operación de sincronizar, la seguridad del generador y de la red gozan de la más alta prioridad.

La sincronización automática segura se consigue por medio de un sistema a dos canales constituido cada uno de ellos por (hardware) materiales y (software) independientes el uno del otro, (Figura 2.6).

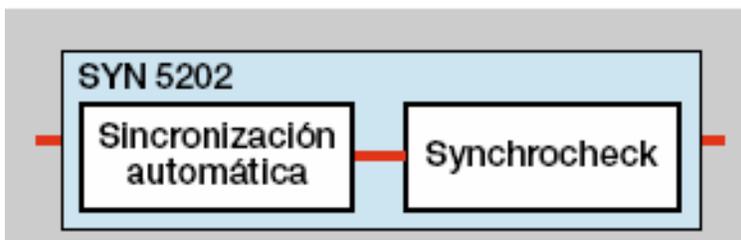


Figura 2.6. Sistema de canales automáticos.

El primer canal asume la función de sincronizado automático y el segundo se ocupa de la supervisión de la operación (Synchrocheck). Los materiales (Hardware) y el (Software) de cada uno de los canales han sido realizados cada uno por distintos equipos de ingenieros de desarrollo y utilizando microprocesadores diferentes. De esta manera se evitan las consecuencias negativas de fallas sistemáticas.

La seguridad de la sincronización manual es garantizada por un dispositivo de vigilancia (Synchrocheck) que se encuentra conectado en serie con el interruptor de puesta en paralelo manual. Figura 2.7

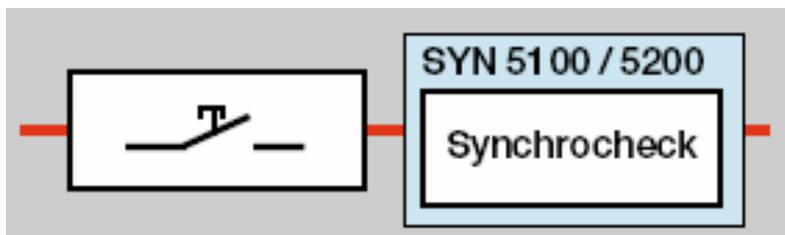


Fig. 2.7 Dispositivo de vigilancia. (Synchrocek)

2.3.5 Disponibilidad total.

Para garantizar un alto grado de disponibilidad, la familia SYNCHROTECT 5 ofrece diferentes configuraciones redundantes. Con ello es alcanzada la máxima disponibilidad sin menoscabo de la seguridad. Los sistemas automáticos a uno y dos canales, sistema a doble canal redundante incluyendo el alambrado de ambos canales entre sí, así como los dos dispositivos Synchrocheck pueden ser suministrados agrupados en una caja. (Figura 2.8).

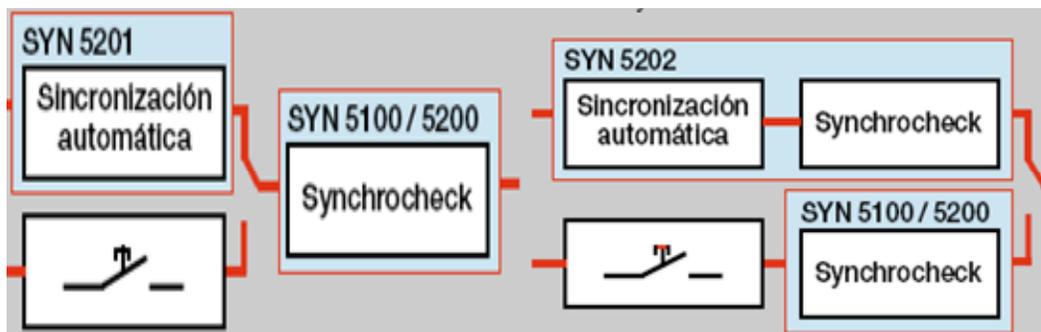


Figura 2.8 Sistemas automáticos a 1 y 2 canales.

2.3.6 Características especiales.

- En un aparato se encuentran contenidos hasta siete juegos de parámetros para siete puntos de acoplamiento en paralelo diferentes.
- Las entradas y salidas digitales pueden ser libremente configuradas.
- Equipado para servicio a frecuencias nominales de 50 Hz, 60 Hz.
- Apropiado para sustitución de viejos sistemas SYNCHROACT o por dispositivos de sincronización de otros fabricantes.

2.3.7 Puesta en servicio rápida.

- Un confortable software de PC denominado "SynView" facilita la puesta en servicio rápida y sencilla de un sistema SYNCHROACT5.
- El programa SynView da los valores de ajuste máximo, mínimo y estándar para cada uno de los parámetros.
- En el software del aparato se han implantado funciones de ensayo inteligentes que actuando en correlación con el interruptor de potencia, el regulador de tensión y el de velocidad, determinan los valores paramétricos dependientes de la instalación.
- Aun sin PC, la puesta en servicio del SYNCHROACT 5 por medio de las teclas y de los dispositivos de visualización situados en el frente del aparato resulta posible y cómoda.

SynView sirve para realizar una puesta en servicio sencilla y rápida de los sistemas SYNCHROACT 5.

Los idiomas que pueden ser elegidos para el SynView que se desarrolla bajo Microsoft® Windows™ 95, 98, 2000 o NT son el alemán, el inglés o el francés.

2.3.8 Ventajas adicionales.

- El número de relees separados necesarios es reducido ya que los contactos de los aparatos han sido dimensionados con gran capacidad y las entradas y salidas poseen separación galvánica.
- No es necesaria ninguna fuente de alimentación separada para las tensiones auxiliares.
- Existe disponible un dispositivo auxiliar para la conexión simple de un mayor número de puntos de sincronización (SYN 5500)
- Una gran parte del alambrado resulta eliminada por incorporación en un sistema director de bus (MODBUS o Profibus entre otros).

2.4 Funciones del software Synview.

El programa SynView que acompaña al dispositivo, presenta las cuatro funciones principales siguientes:

2.4.1 Ajuste de parámetros.

Una indicación clara y de fácil manejo para el ajuste de los parámetros, (figura 2.9).

The screenshot shows the ABB Parameter.syn - COM 1 software interface. At the top, there is a title bar and a menu bar with options: Block, Ready, Write, Read, and Reset Error. Below the menu bar is a table with the following columns: No., Parameter name, Abbrev, Value, and Unit. The table lists various parameters grouped into sections 1 through 7. At the bottom of the interface, there are buttons for Set 1 through Set 7, Configuration, and Synchrocheck.

No.	Parameter name	Abbrev	Value	Unit
1	Actual value calibration			
1.1	Nominal voltage	Un	110	VAC
1.2	Nominal frequency	fn	50	Hz
1.3	Voltage tuning	dUOffset	0.0	%
1.4	Angle tuning	aOffset	0	DEG
2	Command generation			
3	Paralleling conditions			
3.1	Slip limit, oversynchronous	-smax	0.40	%
3.2	Slip limit, sub-synchronous	+smax	0.40	%
3.3	Angle limit, negative	-alpha max	10	DEG
3.4	Angle limit, positive	+alpha max	10	DEG
3.5	Max. voltage difference, overexcited	-delta U max	3	%
3.6	Max. voltage difference, underexcited	+delta U max	3	%
3.7	Maximum voltage	Umax	120	%
3.8	Minimum voltage	Umin	80	%
4	Dead bus conditions			
5	Voltage matcher			
6	Frequency matcher			
7	General parameters			
7.1	Blocking time after selection	t block	2	s
7.2	Total paralleling time	t tot	5.0	min

Figura 2.9 Resultado del ajuste de parámetros.

2.4.2 Visualización de los valores actuales.

Sincronoscopio, visualización de la tensión y frecuencia con valores en tiempo real, (figura 2.10).

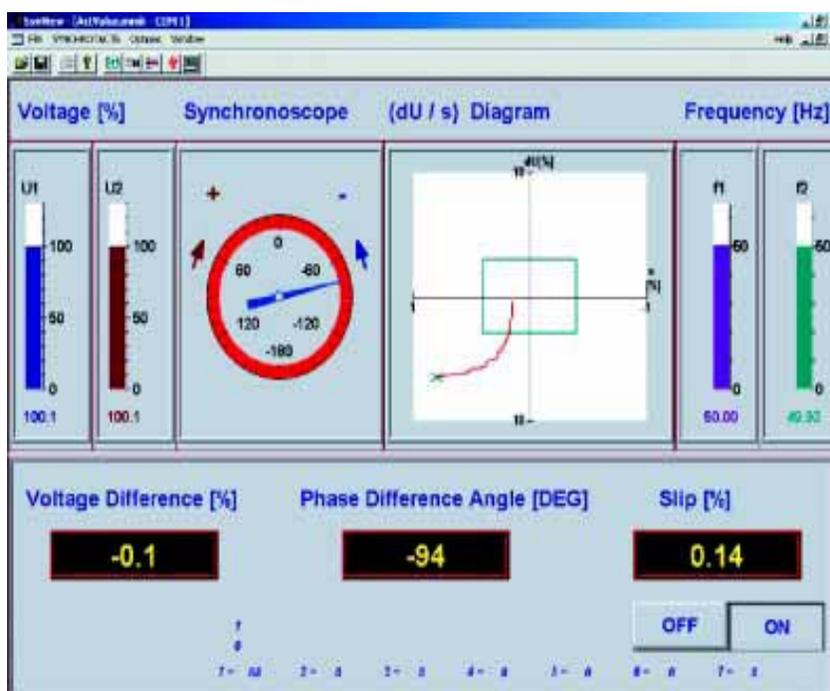


Figura 2.10 Frecuencia y tensión en tiempo real de sincronización.

2.4.3 Registro de valores transitorios.

Los datos transitorios registrados son visualizados, lo que hace innecesaria la adopción de un registrador separado para la puesta en servicio, (figura 2.11).

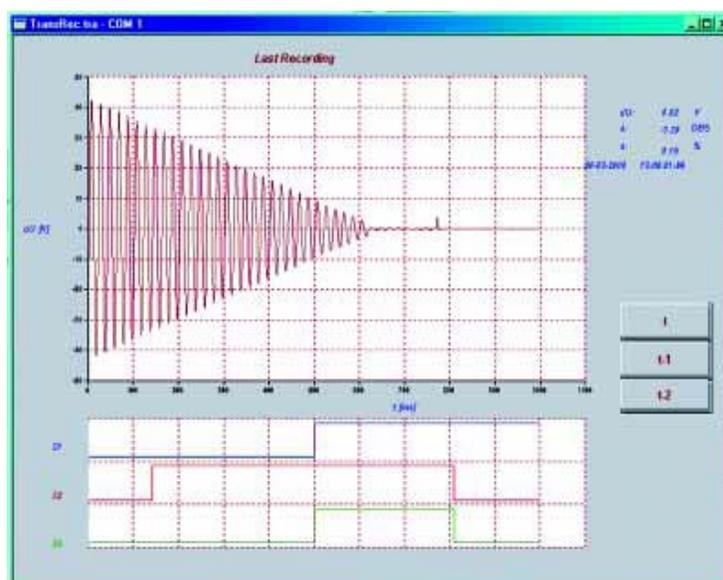


Figura 2.11 Registro de datos transitorios.

2.4.4 Memorizado de eventos y fallas.

Los eventos y fallas correspondientes a las últimas 256 indicaciones son dados en texto claro e impresos con sus tiempos de aparición, (figura 2.12)

Date / Time	Relative Time	Code	Text
30-03-2000 11:28:43:23	00:00:00:00	3	SYNCHROTRACT selected
30-03-2000 11:28:45:37	00:00:02:14	23	Adjusting command f+
30-03-2000 11:28:45:46	00:00:02:23	21	Adjusting command U+
30-03-2000 11:29:05:20	00:00:21:97	25	Release contact closes
30-03-2000 11:29:06:21	00:00:22:98	26	Release contact opens
30-03-2000 11:29:20:12	00:00:36:89	25	Release contact closes
30-03-2000 11:29:20:65	00:00:37:42	27	Paralleling command contact closes
30-03-2000 11:29:20:94	00:00:37:71	26	Release contact opens
30-03-2000 11:29:21:65	00:00:38:42	28	Paralleling command contact opens
30-03-2000 11:32:40:23		4	SYNCHROTRACT stopped
30-03-2000 11:32:40:33		5	Device ready
30-03-2000 11:32:40:63		6	Device not ready
30-03-2000 11:32:42:43		11	Changed data
30-03-2000 11:32:52:95		5	Device ready
30-03-2000 11:33:06:83		6	Device not ready
30-03-2000 11:33:06:83		11	Changed data
30-03-2000 13:04:02:01		1	Auxiliary voltage on
30-03-2000 13:04:02:01		5	Device ready
30-03-2000 13:04:02:02		101	Select parameter set 1
30-03-2000 13:07:25:34		4	SYNCHROTRACT stopped
30-03-2000 13:07:26:35	00:00:00:00	3	SYNCHROTRACT selected
30-03-2000 13:07:28:48	00:00:02:13	23	Adjusting command f+
30-03-2000 13:07:28:57	00:00:02:22	21	Adjusting command U+
30-03-2000 13:07:51:20	00:00:24:85	25	Release contact closes
30-03-2000 13:07:51:85	00:00:25:50	26	Release contact opens
30-03-2000 13:08:01:50	00:00:35:15	25	Release contact closes
30-03-2000 13:08:01:89	00:00:35:54	27	Paralleling command contact closes
30-03-2000 13:08:02:17	00:00:35:82	26	Release contact opens
30-03-2000 13:08:02:89	00:00:36:54	28	Paralleling command contact opens
30-03-2000 13:08:06:91		4	SYNCHROTRACT stopped
30-03-2000 13:08:06:96		5	Device ready

Figura 2.12 Registro de eventos y fallas.

2.5 Descripción del sistema de sincronización a instalar.

Este sistema de modernización esta compuesto por un panel central de sincronización en el cual están conectados todos los elementos a sincronizar al sistema de la empresa con el sistema electronegético nacional, en este panel de sincronización también está conectado el Synchrotact 5, el cual es el encargado de realizar las diferentes operaciones relacionadas con la sincronización de los elementos del sistema como tal.

En este panel de sincronización se reflejaran las diferentes señales para las realizaciones de los trabajos de sincronización, además se seleccionarán en las diferentes mandos existentes en el panel los elementos escogidos para la sincronización, también nos da la forma en que se podrán realizar la sincronización de los elementos ya sea de forma manual o automática, es decir nos da una visión de todos los dispositivos existente en el sistema. En este estarán los dos generadores de 12,5 MW cada uno de fabricación Checa y un tercer generador de 25 MW de fabricación Eslovaca incluido también en la modernización de la planta, además de los transformadores de enlace con el Sistema Electroenergético Nacional y los interruptores

de enlace con las secciones de barras en el depósito de distribución principal de la planta termoeléctrica.

2.6 Metodología para el funcionamiento del sistema de sincronización, mediante el synchrotact ® 5.

El armario de la sincronización con el fasímetro SYNCHROACT® 5 (figura 2.13) es determinado para la sincronización automática y el fasaje de los generadores con la red. El tipo SYN 5202 contiene dos canales independientes. Esta configuración de dos canales maximalisa el seguro contra la conexión paralela de falta. Todos los parámetros necesarios para la conexión paralela son colocados en un juego de parámetro. Las condiciones para la conexión paralela y las características de las funciones son determinadas en este juego. Esto posibilita con un (1) equipo de sincronización realizar la conexión paralela en las condiciones diferentes.



Figura 2.13 Panel de sincronización central.

En el presente caso de estudio se posibilita fasear tres turbogeneradores y dos transformadores a la red nacional. El proceso de la conexión paralela tiene la base en la comparación de dos tensiones U_1 (tensión de la RED) y U_2 (tensión del generador o de la red de empresa en caso del servicio de isla). La función de la monitoria de las condiciones de la conexión paralela libera la orden para la conexión paralela, si al mismo tiempo tenemos las condiciones siguientes:

- La diferencia del ángulo de fase está en el campo de tolerancia.
- La diferencia de las frecuencias está en el campo de tolerancia.
- La diferencia de las tensiones está en el campo de tolerancia.
- La tensión no ha bajado bajo el valor mínimo.
- La tensión no ha subido el valor máximo.
- Los equipos están en el estado de función.
- La derivación de la frecuencia nominal es menor como 5 Hz.

El régimen de función normal:

Después de la unión de la tensión auxiliar comienza la SW dotación del aparato SYNCHROTECT ® 5.

La tensión auxiliar es generalmente unida permanentemente y el proceso es en acción. El conmutador S1 estará en la situación AUT. La preparación del turbogenerador correspondiente al fasaje será determinada con la señal SYNCHRONIZACION desde el sistema de dirección tecnológico de la turbina correspondiente. En el régimen automático el sistema de dirección selecciona el correspondiente juego de parámetros y los relees auxiliares dirigen la tensión de la red y la tensión del generador faseado a las entradas de medida. Al mismo tiempo el sistema de dirección pone en función el excitador del generador faseado. La tensión de excitación y la corriente de excitación son enviadas al sistema de dirección. Después de alcanzar los parámetros nominales envía el sistema de dirección la orden COMIENZO al SYNCHROTECT. Ese con los impulsos de dirección enviados al excitador y al regulador de revoluciones da el estado de sincronización con la red.

La conexión del turbogenerador a la red tiene la señalización al sistema de dirección y al SYNCHROTRACT y termina el proceso del fasaje.

El fasaje del generador a la red del servicio de isla de la empresa:

El fasaje del generador en caso del servicio de isla de un (1) o dos (2) generadores será el mismo como el fasaje a la red. La conexión del turbogenerador a la red tiene la señalización al sistema de dirección y al SYNCHROTRACT y termina el proceso del fasaje.

El fasaje de la empresa desde el servicio de isla al servicio paralelamente con la red:

El fasaje es posible con cualquier turbogenerador. Los operadores de la turbina envían la orden SINCRONIZACIÓN. En caso del fasaje de la empresa desde el servicio de isla deben los operadores en la sala eléctrica de mando elegir, que transformador será usado para el fasaje. El sistema de dirección elige la serie correspondiente de parámetro y los relees auxiliares llevarán la tensión de red y la tensión del transformador de fase a las entradas de medida. El Synchronotact con las órdenes sincroniza la red de isla con la red nacional y da la orden para la conexión del transformador correspondiente. La conexión del transformador a la red tiene la señalización al sistema de dirección y al SYNCHROTRACT y termina el proceso del fasaje.

El régimen de servicio manual:

En caso de la avería del sistema eléctrico de dirección es posible el fasaje en el régimen manual. El régimen manual puede ser semiautomático (de servicio) o solamente manual.

En el régimen semiautomático será el conmutador S1 en posición AUT. El sistema de dirección es abierto. El contacto del rele conecta y lleva la tensión de mando a los conmutadores S2 y S3. Con estos se elige el generador o el transformador para el fasaje. Después de la orden de los operadores de las turbinas para el fasaje del generador, los operadores en la sala de mando eléctrica eligen con el conmutador S2 el generador correspondiente (G1, G2, G3).

Las lámparas HL4, HL5, HL6 señalizan la preparación del turbogenerador correspondiente al fasaje (excitador cerrado, las salidas del SYNCHROTRACT unidas a los reguladores

correspondientes de la tensión y de la frecuencia). Las lámparas HL7 hasta HL8 señalizan la presencia de la tensión en las barras colectoras de la sección correspondiente en la sala principal de distribución DDP. Las lámparas HL17 hasta HL22 señalizan la conexión del excitador correspondiente. Al mismo tiempo conecta el excitador correspondiente con el botón START y el desexcitador (parte del excitador). Después conmuta el excitador al régimen REMOTO y el excitador continúa en la regulación automática de la tensión. Los operadores observan la tensión del generador en el voltímetro del armario de sincronización (UG1, UG2, UG3) y al mismo tiempo en el doble voltímetro U1/U2.

Después de alcanzar la tensión nominal y la comparación U1/U2, con el conmutador S7 conecta START y con eso da la orden para el comienzo de la sincronización. El SYNCHROTECT trabaja en el régimen automático y con las órdenes regula la tensión y las revoluciones del turbogenerador que realizará el fasaje. Las lámparas HL25 hasta HL28 señalizan las órdenes dadas del SYNCHROTECT. Al alcanzar las condiciones de fasaje el SYNCHROTECT manda la orden para la conexión del turbogenerador a la red.

El régimen semiautomático también es posible fasear la red de empresa que trabaja en el servicio de isla. Después de la estabilización de las condiciones en la red nacional los operadores en la eléctrica sala de mando eligen con el conmutador S3 el transformador (1T o 2T), que tiene el fasaje como primero. Las lámparas HL23, HL24 señalizan la presencia de la tensión 10 kV en el transformador correspondiente.

Después del acuerdo con los operadores de las turbinas elige el turbogenerador con la ayuda del que la empresa tendrá el fasaje a la red. Con el conmutador S2 elige la máquina correspondiente y la lámpara HL2 o HL3 confirma la selección de la máquina de fasaje. Con el conmutador S7 da la orden para el comienzo de la sincronización.

En el régimen manual el fasaje es del armario de sincronización según los aparatos de medición. Con la conmutación del conmutador S1 a la posición MAN será escogido el régimen manual. Después del acuerdo con los operadores de las turbinas con los conmutadores S2 y S3 será escogida la máquina que realizará el fasaje. Manualmente será

escogido en el excitador la corriente de excitación necesaria y el excitador tendrá la posición REMOTO y AUTOMÁTICO.

Con las órdenes escogidas con los conmutadores S8 y S9 tendrán el mando los reguladores de la tensión y de la frecuencia. Después de la estabilización del sincronoscopio en la posición de arriba el botón S6 da la orden para la conexión de la máquina que realizará el fasaje a la red. La señalización con las lámparas es igual como en el régimen semiautomático.

Después del fasaje tienen que ser los conmutadores S2, S3 vueltos a la posición cero. Durante el servicio normal el sistema de dirección valoriza las potencias de los turbogeneradores y observa si la empresa da a la red nacional o recibe de la red la potencia necesaria. En caso de la insuficiencia de la potencia (el recibimiento de la red nacional), da el sistema de dirección la señal con el contacto abierto paralelamente a la señal EL SERVICIO DE ISLA la orden a la automática de desintegración para la desconexión de los consumidores escogidos.

2.7 Métodos de sincronización.

Los métodos de sincronización en este sistema se realizarán de forma manual y automática, estos se podrán realizar mediante los mandos de la máquina instalada para el sistema de dirección, así como estas operaciones se podrán realizar también en el panel de sincronización.

Sistema control (centro de dirección).

Un pilar básico para llevar a cabo los cambios que se producen en la industria, lo constituye sin dudas, el nivel de automatización. Los avances en la teoría y la práctica del control automático, ya sea con controles individuales o con una computadora central, han permitido lograr una serie de ventajas en la industria, sustituyendo la labor manual y repetitiva del hombre por automatismos que realizan eficientemente muchas operaciones de rutina y cuyas ventajas que pueden resumirse en los aspectos siguientes:

- Eliminación de los trabajos monótonos o que exigen atención concentrada.
- Eliminación de errores humanos.
- Disminución de los recursos humanos necesarios para la misma producción.
- Aumento de la cantidad del producto o del número de unidades fabricadas.
- Mejoras en la calidad.
- Mejor aprovechamiento de las materias primas.
- Disminución en el desgaste del equipamiento fabril.
- Cumplimiento de los requisitos medioambientales impuestos.
- Disminución en los consumos de energía.

Los sistemas automáticos están presentes en el proceso de sincronización y cada día ganan más espacio dentro de esta aplicación.

2.8 Fundamentos del sistema de sincronización manual o automática,

Es muy importante garantizar los diferentes elementos para una sincronización de manera manual de los dispositivos en caso de existir problemas, disparos de los dispositivos o por problemas existentes en el Sistema Electroenergético Nacional por lo que es necesario continuar dando energía eléctrica para las diferentes áreas de la empresa, es decir para la producción ininterrumpida de níquel más cobalto para la economía de nuestro país en caso de realizar trabajos de mantenimiento y reparaciones podremos trabajar con el sistema manual dando una garantía para el trabajo de todos los elementos del sistema, por tal motivo se toman todas las medidas necesarias para este fin.

2.9 Esquemas de sincronización.

En los esquemas de sincronización se puede apreciar a grandes rasgos todos los elementos y dispositivos que interactúan en el proceso de sincronización, además de esto se observan las diferentes señalizaciones que también participan en el proceso anteriormente mencionado, estos gráficos son muy importantes para los diferentes mantenimientos que se le puedan dar al sistema de sincronización en su conjunto, también se tiene conocimiento de los parámetros de trabajo del sistema.

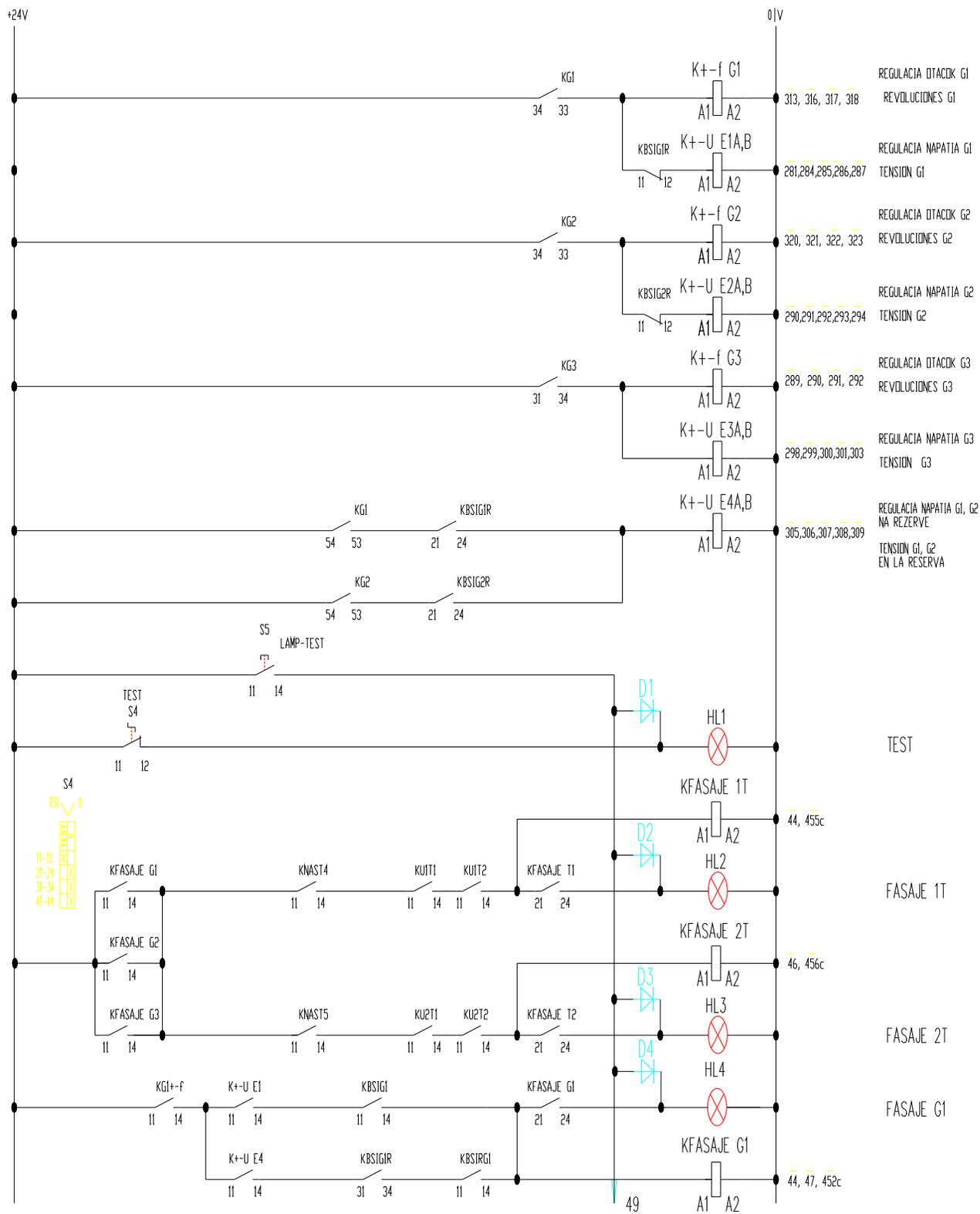


Figura 2.14 Esquema de control. Revoluciones, faseo y tensión.

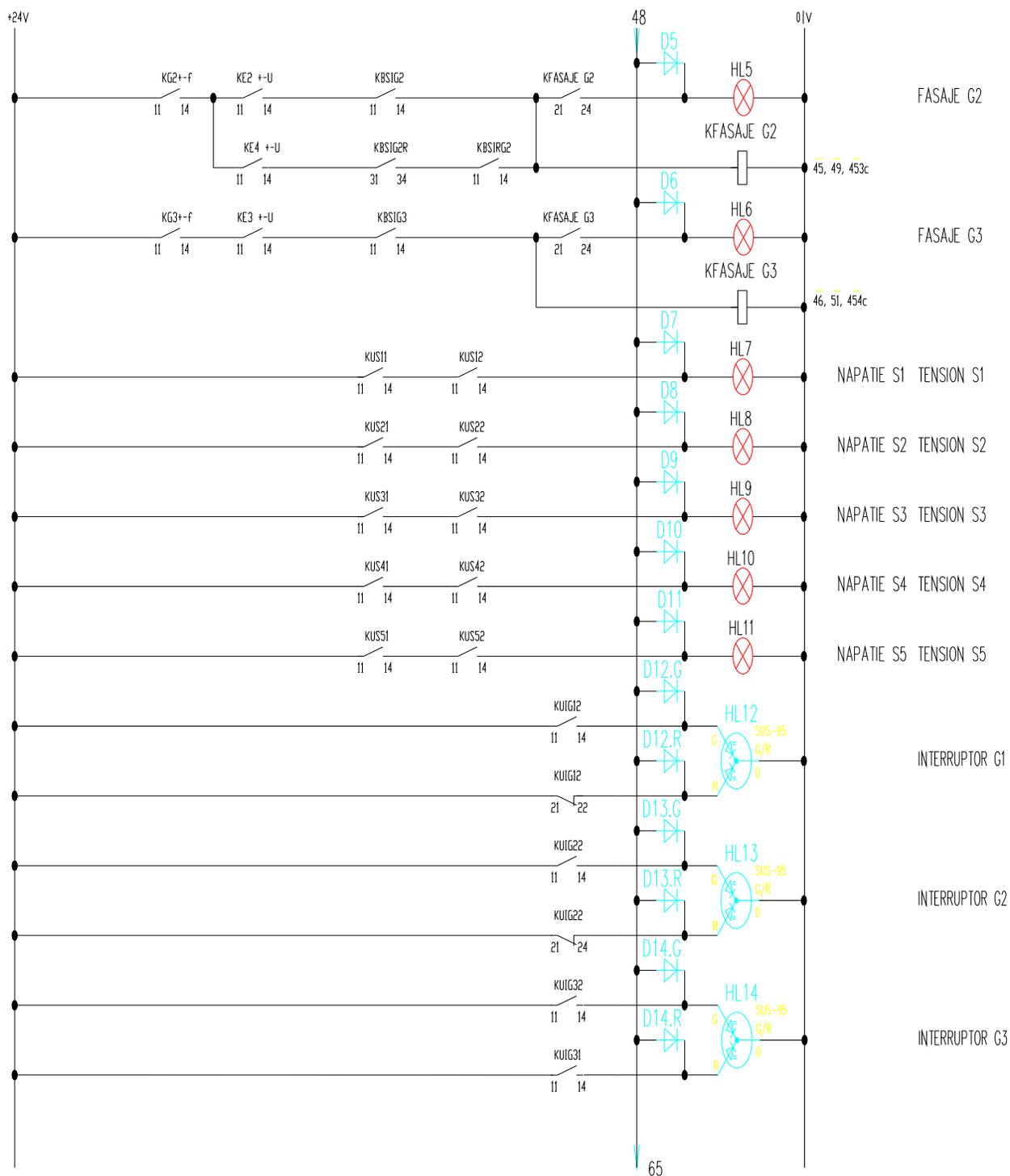


Figura 2.15 Esquema de control. Tensión y señalización de generadores.

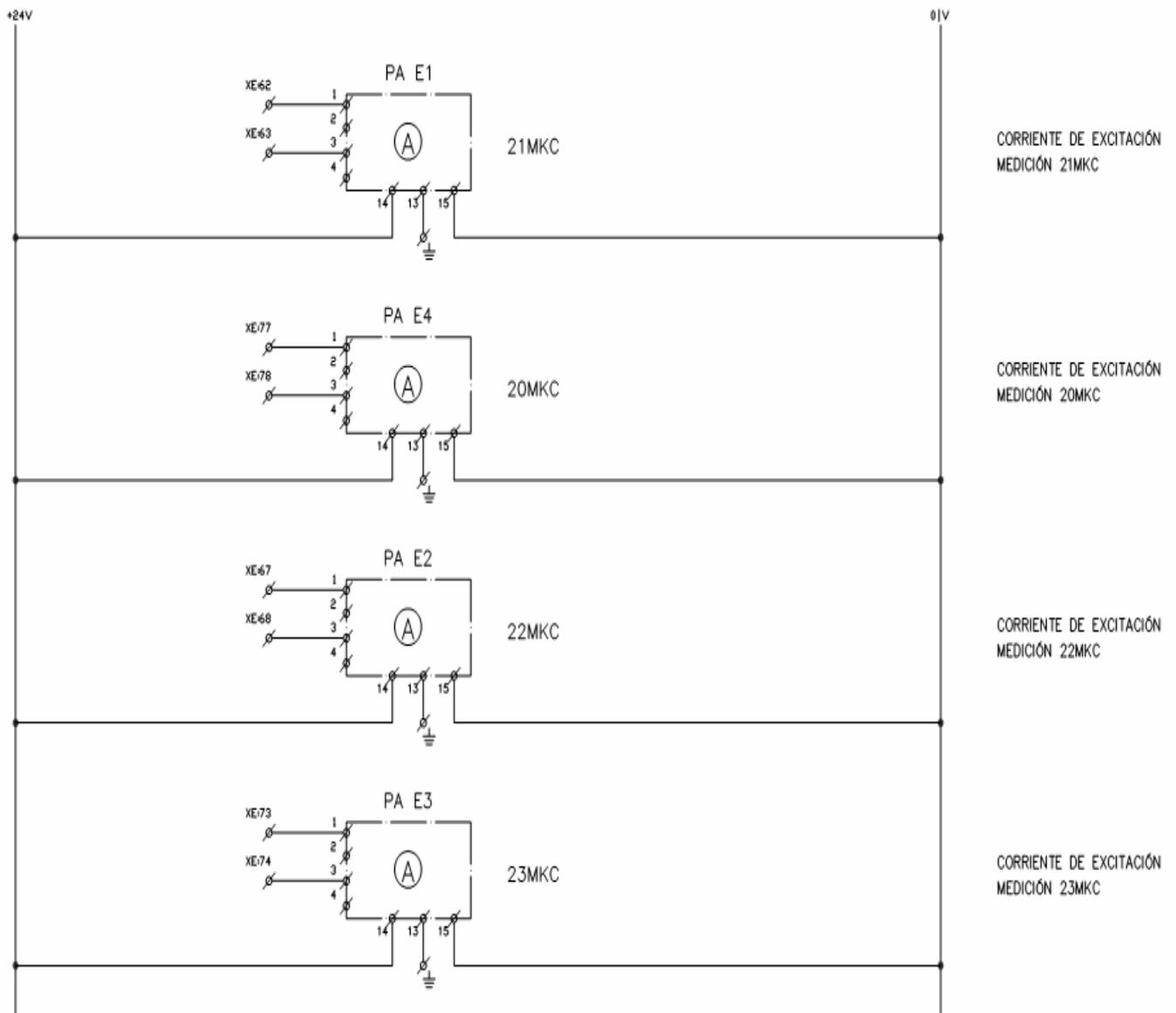


Figura 2.16 Esquema de sincronización. Excitación

Datos técnicos del Synchrotact 5.

Tensiones auxiliares

Tensiones nominales	24... 48 V CC 100... 125 V CA / CC 220... 250 V CC
Límites de tensión admisibles	0,75... 1,25 × Un
Potencia máxima absorbida (SYN 5302)	25 W / 35 VA

Valores de entrada U1, U2

Zona de tensiones nominales	50... 130 V CA
Límites de tensión admisibles	0... 1,3 × Un
Frecuencias nominales	16 2/3 / 50 / 60 Hz

Entradas digitales

Tensiones nominales	24... 48 V CC
Consumo de corriente	6... 8 mA

Contactos de puesta en paralelo

Tensión máxima de operación	250 V CA / CC
Corriente máxima en permanencia	5 A CA / CC
Potencia máxima de operación CERRADO, CC / CA	1000 W / VA
Potencia máxima de operación APERTURA, CC / CA	30 W / VA

Reles de órdenes de regulación, control y señalización

Tensión máxima de operación	250 V CA/CC
Corriente máxima en permanencia	1,5 A CA/CC

Potencia máxima de operación CERR. /APERT. CC/CA 50 W / VA

Unión serial de comunicación

Para conexión a PC software "SynView" RS 232

Rangos de medición

Tensión	U1, U2	0...1,3 × Un
Desfase	α	-179... +180 DEG
Frecuencia		10...100 Hz
Deslizamiento	s	0... 50 %
Aceleración	ds/dt	0...10 %/s
Tiempo de acoplamiento	t ON	0...1 s

2.10 Conclusiones parciales.

En este capítulo se dan a conocer las características fundamentales del sistema de sincronización modernizado y el sistema de sincronización que se utiliza en estos momentos, así como los detalles de las diferentes acciones a realizar en el proceso de sincronización.

Se da una visión de los parámetros a registrar durante y después del proceso de sincronización mediante el synchrotact 5, donde se podrán visualizar todos los datos y parámetros del proceso así como después de sincronizados los elementos se podrá acceder a los diferentes gráficos para la revisión de los datos en tiempo real los cuales son guardados en la memoria interna del equipo. Además de los parámetros, funciones, características y acciones del synchrotact 5. Las características del panel central de sincronización con los elementos que lo relacionan en su conjunto.

Se detalla el trabajo del synchrotact 5 con el synchrocheck en las acciones de sincronización dando resultado a ser un sistema confiable, eficaz y rápido para las operaciones a realizar por parte del personal de operaciones de la planta termoeléctrica.

Se da a conocer la Metodología de sincronización para la explotación del sistema modernizado de sincronización, en el cual estarán instalados todos los elementos de sincronización existentes en la planta, estas instrucciones de sincronización va ha ser de conocimiento para todos los operadores que realizan las diferentes operaciones relacionadas con este proceso que incluye todos los elementos del deposito de distribución de principal de la planta, en esta instrucción quedan reflejadas las operaciones a realizar mediante el panel de sincronización y el Synchrotact 5 haciendo de esta forma una sincronización más confiable eficaz y segura.

Capitulo - 3

CAPÍTULO III REGULACIÓN DE VOLTAJE Y REGULACIÓN DE FRECUENCIA.

3.1 Introducción.

En el presente capítulo se especifican las particularidades del regulador de voltaje, sus ventajas y desventajas, la regulación de potencia activa y potencia reactiva, así como una valoración del beneficio social del trabajo.

3.2 Regulador de Voltaje.

Un regulador de Voltaje (también llamado estabilizador de voltaje o acondicionador de voltaje) es un equipo eléctrico que acepta una tensión eléctrica de voltaje variable a la entrada, dentro de un parámetro predeterminado y mantiene a la salida una tensión constante (regulada).

Existen diversos tipos de reguladores de voltaje, los más comunes son de dos tipos: para uso doméstico o industrial.

Los primeros son utilizados en su mayoría para proteger equipo de cómputo, video, o electrodomésticos.

Los segundos protegen instalaciones eléctricas completas, aparatos o equipo eléctrico sofisticado, fábricas, entre otros. El costo de un regulador de voltaje estará determinado en la mayoría de los casos por su calidad y vida útil en funcionamiento continuo.

3.1.1 Principios de funcionamiento.

Existen diversos tipos de reguladores en el mercado, los cuales se clasifican de acuerdo al principio o tecnología de regulación que utilizan. Los más importantes son:

Los reguladores electromecánicos basan su principio de funcionamiento en un auto transformador de columna, sobre la cual se dispone un cursor accionado por un servomotor, que en su recorrido suma o resta espiras.

Este movimiento de auto ajuste es controlado por un comando electrónico, que se activa cada vez que la tensión de salida se desvía de su valor de calibración, ajustándose automáticamente y con ello mantiene permanentemente la tensión de salida estable.

Las ventajas que ofrece este principio son que cuenta con una alta precisión (1,5%) y eficiencia del 99%, teniendo capacidad de sobrecarga de hasta 500% sin generación de contenido armónico, sin embargo aunque no genera ruido armónico tampoco lo elimina, es decir si la línea eléctrica comercial viene con armónicos el regulador también sacará a su salida dichos armónicos, otro punto a considerar es que son enfriados por aceite lo cual los hace más pesados y con el riesgo latente de fugas. Su vida útil estimada es mayor a 25 años en funcionamiento continuo a plena carga por su diseño, tecnología y robustez, sin embargo

también está el riesgo latente de que la parte electrónica o servomotor se dañen con el tiempo lo cual se traduce en servicios de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Los reguladores electrónicos basan su regulación en un control electrónico, pueden llevar microprocesador para regular o simplemente un circuito de control que detecta las variaciones del voltaje y hace la corrección a través de relevadores para regular la tensión. Su tiempo de respuesta y velocidad de regulación son muy rápidos además de ser económicos en comparación a los otros tipos.

Los rangos de tensión de entrada son reducidos y la precisión de la tensión de salida es de +/- 3% a +/- 5%. Su diseño propicia que se desconecten para autoprotgerse en condiciones extremas de alta y baja tensión, son muy eficientes ya que mientras la línea comercial se encuentre normal dejan pasar el voltaje hacia la carga, solo se activa la regulación al momento de presentarse alguna anomalía, en la mayoría de los casos solo ofrecen regulación en la fase y no en la línea de neutro, se autoprotegen utilizando varistores a la salida para provocar un corto circuito y activar su fusible.

3.1.2 Beneficios de contar con un Regulador de Voltaje.

- 1- Funcionamiento permanente y seguro de todos sus equipos, las variaciones de voltaje de la red eléctrica no afectarán el funcionamiento, la calidad de sus procesos y tiempo de fabricación.
- 2- Eliminar los recursos económicos gastados innecesariamente, aprovechando todo el potencial instalado: recursos técnicos, humanos, materiales, y de tiempo.
- 3- Incremento en la productividad y eficiencia del sistema protegido así como aumento de la vida útil de sus equipos.

3.1.3 Problema de la regulación automática de la excitación.

Los generadores sincrónicos potentes, en muchos casos y los generadores de no mucha potencia, se proveen con reguladores automáticos de la corriente de excitación cuyos objetivos son:

- 1- Mantener constante el voltaje U durante las variaciones de carga.
- 2- Aumentar la estabilidad estática y dinámica del generador.

El segundo objetivo es fundamental en los generadores potentes, por eso a los sistemas y reguladores de excitación se le aumentan los requisitos.

Durante variaciones lentas de U , para mantener $U = U_n = const.$, es suficiente efectuar la llamada regulación proporcional, cuando el regulador de la excitación o del voltaje reacciona ante una variación de U , o sea ante la magnitud $\Delta U = U - U_n$ y en dependencia de la magnitud y el signo ΔU , manifiesta influencia sobre el mecanismo (órgano) que de una forma apropiada, varía la magnitud I_f .

Por ejemplo, para los generadores de poca potencia se utilizan reguladores de voltaje de carbón, los cuales constan de una columna de discos de carbón o grafito, un muelle que comprime dicha columna y un electroimán.

Es necesario señalar que, para una acción efectiva de tales reguladores, es necesario que la inercia electromagnética del sistema de excitación sea bastante pequeña.

Es aconsejable proveer también a los motores sincrónicos de reguladores, automáticos de excitación. La acción de ellos, durante la caída de voltaje, permite mantener el voltaje de la red constante y aumentar la estabilidad del trabajo de los motores.

Sistema de excitación con generadores de corriente directa. Durante los cortocircuitos internos en el enrollado de la armadura de un generador sincrónico o en sus terminales, antes del interruptor, la protección automática de relee con ayuda del interruptor desconecta el generador de la red. Pero el cortocircuito interno del generador con esto no se elimina, la corriente de excitación I_f , prosigue induciendo una Fuerza Electromotriz (FEM), en el enrollado de armadura y las grandes corrientes de cortocircuito provocan el derretimiento del cobre del enrollado de armadura en el lugar del cortocircuito y luego también el derretimiento del acero del núcleo de la armadura. Por eso, para evitar las grandes averías del generador, es necesario llevar la corriente de excitación y el flujo del generador a cero. Tal operación recibe el nombre de excitación del campo magnético.

3.1.4 Regulador adecuado.

La capacidad de los reguladores se mide en kVA. Para seleccionar el equipo que Usted necesita será necesario conocer cuatro puntos importantes:

1- Voltaje de entrada o alimentación de los equipos a proteger: Es la tensión de salida del regulador y de entrada que requerirá su maquinaria, equipos o instalaciones para su correcto funcionamiento. Puede ser localizado en la placa de datos o manual de instalación del equipo o maquinaria a proteger. La tensión de la red eléctrica variará de un país a otro así como el voltaje de alimentación de sus equipos dependiendo de su origen.

2- Consumo de los equipos: Datos localizados en la placa de datos o manual de instalación del equipo o maquinaria, puede estar expresado en:

Watts para equipos monofásicos y kilo Watts en sistemas trifásicos (1 kW.= 1000 Watts) - Amperes - HP

3- Campo de regulación del equipo: Es la capacidad que tiene el regulador de corregir las variaciones de voltaje de la línea eléctrica. Cuando el campo de regulación es insuficiente podemos fabricar un equipo con un rango adecuado a la necesidad. Para este caso es necesario monitorear o graficar la línea de alimentación para determinar los límites máximo y mínimo de variación de la línea.

4- Número de fases de alimentación de los mismos: Se determina a través de la placa de datos o manual de instalación del equipo o maquinaria a proteger. Los sistemas eléctricos convencionales pueden ser:

- Monofásicos.
- Bifásicos con neutro
- Bifásicos sin neutro (para equipos monofásicos de 220 V) – trifásicos.

El generador de inducción o cualquier sistema eléctrico, puede ser representado mediante un modelo matemático, que caracteriza el comportamiento y la configuración propia del sistema.

Los sistemas de control, se basan en el estudio de los modelos matemáticos, y su interés es: controlar, predecir y/o acondicionar, el comportamiento del sistema de una manera determinada.

En un generador de inducción, el objetivo del control no es controlar la velocidad o la excitación de la máquina; sino proporcionar energía eléctrica a una carga a voltaje constante, u operar al sistema en un punto de óptimo operación.

El control del voltaje y la frecuencia en un generador de inducción, tiene una doble función:

- Ajustar la frecuencia eléctrica para producir el deslizamiento correspondiente a los requerimientos de la carga.
- Ajustar la magnitud de la corriente de excitación para generar a un voltaje determinado.

El control de potencia activa, está íntimamente relacionado con el control de la frecuencia y el control de potencia reactiva con el control del voltaje.

El control de potencia activa y reactiva es vital para suministrar un servicio de calidad.

Sistema de regulación de la excitación de una máquina síncrona y requisitos que deben cumplir los sistemas de excitación.

Se llama sistema de excitación de una máquina síncrona al conjunto de máquinas, dispositivos y mecanismos, utilizados para la alimentación de su enrollado de excitación con corriente directa I_f y para la regulación de la magnitud de esta corriente.

Los sistemas de excitación deben cumplir los siguientes requisitos:

- 1- Poseer una alta confiabilidad en el trabajo.
- 2- Ser sencillo y que su costo sea pequeño.

Además, la necesidad de regular el voltaje y garantizar un trabajo estable de las máquinas síncronas, le impone al sistema de excitación, una serie de requisitos complementarios.

Para mantener el voltaje U constante en los terminales del generador, durante una variación de la carga, es necesario regular I_f y correspondientemente U_f en márgenes amplios.

En el devanado de excitación alimentado con CD a través de dos anillos deslizantes o semiconductores rotatorios, al ser girado, se crea un flujo magnético de excitación que se encarga de inducir tres FEM, E_A , E_B , E_C desplazadas $\frac{2\pi}{3}$ grados que crean un sistema de corrientes desfasadas según las características de la carga, ya sea inductiva, capacitiva, resistiva o una combinación de estas.

Como fuente de CD por lo general se utiliza un generador de corriente directa cuya potencia es relativamente pequeña con respecto a la MS (0,3 - 3%); a este generador se le conoce como excitatriz y por lo general se coloca en el mismo eje de la máquina sincrónica.

Los generadores 1 y 2 de la central termoeléctrica de la empresa Che Guevara poseen un sistema de excitación electromecánico, compuesto por generadores acoplados al mismo árbol y con el uso de escobillas. Mientras que el tercer generador cuenta con un sistema estático de excitación.

3.2 Control de Potencia Activa.

Se realiza con el objetivo de ajustar la demanda a los cambios imprevistos de la carga.

En general, la carga en un sistema de potencia varía con las variaciones de la frecuencia en relación directa, es decir la carga aumenta con el aumento de la frecuencia y viceversa.

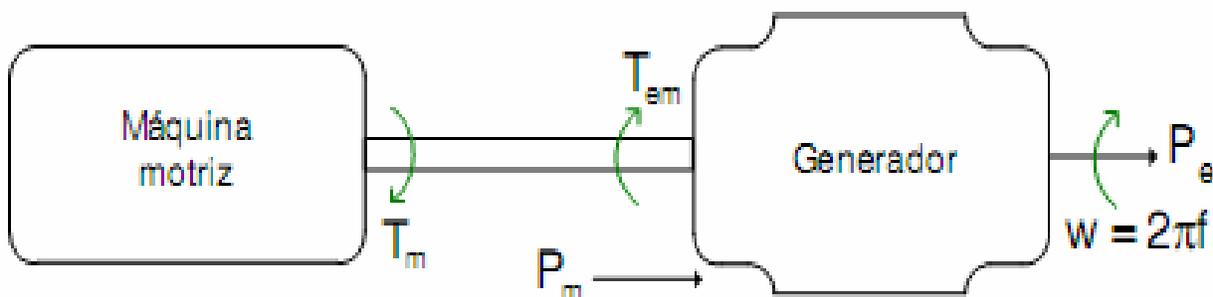


Figura: 3.1 Diagrama de torques en un sistema motor-generador.

En un sistema de potencia, para mantener el control del voltaje y la frecuencia, el intercambio de potencia, debe estar en balance entre la generación y la carga.

El efecto de la carga en la variación de la frecuencia, favorece en la regulación de generación, ya que si se aumenta la carga al generador, la frecuencia disminuye; al disminuir la frecuencia la carga total real vista por el generador disminuye, cuyo efecto se conoce

como amortiguamiento de la carga. Si se produce una variación transitoria de la velocidad, el valor normal de ésta se establece después de un cierto tiempo que depende del momento de inercia de las masas giratorias, y de las características de funcionamiento del regulador de velocidad; el mismo que provee de un control o regulación primaria de frecuencia.

3.3 Regulación de Frecuencia.

La regulación de la frecuencia antes del proceso de sincronización se puede realizar mediante unas válvulas de cuello dando o quitando vapor a la turbina para bajar o subir las revoluciones de la máquina, aquí la frecuencia varía de acuerdo a los parámetros de trabajo, la máquina para poder ser sincronizada a la red como tal se deberá igual la frecuencia de la máquina con la del sistema, luego de tener estos valores iguales conjuntamente con los demás valores necesarios para que el sincroscoPIO de el permiso de sincronización entonces estamos en condiciones de realizar la operación de sincronización con el Sistema Electroenergético Nacional y de esta forma quedaría la frecuencia siendo analizada o guiada por la máquina de mayor potencia del sistema, es decir la frecuencia de trabajo después de que ha sido sincronizado el turbogenerador la misma será la del sistema en su conjunto.

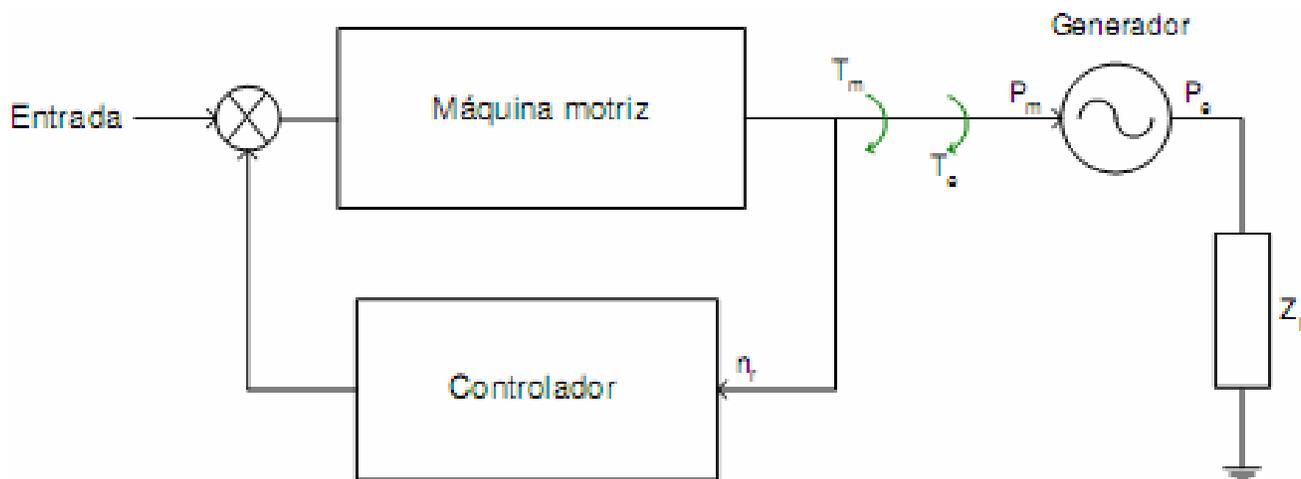


Figura 3.2 Sistema básico del control de velocidad de un generador.

3.3.1 Regulación primaria de frecuencia.

La regulación primaria y automática de frecuencia, funciona como un control proporcional a las variaciones de frecuencia, debido a una diferencia entre la potencia de generación y la demanda; y consiste en proveer de una adecuada capacidad de respuesta en la generación denominada reserva para regulación primaria de frecuencia, con el fin de mantener la frecuencia a su valor nominal de generación.

3.3.2 Regulación secundaria de frecuencia.

Esta regulación, consiste en la acción manual o automática de la frecuencia con el fin de absorber las variaciones de la demanda con respecto a la generación; este control de frecuencia, cubre las necesidades que no han sido cubiertas por la regulación primaria.

La regulación secundaria de frecuencia, permite llevar nuevamente a la generación a los valores asignados por el despacho, reduciendo de ésta manera la variación de frecuencia.

Los generadores de pequeño tamaño conectados a una red eléctrica, generalmente no suelen participar en el control primario de frecuencia, debido a la pequeña inercia del sistema de generación.

3.4 Control de potencia reactiva.

El control de voltaje en un sistema de generación o transmisión eléctrica, se realiza mediante la regulación de potencia reactiva del sistema. La potencia reactiva del generador, se regula mediante el control del sistema de excitación variando la corriente de campo, y se regula con el objetivo de que no produzca saturación magnética en el entrehierro de la máquina, ni supere el voltaje máximo admitido en su estator, minimizando sus pérdidas.

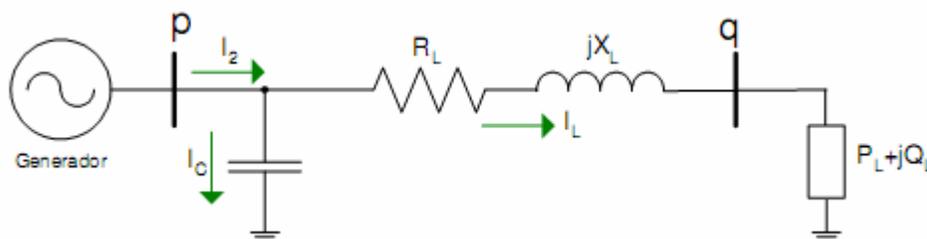


Figura 3.3 Control de potencia reactiva.

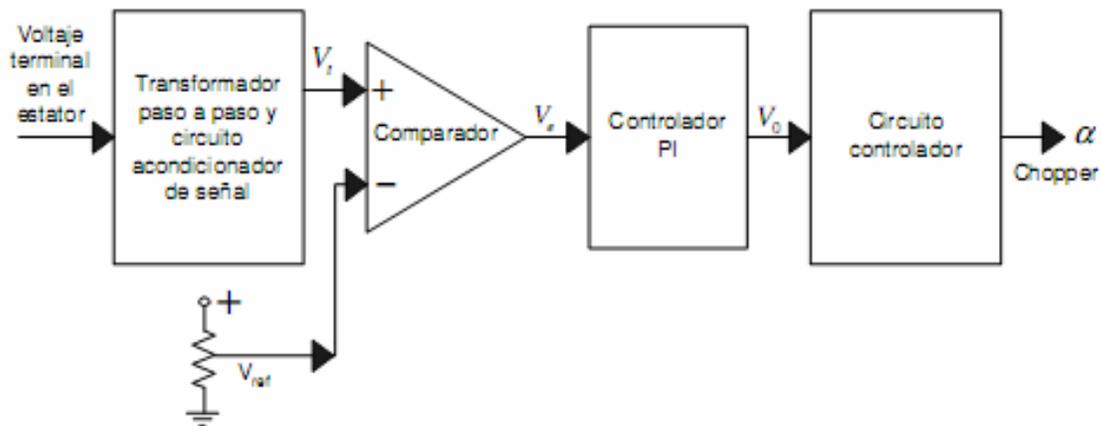


Figura 3.4 Diagrama de bloques de un sistema de control a lazo cerrado.

3.5 Medios de seguridad y protección para los trabajos de sincronización y para los trabajos con las máquinas eléctricas.

En nuestro trabajo recomendamos que el operador que va a realizar las diferentes operaciones en el generador utilice los siguientes medios de protección:

- Casco.
- Orejeras o tapones contra ruidos.
- Botas dieléctricas o alfombras dieléctricas certificadas.
- Guantes de goma requeridos para el voltaje a operar.

3.6 Protección de la máquina.

El personal que se acostumbra ver las máquinas bien protegidas es cuidadoso de su trabajo, de sus herramientas, de su material, de su equipo y de su persona.

Donde quiera que un riesgo se elimina o se reduce por medios de mejores diseños, protecciones mecánicas o correctas construcciones, se vera que el resultado es positivo. Los hábitos y práctica de los hombres, dirigidos hacia la seguridad, son difícil de establecer y mantener; un cambio, de protección mecánica es permanente.

Como cuestión primordial se ha de vigilar que la máquina no solo tenga un diseño seguro sino que esté bien instalada y montada, de manera que no se produzcan vibraciones peligrosas ni hayan defectos de movimientos, luminosidad u otros factores en la operación del proceso industria que puedan provocar un accidente.

El nuestro caso proponemos que se cumpla lo siguiente para garantizar el cuidado y protección de las máquinas.

- Las máquinas deben estar protegidas de la humedad
- El local donde están ubicadas las mismas se deberá mantener limpio y no debe existir ningún objeto que pueda interferir en el correcto funcionamiento de las mismas.
- Los equipos de medición que están conectados a las máquinas deben estar en buen estado técnico, deberán estar ajustados, calibrados, y que las magnitudes de los mismos estén en correspondencia con los del alternador.
- Que los cables estén debidamente protegidos y aislados correctamente, así como que estén protegidas todas las partes móviles de la máquina.
- Que los operadores que van a explotar las máquinas estén debidamente evaluados y calificados para realizar las diferentes funciones en las mismas.

3.7 Valoración Social.

Teniendo en cuenta las acciones a realizar por el personal de operaciones para las diferentes manipulaciones eléctricas en el sistema de sincronización se ha hecho necesario la adquisición de nuevas tecnologías con el fin de lograr la mejora de las operaciones en la planta termoeléctrica, donde las mismas se realizaran de manera eficaz, rápida y confiable dándole una mejoría social a los operadores los cuales son los encargados de explotar este sistema modernizado de sincronización.

Este nuevo sistema garantiza la posibilidad de realizar el trabajo con mayor eficiencia, menor posibilidad de equivocación por parte de los operadores, mejor rendimiento ante las operaciones para las cual se habilitó el centro de dirección y la parte de la modernización.

La posibilidad de tener en un solo panel de sincronización con todos los elementos fundamentales de la planta termoeléctrica, los cuales participan en la operación de sincronización, ganando así en tiempo y espacio para la rápida reacción del personal en caso de alguna desviación en el proceso tecnológico para la cual está destinada la producción de nuestra planta.

3.8 Conclusiones Parciales.

En este capítulo se ha podido demostrar la gran importancia que tiene el sistema de regulación en el proceso de sincronización así como la regulación de los diferentes parámetros a analizar en un turbogenerador, ya que el mismo es el encargado de diferentes acciones de trabajo, este sistema de regulación de frecuencia y de voltaje nos da una visión de la importancia de las mismas en el trabajo seguro y confiable de la máquina, por lo cual las características del trabajo del mismo nos da una referencia de las diferentes acciones a realizar en el sistema sincronizado ya sea acciones de variaciones de cargas en uno u otro caso.

También es necesario decir que en cuanto a la regulación de frecuencia en turbogeneradores se podría decir que la misma antes de que el generador sea sincronizado con el Sistema Electroenergético Nacional la frecuencia la lleva la máquina dándole o quitando vapor mediante las válvulas de arranque de la turbina de vapor, luego que el generador es sincronizado a la red eléctrica la frecuencia es llevada por la máquina de mayor potencia del sistema, esta tendrá variaciones de acuerdo a como este la frecuencia del sistema en el momento real de trabajo.

Además se anexan algunas cuestiones referentes a la protección del personal así como la importancia que tiene la protección de las máquinas eléctricas, estas acciones van encaminadas y dirigidas al personal que directamente trabajará en la explotación de todas las máquinas eléctricas existentes en nuestra planta.

Conclusiones

CONCLUSIONES GENERALES

Después de haber analizado la implementación del trabajo se tienen las siguientes conclusiones:

1. Se documenta el proceso de modernización del sistema de sincronización central de la termoeléctrica de la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, con la adquisición de nuevas tecnologías para el trabajo más seguro, eficaz y confiable de todos los elementos de trabajo de la planta.
2. Se elabora la metodología para realización de los trabajos de sincronización mediante el Synchronact 5.
3. Se revisan los esquemas actuales de sincronización.
4. Se comprueba el funcionamiento de los sistemas de regulación de voltaje y frecuencia.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES.

1. Aplicar la metodología propuesta en las operaciones de sincronización de la termoeléctrica de la empresa.
2. Realizar corridas en el software SynView en tiempo real a plena carga.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA.

1. ABB. Excitation and Synchronization UNITROL® and SYNCHROTECT® product range. 2009.
2. Anderson & Fouad, Power System Control and Stability , edit. John Wiley & Sons, 2003.
3. Anocibar, Héctor Rolando (1997)- Regulación de tensión y frecuencia -VII encuentro hidroenergético, Cajamarca, Perú 1997
4. Antunes de Almeida J. L. (1996) Eléctrica industrial. Erica Editora Ltda. Sao Pablo Brasil.
5. Caballero, A. L y feltan, C.M. El problema de la regulación de tensión y frecuencia en las pequeñas centrales hidroeléctricas-1X ELPAH encuentro latinoamericano y del caribe sobre pequeño aprovechamiento, 2001
6. Casas Fernández, Leonardo. Sistemas Electroenergéticos. Tomos I, II. ENPES, 1991.
7. DE ARMAS, M. Temas especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Centro Estudio de Energía Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba 2006. pp 63
8. FITZGERALD, A.E; Charles KINGSLEY Jnr y Stephan D. UMANS. *Máquinas Eléctricas*, Sexta Edición. 2004.
9. Ivanov-Smolenski A.V. Máquinas Eléctricas. En tres tomos. La Habana 1984.
10. KOSTENKO, M. y PIOTROVSKY, L. Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982.
11. Marcovich, I. M. Los regímenes de operación de los sistemas energéticos. La Habana. 1972.
12. Reglamento Electrotécnico Cubano REC, Edición 1.0/ 2008.
13. Stevenson William D., Grainger John J. Análisis de sistemas de potencia. México, 1995.
14. Voldek, A.I. Máquinas Eléctricas Tomo II. La Habana. Pueblo y Educación. 1984.

Sitios visitados en Internet:

1. <http://www.abb.com/unitrol>
2. <http://www.abb.com/synchrotact>
3. http://es.wikipedia.org/wiki/regulador_de_tensi%C3%B3n
4. <http://jfbingeniera.blogspot.com/>
5. http://www.mailxmail.com/curso_motores_corriente_alterna/regulacion_velocidad
6. <http://www.monografias.com>

Softwares utilizados:

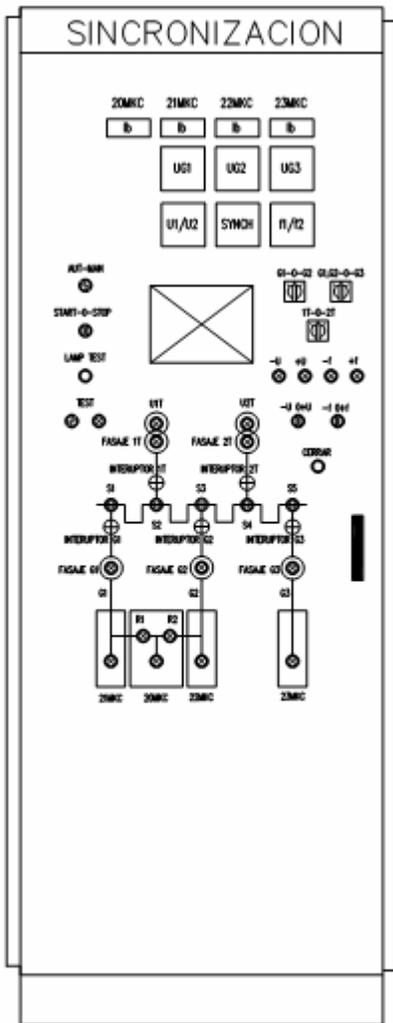
1. Autocad 2004.
2. Paquete de Microsoft Office.
3. SynView.

Anexos

ANEXOS

SYNCHROTECT® 5



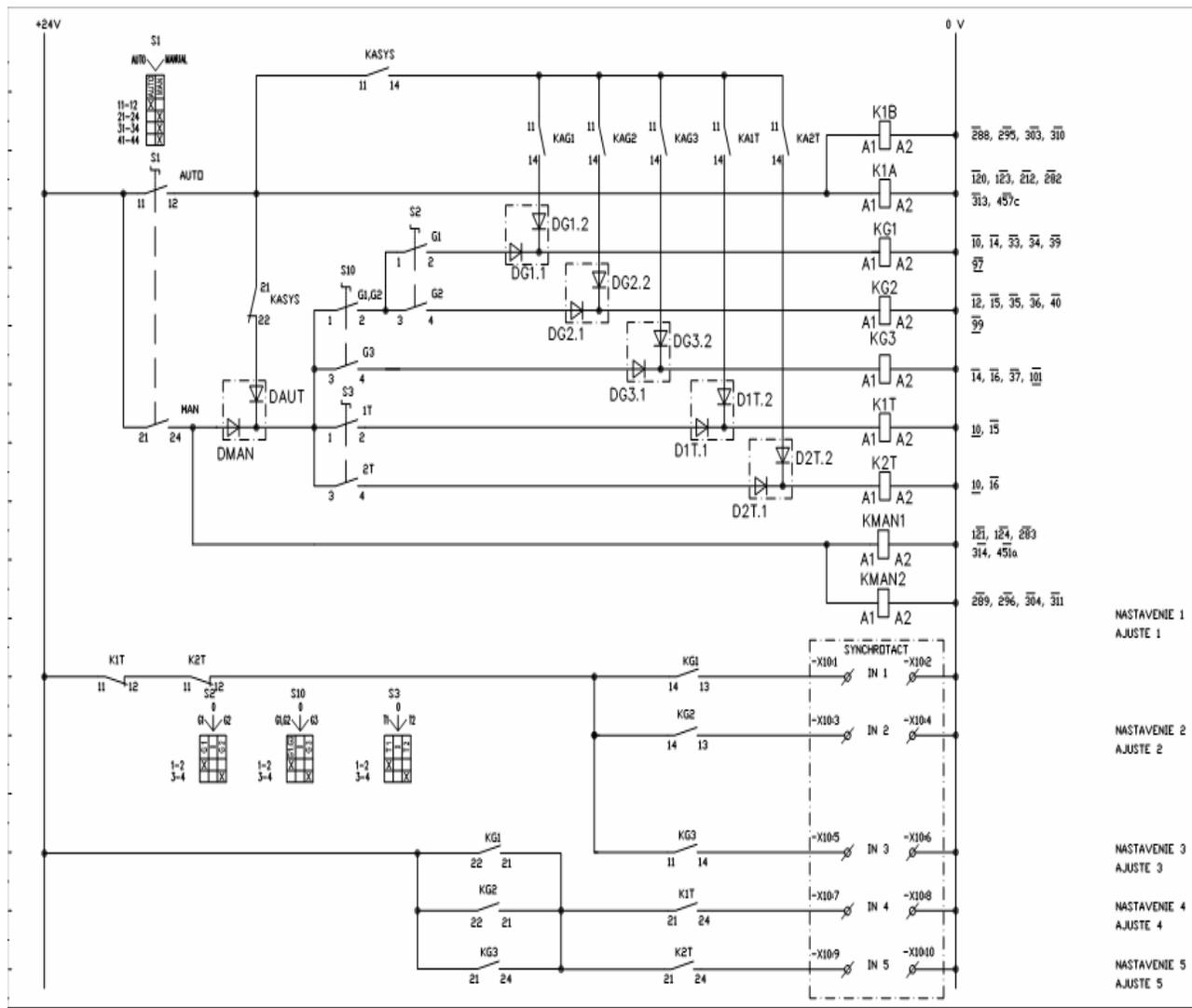


Panel de sincronización

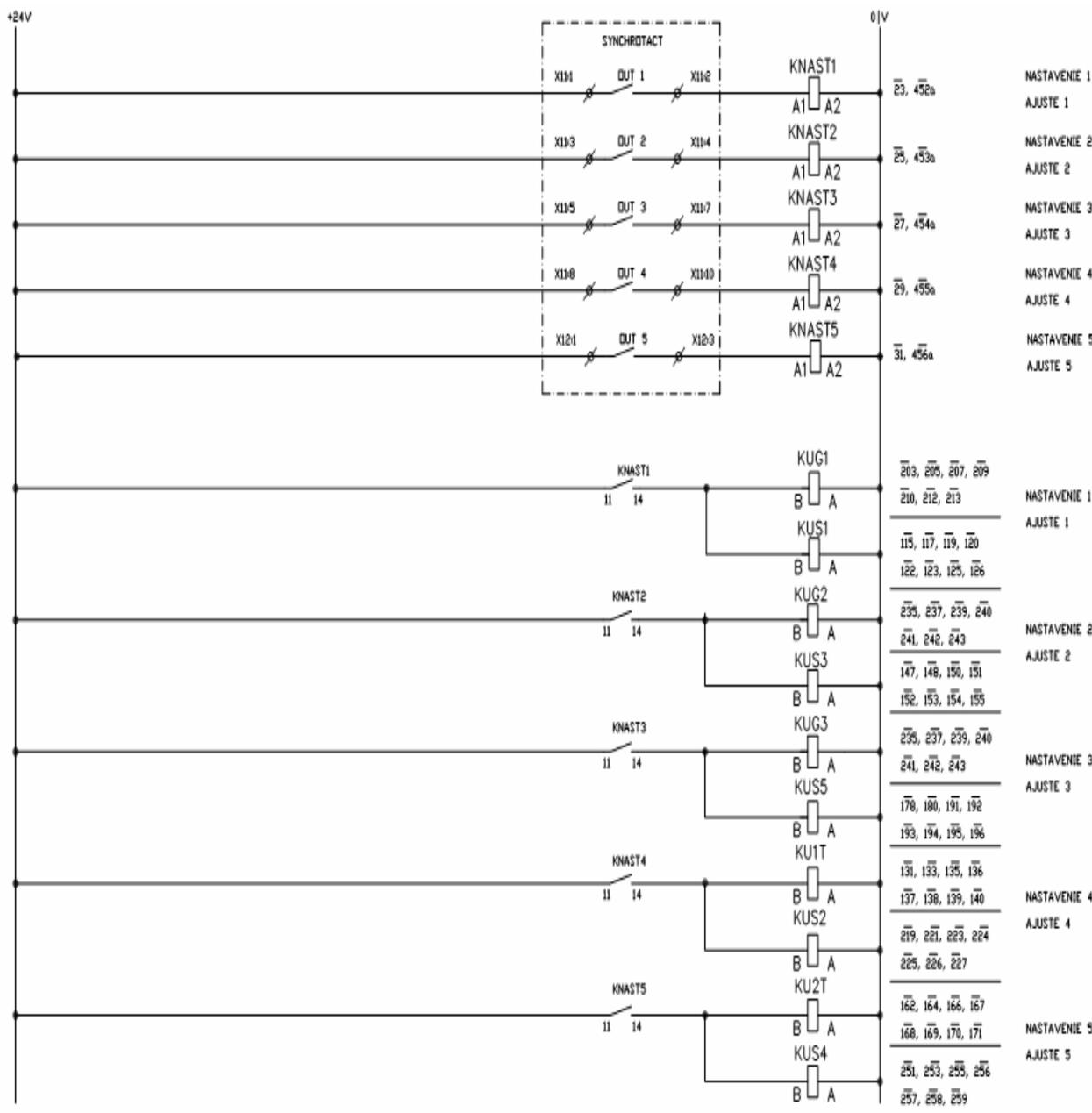
Algunas funciones el synchrotact® 5



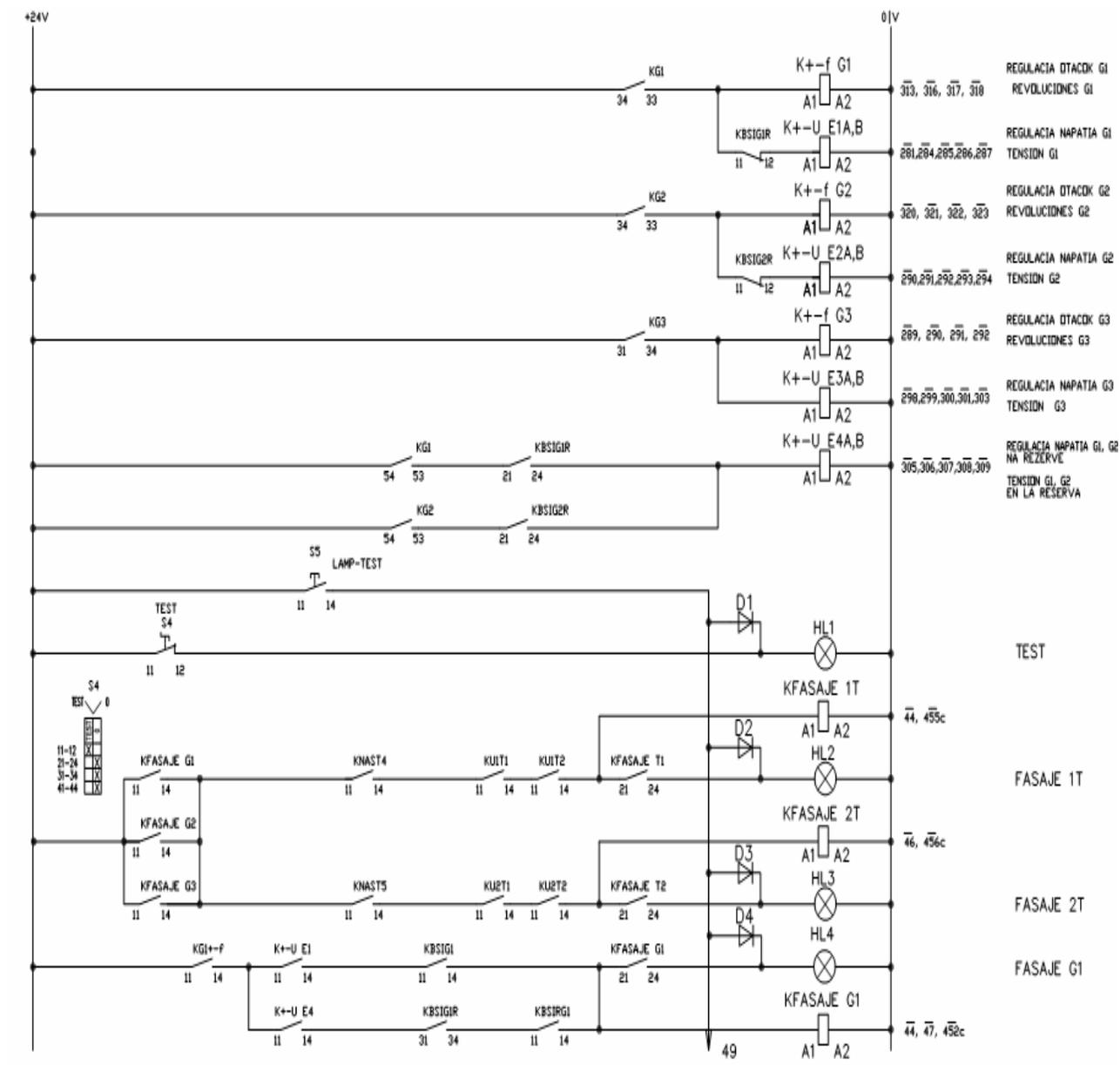
Synchrotact® 5



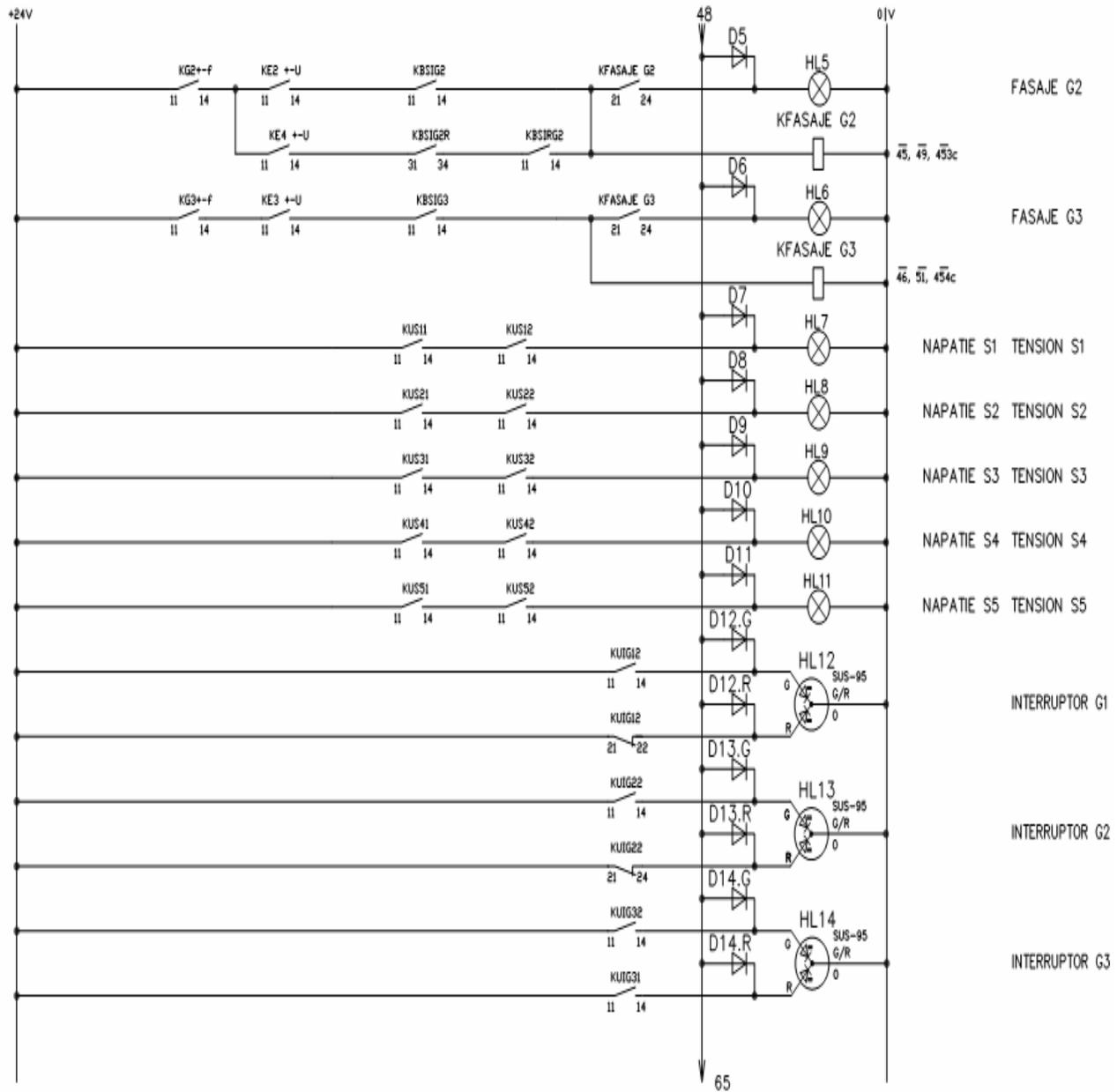
Esquema de sincronización.



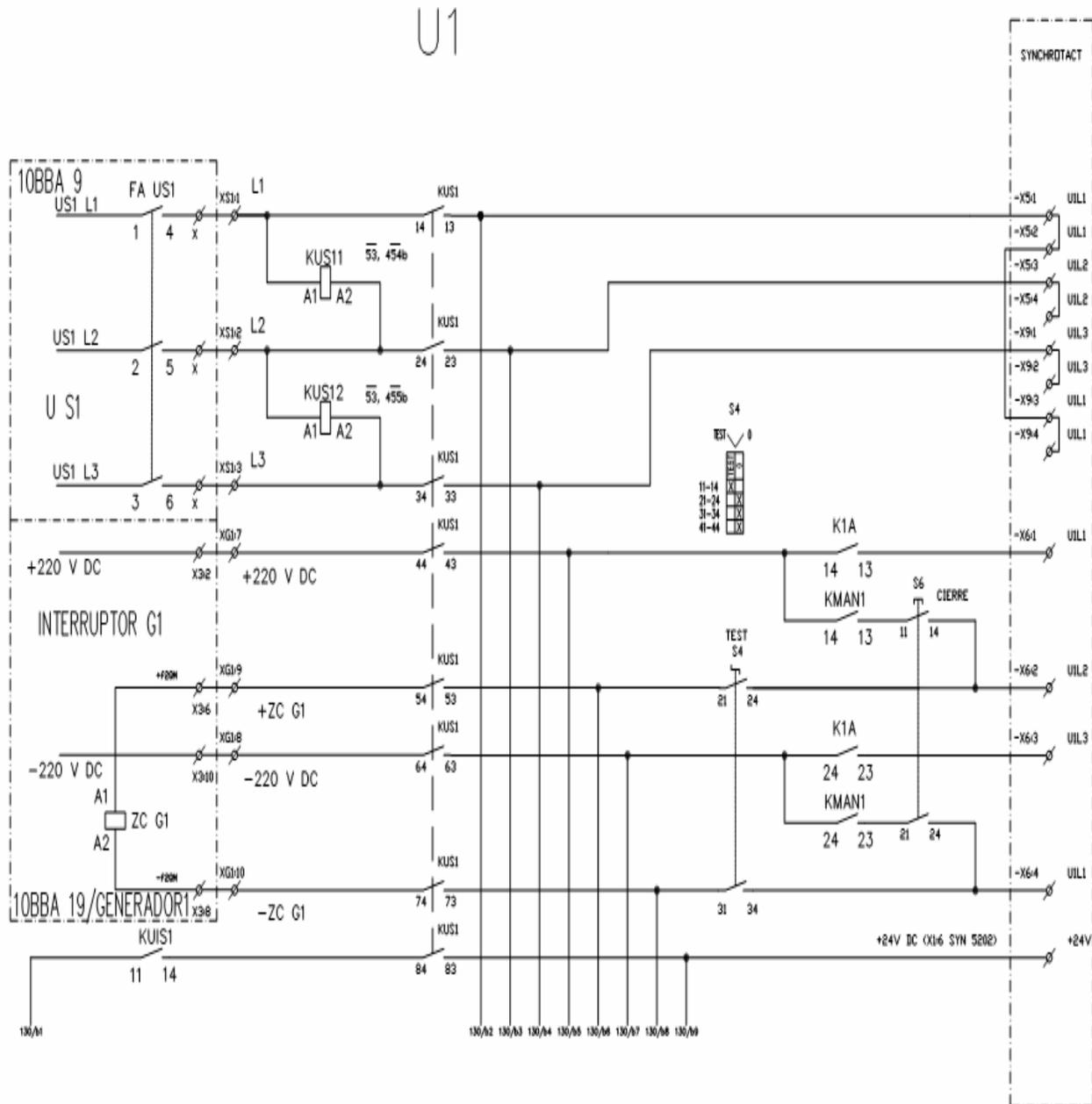
Esquema de sincronización.



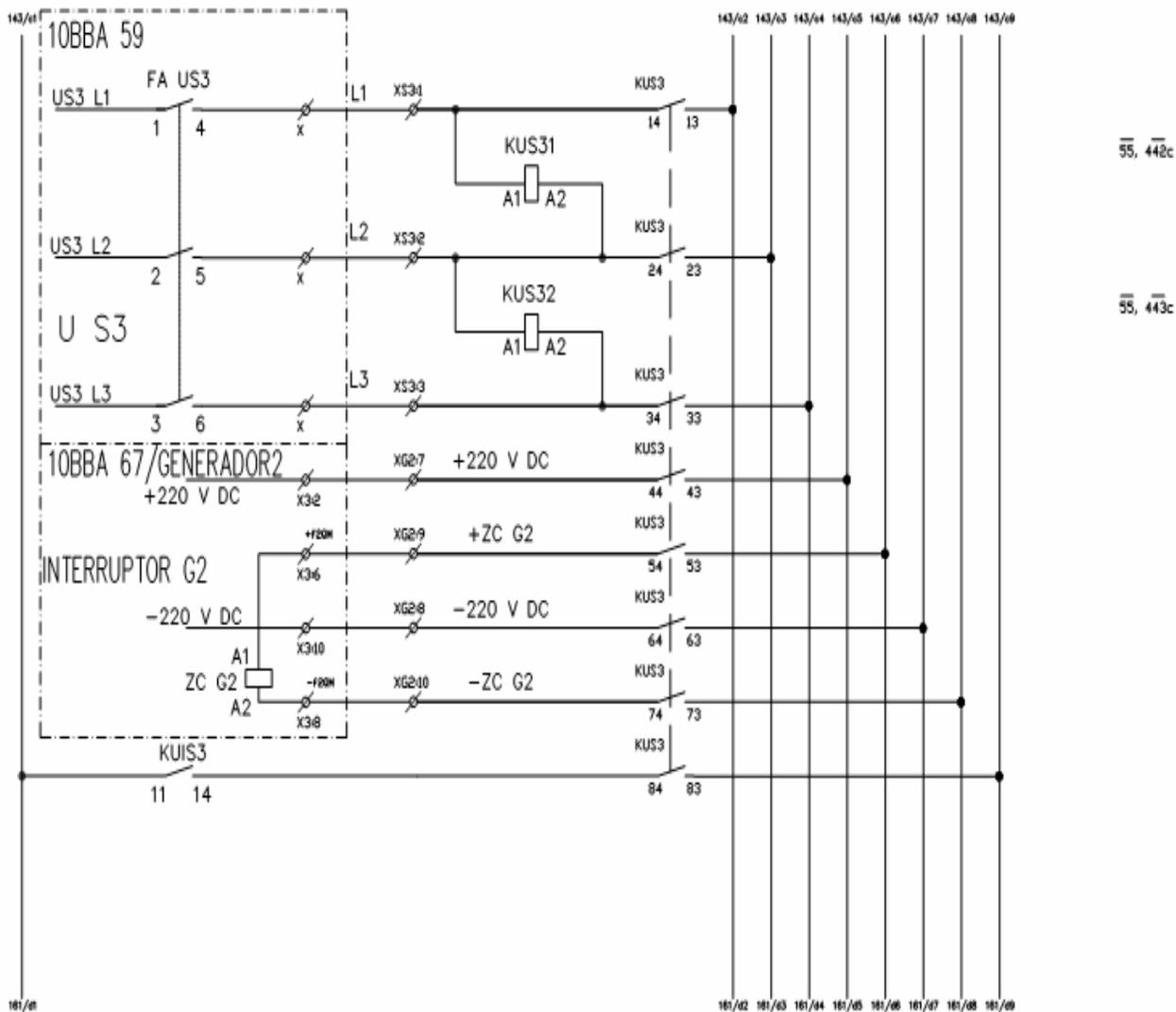
Esquema de sincronización. (Fasaje).



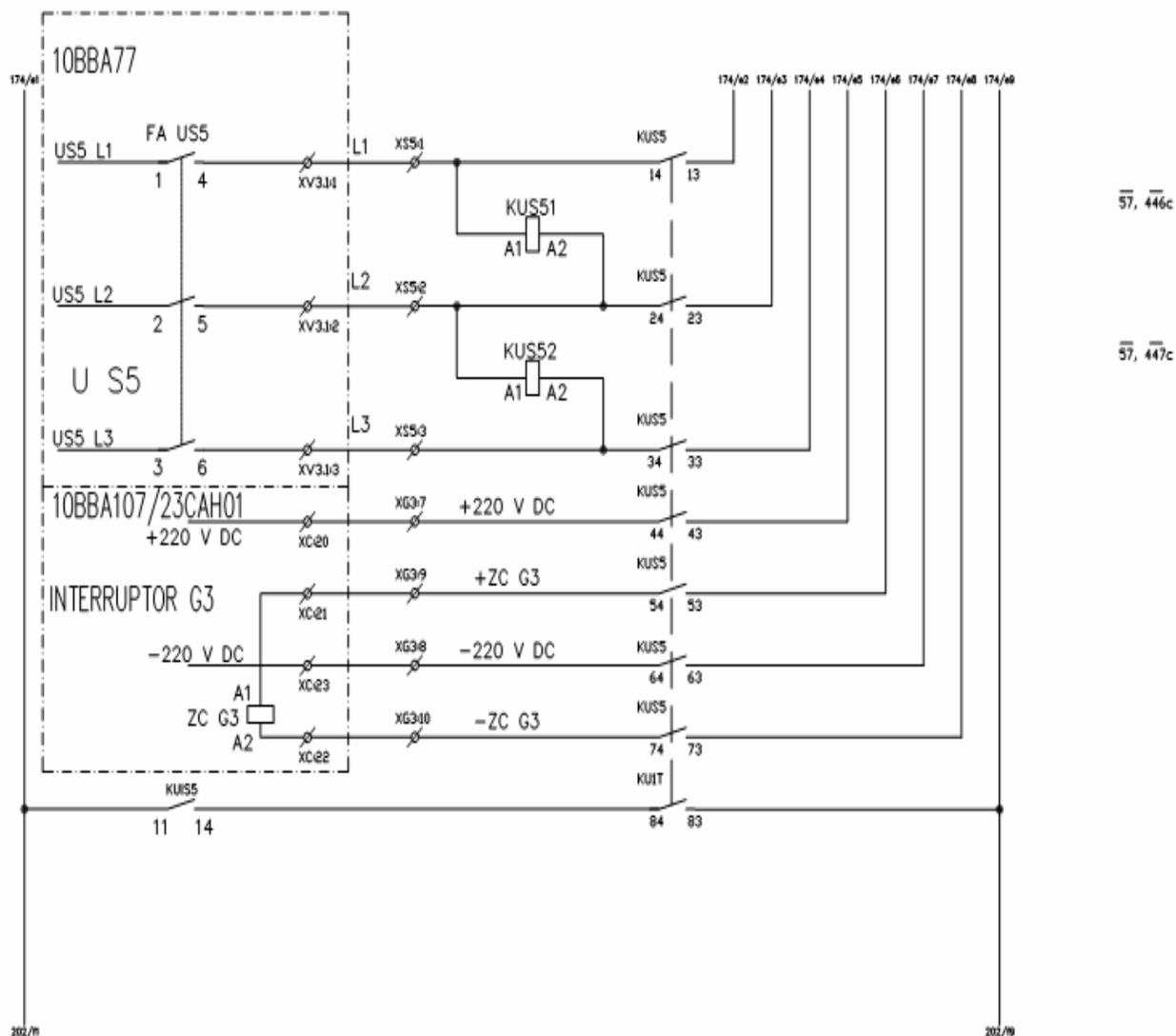
Esquema de sincronización. (Fasaje).



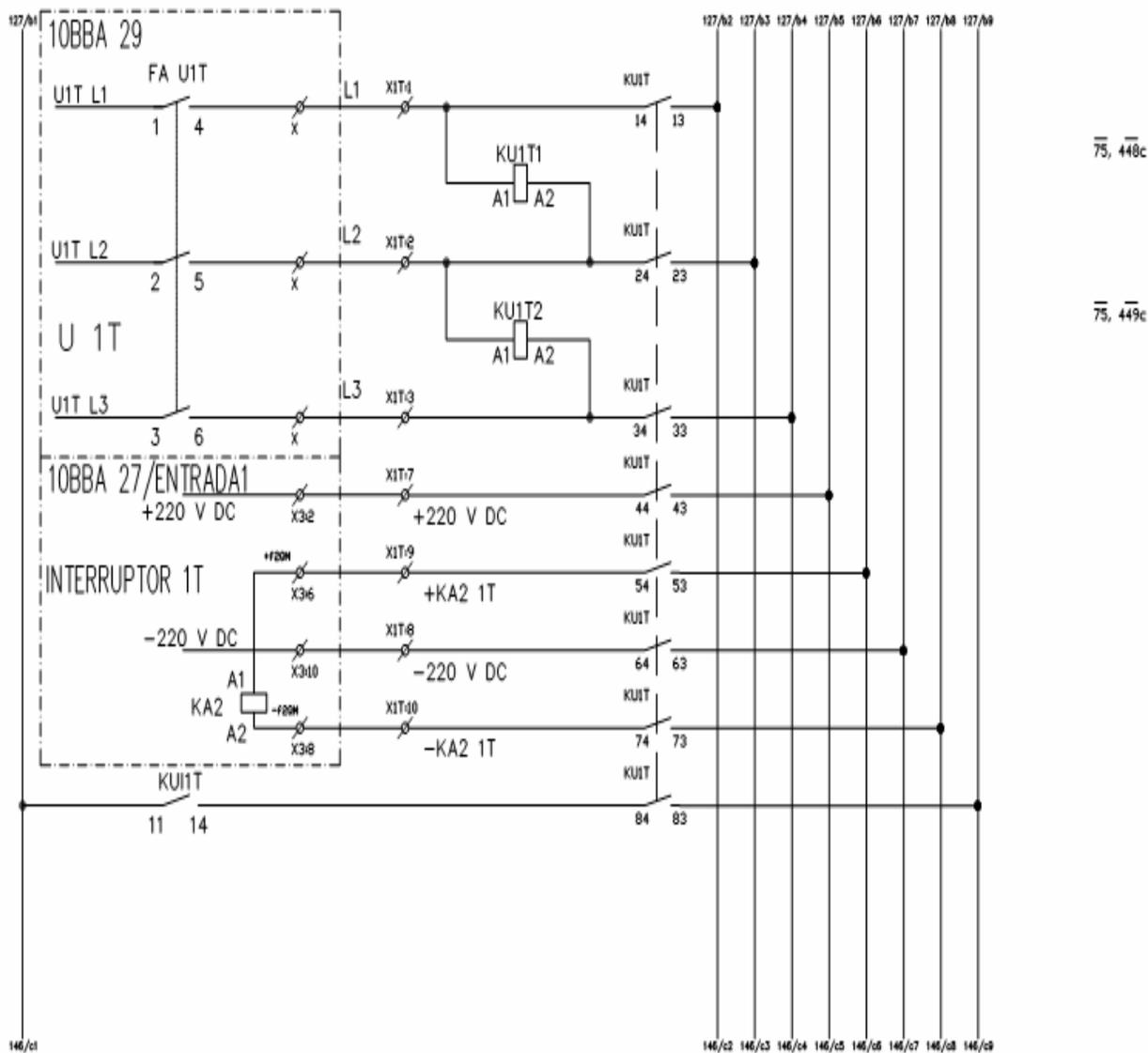
Esquema de sincronización. (Generador 1).



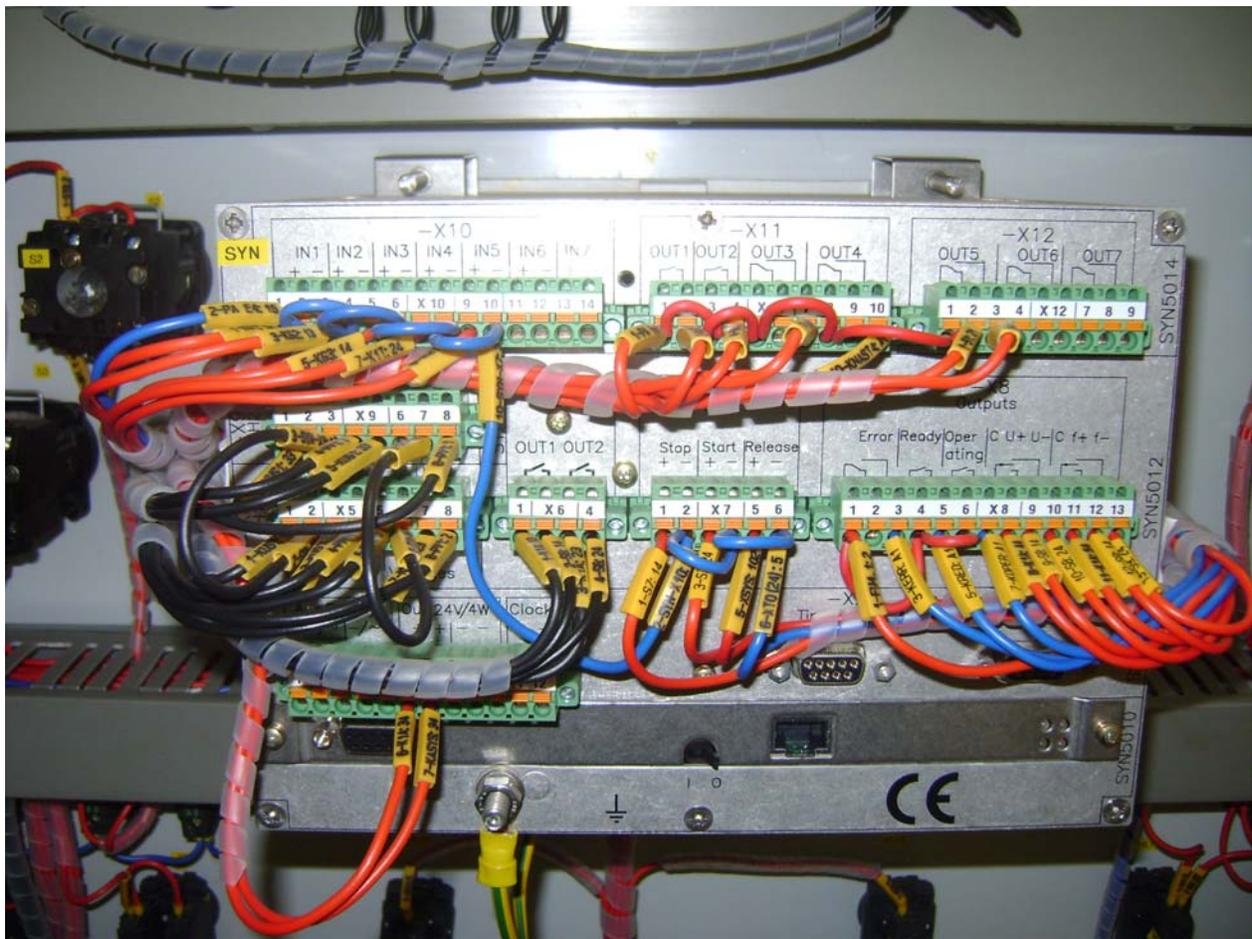
Esquema de sincronización. (Generador 2).



Esquema de sincronización. (Generador 3).



Esquema de sincronización. (Transformador de enlace con el SEN 1T).



Cableado del SYNCHROACT® 5



Parte interior del panel de sincronización