



Ingeniería Eléctrica
Facultad: Metalurgia Electromecánica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

Tema: Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos Fuel Oil de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

Tutor: Dr.C. Reineris Montero Laurencio

Consultante: Ing. Héctor Linares Suarez

**Moa, Holguín, Cuba
Junio del 2016
Año 58 de la Revolución**

Declaración de Autoridad.

Yo:

Diplomante: Iván Santiago Matos.

Tutor: Dr.C. Reineris Montero Laurencio

Autor del Trabajo de Diploma:

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa.

Certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime necesaria.

Iván Santiago Matos

(Diplomante)

Dr.C. Reineris Montero Laurencio

(Tutor)

DEDICATORIA:

Este trabajo va dedicado a una persona que es mi ejemplo a seguir, me ayudó a nacer y me ha dado tanto amor. Todos mis logros estarán dedicados siempre a ti mamá en agradecimiento a todo lo que has hecho por tu hijo preferido. Mi vida te la agradezco a ti y me quedo corto.

Y a la memoria de mi abuela Erlinda Machado que siempre la llevo en el corazón.

AGRADECIMIENTO:

Quiero agradecerle ante todo a Dios por guiarme, darme la fuerza y la paciencia necesaria para cumplir mi objetivo.

A mi madre Ana Gloria Matos por educarme y enseñarme a transitar por esta vida, por sentir y sufrir todas mis alegrías y tristezas, creo que estos cinco años por la universidad la ha pasado ella.

A mi novia Yanisleidis que me apoyó incondicionalmente y me ha acompañado en estos últimos años, gracias bebe por lavarme tanta ropa.

A mi tutor Reineris Montero por aceptar la difícil tarea de ser mi tutor a último instante

A mi papá por venir de tan lejos a ver a su hijo graduarse, y por los consejos que me dió por correos que me sirvieron bastante.

A mi padrastro que ha apoyado tanto a mi mamá y a mí.

A todos los que me han ayudado en especial a Lourdes, Genaro Leyva, Prada y Carlos Perdomo por darme la mano siempre que la necesité.

A Lizandra Pino por darme tanta cháchara, hacer el esfuerzo por aguantarme y ayudarme con la tesis.

No pueden faltar mis compañeros de cuarto, de aula y los que conocí durante este transcurso por la universidad.

A todas aquellas personas que pensaron que esto no sería posible.

Frase.

*Las grandes obras son hechas no
con la fuerza, sino con la
perseverancia.*

Samuel Johnson

Resumen

Los grupos electrógenos de Fuel Oil de Moa constituyen el emplazamiento de mayor potencia en Cuba con unos 180 MW. Durante el poco tiempo que lleva de explotación la instalación, se han apreciado variaciones significativas de la tensión cuando se realizan determinadas operaciones, fundamentalmente a la hora de suministrar potencia reactiva al Sistema Electroenergético Nacional. En el trabajo se realiza una descripción del sistema eléctrico del emplazamiento y de las características operacionales del mismo. Se describen los instrumentos y herramientas computacionales utilizadas en los diferentes análisis.

En un primer paso se demuestra la ocurrencia de las variaciones de tensión en las barras de los generadores, para lo cual se realizó una revisión profunda de los libros de operación y en las bases de datos. Posteriormente para identificar los efectos en las diferentes variables eléctricas y principalmente en la tensión, se realizan pruebas específicas de la variación del factor de potencia en una máquina. A partir del reconocimiento del problema referido a la variación de tensión, se propone la implementación de un regulador automático de voltaje, el cual permite operar los taps de los transformadores de salida. Estos cambios se puede realizar por dos vías, de manera remota y de forma autónoma, permitiendo ampliar el diapasón de trabajo de emplazamiento sin la necesidad de ocurrencia de disparos en las barras conectoras.

Abstract

The fuel oil generators Moa are the site of most power in Cuba with about 180 MW. During the short time it takes operating the facility, they have appreciated significant voltage variations when certain operations are performed, mainly in supplying reactive power to the national power grid. At work a description of the location and operational characteristics of the power system is performed. Instruments and computational tools used in the different analyzes are described.

In a first step the occurrence of voltage variations in the bars of the generators is shown, for which a thorough review of the operation books and databases was performed. Subsequently to identify effects on different electrical variables and mainly in tension, specific tests of the variation of the power factor are performed on a machine. Upon recognition of the problem concerning voltage variation, the implementation of an automatic voltage regulator, which allows to operate the taps of the output transformers is proposed. These changes can be done in two ways, remotely and autonomously, allowing to extend the fretboard work site without the need of occurrence of fire in the buss bars.

Tabla de contenido.

<i>Declaración de Autoridad.....</i>	<i>I</i>
<i>Frase.....</i>	<i>V</i>
<i>Resumen</i>	<i>VIII</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>VI</i>
<i>Tabla de contenido.....</i>	<i>VI</i>
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO INVESTIGATIVO	4
1.1 Introducción	4
1.2 Trabajos precedentes	4
1.3 Aspectos teóricos de las variables eléctricas.....	7
1.3.1 Potencia Activa	7
1.3.2 Potencia trifásica.....	8
1.3.3 Corriente eléctrica	8
1.3.4 Tensión o voltaje	9
1.4 Motores Fuel Oil para la generación eléctrica	9
1.5 Generadores.....	9
1.6 Transformadores de fuerza de subestaciones de transmisión.....	11
1.6.1 Regulación de tensión en transformadores.....	11
1.6.2 Función del cambiador de tomas de un transformador	12
1.7 Generación Distribuida en Cuba.....	13
1.8 Conclusiones	14
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1 Introducción	15
2.2 Descripción general del emplazamiento	15
2.2.1 Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA).....	16
2.2.2 Características del generador	17
2.2.3 Transformadores de salida.....	18
2.2.4 Funcionamiento del Tap del transformador	19
2.2.5 Regulador automático de voltaje AVR ET-SZ6	20
2.2.6 Principio de funcionamiento del ET-SZ6	20

2.2.7 Control remoto	21
2.2.8 Motor guía	23
2.2.9 Control automático	23
2.3. Estrategia de la investigación	24
2.3.1 Identificación de las variaciones de tensión que demuestran la necesidad de una mejor operación del sistema	24
2.3.2 Prueba de variación del factor de potencia para evaluar los efectos de la entrega de diferentes capacidades de potencia reactiva	26
2.4 Conclusiones	XXVII
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	28
3.1 Introducción	28
3.2 Identificación de las variaciones de tensión en el sistema y demostración de la ocurrencia de disparos de las barras de salida del generador.....	28
3.2 Propuesta de regulación automática de la tensión en los transformadores de salida del emplazamiento Fuel Oil de Moa	34
3.2.1 Control autónomo.....	34
3.2.2 Control remoto	36
3.3 Conclusiones	37
Conclusiones Generales	38
Recomendaciones.....	39
Bibliografía	40
Anexos	I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El mundo actual globalizado depende en gran medida de la electricidad, por ello, se trabaja sistemáticamente en su desarrollo en conjunto con su ahorro. Cuba encamina cada día los esfuerzos para una mejora de distribución de este recurso teniendo como principal objetivo el avance de la generación distribuida (GD), ya que ha demostrado desde su puesta en marcha ser la vía más confiable de distribución de la energía por los resultados positivos en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Dentro de la operación de un Sistema Eléctricos de Potencia (SEP) se consideran dos variables principales, la frecuencia y la tensión. La frecuencia es una variable global, ya que es la misma para todo el sistema, en tanto que la tensión es una variable local que determina el perfil de tensión del sistema.

Un sistema de potencia bien diseñado debe ser capaz de entregar un servicio confiable y de calidad. Los grupos electrógenos son fuentes de generación, por ello, deben tener un control de tensión en todo momento para lograr una mejor entrega de energía. Existen varias formas de realizar este control pero la más eficiente es a través de los transformadores de salida de estos emplazamientos. Los transformadores con taps permiten una mejor redistribución del flujo de reactivos en el sistema, y con ello una adecuada regulación de tensión manteniendo los niveles de tensión dentro de límites razonables, aspecto que caracteriza una buena calidad del servicio.

La unidad empresarial base (UEB) de generación o grupo Fuel Oíl Moa, Holguín, no cuenta con un sistema adecuado que controle las variaciones de tensión durante su operación, ocurriendo desconexiones en las barras de salida de los generadores por sobretensión y limitando la entrega de potencia reactiva al SEN. Para asegurar un servicio confiable, aumentar la vida útil de los equipos y obtener una mejor entrega del reactivo al despacho nacional de carga, se realiza un estudio de las variaciones de tensión durante la operación de este emplazamiento

Situación problemática:

El emplazamiento del fuel oíl de Moa es utilizado junto con la Central

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oíl de Moa
Autor: Iván Santiago Matos

Termoeléctrica de Felton para regular frecuencia en el sistema, lo cual limita las operaciones de los grupos electrógenos. Además la regulación de tensión en los transformadores de salida del emplazamiento, solo es posible hacerla actualmente con los cambia tap mecánicos de los mismos, constituyendo una operación peligrosa para la vida de los técnicos encargados. También los generadores están limitados por protección a un determinado factor de potencia, lo cual está estrechamente ligado a la capacidad de reactivo que pueden aportar y la regulación de tensión que se pueda realizar por ellos. Por lo anteriormente expuesto en el presente trabajo se define como **problema:**

Las variaciones de tensión que se producen durante la operación de los grupos electrógenos a partir de las exigencias operacionales del despacho nacional de cargas.

Objetivo general del trabajo:

Determinar las causas, consecuencias y las medidas correctivas necesarias para mejorar el comportamiento de la tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa.

Como **Hipótesis** se parte del supuesto de que: si se determinan las causas y consecuencias de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos de fuel oil de Moa, entonces se pueden proponer medidas técnico organizativas que permitan mantener la calidad del servicio exigido por el despacho nacional de cargas disminuyendo el impacto negativo en el régimen operación del emplazamiento.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los elementos principales que contribuyen a una adecuada regulación de tensión en los grupos electrógenos.
2. Evaluar el comportamiento de la variación de la tensión en los transformadores de salida del emplazamiento.
3. Proponer el uso adecuado de reguladores de tensión en los transformadores de salida del emplazamiento.

Objeto de estudio:

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa
Autor: Iván Santiago Matos

Grupos electrógenos Fuel Oil de Moa

Campo de acción:

Variaciones de tensión durante la operación del objeto de estudio.

Tareas de la Investigación

1. Revisión de trabajos precedentes
2. Recopilación de información y datos.
3. Procesamiento de la información.
4. Pruebas al generador en condiciones normales de operación.
5. Análisis del comportamiento de las variables eléctricas fundamentales.

INVESTIGATIVO

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO INVESTIGATIVO

1.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo, realizar el análisis y revisión bibliográfica con relación a trabajos investigativos enfocados en el modelo de Generación Distribuida (GD) en Cuba. Además se hace mención a las variables eléctricas principales. Se realiza una caracterización general de algunos equipos básicos que conforman a los grupos electrógenos.

1.2 Trabajos precedentes

Desde la puesta en marcha de los sistemas de GD hasta la actualidad se han realizado proyectos investigativos que brindan un mayor conocimiento sobre los estados de operación, tipos de estructuras y características técnicas generales y particulares.

Las investigación hecha por Dilsania Maresma Laurencio y Ailen Sergio Reyes Almaguer en el 2007 hace referencia a las causas por las cuales se comenzó a utilizar en Cuba la Generación Distribuida. Se expone el crecimiento paulatino de la potencia instalada de esta tecnología en su primer año de explotación, aparece la estructura de los emplazamientos diésel así como las variantes para realizar su mantenimiento capital. Tomando como caso de estudio el emplazamiento de Moa, determinaron los índices de consumo de diésel para los regímenes de carga del 75, 80, 90 y 100% comparándolos con el comportamiento de las variables de presión y temperatura en el aceite, el aire, el diésel y líquido refrigerante. A partir de esas mediciones se identificaron modelos matemáticos multivariantes para los distintos niveles de cargas de un grupo electrógeno y se caracterizó el ciclo de vida útil de los filtros de diésel.

Yoanquis Castillo Borges realiza un estudio de las características generales del Grupo Electrónico de Cabonico perteneciente al municipio Mayarí, en caso de situaciones excepcionales y normales de trabajo en paralelo con el Sistema Energético Nacional (SEN). Se abordan los aspectos teóricos prácticos fundamentales del funcionamiento isócrono y las acciones prácticas que se

INVESTIGATIVO

deben realizar en ambos casos, análisis de la potencia de generación y el flujo tecnológico del grupo, además de sus características técnicas fundamentales. Se dejan plasmadas las características de demanda de la localidad de Cabonico, la generación del mismo, así como las particularidades del circuito que lo integra. Este es suficiente para satisfacer la demanda de la localidad ante situaciones excepcionales. Además de realizar una valoración de cómo puede influir la generación de este grupo en la contaminación del medioambiente. A pesar de los excelentes resultados obtenidos en estas investigaciones, no se abordan sobre parámetros eléctricos que aportan durante una sincronización con el sistema, como la tensión y la frecuencia.

Debido al auge de las tecnologías, se han hecho software para la optimización de estos servicios y se han perfeccionados el transcurso de funcionamiento. Ángel Cutiño Guilarte presentó un trabajo que tuvo como objetivo el desarrollo de una aplicación de escritorio para mejorar el proceso de toma de decisiones respecto al funcionamiento de los Grupos Electrógenos Diésel en Batería de Moa. Al mismo, se le dio cumplimiento a través de las diferentes etapas de la metodología XP, las cuales fueron expuestas en esta memoria escrita, además del estudio de factibilidad del proyecto. Durante el desarrollo de la investigación se precisó que el software contribuye a la seguridad, disminución de errores y mejoras en el funcionamiento de los Grupos Electrógenos Diésel en Batería de Moa; además de que presenta como punto de partida para desarrollar y/o adjuntar nuevos módulos. Se estudió cómo se lleva a cabo el proceso de toma de decisiones en los Grupos Electrógenos Diésel en batería de Moa, y se llevó a cabo un estudio de las principales metodologías, lenguajes y herramientas que se consideraron factibles para el desarrollo del sistema. Como resultado de la investigación se logró desarrollar un software en el que se da cumplimiento a las especificidades de los objetivos propuestos. Para simplificar la demora y errores que produce este proceso manual y elevar la eficacia del mismo.

En la tesis en opción al título de Máster en Ciencias del Ing. Alejandro Cobas Castro menciona que durante el proceso montaje y puesta en marcha de

INVESTIGATIVO

Grupos Electrógenos Fuel Oil de tecnología HYUNDAI de 2,5 MW se detectan una serie de deficiencias que posee el proyecto del Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), que afectan la operación y seguridad del Sistema de Control, su trabajo brinda un procedimiento que permite la implementación de cambios en el Sistema de Monitoreo y Adquisición de Datos como base para mejorar la Gestión Energética y Operacional de estas Plantas, basado en la incorporación de nuevos grupos de variables, programación de scripts, mejoras en la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), rediseñando el SCADA de los Grupos Electrógenos Fuel Oil de tecnología HYUNDAI de 2,5 MW, posibilitando dotar al operador de una herramienta de software que le permita una mayor visualización de los parámetros del motor, aumento de velocidad en las aplicaciones, diagnóstico del estado del motor, programación de subrutinas para el cálculo de combustible, mejor operatividad y velocidad de reacción ante cambios en el SEN, para elevar la eficiencia de estas Plantas. Este trabajo aporta una información cuantitativa de los parámetros que determinan la eficiencia energética en los Grupos Electrógenos Fuel Oil.

Andrisley Rosales Núñez realiza una simulación en Matlab de la asimilación de demanda de un batería de grupos electrógenos Diésel funcionado en Isla, ubicada en el municipio Moa, cuya capacidad es inferior a la demanda residencial y pequeña estatal del territorio.

José Manuel Días Céspedes implementa un Sistema Automático de Control en las Calderas del Grupo Electrónico HYUNDAI de 60 MW de Felton donde alternativamente se emplearon los recursos técnicos del país sin la necesidad de contratar a técnicos extranjeros. Este sistema supervisor permite la medición continua de las magnitudes, de esta forma los operadores de la planta reciben las informaciones oportunas, las cuales no existían por haber colapsado el sistema automático anterior debido a las afectaciones producidas por el Huracán Sandy. Se utilizó el WinCC como Sistema de Supervisión de Control de Procesos por su probada confiabilidad en varios sistemas tecnológicos en nuestro país. Se logró el enlace de los sensores y

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa
Autor: Iván Santiago Matos

INVESTIGATIVO

accionamientos con la computadora mediante el autómatas S7-300 de SIEMENS realizándose todas las configuraciones correspondientes de hardware y de software. Independientemente de los resultados positivos obtenidos en estos proyectos de programas de adquisición de datos y sistemas de monitoreo, no se hace referencia al comportamiento del reactivo ante una variación del factor de potencia durante la operación sincronizada con el Sistema Electroenergético Nacional de estos grupos electrógenos.

En las tesis anteriores no se trata el estudio específico de las variaciones de tensión, las mismas están provocadas por los regímenes operacionales de estos emplazamientos que sirven para suplir las demandas de energía que existen en los horarios picos del sistema.

Considerando que el emplazamiento es de generación base y que al entregar determinados parámetros de suministro se producen diferentes situaciones operacionales como es el caso de las variaciones de tensión, se proponen los pasos contenidos en este trabajo, debido a que en la bibliografía consultada no se encuentra suficientemente tratada esta problemática.

1.3 Aspectos teóricos de las variables eléctricas**1.3.1 Potencia Activa**

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la que en realidad consumen los circuitos, y en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra P y se mide en vatios -watt- (W) o kilovatios -kilowatt- (kW.). De acuerdo con la expresión 2.1, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi = I \cdot Z \cdot I \cos\phi = I^2 \cdot Z \cdot \cos\phi = I^2 \cdot R \quad (1.1)$$

INVESTIGATIVO

Donde:

R: Resistencia de circuito (Ω)

I: Intensidad de la corriente eléctrica (A)

U: Tensión o voltaje (V)

$\cos\phi$: Factor de potencia

Debido a lo indicado anteriormente se puede plantear que la potencia activa es consecuencia a la presencia de elementos resistivos dentro de la red eléctrica.

1.3.2 Potencia trifásica

La ecuación 2.2 representa matemáticamente la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado (las tres tensiones de fase tienen idéntico valor y las tres intensidades de fase también coinciden) está dada por la ecuación:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad (1.2)$$

Siendo I la intensidad de línea y U la tensión de línea (no deben ser empleados para esta ecuación los valores de fase). Para reactiva y aparente (ver ecuación 2.3 y 2.4):

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\phi \quad (1.3)$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (1.4)$$

1.3.3 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica se caracteriza por el movimiento ordenado de partículas cargadas (electrones) a través de un conductor en función del tiempo. Denominándose intensidad de la corriente eléctrica a la magnitud que define la velocidad con la que se mueven esas partículas. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio.

La ley de Ohm plantea que el valor de la intensidad de la corriente va a ser directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional al valor de la resistencia, como se muestra en la ecuación

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.5)$$

INVESTIGATIVO

1.3.4 Tensión o voltaje

La tensión eléctrica o diferencia de potencial (en algunos países también se denomina voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas (Ver 2.6).

$$U = I \cdot R \quad (1.6)$$

1.4 Motores Fuel Oil para la generación eléctrica

Los Grupos Electrógenos Fuel Oil están constituidos por un motor de combustión interna, un generador sincrónico trifásico y un transformador de potencia, además de una serie de dispositivos que son los encargados del suministro de las materias primas necesarias en el proceso de combustión y generación de electricidad, así como una serie de equipos secundarios necesarios para el funcionamiento eficiente del equipamiento y la distribución de la energía.

El motor de combustión interna es una máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. La eficiencia del motor depende de parámetros como la calidad del combustible, el tiempo de mantenimiento, la sobreexplotación de las máquinas y la vigilancia constante de los principales parámetros técnicos-productivos además de requerir un sistema de control seguro y robusto que pueda dotar al motor de un sistema de seguridad confiable que responda ante posibles eventualidades.

1.5 Generadores

Un generador eléctrico es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si se

INVESTIGATIVO

produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.).

Los generadores sincrónicos (GS), son máquinas sincrónicas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica. En un generador sincrónico se aplica una corriente directa al devanado del rotor, el cual produce un campo magnético. Entonces el rotor del generador gira mediante un motor primario y produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina. Este campo induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador.

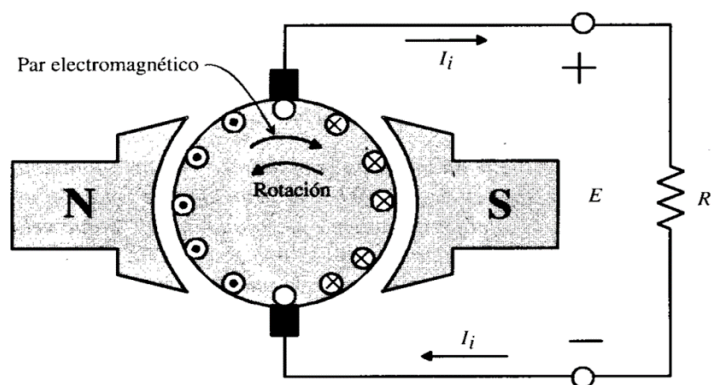


Figura 1.1 Máquina de corriente alterna funcionando como generador

Para los Grupos Electrógenos se utilizan GS de más baja velocidad. Estos generadores con un gran número de polos tienen rotores hechos de polos salientes con excitación de corriente directa (CD). Los polos de los rotores se hacen de laminaciones para reducir la pérdida adicional del rotor pero el cuerpo de este y el núcleo están hechos de acero sólido magnético. Con un gran número de polos el devanado del estator se construye para un menor número de acoplamientos de ranura/polo, en muchos casos entre 6 y 12.

INVESTIGATIVO

1.6 Transformadores de fuerza de subestaciones de transmisión

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética.

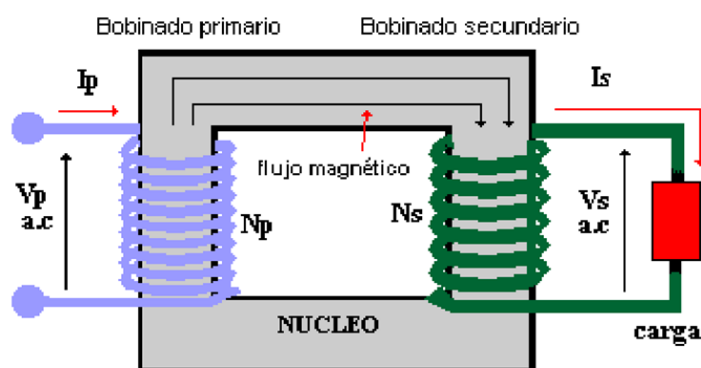


Figura 1.2 Esquema funcional de un transformador monofásico

El transformador de fuerza de 70 MVA, es el encargado de elevar la tensión de 13.8 kV a 121 kV además se encarga de enlazar los generadores con las subestaciones de transmisión y éstas con otras que operan a diferentes tensiones se utilizan para elevar la tensión desde el nivel de generación al de transmisión, los valores más empleados en la generación son 12,5; 13,2 y 13,8 [kV]

1.6.1 Regulación de tensión en transformadores

Los transformadores con cambiador de tomas o derivaciones (Tap), permiten una mejor redistribución del flujo de reactivos en el sistema, y con ello una adecuada regulación de voltaje, manteniendo los niveles de tensión dentro de límites razonables.

El cambiador de taps o derivaciones es un dispositivo generalmente mecánico que puede ser girado manualmente para cambiar la razón de transformación en un transformador, Por ejemplo esto ayuda a subir el voltaje en el secundario para mejorar un voltaje muy bajo en alguna barra del sistema.

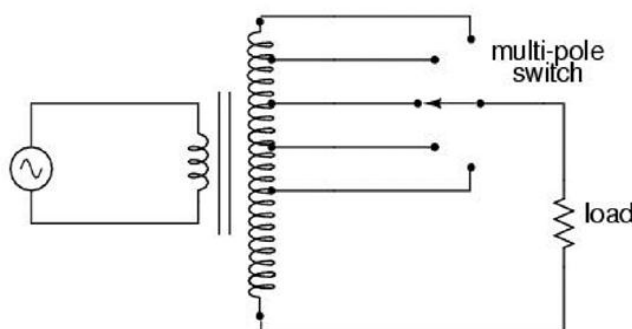
INVESTIGATIVO

Figura 1.3 Esquema funcional del Tap de un transformador

1.6.2 Función del cambiador de tomas de un transformador

EL Tap sobrepone al bobinado primario un número de espiras cambiando la razón de transformación en un transformador, típicamente, son 5 pasos uno de ellos es neutral, los otros alteran la razón en más o menos el 5%. Teniendo una tensión de salida adecuada según la regulación de tensión que se ha de operar.

Tipos de Taps

Los transformadores poseen dos tipos de taps, los fijos y los intercambiadores de taps bajo carga. Cuando el control se realiza por medio de los taps fijos se hace necesaria la salida de operación de la unidad de transformación, lo que conlleva múltiples problemas, como la discontinuidad del servicio de energía para grandes centros de consumo, pérdida de protecciones de respaldo del sistema, incluso podría causar un colapso del sistema si no se lo realiza adecuadamente, etc.

El control por intercambiadores de taps bajo carga se hace con regulador automático de Tap (ATCC) y se realiza sin desconexión del transformador de potencia, por lo que tiene una gran ventaja sobre el primero. Bajo estas premisas es necesario realizar un estudio de reposicionamiento de los taps de los transformadores para asegurar la operación adecuada con el mínimo de reposicionamientos de los taps fijos durante el año.

INVESTIGATIVO

El ATCC mantiene el lado de alta tensión en un valor pre-seleccionado para un rango de valores pre-ajustados, al ocurrir una variación de tensión el cambia un toma del transformador en dependencia de la demanda y variando la tensión de salida según la carga.

1.7 Generación Distribuida en Cuba

Más del 40 por ciento de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a diésel y fuel oíl. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético.

La denominación de la Generación Distribuida (GD) en Cuba ha sido un concepto basado en el acercamiento de la generación a los consumidores. Surgió con motivos de la crisis energética que tuvo lugar en el año 2004.

Durante el periodo 2004-2005, las centrales termoeléctricas a base de petróleo Lidio Ramón Pérez y Antonio Guiteras, con tecnologías de más de 25 años de explotación, y que sólo garantizaban una disponibilidad promedio del 60 por ciento, ocurren frecuentes interrupciones incluyendo la avería de una de ellas que se extendió por 6 meses y causó severas afectaciones a la economía nacional al tener que parar su producción, más de 120 industrias, unidos a prolongados apagones sufridos en el sector residencial, Esa situación se agravó aún más con el impacto del huracán Charlie en las líneas de transmisión de alta tensión. Todos los problemas antes mencionados afectaron a la economía cubana y dieron lugar a una crisis energética.

La introducción del modelo de Generación Distribuida resolvió la situación a corto plazo. La mayoría de las nuevas instalaciones de GD en el país son generadores y motores que queman combustibles fósiles (diésel y fuel oíl), así como pequeños generadores de emergencia. Estas tecnologías han tenido un impacto positivo en el medio ambiente, ya que tienen menores tasas de

INVESTIGATIVO

consumo específico (234 g/kWh), frente a las plantas termoeléctricas basadas en la quema de petróleo crudo (284 g/kWh en promedio). Además, debido a la dispersión de las centrales eléctricas, había un alto porcentaje de pérdidas técnicas en la transmisión de la electricidad. Un aspecto adicional que pudiera señalarse como ventajoso de este nuevo modelo es que facilita una mayor penetración de las tecnologías energéticas renovables en el Sistema Electroenergético Nacional.

1.8 Conclusiones

Durante el desarrollo del presente capítulo:

- Se realizó un análisis de los trabajos precedentes acerca del tema a tratar.
- Se hizo una descripción general de los principales equipos a utilizar durante la investigación.
- Se analizó la trayectoria de la generación distribuida en Cuba.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

En este capítulo se hace una caracterización general de los materiales y métodos que se utilizan en las diferentes etapas de la investigación. Estas etapas están enmarcadas en la demostración de las ocurrencias de las variaciones de tensión en las barras de los generadores, las pruebas específicas de aporte de potencia reactiva al SEN en una de las máquinas para demostrar una de las causas fundamentales de la variación de tensión y por último la propuesta de la regulación automática de la tensión. También se realiza una descripción del sistema eléctrico del emplazamiento y de las características operacionales del mismo. Se describen los instrumentos y herramientas computacionales utilizadas en los diferentes análisis.

2.2 Descripción general del emplazamiento

La UEB de Generación o Grupo Fuel Oil Moa, está compuesto por 10 generadores de 18,465 MW de potencia nominal cada uno, a una tensión de 13,8 kV y 60 Hz de frecuencia, distribuidos en cuatro grupos, dos de ellos compuestos por tres generadores y el resto por dos. Los generadores están conectados a las cuatro barras de media tensión, en las cuales se sitúan ocho transformadores (cuatro con salida al SEN con una potencia de 70 MVA cada uno y cuatro de uso de planta con una potencia individual de 3,15 MVA). Los transformadores de 70 MVA elevan la tensión a 110 kV y los de uso de planta la reducen a 0.48 kV).

Los transformadores de uso de planta alimentan las barras de baja tensión que suplen la carga de la empresa. Las barras de baja tensión, están conectadas a un 11^{no} generador llamado Black Start de una potencia de 250 kVA. Este generador es el encargado del arranque de la planta en modo Isla. La barra de media tensión está dividida en cuatro secciones independientes a las cuales van conectadas los generadores de potencia, los transformadores destinados para las mediciones de corriente y tensión (TC y TP), los relés y las cuchillas de protección de los generadores y los transformadores de salida al SEN.

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos eléctricos fuel oil de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

La figura 2.1 muestra el esquema monolineal simplificado del emplazamiento Grupo Electrógeno Fuel Oil Moa. (Para mejor vista ver anexo 1)

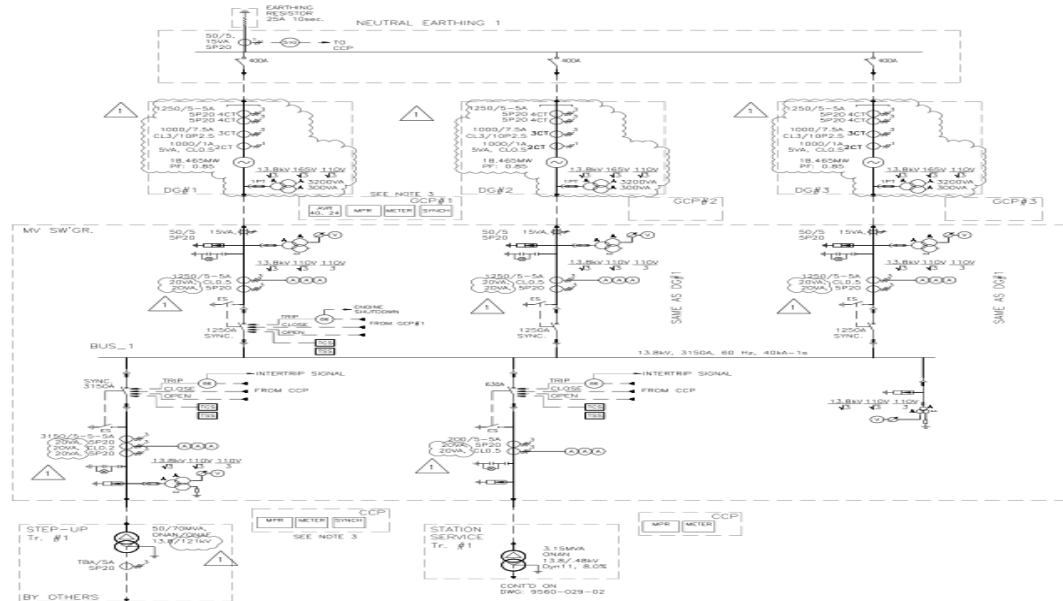


Figura 2.1 Monolineal de una de las secciones de generación del emplazamiento correspondiente al transformador de fuerza 1 y el de uso de planta 1.

2.2.1 Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)

El nombre comercial del SCADA utilizado es Data Publisher, el software de control de procesos fue desarrollado por Kuhse, compañía alemana con años de experiencia en el control de procesos. El software persigue el cumplimiento de una serie de tareas como son:

- ❖ Visualización: Visualización de los datos de proceso de una manera comprensible para el usuario; por ejemplo, mostrar diagramas de proceso con la información del valor actual.
- ❖ Acción: Ofrece al usuario la posibilidad de acceder al proceso; por ejemplo, válvulas de apertura o cierre, iniciar / detener las unidades.

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa
Autor: Iván Santiago Matos

- ❖ Control: Retroalimentación y la acción para que el usuario pueda controlar su proceso.
- ❖ Monitoreo: La posibilidad de supervisar procesos continuos.
- ❖ Señalización de alarmas: El seguimiento se complementa con la notificación al usuario, por ejemplo, la señalización de alarmas a través de un texto en pantalla o SMS / e-mail (esta última no implementado en la planta).
- ❖ Almacenamiento de Datos: Grabación de los eventos y los datos para el análisis de procesos, por ejemplo, seguimiento de la evolución, las condiciones buenas o malas de procesos.

La función principal del SCADA es brindar toda la información posible relacionada con el proceso y poder interactuar con el mismo. En la medida en que esta información sea transmitida de forma eficiente se tendrá un operador capaz de realizar bien su trabajo.

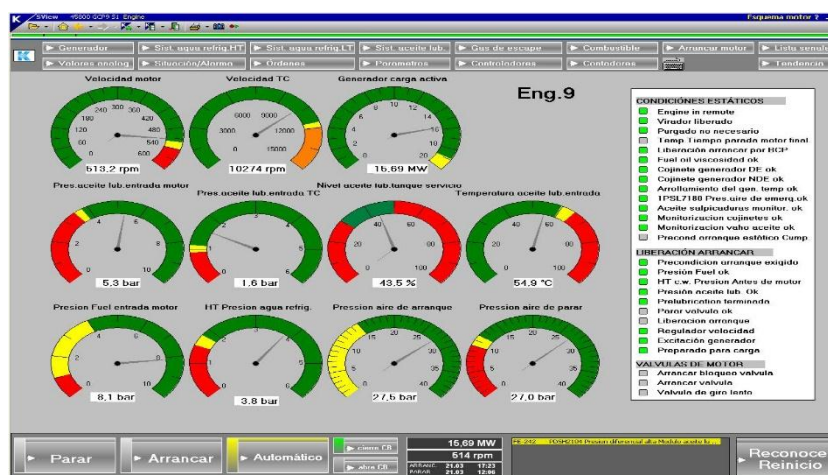


Figura 2.2 Pantalla principal del SCADA Data Publisher en función

2.2.2 Características del generador

El generador de 18,465 MW de potencia nominal, a una tensión de 13800 V recibiendo energía constante, una frecuencia de 60 Hz y una corriente de 965 A. El

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa
Autor: Iván Santiago Matos

peso es de 67000 kg y su velocidad es 514 rpm y velocidad final 617 rpm a una inercia de 14100 kgm², el método de enfriamiento es IC8A1W7.

2.2.3 Transformadores de salida

Los transformadores de salida del emplazamiento permiten una mejor redistribución del flujo de reactivos en el sistema, y con ello una adecuada regulación de voltaje, manteniendo los niveles de tensión dentro de límites razonables. Aspecto que caracteriza una buena calidad del servicio. Estos transformadores del tipo, SF10-70000/21 tiene las siguientes características:

- ❖ Nivel de aislamiento
- ❖ Línea alta tensión: LI/AC 550/230 kV
- ❖ Línea de baja tensión: LI/AC 110/38 kV
- ❖ Neutral alta tensión: LI/AC 325/140 kV
- ❖ Altitudes: 1000 m
- ❖ Método de enfriamiento: ONAN 50 MVA / ONAF 70 MVA
- ❖ Frecuencia: 60 Hz
- ❖ Tensión nominal: 121/13.8 kV
- ❖ Capacidad: 70 MVA
- ❖ Grupo de conexión: Ynd1



Figura 2.3 Transformador elevador conectado a la barra de salida de los generadores.

2.2.4 Funcionamiento del Tap del transformador

El Tap de estos transformadores es de 11 posiciones por lo que brinda una mejor regulación al tener una menor rango entre sus variaciones, existe una variación entre una toma y otra de un 1.5% de tensión. La siguiente figura y tabla muestran el Tap y su correspondencia entre posiciones respectivamente

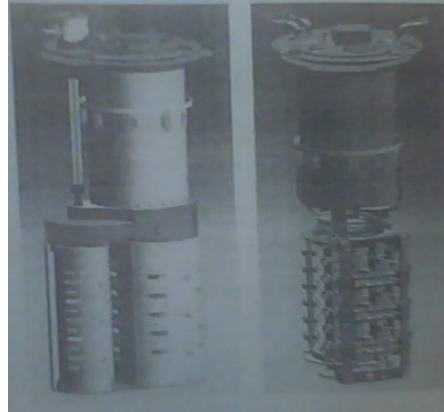


Figura 2.4 Cambiador de tomas bajo carga del transformador. Tipo SHZV

La siguiente tabla muestra los valores de corriente y tensión salida correspondiente con cada posición del Tap del transformador elevador.

Tabla 2.1 Correspondencia entre la corriente y la tensión de salida con la posición del Tap

Posiciones del Tap	Tensión	corriente
1	130075	310.7
2	128260	315.1
3	126445	319.6
4	124630	324.3
5	122815	329.1
6	121000	334.0
7	119185	339.1
8	117370	344.3
9	115555	349.7

Posiciones del Tap	Tensión	corriente
10	113740	355.3
11	111925	361.1

2.2.5 Regulador automático de voltaje AVR ET-SZ6

El regulador automático de voltaje ET-SZ6 es recomendado para transformadores que tienen que hacer cambio de tomas bajo carga. Adecuado para transformadores de 10 KV, 35 KV, 110 KV, 220 KV, usa una interconexión de pantalla cristal líquida (LCD) de gran dimensión. Puede realizar el control manual, automático y remoto. Es de gran ventaja ya que las teclas, arriba, abajo y parada de salida del relé no está acoplado a la fuente. Además puede trabajar en paralelo con 3 controladores más, usa un display de pasos y acción por display. Utiliza una salida analógica de cuatro a 20 mV, con salida del interruptor en código decimal binario. Emplea la función comunicada de RS-485 a RS-232, la sensibilidad junto con la tensión de muestreo puede ajustarse.



Figura 2.5 Regulador automático de voltaje ET-SZ6

2.2.6 Principio de funcionamiento del ET-SZ6

Para el control remoto la señal del Tap del transformador de carga se introduce al mainframe desde el conector de 9 pines AVIATIC, esta fue codificada para ser separada e ir al controlador central de la CPU en código decimal binario. Los SCM convierte los datos a través de D/A y la salidas de la señal analógica 0.2V/ eleva a (4*20mV), entonces esta es usada para las medición remota de la señal. El controlador central cuenta la veces que cambia de posición el distribuidor de posiciones, muestra y transmite remotamente la posición de señal y el tiempo de

acción por medio del puerto RS-485 o RS-232. El SCM almacena el tiempo de acción en memoria EEPROM para evitar la pérdida de datos cuando se corta el suministro de la energía. La computadora RTU usa las entradas remotas de las mediciones desde los puertos RS485 o RS232 para el control de subir, bajar, parar, y controlar los ajustes de voltaje con carga.

Cuando dos controladores están en paralelo, amo y esclavo, A y B respectivamente, no haga interconectados.

2.2.7 Control remoto

En el modo de control remoto no tiene conexión con la fuente que introduce en la computadora el control. El control serial usa el modo pregunta-respuesta desde el puerto RS-485 o el bus RS-232.

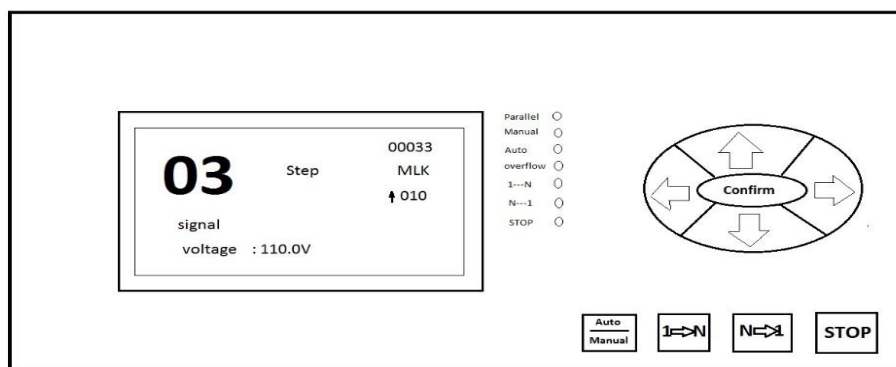


Figura 2.6 Boceto delantero del regulador automático de tensión



Tecla de cambio (manual-automático).



Subir (funcionamiento manual).



Bajar (funcionamiento manual).



Parar (funcionamiento manual).

03 : Posición del Tap.

00033 : Veces de la acción.

↑ 010 Tiempo de retraso de la acción.

MLK Información del control en carácter paralelo.

La información del control en carácter paralelo aparecerá solo en la conexión en paralelo.

Tabla 2.2 Significado de las siglas en carácter paralelo

COMPUTADORA CENTRAL	COMPUTADORA ASISTENTE
MLK: LA CONEXIÓN EN PARALELO COTROLANDO ES NORMAL.	SRD: LA COMUNICACIÓN CON LA COMPUTADORA CENTRAL ES NORMAL.
MNL: LA COMPUTADORA ASISTENTE NO ESTA CONECTADA.	SNR: LA COMUNICACIÓN CON LA COMPUTADORA CENTRAL ES ANORMAL
MNS: LA ESTACION DE POSICION DISTRIBUIDORA ES ASINCRONICA.	

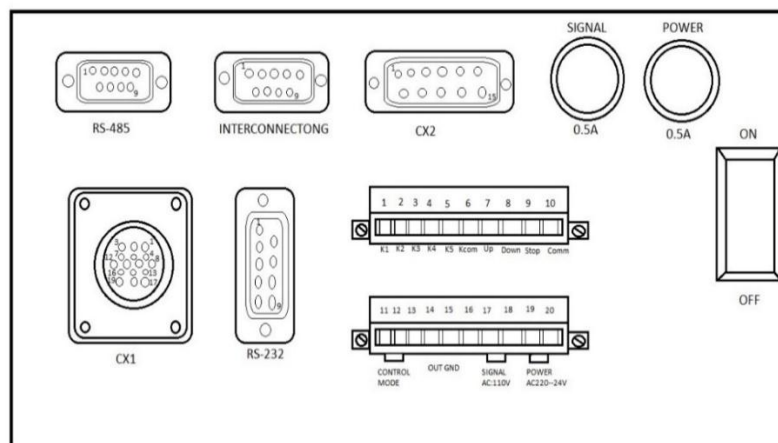


Figura 2.7 Boceto trasero del ET-SZ6

- El puerto de interconexión se usa para cambiar información cuando es conectado a otro controlador.
- "singnal voltage" conéctese al voltaje de muestreo.

2.2.8 Motor guía

La operación de cambio de espira comienza con el motor guía, la fuerza motriz es transmitida para la carga desde la caja de cambio a través del eje impulsor vertical, entonces es transmitido el mecanismo por la vía del eje impulsor horizontal y este eje de salida dirige la rotación del eje aislador. La rotación del eje aislador conduce el sistema principal de conducción para manejar el mecanismo de conmutación, la energía emitida por el mecanismo de almacenamiento dirige el interruptor desviador para que funcione el mecanismo de vuelta del selector de tomas de salida, el mecanismo de vueltas hace mover el Tap una posición operativa.



Figura 2.8 Motor guía que acciona el mecanismo de cambiador de toma

2.2.9 Control automático

En el estado de control automático el ET-SZ6 usa la forma de comparación, probando tensión de salida con tensión de muestreo. En caso de que la tensión de muestro de partida, aprecia una señal de control de salida, por arriba de la tensión o por debajo de la tensión del rango reprogramado (el LCD mostrara una indicación de parpadeo), controlará el tap de una posición para otra para ajustar la tensión.

2.3. Estrategia de la investigación

La estrategia de la investigación se centra en demostrar la existencia de las variaciones de tensión durante la operación del emplazamiento, luego se preparó un experimento consistente en mostrar el efecto en el comportamiento de la tensión y otras variables de operación de un grupo electrógeno mediante el cambio del punto de operación del factor de potencia y finalmente se propone una estrategia de regulación de la tensión en los transformadores mediante el uso de reguladores automáticos.

2.3.1 Identificación de las variaciones de tensión que demuestran la necesidad de una mejor operación del sistema

El emplazamiento Fuel Oil de Moa es utilizado para regular frecuencia en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) en conjunto con la Termoeléctrica de Felton y dirigidos por el despacho nacional de carga. Por lo que ésta regulación depende de la demanda y el control, se realiza desde el despacho nacional de carga.

Actualmente los transformadores de salida del desplazamiento solo disponen del cambiador de toma mecánico y se debe operar cuando el transformador se encuentra desenergizado, puesto que si se llegase a operar energizado, la descarga que produciría en toda la red podría dañar todas las cargas conectadas a la misma.

Dado que no se pueden sacar del sistema cada vez que se regulen porque traería interrupciones prolongadas y con esto pérdidas financieras, y es muy riesgosa la regulación de tensión por el transformador bajo carga para los operadores, se mantiene fijo el Tap del mismo en la posición seis.

Para entregar más potencia reactiva al SEN se cambia el valor deseado (set point) del factor de potencia de los generadores, los cuales se regulan con la excitación de la máquina. Esto trae como consecuencia que las máquinas trabajen sobreexcitadas por tiempos indefinidos dañando su tiempo de vida útil. Para lograr entregar el reactivo que requiere el sistema se producen variaciones significativas de tensión, lo

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos eléctricos fuel oil de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

cual afecta el desempeño de las máquinas, desconectándose las barras a la salida de los generadores por sobretensión. El disparo de estas protecciones desconecta los transformadores de la carga perdiendo el SEN temporalmente su capacidad de aportar reactivo.

Los libros de incidencias de los operadores guardan todos los sucesos ocurridos diariamente en la planta. Debido a que las protecciones guardan hasta 100 eventos y a partir de ese límite se va renovando la información, para ostentar la explicación anterior, se realiza una búsqueda exhaustiva en estos libros de incidencia. Luego de encontrar determinados días en los cuales se aprecia el disparo de las barras donde están conectados los generadores, debido a las variaciones de tensión se seleccionó uno de estos días. A partir de este día se representa el funcionamiento del emplazamiento durante 24 horas de manera tal que pueda ser apreciable ese comportamiento de la variación de la tensión en un día característico de operación del mismo a partir de las exigencias del SEN.

Los datos se tomaron del SCADA y se le realiza un adecuado tratamiento para poder visualizar de manera oportuna la conducta de las variables a analizar. La figura 2.9 muestra el comportamiento de las variables principales del transformador de salida número cuatro del emplazamiento a través del SCADA.

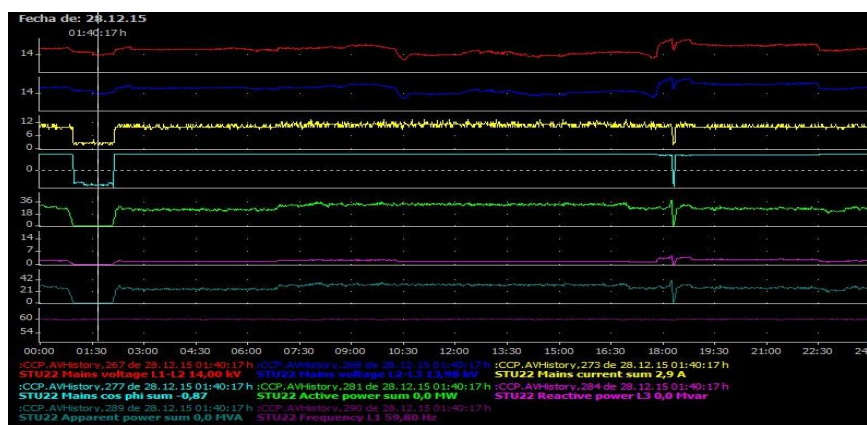


Figura 2.9 Visualización del disparo por medio del SCADA.

2.3.2 Prueba de variación del factor de potencia para evaluar los efectos de la entrega de diferentes capacidades de potencia reactiva

Para evaluar los efectos de la entrega de reactivo al SEN, según requerimientos del despacho nacional de cargas y en función de la generación base que le piden a cada máquina, se le realizará una prueba experimental en condiciones normales de operación. Para esto se requiere, primero de un permiso del despacho nacional de carga, siendo esta dirección la encargada de decidir si es posible, además del mes, día, hora y el generador de estudio. Se toma el generador número ocho que junto a los generadores seis y siete están conectados a la barra uno y ésta al transformador cuatro.

En la primera prueba se cambia el factor de potencia (F.P) en la máquina y se verifican los demás parámetros (eléctricos y combustible). La máquina funciona en condiciones normales de operación, es decir, a un 85% que entrega aproximadamente 16MW. El transformador de potencia se mantendrá con el Tap fijo en la posición seis y estabilizando la tensión de salida en un rango de 110 kV con una variación de $\pm 10\%$. Desde la sala de control se le realiza el cambio por mando remoto al factor de potencia.

La prueba comenzó a las 9:29:00 am del viernes 27 de mayo del 2016 con el factor de potencia en 0.99, con un tiempo de espera de aproximadamente 30 minutos entre un punto del factor de potencia y otro. Terminó con el factor de potencia en 0.94, con una duración de tres horas y dos minutos.

Al comenzar prueba se coordina con un operador para que suba el F.P a 0.99 al mismo tiempo que se registra, desde el cuarto de máquinas, el valor manuscrito del consumo de combustible Fuel Oil al inicial este punto. Desde la sala de control se toman los valores iniciales también manuscrito y el SCADA va guardando cada minuto los parámetros eléctricos. Pasado los 30 minutos se vuelve a tomar el consumo de combustible Fuel Oil almacenando este valor como consumo final,

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

siendo este el valor de consumo de combustible inicial para el siguiente punto. Luego se le informa al operador de bajar el F.P a 0.98 repitiéndose el procedimiento anterior. Con supervisión del operador se recopilan a través del SCADA los siguientes datos:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| ➤ Tensión en la fase uno. | ➤ Potencia real en la fase tres. |
| ➤ Tensión en la fase dos. | ➤ Potencia real suma. |
| ➤ Tensión en la fase tres. | ➤ Potencia reactiva fase uno. |
| ➤ Tensión en la línea uno-dos. | ➤ Potencia reactiva fase dos. |
| ➤ Tensión en la línea dos-tres. | ➤ Potencia reactiva fase tres. |
| ➤ Tensión en la línea tres-uno. | ➤ Potencia real suma. |
| ➤ Corriente de fase uno. | ➤ Potencia aparente fase uno. |
| ➤ Corriente de fase dos. | ➤ Potencia aparente fase dos. |
| ➤ Corriente de fase tres | ➤ Potencia aparente fase tres. |
| ➤ Corriente suma. | ➤ Potencia aparente suma. |
| ➤ Potencia real en la fase uno. | ➤ Temperatura fuel Oíl. |
| ➤ Potencia real en la fase dos. | ➤ Presión del fuel Oíl. |

Las mediciones se han realizado de manera tal que se pudo almacenar y representar considerablemente el comportamiento de la tensión, la potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente para su posterior estudio, coordinado el tiempo y teniendo en cuenta el consumo de combustible Fuel Oíl en cada punto del factor de potencia.

2.4 Conclusiones

- Se hizo una caracterización general del emplazamiento.
- Se describió el principio de funcionamiento del regulador automático de voltaje ET-SZ6 y sus modos de operación.
- Se explicó detalladamente las pruebas realizadas durante la investigación.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se presentan los resultados del comportamiento de la variación de tensión mediante un caso representativo y aprovechando las facilidades del SCADA del sistema. Se presentan los resultados de la prueba de variación del factor de potencia lo cual permite entregar diferentes cantidades de reactivo al sistema pudiendo evaluar el efecto en la variación de tensión de una máquina del emplazamiento. Finalmente se presenta la propuesta de regulación automática de la tensión para poder mejorar las prestaciones de los grupos electrógenos.

3.2 Identificación de las variaciones de tensión en el sistema y demostración de la ocurrencia de disparos de las barras de salida del generador

El comportamiento de las tensiones a la entrada de los diferentes transformadores de fuerza del emplazamiento se comporta de manera similar. A excepción en que hay algunos momentos en que los transformadores de uso de planta, conectados a las mismas barras que estos transformadores, podrán demandar una cantidad de energía para las cargas que hay internas en el emplazamiento. No obstante la incidencia fundamental en el comportamiento de la tensión lo tiene la demanda de energía que en cada momento requiere el sistema y particularmente la exigencia de reactivo que demanda el despacho nacional de carga. En la figura 3.1 se puede apreciar toda una dinámica de la tensión a la salida de todos los transformadores del emplazamiento en función de las operaciones que se realizan.

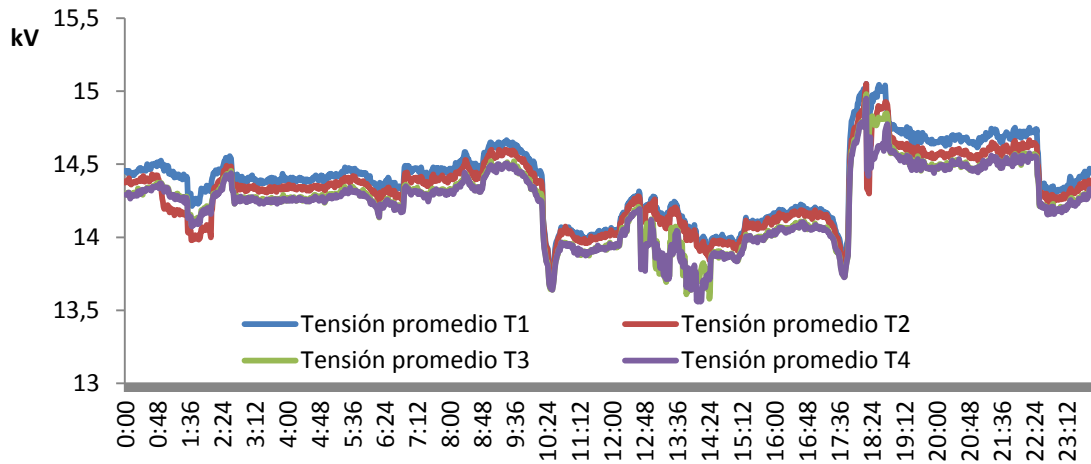


Figura 3.1 Comportamiento de la Tensión en la transformadores de salida

La figura anterior, muestra como durante un día de operación, en el cual el emplazamiento estaba operando con todas sus máquinas la tensión sufre variaciones apreciables en su comportamiento debido a las exigencias del despacho nacional de carga.

Para que se tenga una idea de la relación que existe entre la entrega de potencia reactiva al sistema y el comportamiento de la tensión se presenta el gráfico de la figura 3.2. En esta figura se muestra la salida de uno de los transformadores del emplazamiento. Cuando la demanda de potencia reactiva aumenta, también se incrementa la tensión en la barra.

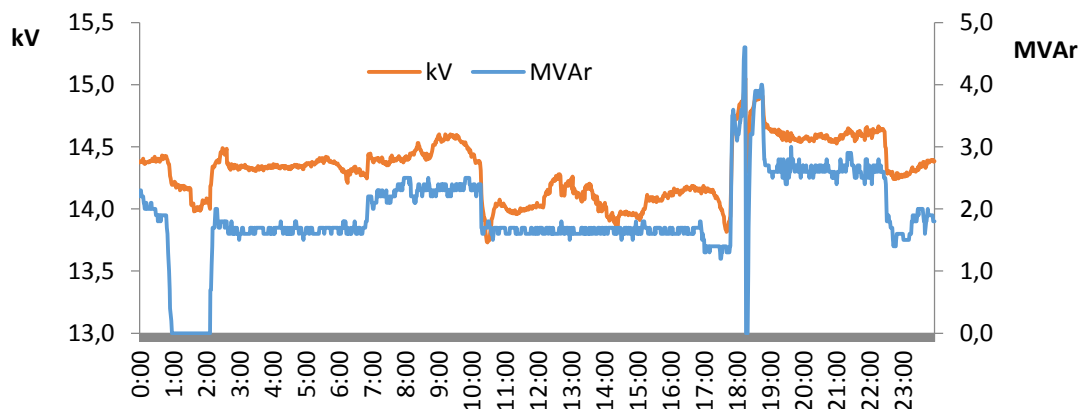


Figura 3.2 Comportamiento de la tensión y la generación de reactivo en un transformador de fuerza a la salida del emplazamiento.

La particularidad de que el emplazamiento sirve de potencia base al SEN, hace que las máquinas operen por lo general a 85 % de capacidad, no obstante se recalca que generar reactivo, se convierte en una operación, en la cual suelen dispararse las protecciones de los generadores por sobre tensión.

En la figura 3.3 se presenta el resultado del disparo de una barra lo cual se produce en una de las horas más críticas de la demanda de potencia en el país.

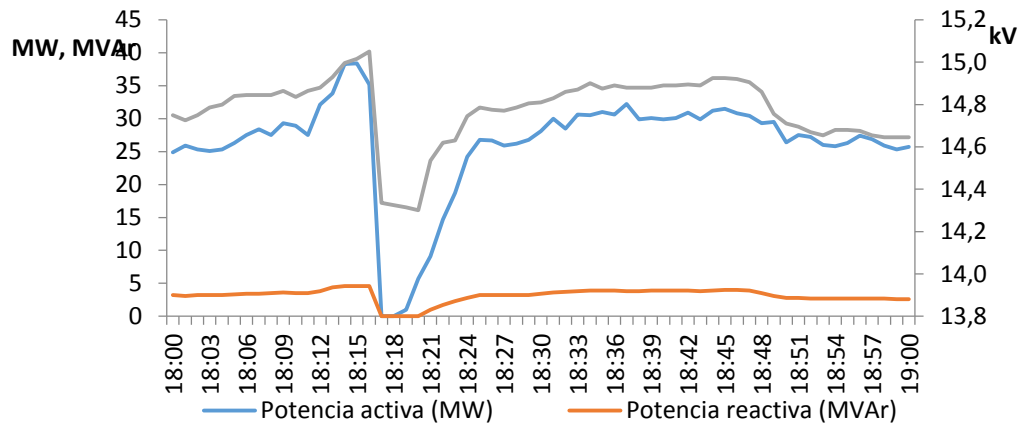


Figura 3.3. Disparos que se producen en las barras de salida del generador cuando se suministra reactivo hasta el nivel concebido por la máquina.

Como se explicó en el capítulo anterior, las pruebas realizadas a una máquina del emplazamiento, con el objetivo de apreciar el efecto del aporte de reactivo al SEN cambiando el set point del factor de potencia, se hace necesario para apreciar los cambios que se producen en la tensión. En la gráfica de la figura 3.4 se pueden ver los escalones aplicados del factor de potencia a la máquina ocho, para este caso solo estaba funcionando esta máquina la cual está conectada al transformador de salida # 3.

En la prueba se fue disminuyendo el factor de potencia de 0,99 a 0,94. El valor límite de 0,94 se debe a que las protecciones del generador están reguladas a este valor,

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

lo cual está en correspondencia con el equilibrio entre las potencia que puede entregar el mismo.

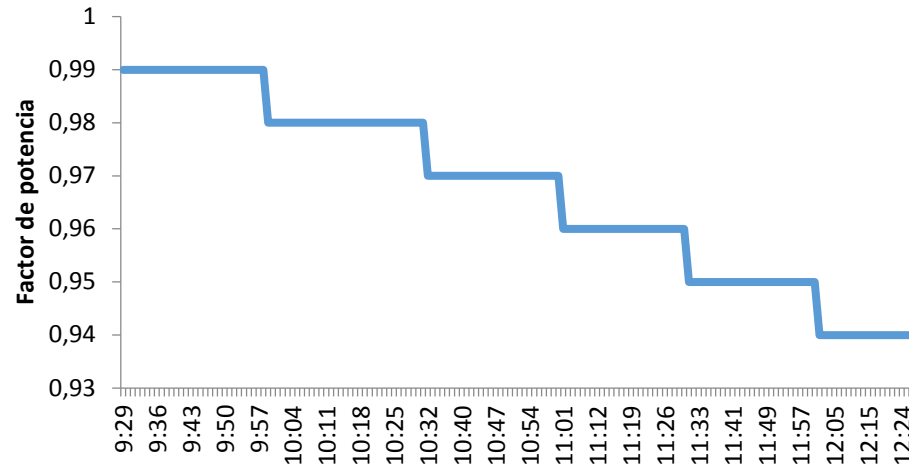


Figura 3.4 Escalones aplicados al factor de potencia.

El equilibrio que se produce entre las potencias aparente, reactiva y activa cuando una máquina opera bajo diferentes condiciones de factor de potencia se le puede apreciar en la figura 3.5. A medida que va disminuyendo el factor de potencia se hace más apreciable estas diferencias, resaltando la relación inversamente proporcional entre el factor de potencia y la potencia reactiva.

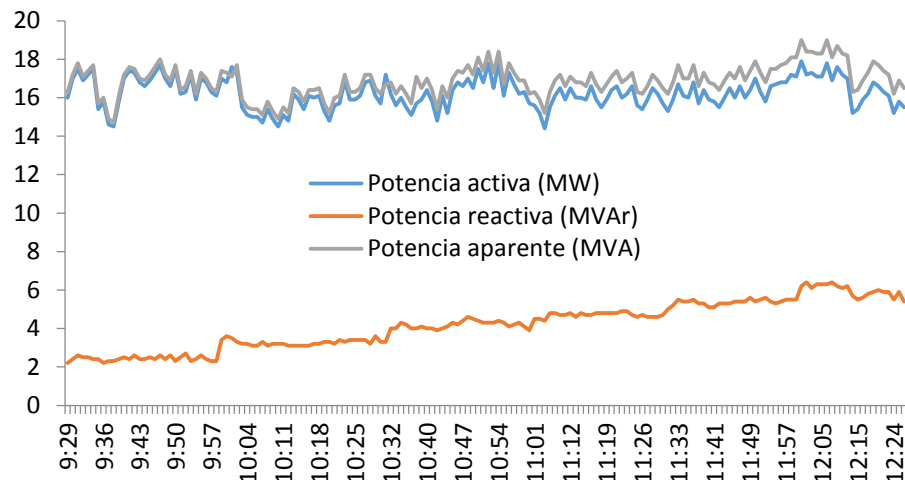


Figura 3.5 Comportamiento de las Potencias Activa, Reactiva y Aparente durante la prueba.

La tensión está estrechamente vinculada con el factor de potencia. Cabe señalar que una disminución del factor de potencia implica en cierta manera un aumento de la tensión independientemente de los demás parámetros a los que se ve relacionada la tensión. En la figura 3.6 se puede observar de forma gráfica la afirmación anterior.

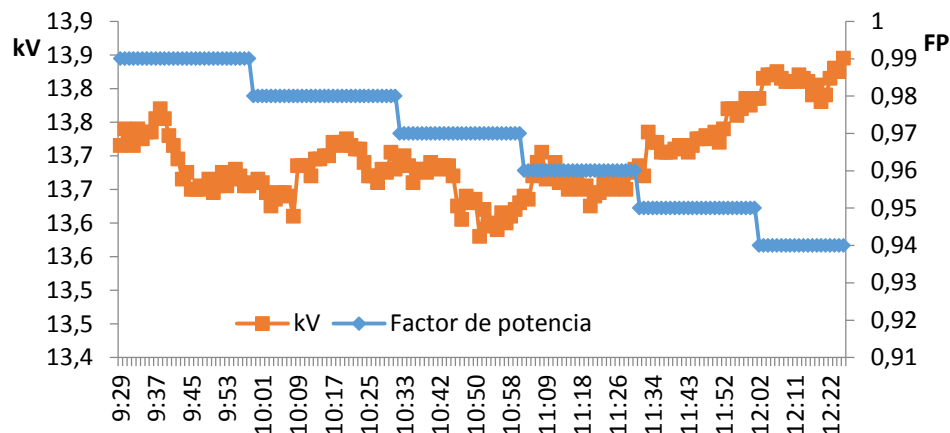


Figura 3.6 Comportamiento de la Tensión respecto al Factor de potencia.

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores sobre el comportamiento de los parámetros durante las pruebas, se puede llegar a la conclusión de que un aumento de la potencia reactiva implica también un aumento de la tensión. Lo que demuestra estas pruebas de que la limitación principal de la entrega de reactivo del desplazamiento al SEN está dada por la directa proporcionalidad de la tensión. La figura 3.7 hace referencia a la proporción entre estos parámetros.

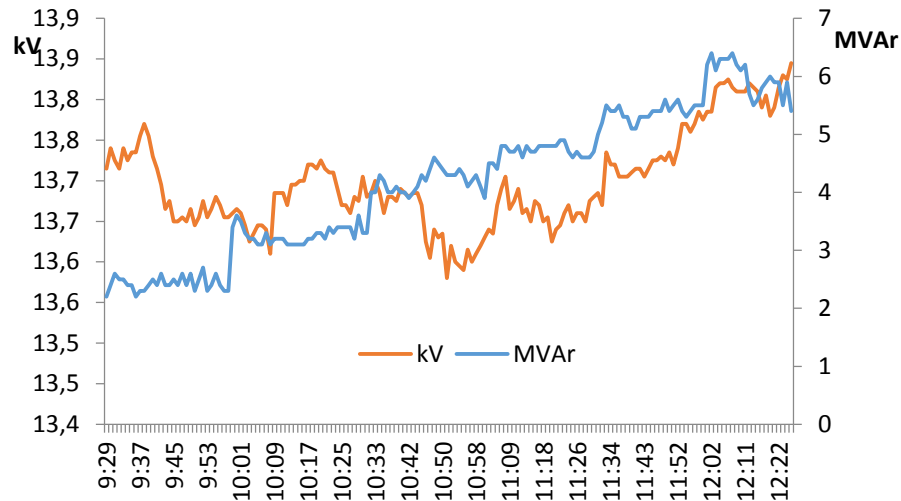


Figura 3.7 Comportamiento de la Tensión respecto a la Potencia Reactiva.

La siguiente tabla muestra el tiempo en que se mantuvo la máquina en cada punto, así como el consumo de combustible y los valores promedios de tensión, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente. Resaltando un ligero aumento del consumo de combustible Fuel Oil.

Tabla 3.1 Parámetros Básicos de las Pruebas.

F.P	Duración (minutos)	Tensión	P.Activa (MW)	P.Reactiva (MVar)	P.Aparente (MVA)	Consumo Fuel (m ³)
0.99	31	13,6093	16,6033	2,4266	16,8466	1,35
0.98	32	13,6287	15,8575	3,2666	16,1593	1,49
0.97	28	13,605	16,2964	4,1857	16,9464	1,6
0.96	30	13,6176	15,9461	4,7038	16,6923	1,58
0.95	30	13,6881	16,3629	5,4	17,2962	1,64
0.94	29	13,773	16,51	5,97	17,62	1,61

A partir del promedio de la potencia reactiva, en los diferentes puntos del Factor de potencia alcanzado durante el transcurso de la prueba se realiza la correlación entre las variables y se obtiene el siguiente modelo matemático, que se muestra en la siguiente gráfica 3.8, con una correlación de 0.991.

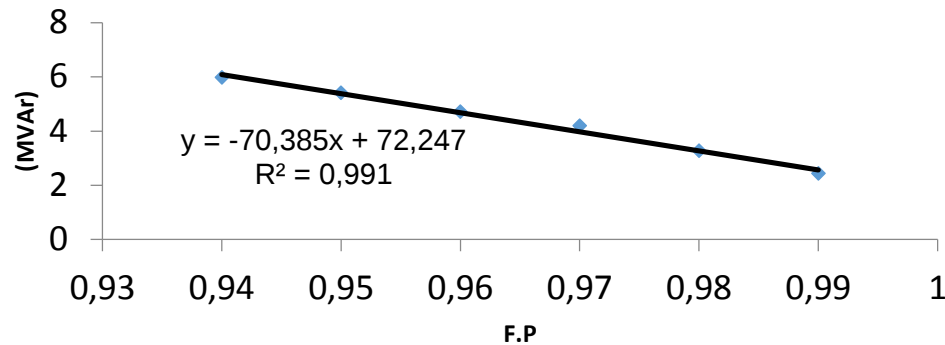


Figura 3.8 Correlación entre Factor de potencia y Potencia Reactiva.

3.2 Propuesta de regulación automática de la tensión en los transformadores de salida del emplazamiento Fuel Oíl de Moa

Las variaciones de tensión en la salida del emplazamiento están en correspondencia con la necesidad de potencia reactiva que tenga el sistema, pero también está relacionada con la inyección de energía en la red, pues la necesidades del SEN pueden proceder de diferentes cargas situadas indistintamente.

El regulador automático de tensión ET-SZ6 puede trabajar de dos formas, de manera remota y de forma autónoma. De manera remota, implica que antes variaciones de tensión el operador que está en la sala de mando cambia de Tap en el transformador, a partir de operar la teclas correspondientes. De forma autónoma, se requiere de formar un lazo de control, en el cual se mida la tensión en el punto donde se unen todas las salidas de los transformadores de fuerza y luego controlar este valor con las operaciones automáticas del regulador.

3.2.1 Control autónomo

El ET-SZ6 se conecta a un transformador de potencial de la subestación que está a 500 m del emplazamiento, el mismo está conectado a la tensión de salida de la subestación y tiene una relación de transformación de 1000. Esa información, en ese nivel de tensión, se hace llegar a la entrada " SIGNAL AC: 110 V" del regulador automático. Una vez acoplada la señal de referencia se programan cada uno de los

Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oíl de Moa

Autor: Iván Santiago Matos

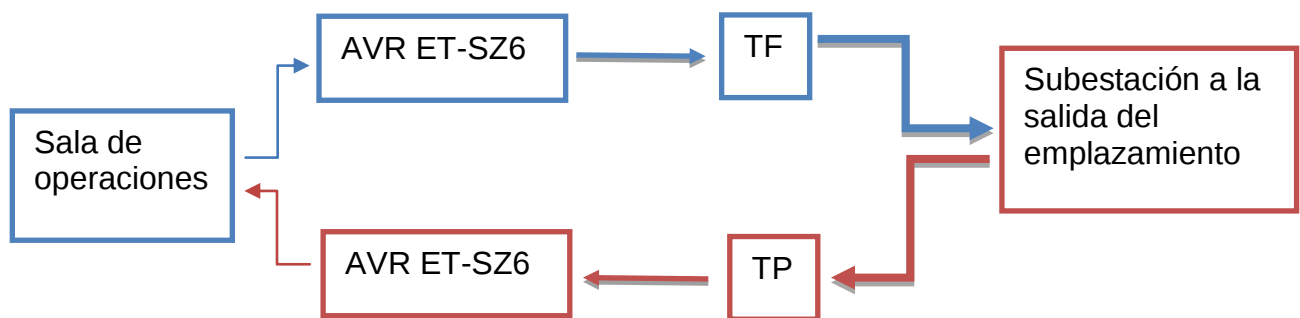
parámetros del regulador, los cuales para la aplicación específica presentada es configurada de la siguiente forma:

- ❖ El modo de control que son los modos de trabajo del regulador, se programa en automático.
- ❖ La sensibilidad es la que codifica los límites de tensión para el cual comenzará a operar el ET-SZ6, se programa en 1.5 %.
- ❖ La gama determinada de voltaje se auto-programa en dependencia de la configuración de la sensibilidad y partir de la siguiente ecuación:
Límite superior = tensión de referencia $\times$ sensibilidad + tensión de referencia
Límite inferior = tensión de referencia $\times$ sensibilidad - tensión de referencia
Para este caso en particular será:
Límite superior = $110 \times 0.015 + 110 = 111.65 \text{ V}$
Límite inferior = $110 \times 0.015 - 110 = 108.35 \text{ V}$
- ❖ Tiempo de retraso, es el tiempo que debe esperar después de ejecutada la primera operación de regulación de voltaje, para ejecutar la segunda operación de regulación de voltaje dirigida al electromotor. Este valor siempre debe ser por encima de 60 segundos, en este caso es 120 segundos, esto significa que luego que el ET-SZ6 cambie un Tap espera dos minutos para que se estabilice la tensión y si pasado este tiempo se mantiene fuera de los límites establecidos cambia otro Tap.
- ❖ Tiempo de acción, se usa para determinar el tiempo antes de usar el regulador, para este caso es 10 segundos, es decir que si el AVR registra por más de 10 segundos una tensión fuera de los límites actúa, si está dentro de este periodo de tiempo lo toma como un pico.
- ❖ Cantidad de paralelos, son las cantidades de AVR con que se conectará en paralelo, se programa en cero ya que por la estructura del emplazamiento no se trabaja en paralelo.

- ❖ Modo de corrida, se utiliza cuando el regulador está operando en paralelo con otros AVR para definir el amo y es esclavos, en este caso es control simple ya que no se trabajará en paralelo con ningún otro regulador.
- ❖ Parámetros de comunicación, es para dar las direcciones de los otros reguladores conectados en paralelos, para este caso se mantiene como esta por defecto.

3.2.2 Control remoto

El control remoto es bajo la supervisión de un operador, que es el encargado de cuando aparece una variación de tensión apreciable según la referencia, se visualiza en la pantalla con una indicación parpadeante o sonora, lo cual implica que el operador tiene que hacer la regulación en dependencia de la variación. Para ejecutar esta acción se aprieta el botón subir, o bajar en dependencia de la exigencia, y luego parar.



Procedimiento

- Ocurre un aumento de tensión que es reflejada en un transformador de potencia existente en la subestación y a su vez emitida al ET-SZ6.
- El ET-SZ6 detecta la variación y emite una señal que se visualiza en la pantalla, referida a subir tensión.
- El operador oprime la tecla subir () mandando una orden de subir un tap.

- El regulador a través del método pregunta-respuesta rectifica y emite la orden de subir el tap.
- Esta señal de mando llega al motor guía que se encuentra en el transformador y realiza la maniobra interna subiendo el tap una posición.
- Realizado el cambio se visualiza en la pantalla del regulador la nueva posición y espera y espera un tiempo de retraso predeterminado anteriormente para enviar nuevamente la señal de subir tap.
- Durante esos segundos el operador es responsable de mantener el regulador en función a mandar parar la operación.
- Para concluir la acción debe oprimir la tecla de parada () , esta acción es reflejada en LCD del regulador.

3.3 Conclusiones

- Se evaluó el comportamiento de las variaciones de tensión a partir de la entrega de potencia reactiva.
- Se realizó un modelo matemático en base a los resultados promedios de la potencia reactiva durante la prueba.
- Se hizo la propuesta de regulación de tensión automática de los transformadores de salida del emplazamiento a través del AVR ET-SZ6.

Conclusiones Generales

- A través de las investigaciones realizadas se hizo una caracterización general de los principales equipos que contribuyen a una adecuada regulación en el emplazamiento
- Mediante los experimentos realizados al generador de una de las máquinas del grupo electrógeno Fuel Oil de Moa, se pudo determinar el comportamiento de la tensión en el transformador durante la operación.
- Se hizo la propuesta de regulador automático de voltaje ET-SZ6, que permite una mejor entrega de potencia reactiva al sistema, sin las limitaciones por variación de tensión existentes en el régimen de trabajo actual.

Recomendaciones

- Continuar el estudio de las variaciones de tensión considerando que existe un solo regulador, el cual no es suficiente para todas las operaciones en las diferentes condiciones de explotación que puede tener el emplazamiento.
- A partir de los datos obtenidos durante las pruebas del comportamiento del sistema, se sugiere conformar un simulador que permita evaluar el comportamiento de las variables de forma virtual, lo que debe favorecer estudios posteriores del emplazamiento.
- Realizar estudios más profundos a diferentes porcentos de cargas de los motores para tener una mayor visión de como es el comportamiento y el efecto de las operaciones de estos motores en las diferentes variables que dan la calidad en la instalación.

Bibliografía

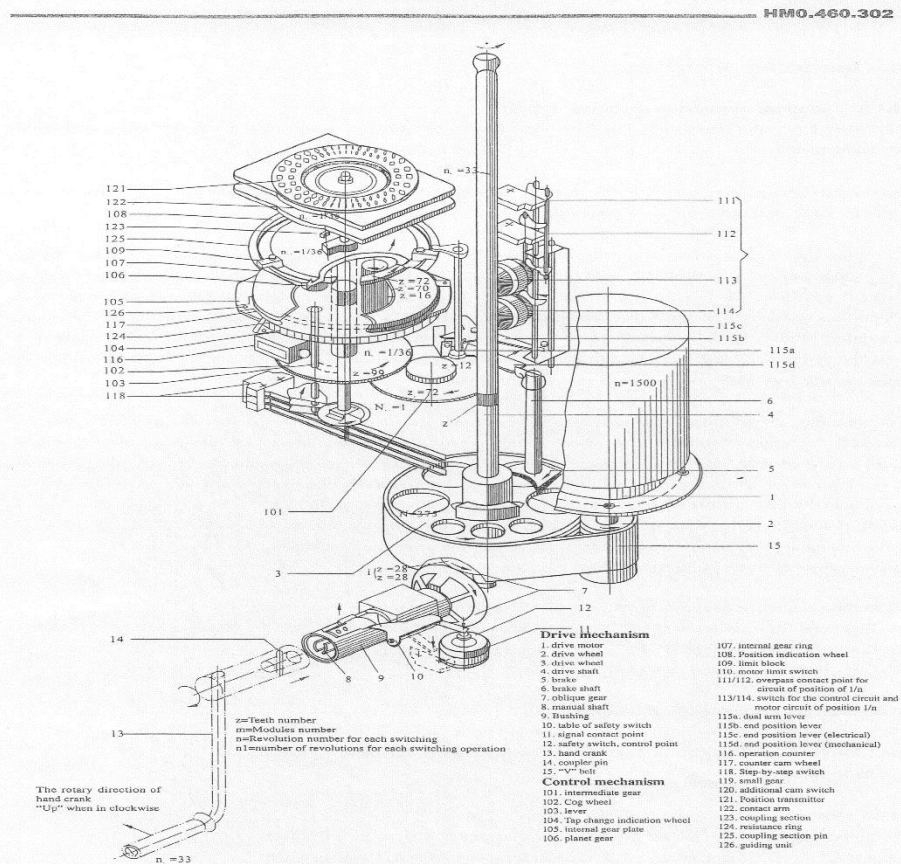
- [1] Cutiño Guilarte Angel " Sistema informático para mejorar la toma de decisiones en la explotación de los Grupos Electrógenos Diésel de Moa. Tesis de grado. ISMMM Dr ANJ " 2012.
- [2] Castillo Borges Yoanquis "Suministro Eléctrico mediante grupos electrógenos al circuito de Cabonico para situaciones excepcionales. Tesis de grado. ISMMM Dr. ANJ "2013.
- [3] Maresma Laurencio Dilsania y Reyes Almaguer Sergio Alien " Características operacionales y comportamiento de las principales variables de los grupos electrógenos para la Generación Distribuida en Moa. Tesis de grado. ISMMM Dr ANJ " 2007.
- [4] Gutiérrez Moraga Yasmani " Metodología para solución de las fallas más comunes en los generadores HYUNDAI de la CTE Felton. Tesis de grado. ISMMM Dr ANJ "2013.
- [5] Velázquez Planché Dionnys " Establecimiento del rango del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrógenos de Moa. Tesis de grado. ISMMM Dr ANJ " 2008.
- [6] Díaz Céspedes Manuel José " Implementación de un Sistema Automático de Control para la operación de Calderas en el Grupo Electrónico HYUNDAI de Felton. Tesis de grado. ISMMM Dr ANJ " 2014.
- [7] Chapman Stephen J. " Libro de texto Electric Machinery Fundamentals "
- [8] Base de datos " WIKIPEDIA "
- [9] Manual de instrucciones "Vacuum On-Load Tap Changer Type SHZV Operation Instructions"
- [10] Manual de instrucciones "ET-SZ6 Voltage regulating control relay Operation Instructions"

- [11] Manual de instrucciones "Motor Drive Unit Type CMA7 Operation Instructions"
- [12] Libro de incidencia de los operadores del Fuel Oil Moa.

Anexos

Anexo 1

Anexo 2



Anexo 3



Estudio de las variaciones de tensión durante la operación de los grupos electrógenos fuel oil de Moa
Autor: Iván Santiago Matos