XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CRITERIOS TÉCNICOS PARA AJUSTAR REGISTRADORES AUTOMÁTICOS DE PERTURBACIONES EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO APLICADO A LA SUBESTACIÓN MOLINO.

Edgar Andrade, Ing.
Luís Tapia, Ing.

Escuela Politécnica Nacional

Resumen

El Sistema Nacional Interconectado (SNI), está sujeto a perturbaciones y fallas que provocan generalmente la salida inesperada de equipos, alterando el punto de operación del sistema. Para tratar de obtener mayor información del tipo de falla, su localización, magnitud y tiempo de duración, el ente regulador (CONELEC) ha dispuesto instalar Registradores Automáticos de Perturbaciones en las Subestaciones de mayor influencia.
En el presente proyecto se determina el ajuste de los registradores automáticos de perturbaciones instalados en la Subestación Molino, considerando los ajustes óptimos de las variables eléctricas, de acuerdo a criterios técnicos y los principios de funcionamiento de los dispositivos.

Palabras claves: Registrador Automático de Perturbaciones (RAP), Fallas, Ajuste, Protecciones, Sistema Eléctrico de Potencia.

Abstract
National Interconnected System (SNI) is subject to disturbances and fault that generally cause the unexpected exit of equipment, alternating the point of operation of the system. To try to obtain more information of the fault type, their localization, magnitude and time and lasting, the regulator organization (CONELEC) willing to install Digital Fault Recorder in the Substations of more influence.
The present project determines the adjustment Digital Fault Recorder in the Molino Substation, considering the optimum settings of the electric variable, according to technical criteria and principles of operation of devices.

Key words: Automatic Recorders, Fault, Adjust, Protection, Electric Power Systems.

1. INTRODUCCIÓN

Los registradores de fallas proporcionan información, sincronizada en el tiempo, con lo cual es posible reconstruir el evento, para luego determinar el origen de los mismos y plantear las soluciones que sean necesarias.

La importancia de encontrar los valores de ajuste de una manera adecuada, permite una optimización de la utilización de la memoria de los equipos y evita el exceso de información, pues una mala elección de un ajuste puede provocar un elevado número de eventos presentes innecesarios o a su vez la pérdida de información valiosa para el análisis del comportamiento del sistema en el caso de producirse eventos importantes. De ahí la necesidad de contar con ciertos criterios que permitan determinar los valores de ajuste de los registradores de fallas.

2. FUNCIONAMIENTO DE LOS REGISTRADORES DE PERTURBACIONES.

Para describir el funcionamiento de los registradores de perturbaciones se considera el equipo tipo Siemens versión 3.0.

2.1 Funciones del Registrador.

Las funciones del registrador de perturbaciones son:

- Registro de perturbaciones con alta frecuencia de muestreo y compresión de datos.
- Registro de potencia y frecuencia.
- Registro binario.
- Registro de calidad de red.

Todas las funciones mencionadas anteriormente pueden ser utilizadas paralelamente.

2.2 Propiedades del Registrador.

Sincronización del Tiempo.

La sincronización de tiempo es importante para obtener una lista de eventos siguiendo un orden cronológico, consiguiendo una reconstrucción acertada de los eventos presentados durante el transcurso de la falla.

Alta calidad de muestreo.

Posee una alta calidad de muestreo. La frecuencia de muestreo es de 15.36 kHz para una frecuencia de red de 60 Hz, es decir se muestrea a un equivalente de 256 veces la frecuencia de la red.

La resolución es de 16 Bit de tal manera que se posibilita una calidad alta en el registro.

2.3 Registro de Perturbaciones.

El Registrador de perturbaciones sirve para estandarizar eventos debido a una falla de red.

Al momento de existir un cambio abrupto de los valores de medida debido a una perturbación, el registrador debe empezar a registrar mientras dure dicha alteración. Es posible registrar contactos a tierra, contactos entre fases; estos eventos pueden ser detectados en un periodo de prefalla. Al momento que el sistema se restablece, el registro debe terminarse.

APLICACIONES

- Estandarización y análisis de eventos.
- Localización de la falla.

2.4 Registro de Potencia y Frecuencia.

El registrador de potencia y frecuencia se encuentra activo si existe una falla en la generación o en los consumidores de energía. Es decir si existe un desequilibrio entre carga y generación.

Este tipo de registrador es útil para registrar las condiciones de carga antes, durante y después de la perturbación. Este tipo de registro se lo realiza durante un tiempo prolongado.

2.5 Registro Binario.

El registrador binario detecta los cambios de un estado binario. Se puede registrar señales de protecciones, alarmas, posiciones de seccionadores**,** entre otros.

Se debe tener presente que la mayoría de señales binarias provienen de señales electromecánicas, las mismas que pueden provocar rebotes en los contactos. El registrador binario no debe registrar estos impulsos porque produciría una sobrecarga en la memoria. Para evitar aquello el registrador internamente posee un filtro garantizando el registro por señales binarias.

2.6 Posibles Activaciones.

A continuación se presenta las magnitudes analógicas y las posibles activaciones:

MAGNITUD	MÍNIMOS	MAXIMOS	ΔM/ΔT	GRADIENTE
Voltaje Alterno	X	X	X	
Intensidad Alterna	X	X	X	
Potencia Activa	X	X		X
Potencia Reactiva	X	X		X
Frecuencia	X	X		X
Secuencia Positiva	X	X		
Secuencia Negativa	X	X		

Cuadro 2.1 Magnitudes y activadores

3. CRIETRIOS TÉCNICOS PARA AJUSTAR REGISTRADORES DE PERTURBACIONES (RAP).

Para ajustar registradores de fallas se requiere determinar básicamente valores de voltaje, corriente y potencias que pueden presentarse en caso de fallas o en condiciones consideradas anormales para la operación del sistema de potencia. Las principales variables a ajustarse son:

- Corrientes máxima y mínima.
- Voltajes máximos y mínimos
- Voltajes y corrientes de neutro
- Componentes de secuencia positiva y negativa
- Potencia activa máxima y mínima
- Potencia reactiva máxima y mínima

- Frecuencia máxima y mínima.

Los ajustes deben garantizar la operación de los RAP cuando en el sistema se presenten fallas o eventos relevantes por lo que los criterios de ajustes deben responder justamente al comportamiento del sistema ante fallas. Cuando en el sistema se produce una falla se presentan cambios significativos en el voltaje y la corriente de los circuitos afectados.

CONSIDERACIONES PARA DETECTAR FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

La falla se la simula a una longitud de aproximadamente el 90% de la longitud de la línea. Esto permite garantizar la operación del registrador de fallas para fallas presentes en toda la extensión de la línea de transmisión.

Para la detección de fallas monofásicas o bifásicas a tierra es posible realizar el ajuste considerando la corriente del neutro (3*Io). Este criterio es aplicable sólo ante este tipo de fallas, pues en condiciones equilibradas (operación normal o falla trifásica) la corriente del neutro es cero.

En el caso de fallas trifásicas, cuando la corriente de carga es superior a la corriente mínima de falla, se puede utilizar la magnitud de voltaje de fase o de secuencia para detectar fallas trifásicas.

Para determinar la corriente de carga máxima, se realiza un análisis del sistema en estado estable y ante contingencias (n-1). En el caso de líneas de doble circuito la corriente de carga debe determinarse suponiendo que el otro circuito está fuera de operación, considerando un margen de seguridad del 5, 10 ó 20% para evitar registros innecesarios debidos a los cambios topológicos en la red.

Para el ajuste de la corriente máxima en una línea de transmisión, se debe comparar la corriente mínima de falla y la corriente máxima de carga. Si la corriente mínima de falla es mayor a la corriente máxima de carga, entonces el ajuste corresponderá a la mayor de las dos. En cambio, si la corriente de carga máxima es mayor a la corriente mínima de falla, el ajuste corresponderá a la corriente de máxima carga.

CONSIDERACIONES PARA DETECTAR FALLAS EN GENERADORES Y TRANSFORMADORES.

Para detectar fallas producidas en generadores y transformadores se procede de forma similar al caso de líneas de transmisión. Para fallas monofásicas y bifásicas a tierra se ajusta considerando la corriente del neutro. También es posible ajustar considerando las corrientes de fase o de secuencia positiva sólo si las corrientes mínimas de falla son mayores que las de carga máxima.

Para el ajuste de la potencia activa máxima de un generador se considera la potencia máxima que puede entregar el generador en condiciones normales, previo el análisis de la curva de capabilidad del generador.

Para el ajuste de la potencia activa mínima de un generador se considera a éste fuera de servicio, es decir, el ajuste de potencia activa mínima es cero.

La potencia máxima activa y reactiva de transformadores debe ser determinada por la direccionalidad de los flujos de potencia en condiciones de estado estable. En el caso de transformadores en paralelo se debe considerar la carga del transformador con el otro fuera de servicio, También debe considerarse la capacidad nominal de transformador.

CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL AJUSTE DE FRECUENCIA ANTE SALIDA DE GENERACIÓN O CARGA.

La frecuencia en un sistema de potencia debe permanecer constante, pero la entrada o salida de generación o carga producen variaciones en la frecuencia de la red. Tener información de la respuesta de la frecuencia en el sistema resulta de extrema importancia en el análisis de eventos en los sistemas de potencia, por lo que los ajustes de frecuencia deben permitir obtener esta información.

Para determinar los ajustes de frecuencia mínima se debe realizar simulaciones dinámicas en las que se consideren la salida de unidades de generación importantes del sistema mientras que para determinar la frecuencia máxima se debe considerar la salida de bloques importantes de carga.

3.1 Criterios Particulares de Ajuste Para la Subestación Molino.

La subestación Molino es una de las más importantes del S.N.I. puesto que concentra la generación de la Central Hidroeléctrica Paute, la central más grande del sistema ecuatoriano y evacua esta generación hacia las distintas regiones del

sistema ecuatoriano a través de un conjunto de líneas de transmisión de 230 kV. que salen de la subestación Molino.

La generación de la Central Paute y el flujo de potencia en las líneas de transmisión asociadas a la subestación Molino se ven influenciados enormemente por las condiciones climáticas de la región, marcados principalmente por un período lluvioso y un periodo seco. La determinación de los ajustes de los RAP debe tomar en cuenta esta particularidad. Para encontrar las corrientes mínimas de falla se considera un periodo seco a demanda mínima (03H00). Las corrientes de carga máxima y las potencias se determinan para un periodo lluvioso a demanda máxima (19H00).

Para las simulaciones se considera:

- No se analiza la línea Milagro – Pascuales a 230 kV, debido a la salida del Autotransformador ATU de la Subestación Milagro.

CONSIDERACIONES PARA FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Para capturar un evento correspondiente a la salida de un circuito se puede activar por el gradiente de potencia activa o por el gradiente de corriente en un periodo de tiempo mínimo. Al salir un circuito fuera de servicio el flujo se incrementa por el circuito disponible. Para el ajuste se considera un periodo seco a demanda mínima, bajo estas condiciones la desconexión de un circuito produce el menor incremento de potencia que un periodo lluvioso a demanda máxima.

Para ajustar el valor máximo de potencia activa y reactiva se considera un periodo lluvioso a demanda máxima ante la salida de un circuito dependiendo de la topología de la red. El ajuste es el valor mayor de potencia registrado bajo estas condiciones.

Para ajustar el valor mínimo de potencia activa, se considera el sentido del flujo de potencia. Si el flujo de potencia en periodo lluvioso o estiaje en condiciones normales o ante salida de una línea no cambia de dirección, el ajuste de la potencia mínima es cero; pero si el flujo de potencia cambia de dirección se ajusta considerando la salida de un circuito dependiendo de la topología de la red.

Para ajustar el valor mínimo de potencia reactiva se considera condiciones de demanda máxima con el extremo más lejano de la línea de transmisión abierta referido desde el registrador. Bajo estas condiciones la línea aporta reactivos a la barra conectada.

El ajuste es el menor valor entre la potencia que la línea aporta a la barra bajo la desconexión de un extremo de la línea y el menor valor de potencia reactiva en periodo seco a demanda mínima. El registro se activa si la potencia reactiva disminuye del valor ajustado.

CONSIDERACIONES PARA FALLAS EN EL AUTOTRANSFORMADOR (AT1 O AT2).

Para ajustar el valor máximo de corriente para un generador o transformador se considera un periodo lluvioso a demanda máxima con los generadores aportando al S.N.I. a plena carga.

Para el ajuste de potencia reactiva máxima en un generador o transformador se considera un periodo lluvioso a demanda máxima, con los generadores despachados a plena carga, aportando la mayor cantidad de reactivos hacia el S.N.I.

Para el ajuste de corriente y potencias máximas de dos transformadores en paralelo, se considera un periodo lluvioso a demanda máxima con un transformador fuera de servicio.

Para el ajuste de la potencia reactiva mínima en un generador o transformador se considera un periodo seco a demanda mínima, ante la desconexión de un extremo de la línea de transmisión con aporte de reactivos hacia el generador.

Para el ajuste de las corrientes del neutro; voltajes máximos y mínimos de fase, voltaje de secuencia positiva y voltaje del neutro se procede de forma similar a los ajustes en líneas de transmisión.

Para el ajuste de corriente, potencia activa y reactiva máxima se considera uno de los autotransformadores fuera de servicio (AT1 o AT2), el ajuste es el valor máximo de corriente y potencia del autotransformador disponible. Para el ajuste de corrientes, potencias activas y potencias reactivas mínimas se debe verificar si el flujo de potencia ante salida de un circuito es hacia el S.N.I. o es en sentido contrario. Si el flujo en periodo seco o lluvioso en condiciones normales o ante salida de un circuito no cambia de dirección, el ajuste de potencia mínima es cero.

Pero si el flujo cambia de dirección se ajusta considerando la salida de un circuito dependiendo

de la topología de la red y la salida de un autotransformador (AT1 o AT2).

CONSIDERACIONES PARA SALIDA DE GENERACIÓN Y CARGA.

Para la salida de generación térmica se considera un periodo en estiaje a demanda mínima (03H00), mientras que para la salida de generación hidroeléctrica se considera un periodo lluvioso a demanda máxima (19H00).

Para la salida de generación térmica importante: Trinitaria, Gas Pascuales, Termo Esmeraldas funcionando a plena carga se considera una unidad fuera de servicio en periodo de estiaje a demanda mínima (03H00).

Para la salida de generación hidroeléctrica importante: Paute, Agoyan, San Francisco funcionando a plena carga, se considera una unidad fuera de servicio en periodo lluvioso a demanda máxima (19H00).

Para la salida de la interconexión con Colombia, se considera un periodo seco a demanda mínima (03H00), con el aporte de 250 MW desde Colombia hacia Ecuador.

En la figura 3.1 muestra el análisis dinámico de la frecuencia ante la salida de la Interconexión Ecuador-Colombia con 250 MW en condiciones de importación hacia Ecuador.

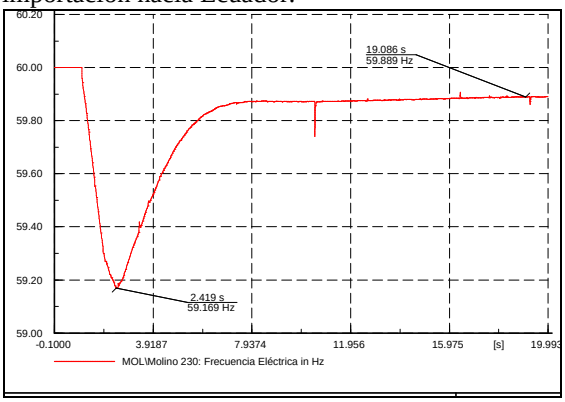

Figura 3.1 Salida de la línea Jamondino-Pomasqui (Importación).

Para analizar la salida de carga importante se considera la salida de la interconexión Ecuador-Colombia (100 MW) en condiciones de exportación de Ecuador a Colombia. En la figura 3.2 muestra el análisis dinámico del análisis.

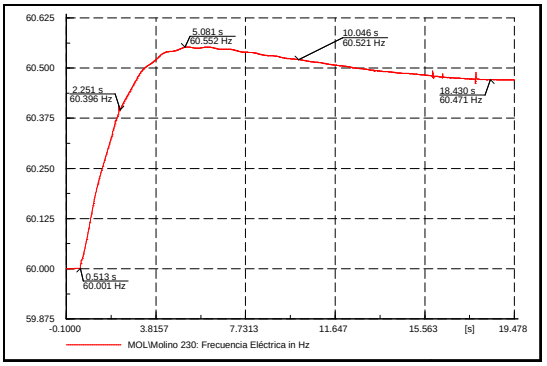

Figura 3.2 Salida de la línea Jamondino-Pomasqui (Exportación).

4. CONCLUSIONES.

El registrador de perturbaciones se utiliza para capturar eventos transitorios, almacenándolos y reproduciéndolos; con la finalidad de monitorear el comportamiento transitorio y dinámico de redes, identificar el origen de la falla, verificar el desempeño de los equipos de protección. Para este tipo de eventos estos equipos poseen una alta frecuencia de muestreo, alta resistencia a interferencias, sincronización de tiempo y compresión de datos.
Para el registro de larga duración se utiliza una tasa de muestreo menor, permitiendo detectar eventos debido a oscilaciones de potencia, fallos de sistemas en cascada, entre otros.

El ajuste óptimo de registradores de perturbaciones evita registros innecesarios en condiciones normales del S.N.I. pero este ajuste debe considerar los eventos importantes evitando la carencia de información de los mismos (fallas en líneas de transmisión, salida de un circuito, perdida de generación y salida de carga importante).

En la línea Molino-Pascuales, Molino-Milagro y Molino-Totoras la corriente de carga es mayor a la corriente de falla. Para el ajuste de estas líneas se considera la corriente y voltaje de neutro para fallas monofásicas, y el voltaje de secuencia positiva para fallas trifásicas y bifásicas.

5. BIBLIOGRAFÍA.

[1] IEEE "Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems", IEEE Standard C37.111-1999, a revision of IEEE Standard C-37.111-1991.

[2] IEEE "Power System Relaying Committee Special Publication 87 TH 0195-8-PWR, 1987". "Application of Fault and Disturbance Recording Devices for Protective System Analysis".

[3] IEEE-CIGRE (IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability", *IEEE Trans. Power Systems* and *CIGRE Technical Brochure 231, 2003*).

[4] CENACE. Revisión de las bandas de variación de voltaje en barras y factores de potencia en puntos de entrega del sistema nacional interconectado, Abril 2006.

[5] REGULACIÓN No. CONELEC – 006/00. "Procedimientos de Despacho y Operación". (version 2.0).

[6] REGULACIÓN No. CONELEC - 002/06 "Calidad del transporte de potencia y del servicio de conexión en el S.N.I."

[7] SIEMENS. Manual Simeas R, V3.0. Manual Oscop P V6.40.

[8] TRANSELECTRIC "Simulaciones de flujo de potencia y fallas utilizando el sofware DIgSILENT Power Factory". Base del S.N.I. 2007.

BIOGRAFÍA

Nació en Gonzol (Chimborazo).
Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Técnico San Gabriel (La Troncal-Cañar).
Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en el año 2008.
Actualmente se encuentra cursando la maestría en "Ciencias de la Ingeniería Eléctrica" en la Escuela Politécnica Nacional.

e-mail: edgarvini@yahoo.com

Tapia Calvopiña Luis Elías

Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional 1976, Máster en Tecnologías de Información para la Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid 2001, Director del Instituto de Tecnólogos, Coordinador de Electromecánica, Jefe del Departamento de Energía Eléctrica, Profesor Principal de la EPN.