

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA QUE PERMITA SIMULAR LA OPERACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN TÍPICA CONFIGURADA EN DOBLE BARRA.

Rodrigo Brantes Meza, Ing

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Resumen

A través de esta maqueta y del programa computacional se logran simular las maniobras de corte y seccionamiento que se realizan en una subestación de 230 KV configurada en doble barra. La maqueta puede ser utilizada sola

Introducción

Las subestaciones eléctricas representan uno de los componentes más importantes en un sistema de transmisión eléctrica. Su correcta operación determina el éxito en el funcionamiento del sistema, y salvaguarda la integridad física de los operadores que se desempeñan en sus emplazamientos.

La maqueta y el programa digital han sido creados considerando los lineamientos que se siguen en el Centro de Operaciones de Transmisión para realizar las maniobras de corte y seccionamiento en el Sistema Nacional Interconectado, y especialmente en la Subestación Santa Rosa.

Tanto la maqueta como el programa digital constituyen una herramienta útil en la introducción y aprendizaje de la operación de subestaciones, permitiendo reconocer las maniobras de corte y seccionamiento que deben realizarse en determinadas situaciones.

Clasificación.

Las subestaciones suelen clasificarse de acuerdo a su nivel de voltaje en subestaciones de bajo voltaje, alto voltaje y distribución; de acuerdo a su función, en subestaciones de corte y seccionamiento, generación, transmisión, transformación, compensación y rectificadoras; de acuerdo a su exposición física, en subestaciones blindadas, exteriores, interiores y mixtas.

Tipos de esquemas de barra

La forma como se distribuyen los elementos o equipos que conforman una subestación, así como el orden que se sigue para lograrlo, en función de de las actividades que se llevaran a cabo en la subestación.

Los diseños de la maqueta y del programa computacional están basados en el patio de 230 KV de la subestación Santa Rosa.

La lógica de la maqueta se obtiene a partir de microcontroladores programables PIC 16F877a, en tanto que el programa se realizo mediante lenguaje Visual Basic.

Comúnmente una subestación se compone por un número definido de circuitos semejantes, llamados bahías o posiciones, las que pueden incluir una parte del sistema de barras, del conjunto de interruptores, o de transformadores. El tamaño de la subestación, o el nivel de voltaje de trabajo, es otro factor que determina el grado de complejidad en el arreglo de una subestación de alto voltaje.

Sin embargo, en todos los casos, la manera más fácil de conectar cierto número de circuitos a niveles de voltaje iguales, es unir éstos a una barra.

Existen distintos tipos de configuraciones, guiados a mejorar la flexibilidad en las operaciones de los sistemas, facilitar el mantenimiento de los elementos que lo constituyen y mejorar la seguridad, tanto de la subestación como de aquellos que en ella se desempeñan. Algunas de estas configuraciones presentan ventajas sobre otras, pero pueden incurrir en gastos mayores.

Tipos de Barras

Dependiendo de la configuración de los elementos de corte y seccionamiento presentes en una subestación y de sus barras, las subestaciones pueden ser de distintos tipos, como:

Barra simple, interruptor simple

Es el esquema más simple y más económico, que se usa en pequeñas subestaciones de distribución en mediano o bajo voltaje, no suele utilizarse para subestaciones grandes, ya que la dependencia de una sola barra en ocasiones puede producir discontinuidad en el servicio eléctrico, como en el caso de falla de la barra o de un disyuntor.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Barra seccionada

Es similar al esquema de barra simple, pero en este caso la barra principal esta dividida en 2 o 3 sectores, interconectados entre si vía un interruptor de acople.

Permite mayor flexibilización en la operación de barras, y un mejor equilibrio de cargas entre las derivaciones.

Doble barra, doble disyuntor

Este esquema hace uso de dos disyuntores por cada alimentador, que en condiciones normales se encuentran conectados a ambas barras, pero otras veces pueden dividirse en igual número de circuitos en cada barra, posibilitando que durante una falla en una de las barras o del disyuntor automático, solo la mitad de la subestación salga de servicio.

Doble barra principal, interruptor simple

Como en el esquema de doble barra con dos disyuntores, este esquema utiliza dos barras principales, pero cada alimentador cuenta con un par de seccionadores para seleccionar una u otra barra. Un disyuntor junto a un par de seccionadores asociados (acoplamiento) pueden conectar ambas barras entre si, permitiendo la transferencia de un circuito desde una barra a otra, sin necesidad de interrumpir el servicio.

Barra principal y barra de transferencia

El sistema trabaja normalmente sobre la barra principal que, en caso de fallar, deja a la subestación fuera de servicio; no existe pues seguridad en barras, como en el caso de doble barra principal; en cambio existe cierta reserva en los interruptores ya que el interruptor de acople puede sustituir a cualquier a de los otros interruptores. El esquema presenta una posición más respecto a los campos de vinculación externa: se trata de la llamada "bahía de transferencia", que contiene un interruptor llamado "interruptor de acople", que permite unir o separar los dos juegos de barras.

Doble barra principal, interruptor y medio

Este sistema combina la seguridad y facilidades de puenteo de un sistema en malla con la flexibilidad de la doble barra, permitiendo obviar el uso de un disyuntor de acoplamiento entre ambas barras.

Barra tipo anillo

Existe una barra con varios acoples con interruptores, es una barra que se cierra sobre si misma. Permite mucha flexibilidad de traspaso

de cargas de una barra a otra, logrando equilibrios de cargas, así como respaldo ínter derivaciones. El esquema en anillo brinda una seguridad mayor que el sistema de barra simple, ya que cuenta con múltiples alternativas para guiar la electricidad alrededor del anillo, aunque el resultado de una falla en las barras es parecido al que se obtiene en el esquema de barra simple.

Las bahías o posiciones en una subestación involucran todo el equipo de alto voltaje encargado de las operaciones de control, medida y protección relativa a líneas, transformador, barras, etc.

Línea: Aquí se encuentran los equipos utilizados para medición, protección y control de cada línea de transmisión. En esta posición se realizan las maniobras de conexión de la línea, desconexión de la línea, y reemplazo del disyuntor.

Barras: En esta posición encontramos el equipo encargado de la protección y medición de ambas barras, así como el respectivo equipo de corte y seccionamiento. Las maniobras que se realizan en esta posición son, conexión de las barras, desconexión, transferencia de barras y reemplazo del disyuntor.

Transformador: Análogo a las otras posiciones, en esta encontramos los equipos utilizados para el control, las mediciones y las protecciones que atañen al transformados. En esta posición se realizan las maniobras de conexión, desconexión, reemplazo del disyuntor y cambio de taps.

Compensación: Las maniobras realizadas en esta posición son conexión, desconexión y ajuste de elementos de compensación.

Enclavamientos.

Son secuencias de procedimientos que brindan una operación confiable y segura del sistema, tanto para seguridad de los equipos de la subestación como del personal técnico.

Un enclavamiento básico consiste en evitar la apertura de seccionadores cuando éstos se encuentran bajo carga, a menos que exista otra vía en paralelo para la circulación de la corriente, de no cumplir esto, se produciría un arco eléctrico de magnitud considerable, provocando la destrucción del equipo y atentando contra la integridad física del personal.

A continuación se hace un detalle de las condiciones bajo las que operan los equipos de corte y seccionamiento.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Enclavamientos en 230 kV

Los criterios básicos para los enclavamientos en el patio de 230 kV son los siguientes:

- Los seccionadores de puesta a tierra de línea poseen un enclavamiento mecánico y uno eléctrico de perno accionado por un solenoide, de manera que estos seccionadores puedan cerrarse sólo cuando:

- La línea se encuentre desenergizada.
- El seccionador de by-pass asociado esté abierto.

- Los seccionadores de puesta a tierra de barra sólo pueden operar cuando la barra está desenergizada, y ningún seccionador selector de barra se encuentra cerrado en la barra.

- Los seccionadores del disyuntor aíslan al disyuntor, operan simultáneamente, y un enclavamiento asegura que puedan operarse únicamente cuando el disyuntor asociado está abierto.

- Los seccionadores de by-pass se usan cuando el disyuntor asociado se pone fuera de servicio y se reemplaza por el acoplador de barras. Sólo opera cuando los seccionadores del disyuntor y el disyuntor se encuentran cerrados.

- Los seccionadores selectores de barra, seleccionan la barra y operan si el seccionador de puesta a tierra de la barra está abierto.

- El disyuntor acoplador de barras reemplaza al disyuntor de línea o de transformador.

- La transferencia puede hacerse en frío o en caliente, y se debe transferir sólo el circuito seleccionado, los demás se pasan a la otra barra. Una vez que el disyuntor acoplador de barras ha sido cerrado, deben transferirse las protecciones.

Enclavamientos en 138 kV.

Cuando se trabaja a nivel de 138 kV, se debe garantizar que:

- Sólo un circuito pueda conectarse a la barra de transferencia al mismo tiempo.
- Ningún seccionador puede operarse con carga a menos que exista un camino paralelo de la corriente.

Los enclavamientos relacionados con los equipos de corte y seccionamiento asociados con el sector de 138 kV, para la mayoría de las subestaciones del SIN son los siguientes:

- Los seccionadores del disyuntor aíslan a este y operan simultáneamente, y un enclavamiento en estos permite su operación sólo si:

- El disyuntor asociado está abierto.
- El seccionador de puesta a tierra de la barra principal está abierto.

- Los seccionadores de transferencia únicamente se utilizan cuando el disyuntor de transferencia sustituye un circuito de línea o transformador.

- Los seccionadores de puesta a tierra de línea, poseen dos enclavamientos, uno mecánico y otro eléctrico, que evitan su cierre a menos que:

- La línea asociada esté desenergizada.
- El seccionador de transferencia asociado esté abierto.

Los seccionadores de puesta a tierra de barra son instalados en los seccionadores del disyuntor de transferencia, y su esquema de enclavamiento permite su operación sólo cuando:

- Para el seccionador de tierra de la barra principal, los seccionadores en la barra principal están todos abiertos
- Para el seccionador de tierra de la barra de transferencia, todos los seccionadores en la barra de transferencia están abiertos.
- Los seccionadores asociados al disyuntor de transferencia deben estar abiertos.

Nomenclatura de los equipos de corte y seccionamiento.

Los equipos de corte y seccionamiento que conforman el SIN poseen una nomenclatura definida, compuesta por 5 dígitos:

- Los 2 primeros definen si se trata de un disyuntor (52) o de un seccionador (89).

• El tercer dígito especifica el nivel de voltaje del lugar en el cual se encuentra instalado:

69 kV : (0)

138 kV : (1)

230 kV : (2)

Banco capacitores: (7)

• El cuarto dígito o letra, indica la posición del equipo en la subestación:

1, 2, 3,...n para línea 1, 2, 3 o línea n.

T, U, V... para la posición de transformador.

W, X para el banco de capacitores. para la bahía de acoplamiento.

En el caso de los transformadores, la letra designa la relación de transformación.

Por ejemplo, en el caso de la subestación Santa Rosa, el primer autotransformador se designa con la letra T (230 / 138 kV), luego, el otro autotransformador, adoptará la letra que continúe en el alfabeto, es decir, U.

El último dígito indica la función específica del equipo dentro de la subestación:

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

- 1: Seccionador de bahía cercano a la barra.
 - 3: Seccionador de bahía lejano a la barra.
 - 4: Seccionador de puesta a tierra de línea.
 - 5: Seccionador de by-pass.
 - 6: Seccionador de puesta a tierra de la barra 1.
 - 8: Seccionador de puesta a tierra de la barra 2.
 - 7: Seccionador selector de barra 1.
 - 9: Seccionador selector de barra 2.
- En el caso de los disyuntores, su quinto dígito es siempre "2".

La maqueta.

La maqueta ha sido creada de forma tal que permita reproducir las maniobras típicas de corte y seccionamiento que se realizan en una subestación mediante pulsadores dispuestos en la maqueta, y también a través del programa digital de enlace opcional.

En la maqueta se representa el patio de 220 Kv de una subestación con esquema de doble barra, como el existente en la subestación Santa Rosa. En esta se detallan 4 bahías de línea, 1 bahía de acoplamiento, 1 de autotransformador y 1 bahía de enlace al patio de 138 Kv.

Cada bahía además cuenta con un display de LCD en el cual se genera información respecto a la operación realizada en la posición respectiva y de los errores en las secuencias de corte y seccionamiento durante los procedimientos.

Toda la lógica de las operaciones, así como la comunicación entre el resto de bahías y con el programa digital de enlace, ha sido realizada mediante microcontroladores programables de la marca Microchip PIC (16f877a y 16f84).

Opcionalmente, la maqueta puede trabajar junto a un programa digital creado especialmente para esta aplicación, en el cual se representa en tiempo real las maniobras que se realizan en la maqueta, y permite realizarlas incluso desde el mismo programa.

La comunicación entre el programa digital y la maqueta, se la realiza a través del puerto serial, trabajando a una velocidad de 9600 baudios. A través del programa, se puede conocer el estado de cada elemento representativo de los equipos de corte y seccionamiento, pero además hace posible verificar continuamente si una bahía de línea o el autotransformador se encuentran energizados y permite recibir de manera audio visual un aviso cuando un error en alguna maniobra ha sido cometido.

El programa ha sido desarrollado en Visual Basic.

La maqueta y el programa digital están diseñados para simular las maniobras que se realizan en el sector de 230 kV y en el lado de bajo voltaje de un autotransformador de una subestación en configuración doble barra, tal y como es el caso de la subestación Santa Rosa, del SNI. En el caso de la maqueta y del programa digital, han sido consideradas las líneas de transmisión Totoras #1 y #2, Santo Domingo #1 y #2, el autotransformador ATU con sus conexiones tanto al patio de 138 kV como al de 230 kV, y uno de sus bancos de compensación, además de la posición de acoplamiento de barras de 230 kV.

A continuación se indican algunas maniobras típicas que pueden ser reproducidas mediante la maqueta o el programa:

Energización de una línea desde una de las barras.

Esta maniobra permitirá conectar la línea de transmisión con una de las barras, posibilitando que la energía pueda ser transmitida a otra subestación, o que las barras de la subestación local sean energizadas desde otra subestación.

Desconexión de la línea.

En algunas maniobras tales como alivio de carga, se desea desconectar ciertos circuitos de las barras. En este caso, la energía ya esta fluyendo por la línea, por lo que la desconexión merece especial cuidado.

Activación del by-pass de línea y desenergización del disyuntor.

El mantenimiento a un disyuntor de línea puede ser necesario aún cuando una línea de transmisión esta energizada. La activación del by-pass permitirá sacar de operaciones momentáneamente al disyuntor de línea, y será capaz de sustituir las protecciones que éste posee. Al realizar esta maniobra, el esquema de la subestación se comportará como Barra principal y Barra de transferencia.

Desconexión del by-pass.

Esta maniobra posibilitará que se restituya el esquema de doble barra en la subestación.

Energización de una de las barras desde un transformador.

Para que las líneas de transmisión puedan ser energizadas desde la subestación local, deben ser conectadas a las barras energizadas.

Una de las maneras de energizar las barras de una subestación, consiste en hacerlo desde el transformador, la otra, es hacerlo desde otra subestación mediante las líneas de transmisión.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Energización de una de las barras desde una línea.

Con esta maniobra se consigue energizar una de las barras de la subestación por medio de una de las líneas de transmisión, que es energizada por su otro extremo desde otra subestación.

Energización de una de las barras mediante acoplamiento.

Una vez que una de las barras se encuentra energizada, esta maniobra permite la energización de la otra barra, que es el estado típico de operación en las subestaciones de doble barra.

Energización del transformador desde una de las barras.

Con esta maniobra, el transformador será energizado desde el lado de 230 kV, permitiendo luego energizar el lado de 138 kV. De ser necesario, se conectará el banco de compensación.

Implementar el by-pass del transformador y abrir el disyuntor principal.

Esta maniobra permite realizar el mantenimiento del disyuntor principal del transformador, sin necesidad de discontinuar el servicio.

Energización del transformador desde el lado de bajo voltaje (138 kV).

Mediante esta maniobra el transformador será energizado por su lado de bajo voltaje, de manera que luego, a través de su lado de alto voltaje, puedan energizarse las barras de 230 kV de la subestación.

Biografía del autor

Rodrigo Antonio Brantes Meza, nacido en Chile el 10 de junio de 1975.

Realizo parte de su enseñanza escolar en Santiago, y a la edad de 15 años viajó a Ecuador donde terminó su educación en el Colegio English College Quito, en la especialidad Químico Biólogo. Posteriormente viajó a Chile donde trabajó un par de años en el rubro de la electricidad, decidiendo posteriormente retornar a Ecuador con el objetivo de estudiar Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional.

En el año 2008 se titula de Ingeniero Eléctrico y vuelve a Chile, donde trabaja actualmente como Ingeniero de Proyectos eléctricos.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA