

Programa para verificar la calibración de un relé de protección por impedancia

*Benjamín Delgado
Asdrúbal Morales
Candidatos a graduación*

Sinopsis

En este artículo se describe la preparación de un archivo de pruebas para verificar la calibración de un relé de protección por impedancia utilizando el programa Mastertest. Con este trabajo ofrecemos una alternativa adicional a las que actualmente se usan para la calibración de relés. El programa Mastertest también permite crear archivos de prueba para calibrar cualquier tipo de relé. Por lo tanto el archivo de pruebas desarrollado de esta manera es un ejemplo de lo que puede ser un programa de mantenimiento de relés en gran escala.

Abstract

This article describes the preparation of a testing file to verify the calibration of an impedance protection relay using the Mastertest program. With this work we present an alternative to the ones now used for relay calibration. The Mastertest program also creates testing files to calibrate any type of relay. Therefore, the testing file thus created is an example of what a great scale relay maintenance program could be.

Introducción

Un buen sistema eléctrico se caracteriza por suplir un servicio continuo a sus abonados. Sin embargo, el servicio eléctrico puede interrumpirse por varias razones. A tal efecto las compañías de ventas de energía invierten grandes sumas de dinero en la instalación y mantenimiento de sus equipos de protección. Entre estos equipos, los relés realizan una función primordial en la protección del sistema eléctrico. Para garantizar la confiabilidad del

Delgado y Morales/Calibración relé impedancia

sistema de protección es importante implantar un eficaz programa de mantenimiento de los relés.

Un eficaz programa de mantenimiento de relés consiste en someter periódicamente a diversas pruebas los relés que se encuentran en servicio para verificar su calibración. Esta calibración es sumamente importante debido a que la confiabilidad de la operación de los relés depende en gran medida de la precisión y exactitud con la que se calibraron.

En la actualidad la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico usa muchos equipos de prueba para calibrar los relés. Estos equipos requieren diversos ajustes manuales durante el proceso de calibración. Por esta razón se invierte gran cantidad de tiempo y recursos en mantener los relés.

Como resultado del continuo desarrollo tecnológico han surgido programas de computadoras capaces de controlar equipos de pruebas. La compañía Multi-Amp desarrolló el programa Mastertest y el equipo de pruebas para relés Digital Epoch-1. Cuando se combina Mastertest y el Digital Epoch-1 con una computadora personal, crean un sistema mecanizado para realizar pruebas a un relé. Este tipo de sistema requiere pocos ajustes manuales, lo que reduce el tiempo necesario para la calibración. En adición, el uso de sistemas mecanizados minimiza la posibilidad de errores humanos y ayuda a que la calibración sea más precisa. De esta forma se añade confiabilidad a la operación del sistema de protección.

Descripción del sistema de pruebas

1. La computadora personal

La computadora personal se usa para procesar los programas necesarios para calibrar los relés. También permite guardar la información de las pruebas realizadas en un banco de datos y preparar un historial de pruebas de cada relé. Para utilizar el programa Mastertest se requiere una computadora personal de la compañía IBM o una 100% compatible que cumpla con las siguientes especificaciones:

- A. Debe correr el sistema operativo MS-DOS versión 3.0 o más reciente.
 - B. La pantalla debe ser compatible con las configuraciones "Hercules", "CGA", "EGA" o "VGA".
 - C. Capacidad mínima de 10 MB de disco fijo.
 - D. 640 KB de memoria volátil.
 - E. Tarjeta de interfase IEEE-488 para comunicar la computadora con el equipo de pruebas EPOCH-I. La compañía IOTECH fabrica esta tarjeta.
2. El equipo de pruebas EPOCH-I

El equipo de pruebas a relés de protección EPOCH-I usa la tecnología de los microprocesadores para proveer una calibración precisa, versátil y de fácil manejo. Una unidad EPOCH-I provee una salida variable de corriente, una salida variable de voltaje, un desfásador de ángulo ajustable, un generador de armónicas y circuitos para supervisión y control. Al interconectar tres unidades EPOCH-I se crea un sistema trifásico con seis salidas independientes y ajustables. Este equipo ofrece grandes ventajas para calibrar relés que necesiten desfases, ya sean de estado sólido o electromecánico. Con este equipo se simulan las señales que reciben los relés de los transformadores de voltaje y corriente del sistema eléctrico.

Una tarjeta de interfase (IEEE-488) conecta el EPOCH-I a una computadora personal y lo convierte en un equipo programable para realizar pruebas automáticamente. La comunicación entre la computadora y el Epoch-1 permite cambiar los parámetros de prueba y controlar sus diferentes funciones.

3. El programa Mastertest

El programa Mastertest permite crear, modificar y correr automáticamente pruebas a relés de protección controlados por computadoras. Este programa está diseñado específicamente para controlar los equipos de

Delgado y Morales/Calibración relé impedancia

prueba de la serie Epoch, fabricados por la compañía Multi-Amp.

La computadora personal envía señales de control hacia el Epoch a través de la tarjeta de interfase IEEE-488. Los resultados de las pruebas se almacenan en un banco de datos y pueden imprimirse en forma tabulada o en forma gráfica.

Estructura del programa

1. Los archivos de pruebas

Los archivos de pruebas consisten de grupos de pruebas específicas que se le realizan a un relé dado. Los puede preparar el usuario y así incluir todas las pruebas que sean necesarias para sus relés.

2. Programas

Un programa consiste de una lista de instrucciones que la computadora ejecuta. Cada prueba la lleva a cabo la combinación de un programa y uno o más macros. Los macros y los programas pueden cambiar variables, enviar señales al equipo Epoch y realizar funciones similares a las de cualquier otro programa de computadoras. Los programas pueden modificarse para ajustar las pruebas a las necesidades de cualquier usuario particular.

3. Macros

Los macros son conjuntos de instrucciones parecidos a los programas que se almacenan como archivos separados. El uso de macros es conveniente para procedimientos que se repiten frecuentemente, como las pruebas básicas de los relés, realizar gráficas e imprimir resultados. Al igual que los programas, los macros pueden modificarse y, de ser necesario, se pueden desarrollar nuevos macros para pruebas particulares.

La función de un macro se relaciona con la extensión que se le asigna al nombre del macro. Hay cuatro extensiones básicas para identificar los macros:

A. mtm

La extensión mtm se usa para designar los macros que realizan funciones principales tales como la verificación de "pick-up" o la realización de pruebas de tiempo.

B. mtg

La extensión mtg se usa en macros para desarrollar gráficas.

C. mtp

La extensión mtp define los macros que se usan para imprimir los resultados de las pruebas.

D. mtt

La extensión mtt define los macros que contienen la información teórica necesaria para llevar a cabo pruebas a un relé.

4. Pantalla de encabezamiento

La pantalla de encabezamiento contiene información de la localización y los ajustes específicos del relé sometido a pruebas. En la pantalla de encabezamiento aparece la información de la localización y los ajustes específicos para un relé en particular. Hay una pantalla de encabezamiento diferente para cada relé.

Descripción de los niveles del programa Mastertest

El uso y la implantación del programa Mastertest se divide en tres categorías o niveles que se discuten a continuación:

1. Nivel I

En el nivel I el usuario opera el sistema en su forma básica. Se pueden cargar o correr pruebas existentes o creadas por el usuario en los niveles II ó III. Para trabajar en el nivel I el usuario debe tener alguna experiencia con

Delgado y Morales/Calibración relé impedancia

los sistemas operativos PC/DOS o MS/DOS.

2. Nivel II

En el nivel II el usuario puede escoger entre las rutinas preprogramadas para preparar las pruebas necesarias para sus relés. Los parámetros iniciales y finales de voltaje, la corriente y la velocidad de rampa, entre otros, pueden modificarse para asegurar que las pruebas se ajusten a las necesidades particulares. La pantalla de entrada de parámetros es el punto central de contacto para el usuario del nivel II. Es necesario tener conocimiento acerca de las pruebas a relés de protección y alguna experiencia con PC/DOS o MS/DOS para usar el nivel II.

3. Nivel III

En el nivel III el usuario tiene control absoluto del programa Mastertest. En adición a las funciones que pueden realizarse en el Nivel II, el usuario del Nivel III puede modificar y desarrollar programas y macros.

El código de los programas y macros de Mastertest se desarrolló en un lenguaje similar al "BASIC" y se denomina "MACSART" ("Multi-Amp Command Set For Automatic Relay Testing"). Este es el lenguaje nativo del equipo de pruebas Epoch.

El usuario del nivel III debe tener conocimientos del lenguaje "BASIC", el sistema operativo PC/DOS y las pruebas realizadas a los relés de protección.

La base de datos de Mastertest

El sistema de base de datos del programa Mastertest se divide en tres áreas principales: las pruebas, los resultados y las bibliotecas.

1. Base de datos para pruebas

Las bases de datos usadas para las pruebas se denominan "HDR_PRM.DBF" y el "PARAMS.DBF". Se pueden guardar hasta 28 pruebas diferentes en un mismo archivo de prueba. Cada prueba se almacena

como un registro independiente en el archivo "PARAMS.DBF", que guarda información general de los relés. En el archivo "HDR_PRM.DBF" se guarda información específica de un relé, como son los valores de corriente e impedancia.

2. Base de datos para bibliotecas

La base de datos de bibliotecas es independiente de la base de datos principal. Los archivos de bibliotecas tienen la extensión lib y no pueden modificarse o borrarse. Por lo tanto, si ocurre un accidente en la inicialización de la base de datos principal, los archivos de biblioteca no se afectarán. De esta forma, si perdemos información del programa principal los archivos de librería nos sirven como resguardo.

3. Base de datos para resultados

Las bases de datos usadas para almacenar los resultados se denominan "HDR_RES_DBF", "TEST_LAB_DBF" y "TEST_RES.DBF". En estos archivos se puede guardar la información obtenida de las pruebas realizadas. De esta forma se pueden generar reportes y preparar un historial de pruebas de los relés. La capacidad del banco de datos para almacenar información de diversas formas lo convierte en una herramienta ideal para usarse en un programa de mantenimiento de relés.

Programación de Mastertest

Las partes más importantes de Mastertest son los programas y los macros, ya que son los que controlan las operaciones de programación. El programa es el punto de inicio para cada prueba y consiste de una o más líneas que el interpretador ejecuta. Se puede invocar un macro desde cualquier programa usando el comando "include" y escribiendo el nombre del macro. Cada vez que el comando "include" se ejecuta, el interpretador va al macro que se invoca y ejecuta todas sus líneas. El uso de los programas y macros en nivel III le permite al usuario crear pruebas para cualquier tipo de relé.

Archivo de pruebas para el relé HRZ

El programa Mastertest provee diferentes archivos genéricos para pruebas. Por esta razón en muchos casos es necesario preparar un archivo de prueba para un relé en específico. Para hacerle pruebas al relé por impedancia HRZ creamos un archivo con las pruebas necesarias para su calibración y mantenimiento. A continuación describimos las pruebas a las que se somete el relé HRZ.

1. Prueba de alcance ("reach test")

La prueba de alcance verifica el ajuste de la unidad de impedancia. Esta unidad compara el voltaje y la corriente del sistema de potencia para determinar si una falla está dentro o fuera de su zona de protección. La comparación del voltaje y la corriente se expresa en términos de la impedancia, que es una medida eléctrica de distancia a lo largo de una línea de transmisión. Con el valor de la impedancia se establece el alcance de la zona de protección del relé. Para determinar el valor de la impedancia es necesario considerar las siguientes características físicas de la línea que va a protegerse: el calibre y la longitud del conductor, la separación entre los conductores y los "overhead ground wires", entre otros. El Departamento de Estudios de Protección del Sistema Eléctrico de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico hace estudios para determinar el valor de la impedancia de las líneas de transmisión y estudios de corto circuito en el sistema eléctrico para ajustar los relés de protección de los distintos elementos del sistema. A continuación se presentan las ecuaciones y los cálculos necesarios para establecer el valor de ajuste de la unidad de impedancia.

Variables utilizadas en los cálculos:

Z_{prim} = Impedancia de la línea de transmisión.

Z_{sec} = Impedancia de la línea que recibe el relé luego de que los transformadores de voltaje y corriente (PTs y CTs, por sus siglas en inglés) la convierten.

R_v = Tasa de transformación de voltaje.

R_c = Tasa de transformación de corriente.

T = Derivación de la corriente del relé.

S = Valor del espacio de aire del paso magnético.

P = Alcance deseado (%).

Ecuaciones necesarias:

$$Z_{sec} = Z_{prim} * P * (R_c / R_p) \quad (1)$$

$$T * S = 10 * Z_{sec} \quad (2)$$

El fabricante sugiere la ecuación número 2.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo usado para ajustar la unidad de impedancia:

$$R_c = 80 \quad R_p = 330 \quad (3)$$

$$Z_{prim} = 11.64 + j13.77 = 18.01 \quad (4)$$

$$P = 85\% \quad (5)$$

$$Z_{sec} = Z_{prim} * P * (R_c / R_p) = 18.01 * 0.85 * (80/330) = 3.71 \text{ ohms} \quad (6)$$

$$T * S = 10 * Z_{sec} = 10 * 3.71 = 37.1 \quad (7)$$

A base de los cálculos anteriores, entonces buscamos los valores de T y S disponibles en el relé. Los valores encontrados son los siguientes:

$$T = 29.8 \quad S = 1.24 \quad (8)$$

El relé HRZ es monofásico, por esta razón solo usa las fuentes de voltaje y corriente de la fase A de la pantalla de entrada de parámetros. Esta pantalla permite establecer valores iniciales y cambiar los parámetros de

Delgado y Morales/Calibración relé impedancia

cualquier tipo de prueba.

El voltaje de la fase A se ajusta a 35 voltios y 0 grados. Estos valores representan el voltaje y el ángulo que se van a usar en la prueba. La corriente de la fase A se ajusta a 0 amperes y 0 grados. El valor de corriente inicial lo calcula automáticamente la función "start" y el valor del ángulo lo define la variable mta (ángulo de torque máximo). La frecuencia se ajusta a la frecuencia de la línea eléctrica que es 60 HZ. La función "start" indica el valor de comienzo de la rampa de corriente, que se define como:

$$\text{Start} = (\text{Volt} / Z) * (0.90) \text{ amps} \quad (9)$$

De acuerdo a la ecuación 9, la rampa comienza a un 90% (.90) de la corriente de prueba calculada (voltaje de prueba / Z). La corriente aumenta hasta un valor máximo de 150% de la corriente inicial (start x 1.5). El valor máximo de la rampa de corriente lo define la función "stop". La función "pulse time" no se define ya que la rampa de corriente que se utiliza es continua.

La función "increment #1" indica el tamaño de los incrementos de la rampa, que en este caso son de 0.10. La función "delay time" tiene un valor de 20 porque con este tiempo de espera se obtienen resultados confiables. Las funciones "min.range" y "max.range" definen los límites de valores aceptables. Para este caso se escogió +/-5% de error del valor de impedancia deseado. En esta prueba no se usa el reloj del equipo de pruebas Epoch y por esta razón las funciones del "timer" se definen como inactivas ("idle").

La línea "set variable" es la más importante en esta pantalla porque le permite al usuario definir las variables de una prueba. Para esta prueba la variable Z tiene un valor de 4.2 ohms, que es el valor de impedancia deseado. La variable mta = 60 indica que el ángulo de torque máximo es 60 grados.

Aunque hemos explicado las funciones de la pantalla de entrada de parámetros para una prueba de alcance, este ejemplo aplica para las pantallas de entrada de otras pruebas.

Para realizar la prueba de alcance inicialmente se aplican 35 voltios a 0 grados al elemento de voltaje del relé. Luego, usando la función "ramp", se aplica corriente de forma escalonada con un valor inicial de un 90% de la corriente de operación del relé con un ángulo de 60 grados. Esto provocará que la unidad direccional se active hacia su derecha preparando el relé para un posible disparo. Mientras tanto, la corriente continúa aumentando en incrementos de 0.10 amperios hasta llegar al valor de operación de la unidad de impedancia. Una vez la unidad opera, envía un mensaje a través de un contacto de un relé auxiliar para dar por terminada esta parte de la prueba. La prueba continúa con decrementos de corriente de 2.5% del valor de la corriente de operación hasta que la unidad de impedancia se desenergice y por medio del mismo contacto envíe una señal para finalizar esta parte de la prueba. Con el valor de voltaje fijo (35V) y los valores de corriente obtenidos se calcula el valor de la impedancia a la cual opera la unidad (Z_{calc}). Luego se utiliza el valor de impedancia deseado ($Z = 4.2$ ohms) y las funciones "Min.range" y "Max.range" para establecer los límites de un resultado aceptable. Así se puede verificar si el valor de Z_{calc} se encuentra dentro de los límites establecidos y se determina si la prueba es aceptable. Luego de finalizar la prueba los resultados se despliegan en la pantalla de la computadora.

El programa que se desarrolló para realizar esta prueba usa varios macros. El macro "i_charac.mtm" contiene las instrucciones principales para llevar a cabo la prueba de alcance. El macro "reach.mtp" contiene las instrucciones para imprimir los resultados de la prueba.

Prueba de círculo de impedancia

La prueba del círculo de impedancia consiste en aplicar varias veces la prueba de alcance con ángulos de operación diferentes. Esto permite verificar la operación del relé bajo distintas condiciones. Con los resultados obtenidos se prepara la gráfica del círculo de impedancia característico.

Debido a la similitud entre esta prueba y la prueba de alcance, las funciones y algunas variables de la pantalla de entrada de parámetros son iguales. Una de las diferencias entre las pruebas son las variables, "max_points" y "phase_inc". El valor de la variable "max_points = 2" establece que el relé se probará en su ángulo de torque máximo y en dos puntos a cada

Delgado y Morales/Calibración relé impedancia

lado del mismo y el valor de "phase_inc = 15" establece que cada punto de prueba tendrá 15 grados de diferencia del punto de la prueba anterior. Luego de realizar las distintas pruebas de alcance los resultados obtenidos se usan para preparar la gráfica de las características de operación de la unidad de impedancia.

Prueba de tiempo

La prueba de tiempo ("timing test") se aplica al relé para verificar el ajuste de tiempo de operación de la unidad de sobre-corriente. El tiempo de operación de la unidad se usa para coordinar la operación del relé con los demás equipos de protección del sistema eléctrico. Para determinar este tiempo es necesario realizar estudios de corto circuito, los cuales se llevan a cabo en el Departamento de Estudios de Protección de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico en Monacillos.

La mayoría de las funciones de la pantalla de entrada de parámetros para la prueba de tiempo son similares a los de las pruebas anteriores. Una diferencia es la variable "tap" = 4, que se usa para indicar el devanado de ajuste de la unidad de sobre-corriente. La variable "num_points" = 5 establece que solamente cinco puntos de la curva se probarán.

La prueba de tiempo consiste en aplicar diferentes valores de corriente y medir el tiempo de operación de la unidad. El tiempo de operación se compara con los valores de las curvas de operación del relé para determinar si el relé necesita ajustes. Luego de realizar las pruebas, los resultados obtenidos se usan para preparar la gráfica de tiempo de operación de la unidad de sobrecorriente.

Conclusiones

La tecnología que se presenta en este proyecto reduce el tiempo requerido para calibrar los relés, lo que aumenta el número de relés que se pueden calibrar por día. De esta forma se mejora la eficiencia del programa de mantenimiento de relés y aumenta la confiabilidad del sistema de protección.

Durante la preparación de este trabajo encontramos que el archivo de pruebas creado puede utilizarse como ejemplo para implantar un programa de mantenimiento automatizado de relés. La flexibilidad en la preparación de archivos de prueba permite crear un programa de mantenimiento que se ajuste a las necesidades de cualquier compañía de electricidad.