

# Protección computarizada de un motor de inducción utilizando el sistema dSpace y una biblioteca de protecciones eléctrica hechas en MATLAB/SIMULINK

Orlys Ernesto Torres

Recibido: Septiembre del 2004

Aprobado: Noviembre del 2004

## Resumen / Abstract

Se describen los resultados obtenidos en la creación de una protección digital en tiempo real para un motor de inducción de pequeña potencia mediante una biblioteca virtual realizada en MATLAB 6.05 y el sistema dSPACE. Los dispositivos virtuales mostraron el mismo comportamiento que los reales de su tipo.

Palabras clave: protecciones eléctricas, relés virtuales, MATLAB/SIMULINK, dSPACE

*This work describe of results obtained in the creation of the Digital Protection working in real time, for a low power induction motor using a virtual library made in MATLAB 6.05 and the dSPACE system. The virtual devices had the same behavior that the real devices.*

*Key words: protective relaying, virtual relays, MATLAB/SIMULINK, dSPACE*

## INTRODUCCIÓN

Existen muchas formas de proteger motores y la mayoría de ellas depende de la potencia e importancia de los mismos, como sucede en la protección de todas las máquinas eléctricas. Los motores de baja tensión, que son los más pequeños, son frecuentemente protegidos por fusibles e interruptores automáticos, la mayoría de las veces añadiendo relés térmicos.<sup>1</sup>

Los motores de media y gran potencia son protegidos con relés que son conectados en el secundario de los transformadores de corriente. Mientras la potencia e importancia de motor se incrementa, el número de relés incluidos en su sistema de protección y su complejidad también aumenta.<sup>2</sup>

En este trabajo se simula, utilizando SIMULINK, el sistema de protección de un motor de mediana

potencia, usado en un banco de prácticas de laboratorios y experimentaciones, que incluye un motor de inducción de bajo voltaje conectado a un motor de corriente directa el cual representa la carga y el sistema dSPACE.

En la figura 1 se pueden observar los elementos que necesariamente hay que instalar para poder hacer el experimento de la protección digital computarizada.

Para realizar este trabajo se partió de una biblioteca de protecciones por relés creada por el propio autor en MATLAB/SIMULINK.<sup>3,4</sup> En esta biblioteca se pueden encontrar los relés de mayor uso en el ámbito industrial: sobrecorrientes, direccionales, distancias y diferenciales. La biblioteca también incluye otros dispositivos auxiliares que son necesarios en cualquier sistema de protecciones, transformadores de corriente,

interruptores trifásicos, simuladores de cortocircuitos, recerradores o bloqueadores, entre otros.

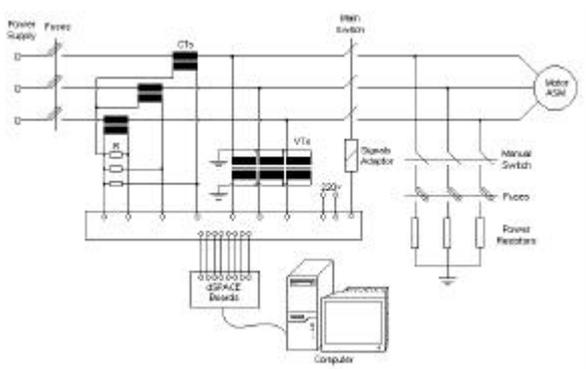
## DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

Para la realización de este experimento fue necesario la utilización de una novedosa tecnología de fabricación alemana que es conocida como el sistema dSPACE.

dSPACE es una compañía que ofrece una amplia variedad de hardware para hacer dos tipos de interfase entre una computadora digital y el mundo real: Rapid Control Prototyping (RCP) o Hardware - In- the- Loop - Simulation (HIL).<sup>5</sup> La primera variante, permite probar los modelos de control creados en MATLAB con señales reales provenientes de una planta real o simulada de forma analógica. La segunda variante es la simulación del comportamiento de la planta a partir de las señales reales de un sistema de control ya creado y que se quiera probar.

Para este experimento se utilizaron 4 tarjetas del sistema dSPACE:

- DS1005 PPC Borrada<sup>6</sup> es una tarjeta procesadora que constituye la base del sistema dSPACE. Esta hace los cálculos en tiempo real y además, permite la interfase con el resto de las tarjetas.
- DS187 Link Board (PC) es una tarjeta PCI que permite la conexión de la caja de expansión a la PC mediante un bus de interfase.
- dSPACE Expansion Box<sup>7</sup> permite instalar un gran número de tarjetas. Esta se hace útil cuando la PC no posee suficientes buses para conectar otras tarjetas.
- DS2003 Multi-Channel A/D Board<sup>8</sup> es capaz de digitalizar las señales analógicas con una resolución de 16 Bits. Esta utiliza 2 convertidos A/D con 16 entradas multiplexadas para cada uno permitiendo un total de 32 canales de conversión.



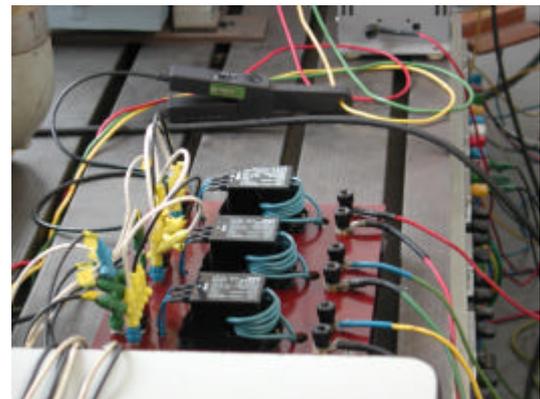
Instalación de elementos en el experimento de la protección digital computarizada .

1

- DS4002 Timing and Digital I/O Board<sup>9</sup> es capaz de capturar y generar formas de ondas digitales especialmente de onda cuadrada y señales PWM. Además de 8 temporizadores programables, 32 líneas de entrada/ salida digitales de propósito general y dos líneas de trigger.

Además del dSPACE, otros dispositivos convencionales fueron instalados. Un magnético que representaría el interruptor de potencia, transformadores de tensión, transformadores de corriente (figura 2), fusibles que pueden ser operados manualmente y sirvieron para simular cortocircuitos por medio de una resistencia de potencia, entre otros.

En la figura 3 se muestra una vista frontal de los componentes utilizados en la protección computarizada para el motor de inducción de baja tensión. Este banco fue instalado próximo a un banco de propósito educacional y experimental. En este banco se pudieron añadir otros tipos de fallos al motor, tales como: baja y alta tensión, desbalance y sobre cargas simétricas y asimétricas.



Transformadores de corrientes especiales.

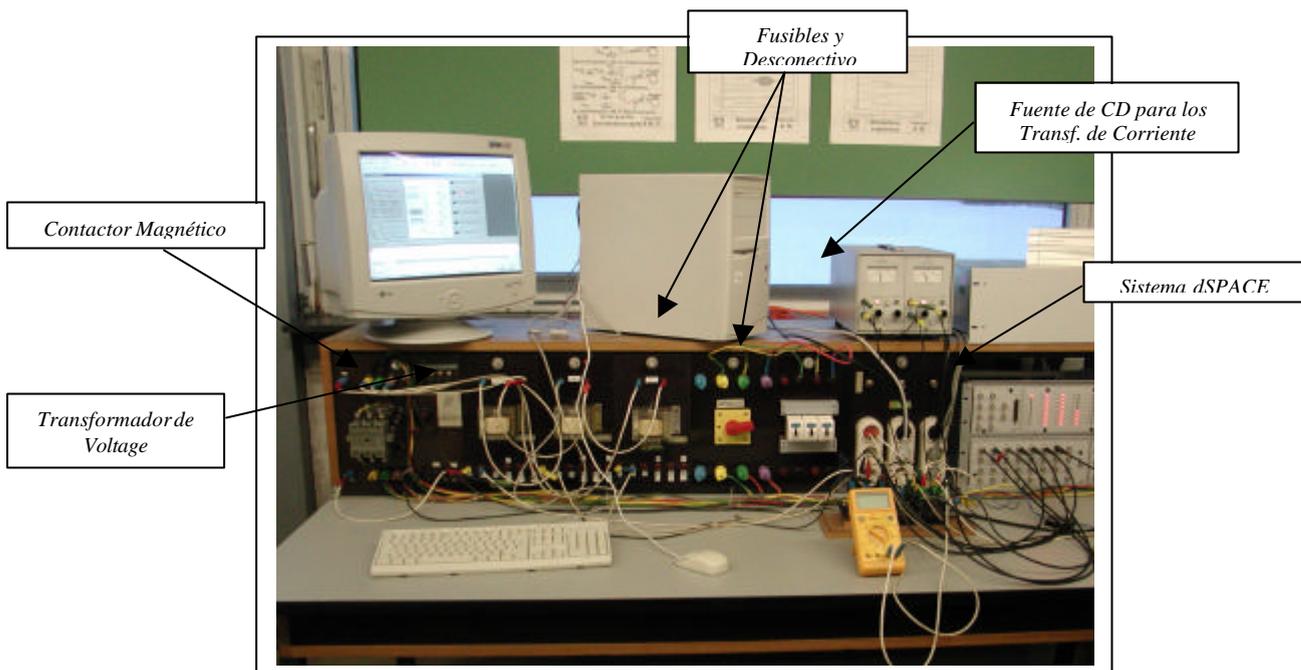
2

## MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

El mismo experimento descrito anteriormente fue simulado en MATLAB /SIMULINK usando el modelo mostrado en la figura 4. Este experimento virtual permitió ajustar correctamente las funciones de protección que se instalarían en el experimento real.

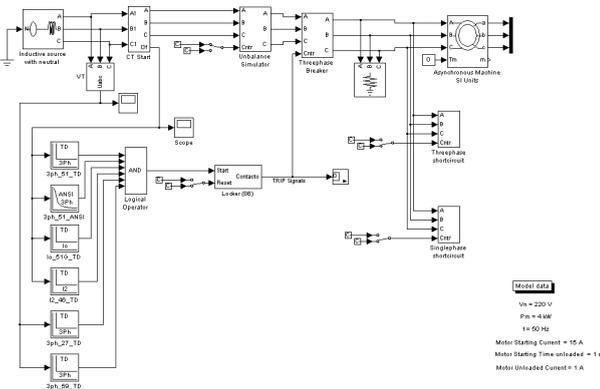
Los relés incluidos en la simulación de la protección del motor fueron:

- Relé de sobrecorriente instantáneo (50): el cual protege al motor contra los fallos entre fases.
- Relé de sobrecorriente de tiempo inverso ANSI (51): Protege al motor contra las sobrecorrientes simétricas producidas por: sobrecargas, tranques mecánicos, bajas tensiones, entre otros fenómenos.



Vista frontal de la protección computarizada para motores, creada en la Universidad Técnica de Clausthal, Alemania.

3



Simulación del sistema de protecciones de un motor usando MATLAB 6.5.0.180913a Release 13 /SIMULINK 5.0.1

4

En la realidad, esta función no protegerá correctamente al motor contra sobrecorrientes, sería necesario adicionar una imagen térmica.<sup>10</sup>

- Relé de sobrecorriente de tiempo definido de secuencia cero (51G): Este protege al motor contra cortocircuitos de fase a tierra.
- Relé de sobrecorriente de tiempo definido de secuencia negativa (46): Protege al motor contra condiciones desbalances o sobrecorrientes asimétricas.
- Relé de baja tensión de tiempo definido (27): Protege al centro de control de motores contra autoarranques.

- Relé de alta tensión de tiempo definido (59): el cual protege el aislamiento del motor de sobretensiones a frecuencia fundamental.

Muchos fallos fueron simulados en el experimento virtual, pero la computadora utilizada (AMD Athlon™ Processor, 261.616 KB RAM, 16 GB HD) mostró baja velocidad para realizar la simulación. Las condiciones simuladas para probar el sistema de protecciones instalado virtualmente fueron:

- Cortocircuitos bifásicos y trifásicos en los terminales del estator del motor.
- Cortocircuitos monofásicos a tierra en los terminales del estator del motor.
- Apertura de conductores.
- Sobrecargas.
- Baja y alta tensión.

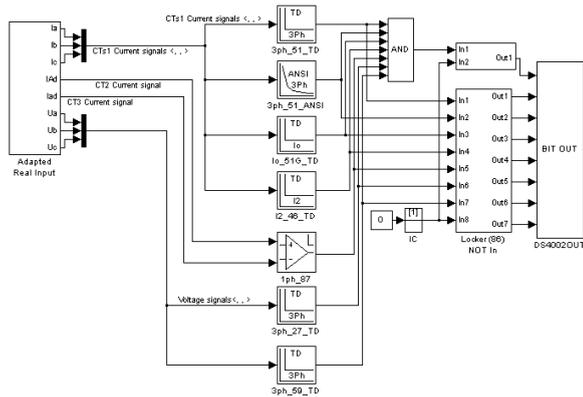
Todos los relés virtuales pertenecientes a la biblioteca virtual creada en SIMULINK trabajaron adecuadamente y dispararon a todos los fallos simulados.

## PROTECCIÓN DIGITAL PARA MOTORES

El resto del experimento se realizó de forma real, tal y como se describió brevemente en la primera parte de este artículo. Esto permitió comparar los resultados reales con los obtenidos virtualmente en la simulación anterior.

Para lograr que el sistema dSPACE funcione, es necesario crear un modelo en MATLAB o (RTI) interfase en tiempo real (figura 5) con bloques especiales.

Como el sistema dSPACE no posee visualizadores en forma de display, fue necesario construir un formulario que permitiera visualizar los parámetros eléctricos en tiempo real mientras durara la experimentación; al mismo tiempo, esta plataforma permitiría reestablecer el relé digital luego de un disparo. Este modulo se creó en el software dSPACE Control Desk.<sup>11</sup>



Interfase en tiempo real para la creación de la protección digital.

5

## RESULTADOS

Usando un osciloscopio digital fueron observados los procesos de desconexión que ocurren muy rápidos y el resto de los fallos fueron observados con los instrumentos normales instalados en el banco experimental que existía.

De la misma forma a como ocurrió en el caso de la simulación totalmente virtual, todos los dispositivos dispararon de forma correcta para los fallos que les correspondían.

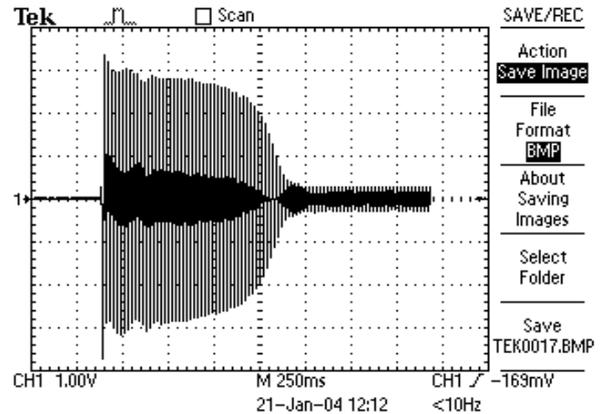
En la figura 6 se muestra el proceso de arranque del motor, lo cual evidencia que ninguna protección accionó durante este transitorio.

En la figura 7 se muestra la acción de la protección a un cortocircuito entre las fases A y C en los terminales del motor. Se observa que luego del cortocircuito las corrientes se elevan y se produce la desconexión en solo 2 ciclos.

En la figura 8 se presenta la operación de la protección para un cortocircuito monofásico y se muestra el retardo, exacto, de uno segundo dado a la protección.

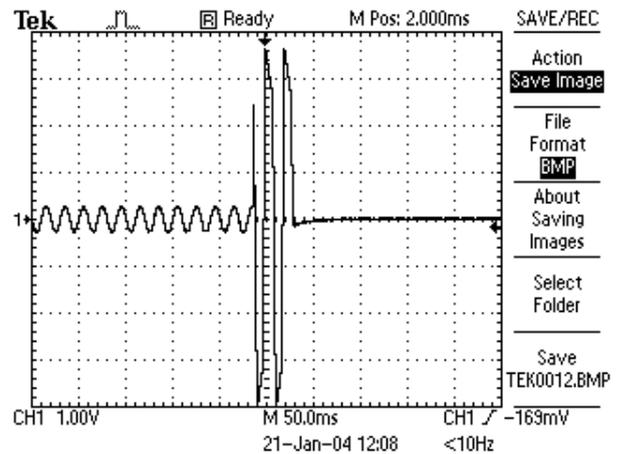
En todos los casos simulados, incluso para operaciones incorrectas como la conexión del motor como solo 2 fases, el arranque del motor con los terminales en cortocircuito, el arranque a tensiones

elevadas, entre otras, la protección operó correctamente.



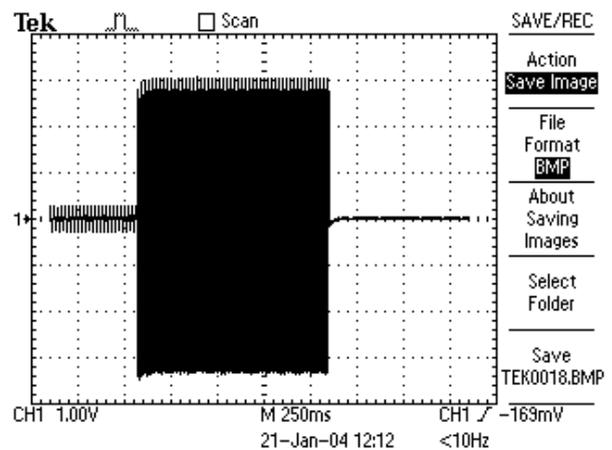
Forma de onda del proceso de arranque del motor.

6



Forma de onda del proceso de desconexión de un cortocircuito bifásico en las fases A y C de los terminales del motor.

7



Forma de onda del proceso de desconexión de un cortocircuito monofásico en la fase A en los terminales del motor.

8

## CONCLUSIONES

La protección digital fue instalada al lado de un banco de experimentación de motores que al mismo tiempo sirve como propósito educacional en el Instituto de Energía Eléctrica perteneciente a la Universidad Técnica de Clausthal. En este experimento fue utilizada una computadora estándar conectada al sistema dSPACE así como otros dispositivos para adaptar las señales de tensión y corriente.

Una simulación totalmente virtual del experimento fue realizada en MATLAB/ SIMULINK. El sistema de protección virtual que luego se probaría en tiempo real, fue verificado con numerosos fallos, pero la PC mostró muy baja velocidad o capacidad de cómputo. Se necesitaría una PC con coprocesador matemático adicional.

Un relé de tensión universal fue construido para la biblioteca virtual creada en SIMULINK que puede configurarse como un relé de baja o alta tensión según los deseos del usuario.

Una interfase RCP fue creada en el MATLAB y cargada en el dSPACE que se convertiría en una potente protección digital.

Cortocircuitos y otras averías fueron simuladas a menor escala para hacer la experimentación y la protección digital operó correctamente. Algunas operaciones incorrectas del banco fueron ejecutadas por error y en todas las ocasiones la protección digital operó correctamente.

Los relés y otros dispositivos virtuales creados en MATLAB mostraron un comportamiento similar a los iguales de su tipo en la realidad, lo cual demuestra que esta biblioteca se puede utilizar para hacer investigaciones de los actuales y futuros sistemas de protecciones.

De los transformadores de corrientes utilizados, el del tipo gancho muestra mayor exactitud para las condiciones de experimentación.

En este experimento no se comprobaron los relés direccionales ni de distancia; así como el relé de porcentaje diferencial, pero su principio de medición es similar a los que fueron probados y como estos han mostrado operaciones totalmente correctas en ambientes totalmente virtuales se pueden considerar correctos.

## REFERENCIAS

1. de la Incera, Carlos y Miguel C. Padilla: "Protección de máquinas eléctrica de bajo voltaje", 104pp., Cujae, Ciudad de La Habana, noviembre, 1990.
2. Chernobrovov, N.: *Protective Relaying*, 1789 pp., Mir, Moscow, 1974.
3. Torres, O. E.: "Librería virtual de protecciones eléctricas" en *Power System Blockset de MATLAB 5.2 (Simulink)*, Conferencia Científica Internacional FIE 2000, Santiago de Cuba, 2000.
4. Herrera, J.: "Librería, virtual de protecciones eléctricas en MATLAB, Trabajo de Diploma", p. 70, Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2001.
5. dSPACE. *Real-Time Interface (RTTI and RTI-MP) Implementation Guide for Release 3.5*, 320 pp. Germany, March, 2003.
6. dSPACE. *Modular Systems Based on DS1005. Installation and Configuration Guide for DS1005 PPC Boards and I/O Boards*, p. 360, Germany, March, 2003.
7. dSPACE. *Modular System. Installation and Configuration Reference for Release 3.5*, March, p. 730, Germany, 2003.
8. dSPACE. *Multi-Channel ADC Board DS2003*, p. 29, Germany, 1994.
9. dSPACE. *Timing and Digital I/O Board DS4002*, p. 106, Germany, 1999.
10. GE Power Management (Canada). *SR-469. Motor Management Relays*, 2004.
11. dSPACE. *Control Desk. Experiment Guide for Release 3.5*, p. 478, Germany, March, 2003.

## AUTOR

Orlys Ernesto Torres Breffe

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Auxiliar, Instituto Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.

e-mail: otorres@ismm.edu.cu



**VII CONGRESO LATINOAMERICANO  
Y IV IBEROAMERICANO  
EN ALTA TENSIÓN Y  
AISLAMIENTO ELÉCTRICO**

