

## Simulation using MatLab of the behaviour of powerful electrical machine

Luis Benigno Corrales Barrios<sup>1</sup>, Leisis López Rodríguez<sup>2</sup>, Orlando Regalón Anias<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, Cuba, Carretera Circunvalación Norte km 5 ½ Camagüey, Cuba.

Email: [luis.corrales@reduc.edu.cu](mailto:luis.corrales@reduc.edu.cu), [leisis.lopez@reduc.edu.cu](mailto:leisis.lopez@reduc.edu.cu), [orlando.regalon@reduc.edu.cu](mailto:orlando.regalon@reduc.edu.cu)

### ABSTRACT

Simulation of overcurrent protection of a three-phase squirrel cage motor using Simulink of MATLAB is presented. Simulations of different load conditions and short circuit in the stator are made using overcurrent protection inverse time and definite time. The simulation results define that the protections added to the model operate successfully to different overload and short circuit.

**Keywords:** Simulation, protective relaying, overcurrent relay, powerful electrical machine.

### Simulación mediante MatLab del comportamiento de la protección de un motor de gran potencia

#### RESÚMEN

Se presenta la simulación de la protección de sobrecorriente de un motor trifásico jaula de ardilla, utilizando el Simulink del MatLab. Se hacen simulaciones de diferentes estados de carga y cortocircuitos en el estator, utilizando una protección de sobrecorriente de tiempo inverso y una de tiempo definido. Los resultados de la simulación definen que las protecciones añadidas al modelo operan satisfactoriamente para diferentes sobrecargas y cortocircuitos.

**Palavras-Clave:** Simulación, protecciones, relés de sobrecorriente, motores de gran potencia.

#### I INTRODUCCIÓN

El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica, es por ello, que es de las máquinas eléctricas las que más se utilizan: para el movimiento de bombas, ventiladores, compresores, etc. y cualquier otra forma de movimiento mecánico, es decir, tiene amplia y cotidiana utilización desde el hogar hasta las grandes industrias.

En la actualidad el uso del Simulink del MatLab en la simulación del comportamiento, tanto en estado estable como en estado transitorio, del equipamiento eléctrico es una gran posibilidad de acercarse a la realidad y observar estos estados sin tener que hacerle pruebas invasivas a los equipos. Tal es el caso de la protección de motores eléctricos [6].

La simulación que se muestra está realizada para que se observen los procesos que ocurren en un motor en régimen de sobrecarga variable y de cortocircuito severo en el devanado del estator y a la vez el comportamiento de las protecciones contra sobrecargas sostenidas y cortocircuitos.

Con el simulador se pueden seleccionar el tipo de relés de sobrecorriente a utilizar, así como variar sus ajustes. Se puede utilizar cualquier relé sin importar el fabricante [5].

#### II DESARROLLO

Las fallas son comunes a todo tipo de motores, ya que son producidas por cortocircuitos dentro del motor. Estas pueden provocar grandes destrucciones en los devanados y el hierro de los motores, además de causar la disminución del voltaje en el resto de los motores que no están averiados y en otros consumidores. En los motores de corriente alterna la magnitud y las consecuencias de las fallas a tierra dependen del sistema de aterramiento de la red de alimentación y del motor

Los cortocircuitos entre espiras también constituyen fallas en el motor, estos comienzan por tener valores de corriente pequeños y al irse deteriorando el aislamiento del devanado pueden tener magnitudes apreciables e inclusive en los motores de corriente alterna trifásicos puede convertirse en una falla entre fases.

##### II.1 CONDICIONES ANORMALES EN LOS MOTORES

La disminución de la tensión en los terminales del motor puede deberse a problemas del sistema de suministro o a problemas en uno o varios motores, lo cual puede ser causado por el rearranque automático del motor cuando se reconecta el voltaje

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



después de una interrupción del suministro eléctrico y cuando el período de arranque es grande que provoca un período transitorio excesivo en la carga del motor que se refleja en el sistema electroenergético, con la consecuente caída de voltaje; después de una caída momentánea del voltaje o del retorno del voltaje después de una interrupción en el servicio [2].

El desbalance es producido por fallas internas en el motor o por la conexión de cargas monofásicas o desbalanceadas en el mismo circuito que esta, lo que causa sobrecalentamiento por desbalance en las tensiones de fase. Esto causa un incremento de la intensidad de la corriente de fase para que el motor pueda continuar entregando la misma potencia que entregaba cuando las tensiones eran balanceadas [2]. La aparición de una tensión de secuencia negativa provoca un flujo en el rotor de corrientes anormales. Como la impedancia de secuencia negativa del rotor es aproximadamente igual a la impedancia con el rotor bloqueado, una pequeña tensión de secuencia negativa produce una corriente mucho mayor de la misma secuencia [2].

Los problemas que se presentan en los motores pueden ser agrupados en categorías, de acuerdo a la naturaleza de los mismos, tal como se relaciona a continuación:

#### **1- Problemas inducidos por la carga:**

La influencia fundamental de la carga es el aumento o disminución de la energía que demanda el motor. En ellos tenemos, la sobrecarga, la carga trancada, la pérdida de la carga y la aceleración con gran retardo de tiempo.

#### **2- Problemas inducidos por la fuente de suministro de energía:**

Son cambios en la fuente de energía que hacen que el motor no aproveche la potencia a máxima capacidad. Entre estos está la falla de una fase, la sobretensión, la baja tensión, la secuencia de fase incorrecta y el desbalance de las tensiones de alimentación.

#### **3- Problemas que surgen en la operación:**

Los problemas que hacen que la corriente del motor exceda grandemente la corriente a plena carga, están relacionados con los ciclos de conexión y las inversiones del sentido de rotación.

#### **4- Problemas producidos en el devanado del motor:**

Generalmente ocasionan daños en el motor y producen otros fenómenos tales como operación monofásica, entre ellos tenemos el debilitamiento.

#### **5- Problemas generales en los motores:**

Que están dadas por el fallo en el aislamiento en alguno de los conductores de alimentación, el fallo en el rodamiento lo cual no puede considerarse como aumento de la carga, ni la fricción de los rodamientos se considera como una carga del motor.

#### **6- Problemas del medio ambiente en el cual se encuentra el motor:**

Los cuales son la temperatura alta, la contaminación ambiental que puede incidir en el aislamiento y la altitud, ya que al aumentar la altura el aire se hace menos denso y la efectividad del refrigerante se ve disminuida.

El aumento de la temperatura es consecuencia en la mayoría de los casos del aumento de la corriente en el motor. Recordemos que las pérdidas de energía son proporcionales al cuadrado de la corriente y esto se manifiesta en forma de calor, aunque también su aumento puede ser producto del aumento de la temperatura del medio donde se encuentre el motor.

## II.2 TIPOS DE PROTECCIÓN DE MOTORES

De acordó com [2]:

1. Protección contra tensión mínima.
2. Protección contra desbalance de fases.
3. Protección de sobrecorriente de fase.
4. Protección contra sobrecargas.
5. Protección de sobrecorriente a tierra.
6. Protección diferencial de corriente.
7. Protección contra desbalance de corriente con enrollados partidos.
8. Protección contra sobre-temperatura en los devanados.
9. Protección contra la pérdida de aislamiento
10. Protecciones especiales:
  1. Protección de motor que arranca estrella - delta y tiene una sola dirección de giro,
  2. Protección de motor que arranca estrella - delta con dos direcciones de giro
  3. Protección de motor que varía su velocidad con el cambio del número de polos.
  4. Motor compensado individualmente.
  5. Protección de motores con arranque pesado.
  6. Motores con régimen de trabajo intermitente y de corta duración.
  7. Protección contra secuencia incompleta del arranque.
  8. Protección contra arranques demasiado frecuentes.

## II.3 PROTECCIÓN DE MOTORES SINCRÓNICOS

1. Protección contra la pérdida de sincronismo.
  2. Protección contra la no disponibilidad de la excitación.
  3. Protección contra fallo de la corriente del campo.
  4. Protección contra secuencia incompleta en el arranque.
  5. Protección del devanado amortiguador.
  6. Protección contra momentos producidos en el eje durante cortocircuitos cercanos al motor sincrónico.
- Otras protecciones comunes a los motores sincrónicos y asincrónicos:
1. Protección del devanado del rotor contra fallas a tierra.
  2. Protección contra descargas atmosféricas y sobretensiones.
  3. Protección contra sobreexcitación por capacitancias en paralelo.
  4. Protección contra la transferencia o recierre automático.
  5. Protección contra la falta de rotación o la rotación inversa

## II.4 PROTECCIONES MECÁNICAS Y OTRAS

1. Protección de cojinetes y sistemas de lubricación.
2. Protección de sistemas de ventilación y enfriamiento.
3. Detectores de vibraciones.
4. Detectores de líquidos.
5. Detección de incendios.

En este trabajo solamente simulamos la protección de sobrecorriente de fase y la de sobrecarga, por ser las que siempre van a estar presentes para cualquier motor, independientemente de la potencia del mismo.

## II.5 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE FASE

La protección de sobrecorriente puede ser instantánea o con retardo:

La protección contra cortocircuitos sin retardo limita el daño en el lugar del fallo, limita la duración de la caída

momentánea del voltaje que acompaña al fallo y limita la posibilidad de que el fallo se extienda y provoque daños por fuego o explosión.

Puede ser con retardo o sin retardo según la magnitud del cortocircuito, por ello se usan relés de sobrecorriente, dispositivos de sobrecorriente de acción directa y fusibles.

Los relés de sobrecorriente se usan generalmente conectados en el secundario de los transformadores de corriente. Si se usa un relé de tierra, solo son necesarios dos relés en la protección trifásica; sin embargo, a menudo es necesario utilizar un relé por fase aunque haya uno de tierra.

Los relés de sobrecorriente instantáneos y los dispositivos de disparo de acción directa deben tener la corriente mínima de operación lo suficientemente alta para que no opere por el inicio del arranque del motor, cuando el motor contribuye al fallo externo y cuando hay transferencia automática o recierre rápido.

Los motores de rotor bobinado tienen por lo general una corriente inicial menor debido a que arrancan con resistencias externas en el circuito del rotor. Cuando hay fallo externo su contribución es mayor que su corriente inicial de arranque si los anillos deslizantes del rotor están cortocircuitados (resistencia externa cero). La corriente mínima de la protección instantánea se ajusta sobre la base de su contribución a un fallo externo.

## II.6 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

El propósito de esta protección es detectar una corriente sostenida en el estator, mayor que la capacidad nominal del motor y disparar antes de que se produzca daños en el motor. En motores que tienen dispositivos térmicos en los enrollados y una supervisión estrecha por parte del operador, algunas veces se dispone esta protección para dar alarma solamente.

Los tipos más comunes de sobrecarga son las sobrecargas sostenidas debidas a una carga anormal en el eje del motor o por baja tensión en la línea de alimentación, los ciclos de trabajo intermitentes repetidos con excesiva rapidez, tales como arranques y paradas frecuentes, que causan corrientes mayores que lo permisible por un período de tiempo, la carga mecánica de magnitud excesiva en el momento del arranque, lo que impide llegar a su velocidad nominal. El efecto es una elevada corriente de la línea y la operación monofásica de motores trifásicos, donde se demandan corrientes excesivas en los enrollados del motor y su gravedad depende del estado de carga del motor. Algunas veces se disponen de dos juegos de protecciones de sobrecarga, uno para accionar una alarma, con una corriente mínima relativamente pequeña y un ajuste de tiempo rápido y el otro para disparar a una corriente mayor y/o con más tiempo que el de los relés de sobrecorriente para alarma.

Al igual que la protección de sobrecorriente, se debe utilizar un relé por cada fase.

La protección contra sobrecargas puede realizarse con relés de inducción y con relés térmicos.

Se utilizan relés de inducción de tiempo largo combinados con los arrancadores. Estos relés son ajustables en forma continua y con un amplio rango de corrientes. La forma de la curva de retardo provoca, por lo general, un disparo mucho más rápido que lo necesario, lo que dificulta aprovechar toda la curva de calentamiento del motor. Como no acciona térmicamente, se reponen rápidamente, por eso, no provocan buena protección contra re-arranques continuos, al reponerse por sí solos no dan la opción de reposición manual a no ser que quede bloqueado por un

relé auxiliar. Estos relés no se afectan significativamente por los cambios de la temperatura. Esto es aceptable y se puede considerar una ventaja en las situaciones en que el relé y el motor estén instalados en lugares diferentes, pero es indeseable cuando ambos están situados en el mismo local y varía apreciablemente la temperatura ambiente.

Los relés de sobrecorriente térmicos se emplean comúnmente combinados con arrancadores con contactores. Sus ventajas y desventajas son casi opuestas a los relés de inducción ya que su retardo, generalmente, no es ajustable, en muchos relés, el ajuste de la corriente de arranque está limitada a un rango relativamente pequeño. No tienen por lo general un indicador de operación. La forma de la curva por lo general da un disparo más rápido que el necesario, lo que no contribuye a la utilización plena de la característica de sobrecarga del motor; después de un disparo se enfría con mayor rapidez que el motor. Esto permite que el motor arranque demasiado pronto y de esta forma, el motor re-arrancado tiene menor grado de protección contra la sobrecarga que el necesario, sin embargo su "memoria térmica" proporciona una protección adecuada cuando se producen sobrecargas y arranques del motor muy repetidos. Algunos relés tienen compensación de temperatura.

Cuando no hay compensación de temperatura es una ventaja cuando el relé y el motor están a la misma temperatura.

## II.7 RELÉS DE SOBRECORRIENTE

Las protecciones de sobrecorriente son protecciones que operan ante el aumento de la corriente en un elemento protegido, es decir, se pone en acción cuando la corriente por el mismo supera un cierto valor preestablecido. Esta protección ha de asegurar la operación contra las sobrecargas y los cortocircuitos en motores [4].

De acuerdo con su principio de funcionamiento los relés de sobrecorriente se dividen en dos tipos [3]:

A) Electromecánicos, los cuales pueden ser de:

- 1) Atracción electromagnética.
  - 2) Inducción electromagnética.
- B) Estáticos.

Los relés de atracción electromagnética (al igual que su variante estática) son de tiempo definido (figura 1), o sea, el tiempo de operación es independiente de la magnitud de la corriente (es constante a partir del valor de la corriente de arranque del relé).

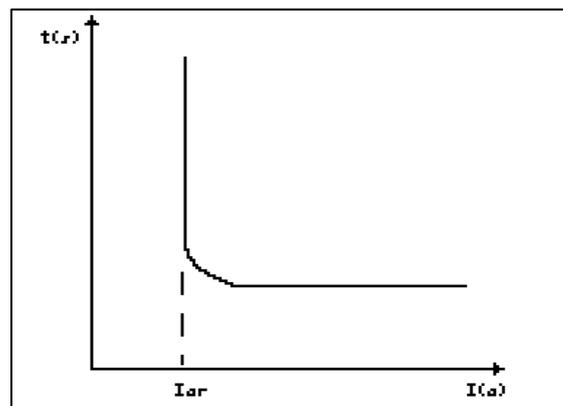


Figura 1: Característica tiempo - corriente de los relés de tiempo definido.

Fuente: Los autores, (2018).

Los relés de inducción electromagnética (al igual que su variante estática) sólo se pueden usar para la protección de circuitos alimentados con corriente alterna. Su principio de funcionamiento se basa en la interacción magnética entre el flujo magnético de las bobinas y las corrientes inducidas en un disco de material magnético.

Esta protección es de tiempo inverso (figura 2), por lo que las mismas actúan más rápido, mientras mayor sea la corriente que circula por el relé. El ajuste del relé se realiza por medio de derivaciones en las bobinas y su característica de operación se obtiene mediante la palanca de tiempo. Los relés de tiempo inverso presentan familia de curvas (o palancas de tiempo), las cuales, tienen en su eje horizontal el múltiplo de la corriente de arranque (M) y en el vertical el tiempo de operación del relé.

El múltiplo (M) es la razón entre la corriente de cortocircuito por el secundario de los transformadores de corriente ( $I_{cc}$ ) y la corriente de arranque del relé ( $I_{ar}$ ) dado por la ecuación 1.

$$M = \frac{I_{cc}}{I_{ar}} \quad (1)$$

Partiendo de lo dicho anteriormente, se puede lograr una gran variedad de características de tiempo inverso, según la norma C37.112-1996 de la IEEE [1, 6, 7]:

- Tiempo corto (short inverse)
  - Tiempo largo (long inverse)
  - Tiempo definido (definite time)
  - Moderadamente inversa (moderately inverse)
  - Inversa (inverse)
  - Muy inversa (very inverse)
  - Extremadamente inversa (extremely inverse)
  - Tiempo constante (fixed time)
- Y según la norma British Standard 142:
- Muy inversa (very inverse)
  - Extremadamente inversa (extremely inverse)

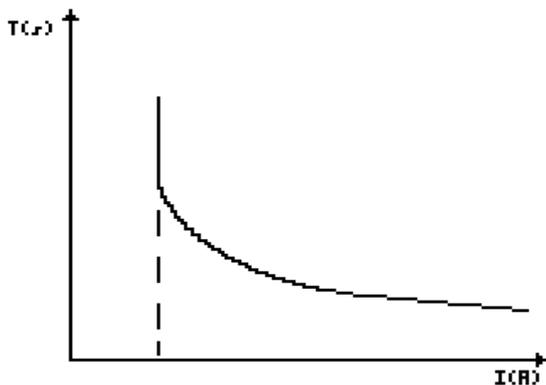


Figura 2: Característica tiempo - corriente de los relés de tiempo inverso.  
Fuente: Los autores, (2018).

El relé estático puede ser de tiempo inverso o de tiempo definido, debido a que su principio de funcionamiento se basa en el empleo de dispositivos semiconductores, que realizan la comparación de la corriente a partir de la forma de la señal de entrada y su posterior procesamiento en los órganos del relé.

De acuerdo con el procesamiento de señales los relés electrónicos pueden ser:

- a) Relés de sobrecorriente con señales analógicas.

- b) Relés de sobrecorriente con señales discretas.

### III RESULTADOS

Utilizando la librería Simulink de Matlab, se modeló un relé de protección de sobrecorriente para sobrecargas y cortocircuitos. Para ello se realizó un sistema formado por una fuente trifásica con generación de armónicos y un motor de corriente alterna (AC), tal y como se muestra en la figura 3.

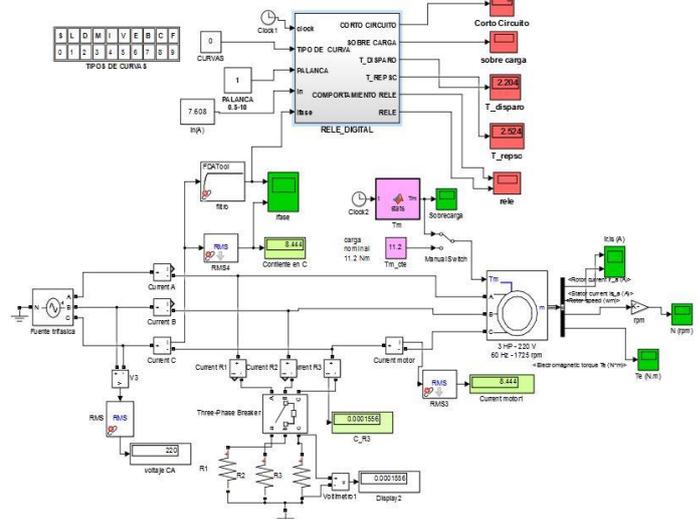


Figura 3: Esquema del simulador de la protección de un motor trifásico.

Fuente: Los autores, (2018).

### III.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

#### III.1.1 FUENTE TRIFÁSICA Y MOTOR AC

Para la simulación de la fuente y el motor se utilizaron los elementos del simulink: Asynchronous Machine y Three-Phase Programmable Voltage Source, que están en las librerías de SimpowerSystem.

#### III.1.2 ELEMENTOS DE MEDICIÓN

Las mediciones de tensión e intensidad de la corriente se realizaron utilizando Voltage Measurement y Current Measurement. Los datos fueron mostrados a través del Scope y el Display.

#### III.1.3 CORTO CIRCUITO

Para simular el corto circuito se usaron tres resistencias de pequeños valores, una por fase y un disyuntor trifásico (Three-Phase Breaker) para la conexión y desconexión manual de las mismas, como se muestra en la figura 4.

#### III.1.4 SOBRECARGAS

Para producir sobrecargas de diferentes tiempos de duración de forma continua se empleó el bloque Matlab function que permite a través de un editor escribir códigos que generen funciones para utilizarlas en Simulink. Las sobrecargas se introducen en el sistema mediante la entrada torque mecánico

(Tm) que presenta el bloque Asynchronous Machine. Ver figura 5.

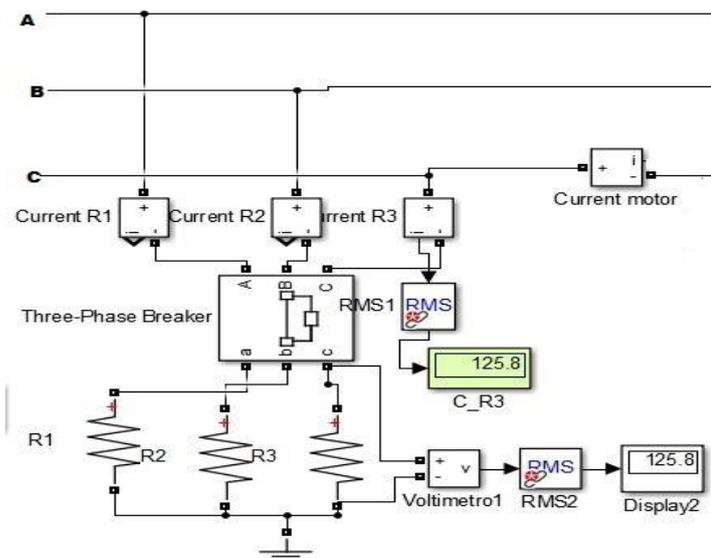


Figura 4: Forma en que se simula un cortocircuito.  
Fuente: Los autores, (2018).

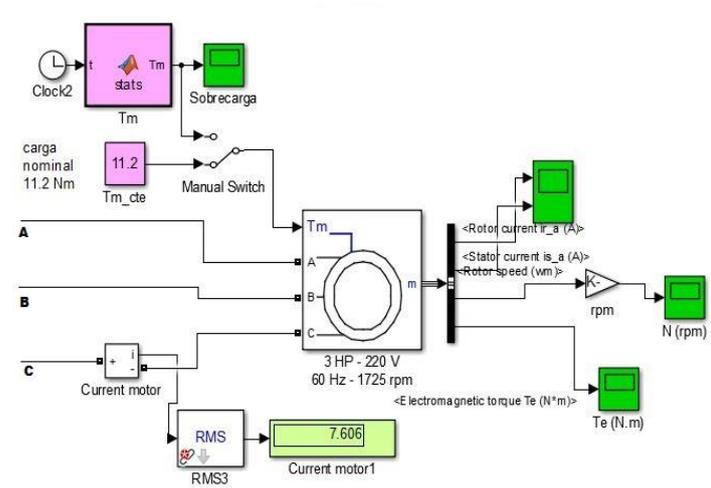


Figura 5: Esquema para simular las sobrecargas  
Fuente: Los autores, (2018).

Cuando se simulan las sobrecargas, para observar mejor los efectos de esta se realizó un circuito que varía los estados de carga aleatoriamente, tal y como se muestra en la figura 6.

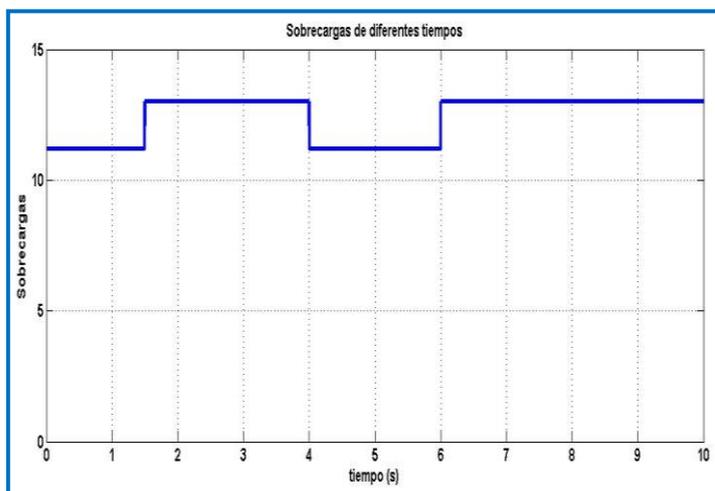


Figura 6: Variación de los estados de carga del motor.  
Fuente: Los autores, (2018).

### III.1.5 RELÉ DIGITAL

Para la simulación de la protección, se creó un subsistema el cual tiene como entradas los valores de: tipo de curva del relé, palanca de tiempo, corriente nominal y corriente de fase.

Las salidas son: la indicación de si existe o no corto circuitos o sobrecargas, los tiempos de disparo y reposición del relé, el comportamiento del relé y la indicación de si se disparó o no la protección. Ver figura 7.

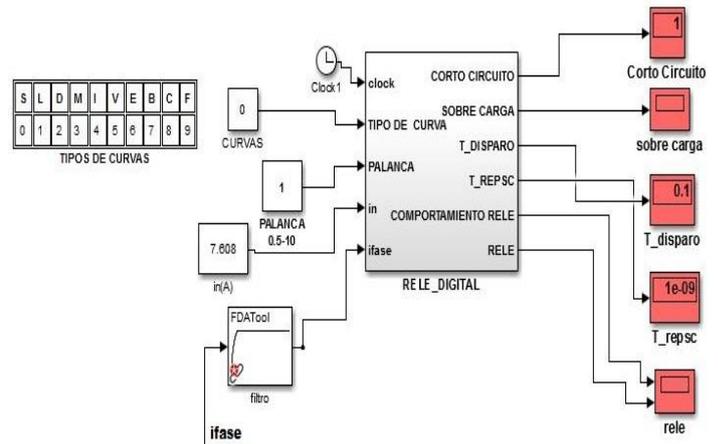


Figura 7: Programación del relé de sobrecorriente de tiempo inverso según las normas.  
Fuente: Los autores, (2018).

El subsistema nombrado RELE\_DIGITAL está formado a su vez por dos bloques Matlab function, llamados comparador y tipos de relés respectivamente. En el comparador se comparan los valores de corriente en la fase con los valores de corriente de disparo del relé y se determina si existe sobrecarga o cortocircuito. En el bloque tipos de relés, teniendo en cuenta la palanca de tiempo y las curvas de los relés se obtienen los tiempos de disparo y reposición para cada relé.

El resto de los elementos que componen este subsistema son integradores, switch, indicadores y bloques de multiplicación y división, que fueron empleados para lograr el adecuado comportamiento de la protección, especialmente en los casos de simulación de sobrecargas de varios tiempos. Ver figura 8.

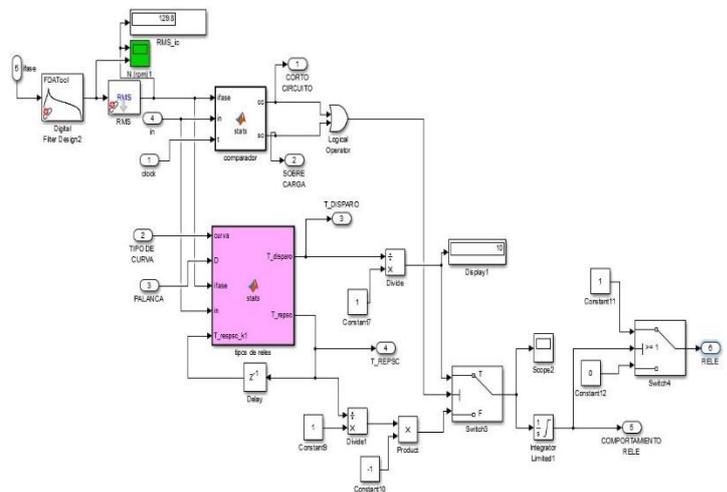


Figura 8: Otros elementos del simulador.

Fuente: Los autores, (2018).

### III.1.6 FILTROS

A la entrada del relé se utilizaron dos filtros: un antialiasing y un pasabanda, los cuales combinados dejan pasar solamente la onda de frecuencia fundamental.

### III.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En la tabla 1, se muestra los datos, por elementos, utilizados en la simulación.

Tabla 1: Datos de simulación.

Elementos	Datos
Fuente trifásica	220 V, 60 Hz. Armónicos: Fase A ->[3 0.2 - 45 1] Fase B-> [5 0 0 1]
Motor	Trifásico, jaula ardilla 50 HP, 220 V, 60 Hz, 1725 rpm
Tm (sobre carga)	13 Nm
R1, R2, R3 (corto circuito)	1 Ω
Curva del relé, Palanca de tiempo	0, 1
Filtro paso alto Filtro pasa banda	IIR-Butterworth, frecuencia de corte 55Hz IIR-Butterworth, frecuencia de corte 58-62Hz

Fuente: Los autores, (2018).

### III.3 SIMULACIÓN DEL CORTOCIRCUITO

Al simular un cortocircuito, el tiempo de disparo calculado es aproximadamente 0.1 segundos, y el de reposición prácticamente cero. El comportamiento del relé se muestra en la figura 9.

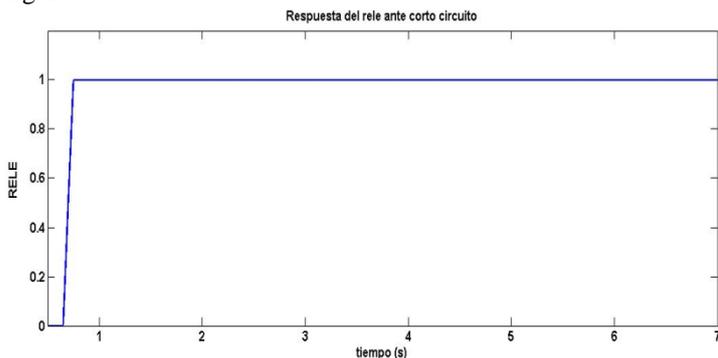


Figura 9: Respuesta del relé ante un cortocircuito.

Fuente: Los autores, (2018).

Como puede observarse ante la detección de un corto circuito el relé opera, protegiendo el motor.

### III.4 SIMULACIÓN DE LAS SOBRECARGAS

A partir de la simulación de sobrecargas para diferentes tiempos de la misma, se obtuvo la respuesta del relé mostrada en

las figuras 10 y 11. Los tiempos de disparo y reposición, del relé, calculados son de 2.2 y 2.5 s respectivamente.

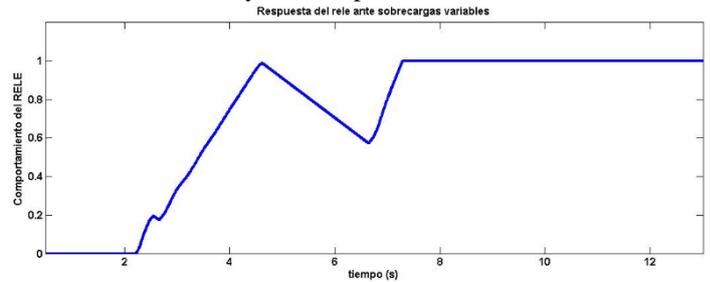


Figura 10: Sobrecarga variable.

Fuente: Los autores, (2018).

Se observa que el relé opera a los 7.2 s, después que la sobrecarga desapareció y volvió a aparecer.

En la figura 10, puede observarse como entre 2 s y 4.5 s existen sobrecargas, que por su corta duración, el relé comienza a operar, pero no logra, ya que la sobrecarga desaparece. En el intervalo de 4.5 y 6.5 no hay sobrecarga y el relé comienza a contar su tiempo de reposición que no se cumple por la aparición de una nueva sobrecarga que hace que opere el relé a los 7,2 s.

En la figura 11 se observa que el relé solamente opera una vez, a pesar de que fue sometido a dos sobrecargas.

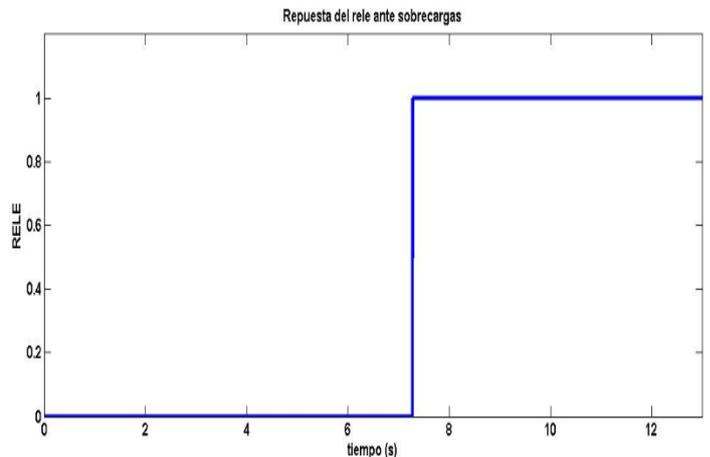


Figura 11: Operación del relé de protección en la zona de sobrecarga

Fuente: Los autores, (2018).

### IV CONCLUSIONES

Con el simulador desarrollado se puede observar el comportamiento de la protección contra sobrecargas y cortocircuito en un motor trifásico de jaula de ardilla, utilizando relés de sobrecorriente de tiempo inverso y tiempo definido respectivamente.

Para la construcción del relé de tiempo inverso se utilizaron las normas internacionales para la construcción de relés de este tipo, aunque se utiliza en la simulación un relé de tiempo largo, el cual es adecuado para la protección de sobrecarga de motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla.

Se presentaron simulaciones de diferentes estados de carga y cortocircuitos en el estator, lo que justifica como protección principal la una protección de sobrecorriente combinando relés de tiempo inverso y de tiempo definido.

## V RECONOCIMIENTOS

A la Universidad de Camagüey, por la ayuda colaboración prestada en el desarrollo de la Maestría en Ingeniería eléctrica.

## VI REFERENCIAS

- [1] IEEE. 1996. C37.112-1996. **IEEE Standard Inverse-time characteristic equations for overcurrent relays**. New York : IEEE, 1996. ISBN: 1-55937-887-5.
- [2] IEEE.. 2000. IEEE Std C37.96-2000. **IEEE Guide for AC Motor Protection**. Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000. ISBN 0-7381-2497-4.
- [3] WU, Feng-Jih, y otros. **Modeling electromechanical overcurrent relays using singular value decomposition..** 2012. s/n, 2012, Journal of Applied Mathematics, Vol. 2012. ISSN: 1687-0042.
- [4] ALMAS, Muhammad Shoaib, LEELARUJI, Rujiroj y VANFRETTI, Luigi. **Over-current relay model implementation for real time simulation & Hardware-in-the-Loop (HIL) validation**. 2012. New York : IEEE, 2012. IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. ISBN: 9781467324205.
- [5] SORIA, O. Arreola, ENRÍQUEZ, A. Conde y GUAJARDO, LA Trujillo. **Overcurrent relay with unconventional curves and its application in industrial power systems**. 2014, Electric Power Systems Research, Vol. 110, págs. 113-121. ISSN: 0378-7796.
- [6] CHOPRA, Ishan : KUMAR, Naresh. **Performance assessment of a digital overcurrent relay in distribution system using Matlab/Simulink**. 2014. 6, 2014, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 3, págs. 296-306. ISSN: 2319-7463.
- [7] N STOJANOVIC, Zoran y B DJURIC, Milenko. **Table Based Algorithm for Inverse-Time Overcurrent Relay**. 2014. 4, 2014, Journal of Electrical Engineering, Vol. 65, págs. 213-220. ISSN: 1335-3632.