

## PROTECCIÓN ESTÁTICA DIGITAL PARA MOTOCOMPRESORES

M.Sc. Eulogio Hernández Veiga, MSc. Alfredo Enrique González Digón

*Universidad de Camagüey, Dpto. de Ingeniería Eléctrica.  
Carretera Circunvalación Norte Km. 5.5.  
Tel. 53 32 261456 Fax. 53 32 261126  
e-mail: eulogiohdz@yahoo.es, alf@em.reduc.edu.cu*

**Abstract:** Este trabajo trata sobre el diseño e implementación de una protección electrónica para los motocompresores de las máquinas de frío, estas máquinas tienen la particularidad de trabajar en régimen intermitente, por lo que sufren altos incrementos de la temperatura durante la marcha y lentos descensos durante el periodo de pausa que pueden causar un régimen de trabajo no deseado inclusive su deterioro y rotura.

**Keywords:** Motores Eléctricos, Compresores, Refrigeración, Protecciones Electrónicas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de refrigeración son muy exigentes debido a su forma de funcionamiento y características particulares, la calidad de la energía eléctrica puede verse afectada por perturbaciones eléctricas.

Una gran parte de los sistemas de refrigeración han sido afectados por estas deficiencias, debido a que sus características y funcionamiento son muy especiales.

Las máquinas de frío tienen la particularidad de trabajar en régimen intermitente, por lo que sufren altos incrementos de la temperatura durante la marcha y lentos descensos durante el periodo de pausa. Durante el periodo de trabajo en todas las partes del motor hay una cantidad de calor relativamente alta, que no se disipa hasta un tiempo largo de parada. Debido a limitaciones de recursos en el país y por tanto el déficit de generación y que en ocasiones no se cumplen los índices de calidad de energía (frecuencia y voltaje); por lo que estas condiciones de variaciones de la tensión ya sean instantáneas o permanente pueden deteriorar el aislamiento del enrollado de la máquina, por lo que se debe desconectar el motor de forma instantánea y permitirse la reconexión cuando este haya cesado,

dejando un tiempo prudencial, ya que al desconectarse pueden quedar altas presiones sobre el pistón producidas por el gas de enfriamiento del sistema, ocurriendo lo mismo para pérdidas de voltaje en la línea. Por lo que se hace necesario contar con una protección que sea capaz de satisfacer estas exigencias

Con este trabajo se obtuvo una protección, que además tiene, para hacerla más integral, el térmico y el arrancador magnético de la misma con lo que serán sustituidos estos componentes del equipo en muchos casos deficitarios.

### 2. DESARROLLO

#### 2.1 Componentes del sistema.

Un sistema de refrigeración consta de cuatro equipos fundamentales (Fig. 1), ellos son el compresor, el condensador, el dispositivo de expansión y el evaporador, todos ellos conectados entre sí y por donde circula el refrigerante. Cada uno de los cuatro componentes de un sistema de compresión de vapor tiene su forma peculiar de funcionamiento y al mismo tiempo cada componente depende de las condiciones expuestas por los otros miembros del cuarteto.

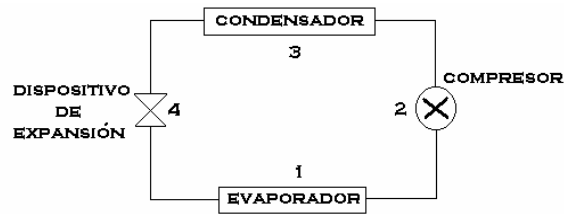


Fig. 1: Sistema de refrigeración

a) **Compresor:** El compresor es considerado el corazón del sistema de compresión de vapor, la función del compresor es elevar la presión del refrigerante hasta la presión correspondiente a la temperatura de saturación.

b) **Condensador:** El condensador es el lugar donde se produce la eliminación del calor en un sistema de refrigeración, es decir, recibe el vapor refrigerante sobrecalentado procedente del compresor, elimina el sobrecalentamiento y lo licua.

c) **Dispositivo de expansión:** Después del compresor y del condensador, el elemento fundamental que sigue en el sistema de compresión de vapor es el dispositivo de expansión. El fin del dispositivo de expansión es doble, debe reducir la presión del líquido refrigerante y debe regular el paso del refrigerante al evaporador. Un tipo de dispositivo de expansión es el de tubo capilar que es además el usado en los equipos domésticos.

d) **El evaporador:** El evaporador en un sistema de refrigeración es un intercambiador de calor en el que el calor pasa desde la sustancia que se va a enfriar hasta el refrigerante en ebullición. El objetivo de un sistema de refrigeración es absorber calor del aire, agua o cualquier otra sustancia, esta absorción se realiza en el evaporador a bajas temperaturas.

e) **Refrigerantes:** Un refrigerante es un medio de transmisión de calor, que absorbe calor al evaporarse a bajas temperaturas y lo cede al condensarse a altas temperaturas y presión. Se han utilizado más de 30 clases de refrigerantes aunque el más utilizados es de la familia del Freón, anhídrido sulfuroso y cloruro de metilo. Ejemplo de ellos son los hidrocarburos halogenados, dentro de los cuales se encuentra el refrigerante 12 (R-12) muy usado en la actualidad pese a la afectación que genera a la capa de ozono.

Todos los componentes antes mencionados conforman en el sistema dos grandes zonas, la zona de baja presión que es desde la salida del filtro dispositivo que se encuentra a continuación del condensador hasta la salida del evaporador, y la zona de alta presión que es a partir de aquí hasta el compresor.

Explicación teórica del funcionamiento de las distintas partes de la protección. Para dar una visión integral de la protección, en la Fig. 2 se muestra un diagrama en bloques de la misma, en el cual se pueden observar todas las partes que las componen, así como la interrelación que existe entre ellos.

En la Fig. 2 se ilustra un diagrama en bloques de la protección, en la cual se muestran todos los circuitos electrónicos digitales que la componen, así como la fuente de alimentación y el diagrama de flujo de energía que existe entre ellos, lo que permite comprender con mayor claridad su funcionamiento, el cual explicamos detalladamente a continuación. En este esquema no se incluyen los circuitos electrónicos desconectivos, pero sí el sensor de corriente.

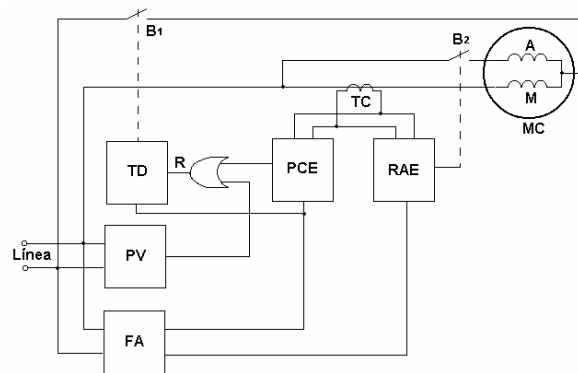


Fig. 2: Diagrama en bloques de la Protección

- PV - Protección contra alto y bajo voltaje. FA - Fuente de alimentación.
- PCE - Protección estática de sobrecorriente. TC - Transformador de corriente.
- RAE - Relé de arranque estático. MC - Motocompresor. M - Devanado de marcha.
- A - Devanado de arranque. TD - Temporizador digital. R - Reset del temporizador.

## 2.2 Relé de arranque

En la Fig. 3 se ilustra de forma aproximada como se comporta la corriente del motocompresor en el momento del arranque de la máquina. Como se puede observar, en fracciones de segundos se alcanzan valores de corrientes de hasta 6 veces el valor de régimen. La constante de tiempo de crecimiento exponencial de esta corriente depende del tipo y carga del motocompresor en cuestión.

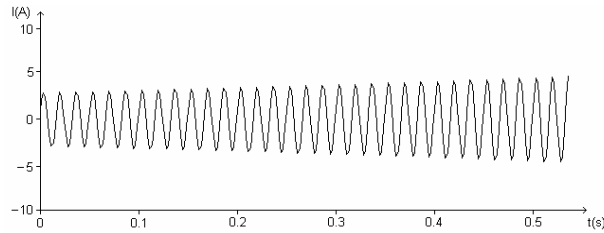


Fig. 3. Forma de onda de la corriente sinusoidal en la entrada del relé de arranque.

Este relé electrónico (Fig. 4) debe operar para conectar el devanado de arranque del motocompresor. Por esta razón debe sensarse la corriente del devanado de marcha del motor, lo cual se puede lograr usando un TC en dicha línea. A continuación esta muestra se convierte en tensión en la resistencia R4, se rectifica en el puente Pt2, se filtra en C5 y se condiciona en el divisor R5 y R6 para ser aplicada al comparador AO-2, el cual gobierna al transistor Q4 que conectará el devanado de arranque mediante el relé B2. En P1 se sitúa el valor correcto de referencia de corriente de arranque deseado, de acuerdo al tipo de carga o motor a proteger en el arranque.

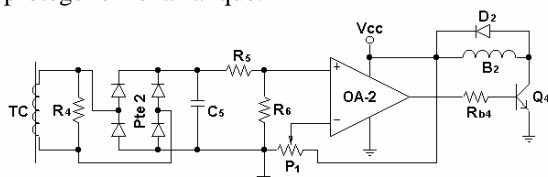


Fig. 4. Relé electrónico de arranque.

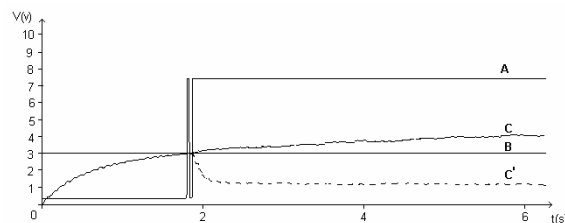


Fig. 5. Formas de onda en el momento del arranque.

- A: Tensión a la salida del operacional AO-2.  
 B: Tensión de referencia, entrada inversora del operacional.  
 C: Tensión en la entrada no inversora del operacional.  
 C': forma de onda real que debe tener la tensión.

El diodo D2 se utiliza como diodo de libre camino (free wheeling), protegiendo la unión base-colector del transistor. La resistencia R6 se utiliza para que la tensión a la entrada no inversora del AO-2 no sobrepase los límites admisibles en el momento del arranque y lo destruyan. En la Fig. 5 se muestran las formas de onda de este circuito en los puntos más importantes, de forma aproximada.

### 2.3 Bloque de control de tensión y tiempo de conexión (reconexión) de la carga.

Este circuito electrónico, es el encargado de sensar el rango de tensión permitido para la operación correcta de la carga en función del tipo y género de ésta. Además incluye la parte circuital que garantiza la conexión o reconexión de la carga luego de cierto tiempo, después de la energización del equipo. En nuestro caso desde ocho hasta diez minutos. Estos valores pueden ser mostrados en un display para conocer su valor en cada momento, pero esto encarece el circuito y por tanto no fue incluido. Los circuitos se muestran en las figuras 6 y 7.

### 2.4 Bloque temporizador de conexión (reconexión) de la carga

Este circuito electrónico (Fig. 6) consta de un multivibrador inestable, formado por los transistores Q1 y Q2 y los elementos asociados para lograr una frecuencia de operación de 1/6 Hz, la cual al ser dividida por el contador 74LS90 (CI1) se convierte en 1/60 Hz, o sea, período de 60 s (1 minuto)..De esta forma el contador que sigue realizará conteos de minutos para el tiempo requerido de conexión de la carga. A continuación el contador 74LS93 cuenta hasta 16 min, pudiéndose detectar hasta 12 min en la compuerta S-T 74LS132 (CI2/1). Note que estas entradas de la compuerta Nand pueden ser conectadas a cualquier combinación binaria (1-12) de la salida del contador 74LS93 (Qa, Qb, Qc y Qd). El CI2/2 es el encargado de detener o frenar el contador en este momento y mandar a conectar la energía. Esto se lleva a cabo mediante el transistor Q3 que se satura y hace operar al relé B1 y el contacto B1-1 conecta la energía. Al mismo tiempo, el LED D1 indica que la carga se encuentra conectada.

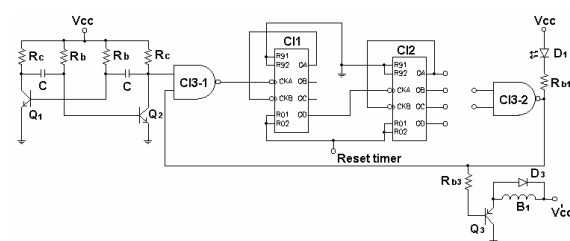


Fig. 6. Circuito temporizador para la conexión / reconexión de la carga.

Este circuito puede y debe ser borrado cuando se produzca una tensión de entrada que esté fuera del rango previsto para dicha carga ó que exista en la carga una corriente mayor que la prevista para el estado de régimen.

De esta forma, mediante el Reset del Timer se puede sacar de servicio la carga para su total protección. Esto se logra a alta velocidad, ya que solo demora el tiempo de propagación de la lógica TTL que es del rango de los ns.

### 2.5 Protección de tensiones máxima y mínima

Para sensar el valor de la tensión de línea se emplea el Pte 1 con su filtro C1 que evita actuar ante perturbaciones ruidosas de línea y acondiciona la señal, esta tensión es sensada en los divisores de baja tensión (activa en Low) y alta tensión (activa en High); resistencias R7, R8, R9 y R10. Los capacitores C3 y C4, se emplean para eliminar cualquier señal ruidosa en la línea. Además, aquí se emplea el CI4 para lograr que la protección de sobrecorriente de tiempo inverso pueda sacar de operación al equipo, a través del Reset. Esto se logra mediante la variable lógica I que sale activa en Low del CI4 (74LS00).

La salida de este circuito lógico obedece a la siguiente ecuación:

$$\text{Reset} = V + V I \text{ ó } \text{Reset} = I + V I.$$

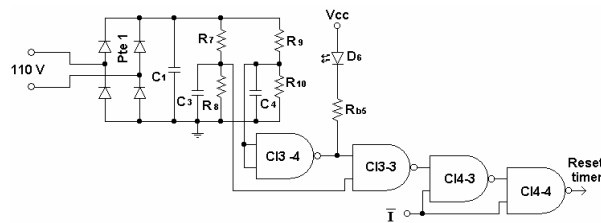


Fig. 7: Circuito protector de alto y bajo voltajes.

### 2.6 Relé de sobrecorriente

En la Fig. 8 se muestra el circuito electrónico del relé de sobrecorriente. Para lograr sensar la corriente del motocompresor se utiliza el TC en la línea del motocompresor, descrito anteriormente, de forma tal que al circular una corriente por ella, se produzca una caída de voltaje que se toma como muestra en R4. Esta se rectifica, se filtra y se condiciona, introduciéndose en la entrada inversora del amplificador operacional OA-3, que conjuntamente con el CI6 forman el convertor voltaje corriente de la protección de tiempo inverso, la cual gobierna el devanado de marcha del motor.

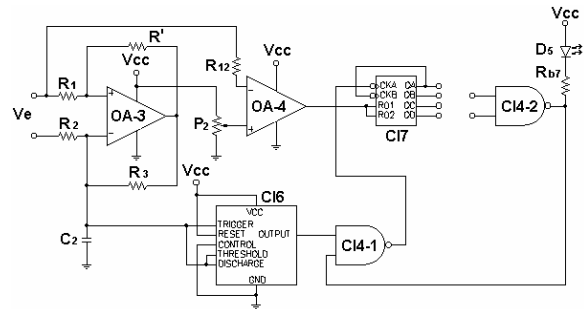


Fig. 8 Relé electrónico de sobrecorriente de tiempo inverso.

### 2.7 Conversor voltaje corriente (V/I)

En el momento de arranque del motocompresor la corriente aumenta bruscamente, actúa el relé de arranque y su salida bloquea el convertor V/I a través de la entrada Reset del CI6 (LM555), haciendo que el CI7 no cuente, aunque esté activado por la salida del OA-4. De hecho no actúa el tiempo inverso de sobrecorriente. Así la protección de tiempo inverso actúa para corrientes mayores que las de régimen y menores que las de arranque.

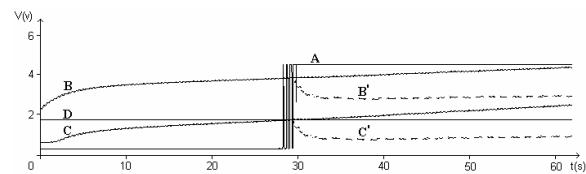


Fig. 9. Curvas en el proceso de la sobrecorriente.

- A: Tensión en la salida del operacional A.O.3.
- B: Tensión después de ser rectificadada en el puente 2 (B<sup>I</sup>: forma de onda real que debe tomar la tensión).
- C: Tensión en la entrada (+) del A.O.4. (C<sup>I</sup>: forma de onda real que debe tomar la tensión).
- D: Tensión en la entrada (-) del A.O.4.

### 2.8 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación que se utiliza para alimentar los amplificadores operacionales, circuitos integrados TTL, transistores y relés (Fig. 10), se usa además como referencia de voltaje regulado en los AO. La misma consta de un regulador seguidor por emisor que brinda las 2 tensiones necesarias con el rango de estabilización requerido para esta aplicación y se logra que dicha realización no encarezca el diseño.

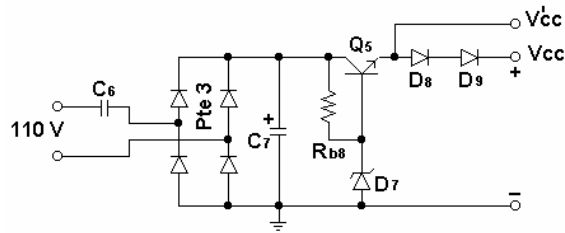


Fig. 10: Fuente de alimentación de la protección.

### 3. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis general de las características y funcionamiento de los sistemas de refrigeración y en especial los motocompresores, así como las principales afectaciones que pudiera traer cualquier desviación, fluctuación o falta de energía.

Se diseñó y construyó una protección estática digital capaz de detectar y evitar que perturbaciones en la energía eléctrica dañen los equipos de refrigeración.

Se logró una protección instantánea contra fluctuaciones de la energía eléctrica, operando más rápido que los recierres de las protecciones de los sistemas de distribución.

### REFERENCIAS

- [1]. ALTUVE, F. H. Protección por relevadores estáticos / Hector Altuve F. -- Santa Clara: UCLC. 1996
- [2]. COPELAWELD. Wholosaler specifications & accessories for standard copelaweld "S" motor-compressors -- Indiana, USA. Julio, 1983.
- [3]. CORRALES y otros. Fuente de alimentación para relés estáticos. Revista CCA (en proceso de edición).
- [4]. HERNÁNDEZ, MERCEDES. Refrigeración. La Habana, Cuba: Editorial Científico Técnica, 2001. -- 96p
- [5]. INCERA, CARLOS DE LA Protección de máquinas eléctricas de bajo voltaje / Carlos De La Incera, Miguel Padilla Caniero – La Habana. ISPJAM, 1999
- [6]. MANLY, H.P Refrigeración Práctica. Barcelona, España: Editorial José Montesco, 1965. -- 265p
- [7]. MARKUS. Modern Electronic Circuits reference manual / John Markus. -- USA: McGraw-Hill, 1980. - - 1238p
- [8]. MASON RUSSELL C. The Art a Science of Protective Relaying. Edición Revolucionaria 1968. -- 410 p.
- [9]. MILLMAN JACOB y Halkias Christos C. Dispositivos y Circuitos Electrónicos. Ediciones Pirámides, S.A. Madrid 1974. -- 869 p
- [10]. OJER, PINZO, M.J. Manual de climatización. -- España, Servicios de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, 1995. -- 328p
- [11]. PEREZ CARRILLO Cálculo de instalaciones frigoríficas / Carrillo Pérez, José M, -- España: Universidad Politécnica de Valencia, 1995. -- 438p
- [12]. TECUMSEH. Hermetic compressors. Michigan, USA. Septiembre, 1985.