

PRÁCTICA #4

"ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO"

ARRANQUE DIRECTO

ARRANQUE POR RESISTENCIAS ESTATORICAS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ERICK CONDE

PARALELO: 4

No. DE GRUPO: 2

FECHA DE PRÁCTICA: 7 DE NOVIEMBRE DEL 2012

OBJETIVOS

- Observar, analizar y comparar las características de arranque de un motor de inducción trifásica a tensión nominal y a tensión reducida
- Usar los tableros de C.A. (Panel de control Hampden y Tablero Didáctico de Automatismos Simatic, TDAS)
- Programar el PLC Simatic 57-200

EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR

- 1 Panel de control Hampden modelo H-REM-ACDC-MC motor controller
- 1 Tablero Didáctico de Automatismos Simatic, PLC Simatic 57200 y computador
- 1 Motor de Inducción Trifásico Saela de Ardilla (Hampden)
Type IM-100X No. 3108, 220V, 2A, 0.5HP, 60Hz, 1725 Rpm, AL
- 1 Pinta amperométrica Fluke 337
- 1 Politer Quality Analyzer Fluke 43B

PROCEDIMIENTO

PRIMERA PARTE:

ARRANQUE DIRECTO USANDO RELÉS (lógico de relés)

- 1) Calcule el rango estimado de los valores de la corriente de arranque del motor a tensión nominal conociendo los siguientes datos:

Voltaje de línea nominal = 220V

$I_{\text{nominal}} = 2 \text{ A}$. Motor Hampden

- 2) Conecte en forma adecuada el devanado del estator (delta paralelo) de la máquina Hampden para que funcione como Motor de Inducción

Saula de Ardella (MISA) 3φ

- 3) Diseñe el circuito de control para el arranque directo de un Motor de Inducción Trifásico, ver el circuito de fuerza en la fig 1. de acuerdo a las siguientes especificaciones: a) Una botonera de marcha y una botonera de paro, b) Al dar marcha arranque a tensión nominal, c) Se puede parar el motor en cualquier momento. Pulsando paro, d) Protección contra cortocircuitos y sobrecarga

- 4) Implemente el circuito de control y pruebe dicho circuito.

- 5) Realice las conexiones para el circuito de fuerza según la figura 1

- 6) Arranque el motor a tensión nominal y:

- a) Obtenga la curva de corriente durante el arranque y estado estable con el fluke 43B y determine el valor pico inicial de la I_{arranque} y el tiempo de arranque

- b) Con la pinza amperimétrica Fluke 337 mida el valor inicial de la I_{arranque} y la corriente de operación en estado estable del MISA 3φ

SEGUNDA PARTE:

ARRANQUE A TENSION REDUCIDA POR RESISTENCIAS ESTATORICAS

UTILIZANDO TDAS - PLC (lógica estática)

- 1) Calcule el valor estimado de la corriente de arranque del motor a tensión reducida, suponiendo que las resistencias que se colocan en el estator producen un voltaje en el motor del 50% del Voltaje nominal y que la $I_{arranque}$ a tensión nominal es $5I_{nominal}$ y además se conoce que para el MISA 3φ

Voltaje de línea nominal = 220V . $I_{nominal} = 2A$ Motor Hampden

- 2) Conecte en forma adecuada el devanado del Estator (delta paralelo) del motor Hampden para que funcione como Motor de Inducción 3φ
- 3) Diseñe el circuito de control para el circuito de fuerza del arranque por resistencias estáticas del Motor de Inducción 3φ
- 4) Identifique las entradas y salidas para el arranque por resistencias con su respectiva dirección para el PLC
- 5) Programe el PLC S7200 del tablero didáctico de automatismo TDAS, de manera que cumpla con las condiciones del circuito de fuerza y control para arranque por resistencias estáticas
- 6) Cargue la programación hecha en PLC en el CPU 224 XP
- 7) Realice las conexiones del control en el TDAS y pruebe el circuito de control
- 8) Una vez realizado el paso anterior proceda a conectar el circuito de fuerza, ajuste las resistencias en 10Ω o afine al valor adecuado para que arranque con el 50% de la tensión nominal; y
- 9) Arranque el motor a tensión reducida para una temporización de 0.2 segundos y;

- a) Obtenga la curva de corriente durante el arranque y estado estable con el Fluke 43B y determine el valor del primer y segundo pico de la I arranque y el tiempo de arranque
- b) Con la pinza amperimétrica Fluke 337 mida el valor inicial y el valor máximo de la I arranque y la corriente de operación en estado estable del MISA 3Ø
- 10) Repita el paso anterior para una temporización de 0.8 segundos
- 11) Repita el paso 9 con las resistencias estáticas ajustadas en 6Ω y afinadas para que arranque con el 80% de la tensión nominal

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Existen métodos para arrancar un motor de inducción los cuales son:

- Arranque directo
- Arranque a tensión reducida
- Arranque con modificación de impedancia del motor

Pero en nuestro caso hallaremos de 2 métodos y estos son:

ARRANQUE DIRECTO

La manera más sencilla de arrancar un motor de jaula es conectar el estator directamente a la línea, en cuyo caso el motor desarrolla durante el arranque el par que señala su características par-velocidad. En el instante de cerrar el contactor del estator, el motor desarrolla el máximo par de arranque y la corriente queda limitada solamente por la impedancia del motor.

A medida que el motor acelera, el deslizamiento y la corriente disminuye hasta que se alcanza la velocidad nominal

Cuando un motor de inducción arranca directamente desde una fuente de alimentación, la corriente de arranque es de 4 a 7 veces la corriente nominal; esto puede causar problemas si el sistema de alimentación no está diseñado para soportar sobrecargas momentáneas, por lo tanto el motor debe disponer de un sistema de arranque para limitar la corriente en el arranque según las características físicas del sistema de alimentación y este corresponde al otro método utilizado en la práctica el cual es:

ARRANQUE A TENSION REDUCIDA POR RESISTENCIAS ESTATORICAS

En el arranque a tensión reducida se aplica un voltaje nominal en los terminales del estator, ya que la corriente en el estator se relaciona por:

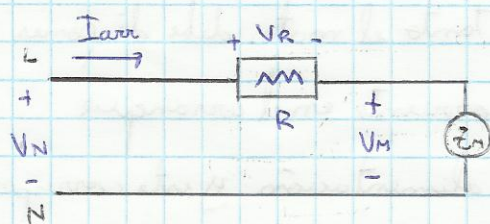
$$I = \frac{V}{Z_{eq}}$$

Cuando se arranca a tensión reducida el tiempo de aceleración es mayor debido que el voltaje en los terminales del motor disminuye y por lo tanto el torque disminuye ya que:

$$\tau \propto V^2$$

Esta disminución del voltaje aplicado en los terminales del estator se logra intercalando resistencias en serie con el devanado del estator durante el periodo de arranque. Una vez que se da el periodo de arranque las resistencias se retiran del estator y el motor opera normalmente a corriente nominal.

En la etapa de arranque la corriente es elevada debido a que el deslizamiento (s) de la máquina es máximo y la impedancia en el circuito equivalente del motor es mínima



$$V_M = a V_N ; 0 < a < 1$$

$$I_{arr} = \frac{V_M}{Z_M} \Rightarrow I_{arr} = a \frac{V_N}{Z_M}$$

$$I_{arr TR} = a I_{arr din} ; I_{arr din} = 4-7 I_{nominal}$$

$$T_e = \frac{V_M^2 R_R'}{s R_s [(R_s + \frac{R_R'}{s})^2 + (X_s + X_R')^2]} \Rightarrow T_{arr TR} \propto V_M^2 \Rightarrow T_{arr TR} \propto a^2 V_N^2$$

$$T_{arr TR} = a^2 T_{arr TN}$$

A tensión reducida la curva de torque elec vs deslizamiento tendrá la siguiente forma:

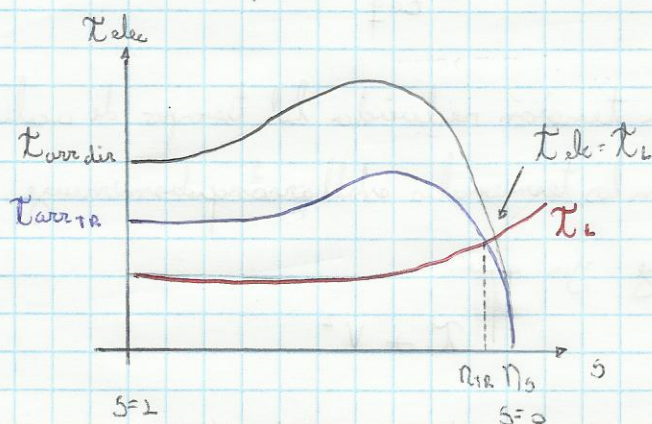
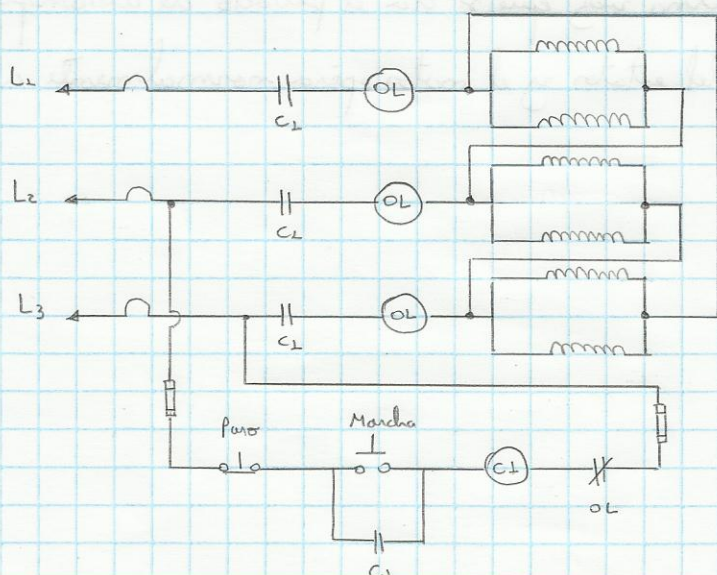


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

- Arranque directo del motor de inducción



Sec. Operación

- 1) Marcha C_1 "ON"
- 2) Paro C_1 "OFF"

El diagrama corresponde al circuito de fuerza y control para arranque directo, al pulsar marcha se energiza la bobina del contactor C1 y cierra sus contactos haciendo que el motor arranque, al pulsar paro el contactor C1 se repone haciendo que el motor se detenga.

CÁLCULOS

$$I_{arr} = 4-7 I_{nom}$$

TEÓRICA

MEDIDO

DEL GRÁFICO

$$I_{arr2} = 8A, 14A$$

$$I_{arr2} =$$

$$I_{arr3} =$$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{arr2} - I_{arr3}}{I_{arr2}} \times 100\%$$

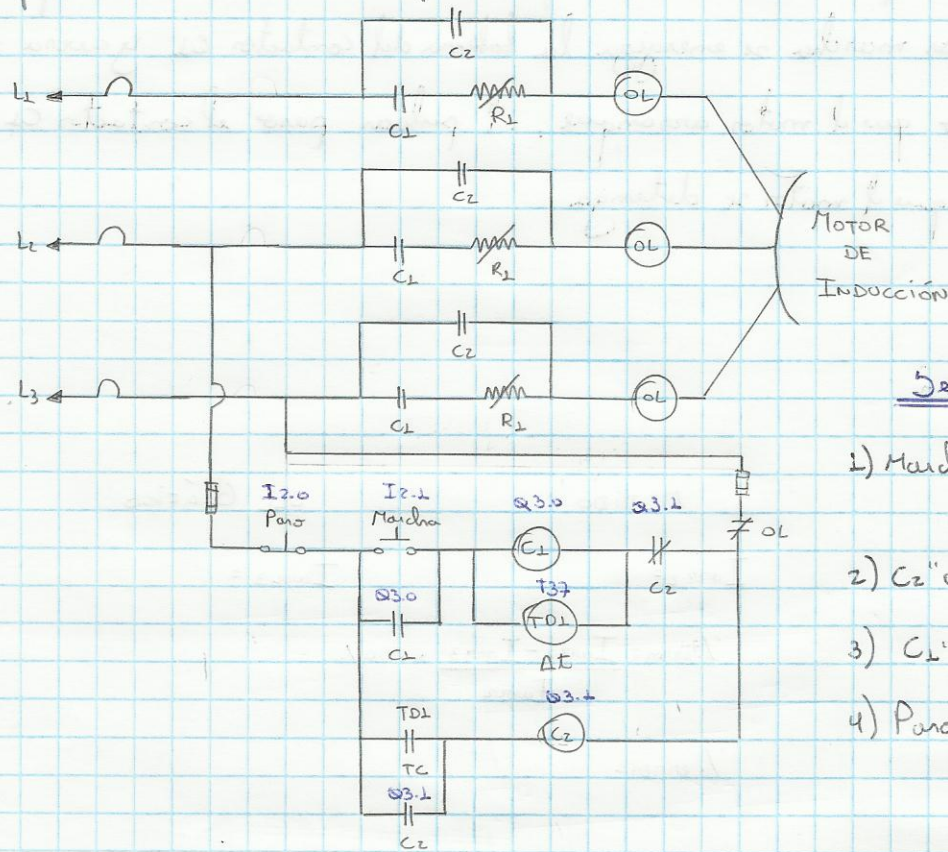
$$\% \text{ error} =$$

COMENTARIO

Aquel porcentaje de error en la corriente de arranque se debe que al energizar el circuito el voltaje en la alimentación disminuye ya que no es ideal y varía cuando se conecta carga, otro factor es la resistencia; ya que solamente no esta presenta la resistencia en los devanados del estator sino tambien esta la del conductor, aunque es mínima pero me afecta directamente a nuestro valor medido.

Ademas el fluke 430 que en nos muestra el gráfico I_a vs t nos muestra un valor aproximado al teórico ya que la precisión de este instrumento en este caso depende de la tasa de muestreo, mientras mejor es la tasa de muestreo nuestros valores serán mas cercanos a los reales, de igual manera ocurre con el fluke 337 pero a diferencia, los datos que nos arroja este instrumento tienen mas error ya que la tasa de muestreo es mucho menor que la del fluke 430 es decir coge pocos puntos de la señal de voltaje que en el peor de los casos estos puntos no sean los valores mas altos de la onda ya sea de voltaje o corriente.

- Arranque a tensión reducida por resistencias estáticas de un motor de inducción



Sec. Operación

- 1) Marcha C_1 "ON", TOL "ON"
↓ Δt
- 2) C_2 "ON"
- 3) C_1 "OFF", TOL "OFF"
- 4) Paro C_2 "OFF"

El diagrama corresponde al circuito de fuerza y control de arranque por resistencias estáticas, al pulsar marcha C_1 y TOL se energizan y cierran sus contactos y el motor arranca, el temporizador TOL comienza su cuenta y después de un Δt que en nuestro caso serán 0,2 y 0,8 seg sus contactos se cerrarán permitiendo que C_2 se energice y cierre sus contactos sacando el paro de resistencia conectado en serie con el estator y además se desenergiza a C_1 y TOL ; al pulsar paro C_2 se desenergiza y abre sus contactos haciendo que el motor se detenga.

LOGICA DE PLC

Entradas

Paro = $I_{2.0}$

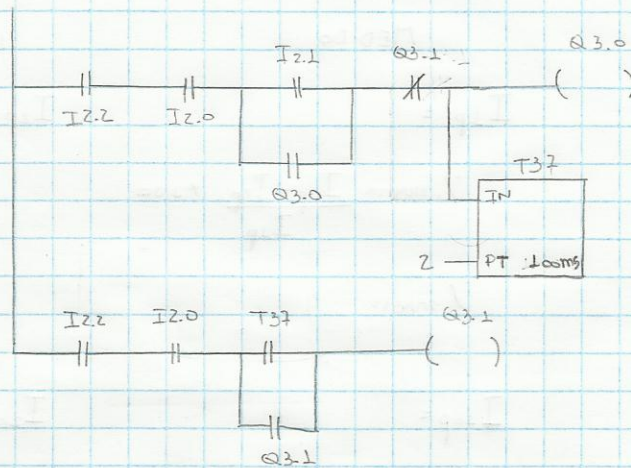
Marcha = $I_{2.1}$

$OL = I_{2.2}$

Salidas

$C_1 = Q_{3.0}$

$C_2 = Q_{3.1}$



CÁLCULOS

$I_{arr\ TR} = I_{arr\ dir}$

TEÓRICO

MEDIDO

DEL GRÁFICO

$$\Rightarrow I_{arr1} = 50\% (8; 14) = 4.7\text{ A}$$

$$I_{arr2} =$$

$$I_{arr3} =$$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{arr2} - I_{arr3}}{I_{arr2}} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} =$$

Para 1^{er} pico

$$I_{1p} =$$

$$I_{2p} =$$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{1p} - I_{2p}}{I_{1p}} \times 100\%$$

Para I_{op} máxima

$$I_{1op} =$$

$$I_{2op} =$$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{1op} - I_{2op}}{I_{1op}} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} =$$

$$\Rightarrow I_{arr1} = 80\% (8; 14) = 6.4; 11.2\text{ A}$$

$$I_{arr2} =$$

$$I_{arr3} =$$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{arr2} - I_{arr3}}{I_{arr2}} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} =$$

MEDIDO

DEL GRÁFICO

Para I_p pico

$I_{1p} =$

$I_{2p} =$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{1p} - I_{2p}}{I_{1p}} \times 100$$

$\% \text{ error} =$

Para I_{op} operación

$I_{1op} =$

$I_{2op} =$

$$\% \text{ error} = \frac{I_{1op} - I_{2op}}{I_{1op}} \times 100\%$$

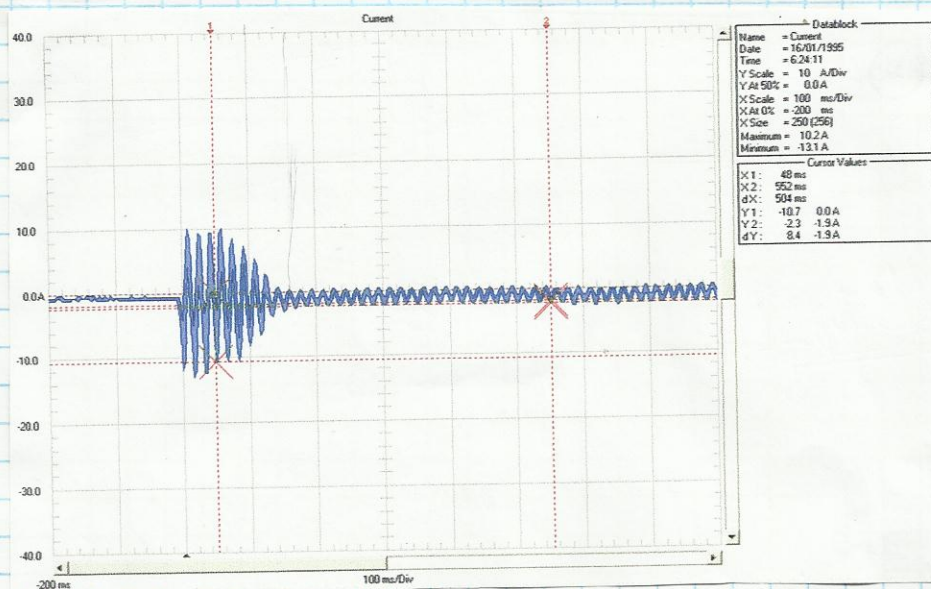
$\% \text{ error} =$

COMENTARIO

Los porcentajes de error se deben a los mismos factores antes mencionados ya que se utilizaron los mismos elementos y el valor de la alimentación no fue modificado por lo que la proporción en el error son iguales en el caso anterior

GRÁFICO Y TABLA DE RESULTADOS

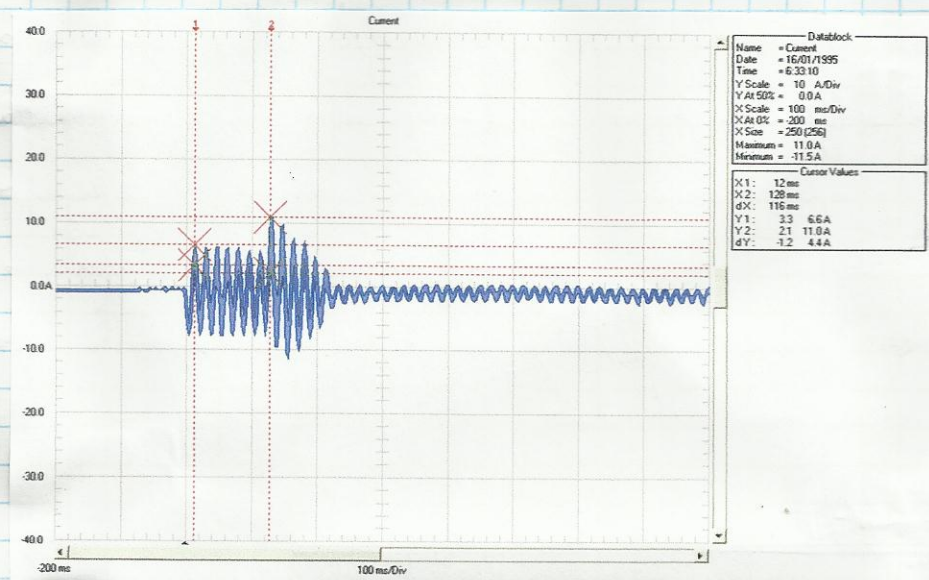
ARRANQUE DIRECTO



El gráfico corresponde al arranque directo del motor de inducción en donde la corriente de arranque es 10.2 A el cual se encuentra dentro del rango teórico que habíamos calculado que es entre $8 - 14 \text{ A}$; el tiempo de aceleración en este arranque será mayor que los demás ya que el voltaje en los terminales del motor en el arranque será el nominal y como el torque electromagnético es proporcional al voltaje al cuadrado; el par acelerante será mayor y como consecuencia el tiempo de aceleración es mayor y resultó ser de 160 ms ; a este tiempo el motor llega a su corriente de operación el cual es de 1.1 A

ARRANQUE TENSION REDUCIDA (50% V_{NOMINAL})

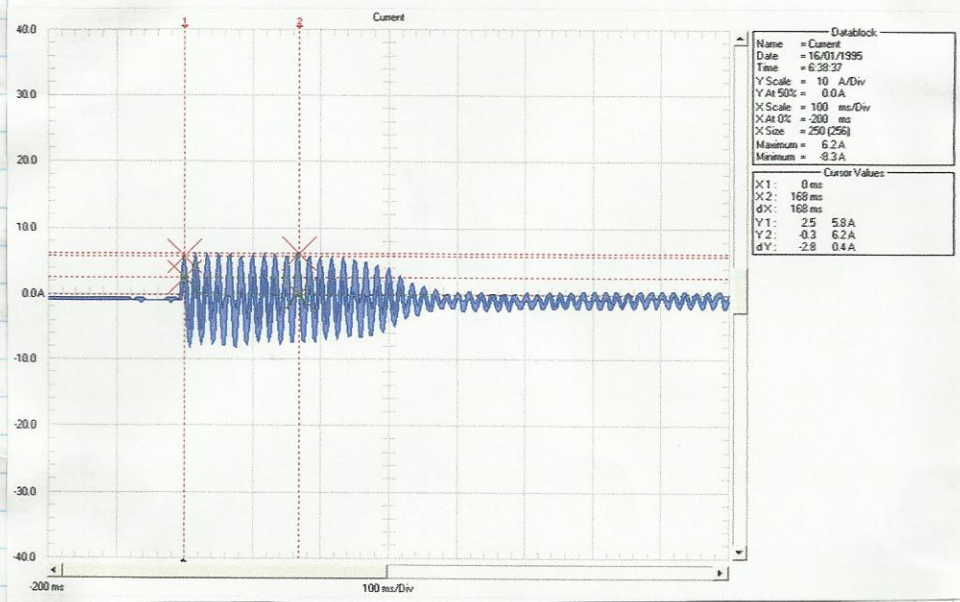
* PAR 0.252 g



Se puede observar que el segundo pico es mayor al primero que es aproximadamente 1.1 A , podemos notar que la corriente de arranque a 50% de V_{nominal} es aproximadamente 0.6 A , es el 50% de la $I_{\text{arranque directo}}$ ya que teóricamente la $I_{\text{tension reducida}} = \frac{1}{2} I_{\text{arr directo}}$ que en nuestro $\frac{1}{2} = 50\%$, $I_{\text{arr dir}} = 10.2 \text{ A}$

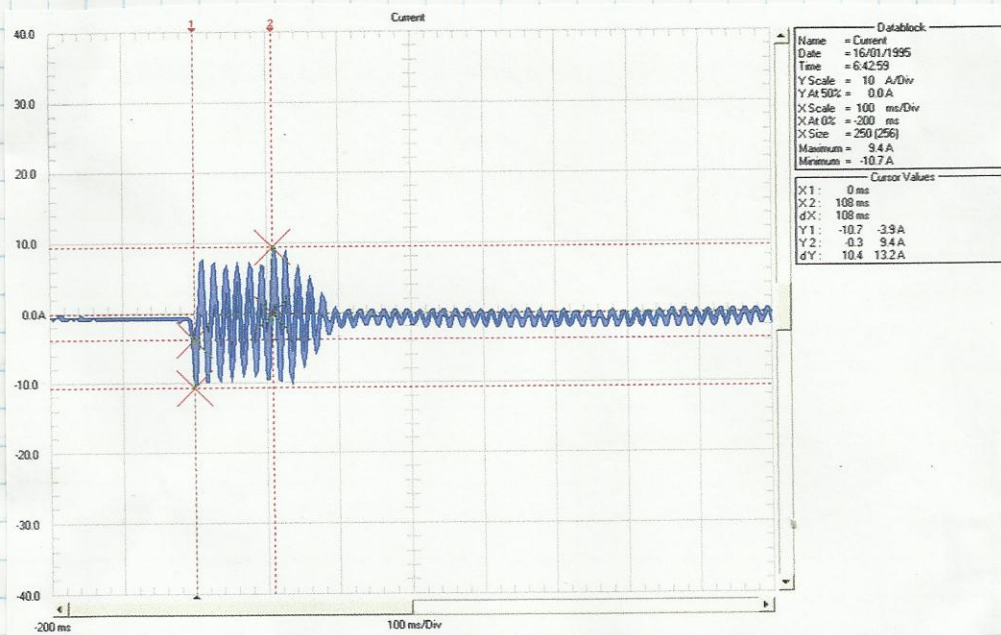
Con respecto al tiempo de aceleración, este es mayor que en el de arranque directo ya que $T \propto V^2$ por lo que el voltaje en los terminales del motor se reduce, el par acelerante reduce más haciendo que la aceleración angular sea menor y por lo tanto el tiempo de aceleración sea mayor.

* PARA 0.8 seg



En este gráfico no se puede apreciar el 2do pico ya que el tiempo en el cual se saca el paso de resistencia fue muy largo y en nuestro caso fue de 0.8 seg, a este tiempo el motor ya ha alcanzado su corriente de operación, y el tiempo en el cual se saca la resistencia no hubiese sido tan grande, este segundo pico fuera menor que el primero debido que el deslizamiento ha disminuido y por lo tanto la impedancia en el motor hubiese aumentado

ARRANQUE TENSIÓN REDUCIDA (80% $V_{NOMINAL}$)



Evidentemente el primer pico para esta condición es mayor que en el anterior ya que el voltaje en el terminal del motor es 30% mas que en el caso anterior además esto lleva que el tiempo de aceleración sea mas corto que cuando al 50% del voltaje nominal, el segundo pico debiera ser mayor que la del caso anterior, pero resultan ser aproximados, una de las causas se debe que el valor ajustado por el peso de resistencia no hace que en los terminales del motor aparezca exactamente un 30% del voltaje nominal.

PREGUNTAS

- 1) ¿Qué porcentaje de sobrecarga sobre el valor de la corriente nominal fija usted en el relé térmico de protección contra sobrecarga?
- 2) ¿Cuántas veces resulta ser experimentalmente los $I_{arranque}$ a tensión nominal y a tensión reducida en relación a la $I_{nominal}$?

La corriente de arranque a tensión nominal es aproximadamente $3.6 I_{nominal}$, en cambio la corriente de arranque al 50% de la nominal es $2.3 I_{nominal}$ y la corriente de arranque al 80% de la nominal es $2.83 I_{nominal}$.

- 3) ¿Por qué este valor de corriente de arranque no hace que desprende el breaker (o no se funda el fusible) y no actúa el relé térmico de sobrecarga?

El fusible y el relé térmico son para sobrecarga sostenida estos dispositivos sienten la corriente e indirectamente la temperatura; esta sobrecorriente es de tipo momentánea por lo cual el conductor no se calentará ya que para hacerlo esta sobrecorriente deberá estar presente durante un tiempo mas prolongado que que desprende el breaker.

- 4) ¿Por qué se arrancan los motores de inducción a tensión reducida?

Se debe arrancar el motor a tensión reducida ya que al arranque la corriente es muy grande de 4 a 7 veces la corriente nominal, la cual puede causar problemas si el sistema de alimentación no está diseñado para soportar sobrecarga instantáneas, además este arranque puede provocar una aceleración excesiva y provocar roturas.

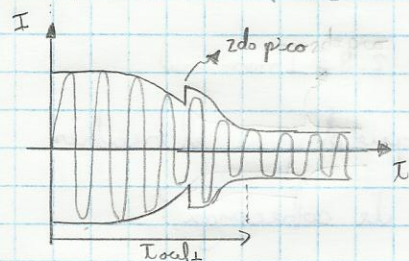
5) ¿Que sucede si de funcionamiento a tensión reducida, pasamos a tensión nominal:

a) Después de un tiempo adecuado de aceleración (tiempo suficientemente largo)

b) Antes de que termine el periodo de aceleración o arranque (tiempo muy corto)

Para a)

Para nuestro caso si pasamos de tensión reducida a la nominal el segundo pico no será mayor que el primer pico ya que el deslizamiento habrá disminuido lo suficiente y por lo tanto la impedancia ha aumentado haciendo que la corriente en el motor disminuya.

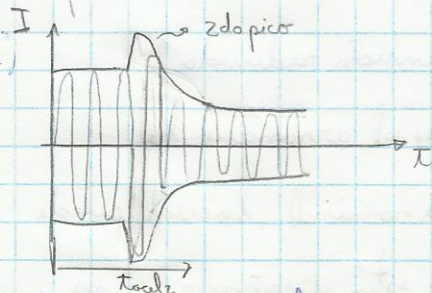


$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{\left(R + \frac{R'}{s}\right)^2 + (X + X')^2}} ; s \downarrow \Rightarrow Z \uparrow \Rightarrow I \downarrow$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{|Z|}$

Para b)

Si pasamos de tensión reducida a la nominal en un tiempo muy corto el deslizamiento no habrá disminuido lo suficiente por lo que la impedancia no aumente mucho y como consecuencia el segundo pico será mayor al primero es decir la del arranque.



$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{\left(R + \frac{R'}{s}\right)^2 + (X + X')^2}} ;$$

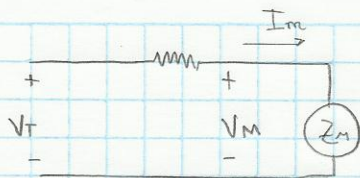
$\underbrace{\hspace{10em}}_{|Z|}$

s no disminuye mucho $\Rightarrow Z$ no disminuye $\Rightarrow I$ no disminuye mucho

$$T_{acel1} > T_{acel2}$$

b) ¿Cómo afecta al par de arranque la tensión reducida? Justifique con fórmulas

La tensión reducida afecta en el torque electromagnético ya que $T \propto V^2$ y si el voltaje en los terminales del motor es muy reducido el torque disminuye aun mas haciendo que el tiempo de arranque sea mayor.



$$V_m = \alpha V_T$$

$$\text{Si } \alpha \downarrow \Rightarrow V_M \downarrow \Rightarrow T_e \downarrow$$

$$T_e = \frac{3 V_m^2 R_n'}{S n_s \left[\left(R_s + \frac{R_n'}{s} \right)^2 + (X_s + X_n')^2 \right]}$$

7) Indique las entradas y salidas con su respectiva dirección que utiliza en el PLC para el arranque por resistencias

* Entradas: 1) OL : : I2.0

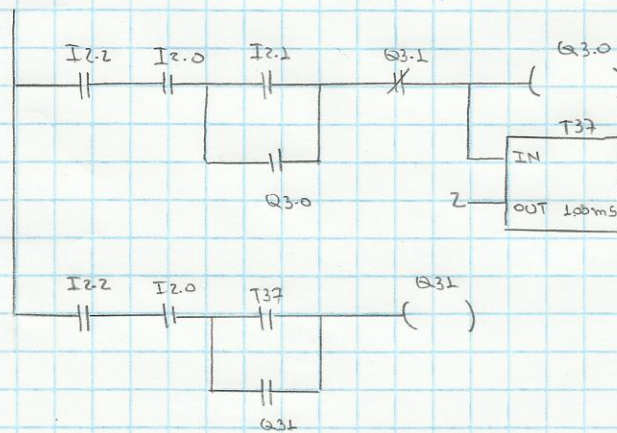
2) Marcha: : I2.1

3) Paro: : I2.2

* Salidas: 1) Contactor C1 : : Q3.0

2) Contactor C2: : Q3.1

8) Realizar la programación del arranque por resistencias estáticas mediante el PLC con las especificaciones dadas en el procedimiento



9) ¿De qué depende el tiempo de arranque de un motor de inducción?

Depende del voltaje en los terminales del motor, si este voltaje disminuye entonces el torque disminuye aun mas ya que $T \propto V^2$ por lo que la aceleración angular disminuirá ya que $\downarrow T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \downarrow$ y como consecuencia el tiempo de aceleración aumentará con respecto al arranque directo.

10) Dibuje el diagrama del cableado físico de fuerza y control del arranque implementado con resistencias estáticas sobre el tablero TABS y el panel Manpower ver el anexo