

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
COORDINACIÓN DE MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA E INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
MENCIÓN MECATRÓNICA

EC7136 - Electrónica de Potencia II

Profesor: José A. Restrepo

Estudiante: William Chacón

Carnet: 20-91334

TAREA 4:

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se presenta una máquina de inducción, con sus correspondientes datos ofrecidos por el fabricante. A la misma se requiere implementar un control de velocidad, así como un DTC que permita asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

El objetivo es lograr controlar la velocidad, instalando un control PI que mande su señal de salida como la referencia del torque del sistema, de modo que permita reducir el rizado de la salida, ofreciendo una mejor y más robusta respuesta.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL: DTC Y PI

En esquema emulado para la siguiente etapa se aprecia a continuación, en la Figura 2. 1. Este tipo de sistema de control resulta ser muy atractivo por su simplicidad y resultados aceptables para la mayoría de implementaciones. En el presente escrito, se procederá a realizar una implementación del mismo como lazo interno de control. Como se puede apreciar, este tipo de controlador tiene dos variables de control: El torque del motor y el campo magnético del mismo. Como se exige implementar un control de velocidad, se anexará al DTC un lazo externo de control para la misma, cuya salida corresponda directamente con la referencia de Torque, ya que son dos variables directamente relacionadas como las salidas de interés de cualquier máquina AC.

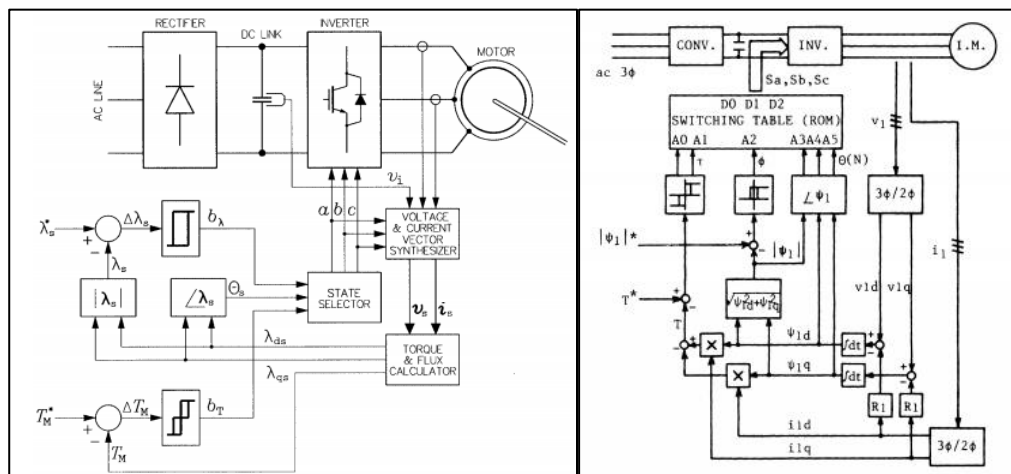


Figura 2. 1; Diagramas de bloques del sistema DTC general.

Para realizar una buena implementación del algoritmo, es importante entender cómo es el funcionamiento de cada una de sus partes, por lo que se procederá a explicar las mismas, junto con la lógica usada en la correspondiente programación del código en lenguaje C.

Sintetizador o transformador vectorial del espacio a-b-c al espacio d-q

Como su nombre lo indica, es el encargado de traducir o transformar la corriente y tensión del sistema, descrito en el espacio a-b-c al espacio d-q, de forma que se reduzca el número de variables, manteniendo la información del sistema intacta, facilitando la ejecución del sistema de control.

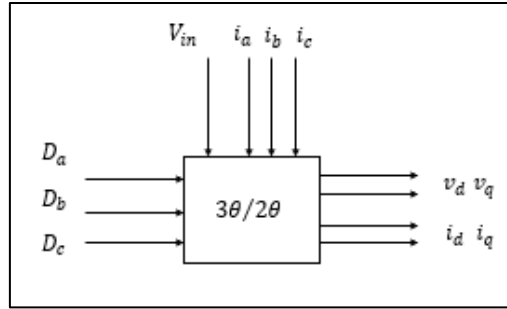


Figura 2. 2: Esquema de entradas y salidas del bloque $3\theta/2\theta$ (a-b-c \rightarrow d-q).

Para el siguiente caso, se introduce la tensión de alimentación DC, V_{in} , junto con las señales de cada uno de los conmutadores del puente trifásico, D_a , D_b y D_c , las cuales solo pueden tomar valores dentro de $\{0, 1\}$, que se encargarán de sintetizar la tensión DC en su correspondiente análogo en el espacio a-b-c a través de la siguiente relación

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = \frac{V_i}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_a \\ D_b \\ D_c \end{bmatrix}$$

Posteriormente, tanto para las corrientes como las tensiones trifásicas, se aplicará la transformación de Clarke, la cual consiste en:

$$\beta_{dq} = \beta_a + \beta_b e^{2\theta j} + \beta_c e^{4\theta j}$$

Para este caso, $\theta = \pi/3$, por lo que $e^{2\theta j} = -\frac{1}{\sqrt{2}} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ y $e^{4\theta j} = -\frac{1}{\sqrt{2}} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$. β puede ser tanto la variable tensión o la de corriente.

En este caso, se tuvo que realizar una transformación intermedia, del espacio a-b-c al espacio x-y de éste al espacio d-q.

Calculador de Torque y Flujo magnético

Este módulo parte de las entradas del espacio d-q para determinar los valores de torque y flujo magnético en este mismo espacio (ver Figura 2. 3).

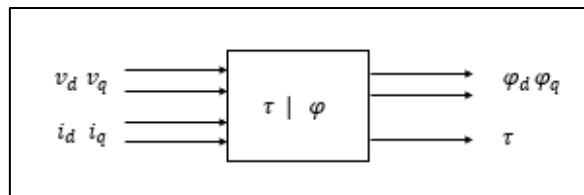


Figura 2. 3: Esquema de entradas y salidas del bloque $\tau \mid \varphi$.

Los cálculos de flujo se basan en las siguientes expresiones

$$\varphi_{dq} = \varphi_d + j\varphi_q = \int (v_d - R * i_d)dt + j \int (v_q - R * i_q)dt$$

$$\tau = \varphi_d i_q - \varphi_q i_d$$

Para el caso del método iterativo, que busca determinar el valor de las variables para cada instante de tiempo, φ_{dq} , al ser una integral del tiempo, puede ser visto como un acumulador para cada discretización temporal, Δt . Es decir

$$\varphi_{d_t} = (\varphi_{d_{t-1}} + (v_d - R * i_d)\Delta t)$$

$$\varphi_{q_t} = (\varphi_{q_{t-1}} + (v_q - R * i_q)\Delta t)$$

Para las etapas el cálculo del módulo y fase del campo magnético, se aplicó la norma euclídea y la arco-tangente de las componentes en en plano d-q. para los bloques de histéresis, simplemente se colocó una condición a cumplir de acuerdo a una proporción del valor nominal y de operación del sistema.

Posteriormente, se implementó el bloque encargado de decodificar las secuencias de conmutación para cada una de las fases definidas en la Figura 2. 4, que se presentan en la Figura 2. 5. Dicha tabla es el pilar fundamental del algoritmo, pues es la que se encargará de permitir el correcto desarrollo del sistema de acuerdo a las condiciones del mismo. El esquema de la misma se muestra en la Figura 2. 6.

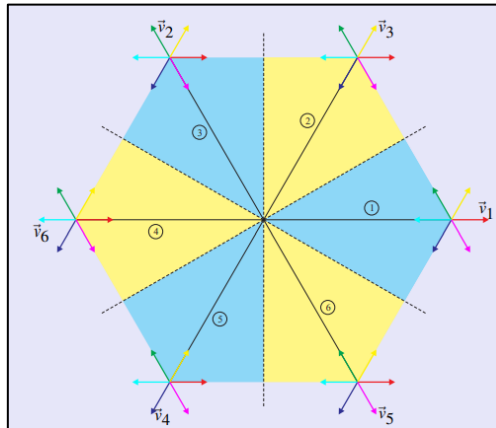


Figura 2. 4: Esquema de conmutaciones de acuerdo a la región donde se encuentre ubicado el flujo.

Flux e	1			0		
N\Torque e	1	0	1	1	0	-1
	c b a	c b a	c b a	c b a	c b a	c b a
1	0 1 1	0 0 1	1 0 1	0 1 0	1 1 0	1 0 0
2	0 1 0	0 1 1	0 0 1	1 1 0	1 0 0	1 0 1
3	1 1 0	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	0 0 1
4	1 0 0	1 1 0	0 1 0	1 0 1	0 0 1	0 1 1
5	1 0 1	1 0 0	1 1 0	0 0 1	0 1 1	0 1 0
6	0 0 1	1 0 1	1 0 0	0 1 1	0 1 0	1 1 0

Figura 2. 5: Tabla de las conmutaciones correspondientes para cada caso, de acuerdo al estado del flujo, del torque y de la región donde se encuentre el flujo.

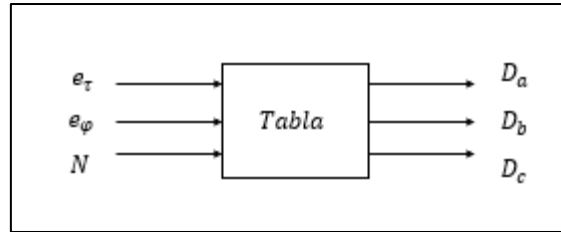


Figura 2. 6: bloque de decodificación de las etapas de conmutación

En la Figura 2. 5 se encuentran ordenados los conmutadores como un arreglo binario, donde c es el más significativo y a el menos significativo. Para implementar este bloque, se procedió a describir 3 arreglos que hacen el papel de tablas de la verdad, una para cada canal, así como una función que, para cada valor de entrada asociado al error de torque y flujo, se extrajera el valor que le corresponde a cada uno de los canales que accionarán los conmutadores del puente trifásico.

Por último, se implementó el controlador PI para la velocidad, que toma un valor de referencia de 90rad/s y lo compara con la salida del sistema, de modo que pueda proporcionar una salida que se hará de torque de referencia para el bloque de histéresis de torque. Los valores de las constantes son $K_p = 5$ y $K_i = 5$.

3. RESULTADOS

Una vez realizada la simulación, los valores obtenidos de la misma se muestran a continuación. Lo importante a resaltar de cada una de las Figuras presentadas, es que en todas no solo existe un fuerte rizado, sino que también existe un patrón que parece no seguir con la continuidad del comportamiento de la función (la línea de tendencia de la misma, incluyendo su rizado). Esto se observa más claramente en la Figura 3. 1, Figura 3. 2, Figura 3. 3 y Figura 3. 6

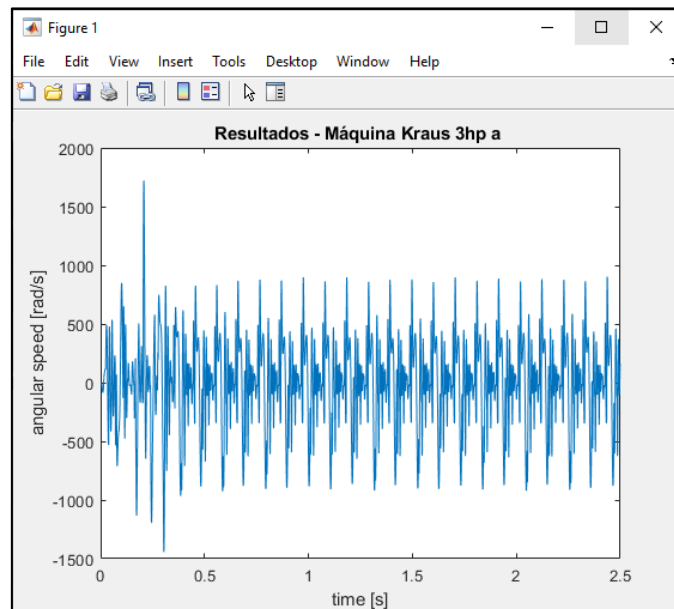


Figura 3. 1: comportamiento de la velocidad angular de salida vs tiempo.

De todas las anteriormente mencionadas, destaca el comportamiento de la Figura 3. 6, ya que la misma no consigue realizar una circunferencia (o forma aproximada) debido a una contracción del flujo durante un rango específico de su rotación.

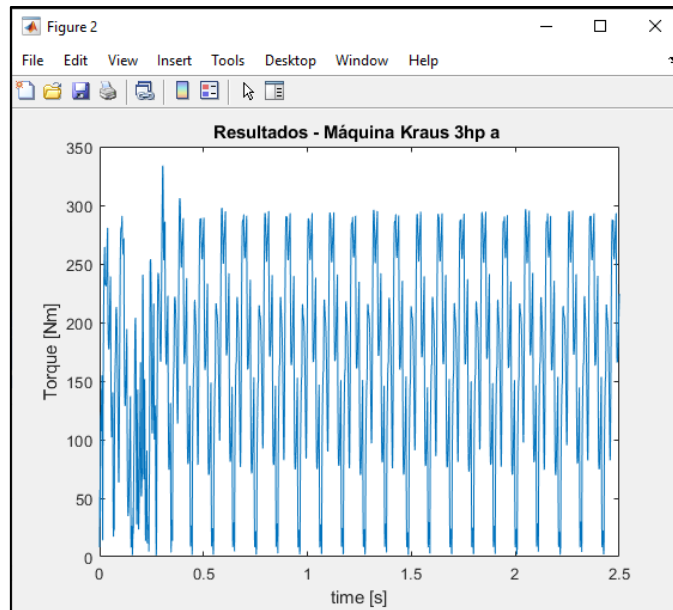


Figura 3. 2: Torque de salida vs tiempo.

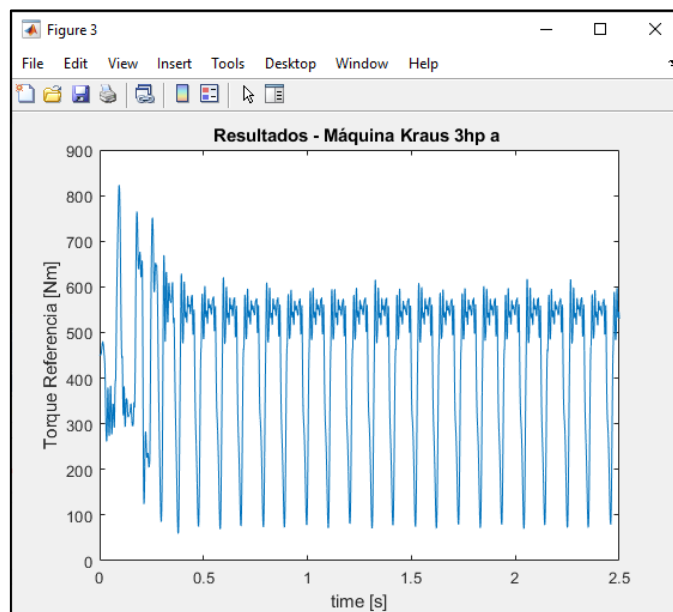


Figura 3. 3: Torque de referencia (salida del control de velocidad) vs tiempo.

Se atribuye a esta anomalía de comportamiento a un posible error en el código que no se logró detectar para antes de la fecha de entrega de este informe. Si bien se verificaron los ángulos, la tabla de la verdad y demás patrones complejos o que pueden introducir fáciles confusiones, ciertamente debe existir otro elemento que no se haya observado, debido a que el comportamiento claramente solo puede ser causado por una perturbación en el campo magnético, o en el sistema en sí, caso que no se ha considerado en el estudio ni en su correspondiente simulación.

Por otra parte, si se deja de lado las discontinuidades anómalas presentes en todas las funciones, se puede apreciar que, para el resto de secciones que mantienen una tendencia continua, se puede decir que efectivamente el control PI implementado pudo reducir

considerablemente el rizado de las señales de torque, velocidad, corriente y demás. Esto permite decir que, pese al error en el código, se logró implementar un PI lo suficientemente afinado como para que, muy probablemente, sea apto para el sistema en cuestión. Adicionalmente, se logró manifestar el comportamiento de la máquina de inducción (en la mayor parte del período de las señales registradas).

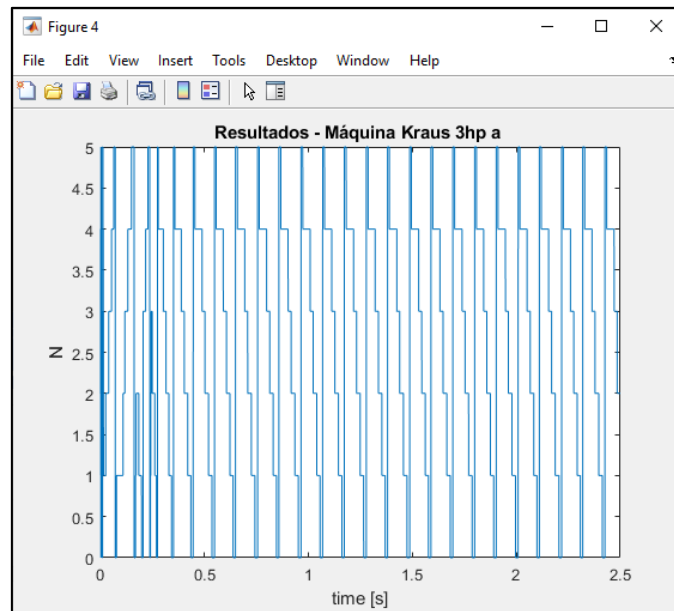


Figura 3. 4: paso por las diferentes descritas regiones (N) vs tiempo.

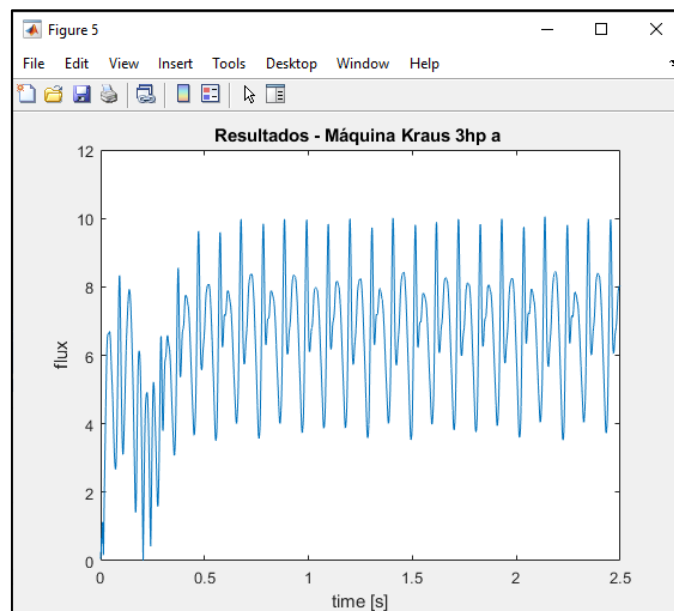


Figura 3. 5: flujo del estator vs tiempo.

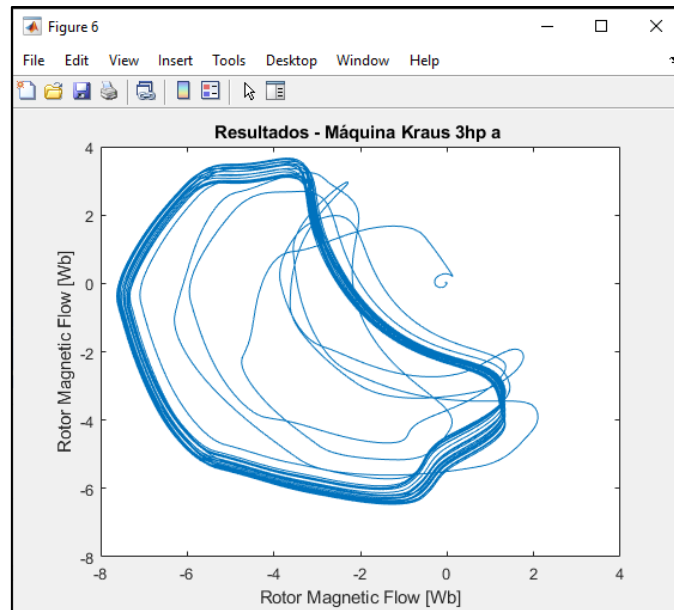


Figura 3. 6: flujo del rotor, componente d vs componente q .

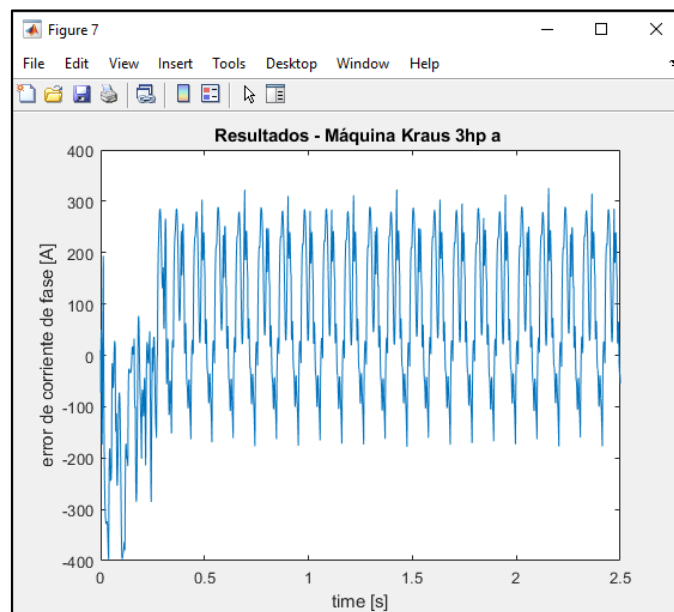


Figura 3. 7: diferencia en la corriente de fase.

4. CONCLUSIONES

Del presente trabajo, se logró presentar una comprensión clara del control DTC y cómo debe ser implementado, así como del funcionamiento de la máquina de inducción. A pesar de no haber podido solucionar el error que genera la anomalía en el código, que entorpece el estudio de comportamiento del equipo analizado, la misma no es lo suficientemente grande como para no permitir apreciar que, salvo por ese detalle, se logró simular casi por completo y de forma exitosa una máquina de inducción con un PI para la referencia de torque del DTC.