

3.2 CONTROL DE GIRO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA

3.2.1 Descripción del problema.

Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator de una máquina sincrónica con diferente construcción de rotor, existen dos tipos diferentes de rotores de motor de inducción que se pueden colocar dentro del estator, rotor jaula de ardilla y rotor devanado; para esta aplicación se estudiará el rotor de jaula de ardilla, el cual consiste en una serie de barras conductoras colocadas en ranuras talladas en la cara del rotor y con sus extremos puestos en corto circuito. Este diseño hace referencia a un rotor de jaula de ardilla, porque los conductores parecen las ruedas de ejercicio en donde suelen jugar las ardillas o los ratones de laboratorio, ejemplos de este tipo de motor pueden verse en las figuras 3.2.1.1 y 3.2.1.2.



Figura 3.2.1.1 Corte típico de un motor jaula de ardilla pequeño



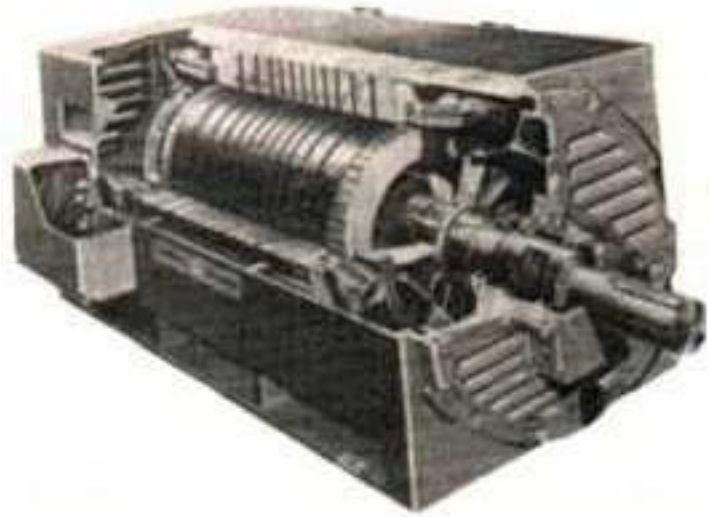


Figura 3.2.1.2 Corte típico de un motor jaula de ardilla grande

En la figura 3.2.2 se muestra un motor de inducción jaula de ardilla, en el un sistema de voltajes trifásicos ha sido aplicado al estator y un conjunto de corrientes trifásicas del estator circula en sus embobinados. Estas corrientes producen un campo magnético \mathbf{B}_s , el cual está girando en sentido contrario al de las manecillas del reloj. La velocidad de rotación del campo magnético está dada por

$$n_{sinc} = \frac{120f_e}{P} \quad (3.2.1)$$

Donde f_e es la frecuencia del sistema en Hz y P es el número de polos de la máquina. Este campo magnético rotatorio \mathbf{B}_s , pasa sobre las barras del rotor y les induce un voltaje. El voltaje inducido en una barra de rotor dada se obtiene mediante la ecuación



$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{L} \quad (3.2.2)$$

Donde \mathbf{v} = velocidad de las barras del rotor con relación al campo magnético

\mathbf{B} = densidad de flujo magnético del estator

\mathbf{L} = longitud de la barra del rotor

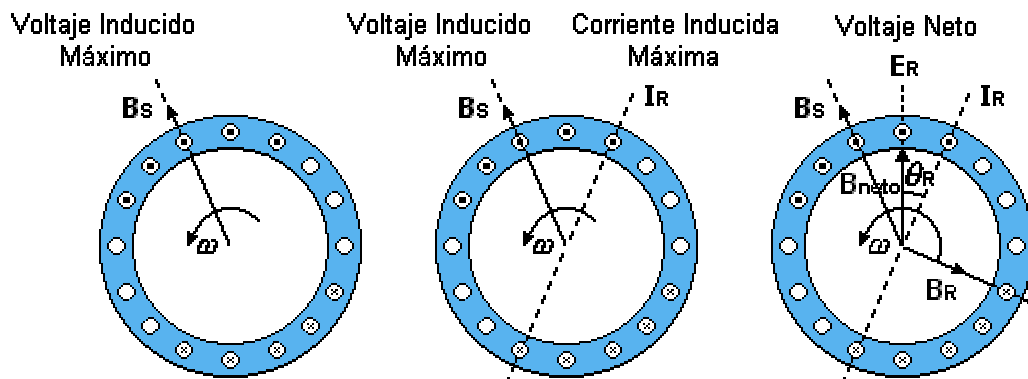


Figura 3.2.2 Desarrollo del momento de torsión en un motor de inducción

El movimiento relativo del rotor con relación al campo magnético del estator es lo que produce el voltaje inducido en una barra del rotor. La velocidad de las barras superiores del rotor, con relación al campo magnético es hacia la derecha, de tal forma que el voltaje inducido en las barras superiores estará hacia fuera de la figura y el voltaje inducido en las varillas inferiores estará hacia adentro de la figura. Esto determina un flujo de corriente hacia fuera de las barras superiores y hacia adentro de las barras inferiores, sin embargo como el conjunto del rotor es



inductivo y su corriente pico se atrasa con relación a su voltaje pico (parte central de la figura 3.2.2), el flujo de corriente del rotor produce un campo magnético \mathbf{B}_R .

Por último, como el momento de torsión inducido en la máquina se expresa por:

$$\tau_{ind} = k * \mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_S \quad (3.2.3)$$

el momento resultante es contrario al sentido de las manecillas del reloj, por lo cual el rotor se acelera en esta dirección.

No obstante, la velocidad del motor tiene un límite superior finito. Si el rotor del motor de inducción girara a velocidad sincrónica, entonces sus barras permanecerían estacionarias con relación al campo magnético y no habría inducción de voltaje; si fuera igual a cero, entonces no habría corriente ni campo magnético en el rotor; sin campo magnético en éste, el momento de torsión inducido sería cero porque el rotor se frenaría como consecuencia de las pérdidas por fricción.

Un motor puede, en esta forma, acelerarse hasta cerca de la velocidad sincrónica, pero jamás podrá alcanzar exactamente la velocidad sincrónica.

En esta aplicación sugerida en Delgado [8], se requiere entrenar una red neuronal que sintetice el accionamiento correspondiente a la inversión del sentido de giro de un motor de las condiciones descritas anteriormente. En la figura 3.2.3 se hace



una representación gráfica de la secuencia de contactos que deben accionarse para dar paso a una inversión en el giro del motor.

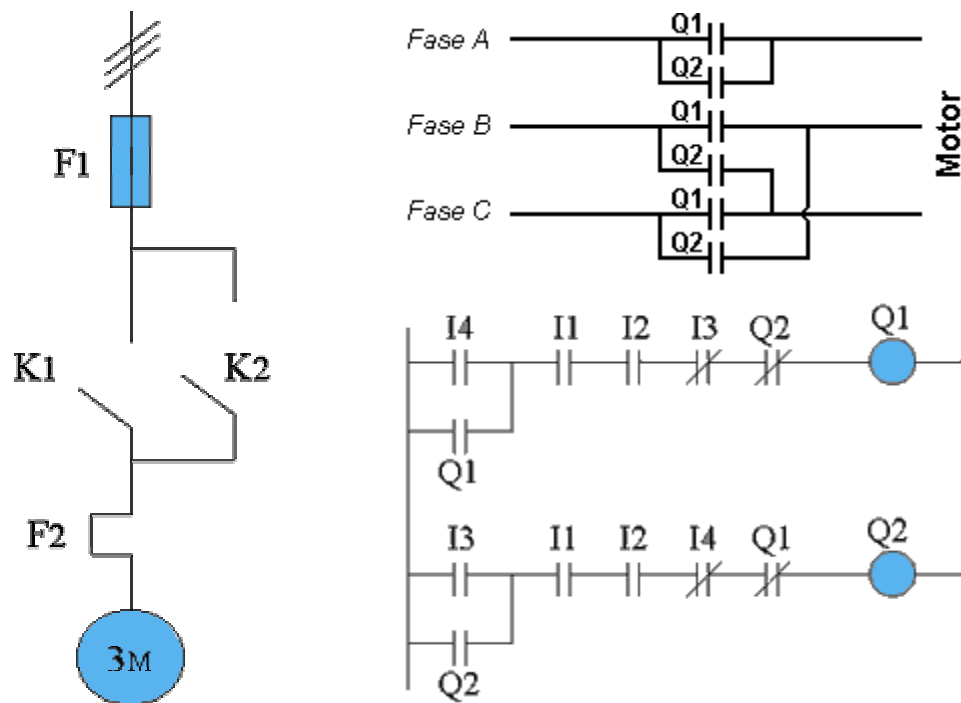


Figura 3.2.3 Diagrama Eléctrico y de Contactos

Cada elemento en la figura anterior representa:

F1: Fusible circuito principal

F2: Relé térmico (I1)

K1: Contactor derecha (Q1)

K2: Contactor izquierda(Q2)

S1: Pulsador de paro (I2)

S2: Pulsador izquierda (I3)

S3: Pulsador derecha (I4)



Las ecuaciones lógicas del circuito son:

$$Q_1 = (Q_1 - I_4) * I_1 * I_2 * \overline{I_3} * \overline{Q_2} \tag{3.2.4}$$

$$Q_2 = (Q_2 + I_3) * I_1 * I_2 * \overline{I_4} * \overline{Q_1} \tag{3.2.5}$$

Los valores de entrada a la red fueron determinados por Delgado [8] los cuales cubren las posibles combinaciones de contactores de la figura 3.2.3, de tal modo que su interconexión determinará el sentido de giro para el motor trifásico. Los estados de cada uno de los contactores se agrupan en la tabla 3.2.1, en donde 1 representa el contactor se encuentra activo y -1 representa que el contactor está inactivo.

P	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
I1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
I2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
I3	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
I4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1

P	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25
I1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I2	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
I3	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
I4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1

Tabla 3.2.1 Entradas a la red



La quinta fila de la tabla 3.2.1 representa un sensor que se ha implementado para determinar el estado de giro en que se encuentra el motor al momento de accionamiento para cambio. Este sensor es necesario para determinar si el cambio debe realizarse o no, es decir, si dada una configuración cualquiera el motor se encuentra girando hacia la derecha y el contactor Q_1 , que da la orden de cambiar a derecha y que para la red neuronal es representada por un 1, es accionado, la red no tendrá que dar al motor ninguna orden de cambio; si por el contrario para esta misma configuración es accionado el contartor Q_2 , que da la orden de cambiar a izquierda y que para la red es representado por -1 , la red inmediatamente debe dar la orden de cambio de giro, y el motor debe pasar de girar hacia la derecha a girar hacia la izquierda.

Siendo 1 el valor que representa el giro del motor por derecha y -1 el valor que representa el giro por izquierda, los valores esperados de salida se visualizan en la tabla 3.2.2:

t	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12
	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	T22	t23	t24	t25
-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 3.2.2 Salidas esperadas de la red



3.2.2 Justificación del tipo de red.

En Ingeniería Eléctrica hay muchos tipos de problemas cuya solución depende sólo de dos estados: on - off, si - no, 1-0, alto - bajo, o como en el caso que se estudia izquierda - derecha, este tipo de problemas divide el espacio solución en dos regiones, cada una de ellas limitada por un hiperplano que determina el límite donde empieza una y termina la otra.

La regla de aprendizaje del Perceptrón, es hábil para dividir el espacio de entrada en dos regiones, más que una línea existe un hiperplano que separa físicamente el espacio en cada una de las categorías de entrada, matemáticamente este hiperplano se expresa así:

$$\mathbf{w}^T \mathbf{p} + b = 0 \quad (3.2.6)$$

Los problemas que permiten que un hiperplano de estas características separe sus categorías de entrada en dos regiones diferentes son llamados problemas linealmente separables y pueden ser solucionados por una red tipo Perceptrón.

Expresar los datos de la tabla 3.2.1 gráficamente para saber si los valores de entrada a la red son linealmente separables, es imposible debido al orden de estos datos los cuales generan una gráfica en \mathbb{R}^5 , así que es necesario emplear la técnica alternativa del capítulo 2, en la cual por medio de desigualdades se



determina la separabilidad lineal de un conjunto de vectores dados y se comprueba la factibilidad de emplear una red Perceptrón en su solución.

3.2.3 Entrenamiento de la red.

El proceso de entrenamiento de esta red fue realizado por medio del Matlab, utilizando las funciones de la herramienta de redes neuronales. Como patrones de entrada a la red se emplearon los datos de la tabla 3.2.1, y sus salidas asociadas corresponden a la tabla 3.2.2.

La red fue generada por medio de la función *newp*, de acuerdo a la sintaxis referida en el anexo 1 y escogiendo la función de transferencia *hardlims* de acuerdo con la naturaleza de los datos de salida

```
net=newp([-1 1;-1 1;-1 1;-1 1;-1 1],1,'hardlims');
```

Los valores iniciales para la matriz de peso W se generaron aleatoriamente y el valor inicial para la ganancia b , se escogió arbitrariamente como 1

```
net.IW{1,1}=rands(1,5);  
net.b{1}=[1];
```



Los comandos básicos para entrenar una red Perceptrón se presentan a continuación; mediante los valores fijados se logró un buen desempeño de la red

```
net.adaptParam.passes=50;  
[net,a,e]=adapt(net,p,t);
```

Los resultados obtenidos se agrupan en la siguiente tabla:

Pesos =

6.0056	2.4189	1.8578	1.6092	1.3793
--------	--------	--------	--------	--------

Ganancia =

-1

Tabla 3.2.3 Valores finales de los parámetros de la red finalizado el proceso de entrenamiento

El error entregado por esta red fue cero, demostrando no sólo la efectividad de la red tipo Perceptrón para clasificar patrones linealmente separables, sino su facilidad de implementación, ya que sólo requiere tener clarificados la naturaleza de los datos de entrada a la red y la respuesta asociada a cada uno de ellos.

