

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7.1 RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la presente Tesis se han investigado las características de control del motor de reluctancia conmutada y se las ha utilizado en el diseño de distintos sistemas de control a los fines de analizar las potencialidades del modelo desarrollado.

Como punto de partida se estudian las características magnéticas del motor y se desarrolla un modelo basado en una aproximación lineal por tramos de las curvas de flujo concatenado por una fase, en función de la corriente que circula por la misma, para distintas posiciones rotóricas. El modelo desarrollado permite obtener una muy buena estimación del comportamiento del flujo tanto para la saturación local de las expansiones polares como para la saturación global del hierro. En el caso de motores ya construidos los parámetros del modelo se obtienen a partir de la medición de las características en posición alineada y no alineada. Cuando el motor aún se encuentra en las etapas de diseño, los parámetros pueden estimarse con buena precisión una vez que las principales dimensiones del mismo han sido definidas. Debido a la naturaleza lineal por tramos de este modelo se simplifica notablemente el análisis matemático del motor y se logra una predicción precisa de su prestación.

A partir de la definición del modelo, se lo utiliza para el estudio de las características de control y se analiza en detalle el comportamiento en ausencia de saturación magnética para luego investigar el efecto de trabajar con alta saturación del circuito magnético. Las características de los sistemas utilizados para la alimentación del motor determinan en gran medida el comportamiento del mismo lo que se desprende del estudio del efecto de usar ya sea fuente de corriente o fuente de tensión en el circuito de excitación de las bobinas. En el primer caso, como es posible obtener una expresión analítica que relaciona la cupla con las variables de control, se muestra que es más conveniente emplear la corriente para controlar la cupla, ajustando el ángulo de encendido al inicio de la zona de inductancia creciente y el ángulo de apagado de modo tal que no exista superposición en la conducción de dos fases. En el caso de alimentación con fuente de tensión es necesario recurrir a una solución numérica para determinar las relaciones entre las variables de control y la cupla. Existen tres modos posibles de operación del

motor de reluctancia conmutada según sean la velocidad, la corriente y la técnica de control adoptadas. En el modo llamado A-1 se controla la corriente mientras que en los modos llamados A-2 y B, se controla el ángulo de encendido. En todos los casos se elige el ángulo de apagado de forma de obtener la mayor cupla posible. Considerando el par máximo que es posible desarrollar con una u otra alimentación se demuestra la superioridad del accionamiento alimentado con fuente de tensión en el que se obtiene un aumento sustancial de cupla a altas velocidades.

Como conclusión del estudio de las características de control se establece que existen tres esquemas posibles para el control de velocidad de los motores de reluctancia conmutada. La diferencia entre estos esquemas radica en la interpretación de la variable manipulada en el lazo de control la que determina la complejidad del sistema a implementar así como la linealidad del sistema resultante. Cuando la variable de salida del regulador de velocidad es interpretada como ángulo de energización, se obtiene el sistema mas simple pero también el mas alineal, con lo cual se complica sustancialmente el diseño del lazo de control; en cambio si la variable de salida es interpretada como un requisito de cupla, se obtiene una transferencia lineal pero a costa de un aumento considerable de la potencia de cálculo requerida en la determinación de las variables de control. Una solución intermedia, interpretando la salida del regulador como requisito de corriente, es finalmente adoptada para la implementación de los distintos sistemas de control de velocidad estudiados en el capítulo final de la Tesis.

Dos técnicas de control diferentes han sido empleadas en el diseño del controlador de velocidad de un SRM. En primer lugar se utilizan técnicas de control de sistemas lineales y se estudia la operación sobre un amplio rango de velocidades. Los signos de las señales de velocidad y la salida del regulador de velocidad son usadas para determinar el cuadrante en el que funciona el motor; luego los ángulos de encendido y apagado son calculados adecuadamente de acuerdo a lo determinado en el Capítulo 4. El regulador se construye con un compensador proporcional integral y su salida es interpretada como requisito de corriente para lo cual se considera su valor absoluto. En la simulación por computadora se observa un comportamiento satisfactorio sobre un amplio rango de velocidades, útil en aplicaciones industriales comunes y para electrodomésticos. Resulta particularmente apto para aplicaciones de media y alta velocidad, pero presenta el inconveniente de tener un elevado ripple de cupla. El efecto de este ripple es nocivo en baja velocidad provocando una vibración no despreciable del eje del motor.

Mediante la utilización del control por modos deslizantes utilizado como segunda técnica de control, se logra superar el problema del ripple de cupla. La señal de salida del controlador es aún interpretada como un requisito de corriente; los ángulos de encendido y

apagado son determinados en base a lo establecido en el Capítulo 4, pero de modo tal de satisfacer la condición de existencia del modo deslizante. Esta condición impone que la tensión aplicada a cada fase debe ser controlada aún en el intervalo de desenergización, regulando de este modo la extinción de la corriente en lugar de disminuirla lo más rápido posible. El accionamiento así proyectado tiene un rango de velocidades limitado a la mitad de la velocidad nominal. Ofrece un comportamiento altamente satisfactorio, con un giro suave del eje del motor determinado por la ausencia de pulsaciones de cupla. El controlador por modos deslizantes permite obtener un accionamiento que aparte de reducir drásticamente el ripple de cupla, es insensible a variaciones de la carga mecánica y de los parámetros del motor. De este modo se obtuvo un accionamiento de alta calidad para aplicaciones de baja velocidad.

7.2 SUGERENCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES EN EL TEMA

En esta Tesis se han presentado sólo dos sistemas de control para el SRM: uno que emplea técnicas de control de sistemas lineales, y otro que emplea modos deslizantes. Dado que el SRM es una planta altamente no lineal, se presenta como un campo propicio para la aplicación de diferentes técnicas de control no lineal que ya han comenzado a ser tratadas en la bibliografía, pero que constituyen una temática en la cual queda mucho por investigar.

El modelo lineal por tramos desarrollado en esta Tesis y empleado en el análisis de las características de control del SRM, ha provisto un medio eficaz para la determinación de la performance del motor así como en la determinación de las relaciones existentes entre el par desarrollado y las variables de control. De todos modos, dada la elevada no linealidad del SRM, un análisis más preciso puede obtenerse mediante modelos no lineales más completos.

Si bien el SRM es utilizado en diversas aplicaciones, es particularmente atractivo para aplicaciones industriales generales y electrodomésticos. En estas aplicaciones, más importante que la precisión del movimiento es la economía de todo el accionamiento. La necesidad de medir la posición para la alimentación sincrónica significa un costo extra que atenta contra su aplicación generalizada. Este hecho sugiere que es necesario dirigir la investigación hacia la eliminación del sensor de posición. En la bibliografía se encuentran algunos ejemplos de estimación de posición para SRMs. La mayoría de ellos estima la inductancia de la fase solo para decidir el umbral donde se debe encender la fase [137].

Estas propuestas, si bien aportan una solución aceptable a la alimentación sincrónica de las fases, no contribuyen respecto del sensado de la velocidad. Ambas estimaciones pueden ser realizadas por un observador de estados, sin embargo esta solución ha recibido muy poco tratamiento [138]. Es justamente en este campo que se ha comenzado a investigar la posibilidad de emplear observadores no lineales para la estimación de velocidad y posición del motor de reluctancia conmutada [139][140]. Con la eliminación de los sensores mecánicos, podría lograrse un control compacto construido alrededor de un microprocesador, el cual unido a la gran simplicidad constructiva del motor en si mismo, permitirían obtener un accionamiento competitivo en una amplia gama de aplicaciones.