

OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN APLICADO A UN BOTE SOLAR

Gilberto C. D. Sousa⁽¹⁾, Domingos S. L. Simonetti⁽¹⁾,
Cifuentes E.⁽²⁾ ecifuentes@ipen.gob.pe, Joost P. Rey⁽³⁾

(1) *Universidade Federal de Espírito Santo / Vitória E. S., Brasil*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú*

(3) *Noordelijke Hogeschool Leeuwarden 8913 HP LEEUWARDEN / Holanda*

RESUMEN

En los últimos años se ha puesto mucha atención en el mejoramiento de la eficiencia en los accionamientos de frecuencia variable [1,2]. En el presente trabajo, uno de los objetivos específicos es su aplicación a una pequeña embarcación marítima alimentado por energía solar para llevar a turistas a través de reservas naturales, donde una alta eficiencia se traslada en bajo números de paneles solares, un sistema de enfriamiento más pequeño tanto para el convertidor así como para el motor, reduciéndose de esta manera el costo y el peso. En este trabajo se describe el control de la optimización de la eficiencia en línea basado en lógica fuzzy para un accionamiento de un bote solar el cual usa un motor de inducción con control vectorial indirecto tanto para la velocidad así como para el torque. El sistema de accionamiento experimental con el controlador propuesto fue implementado en una placa de control basado en el DSP TMS320C25, fue construido y probado en el laboratorio para validar la técnica propuesta.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia de un sistema de accionamiento es una función compleja dependiendo del tipo la máquina seleccionada, de la topología del convertidor, del tipo de los semiconductores de potencia usados como conmutadores y del algoritmo PWM a ser usado. Inclusive, el sistema de control tiene un profundo efecto en la eficiencia del accionamiento.

Es bien conocido que, para los motores de inducción, la máxima eficiencia es obtenida cuando las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en el cobre son iguales en cualquier condición de torque y velocidad. Un sistema de accionamiento normalmente opera con flujo nominal dando una buena respuesta transitoria. Sin embargo en las condiciones de carga

ligera, esto causa excesivas pérdidas en el núcleo [3], disminuyendo la eficiencia del accionamiento. Por diferentes razones el control de la optimización en línea [4-6], basándose en la búsqueda, donde el flujo es reducido en escalones hasta que la medición de la potencia alcance el valor mas bajo, es muy atractivo. El control no depende de los parámetros y el algoritmo es aplicado universalmente para cualquier máquina. En el presente trabajo se emplea un control de optimización de la eficiencia en línea basado en lógica fuzzy en un sistema de accionamiento con control vectorial indirecto el cual asegura una rápida convergencia con el tamaño adaptativo de los escalones de la corriente de excitación. Las pulsaciones del torque a bajas frecuencias, generadas por el controlador de eficiencia fueron suprimidos por un algoritmo de compensación del tipo "feedforward".

Además de actuar en el nivel de flujo también actúa en el voltaje DC del inversor, para obtener también una reducción de las pérdidas en el inversor.

2. ANÁLISIS TEÓRICO

A. Modelando las pérdidas de la máquina

Mientras las pérdidas del cobre de las máquinas son fácilmente modeladas, y claramente depende de la corriente RMS total, el modelamiento de las pérdidas en el núcleo es más compleja. Las pérdidas en el núcleo del estator debido a la componente fundamental de la frecuencia (f) puede expresarse como:

$$P_{cs} = k_e f^2 \lambda_m^2 + k_h f \lambda_m^2 \quad (1)$$

donde λ_m es el flujo fundamental del entrehierro, k_e y k_h son los coeficientes de pérdidas de las corrientes de Eddy y de

histéresis, respectivamente. La ecuación (1) puede ser reescrita en términos del voltaje fundamental V_m del entrehierro:

$$P_{cs} = k_c (k_e + k_h / f) V_m^2 \quad (2)$$

donde k_c es una constante de proporcionalidad. De (1) podemos observar que las pérdidas en el núcleo son altamente dependientes del nivel del flujo.

Se comprobó que cuando se opera con tensión reducida (V_{dc}) en los bornes del inversor se obtiene una reducción extra en las pérdidas en el núcleo.

B. Modelando las pérdidas del convertidor

Para un inversor con PWM senoidal y que utiliza IGBTs, el análisis de pérdidas muestra que las pérdidas de conducción para un IGBT determinado es proporcional al índice de modulación m , al voltaje V_{CE} y a la corriente del colector I_C [7]. En operación de V_{dc} reducida, m es incrementada para contrarrestar la reducción de V_{dc} , de tal forma que la tensión fundamental sea producida. Como se mencionó anteriormente, el valor RMS de la corriente del motor es reducida, el cual también produce una pequeña reducción en V_{CE} .

Sin embargo, las pérdidas de conmutación tanto durante el encendido así como en el apagado, son independientes del índice de modulación, pero son altamente dependientes de V_{dc} y de I_C . Por lo tanto, ellos son fuertemente reducidos por la técnica propuesta.

En los diodos de marcha libre, las pérdidas de conducción disminuyen cuando m es incrementado, y la corriente RMS es reducida. Además de eso, las pérdidas de conmutación también son reducidas tanto por la reducción de V_{dc} así como de la corriente RMS. En consecuencia, las pérdidas totales en el inversor son reducidas, dando como resultado una ganancia extra en la eficiencia para la técnica de control propuesto.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TOTAL

El sistema de accionamiento total es ilustrado en la Fig.1. La fuente de poder consiste de un paquete de baterías de 48 V alimentados por paneles solares, se usa un convertidor del tipo

Boost para mantener el nivel justo de tensión requerida para un control apropiado de la corriente, a velocidades parciales.

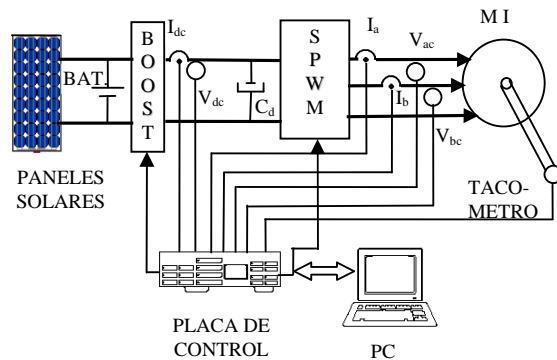


Figura 1. Diagrama general del sistema de prueba.

La Fig. 2 muestra el diagrama de bloque de un accionamiento de un motor de inducción con control vectorial indirecto incorporando al controlador de optimización de la eficiencia propuesto. El lazo realimentado del control de velocidad genera el comando de corriente activa o de torque (i_{qs}^*), tal como es indicado. El control de corriente recibe los comandos de corriente de torque y de excitación i_{qs}^* e i_{ds}^* , respectivamente, de un conmutador de 2 posiciones: cuando está en la posición (1) la corriente de excitación es establecida por el valor nominal (i_{dsr}^*) y el lazo de velocidad suministra la corriente de torque; la posición (2) es de estado estacionario, donde las corrientes de excitación y de torque son generados por el controlador fuzzy de eficiencia y por el compensador de torque "feedforward". En controlador fuzzy llega a estar activo en la condición de estado estacionario, es decir, cuando el error en el lazo de velocidad se aproxima a cero. Note que se considera la potencia P_d , de los bornes del inversor, para el controlador fuzzy en lugar de la potencia de entrada, y es porque ambos siguen perfiles simétricos.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales fueron probados para algunos valores de carga y de velocidad, tanto para las condiciones dinámicas como para las de estado estacionario. El sistema fue probado para distintos valores de voltaje DC, establecido por una fuente AC variable en unión de un rectificador a diodos trifásico, para emular al convertidor del tipo Boost.

El impacto en la optimización de la eficiencia es mostrado en la Fig. 3, para 0,4 pu de velocidad y algunos torques de carga. El caso A representa a flujo nominal y a una operación de tensión nominal (300Vdc) en el inversor, mientras que el caso B es el resultado sólo de la optimización del flujo. La curva C fue obtenida por imposición simultánea de un flujo óptimo con una tensión DC variable. Se puede ver que la reducción en el voltaje DC tiene un

impacto significativo en la eficiencia para este caso.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo vemos que problema del propio control de corriente bajo la tensión variable del inversor fue solucionado por un mecanismo de desacoplamiento. Esto permite a que la respuesta de la corriente llegue a ser inmune a las variaciones de la tensión V_{dc} .

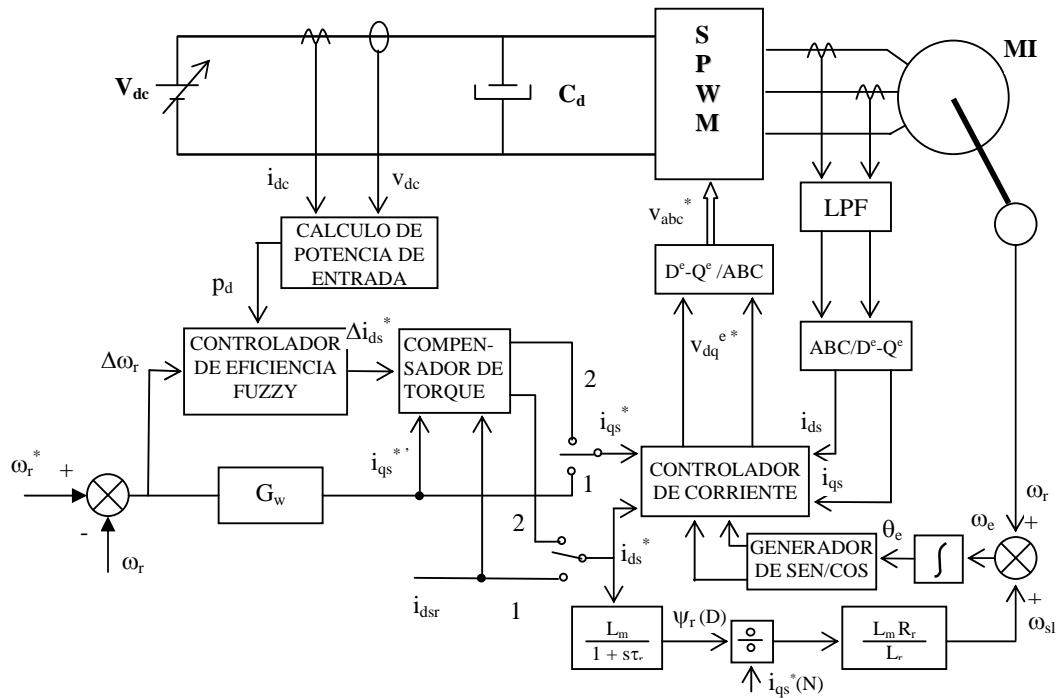


Figura 2. Accionamiento de un motor de inducción con control vectorial indirecto y con un controlador de optimización de eficiencia incorporado.

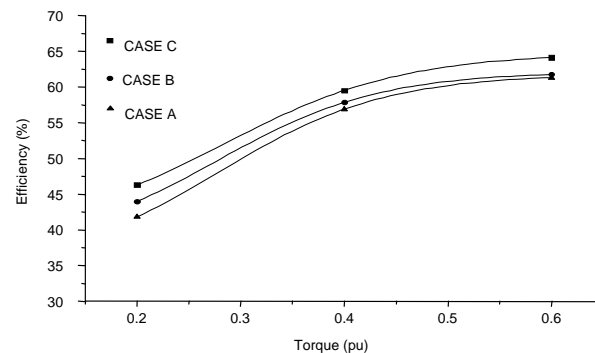


Figura 3. Eficiencias para un 0.4 pu de velocidad y algunos torques de carga.

Los resultados experimentales fueron obtenidos para puntos en la característica cuadrática entre el torque y la velocidad, para tres condiciones: Flujo y V_{dc} nominal, V_{dc} nominal y control de flujo óptimo, y finalmente para la operación simultánea de flujo óptimo y V_{dc} variable.

Los beneficios de aplicar un nivel de flujo óptimo con control de V_{dc} reducida a bajas y medias velocidades (y torques) fueron claramente demostradas reduciendo las pérdidas en la máquina y en el inversor, así como también reduciendo los requerimientos de ventilación e incrementando la confiabilidad debido al desgaste de los conmutadores a bajas tensiones.

6. REFERENCIAS

- [1]. Abrahamsen, F., Blaabjerg, F., Pedersen, J.K., Grabowski, P. Z., Trogersen, P., "On the Energy Optimized Control of Standard and High-Efficiency Induction Motors in CT and HVAC Applications ", IEEE Trans. on Ind. App., vol. 34, no. 4, pp. 940-945, July/August 1998.
- [2]. Abrahamsen, J., Pedersen, J.K., Blaabjerg, F., "State-of-the-Art of Optimal Efficiency Control of Low Cost Induction Motor Drives", Power Electronics and Motion Control PEMC'96, vol. 2, pp. 163-170, Budapest, Hungary, 2-4 September 1996.
- [3]. Sousa, G. C. D., Bose, B. K., Cleland, J. G., Spiegel, R. J. and Chappell, P. J., "Loss modeling of converter induction machine system for variable speed drive", IEEE/IECON Annual Meet. Conf. Rec. Vol. 1, pp. 114-120, 1992.
- [4]. Famouri, P. and Cathy, J. J., "Loss minimization control of an induction motor drive", IEEE Ind. App. Soc. Trans.; Jan-Feb, 1991, Vol. 27, no. 1, pp 33-37.
- [5]. Kirchen, D. S. et al., "On-line efficiency optimization of a variable frequency induction motor drive", 1984 IEEE/IAS Annual Meet. Conf. Rec., pp. 488-492, 1984.
- [6]. Sousa, G. C. D., Bose, B. K., Cleland, J. G., "Fuzzy logic based on-line efficiency optimization control of an indirect vector controlled induction motor drive", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 42 No. 2, pp. 192-198, april, 1995.
- [7]. Casanellas, F. "Losses in PWM inverters using IGBTs", IEE Proceedings on Electronic Power Applications, September 1994, vol. 141, pp. 235-239.

NOTA: Resumen del artículo publicado en la Conference Record of the 2000 IEEE - Industry Application Conference.2000 - IEEE Volumen 3, pp. 1424-1430.