

Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en la red eléctrica

Luis Ari Zavala Rubio, Onofre Amador Morfín Garduño

Maestría en Ingeniería Eléctrica, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Email: al182979@alumnos.uacj.mx

Introducción

Un sistema eléctrico de potencia está constituido por las etapas de generación, transmisión, distribución y consumo de la energía eléctrica. En su operación se debe garantizar el nivel de voltaje y el suministro de potencia activa contratados por parte de los usuarios del sector industrial. No obstante, para tener una buena regulación de voltaje en los puntos de consumo de una red eléctrica, es necesario compensar con potencia reactiva por parte del usuario industrial, esto con el fin de mejorar el factor de potencia y, en consecuencia, optimizar la infraestructura de transmisión y distribución de la energía eléctrica al disminuir los niveles de corriente. La compensación de la potencia reactiva en instalaciones industriales se realiza comúnmente por medio de bancos de capacitores, generalmente conmutando diversos valores de capacitancia con la activación y desactivación de contactores. Algunas empresas con altos consumos de energía eléctrica optan por instalar motores síncronos sobreexcitados, que operan en condiciones de vacío para entregar potencia reactiva a la red, y, en consecuencia, mejorar el factor de potencia

Objetivos

- Diseño de un control robusto aplicado a un compensador estático de VAR's para regular forma continua y dinámica la potencia reactiva que se entrega a un sistema eléctrico de potencia.
 - Comprender el funcionamiento del compensador estático de VAR's en un sistema eléctrico.
 - Diseñar el sistema de regulación para la potencia reactiva de acuerdo a niveles preestablecidos en el sistema eléctrico.
 - Validar la efectividad y robustez del sistema de regulación del compensador estático de potencia reactiva.

Preguntas

- ¿Por qué es necesaria la compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos?
- ¿Cómo se hará la regulación de potencia reactiva de forma dinámica en el sistema eléctrico?
- ¿Se logrará la corrección del factor de potencia de manera continua para el sistema eléctrico?
- ¿Cuál es la diferencia en la utilización de un compensador estático de VAR's con respecto a los controladores electromagnéticos de conmutación?

Justificación

Con la inclusión del STATCOM, se mejora la regulación de voltaje y en consecuencia la calidad y el uso eficiente de la energía que se consume. La robustez del controlador del compensador estático de VAR's se corrobora al incluir un flujo de potencia activa implementando un control de velocidad de un motor de inducción con seguimiento de un tren de pulsos arriba de la velocidad de sincronismo, en donde un generador de inducción conectado directamente a la red eléctrica se acopla al motor como carga.

Marco teórico

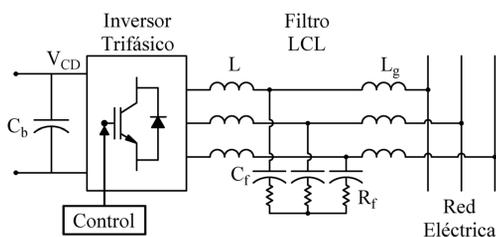


Figura 1. Esquema del STATCOM.

Modelo del STATCOM

$$v_{abc}^T i_{abc} = v_{cd} C \frac{d}{dt} v_{cd} + v_{cd} i_{cd}$$

$$v_{abc} - v_{abc} = R_{eq} i_{abc} + L_{eq} \frac{d}{dt} i_{abc}$$

$$\frac{d}{dt} v_{cd} = \frac{3}{2Cv_{cd}} (v_d i_d + v_q i_q) - \frac{1}{C} i_{cd}$$

$$\frac{d}{dt} i_d = -\frac{R_{eq}}{L_{eq}} i_d + \omega_s i_q + \frac{1}{L_{eq}} v_d - \frac{1}{L_{eq}} v_{di}$$

$$\frac{d}{dt} i_q = -\frac{R_{eq}}{L_{eq}} i_q - \omega_s i_d + \frac{1}{L_{eq}} v_q - \frac{1}{L_{eq}} v_{qi}$$

Sistema de control en lazo cerrado

$$\dot{\epsilon}_1 = -k_1 \epsilon_1 - \frac{3v_d}{2Cv_{cd}} \epsilon_2$$

$$\dot{\epsilon}_2 = -\left(\frac{R_{eq}}{L_{eq}} + \frac{2\omega_s}{3v_d}\right) \epsilon_2 + \rho_2 + \frac{2C_b}{3L_{eq}v_d} (\lambda_{dk} |s_{dk}|^{1/2} \text{sign}(s_{dk}) + v_{dk})$$

$$\dot{v}_{dk} = \alpha_{dk} \text{sign}(s_{dk})$$

$$\dot{\epsilon}_3 = -\frac{R_{eq}}{L_{eq}} \epsilon_3 + \rho_3 - \frac{3v_d}{2L_{eq}} (\lambda_{qk} |s_{qk}|^{1/2} \text{sign}(s_{qk}) + v_{qk})$$

$$\dot{v}_{qk} = \alpha_{qk} \text{sign}(s_{qk})$$

Diseño metodológico

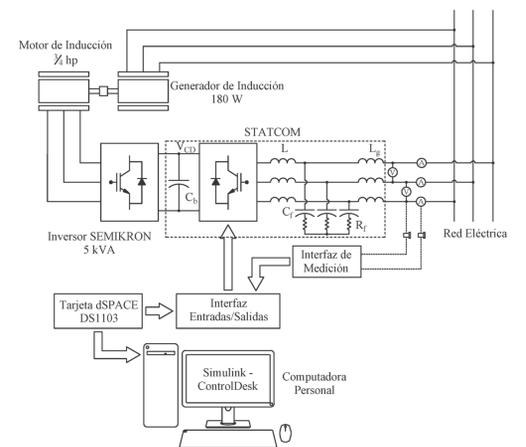


Figura 2. Esquema de control del STATCOM.

Resultados

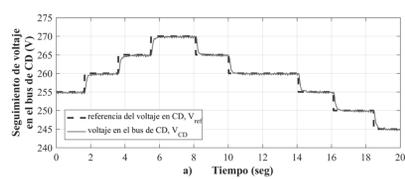


Figura 3. Seguimiento del voltaje de bus de CD y de la potencia reactiva.

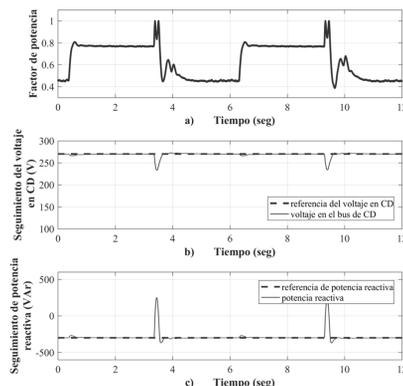


Figura 4. Desempeño del Sistema de control del STATCOM.

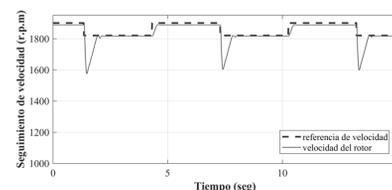


Figura 5. Seguimiento de velocidad del motor de inducción.

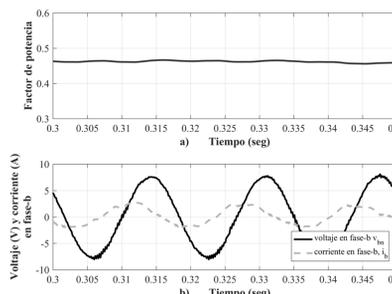


Figura 6. Corrientes y voltajes en la red eléctrica.

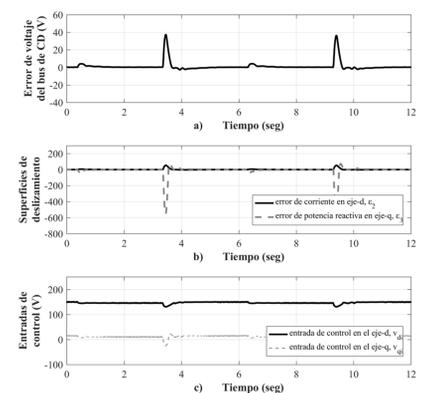


Figura 7. Acción de control del STATCOM.

Conclusiones

Los resultados experimentales corroboran la efectividad del sistema de control propuesto, ante la presencia de perturbaciones externas, que se originan al variar el flujo de potencia activa que alimenta, mediante un inversor conectado al bus de CD, a un motor de inducción con control de velocidad que impulsa a un generador de inducción que se conecta directamente con la red eléctrica. A través del seguimiento de un tren de pulsos arriba de la velocidad de sincronismo se presentan cambios súbitos en la velocidad de deslizamiento del motor y, en consecuencia, se presentan también cambios súbitos en el par de la carga y en el flujo de potencia activa.

Referencias

- [1] S. Rajendran, U. Govindarajan, A. B. Reuben y A. Srinivasan, «Shunt reactive VAR compensator for grid-connected induction generator in wind energy conversion systems,» *IET Power Electronics*, vol. 6, nº 9, pp. 1872-1883, 2013.
- [2] B. Singh, S. S. Murthy y R. R. S. Chilipi, «STATCOM-Based Controller for a Three-Phase SEIG Feeding Single-Phase Loads,» *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 29, nº 2, pp. 320-331, 2014.
- [3] P. García-González y A. García-Cerrada, «Control System for a PWM-Based STATCOM,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, nº 4, pp. 1252-1257, 2000.
- [4] Arulampalam, A., J. B. Ekanayake y N. Jenkins, «Application study of a STATCOM with energy storage,» *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, vol. 150, nº 3, pp. 373-384, 2003.