

Revisión del DSTATCOM, Tipos, Topologías y Técnicas de Control

Francisco GENTILE^{a,b*}, Victor Hugo Kurtz ^a, Robinson F. de Camargo^b

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b GEPOC, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

e-mails: ingentile@gmail.com, kurtzvh@fio.unam.edu.ar, Robinson.camargo@gmail.com

Resumen

En la actualidad, con el avance tecnológico en el campo de los microcontroladores y dispositivos semiconductores, es muy común al leer artículos en el área de la electrónica de potencia encontrarse con palabras como DSTATCOM o Compensador Síncrono Estático o Inversor Fuente de Tensión. Este artículo intenta dar un panorama sobre tipos, topologías y técnicas de control del DSTATCOM. Como así también mencionar alguna bibliografía o artículos relacionados para profundizar el conocimiento sobre el mismo.

Palabras Clave – DSTATCOM, Condensador Síncrono Estático, Compensador Estático, Inversor Trifásico.

1. Introducción

Todo equipamiento electrónico sufre de problemas de calidad de energía cuando es conectado a un sistema de distribución (sobre todo en sistemas aislados de una red comercial de energía). Lo que produce distorsión en la corriente y en la tensión [1-2], dando como resultado una pobre performance del equipamiento y pérdidas de energía. Con el avance tecnológico que hubo en las últimas décadas respecto al poder de cálculo de los microcontroladores y los dispositivos semiconductores, se fueron creando controladores o compensadores capaces de lidiar con estos problemas de calidad de energía. De todos ellos, el Compensador Síncrono Estático de Distribución o DSTATCOM (del inglés Distribution STATic COMPensator) sobresale por la efectividad y potencia para manejar dichos problemas [3].

El DSTATCOM se conecta en paralelo con la fuente de energía o con la carga de consumo si se quiere, para mejorar la calidad de la energía que es recibida por la carga. Provee estabilidad en la tensión controlando el flujo de potencia reactiva y realiza compensación. La Fig. 1 muestra el esquema general de conexión del DSTATCOM en la red, aunque también puede ser insertado un transformador [4].

Este artículo pretende dar un panorama general en forma de revisión o resumen de este dispositivo muy utilizado actualmente en los desarrollos del campo de la electrónica de potencia.

2. Tipos de DSTATCOM según su fuente de almacenamiento de energía

El DSTATCOM o Compensador Estático de Reactivos (CER), es una topología que usa brazos con dispositivos semiconductores como llaves (tipo puente H trifásico) controlados de manera de compensar la tensión del sistema mediante la inyección o absorción de corriente reactiva. Es decir,

*Autor en correspondencia.

puede ser visto como un capacitor o inductor variable. Cuenta con un bus CC, requerido para almacenar energía y un filtro inductivo de salida.

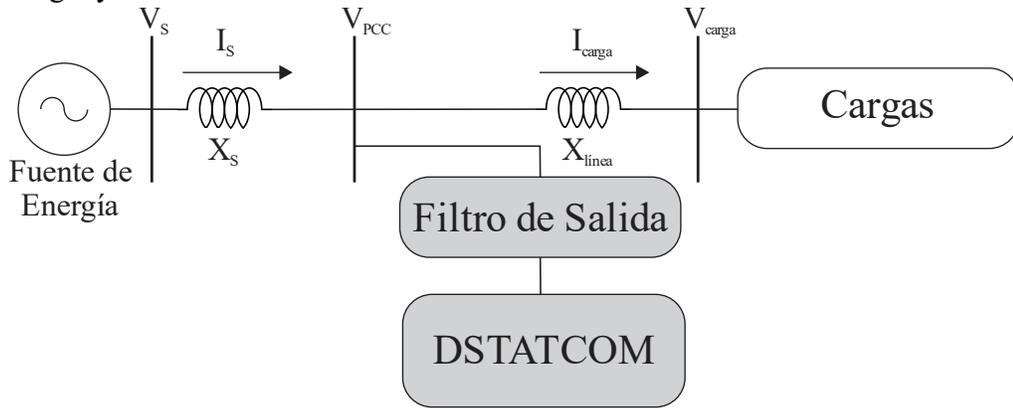


Fig. 1. Esquema de Conexión del DSTATCOM.

La compensación de reactivos puede ser realizada a partir de un CER fuente de tensión (IFT – Inversor Fuente de Tensión) o con fuente de corriente (IFC – Inversor Fuente de Corriente) [5]. La Fig. 2 muestra ambos tipos para un compensador trifásico sin neutro.

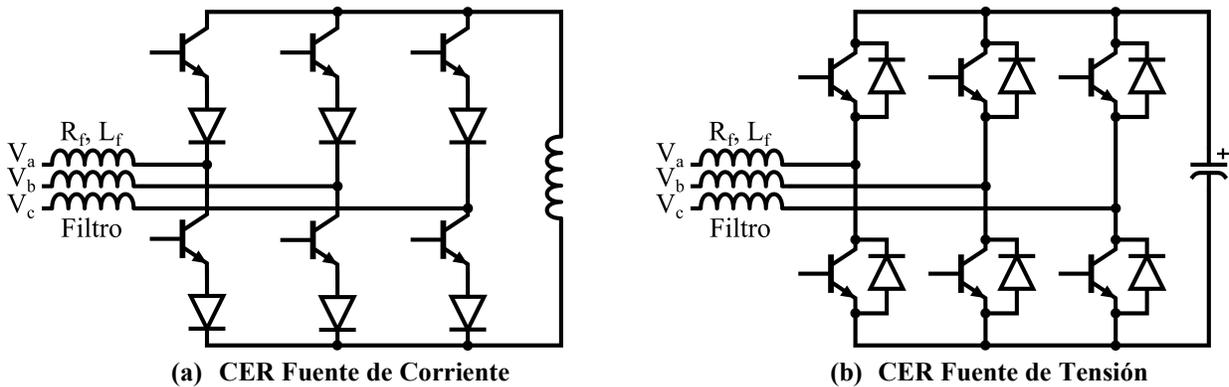


Fig. 2. Tipos de DSTATCOM según su fuente.

El IFC es ventajoso en aplicaciones de altas potencias, pero el IFT se volvió más predominante, debido al pequeño tamaño de los capacitores y el menor costo comparado con la estructura del IFC para la faja de pequeñas y medianas potencias. Por lo que este artículo se enfocará en el IFT.

El DSTATCOM es usado principalmente para compensar problemas de calidad de energía. Esto incluye a la corriente, la tensión, distorsión armónica y problemas de carga desbalanceada como componente reactiva de la corriente, desbalance y corriente por el neutro en el Punto Común de Conexión (PCC).

Puede operar en dos modos, simple, donde solamente compensa o la corriente o la tensión, y dual, donde compensa ambas magnitudes.

El DSTATCOM es capaz de manejar el flujo de potencia activa y reactiva, desde y hacia la red a la que se encuentra conectado. Cuando el flujo de energía fluye desde el bus de CC hacia la red AC,

se lo conoce también inversor. En este caso, la tensión CC del bus es ondulada para producir tensión trifásica alterna. Cada tensión generada está en fase con su correspondiente en la red.

Cuando el flujo de energía se invierte y va desde el bus AC hacia el bus CC, entonces se puede decir que es un rectificador activo.

Controlando la magnitud y fase de la salida del compensador, se consigue manejar el flujo de potencia reactiva y activa entre el compensador y la red de distribución.

El ángulo de fase entre las tensiones de la red y las tensiones de salida del DSTATCOM controla el flujo de potencia activa, lo que resulta en una mayor reducción de las pérdidas dentro del inversor, mantiene la carga del bus CC (capacitor) y ajusta la magnitud de la tensión de salida.

3. Topologías para red de distribución trifásica con neutro

Un CER con fuente de tensión como el mostrado en la Fig. 2(b) conectado a una red trifásica con neutro, no es capaz de realizar una compensación total. La Fig. 3 muestra dos soluciones posibles a este problema.

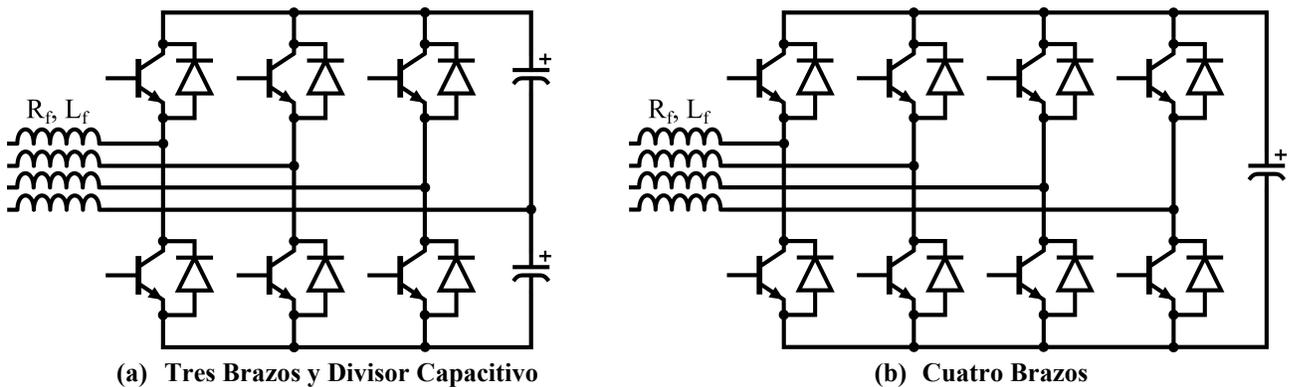


Fig. 3. Topologías DSTATCOM para Red Trifásica con Neutro.

En la Fig. 3(a) se usa un divisor capacitivo donde el punto medio del mismo se conecta al neutro de la red de distribución. Esta topología presenta un nuevo problema, que requiere de un circuito adicional o una malla de control adicional para controlar el balance de tensiones entre ambos capacitores. Si bien es más apropiada que la mostrada en la Fig. 2(b) para una red con neutro, la misma no consigue compensar corrientes de carga por el neutro.

En la Fig. 3(b) se usa un cuarto brazo con el cuál es posible compensar corrientes por neutro y no se tiene el problema del divisor capacitivo, pero tiene como punto importante que cuenta con más dispositivos de conmutación y se necesita de cierta sincronización entre el tercer y cuarto brazo.

4. Estrategias de control

El control del DSTATCOM, es decir la forma en que las llaves electrónicas son accionadas, generalmente es hecho mediante múltiples mallas de control [6], una externa en cascada con una interna. Donde las mallas externas se usan para la regulación de la tensión en los buses de alterna y

continua. Estas mallas externas generan las referencias para las mallas internas que controlan la corriente que es inyectada al sistema. Se suele aprovechar el DSTATCOM para realizar compensación de armónicos (por lo que funciona también como un filtro activo) teniéndolos en cuenta al momento de diseñar el sistema de control.

Generalmente para las mallas externas de tensión se proyectan controladores convencionales de tipo Proporcional-Integral (PI) cuando se utiliza referencial síncrono [6-7]. Con respecto a la malla interna de corriente, en aplicaciones con generadores de inducción autoexcitados se observa que el controlador de corriente por histéresis es el método más utilizado [8-10]. Presenta ventajas como robustez, buen rastreo de la referencia y capacidad dinámica, pero presenta inconvenientes o dificultades como ser frecuencia de conmutación variable, lo que dificulta el diseño del filtro, alta ondulación y baja calidad de corriente [11].

Una alternativa al controlador por histéresis es el uso de controladores que trabajan con técnicas de modulación convencionales para convertidores/inversores por Modulación del Ancho del Pulso o mejor conocido en inglés como Pulse Width Modulation (PWM) con fuente de tensión, como ser PWM senoidal, vector espacial o del inglés Space Vector (SV) o Modulación Geométrica. Estos moduladores tienen como ventajas que el espectro armónico y el patrón de conmutación están bien definidos, además de realizar un aprovechamiento óptimo del bus CC del DSTATCOM [11]. En este contexto, se utiliza comúnmente un controlador PI en coordenadas síncronas rotativas, el cuál funciona adecuadamente en sistemas balanceados, pero puede presentar un desempeño inadecuado o insuficiente en algunas aplicaciones donde las tensiones o corrientes del sistema presentan perturbaciones por armónicos o desequilibrios [12].

Otra alternativa es el controlador Proporcional-Resonante (PR) para el control de la corriente del DSTATCOM, como fue propuesto en [13]. Los resultados demuestran que estos controladores pueden compensar adecuadamente los armónicos presentes en las corrientes de la carga.

Sin embargo, el uso de controladores clásicos como PI o PR presenta dificultades en sistemas donde el modelo de la planta a compensar es complejo y/o tiene un orden elevado (por ejemplo, el modelo de un generador de inducción autoexcitado, ya que no es lineal y es de sexto orden para cargas resistivas puras), como así también para el diseño sistemático del propio controlador [14].

Con el avance de la tecnología en términos de dispositivos de conmutación y poder de procesamiento del microcontrolador y del Procesador Digital de Señales (PDS) o en inglés Digital Signal Processor (DSP) surge la posibilidad del uso de controladores robustos, que entre otras características, presenta tolerancia a dinámicas no modeladas [15]. En [16] es propuesto un Controlador Adaptativo Robusto por Modelo de Referencia o en inglés Robust Model Reference Adaptive Controller (RMRAC), aplicado a la malla de regulación de tensión de un sistema de generación con generador de inducción.

Se observa en la literatura que el controlador RMAC también se aplica a mallas internas de corriente, como en [17], con plantas con variaciones paramétricas o dinámicas no modeladas, como por ejemplo en [18] para convertidores trifásicos conectados a la red con filtro LCL, o en [19], para filtros de potencia activa.

Controladores de Lógica Difusa (CLD) o en inglés Fuzzy Logic Controller (FLC) también existen, aquí el requisito de un modelo matemático se elimina ya que este controlador utiliza

variables lingüísticas. En [20] es propuesto un FLC Takagi Sugeno (TS) basado en un DSTATCOM en el cual se buscaba eliminar armónicos, corregir el factor de potencia, equilibrado de cargas y regulación de tensión. El FLC-TS es proyectado usando solamente dos funciones de pertenencia. En [21] se utilizan Algoritmos Genéticos (AG) para optimizar los factores de escala en los FLC.

5. Conclusión

El presente artículo presentó un resumen del Compensador Estático de Reactivos muy usado actualmente. Se mostraron algunas topologías encontradas en la literatura, como así también se mencionaron algunas técnicas de control.

Como se pudo observar, existe una gran variedad de técnicas de control comenzando desde el más sencillo, pero no menos efectivo, control por histéresis, controladores clásicos como PI, controladores difusos hasta llegar a control adaptativo.

El objetivo del presente resumen era introducir el dispositivo y mencionar algunos artículos relacionados con el mismo, para dejar al alcance de todos un índice para que sea sencillo seguir expandiendo el conocimiento.

6. Referencias

- [1] M. Bollen, "Understanding Power Quality Problems". New York, NY, USA: IEEE Press, 2000, ch. 1, pp. 1– 35.
- [2] John S. Hsu, "Instantaneous Phasor Method for Obtaining Instantaneous Balanced Fundamental Components for Power Quality Control and Continuous Diagnostics", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. U3, no.4, pp. 1494 – 1500, October 1998.
- [3] Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensator comprising switching devices without energy storage components", IEEE trans. Industry Application Vol. IA20, pp. 625 – 631, May 1984.
- [4] Gupta, Gunjan, Wilfred LO Fritz, and M. E. T. Kahn. "A comprehensive review of DSTATCOM: control and compensation strategies.", International Journal of Applied Engineering Research, vol. 12, no. 12, pp. 3387– 3393, 2017.
- [5] Y. Chauhan, S. Jain, and B. Singh, "A prospective on voltage regulation of self-excited induction generators for industry applications," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 46, no. 2, pp. 720–730, 2010.
- [6] G. K. Kasal and B. Singh, "Decoupled voltage and frequency controller for isolated asynchronous generators feeding three-phase four-wire loads," IEEE Transactions on power delivery, vol. 23, no. 2, pp. 966–973, 2008.
- [7] L. G. Scherer, C. B. Tischer, and R. F. de Camargo, "Voltage regulation of stand-alone microgeneration SEIG based system under nonlinear and unbalanced load," in 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 428–433, IEEE, 2015.
- [8] U. K. Kalla, B. Singh, and S. S. Murthy, "Green controller for efficient diesel engine driven single-phase SEIG using maximum efficiency point operation," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 1, pp. 264–274, 2016.
- [9] V. C. Sekhar, K. Kant, and B. Singh, "Dstatcom supported induction generator for improving power quality," IET Renewable Power Generation, vol. 10, no. 4, pp. 495–503, 2016.

- [10] S. Kewat, B. Singh, and I. Hussain, "Power management in pv-battery-hydro based standalone microgrid," *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 4, pp. 391–398, 2017.
- [11] M. P. Kazmierkowski and L. Malesani, "Current control techniques for three-phase voltage source pwm converters: A survey," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 45, no. 5, pp. 691–703, 1998.
- [12] T. Hornik and Q.-C. Zhong, "A current-control strategy for voltage-source inverters in microgrids based on h1 and repetitive control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 3, pp. 943–952, 2010.
- [13] C. B. Tischer, J. R. Tibola, L. G. Scherer, and R. F. de Camargo, "Proportional-resonant control applied on voltage regulation of standalone seig for micro-hydro power generation," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 5, pp. 593–602, 2017.
- [14] O. Kiselychnyk, M. Bodson, and J. Wang, "Linearized state-space model of a self-excited induction generator suitable for the design of voltage controllers," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 30, no. 4, pp. 1310–1320, 2015.
- [15] F. Lin, "Kharitonov Approach" in "Robust control design: an optimal control approach", vol. 18. John Wiley & Sons, 2007, chapter 7.
- [16] L. G. Scherer, R. V. Tambara, and R. F. de Camargo, "Voltage and frequency regulation of standalone self-excited induction generator for micro-hydro power generation using discrete time adaptive control," *IET Renewable Power Generation*, vol. 10, no. 4, pp. 531–540, 2016.
- [17] G. Attuati, R. F. de Camargo, and L. G. Scherer, "Controle de corrente adaptativo por modelo de referência aplicado a dstatcom utilizado em sistemas baseados em giae,"
- [18] J. Massing, M. Stefanello, H. Gründling, and H. Pinheiro, "Adaptive current control for grid connected converters with LCL filter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 59, no. 12, pp. 4681–4693, 2012.
- [19] K.-K. Shyu, M.-J. Yang, Y.-M. Chen, and Y.-F. Lin, "Model reference adaptive control design for a shunt active power filter system," in *IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*, pp. 73–78, IEEE, 2006.
- [20] Rupesh Prajapati and Shailendra Sharma, "Fuzzy Logic Controller based Distribution Static Compensator", 2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science.
- [21] Juan Shi, Akhtar Kalam, Amin Noshadi and Peng Shi, "Genetic Algorithm Optimized Fuzzy Control of DSTATCOM for Improving Power Quality", *Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2014, Curtin University, Perth, Australia, 28 September – 1 October 2014*, pp. 1-6.