

# SISTEMAS DE TRANSMISIÓN AC FLEXIBLE (FACTS)

Por: Alejandro Piedrahita V. y Pedro Juan Salgado M.

## Resumen

En el siguiente artículo se discute la tecnología de los sistemas de transmisión AC flexible (FACTS) y su impacto sobre los sistemas de potencia, también los antecedentes que precipitaron su aparición en el escenario desregulado actual y los principales dispositivos en aplicación y desarrollo.

Palabras claves: FACTS, sistemas de potencia, control, desregulación, estabilidad

La demanda de energía eléctrica continúa aumentando de forma dramática, especialmente en los países que se encuentran en vías de desarrollo.

Debido a diferentes causas la mejora de las redes de energía y en especial, la construcción de nuevas líneas de transmisión, no puede mantener el ritmo del aumento de capacidad de las centrales eléctricas y del incremento de la demanda de energía. Conseguir los derechos de paso es difícil en los países industrializados y obtener los permisos necesarios requiere mucho tiempo. Además, la construcción de líneas de transmisión de energía implica inmovilizar capitales que podrían invertirse en otros proyectos. [1]

Debido a lo anterior, los operadores están buscando formas de optimizar el uso de las líneas de transmisión de energía existentes. Hay dos campos que requieren una atención especial.

En primer lugar, hay una necesidad de mejorar la estabilidad de líneas de gran longitud, tanto en régimen transitorio como en régimen permanente. Esto se debe a que en general las líneas de transmisión de energía no pueden recibir una carga próxima a su capacidad nominal y mucho menos a su límite térmico nominal debido a que sus límites de estabilidad son relativamente bajos. Las medidas que se han tomado para mejorar la estabilidad durante y después de una falla de la línea pueden mejorar la fiabilidad del sistema como si se añadieran una o más líneas complementarias. En segundo lugar, es necesario mejorar el flujo de carga en redes estrechamente interconectadas, ya que el flujo natural de carga resultante

de las condiciones de carga y de las impedancias dadas de línea, no es necesariamente el flujo para el cual son mínimas las pérdidas de transmisión.

Los FACTS tienen toda la capacidad que necesitan los operadores de redes de energía eléctrica para afrontar los retos que trae consigo un mercado energético en rápido cambio. [1]

Debido a que Colombia es un país en desarrollo, cuyo sector energético viene atravesando por una etapa de desaparición y desmonte de los monopolios, que fomenta la libre competencia conllevando a una apertura de los mercados y por lo tanto a una participación activa de empresas privadas y estatales independientes tanto en generación como transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, se hace cada vez más necesario la implementación de dispositivos y equipos que sustenten, optimicen, controlen y regulen la cada día más compleja estructura del sistema de transmisión nacional.

## 2. Antecedentes

Con los cambios políticos y económicos generados por la globalización, los gobiernos han adoptado nuevas estrategias de desarrollo basadas en la libre competencia buscando una industria energética mucho más competitiva. El principal objetivo de las nuevas reglas es el de facilitar el desarrollo de un mercado competitivo asegurando que los compradores y vendedores puedan contactarse entre sí a través de servicios de transmisión de acceso abierto no discriminatorio. Las implicaciones del acceso abierto son que la generación de potencia y transmisión deben ser funcionalmente sin fronteras. La implementación estructural y práctica de esta ley no está clara en su totalidad todavía.

La implementación de la desregulación plantea retos formidables para el sector eléctrico. La venta y compra arbitraria de potencia mediante contratos y su transporte por la red de transmisión agravará los flujos paralelos y de lazo causando una cargabilidad impredecible de las líneas,

variaciones de voltaje y la potencial disminución de la estabilidad transitoria.

### 3. Marco Teórico

Los constituyentes principales de un sistema de potencia son: Generadores, líneas de transmisión, subtransmisión, distribución y cargas junto con sus equipos auxiliares de protección y soporte. Los generadores son máquinas rotativas sincrónicas. Las líneas de transmisión, subtransmisión y distribución, son esencialmente redes de parámetros distribuidos predominantemente reactivos diseñadas para operar a altos, medios y bajos voltajes AC. Las cargas pueden ser sincrónicas, no sincrónicas y pasivas, consumiendo en general potencia activa y reactiva.

### 4. Relaciones Básicas De Los Sistemas De Potencia

A pesar de la naturaleza compleja de un sistema de potencia actual, las relaciones básicas de la transmisión de potencia pueden ser derivadas mediante un simple modelo de dos máquinas, en el cual un generador en el extremo emisor es interconectado mediante una línea de transmisión con un generador en el extremo receptor, el cual es considerado como una barra infinita, ver Figura 1.

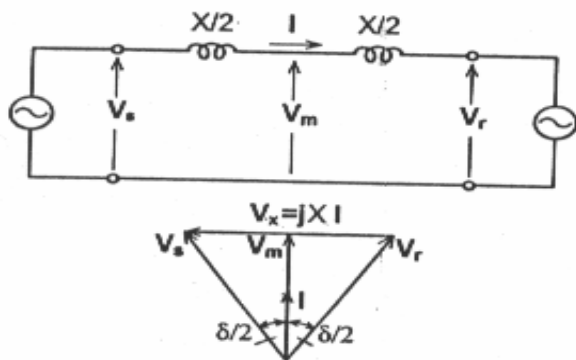


Figura 1.

El efecto de la capacitancia para líneas cortas de menos de 160 kilómetros es despreciable. La ecuación simplificada de la potencia transmitida por la línea, despreciando la capacitancia en derivación, es:

$$P = \frac{V^2}{X} * \text{sen } \delta$$

En donde:

$V_s = V_r = V$  es la magnitud del voltaje del extremo emisor y receptor.

$\delta$  es el ángulo de fase entre  $V_s$  y  $V_r$  (ángulo de transmisión o carga).

X es la reactancia característica de la línea.

Desafortunadamente, debido a consideraciones económicas y a los requerimientos de operación del sistema, raramente permiten una cargabilidad óptima del sistema. Ante cargas más bajas la línea de transmisión es sobrecargada. El incremento de voltaje a lo largo de la reactancia serie, debido a la corriente de carga de la capacitancia derivación es mayor que la caída de voltaje debida a la corriente de carga; como resultado, el voltaje de línea se incrementa alcanzando su máximo en el punto medio. Este exceso de corriente de carga también fluye a través de los extremos emisor y receptor forzándolos a absorber la correspondiente potencia reactiva (capacitiva). Ante cargas mayores que la impedancia característica la línea está subcompensada, esto es, que el incremento del voltaje resultante de la capacitancia en derivación es insuficiente para cancelar la caída de voltaje a lo largo de la reactancia serie de la línea debida a la corriente de carga. Por lo tanto el voltaje a lo largo de la línea disminuye, alcanzando su mínimo en el punto medio, en este caso la demanda de potencia reactiva de la red (inductiva) debe ser suministrada por los generadores en los extremos emisor y receptor. [1]

### 5. Compensación De Líneas De Transmisión Y Control De Flujo De Potencia Tradicional

Ha sido largamente reconocido que la potencia transmisible en estado estable puede ser aumentada y que el perfil de voltaje, a lo largo de la línea, controlado mediante una apropiada compensación reactiva. El propósito de esta compensación reactiva es el de cambiar las características eléctricas naturales de la línea para hacerla más compatible con la demanda de carga predominante. Por lo tanto se utilizan reactores conectados en derivación fijos o mecánicamente accionados para minimizar los sobrevoltajes en condiciones de baja carga y capacitores conectados en derivación fijos o mecánicamente conmutados para mantener los niveles de voltaje bajo condiciones de alta carga. En el caso de líneas de transmisión largas, se utiliza a menudo compensación serie capacitiva para establecer una línea corta virtual mediante la reducción de la impedancia inductiva de línea y por lo tanto la longitud eléctrica de esta.

### 6. Límites En Estado Estable De La Transmisión De Potencia

Se conoce que la máxima potencia transmisible sobre una línea sin pérdidas a un voltaje de transmisión dado, es totalmente determinada por la reactancia de línea X, entonces esto fija un límite teórico para transmisión de potencia en estado estable. Un límite práctico para una línea actual con una resistencia R debe ser impuesto por

las pérdidas de efecto Joule que calientan el conductor, a cierta temperatura las características físicas de este podrían cambiar irreversiblemente. Esto fija un límite térmico para la máxima potencia transmisible, generalmente para líneas largas X y para líneas cortas R proporcionarán las principales limitantes de transmisión.

## 7. Limitaciones dinámicas de la transmisión de potencia

Los sistemas de potencia AC emplean máquinas rotativas sincrónicas para la generación de potencia eléctrica. Es fundamental que todos los generadores en el sistema operen en sincronismo entre sí manteniendo una frecuencia común de sistema. Sin embargo los sistemas de potencia están expuestos a varias perturbaciones dinámicas tales como fallas en las líneas, equipos y maniobras, las cuales pueden causar cambios repentinos en el balance de la potencia activa del sistema y la consecuente aceleración y desaceleración de ciertas máquinas. La capacidad del sistema para recobrase de estas perturbaciones y regresar al sincronismo de estado estable bajo condiciones de contingencia, se convierte en un criterio básico de diseño y operación para la capacidad de transmisión. Esta capacidad es usualmente caracterizada por la estabilidad transitoria y dinámica del sistema. Un sistema de transmisión es transitoriamente estable si puede volver a operación normal después de una perturbación importante. Similarmente el sistema es dinámicamente estable si es capaz de recobrase de una perturbación menor. La estabilidad dinámica indica la característica de amortiguamiento del sistema. Una inestabilidad dinámica significa que una perturbación menor puede llevar a oscilaciones de potencia crecientes y a una eventual pérdida de sincronismo.

## 8. Sistemas de transmisión ac flexible (facts)

El término FACTS engloba la totalidad de los sistemas basados en la electrónica de alta potencia que se utilizan para la compensación y transmisión de energía de corriente alterna.

Los sistemas principales con tiristores son: Compensador estático de reactivos (SVC), capacitor serie controlado con tiristores (TCSC) y el cambiador de fase. Similarmente los dispositivos basados en convertidores son: Fuente de voltaje sincrónica (SVS), compensador estático sincrónico (STATCOM), compensador estático sincrónico serie (SSSC), controlador de flujo de potencia unificado (UPFC), controlador de flujo de potencia interlínea (IPFC). [3]

## Compensador Estático De Reactivos (Svc)

Los compensadores estáticos de reactivos controlados mediante tiristores son los pioneros de los actuales controladores FACTS. Desarrollados a principios de la década de los setenta para compensación de hornos de arco industriales fueron adaptados después para aplicaciones de transmisión. Un compensador estático de reactivos conectado en derivación está compuesto de bancos de capacitores y de reactores conmutados mediante tiristores como se muestra en la Figura 2. Con una apropiada coordinación de la conmutación de los capacitores y el control de los reactores, la salida en VARS puede ser variada continuamente entre los rangos capacitivo e inductivo del equipo. [8]

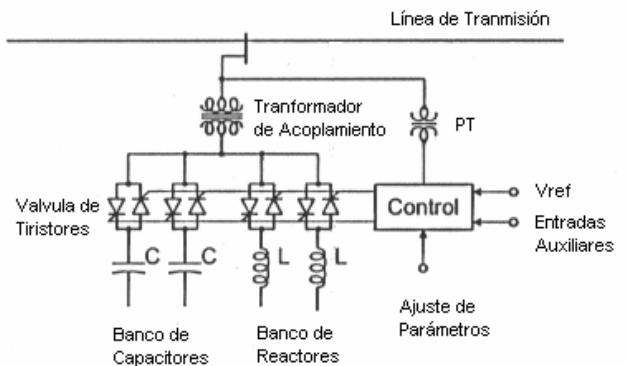


Figura 2.

El compensador es operado normalmente para regular el voltaje del sistema de transmisión en una terminal determinada. La regulación cercana al voltaje nominal puede ser alcanzada en el rango normal de operación definido por las máximas corrientes capacitivas e inductivas del SVC. Sin embargo, la corriente capacitiva máxima obtenible decrece linealmente, (y la potencia reactiva generada en cuadratura), con el voltaje del sistema ya que el SVC se convierte en un capacitor fijo cuando la máxima salida capacitiva es alcanzada.

Por lo tanto la capacidad de soporte de voltaje del SVC convencional se deteriora rápidamente si el voltaje del sistema decrece.

Adicionalmente al soporte de voltaje, los SVC son empleados también para el mejoramiento de la estabilidad transitoria y dinámica.

## Capacitor serie controlado con tiristores (tcsc)

Los dos esquemas básicos de los capacitores serie controlados con tiristores son: usando capacitores

conmutados por tiristores (Figura 3) y usando un capacitor fijo en paralelo con reactores controlados con tiristores (Figura 4).

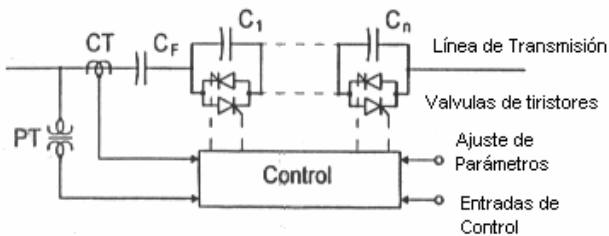


Figura 3

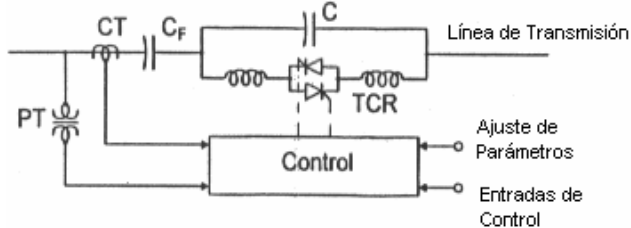


Figura 4.

En el esquema de capacitores conmutados por tiristores, el grado de compensación es controlado por el incremento o la disminución del número de bancos de capacitores en serie.

En el otro esquema, que es el de los capacitores fijos en paralelo con los reactores controlados por tiristores, el grado de compensación serie es aumentado (o disminuido) aumentando el período de conducción del tiristor.

Los dos esquemas pueden ser combinados mediante la conexión de un número determinado de reactores controlados por tiristores sumados a arreglos de capacitores fijos en serie con el fin de conseguir un mayor rango de control y flexibilidad.[2]

En conclusión, la principal tarea de la compensación serie es la de modificar la impedancia característica de la línea mediante la inserción de capacitores o reactores, con esto se puede aumentar o disminuir la capacidad de transmisión de potencia activa a través de la línea ya que en un sistema interconectado la potencia fluirá por la línea que presente una menor impedancia.

## Cambiador De Fase

Aunque no existe un cambiador de fase no mecánico de alta potencia en servicio actualmente, los principios para el uso de un transformador cambiador de fase con un cambiador de tap controlado mediante tiristores, están bien establecidos.

La mayoría de los cambiadores de fase convencionales son cambiadores de tap mecánicos. Como su contraparte a tiristores, suministran una inyección de voltaje en cuadratura.

Un arreglo transformador, cambiador de fase controlado mediante tiristores, se muestra en la Figura 5. Este consiste en un transformador de excitación conectado en derivación con los taps apropiados, un transformador de inserción serie y un arreglo de tiristores conectando una combinación seleccionada de taps del secundario del transformador de inserción; el transformador de excitación tiene tres arrollamientos secundarios no idénticos en proporciones 1:3:9 el cual está en capacidad de producir un total de 27 pasos por fase con un arreglo de suiches que puede hacer derivaciones a un arrollamiento o incluso cambiar su polaridad.

Los requerimientos de cambio de fase para control de flujo de potencia pueden ser determinados a partir de medidas de ángulo, si están disponibles, o medidas de potencia. El transformador cambiador de fase controlado mediante tiristores puede ser utilizado para regular el ángulo de transmisión para mantener un flujo de potencia balanceado en múltiples caminos de transmisión o para controlarlo para incrementar la estabilidad transitoria y dinámica del sistema de potencia.[1]

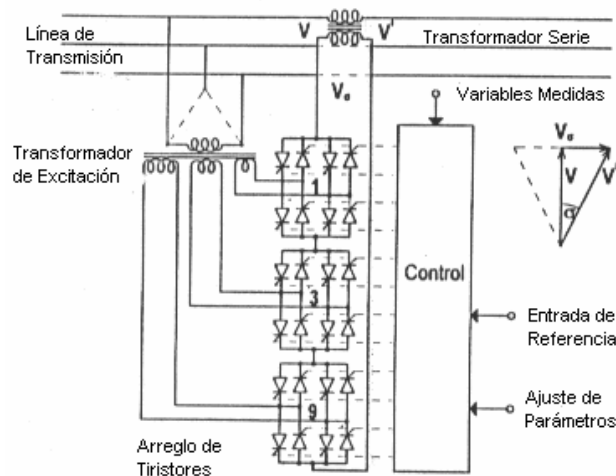


Figura 5.

## Compensadores Facts Con Convertidores

Este grupo de compensadores FACTS utiliza convertidores auto-conmutados para crear fuentes de voltaje o corriente AC sincrónicas estáticas de estado sólido. El abordar el problema de esta forma, al ser comparado con los métodos de compensación convencional que emplean capacitores y reactores controlados mediante tiristores, ofrece generalmente unas características de rendimiento superiores y mayor uniformidad en el voltaje de transmisión, impedancia efectiva de la línea y control de

ángulo. Estos también ofrecen la capacidad de intercambiar potencia real directamente con el sistema, además de suministrar una compensación de potencia reactiva que puede ser independientemente controlable, por lo tanto se convierte en una poderosa nueva opción para el control del flujo de potencia y la neutralización de las perturbaciones dinámicas.

## Fuente De Voltaje Sincrónica Estática (Svs)

La fuente de voltaje síncrona estática puede ser implementada mediante varios convertidores de potencia, un convertidor elemental de seis pulsos es mostrado en la figura # 6. Este consiste en seis suiches semiconductores autoconmutados, usualmente GTO's (Gate turn-off thyristor), cada uno de los cuales es conectado en antiparalelo con un diodo. (Debe notarse que en un convertidor de alta potencia cada dispositivo de conmutación puede consistir en una cadena de suiches conectados en serie para alcanzar el voltaje requerido) con una fuente de voltaje DC, el convertidor puede producir un arreglo balanceado de tres ondas de voltaje cuasicuadradas de cierta frecuencia, al generar esas ondas de voltaje con el apropiado desplazamiento de fase sucesivo y sumando las componentes resultantes, una onda de voltaje multipulsos puede ser obtenida a la salida. Con un número suficiente de convertidores elementales la onda de salida puede ser aproximada a una onda seno tan precisa como se desee. Una posible estructura de un convertidor multipulso es mostrado esquemáticamente en la Figura 7. como también las formas de onda del voltaje y la corriente a la salida para un arreglo de 48 pulsos empleando 8 convertidores elementales de seis pulsos (Figura 8.).

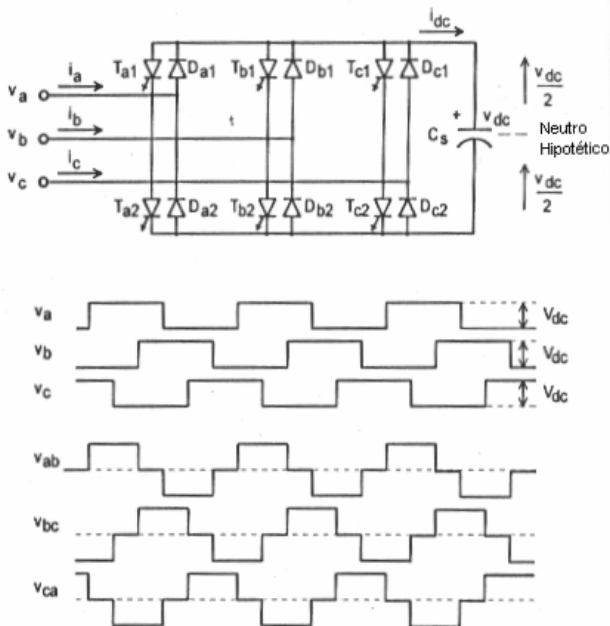


Figura 6

El intercambio de potencia reactiva entre el convertidor y el sistema AC puede ser controlado variando la amplitud del voltaje trifásico de salida producido, esto es, si la amplitud del voltaje de salida es aumentada sobre el valor del sistema AC, la corriente fluirá a través de la reactancia desde el convertidor hacia el sistema AC y el convertidor generará potencia reactiva (capacitiva) para el sistema, si la amplitud del voltaje de salida es disminuida por debajo de la del valor del sistema, entonces la corriente reactiva fluirá del sistema AC hacia el convertidor y este absorberá potencia reactiva (inductiva).

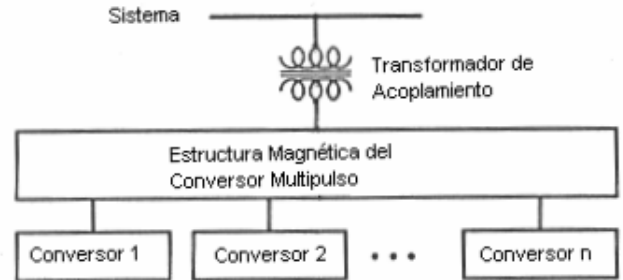


Figura 7.

Similarmemente el intercambio de potencia real (activa) entre el convertidor y el sistema AC puede ser controlado haciendo un desplazamiento de fase del voltaje de salida del convertidor con respecto al voltaje del sistema, esto significa que el convertidor entregará potencia activa de su almacenamiento de energía DC si la salida de voltaje del convertidor es puesta en adelanto respecto al sistema, de la misma forma el convertidor absorberá potencia activa del sistema si su voltaje es fijado en atraso. [5]

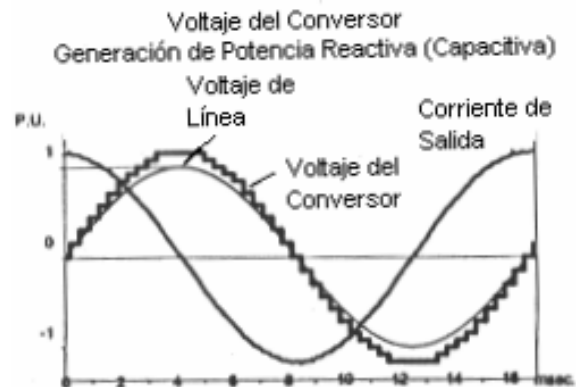


Figura 8.

## Compensador Estático Síncrono (STATCOM)

Si el SVS es usado estrictamente para compensación reactiva en derivación como un SVC convencional, la fuente de energía DC puede ser remplazada por un capacitor relativamente pequeño, Figura 9, en este caso el intercambio de potencia entre el SVS y el sistema puede

ser únicamente reactivo. El SVS al ser operado como un compensador de reactivos en paralelo, exhibe unas características de operación y rendimiento similares a las de un compensador rotativo sincrónico ideal y por esta razón es llamado compensador estático sincrónico (STATCOM), las características de este último son superiores a aquellas que pueden ser alcanzadas con un SVC convencional.

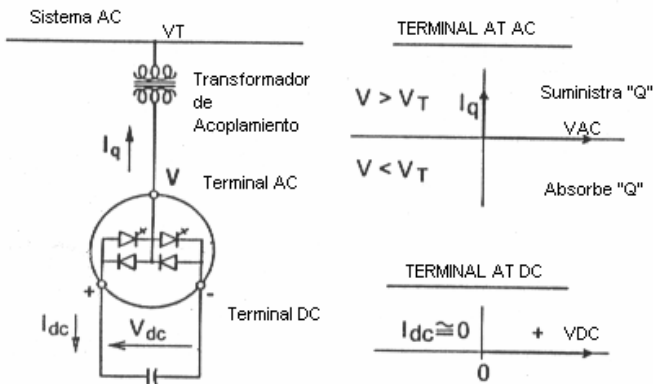


Figura 9.

El STATCOM puede suministrar compensación capacitiva e inductiva y es capaz de controlar su salida de corriente sobre un máximo rango (capacitivo o inductivo) independientemente del voltaje del sistema AC. Por el contrario el SVC al estar compuesto de capacitores y reactores, puede únicamente suministrar una corriente que disminuye paralelamente con el decrecimiento del voltaje del sistema que es determinado por la máxima admitancia capacitiva equivalente. El SVC no tiene forma de incrementar transitoriamente la generación de potencia reactiva (VARS) ya que la corriente capacitiva máxima que él puede absorber esta estrictamente determinada por el tamaño del capacitor y la magnitud del voltaje del sistema. La capacidad transitoria disponible en el STATCOM depende en las características de los semiconductores de potencia usados y en la temperatura de juntura a la cual los dispositivos son operados, el potencial del STATCOM para producir una salida de corriente capacitiva alta con un voltaje del sistema bajo lo hace muy efectivo en el mejoramiento de la estabilidad transitoria. [5]

## Compensador Estático Sincrónico Serie (SSSC)

El concepto del uso de fuentes de voltaje sincrónicas de estado sólido para compensación reactiva serie está basado en el hecho de que la característica "Impedancia vs frecuencia" del capacitor serie convencionalmente utilizado. La función del capacitor serie es simplemente producir un voltaje apropiado a la frecuencia fundamental del sistema AC para incrementar el voltaje a lo largo de la impedancia inductiva de la línea, la corriente fundamental de la línea y la potencia transmitida (figura #10). Esto tiene el mismo efecto eléctrico de que la inductancia serie de la línea fuera reducida a la de una línea más pequeña. De este modo, si una fuente de voltaje AC en la frecuencia

fundamental con una relación de cuadratura al de la corriente de la línea es inyectada en serie con la línea, el equivalente a la compensación proporcionada por un capacitor serie es obtenida, esto representa un capacitor serie virtual generando el mismo voltaje de compensación que su contraparte real. Sin embargo en contraste con el capacitor serie real, la fuente de voltaje serie es capaz de mantener un voltaje compensador constante frente a una corriente de línea variable o controlar la amplitud del voltaje de compensación inyectado independientemente de la amplitud de la corriente de línea.

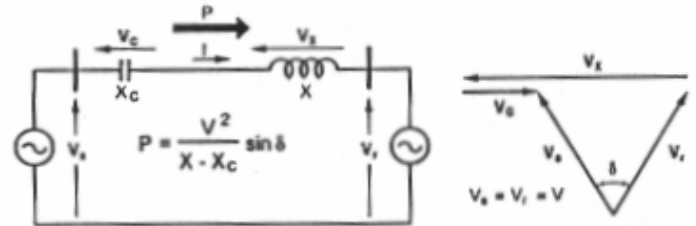


Figura 10.

Para compensación normal capacitiva la salida de voltaje está atrasada con respecto a la corriente de línea 90 grados, sin embargo la salida de voltaje de esta fuente serie puede ser reversada por una simple acción de control para situarla en adelante de 90 grados con respecto a la línea, en este caso la compensación serie tiene el mismo efecto de que la impedancia reactiva de la línea fuera incrementada, este esquema de compensación serie es llamado compensador estático sincrónico serie (SSSC) (figura 11.). [2]

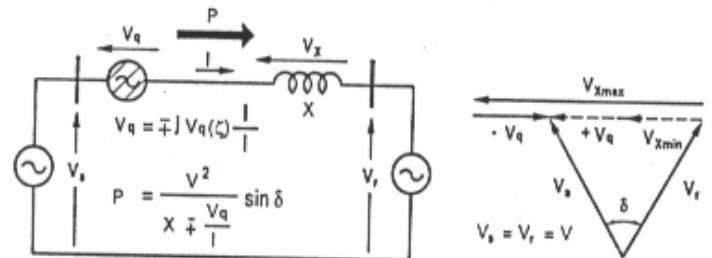


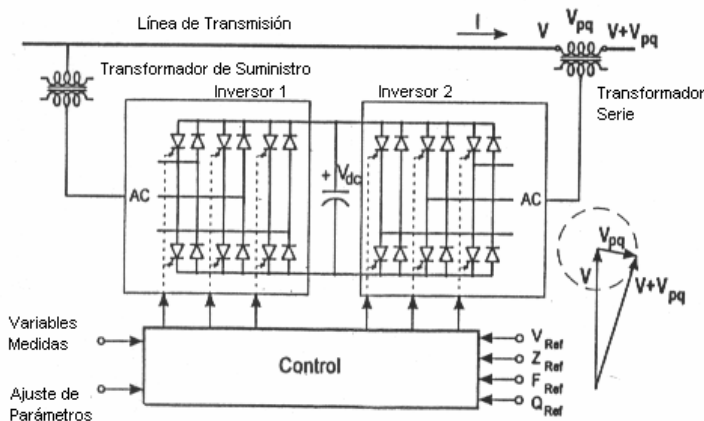
Figura 11.

## Controlador De Flujo De Potencia Unificado (Upfc)

El Controlador de flujo de potencia unificado (UPFC) fue propuesto en una reunión de la IEEE en 1994, para control en tiempo real y compensación dinámica de sistemas de transmisión AC, proporcionando la flexibilidad funcional necesaria requerida para resolver los problemas que actualmente se presentan en los sistemas de potencia.

El UPFC consiste en dos convertidores los cuales son implementados como inversores usando GTO's. Dichos inversores son operados desde una conexión común en DC proporcionada por un capacitor de almacenamiento, este arreglo funciona como un convertidor de potencia ideal de AC a AC en el cual la potencia activa puede fluir

libremente en cualquier dirección entre las terminales de AC de los dos inversores y cada uno puede generar (absorber) independientemente potencia reactiva en su propia terminal de AC (Figura 12).



**Figura 12.**

El inversor que implementa la fuente de voltaje serie proporciona la principal función del UPFC inyectando un voltaje AC con magnitud y ángulo de fase controlables en la línea a la frecuencia fundamental mediante un transformador de inserción. La corriente de la línea de transmisión fluye a través de esta fuente de voltaje resultando esto último en un intercambio de potencia activa y reactiva entre el dispositivo y el sistema de AC, la potencia activa intercambiada en los terminales del inversor serie es convertida por este en potencia DC la cual aparece en la conexión DC común como demanda de potencia activa positiva o negativa.

La función básica de la sección en derivación (STATCOM) es la de suministrar o absorber la potencia real demandada por el inversor serie en la conexión DC común. Esta potencia es convertida a AC y acoplada a la línea de transmisión mediante un transformador conectado en paralelo, el inversor en derivación puede también generar o absorber potencia reactiva controlable si se desea y por lo tanto puede proporcionar compensación reactiva en paralelo independiente a la línea.

El UPFC suministra el mayor nivel de control de todos los dispositivos de compensación, cuatro funciones básicas de control son posibles: regulación de voltaje terminal, compensación capacitiva serie, regulación de ángulo de transmisión (desplazamiento de fase), control de flujo de potencia multifuncional. [6]

## Controlador De Flujo De Potencia Interlínea (Ipfc)

El Controlador de flujo de potencia interlínea (IPFC) representa un concepto nuevo con el objetivo de suministrar un esquema de control de flujo de potencia flexible para un sistema de potencia multifilnea, en el cual dos (o más) líneas emplean un SSSC para compensación

serie. El esquema del IPFC junto con la compensación reactiva controlable independiente de cada línea, proporciona la capacidad para transferir potencia real entre las líneas compensadas, esto hace posible el igualar el flujo de potencia activa y reactiva entre las líneas para transferir potencia de líneas sobrecargadas a líneas subutilizadas. Compensación contra caídas de voltaje resistivas en la línea y la correspondiente potencia reactiva es también posible. Esto incrementa la efectividad del sistema de compensación contra perturbaciones dinámicas mejorando la estabilidad transitoria y amortiguando las oscilaciones de potencia.

La idea intrínseca de esta aproximación generalizada del IPFC es que las líneas subutilizadas o robustas son forzadas a ayudar a las débiles o sobrecargadas con el fin de optimizar la utilización de todo el sistema de transmisión.

La operación de un IPFC requiere que la suma de la potencia activa intercambiada por el número total de convertidores debe ser cero. Sin embargo, la distribución de la potencia positiva y negativa intercambiada con las líneas individuales por los convertidores dentro de esta restricción general es arbitraria; esto puede ser logrado mediante la adición de un convertidor conectado en paralelo (STATCOM); este arreglo es particularmente atractivo en aquellos casos en los cuales los requerimientos de compensación de potencia activa de las líneas débiles excede la potencia activa que puede ser absorbida por las líneas robustas sin impactar apreciablemente su propia transmisión de potencia. Otra aplicación útil es cuando se requiere compensación reactiva en derivación en la subestación para soporte de voltaje.[6]

## 9. Conclusiones

Los profundos cambios que viene sufriendo nuestra sociedad, principalmente en la última parte del siglo XX, a nivel demográfico, político, industrial y tecnológico, se han reflejado en el campo de los sistemas energéticos tanto en generación como en transmisión.

Como se expuso anteriormente, hay una necesidad apremiante de optimizar y flexibilizar nuestros sistemas de potencia para que se adapten al funcionamiento en un sector desregulado, altamente interconectado y de libre competencia, todo esto tomando como base la aplicación de los desarrollos sin precedentes en la electrónica de alta potencia.

Los sistemas de transmisión AC flexible (FACTS) han comenzado a sustentar todas las crecientes necesidades de los sistemas de potencia modernos y aunque muchos de ellos todavía se encuentran en fase experimental, su altamente previsible aplicación masiva a escala mundial

terminará por revolucionar los sistemas de potencia eléctrica de forma dramática.

## 10. Referencias Bibliograficas

[1] GYUGYI, L, "Power transmission control: basic theory; problems and needs; FACTS solutions ", chapter #1, FACTS, 1999

[2] GYUGYI, L, SCHAUDER, C.D. and SEN, K.K.: "Static Synchronous series compensator: a solid state approach to series compensation of transmission lines", IEEE Trans. On Power Delivery, 1997, 12, (1), pp. 1085- 1097.

[3] EDRIS, A. A, Chair of Task force et al.: "proposed terms and definitions for flexible AC transmission systems (FACTS)" ", IEEE Trans. On Power Delivery, 1997, 12, (4), pp. 1848- 1853.

[4] WATANABE, E., BARBOSA, P., "Tecnología FACTS, tutorial, ", SBA controle y automacao, vol 9, # 1, jan-abril 1998.

[5] GYUGYI, L, "Dynamic compensation of AC transmission lines by solid state synchronous voltage

sources", IEEE Trans. On Power Delivery, 1994, 9, (2), april 94.

[6] GYUGYI, L, "The interline power flow controller concept: a new approach to power flow management in transmission systems", IEEE Trans. On Power Delivery, 1999, 14, (3) .

[7] GALIANA, F. D., "Assessment and control of the impact of FACTS devices on power system performance", IEEE, trans. On power systems, vol 11, (4), november 1996, pp. 1931-1936.

[8] GYUGYI, L, "Power electronics in electric utilities: static var compensators", Proceedings of the IEEE, 76, (4) april 1998.

-----  
Si desea cambiar su dirección electrónica, suscribir a un colega, solicitar ediciones anteriores o borrarse de la lista de distribución, envíenos un mensaje a:

[carango@gamma.com.co](mailto:carango@gamma.com.co)

Atn Ing. Claudia Arango Botero.

Visítenos en nuestra página Web:  
<http://www.gamma.com.co> o [www.corona.com.co](http://www.corona.com.co)