

TECNOLOGÍA FACTS PARA EL CONTROL ÓPTIMO DE POTENCIA

Washington Garzón
Wilmer Gamboa
Dirección de Operaciones

RESUMEN

Entre las soluciones que se perfilan como la mejor alternativa factible cuando se trata de mejorar u optimizar el control de flujo de potencia, eficiencia, seguridad y confiabilidad de las líneas de transmisión existentes, se encuentran los FACTS (Flexible Alternating Current Transmisión Systems).

En general, los FACTS se definen como sistemas de compensación cuyo objetivo es controlar los parámetros de la red de transmisión tal como: impedancias serie y paralelo, corriente, voltaje, ángulo de fase, y amortiguamiento de las oscilaciones de potencia. Al variar cualquiera de estos parámetros no solo se optimiza el flujo de potencia, sino que también se logra mejorar la estabilidad y hacer más robusto al sistema ante perturbaciones.

Los propósitos de este estudio son:

- Conocer los principios básicos y funcionales, tipos y aplicaciones de los dispositivos FACTS dentro de un sistema eléctrico de potencia.
- Estudiar las características de control de los FACTS y compararlos con dispositivos convencionales.
- Observar sus efectos mediante simulaciones de aplicación en los principales centros de carga del SNI.

Se pretende contribuir a la expansión de la red de transmisión utilizando métodos y conceptos tecnológicos últimos que han sido probados con éxito.

PALABRAS CLAVE: FACTS, Electrónica de Potencia.

1. INTRODUCCIÓN

En muchos casos se vincula la necesidad de aumentar la capacidad de transporte de energía por las líneas de transmisión con la construcción de nuevas redes o repotenciando la capacidad de las mismas.

Es posible que en los próximos años, algunos proyectos para la construcción de nuevas líneas se cancelen o aplacen por restricciones de tipo ambiental, localización, derecho de vía o económico, entonces se produciría un incremento en la transferencia de potencia por las redes existentes originándose mayor complejidad en la operación de los sistemas eléctricos, disminuyendo su seguridad ante ocurrencia de fallas.

Algunas líneas de transmisión generan potencia reactiva cuando están levemente cargadas y la absorbe

cuando transportan grandes flujos de potencia, éste es el comportamiento natural de un sistema de potencia AC, pero esto interfiere con la eficiente transmisión de potencia activa.

Considerando los aspectos mencionados, el sistema de alto voltaje DC resolvería este problema, ya que remueve completamente la potencia reactiva. Pero una solución menos drástica y más económica, es un sistema en donde el control de potencia reactiva sea más rápido y confiable.

Los actuales sistemas de potencia son controlados y protegidos por computadores y con comunicaciones de alta velocidad; sin embargo, cuando las señales de comando son enviadas a los circuitos de potencia, donde se efectúa la acción final del control, los componentes de conexión son mecánicos y actúan, por lo tanto, con menor velocidad de acción, los cuales aunque han alcanzado una operación confiable, presentan varias desventajas como: su lentitud de operación, recierres y vida limitada de sus partes móviles.

Esto presenta una buena posibilidad para la implementación de la tecnología de los controladores flexibles de sistemas de transmisión AC, denominados FACTS.

Las posibilidades mencionadas, se alcanzan mediante la capacidad de los FACTS de controlar los parámetros del sistema de transmisión. Con la utilización de los controladores FACTS es posible mejorar la estabilidad en sistemas lejanos de los centros de generación; con controladores en paralelo; se puede redistribuir o direccionar los flujos de potencia, con controladores en serie o se puede aplicar combinaciones entre éstos según sean los requerimientos del sistema.

Los dispositivos FACTS permiten a través de diodos, tiristores y GTO modificar todos los parámetros descritos anteriormente de acuerdo a la configuración y disposición en una red de transmisión, entre ellos están:

- Permite incrementar y controlar la transferencia de flujos de potencia.
- Permite la transmisión de potencia a distancias eléctricas mucho más largas sin deteriorar la calidad de servicio, ni perder la estabilidad del sistema.
- Aumenta la seguridad del sistema mejorando el límite de estabilidad transitoria, controlando sobre

voltajes, limitando las corrientes de corto circuito y sobrecargas.

- Se puede interconectar sistemas que antes no podían estar sincronizados, ahora operan de forma más segura y estable conllevando a una disminución de los requerimientos de reservas de generación de reactivos.
- Incrementa la estabilidad del sistema y reduce las fluctuaciones de voltaje ante disturbios.
- Reduce los flujos de potencia reactiva por las líneas de transmisión, disminuyendo las pérdidas.

2. TIPOS BÁSICOS DE CONTROLADORES FACTS

Los diferentes dispositivos FACTS pueden clasificarse en 2 grandes grupos, aunque existen también combinaciones entre éstos, los cuales se describen a continuación:

2.1. Compensación Serie

Su representación gráfica se muestra en la Figura 1, y consta de una impedancia variable (capacitor o reactor) o de una fuente variable basada en electrónica de potencia.

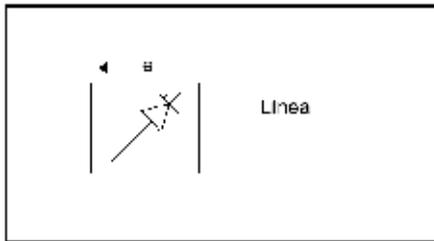


FIGURA 1: Diagrama Esquemático de un Controlador Serie

La misión es inyectar un voltaje en serie con la línea, es decir, una impedancia variable multiplicada por la corriente que fluye a través de ella representa el voltaje en serie inyectado a la línea, cuando el voltaje esté en cuadratura con la corriente de la línea se aporta o consume potencia reactiva; cualquier otro ángulo representa manejo de potencia activa.

Entre los principales controladores serie se incluyen los siguientes:

- SSSC = Compensador serie estático síncrono.
- TCSC = Capacitor en serie controlado por tiristores.
- TSSC = Capacitor en serie conmutado por tiristores.
- TCSR = Reactor en serie controlado por tiristores.
- TSSR = Reactor en serie conmutado por tiristores.

2.2. Compensación Paralelo

Así como en el caso anterior el controlador paralelo consta de una impedancia variable o fuente variable su representación gráfica se la muestra en la Figura 2.

Su principio operativo es inyectar corriente en el punto de conexión; es decir, una impedancia variable conectada al voltaje de la línea causa una corriente variable y con ello se consigue inyectar corriente a la línea, así mismo si la corriente está en cuadratura con el voltaje, el controlador aporta o consume potencia reactiva; cualquier otro ángulo representa modificación de potencia activa.

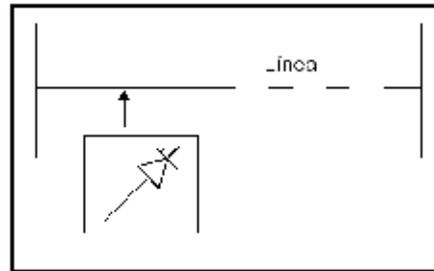


FIGURA 2: Diagrama Esquemático de un Controlador en Paralelo

Entre los principales controladores en paralelo se incluyen los siguientes:

- SVC = Compensador estático de VAR.
- STATCOM = Compensador estático síncrono.
- TCR = Reactor controlado por tiristores.
- TSR = Reactor conmutado por tiristores.
- TSC = Capacitor conmutado por tiristores.
- SVG = Sistema estático de generación y absorción de potencia reactiva.
- SVS = Sistema estático de control de potencia reactiva.

2.3. Compensación Serie - Serie

Esto se logra combinando controladores serie coordinados, en los que los controladores proveen compensación reactiva en serie para cada línea y además transferencia de potencia activa entre las líneas.

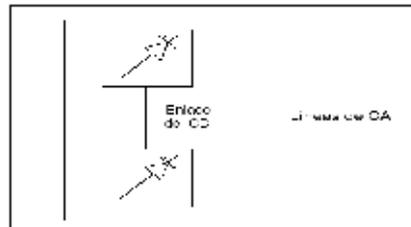


FIGURA 3: Diagrama Esquemático de un Controlador Serie-Serie Unificado

La combinación de los controladores serie puede variar tal como se muestra en la Figura 3. Este controlador

permite maximizar el uso de los sistemas de transmisión, se lo denomina unificado ya que los terminales de CD de los convertidores se conectan para lograr la transferencia de potencia activa entre sí.

La capacidad de transferencia de potencia activa del controlador unificado serie-serie, considerando su comportamiento como controlador de flujo de potencia entre líneas (**IPFC** Interline Power Flow Controller), permite balancear ambos flujos de potencia activa y reactiva en las líneas y por lo tanto maximizar la utilización de los sistemas de transmisión.

2.4. Compensación Serie - Paralelo

Esta configuración se la puede realizar por separado o con elementos unificados, los cuales inyectan corriente a través del controlador paralelo y un voltaje en serie con la línea utilizando el controlador serie. Cuando los controladores son unificados fluye entre ellos potencia activa, su representación grafica se la muestra en la Figura 4.

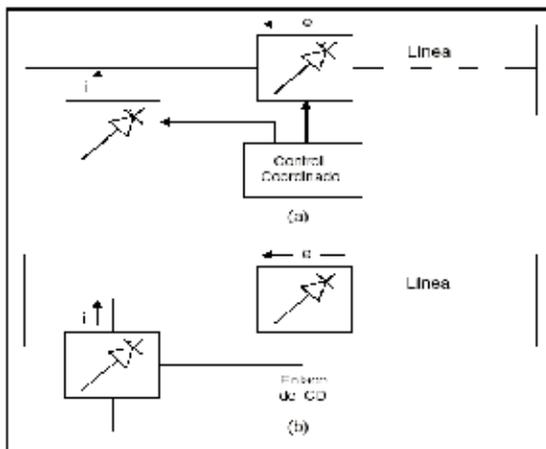


FIGURA 4: (a) Controlador Coordinado Serie-Paralelo; (b) Controlador Unificado Serie-Paralelo

Entre los principales controladores serie paralelo se citan los siguientes:

UPFC = Controlador unificado de flujos de potencia.

TCPST = Transformador desfasador controlado por tiristores.

TCVR = Regulador de voltaje controlado por tiristores.

TCVL = Limitador de voltaje por tiristores.

3. PRINCIPIOS BÁSICOS Y FUNCIONALES

A continuación se detallan los dispositivos más representativos que se hallan en el mercado.

3.1. El Compensador Estático de Vares SVC

El SVC es un componente estático en paralelo, el cual produce o absorbe potencia reactiva cuya salida varía para intercambiar corriente capacitiva o inductiva, así como para mantener o controlar parámetros específicos del sistema (voltaje en las barras).

El valor real del SVC está en su velocidad y flexibilidad de inyección de potencia reactiva, puede cambiar desde una total absorción a una completa generación en pocos ciclos.

El controlador SVC, se interconecta con el sistema de potencia a través de transformadores para reducir el número de tiristores conectorador en serie y utilizar toda su capacidad de conducción.

Su principal utilización es el control rápido y continuo del voltaje de la barra, ya que permite controlar la cantidad exacta de potencia reactiva que se necesita para mantener un voltaje dentro de un rango predeterminado. Su velocidad de operación y capacidad de ciclo provocan la estabilización de los sistemas de potencia luego de una perturbación.

3.2. El Controlador Unificado de Flujos de Potencia UPFC

El UPFC es una combinación de un compensador estático STATCOM en paralelo y un compensador serie estático SSSC, los cuales se acoplan mediante un vínculo común de corriente continua para permitir un flujo bidireccional de potencia activa entre los terminales de salida en serie del SSSC y los terminales de salida paralelos del STATCOM, como se la muestra en la Figura 5.

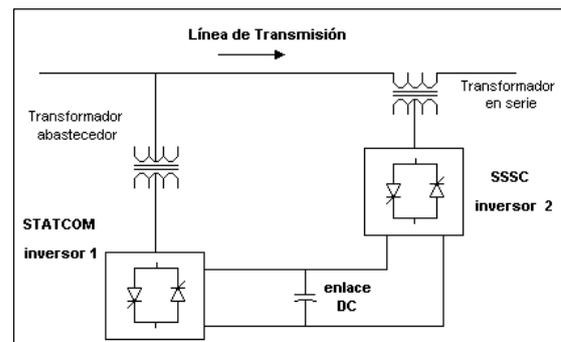


FIGURA 5: El UPFC como una Combinación del STATCOM y el SSSC

El UPFC tiene la capacidad de modificar todos los parámetros de las líneas de transmisión afectando al flujo de potencia (impedancia, ángulo y voltaje) simultáneamente sin cargar el sistema de transmisión con requerimientos de potencia reactiva.

En la Figura se observa el diagrama unificar del UPFC en donde los inversores operados desde un enlace común DC proporcionado por el capacitor, el cual

permite a la potencia activa fluir en una u otra dirección entre los terminales AC de los 2 inversores.

Cada inversor puede generar o absorber independientemente potencia reactiva en su propio terminal AC. El inversor 1, generalmente opera para suministrar la exigencia de la potencia activa del inversor en el enlace común DC, también puede controlar independientemente la potencia reactiva en su terminal AC proporcionando compensación reactiva para la línea de transmisión y la regulación indirecta de voltaje.

El inversor 2, genera un voltaje que se añade al voltaje terminal del sistema AC a través del transformador conectado en serie. Esta inyección de voltaje tiene una amplitud variable sobre un rango completo de 360 grados de ángulo de fase.

Una de las principales aplicaciones del UPFC es que disminuye los problemas de estabilidad transitoria que requieren de la rápida acción de los dispositivos de control. Los dispositivos deben extraer energía desde el generador que abastece al sistema receptor.

Esto se realiza modificando la impedancia de la línea y el ángulo, proporcionando también potencia reactiva a la red.

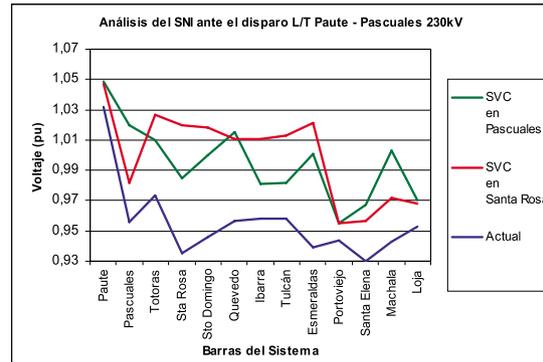
4. RESULTADOS DE SIMULACIONES

Para corroborar las ventajas en la utilización de dispositivos FACTS, se ha realizado la simulación de la instalación de un SVC tanto en la S/E Santa Rosa como en la S/E Pascuales que son los principales centros de carga del SNI del Ecuador para observar como varían los perfiles de voltaje ante la ocurrencia del disparo de la L/T Paute – Pascuales y ante el disparo de la Central Térmica Trinitaria.

Para el Caso 1 se simula el disparo de la L/T Paute – Pascuales cuyos resultados se muestran a continuación:

		Actual	SVC en Santa Rosa	SVC en Pascuales	
Perfiles de voltaje	230 kV	Paute	1,032	1,047	1,049
		Pascuales	0,956	0,982	1,02
		Totoras	0,973	1,027	1,01
		Sta Rosa	0,935	1,02	0,985
		Sto Domingo	0,946	1,018	1
		Quevedo	0,957	1,011	1,015
138 kV	Ibarra	0,958	1,011	0,981	
	Tulcán	0,958	1,013	0,982	
	Esmeraldas	0,939	1,021	1,001	
	Portoviejo	0,944	0,955	0,955	
	Santa Elena	1,004	0,957	0,967	
	Machala	0,93	0,972	1,003	
	Loja	0,953	0,968	0,97	

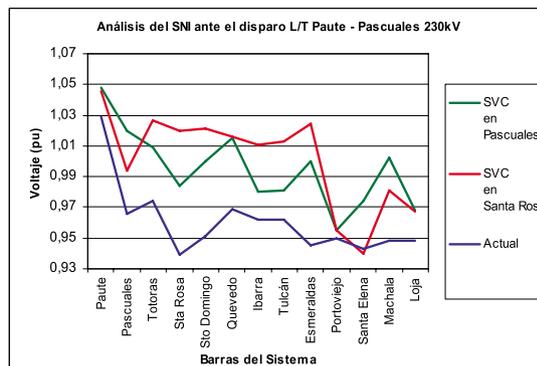
Para observar con mejor detalle se muestra gráficamente los resultados obtenidos



Para el Caso 2, se simula el disparo de la Central Térmica Trinitaria con 130MW, cuyos resultados se muestran a continuación:

		Actual	SVC en Santa Rosa	SVC en Pascuales	
Perfiles de voltaje	230 kV	Paute	1,029	1,046	1,048
		Pascuales	0,966	0,994	1,02
		Totoras	0,974	1,027	1,009
		Sta Rosa	0,939	1,02	0,984
		Sto Domingo	0,951	1,021	1
		Quevedo	0,969	1,016	1,015
138 kV	Ibarra	0,962	1,011	0,98	
	Tulcán	0,962	1,013	0,981	
	Esmeraldas	0,945	1,024	1	
	Portoviejo	0,95	0,955	0,955	
	Santa Elena	0,943	0,94	0,974	
	Machala	0,948	0,981	1,002	
	Loja	0,948	0,967	0,968	

Para observar con mejor detalle se muestra gráficamente los resultados obtenidos



5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos para el estado estable, se puede concluir que lo ideal para el SNI sería la instalación de SVC's, tanto en Santa Rosa como en Pascuales, ya que el problema que se tiene es déficit de potencia reactiva, y no de sobrecarga en los elementos del anillo de 230kV. Pero bastaría con la instalación de un SVC en Santa Rosa, ya que se muestra que mejora los perfiles de la mayoría de barras del sistema.

Para el dispositivo UPFC se justificaría la instalación en sistemas radiales o longitudinales (mayores a 400Km), ya que se aumentaría la capacidad de transporte por la red y se controlaría los voltajes al mismo tiempo.

La instalación de un SVC al ser dispositivo controlado automáticamente representa un costo elevado de inversión inicial pero mostraría sus beneficios ya que tiene una vida útil alta y su mantenimiento se reduce únicamente a una supervisión.

En general, el uso de dispositivos FACTS brindan las siguientes ventajas:

- Permiten mejor control del flujo de potencia, en la red de transmisión.
- Se puede operar con seguridad con niveles de carga cercanos a los límites de operación de las líneas.
- Incrementan la seguridad del sistema al aumentar el límite de estabilidad transitoria, limita corrientes de cortocircuito y sobrecargas.
- Amortiguan oscilaciones del sistema de potencia.
- Responden rápidamente a los cambios en las condiciones operativas proporcionando un control en tiempo real.
- Presentan una flexibilidad única en los 3 estados operativos; pretalla, falla y postfalla.

En la siguiente Tabla se muestra el Impacto de los principales controladores FACTS sobre distintos atributos de control.

a) Control/ Controlador	SVC	TCSC	TCPST	UPFC
b) Control de Voltaje	x x x	x	x	x x x
Control de Flujo de Carga	-	x	x x x	x x x
II. Estabilidad Transitoria	x	x x x	x x	x x x

Referencias:

- = Sin influencia o con influencia despreciable.
- x = Influencia pequeña.

En general los SVC's son aplicables por 3 razones básicas: el control del voltaje sobre si mismo; el control del voltaje para mantener y mejorar la capacidad de transmisión de potencia en estado estable y aumentar la estabilidad (transitoria y amortiguamiento de las oscilaciones).

Debido a que los cambios que ocurren el voltaje son normalmente lentos parecería que un SVC no es necesario para mantener el voltaje constante, sin embargo, si una perturbación ocurre un SVC puede reaccionar en solo unos milisegundos para devolver el voltaje a su valor original manteniendo la estabilidad de la red y prevenir un posible colapso de voltaje.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] GAMBOA W.; GARZÓN W.; Estabilidad de Voltaje y Control Óptimo de Potencia a Través de la Tecnología FACTS, Cap. 4 y 5 Tesis de Grado, 2002.
- [2] SERRANO, Benjamín; Conceptos y Consideraciones Generales de los FACTS, Universidad Nacional de San Juan Argentina, PP.1-31, 2001.
- [3] CORONADO, Ixtláhuatl; ZÚÑIGA, Zúñiga; y RAMÍREZ, J., FACTS: Soluciones Modernas para la Industria Eléctrica", Artículo publicado en www.cinvestav.mx.



Washington E. Garzón

Nació en la ciudad de Latacunga en Julio de 1974. Cursó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico, basando su proyecto de titulación en Estabilidad de Voltaje y Control Optimo de Potencia.

Desde el 2000 hasta el 2005 ejerció como Ingeniero Operador de Generación y Transmisión en la Dirección de Operaciones. A partir de marzo del 2005 se desempeña como de Supervisor de Operaciones en el Centro de Operaciones del CENACE.



Wilmer Patricio Gamboa Naranjo.-

Nació el 31 de Marzo de 1975 en la ciudad de Ambato, cursó sus estudios superiores en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional, basando su Proyecto de Titulación en el Análisis de Estabilidad de Voltaje y Control Optimo de Potencia.

Actualmente, se encuentra laborando en la Corporación Centro Nacional de Control de Energía CENACE, Dirección de Operaciones desde el año 2001. Su campo de acción es la operación en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado.