

FACTS Formas de usar más eficientemente las líneas eléctricas existentes.

Faustino de la Bodega¹, María Dolores Gutiérrez¹, Zalao Aginako¹, Koldobika J. Sagastabeitia¹

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica
E.U.I.T.I. de Bilbao (EHU/UPV)
Plaza de la Casilla nº 3, 48012 (Bilbao)

Tel.:+34 946014361, +34 946014364, +34 946014388, +34 946014371, fax:+34 946 014300,

e-mail: faustino.delabodega@ehu.es, mariadolores.gutierrez@ehu.es, zalao.aginako@ehu.es,
koldo.sagastabeitia@ehu.es

Resumen. Desde sus comienzos, a finales del siglo XIX hasta nuestros días, a la hora de dar su servicio, las “Compañías Eléctricas” han hecho frente a los problemas de “optimización de las variables del sistema” así como los problemas inherentes a ellas asociados y sus limitaciones.

Como ejemplos típicos podemos citar:

- El mantenimiento de la tensión entre límites muy estrechos al final de una línea. Resuelta de *forma convencional* con la “compensación de potencia reactiva” mediante reactancias inductivas y/o capacitivas conectadas en serie o paralelo con la línea por escalones o de forma discreta.
- Los problemas de optimización del flujo de energía cuando algunas líneas de transmisión están sobrecargadas al mismo tiempo que otras están infrautilizadas. Estos problemas han sido resueltos de *forma convencional* mediante dispositivos desfasadores, etc.

El trabajo que presentamos, se basa en la utilización de elementos para el control estático y dinámico de las redes, conocidos en el mundo técnico como "FACTS". El acrónimo FACTS engloba en definitiva la totalidad de dispositivos y sistemas basados en la “electrónica de potencia” y utilizados para la transmisión de la energía en corriente alterna en las redes de transporte y distribución de energía.

Palabras clave: Fiabilidad, Control, Flexibilidad, Estabilidad, FACTS.

1. Aplicaciones de los FACTS

A la hora de abordar los problemas relacionados con la transmisión de la energía eléctrica, es necesario indicar que no siempre los FACTS son la mejor solución. Para

que la instalación de FACTS quede justificada han de darse en el interruptor al que afectan al menos una de las dos siguientes características:

- Maniobras frecuentes
- Capacidad de respuesta rápida

Características que no son capaces de proporcionar los interruptores electromecánicos. De no darse estas circunstancias se puede afirmar sin temor a equivocarse que la solución más racional, y también la más barata, sigue siendo mediante dispositivos convencionales.

Las características anteriores las proporcionan los interruptores y controladores de estado sólido a base de tiristores que determinan sus aplicaciones, lo cual podría resumirse a grandes rasgos en:

- Control continuo de variables eléctricas.
- Control de estabilidad

1.1 Control Continuo.

Trata sobre la regulación de determinadas variables eléctricas para mantener unos valores prefijados en determinados puntos o zonas, tales como tensión en barras, potencia activo y/o reactiva transportada por las líneas, etc, acciones para las que se requieren de frecuentes maniobras.

Como ejemplo, los FACTS son útiles en asuntos tales como:

- Control del flujo de potencia
- Limitación de las potencias por líneas y transformadores.
- Compensación en líneas largas.

1.2 Control de Estabilidad

Se trata sobre dispositivos de amortiguamiento en condiciones de explotación en las que se presentan

oscilaciones de potencia poco amortiguadas entre subsistemas o zonas distintas; se requiere una capacidad de respuesta rápida.

El uso de FACTS puede resolver problemas de:

- Estabilidad en régimen permanente.
- Estabilidad transitoria.
- Estabilidad oscilatoria.

2. Clasificación de algunos dispositivos FACTS más comunes

Existe un gran número de dispositivos "FACTS" con distintas constituciones, no obstante, su principio de funcionamiento no suele ser complicado y en muchos de ellos se deriva de la simple aplicación de la electrónica a equipos conocidos tradicionalmente.

Por ello, podremos dividir a los FACTS en cuanto a su concepción en dos grandes grupos:

- FACTS derivados de la aplicación de "Conmutadores Electrónicos" a equipos tradicionales.
- FACTS basados en la aplicación de "Convertidores"

Y en cuanto a sus acciones sobre el sistema los dividimos como:

- Dispositivos de Compensación en paralelo, derivación o "Shunt".
- Dispositivos de compensación en serie.
- Dispositivos desfases.

En el estudio que a continuación realizamos nos vamos a centrar únicamente en los FACTS basados en la técnica de conmutadores y aplicados a dispositivos de compensación.

3. Dispositivos conectados en paralelo, derivación o "shunt" (SVC)

Son los conocidos en la literatura técnica como "compensadores estáticos SHUNT de potencia reactiva", que se designan como SVC (Static Var Compensators). Estos dispositivos aportan una inyección de potencia reactiva a la red eléctrica mediante el control de reactancias y/o capacidades.

Mediante la técnica de conmutación se pueden obtener los siguientes tipos de compensación:

- **Compensación discreta** o por paquetes, como en la técnica clásica en el que se ha sustituido el interruptor mecánico por uno electrónico. (El interruptor abre o cierra el circuito un número entero de semiciclos).
- **Compensación continua**, en cuanto a constitución y principio de funcionamiento es

idéntica a la anterior, diferenciándose en que, en este caso, los tiristores se utilizan como controladores (El interruptor abre o cierra el circuito en un instante cualquiera)

Dado que el funcionamiento y aplicaciones de los FACTS radican en la conmutación mediante tiristores, entendemos que es necesario dar una visión concisa pero clara sobre este elemento.

4. El Tiristor (T)

El Tiristor como es sabido, es un dispositivo que además de ánodo "A" y cátodo "C" como el diodo, dispone de un dispositivo de cebado o puerta "G", tal y como se indica (Fig.1)

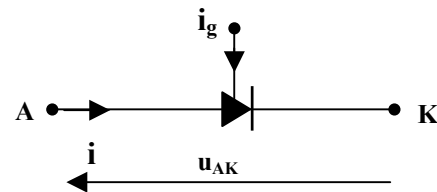


Fig. 1. Tiristor

4.1 Estados de funcionamiento

Los estados de funcionamiento del tiristor son dos: Estado de Bloqueo y Estado de Conducción.

Bloqueado o Abierto, en este estado el tiristor está bloqueado o no conduce " $i(t) \approx 0$ " en los siguientes supuestos:

- Cuando la tensión ánodo cátodo es negativa " $u_{AK} < 0$ " tal como un diodo.
- Cuando, aún siendo positiva la tensión ánodo cátodo " $u_{AK} > 0$ ", o no se está inyectando impulso de corriente alguno entre puerta y cátodo " $i_g = 0$ " o este es negativo " $i_g < 0$ ". Esta cualidad le diferencia del diodo.

Conducción o Cerrado, en este estado el tiristor deja pasar la corriente y conduce " $u_{AK} \approx 0$ ". Este estado se da:

- Cuando la tensión ánodo cátodo es positiva " $u_{AK} > 0$ " y se inyecta un impulso positivo de corriente entre puerta y cátodo " $i_g > 0$ ".

Mientras conduce " $i(t) > 0$ ", el tiristor se comporta como un diodo, volviendo a bloquearse cuando se anula la corriente " $i(t) = 0$ "; en consecuencia una vez cebado el tiristor la puerta pierde todo poder de control sobre el mismo

5. Modos de funcionamiento

Estudiaremos dos modos de funcionamiento: como interruptor y como regulador. En ambos casos el elemento está formado por dos tiristores conectados en oposición o contrafase, conexiones llamadas también en antiparalelo o paralelo inverso. (Fig. 2)

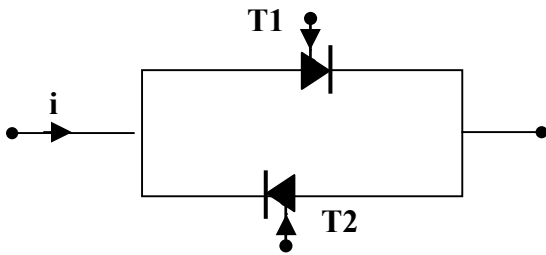


Fig. 2. Interruptor o controlador

5.1 Funcionamiento como interruptor (TS)

Más conocido por las siglas TS (Thyristor Switched), en su funcionamiento como interruptor permite conseguir la unión permanente entre fuente y carga, así como su interrupción. Es decir los tiristores T1 y T2 permiten conectar o desconectar la carga.

Consideraremos que el interruptor está cerrado o en estado de conducción cuando:

- Se envía la tensión de cebado a la puerta del tiristor T1 al inicio de la semionda positiva de la tensión de alimentación $\alpha = 0$, y a la puerta de T2 al inicio de la semionda negativa. Entonces la corriente i pasa o bien por T1 o por T2, el interruptor está cerrado " $u_{AK} \approx 0$ " y la tensión en la carga coincide con la de alimentación.
- En corrientes alternas la corriente va desfasada respecto de la tensión, es preciso por tanto que cuando la $i > 0$ quiera pasar por el tiristor T1 la señal de cebado " i_g " de la puerta G1 todavía se mantenga, idénticas consideraciones para el T2.

Lo expuesto anteriormente puede conseguirse por distintos procedimientos, uno de ellos puede ser el empleo de señales de cebado muy anchas $\alpha = 90^\circ$

Consideramos que el interruptor está abierto o en estado de bloqueo cuando:

- Suprimimos las señales de cebado de los tiristores; en estas condiciones el tiristor que esté conduciendo lo seguirá haciendo hasta que la corriente se anule $i = 0$, mientras que el otro tiristor no podrá cebarse. El interruptor está abierto y soporta la tensión de red.

5.1.1. Ventajas e inconvenientes del interruptor estático

Ventajas:

- No hay peligro de rebotes.
- Se abre con un retardo máximo igual a medio período.

- Se abre sin ruptura de corriente $i = 0$, por tanto no existen sobretensiones transitorias.
- Se cierra de forma casi instantánea.
- Se puede dejar pasar la corriente sólo durante algunos ciclos, lo que es muy interesante en determinadas aplicaciones.

Inconvenientes:

- Es más sensible a las sobrecargas que el interruptor electromagnético.
- Sus estados no son visibles exteriormente.

Lo que en general aconseja la utilización de interruptores estáticos es:

- La ausencia de sobretensiones de ruptura
- La posibilidad de ciclos de apertura-cierre rápidos.

Estas dos características coinciden exactamente con las requeridas por los dispositivos FACTS.

Este dispositivo, como ya se ha indicado anteriormente, sólo permite una compensación discreta.

5.2 Funcionamiento como regulador o controlador (TC)

En la práctica es conocido por la abreviatura TC (Thyristor Controller).

El funcionamiento como regulador o controlador solamente difiere del funcionamiento como interruptor en la forma de atacar a las puertas, en lugar de aplicar o suprimir las señales de cebado como en los interruptores, aquí se desfasa.

- Si en la semionda positiva de la tensión de línea se envía un impulso de corriente a la puerta en el instante $t = \alpha/\omega$, el tiristor en principio está en condiciones de conducir entre $\alpha \leq \omega.t \leq \pi$. Se observa, pues, que variando α se puede controlar el tiempo de conducción de los tiristores y, como consecuencia el valor de la corriente.
- Conducirá en el caso de que $u_{AK} > 0$, lo que implica que $i > 0$. En corriente alterna hay un desfase entre tensión y corriente de valor φ impuesto por la carga (generalmente inductiva) y, en consecuencia, $i > 0$ cuando $\omega.t > \varphi$, por lo que para que el tiristor conduzca $\varphi \leq \alpha$ y $\alpha < \omega.t \leq \pi$.
- Así variando α entre φ y π se hace variar el valor eficaz de la corriente de su valor máximo a cero; por tanto $U/Z \geq I \geq 0$.

5.2.1. Ventajas e inconvenientes del regulador estático

A la hora de hablar de las ventajas e inconvenientes, podríamos decir que en principio son las mismas que en

su funcionamiento como interruptor. Sin embargo, vamos a matizar en una única ventaja y un único inconveniente que le diferencian.

Ventaja diferenciadora:

- El controlador puede realizar una regulación continua, lo que representa una ventaja suplementaria. Como caso particular, de hecho si se le aplica el impulso en $\alpha = \varphi$ se comporta como un interruptor.

Inconveniente diferenciador:

- La generación de armónicos en la onda, que obligan al uso de filtros para anularlos.

Por último, señalar que en el caso de FACTS que sean dispositivos de compensación las cargas serán inductancias casi puras (autoinducciones y/o capacidades), por lo que el ángulo $\varphi \approx \pm \pi/2$.

6. Compensadores estáticos de potencia reactiva en derivación con técnica de conmutadores (SVC)

Los compensadores estáticos de potencia reactiva en paralelo conocidos por el acrónimo SCV (Static Var Compesators) se utilizan desde hace muchos años en las redes de potencia para mejorar las condiciones de transporte, en concreto para mantener la tensión de la red dentro de los límites exigidos. Su constitución y principio de funcionamiento son muy simples y se basan en compensar la potencia reactiva Q , mediante el consumo de potencia inductiva Q_L o capacitiva Q_C en determinados puntos de la red; generalmente en subestaciones tal y como se muestra en Fig. 3

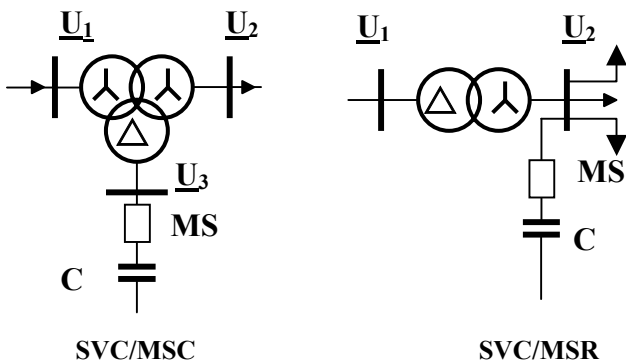


Fig. 3. SVC/MS

Los dispositivos indicados se conocen como SVC/MS al poseer un interruptor mecánico MS (Mechanically Switched). Los anteriores dispositivos se convierten en FACTS al sustituir el interruptor mecánico por otro electrónico, estático, constituido por una válvula de tiristores bidireccionales TS (Thyristor Switched). Estos acrónimos suelen venir acompañados de una C o una R para indicar si conmuta una *capacidad* o una *reactancia*, tal y como se indica en la Fig. 4.

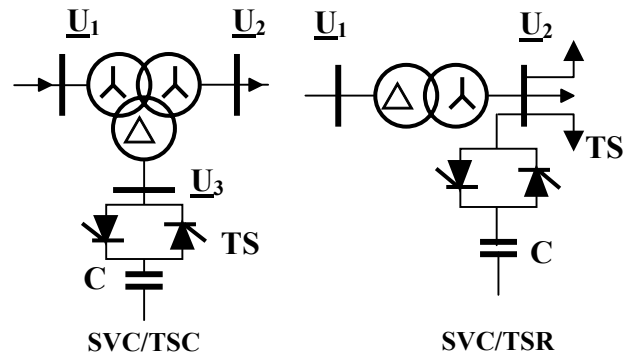


Fig.4. SVC/TSC y SVC/TSR

En consecuencia, en lo aquí tratado estamos hablando de FACTS derivados de la aplicación de conmutadores electrónicos a equipos tradicionales conocidos como SVC/TSC y SVC/TSR.

La compensación realizada será discreta o por paquetes. En el caso de que el interruptor mecánico sea reemplazado por un controlador TC (Thyristor Controlled), el compensador es idéntico a los anteriores pero con compensación continua, ejemplo: SVC/TCR compensador de reactiva de reactancia controlado por tiristores.

En la práctica, en los FACTS el dispositivo básico SVC suele estar compuesto por una capacidad C en paralelo con una reactancia R gobernadas por controladores o interruptores a base de tiristores e interruptores mecánicos. La Fig. 5 muestra un dispositivo SVC básico compuesto en este caso por una capacidad C con interruptor de tiristores TS en paralelo con una reactancia R controlada por tiristores TC. Su denominación es SVC/TCR-TSC (Static Var Compesators Thyristor Controlled Reactor- Thyristor Switched Capacitor).

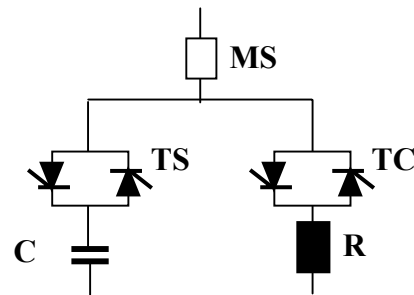


Fig.5. Dispositivo Básico SVC en FACTS.

Según su constitución específica en la práctica se pueden encontrar las siguientes configuraciones:

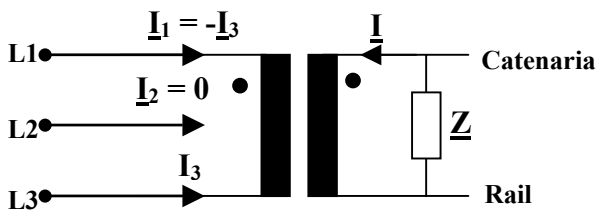
- SVC/TCR-TSC ya indicado anteriormente.
- SVC/TCR-FC (Static Var Compesators Thyristor Controlled Reactor- Fixed Capacitor) con capacidad fija
- SVC/TCR-MSC (Static Var Compesators Thyristor Controlled Reactor- Mechanically Switched Capacitor) con capacidad con interruptor mecánico.
- SVC/TSR-TSC

En los tres primeros la potencia reactiva Q puede variarse de forma continua, en el último caso sólo puede hacerse en forma discreta.

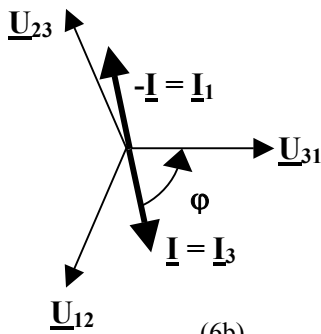
7. SVC de equilibrio de carga

Como aplicación práctica de lo anteriormente visto vamos a desarrollar la constitución y funcionamiento de un tipo de compensador interesante, diseñado para tracción eléctrica o cargas industriales muy asimétricas, tales como hornos.

Se trata de un dispositivo FACTS SVC industrial de Equilibrio de Carga, utilizado en tracción eléctrica en subestaciones a las que están conectados sistemas monofásicos a 50 Hz. Las cargas de los sistemas de tracción son monofásicas (entre catenaria y rail) y están alimentadas directamente por transformadores monofásicos conectados entre dos fases de la red de energía (Figura 6a). Al absorber la carga entre dos fases se produce un fuerte desequilibrio en el sistema de transmisión (Figura 6b). Lo anteriormente expuesto es aplicable también a hornos de inducción, etc.



(6a)



(6b)

Fig.6. Principio de funcionamiento en tracción eléctrica y diagrama vectorial

Este desequilibrio genera problemas tanto a la compañía suministradora de energía como a otros clientes conectados a la red que reciben energía de peor calidad (parpadeo o flicker).

Como vamos a ver a continuación, este SVC tiene la capacidad de equilibrar este tipo de redes.

7.1 Constitución del SVC de equilibrio de carga.

Supóngase que el transformador monofásico Fig.6 está conectado entre la líneas L3 y L1 respectivamente,

entonces $I_2 = 0$ e $I_1 = -I_3$, luego esta claro que el sistema de corrientes es asimétrico. Se trata, pues, de convertir dicho sistema en otro simétrico y equilibrado. Para ello procedemos de la forma que se indica en la Fig.7.:

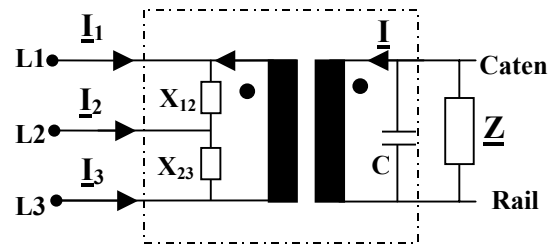


Fig.7. Constitución del SVC de equilibrio de carga

- Instalaremos una capacidad C bien en la AT o BT del transformador, de tal suerte que se mejore el factor de potencia de la carga Z a la unidad ($\cos\phi = 1$), con ello compensamos totalmente la potencia reactiva Q y, en consecuencia, la asociación $Z-C$ se comporta como una resistencia de valor R_{31} .
- Entre las líneas L1-L2 y L2-L3 instalamos elementos almacenadores de reactancias respectivas X_{12} y X_{23} con objeto de que no se produzca un consumo de potencia activa.

7.2 Principio de funcionamiento

Estamos interesados en determinar la naturaleza y valores de X_{12} y X_{23} que lo consiguen. Se trata, pues, de un problema elemental de Teoría de Circuitos: la resolución de un triángulo (Fig. 8) en el que la condición que se le impone es que las corrientes de línea sean simétricas.

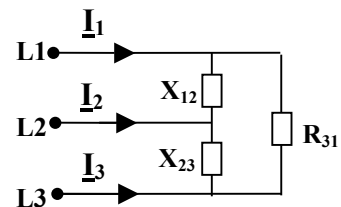


Fig. 8. Triángulo equivalente al circuito FACTS

Veamos su solución, teniendo en cuenta que vamos a poder escribir los valores de las tensiones compuestas o de línea para el sistema trifásico de tensiones como:

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}; \quad \underline{U}_{23} = a^2 \cdot \underline{U}; \quad \underline{U}_{31} = a \cdot \underline{U} \quad (1)$$

donde:

$$a = \frac{-1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1 \angle 120^\circ \quad (2)$$

$$a^2 = \frac{-1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1 \angle -120^\circ$$

y teniendo en cuenta las expresiones de las corrientes de rama del triángulo:

$$\underline{I}_{12} = \frac{\underline{U}_{12}}{jX_{12}} = \frac{\underline{U}}{jX_{12}}; \quad \underline{I}_{23} = \frac{\underline{U}_{23}}{jX_{23}} = a^2 \cdot \frac{\underline{U}}{jX_{23}}; \quad (3)$$

$$\underline{I}_{31} = \frac{\underline{U}_{31}}{R_{31}} = a \cdot \frac{\underline{U}}{R_{31}}$$

Luego, las corrientes de línea serán:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_{12} - \underline{I}_{31} = \underline{U} \left(\frac{1}{jX_{12}} - \frac{a}{R_{31}} \right) \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_{32} - \underline{I}_{12} = \underline{U} \left(\frac{a^2}{jX_{23}} - \frac{1}{jX_{12}} \right) \\ \underline{I}_3 &= \underline{I}_{31} - \underline{I}_{23} = \underline{U} \left(\frac{a}{R_{31}} - \frac{a^2}{jX_{23}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Además sabemos que por tratarse de un triángulo

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{0} \quad (5)$$

La condición necesaria para que el sistema de corrientes sea simétrico y de la misma secuencia que el de tensiones es que:

$$\underline{I}_2 = a^2 \cdot \underline{I}_1 \quad (6)$$

con lo que:

$$\underline{U} \left(\frac{a^2}{jX_{23}} - \frac{1}{jX_{12}} \right) = a \cdot \underline{U} \left(\frac{1}{jX_{12}} - \frac{a}{R_{31}} \right) \quad (7)$$

y teniendo en cuenta (2)

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2jX_{23}} - \frac{\sqrt{3}}{2X_{23}} - \frac{1}{jX_{12}} &= -\frac{1}{2jX_{12}} - \frac{\sqrt{3}}{2X_{12}} - \frac{1}{R_{31}} \\ \left(\frac{1}{2R_{31}} + \frac{\sqrt{3}}{2X_{12}} - \frac{\sqrt{3}}{2X_{23}} \right) + j \left(\frac{1}{2X_{12}} + \frac{1}{2X_{23}} \right) &= \underline{0} \end{aligned} \quad (8)$$

que dará lugar al sistema de ecuaciones:

$$\frac{1}{R_{31}} + \frac{\sqrt{3}}{2X_{12}} - \frac{\sqrt{3}}{2X_{23}} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{1}{2X_{12}} + \frac{1}{2X_{23}} = 0$$

que resuelto resulta:

$$X_{12} = -X_{23}$$

$$\frac{1}{R_{31}} = \frac{\sqrt{3}}{2X_{23}} + \frac{\sqrt{3}}{2X_{23}} \quad (10)$$

$$\frac{1}{R_{31}} = \frac{\sqrt{3}}{X_{23}} \Rightarrow X_{23} = \sqrt{3}R_{31}$$

Tal y como se muestra en la Fig. 9, X_{23} es una autoinducción y X_{12} es una capacidad, ambas del mismo valor y $\sqrt{3}$ veces mayor que R_{31} . Por tanto las ecuaciones se verán reducidas a:

$$jX_{12} = -j\sqrt{3}R_{31}\Omega \quad (11)$$

$$jX_{23} = j\sqrt{3}R_{31}\Omega$$

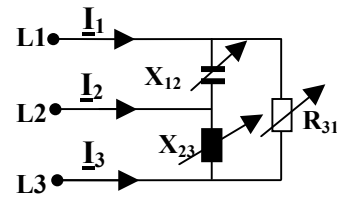


Fig.9. Circuito equivalente al FATS

Decir lo anterior equivale a afirmar que:

- Si R_{31} consume una potencia activa P (W), las reactancias X_{23} y X_{12} consumirán potencias reactivas $Q_{23} = -Q_{12} = P/\sqrt{3}$ (var)
- Si mediante un transductor adecuado se mide la P en la rama resistiva, mediante las medidas de U_{31} e I_{31} , de inmediato un automatismo da orden de actuación para inyectar potencias reactivas $\sqrt{3}$ veces menores en las ramas L y C respectivamente.
- Además de hacer simétrico y equilibrado al sistema trifásico de corrientes, lo hace de la mejor forma posible, pues lo convierte en resistivo puro (las potencias reactivas son iguales y opuestas y en consecuencia se anulan).
- Las corrientes de línea son menores, y en concreto en la relación $\sqrt{3}$, tal y como se muestra en el diagrama vectorial de la Fig. 10

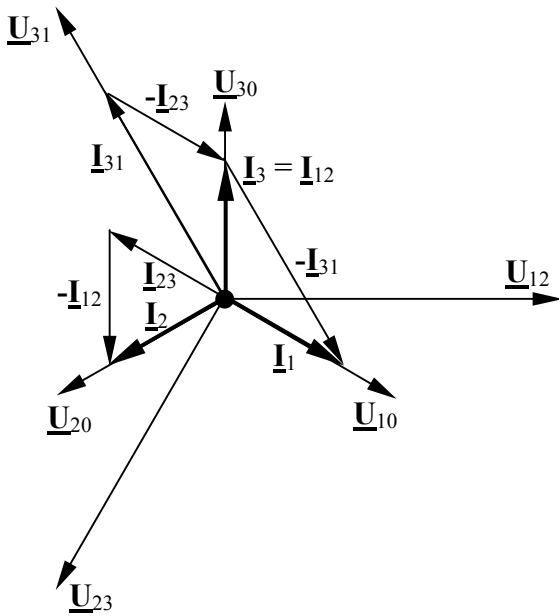


Fig.10. Diagrama vectorial

En la realidad, la potencia activa P no es constante sino que es una función del tiempo $P(t)$, luego Q_{12} , Q_{23} y Q_{31} también lo serán, por lo que en la práctica la compensación deberá de ser instantánea, lo que puede realizarse de forma satisfactoria mediante la técnica de FACTS, que en este caso es conocido como *FACTS de equilibrio de carga* (Fig. 11)

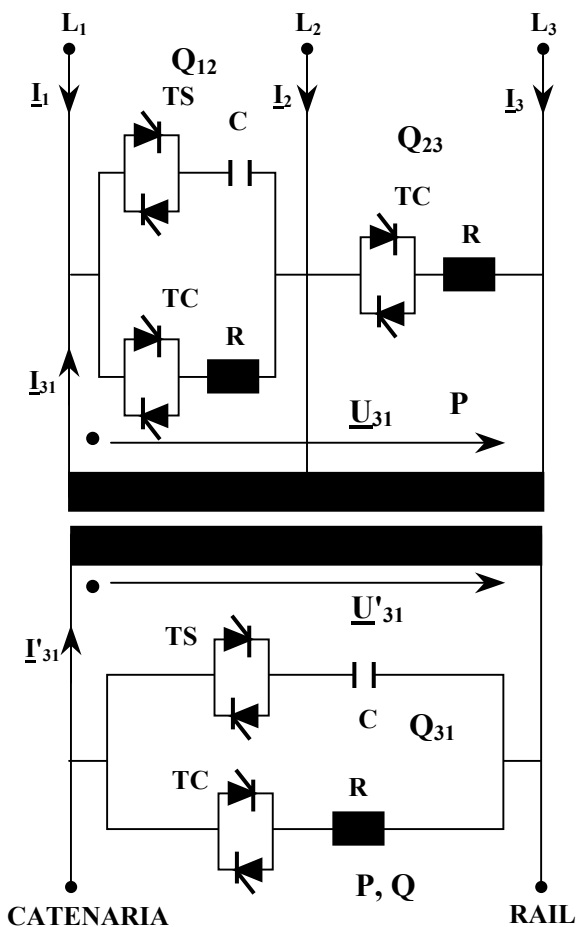


Fig.11. FACTS de equilibrio de carga

Por tanto, podemos decir que el FACTS de equilibrio de carga esta compuesto por:

- **Rama 12.-** constituida por un SVC/TCR-TSC capaz de producir una potencia reactiva capacitiva $Q_{12} = Q_C(t)$
- **Rama 23.-** constituida por un SVC/TCR capaz de producir una potencia reactiva inductiva $Q_{23} = Q_L(t)$
- **Rama 31.-** constituida por un SVC/TCR-TSC capaz de producir una potencia reactiva capacitiva $Q_{31} = Q_C(t)$

Todo ello con el fin de mejorar el factor de potencia de la carga Z a la unidad ($\cos \varphi = 1$), pudiendo instalarse en AT o BT.

8. Conclusiones

Resumiremos las conclusiones en:

- Se han enumerado, clasificado y estudiado una serie de dispositivos FACTS, los que entendemos como más significativos; se han valorado sus prestaciones, e indicado que no todos están en forma operativa aún, estando algunos en fase de I+D.
- Es de hacer notar que estos dispositivos despiertan un gran interés en las "Compañías Eléctricas" por lo novedoso. Interés no exento de precauciones para su incorporación de forma masiva en los sistemas de la "Compañía".
- Otro aspecto a considerar es su precio, ya éste es elevado, lo que hace que las inversiones se deriven a soluciones de tipo convencional, usándose los FACTS de forma puntual.
- Por último, parece claro de forma unánime que los FACTS serán equipos de uso habitual en las instalaciones eléctricas en un tiempo no muy lejano.

9. Referencias

- [1] Yong Hua Song, Flexible A.C. Transmission System (FACTS), London & Institution of Electrical Engineers, Londres (1999)
- [2] Naarin G.Hingorani, Understanding FACTS: Concepts and Thechnology of Flexible Transmission Systems, Ed. John Wiley & Sons Inc. (1999).
- [3] Enrique Acha, Claudio Fuerte-Esquivel y otros, FACTS: Modeling and Simulation in Power Networks, Ed. John Wiley & Sons Inc. (2004).
- [4] I. Rouco, J. Pérez-Arriaga, R. Criado y J. Soto, "A Computer Program Package for Analysis of Small Signal Sability in Large Electric Power Systems", 11th Power Systems Computation Conference, Avignon (Francia) (1993) pp. 1141-1148