

JORNADAS TÉCNICAS EN PERÚ, 06/04/2017

FACTS

Poderosos Sistemas Para una Transmisión Flexible de la Energía

Marcio Oliveira, ABB FACTS Lead Engineer

Agenda

Introducción a sistemas FACTS (Flexible AC Transmission Systems)

Compensación série

- Fija
- Controlable

Compensación paralelo (shunt)

- Static Var Compensator (SVC)
- Static Synchronous Compensator (STATCOM)
- Soluciones Híbridas (STATCOM Híbrido)

Soluciones en corriente continua (HVDC)

Sistemas de Transmisión – Desafíos de la Red Emergente

Aumento del consumo de energía

Deregulated energy markets

Mercados de la energía desregulados

Aumento de desligamiento de grandes plantas generadoras convencionales - carbón o nuclear

Más condensadores a nivel de distribución - corrección del factor de potencia

Aumento del flujo de potencia bidireccional

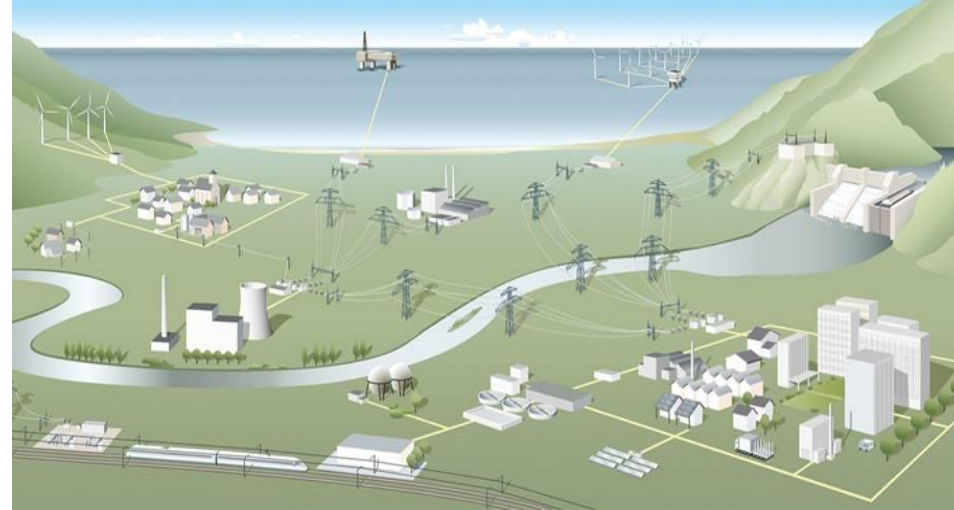
Envejecimiento de las redes

Urbanización

Transmisión de energía a larga distancia es cada vez mayor – cargas muy lejos

Aumento de las fuentes de energía renovables y distribuidas

Enfoque en los aspectos ambientales



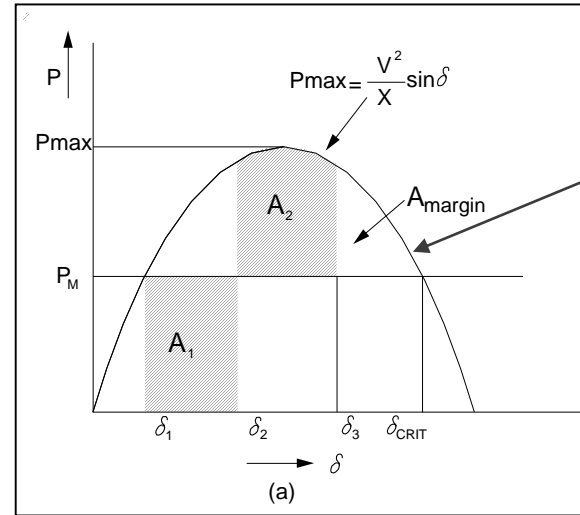
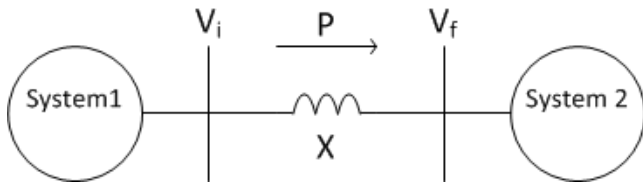
La red actual es muy dinámica y esto aumentará en el futuro.

Refuerzo de la red, muchas veces en sistemas de potencia con gran complejidad.

FACTS y HVDC son soluciones apropiadas para alcanzar las redes flexibles, confiables y seguras.

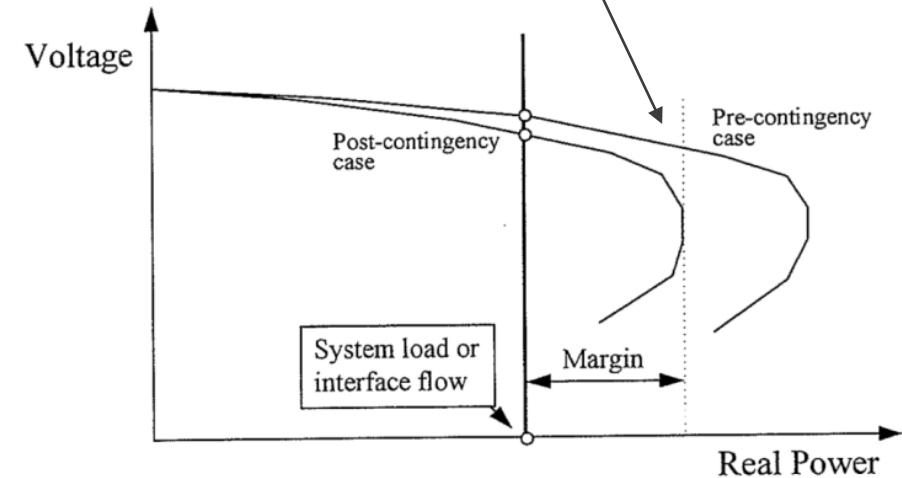
Estabilidad del sistema

La habilidad del Sistema de sobreponerse a contingencias



Angular (transient) Stability

Voltage Stability



La estabilidad en los sistemas de potencia está asociada a tener márgenes suficientes. Los márgenes restringen la capacidad de transmisión.

Compensación paralelo (shunt) o compensación serie



Shunt Compensation



Series Compensation

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2)$$

Diagrammatic arrows indicate the relationship between the compensation types and the equation: an arrow points from the 'Shunt Compensation' image to the $V_1 \cdot V_2$ term in the numerator, and another arrow points from the 'Series Compensation' image to the X term in the denominator.

Un pionero en tecnologías inteligentes

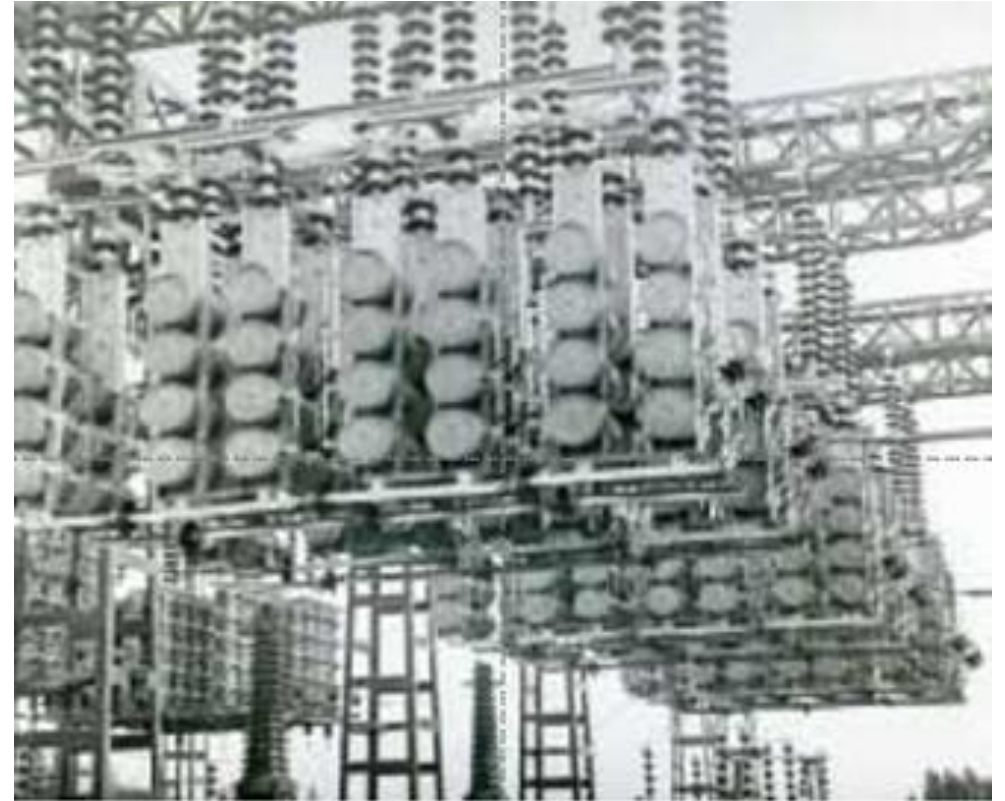
Compensación paralelo (shunt)

SVC	desde 1975
STATCOM (SVC Light)	desde 1997
STATCOM (PCS6000)	desde 1999

Compensación serie

Fija (SC)	desde 1950
Controlable (TCSC)	desde 1997

FACTS y HVDC son tecnologías bien probadas!



The world's first series capacitor installation (a FACTS technology) in a large power network was delivered to the Swedish State Power Board by ABB's forerunner in 1950.

Proveedor mundial

Más de 800 plantas suministradas durante los últimos 30 años

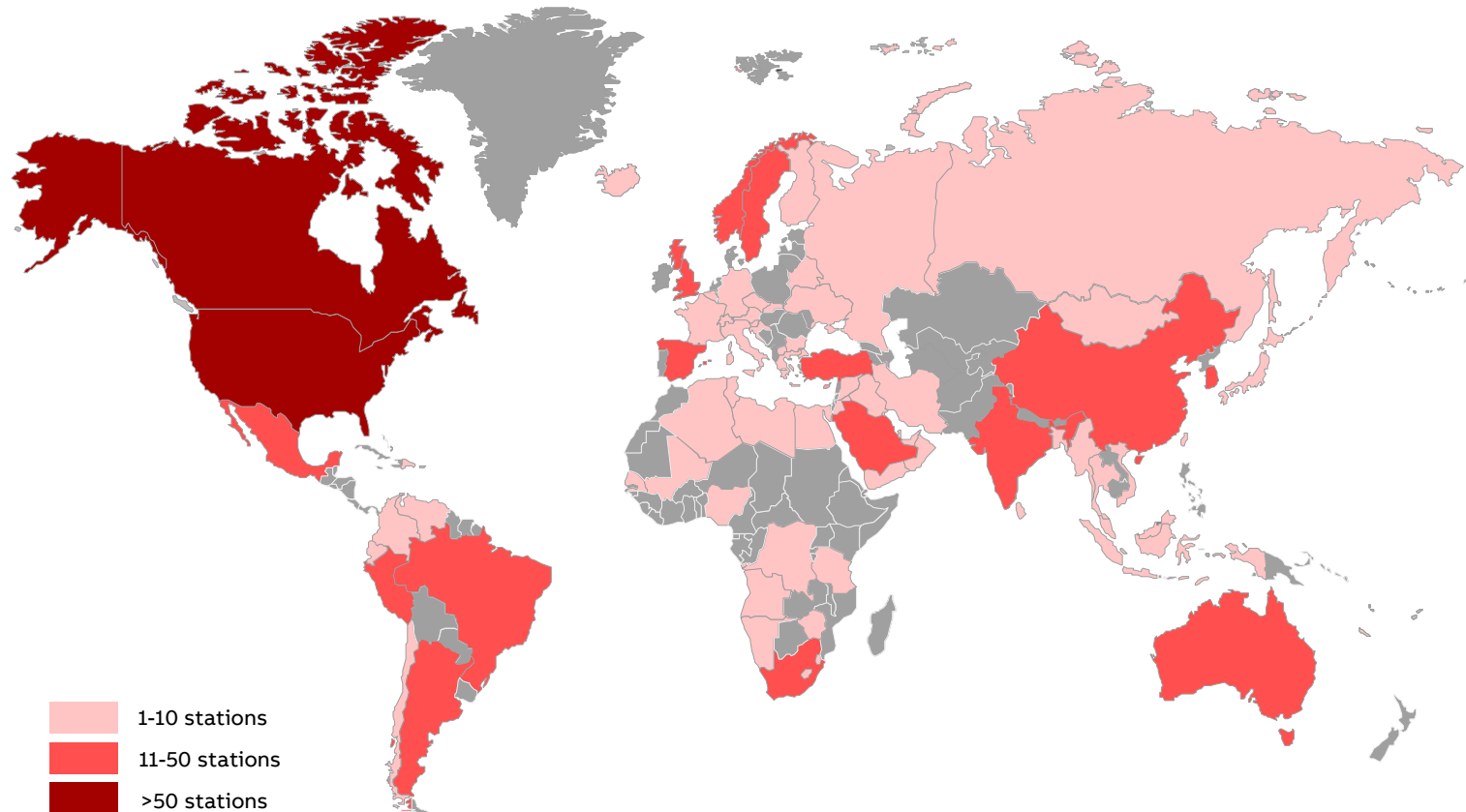


ABB FACTS

Base instalada en Sudamérica

- SVC Light®
- SVC Utility
- SVC Industry
- SC (Series Compensation)



Condensadores Serie

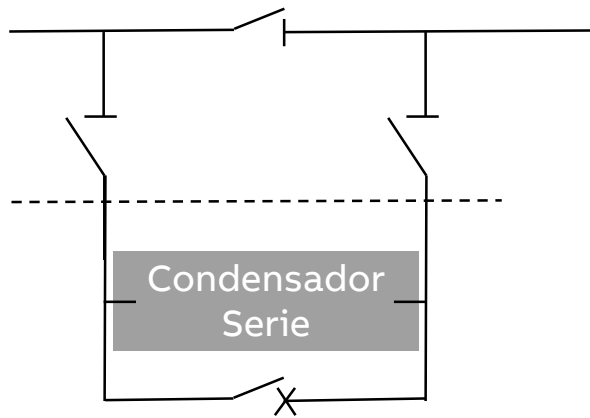
BENEFICIOS

- Reduce el costo del Sistema de transmisión debido a que menos líneas son requeridas
- Incremento en la capacidad de transferencia de potencia
- Regulación de voltaje en estado estacionario e incremento en el margen de estabilidad angular.
- Mejora el balance de potencia reactiva
- Disminuye el impacto ambiental (por ejemplo se requieren menos permisos) .
- Reducción de pérdidas operaciones por balance de carga en líneas paralelas.
- Control de flujo de potencia (TCSC)
- Mitigación de resonancias subsíncronas (SSR), utilizando una parte controlable (TCSC)
- Detección y amortiguación de oscilaciones de potencia activa utilizando una parte controlable (TCSC)



Condensadores Serie

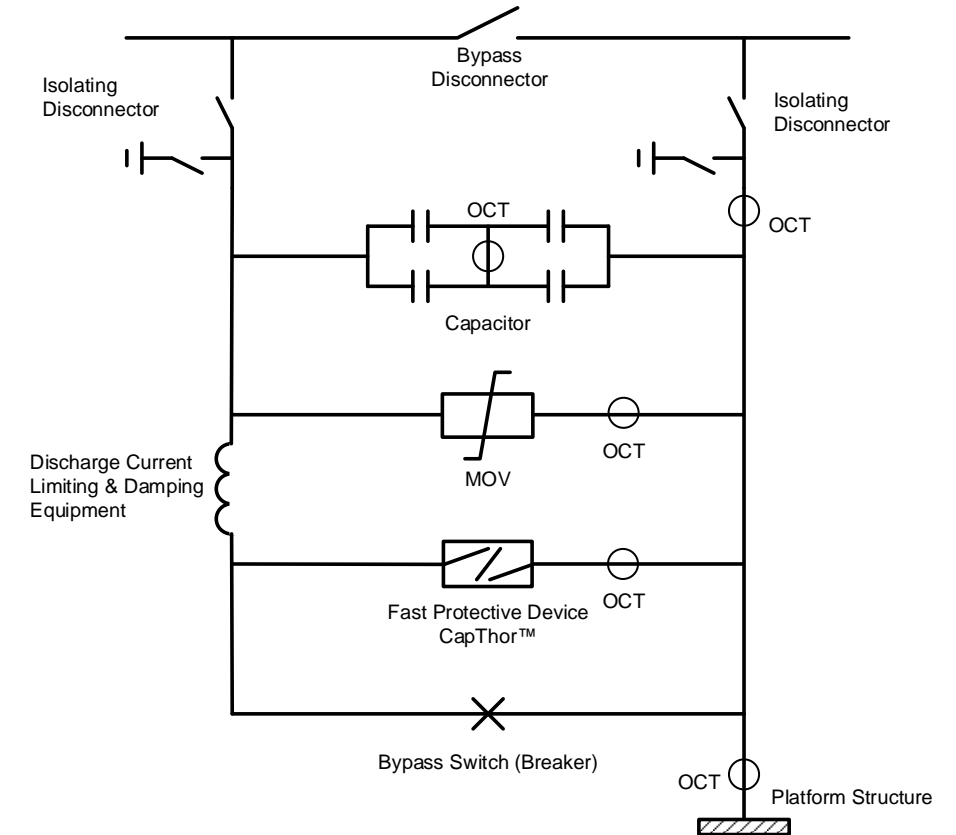
Conexión típica a la línea de transmission.



Condensadores Serie

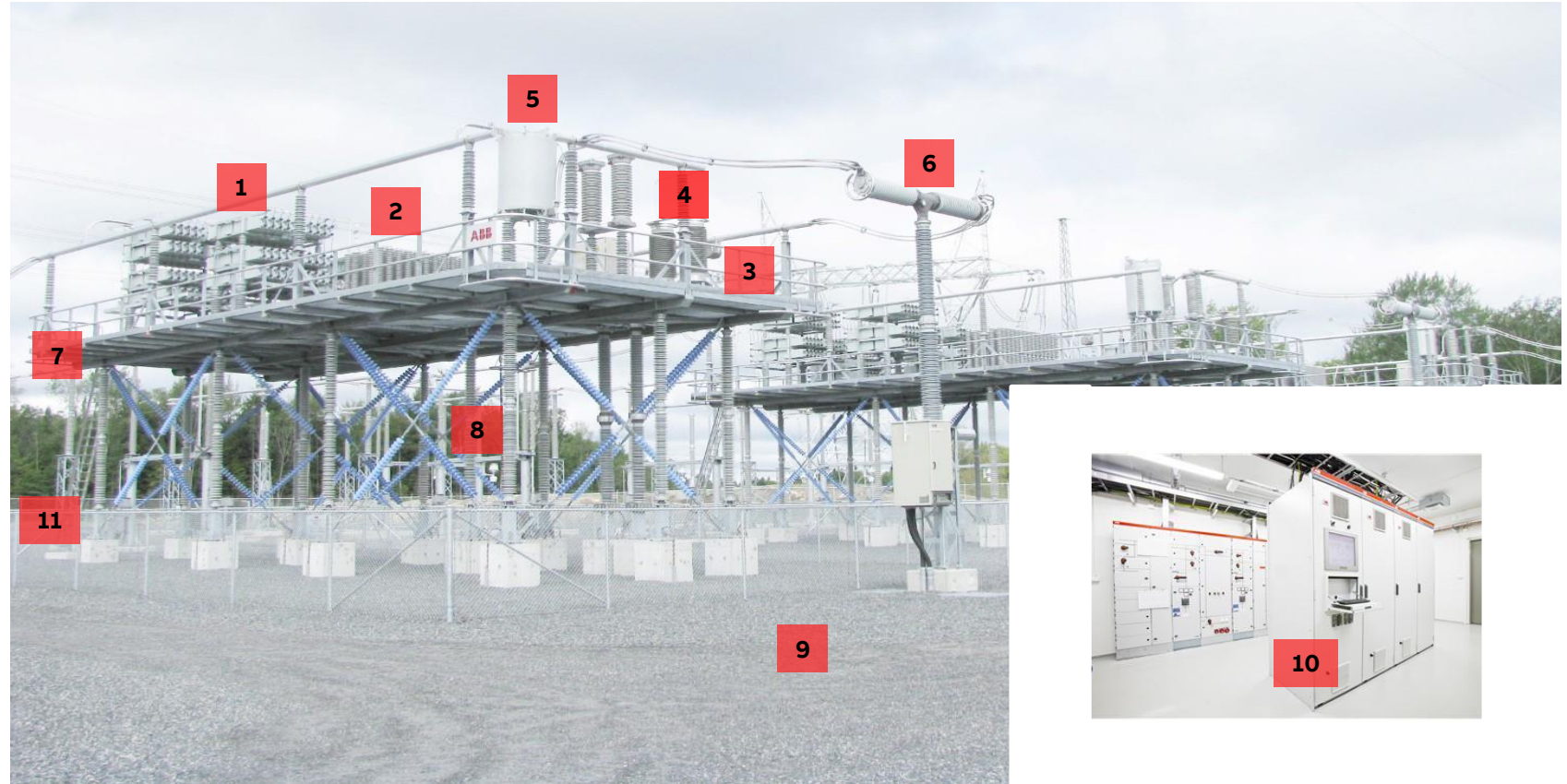
Diagrama Unilineal – Instalación con dispositivo de bypass rápido.

- Capacitores
- MOV (Metal Oxide Varistor) que limita el voltaje en el capacitor inmediatamente durante un sobrecarga de corriente en la línea
- OCT (Optical Current Transducer) Transductor de corriente óptico.
- Dispositivo de Bypass Rápido, realiza un bypass rápido del capacitor y del MOV, reduciendo la energía disipada en el MOV.
- Interruptor de Bypass (Bypass Switch)
- Reactor de corriente de descarga que limita y amortigua la corriente de descarga durante una operación de bypass.
- Desconectores de aislamiento y bypass utilizados para mantenimiento y servicio



Condensadores Serie

1. Condensadores
2. MOV (resistor no lineal)
3. OCT (Transformador de corriente e interfaz óptica)
4. Dispositivo de protección rápido
5. Limitación de corriente de descarga
6. Interruptor de Bypass
7. Plataforma
8. Aisladores
9. Fibra Óptica
10. Sala de control
11. Escalera de acceso a la plataforma



Capacitor Serie Controlable (TCSC)

Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

En 1992, ABB desarrolló y probó un interruptor de tiristor al aire libre

En 1997, ABB desarrolló y construyó el primer condensador serie libre de resonancia subsíncrona (SSR) utilizando TCSC y el algoritmo de control SVR.



Thyristor Controlled Series Capacitor

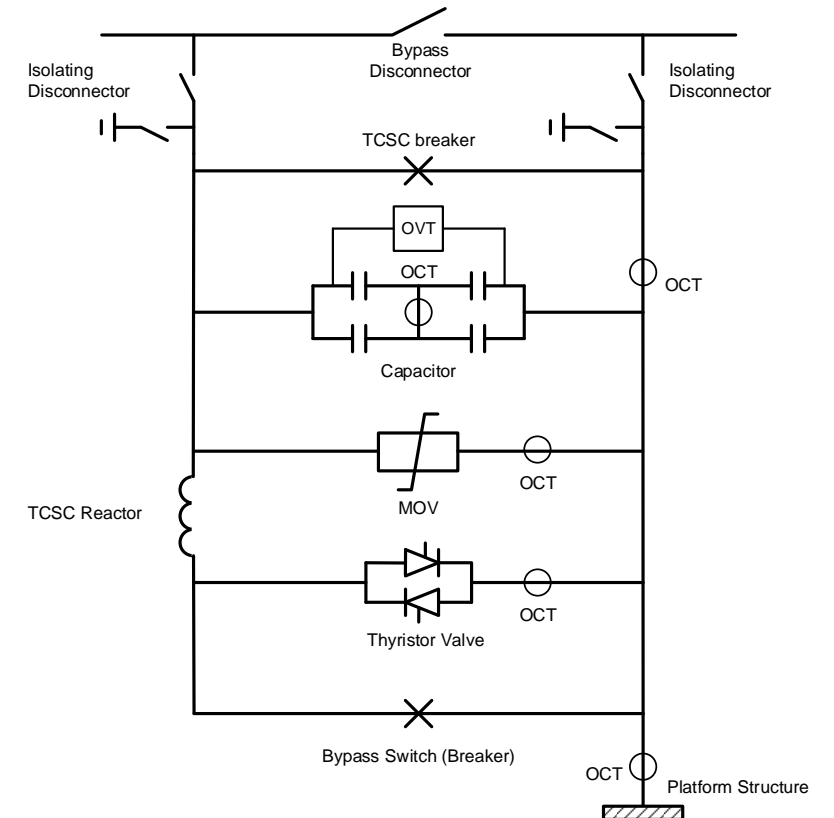
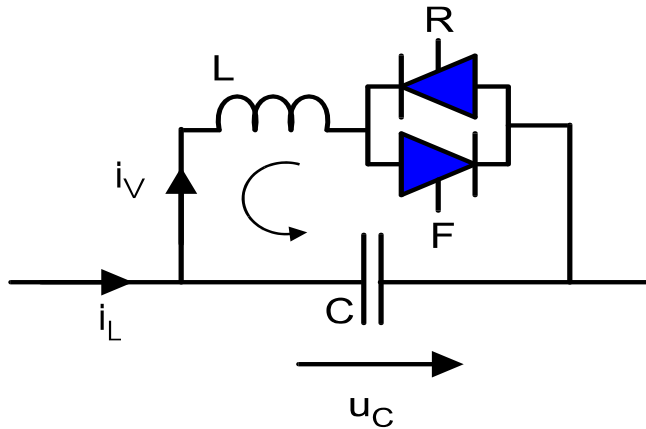
Thyristor Controlled Series Capacitor

Thyristor Controlled Series Capacitor

Diagrama Unilineal incluye ahora una válvula de tiristor.

La válvula del tiristor será controlada para agregar una corriente de circulación que aumente la tensión del condensador.

La válvula de tiristor también puntea el condensador y sustituye la necesidad de un dispositivo de protección rápida.



Thyristor Controlled Series Capacitor

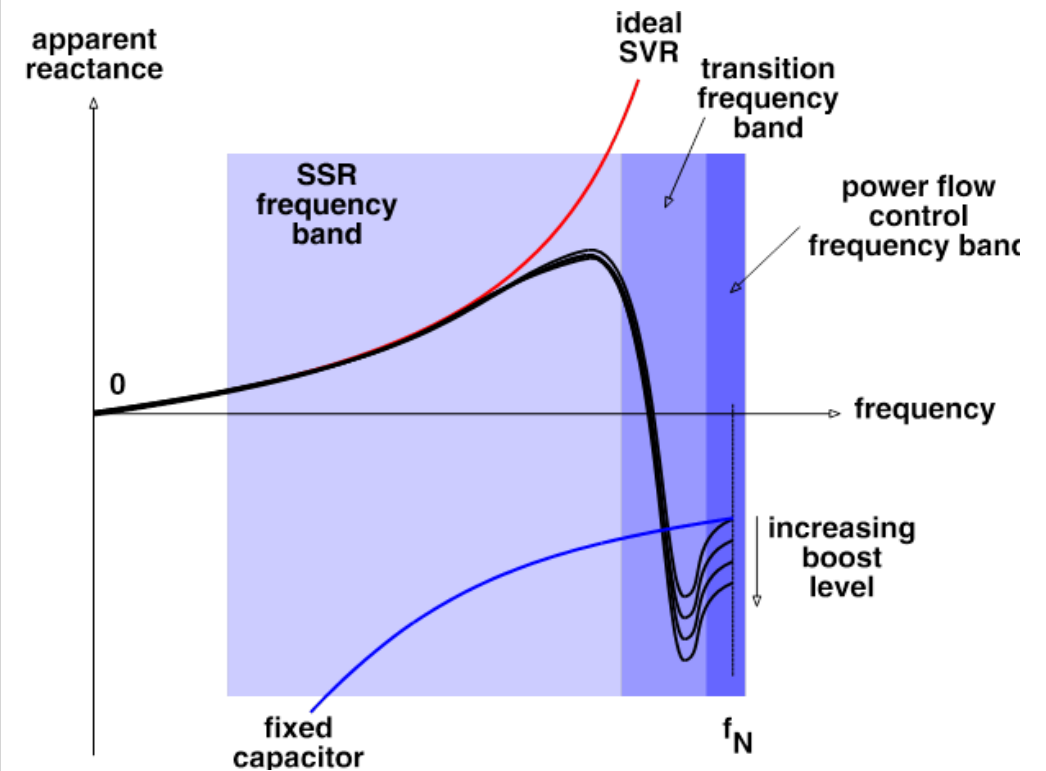
Mitigacion de Resonancia Subsincrona

Características del TCSC

La resonancia eléctrica se mueve fuera del rango de frecuencia crítico debido a la impedancia aparente del TCSC

TCSC permite el uso de la compensación en serie incluso en los casos en que existe el riesgo de SSR

La contribución esencial a la mitigación del SSR puede ser proporcionada como una propiedad inherente del control del tiristor, principalmente independiente de la sintonización del sistema de control



Beneficios de la compensación paralelo dinámica (shunt)

SVC: Static Var Compensator

STATCOM: STatic Synchronous COMPensator (SVC Light®)

Regulación y control de una tensión definida, a un valor de referencia, bajo condiciones normales como contingencias.

Provee una respuesta rápida de potencia reactiva en los instantes posteriores a una contingencia.

Previene y reduce los riesgos de colapso de tensión en la red.

Previene sobretensiones durante rechazos de carga.

Incrementa la tensión durante perturbaciones tales como fallas en el sistema.

Detecta y amortigua oscilaciones de potencia activa.

Incrementa la capacidad de transmisión de potencia, mediante la estabilización de la tensión en puntos débiles (grandes cargas) en la red.

FACTS - Flexible AC Transmission Systems

SVC and STATCOM

SVC - Static Var Compensator

Tiristores como dispositivo semiconductor

Conmutación dependiendo de la tensión de la red

Extinción de corriente en cruce a cero

STATCOM - Static Synchronous Compensator

Basado en Voltage-Source Converters (VSC)

Conmutación forzada

SVC Light®

- IGBT como dispositivo semiconductor
- Convertidor de tres niveles (NPC)
- Convertidor “chain-link” (multi-level)

PCS6000

- IGCT como dispositivo semiconductor
- Convertidor “Double-Twin” de tres niveles



SVC Clásico – Ejemplo de diagrama unilineal (-50/+150 Mvar)

Transformador de Poder

- Conecta los componentes principales del SVC a la barra de alta tensión.

TCR – Thyristor Controlled Reactor

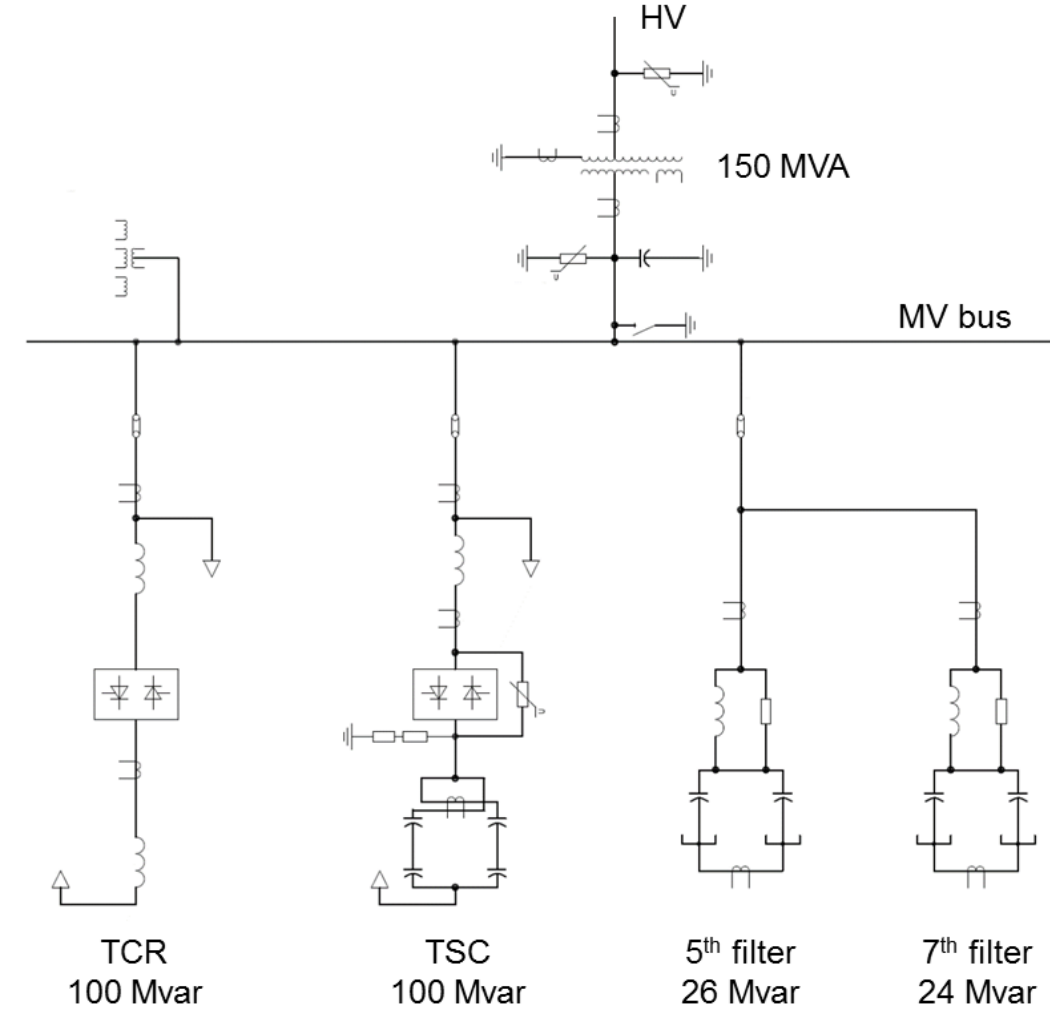
- Provee potencia reactiva inductiva.
- Controlado dinámicamente de cero a corriente inductiva máxima.
- Genera de armónicos de corriente

Filtros de Armónicos

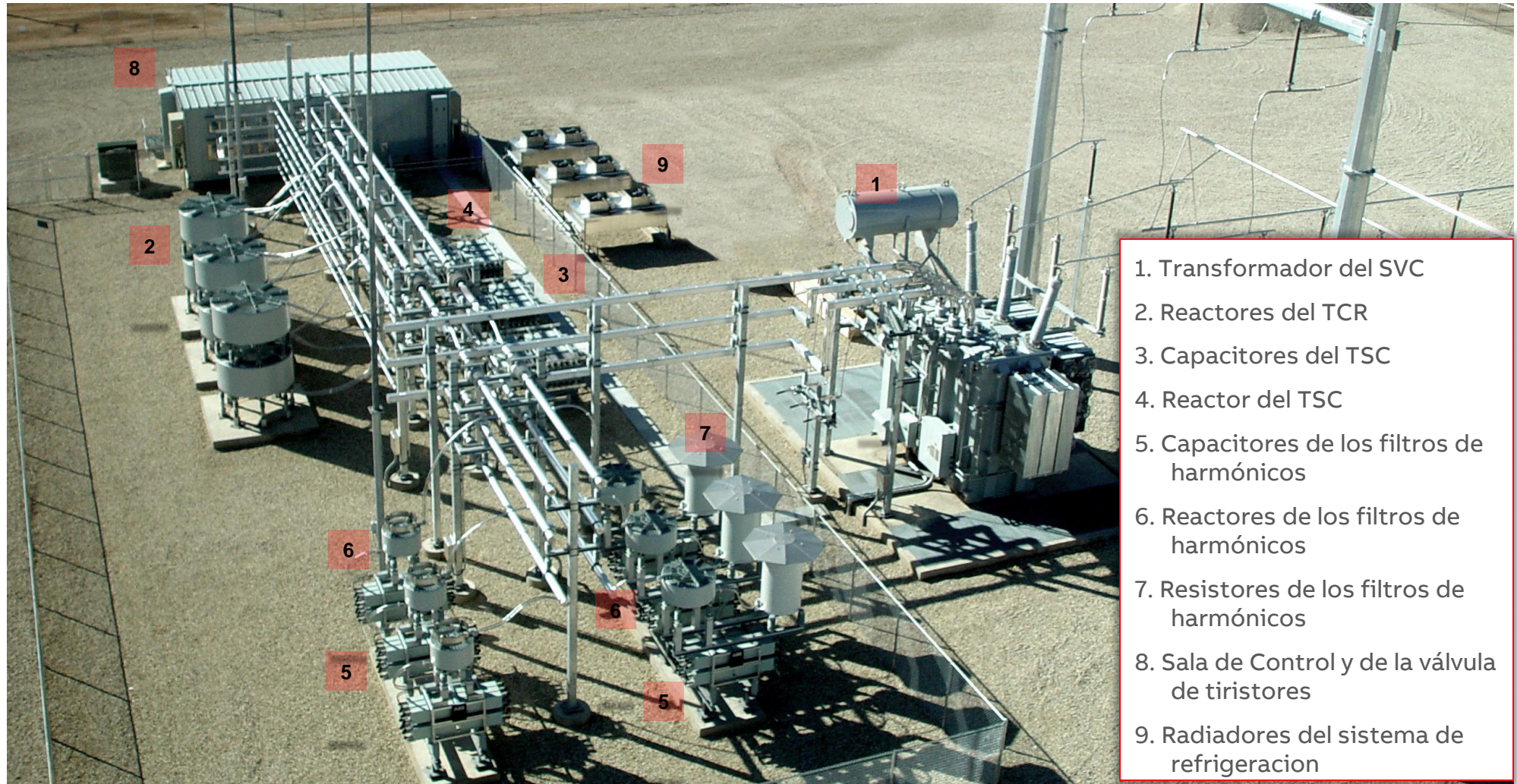
- Reduce las armónicas generadas por el TCR.
- Provee potencia reactiva capacitiva.
- Siempre conectados.

TSC – Thyristor Switched Capacitor

- Provee potencia reactiva capacitiva.
- Dos estados posibles: corriente capacitiva cero o corriente capacitiva máxima.
- Reduce pérdidas.



SVC Clásico – Ejemplo de layout (-50/+150 Mvar)



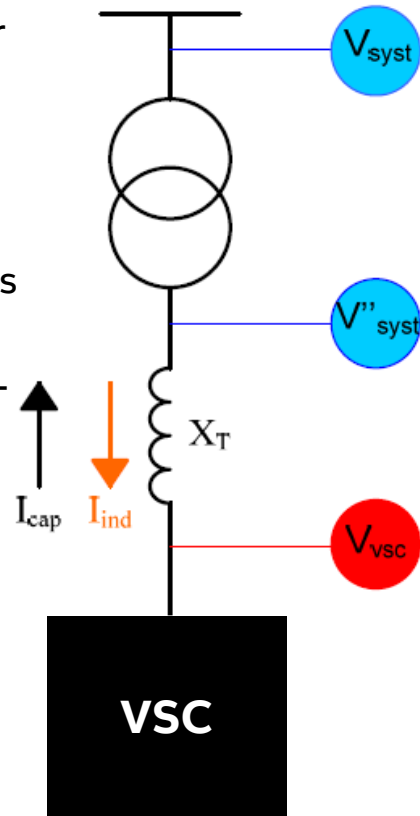
STATCOM – **STAT**ic Synchronous **COM**pensator

Continuous control of reactive power in both capacitive and inductive ranges (symmetrical range)

Reactive power control without needing large passive components

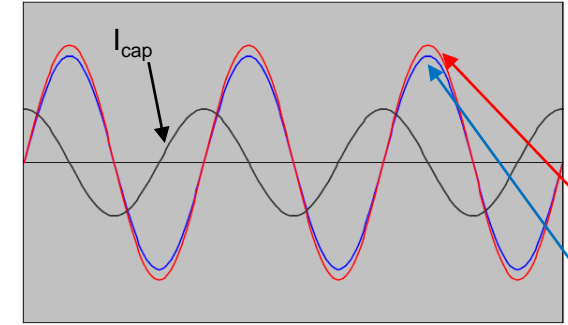
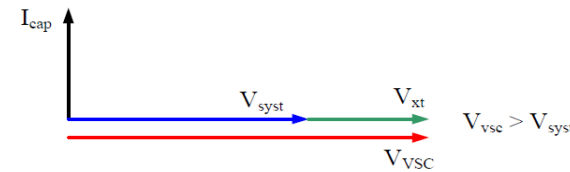
Voltage Source Converter (VSC) – acts like a variable voltage source

Current operation at converter limit – VSC becomes a constant current source



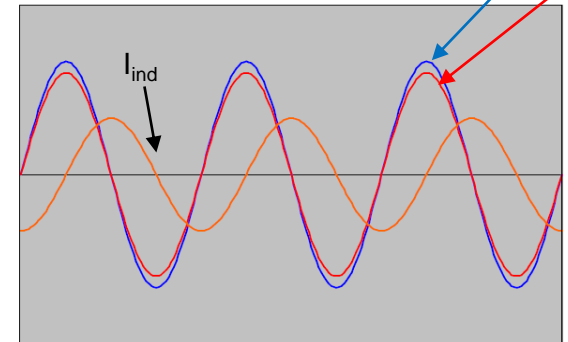
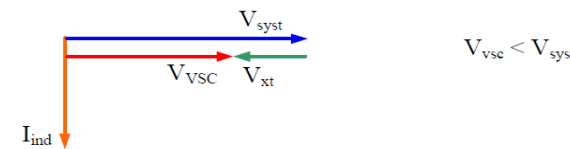
Capacitive operation

The current is phase-shifted, *leading*, compared to the voltage.



Inductive operation

The current is phase-shifted, *lagging*, compared to the voltage.



STATCOM - SVC Light® para sistemas de transmisión

	SVC Light First generation	SVC Light Second generation
Introduced	1997	2014
VSC technology	3-level NPC	Multi-level chain link
Need for filters	Yes, high-pass	No (depending on design)
Active filtering	Yes, up to 9 th harm.	Yes, up to 9 th harm.
DC capacitor	Common	Distributed
Losses	Medium	Low
IGBT	ABB StakPak, 2.5 kV, 1600 A	ABB StakPak, 4.5 kV, 2000 A
Converter voltage	Up to 35 kV	Up to 69 kV
Power range per block	Up to +/- 100 Mvar	Up to +/- 360 Mvar

SVC Light® para sistemas de transmisión – Second Generation

Basada en SVC Light introducido en 1997 por ABB

Rango dinámico más largo con el mismo tipo de IGBT

IGBT en módulos para mayor flexibilidad

Modo de falla segura

La calidad del desempeño es mayor (bajas armónicas, bajas pérdidas)

La estructura de la válvula y la sala se simplifica

El convertidor es diseñado en sub-módulos IGBT conectados en puente H

Utiliza menos superficie

Conexión directa (sin transformador) hasta 69 kV

SVC Light® para sistemas de transmisión

Performance

Conectado en Delta

Topología Chain-link

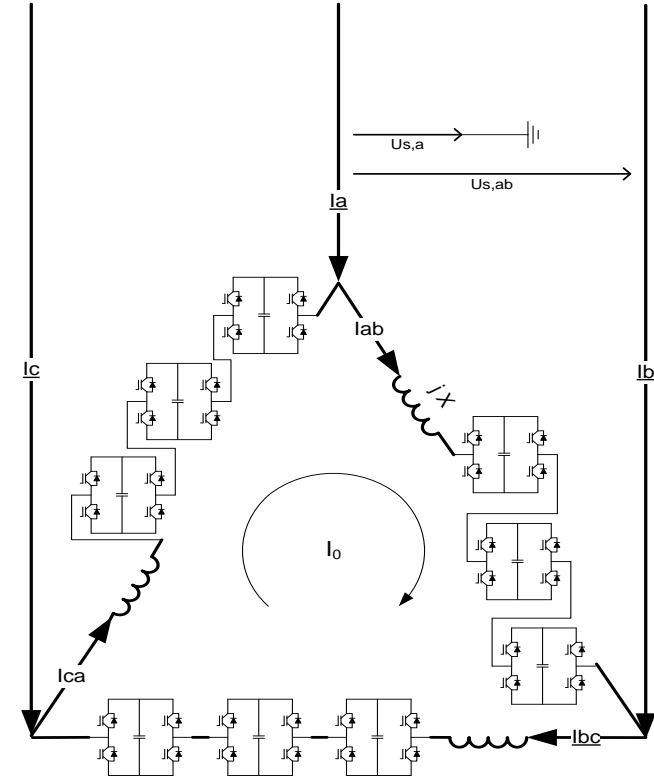
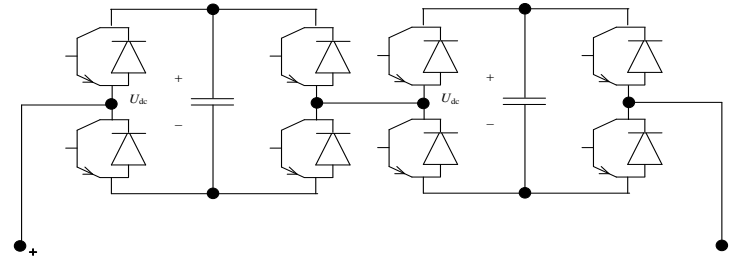
Se incrementa la tensión a la que se puede conectar.

Mayor rango de potencia

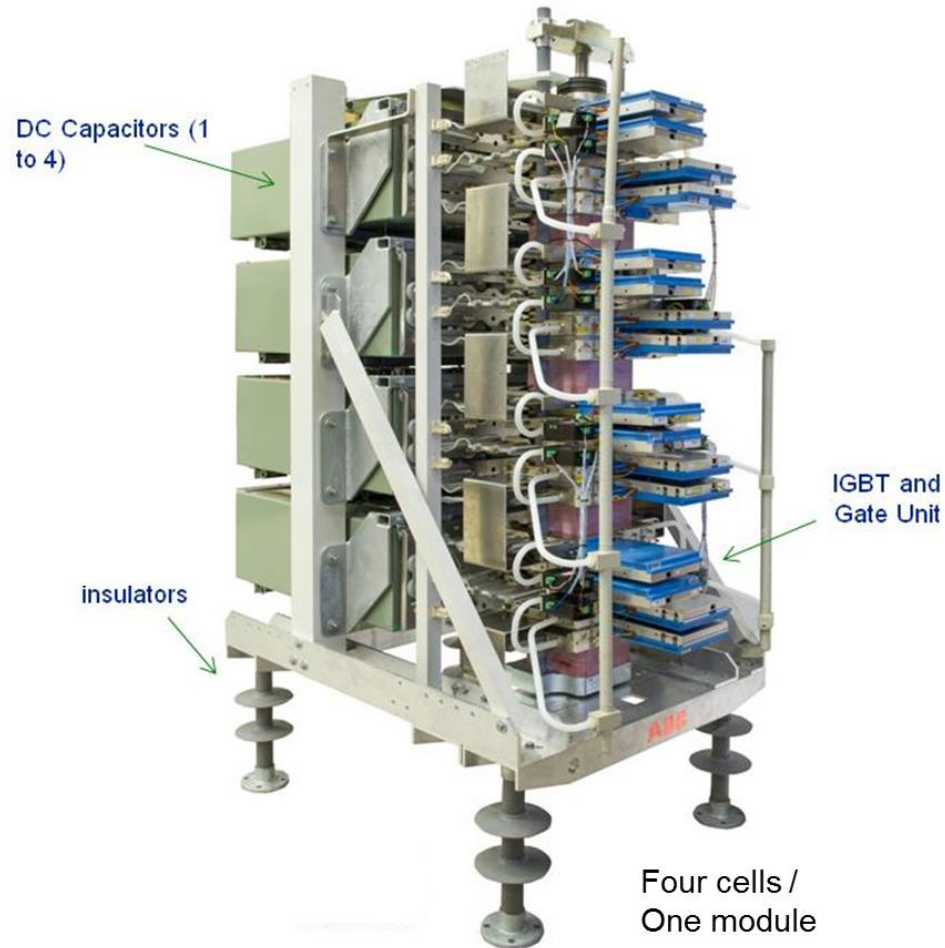
Mejor desempeño y pérdidas

Espectro de armónicas mejorado.

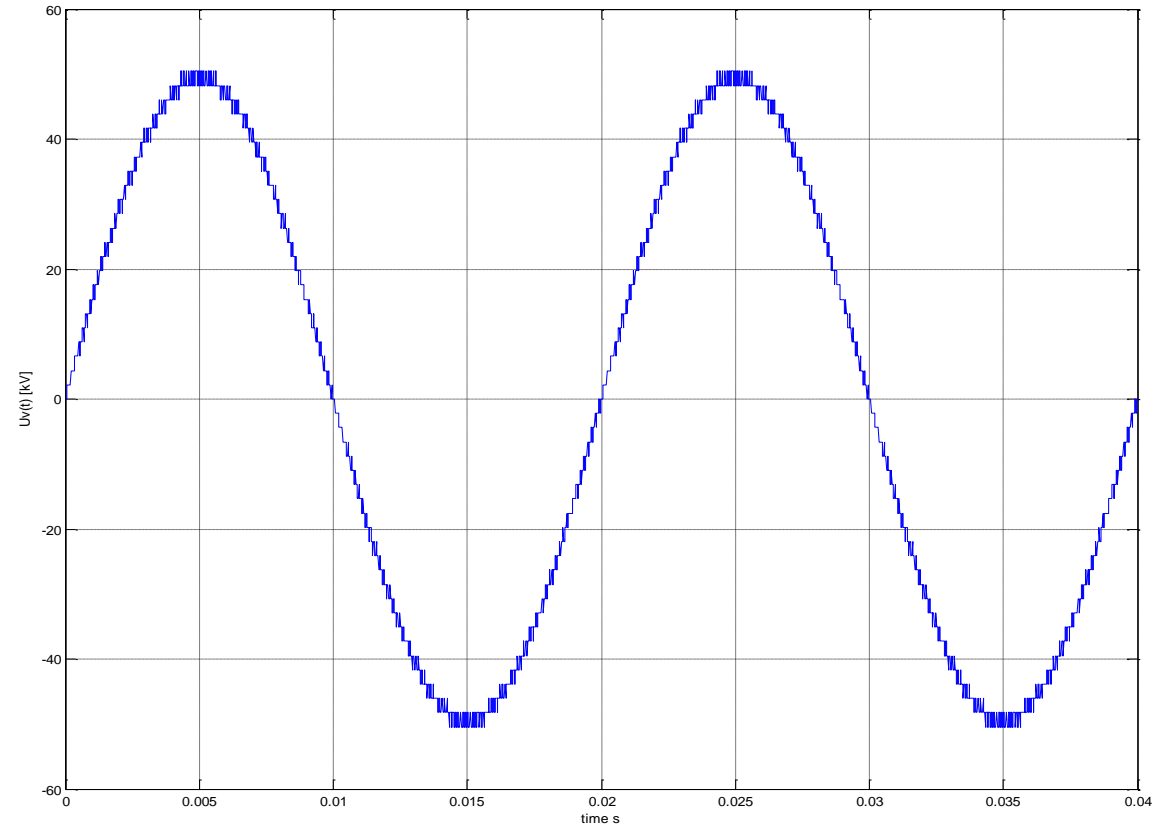
Simplifica la optimización del desempeño, superficie y costos



Multilevel Converter Module = 4 Puentes H Completas



Ejemplo de tensión con 24 módulos en serie

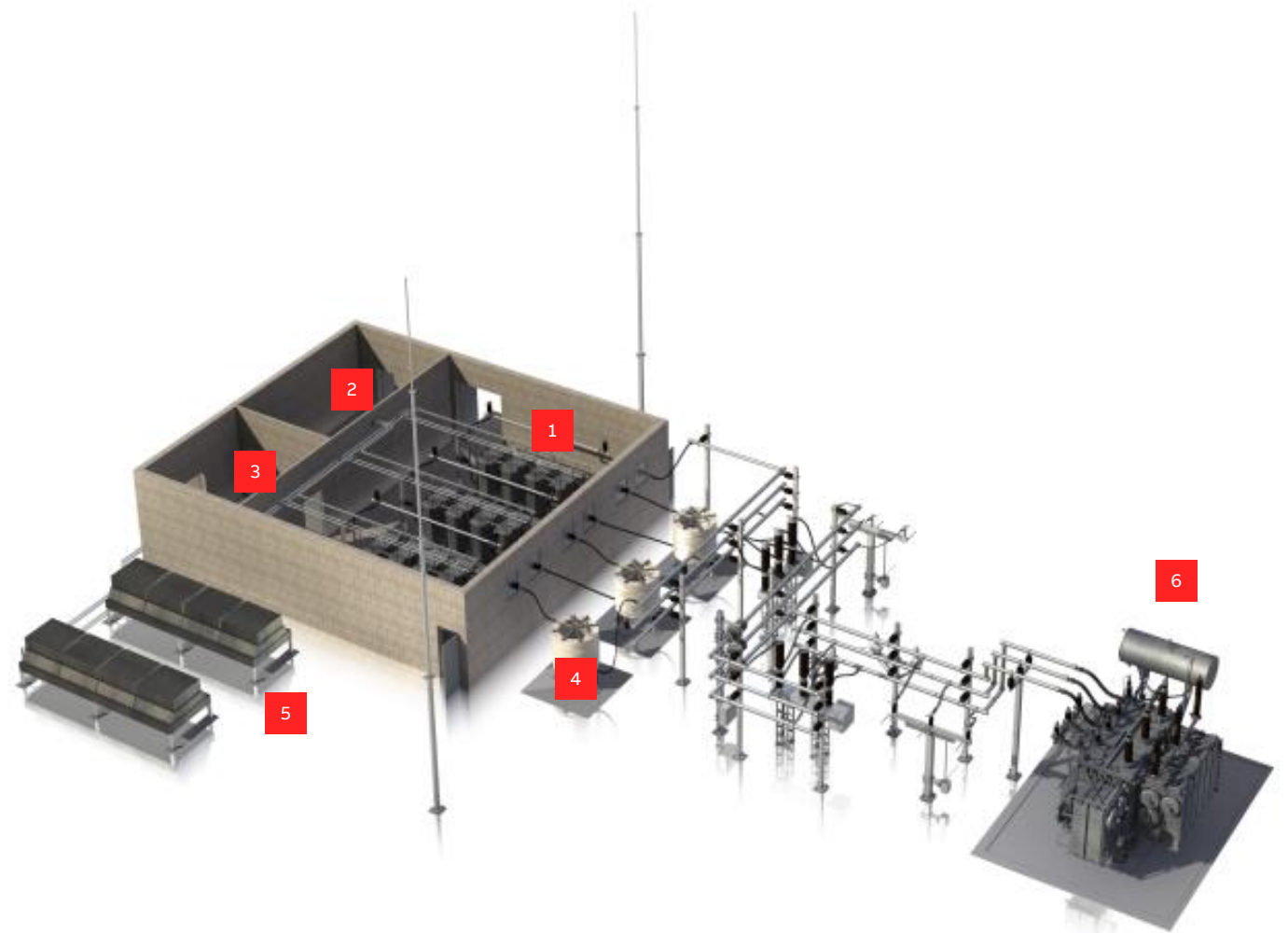


VSC Toolbox version 2.4, 11-Nov-2008 09:00:20

SVC Light® para sistemas de transmisión

Layout

1. VSC Sala de la válvula
2. Sala de Control & Protección
3. Sala de bombas
4. Reactores de línea
5. Radiadores
6. Transformador de poder

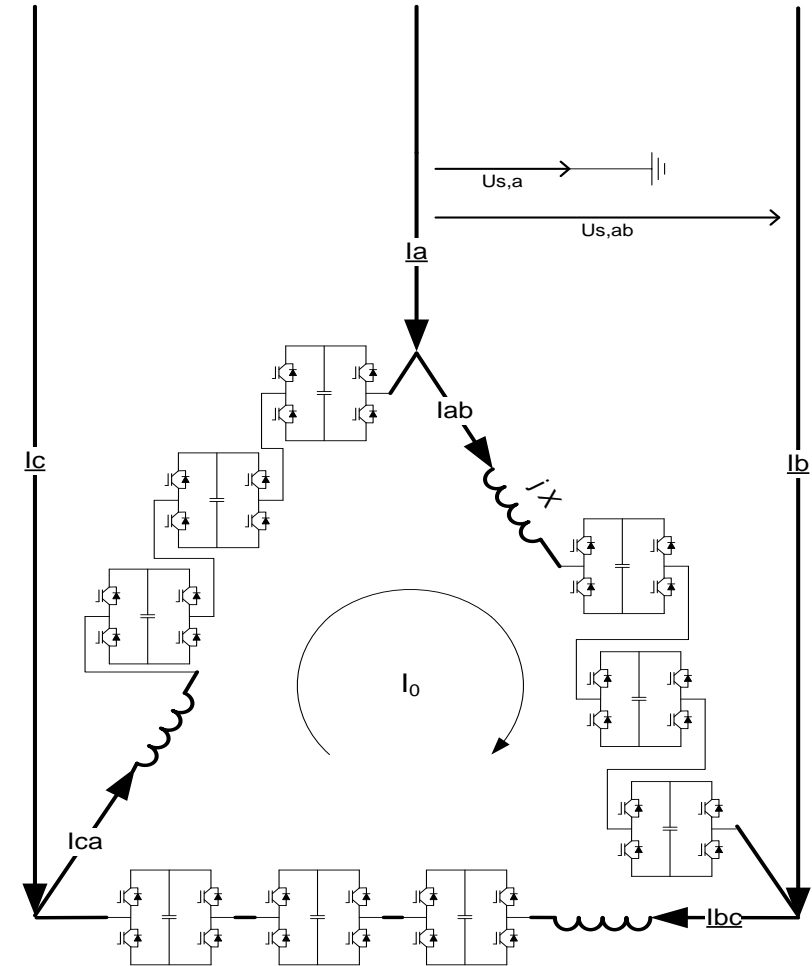


SVC Light para sistemas de transmisión

Confiabilidad

SVC Light Next generation utiliza muchos módulos operados en serie. Un número de módulos redundantes permitirá fallas sin necesidad de sacar el convertidor de servicio inmediatamente.

La capacidad total puede ser mantenida incluso cuando algunos IGBTs fallan.



SVC Light para sistemas de transmisión

Seguridad

ABB 4.5 kV 2000 A StakPak IGBT

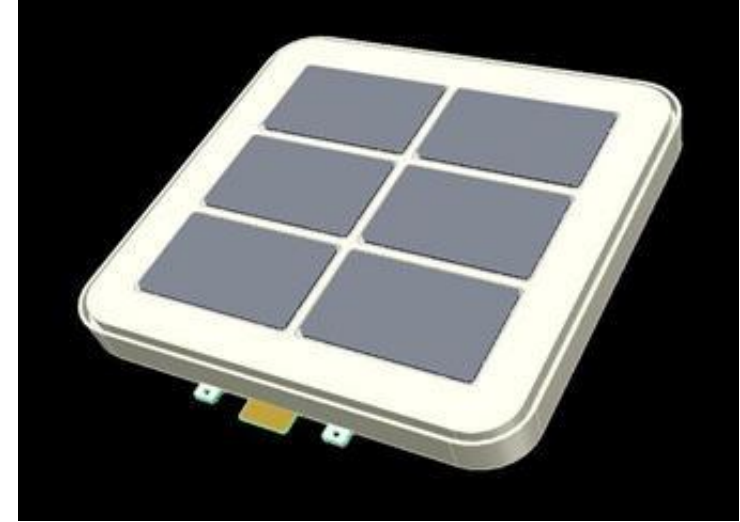
Utilizado en HVDC y FACTS

Descarga de los links en CC (DC) activados automáticamente durante la desconexión

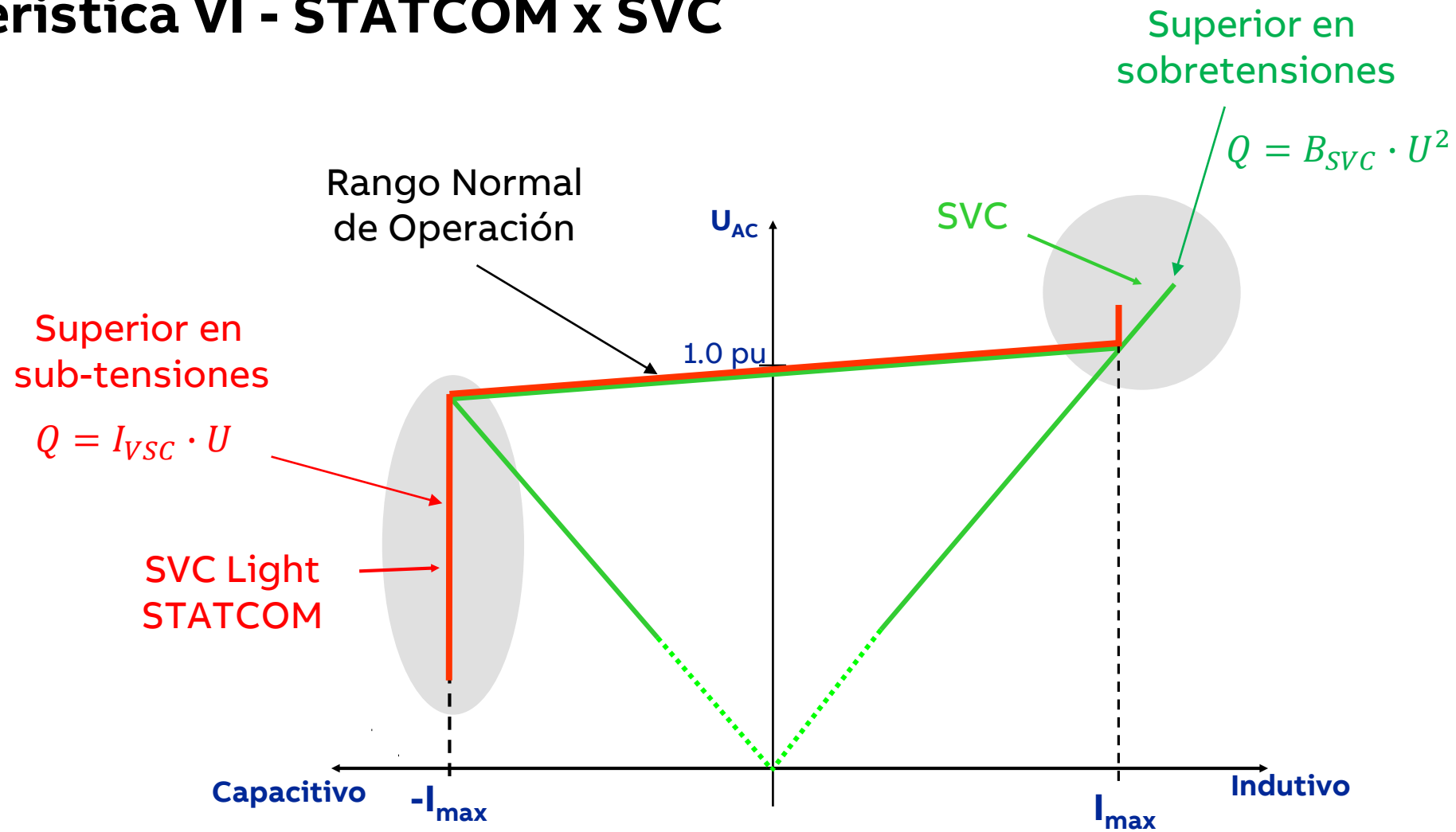
Menor agrupación de conductores incrementa robustez en el ciclo térmico

Sin riesgo de explosión

Refrigeración en cada lado



Característica VI - STATCOM x SVC

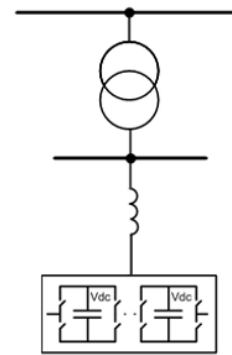


STATCOM Híbridos – Topologías

STATCOM + ramas conmutadas del SVC (TSC and TSR)

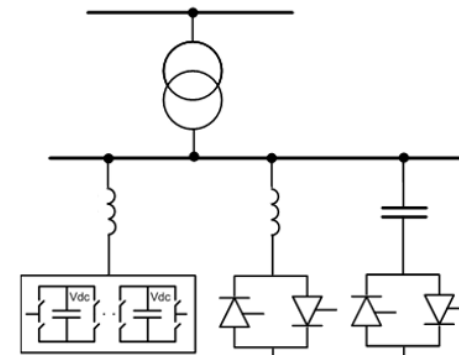
Suitable for larger and unsymmetrical operating ranges (higher capacitive rating is usually required)

Banco de capacitores y reactores (MSC/MSR) can be combined with the converter in applications with lower dynamic requirements



VSC

(a) STATCOM



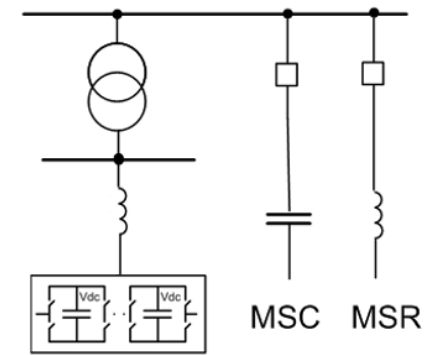
VSC

TSR

TSC

(b) Hybrid STATCOM – VSC/TSC/TSR

Easily expandable
for higher ratings



VSC

MSC

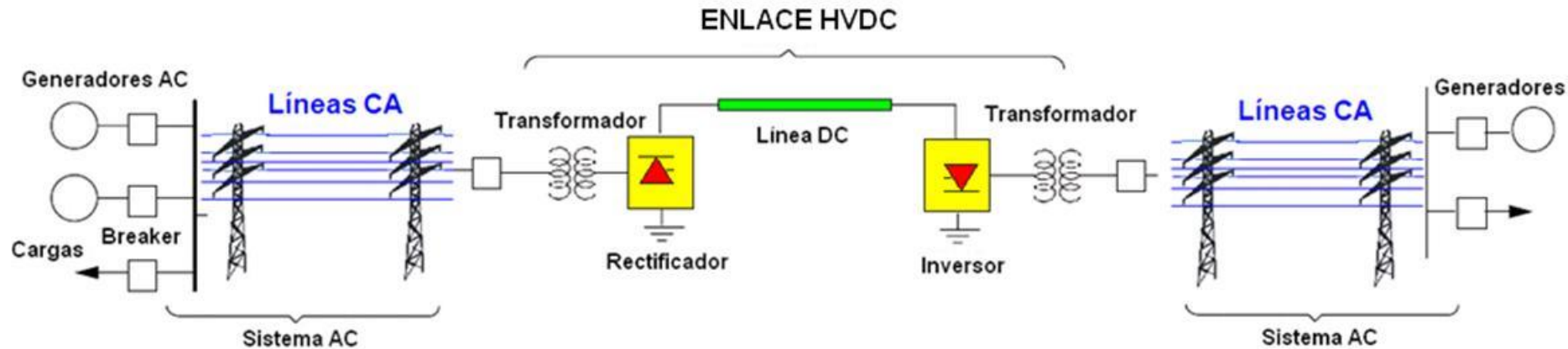
MSR

(c) Hybrid STATCOM – VSC/MSC/MSR

MSC/MSR for slow
voltage variations

Transmisión en Corriente Continua (Tecnología HVDC)

A diferencia de la transmisión típica en corriente trifásica alterna, en HVDC se utiliza corriente directa lo que supone ventajas técnicas, económicas y/o ambientales



Partes principales:

Estaciones de conversión – Bidireccionales

Línea de corriente continua

- Líneas aéreas
- Cable submarino o subterráneo
- Mezcla de ambas
- Back to Back

Características básicas de Corriente Directa (HVDC)

Control de potencia (reactiva y/o activa)

Sin conexión galvánica entre puntos de CA conectados por CD

No hay componente corriente reactiva en la corriente CD

Esto significa, por ejemplo, que:

- HVDC puede mejorar la estabilidad de redes CA
- Se pueden conectar redes CA asíncronas con HVDC
- HVDC puede servir como un "muro de fuego", pues no se puede sobrecargar
- HVDC no contribuye a la corriente de corto-circuito
- Las líneas HVDC tiene pérdidas bajas
- Se pueden construir enlaces submarinos muy largos, sin compensación de potencia reactiva

Tecnologías HVDC básicas

HVDC Clásico/CCC (Conmutación natural)

Nivel de corto-circuito mínimo: $S_{MVA} > 2 \times P_d$ ($> 1.3 \times P_d$ con CCC)

Nivel mínimo de potencia: 5-10%

El convertor consume potencia reactiva que se compensa en la estación conversora

Potencias mas altas, escalas de economía

HVDC Light (Conmutación forzada)

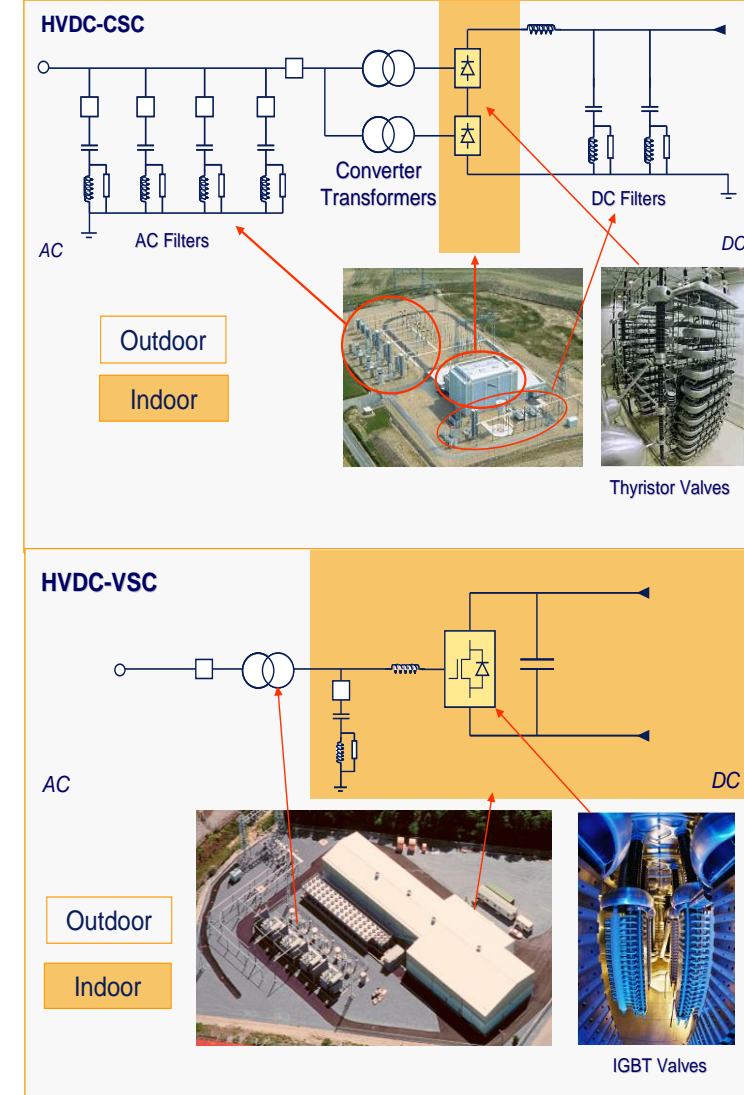
No requiere nivel mínimo de corto-circuito

No requiere nivel mínimo de potencia

No demanda potencia reactiva

Control independiente de las potencias activa y reactiva

Soporte dinámico de voltaje: $Q \approx \pm 0.5 \times P_{dnom}$



Conclusiones

FACTS y HVDC son:

- Tecnologías maduras
- Tecnologías adecuadas también para desafíos actuales y futuros en sistemas de transmisión con menor participación de fuentes de generación convencional



ABB