

TRANSMISION EN ALTA TENSION CONTINUA (HVDC)

MEDIANTE CABLES SUBTERRANEOS XLPE



INTRODUCCION

A pesar de haber transcurrido mas de un siglo de lo que se conoció en el ámbito de la ciencia como “la guerra de las corrientes entre Tesla y Edison”, logrando en los años 1800 la indiscutida imposición de la corriente alterna sobre la corriente continua, hoy en día, la transmisión de altas tensiones en corriente continua (HVDC) mediante el uso de cables extruidos (XLPE), forma parte de los mayores proyectos eléctricos mundiales, diseñados para cubrir grandes distancias de transmisión eléctrica, con mínimas pérdidas y en forma segura; creando entonces, y a simple vista, una gran contradicción o interrogante, basado en los miles de artículos y normas que hablan de la degradación de cables con aislaciones poliméricas, precisamente por el pasaje o la aplicación de corriente continúa sobre los mismos.

Sin embargo, esto tiene una explicación.



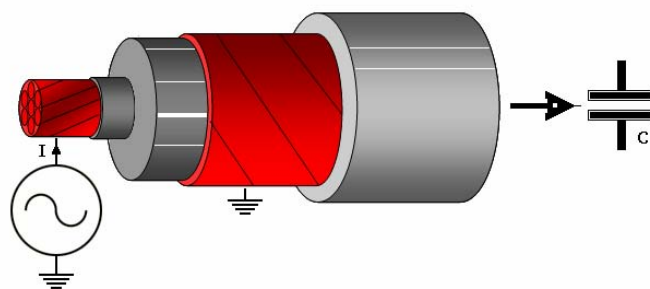
NECESIDAD DE TRANSMISION EN HVDC

Si bien en sus principio, la transmisión HVDC ha sido utilizada objetivamente en aplicaciones submarinas, mediante el uso de cables de papel / masa impregnada (MI), los cuales son inertes a los efectos degradantes de la corriente continua, permitiendo cubrir largas distancias a través del mar, y sobre todo en aquellos casos en donde no sería posible la utilización alternativa de líneas aéreas, hoy finalmente, uniendo aspectos tanto económicos como ecológicos, los cables poliméricos (XLPE) en sistema HVDC, están siendo utilizados también en grandes proyectos de transmisiones subterráneas, con longitudes superiores a los 50 km, y potencias de hasta 1000MW en 320KV.

VENTAJAS DE LA TRANSMISION EN HVDC:

Un cable bajo tensión alterna CA, se encuentra sujeto a una corriente capacitiva que es proporcional a la frecuencia f [Hz], a la tensión V [V], y a la capacitancia unitaria C [$\mu\text{F} / \text{km}$].

Para un longitud determinada L , esta corriente pasaría a ser I [A]: $I = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot V \cdot L$



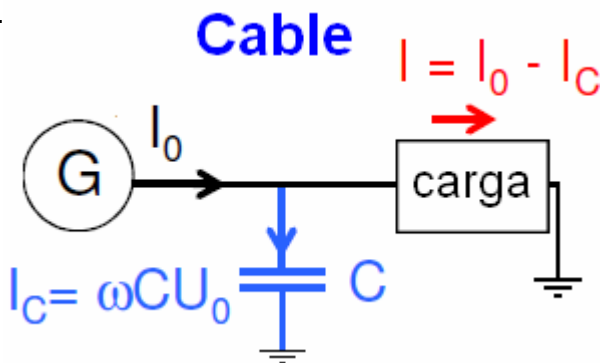
En función a esto, los cables para la transmisión HV-AC, tienen típicamente una capacidad del orden de $0,2 - 0,3$ [$\mu\text{F} / \text{km}$], y por lo tanto requieren en promedio corrientes capacitivas de 10 a 25 [A / km], en función de la tensión del sistema y de la frecuencia.

Para distancias cortas (pocos kilómetros), esto no constituye un problema, pero para grandes longitudes, por ejemplo por encima de los 60 a 80 km, la corriente capacitiva pasa a convertirse en una magnitud similar (aunque en cuadratura) que la propia corriente activa que se le pide transmitir al cable.

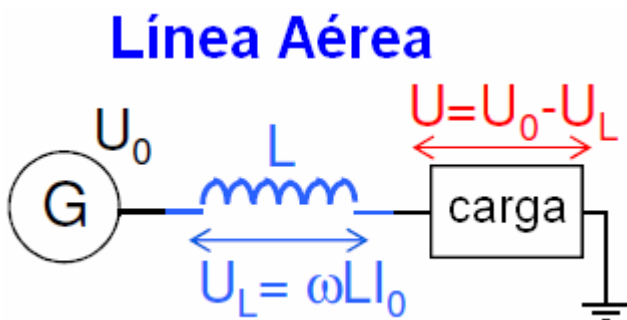
De este modo, las pérdidas son altamente incrementadas, y por consiguiente, la capacidad de transmisión del cable disminuye drásticamente, juntamente con la necesidad de usar pesados cables y complejas compensaciones reactivas.

Las desventajas de transmitir corriente alterna en grandes longitudes, tanto sea por medio de cables subterráneos como de líneas aéreas, podrían ser resumidas en lo siguiente:

En cables de longitudes mayores a 50km, la mayor parte de la corriente es utilizada para cargar y descargar la capacitancia del cable



En líneas de transmisión mayores a 200km, la mayor parte de la tensión se necesita para superar la inductancia de la línea.



C & L pueden ser compensadas por Reactores / condensadores o mediante el uso de CC, lo que significaría $\omega = 0$

En cambio, con la transmisión de CC ($f = 0$); las cosas para el sistema de cable son mucho más simples: En consecuencia, los principales efectos de las reactivas capacitivas son eliminados, y sólo la resistencia del conductor pasaría en este caso a jugar un papel importante.

Prácticamente en CC, no hay límites para la longitud de transmisión, independientemente de la tensión y de la potencia a transmitir

LOS CABLES XLPE EN LA TRANSMISION EN ALTA TENSION CONTINUA (HVDC)

Pensando en la transmisión subterránea de alta tensión en corriente continua (HVDC), mediante el uso de cables extruídos (XLPE), surgiría entonces una pregunta basada en una supuesta contradicción:



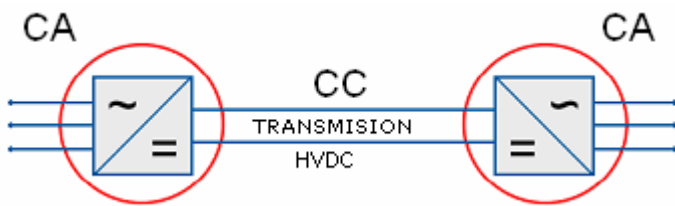
Como sería posible utilizar cables del tipo XLPE en la transmisión de corriente continua, si hoy en día la mayoría de las normativas internacionales para pruebas de cables, prohíben la aplicación de tensiones continuas de ensayo, por su ya conocido poder degradante sobre las aislaciones poliméricas (IEE400.2).

Dicho de otra manera; como es posible entonces que un cable soporte la aplicación permanente de altas tensiones continuas, cuando de por sí está vedado hacerlo durante unos pocos minutos en la etapa de ensayos normalizados, tanto sean estos de instalación como de mantenimiento?:



COMO LOGRARLO LA CONVERSION HVAC - HVDC:

Dado que los sistemas de generación eléctrica, son operados en CA, se requiere entonces convertirlos previamente en CC para su posterior transmisión por cables a grandes longitudes. Este complejo mecanismo de conversiones, implicará por lo tanto, el uso de estaciones “conversoras” en ambos extremos, para transformar CA en CC en el punto de envío (1), y CC a CA en el extremo receptor (2), pero lo mejor es que las dos redes extrema no estarían obligadas a estar sincronizadas, ya que pueden tener diferentes frecuencias y diferentes tensiones, brindando la posibilidad hasta de poder unir sistemas de transmisión de diferentes países facilitando el intercambio y el comercio energético internacional.



Existen dos técnicas lograr la conversión de CA a CC y viceversa:

Tecnología Line Commutated Converter (LCC): Ha existido por varias décadas para usos marinos, con cables tipo MI (masa impregnada). Esta tecnología requiere interconectar necesariamente dos puntos de potencia activa en cada lado del enlace.

Tecnología Voltage Source Converter (VSC): Esta tecnología ha entrado en uso comercial recién a partir del año 2000 para dar lugar a la moderna transmisión por medio de cables XLPE. Contrariamente a LCC, también se puede aplicar para unir redes aisladas, como por ejemplo, suministrar energía a partir de una fuente de generación, hacia una islas remota sin generación alguna (extremo final solo consumidor).



Los convertidores convencionales de alta potencia, utilizan tiristores (diodos controlados), y por lo tanto la corriente debe fluir únicamente en una sola dirección, pero de todas formas, cuando el flujo de potencia es revertido, también será revertida la polaridad en el cable HVDC

LOS INVERSORES Y LOS CABLES XLPE:

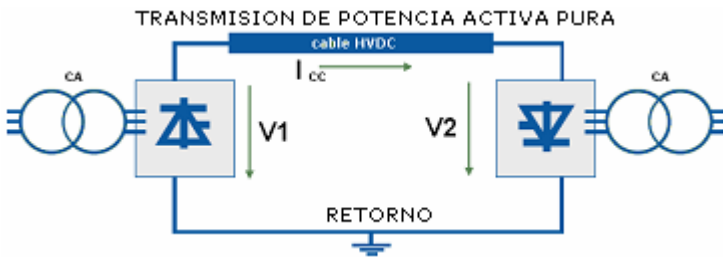
La mayoría de los sistemas de transmisión en HVDC que se encuentran en funcionamiento hoy en día, transmitiendo con cables MI, se basan en los originales convertidores conmutados (LCC Line-commutated converters)

El principio de conversión se establece en la tensión de línea del sistema de CA a la que éste se conecta, con el fin de efectuar la activación de un dispositivo de conmutación que puede ser o no controlado (como diodos), pero que sólo puede activarse (no apagarse) por la acción de compuertas (gates), tales como los tiristores.



En este convertidor conmutado por la red (LCC), la corriente continua no cambia de dirección, sino que fluye a través de una inductancia grande y puede ser considerada casi como constante. En el lado de CA, el convertidor se comporta aproximadamente como una fuente de corriente, por esta razón, un convertidor del tipo línea de conmutación forzada para HVDC, también es considerado como un convertidor de corriente.

Debido a que la dirección de la corriente no puede variar, la inversión de la dirección del flujo de potencia (cuando se requiera) solo se conseguirá mediante la inversión de la polaridad de tensión de CC en ambas estaciones.

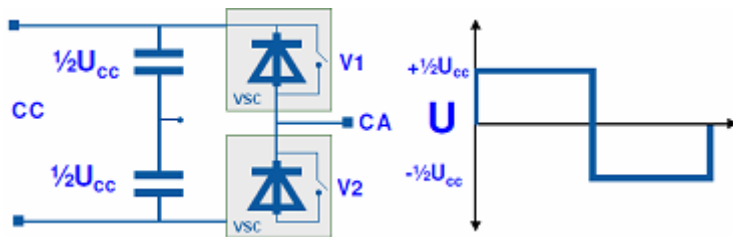


I: Fluyendo en una única dirección.

P: Dirección controlada dependiendo de la polaridad de los terminales de tensión (V_1 ; V_2).

I & P: Magnitudes controladas dependiendo de la diferencia de potencial entre (V_1 ; V_2)

En cambio, en la nueva generación de convertidores (VSC - Voltage Source Converters - Convertidores de tensión) se utilizan Transistores IGBT en vez de Tiristores.



Estos modernos convertidores con tecnología IGBT o convertidores de "fuente de tensión", mantienen una polaridad constante de tensión de CC, y la inversión de potencia se logra no ya por la inversión de la dirección de la corriente. De este modo ya no existen restricciones en la dirección de la corriente, y por lo tanto no hay necesidad de invertir la polaridad cuando se invierte el sentido del flujo de potencia.



Así las cosas, los cables poliméricos pudieron ser reintroducidos en aplicaciones de transmisión en HVDC con tecnología VSC, dado que esta última permite la reversión del flujo de potencia sin necesidad de revertir la polaridad.

Esto último ha sido precisamente la clave del éxito del sistema de conversión VSC: esta tecnología IGBT, ha permitido volver a introducir el uso de modernos cables extruídos tipo XLPE en la transmisión subterránea y marina de corriente continua, sin la consecuente degradación de los mismos, dado que de por sí, el cable "no siente" una corriente continua, si no que a pesar de ella, existe una alternancia o una reversión constante del flujo de potencia.



Actualmente, los cables utilizados para la transmisión HVDC son principalmente de tres tipos

MI: Cables aislados con papel especial, impregnados con un compuesto de alta viscosidad (en servicio por más de 40 años).

SCFF: Cables aislados con papel especial impregnado de aceite de baja viscosidad.

EXTRUIDOS: Cables aislados con compuestos a base de polietileno extruídos.

Los cables poliméricos sólo se utilizan en aplicaciones de convertidores de fuente de tensión (VSC) o sea aquellas que permiten invertir el flujo de potencia sin invertir la polaridad.

La principal ventaja de los cables extruídos (XLPE) sobre los convencionales de masa impregnada (MI) para tensiones ≤ 300 kV, se basa principalmente en una temperatura permisible de funcionamiento más elevada, y un menor costo de fabricación.

Si bien la relación de costos para el uso de cables de HVDC es de 2/3 con respecto a la inversión necesaria para una línea aérea de la misma capacidad,

las estaciones convertidoras necesarias para conectar al sistema de CA, implican costos de inversión significativos.

EL ASPECTO ECOLOGICO

Los cables extruídos para transmisiones eléctricas subterráneas y submarinas, proporcionan beneficios ambientales con respecto a sus pares, como por ejemplo la generación de campos electromagnéticos neutrales, sin riesgo para la salud humana, además de ser libres de aceites y con muy bajas pérdidas eléctricas.

Los cables extruídos para uso en HVDC pueden ser enterrados directamente en la tierra, o instalados en túneles, conductos o tuberías para responder a las necesidades de un entorno, y / o para mejorar la protección contra daños externos. Suelen instalarse en un circuito que comprende 2 cables (instalación bipolar).



No hay limitaciones para el cultivo aledaño, incluyendo cultivos del tipo agrícola / alimenticio.

La transmisión de potencia en CC, a través de cables subterráneos, genera campos magnéticos de muy baja frecuencia, en la gama de 50 micro Tesla, lo cual es equivalente al orden de magnitud del campo magnético estático natural de la tierra.

La "Guía sobre los límites de exposición a campos magnéticos estáticos 2009", recomienda la exposición pública limitada a 400 mili -Tesla, y por lo tanto el valor de EMF de los cables HVDC, resulta 8000 veces menor que el umbral aceptado.

CONCLUSIONES

Gracias a la tecnología de convertidores de tensión CA/CC tipo VSC – (Voltage Source Converters), los cables con aislaciones poliméricas extruídas tipo XLPE; hoy en día son utilizados en aplicaciones de transmisión de altas tensiones en Corriente Continúa, logrando cubrir grandes distancias sin pérdidas eléctricas (solo las resistivas),



La particularidad de estos conversores, de permitir la reversión del flujo de potencia sin necesidad de revertir la polaridad, elimina al mismo tiempo los riesgos de degradación sobre los polímeros del cable, sin entrar en contradicciones con la normativas vigentes sobre ensayos y prohibiciones del uso de corriente continua en cables extruídos (IEEE400.2).

Los sistemas para transmisión de alta tensión en corriente continua (HVDC), permiten transmitir hasta tres veces más megavatios a través del uso de las mismas torres de alta tensión, y de los mismos cables subterráneos con sistemas de CA; y pasan a posicionarse como la tecnología de elección para la transmisión masiva a largas distancias

Solo en Europa, mas de 10.000 Km de transmisión en HVDC se encuentra actualmente en servicio.

Por otra parte, dada la creciente dificultades en obtener permisos para las nuevas líneas de energía en zonas urbanas y rurales, el HVDC pasará finalmente a ser la única solución para el aumento de capacidades de transporte también en distancias más cortas