

Vorteile von Multilevel VSC Technik in Energieübertragungsanwendungen

Benefits of Multilevel VSC Technology in Power Transmission Systems

J. Dorn, Infineon Technologies Bipolar GmbH & Co. KG, Warstein; D. Retzmann (dietmar.retzmann@siemens.com), K. Uecker, Siemens AG, Erlangen

Kurzfassung

HGÜ und FACTS Stromrichter in netzgeführter Technik haben eine lange und erfolgreiche Entwicklungsgeschichte. Allerdings können beim Einsatz netzgeführter Stromrichter (bei HGÜ mit Stromzwischenkreis) auch bestimmte technische Einschränkungen auftreten. Insbesondere die Tatsache, dass die Kommutierungsvorgänge im Stromrichter durch die Netzspannung bestimmt sind, erfordert einwandfreie Netzbedingungen an der Anschlussstelle, so z.B. eine ausreichend Netzkurzschlussleistung. Voltage-Sourced Converter (VSC, mit Spannungszwischenkreis) brauchen keine „treibende“ Netzspannung – sie bauen diese mit Hilfe der Gleichspannung selbst auf (Black-Start Fähigkeit). Bisher sind VSC für HGÜ und FACTS Anwendungen meist mit Zwei- oder Drei-Level Stromrichtern realisiert. Andererseits ist bekannt, dass Multilevel VSC in Bezug auf Dynamik und Netzurückwirkungen (Harmonische) Vorteile aufweisen. Daher wurde unter der Bezeichnung HVDC PLUS und SVC PLUS eine neue, modulare Multilevel Converter Technologie (MMC) entwickelt, die beachtliche Vorteile für Hochspannungsanwendungen aufweist.

Abstract

HVDC systems and FACTS controllers based on line-commutated converter technology have a long and successful history. It is, however, worth mentioning that line-commutated converters have some technical restrictions. Particularly the fact that the commutation within the converter is driven by the AC voltages requires proper conditions of the connected AC system, e.g. a minimum short-circuit power. Power electronics with self-commutated converters, such as Voltage-Sourced Converters (VSC), can overcome these limitations and they provide additional technical features. VSCs do not require any “driving” system voltage - they can build up a three-phase AC voltage via the DC voltage (Black-Start capability). So far, VSCs for HVDC and FACTS applications are mostly based on two or three-level converters. It is, however, a fact that multilevel VSCs provide advantages with respect to the dynamic performance and harmonic impact. For these reasons, a new Modular Multilevel Converter technology (MMC), referred to as HVDC PLUS and SVC PLUS, has been developed, which provides significant benefits for high voltage applications.

1 HVDC und FACTS Technologien

Thyristoren sind die “Schlüssel”-Komponenten von netzgeführten HGÜ und FACTS Stromrichter-Topologien. Sie haben eine sehr hohe Zuverlässigkeit auf Grund ihrer robusten Technologie und ihrer sehr geringen Ausfallrate erreicht. Netzgeführte HGÜ und FACTS nutzen – neben den elektronisch gesteuerten Komponenten - auch mechanisch geschaltete Elemente (Filter, Kondensatoren und Drosseln), die in unterschiedlichen Konfigurationen miteinander kombinierbar sind. Dadurch lässt sich - neben der Wirkleistung – auch die Blindleistung schalten oder steuern. Die konventionellen, mechanischen Schaltelemente (Leistungsschalter, Transformatoren mit Stufenschalter) haben extrem niedrige Schaltverluste, sie sind jedoch vergleichsweise langsam, und dürfen nicht permanent betätigt werden. Leistungselektronik hingegen ist sehr schnell: Thyristoren können netzfrequenz schalten, selbstgeführte

Elemente wie GTO, IGCT oder IGBT können einige hundert Hz oder sogar bis in den kHz-Bereich hinein takten, wobei die Schalzhäufigkeit praktisch unbegrenzt ist. Nachteil dabei ist eine mit der Schalzhäufigkeit zunehmende Verlustleistung.

Die wesentlichen Merkmale von „klassischer HGÜ“ und HGÜ PLUS (mit VSC) sind im Bild 1 zusammengestellt.

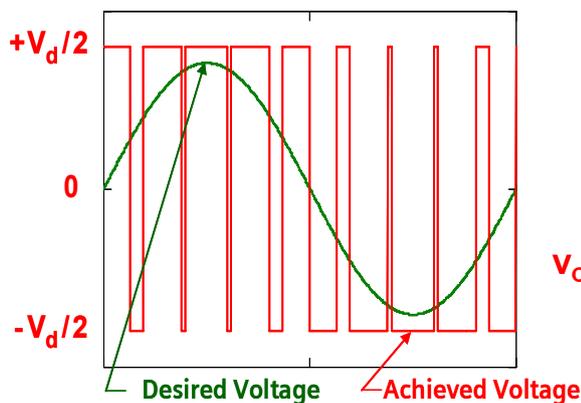


HVDC “Classic”	HVDC PLUS
Line-Commutated Current-Sourced Converter (LCC / CSC)	Self-Commutated Voltage-Sourced Converter (SCC / VSC)
Thyristors with Turn-on Capability only	Semiconducting Switches with Turn-On and Turn-Off Capability, e.g. IGBTs

Bild 1: HGÜ “klassisch” und HVDC PLUS – die Technologien

1.1 Voltage-Sourced Converters - Stromrichter mit Spannungszwischenkreis

Leistungselektronik mit selbstgeführten Stromrichtern ist bezüglich den Anschlussbedingungen des Netzes robust und weisen eine Reihe zusätzlicher technischer Vorteile auf. Für die HGÜ-Übertragung ist wichtig, dass Blind- und Wirkleistung unabhängig voneinander dynamisch steuerbar sind, d.h. VSC HGÜ hat auch FACTS Funktionalität. Zudem ist die Bauweise – auf Grund geringerer oder gar keinem Aufwand für Kompensations-Filter merklich platzsparender. Insbesondere brauchen VSC Stromrichter keine "führende" Netzspannung, sie können – wie ein "elektronischer Generator" das Netz eigenständig aufbauen. Netzgeführte Thyristoren können den Strom nur einschalten, das Abschalten erfolgt auf Grund der treibenden Netzspannung beim Stromnulldurchgang. Selbstgeführte Leistungselektronik kann beliebig ein- und ausschalten.



High harmonic Distortion
High Stresses resulting in HF Noise

Bild 3: VSC Technologie – ein „Blick zurück“

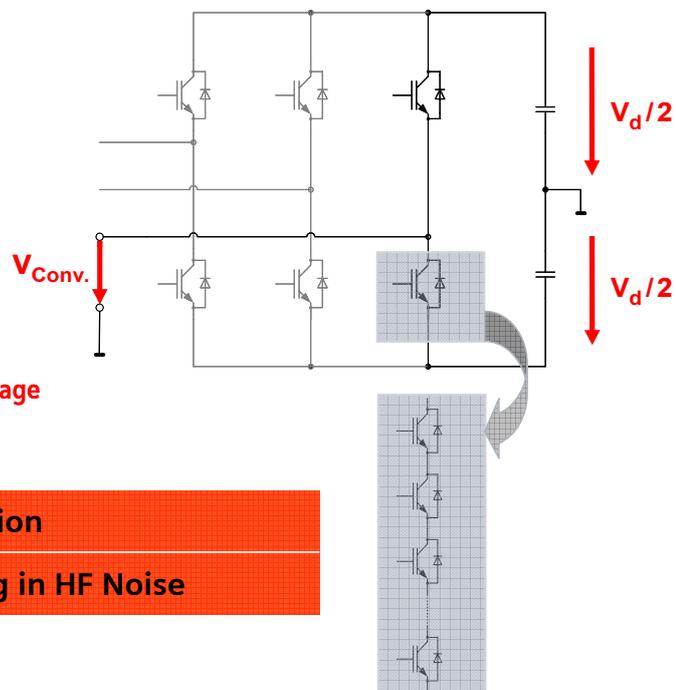
Bisher eingesetzte VSC Umrichter für HGÜ-Anwendungen basieren auf Zwei- oder Drei-Level Stromrichtern, die jeweils zwei- oder drei Spannungspegel and die Drehstromanschlüsse des Systems aufschalten. Für solch eine Topologie müssen eine Vielzahl von Halbleitern in Reihe geschaltet werden, da jedes einzelne Element nur eine Sperrspannung von einigen kV aufweist. Je nach verwendeter Gleichspannung bedeutet das die direkte Reihenschaltung von mehreren hundert Transistoren pro Stromrichterzweig, also eine vergleichsweise komplexe Struktur. Bild 3 zeigt eine solche Konfiguration, die den bisherigen „Stand der Technik“ darstellt. Die einzelnen Transistoren (im Bild rechts unten) müssen sehr ähnliche dynamische

Diese Stromrichter verwenden abschaltbare Leistungselektronik wie IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), GTO (Gate Turn-Off Thyristor) oder IGCT (Insulated Gate Commutated Thyristor). Die prinzipiellen Vorteile der VSC Technologie sind im Bild 2 zusammengestellt.

Grid Access for weak AC Networks
Independent Control of Active and Reactive Power
Supply of passive Networks and Black-Start Capability
High dynamic Performance
Low Space Requirements

Bild 2: Grundsätzliche Vorteile der VSC Technologie

HVDC PLUS weist noch weitere, zusätzliche Vorteile auf, die im Folgenden erläutert werden.



Charakteristik aufweisen, sonst können beim Schaltvorgang einzelne Elemente überlastet oder zerstört werden. Die Gleichspannung wird mittels Pulsweitenmodulation so getaktet, dass – nach kräftiger Filterung – der Mittelwert der getakteten Spannung näherungsweise die gewünschte Sinusform ergibt. Die Nachteile dieser Methode liegen auf der Hand: Das „harte“ Schalten einer Gleichspannung von 100 kV oder noch höher bedeutet hohe transiente Belastungen für die Leistungselektronik und hat auch hochfrequente Abstrahlungen zur Folge, die entsprechend gefiltert bzw. abgeschirmt werden müssen.

1.2 Das Modulare Multilevel Converter (MMC) Konzept

Sowohl die Höhe als auch die Steilheit des Schaltvorgangs lässt sich reduzieren, wenn die Netzspannung am Ausgang des Stromrichters mit sehr viel kleineren Stufen als beim Zwei- oder Drei-Level Stromrichter geschaltet wird.

Je kleiner die Stufenhöhe, desto näher kommt man an die Sinusform, und desto so geringer wird auch die transiente

Belastung der Elemente und der Aufwand für Abschirmung und Filterung. Solch ein vielstufig geschalteter Stromrichter wird als „Multilevel Converter“ bezeichnet. Bild 4 zeigt einen Vergleich der bisheriger und der neuen, für HVDC PLUS verwendeten Topologie einschließlich der jeweiligen Halbleiter (IGBT als „Presspack“, PP oder in Modulbauweise rechts unten im Bild).

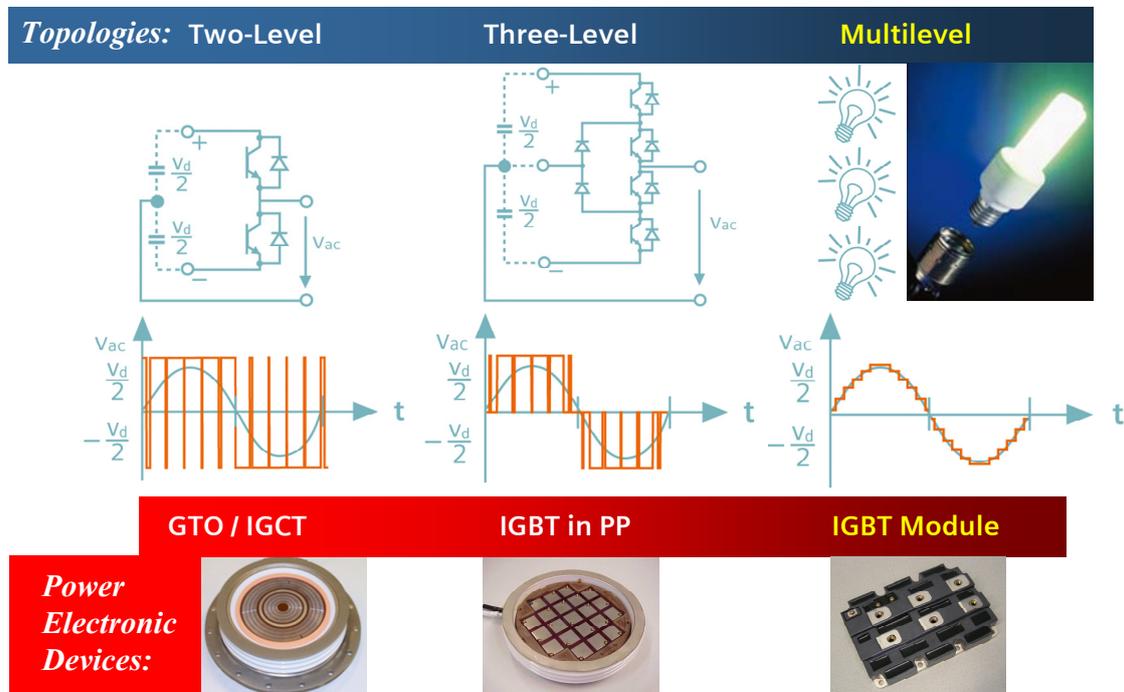


Bild 4: Weiterentwicklung der VSC Technik – HVDC PLUS

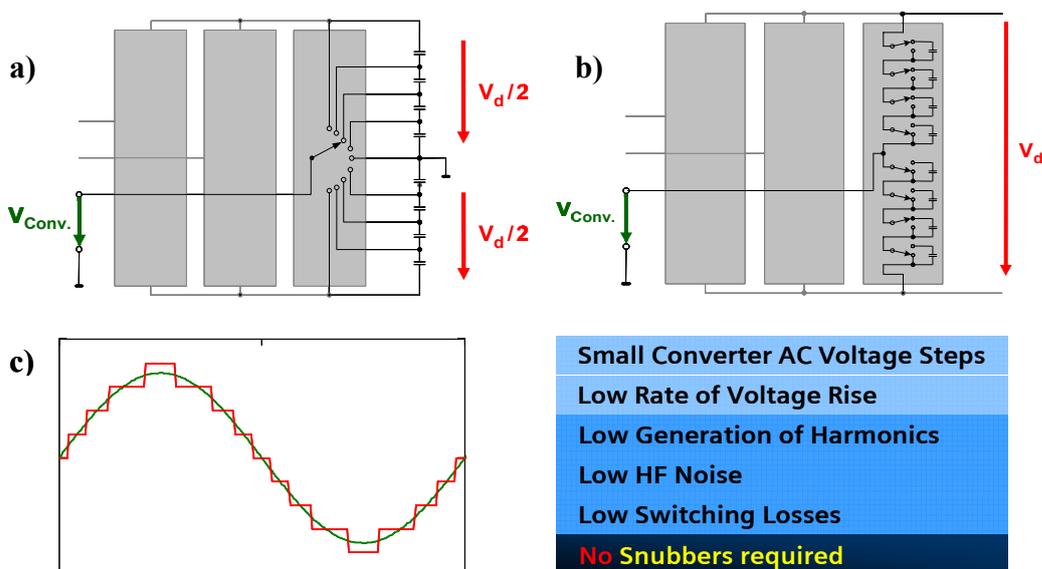


Bild 5: HVDC PLUS mit Multilevel Technologie

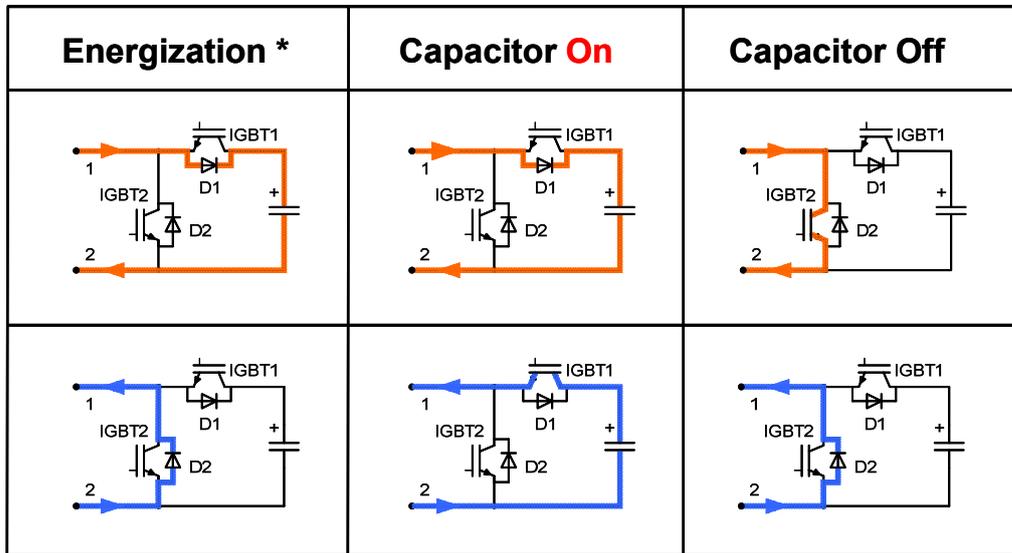
- a) „Die Idee“ b) Die MMC Lösung
 c) Sinusförmig – fein gestuft und eine Vielzahl von Vorteilen

Im Bild 5 wird auf die Multilevel Lösung näher eingegangen. Im Bild a) ist die grundsätzliche Idee einer mit Stufenschalter „angezapften“ Kondensatorreihenschaltung dargestellt, die tatsächliche technische Lösung ist im Bild b) zu sehen. Bild c) zeigt als Ergebnis die Ausgangsschaltspannung bei hier noch vergleichsweise niedriger Stufenzahl, einschließlich der Vorteile dieses neuen modularen Multilevel Converter (MMC) Konzepts. Die Schalt-

module (Power Module - PM) können im Prinzip nur zwei Zustände annehmen:

- Element „durchgeschaltet“ – ohne Kondensator
- Kondensator eingeschaltet

Tabelle I und Bild 6 zeigen dies im Detail. Zusätzlich in Tab. I ist auch der erstmalige Ladezustand („Energization“) beim Einschalten des Stromrichters zu sehen.



* Converter blocked

Tabelle I: Schaltzustände und Strompfade des „Power Moduls“ bei der MMC Technologie

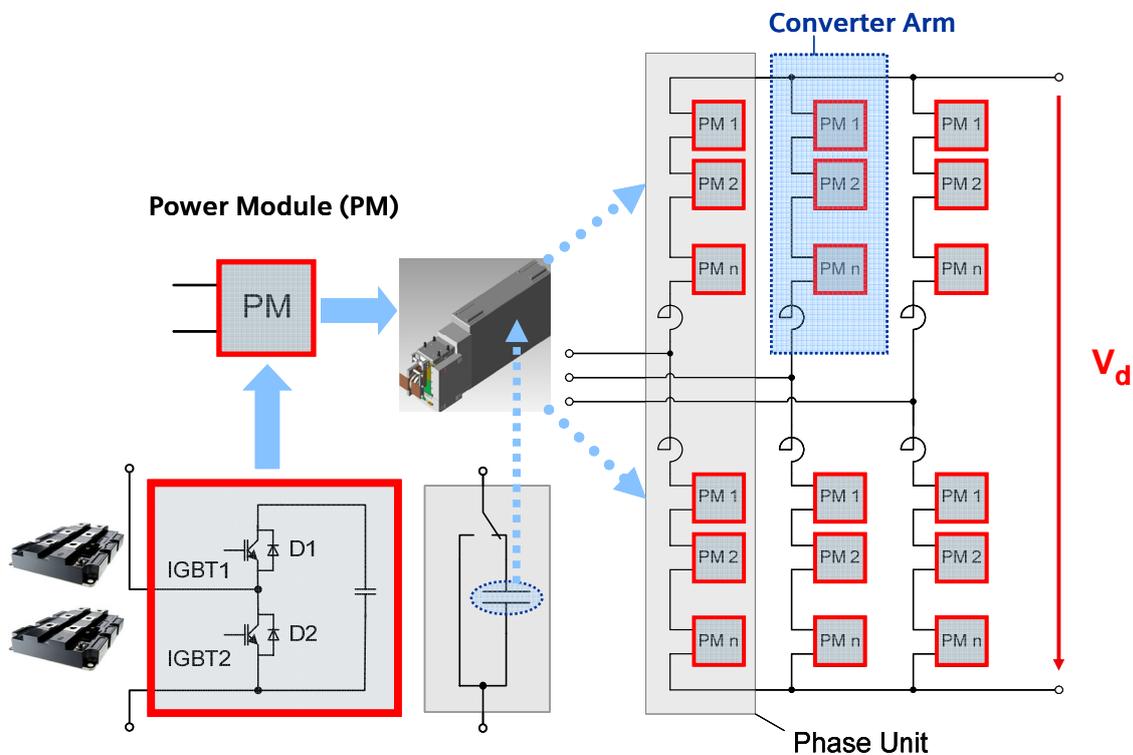


Bild 6: HVDC PLUS – Die Anordnung im Detail

Der „Trick“ der HVDC PLUS Lösung liegt nun darin, in „intelligenter Weise“ mittels einer digitalen Hochleistungsregelung „PLUS CONTROL“ innerhalb des WIN TDC Siemens SIMATIC Industrie-Standardsystems die Vielzahl der Power Module so zu schalten und zu steuern, dass sich an den jeweiligen AC Terminals eine möglichst gute Sinusspannung ergibt.

Bild 7 zeigt dies im Grundsatz, und Bild 8 zeigt die tatsächliche Kurvenform bei einem 400 MW System, das

derzeit für das erste MMC Projekt Trans Bay Cable in San Francisco, USA aufgebaut wird. Dabei werden pro positiven und negativen Umrichterzweig je 200 Module eingesetzt, also eine Sinuserzeugung mit insgesamt 400 Stufen. Das Ausgangssignal ist absolut sinusförmig, von Stufen ist nichts mehr zu sehen, und AC-Filter sind offensichtlich entbehrlich. Bild 9 zeigt eine Projektübersicht mit der weltweit ersten MMC HGÜ und +/- 200 kV XLPE Kabel.

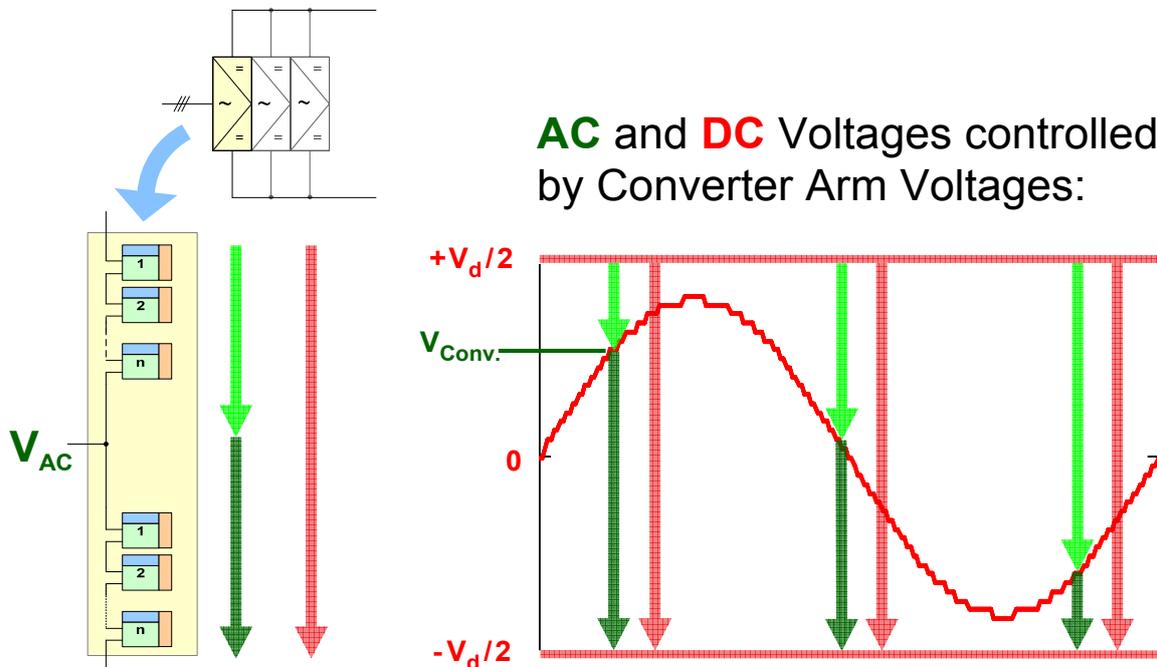


Bild 7: Das Ergebnis – ein „perfekter“ elektronischer Generator

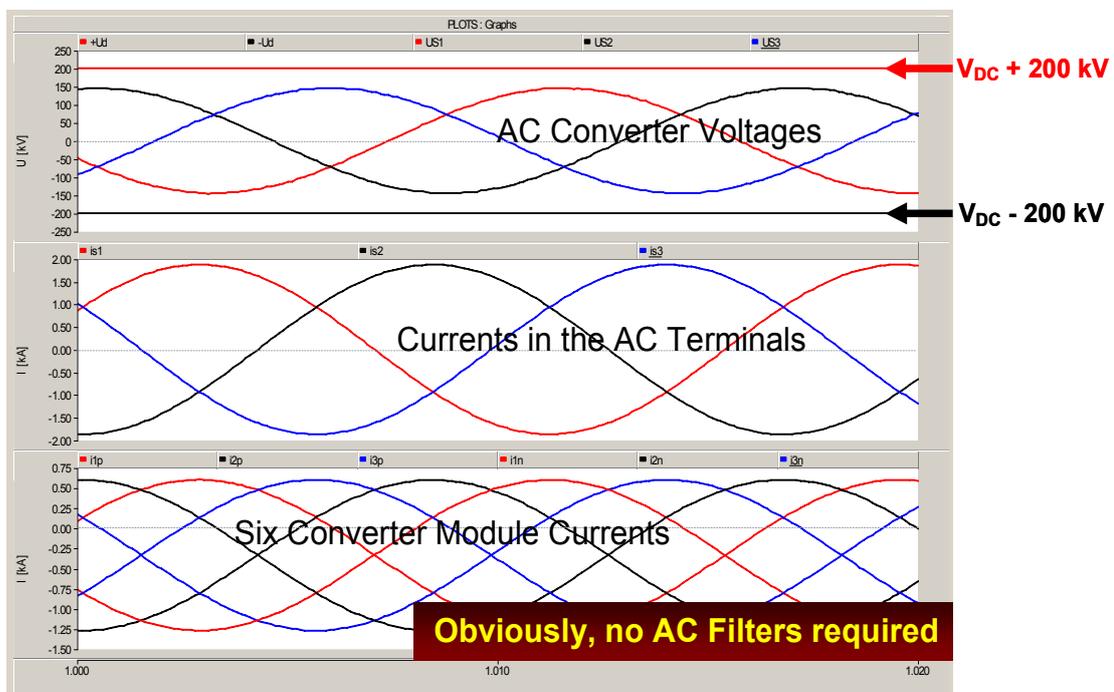


Bild 8: Trans Bay Cable Projekt, USA - 400 MW mit 2 x 200 Power Modulen pro Stromrichter-Phasenzweig

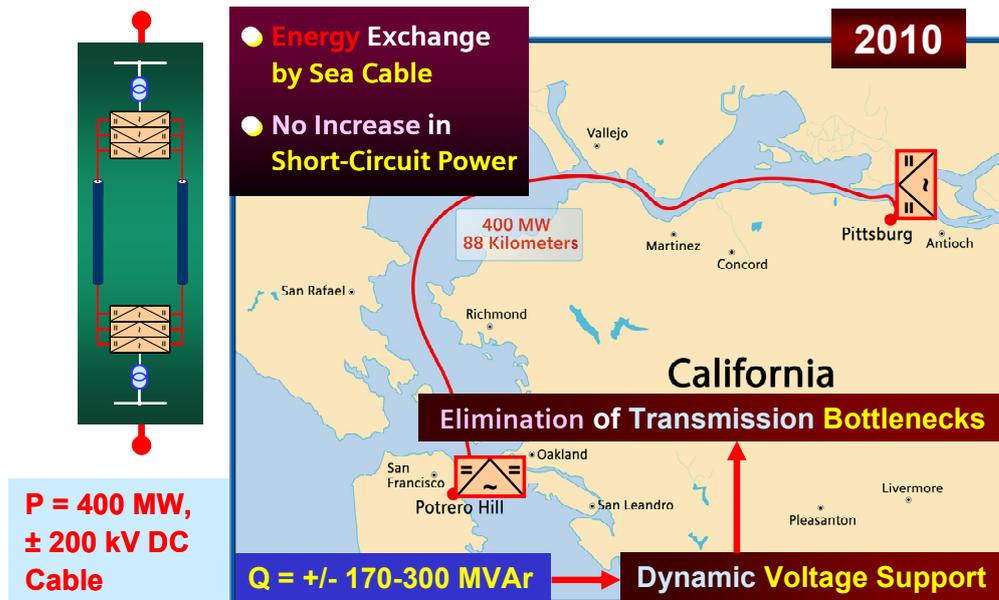


Bild 9: Trans Bay Cable – Landkarte und die Systemanforderungen



Bild 10: SVC PLUS zur dynamischen Spannungsstützung – Synergien HGÜ und FACTS

Das PLUS Konzept ist – in ähnlicher Form – auch für eine neue FACTS Generation SVC PLUS (Static Var Compensator, Statischer Blindleistungskompensator) im Einsatz, siehe Bild 10.

2 Zusammenfassung

Mit HVDC PLUS steht ein innovatives, modulares VSC System zur Gleichstromübertragung mit Kurzschlussleistung, Kabel und Freileitung zur Verfügung, das auf Grund seiner Schaltungstechnologie auf aufwendige Filter- und Abschirmmaßnahmen völlig verzichten kann und somit auch erhebliche Platzeinsparungen gegenüber anderen Lösungen aufweist. Einsatzschwerpunkt sind Anschluss von Windparks, Netzkupplung inkl. dynamischer Spannungsstützung bis in den Leistungsbereich von ca. 1000 MW. Weitere Details zu den Neuentwicklungen s. Literatur.

3 Literatur

- [1] Davies, M.; Dommaschk, M; Dorn, J; Lang, J; Retzmann, D; Soerangr, D.: "HVDC PLUS – Basics and Principle of Operation"; Special Edition for Cigré Exposition, August 2008, Paris
- [2] Dorn, J.; Huang, H.; Retzmann, D.: A new Multilevel Voltage-Sourced Converter Topology for HVDC Applications; Cigré, August 2008, Paris
- [3] Gemmel, B.; Dorn, J.; Retzmann, D.; Soerangr, D.: Prospects of Multilevel VSC Technologies for Power Transmission; IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, April 21-24, 2008, Chicago, USA