

Diss. ETH Nr. 14537

# **EIN SYMMETRIERKOMPENSATOR FÜR HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN**

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels  
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**GUNTARD ORGLMEISTER**

Dipl.-Ing. TU Wien, DESSI Universität Genf  
geboren am 10. April 1968  
von Österreich

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. G. Andersson, Referent  
Prof. Dr. H. Stemmler, Korreferent (Leiter der Dissertation)  
Prof. Dr. H. Glavitsch, Korreferent

2002

## Kurzfassung

In der heutigen Betriebspraxis der Betreiber elektrischer Energieübertragungsnetze wird nach einem Fehler einer Übertragungsleitung und ein bis zwei erfolglosen Wiedereinschaltversuchen die Leitung in allen drei Phasen vom Netz getrennt. Dies geschieht unabhängig von der Anzahl der betroffenen Phasen. Unter dem Gesichtspunkt, dass mehr als 85% dieser Fehler nur eine einzige Phase betreffen, scheint es interessant, im Fehlerfall die nicht betroffenen Phasenleiter weiter zu verwenden und so Verfügbarkeit und Übertragungssicherheit des Netzes zu erhöhen.

Da die unsymmetrische Übertragung über eine in einer Phase unterbrochene Leitung zu unerwünschten Gegen- und Nullsystemströmen bei Erzeugern und Verbrauchern führen würde, ist eine geeignete Einrichtung vorgesehen, die die Ströme und Spannungen am Anschlusspunkt einer Leitung so symmetriert, dass das Netz von negativen Folgen des unsymmetrischen Unterbruchs bewahrt bleibt.

Da schon seit einigen Jahren leistungselektronische Systeme zur Leistungsfluss-, Blindleistungs- und Spannungsregelung als FACTS-Geräte in Energieübertragungsnetzen in Einsatz stehen, liegt es nahe, diese um die Funktionalität der Symmetrierung zu erweitern.

In dieser Arbeit wurde ausgehend von der Struktur bekannter Blindleistungskompensatoren ein Symmetrierkompensator für Hochspannungsleitungen entwickelt. Dieser besteht aus einem über einen Kopplungstransformator shuntmässig an die Leitung angeschlossenen dreiphasigen Gleichspannungswechselrichter. Dieser saugt am Anschlusspunkt unsymmetrische Ströme ab und speist dreiphasig symmetrische ein - und umgekehrt. Die hierbei mit doppelter Netzfrequenz auftretenden Leistungspulsationen werden durch den Gleichspannungszwischenkreis ausgeglichen.

Für die verwendete Schaltung wurde eine mehrstufige digitale Regelung basierend auf einem Dead-Beat-Regler und integrierenden Oszillatoren entwickelt und mit anderen Regelverfahren verglichen. Anhand ausführlicher Computersimulationen und eines für diese Zwecke aufgebauten Labormodells konnte die Funktionalität von Regelung und Schaltung bewiesen werden.

Die Regelung kann in jedem Fall binnen einer Netzperiode nach dem Unterbruch symmetrische Verhältnisse am Anschlusspunkt wieder herstellen. Ausser zur Symmetrierung kann das entwickelte FACTS-Gerät auch zur Blindleistungskompensation eingesetzt werden. Damit kann die Spannung am Anschlusspunkt stabilisiert und eine empfindliche Last mit gleicher Leistung weiter versorgt werden, solange die thermische Leistungsgrenze der Phasenleiter nicht überschritten wird. Es stellt damit ein nützliches Hilfsmittel zur Verbesserung der Versorgungsqualität und -stabilität bestehender Netze dar.

# Abstract

According to today's common practice at power grid utility companies any persistent fault - even a single phase one - in an electric power transmission line leads to complete three phase interruption of the line. The fact that more than 85 % of the faults in power transmission lines are single phase faults gave rise to the idea to continue the use of the two not affected sound conductors for the transport of electric energy and to thereby increase the reliability and the average transmission capacity of the power grid.

However, the asymmetrical transmission over a three phase transmission line with one unconnected conductor would lead to undesired zero and negative sequence currents at generators and loads. Therefore, special equipment is necessary to symmetrise the currents and voltages at the terminals of the transmission line. The asymmetrical currents have to be limited to the transmission line itself.

FACTS devices based on power electronics are now in use for several years in power lines to control the power flow, the reactive power and the terminal voltages. Why they should not be used for the symmetrisation of currents as well?

In this thesis a new FACTS device based on the structure of existing reactive power compensators has been developed and tested for the forced symmetrisation of the currents and voltages at the terminals of high voltage transmission lines. The device consists of a three phase three pulse voltage source inverter connected via a transformer in parallel to the terminal of the transmission line. At the connection point it draws all asymmetric current components out of the line and it injects symmetrical ones. For this compensation it has to store the transmitted energy for half a period of fundamental frequency in the dc link capacitors.

For the used device a multi level digital control algorithm based on a Dead Beat controller and integrating oscillators had been developed and compared with other control algorithms. By the means of extensive computer simulation and measurements in a laboratory model constructed especially for this purpose, the functionality of the new device and its control has been proved.

The device is able to restore symmetrical currents and voltages at the connection point within one period of fundamental frequency. Besides, for the symmetrisation the new developed FACTS device can be used for reactive power compensation: The amplitude of the voltage at the connection point can also be stabilised as long as no over currents in the conductors occur. Therefore the new device can be considered as a useful means to increase the supply capacity, quality and reliability of existing power grids.