



Doctoral Thesis

Increased Transmission Capacity by Forced Symmetrization

Author(s):

Karpatchev, Andrei

Publication Date:

2003

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004675237> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 15342

Increased Transmission Capacity by Forced Symmetrization

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by
ANDREI KARPATCHEV
Master of Science, Moscow Institute of Physics and Technology
born on 17.07.1973
citizen of Russian Federation

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Göran Andersson, examiner
Prof. em. Dr. Hans Glavitsch, co-examiner and supervisor
Prof. em. Dr. Dusan Povh, co-examiner

Zurich 2003

Abstract

The electrical power industry experiences nowadays a significant need in modern techniques for increasing the capability of power transmission systems. The reason for this lies in growing power flows, caused by rising power consumption, and in the deregulation of the electrical market, where power flows should be more flexible. These factors demand more transmission capability from the existing networks. The conservative expansion of the high voltage grid is often not desirable or not possible, because the approval of new overhead transmission lines meets strong opposition in society. Furthermore, it takes a long time and is generally a risky long-term financial investment. New technological solutions are sought to meet the capability needs under consideration of modern environmental requirements.

The presented work considers possibilities for ensuring power transmission through an AC transmission line with a damaged phase conductor. The disturbance of the symmetrical pattern of currents and voltages in the surrounding network can be eliminated by active measures for *symmetry*. The utilization of two remaining healthy phases of a three-phase transmission line with a damaged phase in this way can be an economical way to enhance the system reliability.

The present planning procedure of the high voltage networks mostly respects the (n-1) criterion. This means that the network should not be subject to any overload or voltage drop below a strictly given limit when any network element is disconnected. Based on statistics, single phase-to-ground faults are the most frequent faults in transmission systems,

typically approximately 2/3 of all line faults at voltage level 220-380 kV. Present planning procedures are often based on single outages of three-phase circuits, which do not take into account the actual fault pattern. For the single-phase faults it is necessary to avoid unsymmetrical conditions or unsymmetrical currents in the network. The reason for this is that the currents in the zero sequence system mean earth currents, and those can be dangerous for people and cause adverse interactions with other systems. The currents and voltages in the negative-sequence system are of concern to rotating synchronous machines like generators and motors, but if no such machines are connected to a network part, negative-sequence voltages can be tolerated in that part.

Symmetrization means the suppression of both zero- and negative-sequence currents on the network side of both line circuit breakers so that the network does not experience any unsymmetrical conditions. This can be performed by the installation of special equipment as shunt or serial elements at the line terminals.

Different arrangements and strategies are considered in this work. In order to be able to try all the different arrangements a special system simulator has been developed. It is based on power flow calculations with multiple symmetrical system representations and allows simulation of the symmetrization effect in a complex meshed network. The fault currents in the negative and zero sequence systems can be studied directly. Different symmetrization topologies, both concentrated and distributed, are investigated and discussed.

Modern power electronics devices and measurement technology provide the hardware basis for the practical implementation of different modern symmetrization techniques. The present work considers impact on the whole grid, in case symmetrization techniques are applied. The achieved rest transmission capacity of the damaged line and other "system" characteristics are in focus of interest. Different methods of symmetrization are considered and compared. A possibility of distributed compensation is also one item of interest, which is very promising for the protection of several lines.

Symmetrization methods, which are examined in this work, increase considerably the system reliability and can be seen as competitive solutions for an extensive grid expansion on the existing congestion routes. The installation of the necessary additional equipment can be done in shorter terms than the construction of a new transmission line. The environmen-

tal and aesthetic impact is then very small too. Modern power electronics devices, which are needed to achieve these advantages, introduce more operational flexibility and can be used also in non-disturbed operation of the network.

Kurzfassung

Die Elektrizitätswirtschaft weist heutzutage einen erheblichen Bedarf an modernen Technologien zur Erhöhung der Kapazitäten von Energieübertragungssystemen auf. Der Grund dafür liegt in den wachsenden Lastflüssen, verursacht durch steigenden Energieverbrauch, und in der Deregulierung des Elektrizitätsmarktes, in welchem die Lastflüsse flexibler sein sollen. Diese Faktoren erfordern mehr Übertragungskapazität der existierenden Netze. Der konservative Ausbau des Hochspannungsnetzes ist oft nicht wünschenswert oder nicht möglich, da die Genehmigung neuer Hochspannungsfreileitungen auf grossen Widerstand in der Gesellschaft stösst. Zudem braucht eine solche Genehmigung viel Zeit, was den Bau neuer Leitungen in der Regel zu einem riskanten finanziellen Langzeitinvestment macht. Darüber hinaus müssen neue technologische Lösungen nicht nur die Kapazitätsbedürfnisse befriedigen, sondern gleichzeitig auch den modernen Umweltschutzforderungen gerecht werden.

Die vorliegende Arbeit berücksichtigt Möglichkeiten zur Sicherstellung der Energieübertragung mittels Drehstrom-Übertragungsleitungen mit einem defekten Phasenleiter. Die Verzerrung des symmetrischen Musters von Strömen und Spannungen in den umliegenden Netzen kann durch aktive Massnahmen zur Symmetrierung eliminiert werden. Die Verwendung der zwei verbleibenden gesunden Phasen einer Dreiphasen-Übertragungsleitung mit einer defekten Phase kann so einen ökonomischen Weg zur Steigerung der Systemverfügbarkeit bieten.

Das heutige Planungsprozedere für Hochspannungsnetze berücksichtigt meistens das $(n-1)$ Kriterium. Das bedeutet, dass das Netz keiner Überlastung und keinem Spannungsabfall unter eine festgelegte Grenze ausgesetzt sein darf, wenn eine der Netzkomponenten ausfällt. Statistiken zeigen, dass einphasige Erdkurzschlüsse die häufigsten Fehler in Übertragungssystemen - üblicherweise mehr als $2/3$ aller Fehler von 220-380 kV Hochspannungsleitungen - darstellen. Heutige Planungsprozeduren basieren oft auf der gleichzeitigen Abschaltung von Dreiphasen-Kreisen ohne Berücksichtigung des aktuellen Störungsmusters. Bei einphasigen Fehlern ist es nötig, unsymmetrische Bedingungen und Ströme im Netz zu vermeiden. Der Grund dafür liegt darin, dass Ströme im Nullsystem Erdströmen gleichkommen, welche für Menschen gefährlich sein und nachteilige Wechselwirkungen mit anderen Systemen verursachen können. Ströme und Spannungen im Gegensystem beeinflussen rotierende Synchronmaschinen wie Generatoren und Motoren negativ, wenn aber keine solchen Maschinen an einem Teil des Netzes angeschlossen sind, kann eine Spannung im Gegensystem in diesem Teil toleriert werden.

Symmetrierung bedeutet die Unterdrückung von Strömen auf den Netzseiten beider Leistungsschalter sowohl im Null- als auch im Gegensystem, so dass das umliegende Netz keine unsymmetrischen Bedingungen erfährt. Dies kann durch die Installation von Spezialgeräten an den Leitungsenden erreicht werden.

In dieser Arbeit werden verschiedene Anordnungen und Strategien untersucht. Um all die verschiedenen Anordnungen testen zu können, wurde ein spezieller Systemsimulator entwickelt. Dieser basiert auf Lastflussberechnungen mit der Darstellung in mehrfachen symmetrischen Systemen und erlaubt die Simulation des Symmetrierungseffekts in einem komplexen vermaschten Netz. Die Fehlerströme im Gegen- und Nullsystem können direkt untersucht werden. Verschiedene Symmetrierungstopologien, sowohl lokalisierte als auch verteilte, werden untersucht und besprochen.

Moderne Leistungselektronik-Geräte und Messtechnik liefern die Basis für die praktische Implementierung verschiedener Symmetrierungstechniken. Die vorliegende Arbeit berücksichtigt Auswirkungen der Anwendung von Symmetrierungstechniken auf das ganze Netz. Der Fokus des Interesses liegt in der erreichbaren Übertragungskapazität der defekten

Leitung und in anderen Systemcharakteristiken. Verschiedene Symmetrierungsmethoden werden untersucht und verglichen. Die Möglichkeit verteilter Kompensierung ist ebenfalls Gegenstand des Interesses, was vielversprechend ist für den Schutz mehrerer Leitungen.

Die in der vorliegenden Arbeit geprüften Symmetrierungsmethoden erhöhen die Systemverfügbarkeit erheblich und können als konkurrenzfähige Alternative zum extensiven Ausbau überlasteter Leitungen betrachtet werden. Die Installation der nötigen zusätzlichen Geräte kann in kürzerer Zeit realisiert werden als der Bau einer neuen Übertragungsleitung. Zudem ist der Einfluss auf Umwelt und Ästhetik ebenfalls sehr klein. Die modernen Leistungselektronik-Geräte, welche zur Erlangung dieser Vorteile nötig sind, bringen mehr Betriebsflexibilität und können auch bei normalem störungsfreiem Betrieb benutzt werden.