

Diss ETH Nr. 2002

MINIMIERUNG VON VERLUSTEN IN ENERGIEUEBERTRAGUNGSNETZEN  
DURCH SCHALTMASSNAHMEN

ABHANDLUNG

ZUR ERLANGUNG DES TITELS EINES  
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
DER  
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZUERICH

VORGELEGT VON  
RAINER BACHER  
DIPL. EL.-ING. ETH  
GEBOREN AM 9. DEZEMBER 1958  
VON WINDISCH (AG)

ANGENOMMEN AUF ANTRAG VON  
PROF. DR. H. GLAVITSCH, REFERENT  
PROF. DR. A. GERMOND, KORREFERENT

ZÜRICH 1986

## Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein systematisches und schnelles Optimierungsverfahren zur Reduktion von Verlusten in Energieübertragungsnetzen durch Schaltmassnahmen hergeleitet. Dabei wird der Begriff des Schaltens so weit gefasst, dass neben einfachem Ein- und Ausschalten von allen passiven Netzelementtypen (inkl. Kuppelstellen) auch das Umlegen dieser Elemente bei Mehrfachsammschienenkonfigurationen möglich sein soll. Als Steuervariable der Optimierung dienen Einspritzströme, die an den Anfangs- und Endknoten der zu schaltenden Elemente eines Basisnetzes, wo alle Elemente ausser den Kuppelstellen im eingeschalteten Zustand vorhanden sind, angebracht werden. Mit diesen Einspritzströmen, die sich je nach Netztopologie und Knotenströmen auf bestimmte Werte einstellen und sich mit einer im voraus berechenbaren Basisnetz-Verteilfaktormatrix einfach berechnen lassen, können lineare Grenzwert-Ungleichheitsnebenbedingungen für Knotenspannungen und Elementströme formuliert werden. Genauso lässt sich die eigentliche Verluständerung, hervorgerufen durch Topologieänderung, mit Einspritzströmen sogar in linearisierter Form ausdrücken. Die Verluständerungsformel wird mit einem Spannungsniveau berechnet, das in zwei Stufen erreicht wird: Die erste wird durch ein Stromeinspritzmodell, das auf Knotenstromkonstanz basiert, erreicht, d.h. die topologische Aenderung wird so erfasst. In einer zweiten Stufe werden die bei diesem ersten Spannungsniveau gültigen Mismatches berechnet. Mit diesen lässt sich durch Multiplikation mit einer Jakobimatrix eine zweite Spannungsverbesserung herbeiführen. Das schliesslich entstehende Spannungsniveau stellt eine sehr gute Annäherung an den lastflussmässigen, exakten Wert dar. Die Optimierungsaufgabe, die sich somit aus linearen Gleichheitsnebenbedingungen für die Einspritzströme, aus linearen Ungleichheitsbedingungen für die Grenzwerte und einer linearen Verluständerungs-Zielfunktionsgleichung zusammensetzt, kann in LP- (Lineare Programmierung) ähnlicher Form dargestellt und gelöst werden. Wegen der Linearisierungen müssen aber die Knotenströme und alle davon ableitbaren Grössen der Optimierung nach Bestimmung einer optimalen Schaltoperation durch eine exakte AC-Lastflussrechnung neu berechnet werden. Das Wechselspiel zwischen LP und AC-Lastfluss führt so auf eine Sequenz von optimalen Schaltoperationen, wobei die Verluste unter Einhaltung von Grenzwertbedingungen minimiert werden.

## Abstract

Systematic and fast switching for the purpose of reducing losses in power transmission networks is treated as an optimization problem. Switching does not only mean switching in and out of all types of passive network elements (incl. bus couplers) but also the transfer of these elements when a multiple bus bar configuration is given. Injected currents are the control variables of the optimization. They are applied to the terminals of the elements of a base network corresponding to those actually switched. This requires that the base network must contain all the elements in the "in" state, only the bus couplers must be in the "out" state. Constraints for nodal voltages and element currents can be formulated by these injected currents whose values depend on the topology and can be obtained by inverting a part of a precalculated distribution factor matrix of the base network. Also the change of losses caused by a change of topology can be expressed by injected currents in a linear manner. The loss formula is calculated at a voltage level which is reached in two steps: The first level of voltages is reached by a model of current injection based on constant nodal currents. So the topological change is considered. The mismatches of this new voltage level are calculated afterwards. Now as a second step an improvement of the nodal voltages can be obtained by doing a multiplication of a Jacobian matrix with these mismatches. The final voltage level represents a very good approximation to the exact AC load flow value. The optimization problem where one part consists of linear equality constraints for the injected currents, a second part of linear inequality constraints for the nodal voltages and element currents and the third part of the linearized objective function expressing the change of losses, can now be formulated. These three parts can be put in an LP- (Linear Programming) like formulation and one optimal switching operation can be determined with rules similar to those of an ordinary LP. After each optimal switching operation an exact AC load flow has to be done in order to update the nodal currents and all derivable variables. The interaction between LP and AC load flow leads to a sequence of optimal switching operations whereby losses are reduced to a minimum subject to given constraints.