

Diss. ETH Nr. 10181

A NODE-ORIENTED SOLUTION STRATEGY IN POWER SYSTEM ANALYSIS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
KARL WERLEN
Dipl. El. -Ing. ETH
born 13 July 1962
Citizen of Bürchen (VS)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H. Glavitsch, examiner
Prof. Dr. K. Reichert, co-examiner

Zurich 1993

Abstract

The analysis and simulation of electrical power systems by conventional computer programs often requires the use of large sparse systems of equations. Considering the increasing size of the networks and the demand of on-line computation parallel processing is one possibility to reduce the computation time. Therefore the algorithms have to be adapted to the use of parallel processor architectures. The thesis proposes the allocation of independent processes to every node of the network leading to a step-by-step method where a portion of computational work is always followed by an exchange of information among neighboring processes. Such a *node-oriented* algorithm is easy to implement on a parallel computer consisting of a large number of processors. The ideal transformation of a power system on a parallel computer would be a 1:1 mapping of the real system (each node corresponds to one processor). The focus of this thesis is on a node-oriented strategy in the field of application software for the analysis of high voltage power systems.

The simulation of **transients** by Bergeron's method is already a node-oriented process. Thereby the natural decoupling of the transmission lines indicated by the traveling wave line model is exploited.

After simulating a system long enough the transients lead to the **stationary solution**. A shortcut to compute the stationary solution with a method derived from Bergeron's method leads to a node-oriented solution of large sparse systems. Adapting the characteristic impedances of the lines to the input impedance of the network behind suppresses significantly reflections and accelerates the convergence. A generalization extends the method to solve arbitrary sparse systems of equations, e.g. the nonlinear loadflow equations by the Newton-Raphson approach where a large part of the compu-

tational time is spent in solving linear systems.

Speedups up to the number of processors are realistic when each process has almost the same size and the time of data exchange and synchronization compared with the computation time is negligible. For a very high degree of parallelization the slowest process defines the computation time for one step and the efficiency may decrease.

The node-oriented program versions of the powerflow problem do not compete with the conventional matrix methods yet. However, the very high degree of parallelism together with the potential to further decrease the number of iterations with suitable methods could lead to a parallel linear system solver-tool having a comparable importance as the well known one-cpu-based matrix solution techniques.

Zusammenfassung

Die Berechnung transienter und stationärer Zustände in elektrischen Energieübertragungsnetzen mit konventionellen Programmen führt meistens zur Lösung von grossen schwachbesetzten Gleichungssystemen. Um dem zunehmenden Bedarf nach Echtzeitsimulationen bei immer grösser werdenden Netzen gerecht zu werden, stellt sich die Frage, ob solche Berechnungen mit Mehrprozessor-Systemen beschleunigt werden können. Die Idee dieser Arbeit besteht darin, jedem Knoten einen möglichst autonomen Prozess zuzuordnen. Die Berechnung erfolgt schrittweise, wobei nach jedem Schritt Informationen zwischen benachbarten Prozessen ausgetauscht werden. Ein solcher *knotenorientierter* Algorithmus ist leicht parallelisierbar und kann sehr effizient auf einem Mehrprozessor-System gerechnet werden. Im Extremfall kann ein Übertragungsnetz 1:1 auf ein Mehrprozessor-System abgebildet werden (d.h. jedem Knoten wird ein eigener Prozessor zugeordnet). In der vorliegenden Arbeit wird eine knotenorientierte Strategie entwickelt für Computerberechnungen im Hochspannungs-Energieübertragungsnetz.

Die Berechnung von **Transienten** mit dem Bergeronverfahren ist bereits knotenorientiert. Bei jedem Knoten werden die Spannungen pro Zeitschritt mit Hilfe von ankommenden Wanderwellen berechnet, die von früheren Spannungen und Strömen der Nachbarknoten abhängen.

Nach genügend langer Zeit konvergieren die Transienten zum **Stationärzustand** des Netzes. Die Abkürzung dieses Übergangs zum Stationärzustand führt zu einer knotenorientierten Lösung des Lastflussproblems. Durch Anpassung der Wellenwiderstände der Leitungen an die Eingangsimpedanz des dahinterliegenden Netzes werden Reflexionen weitgehend unterdrückt und damit die Konvergenz entscheidend beschleunigt.

nigt. Mit einer allgemeinen Form der Methode können beliebige schwachbesetzte Gleichungssysteme, z.B. die linearisierten Lastflussgleichungen, mittels knotenorientierter Prozesse gelöst werden.

Auf einem Parallelrechner werden nahezu ideale Speedups erreicht, solange die Zahl der gerechneten Knoten pro Prozessor relativ hoch bleibt, d.h. alle Prozessoren gleichmässig belastet sind. Bei einem höheren Grad der Parallelisierung bestimmt der grösste Prozess die Zeit zwischen zwei Iterationen und die Effizienz sinkt dementsprechend.

Die knotenorientierten Versionen des Lastflussprogramms können mit den konventionellen Matrixmethoden noch nicht konkurrenzieren. Die hohe Parallelisierbarkeit und die Möglichkeit, die Anzahl der Iterationsschritte durch entsprechende Verfahren weiter zu reduzieren, könnte zu einem Werkzeug zur Lösung schwachbesetzter linearer Systeme führen, das eine vergleichbare Bedeutung erlangt wie die bestehenden Matrixmethoden.