

Diss. ETH No 7923

POWER SYSTEM MODELLING AND ANALYSIS BASED ON GRAPH THEORY

A dissertation submitted to the
**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH**

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
KARL IMHOF
Dipl. El.-Ing. ETH Zurich
born February 27, 1953
Citizen of Aadorf (TG) and Laufen (BE)

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

ADAG Administration & Druck AG

Zurich 1985

ABSTRACT

This thesis is concerned with data models and algorithms incorporated in on-line software functions used in the supervision and analysis of electric power systems (Power Application Software functions).

Most of the PAS-functions incorporated in a control centre software package have been originally designed to carry out off-line studies for predefined power system states. Power system properties, due to the fact that now the functions are confronted with a real time technical process, do not find enough reflection in the appropriate algorithms of the functions concerned.

A method for data modelling and algorithm design based on graph theory is proposed. The aim of the data modelling is to transfer the properties of the technical process to be handled into the model as naturally and completely as possible. In so doing, operations performed in the technical process can be more efficiently reproduced in the data model. E.g. switching activities performed in the technical process can be simulated by processing just the model entities concerned and modifications to the initial power flow state are computed by taking into account only those parts where there are flow changes.

Out of the process properties, model specifications are derived. Based on graph theory a hierarchical, ordered, multiway graph of records and pointers, representing the various entities and structural information relating them, is established. This flexible, size-self-adapting and most decoupled model serves as a unique data source for all sorts of functions. No further data structures such as matrices are necessary. It is shown that graph data structures are superior to the traditional data structure concepts based on tables and matrices.

Algorithm prototypes based on graph walk through methods working directly on such entity-pointer data structures are presented and analysed. The algorithms are compared with common matrix based algorithms.

For two typical but different power system functions (topology determination and load flow calculation) it is shown how due to the innovative graph approach the algorithm complexity (the amount of work) can be reduced to the problem complexity: e.g. local operations are performed by recognizing only the part model concerned. In a very illustrative way it is demonstrated how a basic review of algorithm and data modelling principles towards more reflection of process properties reveals new aspects and features. Although the main goal was not to improve performance figures, CPU-times as well as memory space usage of well known functions have been reduced remarkably.

ZUSAMMENFASSUNG

The vorliegende Arbeit befasst sich mit Datenmodellen und Algorithmen in on-line Software Funktionen fuer die Ueberwachung und Analyse von elektrischen Energieuebertragungsnetzen (Power Application Software Funktionen). Die meisten PAS-Funktionen, die heute in Netzleitstellen benuetzt werden, sind urspruenglich fuer off-line Studienzwecke entwickelt worden. Eigenschaften von elektrischen Netzen, aufgrund der Tatsache, dass die Funktionen nun mit einem real time Prozess konfrontiert sind, finden keinen ausreichenden Niederschlag in den entsprechenden PAS-Funktionen und den darin verwendeten Algorithmen.

Eine Methode zur Datenmodellierung und zur Algorithmenentwicklung basierend auf der Graphentheorie ist vorgestellt. Das Ziel bei der Datenmodellierung ist eine moeglichst natuerliche und vollstaendige Uebertragung der Prozesseigenschaften in das entsprechende Modell. Somit koennen Operationen des Prozesses effizient im Modell nachvollzogen werden. Zum Beispiel koennen Schaltaktionen nachgebildet werden, ohne dass unbeteiligte Elemente behandelt werden muessen, oder bei Lastfluss-aenderungen muessen nur die betroffenen Netzteile aufdatiert werden.

Ausgehend von Prozesseigenschaften werden zuerst Modellspezifikationen abgeleitet. Daraus wird ein graphenorientierter, hierarchisch organisierter, geordneter Graph bestehend aus Records und Zeigern, die die Modelleinheiten und ihre Strukturinformation nachbilden, abgeleitet. Dieses flexible, in der Groesse sich selbst anpassende und moeglichst entkoppelte Modell dient als einzige Datenquelle fuer alle Arten von PAS-Funktionen. Damit eruebrigen sich zusaezliche Datenstrukturen wie Matrizen und Tabellen. Es wird aufgezeigt, dass Graphendatenstrukturen sich fuer on-line PAS-Funktionen besser eignen als ueblichen Datenstruktur-Konzepte.

Algorithmus Prototypen basierend auf Graphen-Durchwanderungsalgorithmen, die nun direkt auf der Record-Zeiger Datenstruktur arbeiten, werden vorgestellt. Diese Algorithmen werden mit den bekannten auf Matrizen basierenden Algorithmen verglichen.

Fuer zwei typische aber unterschiedliche PAS-Funktionen (Topologiebestimmung und Lastflussberechnung) wird gezeigt, dass Dank dem neuen Ansatz die Algorithmenkomplexitaet (der Arbeitsaufwand) auf die Problemkomplexitaet reduziert werden kann, z.B. fuer lokale Operationen muessen nur die beteiligten Netzteile erkannt werden. Es ist gezeigt, wie durch grundlegende Ueberarbeitung von Prinzipien fuer Algorithmen und Datenmodelle in Richtung bessere Beruecksichtigung von Prozesseigenschaften sich neue Aspekte und Moeglichkeiten eroeffnen. Obwohl das Hauptziel nicht bessere Antwortzeiten von PAS-Funktionen war, sind sowohl CPU-Zeiten als auch Speicherbedarf reduziert worden.