

JAHRESBERICHT 1982

VORWORT

Das Berichtsjahr 1982 ist durch die gemeinsamen Anstrengungen aller Mitarbeiter, das bisherige Forschungs- und Lehrprogramm weiterzuführen, gekennzeichnet. Dabei spielte jedoch die gesamtwirtschaftliche Entwicklung bereits jetzt an mancher Stelle eine einschneidende Rolle. Von großer Tragweite wird besonders die im Laufe des Jahres 1982 oft erörterte und in zahlreichen Gesprächen diskutierte Kooperationsvorstellung der ingenieurwissenschaftlichen Abteilungen der Universitäten Dortmund und Bochum angesehen. Die vom Kuratorium der Universität Dortmund verabschiedete Stellungnahme zu diesem Fragenkomplex ist in diesem Zusammenhang besonders hervorzuheben. Nachdem in der Aufbauphase unserer Universität hervorragende Möglichkeiten für die Durchführung umfangreicher Forschungsprojekte geschaffen worden sind, gilt es jetzt, diesen hohen Stand zu halten und den sich ändernden Randbedingungen anpassen zu können. Dabei ist natürlich die Überführung der Forschungsanstrengungen in die Praxis ein wichtiges Anliegen, wozu eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den interessierenden Partnern eine notwendige Voraussetzung ist. Dazu ist ein ständiger Informationsaustausch erforderlich. Mit dem vorliegenden Jahresbericht 1982 möchten wir Sie über unsere Arbeiten informieren. Wir hoffen, daß das eine oder andere Projekt auch für Sie von großer Bedeutung ist. Um die Übersichtlichkeit des Jahresberichts aufrecht erhalten zu können, werden die verschiedenen Forschungsvorhaben in zusammengefaßter Form dargestellt. Ausführliche Berichte zu den verschiedenen Arbeiten stellen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

E. Handschin

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. PERSONAL	1
2. LEHRBETRIEB	2
2.1 Vorlesungen	2
2.2 Seminar	3
2.3 Praktika	3
2.4 Exkursionen	5
3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN	6
3.1 Software-Entwicklung für die Netz- automatisierung	6
3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energiever- sorgungssystemen	23
3.3 On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb	34
4. VORTRÄGE	38
4.1 Beiträge für das Kolloquium	38
4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern	38
5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN	39
6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE	44
6.1 Veröffentlichungen	44
6.2 Forschungsberichte	46
6.3 Diplomarbeiten	46
6.4 Studienarbeiten	47
6.5 Programmbeschreibungen	47
7. PROMOTIONEN	48

2. Lehrbetrieb

2.1 Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. E. Handschin

Elektrische Energietechnik I (WS 1981/82)

Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 5. Semester.

Inhalt: Drehstrom-Systeme; Elemente der elektrischen Energieversorgung; Betriebsverhalten.

Elektrische Energietechnik II (SS 1982)

Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 6. Semester.

Inhalt: Berechnung elektrischer Energieversorgungssysteme im stationären und dynamischen Zustand; Schutztechnik, Kraftwerkstechnik.

Energieübertragungssysteme I (WS 1981/82)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 7. Semester.

Inhalt: Stationäre Netzberechnung; Sensitivitätsanalyse; Kurzschlußberechnungen für symmetrische und unsymmetrische Fehler; Optimierung, State Estimation.

Energieübertragungssysteme II (SS 1982)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 8. Semester.

Inhalt: Dynamisches Netzverhalten; Netzregelung; statische und dynamische Stabilität.

Dr.-Ing. J. Voß

Netzschutz und Steuerungstechnik (SS 1982)

Obligatorische Vorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik im 8. Semester Universität GH Paderborn.

Inhalt: Stationäre Netzberechnung, Empfindlichkeitsanalyse, Optimale Lastverteilung, Netzzustandsschätzung.

1. PERSONAL

Lehrstuhlinhaber: o.Prof. Dr.-Ing. E. Handschin

Sekretariat: Frau I. Gasthaus

Oberingenieur: Dr.-Ing. J. Voß

Wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Ing. N. Aschöwer
Dipl.-Ing. K. El-Homsi
Dipl.-Ing. M. Gacka
Dipl.-Ing. H. Graf
Dipl.-Ing. E. Grebe
Dipl.-Ing. D. König
Dipl.-Ing. Th. Reißing
Dipl.-Ing. R. Woltemate

Technische Mitarbeiter: Ing.(grad.)W. Horenkamp
Frau R. Kistner
Dipl.-Ing. H. Maiweg
Frau R. Meier
K.D. Tesch

Wiss. Hilfskräfte: A. Kuhlmann, W. Lisakowski

Studentische Hilfskräfte: M. Aretz, A. Bücken,
N. Capetanos, E. Ebbinghaus,
P. Gröner, G. Hager,
V. Hering, G. Nimmrich,
M. Schnurbusch, M. Seitz,
H. Slomski, R. Stöppler,
J. Tebbe, F. Warkowski, M. Wuske.

Elektrizitätswirtschaft und Kraftwerke I (WS 1981/82)
Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energie-
technik und Allgemeine Elektrotechnik im 7. Semester.

Inhalt: Einführung in die Prozeßautomatisierung; Entwurf von
Abtastregelkreisen; Dynamisches Verhalten von Kraftwer-
ken, Entwurf einer digitalen Regelung für ein Dampfkraft-
werk.

Elektrizitätswirtschaft und Kraftwerke II (SS 1982)
Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energie-
technik und Allgemeine Elektrotechnik im 8. Semester.

Inhalt: Wirtschaftliche Bewertung von Übertragungselementen
und Kraftwerken; Planspiel "Elektrizitätswirtschaft".

Dr.-Ing. H.Ch. Müller / Dr.-Ing. H.J. Haubrich

Energieversorgung (WS 1981/82)
Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energie-
technik im 7. Semester.

Inhalt: Planung von Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen,
technische Bewertung; Wirtschaftlichkeitsrechnung.

2.2 Seminar

Elektrizitätswirtschaft (Prof. Dr.E. Handschin, Dr.-Ing. J. Voß)

Inhalt: Aktuelle Probleme und Fallstudien der Elektrizitäts-
wirtschaft.

2.3 Praktika

Im Rahmen des von allen Lehrstühlen und Arbeitsgebieten der Ab-
teilung Elektrotechnik gemeinsam organisierten Grundlagenprak-
tikums im 3. und 4. Semester werden vom Lehrstuhl für elektri-
sche Energieversorgung folgende Versuche angeboten:

a) Schutzeinrichtungen

Behandlung der wichtigsten Schutzmaßnahmen beim Anschluß
elektrischer Verbraucher.

b) Messung von Energie und Leistung

Behandlung verschiedener Meßverfahren für die ein- und drei-
phasige Messung von Energie und Leistung bei symmetrischer
und unsymmetrischer Belastung.

c) Untersuchung von Überstromunterbrechern und Erwärmung von Leitungen

Prüfen verschiedener herkömmlicher Sicherungen, Aufnehmen der Schmelzcharakteristika sowie des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung einer Schmelzsicherung. Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf den Widerstand eines elektrischen Leiters.

Im Rahmen des von allen Lehrstühlen und Arbeitsgebieten gemeinsam organisierten Fortgeschrittenen-Praktikums für alle Studenten des 5. und 6. Semesters werden vom Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung folgende Versuche angeboten:

a) Gasdurchschlag bei Wechselspannungsbeanspruchung

Untersuchung der Isoliereigenschaften von Luft unter Wechselspannungsbeanspruchung bei verschiedenen Drücken (Paschen-Gesetz).

b) Prüfung von Isolierstoffen der Hochspannungstechnik entsprechend den VDE-Vorschriften

Untersuchung des Isoliervermögens von Isolatoren sowie von Transformatoröl bei Wechsel- und Stoßspannungsbeanspruchung.

c) Einführung und Grundlagen der speziellen Methoden zur Messung hoher Spannungen, Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Stoßspannungen, Vergleich verschiedener Wechselspannungsmethoden.

d) Regelung von Wirk- und Blindleistung

Symmetrische Komponenten in asymmetrischen Netzen, Beeinflussung von Wirk- und Blindleistungsflüssen mit Längs- und Querregeltransformatoren, Messung von Wirk- und Blindleistung an einem Dreiphasennetzmodell bei symmetrischer Belastung.

e) Planung elektrischer Energieversorgungssysteme

Planung eines Energieversorgungsnetzes bei vorgegebener Lage von Verbrauchern und Kraftwerken unter Einbehaltung umfangreicher Randbedingungen. Überprüfung der gewählten Struktur durch Lastflußberechnung. Simulation einer Einfachstörung.

f) Selektive Netzschutzrichtungen

Behandlung der verschiedenen Meßverfahren zur Kurzschlußerfassung in Mittel- und Hochspannungsnetzen insbesondere des Distanzschutzes.

2.4 Exkursionen

22.06. 1982	Gersteinwerk der VEW in Hamm
22.11. 1982	Besichtigung der Hauptschaltleitung für das 220/380 kV-Netz der VEW, Dortmund
07.12. 1982	Besichtigung von Schaltanlagen der VEW, Dortmund

3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN

Die im Berichtsjahr 1982 durchgeführten Aufgaben lassen sich den 1978 definierten drei Schwerpunkten zuordnen:

1. Software-Entwicklung für die Betriebsführung elektrischer Energieversorgungssysteme.
2. Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energieversorgungssystemen.
3. On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb.

Die folgenden Ausführungen sind Kurzbeschreibungen der durchgeführten Projekte und sollen in knapper Form Problemstellungen und erreichte Ergebnisse aufzeigen. Am Ende der einzelnen Projektbeschreibungen sind die weiterführenden, ausführlichen Berichte erwähnt, die auf Anfrage gerne zugestellt werden.

3.1 Software-Entwicklung für die Betriebsführung elektrischer Energieversorgungssysteme

3.1.1 Elektrischer-Energieversorgungsnetz-Trainings-Simulator

Zur Planung und Führung der zunehmend komplexer werdenden Energieversorgungssysteme ist der Einsatz von Simulatoren, die diese komplexen Systeme physikalisch bzw. mathematisch nachbilden, von großer Bedeutung. Problemorientierte Simulationen sind in den drei großen Teilbereichen Planung - Betrieb - Ausbildung einsetzbar. Unter Ausbildung ist hier sowohl die Ausbildung des Betriebspersonals der Energieversorgungsunternehmen als auch das Heranführen neuer Fachkräfte durch die Hochschulen zu verstehen.

Neben dem bereits bestehenden und bewährten grafischen-interaktiven Simulations-System (GISS) ist in diesem Jahr ein Simulator entwickelt und zum Teil realisiert worden, der die Zustandschätzung, Meßgeräteoptimierung und Beobachtbarkeit auf der Basis entkoppelter P- δ - und Q-U-Modelle beinhaltet. Das Konzept dieses Simulators ist in Bild 3.1 dargestellt.

Die einzelnen (untereinander angeordneten) Programme sind so gestaltet, daß jedes für sich lauffähig ist. Über ein Steuerprogramm und eine kernspeicherresidente gemeinsame Datenbank werden die gewünschten Programme interaktiv vom Benutzer ausgewählt.

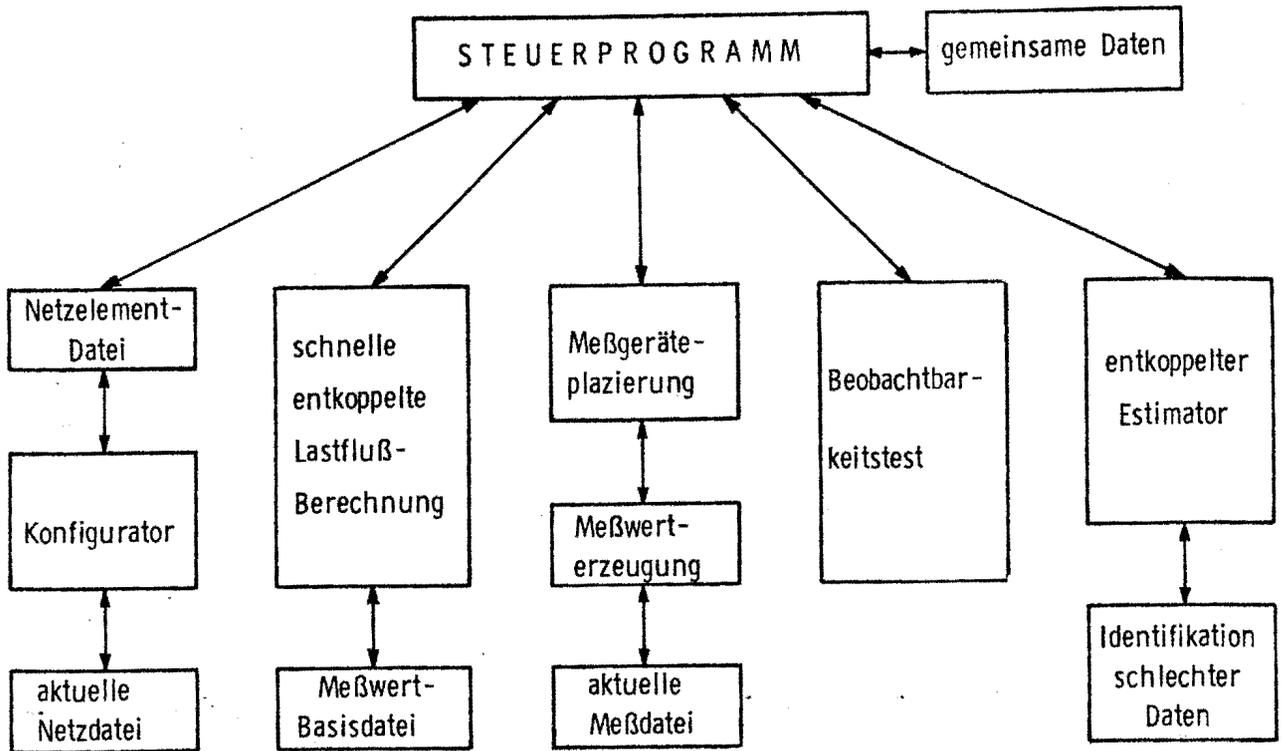


Bild 3.1: Konzept eines Trainings-Simulators für State-Estimation

Im ersten Schritt wird aus einer Netzelementdatei mittels eines Konfigurators eine aktuelle Netzdatei erstellt. Für die Anwendung in den Energieversorgungsunternehmen kann der Schaltzustand des Netzes physikalisch erfaßt und als reale Netzdatei verarbeitet werden. Im zweiten Schritt wird für die Simulation mittels der schnellen entkoppelten Lastflußrechnung und deren Ergebnisse eine Meßwertbasisdatei generiert. Für den on-line Einsatz können die Meßgrößen über Fernwirksysteme (falls vorhanden) direkt erfaßt werden. Als nächstes wird vom Benutzer ausgewählt, welche Meßdaten (Meßorte) für eine Zustandsschätzung eingesetzt werden. Diese ausgewählten Meßdaten werden unter Benutzung von normalverteilten Meßfehlern und eines Zufallszahlengenerators mit Fehlern beaufschlagt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, gezielt frei wählbare Meßdaten mit Extremfehlern zu versehen. Dieser mit Fehlern angereicherte

Datensatz bildet die aktuelle Meßdatei. Im vierten Schritt wird die Topologie der aktuellen Meßdatei auf Beobachtbarkeit untersucht. Im Falle der Nichtbeobachtbarkeit kann der Benutzer unter Ausnutzung der Ergebnisse des Beobachtbarkeitstests die aktuelle Meßdatei so anpassen, daß Beobachtbarkeit gewährleistet ist. Im fünften Schritt wird eine Zustandsschätzung mit Hilfe eines entkoppelten Estimators vorgenommen. Nach der Estimation besteht die Möglichkeit, schlechte Daten zu identifizieren und diese zu eliminieren um so einen möglichst nur mit geringen Fehlern behafteten Datensatz zur "genauen" Zustandsschätzung zu erhalten bzw. im Planungsfall eine optimale Meßgeräteanordnung bei guter Zustandsschätzung zu ermitteln.

N. Aschöwer, K. El-Homsi

Berichte: EV 8109, EVP 8203, EVP 8204, EV 8208, EV 8215,
EV 8230

3.1.2 Einsatz adaptiver Störungslisten in der elektrischen Energieversorgung

Aufgrund des Bewußtseins der zunehmend knapper werdenden Primärenergievorkommen und des stärkeren sinnvollen Einflusses von Umweltschutzmaßnahmen ist das Ausnutzen existierender und neu zu erstellender Betriebsmittel bis zum technisch höchstmöglichen Grad unter Berücksichtigung aller Sicherheitsaspekte für die Zukunft unvermeidlich. Die Entwicklung schneller Rechenanlagen und die umfangreiche Forschung im Bereich der elektrischen Energieversorgung ermöglichen den Energieversorgungsunternehmen neue Konzeptionen bei der Planung und Führung ihrer Systeme zu erstellen. Im industriellen, öffentlichen und besonders privaten Bereich ist die zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie zur Selbstverständlichkeit geworden, so daß die Probleme, die damit in Verbindung stehen, nicht ins Bewußtsein treten. Kommt es trotzdem zum Ausfall in der Energieversorgung, so können die Folgen extreme Zustände hervorrufen (Beispiel: Ausfall prozeßrechner gesteuerter Ampelanlagen zur rush hour). Dabei ist die Zuverlässigkeit immer mehr zu einem entscheidenden Kriterium für die Güte der elektrischen Energieversorgung geworden.

Um diese Forderung zu erfüllen, sind Untersuchungen

- a) bei der Ausbau- und Betriebsplanung des Systems
- b) bei der momentanen Betriebsführung

notwendig. Während bei der Ausbau- und Betriebsplanung eine Zuverlässigkeitsanalyse basierend auf gespeicherte vergangene deterministische und stochastische Ereignisse für zukünftige erweiterte resp. umstrukturierte Systeme durchgeführt wird, muß bei der Betriebsführung von einem aktuellen momentanen Schalt- und Betriebszustand ausgegangen werden, in dem deterministische und stochastische Ereignisse eintreten können.

Einen relativ großen Zeitraum in der Zuverlässigkeitsanalyse nimmt das Abarbeiten von Störungslisten ein. Unter Störungsliste ist hier ein nach Prioritäten gegliederter Katalog von Betriebs-elementen zu verstehen, bei deren Ausfall sich im Netz ein gefährdeter oder im Extremfall ein gestörter Zustand (Netzausfall) einstellen kann. Ebenso können die Betriebszustände auch bei Störaufschaltungen (Last, Zu- bzw. Abschaltungen, Witterungseinflüsse) eintreten.

Bei den Energieversorgungsunternehmen wird zur Zeit hauptsächlich von historisch ermittelten Störungslisten ausgegangen. In diesem Bericht wird vorgeschlagen, die historisch ermittelten Störungslisten so zu modifizieren, daß der aktuelle Betriebszustand durch sehr schnelle relativ "grobe" Simulationsrechnungen herangezogen wird, um soweit wie möglich nichtrelevante Rechnungen zu vermeiden. Dabei werden nicht grundsätzlich historische Listen ersetzt sondern nur diejenigen Ausfallsimulationsrechnungen gestrichen, die als garantiert betriebssicher für beispielsweise einen n-1 Ausfall ermittelt wurden.

Zur Ermittlung der rechnergestützten Prioritätsliste wird ein im Jahresbericht 1980 beschriebenes Verfahren angewendet. In diesem schnellen Verfahren werden die Betriebselemente gesucht, bei deren Ausfall voraussichtlich die vorgegebenen technischen Grenzwerte wie Spannungsfehlerband oder Grenzbelastbarkeit von Netztransformatoren, Freileitungen oder Kabeln verletzt werden.

Diese rechnergestützte Liste plus die historisch unabdingbar

und durch den Rechner nur schwer oder gar nicht erfaßbaren Störfälle werden dann wie in Bild 3.2 dargestellt, zu einer gemeinsamen Störungsliste zusammengefaßt, welche dann mittels eines effizienten Ausfallsimulationsprogrammes nach Priorität abgearbeitet wird.

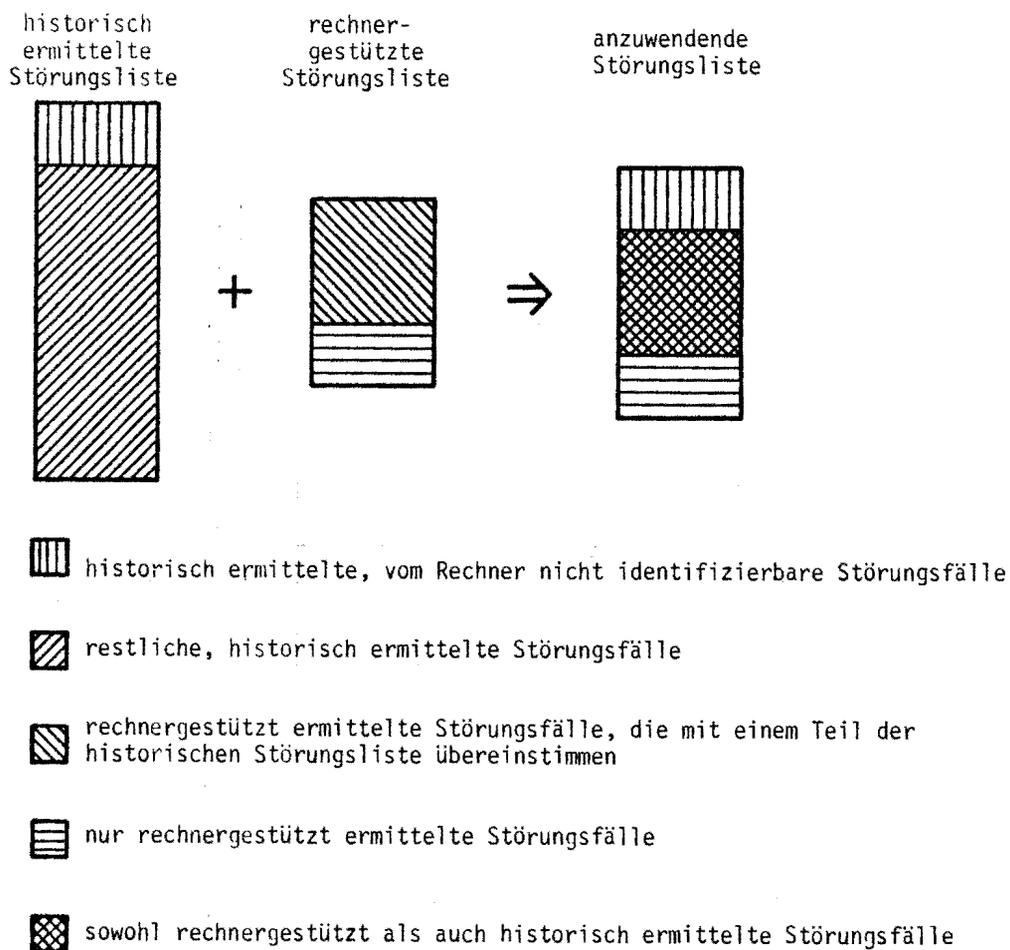


Bild 3.2: Zusammenwirken der historisch und rechnergestützten Störungslisten

Beim Abarbeiten der Störungsliste wird für jeden Zweigausfall das verbleibende Netzwerk auf Beobachtbarkeit untersucht. Der Beobachtbarkeitstest wird ähnlich wie in der Estimation durchgeführt; die aktuell bestehende Topologie des Netzes wird zur Pseudo-Generierung der "Leistungsflußmessungen" herangezogen. Bilanz- und Spannungsbetragsmessungen werden zu Null gesetzt. Im Gegensatz zur Estimation-Beobachtbarkeit reicht ein Test und zwar der P- δ -Test. Es können grundsätzlich zwei Arten von Nichtbeobachtbarkeit identifiziert werden:

- a) isolierte Knoten
- b) isolierte Netzbezirke.

Für den Fall, daß das zu untersuchende System nicht beobachtbar ist, müssen die Teilnetze berechnet und dann die Teilergebnisse mit Zusatztermen überlagert werden.

Wird bei der Ausfallsimulationsrechnung eine Gefährdung oder sogar ein Netzausfall ermittelt, so kann das Ergebnis als Basis für Präventivmaßnahmen herangezogen werden, die dann selbstverständlich durch Simulationsrechnungen auf Betriebssicherheit überprüft werden sollten.

Die rechnergestützte Prioritätsliste wird nach jeder Schalthandlung im Netz oder bei größeren Laständerungen neu ermittelt und mit der historischen Störungsliste überlagert, so daß die "echte" Störungsliste zur Anwendung kommt.

Diese adaptiven Störungslisten sind sowohl in der Netzbetriebsführung als auch in der Ausbau- und Betriebsplanung anwendbar, da in beiden Fällen nur die relevanten Störungen simuliert werden müssen. Das bedeutet, daß der Rechner für andere Untersuchungen längere Zeit zur Verfügung steht bzw. daß im Führungsfall schnell über mögliche "Echtstörungs-Fälle" Information vorliegt.

N. Aschöwer

Berichte: EV 8109, EV 8230

3.1.3 Lösung von Lastflußgleichungen mit Hilfe eines Multiprozessorrechners

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Algorithmus erstellt, der die Lösung von Lastflußgleichungen nach der Methode von Newton-Raphson mit Hilfe eines Multiprozessorrechners ermöglicht. Die Basis dieses Algorithmus bildet ein modifiziertes schnelles entkoppeltes Lastflußverfahren, bei dem von einer schwachen Kopplung der P- und Q-Modelle ausgegangen wird, und bei dem während einer vollständigen Iteration jeweils zwei Gleichungssysteme mit konstanten Systemmatrizen neu zu lösen sind.

Zur Implementierung dieses Verfahrens auf einem Multiprozessorrechner ist es nötig, die Lösung der Gleichungssysteme und auch die Berechnung der Leistungsabweichungen auf die Modulrechner des Multiprozessorrechners aufzuteilen. Die Parallelisierung der Lösung der Gleichungssysteme beruht auf der sog. Block-Diagonal-Bordered-Form der Knotenadmittanzmatrix des zu berechnenden Netzes (Bild 3.3). Diese spezielle Form der Knotenadmittanzmatrix kann durch die Aufteilung des Netzes in mehrere Netzgruppen und ein Transportnetz erhalten werden. Dabei wird zur Errechnung jeder Netzgruppe und des Transportnetzes jeweils ein Modulrechner eingesetzt. Die Berechnung der Leistungsabweichungen wird ebenfalls nach Netzgruppen und Transportnetz getrennt, von den zugehörigen Modulrechnern durchgeführt.

Bei der Simulation des parallelen Algorithmus mit Hilfe eines seriell arbeitenden Rechners wurden die besonderen Funktionen des später einzusetzenden Multiprozessorrechners, z.B. Datenaustauschvorgänge und Modulprogrammaufrufe emuliert. Mit dem entsprechenden Simulationsprogramm ist es möglich, die zeitliche Auslastung der einzelnen Modulrechner bei der Netzbe-
rechnung zu ermitteln.

$\bar{Y}_{1,1}$			$\bar{Y}_{1,4}$
	$\bar{Y}_{2,2}$		$\bar{Y}_{2,4}$
		$\bar{Y}_{3,3}$	$\bar{Y}_{3,4}$
$\bar{Y}_{4,1}$	$\bar{Y}_{4,2}$	$\bar{Y}_{4,3}$	$\bar{Y}_{4,4}$

Bild 3.3: Knotenadmittanzmatrix in BDBF

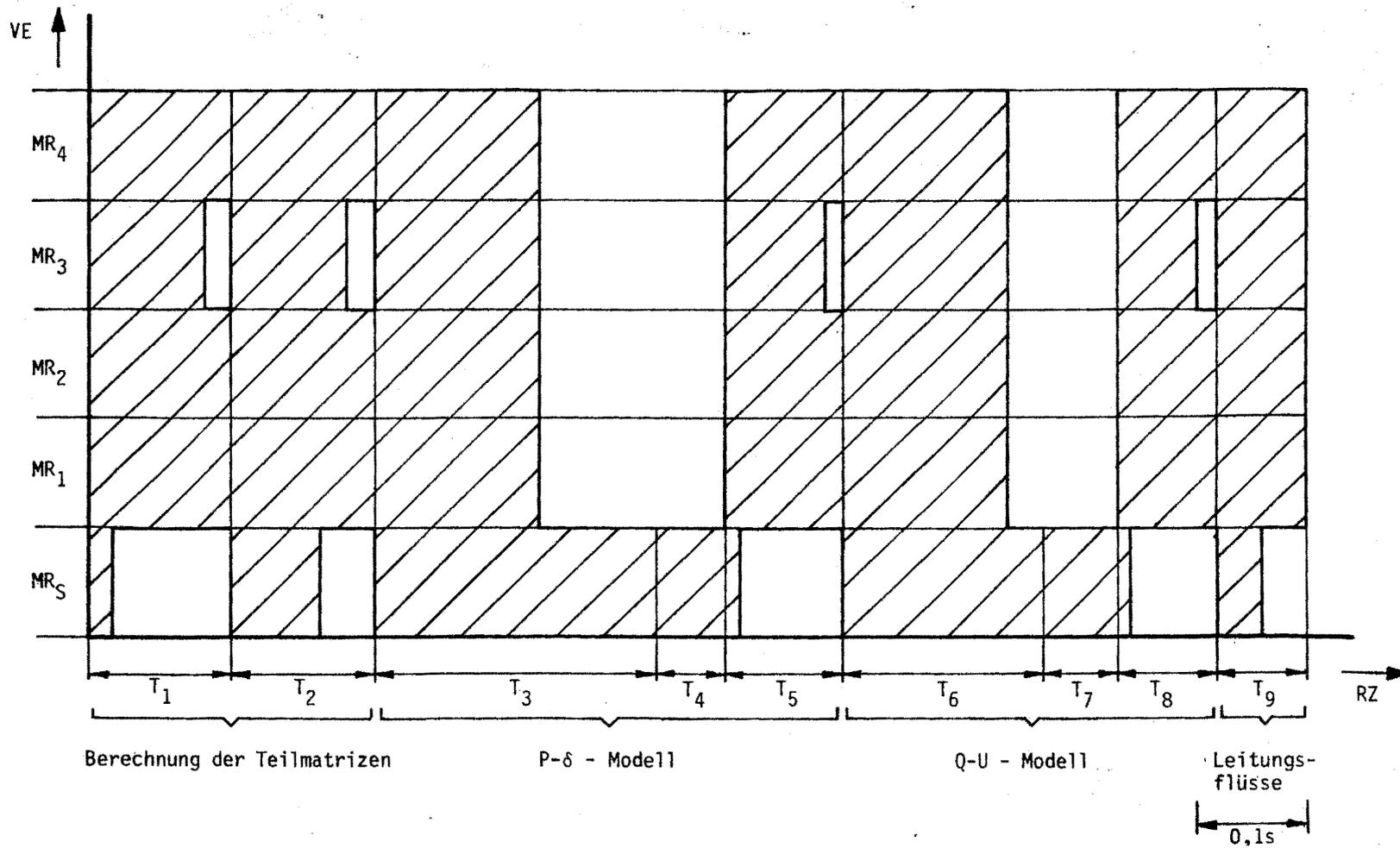


Bild 3.4: Ablaufdiagramm für die Berechnung des 30-knotigen Netzes

Bild 3.4 zeigt das Ablaufdiagramm der Berechnung eines 30-knotigen Netzes, durchgeführt mit 5 Verarbeitungseinheiten (VE). Aufgetragen ist die Gesamtrechenzeit (RZ) über alle 6 Iterationen je Bearbeitungsabschnitt und Verarbeitungseinheit ohne Datenaustauschphasen. Die Berechnung eines 30-knotigen Netzes zeigte, daß die Aufteilung des Netzes in Netzgruppen und Transportnetz einen Einfluß auf die zeitliche Auslastung der Modulrechner und auf den mit diesem Algorithmus zu erzielenden Rechenzeitgewinn gegenüber seriellen Algorithmen besitzt. Verallgemeinert kann gesagt werden, daß der Rechenzeitgewinn mit dem parallelen Algorithmus um so höher ist, je besser sich die zu berechnenden Netze in möglichst viele, gleichgroße Netzgruppen und ein kleines Transportnetz aufteilen lassen. Bei der Implementierung des Algorithmus auf einem Multiprozessorrechner war es möglich, die Zeiten für die erforderlichen Datenaustauschvorgänge zu messen und in Beziehung zur benötigten Gesamtrechenzeit zu setzen.

Für den mit 8-Bit-Multiprozessoren ausgestatteten Multiprozessorrechner ergab sich bei einer Rechenzeit von 16.9s eine Datenaustauschzeit von 0.6s, also etwa 3.5% der Rechenzeit. Dieses günstige Verhältnis darf jedoch bei schnelleren Verarbeitungseinheiten nicht erwartet werden.

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

W. Lisakowski, T. Reißing, D. König

Bericht EV 8226

3.1.4 Netz-Kerndateien

Um allen Benutzern des lehrstuhleigenen Rechners den Zugang zu Netzdaten zu ermöglichen, wurden sogenannte "Kerndateien" eingerichtet, die in einem festen Format alle wesentlichen Daten eines elektrischen Energieversorgungsnetzes enthalten. Die Netzdaten sind in aufbereiteter Form abgelegt und können sofort für allgemeine Netzberechnungen (z.B. Lastfluß) verwendet werden.

Durch die Kerndateien soll vermieden werden, daß jeder Benutzer seine eigene, für andere Programme nicht kompatible Dateistruktur erstellt. Programme, die nicht unmittelbar die Daten der Kerndatei verwenden können, benötigen ein Zusatzprogramm, das die notwendige Modifikation zuvor durchführt (Ladeprogramm).

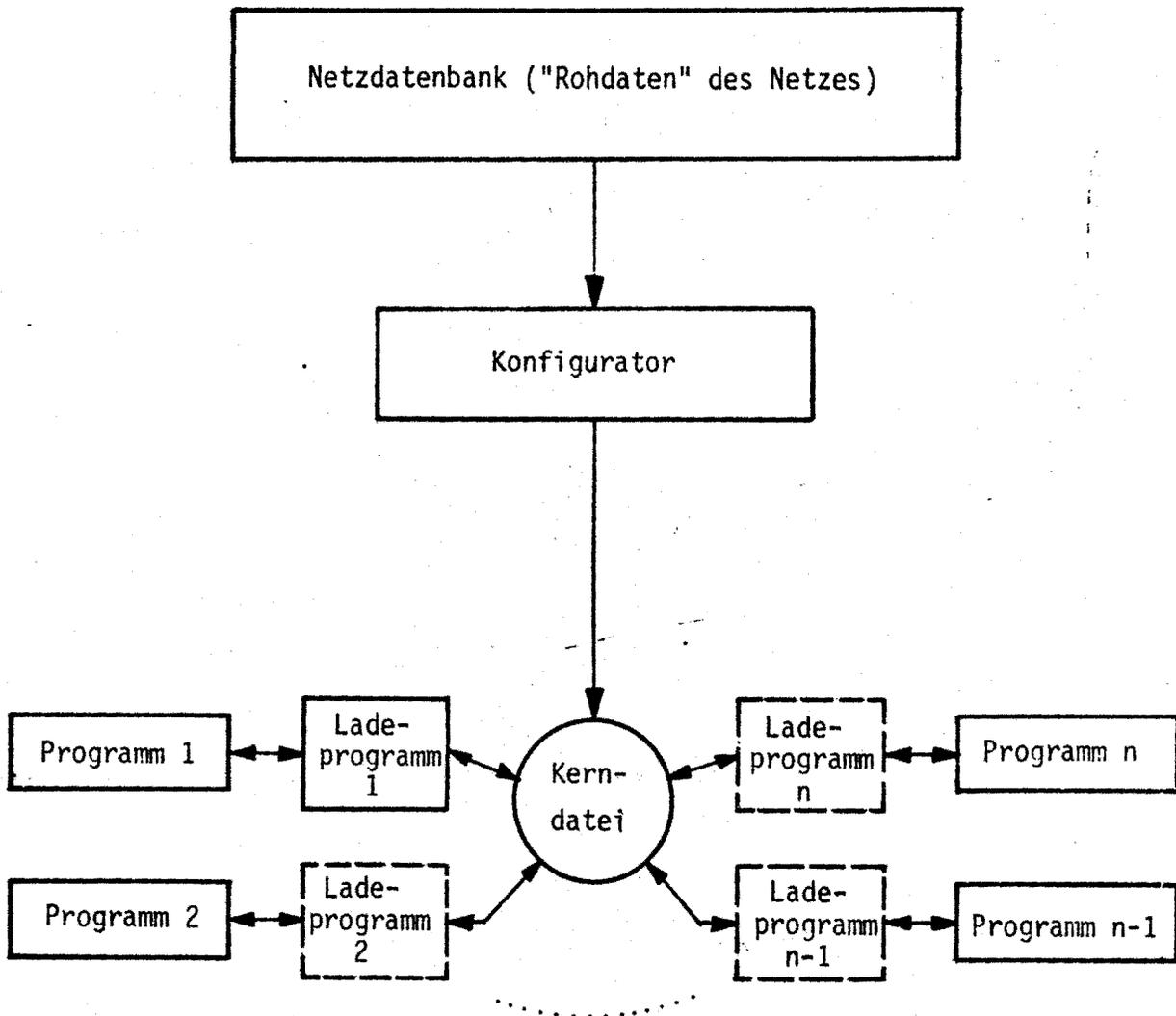


Bild 3.5: Anlegen und Benutzen von Kerndateien

Gemäß Bild 3.5 dient die Kerndatei als Schnittstelle zwischen einem Netzkonfigurator, der die "Rohdaten" des Netzes in einer für Netzberechnungen geeigneten Form aufbereitet, und den verschiedenen Programmen zur Netzberechnung (z.B. Lastfluß, Ausfallrechnung, usw.) zur Verfügung stellt. Alternativ zum Netzkonfigurator können Kerndateien auch auf direktem Wege angelegt werden.

Th. Reißing

Bericht EVP 8207

3.1.5 Untersuchung der elektrischen Vorgänge bei einem Erdschluß im Mittelspannungsnetz des Steinkohlenbergbaus

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird untersucht werden, ob mit den bisher bekannten Methoden und Geräten die selektive Erdschluß-Erfassung im Mittelspannungsnetzen mit kompensiertem Sternpunkt möglich ist oder neue Konzepte erforderlich sind, um die auftretenden Erdschlüsse selektiv zu erfassen und fehlerhafte Netzteile abzuschalten. Das Arbeitsprogramm umfaßt folgende Punkte:

- Erstellung eines mathematischen Modells für das Simulationskonzept, das eine numerische Untersuchung mit Hilfe eines Digitalrechner ermöglicht
- Überführen des Konzeptes in ein Simulationsprogramm
- Aufbau eines Netzmodells, das die Überprüfung der vorhandenen Geräte erlaubt
- Vergleich der am Netzmodell durchgeführten Messungen mit den Ergebnissen der numerischen Untersuchungen
- Auswertung der gewonnenen Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden drei Teilprojekte dieses Vorhabens vorgestellt.

Das gesamte Forschungsprojekt "Erdschlußerfassung in Mittelspannungsnetzen des Steinkohlenbergbaus" wird durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie unter dem Aktenzeichen ET 2075 A gefördert.

M. Gacka, H. Maiweg, R. Woltemate

Berichte: EV 8211, EV 8234

3.1.6 Experimentelle Untersuchungen an einem Netzmodell

Die spezielle Eigenart der Untertagenetze des deutschen Steinkohlenbergbaus erfordert besondere Maßnahmen zur Abschaltung von Erdschlußfehlern. Es sind dies insbesondere die unverzüg-

liche und selektive Abschaltung fehlerbehafteter Kabelstrecken zur Vermeidung von Unfällen und zur Aufrechterhaltung der Energieversorgung wichtiger Betriebseinrichtungen. Die Industrie hat zu diesem Zweck in den letzten Jahren mehrere Erdschlußerfassungsgeräte entworfen, die auf verschiedene Abschaltkriterien ansprechen (z.B. Höhe des Summenstromes, Phasenlage des Summenstromes zur Verlagerungsspannung im stationären bzw. transienten Fall). Die Einsatzgebiete für Erdschlußerfassungsgeräte lassen sich wie folgt grob unterteilen:

1. Stichleitungen bis 4 A kapazitivem Fehlerstrom
2. Netzteil bis 20 A kapazitivem Fehlerstrom
3. Parallelkabel

Für die Einsatzgebiete 1. + 2. stehen Geräte zur Verfügung, die den Anforderungen der Betreiber und den Vorschriften genügen. Für die selektive Erdschlußerfassung in Parallelkabeln wurde am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung ein neues Konzept entwickelt, nachdem Untersuchungen gezeigt haben, daß für dieses Einsatzgebiet keine hinreichenden Lösungen angeboten werden. Arbeitsschwerpunkte sind die Erprobung der bekannten und der neuen Erdschlußerfassungsmethoden an einem Netzmodell.

Um Untersuchungen in ausreichender Anzahl durchführen zu können, ist am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung ein Drehstromnetzmodell konzipiert und aufgebaut worden, mit dessen Hilfe die charakteristischen Fehlermerkmale eines einpoligen Erdschlusses in Mittelspannungsnetzen des deutschen Steinkohlenbergbaus nachgebildet werden können. Dieses Netzmodell bietet darüber hinaus die Möglichkeiten der Messung aller bedeutenden Größen, sowie die Veränderung der notwendigen Parameter und der Anwendung verschiedener Methoden der Sternpunktbehandlung. Das Netzmodell dient in erster Linie der Erprobung und Überprüfung von bestehenden und neuen Abschaltkriterien und von Erdschlußerfassungsgeräten.

Mit Hilfes dieses Netzmodells lassen sich sämtliche kritischen Netzkonfigurationen (Stichkabel, Parallelkabel usw.) bei Variation aller Einflußgrößen nachbilden.

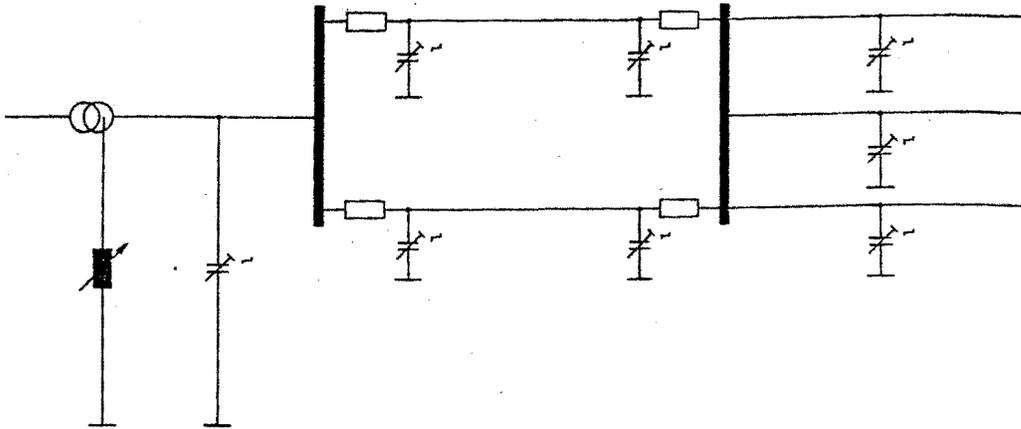


Bild 3.6: Modellnetz zur Simulation von Erdschlüssen

Die Modelldaten, ausgenommen die Beläge, sind im Verhältnis 1 : 20 zur Realität übersetzt. Die Kabelnachbildungen wurden durch reduzierte π -Ersatzschaltbilder mit konzentrierten Bauelementen realisiert. Die größte Netzausdehnung, die nachgebildet werden kann, deckt die Größenordnung bestehender Netze bei weitem ab. Die zugehörige Tauchkerndrossel weist einen Stellbereich von etwa 1 : 100 auf. Sämtliche Übertrager werden auf die Realität abgestimmt und erlauben den Anschluß herkömmlicher Erdschlußerfassungsgeräte, die somit an dem Netzmodell vor einem Untertageeinsatz unter naturgetreuen Bedingungen getestet werden können.

H. Maiweg

3.1.7 Neues Schutzprinzip für Parallelkabel

Der selektive Schutz von parallel betriebenen Kabeln gegen Erdschluß, ist beim gegenwärtigen Stand der Technik immer noch problematisch, wie auch Netzversuche auf einer Zechananlage bestätigen. Deshalb wurde am Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung ein neues Konzept für den Schutz von Parallelkabeln, entwickelt.

Das neue Konzept ist sowohl in gelöschten wie auch isoliert betriebenen Netzen anwendbar. Die Grundschialtung ist in Bild 3.7 dargestellt. In den Stationen A und B wird die Differenz beider Kabel-Nullströme gebildet. Aus Amplitude und Phasenlage des Differenzstromes gewinnt man die Information darüber, in welchem Kabel der Erdschluß vorliegt und die notwendigen Schalt-handlungen werden sofort eingeleitet.

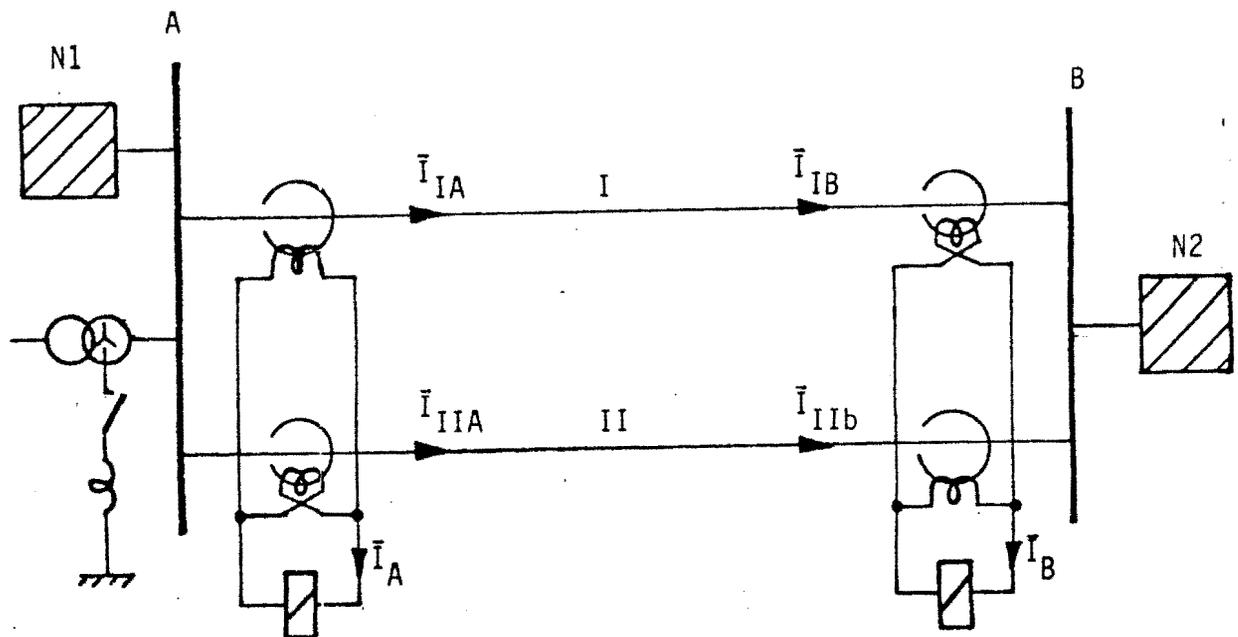


Bild 3.7: Das Querdifferenz-Schutzprinzip

Mit einem Überwachungssatz kann man grundsätzlich zwei Kabel überwachen. Sind mehrere Kabel zu überwachen, so bildet man Zweiergruppen, denen dann an jedem Ende je ein Gerät zugeordnet ist.

Frühere Überlegungen gingen dahin, Parallelkabel einzeln an beiden Enden mit Richtungs-Erfassungsgeräten zu versehen und die Geräte mit einer zusätzlichen Informationsübertragung und Schaltlogik auszustatten. Zur Zeit gibt es auf dem Markt nur

ein Fabrikat, das nach diesem Prinzip arbeitet. Der von uns durchgeführte Netzversuch hat ergeben, daß diese Geräte keine ausreichende Zuverlässigkeit bieten und auch theoretischen Überlegungen zufolge, sind sie nicht universell bei jeder Netzkonfiguration anwendbar.

Das von uns entwickelte und auf unserem Netzmodell erprobte Schutzprinzip hat anderen gegenüber folgende Vorteile vorzuweisen:

- universelle Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit,
- geringere Anzahl der Erfassungsgeräte,
- keine Zusatzinformationsübertragung.

Der letzte Vorteil hat nicht nur eine ökonomische sondern auch eine technische Seite, es entfällt ein störanfälliges Element. Dieses hier nur sehr allgemein beschriebenes Schutzprinzip wurde beim Deutschen Patentamt unter der Nr. 3227908.6 angemeldet.

M. Gacka

3.1.8 Digitale Simulation von Erdschlüssen und Verifikation der Berechnungen in einem realen Netz

Auf dem Gebiet der numerischen Untersuchung von Erdschlußfehlern wurden bei der Realisierung bereits vorliegender Konzepte große Fortschritte gemacht. So wurden u.a. je ein Simulationsprogramm

- zur Berechnung der stationären Nullstromverteilung und
- zur Berechnung der transienten Vorgänge

im Mittelspannungskabelnetzen des deutschen Steinkohlenbergbaus erstellt bzw. in Betrieb genommen. Desweiteren konnte ein Programm zur Berechnung beliebiger asymmetrischer Fehler entscheidend weiterentwickelt werden. Die mathematischen und physikalischen Grundlagen zur Berechnung der transienten Vorgänge in Drehstromnetzen wurden neu überarbeitet und weiterentwickelt. Die mathematischen und experimentellen Modelle zur Simulation von Erdschlüssen in Kabelnetzen wurden inzwischen durch weitergehende Versuche in einem Untertagebetrieb verifiziert. Bei diesem Netzversuch wurde insbesondere der Problematik der se-

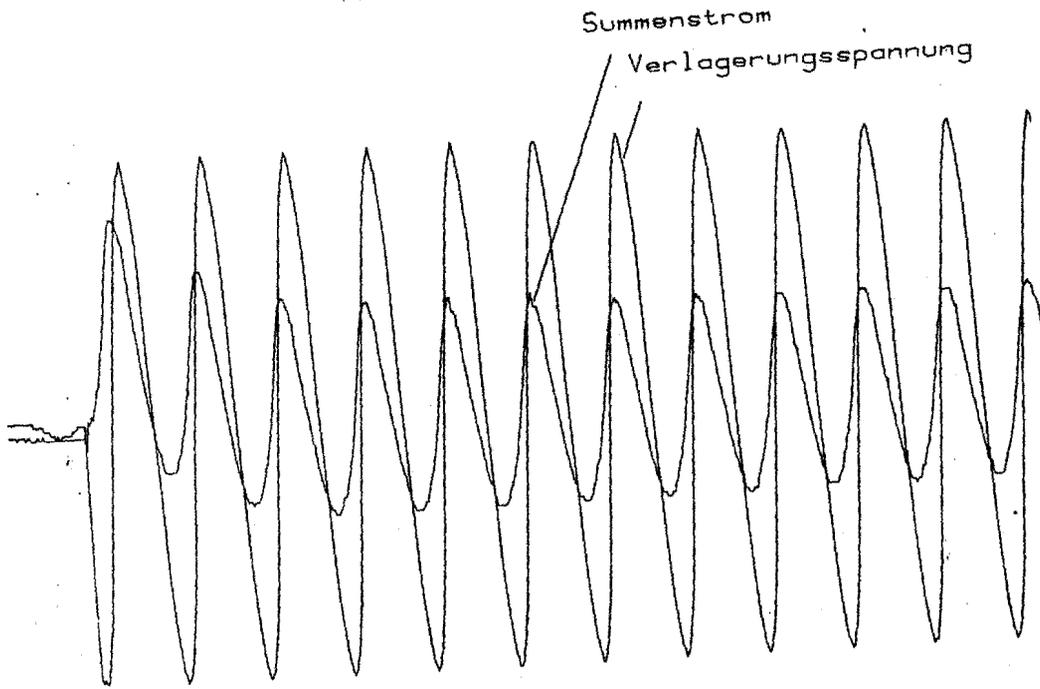


Bild 3.8: Summenstrom und Verlagerungsspannung am Anfang des fehlerbehafteten Kabels (gemessene Werte)

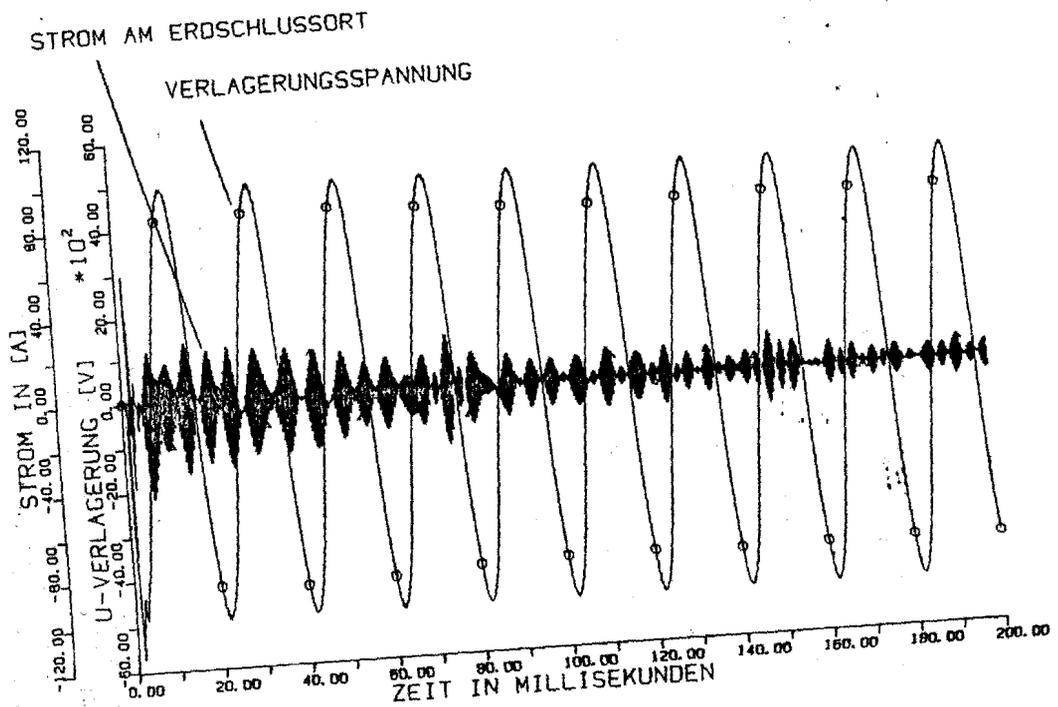


Bild 3.9: Simulation von Erdschlußstrom und Verlagerungsspannung am Erdschlußort

lektiven Erdschlußfassung in Parallelkabeln Rechnung getragen. Die hierbei gesicherten Versuchsergebnisse und die konsequente Weiterentwicklung früherer Erkenntnisse führten zu einem völlig neuen Konzept der selektiven Erdschlußfassung in parallelgeführten Kabeln (siehe Abschnitt 3.1.7).

Bild 3.8 zeigt den gemessenen Verlauf des Summenstroms am Anfang des fehlerbehafteten Kabels sowie die Verlagerungsspannung. Bild 3.9 zeigt den mit dem Digitalrechner simulierten Stromverlauf am Erdschlußort.

Die Versuche ergaben, daß die Erdschlüsse im Stickleitungsnetz richtig erkannt und selektiv abgeschaltet wurden, dagegen konnte der Fehler im Parallelkabel in keinem Fall richtig geortet werden. Die theoretische Behandlung des Problems sowie die Analyse der Meßwerte ergibt, daß das benutzte Prinzip der Erfassung transienter Nullströme nicht zum Schutz von Parallelkabeln direkt hinter Einspeisungen benutzt werden kann. Hier müssen die stationären Nullströme zur Richtungserkennung herangezogen werden. Ein Einsatz in Stickleitungen ist dagegen prinzipiell möglich.

R. Woltemate

3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energieversorgungssystemen

3.2.1 Stabilitätsuntersuchung der Leistungsregelung mehrerer Kraftwerksblöcke im Inselbetrieb

Die Leistungsregelung eines Blocks wird häufig ausgehend von der Modellvorstellung eines Blocks am starren Netzknoten entworfen, wodurch nur lokale Schwingungen der elektrischen Leistung durch Polradpendelungen, also durch Vorgänge aus dem Bereich der Kurzzeitdynamik, berücksichtigt werden können. Der Einfluß dynamischer Vorgänge der Mittelzeitdynamik, welche die Wiederherstellung eines gestörten Leistungsgleichgewichts mit Hilfe der Primärregelung betreffen, auf das Zeitverhalten der elektrischen Leistung eines Blocks wird dabei vernachlässigt. Dieser Einfluß beruht auf den gegenseitigen Beschleunigungsleistungen verschiedener drehzahl geregelter Blöcke untereinander, die sich in einem gemeinsamen Inselnetz befinden.

Zur Auslegung der Leistungsregelung eines Kraftwerksblocks ist es erforderlich, die entsprechende Regelstrecke, also das zeitliche Verhalten der elektrischen Einspeisung P_E in Abhängigkeit des Signals h_s des Leistungsreglers für die Ventilregelung, zu kennen. Für Stabilitätsstudien wird das lineare Modell mit den jeweiligen Änderungen dieser Größen ΔP_E bzw. Δh_s von den Arbeitspunkten verwendet. Man erhält nach Laplace-Transformation für die offene Regelstrecke, die mit "Leistungsstrecke" bezeichnet wird

$$L(s) = \frac{\Delta P_E(s)}{\Delta h_s(s)} = \frac{\Delta P_E(s)}{\Delta P_T(s)} \frac{\Delta P_T(s)}{\Delta h_s(s)} = G_T(s) \frac{\Delta P_E(s)}{\Delta P_T(s)} \quad (1)$$

wobei $G_T(s)$ das Modell für die Ventilregelung und die Turbine mit der mechanischen Antriebsleistung P_T darstellt. Wird nur die Kurzzeitdynamik berücksichtigt, beschreibt $L(s)$ das mathematische Modell eines Generators am starren Netz.

Aus der Beschreibung der Vorgänge der Mittelzeitdynamik folgt für die Leistungsstrecke im Inselbetrieb

$$L(s) = G_T(s) \frac{1 - \gamma + G_P(s)}{1 + G_P(s)} \quad (2)$$

wobei mit $G_P(s)$ die Primärregelung einschließlich der Schwungmassen der am Netz befindlichen Blöcke modelliert ist. Der Faktor γ ist durch das Verhältnis

$$\gamma = \frac{\text{Schwungmassen des betrachteten Blocks}}{\text{Schwungmassen aller am Netz befindlichen Blöcke}} \quad (3)$$

gegeben. Gl.(2) beschreibt das dynamische Verhalten der elektrischen Leistung P_E eines Blocks bei Änderung des Öffnungssollwerts h_s der Ventile desselben Blocks. Dies ist das Verhalten der Regelstrecke, die für die Leistungsregelung eines Blocks vorliegt, die durch den Block selbst wie auch durch die anderen am Netz befindlichen drehzahlgeregelten Blöcke bestimmt ist. Damit wird deutlich, daß die Eigenschaften der Leistungsstrecke im starken Maße von der Drehzahlregelung der anderen am Netz befindlichen Blöcke abhängen kann. Diese Abhängigkeit richtet sich nach dem Verhältnis der Schwungmassen γ . Bei einem Netz mit größerer Anzahl von Kraftwerksblöcken gilt $\gamma \ll 1$ und Gl.(2) geht über in

$$L(s) = G_T(s), \text{ für } \gamma = 0 \quad (4)$$

womit nur noch die dynamischen Eigenschaften der Ventile und der Turbine für die Leistungsregelung relevant sind. Gl.(4) beschreibt den Betrieb eines Blocks am starren Netz, wobei Polradpendelungen nicht wiedergegeben werden können, da Gl.(4) aus dem Mittelzeitmodell abgeleitet wurde.

Bild 3.10 zeigt den Verlauf der elektrischen Leistung P_E bei sprungförmiger Änderung des Öffnungssollwerts der Ventile h_s . Fall 1 gibt die Vorgänge der Kurzzeitdynamik bei typischen Modellparametern eines Kraftwerkblocks an einem starren Netz wieder, die maßgebend durch Polradpendelungen bestimmt sind. Fall 2 ergibt sich aus dem Mittelzeitmodell, wenn der Block auf einem starren Netzknoten speist und gemäß Gl.(4) nur die Zeitkonstanten der Ventile und der Turbine berücksichtigt werden. In den Fällen 3 und 4 steigt die elektrische Leistung zunächst mit den Zeitkonstanten der Ventilregelung und der Turbine schnell an, und zwar bei $\gamma = 0.7$ bis auf etwa 20% und bei $\gamma = 0.2$ bis auf

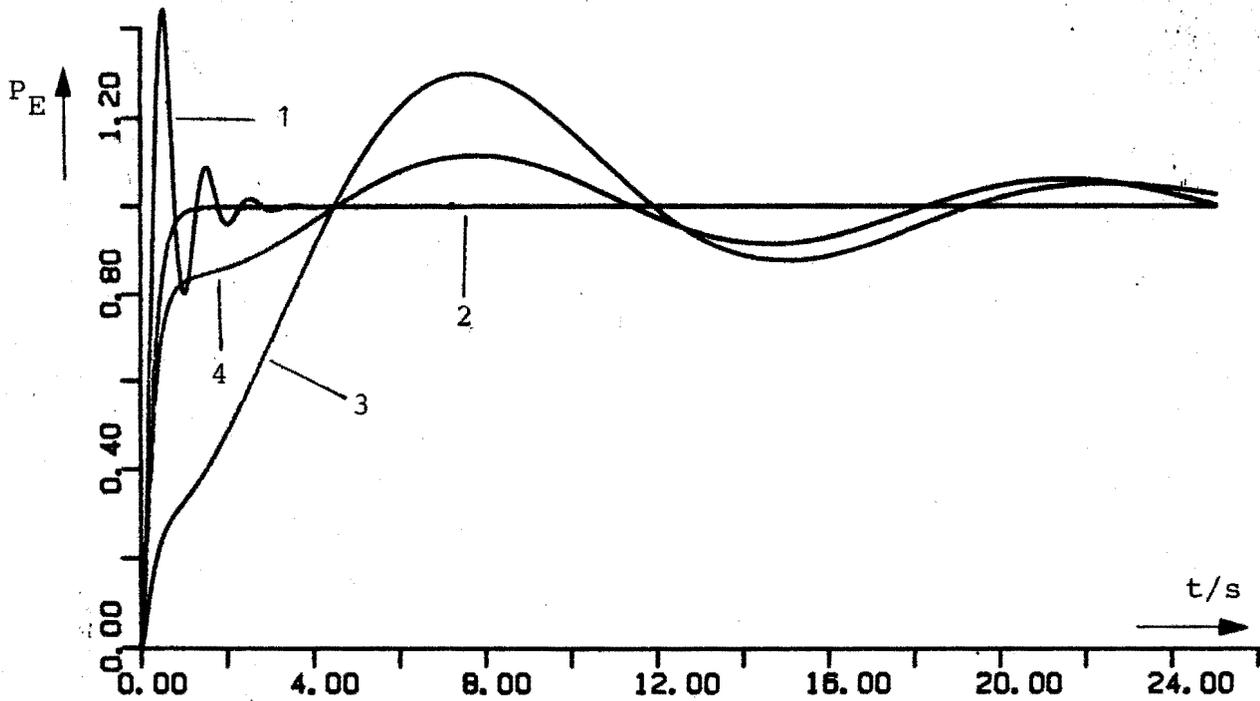


Bild 3.10: Verlauf der elektrischen Leistung P_E bei sprungförmiger Änderung des Öffnungswerts der Ventile

- 1) Kurzzeitmodell des Generators am starren Netz
- 2) $\gamma = 0$; 3) $\gamma = 0.7$; 4) $\gamma = 0.2$

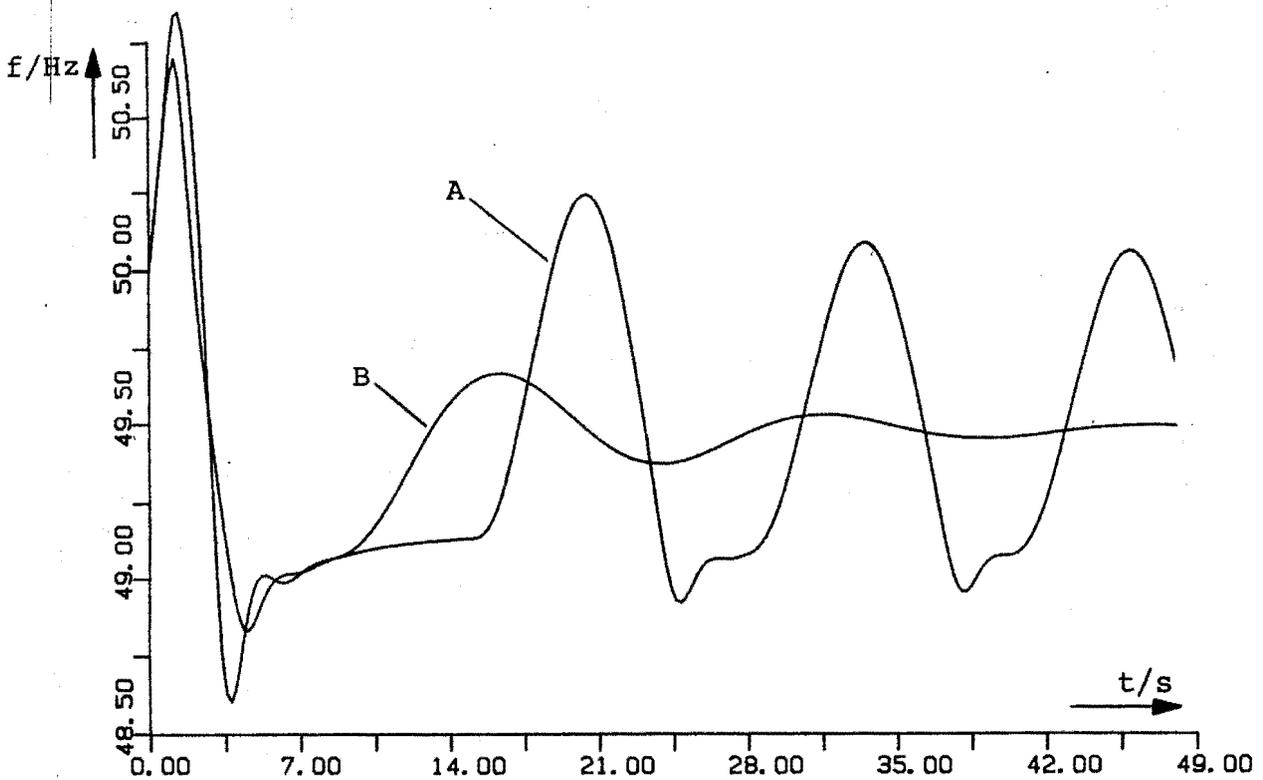


Bild 3.11: Verlauf der Netzfrequenz $\Delta P = 100$ MW

- A) instabiles Systemverhalten
- B) modifizierte Leistungsregelung

etwa 80% des Endwerts. Daran schließt sich ein Ausgleichsvorgang an, der durch die Drehzahlregelung der anderen am Netz befindlichen Blöcke geprägt ist mit größeren Zeitkonstanten abläuft. Insgesamt läßt sich erkennen, daß mit kleinerem Wert für γ der Einfluß der anderen Blöcke abnimmt. Diese dynamischen Eigenschaften der Leistungsstrecke lassen sich auch durch die entsprechenden Frequenzgänge im Bode-Diagramm deutlich machen, woraus Forderungen an die Leistungsregelung einer Turbine abgeleitet wurden. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, daß für die Turbinenregelung keine Parameterumschaltungen in Abhängigkeit des aktuellen Betriebszustandes erforderlich sind.

Zur Illustration dient die Simulation zweier in einem gemeinsamen Inselnetz betriebenen Blöcke mit Nennleistungen von 750 MW bzw. 345 MW. Die Turbinenregelungen werden unter Berücksichtigung nichtlinearer Eigenschaften, die im Über- bzw. im Unterfrequenzbereich wirksam sind, nachgebildet. Bild 3.11, Fall A, zeigt das Ergebnis anhand des Frequenzverlaufs nach einem plötzlich auftretendem Leistungsüberschuß durch Reduktion der Netzlast von 720 MW auf 620 MW bei Einsatz einer üblichen Leistungsregelung der Turbinen. Durch den Frequenzanstieg setzt die Überdrehzahlregelung ein, wodurch die mechanische Antriebsleistung derart verringert wird, daß die Frequenz bis auf etwa 48.6 Hz absinkt. Anschließend setzt ein sich zyklisch wiederholender Verlauf ein, der zum Teil durch die Begrenzungen in den Turbinenreglern bestimmt wird. Eine Stabilisierung des Systemverhaltens ist mit Hilfe der oben genannten Modifikation der Turbinenregelung möglich, siehe Fall B. Dann ist ein Betrieb auf der gewünschten stationären Frequenz-Kennlinie der Blöcke auch in der betrachteten Konfiguration möglich.

Diese Ergebnisse zeigen, daß der Entwurf einer Turbinenregelung nicht allein aus der Sicht des Blockbetriebs am starren Netz durchgeführt werden kann. Auch unter Berücksichtigung eines möglichen Inselbetriebs des betreffenden Blocks, kann es bei einem gemeinsamen Inselbetrieb mehrerer Blöcke zu einem instabilen Systemverhalten kommen, was aus dem dynamischen Zusammenwirken der Blöcke untereinander resultiert. Erst mit Hilfe der vollständigen Modellierung des Systemverhaltens bei Vorgängen

der Mittelzeitdynamik konnten Forderungen an die Turbinenregelung abgeleitet werden, um allen betrachteten Betriebsituationen gerecht zu werden.

E. Grebe

Bericht: EV 8235

3.2.2 Spannungs- und Frequenzabhängigkeit von Verbrauchergruppen

Die Bedeutung, die der Modellierung der Spannungs- und Frequenzabhängigkeit der Lasten ("Lastcharakteristika") bei der Problematik der Spannungs- und Frequenzregelung zukommt, ist hinreichend bekannt. Insbesondere das Systemverhalten nach Großstörungen - wie zum Beispiel nach Ausfall großer Kraftwerksblöcke oder nach einer Netzaufspaltung in Inselnetze - wird durch die Lastcharakteristika beeinflusst.

Die Last in einem Netzknoten besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Verbraucher, die über Transport- und Verteilnetze mit diesem Knoten verbunden sind. Das zugehörige Lastmodell beschreibt - von diesem Knoten aus gesehen - das Verhalten der Last, das sich aus dem Zusammenwirken aller Verbraucher mit dem Transport- und Verteilnetz in Abhängigkeit von der Knotenspannung und der Netzfrequenz ergibt.

Die Lastcharakteristika erhält man also nur näherungsweise aus der Summe der einzelnen Verbrauchercharakteristika. Eine genaue Betrachtungsweise muß die Eigenschaften sowohl der Verbraucher als auch der Transport- und Verteilnetze berücksichtigen. Die Nichtlinearität der Lastflußgleichungen und der Verbrauchercharakteristika erschwert jedoch eine analytische Behandlung erheblich. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse läßt sich nun für den Zeitbereich über etwa 1s nach Auftreten einer Störung (Mittel- und Langzeitbereich) ein linearisierter Zusammenhang zwischen Lastmodell am Netzknoten, Verbrauchermodellen und Netz herleiten. Dabei wird die Verbrauchersituation trotz ihrer stochastischen Natur als stationär hinsichtlich ihrer Charakteristika angesetzt. Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge

werden nicht berücksichtigt. Außerdem wird eine im gesamten Netz einheitliche Systemfrequenz angesetzt.

Der durch die Linearisierung entstehende Verlust an Genauigkeit wird ausgeglichen durch die nun mögliche durchsichtige mathematische Beschreibung, die auch physikalische Deutungen erleichtert. Das resultierende Gleichungssystem läßt zum Beispiel den Einfluß des Netzes und der Spannungsabhängigkeit der Verbraucher auf den Selbstregelleffekt des Netzes oder auf die resultierende Anlaufzeitkonstante der Verbraucherschwingmassen erkennen.

T. Reißing

3.2.3 Rechnergestützte Simulation dynamischer Systeme der elektrischen Energieversorgung

Elektrische Energieversorgungssysteme enthalten elektrische, kinetische, potentielle und thermische Energiespeicher und stellen damit ein schwingungsfähiges System dar, dessen Zustandsänderungen zu Ausgleichsvorgängen führen. Um die Mindestanforderungen an die Qualität der Energieversorgung zu gewährleisten, muß das Verhalten der Versorgungssysteme an ihren Leistungsgrenzen sowie im Zusammenhang mit möglichen Störfällen analysiert werden. Da Untersuchungen am realen Objekt in der Regel nicht möglich sind, bietet sich hier die Simulation des systemdynamischen Verhaltens mittels eines Digitalrechners an. Neben der Beschreibung geeigneter Modelle stellt sich bei dieser Art der Simulation die Aufgabe, diese Modelle durch zweckmäßige Programmierung auf einem Digitalrechner zu implementieren. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung wurde für einen PDP 11/40-Rechner (Betriebssystem RSX 11M) das Simulationssystem CSP (Continuous Simulating Program) entwickelt, das die Beschreibung eines dynamischen Modells und mit dessen Hilfe dann die Simulation durchführt.

Das Simulationssystem setzt sich, wie in Bild 3.12 dargestellt, aus der Simulationssprache und einem Rechnerprogrammssystem zusammen. Mit Hilfe der Simulationssprache können die dem Benutzer in Blockstruktur vorliegenden Modelle direkt in einem

Datensatz überführt werden, der an den Rechner übergeben wird. Aus diesem Datensatz wird durch die Rechnerprogramme selbständig ein System von Integralgleichungen erstellt, welches bei der

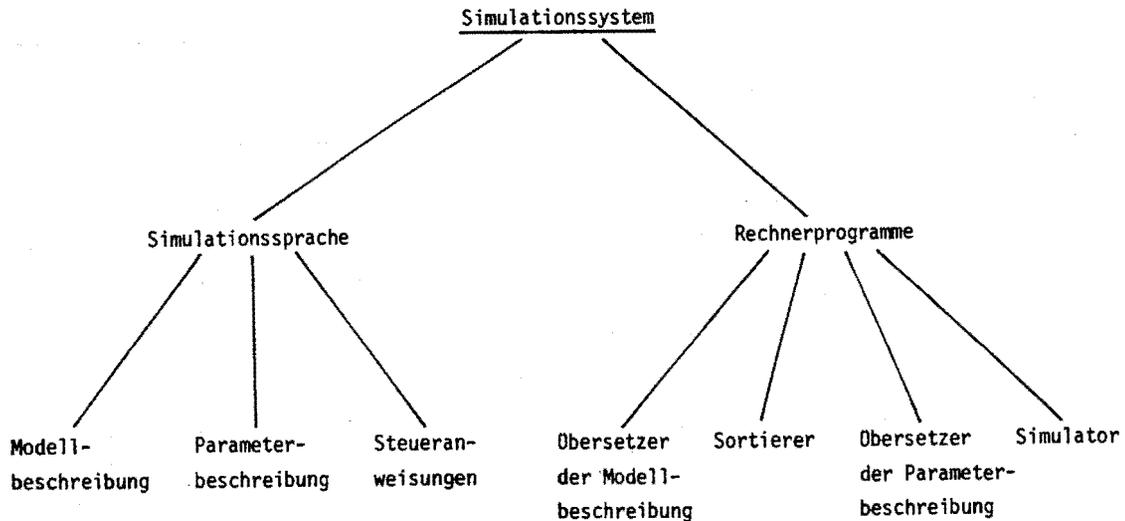


Bild 3.12: Bestandteil des Simulationssystems CSP

numerischen Lösung weiterverarbeitet wird. Die Aufzeichnung der Simulationsergebnisse interessierender Größen kann sowohl mittel eines grafischen Bildschirms als auch eines Plotters erfolgen. Eine Reihe von Optionen trägt zur Vielseitigkeit und Flexibilität des Simulationssystems bei.

- Die komfortable Übernahme des mathematischen Modells auf den Rechner gestattet, Struktur und Parameter zur Durchführung von Fallstudien auf einfache Weise zu ändern.
- Modelle verschiedener Systemkomponenten (z.B. Turbinenmodelle, Lastmodelle, ect.) lassen sich in Form von Strukturunterprogrammen in einer Programmbibliothek ablegen und können auf einfache Weise zu einer umfassenden Modellstruktur verknüpft werden. Die Pflege der Bibliothek wird durch das Simulationssystem unterstützt.
- Neben der Beschreibung der Modelle in nichtalgorithmischer Form erlaubt die Simulationssprache die Aufnahme algorithmischer Abschnitte in den Eingabedatensatz. Dies gestattet die interaktive Simulation von Modellen mit veränderten Parametern bzw. Anfangsbedingungen, wie sie z.B. zur Lö-

sung von Randwertproblemen erforderlich ist. Weiterhin ist es hierdurch möglich, Parameteränderungen während der Simulation interaktiv vorzunehmen.

Es ist vorgesehen, über die Ausgabe der Ergebnisse mit einem grafischen Bildschirm hinaus, durch die lichtgriffelgesteuerte grafische Eingabe der Modellstruktur, das Programmsystem zu einem vollgrafisch-interaktiven Simulationssystem zu erweitern.

D. König

Berichte: EV 8204, EVP 8208

3.2.4 Schätzung der Lastcharakteristika einer Verbrauchergruppe aus Betriebsmeßdaten

Zu Beginn des Berichtsjahres wurde an der 10 kV-Einspeisung eines Institutes der Universität Dortmund eine Meßeinrichtung in Betrieb genommen, mit der folgende Größen erfaßt werden können:

f	Netzfrequenz	48 ... 52 Hz
n	Spannung an der Einspeisung	0 ... 8 ... 12 kV
I	Strom	0 ... 150 ... 300 A
P	Wirkleistungsaufnahme des Instituts	0 ... 5 MW
Q	Blindleistungsaufnahme des Instituts	0 ... 5 MVar
ϕ	Leistungswinkel	- 60° ... + 60°

Für die Messung von U und I wurden Meßumformer mit gewichteter Kennlinie und dadurch mit erhöhter Empfindlichkeit im normalen Betriebsbereich eingesetzt. Zur Weiterverarbeitung werden die Meßdaten über A/D-Wandler mit der Abtastzeit 0.1s dem lehrstuhl-eigenem Rechner zugeführt.

Die Zeitkonstanten der Meßumformer liegen für P und Q bei 250 ms, für die restlichen Werte unterhalb von 200 ms. Somit kann das Lastverhalten im Mittel- und Langzeitbereich (etwa ab 1s) ausreichend genau erfaßt werden.

Die Lastcharakteristik einer Verbrauchergruppe beschreibt den Einfluß von Spannungs- und Frequenzänderungen auf die Wirk-

und Blindleistungsaufnahme dieser Verbrauchergruppe U und f sowie P und Q. Die zusätzlichen Messungen von I und ϕ erlauben es, unter Ausnutzung der nun vorhandenen Redundanz den Einfluß von Meßfehlern auf die Größen U, P, Q zu verringern. Bild 3.13 zeigt die bereinigten Messungen der Tagelast am 24. Mai 1982.

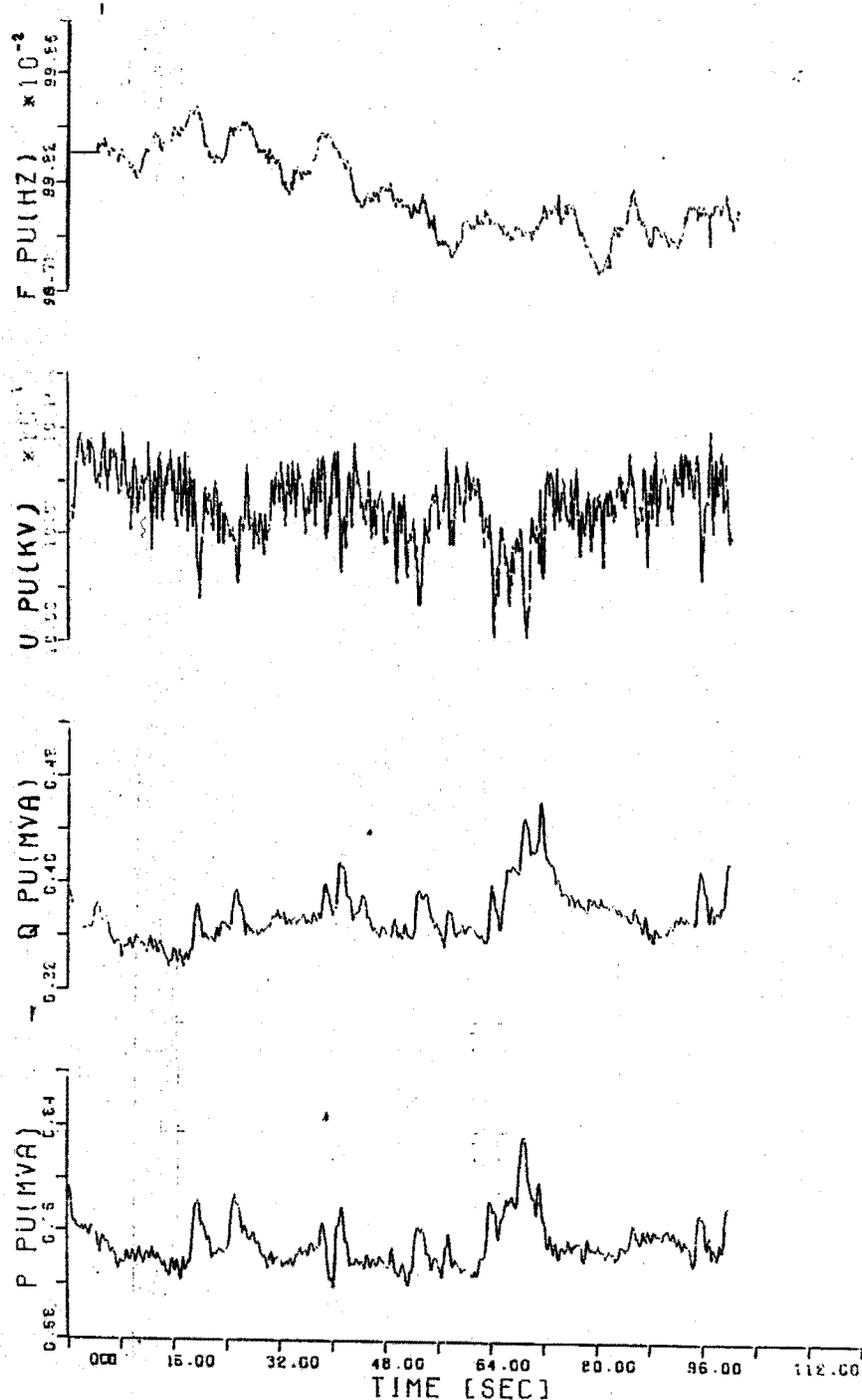


Bild 3.13: Tageslast am 24. Mai 1982

Ausgehend von der Ersatzdarstellung des Netzes (Bild 3.14) als Spannungsquelle \bar{U}_e mit Innenimpedanz \bar{z}_e wurde zunächst ein Blockdiagramm erstellt, das alle gegenseitigen Beeinflussungen von U , f und P , Q berücksichtigt (Bild 3.15). Zu beachten sind die "Rückkopplungen" von P und Q auf U und f , deren Gewicht für jede Anwendung erneut untersucht werden muß.

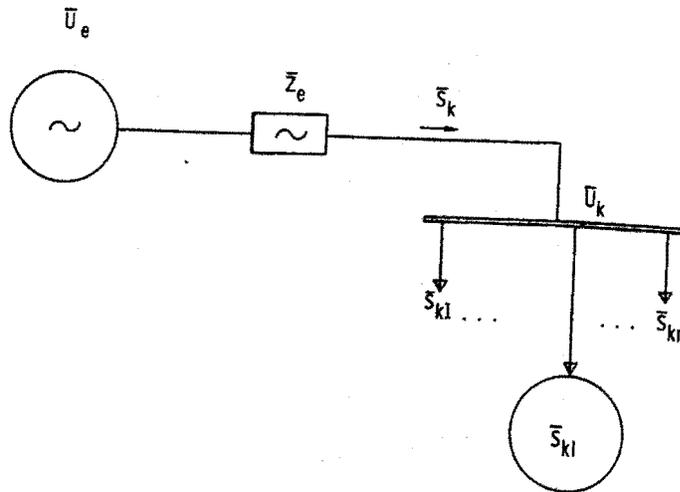


Bild 3.14: Ersatzdarstellung der vorhandenen Anordnung (Lastgruppe 1 am Netzknoten k)

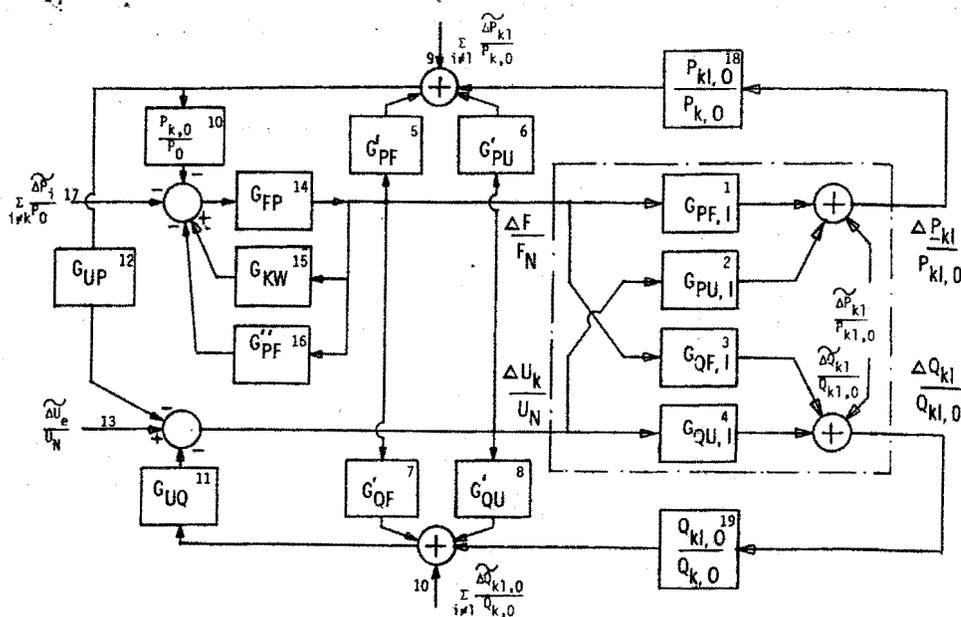


Bild 3.15: Vollständiges Blockdiagramm

Im vorliegenden Fall ergab sich, daß

- der Einfluß von P und Q auf f nicht feststellbar ist, da die betrachtete Last im Vergleich zur Gesamtnetzlast verschwindend gering ist.
- der Einfluß von P und Q auf U, der abhängt von der Größe \bar{Z}_e , ebenfalls sehr gering ist (kleiner als 0,05%/%).

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein zweistufiges, direktes Schätzverfahren implementiert, das bei geringerem Aufwand ein ähnliches Verhalten wie die "Generalized Least-Squares" - Methode aufweist. Die Last wurde als Allpaß 1. Ordnung modelliert. Um die Leistungsfähigkeit des Verfahrens kennenzulernen, wurde die Struktur von Bild 3.15 mit Hilfe des Digitalrechners simuliert und Parametervariationen untersucht. Es zeigte sich, daß die Güte der Schätzung u.a. vom Verhalten der Last (proportional, integrierend, differenzierend) abhängt. Wichtige Einflußgröße ist - wie erwartet - das Signalrauschverhältnis der Größen P und Q, also das Verhältnis

$$\frac{\text{Laständerung durch Änderung von U und f}}{\text{Laständerung durch Schalten von Verbrauchern.}}$$

Dieses Verhältnis ist bei der vorliegenden Verbrauchergruppe zu klein, so daß mit dem implementierten Verfahren keine vertrauenswürdigen Ergebnisse zu erzielen sind. Es bleibt zu klären, ob bei größeren Verbrauchergruppen das Signalrauschverhältnis günstiger ist, und ob durch Modifikation des Lastmodells und ggf. des Schätzverfahrens bessere Resultate erhalten werden können.

T. Reißing

Bericht: EV 8213

3.3 On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb

3.3.1 Softwarepaket zum Grafikprozessor

Für den im letzten Berichtsjahr am Lehrstuhl entwickelten Grafikprozessor wurde ein leistungsfähiges Softwarepaket erstellt. Hiermit ist es möglich, auf einfache Weise in Verbindung mit einem Hauptrechner Netz- und Anlagebilder zu regenerieren (Bild 3.16).

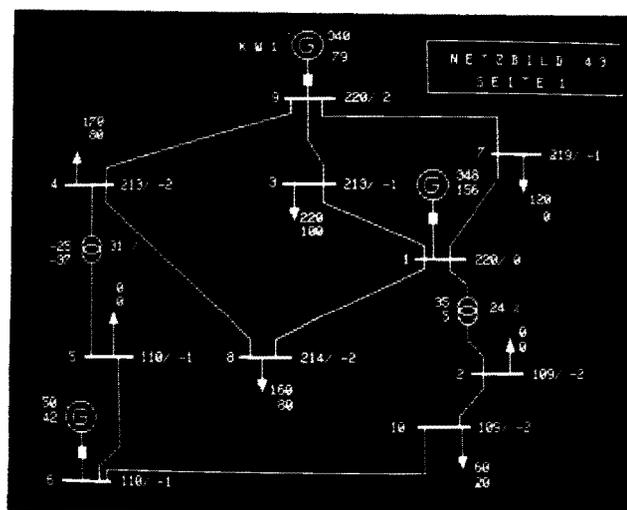


Bild 3.16: Bildschirm mit Netzbild

Die Symbole für Schalter, Transformator, Lastknoten usw. sind in EPROM's abgelegt und können an jeder beliebigen Stelle auf dem Sichtgerät abgebildet werden. Zur Erstellung der Leitungsverbindungen ist ein Vektor-Plot-Modul implementiert. Das so entstandene Netzbild steht nun im Speicher des Grafikprozessors und kann auf Floppy-Disk abgespeichert werden. Über den Hauptrechner besteht die Möglichkeit an vorher definierten Positionen Meßwerte wie Spannungen, Leitungen usw. einzublenden. Mit entsprechenden Overlay-Programmen des Hauptrechners ist es damit möglich, ein vollkommen dynamisches Netzbild zu erstellen in dem alle sich ändernden Größen sofort angezeigt werden.

W. Horenkamp

Bericht: EV 8222

3.3.2 Meßwerterfassungssystem mit Mikrorechner

Die Erfassung mehrkanaliger Vorgänge bis zu einer Grenzfrequenz von 10 kHz wird heute vorzugsweise mit Lichtstrahloszillografen vorgenommen. Diese Geräte sind jedoch umständlich in der Bedienung und relativ schwer. Auch die Auswertung der Meßwerte ist sehr mühsam. Aus diesem Grund wurde ein transportables universelles Meßwerterfassungssystem mit einem Mikrorechner aufgebaut, wobei besonders Wert auf einfache Bedienung gelegt wurde. Strom- und Spannungswandler sowie Meßwertumformer lassen sich direkt anschließen. Dieses System ist in der Lage, bei 6 Kanälen und 8 Bit Auflösung mit einer maximalen Abtastrate von 20 kHz oder 12 Bit und 1 kHz zu arbeiten, wobei die Speichertiefe insgesamt 50 K Byte beträgt. Nach Beendigung der Messung können die Meßdaten auf Floppy-Disk abgespeichert und zur späteren Auswertung über eine Schnittstelle zum Prozeßrechner PDP 11/40 übertragen werden.

W. Horenkamp

3.3.3 Spannungs-Blindleistungsregelung in elektrischen Energieversorgungsnetzen

Für die zentrale Führung von elektrischen Energieversorgungsnetzen ist es notwendig, Entscheidungshilfen für Führungsaufgaben, wie etwa zur Beseitigung von Spannungs- und Blindleistungsproblemen bereitzustellen, die den unterschiedlichsten Problemen angepaßt sind.

Wurden in den letzten Jahren Regelkonzepte für manuelle Spannungskorrekturen und für die automatische Spannungsregelung noch verschiedene Kriterien mit quadratischem Gütemaß wie

$$||\underline{U} - \underline{U}_{\text{so11}}||^2 \text{ Min}$$

vorge stellt, so wurden in diesem Jahr weitere Möglichkeiten untersucht, mit denen sinnvolle Korrekturen am Netzzustand durchgeführt werden können.

Die Notwendigkeit besteht, da die automatische Spannungsregelung nach obigen Kriterien je nach Netztopologie nicht immer Netzzustände liefert, die sowohl spannungsmäßig, wie auch in Bezug auf die Blindleistungseinspeisungsverteilungen als befriedigend zu bezeichnen sind. Insbesondere wirken sich die starken Änderungen der Blindleistungseinspeisungen bei teilweise nur geringen Spannungsänderungen oder Stellgrößenänderungen störend auf den Netzzustand aus. So muß beispielsweise bei einer Regelung auf minimale Spannungsabweichungen der Vektor \underline{U}_{soll} sehr sorgsam vorgegeben werden und ist sehr genau einzuhalten.

Analog zu dem Regelalgorithmus für die Spannungsregelung läßt sich nach Bild 3.17 ein Regelkreis aufbauen, mit dem gezielte Blindleistungskorrekturen bei den Einspeisungen vorgenommen werden können.

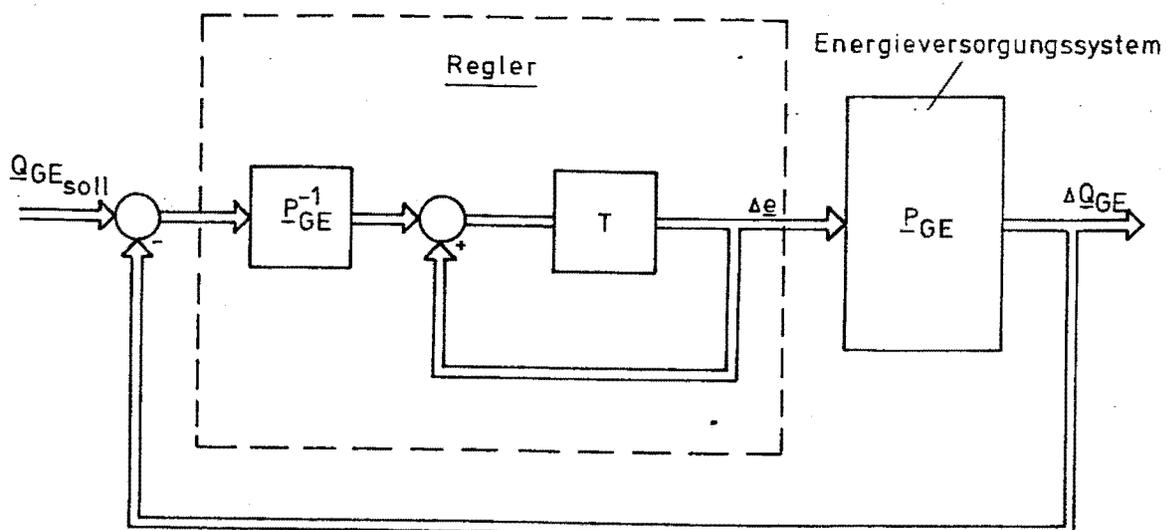


Bild 3.17: Regler für Blindleistungskorrekturen

Dieser Regelkreis ist mit Kenntnis des linearisierten Systemverhaltens

$$\Delta \underline{Q}_{GE} = \underline{P}_{GE} \Delta \underline{e}$$

einfach zu bestimmen.

Es bedeutet:

- $\Delta \underline{Q}_{GE}$ = Blindleistungseinspeisungsänderungen bei den Generatoren
- \underline{P}_{GE} = Sensitivitätsmatrix der Blindleistungseinspeisungsänderungen
- $\Delta \underline{e}$ = Stellgrößenänderungen z.B. Transformatorübersetzungen

Die Werte werden in Bild 3.18 illustriert.

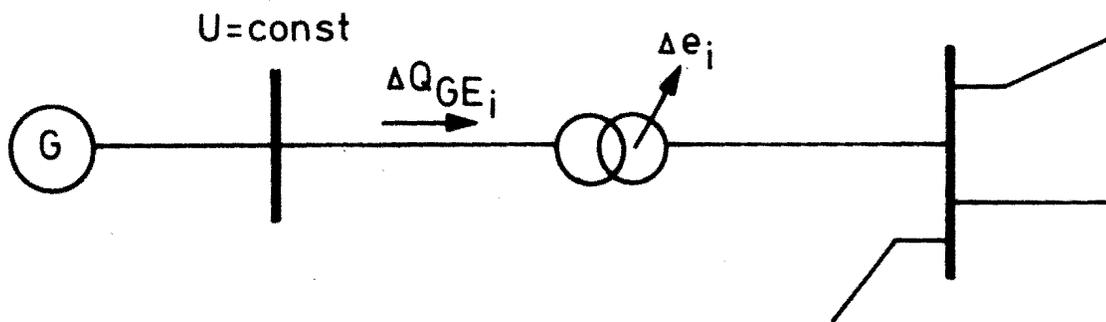


Bild 3.18: Zur Definition der Blindleistungseinspeisungsänderung bei Stellgrößenänderung

Denkbare Einsatzmöglichkeiten für einen solchen Regelkreis sind die Bestimmung der Stellgrößen zur zusätzlichen Einspeisung von Blindleistung und der Blindleistungsumverteilung, sowie zu der Regelung der Blindleistungseinspeisung noch vorgegebenen Sollwert und im Rahmen einer Spannungsregelung zur gezielten Beseitigung von Blindleistungsüberschreitungen.

Nachteilig ist, daß er nicht direkt zur Spannungsregelung eingesetzt werden kann, weil die notwendigen Blindleistungseinspeisungen im allgemeinen nicht bekannt sind. Im Rahmen einer hierarchisch strukturierten Regelung mit übergeordneter Blindleistungsoptimierung, die die Blindleistungseinspeisungen bestimmt, könnte auch dieser Regelkreis eingesetzt werden.

4. VORTRÄGE

4.1 Beiträge für das Kolloquium

- 02.07.1982 Dipl.-Ing. H. Kürten, Kraftwerks Union, Erlangen
"Beteiligung von Wärmekraftwerken an Primär- und
Sekundärregelung"
- 03.12.1982 Dipl.-Ing. H. Wilhelm, Brown Boveri, Mannheim
"Entwicklungstendenzen der Leittechnik in
thermischen Kraftwerken"

4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

- 15.02.1982 E. Handschin
GMR-Aussprachetag, Bonn-Bad Godesberg
"Das Energieversorgungssystem als komplex-
strukturiertes technisches Problem"
- 22.04.1982 E. Handschin, M. Gacka, G. Kopp, A. Kuhlmann,
H. Maiweg, R. Woltemate
BMFT-Seminar, Universität Dortmund
"Erdschluß im Mittelspannungsnetz des Stein-
kohlenbergbaus"
- 07.05.1982 E. Handschin, E. Grebe
VEW Hauptverwaltung, Dortmund
"Übergangsverhalten eines Netzbezirks vom
Verbund- in den Inselbetrieb bei vorangehendem
Leistungsexport"
- 14.09. - E. Handschin
16.09.1982 AK-TR Seminar "Einsatz von Kleinrechnern für
Aufgaben der Energieverteilung" der FGH, Seeheim
"Überblick über die Entwicklung von Kleinrechnern"
"Interaktive grafische Systeme"
- 23.09.1982 E. Handschin
GEI Informationsveranstaltung, Dortmund
"Rechnergestützte Überwachung und Führung elek-
trischer Energieversorgungssysteme"
- 05.10.1982 J. Voß
Universität GH Paderborn
"Neue Methoden der Netzleittechnik"

- 07.10.1982 E. Handschin
Fachgespräch des Rheinisch-Westfälischen TÜV,
Essen
"Auswirkungen der Mikroelektronik auf die Realisierung der Kraftwerkstechnik"
- 09.12.1982 J. Voß
Energietechnisches Kolloquium, Universität
Saarbrücken
"Zentrale Spannungsblindleistungsführung - eine neue Aufgabe der Netzleittechnik"

5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN

- 12.01.1982 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund,
bei VEW, Dortmund
- 01.02.1982 E. Handschin, W. Lisakowski
Besprechung mit Herrn Breimesser über den
Parallelprozessor SMS 80, Siemens, Erlangen
- 04.02.1982 E. Handschin
7.Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses
"Netzregelung", Frankfurt
- 10.02.1982 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirats des VDE-Bezirksvereins
Rhein-Ruhr, VEW, Münster
- 15.02. - E. Handschin, J. Voß
- 16.02.1982 GMR Aussprachetag, Bonn-Bad Godesberg
"Verfahren der Steuerung und Regelung von
dynamischen Systemen mit komplexer Struktur"
- 17.02. - E. Handschin
- 18.02.1982 Regelungstechnisches Kolloquium der Frauen-
hofer Gesellschaft, Boppard
- 26.02. - N. Aschöwer
- 27.02.1982 Besprechung mit Herrn Dr. Grafoner, BBC
Mannheim über den Einsatz von Applikations-
programmen zur Planung und Führung elektrischer
Energieversorgungssysteme

- 16.03.1982 M. Gacka, W. Horenkamp, H. Maiweg, K.D. Tesch,
R. Woltemate
Vorbesprechung auf der Zeche Hugo zum Netzver-
such vom 28.03.1982, Gelsenkirchen
- 18.03.1982 E. Handschin
20. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches
Rechnen" der FGH, RWE, Essen
- 28.03.1982 E. Handschin und Mitarbeiter
Erdschluß-Messungen im Netz der Schachtan-
lage Hugo in Gelsenkirchen
- 29.03.1982 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund bei
AEG, Essen
- 31.03.1982 M. Gacka, W. Horenkamp, H. Maiweg, K.-D. Tesch
Vorläufige Auswertung des Netzversuchs vom
28.03.1982 in Gelsenkirchen
- 15.04.1982 E. Handschin
Besprechung mit Herrn Dr. Hagemeyer, EVS,
über Probleme der Netzdynamik, Wendlingen
- 26.04.1982 W. Horenkamp, H. Maiweg, K.-D. Tesch
Besuch der Hannover Messe
- 28.04.1982 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirats des VDE-Bezirks-
vereins Rhein-Ruhr, VKR, Gelsenkirchen
- 04.05.1982 E.Handschin, M. Gacka, H. Maiweg,
R. Woltemate
Präsentation der Versuchsauswertungen vom
28.03.1982 bei BAG Lippe, Herr Thüner, Bochum
- 14.05.1982 E. Handschin
Besprechung mit Herrn Dr.-Ing. Freund,
über die Lastprognose, TWS, Stuttgart
- 15.05.1982 E. Handschin und Mitarbeiter
Tag der offenen Tür der Universität Dortmund

- 24.05.1982 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund bei
Calor-Emag, Dortmund
- 26.05.1982 T. Reißing
Besuch des Vortrages "Lastabwurf durch Unter-
frequenzrelais zur Sicherung der Energiever-
sorgung", Dr.-Ing. G. Brauner, Universität GH,
Siegen
- 26.05. - J. Voß
27.05.1982 VGB Konferenz "Leittechnik im Kraftwerk 1982",
Essen
- 14.06.1982 E. Handschin
8. Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses
"Netzregelung" in Frankfurt
- 25.06.1982 E. Handschin
Sitzung des Deutschen Arbeitskreises
zum CIGRE-Studienkomitee SC-32, bei Siemens,
Erlangen
- 02.07.1982 E. Handschin und Mitarbeiter
Besprechung mit den Herren Dipl.-Ing. H. Kürten
und Dr. Ing. H.J. Adermann, KWU, über Probleme
der Netzregelung
- 22.07.1982 J. Voß
Besprechung mit Herrn Dipl.-Ing. R. Demski,
TÜV Rheinland, über Ausfallanalyse von Maschinen-
steuerungen
- 29.07.1982 J. Voß
Teilnahme an der Antrittsvorlesung von
Prof. Dr.-Ing. H. Grotstollen, Universität GH,
Paderborn
- 12.08.1982 J. Voß und Mitarbeiter
Besuch von Herrn Dipl.-Ing. Istvan Horvath,
Universität Budapest
- 01.09.1982 - E. Handschin
08.09.1982 Teilnahme am CIGRE-Kongreß in Paris

- 14.09.- E. Handschin
- 16.06.1982 AK-TR Seminar "Einsatz von Kleinrechnern in der Energieverteilung" der FGH in Seeheim
- 21.09.1982 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirats des VDE-Bezirksverein Rhein-Ruhr, Elektromark Hagen
- 04.10.1982 E. Handschin
Besuch des VDE-Kongresses in Düsseldorf
- 07.10.1982 E. Handschin, J. Voß
Teilnahme am Fachgespräch "Mikroelektronik und Mikroprozessoren in Kraftwerken" des Rheinisch-Westfälischen TÜV, Essen
- 08.10.1982 R. Woltemate
Teilnahme am Vortrag "Besonderheiten der Starkstromtechnik im Bergbau", Prof. Behrens, FH Bochum
- 21.10.1982 E. Handschin
21. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches Rechnen der FGH, TWS, Stuttgart
- 22.10.1982 W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besuch der Fachschau Elektrotechnik, Dortmund
- 05.11.1982 E. Handschin
Sitzung des Deutschen Arbeitskreises zum CIGRE-Studienkomitee SC-39 bei EVS, Wendlingen
- 08.11.1982 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund in der Universität Dortmund
- 11.11. - M. Gacka
- 12.11.1982 Teilnahme am Vortrag "Meßverfahren für die Fehlerortung an Energie- und Nachrichtenkabeln, Haus der Technik, Essen
- 23.11.1982 E. Handschin
9. Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses "Netzregelung" bei PREAG, Hannover

- 01.12.1982 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirats des VDE-Bezirksver-
eins Rhein-Ruhr, Stadtwerke Duisburg,
Duisburg
- 02.12.1982 E. Handschin
Promotionsprüfung von Herrn Dipl.-Ing. Beißler
an der TH Darmstadt
- 03.12.1982 E. Handschin, E. Grebe, J. Voß
Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. H. Wilhelm,
BBC Mannheim über Kraftwerksregelung

6.2 Forschungsberichte

E. Handschin: "Einführungsvortrag zum BMFT Seminar 1982 am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung", EV 8211, 1982

E. Handschin: "Überblick über die Entwicklung von Kleinrechnern", EV 8220, 1982

E. Handschin: "Interaktive, grafische Systeme", EV 8221, 1982

W. Lisakowski: "Lösung von Lastflußgleichungen mit einem Parallelprozessor", EV 8226

T. Reißing: "Modellierung elektrischer Verbraucher - Literatur - Übersicht", EV 8227

E. Handschin, J.Voß: "Auswirkungen der Mikroelektronik auf die Realisierung der Kraftwerksleittechnik-Grundlagen, Begriffe, Strukturen", EV 8229, 1982

N. Aschöwer: "Schnelle entkoppelte Lastflußberechnung für den multi-user Betrieb", EV 8230

N. Aschöwer: "Berechnungsmethoden zur Lösung der Lastflußgleichungen", EV 8231

M. Gacka, G. Kopp, A. Kuhlmann, H. Maiweg, R. Woltemate: "Beiträge zum BMFT-Seminar Erdschluß im Mittelspannungsnetz des Steinkohlenbergbaus", EV 8234

6.3 Diplomarbeiten

D. König: "Dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme", Diplomarbeit, Februar 1982, EV 8204

A. Kuhlmann: "Erprobung eines Schutzprinzips für die Überwachung von Parallelkabeln auf Erdschluß", Diplomarbeit, März 1982, EV 8207

G. Kopp: "Digitale Simulation der Ausgleichsvorgänge beim Erdschluß in gelöschten Kabelnetzen", Diplomarbeit, Mai 1982, EV 8210

P. Gröner: "Entwicklung eines Simulationsprogramms für State Estimation in elektrischen Energieversorgungssystemen", Diplomarbeit, Mai 1982, EV 8208

W. Lisakowski: "Lösung von Lastflußgleichungen mit Hilfe eines Multiprozessors", Diplomarbeit, Mai 1982, EV 8212

V. Hering: "Schätzung der Frequenz- und Spannungsabhängigkeit einer Verbrauchergruppe aus Betriebsmeßdaten", Diplomarbeit, Mai 1982, EV 8213

6.4 Studienarbeiten

A. Bücken: "Entwicklung eines Grafiktreiberprogramms zur Darstellung von Netzbildern", Studienarbeit, Februar 1982, EV 8222

H. Hans: "Untersuchungen am Netzmodell", Studienarbeit, März 1982, EV 8216

G. Hunger: "Aufbau eines Mikrorechners zur Bestimmung der Nullkomponente in einem Drehstromsystem", Studienarbeit, Dezember 1982, EV 8232

6.5 Programmbeschreibungen

P. Gröner: "SIMEST, Einführung in den Gebrauch des Simulators", EVP 8203

P. Gröner: "SIMEST, Programmbeschreibung des Simulationsprogrammes für State Estimation", EVP 8204

P. Gröner, N. Aschöwer: "MATOP, Ausführung elementarer Matrizenoperationen", EVP 8202

W. Lisakowski: "Schnelles entkoppeltes Lastflußprogramm mit Parallelisierung", EVP 8205

U. Arens: "HALM-Hauptprogramme zur Erstellung äquivalenter Lastmodelle", EVP 8103

T. Reißing: "Netzdaten für allgemeine Berechnungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen", EVP 8207

H.H. Graf, J. Voß: "Unterprogramme zur Steuerung des DP 1000 Systems und allgemeine Anwendung im Betriebssystem RSX 11 M V3.2, EVP 8206

H.H. Graf, E. Grebe, J. Voß: "Software zur Benutzung des HP-Plotters 9872 A unter RSX 11 M, EVP 8211

7. PROMOTIONEN

Grebe, Eckhard: "Dynamische Analyse elektrischer Energieversorgungssysteme im Hinblick auf die Turbinenregelung"

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. E. Handschin

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. D. Rumpel

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Dezember 1982

Da elektrische Energie im nennenswerten Umfang nicht speicherbar ist, ist die Einhaltung des Leistungsgleichgewichts zwischen Erzeugung und Verbrauch eine primäre Aufgabe der Führung des elektrischen Energieversorgungssystems. Durch die gegenseitige Unterstützung der Verbundpartner wird diese Aufgabe im zusammengeschalteten westeuropäischen Verbundnetz auch bei hohen Leistungsdefiziten nach Kraftwerksausfällen beherrscht. Es wurden daher einzelne Netzbezirke mit einem oder mehreren Blöcken untersucht, die sich im Störfall vom Verbundnetz trennen können und in den Inselbetrieb übergehen. Das dynamische Verhalten derartiger Teilnetze hängt nach Störung des Leistungsgleichgewichts von der Turbinenregelung in den einzelnen Blöcken ab. Die Turbinenregler weisen nichtlineares Verhalten infolge von Ablöseschaltungen einzelner Regelsignale und Parameterumschaltungen auf, die in Abhängigkeit des Betriebszustandes wirksam werden. Die Turbinenregelung wurde speziell für den Überfrequenzbereich, der nach einem Leistungsüberschuß erreicht wird, für verschiedene Kraftwerkstypen analysiert und modelliert. Die damit erfaßten dynamischen Vorgänge betreffen den Zeitbereich der Mittelzeitdynamik, während die Kurzzeitdynamik durch Polradpendelungen einzelner Generatoren gegeneinander gekennzeichnet ist. Anhand der Eigenwertanalyse der Kurzzeitdynamik kann geprüft werden, ob eine gegenseitige Beeinflussung der Vorgänge von Mittel- und Kurzzeitdynamik möglich ist. Bei typischen Netzkonfigurationen kann eine zeitliche Trennung dieser Vorgänge vorgenommen werden, was zu einer vereinfachten Darstellung des Netzes in Form eines Punktnetzes führt, um die Leistungsbilanz zwischen Erzeugung und Verbrauch zu bilden. Zusammen mit den entwickelten Modellen für die Turbinen einschließlich der Regelung konnte so das

gesamte Energieversorgungssystem für die Beschreibung der Vorgänge der Mittelzeitdynamik dargestellt werden. Die Untersuchung einzelner Blöcke bei Übergang vom Verbund- in den Inselbetrieb bei gleichzeitigem Leistungsüberschuß zeigt, daß bei unbekannter Restlast kritische Situationen entstehen können. Einerseits treten Signalsprünge bei Stellgrößen infolge von Strukturumschaltungen der Turbinenregelung während des Übergangsvorgangs auf, was zu einem anschließenden Frequenzeinbruch führen kann. Andererseits wurde nachgewiesen, daß Grenzyklen im Frequenzverlauf auftreten können, die durch Instabilität der Regelung hervorgerufen werden. Bei gemeinsamen Betrieb mehrerer Blöcke in ein Inselnetz entstehen durch die gegenseitige Beeinflussung der Leistungs- und Drehzahlregler verschiedener Turbinen weitere Stabilitätsprobleme. Das entworfene neue Konzept einer Turbinenregelung erfüllt die Forderung nach einer Leistungsregelung des Blocks im Verbundbetrieb und ermöglicht gleichzeitig den Übergang in ein Inselnetz mit Drehzahlregelung mittels einer dynamischen Kompensation des Frequenzeinflusses. Das Konzept zeichnet sich dadurch aus, daß keine Parameter- oder Strukturumschaltungen der Turbinenregelung in Abhängigkeit der Netzsituation erforderlich sind.

3.3 On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb

3.3.1 Softwarepaket zum Grafikprozessor

Für den im letzten Berichtsjahr am Lehrstuhl entwickelten Grafikprozessor wurde ein leistungsfähiges Softwarepaket erstellt. Hiermit ist es möglich, auf einfache Weise in Verbindung mit einem Hauptrechner Netz- und Anlagebilder zu regenerieren (Bild 3.16).

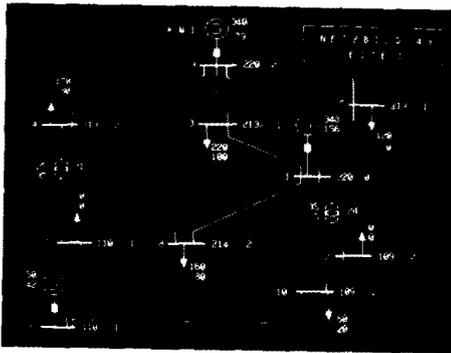


Bild 3.16: Bildschirm mit Netzbild

Die Symbole für Schalter, Transformator, Lastknoten usw. sind in EPROM's abgelegt und können an jeder beliebigen Stelle auf dem Sichtgerät abgebildet werden. Zur Erstellung der Leitungsverbindungen ist ein Vektor-Plot-Modul implementiert. Das so entstandene Netzbild steht nun im Speicher des Grafikprozessors und kann auf Floppy-Disk abgespeichert werden. Über den Hauptrechner besteht die Möglichkeit an vorher definierten Positionen Meßwerte wie Spannungen, Leitungen usw. einzublenden. Mit entsprechenden Overlay-Programmen des Hauptrechners ist es damit möglich, ein vollkommen dynamisches Netzbild zu erstellen in dem alle sich ändernden Größen sofort angezeigt werden.

W. Horenkamp

Bericht: EV 8222

Für den Fall, daß das zu untersuchende System nicht beobachtbar ist, müssen die Teilnetze berechnet und dann die Teilergebnisse mit Zusatztermen überlagert werden.

Wird bei der Ausfallsimulationsrechnung eine Gefährdung oder sogar ein Netzausfall ermittelt, so kann das Ergebnis als Basis für Präventivmaßnahmen herangezogen werden, die dann selbstverständlich durch Simulationsrechnungen auf Betriebssicherheit überprüft werden sollten.

Die rechnergestützte Prioritätsliste wird nach jeder Schalthandlung im Netz oder bei größeren Laständerungen neu ermittelt und mit der historischen Störungsliste überlagert, so daß die "echte" Störungsliste zur Anwendung kommt.

Diese adaptiven Störungslisten sind sowohl in der Netzbetriebsführung als auch in der Ausbau- und Betriebsplanung anwendbar, da in beiden Fällen nur die relevanten Störungen simuliert werden müssen. Das bedeutet, daß der Rechner für andere Untersuchungen längere Zeit zur Verfügung steht bzw. daß im Führungsfall schnell über mögliche "Echtstörungs-Fälle" Information vorliegt.

N. Aschöwer

Berichte: EV 8109, EV 8230

3.1.3 Lösung von Lastflußgleichungen mit Hilfe eines Multiprozessorrechners

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Algorithmus erstellt, der die Lösung von Lastflußgleichungen nach der Methode von Newton-Raphson mit Hilfe eines Multiprozessorrechners ermöglicht. Die Basis dieses Algorithmus bildet ein modifiziertes schnelles entkoppeltes Lastflußverfahren, bei dem von einer schwachen Kopplung der P- und Q-Modelle ausgegangen wird, und bei dem während einer vollständigen Iteration jeweils zwei Gleichungssysteme mit konstanten Systemmatrizen neu zu lösen sind.