

JAHRESBERICHT

EV7825

VORWORT

Dieser Jahresbericht ist all denen gewidmet, die uns im vergangenen Jahr mitgeholfen haben, das bisherige Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu fördern und auszubauen. Bei zahlreichen Gelegenheiten konnten wir, dank der Unterstützung von Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Industrie, Universitäten und nicht zuletzt durch das Ministerium für Wissenschaft und Forschung, das 1974 angefangene Aufbauprogramm weiterführen.

Für die experimentellen Arbeiten des Lehrstuhls ist besonders die erfolgreiche Inbetriebnahme des Netzmodelles hervorzuheben. Sowohl für die Lehre wie auch die Forschung hat die bisherige Erfahrung die Richtigkeit des gewählten Konzeptes bestätigt. Zahlreiche Aufgaben hätten ohne ein solches Modell nicht durchgeführt werden können.

Im Hinblick auf die internationale Zusammenarbeit ist das Forschungsprogramm zwischen CEPTEL in Rio de Janeiro und dem Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung zu erwähnen. In beiden Richtungen konnte der Gedankenaustausch durch Besuche in Dortmund und Rio de Janeiro verstärkt werden. Dabei ist es entscheidend, daß das Ziel der Überführung unserer Forschungsergebnisse in die technische Realisierung auch bei diesem Programm erreicht werden kann.

Das Erreichte wäre ohne den vollen Einsatz aller Mitarbeiter des Lehrstuhls nicht möglich gewesen. An dieser Stelle sei ihnen allen für das Geleistete gedankt. Wir wünschen uns, daß der vorliegende Bericht Ihr Interesse findet und würden uns freuen, auch im kommenden Jahr den Erfahrungsaustausch mit Ihnen fortsetzen zu können.

E. Handschin

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. PERSONAL	3
2. LEHRBETRIEB	4
2.1 Vorlesungen	4
2.2 Praktika	5
2.3 Exkursionen	7
3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN	8
3.1 Software-Entwicklung für die Netz- automatisierung (Systemüberwachung und -führung)	8
3.2 Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme	15
3.3 Untersuchung von on-line Führungs- algorithmen für den computer-orien- tierten Netzbetrieb	29
4. VORTRÄGE	43
4.1 Beiträge für das Kolloquium	43
4.2 Externe Vorträge von Lehrstuhl- mitgliedern	43
5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN	45
6. VERÖFFENTLICHUNGEN, BERICHTE	49
6.1 Veröffentlichungen	49
6.2 Forschungsberichte	51
6.3 Diplomarbeiten	52
6.4 Studienarbeiten	52

1. PERSONAL

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

Sekretariat: Frau I. Gasthaus

Oberingenieur: Dr.-Ing. J. Voß

Wiss. Assistenten: Dipl.-Ing. N. Aschöwer ab 1.12.78
Dipl.-Ing. C. Bongers
Dipl.-Ing. P. Grafoner bis 30.11.78
Dipl.-Ing. G. Howe

Wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Ing. E. Grebe

Techn. Mitarbeiter: Frau I. Grafoner
Ing.(grad.) W. Horenkamp

Student. Hilfskräfte: cand.-Ing. A. Bücker
cand.-Ing. H.-H. Graf
cand.-Ing. H.-D. Honselmann
cand.-Ing. K.-F. Hopp
cand.-Ing. G. Huerkamp
cand.-Ing. B. Lütke-Daldrup
cand.-Ing. G. Mark
cand.-Ing. U. Meinberg
cand.-Ing. W. Neubauer

2. LEHRBETRIEB

2.1 Vorlesungen

- a) Elektrische Energietechnik I (WS 1977/78)
Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 5. Semester. Ca. 40 Stunden Vorlesungen mit Übungen.
Inhalt: Grundlagen der elektrischen Energietechnik; Grundzüge der elektrischen Maschinen.
- b) Elektrische Energietechnik II (SS 1978)
Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 6. Semester. Ca. 50 Stunden Vorlesungen mit Übung.
Inhalt: Grundlagen und Aufbau der elektrischen Energieversorgungssysteme, Einführung in die Berechnung des stationären Netzzustandes sowie transienter Vorgänge.
- c) Energieübertragungssysteme I (WS 1977/78)
Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 7. Semester. Ca. 40 Stunden Vorlesungen und Übungen.
Inhalt: Energiesystemberechnung im stationären Zustand; Optimierung; dynamisches Netzverhalten; symmetrische Kurzschlüsse; Estimation.
- d) Energieübertragungssysteme II (SS 1978)
Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 8. Semester. Ca. 35 Stunden Vorlesungen und Übungen.
Inhalt: Symmetrische Komponenten, unsymmetrische Betriebszustände; statische und dynamische Stabilität.

e) Elektrizitätswirtschaft (SS 1978)

Seminar für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 8. Semester, ca. 25 Stunden.

Inhalt: BMFT-Studie: Durchführung eines rechnerorientierten Planspiels "Elektrizitätswirtschaft", das von der Bernischen Kraftwerke AG, Bern/Schweiz zur Verfügung gestellt wurde.

2.2 Praktika

Im Rahmen des von allen Lehrstühlen und Arbeitsgebieten der Abteilung Elektrotechnik gemeinsam organisierten Grundlagenpraktikums im 3. und 4. Semester werden vom Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung folgende drei Versuche angeboten:

a) Schutzeinrichtungen

Behandlung der wichtigsten Schutzmaßnahmen beim Anschluß elektrischer Verbraucher.

b) Messung von Energie und Leistung

Behandlung der verschiedenen Meßverfahren für die ein- und dreiphasige Messung von Energie und Leistung bei symmetrischer und unsymmetrischer Belastung.

c) Untersuchung von Überstromunterbrechern und Erwärmung von Leitungen

Prüfen verschiedener herkömmlicher Sicherungen, Aufnahmen 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) Messung hoher Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen

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

d) Regelung von Wirk- und Blindleistung

Symmetrische Komponenten in asymmetrischen Netzen, Beeinflussung von Wirk- und Blindleistungsflüssen mit Längs- und Querregelungstransformatoren, 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 Einhaltung umfangreicher Randbedingungen. Überprüfung

der gewählten Struktur durch Lastflußberechnung. Simulation einer Einfachstörung.

f) Selektive Netzschutzeinrichtungen

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

2.3 Exkursionen

25. Januar	1978	AEG Kabelwerk Rheydt und Duisburg: Drahtwalzwerk und Kabelherstellung für Hochleistungsenergieübertragung
11. April	1978	Grubenfahrt Schachtanlage Fürst Leopold, Dorsten
23. Mai	1978	Besichtigung der VDE Prüfstelle in Offenbach bei Frankfurt (gemeinsam mit VDE)
21. November	1978	Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen, Dortmund: Besichtigung des Umspannwerkes Kusenhorst.

3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN

Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf folgende drei Schwerpunkte:

1. Software-Entwicklung für die Netzautomatisierung (Systemüberwachung und -führung)
2. Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme.
3. Untersuchung von on-line Führungsalgorithmen für den computer-orientierten Netzbetrieb.

Um einen Überblick über die durchgeführten Arbeiten geben zu können, werden die Ergebnisse im folgenden in Kurzfassungen vorgestellt. Für die vollständige Berichterstattung wird auf die in Abschnitt 6 zusammengestellten Veröffentlichungen und Berichte verwiesen, die auf Wunsch gerne zugestellt werden.

3.1 Software-Entwicklung für die Netzautomatisierung (Systemüberwachung und -führung)

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Estimationsmethoden zur Systemüberwachung, die von der DFG gefördert worden sind, wurden im Berichtsjahr abgeschlossen. Die vollständige Dokumentation der Ergebnisse wird Anfang 1979 erscheinen. Von besonderer Bedeutung ist hier auch die Überführung der Ergebnisse in die technische Realisierung. Zu diesem Zweck wurde zwischen der Universität Dortmund und CEPEL, dem Forschungszentrum der brasilianischen Elektrizitätsgesellschaft ELETROBRAS, ein Zusammenarbeitsprogramm vereinbart, das gemeinsam von der GMD und CNPq getragen wird.

Die Untersuchungen auf dem Gebiet der Netzsicherheit wurden dahingehend erweitert, daß auch die Blindleistungs-optimierung berücksichtigt wird. Dabei geht es insbesondere um die Verbesserung der statischen Stabilität.

3.1.1 Verwendung von Messungen der Leistungsstrombeträge für die zuverlässige Zustandsschätzung in elektrischen Energieübertragungssystemen (DFG-Auftrag)

Die meisten der bisher in elektrischen Energieübertragungssystemen eingesetzten Estimationsverfahren verwenden ausschließlich folgende Messungen als Eingangsdaten: Wirk- und Blindanteile der Leistungseinspeisungen und Leitungsflüsse und daneben Knotenspannungsbeträge. Im allgemeinen werden jedoch auch Strommessungen durchgeführt, z.B. zu Schutzzwecken. Da diese Messungen nur den Betrag erfassen, liegt keine Information über die Phasenlage der Ströme vor. Im Zusammenhang mit der Erweiterung des Estimationsverfahrens nach der Methode der kleinsten gewichteten Quadrate bei Einschluß von Strommessungen wurden bisher folgende Probleme behandelt: a) Estimierbarkeit des Systemzustandes, b) Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeit schlechter Daten in den Strommessungen, c) Einfluß der Strommessungen auf die Entdeckbarkeit schlechter Daten in Leistungseinspeisungen, Leitungsflüssen und Spannungen. Besondere Bedeutung hat eine große Entdeckungswahrscheinlichkeit schlechter Daten, da dies eine wesentliche Vorbedingung für die Erstellung einer zuverlässigen Datenbank ist.

a) Estimierbarkeit

Die Einbeziehung von Strommessungen in den Estimationsalgorithmus trägt entscheidend dazu bei, den wahren Charakter des Begriffs Estimierbarkeit zu erkennen. Nur in Einzelfällen hat die Estimierbarkeit eines Systemzustandes eine rein binäre (ja/nein) Eigenschaft. In den meisten Fällen muß mit Estimierbarkeit die mögliche Qualität des Ergebnisses der Estimationsrechnung bezeichnet werden. Theoretisch ist der Zustand estimierbar, wenn

die Koeffizientenmatrix des zu lösenden linearisierten Gleichungssystems nicht singulär ist. Es wurde hergeleitet, daß diese notwendige Bedingung erfüllt ist, wenn die Messungen gut über das gesamte Netzwerk verteilt werden. Im Hinblick auf die praktische Durchführung der Rechnung ist dies jedoch keine Garantie für ein brauchbares numerisches Ergebnis. Denn bei schwacher numerischer Kopplung einzelner Netzknoten bei nicht geeigneter Auswahl von Messungen ist die Koeffizientenmatrix schlecht konditioniert. Unter diesem Gesichtspunkt bewährt sich als gute Arbeitsregel: estimierbar = numerisch gut estimierbar, nicht estimierbar = numerisch schwach estimierbar oder im mathematischen Sinne nicht estimierbar. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, daß eine Strombetragsmessung allein, wegen der fehlenden Phaseninformation, nicht als eine Messung eingesetzt werden kann, die im oben erwähnten Sinne zur Estimierbarkeit beiträgt. Daher ist es nützlich, eine Strombetragsmessung als ein Mittel zur Erhöhung der Redundanz in einem bereits estimierbaren System zu betrachten und nicht als Messung zur Erlangung vorher nicht gegebener Estimierbarkeit.

b) Entdeckbarkeit schlechter Daten

Um einen Eindruck vom Unterschied in der Entdeckungswahrscheinlichkeit schlechter Daten in den Strommessungen einerseits und den Leistungs- und Spannungsmessungen andererseits zu gewinnen, wurden in einem 14-knotigen Testnetz alle Leistungseinspeisungen, Leitungsflüsse, Spannungs- und Leistungsstrombeträge gemessen. Anschließend wurde für jede Messung die Entdeckungswahrscheinlichkeit berechnet. Die Ergebnisse zeigten, daß 2/3 der Strommessungen eine unzureichende Entdeckungswahrscheinlichkeit besaßen, während alle Leistungs- und Spannungsmessungen gute Entdeckungswahrscheinlichkeiten hatten. Beim Ver-

gleich dieser Meßanordnung mit einer entsprechenden Konfiguration ohne Strommessungen ergab sich, daß die Strommessungen einen starken positiven Einfluß auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit in den Leistungseinspeisungen, insbesondere in den Wirkanteilen, ausüben. Die am 14-knotigen Netz festgestellten Eigenschaften wurden auch in größeren Netzwerken bestätigt. Die Untersuchungen erlauben daher die Schlußfolgerung, daß zusätzliche Strombezugsmessungen auf den Leitungen ein nützliches Werkzeug zur Anhebung der meist schlechten Entdeckungswahrscheinlichkeit in den Leistungseinspeisungen darstellen. Dabei ist jedoch auf Auswahl geeigneter Strommessungen zu achten, da nur wenige Strommessungen selbst eine ausreichende Entdeckbarkeit schlechter Daten besitzen.

C. Bongers

3.1.2 Real-Time Data Processing for the Monitoring and Control of Electric Power Systems

Die bisherigen Arbeiten auf dem Gebiet der Estimationsmethoden für die Überwachung elektrischer Energieversorgungssysteme führten zu einem neuen Verfahren zur Bestimmung der optimalen Messgerätekongfiguration. Dieses Verfahren wird unter dem o.g. Titel in einem Forschungs- und Entwicklungsprogramm, das von der Universität Dortmund und dem Forschungszentrum CEPTEL der Elektrobras in Rio de Janeiro gemeinsam durchgeführt wird, in die technische Realisierung überführt. In der Zeit vom 5.6.1978 bis 8.8.1978 verbrachten die beiden brasilianischen Wissenschaftler P. Abreu und P.A. Machado einen Studienaufenthalt am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung, um die bei CEPTEL und an der Universität Dortmund erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die gemeinsame Weiterentwicklung zu koordinieren. Dabei wurde das bei CEPTEL entwickelte Simulationssystem für die Estimation am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung übernommen. In der Zeit vom 6.11.1978 bis 31.12.1978 hält sich Dipl.-Ing. C. Bongers in Rio de Janeiro auf, um das Programm zur Messgeräteoptimierung bei CEPTEL einzuführen.

C. Bongers, P.A. Machado, P. Abreu

3.1.3 Blindleistungsoptimierung für einen wirtschaftlichen und sicheren Netzbetrieb

Der Blindleistungsoptimierung kommt in der Führung elektrischer Energieversorgungssysteme eine zentrale Bedeutung zu. Diese Bedeutung läßt sich dadurch charakterisieren, daß einerseits die Blindleistungsflüsse, obwohl sie keinen Beitrag zur Nutzenergie liefern, die Leitungen zusätzlich belasten und zum anderen entscheidenden Einfluß auf das Spannungsprofil in einem Energieversorgungsnetz haben. Als weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist zu beachten, daß die Blindleistungserzeugung durch Synchrongeneratoren im untererregten Betrieb durch die statischen Stabilitätsgrenzen beschränkt sind.

Unter diesen Gesichtspunkten werden gegenwärtig drei verschiedene Optimierungsstrategien untersucht:

- a) Korrektur der Blindleistungseinspeisungen, so daß die von ihnen hervorgerufenen Wirkleistungsverluste minimal werden;
- b) Minimierung des Spannungsbandes in dem betrachteten Netzgebiet;
- c) Korrektur aller Blindleistungseinspeisungen derart, daß kein Generator den durch die Stabilitätsgrenzen festgelegten Bereich verläßt.

Aus der Jacobi-Matrix des Netzes wurden Sensitivitätskoeffizienten bestimmt, die die Abhängigkeit der Verluste von den Blindleistungseinspeisungen darstellen. Mit diesen Koeffizienten läßt sich über ein Inkrementalmodell der Lastflußbeziehung bei einer beliebigen Zielfunktion (z.B. wirtschaftliche Lastverteilung) gleichzeitig die Forderung nach minimalen, von den Blindleistungsflüssen hervorgerufenen Netzverlusten erfüllen.

Ausfälle einzelner Betriebsmittel (Generator, Leitungen) können im Netz zu Betriebszuständen führen, wo Leitungen unzulässig hoch belastet werden oder Spannungen außerhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegen. Diese Überschreitungen werden über das Kuhn-Tucker-Theorem als zusätzliche Nebenbedingungen einbezogen.

Die so ermittelte Lösung erfüllt zwei von vornherein scheinbar widersprechende Forderungen, nämlich einmal nach optimalem wirtschaftlichen Einsatz der im Einsatz befindlichen Betriebsmittel, zum anderen nach Wiederherstellung eines Betriebszustandes, der die Forderungen für einen sicheren Netzbetrieb erfüllt.

Eng verknüpft mit den Überlegungen für eine auf einen sicheren Netzbetrieb ausgerichtete Optimierung des Netzes im stationären Zustand ist die Problematik der statischen Stabilität. Hier wurden erste Untersuchungen angestellt, die Blindleistungsgrenzen als Funktion der eingespeisten Wirkleistung darzustellen, um damit zur Gewährleistung der statischen Stabilität die Blindleistungseinspeisungen aller am Netz befindlichen Generatoren so zu ermitteln, daß keine Generatoren an oder in der Nähe der Stabilitätsgrenze betrieben werden.

G. Howe

3.2 Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme

Im Vordergrund dieser Untersuchungen stehen die digitalen Simulationsmethoden für die Nachbildung der verschiedenen Betriebszustände eines elektrischen Energieversorgungssystems. Von besonderer Bedeutung sind die Arbeiten der interaktiven graphischen Netzanalyse. Neben der Lastfluß-Berechnung sind weitergehende Untersuchungen in Richtung Ausfalls-Simulation und langfristige Netzausbauplanung durchgeführt worden.

Auf dem Gebiet der dynamischen Nachbildung des Langzeitverhaltens eines elektrischen Energieversorgungssystems sind Arbeiten mit dem von General Electric entwickelten Programm LOTDYS intensiv weitergeführt worden. Dabei ist es erstmals gelungen, dieses Programm erfolgreich auf IBM und CDC Anlagen in Betrieb zu nehmen. Um die Richtigkeit des Modelles zu überprüfen wurde in der Nacht vom 27./28. Oktober 1978 von VEW Dortmund ein Netzversuch durchgeführt. Die vergleichende Auswertung zwischen Messung und Rechnung wird gegenwärtig noch durchgeführt. Eine weitergehende Untersuchung klärt die Frage nach der besten Kraftwerks-Regelung nach großen Störungen. Dabei steht die Korrektur des Dämpfungsverhaltens von thermischen Kraftwerken im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Die numerische Simulation von dynamischen Vorgängen führt auf das Gebiet der steifen Differentialgleichungen. In einer ausführlichen Untersuchung dieser Thematik für Kraftwerksmodelle ist gezeigt worden, mit welchen Methoden effiziente Rechnungen durchgeführt werden können.

Neben den digitalen Simulationsmethoden ist im Berichtsjahr viel Erfahrung mit dem Netzmodell, bestehend aus drei Generatoren, sieben Hochspannungsleitungen und drei

verschiedenen Lasten erzielt worden. Ferner ist ein vollständiges Fernwirkkonzept erstellt worden, um das Modell mit dem Prozeßrechner koppeln zu können. Diese Arbeiten bilden die Voraussetzung für die Arbeiten des dritten Arbeitsschwerpunktes: On-line Führungsaufgaben für den computerorientierten Netzbetrieb.

3.2.1 Statische Energiesystemsimulation mittels graphischer interaktiver Simulationssysteme

Im Berichtsjahr konnten die Arbeiten an einem graphischen interaktiven Simulations-System GISS abgeschlossen werden. Ziel von GISS ist es, aufzuzeigen, inwieweit der Ingenieur bei der Planung elektrischer Energieversorgungssysteme durch den Einsatz derartiger Simulationssysteme bei der Lösung seiner Langzeitaufgaben unterstützt werden kann. Der Bereich der Langzeitplanung wurde gewählt, da sich hier besondere Anforderungen an die Strukturierung der Datenbank sowie an die graphische Darstellung des zu planenden Netzes ergeben. Insgesamt erfüllt GISS die nachstehenden Forderungen:

- Einsatz eines kleinen Prozeßrechners (PDP 11/40 mit 32 k Worten Kernspeicher); dies wurde als zusätzliche Randbedingung mit in die Anforderungen aufgenommen.
- Die Darstellung der Resultate und der Topologie des Netzes erfolgt auf dem Bildschirm, da damit die Zugehörigkeit der Daten zur Netzstruktur gewährleistet ist und somit eine schnelle Auswertung der Ergebnisse ermöglicht wird.
- Die graphische Netzdarstellung weist die für strukturelle Netzänderungen notwendige Flexibilität auf.
- Auf die ausschließliche Darstellung aller Resultate und Informationen auf dem Bildschirm wird verzichtet. Dadurch wird erreicht, daß dem Planungsingenieur zu jeder Zeit ein Kurzprotokoll zur Verfügung steht, aus dem er den Ablauf einer ganzen Planungsaufgabe rekonstruieren kann. Das Mitschreiben eines Kurzprotokolls verlangsamt zwar die turn-around-Zeit, jedoch wiegt die Verfügbarkeit eines solchen Protokolls den Zeitverlust vollständig auf.
- Die Möglichkeit, eine dauerhafte Kopie des am Bildschirm

dargestellten Netzes anzufertigen, ist gegeben. Die Abarbeitung der Plotroutinen erfolgt off-line, da ansonsten der Vorteil der schnellen Antwortzeiten zu-nichte gemacht würde.

- Der Dialog zwischen Mensch und Maschine ist auf einem möglichst hohen Softwareniveau angesiedelt. Grundsätzlich wird der Dialog folgenden drei Anforderungen gerecht, nämlich
 1. direkt, damit geht der unmittelbare Kontakt zwischen dem Menschen und dem Simulationsproblem nicht verloren;
 2. geführt, damit wird erreicht, daß sich der Benutzer einerseits beim System über die von ihm erwarteten Entscheidungen informieren kann, und andererseits die vom Benutzer an das System übergebenen Parameterwerte automatisch auf ihre Gültigkeit, resp. ihre Wertgrenzen hin überprüft werden;
 3. einfach, damit können auch Benutzer mit dem Simulationsprogramm arbeiten, ohne über spezielle Programmkenntnisse verfügen zu können.

- Die notwendigen Datenbanken sind so aufgebaut, daß alle für die Langzeitplanung notwendigen Aufgaben wie Lastfluß-, Kurzschluß- und Ausfallsimulationsrechnungen durchgeführt werden können.

Bild 1 zeigt ein 9-knotiges Beispielnetz nach einer Lastflußrechnung, das mit GISS auf dem Bildschirm dargestellt und anschließend mit dem Plotter gezeichnet wurde.

Ein Pfeil in Richtung des Knotensymbols gibt an, daß es sich um eine Einspeisung handelt. Ein Pfeil in umgekehrter Richtung bedeutet eine Last. Über dem Pfeil ist die Leistungsbilanz des Knotens in MW resp. MVar angegeben. Rechts neben dem Knotensymbol wird der Spannungsbetrag

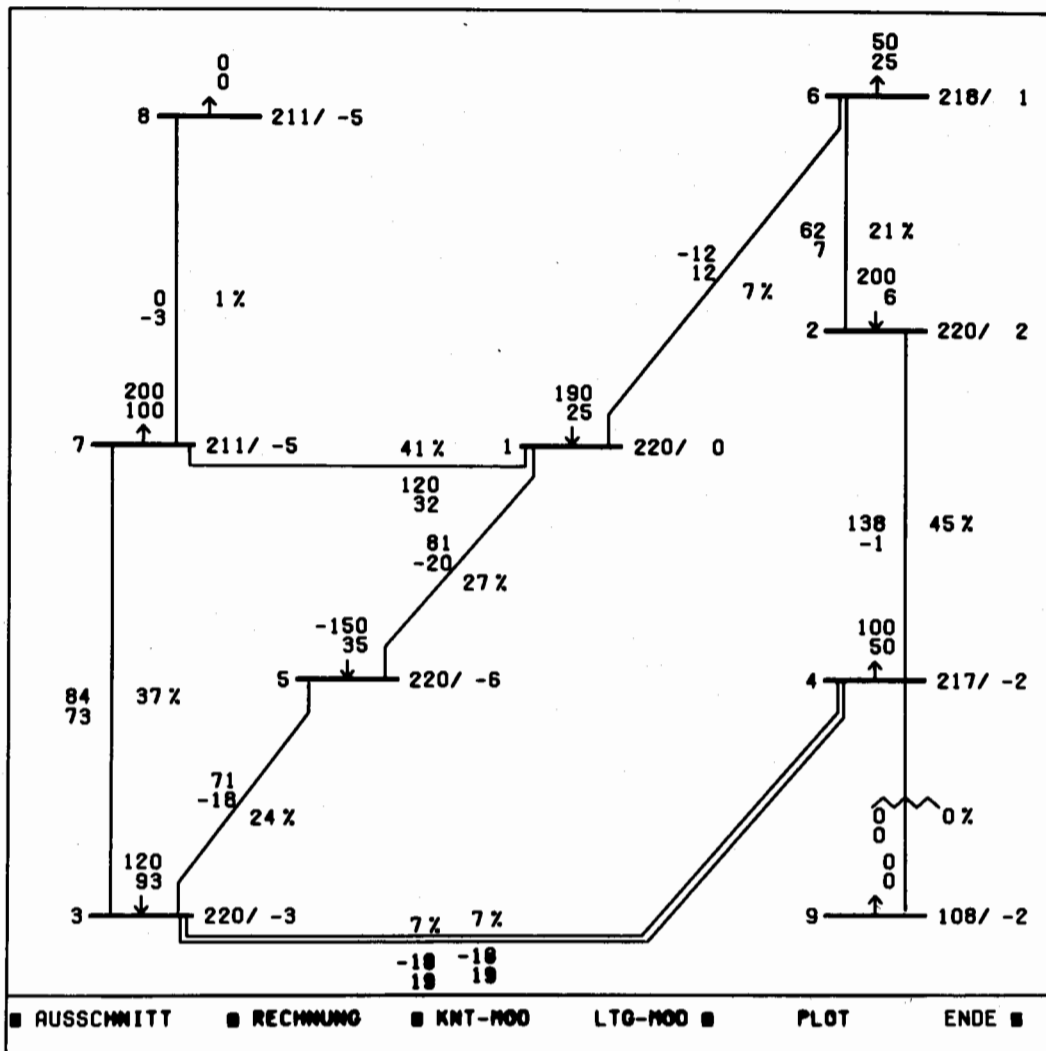


Bild 1: 9-knotiges Beispielnetz nach einer Lastflußrechnung; Plotterzeichnung des am Bildschirm mit GISS dargestellten Netzes

in kV sowie der Spannungswinkel in Grad angeschrieben. Links neben dem Knoten steht die Knotennummer. Die Leitungen werden mit dem komplexen Leistungsfluß in MW resp. MVar sowie der Belastung in Prozent beschriftet. Es wird immer der Leistungsfluß vom Knoten i zum Knoten j angegeben, mit $i < j$.

Die unterste Linie auf dem Bildschirm gibt an, welche Ak-

tivitäten in diesem Zeitpunkt durchgeführt werden können. Mit "AUSSCHNITT" kann die Darstellung einzelner Netzbezirke gewählt werden. Dabei kann angegeben werden, welcher Knoten in der Mitte des Schirmes gezeichnet wird. Die Aktivität "RECHNUNG" wurde für Bild 1 soeben durchgeführt. Es stehen verschiedene Rechenverfahren zur Lösung der Lastflußgleichungen zur Verfügung. Für die Planung ist es besonders wichtig, sowohl die Knoten wie auch die Leitungen zu verändern (Daten und Struktur). Dazu stehen die beiden Aktivitäten "KNT-MOD" und "LTG-MOD" zur Verfügung. Mit "PLOT" kann eine Zeichnung der Lösung mit dem Calcomp Plotter gezeichnet werden. Durch "ENDE" wird die Simulation abgeschlossen.

P. Grafoner

3.2.2 Numerische Integration steifer Differentialgleichungssysteme

Steife Differentialgleichungssysteme erhält man vielfach bei der Aufstellung mathematischer Modelle für dynamische Untersuchungen in der elektrischen Energietechnik. Am Beispiel der mittelfristigen dynamischen Vorgänge ($5 \text{ sec} < t < 5 \text{ min}$) konnten im Berichtsjahr die Untersuchungen für die schnelle numerische Integration steifer Differentialgleichungssysteme abgeschlossen werden. Die grundsätzliche Idee besteht darin, daß das ursprüngliche Differentialgleichungssystem

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{f}(\underline{x}) + \underline{b} u \quad (1)$$

mit

\underline{A}	=	Systemmatrix
\underline{x}	=	Vektor der Zustandsgrößen
$\underline{f}(\underline{x})$	=	nichtlineare Funktion in \underline{x}
u	=	Regelgröße

in ein schnelles und ein langsames System gewöhnlicher Differentialgleichungen aufgespalten wird. Die beiden Teilsysteme werden dann mittels eines modifizierten Prediktor-Korrektor-Verfahrens mit verschiedenen Schrittweiten integriert und dann in geeigneter Weise miteinander gekoppelt.

Für die Trennung des Gesamtsystems in die beiden Teilsysteme gibt es die beiden folgenden Möglichkeiten:

- a) Aufgrund der Kenntnis des physikalischen Verhaltens aller Teilkomponenten ist es möglich, diese dem schnellen oder dem langsamen Teilsystem zuzuordnen.
- b) Für das lineare Differentialgleichungssystem wird eine Entkopplung der Zustandsgrößen x_i durch lineare Transformation auf die Zustandsgrößen w_i durchgeführt. Durch eine Analyse der Transformationsvorschrift so-

wie der Zustandsgrößen w_i ist es möglich, zwei Gewichtsvektoren zu definieren, die eine Auftrennung des Gesamtsystems im nichttransformierten Bereich ermöglichen.

Durch die Trennung des Gesamtsystems in zwei Teilsysteme ist es möglich, zwei neue Lösungsmethoden für steife Differentialgleichungssysteme zu entwickeln, die einen großen Stabilitätsbereich aufweisen und nur noch etwa acht Prozent der Rechenzeit, bezogen auf das als Referenzlösung verwendete Runge-Kutta-Verfahren vierter Ordnung, benötigen.

P. Grafoner

3.2.3 Dynamisches Langzeitverhalten von Energieversorgungssystemen (MWF-Auftrag)

Die Aufgabe der Führung eines elektrischen Energieversorgungssystems besteht darin, daß die erzeugte elektrische Leistung dem Leistungsbedarf der Verbraucher in jedem Augenblick entsprechen muß. Durch nicht vorhersagbare Lastschwankungen kommt es zu einer Störung des Gleichgewichtes zwischen der abgenommenen und der erzeugten Leistung, z.B. gemessen an der Wärmemenge der Feuerung, der Frischdampfmenge und der von den Generatoren abgegebenen elektrischen Leistung. Vor allem aber bei größeren Störungen, wie Ausfall von Kraftwerken oder Verbundleitungen und möglicher Inselnetzbildung gelangt das Energieversorgungssystem in einen Zustand, in dem ein einwandfreier Betrieb u.U. nicht mehr gewährleistet ist, dabei kann es zu einem völligen Zusammenbruch des Netzbetriebes kommen. Bis zu einem gewissen Maß kann ein Leistungsdefizit durch die thermodynamische Reserve gedeckt werden. Darüber hinaus bleibt in den genannten Notsituationen nur die Möglichkeit, durch Absenken der Spannung oder völlige Abschaltung einzelner Verbraucher den elektrischen Leistungsbedarf zu reduzieren.

Zur Untersuchung derartiger Störfälle wurde eine im Inselnetz geführte Netzgruppe mit dem Simulationsprogramm THTSIM sowie mit LOTDYS simuliert, wobei ein thermisches Kraftwerk zur Frequenzregelung diente. Neben der Nachbildung des Verhaltens aller wichtigen Größen, wie der Netzfrequenz und der abgegebenen Leistung des Kraftwerkes, über einen Zeitbereich von ca. 10 Min., beinhaltet die Simulation eine komplexe Lastflußrechnung mit integriertem Verbrauchermodell. Im stationären Fall werden sowohl die Frequenz- als auch die Spannungsabhängigkeiten der einzelnen Lasten berücksichtigt. Für die dynamische Betrachtungsweise ist außerdem die Angabe der Schwung-

masse der rotierenden Betriebe und der Generatoren notwendig. Das daraus resultierende Verbraucher- und Generatormodell wird anhand der aus dem VEW-Netzversuch vom 27./28. Oktober 1978 gewonnenen Meßdaten identifiziert werden. Hinsichtlich der Kraftwerkseinheit steht das Verhalten von Größen des thermodynamischen Kreislaufs, wie Kesseldruck, Ventilstellung, Frischdampf- und Speisewasserzufuhr im Vordergrund. Hier dient der Netzversuch dazu, die Parameter des vorhandenen Modells zu überprüfen und eventuell zu korrigieren. Dadurch können neue Erkenntnisse für den Entwurf der vorhandenen Regelkreise gewonnen werden.

E. Grebe

3.2.4 Korrektur des Dämpfungsverhaltens von thermischen Kraftwerken nach Netzstörungen (Emergency State Control)

Bisherige Untersuchungen des dynamischen Langzeitverhaltens von Energieversorgungssystemen nach Netzstörungen zeigten bereits, daß bei großen Störungen, wie Ausfall einer 1000 MW Einspeisung, die schnell verfügbare Reserve thermischer Kraftwerke aufgrund der ungünstigen dynamischen Eigenschaften nicht ausreichend ist, da größere Lastschwankungen wegen der im thermodynamischen Kreislauf auftretenden Temperatur- und Druckschwankungen nur für kurze Zeitintervalle zulässig sind. Für bleibende Laständerungen sind hier Grenzen für die Laständerungsgeschwindigkeit vorgeschrieben, so daß ein quasi-stationärer Zustand eingehalten wird. Dieser wird durch die Regeleinrichtungen und das Bedienungspersonal so bestimmt, daß in jedem Zeitpunkt das Gleichgewicht zwischen der zugeführten Energie auf der thermodynamischen Seite und der abgegebenen elektrischen Energie möglichst genau eingehalten wird. Das Übergangsverhalten zwischen zwei stationären Betriebspunkten kann so jedoch nur in unbefriedigender Weise beeinflußt werden. Daher wurde ein Verfahren zur Korrektur des Dämpfungsverhaltens von thermischen Kraftwerken mittels eines geeigneten Reglerentwurfes angegeben.

Mit dem Einsatz von Prozeßrechnern zur Kraftwerksautomatisierung werden über die Überwachung des laufenden Betriebes hinaus auch die Voraussetzungen für einen selbständigen Ablauf aller Steuer- und Regelvorgänge verbessert. Bisherige Untersuchungen zur Stabilisierung des dynamischen Verhaltens, also zur Regelung, beschränken sich bisher meist auf schnell ablaufende Vorgänge, wie z.B. Schwingungen der Rotorwinkel von Generatoren. Um die in der genannten Notsituation erforderlichen

Laständerungsgeschwindigkeiten zu ermöglichen, muß jedoch auch für den thermodynamischen Kreislauf im nichtstationären Fall ein störungsfreier Betrieb gewährleistet sein. Dabei ist weniger die Optimierung der Regelstrategie bezüglich einer Kostenfunktion von Bedeutung, sondern eher die Realisierbarkeit eines gewünschten, technisch realisierbaren zeitlichen Übergangsverhaltens nach einer Laständerung anzustreben. Denn die Optimierung, z.B. bezüglich eines quadratischen Gütekriteriums, führt in vielen praktischen Anwendungsfällen zu einem unerwünschten dynamischen Verhalten der Regelstrecke, welches durch das Gütekriterium nicht unmittelbar beeinflußt werden kann. Das zur Anwendung vorgeschlagene Frequenzkennlinienverfahren erlaubt es hingegen, ein bestimmtes dynamisches Verhalten der Regelgrößen zu realisieren. Damit wird es ermöglicht, die Forderungen an das Verhalten der Stellsignale und der Regelgrößen von Anfang an dem Zeitverhalten der Regelstrecke anzupassen, d.h. es kann auf jeden Fall vermieden werden, daß der Regelstrecke ein im voraus nicht abschätzbare dynamisches Verhalten aufgezwungen wird.

Die Forderungen an das Übergangsverhalten können darin bestehen, daß bestimmte Größen, wie die Wärmemenge der Feuerung oder die Frischdampfmenge, ohne Überschwingen in möglichst kurzer aber zulässiger Zeit auf den neuen Wert gelangen und andere hingegen, wie Temperatur und Druck im thermodynamischen Kreislauf, von der Störung entkoppelt sein müssen, d.h. in der Umgebung ihres Sollwertes bleiben.

Die Reglersynthese wurde an einem reduzierten, linearen, zeitinvarianten Modell einer Kraftwerkseinheit im Festdruckbetrieb durchgeführt. Dazu wurden die einzelnen Regelkreise getrennt betrachtet und die Regelung jeweils auf ein gewünschtes Zeitverhalten der Regelgrößen ausge-

legt. Damit wird auch das dynamische Verhalten der gesamten Kraftwerkseinheit beeinflusst. Dies zeigt sich deutlich in dem Simulationsergebnis. Bild 1 zeigt einen Vergleich des Zeitverhaltens bei herkömmlicher Reglerauslegung und mit dem neuen Reglerentwurf bei einer jeweils sprungförmigen Änderung des Lastsollwertes um 10 % der Nennleistung. Dabei ist hervorzuheben, daß mit dem neuen Reglerentwurf sowohl die maximale negative Druckabweichung von dem Sollwert als auch das maximale Stell-signal geringer geworden sind und alle Größen ein wesentlich günstigeres Einschwingverhalten aufweisen. Im nächsten Schritt soll die Modifikation dieses Verfahrens für zeitdiskrete Systeme zur Anwendung kommen. Dadurch wird es möglich, den Prozeßrechner an Stelle der kontinuierlichen Regler einzusetzen.

E. Grebe

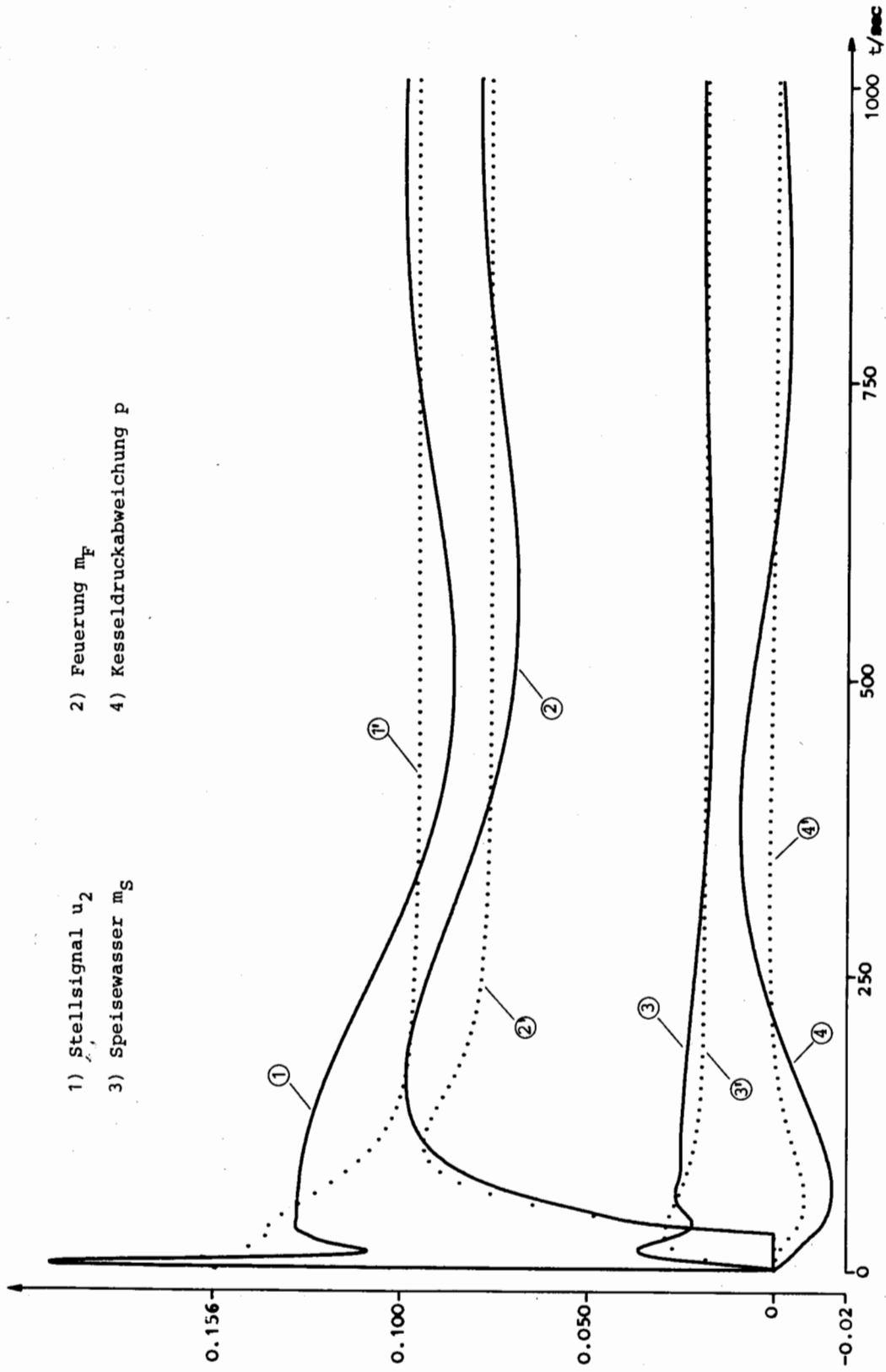


Bild 1: Übergangverhalten eines thermischen Kraftwerkes bei 10 % Änderung des Lastsollwertes
a) herkömmliche Regelung (durchgezogene Kurven) b) neue Regelung (gestrichelte Kurven)

3.3 Untersuchung von on-line Führungsalgorithmen für den computer-orientierten Netzbetrieb

Auf dem Gebiet der on-line Algorithmen für die Netzautomatisierung gibt es heute zwar eine große Zahl von Lösungsvorschlägen. Trotzdem ist nur eine kleine Zahl von Funktionen technisch realisierbar geworden. Die wesentliche Schwierigkeit liegt darin, daß nur ausführlich getestete Verfahren im Netzbetrieb Eingang finden. Um neue Verfahren unter möglichst realistischen Bedingungen überprüfen zu können, wurde am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung das unter Punkt 3.2 erwähnte Netzmodell aufgebaut und mit dem Prozeßrechner gekoppelt. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Aufgaben auf den Systemausbau, wobei insbesondere die Rechnerkopplung abgeschlossen werden konnte. Anhand von zwei wichtigen Führungsaufgaben konnte erstmals die Leistungsfähigkeit der Anlage vollständig getestet werden.

3.3.1 Nachbildung des Dampfturbinenverhaltens mit einem Drehstrom-Netzmodell

Untersuchungen an Energieversorgungssystemen auf Laborebene erfordern eine maßstabsgetreue Nachbildung der Systemelemente. Während Leitungen, Lasten und Generatoren verhältnismäßig leicht nachzubilden sind, bereiten Turbinen aufgrund der schwer zur Verfügung zu stellenden Dampf- oder Wasserenergie größere Schwierigkeiten. Ersatzweise treiben deshalb im Drehstromnetzmodell des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung Gleichstrommotoren die Generatoren an. Das dynamische Verhalten von Dampf- bzw. Wasserturbinen muß daher solchen Gleichstrommotoren aufgeprägt werden.

Als Bezug diente das allgemeine Dampfturbinenmodell des IEEE-Committee Reports [1], siehe Bild 1, mit der Übertragungsfunktion

$$G_T(s) = \frac{P_M(s)}{P_{GV}(s)} = \frac{F_{VHP} (1+T_{CO}s) (1+T_{RH2}s) + F_{HP} (1+T_{CO}s) (1+T_{CH}s)}{(1+T_{CO}s) (1+T_{RH1}s) (1+T_{RH2}s) (1+T_{CH}s)} + \frac{F_{IP} (1+T_{CO}s) + F_{LP}}{(1+T_{CO}s) (1+T_{RH1}s) (1+T_{RH2}s) (1+T_{CH}s)}$$

Das Übertragungsverhalten dieses Modells ist für drei Parameterkombinationen in Bild 2 dargestellt.

Da der Gleichstromantrieb mit sehr starken Nichtlinearitäten behaftet ist, konnte nicht wie in [2] die dynamische Korrektur im offenen Wirkungskreis vorgenommen werden, sondern es mußte ein geschlossener Wirkungskreis wie

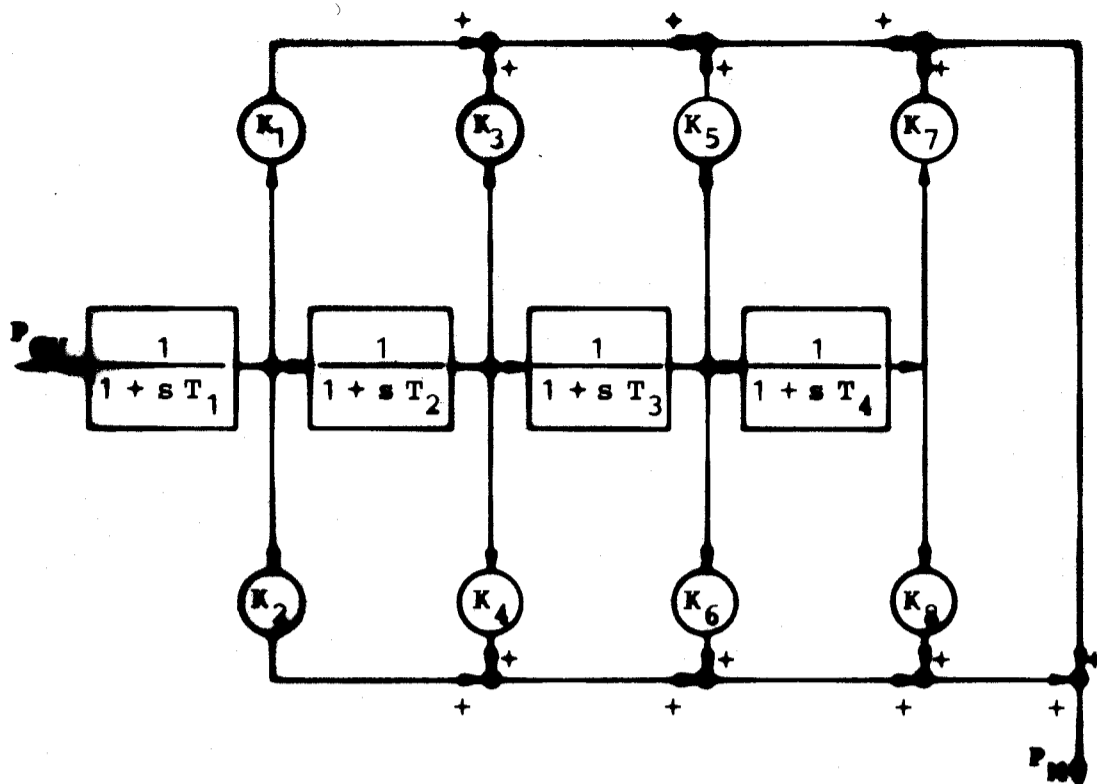


Bild 1: Allgemeines Modell eines Turbinensystems

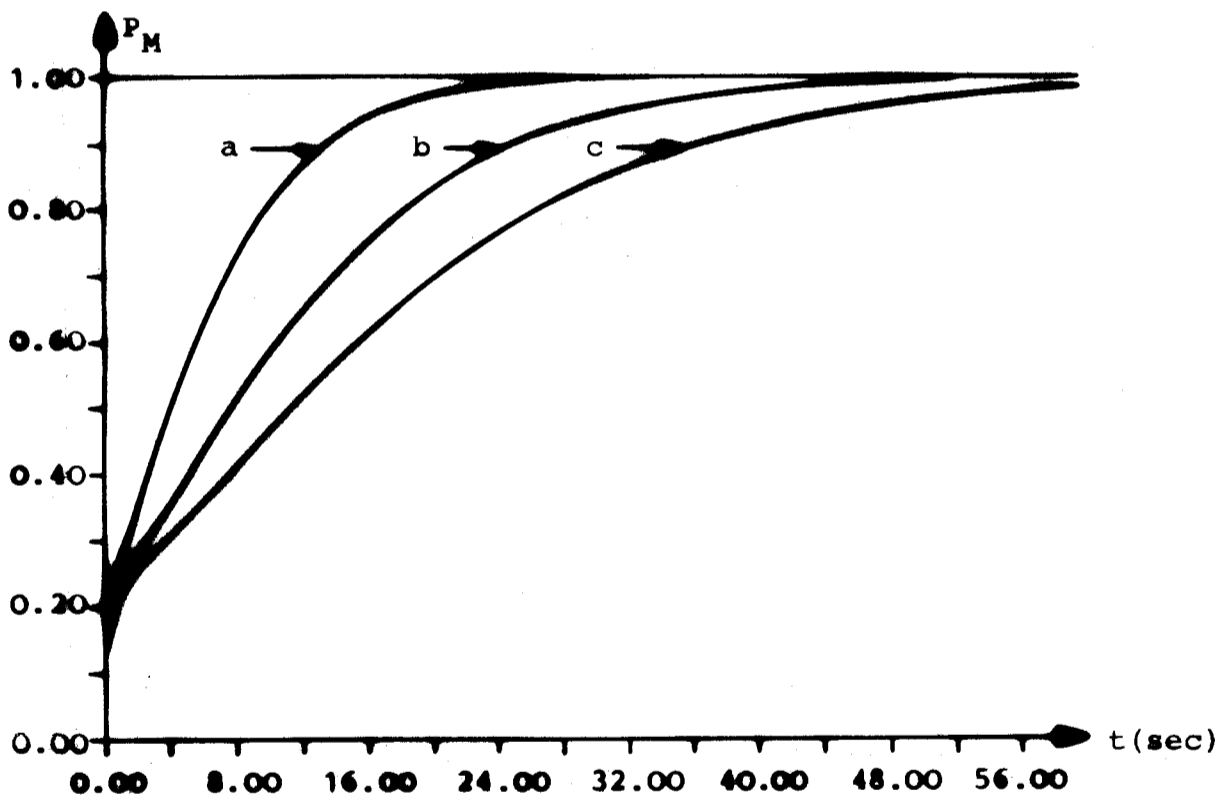


Bild 2: Simulation des Zeitverhaltens des Modells [1] für verschiedene Parameterkombinationen

in Bild 3 herangezogen werden. Dadurch konnte die Eigendynamik einschließlich aller Nichtlinearitäten der Gleichstrommotoren vernachlässigbar klein gehalten werden. Der Korrekturterm

$$L(s) = \frac{G_T(s)}{1 - G_T(s)}$$

wurde durch eine elektronische Schaltung realisiert, die im Zusammenwirken mit dem antreibenden Gleichstrommotor eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit dem Turbinenmodell erbrachte.

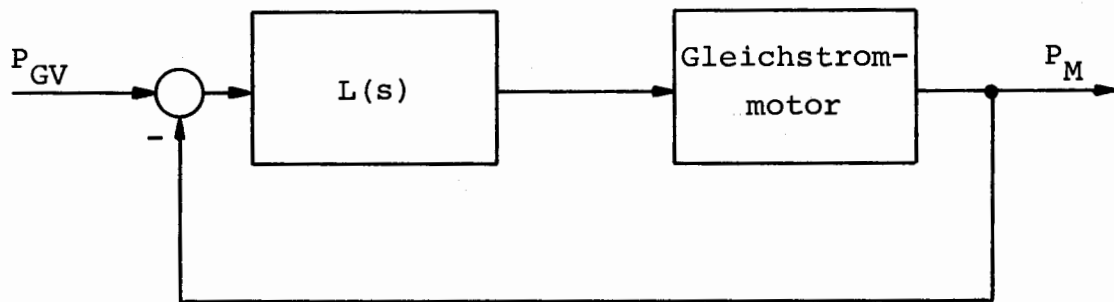


Bild 3: Turbinennachbildung und Gleichstrommotor im geschlossenen Wirkungskreis

- [1] "Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies", IEEE Committee Report, T 73 089-0, December 1972
- [2] "A Dynamic Power System Model", IEEE Committee Report, F 76 210-5, December 1976

J. Voß

3.3.2 Einsatz neuer digitaler Regelkonzepte für die zentrale Führung elektrischer Energieversorgungssysteme

Der Wunsch nach einem sicheren und wirtschaftlichen Netzbetrieb läßt sich heute nur durch die Erfassung und Verarbeitung großer Datenmengen erfüllen. Die Erfassung und Auswertung dieser Daten muß mehr und mehr Prozeßrechnern überlassen werden, da vor allem im Störfall, wo schnell die richtigen Entscheidungen gefällt werden müssen, eine erheblich größere Datenmenge anfällt als im Normalbetrieb.

Der heutige Einsatz von Prozeßrechnern kann in Zukunft aber nicht befriedigen, da diese Rechner noch vorwiegend im Open-Loop-Betrieb arbeiten, d.h. aufgrund vorgegebener Sollwerte werden die on-line Daten für die Systemführung ausgewertet, um z.B. Schaltmaßnahmen vorzubereiten. Die im Störfall anfallenden Entscheidungen stellen jedoch eine große Belastung für das Betriebspersonal dar. Eine Möglichkeit, die vom Bedienungspersonal zu treffenden Entscheidungen zu reduzieren, bietet die direkte digitale Regelung (DDC), mit der bestehende Anlagen besser genutzt werden können.

Am Beispiel der digitalen Blindleistungs-Spannungsregelung wird das Konzept der zentralen Netzführung mit hierarchischer Struktur (Bild 1) aufgezeigt.

Das Ziel ist, in einem Netz mit Hilfe der vorhandenen Betriebsmittel wie z.B. Schrägregler, Erregereinrichtungen, Kompensationsdrosseln, usw. durch zentrale Beeinflussung ein ausgewogenes Spannungsprofil zu erreichen. Die Knotenspannungen im Netz sollen daher den vorgeschriebenen Sollwert möglichst exakt einhalten.

Das zu betrachtende Netz wird dabei als ein lineares

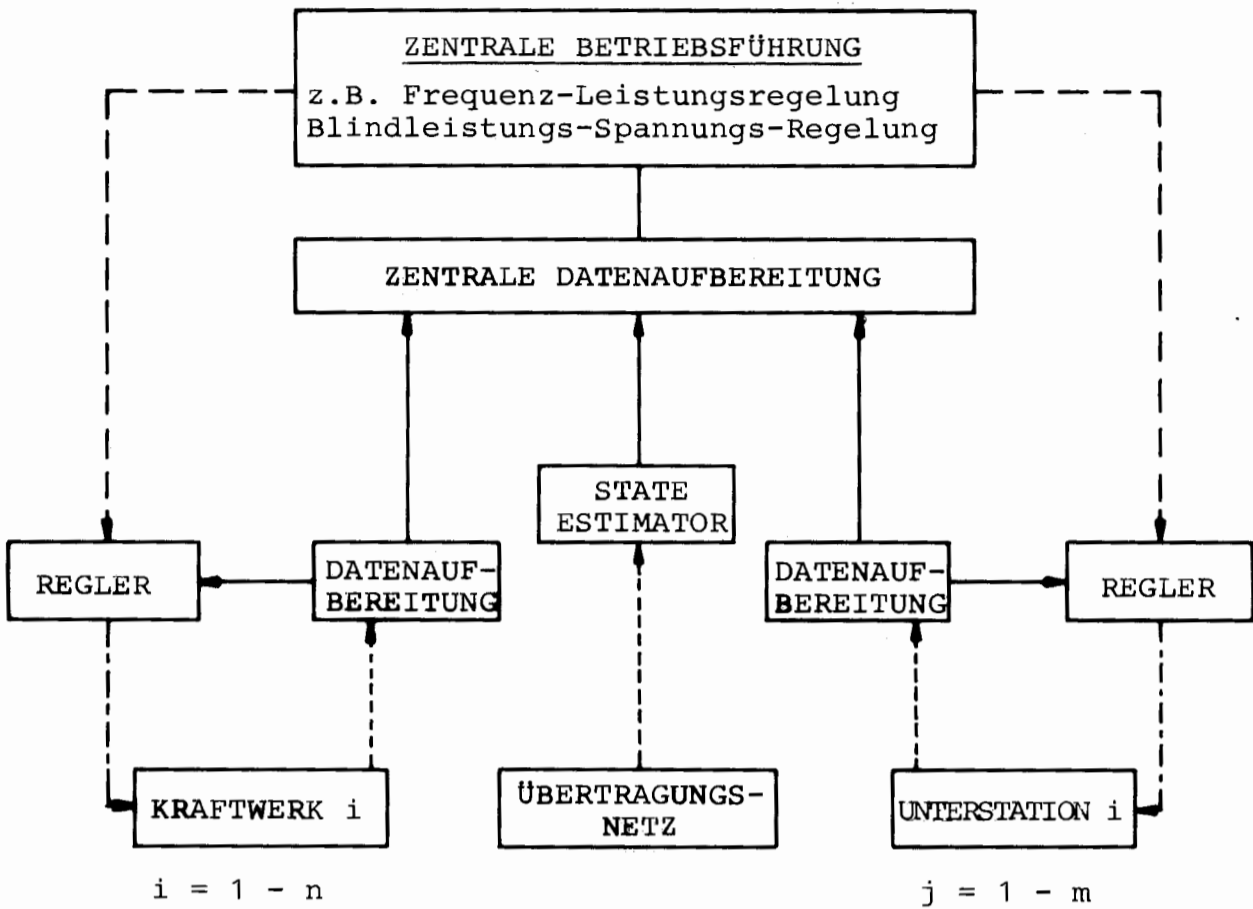


Bild 1: Hierarchische Gliederung der Führung elektrischer Energieversorgungssysteme

Messungen	-----
Ausgewertete Information	_____
Lokale Stellgrößen	-----
Zentrale Stellgrößen	-----

zeitvariantes Übertragungssystem aufgefaßt, das durch einen Satz von Differentialgleichungen der Form

$$\begin{aligned} \underline{x}(k + 1) &= \underline{A}(k) \underline{x}(k) + \underline{B}(k) \underline{u}(k) \\ \underline{y}(k) &= \underline{C}(k) \underline{x}(k) \end{aligned} \tag{1}$$

beschrieben werden kann, wobei

\underline{y} die zu regelnden Spannungen der Netzknoten
 \underline{u} die Stellgrößensignale
 \underline{x} die Zustandsgrößen des Systems sind.

Neben einem schnellen, überschwingungsfreien Übergangsverhalten soll die Norm der Abweichungen der Knotenspannungen \underline{y} vom Sollwertvektor \underline{y}_S ein Minimum sein, also

$$\| \underline{y}_S - \underline{y}(k) \| \rightarrow \text{Min} \quad \text{für } k \rightarrow \infty \quad (2)$$

Der Digitalregler gehorcht ebenfalls einem Satz von Differenzgleichungen der Form

$$\begin{aligned} \underline{s}(k+1) &= \underline{s}(k) + \underline{G}(k) (\underline{y}_S - \underline{y}(k)) \\ \underline{u}(k) &= \underline{E}(k) \underline{s}(k) + \underline{H}(k) (\underline{y}_S - \underline{y}(k)) \end{aligned} \quad (3)$$

Es kann gezeigt werden, daß aufgrund der Bedingung Gl.(2) die Matrix $\underline{G}(k)$ der Beziehung

$$\underline{G}(k) = \underline{D}(k) [\underline{C}(k) \{ \underline{I} - \underline{A}(k) \}^{-1} \underline{B}(k)]^T \quad (4)$$

genügen muß, wobei $\underline{D}(k)$ eine quadratische reguläre Matrix ist, deren Wert zusammen mit den Werten von $\underline{E}(k)$ und $\underline{H}(k)$ aufgrund einer vorgegebenen Netzdynamik festgelegt wird. Ein linearer Modellansatz wie in Gl.(1) ermöglicht dabei auf eine einfache Weise die Bestimmung der Reglerparameter. Trotz der starken Nichtlinearitäten im Netz ist daher der lineare Ansatz gerechtfertigt, zumal die Systemparameter als zeitvariant betrachtet werden und nach jedem Meßschritt eine on-line Identifizierung durchgeführt wird. Durch die damit verbundene Adaptierung der Reglerparameter an das sich auch durch Lastschwankungen und Störungen ändernde Modell wird das gewünschte dynamische Verhalten weitgehend erreicht.

3.3.3 Digitale Frequenz-Leistungsregelung

Eine dezentrale Regelung der Frequenz und der Verbundleistung, die mit analogen Reglern aufgebaut ist, kann in Zukunft die Anforderungen vor allem auch die Ausregelzeiten der Verbundleistungen nach einem Stör- bzw. Überlastungsfall nicht mehr erfüllen.

Neben dem ungünstigen Stabilitätsverhalten (niedrige Stabilitätsgüte) dieser Regelkreise, - bedingt durch die übliche PI-Struktur - ist die geringe Flexibilität analoger Regler zu nennen, die einer zentralen Betriebsführung entgegenwirkt. Der Einsatz digitaler Regler in Form von Mikroprozessoren oder Kleinrechnern ist daher eine geeignete Alternative zu den herkömmlichen Konzepten. Vor allem ist die große Anpassungsfähigkeit dieser Regler an bestimmte Betriebszustände (adaptive Regelung), die neben Parameteränderungen auch Strukturänderungen ermöglicht, zu nennen.

Ein wichtiges Problem bei der Konzipierung solcher digitaler Regler ist die Wahl der Abtastrate, also die Frequenz, mit der der Prozeß vom Regler beeinflußt wird. Erfordert der Prozeß lokal aufgrund seiner Dynamik eine hohe Abtastrate, kann diese in einem unterlagerten Regelkreis mittels eines Kleinrechners, der nur wenige zusätzliche Aufgaben erfüllen muß, realisiert werden. Bei einer hierarchischen Strukturierung sind nämlich übergeordnete Prozeßrechneranlagen nicht in der Lage dieser schnellen Abtastung zu folgen, da sie noch weitere lokale Systeme überwachen müssen. Die Abtastrate dieser übergeordneten Regler ist daher meist kleiner. Dieser Umstand erschwert eine Systembeschreibung erheblich. Es wurde daher ein Verfahren entwickelt, mit der sich unterschiedliche Abtastraten auf eine gemeinsame Frequenz transformieren lassen. Das Ergebnis ist eine Ersatzübertragungsfunktion, die dem Reglerentwurf zugrunde gelegt werden

kann.

Zur Analyse und Synthese solcher zeitdiskreten Systeme wurde das interaktive Programmsystem ALEX am Rechner des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung implementiert.

E. Grebe, J. Voß

3.3.4 Aufbau und Betrieb des Drehstrom-Netzmodells

Zur praktischen Erprobung des rechnergesteuerten Echtzeitbetriebes in Energieversorgungssystemen wurde am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung für Forschungs- und Lehraufgaben in Zusammenarbeit mit den Firmen Siemens und BBC ein prozeßrechnergeführtes Drehstromnetzmodell entwickelt und gebaut.

Das Netzmodell (Bild 1) besteht aus vier Teilen:

- a) Netzeinspeisung
- b) Kraftwerksnachbildungen
- c) Freileitungen
- d) Verbrauchernachbildungen.

a) Netzeinspeisung:

Um einen Betrieb des Netzmodells am starren Netz durchzuführen, ist ein Kuppeltransformator, der die Netzspannung auf Modellspannung umsetzt, eingebaut.

b) Kraftwerksnachbildungen:

Für die Kraftwerksnachbildungen sind drei Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von 2 x 1 kVA und 1 x 2 kVA installiert, wobei die Turbinen durch einen fremderregten Gleichstromnebenschlußmotor nachgebildet sind. Beim Gleichstromantrieb besteht die Möglichkeit einer Drehzahl-(Frequenz-) oder Strom-(Leistungs-) Regelung (Bild 2). Bei Betrieb mehrerer Kraftwerke kann der Drehzahlregler über eine einstellbare Statik beeinflußt werden. Die Drehstromsynchrongeneratoren sind spannungsgeregelt. Mit einem Potentiometer läßt sich die Blindleistungsstatik verändern.

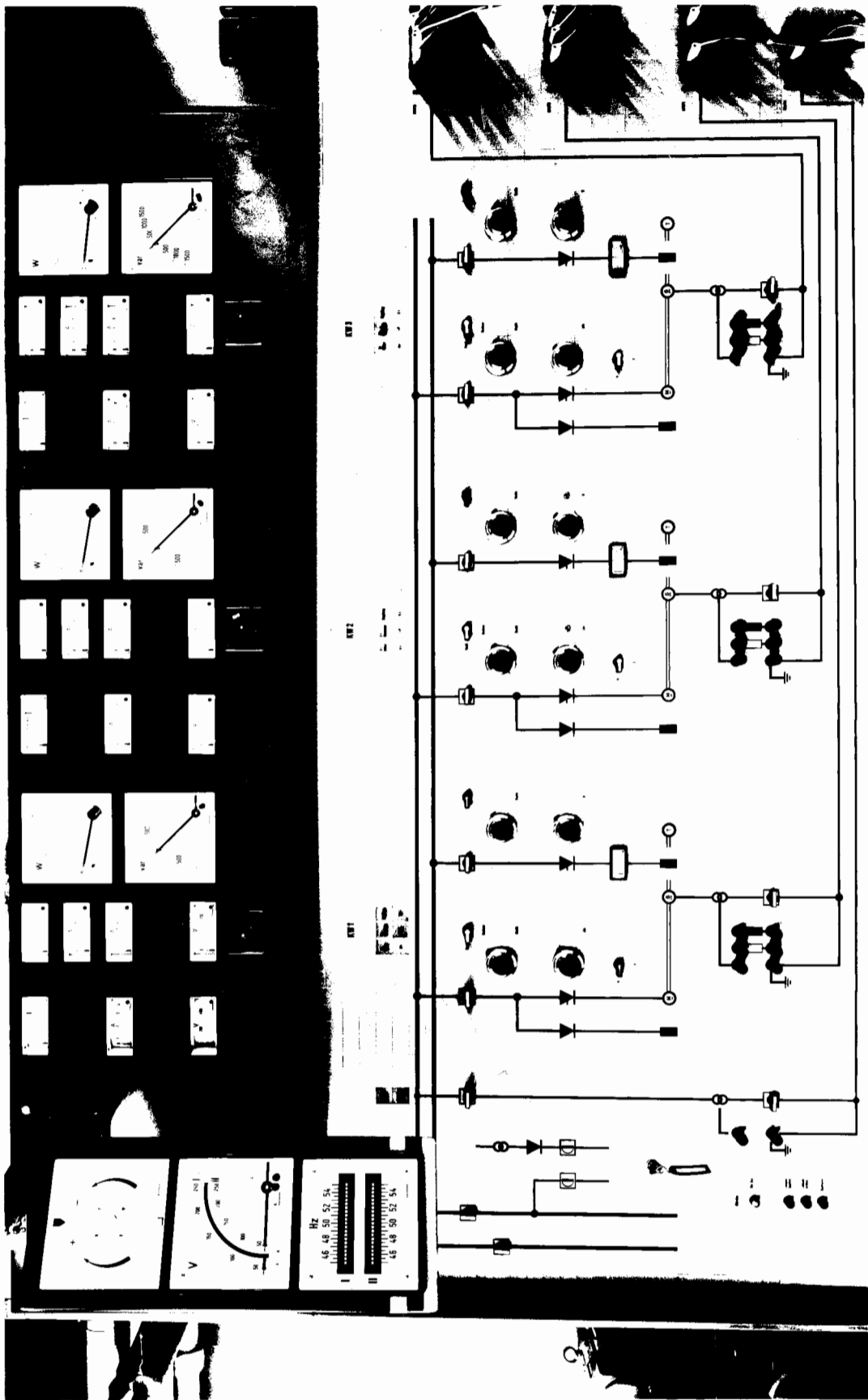


Bild 2: Bedienungsteil der Kraftwerke mit zugehörigen Analogmeßwertanzeigen

c) Freileitungsnachbildungen:

Die Freileitungsnachbildungen für die Modellspannung von 220 kV sind durch dreiphasige π -Glieder nachgebildet. In jeder Leitung sind am Anfang und Ende Leistungsschalter eingebaut, so daß Leitungsausfälle usw. simuliert werden können.

d) Verbrauchernachbildungen:

Es stehen insgesamt drei Verbrauchernachbildungen zur Verfügung, die jede für sich eine typische Verbrauchergruppe charakterisieren. Die Last 1 besteht aus rein passiven Verbrauchern. Über einen Stelltransformator können sekundärseitig ohmsche, induktive oder kapazitive Verbraucher zugeschaltet und auf die gewünschte Belastung eingestellt werden. Zur Nachbildung motorischer Verbraucher sind die Last 2 und 3 vorhanden. Die Last 2 besteht aus einem Drehstromsynchronmotor gekoppelt mit einem Gleichstromgenerator, der mit einem konstanten Widerstand belastet ist. Die variable Belastung des Synchronmotors wird durch Verändern der Ankerspannung des Gleichstromgenerators erreicht. Die Last 3 ist ähnlich aufgebaut, jedoch anstelle des Synchronmotors wurde hier ein Asynchronmotor eingebaut.

Kopplung des Netzmodells an den Prozeßrechner

Für den Anschluß des Netzmodells an den am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung vorhandenen Prozeßrechner PDP 11/40 wurde das Prozeßdatenverarbeitungssystem DP 1000 installiert. Dieses System ermöglicht in der bestehenden Konfiguration den Anschluß von insgesamt 64 Analogeingängen, 16 Analogausgängen und 64 Digital-Ein- bzw. Ausgaben.

Am Netzmodell stehen nun folgende analoge Netzgrößen zur Verfügung:

- a) Wirk- und Blindleistungseinspeisungen der Netzeinspeisung und der drei Kraftwerke.
- b) Wirk- und Blindleistungsflüsse (Größe und Richtung) auf den sieben Leitungen.
- c) Wirk- und Blindleistungsaufnahme der Lasten.
- d) Spannung der Netzeinspeisung, der Generatoren und der übrigen sieben Netzknoten.
- e) Phasenwinkel der Generatorklemmspannungen gegeneinander (Synchronisierung).
- f) Drehzahl bzw. Frequenz der Netzeinspeisung und der Generatoren.

Mit Hilfe der Analogausgänge des DP 1000 Systems können Drehzahlen und Spannungen der drei Kraftwerke sowie die Wirk- und Blindleistungsaufnahme der drei Lasten geregelt werden.

Um Kraftwerks-, Leitungs- und Verbraucherab- bzw. -zuschaltungen zu simulieren, ist die Digitalausgabe des DP 1000-Systems vorgesehen.

Änderungen am Netzmodell in Verbindung mit der Prozeßrechnerkopplung

Neben dem Einbau der entsprechenden Meßwertumformer zur Meßgrößenerfassung wurde die bereits vorhandene Rechner-Handumschaltung daraufhin abgeändert, daß sich bei jedem Kraftwerk der Gleichstromantrieb und der Generator getrennt vom Rechner auf Hand Umschalten läßt. Diese Umschaltung geschieht nicht mehr wie bisher vom Netzmodell, sondern nach Freigabe der Umschaltung am Netzmodell über die Digitalausgabe des DP 1000-Systems. Zur Umschaltung von Hand auf den Rechner steht der am Netzmodell eingestellte Sollwert zur Verfügung. Bei der Umschaltung vom Rechner- auf Handbetrieb oder bei einem Ausfall des Rechners wird ein stabiler Zustand des Modellnetzes dadurch

gewährleistet, daß die Sollwertpotentiometer mit Hilfe eines Zweipunktreglers über Synchronstellmotoren nachgefahren werden, so daß diese immer auf dem vom Rechner vorgegebenen Wert stehen.

W. Horenkamp

4. VORTRÄGE

4.1 Beiträge für das Kolloquium

- 2.12.1977 Prof. Dr.-Ing. H.J. Koglin, TH-Darmstadt,
"Zuverlässigkeitsberechnung von Energie-
versorgungsnetzen"
26. 5.1978 Dr.-Ing. E. Reuter, Elektromark Hagen,
"Stromverteilung im Dreispannungsnetz"
- 16.11.1978 Dr.-Ing. H. Remde, BBC-Mannheim,
"Höchstspannungs-Drehstromübertragung",
Veranstaltung gemeinsam mit dem VDE
- 1.12.1978 Dipl.-Ing. U. Schmudlach, BBC-Mannheim,
"Überwachung und Führung von elektrischen
Versorgungsnetzen - die Übergabe moderner
Netzleitetechniken".

4.2 Externe Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

26. 4.1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Entwicklungsrichtungen in der elektri-
schen Energieversorgung", Dortmunder-
Universitätstage, Dortmund
1. 6.1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Planning of Coal Mining Power Cable
Networks Using Modern Simulation Tech-
niques", Internationales Symposium on
Simulation Modelling and Decision in
Energy Systems, Montreal, Canada

24. 8.1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Contingency Analysis Using Dynamic Power System Simulation", 6. Power System Computation Conference, Darmstadt
8. 9. 1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Technisch-wissenschaftliche Anwendungsmöglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung in Energieversorgungsunternehmen", 12. VDEW-Seminar: Elektronische Datenverarbeitung für Führungskräfte in Energieversorgungsunternehmen, Darmstadt
- 9.11.1978 Dipl.-Ing. E. Grebe
"Korrektur des Dämpfungsverhaltens von thermischen Kraftwerken nach Netzstörungen", VEW Gersteinwerk, Hamm
- 30.11.1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Computer Applications for Operation and Planning of Electric Power Systems", UNIVAC-Symposium on Computers in Electrical and Gas Utilities", Saint-Paul, Frankreich
- 15.12.1978 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
"Interactive Power System Computation", Vortrag im Rahmen des Abteilungs-Kolloquiums Elektrotechnik der Universität Liège, Belgien

5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN

3. 2.1978 Aussprachetag über das Forschungsprogramm
des Lehrstuhls für elektrische Energiever-
sorgung mit Herrn Dipl.-Ing. U. Schmudlach,
Dr. Boehme und Dr. Petroianu, Brown Boveri
Mannheim
10. 2.1978 E. Handschin
Besprechung mit Dipl.-Ing. F. Steiger über
das Planspiel "Elektrizitätswirtschaft",
Bernische Kraftwerke AG, Bern/Schweiz
23. 2.1978 E. Handschin
Teilnahme an der 12. Sitzung des Arbeits-
kreises "Technisches Rechnen" der FGH in
Baden/Schweiz
17. 3.1978 P. Grafoner
Besichtigung der Solar-Energieversuchs-
anlage in Wiehl bei Köln
7. 4.1978 Aussprachetag über aktuelle Forschungs-
probleme der Netzberechnung und Netzföh-
rung am Lehrstuhl für elektrische Energie-
versorgung mit Herrn Dipl.-Ing. Reif und
Herrn Dipl.-Ing. Thüner der Bergbau AG
Lippe an der Universität Dortmund
25. 4.1978 W. Horenkamp
Besuch der Hannover-Messe, Hannover
- 9.-11.5.1978 E. Handschin, E. Grebe
Teilnahme am LOTDYS User Workshop bei
General Electric in Schenectady, USA

12. 5.1978 E. Handschin
Besprechung über energietechnische Probleme mit Herrn Dipl.-Ing. Busch und Mitarbeitern bei der Deutschen Verbundgesellschaft in Heidelberg
- 4.6.-3.8.1978 Aufenthalt der Herren Abreu und Machado von CEPTEL, Rio de Janeiro, am Lehrstuhl im Rahmen des GMD - CNPq Forschungsprogrammes "Real-Time Data Processing for the Monitoring and Control of Electric Power Systems"
9. 6.1978 E. Handschin
Besprechung über Lastflußprobleme im Mittelspannungsnetz des Steinkohlebergbaus bei BAG Lippe
29. 6.1978 C. Bongers
Besichtigung der Hauptschaltleitung des RWE in Brauweiler
30. 6.1978 Besprechung des laufenden Forschungsprogrammes des Lehrstuhls mit Herrn Dr. Stott von CEPTEL, Rio de Janeiro
- 6.-12.6.1978 Mitarbeiter-Exkursion zu BBC Mannheim und Baden/Schweiz, Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg/Schweiz, Bayern-Werk München, Siemens Erlangen, AEG-Telefunken Frankfurt
9. 9.1978 E. Handschin, E. Grebe
Besprechung zur Vorbereitung des Netzversuches bei VEW Dortmund

12. 9.1978 E. Handschin
Aussprachetag über das Forschungsprogramm
des Lehrstuhls mit Herrn Dr. Aschmoneit
von AEG-Telefunken, Frankfurt
14. 9.1978 Besprechung mit Herrn Dipl.-Ing. Nöller,
RWE über aktuelle Forschungsprobleme der
elektrischen Energieversorgung am Lehr-
stuhl
- 18.-22.9.1978 J. Voß
Besprechung mit BBC Mannheim über den
rechnergesteuerten Echtzeitbetrieb des
Drehstromnetzmodells
- 2.-6.10.1978 E. Handschin
FGH-Seminar: "Statistische Berechnungs-
grundlagen für die elektrische Energie-
versorgung", Leitung Prof. Dr. K. Edwin,
VDEW-Fortbildungszentrum, Darmstadt
- 13.10.1978 E. Handschin, J. Voß, W. Horenkamp
Besichtigung der elektrischen Energie-
versorgung bei Opel, Bochum
- 19.10.1978 E. Handschin
Teilnahme an der 13. Sitzung des Arbeits-
kreises "Technisches Rechnen" der FGH in
Hamburg
- 27./28.10.1978 E. Handschin, J. Voß, E. Grebe, W. Horenkamp
Netzversuch zur Überprüfung des LOTDYS
Modells bei VEW Dortmund

- 2.11.1978 J. Voß, G. Howe, W. Horenkamp
Diskussion mit EAI Deutschland über Echt-
zeitsimulation von Energieversorgungs-
systemen und Vorstellung des Power System
Simulators durch R. Maslo, EAI, USA
- 9.11.1978 E. Handschin, J. Voß, E. Grebe
Aussprachetag über das dynamische Regel-
verhalten von Dampfkraftwerken bei VEW
im Gersteinwerk, Hamm
- 14.11.1978 E. Handschin
Besprechung mit Herrn Dipl.-Ing. S. König
über aktuelle Probleme der Netzüberwachung
und Netzführung bei GEW in Köln
- 4.12.1978 E. Handschin, J. Voß, E. Grebe, W. Horenkamp
Auswertung des Netzversuches vom 27./28.10.78
bei VEW Dortmund

6. VERÖFFENTLICHUNGEN, BERICHTE

6.1 Veröffentlichungen

E. Handschin, B. Schwenniger: "Planning of Coal Mining Power Cable Networks Using Modern Simulation Techniques", International Symposium "Simulation, Modelling and Decision in Energy Systems", June 1-2, 1978, Montreal, Canada

The loads of electric power systems in coal mines are characterized by frequent changes both in size and location. The paper presents a complete simulation method which allows to study planning as well as operational problems during the start-up of large electric loads. The simulation is based on a quasi-dynamic representation of the dynamic phenomena. Thus the computing time requirements are moderate. Several examples illustrate the versatility of the simulation program to study the overloading of transmission elements, voltage dips which are important in view of a secure system operation, and the optimal start-up procedure of a number of drives working in series.

E. Handschin, P. Grafoner, E. Grebe: "Contingency Analysis Using Dynamic Power System Simulation", 6. PSCC in Darmstadt, August 1978

According to the time interval of interest (i.e. short, medium or long term dynamics) suitable models for dynamic contingency analysis are discussed. The problem of fast integration methods for minimal computer simulation time requirements is treated in some detail. Furthermore the models are used to calculate the thermal reserve for any operating point. A new structure of the boiler control leads to an improved dynamic response after large dis-

turbances. For illustration purposes the dynamic behaviour after a large contingency occurring in a test system interconnected to a large power system is studied with the slow speed dynamic model. The same test system is also analysed with the medium term dynamic model under the assumption that the tie-lines do not withstand the power swings and hence open.

J. Voß: "Ein Verfahren zur schnellen digitalen Leistungsmessung", ETZ-a, Band 99, 1978

Es wird ein Verfahren zur digitalen Wirk- und Blindleistungsmessung vorgestellt, das im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden durch seine kleinen Einschwingzeiten besonders bei der Netzführung durch Prozeßrechner von Nutzen ist. Das Verfahren zeichnet sich weiterhin durch eine sehr gute Fehlerunterdrückung und einfache Realisierung aus.

J. Pangalos, J. Voß: "Synthese von Abtastregelkreisen mit einem Freiheitsgrad im transformierten Frequenzbereich", Regelungstechnik, Heft 4, 1978

Ausgehend vom Frequenzkennlinienverfahren für kontinuierliche Systeme wird ein Syntheseverfahren für Abtastsysteme mit Hilfe der w -Transformation beschrieben.

Dieses Verfahren läßt für eine große Klasse von Systemen eine hinreichend genaue Festlegung der Reglerparameter unter Vorgabe von Anstiegszeit, Überschwingen und bleibender Regelabweichung zu. Die Vorteile des Frequenzkennlinienverfahrens bleiben dabei voll erhalten.

6.2 Forschungsberichte

E. Grebe: "Korrektur des Dämpfungsverhaltens von thermischen Kraftwerken nach Netzstörungen", Interner Bericht, März 1978, EV 7805

E. Grebe, J. Voß: "Entwurf von Abtastregelkreisen mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen", Interner Bericht, März 1978, EV 7812

G. Böhm, E. Grebe, J. Voß: "ALEX", ein Programm zur Analyse und Synthese linearer Systeme; Interner Bericht, 1978, EV 7823

N. Aschöwer: "Rechnerorientierte Netzausbauplanung (RONAP)", Teil 1: Programmbeschreibung, September 1978, EVP 7807

N. Aschöwer: "Rechnerorientierte Netzausbauplanung (RONAP)", Teil 2: Benutzerbeschreibung, September 1978, EVP 7808

P. Grafoner: "Graphisches interaktives Simulations-System, GISS", Teil 1: Programmbeschreibung, November 1978, EVP 7809

P. Grafoner: "Graphisches interaktives Simulations-System, GISS", Teil 2: Benutzerbeschreibung, November 1978, EVP 7810

6.3 Diplomarbeiten

K.-D. Cappel: "Nachbildung des dynamischen Kraftwerksverhaltens mit einem Netzmodell", Diplomarbeit, September 1978, EV 7809

N. Aschöwer: "Rechnerorientierte Netzausbauplanung", Diplomarbeit, September 1978, EV7816

6.4 Studienarbeiten

N. Aschöwer: "Interaktive, symmetrische Kurzschlußberechnung mit graphischen Ein- und Ausgabemöglichkeiten", Studienarbeit, Januar 1978, EV 7801

M. Rutloh: "Simulation der Elektrizitätswirtschaft mit Hilfe eines Planspiels", Studienarbeit, Januar 1978, EV 7806

K.-H. Grundhöfer: "Schnelle Gleichungsauflösung für die Kurzschlußberechnung", Studienarbeit, Juli 1978, EV 7807

H.-H. Graf: "Entwurf und Ausführung einer Leistungsflußmeßeinrichtung für das Drehstromnetzmodell", Studienarbeit, Februar 1978, EV 7813

W. Neubauer: "Energie- und Leistungsbeeinflussung mit Prozeßrechnern", Studienarbeit, Sommer 1978, EV 7822

J. Fäth: "Analytische und experimentelle Ermittlung von Betriebsdiagrammen für Hochspannungsfreileitungen", Hausarbeit, Mai 1978, EV 7808

G.-D. Battré: "Interaktive Berechnung von Leitungsparametern", Hausarbeit, November 1978, EV 7824