

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	9
3.2 Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze	18
3.3 On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb	30
4. VORTRÄGE	40
4.1 Beiträge für das Kolloquium	40
4.2 Externe Vorträge von Lehrstuhl- mitgliedern	40
5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN	42
6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE	46
6.1 Veröffentlichungen	46
6.2 Forschungsberichte	50
6.3 Diplomarbeiten	51
6.4 Studienarbeiten	51
7. PROMOTIONEN	53

VORWORT

Den vorliegenden Jahresbericht darf ich Ihnen heute als Ergebnis unserer fünfjährigen Tätigkeit seit der Gründung des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung überreichen. Rückblickend ist festzuhalten, daß sehr viel Arbeit in den allgemeinen Aufbau gesteckt worden ist. Die Entwicklung von Vorlesungen, Übungen und Praktika hat viel Zeit in Anspruch genommen. Bei all dem durften jedoch die Forschungsarbeiten nicht zu kurz kommen. Von Anfang an war aus personellen und sächlichen Gründen eine Konzentration auf einige Themen angestrebt worden.

Die im folgenden vorgestellten Arbeiten beruhen auf sorgfältigen Systemanalysen. Dabei ist die Wechselwirkung zwischen Industrie und Hochschule ein wesentlicher Faktor für die Durchführung angewandter Forschung. Ich hoffe, daß unser Jahresbericht bestehende Verbindungen vertiefen und neue Kontakte schaffen wird. Neben den nationalen Beziehungen, die auch durch die Mitgliedschaften im Arbeitskreis "Technisches Rechnen" der FGH sowie des DAK des CIGRE Studienkomitee SC-32 gefördert werden, ist die aktive Teilnahme an internationalen Forschungsaktivitäten sehr wichtig. Neben dem Besuch ausländischer Konferenzen möchte ich in diesem Zusammenhang unsere enge Zusammenarbeit mit dem brasilianischen Forschungszentrum CEPTEL erwähnen.

Die Ergebnisse unserer Arbeiten sind in zahlreichen Veröffentlichungen und Vorträgen vorgestellt worden. Der vorliegende Bericht soll einen Überblick über das Erreichte geben. Für die ausführliche Information schicken wir Ihnen gerne die in Abschnitt 6 und 7 erwähnten Berichte zu.

Ich möchte an dieser Stelle allen meinen Mitarbeitern, die an dem heute vorhandenen Ergebnis in ganz erheblichem Maße beigetragen haben, ganz herzlich für das Geleistete danken. Ich würde mich freuen, wenn auch in Zukunft in Zusammenarbeit mit Ihnen unsere Beiträge zur Lösung der elektrischen Energieversorgungsprobleme auf Ihr Interesse stoßen werden.

E. Handschin

1. PERSONAL

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

Sekretariat: Frau I. Gasthaus

Oberingenieur: Dr.-Ing. J. Voß

Wiss. Assistenten: Dipl.-Ing. N. Aschöwer
Dipl.-Ing. C. Bongers bis 30.11.79
Dipl.-Ing. E. Grebe
Dipl.-Ing. G. Howe

Wiss. Angestellte: Dipl.-Ing. H. Graf ab 1.6.79
Dipl.-Ing. T. Reißing ab 15.8.79

Wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Ing. J.L. Marinho bis 8.11.79
Dipl.-Ing. A. Ramos ab 1.8.79
Dipl.-Ing. M. Schilling ab 1.10.79
Dipl.-Ing. L.M. Thome bis 8.11.79

Techn. Mitarbeiter: Frau I. Grafoner bis 30.6.79
Frau R. Meier ab 15.8.79
Ing.(grad.) Horenkamp
K.D. Tesch ab 18.6.79

Student. Hilfskräfte: A. Bücker
M. Ghara-Zibaie
K.-H. Grundhöfer
G. Hager
V. Hering
K. Homann
H.-D. Honselmann
K.-F. Hopp
G. Huerkamp
A. Kuhlmann
W. Lisakowski
B. Lütke-Daldrup
G. Mark
R. Stöppler
C. Wendland

2. LEHRBETRIEB

2.1 Vorlesungen

a) Elektrische Energietechnik I (WS 1978/79)

Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 5. Semester. Ca. 40 Stunden Vorlesungen und Übungen.

Inhalt: Grundlagen der elektrischen Energietechnik; Grundzüge der elektrischen Maschinen.

b) Elektrische Energietechnik II (SS 1979)

Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 6. Semester. Ca. 50 Stunden Vorlesungen und Übungen.

Inhalt: Grundlagen und Aufbau der elektrischen Energieversorgungssysteme, Einführung in die Berechnung des stationären Netzzustandes sowie transients Vorgänge.

c) Energieübertragungssysteme I (WS 1978/79)

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 1979)

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 1979)

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.

f) Prozeßautomatisierung in elektrischen Energieversorgungssystemen (WS 1978/79)

Seminar für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 7. Semester, ca. 25 Stunden.

Inhalt: Verknüpfung technischer Teilprozesse durch Prozeßrechner; Echtzeitprogrammierung; Digitale Signalverarbeitung kontinuierlicher Prozesse mit Hilfe zeitdiskreter Modelle; Regelung einer Lastknotenspannung in einem Energieversorgungssystem.

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, 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) 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 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 Netzschutzeinrichtungen

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

2.3 Exkursionen

9. Mai 1979

Besichtigung der Kraftwerk Union
Mülheim

2. Juli 1979

Hoesch-Hüttenwerke
Besichtigung des Walzwerkes,
Information über prozeßrechner-
geführte Leistungsbeeinflussung

3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN

In Fortführung des bisherigen Programmes sind die folgenden Schwerpunkte bearbeitet worden:

1. Software-Entwicklung für die Netzautomatisierung (Systemüberwachung und -führung)
2. Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme
3. On-line Führungs- und Regelalgorithmen für den Netz- und Kraftwerksbetrieb.

Der vorliegende Jahresbericht enthält die wichtigsten Ergebnisse unserer Forschungsaktivitäten auf diesen drei Gebieten. Für die vollständige Berichterstattung wird auf die ab Abschnitt 6 zusammengestellten Veröffentlichungen, Berichte und Promotionsarbeiten verwiesen, die auf Wunsch gerne zugestellt werden.

3.1 Software-Entwicklung für die Netzautomatisierung

Betrachtet man die für die on-line Netzführung erforderliche Software, so findet man heute die folgenden Funktionen vor: Konfigurator, Estimator, äquivalente Nachbarnetzdarstellung, Störungsrechnung, Sicherheitsoptimierung, on-line Lastflußberechnung. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem brasilianischen Forschungszentrum CEPEL ist im Berichtsjahr ein Konfigurationsprogramm für den interaktiven Bildschirmeneinsatz entwickelt worden. Es bildet die Voraussetzung für Estimations- und Lastflußberechnungen. Bezüglich der Netzestimation wurde ein sehr schneller Beobachtbarkeitstest entwickelt, der bei Ausfall einzelner Datenkanäle sofort anzeigt, welcher Netzteil nicht beobachtbar ist. Ferner wurde das Programm zur optimalen Meßgeräteplatzierung weiter verfeinert und u.a. auf ein brasilianisches System angewendet.

An den o.g. Funktionen wurden die Arbeiten auf dem Gebiet der Sicherheitsoptimierung weitergeführt. Die am Lehrstuhl gewählte Methode der nichtlinearen Optimierung wurde verfeinert und auf eine Reihe wichtiger Teilnetze angewendet. Da die Implementierung zahlreicher Software-Funktionen eine große Rechenkapazität erfordern, ist der Einsatz neuer Rechnertechnologien notwendig. Eine Studie zum Gebiet der Parallelprozessoren soll Aufschluß geben, welche Möglichkeiten zur besseren Ausnutzung von Rechnern heute besteht.

3.1.1 Meßgeräteanordnungen für den zuverlässigen Einsatz von State Estimation

Die Arbeiten auf dem Gebiet des Entwurfs optimaler Meßgeräteanordnungen wurden im Berichtsjahr mit der Dissertation "Optimale Meßsysteme für die zuverlässige Überwachung elektrischer Energieübertragungsnetze" abgeschlossen. Die Arbeit beantwortet die Fragen, wie eine Meßanordnung aufzubauen ist, damit die Beobachtbarkeit des gesamten Netzzustandes erreicht wird, und wie Art und Genauigkeit der Messungen optimal zu wählen sind, um in jeder Messung mindestens eine vorgegebene Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Meßfehler zu erzielen.

a) Beobachtbarkeit

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen der bei der Estimationsrechnung angewendeten Methoden wurde gezeigt, unter welchen Bedingungen das sich ergebende lineare Gleichungssystem lösbar ist. Bei Einsatz des Newton-Raphson-Verfahrens sind diese Bedingungen identisch mit denen der Beobachtbarkeit eines linearen Systems im stationären bzw. quasi stationären Zustand. Die Beobachtbarkeit wird, bezogen auf den vorliegenden Anwendungsfall, immer in einem erweiterten Sinn benutzt, indem auch numerische Gesichtspunkte Berücksichtigung finden. Es wurde hergeleitet, daß demnach die Einhaltung der sich daraus ergebenden Forderungen an der Struktur von Teilmatrizen der Jacobi-Matrix \underline{H} erkennbar ist.

Damit ist die Grundlage für einen auf dem Computer schnell durchführbaren Beobachtbarkeitstests gegeben. Diese Eigenschaft ist für den on-line Einsatz dieses Tests von besonderer Bedeutung.

Weiterhin wurde gezeigt, daß ebenfalls auf der Grundlage von Strukturbetrachtungen in Teilmatrizen von \underline{H} im Falle nicht vorhandener Beobachtbarkeit absolut zuverlässig erkannt werden kann,

- 1) mit welchem minimalen Satz an zusätzlichen Messungen die Beobachtbarkeit erreicht wird,
- 2) welcher Teil des Netzes mit dem verfügbaren Meßwertsatz beobachtbar bleibt.

Die Beobachtbarkeit des Zustandes elektrischer Energieübertragungsnetze kann mit einer minimalen Anzahl von Messungen erreicht werden. Eine derartige Minimal-Anordnung ermöglicht nicht, große Fehler in den aus dem Netz übermittelten Meßwerten zu entdecken. Da große Fehler in den Rohmeßwerten die Ergebnisse der Estimationsrechnung stark verfälschen, müssen sie mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit entdeckbar sein. Dazu werden geeignete zusätzliche Messungen erforderlich.

b) Entdeckbarkeit großer Meßfehler

Um die Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Fehler quantitativ zu erfassen, wurde ein Fehlermodell erstellt und ein statistischer Test abgeleitet. Es wurde gezeigt, wie die Wahrscheinlichkeit, einen großen Fehler in einer beliebigen Messung i zu entdecken, analytisch berechnet werden kann.

Eine anschließende Analyse, welche Parameter die Entdeckungswahrscheinlichkeit beeinflussen, ergab, daß neben der Fehlergröße selbst, die Anordnung und Auswahl der Messungen eine Rolle spielen. Darüber hinaus sind Meßgenauigkeit, Anzahl der Messungen und Größe des Netzes von Bedeutung.

Die globale Betrachtungsweise von Meßgeräteeinrichtungen führte zu dem Ergebnis, daß hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Fehler ein optimaler Redundanzwert von $\eta \approx 2$ existiert.

Weiterhin ergab sich aus einer entsprechenden Analyse, daß ein wachsender Freiheitsgrad, das ist die Differenz zwischen Anzahl der Messungen und Anzahl der Unbekannten, einen negativen Einfluß auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Fehler ausübt. Dieser Sachverhalt führt zu der Forderung: Um bei gleichbleibender Gesamtredundanz einen

großen Fehler bestimmter Größe gleichbleibend gut entdecken zu können, müssen bei wachsender Netzgröße genauere Meßeinrichtungen eingesetzt werden.

Die Auswertung dieser Abhängigkeiten und die Analyse des Einflusses der Meßstellenanordnung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit gestattete es, drei Optimierungsverfahren abzuleiten. Alle drei Verfahren liefern als Endergebnis Meßgeräteanordnungen, in denen große Fehler in jeder Messung mit einer gewünschten Mindestwahrscheinlichkeit entdeckt werden können.

c) Entwurf optimaler Meßanordnungen

Während das erste Verfahren in erster Linie für die Optimierung von Meßgeräteanordnungen geeignet ist, die eine Gesamtredundanz von $\eta \approx 2$ oder kleiner aufweisen, geht das zweite Verfahren von einer Anordnung aus, die alle Leistungsbilanz-, Leistungsfluß- und Spannungsbetragmessungen enthält und damit unbeeinflusst ist von einer Vorauswahl bestimmter Messungen. Beide Verfahren liefern im allgemeinen verschiedene optimale Anordnungen, zeigen aber beide als gemeinsames Ergebnis, daß die lokale Redundanz eine entscheidende Rolle bei der Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Fehler spielt. Dabei bedeutet eine kleine lokale Redundanz eine geringe und eine große lokale Redundanz eine hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit. Beide Verfahren führen zu einer optimierten Anordnung, die den optimalen Gesamtredundanzwert $\eta \approx 2$ aufweist und in der die lokalen Redundanzwerte innerhalb eines eng begrenzten Intervalls liegen.

In einem dritten Optimierungsverfahren werden die Meßstellen nicht verändert, sondern einzelne Messungen werden mit erhöhter Genauigkeit durchgeführt, um so eine geforderte Mindestentdeckungswahrscheinlichkeit zu garantieren. Dabei zeigt sich, daß nicht die Messungen mit zu geringer Entdeckungswahrscheinlichkeit genauer durchzuführen sind, sondern Messungen in unmittelbarer Nachbarschaft.

Mit den drei Optimierungsverfahren und dem Beobachtbarkeits-

test steht insgesamt ein vielseitig einsetzbares Werkzeug für die Beurteilung und Gestaltung von Meßgeräteeinrichtungen zur Verfügung. Damit ist die Möglichkeit gegeben, eine optimale Ausgangsbasis für die zuverlässige Überwachung elektrischer Energieübertragungsnetze zu bestimmen.

C. Bongers

3.1.2 Stationäre Sicherheitsoptimierung elektrischer Energieversorgungssysteme

Die zentrale Aufgabe bei der Führung elektrischer Energieversorgungssysteme besteht darin, zu jedem Zeitpunkt eine sowohl quantitativ als auch qualitativ ausreichende Versorgung der angeschlossenen Verbraucher mit elektrischer Energie zu gewährleisten. Im Normalbetrieb, wenn keine störungsbedingten Überlastungen vorhanden sind, ist der Kraftwerkseinsatz bzw. die Einstellung anderer Betriebsmittel (Synchronphasenschieber, Transformatoren, statische Kompensationseinrichtungen) nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten (z.B. wirtschaftliche Lastverteilung, Verlustminimierung) bzw. betrieblichen Gesichtspunkten (z.B. Einhaltung einer vorgeschriebenen Übergabeleistung zum Verbundpartner) vorgegeben.

Die Aufgabe der durchgeführten Untersuchungen ist es, die nach Störungen im Netz (z.B. Leitungsausfall) eingetretenen Überlastungen bestimmter Betriebsmittel durch eine Umverteilung der Kraftwerkseinspeisungen resp. Änderung der Stufenstellung von unter Last verstellbaren Transformatoren abzustellen bzw. möglichst weit zu reduzieren. Zur Lösung dieses Problems wurde ein Programm erstellt, mit dem es möglich ist, ausgehend von einer Basislösung unter Einbeziehung der durch die Überlastungen vorgegebenen Randbedingungen die Kraftwerkseinspeisungen und Transformatorstufenstellungen so zu bestimmen, daß keine unzulässigen Überschreitungen vorgegebener Toleranzgrenzen mehr auftreten. Mit dem Programm können sowohl vorwiegend wirkleistungsabhängige Grenzwerte (z.B. Leistungsflüsse) als auch vorwiegend blindleistungsabhängige Grenzen (z.B. Spannungen) verarbeitet werden.

Da als Ausgangspunkt zur Optimierung die im Betriebspunkt linearisierten Netzgleichungen verwendet werden, wurden im Berichtsjahr Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, den Gültigkeitsbereich des linearisierten Ansatzes zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigen, daß der gewählte Ansatz

ausreichend genau ist.

Die Lösung des Optimierungsproblems basiert auf einem Gradientenverfahren, wobei die Sicherheitsrandbedingungen in Gleichungsform erscheinen und für die Lösung nur die tatsächlich bindenden Randbedingungen verwendet werden. Es wurde dabei festgestellt, daß es in den meisten untersuchten Fällen möglich ist, die optimierten Einspeisungen resp. Stufenstellungen in einem Schritt, d.h. ohne neue Lastflußberechnung zu bestimmen.

G. Howe

3.1.3 Studie über Parallelprozessoren

Die Führung und Ausbauplanung eines modernen Energieversorgungsnetzes ist ohne intensiven Einsatz von Digitalrechnern undenkbar geworden. Ihre Schnelligkeit und Zuverlässigkeit tragen entscheidend bei zum wirtschaftlichen und sicheren Betrieb eines solchen Netzes.

Die wachsende Komplexität dieser Netze und die Tendenz, dem Digitalrechner immer neue Aufgabenbereiche zu übertragen, verlangen nach erhöhter Rechenkapazität. Bestehende Rechenanlagen stoßen an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit, schnelle Großrechner erweisen sich als wenig geeignet und als zu teuer.

In dieser Situation wurde von verschiedenen Seiten der Einsatz paralleler Rechnerkonzeptionen vorgeschlagen, die diese Nachteile umgehen. Die Industrie wartete mit Lösungsvorschlägen auf, die zum Teil das Versuchsstadium nicht überdauerten, z.T. jedoch zu interessanten Rechenanlagen führten, die mittlerweile auch auf dem Markt angeboten werden.

In diesem Zusammenhang tauchen eine Reihe von für den Anwender neuen Begriffen auf, wie "Vektorprozessor", "Array Prozessor", "Pipeline", "Multiprozessor", usw.

In der durchgeführten Studie wird zunächst der Versuch unternommen, einen Überblick über die möglichen Prinzipien paralleler Rechnerstrukturen zu geben und die genannten Begriffe einzuordnen.

Daran anschließend werden drei besonders interessante Anlagen vorgestellt und verglichen. Soweit verfügbar, werden erste Erfahrungen eingeflochten.

Allen untersuchten Parallel-Rechnern ist gemeinsam, daß sie nur bei bestimmten Problemen effizient arbeiten. Die mathematische Formulierung muß der parallelen Arbeitsweise ange-

paßt werden, was für den "seriell denkenden" Menschen u.U. Schwierigkeiten bereitet.

Die Programmierung dieser Anlagen setzt Hardwarekenntnisse voraus und führt nur bei erfahrenen Programmierern zu effizienten Programmen. Eine ausgereifte Parallel-Programmiersprache existiert noch nicht. FORTRAN-Compiler sind verfügbar, die resultierenden Maschinenprogramme jedoch selten effizient.

Grundsätzlich eignen sich die im Zusammenhang mit Netzbe-rechnungen auftretenden Probleme gut zur Lösung mit Parallelrechnern. Bei konsequenter Ausnutzung aller Eigenschaften dieser Rechner lassen sich Rechenzeiten erreichen, die bis zu zwei Größenordnungen unter den derzeit üblichen liegen. Dies ist Grund genug, die noch in den Anfängen steckende Entwicklung auf dem Rechnersektor aufmerksam zu beobachten. Ihr mittelfristiger Einfluß auf die Netzführung kann heute schon abgeschätzt werden.

T. Reißing

3.2 Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze

Nachdem mit dem Programm-System GISS (Graphisches inter-aktives Simulations-System) eine leistungsfähige Operator-Lastflußberechnung ermöglicht worden ist, wurde GISS im Berichtsjahr für die Untersuchung von langfristigen Planungsaufgaben von Energieübertragungssystemen eingesetzt. Dabei wird ein zweistufiges Verfahren entwickelt. Zunächst wird die Planungsaufgabe als Optimierungsproblem formuliert und gelöst. In der zweiten Phase wird durch interaktive Modifikation die optimale Lösung solange verändert, bis alle der Planung vorgegebenen Nebenbedingungen erfüllt werden.

Bei der dynamischen Simulation wurden die Arbeiten auf dem Gebiet der Langzeitstabilität weitergeführt. Dabei galt es zunächst die Meßergebnisse des Netzversuches vom 27./28. Oktober 1978 vollständig auszuwerten. Die Vergleiche zwischen Messung und den entsprechenden Rechnungen zeigen die Gültigkeit des benutzten Modells. Ausführliche Identifikationsverfahren für Kraftwerks- und Lastmodell haben wesentlich zu einem besseren Verständnis der Wechselwirkung zwischen Erzeugung, Übertragung und Verbrauch elektrischer Energie geführt.

Dies gilt nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Kraftwerksregelung selbst. Dabei ist festzuhalten, daß heute noch ein weites Gebiet für die systematische Entwicklung geeigneter Regelalgorithmen offen steht. Anhand eines im Netzversuch als geeignet gefundenen Kraftwerksmodells haben unsere Arbeiten auf dem Gebiet der digitalen Kraftwerksregelung gezeigt, daß gegenüber den heute eingesetzten Methoden noch wesentliche Verbesserungen bezüglich des dynamischen Verhaltens erzielt werden können.

3.2.1 Rechnerorientierte Netzausbauplanung

Die Systemausbauplanung elektrischer Energieversorgungssysteme befaßt sich mit der Erweiterung der Kraftwerkskapazitäten und der Übertragungsnetze. Trotz vergangener wirtschaftlicher Rezession hat es sich gezeigt, daß ein stetiger Lastzuwachs zu verzeichnen ist. Um bei diesem Lastzuwachs einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten, ist es notwendig eine mittelfristige- und Langzeitsystemausbauplanung zu kalkulieren. Die Langzeitplanung beinhaltet eine Menge von Unsicherheiten wie steigende Fossilbrennstoffkosten und ihre immer geringer werdenden Vorkommen, sowie die Entwicklung neuer elektrischer Energieerzeugungsanlagen und Übertragungssysteme bezüglich des verwendeten technologisch entwickelten Materials und der zu wählenden Spannungsebene. In dem erläuterten Verfahren wird die für Westeuropa übliche Höchstspannungsebene von 380 kV gewählt. Die Knotenlasten sowie die erforderlichen Einspeisungen werden basierend auf Lastprognosen als bekannt vorausgesetzt resp. als zur Verfügung stehend angenommen. Dadurch wird a priori die Lastabdeckung gewährleistet. Für die Systemplanung ist das Zusammenfassen aller bekannten relevanten mathematischen Techniken notwendig. Vereinfacht dargestellt sind diese:

- a) Benutzung eines vereinfachten Netzmodells
- b) Eingangsdaten, die keine langen Vorbereitungszeiten benötigen
- c) leicht zu verstehende logische Netzwerkänderungen
- d) möglichst kurze Rechenzeiten.

Das Problem der Ausbauplanung wird in 2 Schritten und zwar

1. einem vollautomatischen und
2. einem interaktiven

Schritt gelöst. Im 1. Schritt wird eine Zielfunktion, welche sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, definiert und optimiert. Dieser automatische Teil der Planung führt zu einer stationären betriebssicheren Lösung ohne Störfälle. Um auch Störfälle (n-1 Ausfallsimulation) zu berücksichtigen, wird

basierend auf der Lösung des ersten Schrittes eine interaktive Leitungsmodifikation durchgeführt. Die Modifikation wird beendet, wenn beim Ausfall einer beliebigen Leitung die restlichen Leitungen des gefundenen Netzes mit weniger als 120% belastet werden. Das zuletzt ermittelte Netzwerk wird als Lösung der rechnerorientierten Netzausbauplanung betrachtet. Um dem Planer einen Überblick über den Ablauf der angewendeten Algorithmen zu geben, wird sowohl ein graphisches Sichtgerät, das den jeweils aktuellen Systemzustand darstellt, verwendet, als auch ein Protokoll geführt. Das Protokoll kann auf Wunsch (kürzere turn-around-Zeit) unterdrückt werden. Neu zu planende Netzwerke können vom Planer graphisch generiert und dauerhaft für spätere Untersuchungen gespeichert werden.

Zur Zeit wird an einem schnellen Verfahren zur n-1 Ausfallsimulation gearbeitet.

Im folgenden ist das lauffähige Verfahren anhand eines Beispiels schematisch erläutert. Bild 1 zeigt ein 8-knotiges Anfangsnetzwerk mit bestehenden (alten) und alternativen Trassen. Im automatischen Teil der Planung werden zu schwach dimensionierte Leitungen querschnittverstärkt oder sehr schwach belastete Leitungen (nur Alternativleitungen) entfernt. Daraus resultiert der in Bild 2 dargestellte Netzzustand. Die folgende n-1 Ausfallsimulation zeigt an, daß im einfachen Störungsfall Leitungen zu hoch belastet sind. Darum ist eine interaktive Leitungsmodifikation notwendig. Das Ergebnis nach dieser Modifikation ist in Bild 3 dargestellt.

N. Aschöwer

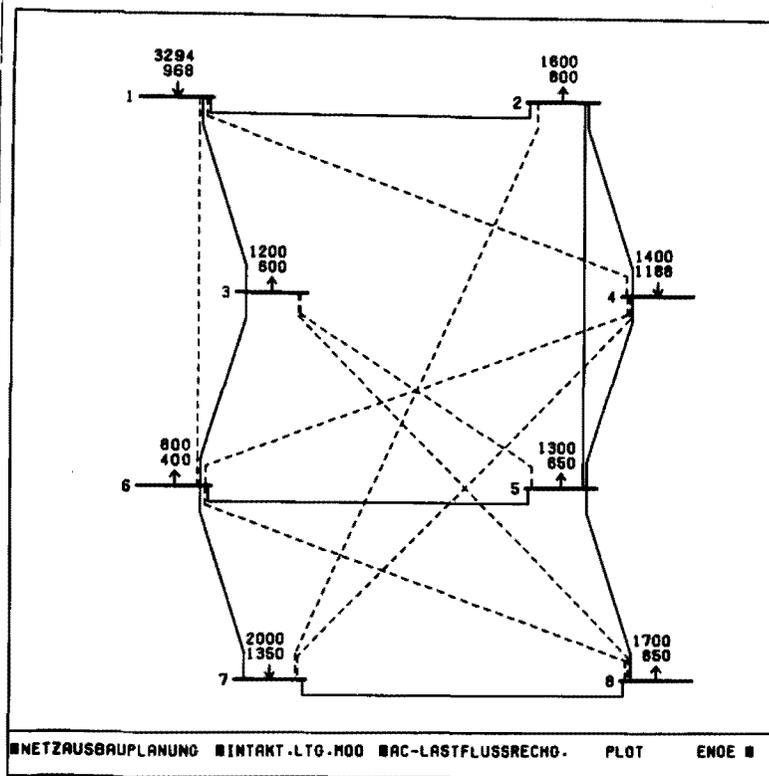


Bild 1 Ausgangszustand des Netzwerkes

- bestehende (alte) Trassen
- - - alternative Trassen
- ↓ Einspeisungsknoten, oberer Zahlenwert - Wirkleistung
(In Knoten 1 mit Leitungsverlusten nach AC-LFB)
unterer Zahlenwert - Blindleistung nach AC-LFB
- ↑ Lastknoten, oberer Zahlenwert - vorgegebene Wirklast,
unterer Zahlenwert - vorgegebene Blindlast

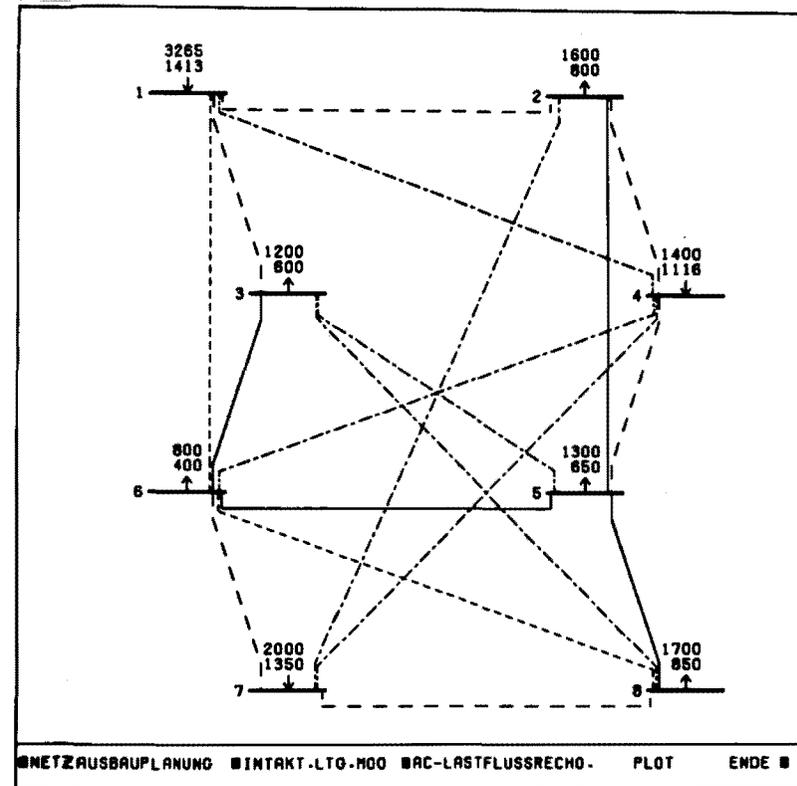


Bild 2 Netzzustand nach dem automatischen Teil der Planung

- bestehende (alte) Trassen
 - - - umzurüstende (alte) Trassen
 - - - auszubauende (neue) Trassen
 - herausgefallene alternative Trassen
- Erläuterung der Knotendaten wie zu Bild 1

3.2.2 Langzeitstabilität elektrischer Energieversorgungssysteme

Mit stets größer werdenden Blockleistungen der Kraftwerke nimmt die Notwendigkeit zu, das dynamische Netzverhalten nach Ausfall großer Einspeisungen vorhersagen zu können. Durch den Einsatz von Prozeßrechnern wird die Anwendung der Systemtechnik insbesondere mit dem Ziel, derartige Not-situationen beherrschen zu können, ermöglicht. Sowohl für die Simulation als auch die Entwicklung neuer Führungskonzepte ist eine Modellierung und Parameteridentifikation für das elektrische Energieversorgungssystem unerlässlich.

Die Zeitkonstanten der hier interessierenden dynamischen Vorgänge nach Großstörungen liegen im Sekunden-Minutenbereich. Dieser wird durch den Bereich der sog. transienten Stabilität (Millisekunden-Sekunden) und der kurz- bis langfristigen Einsatzoptimierung (Minuten-Stunden) eingegrenzt.

Um dynamische Vorgänge des genannten mittleren Zeitbereichs ermitteln zu können, wurde im Rahmen eines Netzversuches eine Störung durch Wegschalten einer elektrischen Einspeisung in ein Inselnetz simuliert. Nachdem eine geeignete Modellstruktur angesetzt wurde, konnten die Parameter des Modells zur Beschreibung der Vorgänge identifiziert werden. Bekannte physikalische Zusammenhänge und Daten wurden während der Identifikation in Form von Nebenbedingungen berücksichtigt. Als Beispiel sei hier der Prozeß von Turbinen-Drehzahlregelung aufgeführt. Bild 1 zeigt die der Identifikation zugrunde liegende Modellstruktur.

Es wurde gezeigt, daß die Schwungmassen aller am Netz befindlichen Generatoren zusammen mit einem physikalisch hergeleiteten Verbrauchermodell in einem Block zusammengefaßt werden können. Dieser gibt den Zusammenhang zwischen der Leistungsbilanz und der Drehzahl wieder und weist näherungsweise integrales Verhalten auf. Zur Identifikation

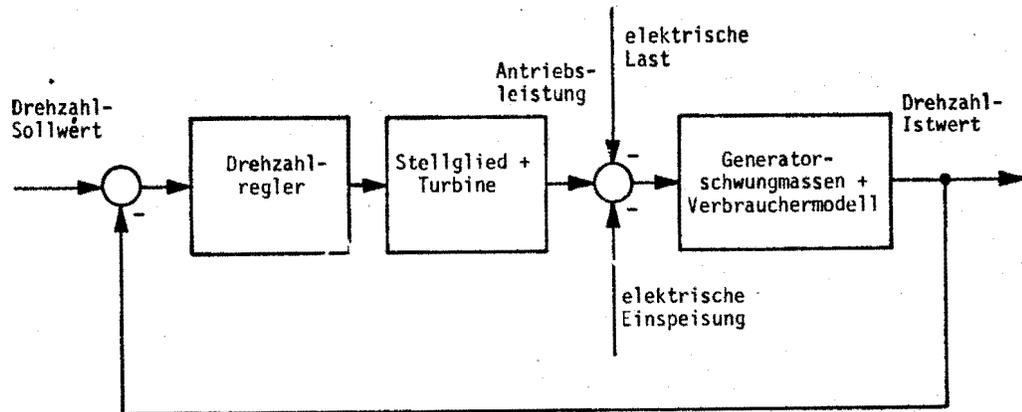


Bild 1: Blockstruktur des Prozesses Turbine-Drehzahlregelung

wurde der gemessene Zeitverlauf des Drehzahlwertes einer Fouriertransformation unterworfen, um die anschließenden Schritte im Frequenzbereich durchführen zu können. Unter Berücksichtigung bekannter Systemeigenschaften- und Größen wurden unter Einsatz eines Rechenprogrammes zur nichtlinearen Anpassung von Meßdaten nach der Methode der kleinsten Quadrate die Übertragungsfunktionen folgender Teilmodelle ermittelt:

Drehzahlregler: $G_1(s) = 0.22$

Ventil + Turbine: $G_2(s) = \frac{1}{(1+1.3s)(1+3.3s)}$

Generatorschwungmassen + Verbrauchermodell: $G_3(s) = \frac{1}{0.23s + 0.00024}$

Der Drehzahlregler hat also einen Verstärkungsfaktor von 0.22 MW/mHz. Die Ventilverstellung ist zusammen mit der Turbine ein Verzögerungsglied 2.ter Ordnung mit den Zeitkonstante 1.3 sec und 3.3 sec., wobei die größere Zeitkonstante durch die Speicherwirkung der Turbine hervorgerufen wird. Die Übertragungsfunktion $G_3(s)$ beinhaltet im wesentlichen alle am Netz befindlichen und synchron zur Netzfrequenz rotierenden Schwungmassen. Bild 2 zeigt den Vergleich der gemessenen und mittels des gefundenen Modells berechneten Drehzahlverlaufs.

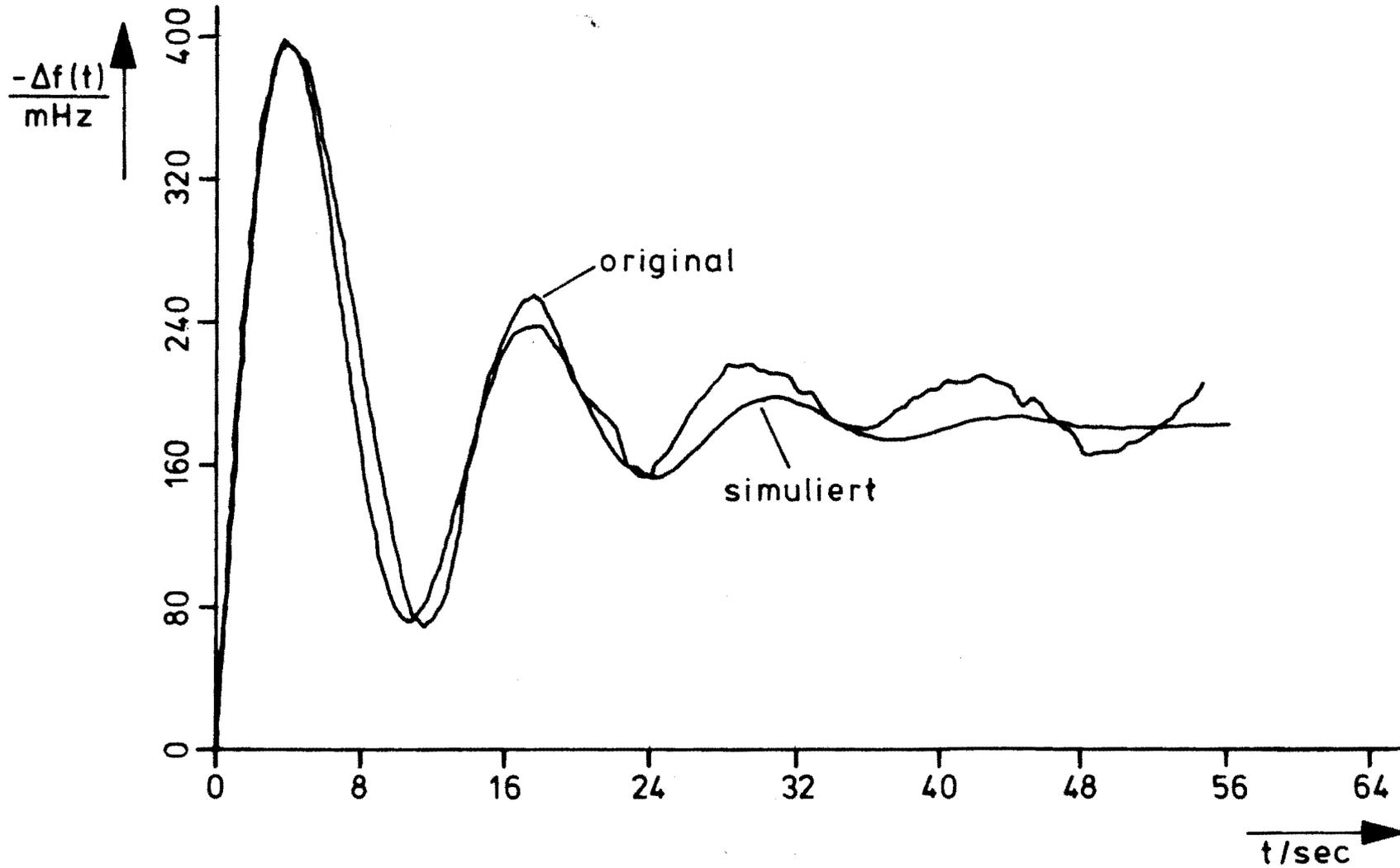


Bild 2: Vergleich des Frequenzverlaufs aus Messung und Simulation

Weiterhin wurden dynamische Vorgänge von Prozeßgrößen des Kraftwerkes und im Netz wie Kesseldruck und Wirkleistung auf einer Hochspannungsleitung ausgewertet. Mit Hilfe der Modelle kann das Systemverhalten nach Großstörungen gut nachgebildet werden, obwohl die Einfachheit und niedrige Ordnung der Modelle im Gegensatz zu den komplizierten physikalischen Beziehungen der Größen untereinander steht.

E. Grebe

3.2.3 Digitale Kraftwerksregelung

Mit stets größer werdender Blockleistung spielt die Frage nach der notwendigen Reservebereitstellung eine immer größer werdende Rolle. Von der Seite der Netzführung wird angestrebt, das Leistungsgleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch - insbesondere nach einem Blockausfall - rasch wiederherstellen zu können. Diesem steht die Forderung des Kraftwerksbetriebes entgegen, eine möglichst schonende Fahrweise mit geringer Laständerungsgeschwindigkeit zu realisieren, so daß stets ein quasistationärer Gleichgewichtszustand eingehalten wird.

Der quasistationäre Betrieb läßt sich mit den vorhandenen Reglern gut beherrschen, weniger jedoch das dynamische Übergangsverhalten von Prozeßgrößen. Dies ist dadurch zu erklären, daß die Einstellungen der Regler vorwiegend aufgrund stationärer Betrachtungen ermittelt werden, und anschließend auf empirische Weise "optimiert" werden. Im Jahresbericht des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung von 1978 wurde auf den Entwurf von analogen Reglern hingewiesen, der in systematischer Weise die Beeinflussung des dynamischen Übergangsverhaltens der Prozeßgrößen ermöglicht, um der Forderung der Netzführung nach einer höheren Laständerungsgeschwindigkeit nachzukommen.

Mit dem Einsatz von Prozeßrechnern in Kraftwerksleitstellen bietet sich die Verwendung digitaler Regler mit weitaus höherer Flexibilität hinsichtlich deren Struktur und Parameter an. Für den Entwurf der dazu notwendigen digitalen Regelalgorithmen wurde ein besonders leicht zu handhabendes Syntheseverfahren entwickelt. Es handelt sich dabei um eine indirekte Methode, die Forderungen an das Zeitverhalten durch Bedingungen im Bildbereich ersetzt.

Bild 1 zeigt als Simulationsergebnis an einem Modell eines thermischen Kraftwerkes den Vergleich zwischen einer herkömmlichen analogen Regelung und einer nach diesem Verfahren entworfenen digitalen Regelung jeweils nach einer sprung-

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

Auch im vergangenen Berichtsjahr hat das Drehstrom-Netzmodell neben dem Einsatz für Praktikum, Studien- und Diplomarbeiten wichtige Funktionen bei der Durchführung von Forschungsarbeiten erfüllt. Zunächst konnten die Arbeiten zum Thema on-line Netzregelung, insbesondere Frequenz-Leistungsregelung, erfolgreich weitergeführt werden. Die gefundene Lösung zeigt gegenüber den bisherigen Ergebnissen wesentlich bessere Systemeigenschaften. Im Gegensatz zur Frequenzregelung muß die Spannungsregelung nicht in sehr engen Grenzen erfolgen. Wegen der Komplexität von Ursache und Wirkung wurde im Hinblick auf eine mögliche, zentrale Spannungsregelung zunächst eine Untersuchung mit dem Ziel durchgeführt, festzustellen, wo mit welchen Betriebsmitteln und in welchem zeitlichen Rahmen heute die Spannungs-Blindleistungsregelung durchgeführt wird. Auf dieser Arbeit aufbauend wird das Problem der on-line Spannungsregelung unter Berücksichtigung zahlreicher Gütekriterien entwickelt und mit den bisherigen Verfahren verglichen.

3.3.1 Drehstrom-Netzmodell

Zur praktischen Erprobung des rechnergesteuerten Echtzeitbetriebes in Energieversorgungssystemen steht das lehrstuhleigene prozeßrechnergeführte Drehstrom-Netzmodell (s. Jahresbericht 1978) zur Verfügung.

In diesem Jahr wurde das Modell hauptsächlich softwaremäßig ausgebaut. Es wurden zwei Echtzeitbetriebssysteme installiert. Das RSX 11M Multiuser-System der Firma Digital und das PEARL-Operating-System (POS) der Firma BBC. Während das RSX 11M System hauptsächlich Realtime FORTRAN Rechnerprogramme unterstützt, ist das POS-System ausschließlich für PEARL-Programme vorgesehen. Da die Echtzeit-Programmiersprache PEARL immer mehr Verbreitung findet, wird der größte Teil der Echtzeitaufgaben mit dieser Sprache gelöst. Es wurden Programme zur Erfassung sämtlicher Modellgrößen wie z.B. Schalterstellungen, Leistungsflüsse, Spannungen, Drehzahl der Maschinen, Erregerströme usw. erstellt. Diese Daten können auf Bildschirmen dargestellt oder auf Massenspeicher abgespeichert werden. Die dazu notwendige Prozeß- und Standardperipherie ist im Bild dargestellt. Zur Zeit sind Echtzeitprogramme für die digitale Frequenz-Leistungsregelung und Estimation in Vorbereitung.

Das Anfahren und Synchronisieren der Kraftwerke wird nur vom Prozeßrechner initialisiert. Für diese Vorgänge ist ein eigener Mikroprozessor vorgesehen, der autonom Spannung, Phasenlage und Drehzahl der Generatoren korrigiert und bei Übereinstimmung mit den Netzgrößen den Kraftwerksblock zuschaltet.

W. Horenkamp

J. Voß

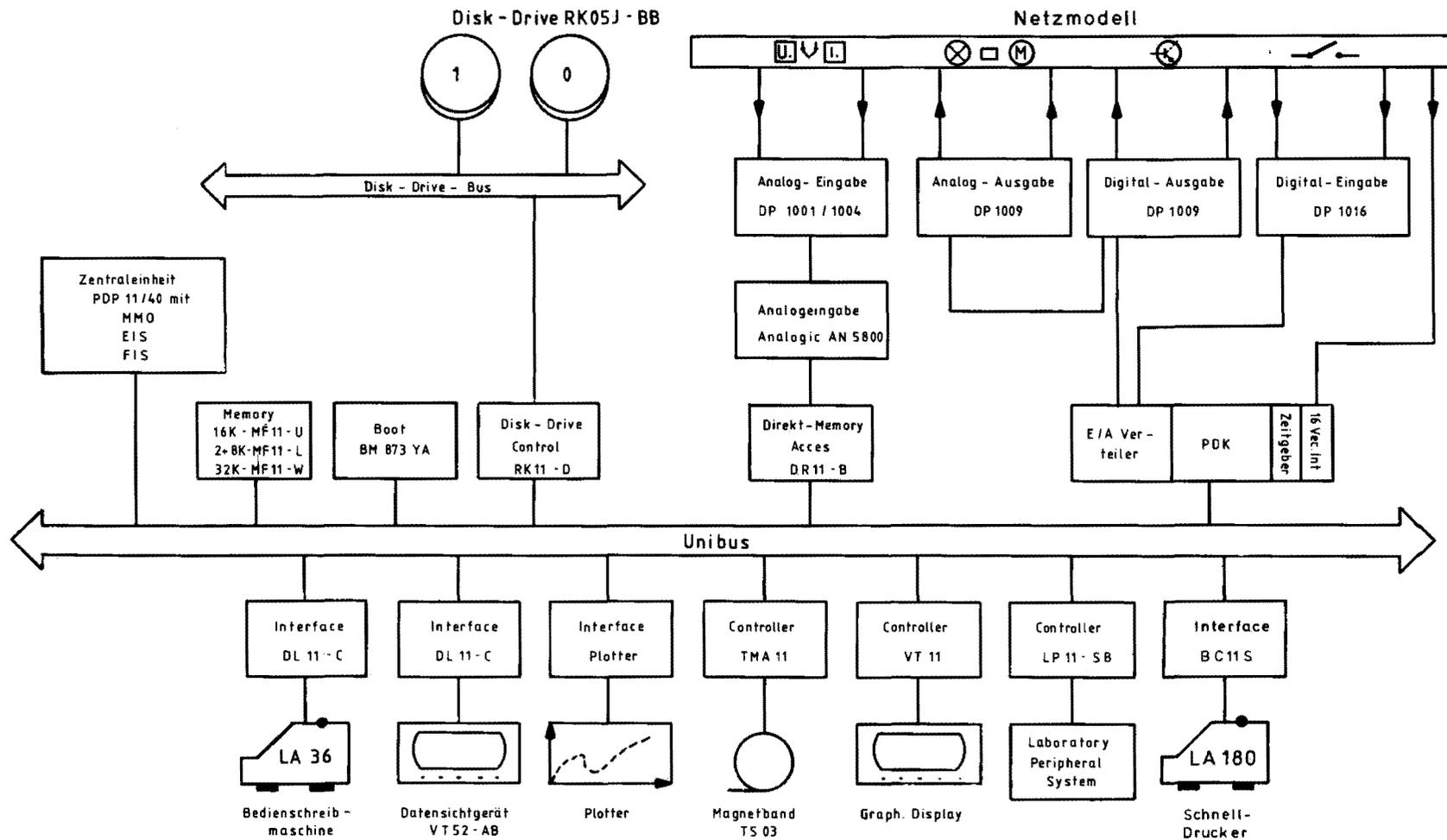


Bild: Konfiguration des Netzmodell-Prozeßrechnersystems

3.3.2 Digitale Frequenz- und Leistungsregelung an einem Drehstromnetzmodell

Im Jahresbericht des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung von 1978 wurde auf ein Verfahren zur Synthese digitaler Regelkonzepte im sogenannten "Pseudo-Frequenzbereich" hingewiesen. Ferner wurde von der Nachbildung des Dampfturbinenverhaltens an einem Drehstromnetzmodell mittels speziell geregelter Gleichstrommotoren berichtet. Mit diesen Voraussetzungen konnte eine digitale Frequenz- sowie Leistungsregelung (on line, closed loop) realisiert werden.

Während die Frequenzregelung für den reinen Inselbetrieb notwendig ist, wird beim Zusammenschalten mehrerer Netzgruppen die Regelung der Übergabeleistung erforderlich. Am Netzmodell wurde ein Netzbezirk gemäß Bild 1 aufgebaut, der aus einer Last und dem durch die Dampfturbine angetriebenen Generator besteht und mit einem starren Netz verbunden ist.

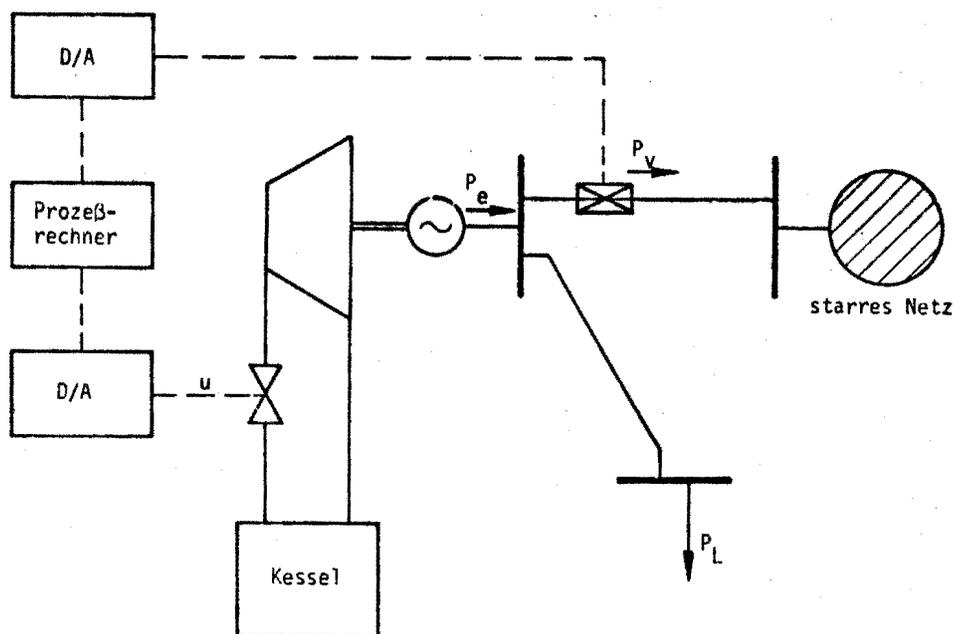


Bild 1: Digitale Regelung der Verbundleistung

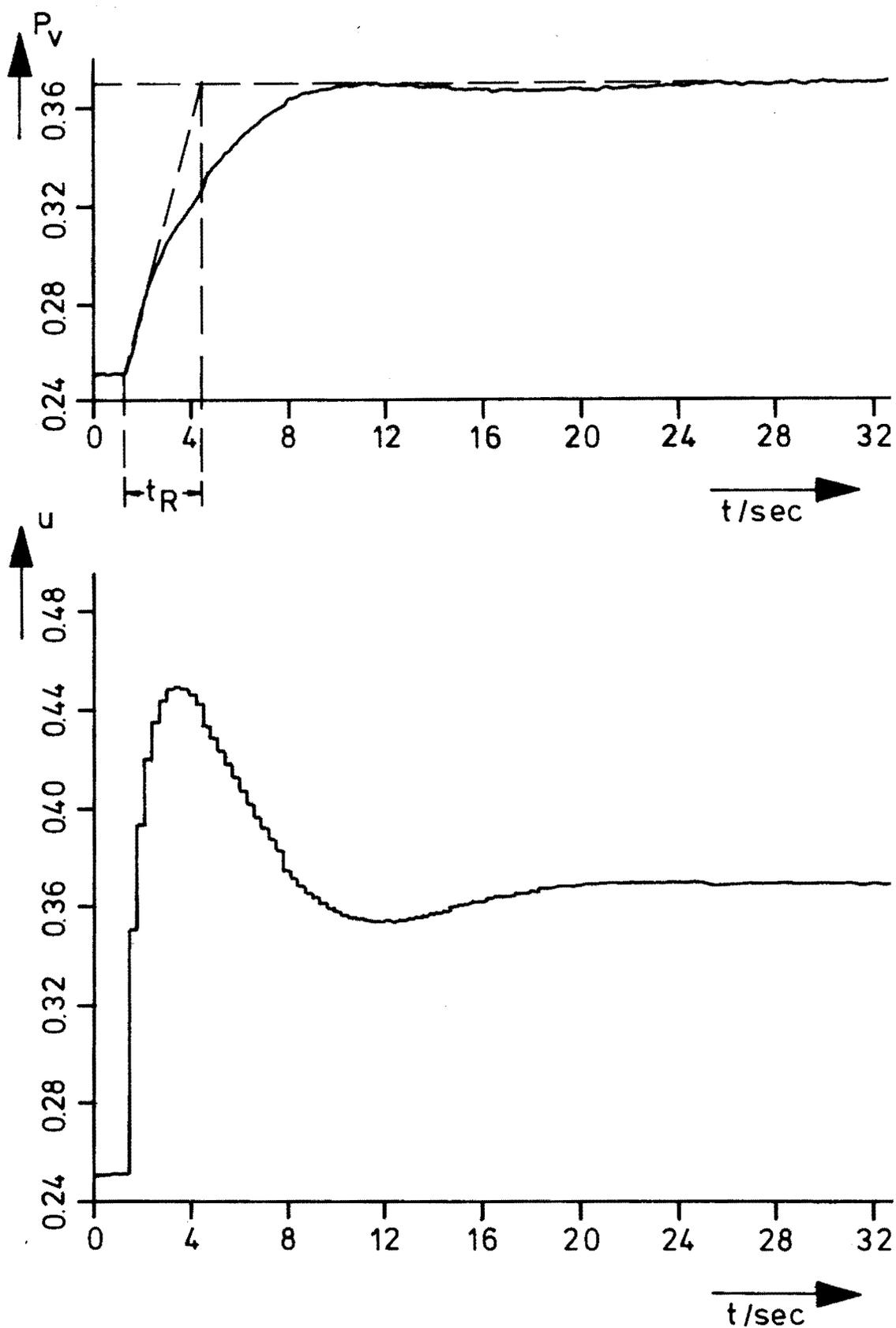


Bild 2: Übergabeleistung und Stellsignale nach sprungförmiger Änderung des Übergabesollwertes

Ziel der Regelung ist, die Verbundleistung P_v im stationären Betrieb auf dem vorgegebenen Wert P_{vsoll} zu halten. Die erzeugte Leistung P_e ist also den Änderungen der Last P_L bzw. dem Übergabesollwert P_{vsoll} entsprechend nachzuführen, wobei ein träges Übergangsverhalten, das den Dampfkreislauf des Kraftwerks schont, durchaus erwünschenswert und auch vertretbar ist. Derart betrieblich notwendige Randbedingungen können berücksichtigt werden, da das zur Anwendung kommende Entwurfsverfahren für zeitdiskret arbeitende Regelalgorithmen die Einhaltung von Forderungen an das Übergangsverhalten der Regelgrößen ermöglicht.

Bild 2 zeigt das Ergebnis der Regelung anhand des Verlaufs der Übergabeleistung P_v nach einer sprungförmigen Änderung des Übergabesollwertes P_{vsoll} und konstanter Last P_L . Die vorgegebene Anstiegszeit von $t_R = 3.5$ sec ist auf die zulässige Beanspruchbarkeit der Turbine abgestimmt. Um ein möglichst gutes Dämpfungsverhalten zu erreichen, wurde kein Überschwingen zugelassen. Diese Forderungen wurden in der Praxis genau eingehalten. Durch geeignete Maßnahmen bei der Reglersynthese konnte sogar erreicht werden, daß sich diese dynamischen Eigenschaften bei Variationen der Turbinenzeitkonstanten um mehr als 100 % nicht wesentlich ändern.

E. Grebe

Th. Reißing

3.3.3 Spannungsregelung in elektrischen Energieversorgungs- systemen

Spannungsregelung in Energieversorgungssystemen ist nicht zuletzt ein gerätetechnisches Problem. Betrachtet man nur die Spannungshaltung oder Blindleistungsverteilung in den verschiedenen Spannungsebenen, dann läßt sich eine zentrale Spannungsführung ohne weiteres mit herkömmlichen Stelleinrichtungen (Stufung von Transformatoren) durchführen. Einschwingvorgänge brauchen hierbei nicht betrachtet zu werden. Es werden daher keine hohen Anforderungen an die Stellgeschwindigkeit der Stelleinrichtungen gestellt. Ganz andere Verhältnisse liegen vor, wenn Leistungspendelungen mit Hilfe von Spannungsregeleinrichtungen gedämpft werden sollen. Hier bietet sich der Erregerstromregelkreis als Eingriffsmöglichkeit an. Thyristor-gesteuerte Kapazitäten sind eine weitere Möglichkeit, diese transienten Vorgänge zu beherrschen.

Um einen Überblick über vorhandene bzw. geplante Spannungseinstelleinrichtungen zu gewinnen, wurde bei einem Energieversorgungsunternehmen eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Diese Bestandsaufnahme erfaßte Kriterien wie: Spannungsebenen, Gerätetypen, Eingriffsmöglichkeiten, zeitliches Verhalten, Einstellmöglichkeiten usw. Ebenfalls werden typische Störungen, die zu Spannungseinbrüchen bzw. Leistungspendelungen führen, erfaßt, analysiert und auf einem Digitalrechner simuliert. Diese Untersuchungen dienen dazu, das Konzept der zentralen Spannungsregelung weiter auszubauen.

J. Voß

3.3.4 Einsatz neuer digitaler Regelkonzepte für die zentrale Führung elektrischer Energieversorgungsunternehmen (MWF-Forschungsauftrag)

Die zentrale Spannungs- bzw. äquivalente Blindleistungsregelung erhält bei den gegenwärtigen Betriebsproblemen mehr und mehr Bedeutung. Nur durch die Auswertung immer größerer Datenmengen ist bei größer werdenden Netzen der gesamte Netzzustand analysierbar, und nur der Prozeßrechner kann -insbesondere bei Störfällen- in geeignet kurzer Zeit die Entscheidungshilfen liefern, mit denen das Netz in einen normalen Betriebszustand zurückgeführt werden kann. Dabei ist der Normalzustand dadurch gekennzeichnet, daß die Versorgungsqualität in Bezug auf konstante Spannung gesichert ist und gleichzeitig alle Betriebsmittel im Hinblick auf Vermeidung kaskadenförmiger Ausfälle möglichst weit unterhalb der Überlastungsgrenze eingesetzt werden.

Für die Spannungsregelung müssen die recht zahlreichen Stellvorrichtungen, mit denen das Spannungsprofil beeinflussbar ist, wie Erregungsregelung der Generatoren, Stufung von Blocktransformatoren, Stufung von Netzkuppeltransformatoren und Kompensationseinrichtungen zur Einhaltung des Normalzustandes aufeinander abgestimmt werden.

Wie Untersuchungen gezeigt haben, bereitet die Synthese von Reglern zur Spannungsregelung keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, solange die Netztopologie konstant ist. Fehlerfälle, die nur den Ausfall von Übertragungsleitungen oder Kuppeltransformatoren zur Folge haben, sind prinzipiell durch adaptive Anpassung des Reglers an die Netztopologie regelungstechnisch beherrschbar, wenn als Normalzustand das Minimum der Spannungsabweichungen der Knotenspannungen \underline{U}_{ist} von vorgegebenen Sollwerten \underline{U}_{soll} gemäß der Norm:

$$||\underline{U}_{soll} - \underline{U}_{ist}|| \stackrel{!}{=} \text{Minimum}$$

gefordert wird (Bild 1).

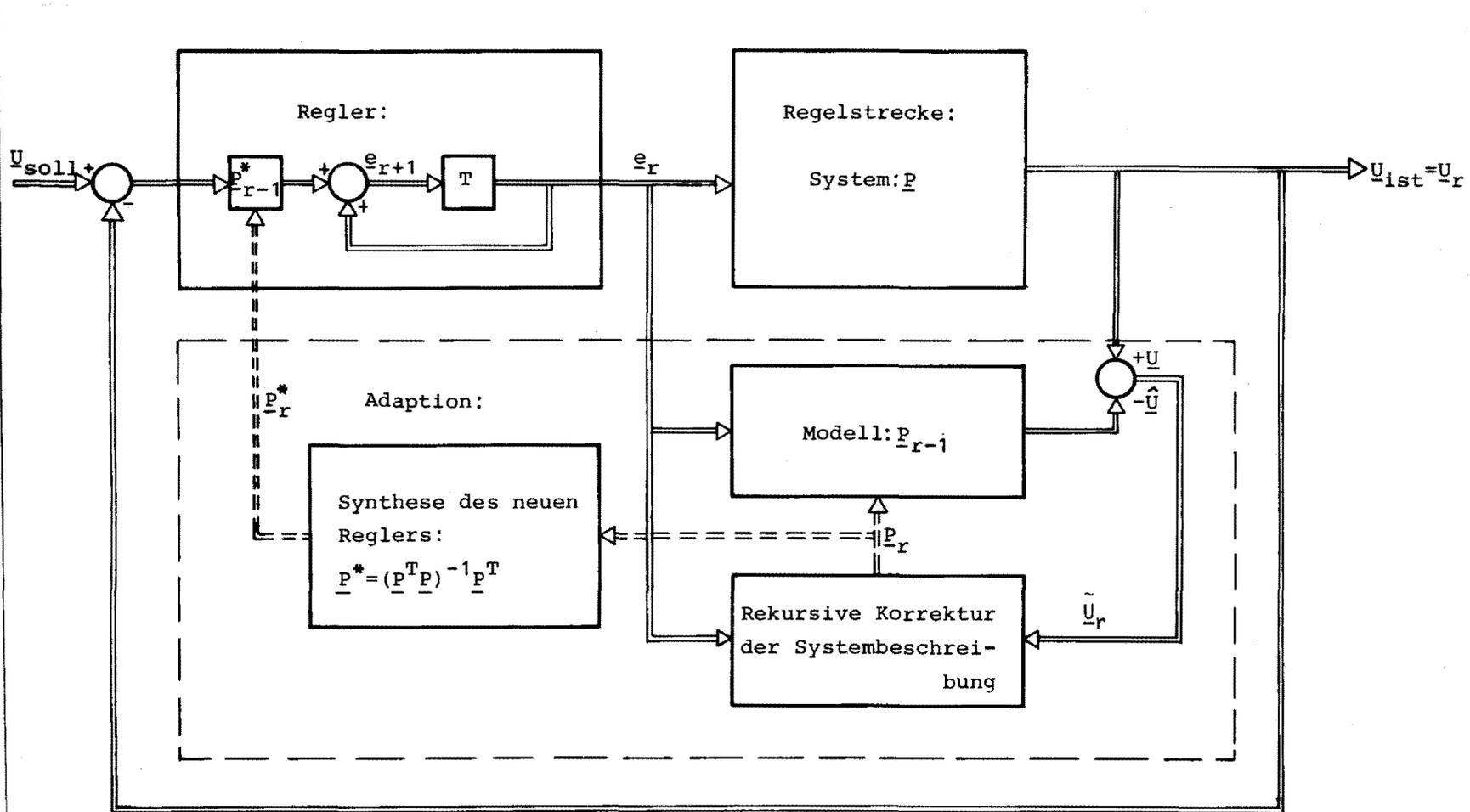


Bild 1: Digitaler Regelkreis mit Adaption des Reglers an die Regelstrecke

Die oben verwendete Zielfunktion ist zur Beschreibung des Normalzustandes der Blindleistungsaufteilung für eine globale Netzbetrachtung noch höchst unbefriedigend, weil weder Randbedingungen wie Blindleistungsgrenzen bei den Einspeisungen beachtet werden, noch Rücksicht auf verbleibende Freiheitsgrade genommen wird, die es ermöglichen, nicht nur geringe Spannungsabweichungen zu erzielen, sondern auch andere Forderungen wie:

- minimale Blindleistungsflüsse im System im Hinblick auf die Dimensionierung der Betriebsmittel
- optimale Blindleistungsaufteilung auf die Generatoren
- verlustminimaler Netzbetrieb
- maximale Stabilität

zu berücksichtigen.

Zur Zeit wird ein Programm erstellt, mit dem der Einfluß des Spannungsprofils bzw. der Stellgrößen auf die verschiedenen Kriterien untersucht wird, so daß für ein größeres Netz entschieden werden kann, welche Kriterien bei der Formulierung von Zielfunktionen zur Spannungsregelung zu besonders sinnvollen Betriebszuständen führen, und deshalb Berücksichtigung finden sollten.

H.H. Graf

4. VORTRÄGE

4.1 Beiträge für das Kolloquium

6. Februar 1979 P. Grafoner,
"Simulationsmethoden für die Systemana-
lyse in der elektrischen Ergieversorgung"
27. April 1979 Professor Dr. Rumpel,
Gesamthochschule Duisburg,
"Netzleittechnik und Datenstrukturierung"
22. Oktober 1979 C. Bongers,
"Optimale Meßsysteme für die zuverlässi-
ge Überwachung elektrischer Energieüber-
tragungsnetze"
14. Dezember 1979 Dipl.-Ing. H.P. van Meeteren,
Technische Hochschule Delft,
"Übergeordnete Spannungs-Blindleistungs-
regelung, insbesondere der Sekundär-
regelung"

4.2 Externe Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

22. Februar 1979 C. Bongers,
"Optimale Meßgeräteplazierung für eine
zuverlässige Estimation des Netzbetriebs-
zustandes". IBM Seminar über "Rechner-
gestützte Ausbauplanung elektroenergie-
tischer Systeme", Wien
11. Mai 1979 E. Handschin / E. Grebe,
"Dynamisches Langzeitverhalten von elek-
trischen Energieversorgungssystemen".
Vortrag bei VEW-Hauptverwaltung,
Dortmund

17. Mai 1979 E. Handschin,
"Emergency State Control for Power Station Operating Using Process Computer, PICA, Cleveland
19. Juni 1979 E. Handschin,
Management decision simulation for electric utilities". International Association of Science and Technology for Development (IASTED); Symposium über Modelling, Planning and Decision in Energy Systems, Montreux
21. Juni 1979 J. Voß,
"Simulation of the dynamic behaviour of large steam turbines". International Association of Science and Technology for Development (IASTED); Symposium über Modelling, Planning and Decision in Energy Systems, Montreux
7. Juni 1979 G. Howe,
"Reactive Power Flow Optimization for Reliable and Economical Power Systems Operating Control", Third International Conference on Automatic Control and Protection of Electric Power Systems, Gliwice
19. Sept. 1979 E. Handschin,
"Langzeitstabilität elektrischer Energieversorgungssysteme", Bernische Kraftwerke AG, Bern
20. Sept. 1979 E. Handschin,
"Rechnerorientierte Netzausbauplanung". Informationstagung über Computereinsatz in der Energiewirtschaft, Dättwil, Schweiz

5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN

- 14.11.- C. Bongers,
31.12.1979 Aufenthalt am Forschungszentrum CEPTEL der
Eletrobras, Rio de Janeiro, Brasilien
- 19.12.1978 E. Grebe, J. Voß,
Teilnahme an einem Kolloquium der FGE über
Frequenzleistungsregelung, RWTH Aachen
- 19.-20.2.1979 J. Voß,
Teilnahme am Aussprachetag "Nichtlineare
Regelungssysteme" der VDI/VDE Gesellschaft,
Meß- und Regelungstechnik (GMR), Frankfurt
- 27.-28.3.1979 J. Voß,
Teilnahme am Prozeßrechner-Aussprachetag
PRAT 1979 der VDI/VDE Gesellschaft Meß-
und Regelungstechnik (GMR), Dortmund
- 29.3.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der 14. Sitzung des Arbeits-
kreises "Technisches Rechnen" der FGH,
Mannheim
- 30.3.1979 W. Horenkamp,
Besuch der didacta, Düsseldorf
- 23.4.1979 W. Horenkamp,
Besuch der Hannover-Messe
- 26.4.1979 E. Handschin und Mitarbeiter,
Besuch des Fachkreises des Steinkohlebergbau-
vereins "Elektrotechnik unter Tage";
am Lehrstuhl für elektrische Energiever-
sorgung, Universität Dortmund
- 12.5.1979 Tag der offenen Tür aus Anlaß der 10-Jahres-
feier der Universität Dortmund

- 14.-22.5.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der 11. PICA Konferenz in
Cleveland, USA
- 7.-8.6.1979 G. Howe,
Teilnahme an der Konferenz "Automatic Control
and Protection of Electric Power Systems,
Gliwice, Polen
- 7.-8.6.1979 G. Howe,
Besuch des Instituts für Energie- und Re-
gelungstechnik der Technischen Universität
Gliwice, Polen
- 9.6.1979 G. Howe,
Besuch der Abteilung Elektrotechnik der
Technischen Universität Warschau
- 19.-21.6.1979 E. Handschin, J. Voß,
Teilnahme am Internationalen Symposium über
"Modelling, Planning and Decision in Energy
Systems" der IASTED in Montreux, Schweiz
- 25.6.1979 E. Handschin und Mitarbeiter,
Aussprachetag über aktuelle Forschungsar-
beiten mit Herrn Prof. Dr. Edwin, RWTH Aachen
und Mitarbeitern am Lehrstuhl für elektrische
Energieversorgung, Universität Dortmund
- 6.7.1979 E. Handschin und Mitarbeiter,
Aussprachetag über aktuelle Forschungsarbei-
ten mit Herrn Prof. Dr. Edwin an seinem
Institut an der RWTH Aachen
- 12.7.1979 E. Handschin, J. Voß,
Besprechung mit Herrn Dr. Zimmermann über
Kraftwerksautomatisierung mit DDC,
BBC Mannheim

- 6.9.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der Sitzung des DAK des CIGRE-
Studienkomitees SC-32, Duisburg
- 16.-28.9.1979 W. Horenkamp,
Teilnahme an einem Lehrgang über Macro-11
Assembler-Programmierung, Digital Equipment,
München
- 18.9.1979 E. Grebe, J. Voß,
Besprechung mit Herrn Wilhelm über Kraftwerks-
automatisierung, BBC Mannheim
- 20.-21.9.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der SVOR-Tagung "Computereinsatz
in der Energiewirtschaft", Dättwil, Schweiz
- 24.-29.9.1979 J. Voß,
Teilnahme an einem Kurs "RSX11M Betriebs-
system für FORTRAN Benutzer", Digital Equip-
ment, München
- 1.-5.10.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der Engineering Foundation Con-
ference "Systems Engineering for Power".
US/European Workshop, Davos, Schweiz
- 24.10.1979 W. Horenkamp, K-D. Tesch,
Kolloquium über den Einsatz von programmier-
baren Steuerungen in der Industrie,
Fachhochschule Dortmund
- 25.10.1979 W. Horenkamp, K-D. Tesch,
Besuch der Elektrotechnik-Messe, Dortmund
- 7.11.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der 15. Sitzung des Arbeits-
kreises "Technisches Rechnen" der FGH,
Darmstadt

- 14.11.1979 E. Handschin,
Teilnahme an der Sitzung des DAK des CIGRE
Studienkomitees SC-32, Frankfurt
- 19.11.1979 E. Handschin,
Besuch bei der Calor Emag AG, Ratingen
- 19.11.1979 J. Voß,
Teilnahme am "Regelungstechnischen Kolloquium"
aus Anlaß des 50. Geburtstags von Professor
G. Schneider, Technische Universität Graz,
Östereich
- 20.11.1979 J. Voß,
Besprechung mit Herrn Professor Hönninger
über Rechenmethoden für Erschlußerfassung,
Steirische Wasserkraft/ und Elektrizitäts-
AG, Graz, Östereich
- 21.11.-8.12.
1979 E. Handschin,
Aufenthalt am Forschungszentrum CEPTEL der
Eletrobras, Rio de Janeiro, Brasilien

6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE

6.1 Veröffentlichungen

E. Grebe, J. Voß: "Entwurf von Abtastregelkreisen mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen", Regelungstechnik (27), Heft 6, 1979

Für mehrschleifige Abtastregelkreise mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen wird ein Verfahren zur Bestimmung von Ersatzübertragungsfunktionen beschrieben. Mit Hilfe dieser Übertragungsfunktion ist ein Reglerentwurf in bekannter Weise wie für Systeme mit einer Abtastfrequenz möglich.

E. Grebe, E. Handschin, J. Voß: "Emergency State Control for Power Station Operating Using Process Computer", Proceedings of the PICA Conference, Cleveland, Mai 1979

Emergency state control is an important research topic which presently receives a lot of attention. For this operating condition the design of a digital power station control is discussed in this paper for a specific model using pseudo-frequency domain analysis. In this manner it is possible to derive DDC units for each control loop such that prespecified step responses of the process variables are obtained. Furthermore it is possible to guarantee that the admissible rates of change are fully exploited without exceeding them. Using interactive computing methods in the pseudo-frequency domain results in digital control structures which widely differ from the present ones. Since the numerical implementation is straight forward it seems realistic that the improved power reserve and stability behaviour may substantially contribute towards emergency state control.

E. Handschin, J. Voß: "Netz- und Kraftwerksautomatisierung", Regelungstechnische Praxis (21), Heft 10 und 11, 1979

Der Automatisierung von elektrischen Energieversorgungssystemen stellen sich - im Gegensatz zu verfahrenstechnischen Prozessen - die außerordentlich umfangreiche Konfi-

guration und die geographische Ausdehnung dieser Systeme entgegen. Daraus resultieren Probleme, deren Lösung in den letzten Jahren aufgrund einiger Großstörungen mit aller Macht vorangetrieben wurde. Aus der Vielfalt der Aufgabenstellungen werden hier die wichtigsten Aspekte der zentralen und dezentralen Netz- und Kraftwerksführung aufgezeigt.

J.Voß: "Simulation of the Dynamic Behaviour of Large Steam Turbines", Proceedings of the International Symposium "Modelling, Planning and Decision in Energy Systems", Montreux, Switzerland, June 1979

In this paper a method is presented to generate a true scale mechanical and electrical hardware model of a power system. The problem, consisting in a distortion of the dynamic behaviour due to the scale reduction of spacial dimensions, transmission lines, currents, and voltages, is discussed and a model, using a dc motor, is obtained which takes all modelling difficulties of steam turbines into account. Through electronic circuitry the properties of a steam turbine are imposed on the dc motor. Two possibilities for this imposition are discussed and the performance of the model is demonstrated through test results.

F. Steiger, E. Handschin, J. Voß: "Management Decision Simulation for Electric Utilities", Proceedings of the International Symposium "Modelling, Planning and Decision in Energy Systems", Montreux, Switzerland, June 1979

Management decisions in electric utilities have to be taken in view of economical and technical constraints. In particular the decisions concerning the operation of existing and the construction of new nuclear power stations require the study of very long range planning problems. This paper describes a management game which takes this aspect into consideration.

E. Handschin, G. Howe: "Blindleistungsoptimierung für eine sichere und wirtschaftliche Netzführung", Proceedings of the Third International Conference on Automatic Control and Protection of Electric Power Systems, Vol. IV, Gliwice, Polen, 1979

Neben der Wirkleistungsoptimierung ist besonders in Schwachlastzeiten oder nach Auftreten von Störungen eine optimale Einstellung der Blindleistungseinspeisungen für einen sicheren Netzbetrieb von besonderer Bedeutung. Es wird ein Verfahren vorgestellt zur Bestimmung optimaler Blindleistungseinspeisungen zur Minimierung der blindleistungsabhängigen Netzverluste und Einhaltung vorgegebener Spannungsgrenzen. Dabei wird davon ausgegangen, daß zur Vermeidung der Gefährdung der statischen Stabilität die Blindleistungsgrenzen nicht als konstante, sondern von der Wirkleistung abhängige Grenzwerte berücksichtigt werden.

D. Braess, E. Grebe: "A Numerical Analysis of Load-Flow Calculation Methods", Proceedings of the IEEE Winter Power Meeting, New York 1979

An analysis of numerical procedures for treating load-flow problems is performed. It is shown that the Newton-(Raphson) method and a Z-matrix method yield the unique solution provided that a characteristic number λ of the network is not larger than 0.25. The number λ corresponds to the losses. We form an a priori estimate for the number of iterations which are sufficient to achieve a prescribed accuracy of the numerical solution. Modifications of the Newton method for treating networks with larger losses are given.

N. Aschöwer, E. Handschin: "Rechnerorientierte Netzausbauplanung", Berichte zur Informationstagung über Computereinsatz in der Energiewirtschaft, SVOR, SEV, SGA, Zürich, September 1979

Die langfristige Netzausbauplanung von Energieübertragungssystemen wird mit einem zweistufigen, rechnerorientierten Verfahren behandelt. Im ersten Schritt wird ein statisches Optimierungsproblem unter Beachtung der systemabhängigen

Randbedingungen gelöst. Bei der Aufstellung der Zielfunktion werden sowohl technische wie auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Der daraus resultierende Netzausbauvorschlag wird im zweiten Schritt mit interaktiven Analyseverfahren im Hinblick auf die praktische Realisierung modifiziert. Die Diskussion der Ergebnisse, die mit einem einfachen, aber illustrativen Beispiel erzielt worden sind, erlauben eine erste Beurteilung des Verfahrens.

E.Grebe, E. Handschin, H.J. Haubrich, G. Traeder:
"Dynamische Langzeitstabilität von Netzen", Elektrizitätswirtschaft, Jg. 1978, Heft 19, 1979

Der zunehmende Einsatz großer Kraftwerksblöcke veranlaßt die Untersuchung des dynamischen Langzeitverhaltens der Netze und der daraus abzuleitenden Anforderungen an das Regelverhalten der Blöcke. Einfache physikalische Modelle und charakteristische Systemkenngrößen ermöglichen grobe Abschätzungen. Genauere Ergebnisse liefert ein detailliertes mathematisches Modell des Systems Erzeugung-Übertragung-Verbrauch. Netzversuche bestätigen die gute Übereinstimmung zwischen realem und simuliertem Systemverhalten nach Blockausfällen.

E.Handschin, P. Grafoner, E. Grebe: "Contingency Analysis Using Dynamic Power System Simulation: Part 1", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 1, Number 2, 1979

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 disturbances. For illustration purpose 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 tielines do not withstand the power swings and hence open.

J.L.Marinho, P.A.Machado, C.Bongers: "On the Use of Line-Current Measurement for Reliable State Estimation in Electric Power Systems", Proceedings of PICA Conference, Cleveland, May 1979

Current measurement are available in any power system measuring scheme, but few of the estimators presently being implemented are designed to employ them. This paper discusses the extension of a WLS estimator to include current measurements. The modification of the estimation algorithm itself is simple enough. The work reported here investigates the influence of current measurements on observability, the performance of the algorithm, and bad data detection probability.

6.2 Forschungsberichte

H.H. Graf: "Spannungs- und Blindleistungsregelung in Energieversorgungssystemen, eine Analyse der gegenwärtigen Forschungsarbeiten", Interner Bericht, November 1979, EV 7930

Th. Reißing: "Parallelprozessoren, eine Übersicht", Interner Bericht, Dezember 1979, EV 7931

W. Horenkamp: "Ausführliche Beschreibung zum Drehstrom-Netzmodell", Interner Bericht, Dezember 1979, EV 7932

H.J. Haubrich, G. Traeder, E. Handschin, E. Grebe: "Langzeitstabilität von Netzen der elektrischen Energieversorgung: Mathematische Modelle und Netzversuche", Juni 1979

6.3 Diplomarbeiten

K.H. Grundhöfer: "Schnelle entkoppelte Lastflußberechnung für den Prozeßrechner", Diplomarbeit, Februar 1979, EV 7901

B.Lütke-Daldrup: "Computerorientierte Kurzzeitprognose des elektrischen Leitungsbedarfs, Diplomarbeit, November 1979, EV 7922

W. Neubauer: "Lastanalyse und Prozeßverfahren zur Bestimmung der Spitzenleistung bei industriellen Großverbrauchern", Diplomarbeit, Juli 1979, EV 7909

H.H. Graf: "Digitale Spannungsregelung in einem Energieversorgungsnetzmodell mit Hilfe eines Prozeßrechners, Diplomarbeit, Mai 1979, EV 7905

6.4 Studienarbeiten

N. Mannebach: "Lastflußstudien", Studienarbeit, Juli 1979, EV 7908

R. Schröder: "Dynamische Stabilitäts-Studien für Energieübertragungssysteme, Studienarbeit Dezember 1979, EV 7925

R. Woltemate: "Automatische Synchronisation eines Generators in einem Drehstromnetz mit Hilfe eines Prozeßrechners", Studienarbeit, März 1979, EV 7903

K. Homann: "Erfassung und Darstellung des Schaltzustands des Drehstromnetzmodells", Studienarbeit August 1979, EV 7911

G. Mark: "Rechnerunterstützte Auswertung gemessener Sprungantworten zur Modellidentifikation", Studienarbeit, September 1979, EV 7918

Th. Reißing: "Digitale Frequenz- und Leistungsregelung" Studienarbeit, März 1979, EV 7902

K.-F. Hopp: "Identifikation des Prozesses Turbine-Drehzahlregelung eines Dampfkraftwerkes", Studienarbeit, August 1979, EV 7910

H.D. Honselmann: "Entwurf einer Regelung für ein Dampfkraftwerk", Studienarbeit, Dezember 1979, EV 7926

U. Post: "Lösung von Prozeßrechneraufgaben in Energieversorgungssystemen mit Hilfe der Programmiersprache PEARL", Studienarbeit, August 1979, EV 7912

H.-J. Kothe: "Erfassung und Darstellung von Meßgrößen in Energieversorgungssystemen mit Hilfe eines Prozeßrechners", Studienarbeit, August 1979, EV 7913

B.Lütke-Daldrup: "Statische Analyse und Prognose des elektrischen Lastverhaltens anhand realer Daten", Studienarbeit, April 1979, EV 7904

7. PROMOTIONEN

Grafoner, Peter: "Simulationsmethoden für die Systemanalyse in der elektrischen Energieversorgung"

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

2. Gutachter: Prof.Dr.-Ing. H. Kiendl

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Februar 1979

Der Langzeitplanung elektrischer Energieversorgungssysteme kommt eine besondere Bedeutung im Gesamtbereich der elektrischen Energietechnik zu, insbesondere wenn man die mit dieser Planung verbundenen hohen Investitionskosten mit in Betracht zieht.

Teil 1 dieser Arbeit stellt daher ein Konzept für ein graphisches interaktives Simulations-System GISS vor, das den Planungsingenieur in die Lage versetzen soll, die an ihn gestellten Anforderungen gezielter, noch besser und in kürzerer Zeit erfüllen zu können. Die Strukturierung der Datenbank wird angegeben. Die Anforderungen an den Dialog zwischen Mensch und Maschine sind aufgeführt. Die notwendige Flexibilität der Datenmanipulation und Datendarstellung insbesondere im Hinblick auf die graphische Darstellung auf dem Bildschirm wird herausgearbeitet. Anhand von Beispielen wird die Variationsvielfalt und die Wirkungsweise von GISS anschaulich dargestellt.

Teil 2 der Arbeit befaßt sich mit der numerischen Lösung steifer Differentialgleichungssysteme, die bei der Untersuchung mittelfristiger dynamischer Vorgänge in elektrischen Netzen zu berechnen sind. Das verwendete Kraftwerks- und Netzmodell wird beschrieben und das zugehörige System steifer Differentialgleichungen abgeleitet. Unter der Voraussetzung, daß das gegebene Differentialgleichungssystem physikalisch in ein schnelles und ein langsames Teilsystem entkoppelbar ist, wird eine Lösungsmethode, basierend auf einem modifizierten Prediktor-Korrektor-Verfahren nach Adams, für die numerische Berechnung vorgestellt. Die beiden Teilsysteme werden mit unterschiedlichen Integrationsschrittweiten berechnet. Eine Stabilitäts- und Fehlerbetrachtung

wird durchgeführt. Ein Vergleich der Rechenzeiten, bezogen auf das als Referenzlösung verwendete Runge-Kutta-Verfahren vierter Ordnung, wird angegeben. Schließlich wird ein Lösungsalgorithmus skizziert, der ohne die oben angegebene Voraussetzung auskommt und auf der Methode linearer Systeme aufbaut.

Bongers, Claus: "Optimale Meßsysteme für die zuverlässige Überwachung elektrischer Energieübertragungsnetze"

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

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing.H. Kiendl

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Oktober 1979

Der Einsatz von "state estimation" zur zentralen Überwachung elektrischer Energieübertragungsnetze ist nur dann sinnvoll, wenn zuverlässige Ergebnisse gewährleistet werden können. Das erfordert einerseits eine ausreichend gute Kondition des zu lösenden Gleichungssystems, andererseits müssen große Fehler in den als Eingangsdaten verwendeten Messungen ausreichend gut entdeckbar sein. Es wird gezeigt, daß die Bedingung der Lösbarkeit im rein mathematischen Sinn das in der state estimation verwendeten Algorithmus mit der Beobachtbarkeit eines linearen Systems im stationären Zustand identisch ist. Die Beobachtbarkeit wird jedoch in dieser Arbeit stets unter Einbeziehung numerischer Gesichtspunkte behandelt. Es wird hergeleitet, daß dennoch die Beobachtbarkeit in diesem erweiterten Sinn anhand der Struktur von Teilmatrizen der Jacobischen Matrix \underline{H} nachgeprüft werden kann. Dadurch werden zeitaufwendige numerische Operationen überflüssig und das Ergebnis ist eine klare Ja+nein - Antwort. Das vorgeschlagene Verfahren besitzt außerdem die Fähigkeit, alle möglichen Abhilfemaßnahmen zur Erlangung der Beobachtbarkeit zu erkennen. Das gilt sowohl für den Einsatz zusätzlicher Messungen als auch für die Reduktion des Gesamtnetzes auf einen beobachtbaren Teilbereich. Das Verfahren wird mit Beispielen illustriert.

Die über die minimale Anzahl zur Erlangung der Beobachtbarkeit hinaus einzusetzenden Messungen sind nach dem Gesicht-

punkt einer möglichst großen Entdeckungswahrscheinlichkeit großer Meßfehler auszuwählen. Auf der Basis einer geeigneten mathematischen Modellierung von Meßfehlern wird gezeigt, wie die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines großen Fehlers auf analytischem Weg bestimmt werden kann. Ein daraus ableitbarer statistischer Test wird hinsichtlich der Parameter, Ort der Messung, Typ der Messung, Genauigkeit der Messung und Anzahl der einzusetzenden Messungen analysiert. Diese Analyse bildet die Grundlage für 3 Verfahren zur Erstellung optimaler Meßgeräteanordnungen in elektrischen Energieübertragungsnetzen. Die 3 vorgestellten Verfahren werden den unterschiedlichsten Ausgangs- und Randbedingungen in der Praxis gerecht. Das erste Verfahren geht von einer bestehenden Meßanordnung aus, während das zweite Verfahren eine optimale Anordnung ausgehend von allen Messungen bestimmt. Beim dritten Verfahren wird eine vorgegebene Platzierung der Meßgeräte beibehalten und die Meßgenauigkeit variiert. Alle 3 Verfahren werden an Beispielen illustriert.

Anschrift: Lehrstuhl für
elektrische Energieversorgung
Universität Dortmund
4600 Dortmund 50
Universitäts-Hauptbaufläche
GB II (Chemietechnik)
Telefon (0231) 755-2396
Fernschreiber 822465 unido

Redaktion: I. Gasthaus, J. Voß