

König

JAHRESBERICHT 1983

VORWORT

Der vorliegende Jahresbericht 1983 gibt in knapper Form eine Übersicht über die Lehr- und Forschungsarbeiten des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung. Eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsprojekten sind im vergangenen Jahr abgeschlossen und veröffentlicht worden. Da mir im Winter 1982/83 ein Forschungsfreisemester bewilligt worden war, konnte ich mein seit längerer Zeit geplantes Buch über elektrische Energieübertragungssysteme fertig schreiben. Die intensive Wechselwirkung zwischen Forschung und Lehre spielt im Zusammenhang mit dieser Arbeit eine außerordentlich wichtige Rolle. Deshalb bilden die laufenden Forschungsaktivitäten eine wichtige Grundlage für die Fertigstellung dieses Lehrbuches. Ebenfalls sehr wichtig sind die zahlreichen Kontakte zur Industrie und zu den Energieversorgungsunternehmen, um an der Praxis orientierte Arbeiten durchführen zu können. In diesem Sinne möge der Jahresbericht auch als Information der Hochschule in Richtung Anwendung dienen. Von den zahlreichen Ereignissen, die sich im Laufe des Jahres ereignet haben, möchte ich den ehrenvollen Ruf, den Herr Dr.-Ing. J. Voß auf eine C4-Stelle an die Universität Gesamthochschule Paderborn erhalten hat, erwähnen. Ich würde mich freuen, wenn der vorliegende Bericht Ihr Interesse findet und hoffe, daß die eine oder andere Arbeit auch für Sie von Nutzen ist.

E. Handschin

Herausgegeben vom

LEHRSTUHL FOR ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG
UNIVERSITÄT DORTMUND
O. PROF. DR.-ING. E. HANDSCHIN

POSTFACH 500 500
D-4600 DORTMUND 50

TELEFON (0231) 755 2396
TELEX 822465 unido

REDAKTION: I. Gasthaus, J. Voß

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|---|-------|
| 1. PERSONAL | 1 |
| 2. LEHRBETRIEB | 2 |
| 2.1 Vorlesungen | 2 |
| 2.2 Seminar | 3 |
| 2.3 Praktika | 3 |
| 2.4 Exkursionen | 5 |
| 3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN | 6 |
| 3.1 Software-Entwicklung für die Netz- automatisierung | 6 |
| 3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energiever- sorgungssystemen | 18 |
| 3.3 Schutz- und Leittechnik | 35 |
| 4. VORTRÄGE | 49 |
| 4.1 Beiträge für das Kolloquium | 49 |
| 4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern | 49 |
| 5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN | 50 |
| 6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE | 55 |
| 6.1 Veröffentlichungen | 55 |
| 6.2 Forschungsberichte | 58 |
| 6.3 Diplomarbeiten | 58 |
| 6.4 Studienarbeiten | 58 |
| 6.5 Programmbeschreibungen | 59 |
| 7. PROMOTIONEN | 61 |

1. PERSONAL

| | |
|---------------------------|--|
| Lehrstuhlinhaber: | o.Prof. Dr.-Ing. E. Handschin |
| Sekretariat: | Frau I. Gasthaus |
| Oberingenieur: | Dr.-Ing. J. Voß |
| Wiss. Mitarbeiter: | Dipl.-Ing. N. Aschöwer Dipl.-Ing. A. Bücken Dipl.-Ing. K. El-Homsi Dipl.-Ing. M. Gacka Dipl.-Ing. H. Graf Dr.-Ing. E. Grebe Dipl.-Ing. D. König Dipl.-Ing. J. Lemaitre Dr.-Ing. Th. Reißing Dipl.-Ing. R. Woltemate |
| Technische Mitarbeiter: | Ing.(grad.)W. Horenkamp Frau H. Giersberg Dipl.-Ing. H. Maiweg Frau R. Meier K.D. Tesch |
| Studentische Hilfskräfte: | M. Aretz, N. Capetanos, E. Ebbinghaus, D. Heerdt, G. Nimmrich, M. Schnurbusch, M. Seitz, H. Slomski, J. Tebbe, F. Warkowski, M. Wuske |

2. Lehrbetrieb

2.1 Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. E. Handschin

Elektrische Energietechnik I (WS 1982/83)

(Gehalten von Herrn Dr.-Ing. E. Grebe)

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

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

Elektrische Energietechnik II (SS 1983)

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

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

Energieübertragungssysteme I (WS 1982/83)

(Gehalten von Herrn Dr.-Ing. J. Voß)

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

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

Energieübertragungssysteme II (SS 1983)

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

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

Dr.-Ing. J. Voß

Netzschutz und Steuerungstechnik (SS 1983)

Obligatorische Vorlesung für Studenten der Fachrichtung Ener-

gietechnik im 8. Semester Universität GH Paderborn.

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

Elektrizitätswirtschaft und Kraftwerke I (WS 1982/83)

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

Inhalt: Einführung in die Prozeßautomatisierung; Entwurf von Abtastregelkreisen; Dynamisches Verhalten von Kraftwerken, Entwurf einer digitalen Regelung für ein Dampfkraftwerk.

Elektrizitätswirtschaft und Kraftwerke II (SS 1983)

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

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

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

Energieversorgung (WS 1982/83)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik im 7. Semester.

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

2.2 Seminar

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

Inhalt: Aktuelle Probleme und Fallstudien der Elektrizitätswirtschaft.

2.3 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 Versuche angeboten:

a) Schutzeinrichtungen

Behandlung der wichtigsten Schutzmaßnahmen beim Anschluß elektrischer Verbraucher.

b) Messung von Energie und Leistung

Behandlung verschiedener Meßverfahren für die ein- und 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) 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.

b) 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.

c) Selektive Netzschutzeinrichtungen

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

2.4 Exkursionen

21.06.1983

Besichtigung des Kraftwerkes Elverlingsen und der SF₆ - Schaltanlage Herdecke der Elektromark Hagen

02.12.1983

Besichtigung von Schaltanlagen der VEW im Raum Dortmund

3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN

Die im Berichtsjahr 1983 durchgeführten Arbeiten lassen sich folgenden drei Schwerpunkten zuordnen:

1. Software-Entwicklung für die Betriebsführung und Planung elektrischer Energieversorgungssysteme.
2. Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energieversorgungssystemen.
3. Schutz- und Leittechnik

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

3.1 Software-Entwicklung für die Betriebsführung elektrischer Energieversorgungssysteme

3.1.1 Untersuchung von Lastflußberechnungsverfahren auf Parallelisierbarkeit

Bei einem Einsatz eines Parallelprozessorrechners zur Lösung des Lastflußproblems in elektrischen Energieversorgungsnetzwerken ist es erforderlich, die heute angewandten Algorithmen im Hinblick auf ihre Parallelisierbarkeit zu untersuchen. Dabei wurden als iterative Lösungsverfahren zwei Y-Matrix-Methoden (Jacobi und Gauß-Seidel-Verfahren) eine Z-Matrix-Methode und zwei Newton-Raphson-Methoden (Newton-Raphson-Verfahren in U- δ -Schreibweise und entkoppeltes Newton-Raphson-Verfahren) miteinander verglichen. Bei der Lösung des Gleichungssystems ist es erforderlich, die Verfahren in Teilaufgaben zu zerlegen und auf die Modulrechner des Parallelprozessorsystems aufzuteilen. Dabei wurde hier die Parallelisierung unter physikalischen Gesichtspunkten vorgenommen, d.h., daß jedem Modulrechner die Lösung einer Last-

flußgleichung zu übertragen ist. Nach jedem Iterationsschritt müssen die einzelnen Module die neu errechneten Werte der Knotenspannungen untereinander austauschen.

Zur Bewertung der einzelnen Verfahren wurde die Anzahl der jeweils erforderlichen Gleitkommaoperationen bei rein serieller Berechnung und die Anzahl der Gleitkommaoperationen der parallelisierten Verfahren sowie die Anzahl der zwischen den Modulen auszutauschenden Gleitkommazahlen ermittelt. Bild 3.1.1 zeigt exemplarisch ermittelte Werte für ein Netz mit 25 Knoten und 35 Leitungen. Die größte Rechenzeiterparnis wurde hier beim Jacobi-Verfahren erzielt, da sich dieses am günstigsten parallelisieren läßt. Jedoch ist zu beachten, daß die absolute Rechenzeit aufgrund der Konvergenzeigenschaften gegenüber dem Newton-Raphson-Verfahren

| | Anzahl Iterationen | τ_S | τ_P | τ_D |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Jacobi-Verfahren | 123 | $0,36 \cdot 10^6$ | $0,015 \cdot 10^6$ | $0,012 \cdot 10^6$ |
| Gauß-Seidel-Verfahren | 101 | $0,29 \cdot 10^6$ | $0,076 \cdot 10^6$ | $0,020 \cdot 10^6$ |
| Newton-Raphson-Verfahren in U δ -Schreibweise | 4 | $0,26 \cdot 10^6$ | $0,029 \cdot 10^6$ | $0,011 \cdot 10^6$ |
| entkoppeltes Newton-Raphson-Verfahren | 5/4 | $0,14 \cdot 10^6$ | $0,007 \cdot 10^6$ | $0,006 \cdot 10^6$ |
| Z-Matrix-Verfahren | 5 | $0,15 \cdot 10^6$ | $0,007 \cdot 10^6$ | $0,006 \cdot 10^6$ |

- τ_S - serielle Berechnungsdauer in Anzahl Gleitkommaoperationen
- τ_P - Berechnungsdauer bei Parallelisierung in Anzahl Gleitkommaoperationen
- τ_D - Dauer für den Datenaustausch bei paralleler Berechnung in der Anzahl der auszutauschenden Gleitkommazahlen

Bild 3.1.1: Kenngrößen für die Berechnung eines Netzes mit 25 Knoten und 35 Zweigen

und der Z-Matrix-Methode sehr groß ist. Dies gilt auch für das Gauß-Seidel-Verfahren, bei dem zusätzlich ein erhöhter Aufwand für den Datenaustausch berücksichtigt werden muß, da bei diesem Einzelschrittverfahren die Berechnung der neuen Spannungswerte knotenweise erfolgt und jeder neue Wert unmittelbar allen anderen Modulen mitgeteilt wird. Die günstigen Werte für die parallelisierte Lösung der Lastflußgleichungen mit dem entkoppelten Newton-Raphson-Verfahren und die Z-Matrix-Methode ist dadurch zu erklären, daß diese Verfahren bei allen Iterationen ein Gleichungssystem mit konstanten Systemmatrizen lösen und schnell konvergieren. Nachteilig bei der Z-Matrix-Methode ist der hohe Speicherbedarf, da die Systemmatrix als Inverse der Impedanzmatrix fast vollständig besetzt ist.

Bei der Ermittlung der Datenaustauschmengen wurde davon ausgegangen, daß der Datenaustausch sequentiell erfolgt, d.h. alle Module senden die entsprechenden Daten nacheinander an die anderen Module. Unter Verwendung von Rechnerstrukturen, die einen parallelen Datenaustausch zwischen den Modulen gestatten, läßt sich der Aufwand für den gesamten Berechnungsprozeß noch wesentlich reduzieren.

D. König

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

3.1.2 Sensitivitätsanalyse elektrischer Energieversorgungssysteme

Um das Verhalten elektrischer Energieversorgungssysteme auf Abweichungen um einen bekannten Betriebspunkt zu untersuchen, sind zwei Verfahren, die vollständige und die entkoppelte Sensitivitätsanalyse hergeleitet und programmiert worden.

Während die vollständige Methode auch die schwach gekop-

pelten Systemzusammenhänge berücksichtigt, wird bei der entkoppelten Methode das Gesamtsystem in zwei Teilsysteme aufgespalten. Die Teilsysteme drücken einerseits die starke Kopplung zwischen Wirkleistungen und Knotenspannungswinkel und andererseits die starke Kopplung zwischen den Blindleistungen und Knotenspannungsbeträgen aus.

In beiden Methoden werden die Leistungsfluß- und Zustandsgrößenänderungen in Abhängigkeit der Last/Einspeisungsvariationen resp. Transformatorstufungen ermittelt. Die Transformatoren werden, sofern vorhanden, auch als Schrägeregler behandelt. Unter Zustandsgrößen sind für P-Q-Knoten die komplexen Knotenspannungen und für P-U-Knoten die Knotenspannungswinkel und die knotenzugehörige Blindleistung zu sehen.

Mit den beiden Lösungsverfahren werden Sensitivitätsmatrizen erstellt, die dann die Sensitivität des untersuchten Systems auf die genannten Parametervariationen ausdrücken. Nach der Erstellung dieser Matrizen ist es sehr schnell möglich, numerisch den Einfluß von Parametervariationen auf die interessierenden Systemgrößen zu bestimmen.

Untersuchungen an einigen Teilnetzen haben gezeigt, daß die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei relativ großen Parametervariationen noch gut mit einer "exakten" Referenzlösung (schnelles entkoppeltes Lastflußverfahren) übereinstimmen.

Zu beachten ist, daß in der entkoppelten Methode aufgrund der Entkopplung bestimmte Einflüsse wie $P = f(|U|)$ und $Q = f(\delta)$, die im allgemeinen sehr schwach sind, nicht untersucht werden können. Besteht trotzdem das Interesse dieser Einflüsse zu untersuchen, so muß die vollständige Methode angewendet werden.

N. Aschöwer

Berichte: EV 8303, EV 8320, EVP 8317, EVP 8318

3.1.3 Erweiterung eines Simulationsprogrammes für state - estimation in Energieversorgungssystemen

Der bereits bestehende Simulator wurde im Hinblick auf Netzvielfältigkeit und Praxisnähe um folgende Punkte erweitert:

- Berücksichtigung beliebiger Netzelemente wie Kabel-, Freileitungs- oder gemischte Kabel-Freileitungs-Netzwerke resp. Schrägregelung für den entkoppelten Estimator.
- Angebot an Pseudomessungen beim Auftreten grober Meßfehler.

Interaktive Modifikation der Varianzen zur Untersuchung der Zustandsschätzung bei extremen Messungen.

- Vollständige Estimation zur Beurteilung der Güte des entkoppelten Estimators.
- Vollständige W-Werte Berechnung, die zur optimalen Meßgeräteeinordnung beim reinen Kabelnetzen exaktere Ergebnisse liefern kann.
- Speicherung des aktuellen W-Werte-Vektors und zum Programmende bis zu 10 W-Werte-Verläufe zur Analyse der Meßgeräteplatzierung.

Unter den genannten Anforderungen ergab sich das in Bild 3.1.2 dargestellte Konzept.

Der erweiterte Simulator (SIMEST) ist auf zwei verschiedene Arten zu betreiben

- Multi-Task-Betrieb und
- Overlay-Single-Task-Betrieb

Für Großrechneranlagen bietet sich der Single-Task-Betrieb an, da hier FORTRAN IV-Standard-Programmierung zur Anwendung kommt. Im Multi-Task-Betrieb gehen rechner-spezifische Routinen ein, die an den Einzelrechnern unterschiedlich interpretiert werden. Der Vorteil des Multi-Task-Betriebes ist die Implementierung auf Rechneranlagen mit 32 K-Worten.

Eine zur Zeit noch praktizierte Auslagerung der temporären

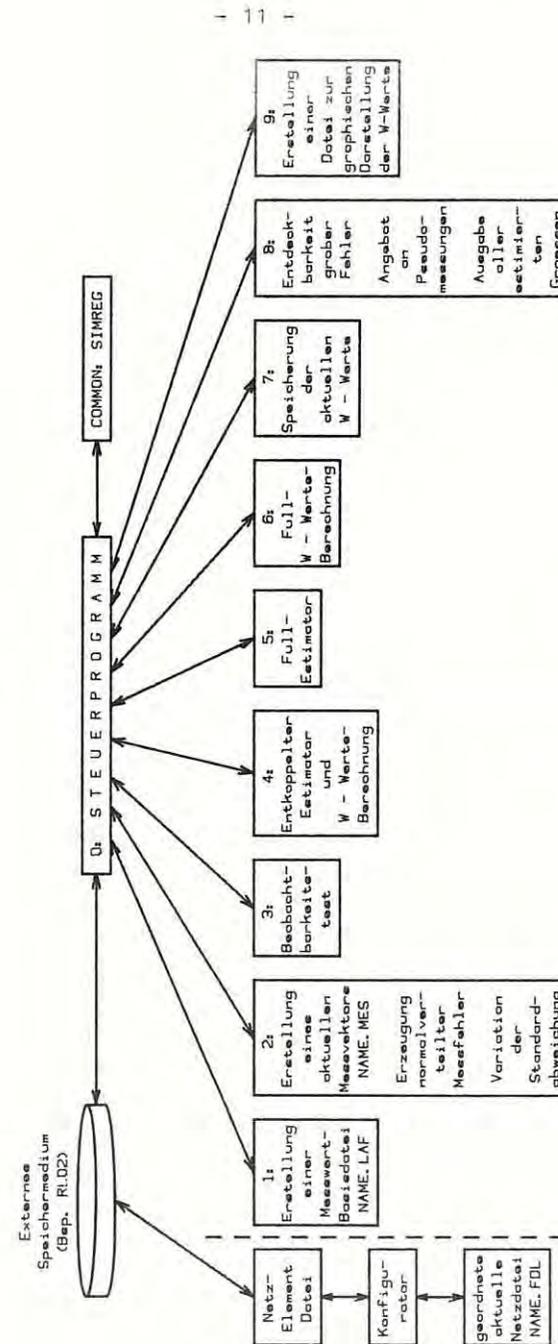


Bild 3.1.2: Blockstruktur des erweiterten Programmes SIMEST

Dateien (NAME.FDL; NAME. LAF; NAME.MEI) auf ein externes Speichermedium ist auf Großrechneranlagen nicht notwendig und erhöht bei kernspeicherresidenter Lagerung erheblich die Rechengeschwindigkeit.

Da dem Konzept nicht der on-line-Einsatz (bei kleinen Änderungen durchaus möglich) unterliegt, ist der Rechenzeit des Gesamtsimulators keine hohe Priorität zugeordnet. Die Teilroutinen sind jedoch, von wenigen Ausnahmen abgesehen, rechenzeiteffizient programmiert.

Bei der Anwendung von SIMEST wird dem Benutzer an vielen Stellen Orientierungs- bzw. Entscheidungshilfe angeboten, um einen besseren Überblick der Gesamtproblematik zu behalten.

N. Aschöwer

Berichte: EV 8304, EVP 8316

3.1.4 Konzeption eines Trainings-Estimationssimulators

Simulatoren für die Schätzung des Netzzustandes (state - estimation) sind wichtige Werkzeuge für die übergeordnete Sicherheitsüberwachung der elektrischen Energieversorgungssysteme.

Je nach Konzeption unterscheidet man zwischen zwei Arten von Simulatoren:

- Netzuntersuchungs-Simulatoren für Forschungs- und Entwicklungszwecke
- Trainings-Simulatoren sowohl für die Ausbildung des Betriebspersonals in den Netzleitstellen als auch für die Schulung an Hochschulen.

Beide Simulatoren sind ganz wichtige Bausteine für eine sichere Betriebsführung der elektrischen Energieversorgungssysteme, gerade wenn es sich um eine "on-line-Version" handelt (Bild 3.1.3).

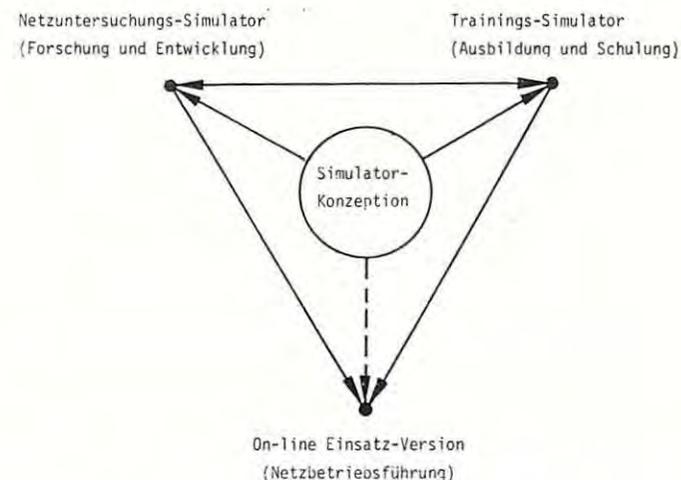
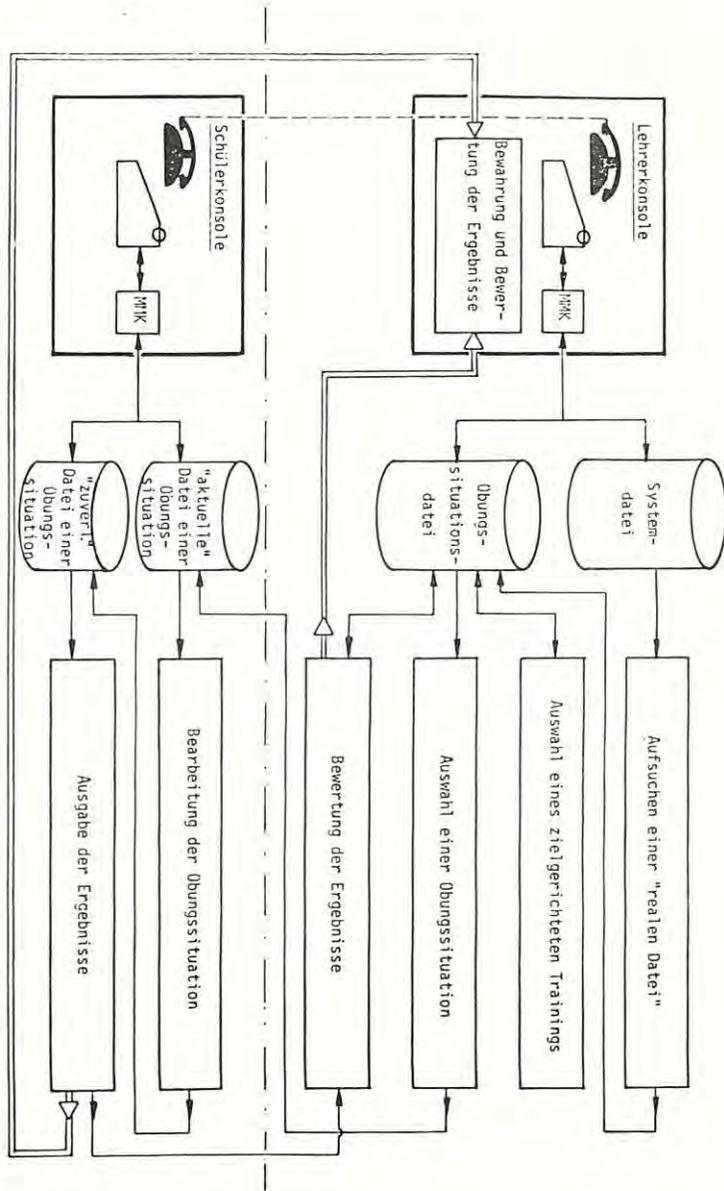


Bild 3.1.3: Simulationskonzeption für state - estimation

Neben dem bereits bestehenden Netzuntersuchungssimulator (SIMEST), der hauptsächlich für die Forschung und Entwicklung geeignet ist, wird z.Z. ein Trainings-Estimationssimulator (TRESOR) entwickelt. Dieser Simulator wird so konzipiert, daß er das Betriebspersonal bei der Aus- und Weiterbildung unterstützt. Weiterhin gibt er Einblick in das eigene Systemverhalten, so daß Handhabung und Implementierung der state - estimation erläutert wird.

Die Grundkonzeption des Trainings-Estimationssimulators TRESOR ist in Bild 3.1.4 dargestellt. Er erlaubt einen Lehrer-Schüler-Dialog. Der Schüler bedient bei seiner simulierten Betriebsführung seine Konsole (Schülerkonsole). Der Lehrer, der die Überwachung und Führung des Schülers bei seinen Entscheidungen übernimmt, bedient die Lehrerkonsole. Der Lehrer geht von der Systemdatei aus und sucht eine sogenannte "reale Datei" auf, die in der Realität des Netzbetriebes in Frage käme. Hier könnte z.B. ein Meßfehler generiert oder eine Meßübertragungstrecke eliminiert werden.

Bild 3.1.4: Grundkonzeption des Trainings-Estimationssimulators TRESOR



Die ausgewählte "reale Datei", die einer bestimmten Netzzustandssituation entspricht, wird zweckmäßig für verschiedene Übungssituationen (z.B. tracking-estimation) gespeichert. Für eine zielgerichtete Ausbildung werden Übungssituationen, die der Schwierigkeit der Ausbildungsphase entsprechen, generiert. Hier wird es z.B. möglich, den Schüler auf die Entdeckbarkeit der bei der "realen Dateien" generierten Meßfehler gezielt auszubilden. Bei der Elimination einer oder mehrerer Übertragungsstrecken steht die Beobachtbarkeit des Systems im Vordergrund. Wenn die Beobachtbarkeit beeinträchtigt ist, wird der Schüler geprüft, mit welchen zusätzlichen Messungen sie erreicht werden kann.

Für die Ausbildung wird vom Lehrer eine Übungssituation, die die Aufgabenstellung mit Rand- und Nebenbedingungen enthält, ausgewählt und zum Schüler-Terminal übermittelt. Die zur Rechnung benötigten Dateien stehen ebenfalls dem Schüler zur Verfügung.

Neben den Möglichkeiten von SIMEST, siehe Jahresbericht 1982, werden bei der Entwicklung des Trainings-Estimationssimulators TRESOR auch andere Funktionen berücksichtigt. Dazu kommt die Realisierung von Pre- und Postprozessor, Erkennung mehrfacher schlechter Meßfehler und grober Netzstrukturfehler, usw. Nach der Bearbeitung der Übungssituation werden die ermittelten Ergebnisse vom Schüler interpretiert und dann vom Lehrer ausgewertet. Die Übergabe der Ergebnisse erfolgt je nach Bedarf entweder durch Korrespondenz mit dem Lehrer-Terminal oder durch Ausdruck eines Protokolls. Die vorgesehene Telefonleitung zwischen der Lehrer- und Schülerkonsole dient der Praxisnähe des Simulators. Der Lehrer übernimmt hier die Aufgabe all derjenigen, die der Schüler bei einer realen Betriebsführung (on-line Einsatz-Version) telefonisch ansprechen muß.

Khaled El-Homsi

3.1.5 Langfristige Kraftwerkseinsatzplanung im thermischen Verbund

Die systematische Optimierung des Primärenergieeinsatzes für die Stromerzeugung unter Berücksichtigung komplexer Randbedingungen machen ein neues Konzept für den optimalen Kraftwerkseinsatz notwendig. Die bekannte Methodik, nämlich die Addition der stündlichen Lastoptimierungsergebnisse unter Berücksichtigung von Anfahrkosten, minimalen Stillstands- und Betriebszeiten führt nicht mehr generell in die Nähe des globalen Kostenoptimums. Energiemengenbeschränkungen für heimische Steinkohle und Exportkohle und die damit verbundenen Tarifzonen sind nun bestimmend. Unterschiedliche Preiserhöhungen der verschiedenen Energieträger

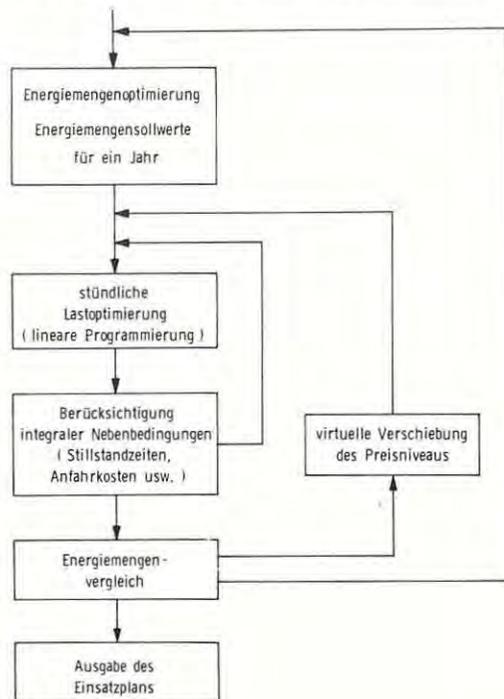


Bild 3.1.5: Prinzipbild des Optimierungsablaufs

Gas, Kohle und Öl erschweren zusätzlich die Aufgabe. Aufgrund der großen Zahl von Variablen ($10^6 - 10^8$) ist eine geschlossene Lösung nicht mehr sinnvoll.

Es wird daher eine Teilung in zwei Optimierungsaufgaben vorgenommen. Zum einen eine Energiemengenoptimierung mit den Nebenbedingungen, die sich auf Beschränkungen von Energiemengen, auf Tarifzonen und Preiserhöhungen beziehen. Zum anderen eine stündliche Leistungsoptimierung, bei der die Ergebnisse der Energiemengenoptimierung als Randwerte einfließen. Der Iterationsalgorithmus erlaubt nun durch virtuelles Verschieben des Preisniveaus die Einhaltung dieser Randwerte (Bild 3.1.5). Alle betrieblichen Nebenbedingungen fließen direkt in die Optimierungsrechnung ein. Man erhält so die Lösung, die im Rahmen der Lastprognosegenauigkeit ausreichend dicht am globalen Optimum liegt. Basis für die Optimierungsrechnungen ist die lineare Planungsrechnung, bei der heute auf äußerst leistungsfähige Rechenprogramme auch für gemischt ganzzahlige Variablen zurückgegriffen werden kann.

H. Slomski, J. Voß

Berichte: EV 8302, EV 8328

3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energieversorgungssystemen

3.2.1 Dynamische Modelle der Lasten elektrischer Energieübertragungssysteme

Das elektrische Lastverhalten bei Spannungs- und Frequenzänderungen kann prinzipiell entweder durch Identifikationsverfahren aus Messungen direkt ermittelt werden oder indirekt durch eine Analyse der Lastkomponenten synthetisiert werden. Es zeigt sich, daß die Bedingungen für die direkte Identifikation insbesondere der Frequenzabhängigkeit der Last im UCPTE-Netz äußerst ungünstig sind und nur bei großen Störungen des Wirkleistungsgleichgewichts vertrauenswürdige Ergebnisse zu erwarten sind.

Der indirekte Weg der Lastmodell-Synthese erscheint äußerst mühsam, da hierbei umfangreiche statistische Informationen über die Verbrauchsstruktur und die Verbrauchsgewohnheiten der Endverbraucher zusammenzutragen und auszuwerten sind. Dennoch muß dieser Weg als der einzig gangbare angesehen werden, wenn der Sektor "Last" in seinem Verhalten modelliert werden soll. Dabei können Informationen ausgenutzt werden, die den Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) vorliegen und derzeit zur Belastungsermittlung von Nieder- und Mittelspannungsnetzen Verwendung finden.

Bild 3.2.1 zeigt in einem Ablaufdiagramm die prinzipielle Vorgehensweise auf. Betrachtet man z.B. ein 10 kV-Verteilnetz (Bild 3.2.2a), so besteht die Aufgabe zunächst darin, die Lastzusammensetzung an den Ortsnetztransformatoren zu ermitteln. Dazu sind statistische Daten über das Verhalten der dort angeschlossenen Verbraucher auszuwerten und ggf. externe Einflüsse zu berücksichtigen. Das elektrische Verhalten der Einzellasten (Elektrogeräte, elektrische Anlagen) ist in vielen Fällen aus der Literatur bekannt oder kann exemplarisch durch Messungen bestimmt werden. Beschränkt man

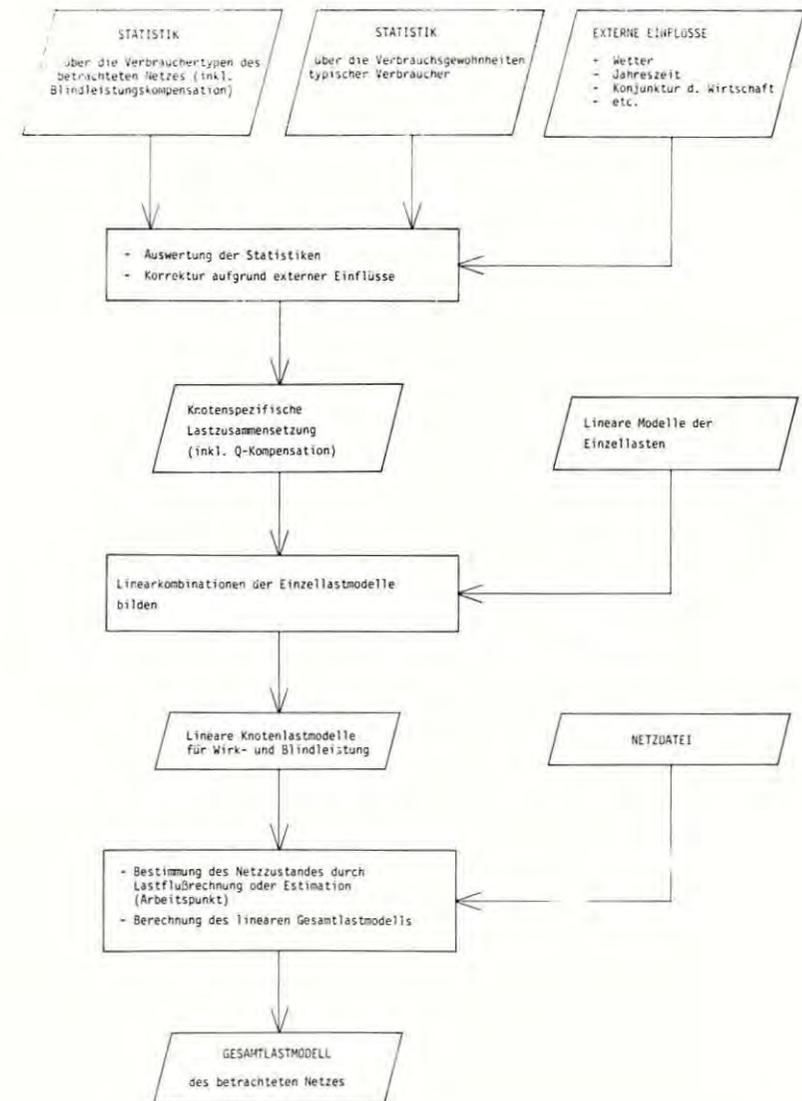


Bild 3.2.1: Ablaufdiagramm zur synthetischen Lastmodellierung

den Variationsbereich von U und f auf etwa $\pm 10\%$ bzw. $\pm 5\%$, so können für die Abweichung vom Arbeitspunkt folgende lineare Modelle aufgestellt werden:

$$\text{Wirkmodell: } \frac{\Delta P_L}{P_L^0} = p_u \frac{\Delta U}{U^0} + (T_p s + p_f) \frac{\Delta f}{f^0} \quad (3.2.1)$$

$$\text{Blindmodell: } \frac{\Delta Q_L}{Q_L^0} = q_u \frac{\Delta U}{U^0} + (T_Q s + q_f) \frac{\Delta f}{f^0}$$

wobei T_p und T_Q ein Maß für die Beschleunigungsleistung bewegter, i.a. rotierender Massen bei Frequenzänderungen darstellen.

Das Modell einer Knotenlast resultiert dann aus der Addition der - gemäß ihrem Anteil an der Knotenlast - gewichteten Einzellastmodelle. Dabei werden nicht nur die Parameter der Lastcharakteristika $p_u, q_u, p_f, q_f, T_p, T_Q$, sondern auch die auftretenden Leistungsabnahmen P_L^0, Q_L^0 erhalten.

Tabelle 3.2.1 zeigt als Beispiel eine Lastzusammensetzung und die resultierenden Modellparameter, die im Sommer während der Nacht für private Haushalte typisch sein könnte. Die Zeilen 1 bis 4 enthalten neben dem Anteil der Wirklast an der Gesamtwirklast eines Knotens auch den mittleren Leistungsfaktor $\cos \phi$ sowie die Modellparameter p_u, p_f, q_u, q_f der eingetragenen Einzellasten. Auffällig sind die hohen Werte von q_u und q_f bei den Leuchtstofflampen (Zeile 2), die eine direkte Konsequenz der hohen Q-Kompensation darstellen. Die Zeitkonstanten T_p und T_Q können aufgrund der kleinen Schwungmassen dieser Einzellasten vernachlässigt werden.

Zeile 5 enthält als Linearkombination der Zeilen 1 bis 4 die Charakteristik der Knotenlast. Zu bemerken ist, daß aufgrund des unterschiedlichen Leistungsfaktors der Einzellasten für das Blindmodell andere Gewichtungsfaktoren gelten als für das Wirkmodell.

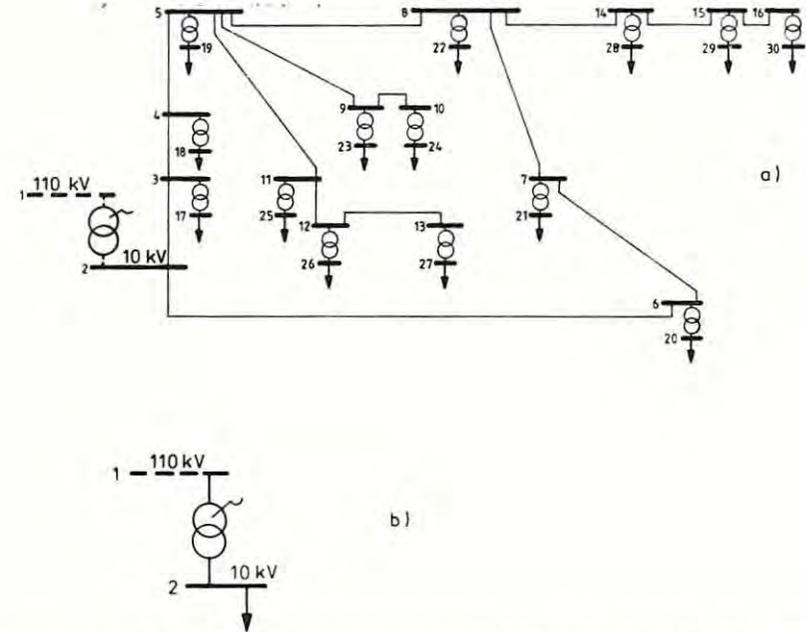


Bild 3.2.2: a) 10kV-Verteilnetz mit 14 0.4kV-Lasten und einer Einspeisung aus dem 110kV-Netz
b) Auf die Einspeisung reduziertes Modell dieses Netzes

| Verbraucher | Anteil P | cos φ | P _u | P _f | q _u | q _f |
|----------------------|----------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Glühlampen | 40% | 1.0 | 1.55 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2. Leuchtstofflampen | 20% | 0.998 | 0.96 | 1.0 | 7.38 | -26.6 |
| 3. Kühlgeräte | 25% | 0.70 | 0.77 | 0.53 | 2.50 | -1.46 |
| 4. TV | 15% | 0.98 | 2.0 | 0.0 | 5.2 | -4.6 |
| 5. Summe 1. bis 4. | 100% | 0.958 | 1.30 | 0.33 | 2.98 | -2.85 |

Tabelle 3.2.1: Spezifikation der Last (z.B. in einer Sommer-nacht)

Das gesuchte Gesamtlastmodell des betrachteten Netzes beschreibt das elektrische Verhalten der Last des 110/10 kV-Transformators in Abhängigkeit von der sekundären Spannung und der Netzfrequenz (Bild 3.2.2b). Dieses Verhalten hängt sowohl von dem Verhalten der Knotenlasten als auch von gewissen Eigenschaften des Verteilnetzes ab, insbesondere vom Blindleistungsbedarf der Leitungen und Transformatoren sowie von den Spannungsfällen im Netz, die zu einer gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Lasten führen.

Zur Berücksichtigung des Netzeinflusses werden die Lastflußgleichungen im Arbeitspunkt des Netzes linearisiert und die Modelle der Knotenlasten Gl.(3.2.1) eingesetzt; es entsteht ein lineares Gleichungssystem der Form

$$\Delta Q_G = \underline{J}_{GG} \Delta U_G + \underline{J}_{GX} \Delta x + (\underline{T}_G^s + \underline{J}_{FG}) \Delta f \quad (3.2.2)$$

$$\underline{Q} = \underline{J}_{xG} \Delta U_G + \underline{J}_{xx} \Delta x + (\underline{T}_x^s + \underline{J}_{Fx}) \Delta f \quad (3.2.3)$$

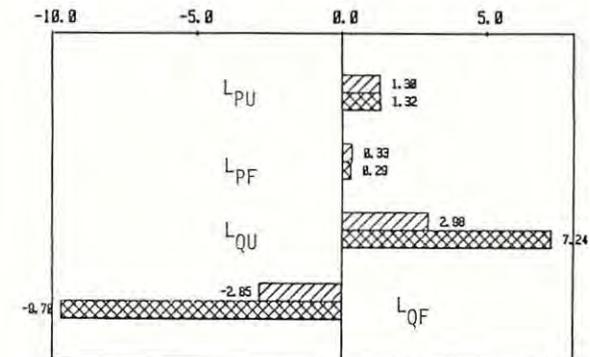
das aufgelöst werden kann zu

$$\Delta P_G = \underline{L}_{PU} \Delta U_G + (\underline{T}_P^s + \underline{L}_{PF}) \Delta f \quad (3.2.4)$$

$$\Delta Q_G = \underline{L}_{QU} \Delta U_G + (\underline{T}_Q^s + \underline{L}_{QF}) \Delta f \quad (3.2.5)$$

Gl.(3.2.4 und .5) geben die Abhängigkeit der in das betrachtete Netz eingespeisten Leistungen ΔP_G , ΔQ_G von der Netzfrequenz Δf und den Spannungsbeträgen ΔU_G in den Einspeiseknoten wieder. Die Parameter des Gesamtlastmodells sind i.a. quadratische Matrizen (\underline{L}_{PU} , \underline{L}_{QU}) resp. Vektoren (\underline{L}_{PF} , \underline{L}_{QF} , \underline{T}_P , \underline{T}_Q), deren Dimension der Anzahl der Einspeisungen entspricht. Liegt nur eine Einspeisung vor, so erhält man die gleiche Struktur wie in Gl.(3.2.2). Dieser Fall ist besonders bei Mittel- und Niederspannungsnetzen von Bedeutung, da diese Netze häufig offen betrieben werden.

Die Gesamtlastcharakteristik für das in Bild 3.2.2 dargestellte Netz mit der in Tab. 3.2.1 spezifizierten Last ist in Bild 3.2.3 als Balkendiagramm aufgetragen und den Werten



▨ ohne Netzeinfluss
▣ mit Netzeinfluss

Bild 3.2.3: Gesamtlastcharakteristik des Netzes von Bild 3.2.2a und der in Tabelle 3.2.1 spezifizierten Last

gegenübergestellt, die man ohne Berücksichtigung des Netzes erhält (entsprechend Tabelle 3.2.1, Zeile 5).

Offensichtlich ist das Wirkmodell (L_{PU} , L_{PF}) wenig durch das Netz beeinflusst. Dies ist zum einen in dem geringen Anteil der Wirkverluste an der Netzlast begründet, zum anderen eine Folge der steifen Spannungen der 0.4 kV-Spannungsebene.

Dagegen wird das Blindmodell (L_{QU} , L_{QF}) deutlich gegenüber den Knotenlastmodellen verändert. Dies ist eine Folge des kapazitiven Blindleistungsbedarfs der Kabel, wodurch ein Teil der induktiven Last kompensiert wird, sowie der Magnetisierungsblindleistung der Transformatoren mit $q_u = 11$ und $q_f = -11$. Es ist anzumerken, daß vergleichbare Werte für L_{QU} bereits bei Messungen beobachtet wurden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die erarbeitete Vorgehensweise

- auf der Grundlage ermittelbarer Daten beruht,
- für viele Fälle genügend genaue Modelle liefert,
- den Einfluß der Versorgungsnetze in systematischer Weise berücksichtigt,
- mit einem numerischen Aufwand realisierbar ist, der näherungsweise der Lösung eines Lastflußproblems entspricht,
- die Einsicht in die physikalischen Zusammenhänge und ihrer Bewertung aufgrund der übersichtlichen linearisierten Betrachtungsweise fördert.

Die Gesamlastmodelle können bei dynamischen Untersuchungen im Mittel- und Langzeitbereich, bei Überlegungen zur Reduktion von Lastspitzen durch Spannungsabsenkung, usw. Verwendung finden.

Thomas Reißing

Bericht: Dissertation

3.2.2 Simulation der transienten Nullströme beim Erdschluß in induktiv geerdeten Kabelnetzen

Die spezifischen, sicherheitstechnischen Anforderungen des Steinkohlenbergbaus erfordern die Begrenzung des zulässigen Erdschlußstromes auf 10 A in den Mittelspannungsnetzen und die unverzögerte Abschaltung im Fehlerfall.

Bei den heute gebräuchlichen Meßmethoden wird in den meisten Fällen die Verlagerungsspannung \bar{U}_O zur Erkennung eines Erdschlusses benutzt. Die Richtung des Fehlers wird sowohl mit stationären als auch transienten Verfahren bestimmt.

Bei den stationären Verfahren wird die Amplitude oder die Phasenlage des Nullstromes \bar{I}_O zur Richtungsbestimmung herangezogen. Die Amplitudenmessung wird zum Schutz von Stichleitungen eingesetzt, bei denen der kapazitive Nullstrom des überwachten Kabels im Erdschlußfall kleiner ist als der

resultierende Nullstrom am Meßpunkt. Die Phasenmessung kann zur Absicherung größerer Netzteile herangezogen werden; Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Meßgenauigkeit und eine nicht zu große Verstimmung der Löserspule. Bei beiden Methoden kann ohne große Schwierigkeiten im voraus festgelegt werden, welches Verfahren für welche Netzteile geeignet ist.

Bei der Messung der transienten Nullströme werden die Umladevorgänge innerhalb der drei Phasen zur Richtungserkennung herangezogen. Da die Löserspule an diesen Vorgängen nicht beteiligt ist, kann eine falsche Einstellung der Spule das Meßergebnis nicht verfälschen. Es muß jedoch sichergestellt sein, daß, vom Meßort aus gesehen, in Richtung der Einspeisung eine ausreichende Nullkapazität vorhanden ist, die im Fehlerfall den zur Messung notwendigen hohen Stromstoß I_{st} hervorruft.

Für die Praxis ist es wichtig zu wissen, wie groß die Nullkapazitäten sein müssen, um einen bestimmten Grenzwert des transienten Nullstromes I_{st} im Erdschlußfall zu überschreiten. Mit einem die transienten Fehlervorgänge nachbildenden Simulationsprogramm sind zahlreiche Testrechnungen durchgeführt worden, um so die Einsatzmöglichkeiten für die Methode der transienten Nullstrommessung zur Erdschlußfassung zu überprüfen. Das Testnetz besteht gemäß Bild 3.2.4 aus einer Einspeisung über einen 35/6 kV Transformator, einem Parallelkabel und den Netzteilen N1 und N2. N1 enthält ein Kabel, dessen Länge variiert wird, N2 ein strahlenförmiges Netz, dessen Kabellängen ebenfalls verändert wurden.

Als Zeitpunkt für das Auftreten des Erdschlusses wird das Spannungsmaximum der betroffenen Phase angenommen, da dann die Wahrscheinlichkeit eines Durchschlags am größten ist. Der Fehlerort wurde in die Nähe der Station B gelegt, da dies in der Regel der schwierigste Fall für die Richtungsbestimmung ist. Trägt man die Höhe des ersten Stromstoßes $I_{st A}$ und $I_{st B}$ in den Stationen A und B in Abhängigkeit

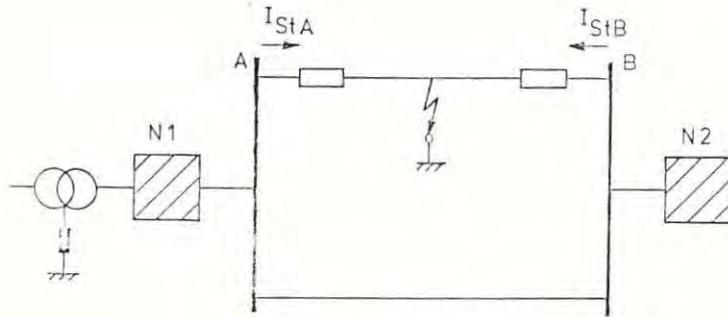


Bild 3.2.4: Testnetz zur Berechnung des transienten Stromstoßes

von den Nullkapazitäten C_{O1} und C_{O2} der Teilnetze N1 und N2 auf, so ergeben sich die Kurvenscharen von Bild 3.2.5.

Die Kurven zeigen, daß der Stromstoß I_{stA} in A lediglich von C_{O1} abhängt, da der Strom aus N2 vollständig über die Meßstelle B zum Fehlerort fließt. Ist der minimale Stromstoß für eine sichere Richtungserkennung bekannt, so findet man die erforderliche Mindestkapazität für N1 ($C_{O1} = C_{min}$) am Fußpunkt der entsprechenden Senkrechten. Wie die Kurven von Station B zeigen, befindet man sich hier immer im sicheren Bereich, da sich der Strom aus N1 gleichmäßig auf beide Parallelkabel aufteilt und in beiden Stationen gemessen wird. Wandert der Fehlerort auf dem Kabel von B nach A, so wird I_{stA} größer und I_{stB} kleiner, ohne den Grenzwert zu überschreiten, solange $C_{O2} > C_{min}$ ist. Somit kann man bei einem gegebenen Netz den transienten Stromstoß zur Richtungserkennung beim Erdschluß auf einem Parallelkabel nur dann verwenden, wenn die Nullkapazitäten des Netzes in beiden Richtungen einen gewissen Mindestwert C_{min} nicht unterschreiten, der linear von dem zur Messung erforderlichen Mindeststrom abhängt.

R. Woltemate

Diese Arbeit wird vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) gefördert.

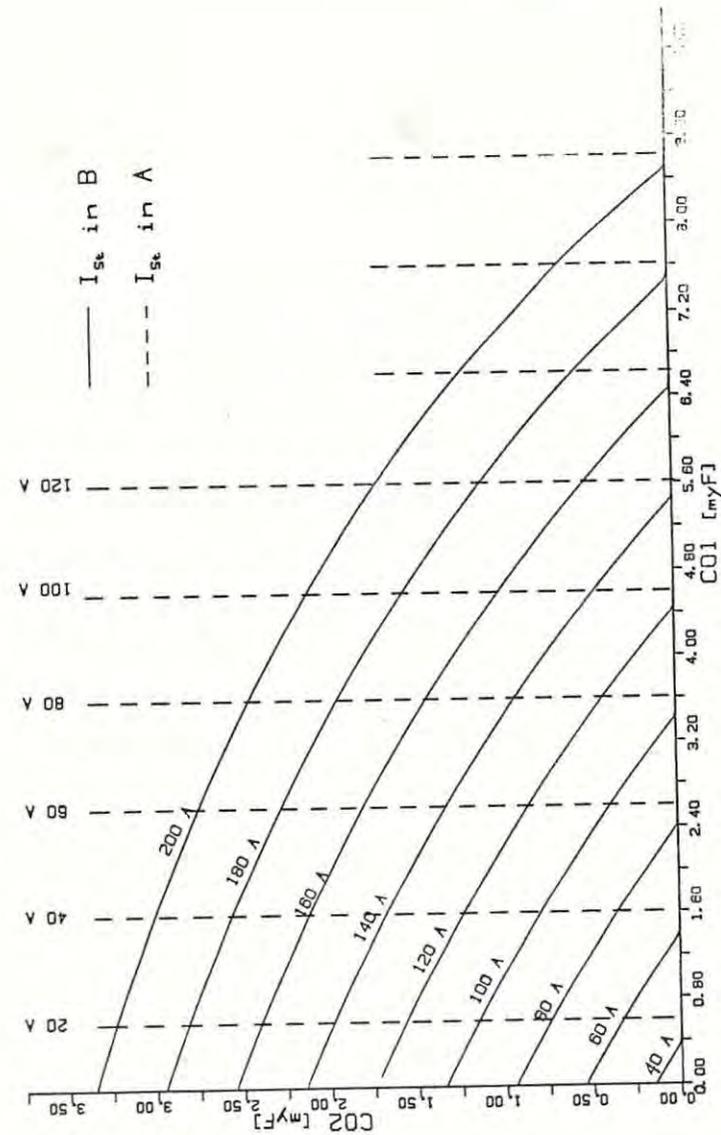


Bild 3.2.5: Höhe der Stromstöße in den Stationen A und B

3.2.3 Dynamische Untersuchungen elektrischer Energieversorgungssysteme im Mittelzeitbereich

In einem ausreichend stark vermaschten Netz im Verbund- oder Inselbetrieb kann die Einhaltung des Synchronismus unter den einzelnen Generatoren vorausgesetzt werden, wodurch sich eine einheitliche Netzfrequenz ergibt.

Aus dieser Eigenschaft folgt die grundlegende Annahme eines Punktnetzes, die bei den meisten Untersuchungen der Mittelzeitdynamik zugrunde gelegt wird. Das heißt, in der Modellvorstellung werden alle rotierenden Schwungmassen der Verbraucher und Erzeuger zusammengefaßt. Auf diese wirken die mechanischen Leistungen der Turbinen beschleunigend und die gesamte elektrische Last abbremsend.

Es ist deutlich, daß zur Berechnung der Systemfrequenz f , wenn Störungen oder Laständerungen vorkommen, die Bestimmung der einzelnen Turbinenleistungen P_{T_i} erforderlich ist. Die dynamischen Eigenschaften jedes Kraftwerkstyps müssen deshalb zusammen mit den Lasteigenschaften beschrieben und modelliert werden.

Mit dem vorhandenen Simulationssystem CSP können durch verschiedene Optionen diese Untersuchungen vielseitig und flexibel simuliert werden:

- Modelle verschiedener Kraftwerkstypen (z.B. Turbinenmodelle, Regeleinrichtungsmodelle) und Lasten werden untersucht und als Standardblöcke in Form von Strukturunterprogrammen in einer Programmbibliothek abgelegt.
- Mit Hilfe eines Steuerprogrammes kann der Benutzer durch die interaktive Steuerung der dynamischen Simulation die gewünschte Modellstruktur erstellen und entsprechende Anfangsbedingungen sowie Störungen und Parameter beeinflussen.

- Das Steuerprogramm soll als Option die Möglichkeit bieten, ähnliche Blöcke (oder Netze) in einem dynamisch äquivalenten Modell zusammenfassen zu können, um so größere oder mehrere im Verbund betriebene Netze simulieren zu können.

Zur Illustration dient die dynamische Simulation im Mittel-

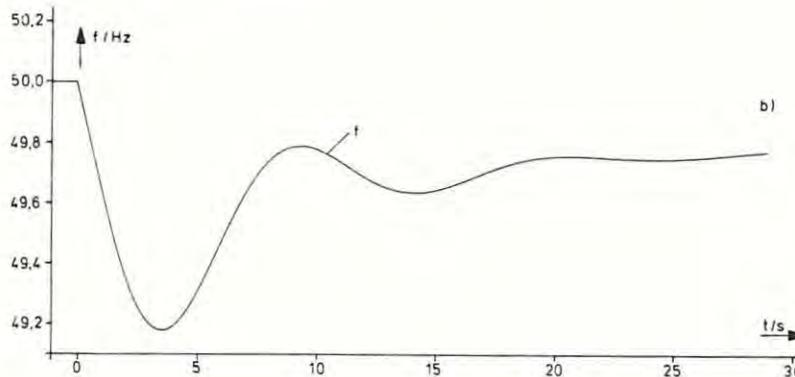
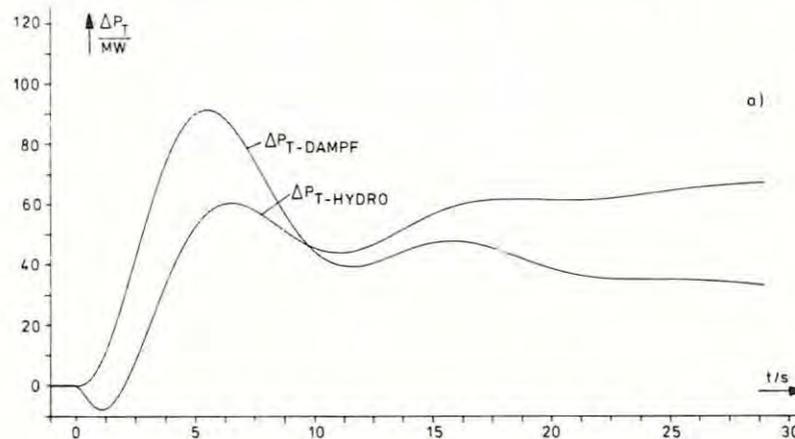


Bild 3.2.6: Systemverhalten bei einer sprungförmigen Laständerung $\Delta P = 100$ MW
a) Änderung der zusammengefaßten Turbinenleistungen
b) Verlauf der Netzfrequenz

zeitbereich von sechs in einem gemeinsamen Inselnetz betriebenen Blöcken. Davon sind jeweils drei hydraulische KW mit einer Nennleistung von 300, 400 und 450 MW und drei Dampfkraftwerke mit Nennleistungen 2 x 100 und 250 MW. Bild 3.2.6a) zeigt das Ergebnis anhand des Frequenzverlaufs nach einer zugeschalteten Leistung $\Delta P_L = 100$ MW zur Zeit $t = 0$. Bild 3.2.6b) zeigt die Zusammenfassung der Turbinenleistungen für jeden Kraftwerkstyp. Daraus läßt sich ersehen, daß mit vollständiger Modellierung der Systemkomponenten und durch die Simulation der Vorgänge im Mittelzeitbereich das Systemverhalten erkannt werden kann.

J. Lemaitre

3.2.4 Mittelzeitdynamik von Kraftwerk und Netz

Es wurde der Einfluß der Turbinenregelung auf das dynamische Verhalten eines Energieversorgungssystems nach Störungen des Leistungsgleichgewichts untersucht. Dazu wurde ein für den interessierenden Zeitbereich gültiges Mittelzeitmodell für die Kraftwerke und das Netz verwendet, das die wesentlichen dynamischen Vorgänge beschreibt. Anhand der theoretischen Analyse des Modells wurde die gegenseitige dynamische Beeinflussung verschiedener Kraftwerksblöcke im Verbundnetz aufgezeigt, die bei bestehenden Konzepten der Turbinenregelung zu unerwünschten dynamischen Eigenschaften führen können.

Die abgeleitete Stabilitätsbedingung gibt eine obere Schranke für die Schnelligkeit der Leistungsregelung eines Blocks an. Bei einer sprunghaftigen Änderung des Leistungswerts darf die vom Generator abgegebene elektrische Leistung nur mit einer Anstiegszeit größer als 5s folgen. Bei Blöcken, die sich an der Frequenzregelung beteiligen, muß sowohl der Leistungs- als auch der Frequenzregler mit direktem Einfluß

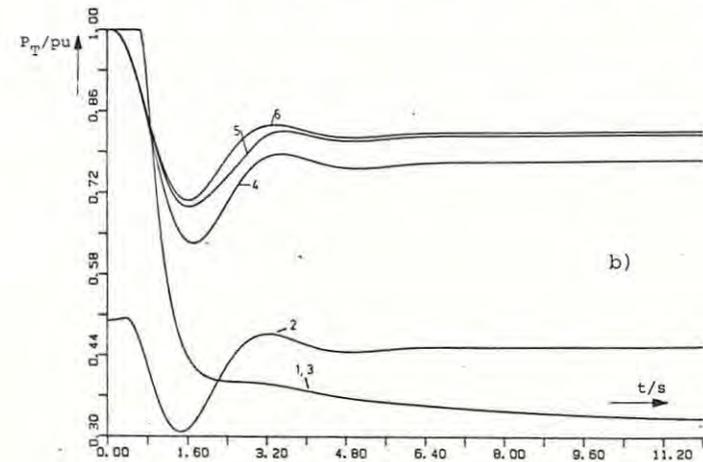
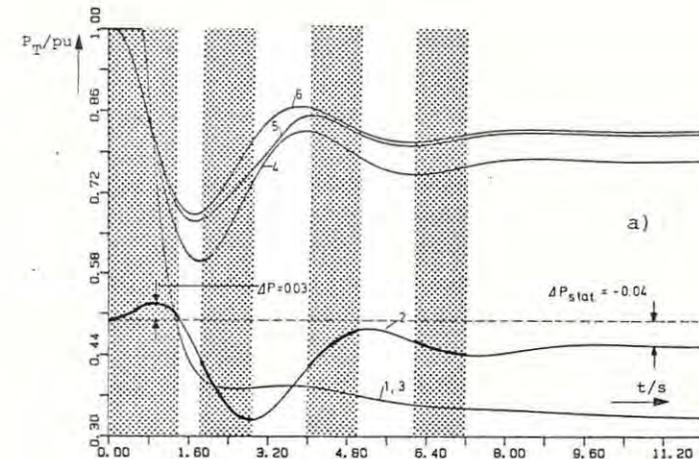


Bild 3.2.7: Übergangsverhalten der Antriebsleistungen P_{Ti} bei Lastreduzierung von 4000 MW auf 3000 MW, P_{Ti} bezogen auf die jeweiligen Nennleistungen P_{ni} der Blöcke
 a) Block 2 mit schneller Leistungsregelung, Fall A
 b) Block 2 mit modifizierter Turbinenregelung, Fall B

auf die Ventilregelung ständig im Eingriff sein. Das angegebene Konzept der Turbinenregelung ermöglicht unabhängig von der Netzkonfiguration sowohl eine Leistungsregelung des Blocks als auch eine Frequenzregelung nach Leistungsausfällen, ohne Parameter- oder Strukturumschaltungen vorzunehmen.

Die theoretischen Untersuchungen werden durch Simulationsergebnisse veranschaulicht. Es werden nichtlineare Modelle von 11 repräsentativen Kraftwerksblöcken mit Nennleistungen von 320 - 750 MW verwendet, die mit Frequenz- Leistungsregelung oder nur mit Frequenzregelung ausgestattet sind. Bild 3.2.7a) zeigt die Simulationsergebnisse für die mechanischen Antriebsleistungen der Blöcke eines Netzbezirks mit einer Last von $P_L = 3000$ MW und einem plötzlich auftretendem Leistungsüberschuß von $\Delta P = 1000$ MW. Baugleiche Blöcke wurden zusammengefaßt, so daß insgesamt 6 unterschiedliche Ersatzblöcke berücksichtigt werden. Es zeigt sich, daß der Block 2 mit schneller Leistungsregelung in den gekennzeichneten Zeitbereichen ein gegenläufiges Regelverhalten zu den frequenzgeordneten Blöcken 4-6 hat, wodurch es zu Frequenz- und Leistungsspendelungen kommen kann. Insbesondere wird die Antriebsleistung des Blocks 2 trotz des Leistungsüberschusses zunächst um 3% der Nennleistung erhöht, während die Beteiligung dieses Blocks an der Ausregelung im stationären Zustand -4% beträgt. Bei Einhalten der Stabilitätsbedingung für die Leistungsregelung im Block 2 wird ein besser gedämpfter Verlauf der Antriebsleistungen und anderer Größen, wie der Netzfrequenz, erreicht, siehe Bild 3.2.7b).

E. Grebe

3.2.4 Optimierung des Programmsystems zur dynamischen Simulation

Im letzten Jahr wurde über ein Programmsystem zur kontinuierlichen Simulation dynamischer Systeme (CSP) berichtet, das speziell für den lehrstuhleigenen Rechner PDP 11/40 entwickelt wurde. Die zu diesem Programmsystem gehörende Simulationssprache gestattet die Beschreibung von mathematischen Modellen in problemadäquater Form. Das Programmsystem besteht aus drei Einheiten, die gering miteinander verflochten sind. Die erste Einheit, der Übersetzer, liest die in der Simulationssprache beschriebene Modellstruktur, identifiziert die Anweisungen, sortiert sie und bildet daraus eine Rechenvorschrift in der Zwischensprache FORTRAN IV. Diese wird durch den Compiler übersetzt und mittels Binder mit den Standardprozeduren und Bibliotheksfunktionen zu einem eigenständigen Rechenprogramm, dem Simulator, zusammengebunden. In der zweiten Einheit, dem Parameterleser, werden die Parameterspezifikationen übersetzt und die Werte den entsprechenden Modellvariablen zugewiesen. Der Simulator als dritte Einheit führt die eigentliche Simulation durch und steuert die Ergebnisausgabe. Diese Aufbereitung des mathematischen Modells durch einen Übersetzer unter Einschalten der Zwischensprache FORTRAN gestattet die Bildung eines schnellen Simulators mit geringem Speicherbedarf. Die Übersetzungszeit ist jedoch lang, da zwei Übersetzungen untereinander durchgeführt werden müssen, zuerst von der Simulationsquellsprache in FORTRAN und danach von dieser in die Maschinensprache. Zudem läuft dieser Prozeß nicht ohne periphere Speichermedien ab, denn die in FORTRAN erzeugten Statements haben wegen ihrer stark variierenden Längen nicht im Arbeitsspeicher Platz. Unter Ausnutzung des modularen Aufbaus des Programmsystems konnte hier durch strukturelle Verbesserungen eine wesentliche Leistungssteigerung erzielt werden. Hat man den deskriptiven Eingabedatensatz für ein Modell bereits einmal übersetzt, so wird der hier gebildete Simulator auf einem externen Speichermedium abgelegt. Sollen

nun weitere Simulationsläufe z.B. bei Fallstudien ausschließlich mit Parametervariationen ohne Statement - update der Modellstruktur durchgeführt werden, so ist dies unter vollständiger Umgehung des Übersetzers möglich.

Der Übersetzungsvorgang selbst konnte durch strengere Unterteilung in kleinere Funktionsprogramme und eine Verbesserung der Overlay-Technik in seinem Speicherbedarf erheblich reduziert werden. Dieser eingesparte Arbeitsplatz wurde genutzt, um die Anzahl der temporären Dateien auf externe Speichermedien zu begrenzen.

Durch die geschilderten Maßnahmen konnte der Speicherplatzbedarf des Übersetzers um ca. 17% verringert werden. Für die Übersetzungszeit ergab sich bei einem Testmodell mit 160 Statements eine Verbesserung um 28%.

Zur Veranschaulichung der Simulationsergebnisse wurde das Programmsystem CSP durch ein neuentwickeltes Programm zur komfortablen Ausgabe von Diagrammen ergänzt. Die durch Simulation gewonnenen Kurvenverläufe können hiermit auf einem vollgraphischen Bildschirm nach Wahl abgebildet, mit einem Lichtgriffel in ihrer Darstellungsart modifiziert und dann mittels einem Tisch-Plotters dokumentationsgerecht gezeichnet werden.

D. König

Berichte: EVP 8208, EVP 8212

3.3 Schutz- und Leittechnik

3.3.1 Spannungs-Blindleistungsregelung in elektrischen Energieversorgungsnetzen

Durch die Entwicklung von Regelalgorithmen für die sekundäre Spannungs-Blindleistungsregelung können verschiedene Regler für unterschiedliche Probleme entwickelt werden, die die zentrale Spannungs-Blindleistungsführung unterstützen. Wie das Netzverhalten durch diese Regelung beeinflusst wird, war Gegenstand der diesjährigen Arbeiten.

Ausgehend von dem natürlichen Verhalten des Netzes bei Laständerungen, d.h. wenn keine Regelungseingriffe erfolgen, wurde die Wirkung von Regelungseingriffen nach unterschiedlichen Regelungszielen untersucht.

Ist das natürliche Netzverhalten dadurch geprägt, daß mit steigender Belastung das Spannungsniveau sinkt und die Blindleistungseinspeisung aller Generatoren steigt, bewirkt die ausschließliche Korrektur des Spannungsniveaus U/U_N eine ausgeprägte Ungleichverteilung der Blindleistungseinspeisung Q_{GE}/S_N (Kurven a, b in 3.3.1). Die Einbeziehung der Blindleistungsflüsse in den Regelungsalgorithmus verbesserte das Ergebnis, wobei durch ausschließliche Messung der Blindleistungseinspeisungen die Anzahl der auszuwertenden Zustandsgrößen stark gesenkt werden konnte (Kurve C in Bild 3.3.1).

Dadurch wurde in großen Belastungsbereichen ein Zustand erzielt, der den Spannungsanforderungen des Netzes gerecht wird. Auch die Blindleistungseinspeisungen sind so verteilt, daß möglichst große Reserven für nicht ausgeregelte Laständerungen verbleiben. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine brauchbare Regelung erfüllt.

Für eine realisierbare Regelung sind noch weitere Forderungen zu erfüllen. Hierzu gehört eine weitgehende Robustheit, damit das Regelungsergebnis auch dann erzielt wird, wenn im

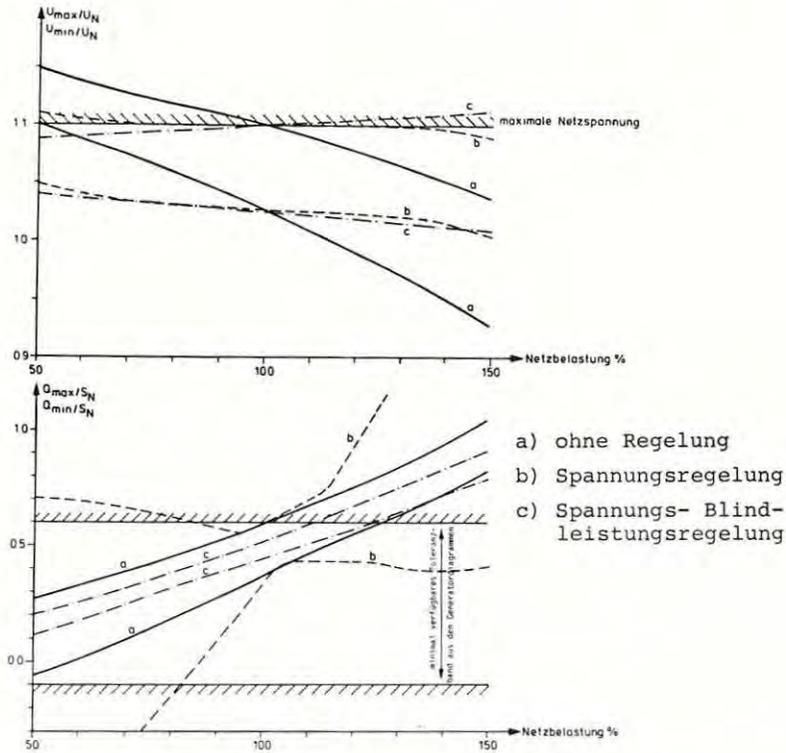


Bild 3.3.1: Spannungs-Blindleistungsbänder des Netzes

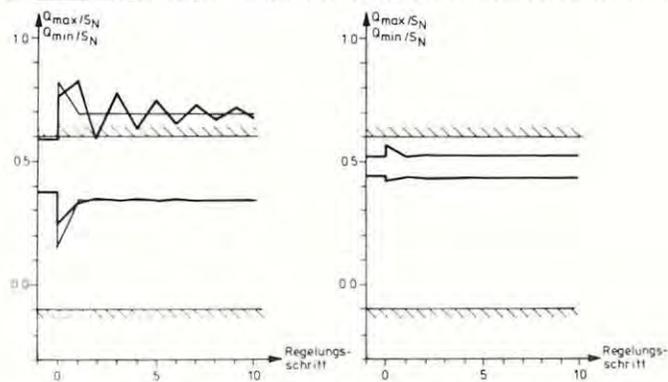


Bild 3.3.2: Einschwingvorgang auf den neuen Endwert der Blindleistungseinspeisung nach Leitungsausfall
— ursprüngliche Reglerparameter
— angepaßte Reglerparameter

Meßsystem Störungen durch Meßrauschen oder Meßfehlern auftreten, oder wenn die angenommenen Systemparameter durch Topologieänderungen (Leistungsausfälle etc.) von den ursprünglichen Parametern abweichen.

Das Beispiel in Bild 3.3.2 zeigt, wie die gewählte Meßgeräteanordnung sowie die Bewertung der Meßgrößen das Verhalten der sekundären Spannungs-Blindleistungsregelung beeinflusst.

Im linken Bild 3.3.2 ist bei Ausfall einer bestimmten Leitung bei der Ausregelung in den neuen Zustand nur ein schwach gedämpftes Verhalten feststellbar. Bei einigen Leitungsausfällen stellt sich sogar eine Instabilität ein. Prinzipiell ist durch Korrektur der Reglerparameter dieses Verhalten zu verbessern. Durch Einbeziehung der Blindleistungseinspeisungen in den Regelalgorithmus, rechtes Bild 3.3.2, verbessert sich das Verhalten derart, daß Korrekturen bei den Reglerparametern nicht unbedingt erforderlich sind, da insbesondere keine Instabilitäten mehr auftreten.

H.H. Graf

Bericht: EV 8322

3.3.2 Arbeitsschutz in elektrischen Anlagen

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Berührungsschutz für die Arbeit in Niederspannungs- und Verbraucheranlagen" werden Unfallursachen und die Vermeidung elektrischer Unfälle durch verschiedene Hilfsmittel untersucht. Das Arbeitsprogramm umfaßt folgende Punkte:

- Literaturstudium und Erfassung vorhandener Hilfsmittel
- Untersuchung dieser Hilfsmittel im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten dieser Schutzvorrichtungen in unterschiedlichen Anlagen
- Testen der verschiedenen Schutzeinrichtungen und Entwurf bzw. Verbesserung der Hilfsmittel

Die Auswertung elektrischer Unfälle zeigt, daß Schutzvorrichtungen wie isoliertes Werkzeug relativ häufig benutzt, Matten und Abdeckungen jedoch in dem erforderlichen Umfange, Körperschutzmittel wie Handschuhe oder Schutzanzüge überhaupt nicht oder nur selten benutzt wurden, obwohl sie in den meisten Fällen zur Verfügung standen.

Die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten dieser Hilfsmittel ergab, daß bei vorschriftsmäßiger Anwendung der Schutzmittel ein guter Berührungsschutz gewährleistet ist. Verbesserungswürdig sind jedoch die Anbringung der Abdeckungen z.B. durch bessere Befestigungsmöglichkeiten in Niederspannungsanlagen, da diese durch die gedrängte Bauweise und die bauliche Anordnung der Elemente erschwert wird. Körperschutzmittel wie Schutzanzüge wurden durch ihre umständliche Handhabung und die damit verbundene eingeschränkte Bewegungsfreiheit vielfach nicht benutzt. Deshalb ist im weiteren Verlauf des Projektes zu überprüfen, wie die Handhabung der Körperschutzmittel z.B. durch neuere Verfahren zu verbessern sind. Weiterhin ist zu überlegen, ob nicht durch entsprechende Planung der Anlagen und Geräte der Gebrauch der Schutzmittel eingeschränkt werden kann.

A. Bucker, W. Horenkamp, K.-D. Tesch, J. Voß

3.3.3 Zeitstaffellung beim Querdifferenzschutz

Für den selektiven Schutz von Parallelkabeln gegen Erdschluß wurde im Rahmen des BMFT-Forschungsprojektes ein neues Konzept entwickelt. Dieses Prinzip wurde ursprünglich für "reine" Parallelkabel vorgesehen, es läßt sich aber zeigen, daß es auch für etwas kompliziertere Netze anwendbar ist.

Bei einem Querdifferenzschutz kommt immer eine sogenannte Kaskadenfunktion zustande, wenn der Erdschluß in der Nähe eines Kabelendes auftritt. Diese Erscheinung ist durch das Meßprinzip bedingt. Der Erdschlußstrom teilt sich nämlich

am anderen Ende fast gleich auf beide Kabel auf und die Differenz beider Teilströme ist zu klein, um ein Ansprechen des Schutzes zu bewirken. Erst nach dem Öffnen des Schalters in der erdschlußnahen Station wird der Erdschlußstrom umgeleitet. Eine Zusatzlogik sorgt dafür, daß im "zweiten Schritt" die Selektivität beibehalten wird, damit in der erdschlußnahen Station der Schalter des unbeschädigten Kabels nicht auslöst. Die Zusatzlogik wird auch wirksam, wenn aus betriebstechnischen Gründen nur ein Kabel der Parallelstrecke eingeschaltet ist, der Querdifferenzschutz arbeitet dann mit einer Zeitverzögerung gegenüber den auf Erdschluß ansprechenden Schutzgeräten außerhalb der Parallelstrecke. Im Bild 3.3.3 wurde eine Möglichkeit gezeigt, wie eine solche Zusatzlogik zu realisieren ist. Dem Erdschlußerfassungsgerät 1 wird der Differenzstrom I_A (in der Station B entsprechend I_B) und die Nullspannung U_0 zugeführt. Nach der

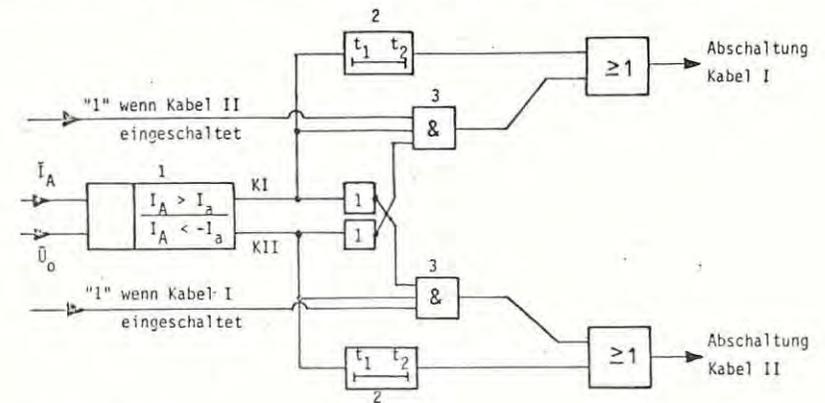


Bild 3.3.3: Zusatzlogik für einen Querdifferenzschutz

Auswertung wird ein von zwei möglichen Ausgangssignalen, hier z.B. KI als logische "1" erzeugt. Im "UND"-Glied 3 wird dieses Signal mit einem anderen, nur vom Schaltzustand des fehlerfreien Kabels (hier Kabel II) abhängigen Signal verknüpft. Wird ein Erdschluß im Kabel I festgestellt, so erfolgt eine "schnelle" Abschaltung wenn Kabel II zugeschaltet ist. Ist jedoch Kabel II abgeschaltet, gleichgültig ob aus

betrieblichen Gründen oder weil im ersten Schritt ein Erdschluß abgeschaltet wurde, kann das Signal KI nur über das Zeitglied 2 eine Abschaltung bewirken. Die eingestellte Zeit muß höher liegen als die höchste Abschaltzeit außerhalb der Parallelstrecke und selbstverständlich auch höher als die doppelte Eigenzeit des Querdifferenzschutzes. Ist eine Situation wie in Bild 3.3.4 gegeben und sind die beiden Kabel I und II in den Stationen A und B mit einem Querdif-

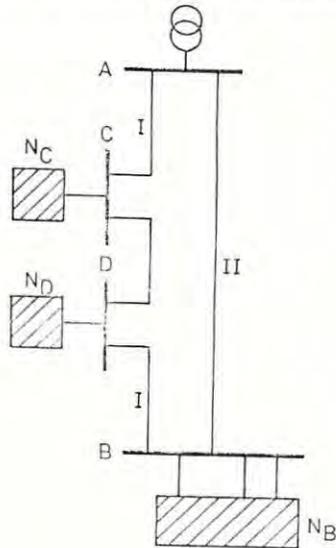


Bild 3.3.4: Beispiel einer Konfiguration des Grubennetzes

ferenzschutz ausgestattet, so muß dieser in ein Zeitstafelplan eingebunden werden, der auch die Teilnetze C,D,B berücksichtigt. Der Querdifferenzschutz kann nicht erkennen, ob sich ein Erdschluß in den Netzteilen C,D oder in den eigentlich geschützten Kabelstücken AC, CD, DB befindet. Deshalb muß die "schnelle" Abschaltung (im ersten Schritt der Kaskadenfunktion) später erfolgen, als die längste Zeitverzögerung in N_C oder N_D . Natürlich muß die "langsame" Abschaltzeit noch eine Stufe höher liegen. Auf dem lehrstuhleigenen Netzmodell wurden bis jetzt Erdschlüsse auf

einer Parallelstrecke simuliert, die nicht Netzteile wie N_C und N_D beinhalten. Die auf das Netzteil N_B abgestimmte Zusatzlogik arbeitet hier immer korrekt, d.h. es wurde immer eine gute Selektivität erreicht.

M. Gacka

3.3.4 Experimentelle Untersuchungen an einem Erdschlußnetzmodell

An dem Netzmodell, das in den vergangenen Jahren für das Forschungsvorhaben "Untersuchungen der elektrischen Vorgänge bei einem Erdschluß im Mittelspannungsnetz des deutschen Steinkohlenbergbaus" aufgebaut und erweitert wurde, sind inzwischen umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt worden. So sind unter anderem Erdschlußerfassungsgeräte auf ihre Funktionstüchtigkeit hin getestet und neuartige Meßprinzipien erprobt worden.

Im folgenden werden Messungen näher beschrieben, die am Erdschlußnetzmodell an dem in Bild 3.3.5 dargestellten Netz durchgeführt und mit einem Mikrorechner im Störschreiberbetrieb aufgezeichnet wurden. In dem Versuchsaufbau können die in Untertagenetzen typischen Netzbereiche und Ausdehnungen nachgebildet werden. Im vorliegenden Fall werden 2 Erdschlußfehlerorte untersucht, zum einen im Stickleitkabel 5, zum anderen im Parallelkabel 2. Durch die geschalteten Kapazitäten werden folgende Kabellängen (5 kV, 150 mm², H-Kabel) simuliert:

| | | |
|-----------------|---------|--------|
| - Kabel 1 | 6,8 km | 12,7 A |
| - Kabel 2 und 3 | 10,8 km | 20,3 A |
| - Kabel 4 | 8,3 km | 15,6 A |
| - Kabel 5 | 11,6 km | 21,8 A |
| - Kabel 6 | 5,4 km | 10,1 A |
| gesamt | 42,9 km | 80,5 A |

Die erste Versuchsreihe zeigt die Überwachung des Stickleitkabels 5 mit einem Gerät, das auf den Restfehlerstrom am Meßort anspricht, der sich aus der Differenz des vom Gesamtnetz erzeugten kapazitiven Fehlerstromes und dem induktiven Kompensationsstrom abzüglich des Anteils der überwachten Strecke ergibt. Die Ansprechwerte des Erdschlußerfassungsgerätes wurden so gewählt, daß der kapazitive Fehlerstrom des überwachten Kabels entsprechend einem Fehler vor der überwachten Strecke, nicht zur Auslösung führt.

In Bild 3.3.6 ist der Verlauf von Verlagerungsspannung und Summenstrom sowie symbolisch die Schalterstellung direkt nach Eintreten eines Erdschlusses im Kabel 5 dargestellt. Die Aufzeichnung zeigt die charakteristischen Merkmale eines Fehlereintritts. Der Fehlereintritt ist durch einen kräftigen Stromstoß und einen abklingenden Gleichanteil gekennzeichnet. Der Versuch wurde bei einem Kompensationsgrad von etwa 80% durchgeführt. Als Verzögerungszeit für die Abschaltung wurde 1 sec. eingestellt.

Die 20%-ige Unterkompensation stellt für das vorliegende Netz eine besonders ungünstige Bedingung dar, bei der der kapazitive Fehlerstrom des Gesamtnetzes gerade so kompensiert wurde, daß am Meßort ein Stromminimum auftritt. Der Summenstrom unterschreitet hierbei den eingestellten Ansprechwert des Erfassungsgerätes, so daß der Fehler nicht abgeschaltet wurde. Das gewählte Meßprinzip läßt sich demnach nur dann sinnvoll einsetzen, wenn das Netz überkompensiert betrieben wird bzw. das überwachte Netzteil eine gewisse Größe im Verhältnis zum Gesamtnetz nicht überschreitet.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde die Parallelkabelstrecke durch das Querdifferenzschutzprinzip überwacht. Als Fehlerort wurde das Ende des Kabels 3 unmittelbar an der Sammelschiene gewählt. Die Netzverhältnisse entsprechen dem Bild 3.3.5. Als Aufzeichnungsgrößen wurden die Verlagerungsspannung sowie die Schalterstellungen am Anfang und am Ende des Parallelkabels 3 verwendet. Aus den netztechnischen Ge-

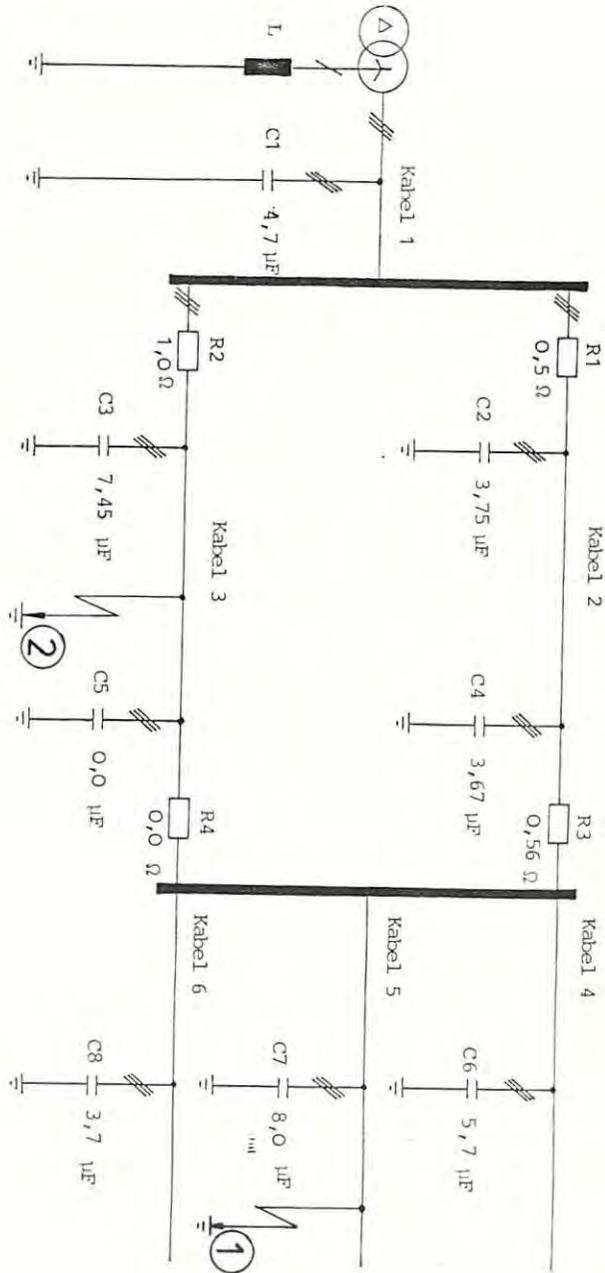


Bild 3.3.5: Erdschlusnetzmodell

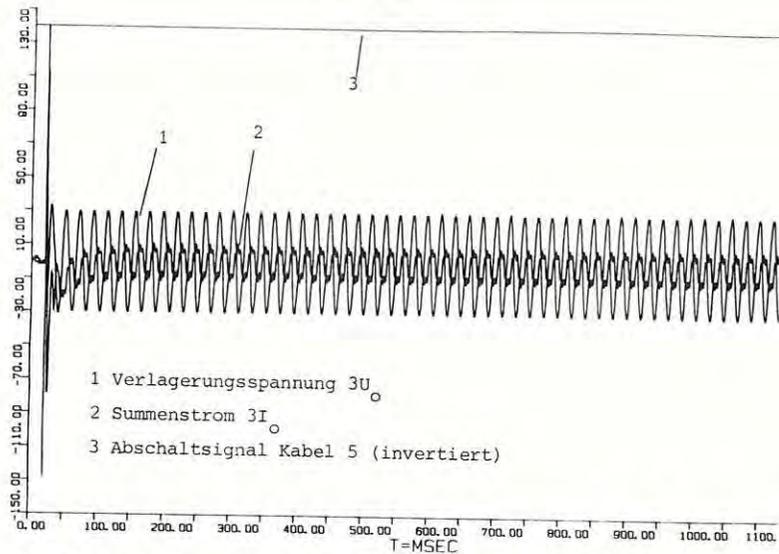


Bild 3.3.6: Erdschluß im StICKkabel 5

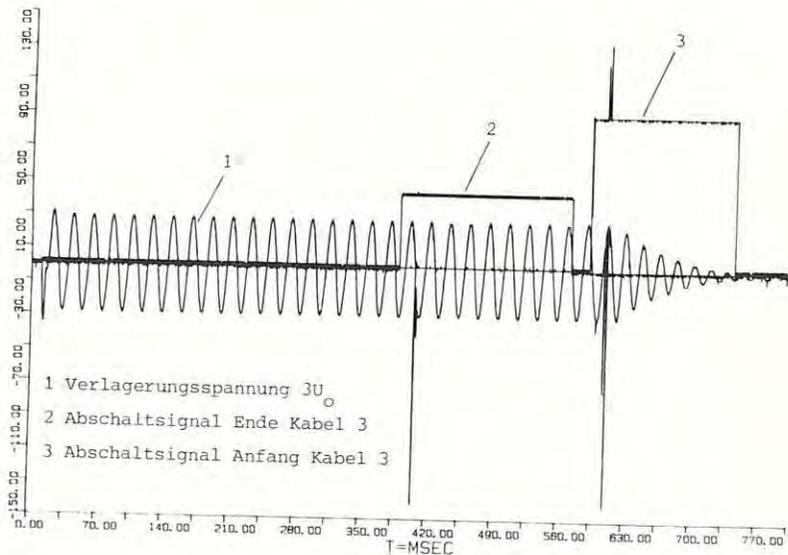


Bild 3.3.7: Erdschluß im Parallelkabel 3

gebenheiten muß sich eine Kaskadenabschaltung ergeben, die zuerst den Schalter am Ende und dann den am Anfang des Kabels 3 auslösen. Diese Kaskadenfunktion, die in Bild 3.3.7 deutlich wird, wird in Kap.3.3.3 näher beschrieben. Die Aufzeichnung zeigt die Funktionstüchtigkeit des Querdifferenzschutzprinzips beim Einsatz in Parallelkabeln unter ungünstigen Bedingungen.

H. Maiweg

3.3.5 Abstimmung einer Erdschlußspule nach dem Phasengang

In Hoch- und Mittelspannungsnetzen werden häufig Kompensationsspulen zur Begrenzung von Erdschlußfehlerströmen am Fehlerort eingesetzt. Um den Erdschlußreststrom optimal zu reduzieren, ist eine sofortige Abstimmung der Spule auf die geänderten Netzverhältnisse nach Schaltmaßnahmen notwendig.

Die Leitererdkapazitäten bilden mit der Erdschlußspule einen Resonanzkreis im Nullsystem. Der minimale Erdschlußreststrom ergibt sich bei der optimalen Abstimmung des Parallelschwingkreises auf die Netzfrequenz; der unvermeidbare Restwirkstrom wird durch die ohmschen Verluste der Spule sowie durch die Längswiderstände der Leitungen verursacht. Es ist die Aufgabe eines elektronischen Resonanzreglers, die Resonanzbedingungen bereits im fehlerfreien Zustand einzuhalten und die Spule entsprechend nachzustellen. Hierfür wurde bisher der Amplitudengang der Verlagerungsspannung verwendet, die bereits im fehlerfreien Betrieb aufgrund von Kabelunsymmetrien auftreten kann und die bei der Resonanzfrequenz ein Maximum aufweist. Diese bisherige Lösung weist jedoch im Betrieb einige Nachteile auf. Die meisten Netze werden aus verschiedenen Gründen nicht optimal, sondern leicht überkompensiert betrieben. In diesem Fall ist die Lösung für den Kompensationsgrad nicht eindeutig. Nur durch den Einsatz einer aufwendigen Spannungs-Zeitdifferenzmessung kann ermittelt werden, wie der angestrebte Kompensationsgrad erreicht wird und ob eventuell eine Laufrichtungsänderung

des Spulenantriebs notwendig ist.

Im Rahmen eines BMFT-Forschungsvorhabens, das sich mit der speziellen Problematik der selektiven Erdschlußfassung induktiv geerdeter Mittelspannungsnetze beschäftigt, wurde ein neuer Resonanzregler erprobt, der sich in 2 Punkten wesentlich von den bisherigen Lösungen unterscheidet:

- der automatische Resonanzregler wurde mit einem Mikrorechner realisiert
- der Resonanzregler erfaßt neben dem Amplituden- auch den Phasengang der Verlagerungsspannung.

Der Einsatz eines Mikrorechners für die Problemlösung weist neben der hohen Genauigkeit und der schnellen Meßwertverarbeitung auch den Vorteil der Flexibilität auf. Zudem ist der Aufbau unter Verwendung eines sogenannten Einplatinenmikrocomputers für universelle Anwendungen sehr preiswert. Der wesentliche Vorteil des beschriebenen Systems liegt in der zusätzlichen Verwendung des Phasengangs der Verlagerungsspannung. Der Amplitudengang wird weiterhin erfaßt, um im Falle eines Erdschlusses die Verstellung der Spule zu unterbrechen. Der Phasengang, der sich im Intervall von $0-180^\circ$ bewegt, ist ein eindeutiges Kriterium für die Einhaltung des eingestellten Kompensationsgrades. Der beschriebene Resonanzregler konnte inzwischen an dem Erdschluß-Netzmodell mit Erfolg auf seine Funktionstüchtigkeit hin getestet werden.

H. Maiweg

Bericht: EV 8318

3.3.6 Mikrorechnersystem für die Schutz- und Meßtechnik

Die Erfassung und Verarbeitung elektrischer Größen für schutz- und meßtechnische Zwecke läßt sich vorteilhaft mit dezentral einzusetzenden Mikrorechnern lösen. Gegenüber

konventionellen Lösungen bieten diese Systeme insbesondere eine größere Flexibilität in Bezug auf Meßwertauswertung, Anpassung an vorhandene Einrichtungen und Erweiterung bzw. Änderung der Aufgabenbereiche. Um die oben genannten Aufgaben zu realisieren, wurde ein universiell einsetzbares Mikrorechnersystem entwickelt (Bild 3.3.8).

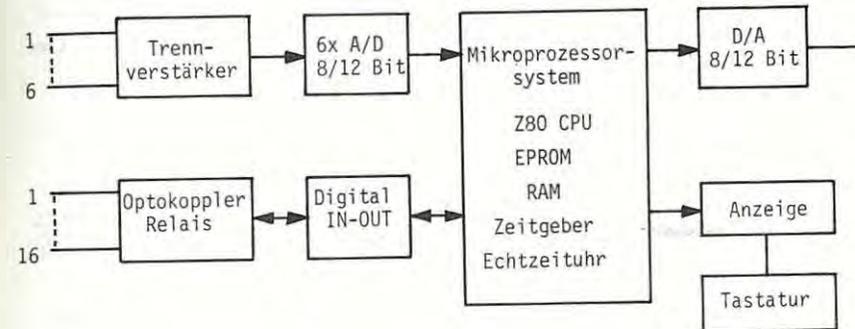


Bild 3.3.8: Blockschaltbild des Z80-Systems

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Systems wurde in einer Studienarbeit die Messung der Phasengrößen eines Drehstromsystems durchgeführt, daraus die symmetrischen Komponenten berechnet und diese zur Anzeige gebracht.

Für den Einsatz dieses Mikrorechnersystems in Schutz- und Regeleinrichtungen, die umfangreiche arithmetische Berechnungen erfordern, ist ein Arithmetik-Subprozessor vorzusehen.

W. Horenkamp

Bericht: EV 8232

3.3.7 Graphische Darstellung von Netzdaten durch ein prozessrechnergeführtes Graphik-Satelliten-System

Die am Lehrstuhl entwickelten graphischen, interaktiven Simulations-Systeme benutzen zur Ausgabe der Daten eine vollgraphische vektororientierte Graphikeinheit (VT11). Die Einheit wird vom Prozeßrechner direkt bedient, d.h. der Bildaufbau erfolgt über dessen UNIBUS und stellt somit eine hohe Belastung für den Rechner dar.

Diese Graphikeinheit wurde daher durch ein autonomes Graphikinterface ersetzt, das auf dem in den vorangegangenen beiden Berichtsjahren entwickelten Graphikprozessor basiert und durch Host-Satellite-Betrieb den Hauptrechner entlastet. Dabei wurde besonders auf Software-Kompatibilität zu der vorhandenen Graphikeinheit geachtet, so daß die vorhandene Anwendersoftware ohne Modifikation lauffähig ist.

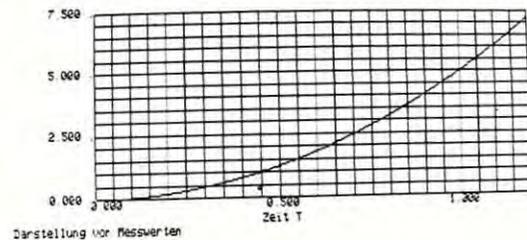


Bild 3.3.8: Beispiel einer Graphikausgabe

Bild 3.3.8 zeigt als Beispiel einen mit dem Plotprogramm GRA dargestellten dynamischen Ausgleichsvorgang in einem Verbundnetz. Im Gegensatz zur Graphikeinheit VT11 wird in diesem Fall der UNIBUS nach dem Bildaufbau nicht mehr belastet, so daß das Bild ohne Einschränkung des eigentlichen Rechnerbetriebes bestehen bleiben kann.

J. Voß, A. Bucker

Bericht: EV 8319

4. VORTRÄGE

4.1 Beiträge für das Kolloquium

- 02.02.1983 Dr.-Ing. E. Grebe, Universität Dortmund, "Dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme"
- 24.06.1983 Prof. Dr.-Ing. G. Hosemann, Universität Erlangen, "Auf der Suche nach neuen Energiequellen, Möglichkeiten und Probleme"
- 25.11.1983 Dr.-Ing. Th. Reißing, Universität Dortmund, "Dynamische Modelle der Lasten elektrischer Energieübertragungssysteme"
- 02.12.1983 Dr. P.G. Harhammer, IBM Wien, "Kraftwerkeinsatzplanung im hydrothermischen Verbundbetrieb"

4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

- 26.9. 1983 E. Handschin
"Acquiring and securing data", CIGRE/IFAC - Symposium, Florenz, Italien
- 28.9. 1983 E. Handschin
"Theory and practice of load modelling for power system dynamics", CIGRE/IFAC-Symposium, Florenz, Italien
- 04.10.1983 J. Voß
"Dämpfung von Leistungspendelungen durch den Spannungsregelkreis der Synchron-Generatoren", GMR-Workshop, Interlaken, Schweiz
- 08.11.1983 E. Handschin
"Auslegung robuster Regelsysteme in der elektrischen Energieversorgung", INTERKAMA - Kongress, Düsseldorf
- 22.11.1983 J. Voß
"Langfristige Kraftwerkseinsatzplanung im thermischen Verbund", Steierisches Seminar, Graz, Österreich

5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN

- 28.01.1983 E. Handschin, J. Voß
Gespräch mit Herrn Dir. Becker und Mitarbeitern, VEW Dortmund über langfristige Kraftwerkseinsatzplanung
- 08.02. - E. Handschin, J. Voß
11.02.1983 Besuch von Herrn Dr. Rácz, Technische Universität Budapest, zur Vorbereitung eines gemeinsamen Forschungsprojektes über die Blindleistungs-Spannungsregelung
- 16.02.1983 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirates des VDE Bezirksvereins Rhein-Ruhr, RWE Essen
- 23.02.1983 E. Handschin
10. Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses "Netzregelung" in Frankfurt
- 01.03.1983 E. Handschin
22. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches Rechnen" der FGH, Universität Kaiserlautern
- 16.03. - M.Gacka, H. Maiweg, R. Woltemate
17.03.1983 ETG Fachtagung über "Selektivschutz", Nürnberg
- 14.04.1983 E. Handschin
Sitzung des Deutschen Arbeitskreises zum CIGRE-Studienkomitee SC-39 beim RWE, Brauweiler
- 18.04. 1983 W. Horenkamp, K.-D. Tesch, R. Woltemate
19.04.1983 Besuch der Hannover Messe
- 18.04. - E. Handschin, E. Grebe, W. Horenkamp, J. Voß
21.04.1983 Organisation und Durchführung des AK-TR Seminars "Netzdynamik" der FGH in Seeheim
- 25.04.1983 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund bei Siemens, Dortmund

- 25.04. - W. Horenkamp
27. 04.1983 VDE-Seminar über Schutzmaßnahmen in Köln
- 26.04.1983 E. Handschin, M. Gacka, H. Maiweg, R. Woltemate
Besprechung mit Herrn Dr. Dill, BVS Derne über Erdschlußfassung in Untertagenetzen, Universität Dortmund
- 29.04.1983 E. Handschin
Sitzung des VDE-Beirates des VDE Bezirksvereins Rhein-Ruhr mit Besichtigung des TÜV Forschungslabors in Essen
- 03.05. - J. Voß
06.05.1983 IBM-Seminar über "Kraftwerkseinsatzoptimierung mit linearer Programmierung", Salzburg
- 06.05. - E. Handschin
07.05.1983 Teilnahme an einem von Siemens München organisiertes Symposium über den Anteil der Informatik-Ausbildung im Elektrotechnik-Studium, Feldafing
- 09.05.1983 Th. Reißing
Gespräch mit Herrn Dr. Bongers und Herrn Niemand, VEW Dortmund, über Fragen zur Spannungs- und Frequenzabhängigkeit der Lasten, Arnsberg
- 14.05.1983 E. Handschin und Mitarbeiter
Tag der offenen Tür an der Universität Dortmund
- 17.05. - E. Handschin
22.05.1983 Besuch der PICA Konferenz in Houston, USA
- 10.06.1983 E. Handschin
Grubenfahrt auf der Schachanlage Fürst Leopold in Dorsten

- 20.06. 1983 E. Handschin
11. Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses
"Netzregelung" in Frankfurt
- 13.07.1983 E. Handschin
Besprechung mit Herrn Dir. Ramusch, VEW
Dortmund zum FGH Aussprachetag "Leittechnik
in der Energieverteilung"
- 15.07.1983 E. Handschin, E. Grebe
Besprechung mit Herrn Kürten und Herrn Dr.
Adermann über die Auslegung der Turbinen-
regelung, KWU in Erlangen
- 16.09.1983 E. Handschin, J. Voß
Besprechung mit Herrn Dr. Göttmann, Firma
Uhde, Dortmund, über den kostenoptimalen
Betrieb von Salpetersäureanlagen
- 25.09. - E. Handschin
30.09.1983 Besuch des IFAC/CIGRE Symposium über
"Les Applications Du Contrôle-Commande A La
Sécurité Des Réseaux Électriques", Florenz
- 26.09. - H.H. Graf, J. Voß
27.09.1983 VDE/GMR Aussprachetag über "Rechnergestütz-
ter Regelkreisentwurf", Langen
- 03.10. - J. Voß
05.10.1983 VDE/GMR Workshop über "Robuste Regelung",
Interlaken, Schweiz
- 18.10.1983 E. Handschin, D. König
Besprechung mit Herrn Knoche und Herrn Dr.
Grebe, RWE über den Einsatz von CSP zur
Simulation dynamischer Vorgänge in elektri-
schen Energieversorgungssystemen in Essen
- 19.10.1983 A. Bückner, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Sicherheitsseminar des Fachverbandes Elektro-
technisches Handwerk NRW in Dortmund

- 20.10.1983 J. Voß
AK-TR Forum der FGH über "Netzoptimierung"
in Aachen
- 21.10.1983 E. Handschin
23. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches
Rechnen" der FGH an der RWTH Aachen
- 26.10.1983 E. Handschin und Mitarbeiter
Präsentation des vorläufigen Schlußberichtes
zum BMFT Forschungsprojekt "Selektive Erd-
schlußfassung in Untertagenetzen des deut-
schen Steinkohlebergbaus" vor dem Arbeits-
kreis "Elektrotechnik unter Tage" in Essen
- 02.11.1983 E. Handschin, H. Maiweg
Präsentation eines neuen Forschungsantrages
bei der Projektleitung Energieforschung der
KFA Jülich
- 02.11.1983 J. Voß
Besuch der Guano Werke in Krefeld
- 08.11.1983 E. Handschin, J. Voß
Besuch des Interkama Kongresses in Düsseldorf
- 08.11.1983 A. Bückner, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besprechung mit den Herren Reithis und
Westphal über das Forschungsprojekt "Berüh-
rungsschutz in Niederspannungsanlagen" bei
VEW in Dortmund
- 09.11.1983 E. Handschin und Mitarbeiter
Besprechung mit Herrn Dr. Kieback vom Insti-
tut zur Erforschung elektrischer Unfälle und
Herrn Kröger von der Bundesanstalt für Arbeits-
schutz und Unfallforschung zum Thema "Be-
rührungsschutz in Niederspannungsanlagen"
- 10.11.1983 E. Handschin
12. Sitzung des GMR/ETG Fachausschusses
"Netzregelung" in Düsseldorf

- 10.11.1983 N. Aschöwer, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besuch der Interkama in Düsseldorf
- 10.11.1983 Th. Reißing
Gespräch mit den Herren Hormann, Labohm und
Schulte-Trux, VEW über Lastmodellierung und
Lastprognose im Mittelspannungsnetz, Dortmund
- 21.11. - E. Handschin
24.11.1983 Seminar über den Einsatz von Arbeitsplatz-
rechnern in der Energieverteilung, Freiburg
i.Ü., Schweiz
- 21.11. - J. Voß
24.11.1983 3. Steierisches Seminar über Regelungstechnik,
Graz, Österreich
- 22.11.1983 A. Bücken, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besprechung mit Herrn Bönner, Elektromark
über Berührungsschutz in Niederspannungsan-
lagen
- 25.11.1983 A. Bücken, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besuch der Internationalen Ausstellung "Ar-
beitsschutz und Arbeitsmedizin" in Düssel-
dorf
- 01.12.1983 A. Bücken, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besprechung mit Herrn Lindner bei den Stadt-
werken Düsseldorf über "Arbeitsschutz in
Niederspannungsanlagen"
- 02.12.1983 E. Handschin und Mitarbeiter
Besuch von Herrn Dr. Harhammer, IBM Wien
- 16.12.1983 E. Handschin und Mitarbeiter
Besprechung mit Herrn Pajonk, Siemens,
Dortmund über Erdschlußschutz in Kabelnetzen

6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE

6.1 Veröffentlichungen

E. Handschin: "Elektrische Energieübertragungssysteme",
Band 1: Stationärer Betriebszustand
Band 2: Netzdynamik
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg

Die systematische Behandlung elektrischer Energieübertra-
gungssysteme spielt sowohl für deren Planung wie auch deren
Betrieb eine wichtige Rolle. Die großen, technologischen
Innovationen auf dem Gebiet der Informationsverarbeitung
ermöglichen heute teilweise neue Lösungen der damit zu-
sammenhängenden komplexen Probleme. Das vorliegende Buch
hat zum Ziel, die dazu erforderlichen mathematischen Me-
thoden zu behandeln. Dabei werden die drei großen Bereiche
stationäre Analyseverfahren, Überwachung und Optimierung
sowie Regelung und Stabilität elektrischer Energieübertra-
gungssysteme behandelt.

E. Handschin, Th.Reißing: "Theory and Practice of Load
Modelling for Power System Dynamics", Paper presented at
the CIGRE/IFAC-Symposium on Control Application for Power
System Security, Florence 26-28 Sept. 1983

The load at a specific network bus consists of a great
number of different electrical customer loads. The equiva-
lent load model describes the behaviour of the load, as
viewed from the bus, resulting from the combined reaction
of all customer loads of the interconnection network on
changes in bus voltage and network frequency. Therefore,
the combined load characteristic is only approximately
equal to the sum off all the single customer load charac-
teristics. The specific feature of the load modelling
approach presented here ist the property that both customers
and the network are taken into consideration.

E. Handschin, M. Gacka, H. Maiweg, R. Woltemate: "Selektive Erdschlußfassung in Parallelkabeln induktiv geerdeter Mittelspannungsnetze", Elektrizitätswirtschaft 1982 (1983), Heft 22, Seite 837-839

Der selektiven Abschaltung von Erdschlüssen in Kabelnetzen des Steinkohlebergbaus kommt aus sicherheitstechnischen Gründen besondere Bedeutung zu. In der Veröffentlichung wird ein neuartiges Verfahren vorgestellt, das die selektive Erdschlußfassung in Parallelkabeln ermöglicht.

B. Björnsson, B. Cuno, E. Handschin, J. Voß: "Auslegung robuster Regelsysteme in der elektrischen Energieversorgung", Fachberichte Messen - Steuern - Regeln, "Fortschritte durch digitale Meß- und Automatisierungstechnik", Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

Der Verbundbetrieb elektrischer Netze ermöglicht den sicheren Transport elektrischer Energie, schafft die Voraussetzung für eine wirkungsvolle Störungsaushilfe der Partner und ermöglicht den kostengünstigen Einsatz der Primärenergie. Die Aufrechterhaltung eines ungestörten und wirtschaftlichen Betriebes erfordert eine enge Zusammenarbeit, der an einem Verbundsystem beteiligten Partner. In diesem Zusammenhang spielt die Auslegung der Regelsysteme eine wichtige Rolle. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Problem der Frequenz-Leistungs-Regelung, die im Mittelzeitbereich das dynamische Verhalten des Netzes bestimmt. Die vor allem im Kurzzeitbereich eingreifende Spannungsregelung wird im Hinblick auf gute Dämpfungseigenschaften mit Hilfe der Entwurfskriterien der robusten Regelung ausgelegt.

E. Handschin, J. Voß: "Auswirkungen der Mikroelektronik auf die Realisierung der Kraftwerksleittechnik, Grundlagen, Begriffe, Strukturen", TÜV-Schriftenreihe, Heft 22, S. 6-10

Der enorme technologische Innovationsprozeß, der über die moderne Mikroelektronik fast alle technischen Gebiete beeinflußt, erfordert heute in mancherlei Hinsicht ein Umdenken. Die Mikroelektronik wird in Teilaufgaben der Kraftwerksleit-

technik schrittweise Einzug halten. Nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Betreibern können jedoch die neuen technischen Möglichkeiten optimal genutzt werden.

E. Handschin: "Acquiring and securing data", Paper presented at the CIGRE/IFAC-Symposium on Control Application for Power System Security, Florence 26-28 Sept. 1983

The necessity to base the power system operation on reliable and complete information becomes evident as the freedom of action of the control center personal gets limited. The paper discusses the hardware and software aspects related to the security monitoring functions. Since the amount of theoretical contributions is very susceptible the main emphasis of this survey paper lies more on problems related to the on-line implementation in order to bridge the gap between the latest theoretical findings and their realization for practical applications.

H.H. Graf, J. Voß: "Zentrale Blindleistungs-Spannungsoptimierung in elektrischen Energieversorgungssystemen", Forschungsbericht des Landes NRW, Westdeutscher Verlag

In diesem Bericht wird das Konzept einer zentralen Spannungs-Blindleistungsregelung für das Netz vorgestellt. Nach illustrativen Beispielen zu Detailproblemen wird aufgezeigt, wie Abhängigkeiten mathematisch erfaßt werden können. Es wird eine Methode hergeleitet, die diese Abhängigkeiten nutzt, um ein definiertes Regelungsziel zu erreichen. Anhand von Beispielen wird der Einfluß dieser Regelung auf das Netzverhalten untersucht. Abschließend werden Möglichkeiten einer Realisierung beim heutigen Stand der Technik diskutiert.

E. Grebe: "Entwurf der Turbinenregelung unter Berücksichtigung der Mittelzeitdynamik von Kraftwerk und Netz", etzArchiv, Band 6, 1984

Es wird der Einfluß der Turbinenregelung auf das dynamische

Verhalten eines Energieversorgungssystems nach Störungen des Leistungsgleichgewichts untersucht. Dazu wird ein für den interessierenden Zeitbereich gültiges Mittelzeitmodell für die Kraftwerke und das Netz verwendet, das die wesentlichen dynamischen Vorgänge beschreibt. Die gegenseitige dynamische Beeinflussung der Turbinenregelung mehrerer Kraftwerksblöcke hängt von der Netzkonfiguration ab und kann mit bestehenden Turbinenreglern zu Stabilitätsproblemen führen. Das angegebene Konzept der Turbinenregelung ist sowohl für die Leistungsregelung des Blocks als auch für die Frequenzregelung zur Einhaltung des Leistungsgleichgewichts ohne Parameter- oder Strukturumschaltungen geeignet.

6.2 Forschungsberichte

- E. Handschin: "Behandlung von Schaltvorgängen in elektrischen Netzen", EV 8311
- E. Handschin: "Problemstellungen und Lösungen in der Elektrizitätswirtschaft", EV 8312

6.3 Diplomarbeiten

- A. Bücken: "Grafische Darstellung von Netzdaten durch ein prozeßrechnergeführtes Grafik-Satelliten-System", Diplomarbeit, August 1983, EV 8319
- D. Patzwald: "Sensitivitätsuntersuchungen in elektrischen Energieübertragungssystemen", Diplomarbeit, August 1983, EV 8320
- H. Slomski: "Langfristige Kraftwerkseinsatzoptimierung unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen", Diplomarbeit, Januar 1984, EV 8328

6.4 Studienarbeiten

- F. Warkowski: "Digitale Datenübertragung zwischen Mikroprozessor PSI 80 und PDP 11/40", Studienarbeit, Februar 1983, EV 8306
- D. Heerdt: "Erweiterung eines Estimator-Simulationenprogramms", Studienarbeit, Februar 1983, EV 8304

- H. Slomski: "Optimale Kraftwerkseinsatzplanung mit Methoden der linearen Programmierung", Studienarbeit, Februar 1983, EV 8302
- W. Nitsche: "Entwicklung eines intelligenten Meßwerterfassungssystems", Studienarbeit, Januar 1983, EV 8301
- D. Patzwald: "Sensitivitätsanalyse und Bewertung der Lastflußberechnung", Studienarbeit, Februar 1983, EV 8303
- J. Tebbe: "Untersuchung eines neuen Verfahrens zur schnellen Ausfallsimulation", Studienarbeit, Februar 1983, EV 8305
- W. Ebbinghaus: "Aufbau eines elektronischen Resonanzreglers", Studienarbeit, Juli 1983, EV 8318
- W. Hoffmann: "Berechnung von Nullstromverteilung in gelöschten Kabelnetzen", Studienarbeit, Juli 1983, EV 8330
- H. Schemmann: "Untersuchung eines Verfahrens zur schnellen digitalen Leistungsmessung", Studienarbeit, August 1983, EV 8321
- M. Wuske: "Digitale Meßwerterfassung an einem simulierten Untertagenetz mit einem Mikrorechnersystem an anschließende mathematische Analyse der gewonnenen Daten an einem Prozeßrechner", Studienarbeit, Oktober 1983, EV 8325
- U. Kämmerer: "Lösung des Lastflußproblems mit einem Mehrprozessorrrechner", Studienarbeit, Dezember 1983, EV 8331
- R. Toppe: "Dynamische Simulation von Schaltvorgängen in elektrischen Energieversorgungsnetzen", Studienarbeit, EV 8332

6.5 Programmbeschreibungen

- D. König: "Bedienungsanleitung für das Simulationssystem CSP", EVP 8208
- D. König: "KURVA, Beschreibung eines Programms zur Darstellung von Diagrammen auf dem VT-11 Display und dem HP-Plotter", EVP 8212

- N. Aschöwer: "GISS, Grafisches-interaktives-Simulations-System im multi-user Betrieb", EVP 8313
- N. Aschöwer: "LADØ LAD1, Laden formatierter Kerndateien in eine unformatierte Datei FOR100.FDL; Vorbereitung zur schnellen entkoppelten Lastflußberechnung", EVP 8303
- N. Aschöwer: "LADEIN, Umbenennen von Knotennummern und Sortieren der umbenannten Datei in aufsteigender Reihenfolge für Kerndateien, sowie zum Laden der Daten für SIMEST", EVP 8304
- N. Aschöwer: "NETDAT, Erstellung von Kerndateien aus einfach zu editierenden Netzdaten", EVP 8309
- N. Aschöwer: "KURVDA, Manuelle Erstellung unformatierter Dateien für die Anwendung", EVP 8310
- N. Aschöwer: "NESPLA, Speichern und Laden formatierter Dateien für die Anwendung von NETBLD", EVP 8311
- N. Aschöwer: "NETBLD, Darstellung elektrischer Energieversorgungsnetzwerke auf dem Bildschirm und Plotter", EVP 8312
- N. Aschöwer: "NETABL, Wandlung von Kerndateien in intern bezeichnete GISS-Format-Dateien und umgekehrt", EVP 8314
- N. Aschöwer: "OVLBDL, Darstellung beliebiger Overlay-Bäume auf dem Bildschirm und Plotter", EVP 8315
- N. Aschöwer: "SIMEST, Simulationsprogramm für state-estimation", EVP 8316
- W. Hoffmann: "VEB, Berechnung der Nullstromverteilung in gelöschten Kabelnetzen", EVP 8319

7. PROMOTIONEN

Reißing, Thomas: "Dynamische Modelle der Lasten elektrischer Energieübertragungssysteme"

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. D. Peier

Tag der mündlichen Prüfung: 23. September 1983

Das dynamische Verhalten eines elektrischen Energieübertragungssystems wird bestimmt durch das Zusammenwirken von Kraftwerken, Netz und Lasten. Während für die beiden ersten Teilsysteme, Kraftwerke und Netz, die Modellbildung weitgehend abgeschlossen ist, muß für die Lasten ein beträchtliches Defizit festgestellt werden. Die Spannungs- und Frequenzabhängigkeit der Lasten kann aber einen erheblichen Einfluß auf die dynamischen Vorgänge im Netz ausüben.

Im Hinblick auf die schlechte Identifizierbarkeit der Lastcharakteristik im UCPT-Netz wurde ein Ansatz gewählt, der auf statistischen Daten über die Art und Anzahl der in einem Netz vorhandenen elektrischen Anlagen und Geräte sowie über die Verbrauchsgewohnheiten der Kunden beruht. Auf der Grundlage dieser Daten und der Modelle einzelner Geräte wird ein systematisches Verfahren zur Berechnung der Gesamtcharakteristik eines Netzes für den Mittelzeitbereich aufgezeigt. Die Gesamtlastcharakteristik beschreibt diejenige Lastcharakteristik, die an der (oder den) Einspeisung(en) aus dem überlagerten Netz bzw. den Kraftwerken beobachtet wird.

Aufgrund der Beschränkung auf die Dynamik im Mittelzeitbereich mit Spannungs- und Frequenzvariationen, die nicht weit über das Toleranzband für den Normalbereich hinausgehen, können lineare Modelle verwendet werden, die auch den Einfluß des Netzes auf die Lastcharakteristik in systematischer Weise beschreiben.

Untersuchungen an einem einfachen zweiknotigen Netz verdeutlichen den Einfluß des Längsspannungsfalls auf die Gesamtlastcharakteristik. Anhand zweier exemplarischer Netze wird die Durchführbarkeit der netzwerkorientierten Lastmodellreduktion demonstriert.

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht es zum ersten Mal, mit geringem numerischen Aufwand - der ungefähr der Lösung eines Lastflußproblems entspricht - das Verhalten von Netzlasten zu modellieren und die Ursachen zu verstehen und zu berechnen, die zu den zum Teil beträchtlichen Unterschieden zwischen dem Verhalten der Einzellasten eines Netzes und der Gesamtlastcharakteristik führen. Die Einsicht in die physikalischen Zusammenhänge und ihrer Bewertung wird nicht zuletzt durch die Einfachheit und Überschaubarkeit der linearen Betrachtungsweise gefördert.