

JAHRESBERICHT  
des  
Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung  
Studienjahr 1976/77



LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG  
UNIVERSITÄT DORTMUND  
o. PROF. DR.-ING. E. HANDSCHIN

**JAHRESBERICHT**  
des  
**Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung**  
**Studienjahr 1976/77**

**November 1977**

**Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung**  
**Prof. Dr. -Ing. E. Handschin**  
**Telefon 0231 /755-2396**  
**Postfach 500500**  
**46 Dortmund - 50**

## Inhaltsverzeichnis

|   | Seite |
|---|-------|
| 1. Personal                                 | 1     |
| 2. Lehrbetrieb                              | 2     |
| 3. Entwicklungs- und Forschungsarbeiten     | 5     |
| 4. Vorträge                                 | 15    |
| 5. Nationale und internationale Beziehungen | 18    |
| 6. Veröffentlichungen, Berichte             | 19    |

1. Personal

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Lehrstuhlinhaber:         | Prof. Dr.-Ing. E. Handschin  |
| Sekretariat:              | Frau I. Gasthaus   |
| Oberingenieur:            | Dr.-Ing. J. Voß (ab 1. Juli 1977)  |
| Wiss. Assistenten:        | Dipl.-Ing. P. Grafoner<br>Dipl.-Ing. G. Howe   |
| Wiss. Mitarbeiter:        | Dipl.-Ing. C. Bongers<br>Dipl.-Ing. E. Grebe   |
| Techn. Mitarbeiter:       | Frau I. Grafoner<br>Ing.(grad.) W. Horenkamp   |
| Studentische Hilfskräfte: | cand.-Ing. P. Dircks<br>cand.-Ing. H.-D. Honselmann<br>cand.-Ing. K.-F. Hopp<br>cand.-Ing. R. Köhne<br>cand.-Ing. K. Krause<br>cand.-Ing. W. Neubauer<br>cand.-Ing. B. Schwenniger |

## 2. Lehrbetrieb

### 2.1 Vorlesungen

#### a) Elektrische Energietechnik I (WS 1975/76)

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

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

#### b) Elektrische Energietechnik II (SS 1976)

Obligatorische Vorlesung für alle Studenten der Abteilung Elektrotechnik im 6. Semester. Ca. 50 Stunden Vorlesung mit Übung.

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

#### c) Energieübertragungssysteme I (WS 1976/77)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 7. Semester. Ca. 40 Stunden Vorlesung und Übungen.

Inhalt: Energiesystemberechnung im stationären Zustand; dynamisches Netzverhalten, symmetrische Kurzschlüsse; Estimation.

#### d) Energieübertragungssysteme II (SS 1972)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtung Energietechnik und Allgemeine Elektrotechnik im 8. Semester. Ca. 35 Stunden Vorlesung und Übungen.

Inhalt: Symmetrische Komponenten, unsymmetrische Betriebszustände; statische und dynamische Stabilität.

#### e) Elektrizitätswirtschaft (SS 1977)

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

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

## 2.2 Praktika

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

a) Schutzeinrichtungen

Behandlung der wichtigsten Schutzmaßnahmen beim Anschluß elektrischer Verbraucher.

b) Messung von Energie und Leistung

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

c) Untersuchung von Überstromunterbrechern und Erwärmung von Leitungen

Prüfen verschiedener herkömmlicher Sicherungen, 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 Wechselspannungsmeßmethoden.

d) Regelung von Wirk- und Blindleistung

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

e) Planung elektrischer Energieversorgungssysteme

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

2.3 Exkursionen

- |                  |  |
|------------------|--|
| 11. Januar 1977  | Grubenfahrt Zeche General Blumenthal<br>(Zugautomatisierung unter Tage),<br>Recklinghausen |
| 1. Februar 1977  | Steinkohlenbergbauverein Essen   |
| 15. Februar 1977 | Steag Kraftwerke (Kohlevergasungsanlage)<br>Lünen, in Zusammenarbeit mit dem VDE           |
| 1. Juli 1977     | Hauptschaltleitung des RWE, Brauweiler   |
| 16. Juni 1977    | Hoesch Hüttenwerke, (Netz-Einspeisung,<br>Kaltwalzwerk, Breitbandstraße) Dortmund          |
| 5. Juli 1977     | Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke<br>in Dortmund-Derne                                 |

### 3. Entwicklungs- und Forschungsarbeiten

#### 3.1 Netzautomatisierung und Systemführung

##### 3.1.1 Anwendung der Estimationstheorie für die Überwachung und Führung elektrischer Energieversorgungssysteme (DFG-Auftrag)

Zentrale Netzüberwachung und -führung erfordert eine vollständige und zuverlässige Datenbank, deren Aufgabe darin liegt, den aktuellen Netzzustand zu beschreiben. Eine Zustandsberechnung läßt sich unter Verwendung von Estimationsverfahren leicht durchführen. Hierbei werden im allgemeinen redundant im Netz vorhandene Messungen als Eingangsgrößen verwendet. Im Laufe der letzten Jahre hat sich jedoch das ursprüngliche Interesse, Estimationsverfahren zur möglichst genauen Zustandsberechnung zu verwenden, eindeutig zugunsten der Zuverlässigkeit der berechneten Daten verlagert. Dies bedeutet, große Meßfehler sowie nicht zur Leitzentrale gemeldete Netzstrukturänderungen müssen entdeckt, identifiziert und in ihrer Auswirkung unterdrückt werden. Im Berichtsjahr sind neue Verfahren entworfen und weiterentwickelt worden, die die Erstellung einer optimalen Meßgeräteanordnung im Hinblick auf eine gute Entdeckbarkeit schlechter Daten auf systematischem Wege erlauben.

##### 1. Optimierung einer Meßgeräteanordnung

Alle Optimierungsverfahren basieren auf einer Datenbank, die ausgehend von redundanten Messungen unter Verwendung eines Estimationsverfahrens oder auf der Basis von Planungsdaten erstellt wurde. Die Auswertung der statistischen Eigenschaften der Meßfehler erlaubt eine quantitative Aussage über die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Meßfehlern verschiedener Größe. Eine optimale Meßgeräteanordnung muß gewährleisten, daß grobe Meßfehler, darunter werden Fehler vom 5- bis 10-fachen der Standardabweichung verstanden, entdeckt werden können. Derartig große Fehler verfälschen das Ergebnis der Zustandserfassung in nicht mehr zu vernachlässigender Weise. Diese Fehler sind nicht durch einfache Plausibilitätstests wie grobe Ausreißer vom 20-fachen der Standardabweichung und mehr entdeckbar.

Das erste Verfahren geht von einer im Netz bereits vorhandenen Meßgeräteanordnung aus. Diese Anordnung ist im Zuge der Netzautomatisierung für das eingesetzte Estimationsverfahren nach den oben genannten Kriterien zu optimieren. Anhand von Kennzahlen, die sich aus den neu abgeleiteten statisti-



schen Beziehungen ergeben, kann einerseits entschieden werden, welche der vorhandenen Messungen durch weitere, neu einzufügende Messungen gestützt werden müssen und andererseits auf welche der Messungen ohne entscheidende Einbußen verzichtet werden kann. Dieses Verfahren ist auf interaktivem Wege leicht durchzuführen.

Ein Alternativansatz geht davon aus, daß von allen technisch möglichen Messungen solange Meßwerte eliminiert werden, bis die Redundanz der Messungen auf einen wirtschaftlich und technisch vertretbaren Wert reduziert worden ist. Gleichzeitig wird ständig überprüft, ob eine ausreichende Entdeckbarkeit schlechter Daten gewährleistet ist. Auch bei diesem Verfahren geben neu hergeleitete Kennzahlen an, welche Messungen zu eliminieren sind.

Ein drittes Verfahren überführt durch gezielte Genauigkeitsverbesserungen einzelner Messungen eine gegebene Anordnung in eine optimierte Form. Hierbei wird die vorliegende Meßstruktur beibehalten. Über die Elemente einer geeigneten Empfindlichkeitsmatrix können die Messungen ausgewählt werden, bei denen kleine Änderungen in der Meßgenauigkeit einen großen Einfluß auf die Steigerung der Entdeckbarkeit schlechter Daten haben.

Die beschriebenen Verfahren werden anhand verschiedener Energieversorgungsnetze numerisch untersucht. Der Vergleich der Resultate zeigt, daß für ein und dasselbe Netz durchaus mehrere Meßgerätekonfigurationen dieselben Qualitätsanforderungen bezüglich der Entdeckbarkeit von groben Meßfehlern erfüllen können. Die hier nur kurz beschriebenen Verfahren liefern wertvolle Aussagen, da neben systematischen Untersuchungen auch ein qualitativer Vergleich verschiedener Meßgeräteanordnungen ermöglicht wird.

## 2. Estimierbarkeit, Redundanz

Im Rahmen der Erstellung optimaler Meßgeräteanordnungen sind zwei weitere Gesichtspunkte von entscheidender Bedeutung. Es muß beim Entwurf der Meßstruktur beachtet werden, daß auch bei Ausfall einer oder mehrerer Messungen die Estimierbarkeit des Netzzustandes noch gewährleistet ist. Daneben ist grundsätzlich die Frage zu klären, wie groß die Redundanz der Messungen sinnvollerweise zu wählen ist.

Zur Feststellung der Estimierbarkeit eines Netzes wurde ein Test entwickelt, der als Informationsgrundlage nur die Struktur einer Teilmatrix der in der Estimationsrechnung verwendeten Jacobi-Matrix benötigt. Wiederholtes Durchführen dieses Tests, bei fortlaufender Simulation von Ausfällen einzelner

oder mehrerer Messungen, liefert eine gut verwertbare Information über die Sicherheit der Meßgeräteanordnung. Eine Anordnung sollte erst dann als sicher bezeichnet werden, wenn bei Ausfall zweier beliebiger Messungen die Estimierbarkeit noch gegeben ist.

Die Untersuchungen hinsichtlich der zu wählenden Redundanz in einem Netz haben zu neuen interessanten Ergebnissen geführt. Um eine Aussage über die zu wählende Gesamtredundanz machen zu können, muß die Entdeckbarkeit schlechter Daten in einer Meßgeräteanordnung global charakterisiert werden. Aus den in der Arbeit abgeleiteten Beziehungen ergibt sich eine Größe, die als Maß für die mittlere Entdeckbarkeit schlechter Daten verwendbar ist. Betrachtet man die Abhängigkeit dieser Maßzahl von der Redundanz, so erkennt man, daß es im Hinblick auf die Entdeckbarkeit schlechter Daten, abhängig von der Netzgröße, einen optimalen Bereich für die Redundanz gibt. Weiterhin ergibt sich, daß bei größer werdenden Netzen die Meßgenauigkeit zu steigern ist, um global gesehen, eine gleich gute Entdeckbarkeit für schlechte Daten wie in kleineren Netzen zu erreichen.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. C. Bongers

### 3.1.2 Optimale Netzführung

Der Bereich der optimalen Netzführung umfaßt nicht nur den sicheren Netzzustand, wo der Optimierung im wesentlichen wirtschaftliche Gesichtspunkte zugrunde gelegt werden, sondern muß auch den Bereich des gefährdeten und gestörten Zustands umfassen, da es hier insbesondere von Bedeutung ist, mit geeigneten Maßnahmen optimal auf Störungen und Ausfälle von Betriebsmitteln zu reagieren. Um für die Untersuchung eine breite Ausgangsbasis zu erhalten, wurden im vergangenen Jahr zunächst die Test- und Vergleichsrechnungen zur Wirkleistungsoptimierung mit Betriebs- und Sicherheitsrandbedingungen anhand verschiedener Testnetze weitergeführt und soweit abgeschlossen, daß die Aussage möglich ist, daß der gewählte Ansatz ein gut geeignetes Lösungsverfahren für die Behandlung der vorgestellten Problemstellung darstellt.

Während der Mittel- und Spitzenlastzeiten ist die optimale Wirkleistungsverteilung von vorrangiger Bedeutung, während der Schwachlastzeiten zu den Nachtstunden oder am Wochenende bildet die Blindleistungsverteilung und damit auch die Spannungshaltung das größere Problem. Hierzu wurde eine Zielfunktion aufgestellt zur Ermittlung optimaler Blindleistungseinspeisungen

unter Berücksichtigung von Längsregeltransformatoren. Erste Testrechnungen an kleineren Netzen zeigen, daß das Verfahren des inkrementalen Lastflusses auch zur Blindleistungsoptimierung geeignet ist.

Das oben beschriebene Vorgehen ist dadurch charakterisiert, daß jeweils aufgrund der vom Estimator festgestellten Überlastung in dem tatsächlichen Netz geeignete Abhilfemaßnahmen getroffen werden. Es werden also sicherheitsbedingte korrigierende Maßnahmen getroffen (Bild 1). Erste Überlegungen wurden zum Bereich der vorbeugenden Maßnahmen gemacht, um insbesondere die Auswirkungen von Überlastungen oder Ausfällen von Betriebsmitteln bei Netzstörungen im voraus zu analysieren und der nachfolgenden Netzoptimierung als Randbedingung zugrunde zu legen.

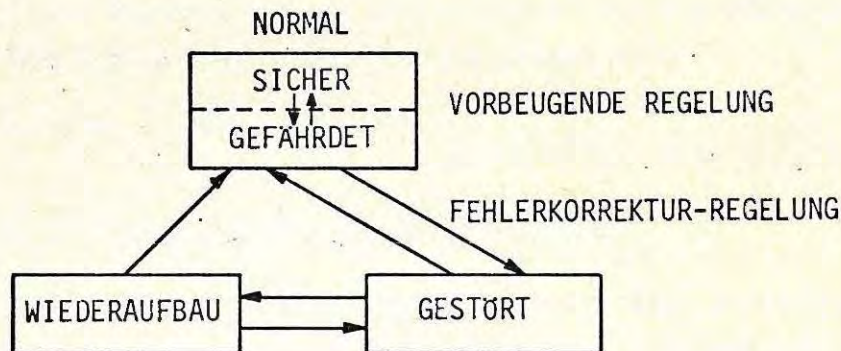


Bild 1 BLOCKDIAGRAMM DER SICHERHEITSREGELUNG

Anfang des Jahres 1977 wurde ein Programmpaket von der Michigan State University übernommen, mit dem über einen Dialogbetrieb eine Simulation einer Lastverteilung über 24 h möglich ist. Neben der Deckung der aktuellen Last durch die angeschlossenen Generatoren hat der "Operator" auch die Aufgabe, die erforderlichen Wartungsintervalle der Generatoren so festzulegen, daß Störungen vermieden werden können. Außerdem bietet sich über die Berechnung der wirtschaftlichen Lastverteilung die Möglichkeit, die vom "Operator" gewählten Leistungseinspeisungen mit den kostenoptimalen Einspeisewerten zu vergleichen.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. G. Howe

### 3.1.3 Digitale Leistungsmessung

Die Kenntnis der Signalform erlaubt gegenüber Signalen unbekannter Form bei vielen meßtechnischen Problemen eine erheblich schnellere Erfassung der Meßwerte. Speziell bei periodischen sinusförmigen Signalen in der Elektrotechnik können die Größen wie z.B. Leistung oder Effektivwert, die ihrem Wesen nach nur über eine längere Zeit gemessen werden können, schon nach einer sehr viel kürzeren Zeit angegeben werden.

Um schnelle Einschwingvorgänge in der Energietechnik wie z.B. Leistungspendelungen zu studieren, wurde ein digitales Leistungsmeßverfahren für einen Prozeßrechner entwickelt, welches Messungen ermöglicht, die mit den üblichen Leistungsmeßgeräten nicht durchführbar sind. Dabei ist die verfahrensbedingte Meßunsicherheit derart klein, daß die Meßgenauigkeit allein durch die Analog-Digital-Wandlung bestimmt wird.

Bearbeiter: Dr.-Ing. J. Voß

### 3.1.4 Optimale Kraftwerksauswahl (Unit commitment)

Um möglichst kostengünstig die zur Deckung der Netzlast notwendigen Kraftwerksgeneratoren aus dem verfügbaren Maschinenpark auszuwählen, und die optimale Belastung dieser Generatoren zu bestimmen, muß ein "Anlagenfahrplan" mit der optimalen Ein- und Ausschaltfolge der Kraftwerkseinheit erstellt werden. Dabei sind folgende Kosten zu berücksichtigen:

- Produktionskosten der elektrischen Energie
- Anfahrkosten der Maschinen
- Ausschaltkosten der Kraftwerkseinheiten
- Kosten der rotierenden Reserve.

Wegen der meist nichtlinearen Nebenbedingungen wie

- die minimale Einschaltzeit
- die minimale Ausschaltzeit
- die Leistungsquantisierung
- der vorgegebene Belastungsverlauf

bieten sich zur Lösung dieses Optimierungsproblems die Methoden der dynamischen Programmierung an. Da aber gerade dieses Verfahren äußerst rechen-

zeit- und speicherintensiv ist, wurde ein Rechenprogramm erstellt, mit dem verschiedene suboptimale Methoden, basierend auf der dynamischen Programmierung wie z.B. gleitende Optimierungsintervalle, untersucht werden können.

Bearbeiter: Dr.-Ing. J. Voß

### 3.2 Statische und dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme

#### 3.2.1 Interaktive Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme mit graphischen Ein- und Ausgabemöglichkeiten

Sowohl vom Standpunkt der Planung wie auch des Betriebes elektrischer Energieversorgungssysteme besteht die Notwendigkeit, den quasi-stationären Lastzustand unter Berücksichtigung aller Einflußgrößen nachzubilden. Dabei wird ein umfassender Überblick über das Energieversorgungssystem insofern erhalten, als daß einerseits die Generatoreinspeisungen und Lasten und andererseits das Spannungsprofil im Netz sowie die Leistungsflüsse auf den Übertragungsleitungen bestimmt werden. Gewöhnlich sind diese Simulationssysteme als Batch-Programm ausgeführt, d.h. der Benutzer fügt seine Datenkarten an ein bestehendes Programm und erhält das Ergebnis in Form langer Listen und Tabellen. Der wesentliche Nachteil dieser Art von Simulationssystemen besteht darin, daß kein Dialog zwischen Mensch und Maschine möglich ist. Eine systematische on-line Systemstudie ist deshalb hier nur schwer möglich, da zuviel Zeit zwischen der Problemstellung und der Verfügbarkeit der Ergebnisse vergeht. Aus diesem Grunde wurde am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung ein neues graphisches interaktives Simulationssystem (GISS) entwickelt. Mit diesem Simulationssystem wird ein direkter geführter und einfacher Dialog zwischen Mensch und Maschine ermöglicht, mit dessen Hilfe innerhalb kurzer Zeit viele Netzzustände gezielt untersucht werden können. Durch den Einsatz eines vollgraphischen Bildschirms mit Lichtgriffel ist es möglich, für Planungs- und Betriebsaufgaben die gewünschten Modifikationen anhand der graphischen Darstellung vorzunehmen. Weil alle Resultate unmittelbar dem Netzbild überlagert werden, besteht die Möglichkeit für eine rasche Analyse der Ergebnisse (siehe Bild 2). Ein wesentlicher Vorteil dieser neuen Lösung besteht darin, daß sie auf einem kleinen Prozessrechner implementiert worden ist.

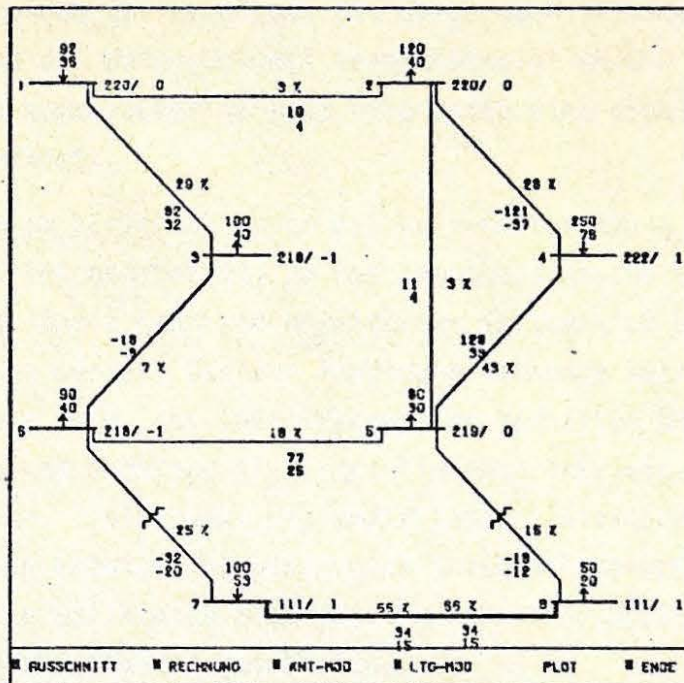


Bild 2 . NETZBILD NACH LASTFLUSSBERECHNUNG

Bearbeiter: Dipl.-Ing. P. Grafoner / I. Grafoner / B. Schwenniger

### 3.2.2 Modellentwicklung für die dynamische Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme

Für die gesicherte Aufrechterhaltung der Versorgung der Verbraucher mit elektrischer Energie sind in zunehmendem Maße umfangreiche Testrechnungen durchzuführen, um besonders auch nach großen Störungen (Ausfall von Kraftwerken oder wichtigen Leitungen) die Versorgung mit elektrischer Energie gewährleisten zu können. Ziel der Simulation ist es dabei, bereits im voraus Schwachstellen des Netzes aufzudecken, damit geeignete Abhilfemaßnahmen ergriffen werden können. Dazu müssen Zeitintervalle von einigen Sekunden bis zu einigen Minuten untersucht werden. Für diese Untersuchungen sind geeignete Modelle für die Nachbildung der elektromechanischen und thermodynamischen Vorgänge im Kraftwerk zu verwenden.

Im Berichtsjahr konnte unter Verwendung des in Bild 3 dargestellten Kraftwerksmodelles (Gültigkeitsbereich bis ca. 60 sec) nachgewiesen werden, daß die nach einer Störung auftretenden Schwingungen der Rotorwinkel der einzelnen Generatoren untereinander aufgrund der starken Vermaschung und

des interessierenden Zeitbereiches (Vorgänge im Millisekundenbereich waren nicht Gegenstand der Untersuchung) vernachlässigt werden können. Für alle Generatoren und Verbraucher im Netz wird somit eine einheitliche Frequenzabweichung berechnet.

Weiterhin wurde im Berichtsjahr an der Weiterentwicklung des in Bild 3 dargestellten Modelles gearbeitet, um das thermodynamische Verhalten mit zu berücksichtigen. Damit kann ein erweiterter Zeitbereich bis zu einigen Minuten erschlossen werden. Das zur Anwendung kommende Kesselmodell soll möglichst einfach sein, das thermodynamische Verhalten näherungsweise richtig wiedergeben und außerdem die verschiedenen Betriebsweisen der Kraftwerke (Festdruck-, Gleitdruck- und modifizierter Gleitdruckbetrieb) ermöglichen. Durch die Entwicklung geeigneter Integrationsverfahren wird die Grundlage für die effiziente Simulation dynamischer Systeme mit sehr unterschiedlichen Zeitkonstanten geschaffen.

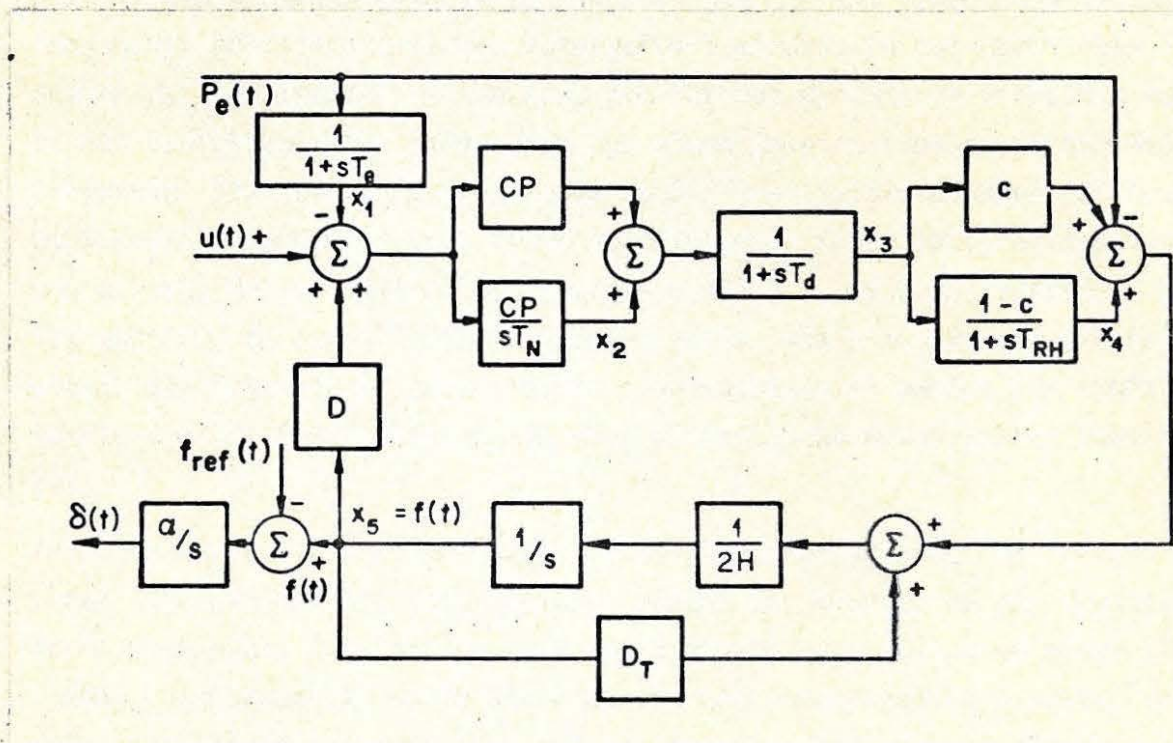


Bild 3 KRAFTWERKSMODELL 5-TER ORDNUNG

Bearbeiter: Dipl.-Ing. P. Grafoner

### 3.2.3 Dynamisches Langzeitverhalten von elektrischen Energieversorgungssystemen (MWF-Auftrag)

Die Versorgung der Verbraucher mit elektrischer Energie kann durch eine größere Störung in einem Energieversorgungssystem, wie z.B. Ausfall eines Kraftwerksblocks oder einer Verbundleitung, gefährdet werden. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Entwicklung von Führungsstrategien, das Energieversorgungssystem möglichst ohne Abschaltung von Verbrauchern aus solchen Notsituationen wieder herausführen zu können. Zu diesem Zweck sind zunächst systematische Untersuchungen des dynamischen Verhaltens durchzuführen. Hier werden im Gegensatz zur transienten Stabilitätsuntersuchung Zeitintervalle von 1 ... 20 min nach Auftreten einer Störung betrachtet. Dies geschieht mittels der digitalen Simulation. Dabei kann zu beliebigen Zeitpunkten die iterative Lösung der nichtlinearen Lastflußbeziehungen mittels eines Newton-Raphson-Verfahrens, das für die dynamische Betrachtungsweise modifiziert wurde, durchgeführt werden. In den dazwischen liegenden Zeitintervallen lassen sich die für das dynamische Verhalten wesentlichen Beziehungen des Netzwerkes aus einem jeweils linearisierten Modell berechnen. Die teilweise nichtlinearen Differentialgleichungen der Kraftwerksmodelle werden mittels eines modifizierten Euler Integrationsalgorithmus gelöst, der mit einer Schrittweite von 0.5 ... 1.0 sec arbeitet. Dies ist möglich, da schnell abklingende Vorgänge, wie Schwingungen der Rotorwinkel der Generatoren gegeneinander, vernachlässigt werden und somit die Drehzahl aller Generatoren durch eine einheitliche Netzfrequenz bestimmt ist.

Zunächst wurde ein Kraftwerksblock unter Berücksichtigung der Turbine mit ihrer Regeleinrichtung nachgebildet. Anhand der Simulation des dynamischen Verhaltens eines Inselnetzes über ca. 1 Minute nach Auftreten einer plötzlichen Lastschwankung wurde die Frequenz-Leistungsregelung getestet und das unterschiedliche Zeitverhalten der Netzfrequenz bei verschiedenen Reglereinstellungen aufgezeigt.

Wird das Inselnetz durch Leitungen mit einem größeren Verbundnetz gekoppelt, so tritt anstelle des dynamischen Verhaltens der Netzfrequenz, die dann näherungsweise konstant bleibt; das Zeitverhalten der Übergabeleistungen durch die Verbundpartner.



Durch die Erweiterung der Kraftwerksnachbildung mit einem geeigneten Modell für den thermodynamischen Kreislauf in Dampfkraftwerken wurde die Simulation über längere Zeitintervalle von 10 ... 20 Minuten ermöglicht. Es konnte die Frage nach der Verfügbarkeit der im thermodynamischen Kreislauf gespeicherten Energie, der thermodynamischen Reserve, zur schnellen Leistungssteigerung behandelt werden. Darüber hinaus wird das unterschiedliche Netzverhalten bei verschiedenen Betriebsarten, wie Gleit- und Festdruckbetrieb, bei jeweils angepaßten Regeleinrichtungen untersucht.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. E. Grebe

### 3.2.4 Betrieb eines Drehstrom-Netzmodells

Am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung wurde von der Firma Siemens ein Drehstromnetzmodell für die Durchführung von Praktika sowie Forschungsvorhaben auf dem Gebiet der Netzautomatisierung installiert. Um eine vertretbare Naturtreue der Nachbildung zu gewährleisten wurden folgende Modellmaßstäbe gewählt:

|          | Maßstab    | Modellnennwerte | Natürliche Werte |
|----------|------------|-----------------|------------------|
| Leistung | $1 : 10^5$ | 4 kVA           | 400 MVA          |
| Spannung | $1 : 10^3$ | 220 V           | 220 kV           |
| Strom    | $1 : 10^2$ | 10.5 A          | 1050 A           |

Die Freileitungsnachbildungen für 220 kV mit insgesamt 7 Teillängen von je 200 km sind durch dreiphasige  $\pi$ -Glieder für die Phasen R, S, T und die Rückleitung E nachgebildet.

Als Verbraucher sind ohmsche, induktive und kapazitive Widerstände, weiterhin ein Synchron- und Asynchronmotor vorhanden. Nach Abschluß der noch laufenden Testmessungen (Leerlauf-, Kurzschluß- und Belastungsversuche) wird das Netzmodell für folgende zwei Aufgabenbereiche eingesetzt:

- a) Verwendung des Netzmodells allein für die Ausbildung im Rahmen eines neuen Wahlpraktikums;

b) Kopplung des Netzmodells mit dem Prozeßrechner für den Einsatz im Rahmen der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Netz- und Kraftwerksautomatisierung.

Bearbeiter: Dr.-Ing. J. Voß, Dipl.-Ing. G. Howe, Ing.(grad.) W. Horenkamp

### 3.2.5 Experimentelle Bestimmung symmetrischer Komponenten

Symmetrische Komponenten dienen der mathematischen Beschreibung ein- und mehrphasiger Fehler in einem Energieversorgungsnetz. Mit der in Bild 4 dargestellten Meßanordnung lassen sich die symmetrischen Komponenten mit Hilfe des Drehstromnetzmodells experimentell bestimmen.

Die Anordnung besteht aus 3 identischen Anpaßverstärkern V1, V2 und V3, die die nachgeschalteten Überträger  $U_1$  und  $U_2$  an die Stromwandler S1, S2 und S3 anpassen. Die Entkopplung der unsymmetrischen Phasengrößen erfolgt durch die in Block 1 dargestellte Schaltung. Die Addierer ADD 1 und ADD 2 dienen zur Darstellung der auf eine gemeinsame Referenzachse bezogenen Komponenten der Ströme des Mitsystems  $I_+$  und des Gegensystems  $I_-$ . Die Anpassung der Nullkomponente  $I_0$  des Stromes wird mittels des Verstärkers V<sub>4</sub> erreicht. Die Phasemesser Ph 1 und Ph 2 dienen zur Messung der auf den Referenzwinkel  $\varphi_-$  bezogenen Winkel der Nullkomponente  $\varphi_0$  und der Wertkomponente  $\varphi_+$ .

Bearbeiter: Ing.(grad.) W. Horenkamp, Dipl.-Ing. P. Grafoner

## 4. Vorträge

### 4.1 Beiträge für das Kolloquium der Abteilung Elektrotechnik

- |               |   |
|---------------|---|
| 11. Mai 1977  | Dipl.-Ing. F. Steiger, Bernische Kraftwerke Bern, "Planspiel Elektrizitätswirtschaft - ein Computerspiel zur Management-Ausbildung" |
| 24. Juni 1977 | Prof. Dr. M. Ribbens-Pavella, Universität Liège, "On the Use of Direct Methods to Transient Stability Power System Studies"         |

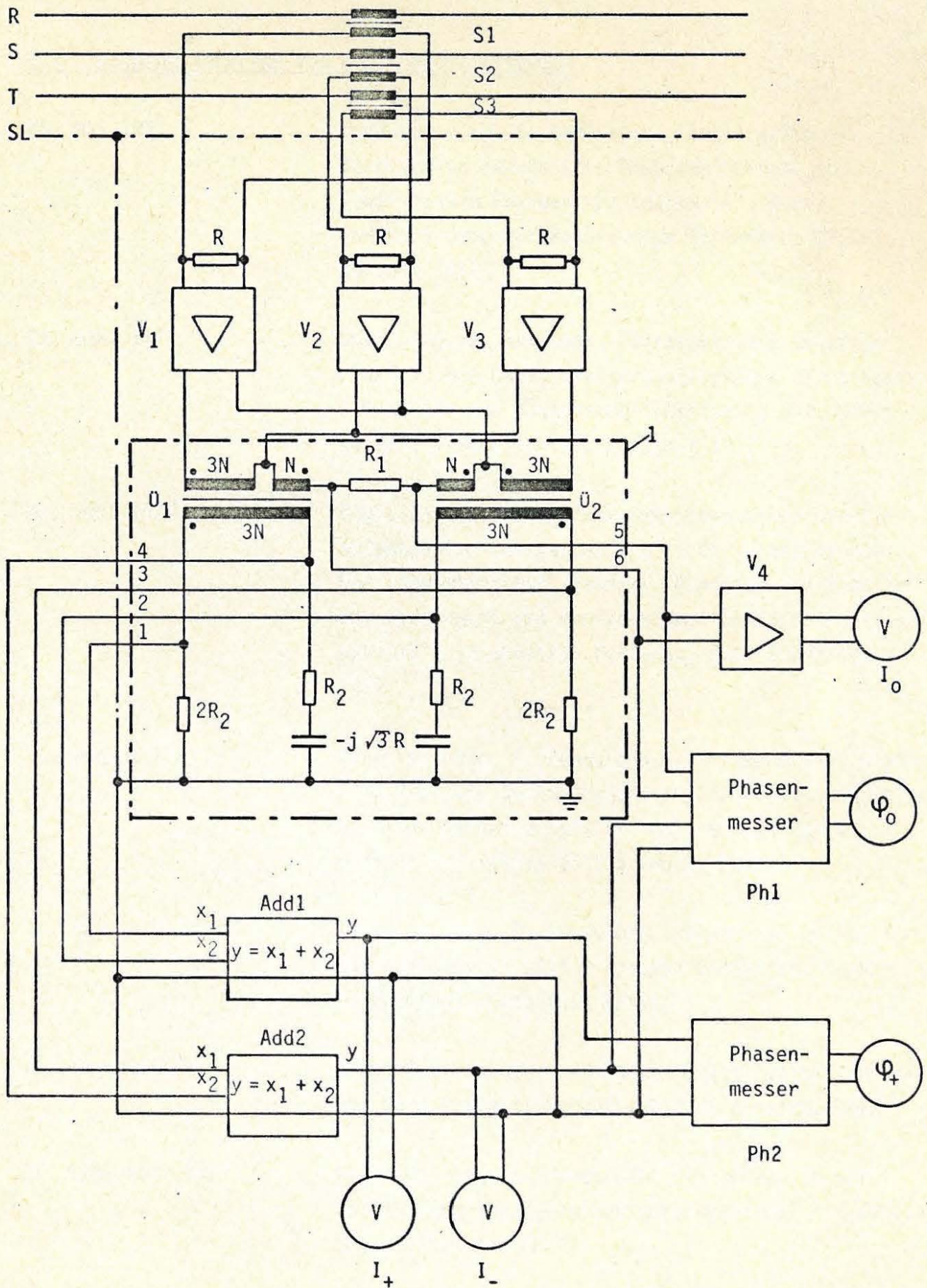


Bild 4 MESSANORDNUNG ZUR EXPERIMENTELLEN BESTIMMUNG SYMMETRISCHER KOMPONENTEN

4.2 Externe Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

25. Mai 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, "Application of Interactive and On-Line Computer Methods in Power System Engineering Education", Power Industry Computer Application Conference (PICA), Toronto 1977
23. Juni 1977 Dipl.-Ing. P. Grafoner, "Interaktive Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme mit graphischen Ein- und Ausgabemöglichkeiten", Int. Conference Simulation 77, Montreux 1977
30. Juni 1977 Dipl.-Ing. G. Howe, "Neue Methoden einer umweltorientierten Lastverteilung in der elektrischen Energieversorgung", Seminar "Theorien und Modelle zur Umweltgüte und energieadäquaten Raumordnungspolitik", Universität Dortmund, Abt. Raumplanung 1977
4. August 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, a) "Interactive Load Flow Analysis Using Graphic Input/Output Facilities", b) "Load Forecasting", São Carlos Postgraduates School, University of São Paulo, Brazil
5. August 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, "Power System Monitoring and Control with a Process Computer", University of Campinas, Campinas, Brazil
16. August 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, "State Estimation and Bad Data Analysis", CEPEL, Rio de Janeiro, Brazil
16. September 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, "Tendenzen in der Entwicklung von Energieversorgungsnetzen mit EDV", Univac-Seminar, Berlin

5. Nationale und internationale Beziehungen

22. November 1976      Dipl.-Ing. G. Howe; Besprechung an der TU Braunschweig (Prof. Leonhard) über Bau und Betrieb eines Drehstrom-Netzmodells
20. Januar 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Kooperationsgespräch mit Prof. Dr. K. Edwin über "Optimale Netzführung unter Berücksichtigung von Sicherheitsbedingungen" an der RWTH Aachen
27. Januar 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, Dipl.-Ing. G. Howe, Ing.(grad.) W. Horenkamp; Besprechung mit Siemens über den Bau eines Drehstromnetzmodelles in Hannover
16. Februar 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; 10. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches Rechnen" der FGH in Aachen
1. März 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Besuch an der TH Twente im Rahmen des Partnerschaftsabkommens mit der Universität Dortmund in Enschede
24. März 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Teilnahme am Fakultätentag Elektrotechnik in Hannover
21. April 1977      Forschungskolloquium mit Mitarbeitern von Prof. Edwin der RWTH Aachen in Dortmund
1. - 28. August 1977      Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Studien- und Forschungsaufenthalt bei CEPEL der ELETROBRÁS in Rio de Janeiro, Brasilien
12. August 1977      Dr.-Ing. J. Voß, Dipl.-Ing. G. Howe; Besprechung über die On-line-Regelung des Netzmodells mit einem Prozeßrechner an der TU Braunschweig (Prof. Leonhard)

- 27.-28. September 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Teilnahme an der Sitzung des Study Committee 32 der CIGRE in Dortmund
20. Oktober 1977 Prof. Dr.-Ing. E. Handschin; Teilnahme an der 11. Sitzung des Arbeitskreises "Technisches Rechnen" der FGH in Brauweiler

## 6. Veröffentlichungen, Berichte

### 6.1 Veröffentlichungen

E. Handschin, C. Bongers: "Optimale Meßgerätekongfiguration für die Erstellung einer zuverlässigen Datenbank in Energieversorgungssystemen mit Estimationsmethoden", Forschungsdienst der ETZ-A, Band 98, Heft 9, September 1977

P. Grafoner, E. Handschin: "Interaktive Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme mit graphischen Ein- und Ausgabemöglichkeiten", Proceedings of the int. Symposium "Simulation 77", Montreux 1977

E. Handschin, P. Grafoner: "Application of Interactive and On-Line Computer Methods in Power Systems Engineering Education", Proceedings of PICA, Toronto 1977

### 6.2 Forschungsberichte des Lehrstuhls für elektrische Energieversorgung

P. Grafoner, I. Grafoner, B. Schwenniger: "Interaktive Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme mit graphischen Ein- und Ausgabemöglichkeiten", Bericht Nr. EV7713, Mai 1977

E. Grebe, E. Handschin: "Simulation elektrischer Energieversorgungssysteme zur Untersuchung dynamischer Langzeitvorgänge", Bericht Nr. EV7715, Juni 1977

G. Howe, E. Handschin: "On-line Sicherheitsüberwachung als Optimierungsproblem der Netzführung", Bericht Nr. EV7717, Juni 1977

E. Handschin: "Kurz- und mittelfristige Lastprognose in elektrischen Energieversorgungssystemen", Bericht Nr. EV7716, Juni 1977

J. Voß: "Über die zeitdiskrete Messung quasi-stationärer Sinussignale", Bericht Nr. EV7721, September 1977

E. Handschin: "Visit to Brazil August 1977", Bericht Nr. EV7720, November 1977

### 6.3 Diplomarbeiten

K. Krause: "Modell-Identifikation für on-line Estimation elektrischer Energieversorgungsnetze", Nr. EV7719, September 1977

P. Dircks: "Äquivalente Modelle für die Darstellung von Nachbarnetzen", Nr. EV7718, September 1977

B. Schwenniger: "Dynamisches Verhalten beim Anlauf von Drehstrom-Antrieben in Untertage-Netzen des Steinkohlenbergbaus", Nr. EV7722, November 1977