

LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG

UNIVERSITÄT DORTMUND

o. PROF. DR.-ING. E. HANDSCHIN



J A H R E S B E R I C H T 1 9 8 5

JAHRESBERICHT 1985

Herausgegeben vom

LEHRSTUHL FÜR 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, D. König, P. Stöber

VORWORT

Der vorliegende Jahresbericht enthält in übersichtlicher Form eine Zusammenstellung der wichtigsten Aufgaben in Forschung und Lehre, die am Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung der Universität Dortmund im vergangenen Jahr durchgeführt worden sind. Hervorzuheben ist der erfolgreiche Abschluß des mehrjährigen Forschungsprojektes über Erdschlußvorgänge in Kabelnetzen des Steinkohlenbergbaus. Die konsequente Bearbeitung eines Forschungsprojektes ist die Basis dafür, daß die Ergebnisse auch außerhalb der Hochschule genutzt werden können. Technologische Innovationen müssen auch aus der Hochschulforschung heraus soweit bearbeitet werden, daß sie von der Industrie aufgegriffen und weitergeführt werden können. Der Jahresbericht hat die Aufgabe, einen Überblick über die laufenden und abgeschlossenen Projekte zu geben, um so die Grundlage für den Technologietransfer darzustellen. Es ist mir ein wichtiges Anliegen, über die Ergebnisse unserer Hochschulforschung in regelmäßigen Abständen zu berichten. Die Kontinuität der Forschung ist eine wichtige Voraussetzung, um auch langfristig den Beitrag zu erbringen, der zu Recht von den Hochschulen erwartet wird. Dazu ist ein Dialog zwischen Forschung und Anwendung erforderlich. Der vorliegende Bericht möge einen Beitrag zu diesem Informationsaustausch bilden.

E. Handschin

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. PERSONAL	7
2. LEHRBETRIEB	8
2.1 Vorlesungen	8
2.2 Seminar	9
2.3 Praktika	10
2.4 Exkursionen	11
3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN	12
3.1 Software-Entwicklung für die Betriebs- führung und Planung elektrischer Energieversorgungssysteme	12
3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energiever- sorgungssystemen	34
3.3 Schutz- und Leittechnik	48
4. VORTRÄGE	68
4.1 Beiträge für das Kolloquium	68
4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern	69
5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN	70
6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE	77
6.1 Veröffentlichungen	77
6.2 Forschungsberichte	82
6.3 Diplomarbeiten	82
6.4 Studienarbeiten	83
6.5 Programmbeschreibungen	84
7. PROMOTIONEN	85

1. PERSONAL

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

Sekretariat: Frau I. Gasthaus

Oberingenieur: Dr.-Ing. Th. Reißing

Akademische Gäste: Doz. Dipl.-Ing. D. Dang,
Technische Universität für
elektrische Energiesysteme, Jilin

Wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Ing. N. Aschöwer
Dipl.-Ing. Ch. Dörnemann
Dipl.-Ing. W. Ebbinghaus
Dipl.-Ing. K. El-Homsi
Dipl.-Ing. W. Hoffmann
Dipl.-Ing. U. Kämmerer
Dipl.-Ing. D. König
Dipl.-Ing. A. Kubbe
Dipl.-Ing. J. Lemaitre
Dipl.-Ing. J. Lindemann
Dipl.-Ing. P. Stöber
Dipl.-Ing. H. Slomski
Dipl.-Ing. R. Woltemate

Technische Mitarbeiter: Frau H. Giersberg
Ing.(grad.) W. Horenkamp
Frau R. Meier
K.D. Tesch

Studentische Hilfskräfte: R.-M. Aretz, J. Ebert,
F. Eickhoff, Ch. Günther,
H. Krabs, J. Lindemann,
G. Nimmrich, U. Schlücking,
M. Schnurbusch, M. Seitz,
Ch. Stute, W. Wöstenhöfer

2. LEHRBETRIEB

2.1 Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. E. Handschin

Elektrische Energietechnik I (WS 1984/85)

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

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

Elektrische Energietechnik II (SS 1985)

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

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

Energieübertragungssysteme I (WS 1984/85)

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

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

Energieübertragungssysteme II (SS 1985)

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

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

Prof. Dr.-Ing J. Voß

Elektrizitätswirtschaft und Kraftwerke I (WS 1984/85)

Wahlpflichtvorlesung für Studenten der Fachrichtungen 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 1985)

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

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

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

Energieversorgung (WS 1984/85)

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, Prof. Dr.-Ing. J. Voß)

Inhalt: Aktuelle Probleme und Fallstudien der Elektrizitätswirtschaft.

Mikrocomputer in der Energietechnik

(Prof. Dr.-Ing. E. Handschin, Dipl.-Ing. W. Ebbinghaus)

Inhalt: Aufbau der Hardware- und Software für die Arbeitsgebiete Meßwerterfassung, Meßwertauswertung und Schutztechnik.

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 der Abteilung Elektrotechnik gemeinsam organisierten Fortgeschrittenen-Praktikums im 5. und 6. Semester 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 Einhaltung umfangreicher Randbedingungen. Überprüfung der gewählten Struktur durch Lastflußberechnung. Simulation einer Einfachstörung.

c) Dynamische Simulation elektr. Energieversorgungssysteme

Die grundsätzlichen dynamischen Vorgänge, die mit der Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Verbrauch nach einer Störung verknüpft sind und insbesondere nach Ausfall einer Kraftwerkseinspeisung ablaufen, werden aufgezeigt. Sowohl lineare als auch nichtlineare Modelle für Kraftwerke und Netz werden dabei im Mittelzeitbereich mittels digitaler Simulation untersucht.

d) Lastflußermittlung

Analoge und digitale Simulation eines stationären Netzzustandes. Die Übereinstimmung eines am Netzmodell ermittelten Lastflusses mit einer Lastflußrechnung wird untersucht.

2.4 Exkursionen

16.10.1985 Energietechnische Exkursion:

Besuch der Firmen Hoechst Ceram Tec in Wunsiedel, Meßwandlerbau in Bamberg, Siemens in Erlangen und des KKW-Grafenrheinfeld.

(gemeinsam mit Prof. Dr.-Ing. D. Peier, Lehrstuhl für Hochspannungstechnik und elektr. Anlagen)

3. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN

Die im Berichtsjahr 1985 durchgeführten Arbeiten lassen sich den 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 zugestellt werden.

3.1 Software-Entwicklung für die Betriebsführung und Planung elektrischer Energieversorgungssysteme

3.1.1 State Estimation mit Mehrprozessorrechnern

Die State-Estimation gewinnt einhergehend mit dem anwachsenden Einsatz der zentralen, rechnerorientierten Netzführung an Bedeutung, denn Grundlage der Verfahren wie Lastflußrechnung, Kurzschlußrechnung usw. bildet immer die genaue Kenntnis der Netzzustandsgrößen. Da man möglichst schnell, gerade in kritischen Netzzuständen, über den aktuellen Stand des Netzes informiert sein will, muß die State Estimation, die eine Fülle von Meßdaten zu verarbeiten hat, in kurzer Zeit diese Informationen liefern.

Entsprechende Algorithmen für die sequentielle Berechnung sind inzwischen so weit entwickelt worden, daß sie den geforderten Zuverlässigkeitsanforderungen gerecht werden. Durch Anwendung entkoppelter Verfahren sind hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten

erzielt worden, die sequentiell nur noch kleine Verbesserungen erwarten lassen, aber den Anspruch an weitgehend verzögerungsfreie Auswertung nicht zufriedenstellend erfüllen. Hier sollte die parallele Berechnung der Algorithmen zu einer wesentlichen Verkürzung der Auswertungszeiten führen. Für die State-Estimation kommen zwei verschiedene Ansätze der Parallelisierung in Betracht:

1. Die mathematische Aufteilung des Algorithmus
2. Die physikalische Aufteilung des Netzes

Der sequentielle Algorithmus wird bei einer mathematischen Aufteilung in einzelne Berechnungsabschnitte aufgeteilt, die parallel abgearbeitet werden können. Zur Minimierung des Datenaustausches zwischen den einzelnen Modulrechnern, die parallel an der Lösung der Aufgabe beteiligt sind, müssen dabei physikalische Randbedingungen, wie sie durch die Lage der Netzknoten vorgegeben sind, berücksichtigt werden.

Die physikalische Aufteilung des Netzes wird durchgeführt, indem man das Netz in Teilnetze gliedert und jedes Teilnetz unabhängig voneinander bearbeitet. Dies gelingt bei der Estimation einfacher gegenüber der Lastflußrechnung, da nur die Trennungsleitungen, nicht jedoch das ganze dahinter stehende Netz berücksichtigt werden müssen. Allerdings muß überlegt werden, wie man einen gemeinsamen Referenzknoten bestimmt, auf den die Spannungswinkel in den Netzknoten bezogen werden. Bei der Untersuchung der physikalischen Netzaufteilung zeigte sich, daß das Netz aufgrund der Meßgeräteanordnung nur sinnvoll in wenige Teilgebiete eingeteilt werden kann. Diese sind in sich abgeschlossene Hochspannungsverteilstetze, die in ein Höchstspannungsübertragungsnetz eingebunden sind. Der Rechenzeitgewinn ist dabei direkt abhängig von der Anzahl der vorhandenen Teilnetze und der dadurch vorgegebenen Zahl der Modulrechner. Da diese Teilnetze meistens eine beachtliche Größe haben, werden sich innerhalb eines EVU's aber nur wenige solcher Teilnetze befinden. Daraus folgt, daß nur ein kleiner Rechenzeitgewinn, abhängig von der Zahl der Teilnetze, bei der State-Estimation zu erzielen ist. Ein Gewinn durch weitere Untergliederung der

Teilnetze in kleinere Einheiten, konnte nicht festgestellt werden.

Da bei einer mathematischen Aufteilung eines State-Estimations-Algorithmus die Anzahl der parallel arbeitenden Rechenmodule willkürlich ist, läßt sich hier ein höherer Rechenzeitgewinn erwarten, dessen Verlauf in Abhängigkeit von der Anzahl der Parallelaktivitäten bei der Estimation eines 118-knotigen Netzes mittels einem entkoppelten weighted-least-squares Verfahren (WLS) in Bild 1 dargestellt ist. Die untere Kurve repräsentiert dabei die Ergebnisse, wie sie bei Einsatz eines Parallelrechners mit Common-Bus-Struktur unter Berücksichtigung des dort erforderlichen Datenaustausches zu erzielen sind. Man erkennt hier eine Sättigung in der Beschleunigung bei ca. 2, die durch den Datenaustausch zwischen den Modulrechnern zustandekommt und nur wenig von der Netzgröße abhängt.

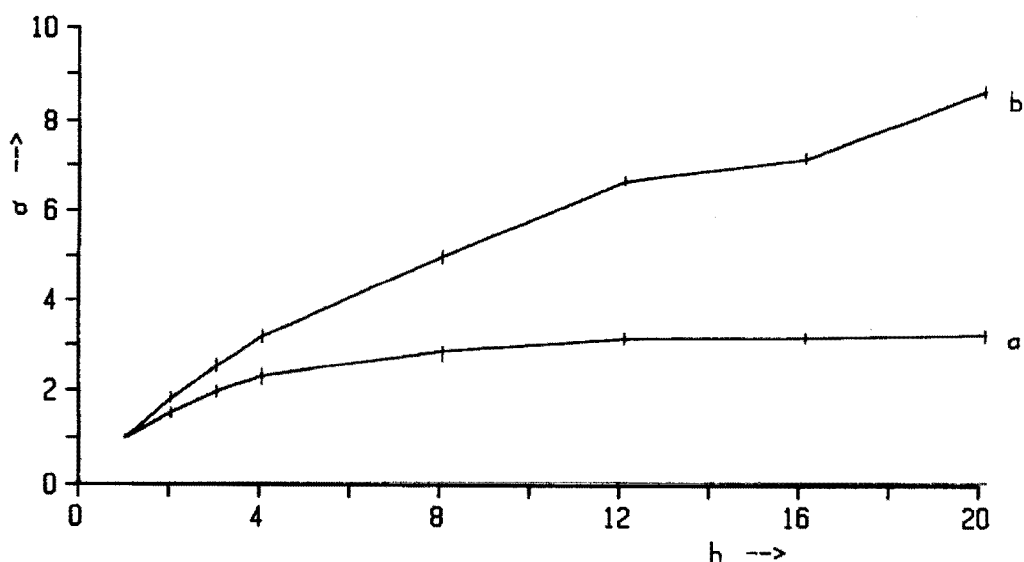


Bild 1: Beschleunigung σ durch parallele Berechnung eines State-Estimation-Algorithmus in Abhängigkeit von der Modulrechnerzahl h
a) unter Berücksichtigung des Datenaustausches
b) ohne Datenaustausch

Haben alle Modulrechner freien Zugriff zu den für ihre Aktivitäten notwendigen Informationen, so entfällt der Datenaustausch

und des ergibt sich die obere Kurve in Bild 1 für die Beschleunigung. Auch hier ist keine zur Modulrechnerzahl proportionale Steigerung der Beschleunigung zu erzielen.

U. Kämmerer, D. König

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

3.1.2 Modellierung der automatischen Transformatorstufung in Lastflußberechnungen

Die heutigen Energieübertragungssysteme werden meist aus Ringnetzen in verschiedenen Spannungsebenen gebildet. Zur Sicherung der Versorgung der Verbraucher und zur Stabilität der Netze schafft man zwischen den Ebenen mehrere Verbindungen. An den Stellen, wo die Ebenen unterschiedliche Nennspannungen haben, werden Transformatoren eingesetzt. In vielen Fällen sind dies sogenannte "automatisch gestufte Transformatoren", die unter Last ihr Übersetzungsverhältnis stufenweise ändern können, wenn die Spannung am angeschlossenen Netzknoten bestimmte Referenzwerte über- oder unterschreitet. Auf diese Weise kann die Spannung im Netzknoten auch bei unterschiedlicher Belastung konstant gehalten werden.

Mit Hilfe von Iterationsverfahren ist es möglich, die stationären Lastflüsse in solchen Netzen zu berechnen. Dabei ist das vom Nennwert abweichende Übersetzungsverhältnis der automatisch gestuften Transformatoren oft nicht zu vernachlässigen. Mit einem "normalen" Lastflußberechnungsprogramm ist es meist sehr schwierig, in solchen Knoten die Referenzspannung als Lösung zu bekommen, indem man nach jeder Berechnung die Stufung "gefühlsmäßig" ändert. Durch ein konventionelles Verfahren, wo die Stufungen

$$\ddot{u}^{\text{neu}} = \ddot{u}^{\text{alt}} + b (U^{\text{soll}} - U)$$

mit empirischen Beschleunigungsfaktoren b nach jeder Lastflußiteration korrigiert werden, gelingt es zu einer Lösung zu kommen, doch der Einfachheit der Modellierung stehen eine hohe Iterationszahl und lange Rechenzeiten gegenüber.

Als Gegenbeispiel wäre eine genauere Modellierung der automatischen Transformatorstufung mit dem Newton-Raphson-Verfahren möglich, wo die Jacobi-Matrix modifiziert und erweitert wird, so daß die Übersetzungsverhältnisse als Variablen im Algorithmus eingearbeitet werden. Hierdurch wird die Iterationszahl und die Rechenzeit verringert. Die notwendigen Modifikationen im vorhandenen Lastflußprogramm sind jedoch meistens sehr aufwendig.

Im letzten Jahr wurde über ein Verfahren berichtet, das allgemein in Lastflußberechnungsmethoden anwendbar ist, und womit ein guter Kompromiß zwischen Modellierungsaufwand, Rechenzeit und notwendigen Programmmodifikation zu erwarten war.

Dieser Algorithmus wurde in zwei Software-Pakete zur Lastflußberechnung implementiert und getestet. Das erste Programm arbeitet nach dem Newton-Raphson-Verfahren, das zweite nach der schnellen entkoppelten Methode.

Für die Beschreibung der Knoten, wo die Spannung nicht durch Einspeisung von Blindleistung, sondern durch automatische Transformatorstufung konstant gehalten wird, wurde ein neuer Knotentyp definiert: Knotentyp 5 (willkürliche Definition). Die Programme unterscheiden so vier Knotentypen, die in Tabelle 1 beschrieben werden.

Bedeutung	Typ	spezifizierte Größen	unbek. Größen
Referenzknoten	3	V, δ, P_L, Q_L	P_G, Q_G
Generator spannungsgeregelte Knoten	2	$P_{Gi}, P_{Li}, Q_{Li}, V_i, Q_{min}, Q_{max}$	Q_{Gi}, δ_i
Knoten mit konstanter Leistung	1	$P_{Gi}, P_{Li}, Q_{Gi}, Q_{Li}$	V_i, δ_i
Transformator spannungsgeregelte Knoten	5	$P_{Gi}, P_{Li}, Q_{Gi}, Q_{Li}, V_i, \ddot{u}_{min}, \ddot{u}_{max}$	\ddot{u}, δ_i

Tabelle 1: Definition der Knotentypen

In beiden Lastflußprogrammen werden physikalische Randbedingungen berücksichtigt ($Q_{min}, Q_{max}, \ddot{u}_{min}, \ddot{u}_{max}$), die für eine genaue Modellierung von Bedeutung sind. Es besteht auch die Möglichkeit, für die Berechnung diskrete Transformatorstufungen zu bestimmen.

Um die Funktionstüchtigkeit und die Einsatzmöglichkeiten des Algorithmus zu prüfen, wurden mehrere Hochspannungsnetze unter verschiedenen Gesichtspunkten mit beiden Programmen getestet. Spezialfälle wie Blocktransformatoren unter verschiedenen Regelungskonzepten, sowie Paralleltransformatoren können mit dem Programm ohne Schwierigkeiten bearbeitet werden.

In Bezug auf die Konvergenzeigenschaften ist eine unterschiedliche Auswirkung der zusätzlichen Stufungsiterationen bei beiden Verfahren zu beobachten. Die Untersuchungen zeigen, daß die Stufungsiterationen eine Verschlechterung der Konvergenzeigenschaften in gekoppelten (Newton-Raphson) Verfahren verursachen. Es ist zu erkennen, daß die quadratische Konvergenz nicht mehr erhalten bleibt. Es zeigen sich jedoch Vorteile, wenn extreme Netzzustände mit schweren Verletzungen der Randbedingungen vorkommen.

Eigenschaft ist für die Anwendung in on-line-Berechnungen entscheidend.

Unabhängig von der Beschaffenheit der Netze erreichen beide Verfahren mit dem Algorithmus eine hohe Genauigkeit. Durch die Ermittlung der tatsächlichen Übersetzungsverhältnisse sowie die Modellierung von unterschiedlichen Regelkonzepten in Blocktransformatoren können die Programme vielseitig eingesetzt werden. Zu erwähnen sind zum Beispiel Ausfallsimulationsberechnungen und Planungsaufgaben. Mit nur geringen Erweiterungen ist es sogar möglich, auch automatisch gestufte Quer- und Schräg regler zu berücksichtigen, was die Anwendungsmöglichkeiten des Algorithmus ergänzen würde.

J. Lemaitre

Bericht: EV 8518, EV 8524

3.1.3 Pre- und Postprozessor zur Estimation

Das Estimationsverfahren ist ein wichtiges Glied des Netzbetrieb-Überwachungssystems, da hierdurch ein kompletter und zuverlässiger Datensatz erstellt werden kann, sodaß eine sichere und optimale Netzbetriebsführung gewährleistet wird.

Vor der Estimation werden die Dateien zweckmäßig auf mögliche Fehler untersucht. Anhand des Preprozessors, der hauptsächlich ein logisches Verfahren ist und für die Kontrolle der Dateien auf ihre Plausibilität keine komplizierten arithmetischen Operationen bzw. keine iterative Lösung enthält, können extreme Meßfehler und Strukturfehler schnell erkannt und entsprechend eliminiert werden. Durch die Erstellung des konsistenten Datensatzes wird eine Konditionsverbesserung erreicht, so daß eine schlechte Einwirkung auf den Estimationsalgorithmus verhindert wird. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß abhängig von Art, Ort und Größe des Fehlers eine schlechtere und eventuell keine Konvergenz entsteht. Durch die Unterstüt-

zung der Estimation mit den Preprozessor konnte eine schnellere und robuste Estimation erreicht werden.

Dateifehler, die nicht extrem sind und deshalb beim Preprozessor nicht erkannt werden können, können entweder gleich bei dem Estimationsprozess unter Berücksichtigung von einer nicht quadratischen Fehlerfunktion unterdrückt oder nach dem Estimationsprozeß anhand eines Postprozessors durch die Residuenanalyse erkannt werden.

Die in der Literatur beschriebene Methode zur Erkennung von Datenfehlern anhand des normierten Residuentests ergibt gute Ergebnisse. Weniger zuverlässig werden die Ergebnisse, wenn nicht nur ein einzelner Datenfehler, sondern ein Mehrfachfehler vorliegt. Eine Wiederholung des Tests zeigte häufig auf mögliche Fehler, die in der Wirklichkeit nicht vorhanden sind, während wirkliche Fehler verdeckt bleiben. Nicht zuletzt ist das erwähnte Verfahren sehr vom Meßsystem abhängig. So ist es schwierig, einen Meßfehler an einer "schwachen" Meßstelle zu erkennen.

Hierzu wird eine Methode vorgestellt, indem man anhand des Residuenvektors \underline{r} die groben Meßfehler in \underline{V} erkennen kann. Anhand der Gleichung

$$\underline{r} = \underline{W} \cdot \underline{V}$$

wird die Rückgewinnung des Meßfehlers erreicht. Da die Sensitivitätsmatrix \underline{W} immer singulär ist und den Rang $k = m - n$ hat, ist eine Invertierung der Matrix \underline{W} bzw. die Ermittlung von \underline{V} nicht möglich. Aus diesem Grund wird eine "optimale Schätzung" des Vektors \underline{V} unter Berücksichtigung der Randbedingungen und der betrachteten Messungen ermittelt. Die Optimalität der Schätzung heißt hier nicht, daß die ermittelten Werte mit den "wahren" Werten des unbekanntes Meßfehlers übereinstimmen. Dieses Ziel kann nicht und muß nicht unbedingt erreicht werden. Vielmehr reicht, daß die ermittelten Werte parallel zu den "wahren" Werten liegen, so daß man mit Hilfe der ermittelten Werte eine Erkennungsliste erstellen kann, die mit der "Prioritätsliste" der wahren Werte übereinstimmt.

Für die Erprobung dieser Methode wurden Untersuchungen mit verschiedenen Netzen durchgeführt. Die Messungen in einem Netz wurden so simuliert, daß durch die Lastflußberechnung die "wahren" Meßwerte generiert und dann mit den groben (hier bekannten) Meßfehlern beaufschlagt werden.

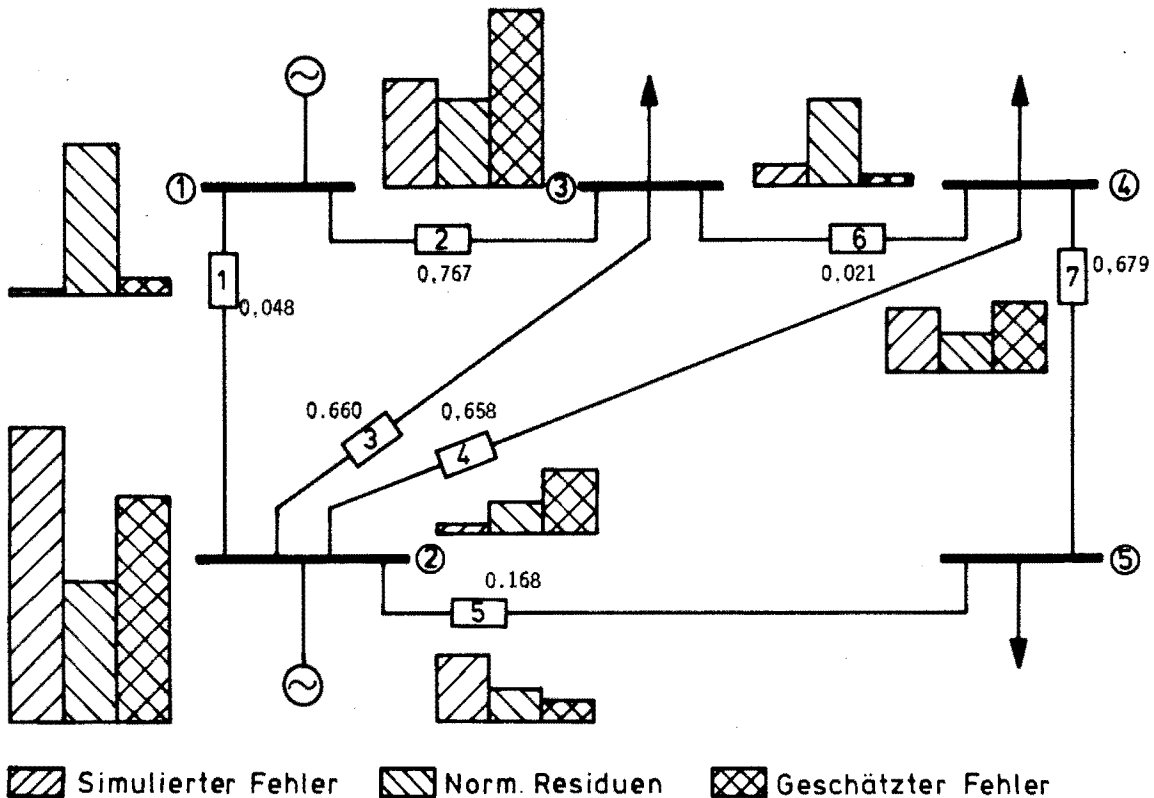


Bild 3: Entdeckung und Erkennung von Dateifehlern

Bild 3 zeigt ein 5-knotiges Netz mit einem Meßsystem, das unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen nicht optimal ist. Dargestellt wird hier nur das Wirkmeßmodell, wobei neben jeder Meßstelle der entsprechende w_{ii} -Wert und das zugehörige Balkendiagramm zu sehen ist.

Während die Prioritätsliste der "wahren" Fehler die Ordnung (3, 2, 5, 7, 6, 4, 1) hat, hat die Erkennungsliste der nach der Estimation berechneten normierten Residuen die Ordnung (1, 3, 2, 6, 7, 5, 4,). Hier ist die Rückgewinnung der schwachen Meßstellen, d.h. mit kleinen w_{ii} -Werten (zum Beispiel Meßstelle 1) zu sehen. Die Methode der geschätzten Fehler ergibt mit der Matrix \underline{W} die Erkennungsliste der Ordnung (3, 2, 7, 4, 5, 1, 6). Hier ist die Auswirkung der w_{ii} -Werte auf die Erkennungsliste

ausgeglichen, so daß die extremen w_{ii} -Werte keine dominante Rolle spielen können.

Neben den guten Ergebnissen dieser Methode ist die schnelle Ermittlung besonders für die on-line Netzüberwachung von Bedeutung. Die Matrix \underline{W} muß nicht notwendig on-line berechnet werden, da sie im normalen Betriebszustand als konstant betrachtet werden kann (s. Jahresbericht 1984).

Die Untersuchungen mit dieser Methode sind noch nicht abgeschlossen. Es soll noch untersucht werden, ob die Ordnung der Erkennungsliste noch zuverlässiger ermittelt werden kann, so daß beim auftreten von Mehrfachfehlern die Erkennung aller Fehler möglich wird. Ebenso soll noch der Einfluß der möglichen Strukturfehler auf die Ergebnisse bzw. die Möglichkeit zur Erkennung von Strukturfehlern mit der ermittelten Ergebnisliste geprüft werden.

K. El-Homsi

3.1.4 Langfristige Kraftwerkseinsatzplanung im thermischen Verbund

Die Aufgabe einer langfristigen Kraftwerkseinsatzplanung besteht darin, anhand einer Last- und Preisprognose unter Einhaltung aller technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen die Stromerzeugungskosten zu minimieren. Dabei steht man auch bei der Betrachtung derart langer Zeiträume vor der Notwendigkeit, einen detaillierten Kraftwerkseinsatzplan, z.B. im Stundenraster, zu erstellen, umso die Anfahrkosten und die Mindestzeiten für Stillstand und Betrieb richtig zu erfassen. Aufgrund der großen Zahl von Variablen ist eine geschlossene Lösung nicht mehr sinnvoll. Es wird daher eine Teilung in zwei Optimierungsschritte vorgenommen, zum einen eine Energiemengenoptimierung mit den Nebenbedingungen, die sich auf Beschränkungen von Energiemengen, auf Tarifzonen und Preiserhöhungen beziehen und zum anderen eine stündliche Leistungsaufteilung, bei der die Ergebnisse aus der Energiemengenoptimierung als Randwerte

Dagegen ist der Einfluß des Algorithmus auf die Konvergenzeigenschaft der entkoppelten Methode sehr gering, wie es in Bild 2 zur erkennen ist.

Wie erwartet, wird hauptsächlich die Konvergenz des Blindleistungsmodells beeinflusst. In Bezug auf die Rechenzeiten sind im entkoppelten Verfahren die zusätzlichen Iterationen bei einer typischen Konvergenzschranke von $\epsilon = 10^{-2}$ (in den meisten

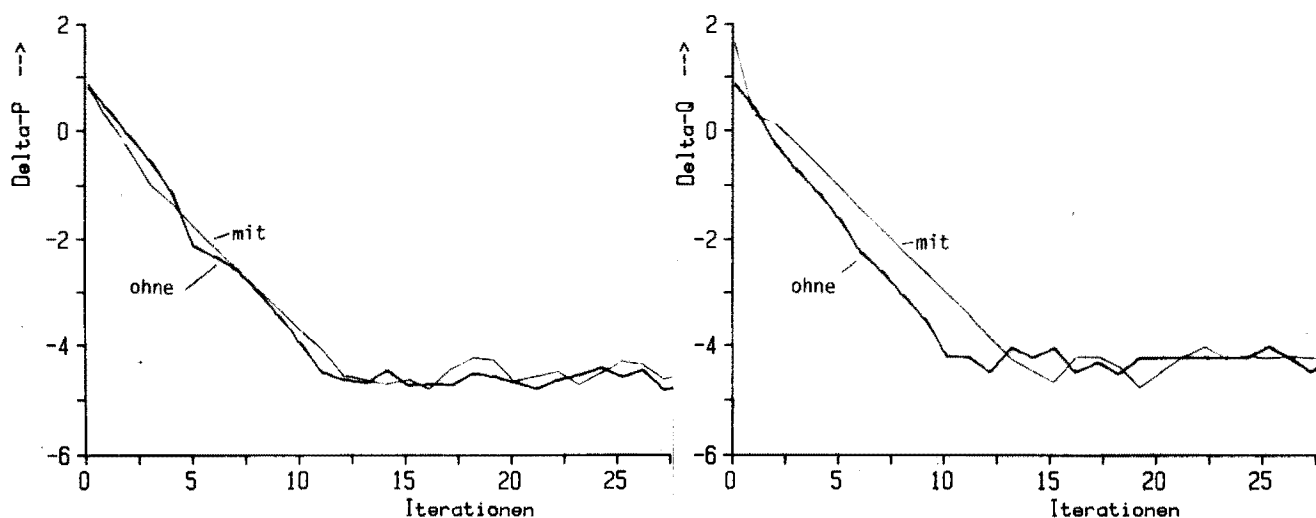


Bild 2: Logarithmischer Konvergenzverlauf eines 35-knotigen Netzes (11 automatisch gestufte Transformatoren) mit dem entkoppelten Modell

- a) Wirkmodell
- b) Blindmodell

Fällen 1 - 2 von keiner Bedeutung. Diese Eigenschaften zeigen, daß der Einbau des vorgestellten Algorithmus in das schnelle entkoppelte Verfahren die meisten Vorteile bietet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß beide Programme die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen. Der Algorithmus ist unkompliziert und läßt sich ohne Aufwand in bestehende Programme zur Lastflußberechnung einbauen. Die größten Vorteile für ihre Anwendung wurden mit dem schnellen entkoppelten Verfahren festgestellt. Die Konvergenzeigenschaften des Verfahrens werden kaum beeinflusst. Durch den Vorteil, die Matrizen \underline{B}' und \underline{B}'' trotz Änderungen des Übersetzungsverhältnisses nicht neu berechnen zu müssen, bleibt die Rechenzeit unverändert. Diese

einfließen. Diese Aufteilung ist deshalb sinnvoll, da die Betriebskosten eines Kraftwerksparks im wesentlichen nur von den Primärenergiekosten der Kraftwerkseinheiten bestimmt werden. Der Einfluß der nichtlinearen Wärmeverbrauchskurven ist in diesem Zusammenhang vernachlässigbar.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Energiemengenoptimierung mit rein mathematischen Verfahren (lineare Planungsrechnung) berechnet werden können. Die Verknüpfung mit der stündlichen Lastaufteilung erfordert auch den Einsatz heuristischer Verfahren. Durch die mathematische Ermittlung des globalen Optimums (optimale Jahresenergiemengenverteilung) ist die Güte des Ergebnisses auf stündlicher Basis abschätzbar.

Das erstellte Programm stellt die Basis zur Untersuchung von Einflüssen wie Lastprognosefehler, Preisänderungen, Blockausfälle usw. auf die Jahresbetriebskosten bzw. die Jahresenergiemengenverteilung dar. Außerdem ist der mit dem Programm erstellte langfristige Kraftwerkseinsatzplan die Basis für die kurzfristige Kraftwerkseinsatzplanung im Minuten- und Sekundenbereich.

H. Slomski

3.1.5 Knotenbezogene Lastprognose

Die knotenbezogene Lastprognose ist konzipiert als Mittel zur kurzfristigen Vorhersage des Leistungsbedarfsverlaufs in einzelnen Umspannstationen. Die verlässliche Schätzung der Knotenlastverläufe ist eine wichtige Unterstützung der Betriebsführung im Mittelspannungsbereich und kann Entscheidungsgrundlage für die Netzausbauplanung werden.

In die Schätzung fließen Meßwerte des Lastverlaufs an definierten Knoten, deren Verbraucherstruktur, der zugehörigen Temperatur- und Helligkeitsverläufen und Zusatzinformationen wie etwa Rundsteuer-Schaltzeiten ein.

Das Verfahren basiert auf der Estimation des Normalverhaltens von Verbrauchergruppen, den sog. Normkurven (z.B. Gruppe der Speicherheizung). Die Prognose des Lastverlaufs eines Knotens kann bei Kenntnis der entsprechenden Verbraucherstruktur und Einflußfaktoren erfolgen. Der Lastverlauf dieses speziellen Knotens in der Vergangenheit muß hierzu nicht notwendig bekannt sein. Die Berechnung der Normkurven erfolgt über ein lineares, statistisches Modell, das die Knotenleistungen \underline{P} mit den Normkurven \underline{X} verknüpft.

$$\underline{P} = \underline{A}(\underline{X} + \Delta\underline{X}) + \underline{V}$$

Die Matrix \underline{A} enthält Informationen über die Lastzusammensetzung an einem Knoten. $\Delta\underline{X}$ beschreibt die Laständerung durch externe Einflüsse, z.B. meteorologische. Die Berechnung von \underline{X} geschieht diskret für jede der bei den vorliegenden Daten festgelegten Stützstellen mit Hilfe der Bayes-Estimation und wird nur für Tage mit $\Delta\underline{X}=0$, den sog. Normtagen durchgeführt. Gegenüber der Schätzung mit dem Least-Squares-Verfahren werden mit dem Bayes-Estimator zuverlässige Normkurven (keine negativen Werte) berechnet, da jetzt Informationen über die Verbrauchergruppen durch Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Zustandsvektors \underline{X} in die Berechnung eingebracht werden kann. Die so estimierte Normkurven stellen auch außerhalb des Netzes, anhand dessen sie berechnet worden sind, die Prognosegrundlage dar. Im Berichtszeitraum konnten die Prognoseresultate nach Untersuchung von verbraucherspezifischen i.a. nicht-linearen Einflußmodellen (Temperatur- und Helligkeitsabhängigkeit) und detaillierterer Gruppenklassifizierung verbessert werden.

In Arbeit ist der Versuch, die Koeffizienten linearisierter Einflußmodelle simultan vorzuestimieren, um so die Datenbasis für die Normkurvenestimation zu verbreitern. Weitere Untersuchungen müssen eine genauere Betrachtung der Einflußgrößenmodelle zum Gegenstand haben und die Möglichkeit einer dynamischen Modellbildung aufzeigen. Bild 4 zeigt beispielhaft die Normkurve einer Haushaltsverbrauchergruppe an einem Winterwerktag.

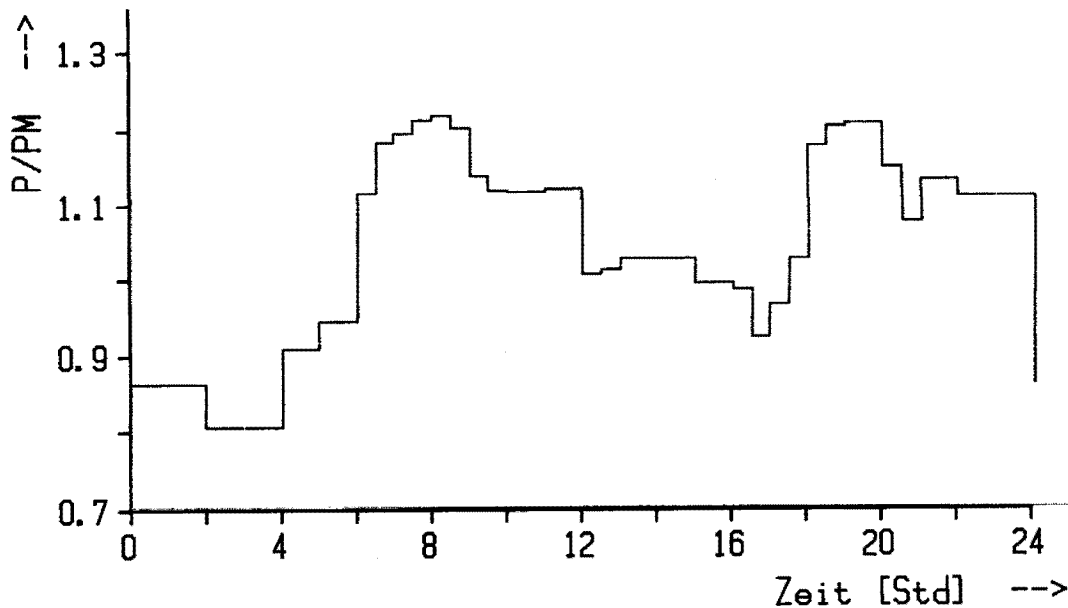


Bild 4: Normalverhalten einer Haushaltsgruppe an einem Winterwerktag

Chr. Dörnemann, A. Kubbe

Berichte: EV 8510, EV 8533

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

3.1.6 Programm zur Prognose und Planung des elektrischen Leistungsbedarfs industrieller Großverbraucher (PPL)

Bei der Übertragung, Verteilung und Bereitstellung von elektrischer Energie liegt eines der zentralen Probleme im stark schwankenden Leistungsbedarf der zu versorgenden Verbraucher. Die Kosten, die einem Industrieunternehmen für den Bezug elektrischer Energie entstehen, setzen sich aus einem leistungs- und einem arbeitsabhängigen Teil zusammen. Durch einen hohen Leistungsanteil wird der Verbraucher dazu gebracht, seine maximal auftretende Leistung möglichst gering zu halten. Bei industriellen Großverbrauchern, die hier nur berücksichtigt werden sollen, entspricht diese maximal auftretende Leistung einem Viertelstunden-Mittelwert.

In der Regel kann man einen industriellen Großverbraucher in verschiedene Teilbetriebe aufteilen, von denen jeder seinen eigenen, von der Produktion abhängigen Leistungsverlauf besitzt. Die Summe aller Einzelleistungen bildet die Gesamtleistung. Falls es gelingt, für die Einzelverbraucher typische und regelmäßig auftretende Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Höchstlast zu finden, so kann durch Überlagerung mit Hilfe eines mathematischen Verfahrens eine Prognose für die Gesamtleistung erstellt werden.

Ausgangspunkt sind vorgegebene, durch Messungen erhaltende Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Histogramme) des Leistungsbezuges von Einzelverbrauchern, die durch das Verfahren der diskreten Faltung miteinander verknüpft werden. Als Resultat erhält man eine Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Leistung nicht überschritten wird. Dieses Ergebnis liefert dem Planer eine Aussage darüber, wie oft innerhalb einer vorgegebenen Zeit (z.B. 1 Monat) die angemeldete Höchstleistung überschritten wird und somit geeignete Gegenmaßnahmen, z.B. Lastabschaltungen, notwendig sind.

Der umfangreiche Rechenaufwand für ein solches Verfahren läßt sich effizient nur mit einem Digitalrechner bewältigen. Da auf einem solchen Rechner nicht nur die eigentliche Faltungsoperation durchgeführt werden muß, sondern auch Nebenaufgaben, bietet sich ein Arbeitsplatzrechner an, der dem zuständigen Planer ständig zur Verfügung steht.

Für die Prognose und Planung des Leistungsbedarfs wurde das Programmsystem "PPL" (Prognose und Planung des Leistungsbedarfs) entwickelt. Es enthält als mathematischen Kern das Programm "FALT". Um das System für den Benutzer handhabbar, bequem und überschaubar zu machen, sind jedoch eine Vielzahl weiterer Hilfsprogramme nötig (Bild 5). Diese einzelnen Programme werden kurz in Tabelle 2 vorgestellt.

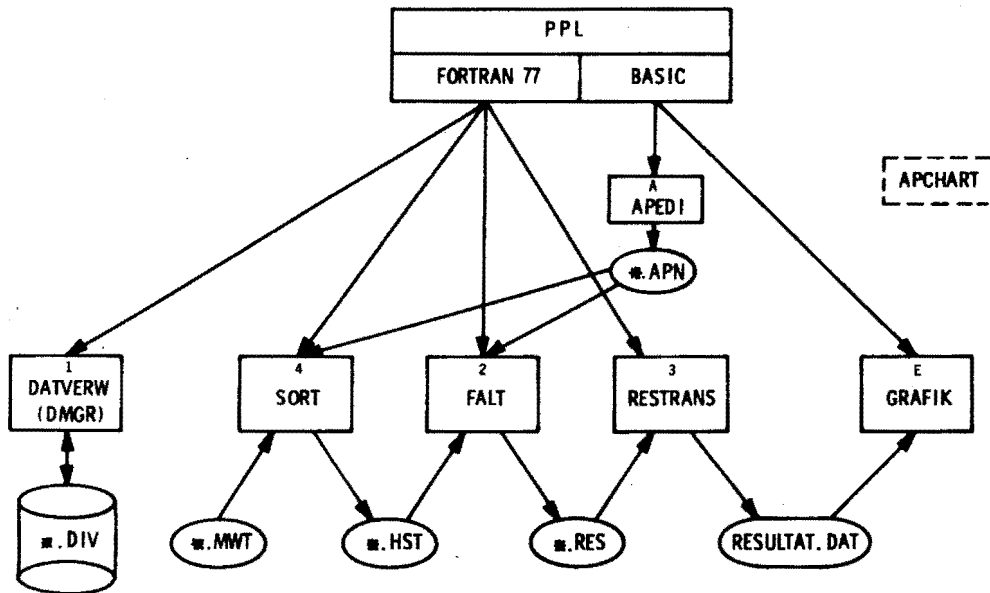


Bild 5: Übersicht über das Programm PPL

FORTRAN 77 (Kennung .F 77)		PBASIC (Kennung .BAS)	
PPL	- Darstellung des Hauptmenüs	PPL	- Darstellung des Hauptmenues
SORT	- Meßwerte zu Histogrammen aufarbeiten	APEDI (PLAN)	- Erstellen (Editieren) des Arbeitsplans
FALT	- Prognoserechnung durch Faltung der entsprechenden Verteilungen	GRAFIK (GRAPH)	- Graphische Ausgabe des Faltungsergebnisses
RESTRANS	- Transformation der Ergebnisdateien. Ausdruck der Summenverteilungsdiagramme	APCHART	- Erstellen des Arbeitsplan-Formulars
DMGR	- Dateimanager		

Tabelle 2: In FORTRAN 77 und in PBASIC realisierte Programmteile des Programmsystems PPL

Bild 6 zeigt einen Ausdruck der graphischen Auswertung der Ergebnisse einer Prognoserechnung nach Angabe der verfügbaren Leistung oder der beeinflussten Viertelstunden. Bild 7 stellt die prognostizierte Summenhäufigkeitsverteilung gegenüber der tatsächlichen angemeldeten Leistung und beeinflusste Viertelstunden für den Hoch-Tarif-Betrieb (HT) dar.

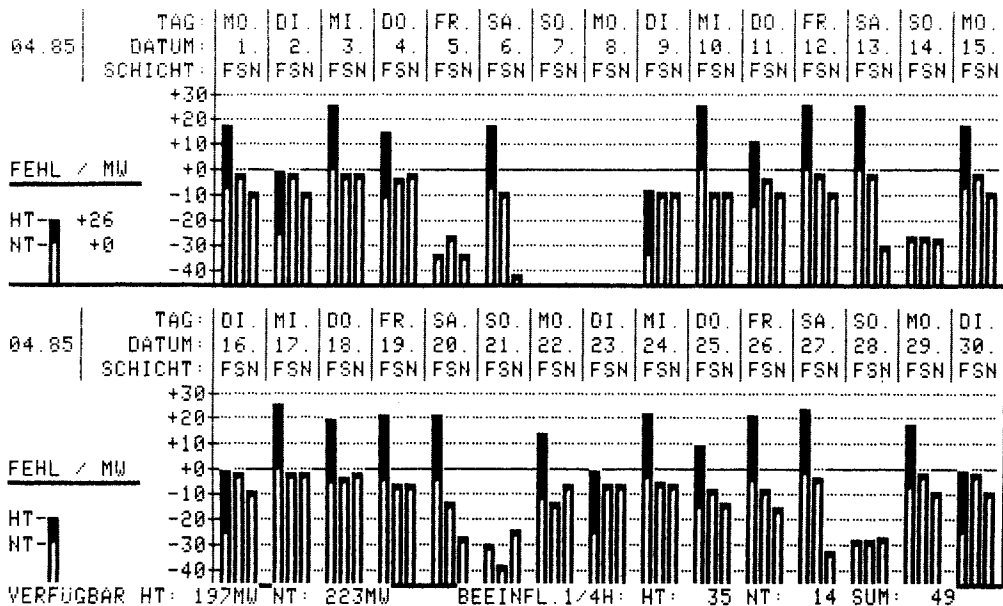


Bild 6: Ergebnisprotokoll einer Prognoserechnung

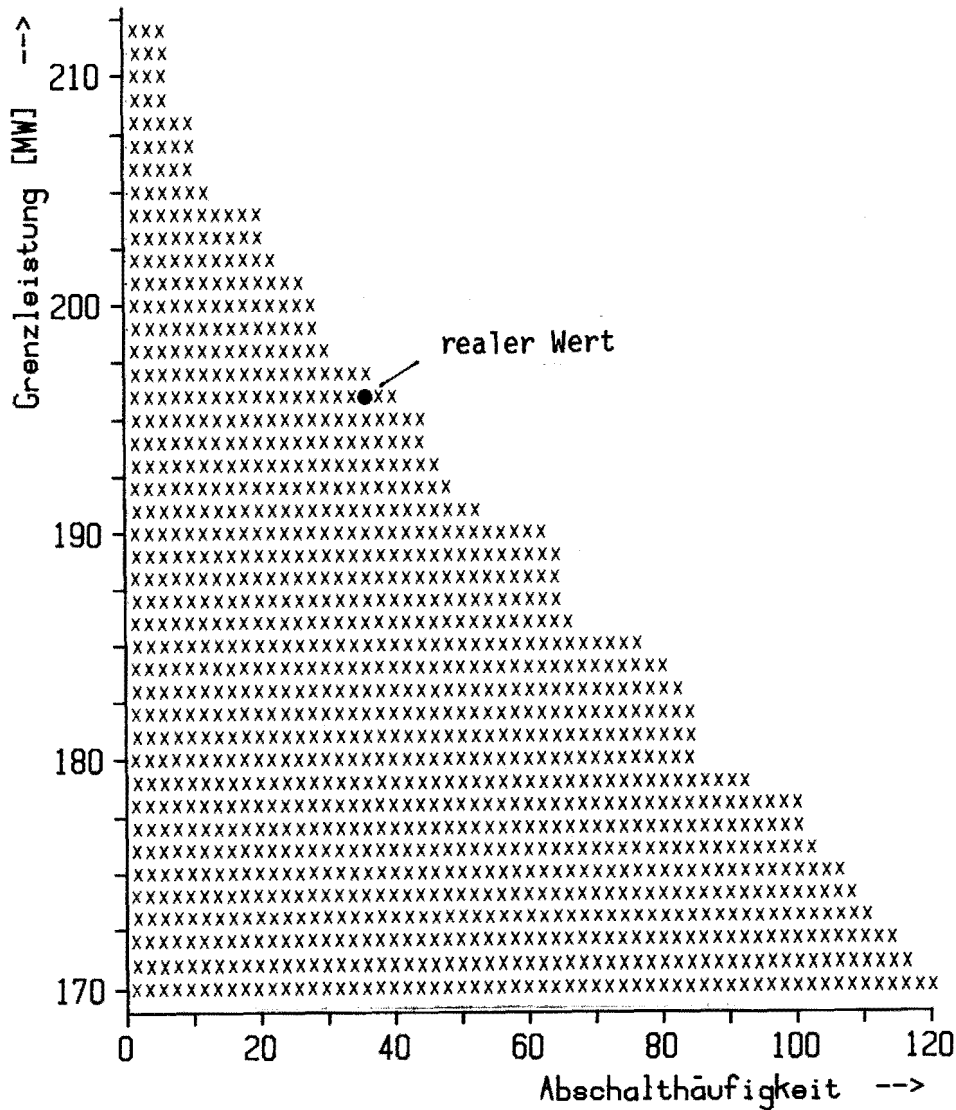


Bild 7: Summenhäufigkeitsverteilung für Hoch-Tarif-Zeiten

Das System zur Leistungsbedarfsanalyse befindet sich in einer Testphase, in der Erfahrungen beim Einsatz des Programmes gesammelt werden.

J. Lemaitre, Th. Reißing

Bericht: EV 8514

3.1.7 Digitale Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze

Der Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze kommt in den Bereichen der Netzplanung und des Netzbetriebs hohe Bedeu-

tung zu. Die Vielfalt der Anwendungen erfordert ein Simulationssystem, das den folgenden Ansprüchen genügt.

1. Die Eingabe von Netzdaten ist im Sinne der Anwenderfreundlichkeit so einfach wie möglich zu gestalten. Grobe Eingabefehler sollen erkannt werden.
2. Netzmodifikationen seitens des Benutzers sind von dem System zu unterstützen. Die Umlaufzeit für eine Simulation, die Ergebnisausgabe, die anschließende Netzmodifikation bis hin zur erneuten Simulation ist zu minimieren.
3. Berechnungsergebnisse sollen dem Anwender in übersichtlicher Form dargeboten werden. Eine Datenvorverarbeitung (decluttering) z.B. zur Markierung von Grenzwertverletzungen ist wünschenswert.
4. Ein neu zu entwickelndes Simulationssystem muß schon heute möglichen Hard- und Software-Entwicklungen Rechnung tragen. Neue Berechnungsverfahren sollten einfach in das System einzubinden sein. Die vorteilhafte Nutzung auch zukünftiger Graphiksysteme ist vorzusehen.

Auf der Basis bestehender Rechenprogramme wurde für die Lastflußberechnung und für die automatische Ausfallsimulation das Programmpaket "GRIPS" (graphisches interaktives Programmpaket zur Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze) entwickelt, das den genannten Anforderungen entspricht. Eine Graphik (Bild 8) gibt die Konzeption des Programmsystems GRIPS wieder.

Ein Steuerprogramm bestimmt entsprechend dem Benutzerwunsch den Ablauf der Simulation. Es werden nach Bedarf die eigenständig lauffähigen Programme zur Systeminitialisierung, für die graphische Netzgenerierung, die Datenverwaltung oder für die jeweils gewünschte Netzberechnung gerufen. Die Kommunikation der Programme geschieht über eine fest im Arbeitsspeicher des Rechners installierte Shared-Region. Der Vorteil des gewählten Konzepts liegt in der Flexibilität im Hinblick auf künftige

Programmerweiterungen. Die Anwendung des neuen Simulationssystems GRIPS beginnt mit der Eingabe von Netzinformationen. Alternativ können Netzdateien bereits bearbeiteter Anlagen eingelesen oder neue Netze generiert werden.

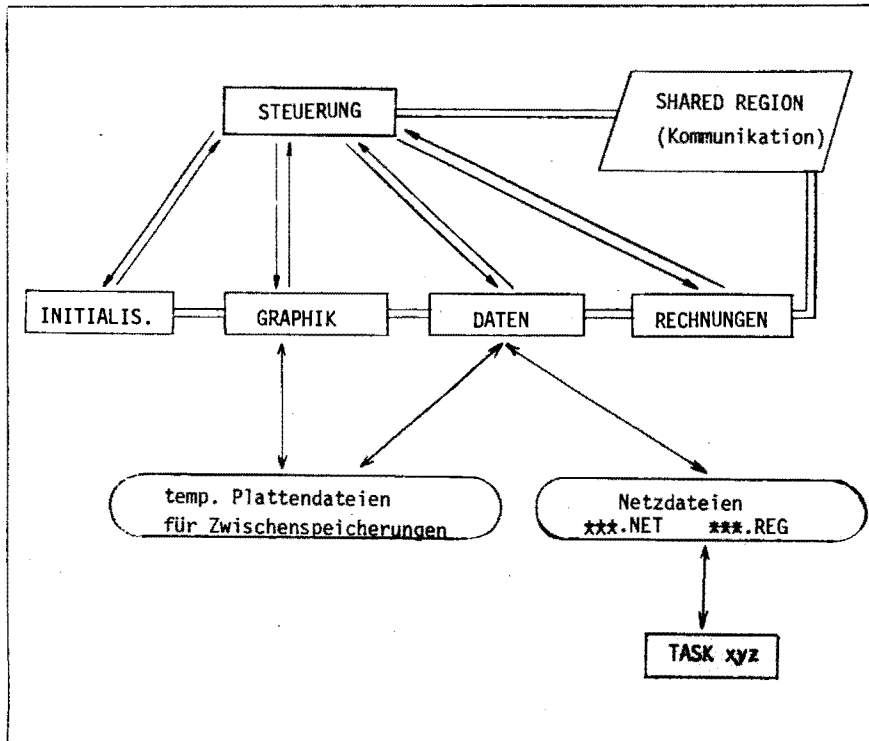


Bild 8: Konzept des Programmsystems GRIPS

Die Neueingabe zu simulierender Energieversorgungsnetze geschieht weitestgehend graphisch. Erst wenn die Netztopologie durch den Anwender vollständig beschrieben ist, fordert das System die Eingabe der zugehörigen elektrischen Daten. Solche Eingaben, die der eingegebenen Netzkonfiguration widersprechen, werden von dem System zurückgewiesen. Das realisierte Konzept der zunächst ausschließlich graphischen Netzeingabe erhöht somit die Fehlersicherheit des Simulationsprogramms. Zur Arbeitserleichterung für den Benutzer bietet das Programm die Möglichkeit, bei der Eingabe der elektrischen Parameter von Übertragungsmitteln auf eine Reihe gespeicherter Standard-Zweigtypen zurückzugreifen.

Im Anschluß an die vollständige Netzbeschreibung hat der Benutzer die Möglichkeit, Netzberechnungen durchzuführen. Zur Zeit umfaßt das Simulationssystem Rechenprogramme zur Lastflußbe-

rechnung (fast decoupled load flow), zur automatischen Ausfallsimulation sowie zur symmetrischen Kurzschlußberechnung. Ein Menü erlaubt die Auswahl der gewünschten Berechnungsart. Die Berechnungsergebnisse können wahlweise tabellarisch ausgegeben oder in die Netzgraphik eingeblendet werden. Überlastete Betriebsmittel sind dabei deutlich gekennzeichnet.

Das Konzept des neuen Programmpakets zur Simulation elektrischer Energieversorgungsnetze sieht vor, daß der Benutzer unmittelbar nach Abschluß der Berechnungen Gelegenheit erhält, das Netz zu modifizieren. Basierend auf den mittels Lastflußberechnung oder Ausfallsimulation gewonnenen Informationen kann der Anwender das Netz so verändern, daß es den Ansprüchen, z.B. hinsichtlich der n-1 Betriebssicherheit oder der Kurzschlußleistung in einzelnen Knoten genügt. Die Planungszeit für ein betriebssicheres Netz wird so auf ein Minimum beschränkt. Zur Dokumentation der geplanten Anlage kann mit Hilfe des vorgestellten Programmpakets GRIPS eine Plottergraphik des Netzes erstellt werden (Bild 9).

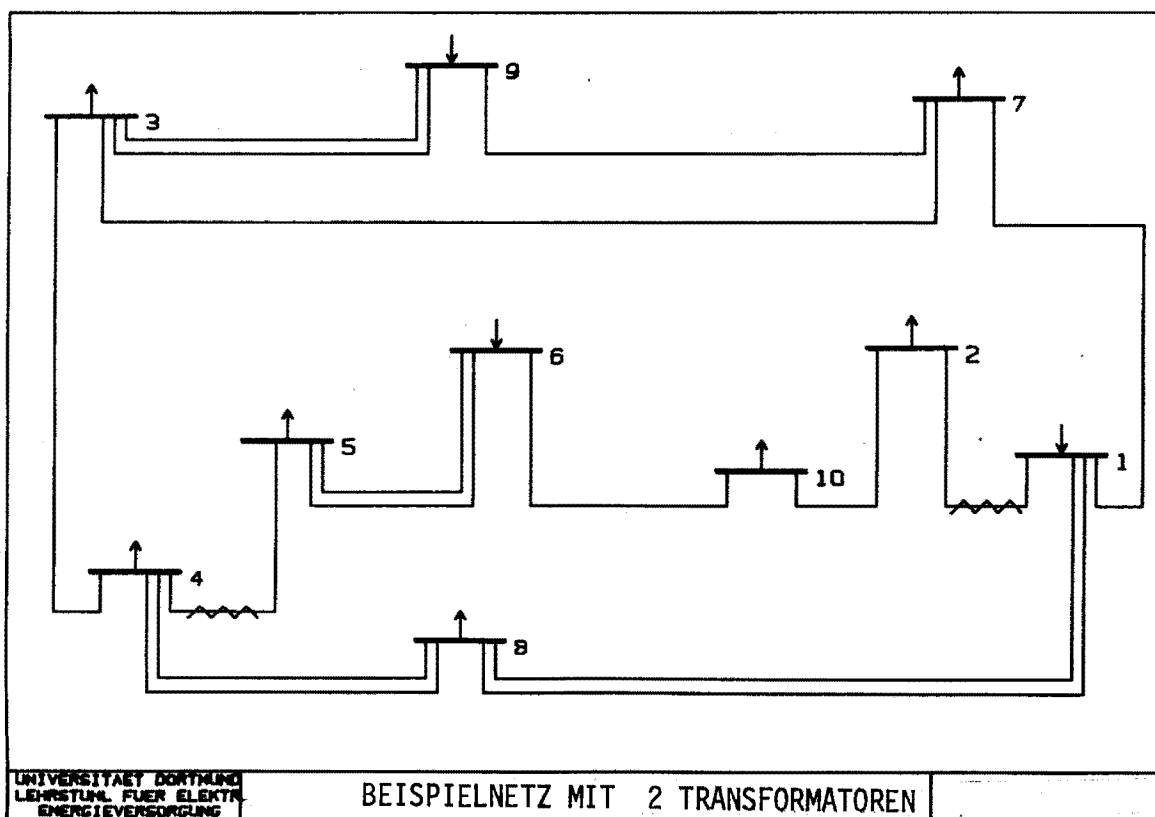


Bild 9: Plottergraphik eines Energieversorgungsnetzes

Selbstverständlich bietet das vorgestellte System die Möglichkeit, die Daten des bearbeiteten Netzes in einem festgelegten Standardformat zu speichern und sie so für spätere Bearbeitungen auch mit Hilfe fremder Programme verfügbar zu haben.

Das neue Simulationssystem wird u.a. bei der Ausbildung von Studenten im Rahmen eines Praktikumsversuchs eingesetzt. Den daraus resultierenden besonderen Anforderungen an die Flexibilität des Programms und an die Einfachheit der Bedienung (minimale Einarbeitungszeit) wird das neue System GRIPS voll gerecht.

W. Hoffmann

Bericht: EVP 8503

3.2 Simulation statischer und dynamischer Vorgänge in elektrischen Energieversorgungssystemen

3.2.1 Verbundnetzdyamik

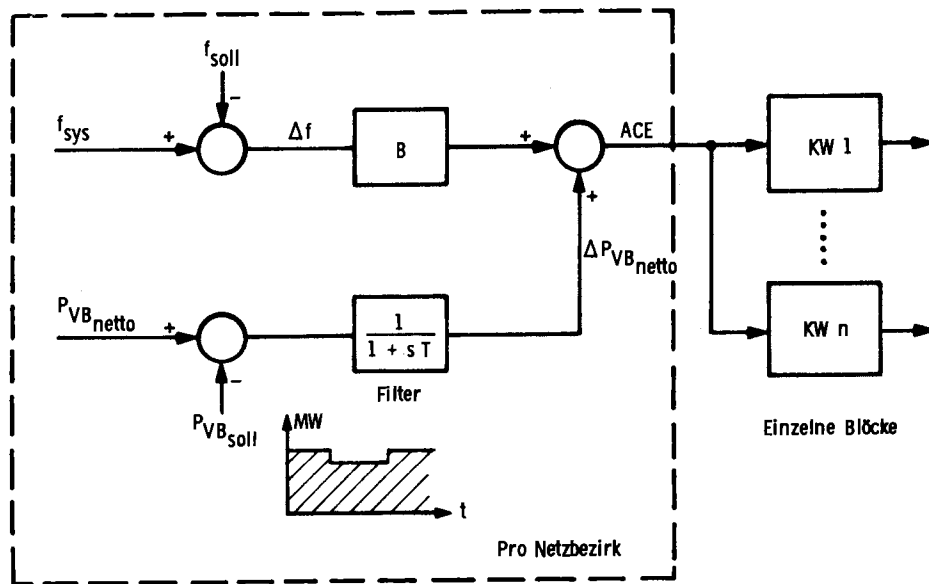
Der nationale und internationale Verbundbetrieb elektrischer Energieversorgungssysteme bietet sowohl für die technische Betriebsführung, als auch für die optimale Ausnutzung der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen wesentliche Vorteile.

Insbesondere ist dabei auf das Zusammenwirken der Kraftwerke zur Deckung der Grund-, Mittel- und Spitzenlast und auf die gegenseitige Unterstützung bei Störungen durch Bereitstellung von Reserveleistung innerhalb des Verbundsystems hinzuweisen.

Die Untersuchungen der dynamischen Vorgänge in überregionalen Verbundsystemen sind für Planungsaufgaben und für eine sichere Betriebsführung von Bedeutung. In stark gekoppelten Verbundnetzen spielen sich die wesentlichen dynamischen Vorgänge im Mittelzeitbereich ab, also im Zeitbereich, wo die Frequenzleistungs-Regelung aktiv im Eingriff ist. Der Verlauf der Systemgrößen unmittelbar nach Auftreten einer Störung (Kurzzeitbereich) ist bei diesen Betrachtungen nicht von Interesse.

Für die Modellierung des Verbundsystems im Mittelzeitbereich führen diese Überlegungen zu der Annahme einer einheitlichen Systemfrequenz. Mit diesem Konzept ist die Änderung der gesamten Verbundleistung im Netzbezirk j (ΔP_{vBj}) durch die Differenz zwischen der elektrischen Leistung (ΔP_{Ej}), und der Laständerung im Netzbereich j (ΔP_{Lj}) gegeben.

Bei der Simulation eines Verbundbetriebes spielt der Lastverteiler eine zentrale Rolle. Bild 10 stellt ein geeignetes Modell für die Mittelzeitdynamik dar.



ACE - Area Control Error
B - Netzeleistungszahl

Bild 10: Lastverteiler

Die Übergabeleistung und die Netzfrequenz werden im Lastverteiler mit den zugehörigen Sollwerten verglichen, und die resultierenden Abweichungen werden zur Gesamtabweichung zusammengefaßt, die in Stellbefehle für den Sollwert der Maschinenleistungsregler (durch die Sekundärregelung) umgesetzt werden. So ist die Aufgabe der Frequenz-Leistungs-Regelung im Verbundnetz durch folgende zwei Forderungen gekennzeichnet:

1. Unter normalen Betriebsbedingungen sorgt jeder Netzbezirk für die Lastdeckung im eigenen Netz und liefert die vereinbarten Übergabeleistungen.
2. Für den Störfall unterstützen sich gegenseitig alle Verbundpartner durch kurzfristige Regelleistung. Nach Ablauf dieser Phase muß der erhöhte Leistungsbedarf dort gedeckt werden, wo er ursprünglich aufgetreten ist.

Um das dynamische Verhalten des Verbundbetriebes untersuchen zu können, wurde das Programmpaket zur Simulation der dynamischen Vorgänge im Mittelzeitbereich (siehe Jahresbericht 1984) mit einem geeigneten Verbundnetzmodell erweitert. Gleichzeitig wurde die auf CSP basierende Simulation in ein selbständiges

FORTTRAN-Programm mit eigener numerischer Integration umgeschrieben.

So besteht nun die Möglichkeit, ein Verbundsystem mit 5 Netzbezirken und 30-40 Kraftwerksblöcken zu simulieren. Für jeden Netzbezirk können Lastabwurfstrategien sowie unterschiedliche Laststörungen und Erzeugerausfälle durch einen Störungskatalog definiert werden. Bild 11 zeigt die Modellverknüpfung eines Netzbereichs mit dem Verbundmodell.

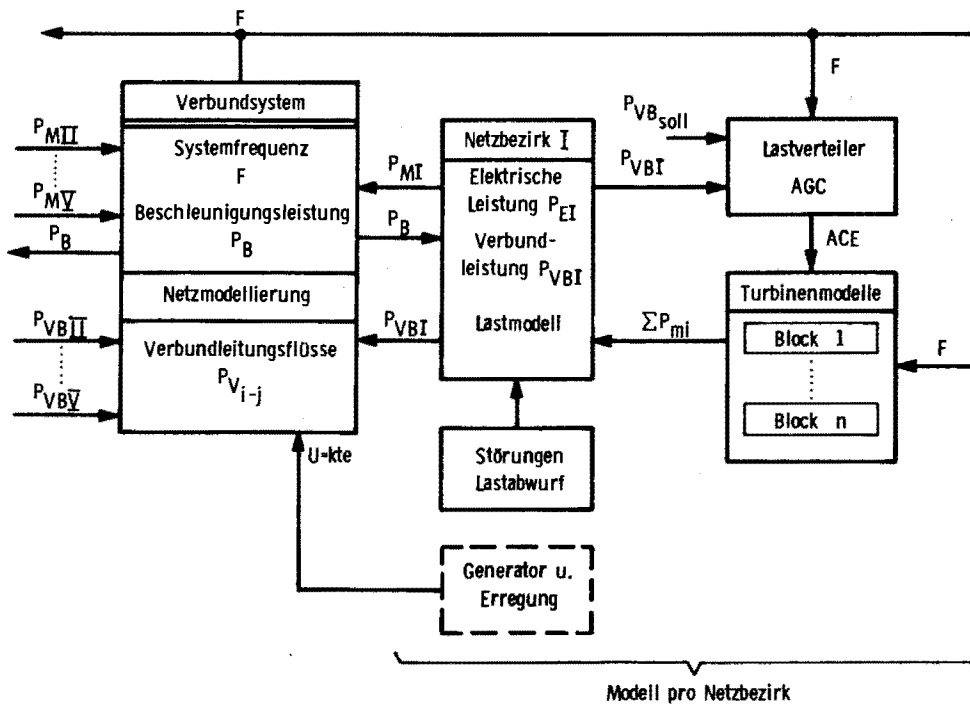


Bild 11: Allgemeine Modellverknüpfung für den Verbundbetrieb

Erfahrungen mit dem Programm bei mehreren Testläufen haben gezeigt, daß das angewandte Programmkonzept der Erstellung einer für alle Strukturkombinationen lauffähigen Task, zusammen mit der Implementierung der Trapez-Regel für die Integration, eine Echtzeitsimulation auch von großen Verbundsystemen ermöglicht.

Mit dem Simulationsprogramm können das Verhalten des Verbundsystems bei unterschiedlichen Regelkonzepten bezüglich Primär- und Sekundärregelung, sowie Strategien für Störungfälle und Reservehaltung untersucht werden.

In Bild 12 ist die Simulation eines Verbundnetzes, bestehend aus 3 Netzbezirken, für ein Lastsprung im Netzbereich 1 dargestellt. Es sind sowohl die dynamischen Netto-Verbundleistungen (P_{VO}) der Netzbezirke, als auch die Wirkleistungsflüsse auf den Verbundleitungen zu sehen. Für diese Störung wird im Beispielnetz die wichtigste Unterstützung vom Netzbereich 2 geleistet.

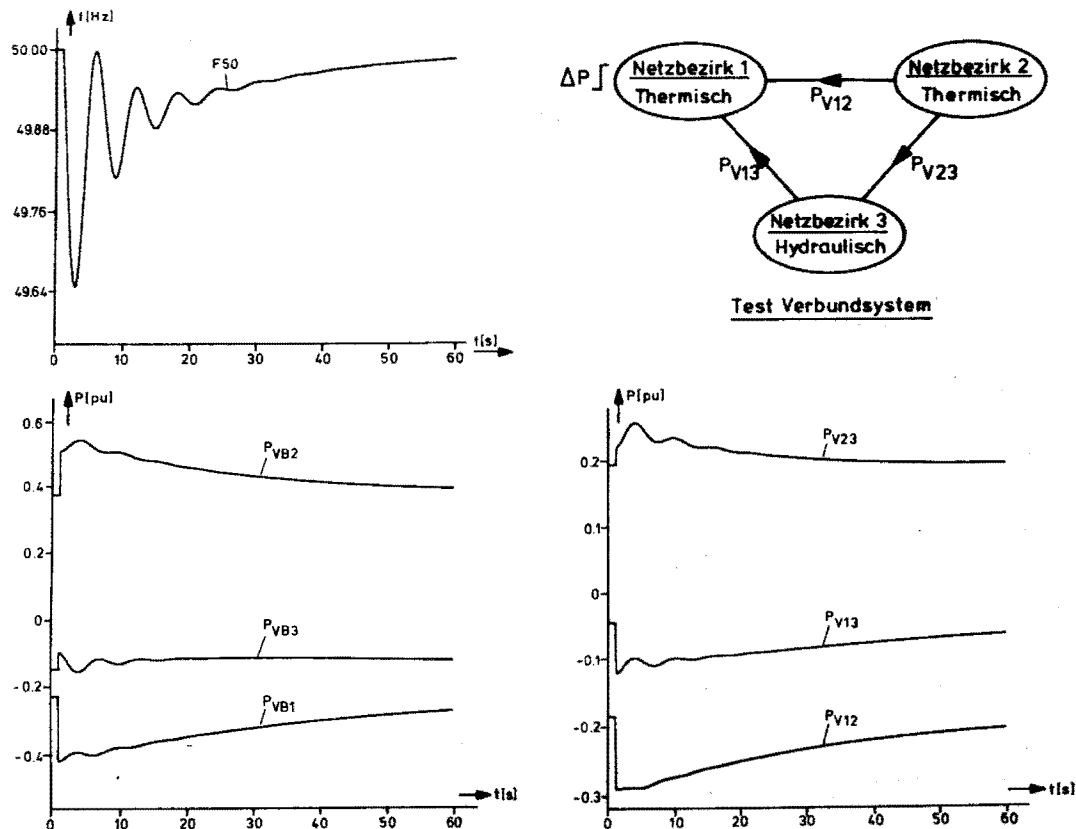


Bild 12: Testverbundsystem mit 3 Netzbezirken

Durch die Netzmodellierung und Berechnung der Übergabeleistungen erhält man ein übersichtliches, physikalisch durchschaubares Modell, mit dem die zeitlichen Vorgänge der Mittelzeitdynamik in Verbundsystemen gut dargestellt werden können.

J. Lemaitre

Bericht: EV 8529

3.2.2 Dynamisches Verhalten von Synchronmaschinen im Kurzzeitbereich

Ein vollständiges mathematisches Modell zur Nachbildung der Synchronmaschine ist nur mit großem theoretischen Aufwand zu beschreiben. Für praktische Untersuchungen ist ein solches Gleichungssystem unter anderem aus folgenden Gründen ungeeignet:

- Eine dem Genauigkeitsgrad der Maschine entsprechende Parametrisierung ist bei Modellen höherer Ordnung nicht möglich.
- Die unterschiedlichen Zeitkonstanten und die Größe der Gleichungssysteme sind numerisch schwer handzuhaben.
- Die Synchronmaschine kann mit Teilsystemen beschrieben werden, die voneinander näherungsweise unabhängig sind.

Eine Eigenwertanalyse hat gezeigt, daß der dynamische Einfluß des Primär- und des Sekundärreglers voneinander getrennt modelliert werden kann, wenn für die Untersuchungen ein geeigneter Zeitbereich gewählt wird. Dabei ist das Modell für die Sekundärregelung auf die Zeit zwischen dem Abklingen der elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge und dem Eingreifen der Primärregelung zu begrenzen.

Nach vielen Untersuchungen verschiedener Maschinenmodelle wurde im Berichtszeitraum am Aufbau eines Programmsystems für den Kurzzeitbereich gearbeitet. Das Klemmenverhalten der Maschinen wird nach der modifizierten Parktransformation durch Flußgleichungen beschrieben, die für die Simulation in Übertragungssysteme bestehend aus Integrationsgliedern, Übertragungsgliedern 1. Ordnung und Verzögerungsgliedern überführt werden. Da erst einige Unterprogramme des Programmsystems programmiert und getestet wurden, konnten mit diesem Programmsystem noch keine Stabilitätsstudien durchgeführt werden.

Parallel zu diesen Arbeiten wurde der Einfluß der Spannungsabhängigkeit der Lasten auf das dynamische Kurzzeitverhalten untersucht. Dazu wurden die Flußgleichungen mit Spannungsregler und spannungsabhängiger Last mit Hilfe des Programms CSP auf

einem Digitalrechner simuliert. Die Topologie des Übertragungsnetzes zeigt Bild 13.

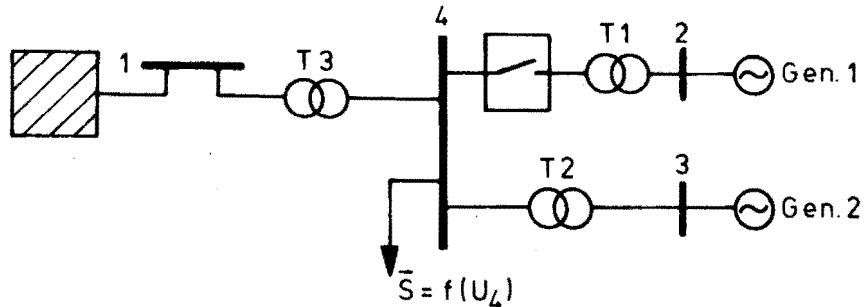


Bild 13: Topologie des Testnetzes

Durch eine Störung wird der Generator 1 vom Netz getrennt. Das Systemverhalten wird untersucht für den Fall der Spannungsunabhängigkeit und der quadratischen Spannungsabhängigkeit der Wirk- und Blindlast am Knoten 4. Rechnungen mit Exponenten zwischen 0 und 3 für die Spannungsabhängigkeit haben gezeigt, daß das System kein grundsätzlich anderes Verhalten als in den oben beschriebenen Fällen zeigt.

Die Bilder 14 und 15 zeigen den Verlauf der Spannung am Lastknoten 4 und den Polradwinkel des Generators 2.

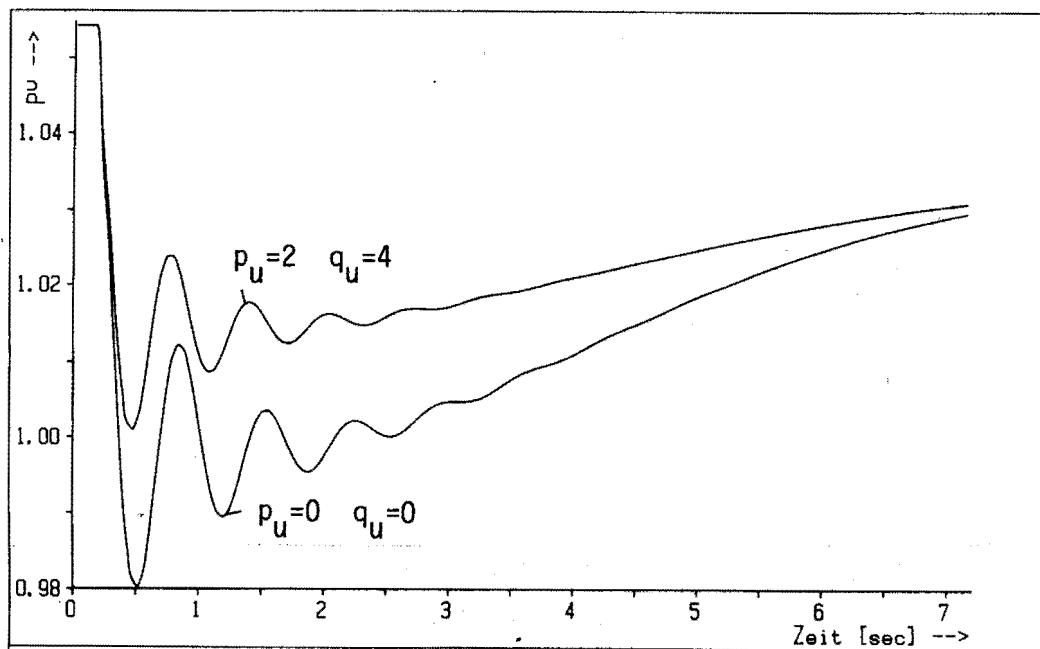


Bild 14: Spannung am Knoten 4

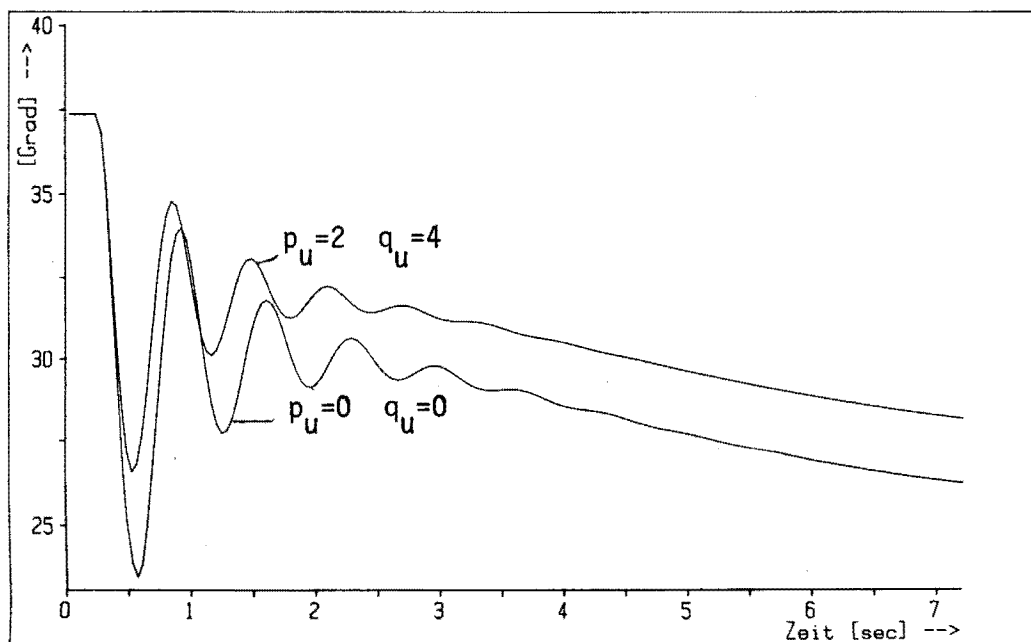


Bild 15: Polradwinkel des Generators 2

Die Parametrisierung der Kurven bezieht sich auf die Spannungsabhängigkeit der Last gemäß:

$$\bar{S}_{L4} = P_L^O (U/U_O)^{p_u} + j Q_L^O (U/U_O)^{q_u}$$

Da die Wirk- und Blindlast entsprechend der angegebenen Gleichung exponentiell von der Spannung am Knoten 4 abhängt, folgt ihr Verlauf qualitativ der Spannungskurve. Nach dem Generatorausfall sinkt die Knotenspannung bei konstanter Last auf 0.94 pu, bei spannungsabhängiger Last auf 1.0 pu. Die Unstetigkeiten zu Beginn der Störung werden durch das Modell verursacht.

Der Vergleich der Bilder zeigt, daß mit zunehmender Spannungsabhängigkeit der Last beide Systemgrößen weniger gestört werden. Die mit sinkender Spannung abnehmende Last wirkt nicht nur dem Spannungseinbruch entgegen, sondern führt auch zu einer Entlastung von Netz und Generator, so daß die Schwingungen des Polradwinkels abnehmen. Nach dem Abklingen der Pendelungen läuft der Polradwinkel in einen neuen stationären Endwert. Das System ist damit dynamisch stabil.

3.2.3 Messung des spannungs- und frequenzabhängigen Lastverhaltens

Die Beschreibung des statischen Lastverhaltens von Verbrauchern bei Änderung von Spannung und Frequenz durch die nichtlinearen Beziehungen

$$P = P_0 (U/U_0)^{p_u} (f/f_0)^{p_f} \quad Q = Q_0 (U/U_0)^{q_u} (f/f_0)^{q_f}$$

und die dynamische Modellierung durch Linearisierung und Ergänzung differenzierter Anteile (z.B. für P)

$$P = P_0 + \frac{k_u + T_{U1}s}{1 + T_{U2}s} \Delta U + \frac{k_f + T_{f1}s}{1 + T_{f2}s} \Delta f$$

resultiert aus dem Bedarf, komplexe Verbraucherstrukturen mit geringstem Aufwand zu modellieren, so zum Beispiel für Untersuchungen im Bereich der Kurz- und Mittelzeitdynamik und, was das statische Spannungsmodell angeht, auch für Lastflußstudien. Die Probleme, die mit der Lastmodellierung einhergehen, liegen auf der Hand:

- Gültigkeitsbereich in Bezug auf Spannung und Frequenz
- Arbeitspunktabhängigkeit
- Zeitabhängigkeit durch Variation der Lastzusammensetzung.

Die Arbeit im Berichtszeitraum konzentrierte sich auf folgende Fragen:

- Ist die U-f-Charakteristik nach obigen Gleichungen bei konstantem Arbeitspunkt U_0, f_0, P_0, Q_0 befriedigend?
- Wie verändern sich die Modellparameter typischerweise bei Veränderung des Arbeitspunktes?
- Kann die Zeitabhängigkeit der Lastparameter tagesgangartig erfaßt werden?
- Ist ihre Identifikation aus Betriebsmeßdaten möglich?

Im Lauf der Untersuchungen wurde für die Labor- (Netzmodell) und Netzmessung ein für den Bedarf der Parameteridentifikation entwickeltes Präzisionsmeßsystem für Wechselstromgrößen eingesetzt und insbesondere die Softwarekomponenten weiterentwickelt.

Die Parameteridentifikation aus Betriebsmeßdaten (Netzmessung) ist wegen des naturgemäß sehr ungünstigen Verhältnisses von Stör- und Nutzsignal mit großen Schwierigkeiten verbunden. Man ist darauf angewiesen, ausreichend große Nutzsignale (mit Spannungs- bzw. Frequenzänderungen korrelierte Leistungsänderungen, nicht jedoch die, die aus dem Zu- und Abschalten der Verbraucher resultieren) abzuwarten, so z.B. Trafostufungen und netzseitige Störungen. Das Meßsystem muß mit einem "intelligenten" Trigger ausgestattet sein, um die Menge der aufgezeichneten Daten in Grenzen zu halten. Bei Messungen über einen großen Zeitraum wird die Identifikation des Tagesverlaufs der Spannungsabhängigkeit mosaikartig möglich sein. An die Identifikation eines Frequenzmodells ist im Verbundnetz nur sporadisch beim Auftreten markanter Störungen zu denken. Das Frequenzmodell kann im Verbundsystem nicht experimentell identifiziert werden.

Bei ersten Versuchen in 110/10 kV-Verteilstationen mit unterschiedlichen Lastzusammensetzungen (Haushaltlast/Industriellast) wurde die Qualität des Meßsystems unter Beweis gestellt.

Durch Stufung des 110/10 kV Blocktransformators hervorgerufene netzseitige Spannungsänderungen liefern gut detektierbare Nutzsignale. Die Messungen der Gesamtknotenlast und einzelner Kabelabgänge liefern trotz des immer vorhandenen Lastrauschens verwertbare Ergebnisse. Bild 16 zeigt für einen Zeitbereich von 35s das Verhalten einer Haushaltlast bei Transformatorstufung (Gesamtknotenlast ca. 12 MW). Die Korrelation von Wirkleistung und Spannungsverlauf ist in dieser Darstellung gut sichtbar.

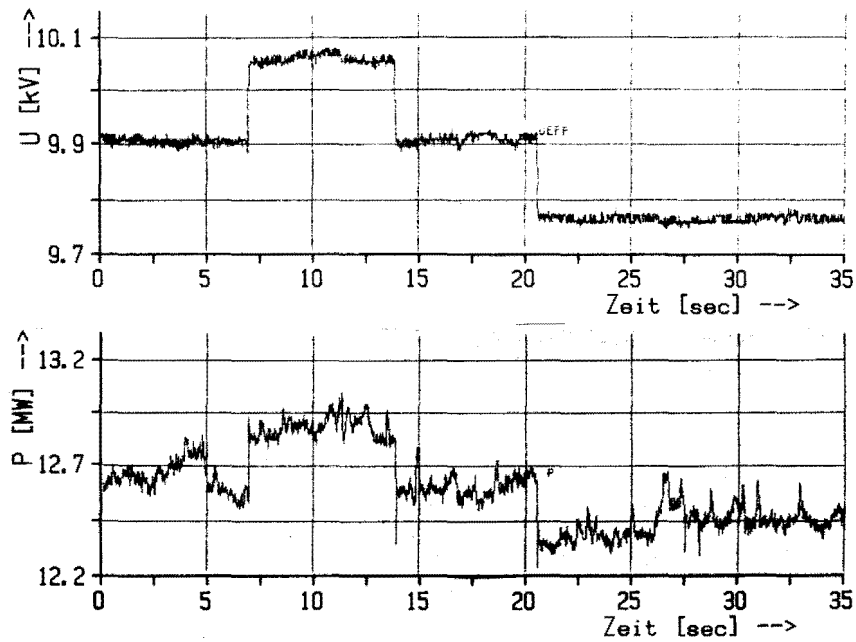


Bild 16: Spannungsverlauf und Gesamlastverlauf am Transformator

Bei einem Kabelabgang (Bild 17, Kabellast ca. 300 kW) überwiegt auch bei den deutlichen Spannungssprüngen der Störanteil durch stochastisches Verbraucherverhalten. Hier kommt das hohe zeitliche Auflösungsvermögen des Meßsystems zum Tragen (Bild 18).

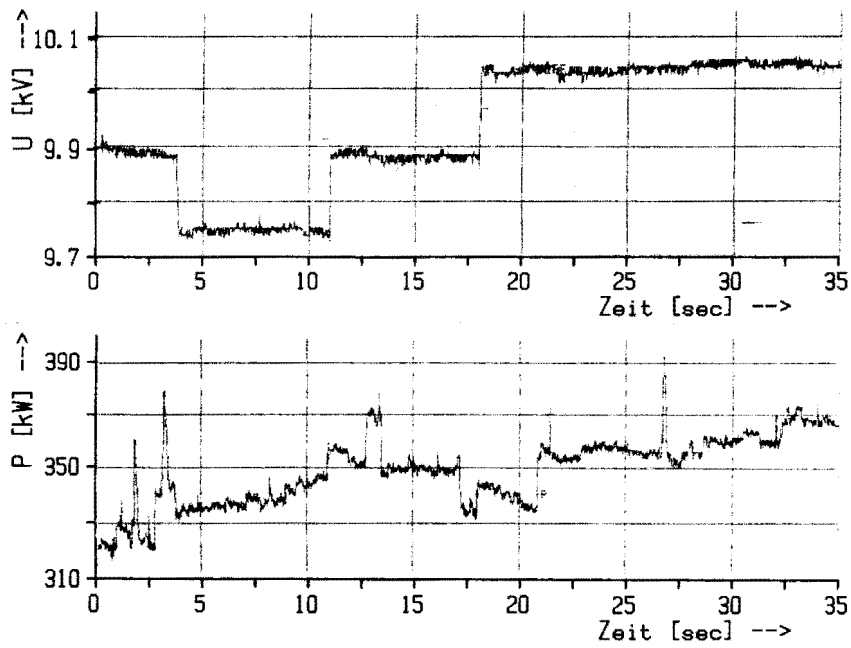


Bild 17: Spannungs- und Leistungsverlauf am Kabelabgang

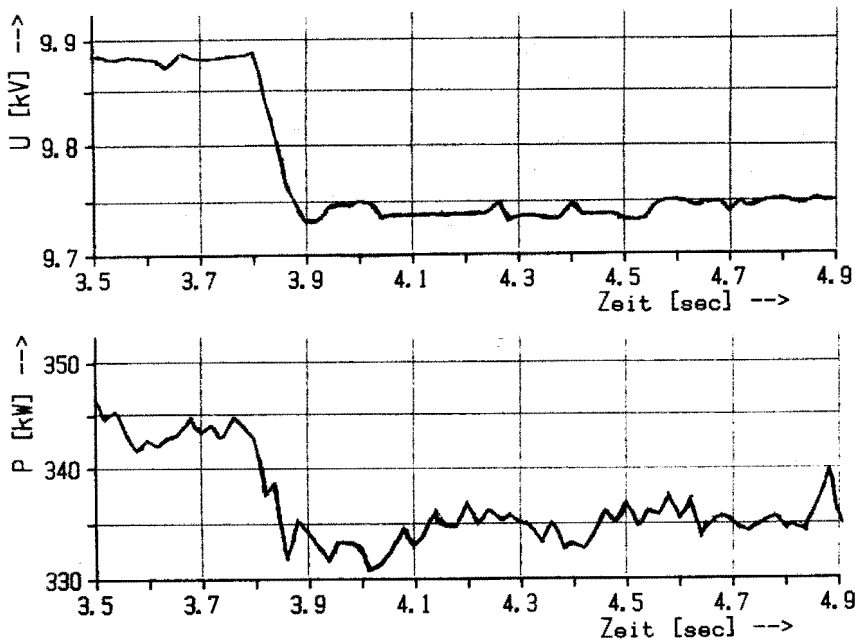


Bild 18: Spannungs- und Leistungsverlauf am Kabelabgang
im Zeitmaßstab 3.5 ... 4.9 s

A. Kubbe

Berichte: EV 8424, EV 8517, EV 8528

3.2.4 Netzbetriebs-Trainingssimulator

Für die Erhöhung der Versorgungssicherheit spielt neben der Optimierung in der Anlagen- und Systemtechnik die Optimierung in der Leittechnik eine unerläßliche Rolle. Der wesentliche Faktor bei dem leittechnischen Prozeß ist der Mensch (Betriebspersonal), der trotz wachsender Automatisierung bei der Überwachung und Führung die letzte Entscheidung hat. Da die Möglichkeiten des direkten Trainings beschränkt sind, werden zur Schulung und Ausbildung von Betriebspersonal auch andere Möglichkeiten gesucht. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang die Trainingssimulatoren zu nennen. Die Trainingssimulatoren erfüllen auch in der Weiterbildung eine wichtige Funktion, wenn eine Erweiterung der Anlage, eine Implementierung von neuen Komponenten zur Netzführung und Überwachung oder eine Einsetzung von neuen Betriebsrichtlinien geplant ist.

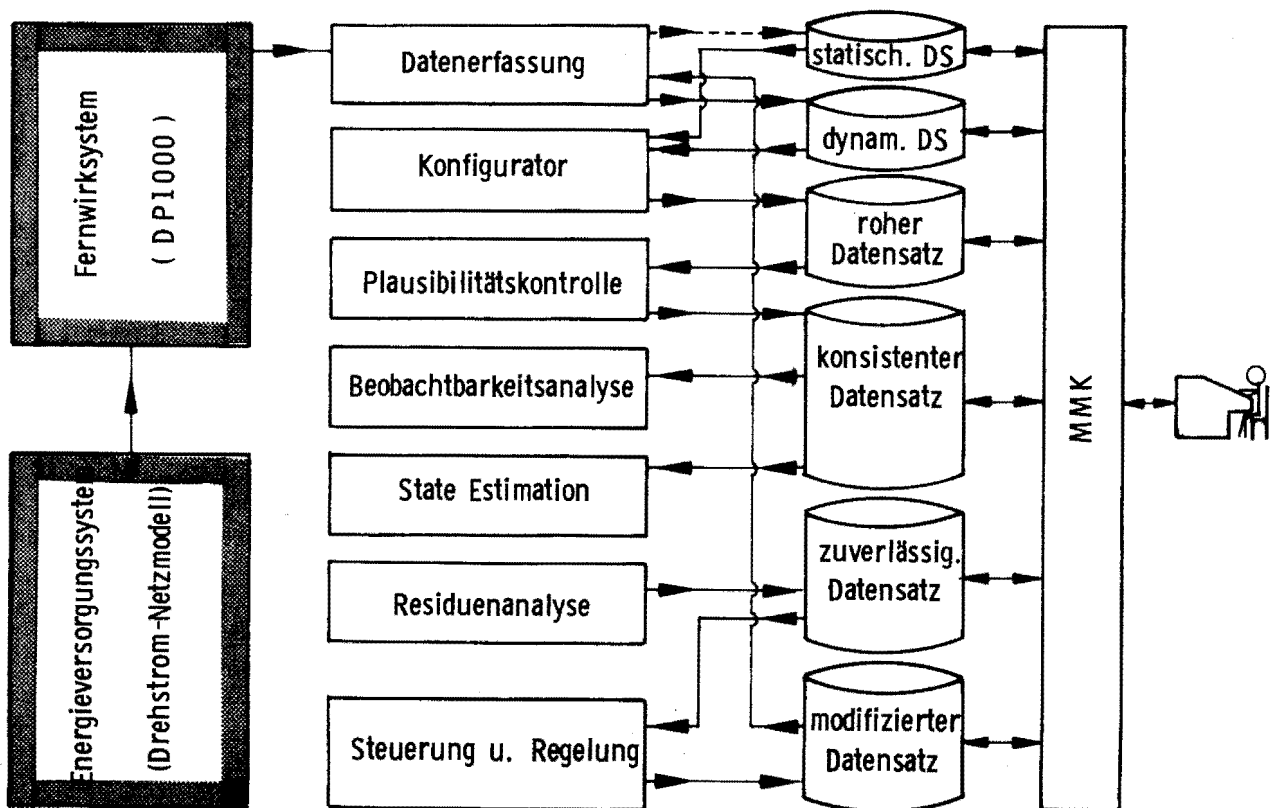


Bild 19: Struktur und Datensätze des Netzbetriebs-Trainingssimulators

Bild 19 zeigt die Struktur und Datensätze des Netzbetriebs-Trainingssimulators. Da für eine sichere Netzbetriebsführung (Steuerungs - Regelung - und Optimierungsaufgaben) die Ermittlung eines vollständigen und zuverlässigen Datensatzes unerlässlich ist, wird bei der Konzeption eines Trainingssimulators der Problematik der Netzbetriebsüberwachung besondere Bedeutung beigemessen. Um einen praxisnahen Netzbetrieb zu simulieren, wird der Trainingssimulator als Hybridsimulator verwirklicht. Zu diesem Zweck wird das am Lehrstuhl vorhandene und schon mit dem Prozeßrechner (PDP 11/40) über das Fernwirksystem (DP 1000) gekoppelte Drehstrom-Netzmodell benutzt. Das Netzmodell erlaubt insbesondere die Probleme des Echtzeitbetriebs zu studieren. Bei dem Einsatz dieses Modells für die Netzuntersuchungen im Rahmen der Forschungsarbeiten in den letzten Jahren konnten gute und fruchtbare Ergebnisse erzielt werden.

Da die Ergebnisse der Plausibilitätskontrolle und der Estimation am Netzmodell sehr stark von der Genauigkeit des "statischen Datensatzes" abhängig sind, wurde sowohl das Netzmodell als auch das Meßsystem durch zahlreiche Voruntersuchungen auf Modellfehler überprüft. Durch die Ermittlung von Netz- und Meßparametern konnte ein genauer "statischer Datensatz" ermittelt werden, so daß dieser für den on-line Einsatz des Simulators zur Verfügung steht. Bei dem on-line Betrieb werden anhand der Systemprogramme in einer "Schnappschußfunktion" die Schalterstellungen und die Meßwerte erfaßt und in einem "dynamischen Datensatz" abgelegt. Mittels des Konfigurators werden der statische und der dynamische Datensatz verarbeitet, so daß ein "roher Datensatz" erstellt wird. Für die Ermittlung grober Meß- oder Strukturfehler wurde ein Programm entwickelt, das den "rohen Datensatz" verarbeitet. Die Topologie eines am Netzmodell nachgebildeten Netzes wird ebenso wie die Meßdateien auf ihre Plausibilität überprüft, so daß ein "konsistenter Datensatz" erstellt werden kann. Zur Zeit wird das System zur Simulation der Netzbetriebsüberwachung durch den Einsatz der State Estimation und der Residuenanalyse unter Berücksichtigung von Randbedingungen weiterentwickelt, so daß der "zuverlässige Datensatz" im Trainingssimulator zur Verfügung steht.

Die zur Zeit vorhandene Programmversion zur Netzbetriebsführung (Steuerung und Regelung) am Netzmodell greift direkt auf den "dynamischen Datensatz" zu.

Mit dem Steuerprogramm werden sowohl die System- als auch die Haupt- und Unterprogramme aufgerufen. Das Systemprogramm ermöglicht die Verwaltung eines kernspeicherresidenten für alle zugehörigen Programme gemeinsamen Datensatz. Die Darstellung des aktuellen Netzzustands am Bildschirm wird mittels der Programme zur Meßwertaufnahme und zur Schalterstellungsabfrage ermöglicht. Die Eingabe von Steuergrößen, also die Modifikation des Netzzustandes, kann jederzeit asynchron zur Ausführung der entsprechenden Programme erfolgen. Die Steuerung und Regelung des Netzes wird vom Terminal aus ermöglicht. Die nachgebildeten Kraftwerke können bei Bedarf anhand des "State-Programms" hochgefahren werden. Ebenso kann vom Rechner aus die Synchronisation der entsprechenden Kraftwerke erfolgen. Durch die vorgegebenen Steuergrößen zur Kraftwerksregelung ist sowohl die P/f- als auch die Q/U-Regelung möglich. Die nachgebildeten Lasten können vom Rechner aus variiert werden, so daß eine gewünschte Lastsituation simuliert werden kann. Selbstverständlich kann auch das Ein- und Ausschalten von Kraftwerken, Lasten und Leitungen durch den Benutzer erfolgen. So kann die Simulation der Netzbetriebsführung zum Zwecke des Trainings für den on-line Einsatz ermöglicht werden.

K. El-Homsi

Bericht: EV 8521

3.3 Schutz- und Leittechnik

3.3.1 Messung und Rechnung der Netzurückwirkungen durch Oberwellen

Für die Erstellung eines Programmpaketes zur Berechnung der Oberwellenausbreitung in elektrischen Energieversorgungsnetzen waren verschiedene Voraussetzungen erforderlich, die im wesentlichen den Aufwand für die Parametrisierung der Betriebsmittel und die Rechenzeit in vernünftigen Grenzen halten (Jahresbericht 1984). Die dadurch notwendigen Näherungen bei der Modellierung beeinflussen die Genauigkeit der Rechenergebnisse, die meßtechnisch nachzuweisen war.

Insbesondere war zu prüfen, wieweit die Linearisierung der Betriebsmittel zulässig ist und welche Parameter für die linearisierten Modelle anzusetzen sind. In dem Programmpaket "OWIMP" werden die Netzelemente durch das π -Ersatzschaltbild, die Lasten und Einspeisungen durch eine Admittanz dargestellt. Damit ist es möglich das Übertragungssystem in ein passives Netzwerk zu überführen. Setzt man die Oberwellenbelastung nach der Fourieranalyse des Stromes im Frequenzbereich als bekannt voraus, kann mit dem Ansatz der Knotenpotentialanalyse für jede Frequenz die Ausbreitung der Oberwellenspannungen und Oberwellenströme im Netz berechnet werden. Die Nachbildung der Übertragungselemente des Netzes war nicht zu überprüfen. Das π -Ersatzschaltbild des Transformators ist aus den üblichen Typenschildern zu parametrisieren. Die Kabel und Leitungen werden zu konzentrierten Elementen zusammengefaßt, indem das π -Ersatzschaltbild durch die Lösung der Leitungsgleichungen bestimmt wird.

Dagegen können die Einspeisungen und insbesondere die Lasten unter Umständen problematisch werden:

- Die Zusammensetzung der Lasten ist unsicher.
- Die Admittanzdarstellung der einzelnen Last ist oft unbekannt.

- Bei rotierenden Maschinen hängt die einzusetzende Admittanz vom Belastungszustand ab.

In einem Laborversuch wurden daher an Asynchron- und Synchronmaschinen die Admittanzen für die charakteristischen Frequenzen gemessen. Für eine Asynchronmaschine mit einer Nennleistung von 1.1 kVA ergab sich dabei folgendes Bild.

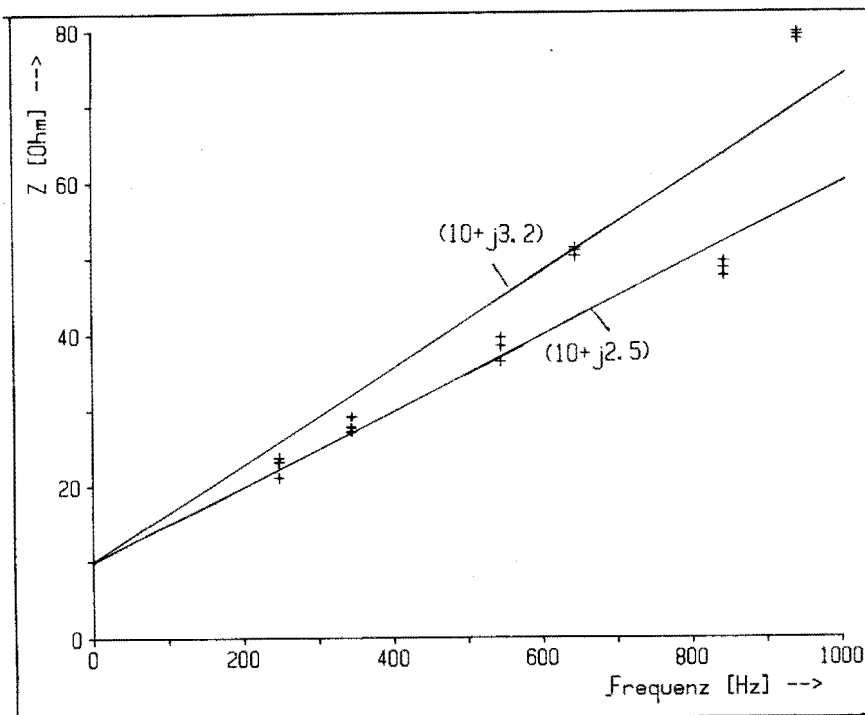


Bild 20: Impedanz der Asynchronmaschine

Für das Mit- und Gegensystem ergeben sich zwei Graden, die betragsmäßig recht gut mit dem Ergebnis aus der Faustformel $Z_k = U_N / 5 \cdot I_N$ übereinstimmen. Bei größeren Maschinen ist die Veränderung des Verhältnisses zwischen Real- und Imaginärteil der Impedanz zu beachten, das für eine typische Maschine gegebenenfalls meßtechnisch zu bestimmen ist.

Im Anschluß wurden Messungen in einem Bergbaunetz übertage und untertage durchgeführt. Da hier die stromrichter gespeisten Fördermaschinen die Verursacher der größten Oberwellenleistungen sind, waren insbesondere die Messungen in der Nähe der Klemmen dieser Lasten von Interesse. Mit zunehmendem Abstand von den Stromrichtergeräten tritt die phasenrichtige Überlagerung der Beiträge der einzelnen Stromrichter immer mehr in

den Vordergrund, was mit dem Meßaufwand nicht nachvollzogen werden konnte. Da in der Rechnung nur die Netzurückwirkung eines einzelnen Stromrichters bestimmt wird, muß zum Vergleich die Differenz zwischen der Messung des gesamten Systems und der Messung des Systems mit Ausnahme des einen Stromrichters herangezogen werden. Damit ergab sich folgende Tabelle:

Knoten 2				
f (Hz)	Mess 7 (V)	Mess 6 (V)	Mess 7- Mess 6 (V)	Rechnung (V)
250	78,1	54,1	24,0	18,4
350	42,9	29,7	13,2	11,8
550	56,6	28,4	28,2	37,4
650	51,6	20,6	31,0	39,8
850	25,9	10,3	15,6	16,9
950	23,6	11,8	11,8	18,1

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Messung und Rechnung

Die Tabelle zeigt, daß die Messung mit der Rechnung gut übereinstimmt. Der prozentual größte Fehler tritt bei 950 Hz auf. Eine Untersuchung der Netzimpedanz zeigte, daß diese Frequenz im Bereich einer Resonanzstelle liegt. An solchen Stellen ist der Einfluß der Parameterunsicherheiten auf die Rechenergebnisse am größten, so daß hier nur über eine meßtechnische Ermittlung des Dämpfungsverhaltens der Lasten im Frequenzbereich eine größere Genauigkeit zu erreichen ist.

In seiner aktuellen Version hat das Programmpaket damit die Erwartungen erfüllt. Kritische Frequenzen im Netz, die zu Störungen führen können, werden richtig erkannt. Die Oberwellenausbreitungen und der Einfluß von Kompensationseinrichtungen werden mit guter Genauigkeit bestimmt.

P. Stöber

Berichte: EV 8519, EV 8520

3.3.2 Arbeitsschutz in elektrischen Anlagen

Zu diesem Thema wurde für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz ein Forschungsprojekt mit dem Titel "Berührungsschutz für die Arbeit in Niederspannungsverteilungs- und Verbraucheranlagen" bearbeitet. Das Projekt wurde mit einem Abschlußbericht abgeschlossen und in der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz IBS veröffentlicht.

Im Verlaufe des Projektes wurden temporäre und stationäre Hilfsmittel auf ihre Einsatzmöglichkeit beim "Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile" untersucht. Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen hat sich herausgestellt, daß ein größtmöglicher Schutz nur durch den Einsatz von stationären Hilfsmitteln gewährleistet ist. Der sichere und wirtschaftliche Einsatz dieser Hilfsmittel erfordert eine Normierung der Anlagen und damit eine Standardisierung der stationären Hilfsmittel. Bei bestehenden Altanlagen werden jedoch schnell die Grenzen der Wirtschaftlichkeit beim Einsatz stationärer Hilfsmittel erreicht. Hier muß man andere Lösungen suchen, die nicht nur auf einen erhöhten Berührungsschutz durch Abdeckungen zielen, sondern die Anlage durch den Einsatz von neuen Schutzeinrichtungen (z.B. intelligente Fehlerstromschutzeinrichtungen) sicherer machen. Der Einsatz temporärer Hilfsmittel scheitert oft an der mangelnden Akzeptanz. Dies ist auf die oft umständliche Handhabung und die Vielfalt der benötigten Hilfsmittel zurückzuführen.

Für beide Bereiche, Einsatz von temporären wie auch stationären Hilfsmitteln kann gesagt werden, daß bei einer vorschriftsmäßigen und gewissenhaften Handhabung das Schutzziel erreicht werden kann. Dies wird jedoch durch eine Vielzahl der Produkte sehr erschwert. Eine Normierung würde hier den Umgang mit den Hilfsmitteln erleichtern.

W. Horenkamp, K.-D. Tesch

Bericht: EV 8536

3.3.3 Auswertung von Langzeitmessungen

Wie bereits im letzten Jahresbericht erwähnt, wurde am Lehrstuhl ein Meßwerterfassungssystem auf Mikrorechnerbasis entwickelt und realisiert, das es ermöglicht, 32 physikalische Meßgrößen (z.B. Phasenströme, Temperatur, Helligkeit, usw.) zeitgleich im Viertelstundenraster über zwei Monate zu erfassen.

Für jede Meßgröße werden pro Viertelstunde drei Werte

- der Viertelstunden-Mittelwert, errechnet als arithmetisches Mittel aus allen 5-s-Werten einer Viertelstunde
- der maximale 5-s-Wert innerhalb der Viertelstunde
- der minimale 5-s-Wert innerhalb der Viertelstunde

auf einer Diskette aufgezeichnet. Eine volle Meßdiskette enthält also weit über eine halbe Millionen Meßdaten, so daß der Einsatz eines Rechners für die effektive Auswertung der Daten als unumgänglich erscheint.

Die Entwicklung eines Konzeptes für ein System zur Auswertung der hier erfaßten Meßdaten, welches weitgehend unabhängig von einer Hardware-Konfiguration ist, sollte daher die Zwischenschaltung einer Stufe beinhalten, die der Datenanpassung zwischen Meßrechner und Auswertesystem dient (Bild 21).

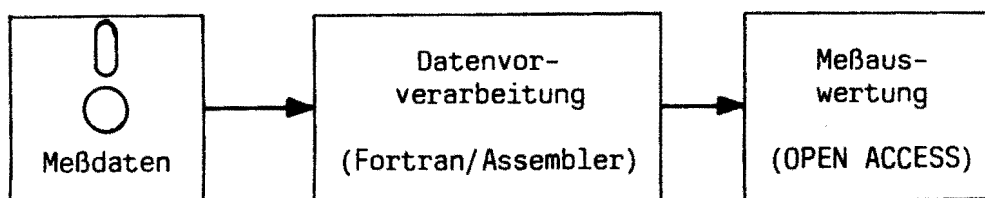


Bild 21: Datenfluß bei der Meßauswertung

UNIMAP, ein universelles Meß-Auswerte-Programm für einen Arbeitsplatzrechner, beinhaltet die wesentlichen Konzeptideen (Bild 22).

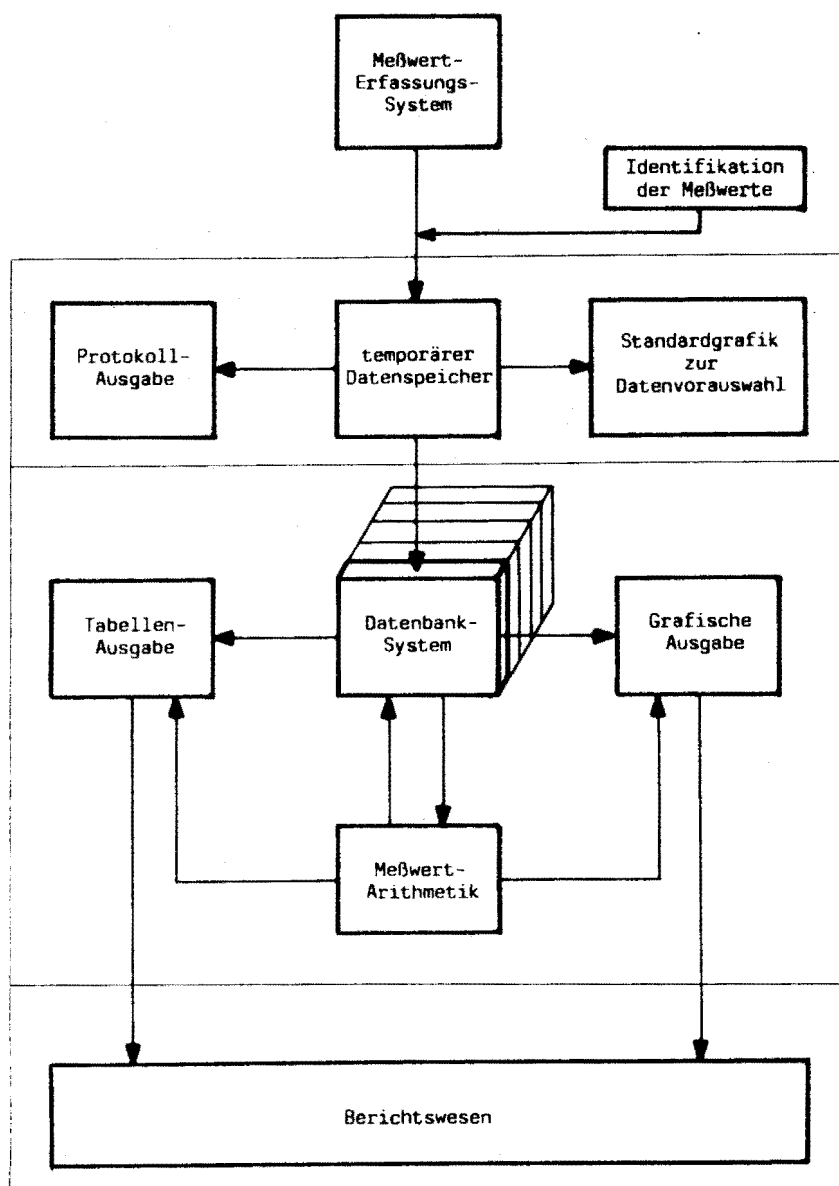


Bild 22: Struktur des Meß-Auswerte-Systems UNIMAP

Nach dem Lesen der Meßdiskette und der Eingabe der Messungsparameter zur Identifikation der Meßwerte werden Untersuchungen zur Plausibilität und Kontinuität der Daten durchgeführt und die Ergebnisse gemeinsam mit den Meßwerten in einem temporären Datenspeicher abgelegt, von wo die Übertragung der Daten in das Datenbanksystem erfolgt.

Protokollausgabe und Standardgraphik erlauben eine erste Bewertung der Meßdaten. Das Protokoll enthält Angaben über den Zeitraum der Messungen, eine eventuell lückenhafte Aufzeichnung der

Daten (Stromausfall o.ä.), nicht lesbare bzw. nicht plausible Daten, sowie Angaben über die Messungsparameter.

Die Standardgraphik, eine vereinfachte graphische Darstellung der Meßwerte (8-Bit-Größe: 0... 255 = 0 ... 100%) in Form einer Tagesganglinie, wird durch die Parameter Datum und Kanalnummer ausgewählt. Sie besitzt gegenüber der Tabellenausgabe den Vorteil der größeren Übersichtlichkeit bei derartigen Datenmengen (96 Werte pro Tag pro Kanal). Falls nur Daten mit bestimmten Charakteristika weiterverarbeitet werden sollen, so kann hier eine Vorauswahl getroffen werden.

Das Datenbanksystem besteht aus einer Ur-Datenbank und mehreren Tochter-Datenbanken. In die Ur-Datenbank werden die ursprünglichen Meßwerte eingetragen, die Tochter-Datenbanken enthalten modifizierte, d.h. durch Verknüpfung von Meßreihen im Bereich Meßwert-Arithmetik entstandene Meßgrößen. Durch den prinzipiell gleichen Aufbau können die Tochter-Datenbanken Ausgangspunkte für die gleichen Aktivitäten wie die Ur-Datenbanken sein. Sollte eine Notwendigkeit zur Datenreduktion gegeben sein, so ist es bei diesem Konzept möglich, die Daten der Ur-Datenbank zu löschen und die modifizierten (also eventuelle durch Mittelwertbildung o.ä. komprimierten) Daten als Basis für weitere Auswertungen zu verwenden.

Im Bereich der Meßwert-Arithmetik stehen einfache Grundfunktionen zur Verfügung: z.B. die Anwendung von Formelfunktionen mit den Meßwertfolgen und Konstanten als Operanden, als Operatoren die Grundrechenarten sowie logarithmische und trigonometrische Funktionen.

Aus den Grundfunktionen lassen sich Auswertemodelle großer Komplexität erstellen:

- Mittelwertbildung über mehrere Tagesganglinien
- Subtraktion von Tagesganglinien zur Elimination besonderer Effekte
- Berechnung statistischer Kenngrößen: Standardabweichung, Varianz

- Berechnung anwendungsspezifischer Kenngrößen: Belastungsfaktor, Belastungsdauer, Ungleichförmigkeitsgrad usw.

Zur Darstellung der Ergebnisse bietet sich die Möglichkeit der tabellarischen und der grafischen Ausgabe, beide Varianten können im Bereich Berichtswesen zusammen mit einem Textverarbeitungsteil zur Erstellung kompletter Dokumentationen benutzt werden.

Durch die Realisierung der Meßauswertung mit dem kommerziellen Software-Paket OPEN ACCESS war es möglich, Konzeptvarianten ohne großen Programmier- und Zeitaufwand vergleichend zu untersuchen und so das Konzept zu optimieren.

J. Lindemann

Berichte: EV 8532, EVP 8504

3.3.4 Universelles Meßwerterfassungssystem in Baukastenform

Durch den Einzug der digitalen Meßwerterfassung in fast alle Bereiche der Meßtechnik ergeben sich für die verschiedenen Meßaufgaben auch unterschiedliche Aufzeichnungsarten, Meßverfahren, Prozeßankoppelungen und Auswertestrategien. Neben der Forderung nach Kompaktheit der Geräte, die auch Messungen vor Ort ermöglichen, steht der Aspekt der Flexibilität für das Erfassungs- und Auswertesystem im Vordergrund. Die auf dem Markt angebotenen digitalen Speicheroszilloskope und Transientenrecorder sind für viele Meßaufgaben zu kostenintensiv, in der Bedienung zu komplex, der Anschluß an das Meßobjekt erfordert zusätzliche Hardware (z.B. Trennverstärker, Meßumformer) oder das Meßverfahren ist ungeeignet. Hier wird ein Meßsystem beschrieben, das auf der Basis eines kostengünstigen Einplatinencomputers arbeitet. Die Hardwarekosten sind minimal und die Software kann den erforderlichen Bedürfnissen angepaßt werden.

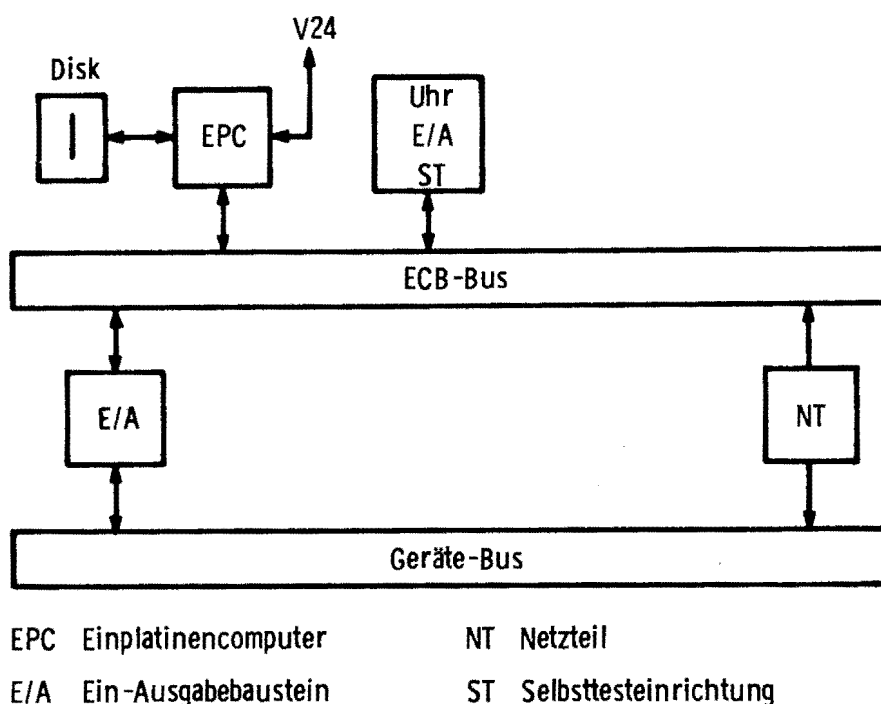


Bild 23: Grundversion des Meßbaukastens

Der elektrische und mechanische Aufbau des Meßwerterfassungssystems besteht aus zwei Bussystemen, dem Rechnerbus (ECB-Bus) und dem Gerätebus. In der Grundversion besteht das Gerät aus einem Einplatinencomputer, einer Ein-/Ausgabekarte, einer Echtzeituhr und einer Selbsttesteinrichtung zur Überprüfung der Rechnerfunktionen. Diese Grundbausteine sind für jede Art von Messungen erforderlich (Bild 23). Je nach Anwendungsfall sind die entsprechenden Peripheriekarten wie A/D-Wandler, Meßverstärker, Spannungs-Frequenzumsetzer etc. zusätzlich in das Grundsystem einzusetzen.

Als Rechnertyp für das Meßsystem wurde ein Einplatinencomputer auf der Basis des Z80-Prozessors mit 64 kByte RAM sowie einem Floppycontroller und serieller Schnittstelle gewählt. Als Speichermedium bot die 5 1/4 Zoll Diskette die beste Alternative. Der Einsatz einer Floppy-Disk ist bei sachgemäßer Behandlung unproblematisch. Alternativ, wenn keine großen Datenmengen aufgezeichnet werden müssen, ist auch die Speicherung auf Magnetbandgeräten oder in CMOS-RAM's möglich.

Eine wichtige Einrichtung, insbesondere bei Messungen über längere Zeiträume, ohne eine ständige Überwachung der Geräte durch das Betriebspersonal, ist die Selbsttesteinrichtung. Sie überwacht den Daten- und Adressbus auf unzulässige Betriebszustände. Tritt ein Systemfehler auf, so wird das Beschreiben der Diskette verhindert und eine Fehlermeldung ausgegeben.

Die Erweiterung des Baukastens als mobiles Meßsystem für langsame Vorgänge wurde im Jahresbericht 1984 für eine Kabellangzeitüberwachung beschrieben. Bild 24 zeigt die erforderliche Hardwareerweiterung.

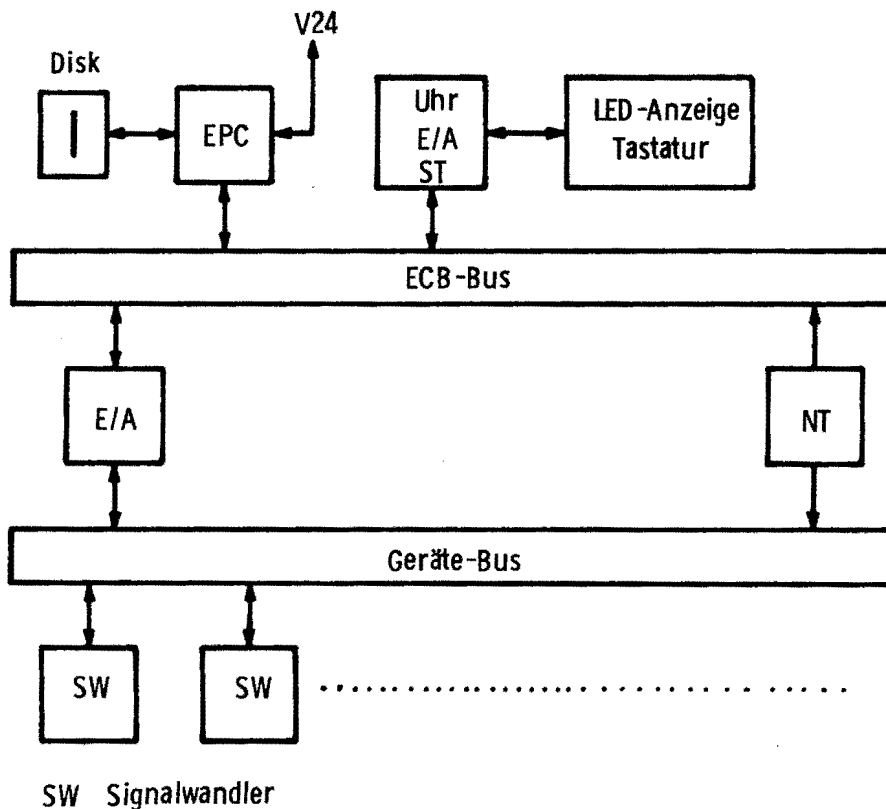


Bild 24: Ausbau für die Langzeitmessung

Als weitere Variante ist der Ausbau des Meßbaukastens als Transientenrecorder möglich. Hierzu muß das Grundgerät (Bild 23) mit den - abhängig von der Genauigkeit und Abtastfrequenz - erforderlichen A/D-Wandlern und einer Graphikeinheit, die eine Auswertung vor Ort ermöglicht, erweitert werden. Alle wesentlichen Funktionen eines Transientenrecorders, wie Wahl der

Abtastfrequenz, Vorgabe von Triggerbedingungen, grafische Darstellung der Meßergebnisse etc., sind vorhanden.

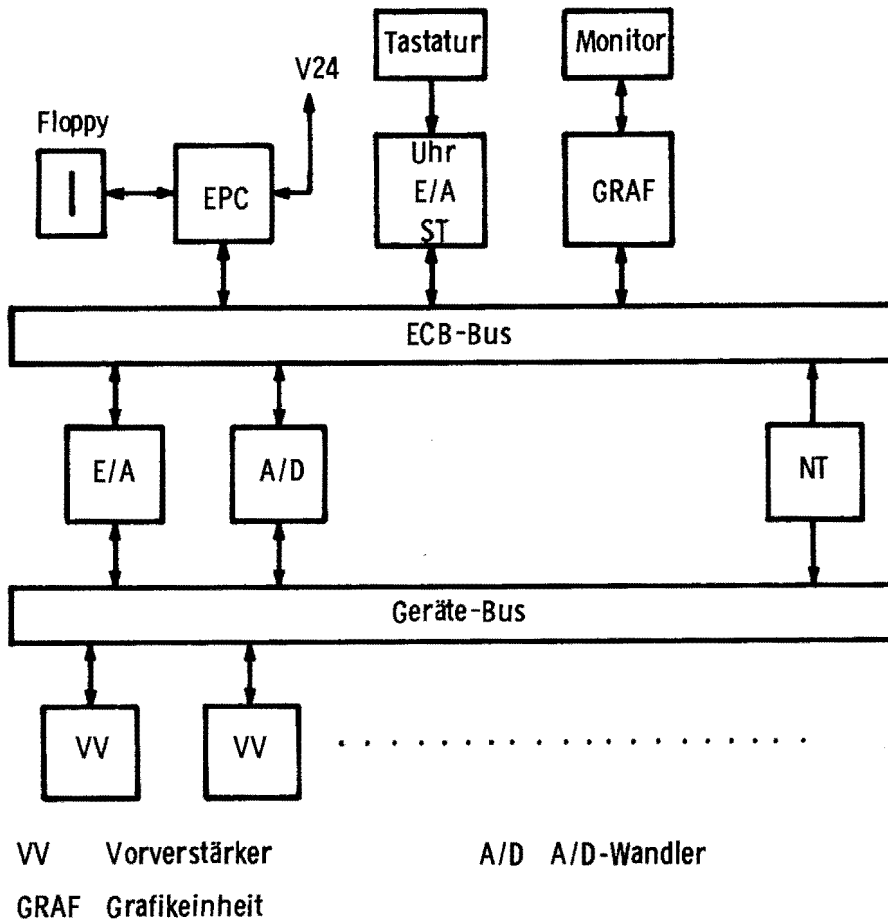


Bild 25: Ausbau als Transientenrecorder

Durch die Verwendung getrennter Bussysteme ist ein kostengünstiger Aufbau möglich. Alle handelsüblichen A/D-Wandlerkarten für den Standard-ECB-Bus können eingesetzt werden. Die Aufteilung der Eingangskanäle zu den Vorverstärkern erfolgt über den Gerätebus. Zusätzlich werden über den Gerätebus die für die Einstellung bzw. die Abfrage der Vorverstärkereinstellungen erforderlichen Steuersignale geführt. Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit der Verstärkereinstellungen und der Spannungsfestigkeit wurde auf den Einsatz von programmierbaren Vorverstärkern verzichtet.

Zur Benutzerführung und Darstellung der Meßergebnisse ist eine eigenständig arbeitende Graphikeinheit (GRAF) vorhanden.

W. Horenkamp

Bericht: EV 8506

3.3.5 Hardwareentwicklung einer CMOS-CPU-Karte

Die CMOS-CPU-Karte ist eine Z80-CPU-Karte im Europaformat. Auf ihr sind alle Komponenten vorhanden, die für den Betrieb als Einplatinencomputer notwendig sind, inklusive einer Adresserweiterungslogik bis 1 MByte.

Bei der Entwicklung dieser Karte wurden insbesondere sicherheitsrelevante Anforderungen berücksichtigt, dazu gehört eine Spannungsüberwachungsschaltung und ein digital zeitfensterprogrammierbarer Watchdog.

Für die Erfüllung von sicherheitsrelevanten Aufgaben ist bei dem Schaltungsentwurf zur Erhöhung der Zuverlässigkeit als zusätzliche Hardware-Komponente eine Watchdog-Schaltung vorgesehen worden. Diese Überwachungsschaltung für die CMOS-Karte ist als "wortorientierter Watchdog" konzipiert, der sowohl den zyklischen Programmablauf als auch die wichtigsten CPU-Grundfunktionen überprüft. Diese Schaltungsrealisierung erlaubt zusätzlich zur Überprüfung der zyklischen Programmabarbeitung die hardwaremäßige Vorgabe der minimalen bzw. der maximalen Programmdurchlaufzeit. Die Festlegung eines Zeitfensters für einen Programmdurchlauf gewährleistet, verglichen mit den üblichen (nachtriggerbaren) Watchdog-Schaltungen eine erheblich höhere Fehleraufdeckungsrate.

Vor dem Beginn eines neuen Programmdurchlaufs wird die Watchdog-Schaltung durch eine quasi Zufallsbitfolge getriggert, falls die berechnete Bitfolge mit der internen der Watchdog-Schaltung identisch ist. Die Berechnung der Bitfolge wird rechnerseitig durch einen Rekursionsalgorithmus durchgeführt. Durch

geeignete Programmierung dieses Algorithmus lassen sich gleichzeitig einige Grundbefehlssequenzen der CPU in weniger als einer Millisekunde testen.

Bild 26 und Bild 27 zeigen die Impulsdiagramme für richtige, für zu schnelle und für zu langsame Programmdurchlaufzeiten.

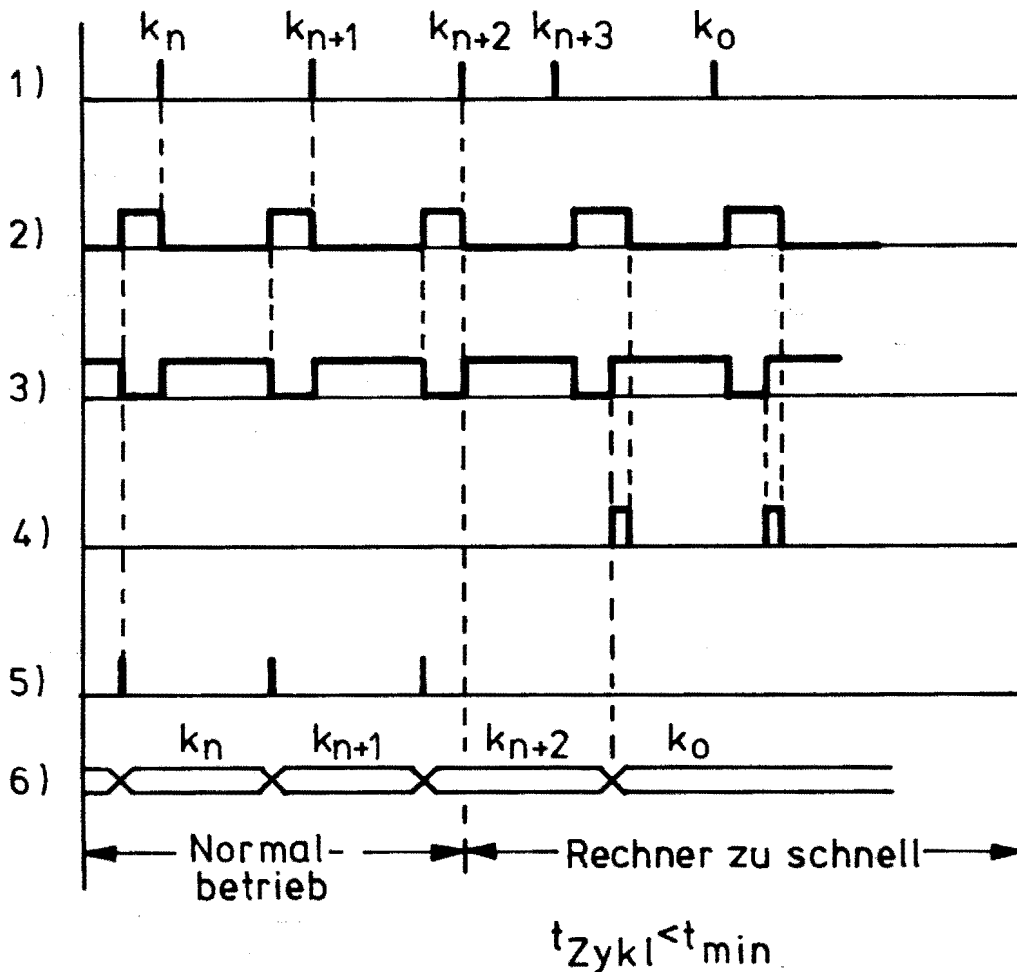


Bild 26: Impulsdiagramm der Watchdog-Schaltung

Aus den Impulsdiagrammen läßt sich entnehmen, daß nur ein Programm auf dieser Karte lauffähig ist, welches eine gültige Programmdurchlaufzeit aufweist. Jedes andere Programm wird nach der ersten maximalen Durchlaufzeit abgebrochen und neu gestartet. Dieses Konzept ermöglicht daher auch eine Selektion des Fehlers zwischen einem internen Hard- und Softwarefehler und einer von außen stochastisch eingepprägten Beeinflussung.

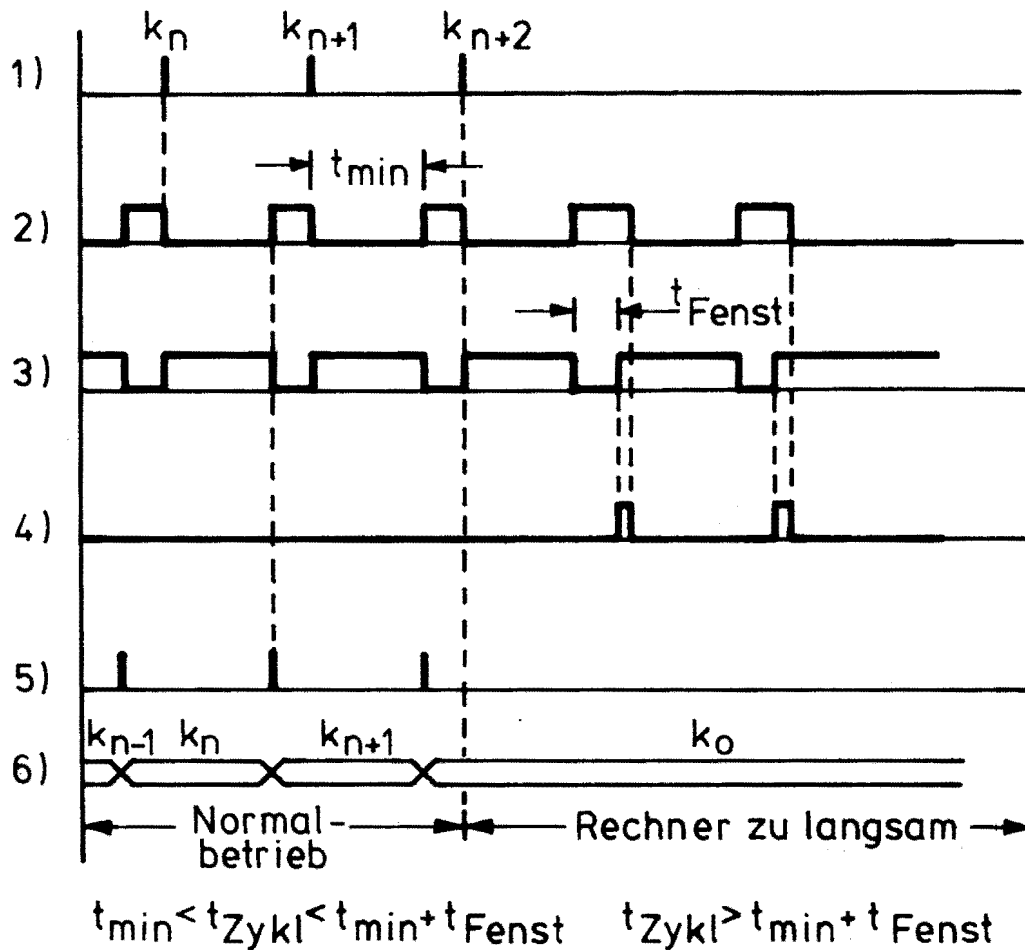


Bild 27: Impulsdiagramm der Watchdog-Schaltung

Zur Versorgungsspannungsüberwachung sind zwei unabhängige Spannungsschwellwerte voreingestellt. Beim Absinken der Versorgungsspannung $U < 4,8V$ wird ein Interrupt erzeugt, sodaß z.B. wichtige Daten noch in ein EEPROM gerettet werden können. Sinkt die Versorgungsspannung weiter ab, so wird bei $U < 4,7V$ ein Hardware-Reset durchgeführt und das Programm neu gestartet.

Bei der Auswahl der Software-Testverfahren sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Die gewählten Testverfahren sollen die Funktionen des Rechners umfassend und mit höchster Fehlererkennungswahrscheinlichkeit überwachen.
- Die Zeit, die innerhalb eines Programmdurchlaufes noch für den Selbsttest zur Verfügung steht, richtet sich nach den Echtzeitanforderungen des zu steuernden Prozesses.

- Softwareimplementierte Tests sind im allgemeinen rechenzeitintensiv und müssen auf vollständigen und richtigen Ablauf überprüft werden.
- Es muß ein Kompromiß zwischen der Rechenzeit bei softwareimplementierten und dem erhöhten Logikaufwand bei einem hardwarerealisierten Testverfahren gefunden werden.

W. Ebbinghaus, W. Horenkamp

Bericht: EV 8523

3.3.6 Softwareentwicklung für Schutztechnikanwendungen

Die selektive Erdschlußfassung in Drehstromnetzen ist insbesondere im deutschen Steinkohlenbergbau von großer Bedeutung. In der Vorschrift § 29 Abs. 5 der BVOE wird für die Erdschlußabschaltung eine selbständige Schutzeinrichtung vorgeschrieben. Selektivität dieser Schutzeinrichtung wird in dieser Vorschrift nicht verlangt, aber es ist sowohl von ökonomischer als auch sicherheitstechnischer Bedeutung, daß nur das beschädigte Kabel bzw. Netzteile abgeschaltet werden, um sowohl die Kohleförderung als auch die der Betriebssicherheit dienenden Einrichtungen (z.B. Bewetterung, Wasserhaltung und Seilfahranlagen) weiterhin betreiben zu können.

Vom Stand der Mikroprozessortechnik her gesehen bietet diese Technologie zahlreiche Möglichkeiten zur Verbesserung der Zuverlässigkeit, der Selektivität und der Flexibilität eines Schutzgerätes. Ein konstruktionstechnisches Problem stellt dabei die Meßwerterfassung dieser Erdschlußfassungsrelais dar. Die erreichbare Qualität eines Schutzgerätes hängt in nicht geringem Maße davon ab, inwieweit sich die Störgrößen in den Meßgrößen unterdrücken lassen. Insbesondere für den Erdschlußschutz sind hier die folgenden Störgrößen von Bedeutung:

- transiente Ausgleichsvorgänge im Fehlerfall
- der Oberwellenanteil im Erdschlußstrom

Im Hinblick auf die selektive Abschaltung eines Fehlers in einem kompensiert betriebenen Kabelnetz ist die Auswertung des quasi stationären Wirkleistungsflusses im Nullsystem anwendbar. Diese Auswertung der Meßgrößen läßt sich vorteilhaft mit einer on-line Fourieranalyse der 50 Hz-Komponente auf einem Mikrorechner erreichen, die sowohl die vollständige Unterdrückung der harmonischen Oberwellenanteile als auch die Dämpfung der exponentiell abklingenden Ausgleichsvorgänge unterstützt.

Das Bild 28 zeigt den Dämpfungsverlauf der Fourieranalyse. Aus dem Kurvenverlauf läßt sich entnehmen, daß dieses Verfahren die harmonischen Oberwellen vollständig und alle anderen Frequenzanteile mit mehr als 40 dB pro Dekade dämpft.

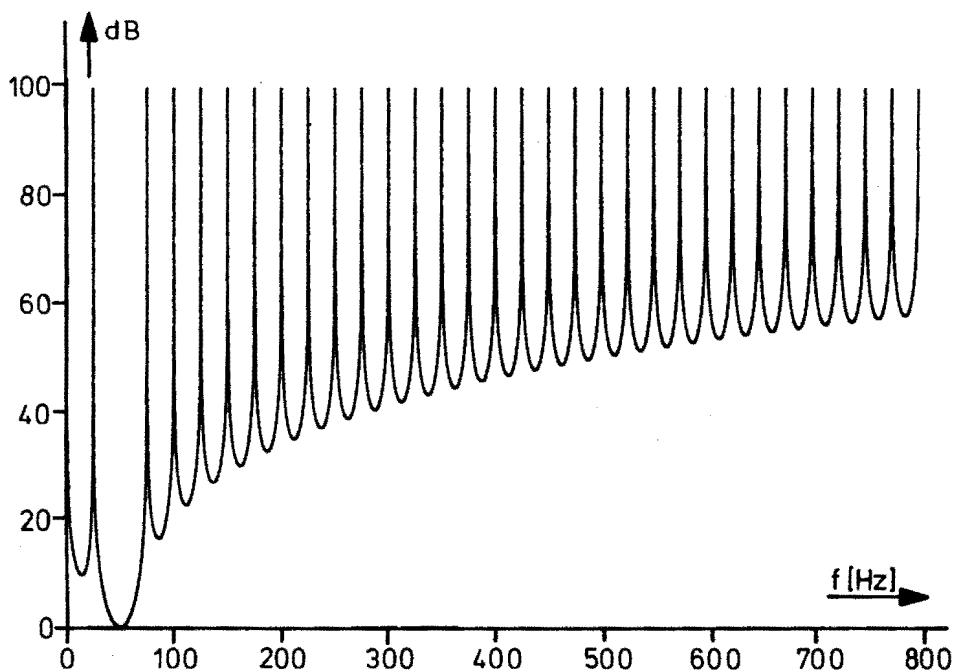
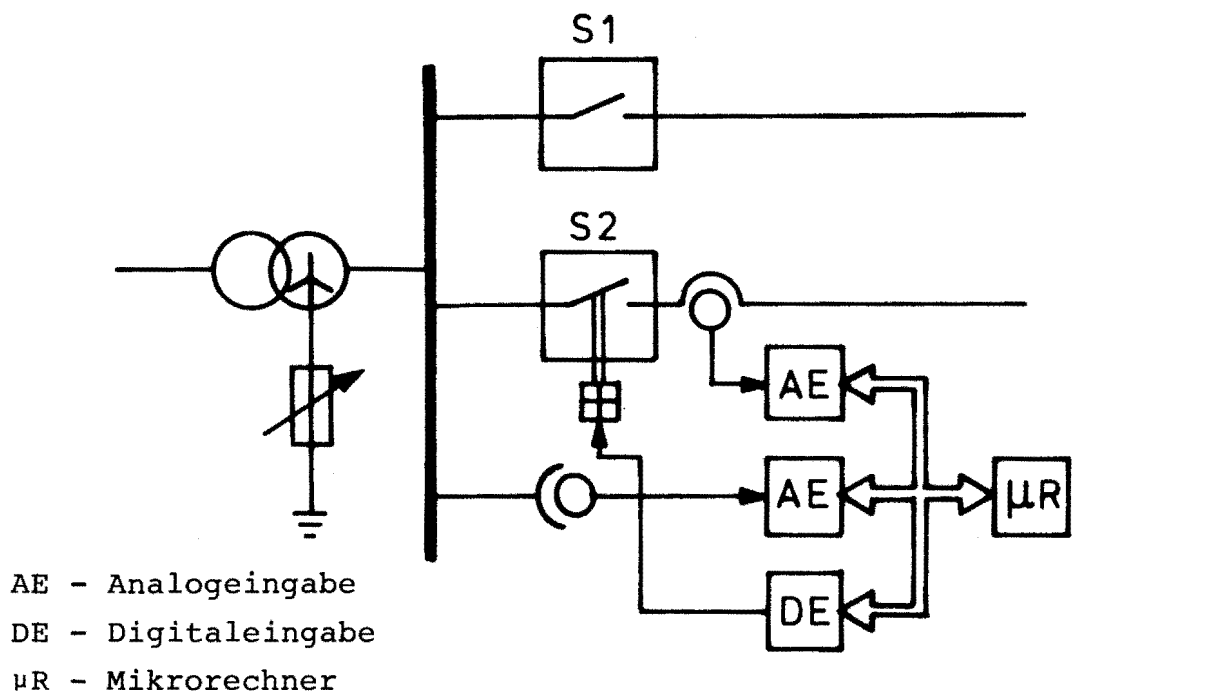


Bild 28: Dämpfungsverlauf der Fourieranalyse

Die praktische Realisierung des Mikrorechnersystems basiert auf einer Abtastung des Nullstroms und der Verlagerungsspannung mit einer Abtastfrequenz von 2.5 kHz. Für die Erprobung des Systems am Erdschlußnetzmodell wurde die in Bild 29 dargestellte Schaltung realisiert. Auf die Filterung der Meßgrößen konnte für die Erprobung verzichtet werden, weil die zu untersuchenden Zeitfunktionen keine Frequenzanteile enthielten, die größer waren als die halbe Abtastfrequenz.



AE - Analogeingabe
DE - Digitaleingabe
µR - Mikrorechner

Bild 29: Blockschaltbild des Schaltungsaufbaus zur Überwachung eines Stichkabels

Auf der Basis der praktischen Erprobung des Schaltungsaufbaus am Erdschlußnetzmodell ist festgestellt worden, daß die Messung der Wirk- und Blindleistung der Grundwelle mit nur geringen Beeinflussungen durch Störungen behaftet ist. Dabei kann durch eine hohe Abtastrate ein schnelles Einschwingen des Meßsystems erzielt werden, weil die maximal einstellbare Grenzfrequenz der Vorfilter die halbe Abtastfrequenz nicht überschreiten darf. Die Güte der Filterwirkung der Fourieranalyse kann über die Auswertdauer beeinflusst werden. Die Rechenzeit für den Schutz eines Kabels mit einer Z80-CPU, einer Taktfrequenz von 4 MHz und 50 Abtastwerten pro Periode beträgt ca. 40 msec bei gleichzeitiger kontinuierlicher Aufzeichnung der Meßdaten. Die Erweiterung dieses Algorithmus auf den Schutz eines Parallelkabels ist erfolgreich unter Anwendung des Querdifferenzschutz-Prinzips getestet worden.

W. Ebbinghaus

Bericht: EV 8516

Diese Arbeit wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) gefördert.

3.3.7 Erdschlußlöschabstimmung mit einem Mikrorechnersystem

In Mittelspannungsnetzen wird zur Verminderung der Auswirkungen von Erdschlußfehlern der Sternpunkt über eine Kompensationsspule geerdet (§ 29, Abs.5, BVOE). Eine optimal strommäßige Entlastung der Erdschlußstelle kann erreicht werden, wenn die gegenphasigen Ströme gleich sind. Diese Bedingung kann aber nur erfüllt werden, wenn nach jeder Schaltmaßnahme im Netz die Erdschlußspule wieder auf den neuen Netzzustand angepaßt wird. Für den betrieblichen Einsatz werden daher meist automatische Resonanzregler eingesetzt, dessen Abstimmalgorithmen auf der Erkennung des Verlagerungsspannungsmaximums des Parallelschwingkreises, bestehend aus der Kompensationsspule und den Leitererdkapazitäten, basieren.

Die Entwicklung des Nullsystemparameter-Regler (NPR) -Prinzips soll mit einem neuen Einsatz die Nachteile hinsichtlich der Mehrdeutigkeit des Amplitudenganges des Parallelschwingkreises, des Kompensationsgrades des Erdschlußstromes bei vorgegebener Verstimmung und der Erkennung von Schaltmaßnahmen verbessern.

Das Bild 30 zeigt das Nullsystem eines symmetrischen Drehstromnetzes, das durch eine geringe Unsymmetrie in den Phasenspannungen, z.B. Strombelastung und den Leitererdkapazitäten (Toleranzen in der Kabelherstellung) angeregt wird, so daß bereits im fehlerfreien Fall über die Spule ein Strom fließt. Die vereinfachte Darstellung des Nullsystems ist zulässig, weil nach § 25 Abs.5 BVOE ausschließlich Meßwandler (mit einer größeren Impedanz als 15 kOhm) eine leitende Verbindung zur Erde herstellen dürfen.

Im Gegensatz zum Reglerprinzip des Amplitudenganges der Verlagerungsspannung soll in diesem Verfahren die Leitererdkapazität direkt bestimmt werden.

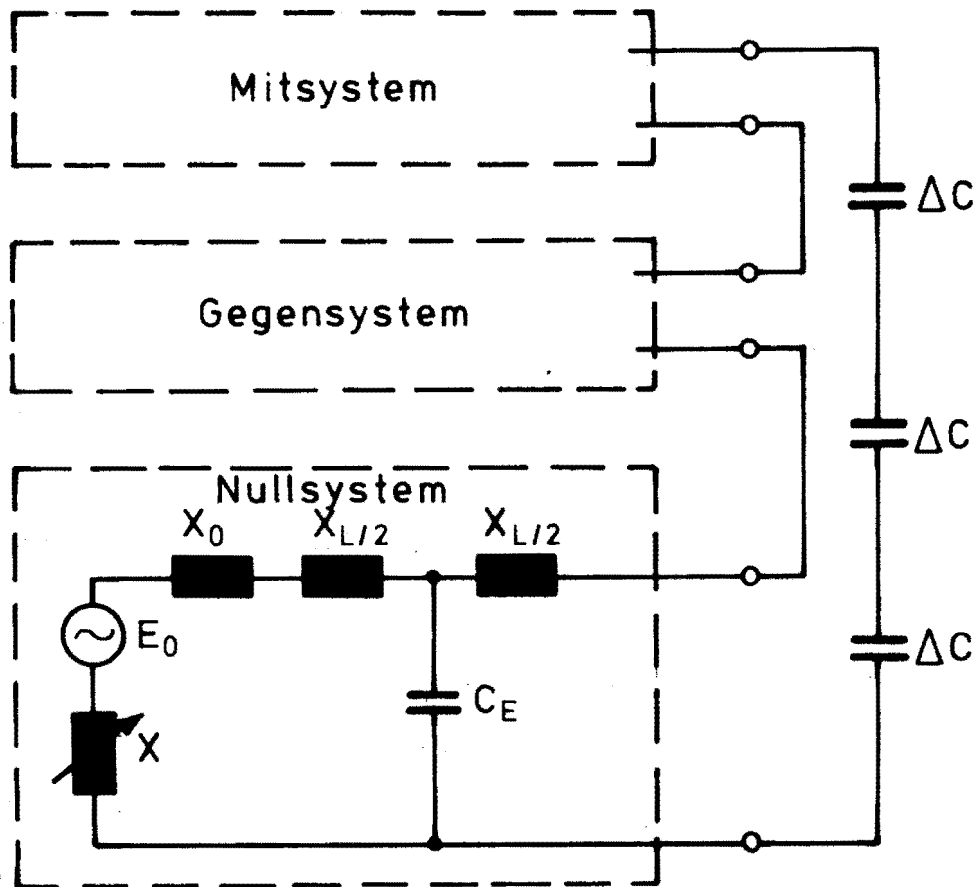


Bild 30: Nullsystem eines Drehstromnetzes

Das NPR-Prinzip erlaubt darüber hinaus eine Prognose des satten Erdschlußstroms, bezogen auf den aktuellen Netzzustand und dem voreingestellten Sollkompensationsgrad. Diese Prognose ist insbesondere für die Einhaltung der voneinander abhängigen Anforderungen, der Begrenzung des maximalen Erdschlußstromes auf höchstens 10 A (§ 29, Abs. 5 BVOE) und der Reduzierung der möglichen Eigenschwingungen des Parallelschwingkreises im Nullsystem bei zu geringer Verstimmung z. B. durch Schaltmaßnahmen von Bedeutung. Außerdem eröffnet der NPR-Algorithmus die Möglichkeit, die Stromabhängigkeit der Spuleninduktivität insbesondere bei Anzapfspulen mit zu berücksichtigen.

Die Erprobung des Reglerprinzips am Erdschluß-Netzmodell ist auf einem Z80-Rechnersystem durchgeführt worden. Zum Vergleich der beiden Reglerprinzipien sind beide Algorithmen auf dem gleichen Rechnersystem installiert worden, um den Vergleich der beiden Prinzipien unabhängig von dem Einfluß des Meßwerter-

fassungssystem zu ermöglichen. Der NPR zeigte in der Testphase deutliche Vorteile in Bezug auf die Erkennung von Schaltmaßnahmen, weil die Spannungsänderung bei Variation der Spuleninduktivität in Resonanznähe sehr groß ist. Die Ursache für dieses Verhalten ist, daß im Gegensatz zum NPR der Amplitudengangregler eine Schaltmaßnahme im Netz nur durch eine sprunghafte Veränderung der Verlagerungsspannung erkennen kann. Eine weitere Schwierigkeit stellte sich in einigen Versuchen ein, weil ein Zu- oder Abschalten eines Kabels keine Spannungssprünge zur Folge hatte. Bei einer genauen Untersuchung zeigte sich, daß bei einer Veränderung der Leitererdkapazitäten sich zusätzlich die Güte des Parallelschwingkreises änderte, sodaß der Amplitudengangregler die Schaltmaßnahme im Netz nicht erkennen konnte. Den genannten Vorteilen des NPR-Algorithmus stehen aber erhöhte Anforderungen an das Meßwerterfassungssystem gegenüber.

W. Ebbinghaus

Bericht: EV 8534

Diese Arbeit wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert.

4. VORTRÄGE

4.1 Beiträge für das Kolloquium

- 24.05.1985 Dipl.-Ing. W. Kiwit, VEW Dortmund
"Technische Anforderungen und Zuverlässigkeits-
aspekte für Kraftwerke und Netze beim Anschluß
großer Blöcke"
- 12.06.1985 Prof. Dr.-Ing. G. Hosemann,
Universität Erlangen
"Raumzeigermethoden - Eine praktische Theorie"
- 28.06.1985 Prof. Dr. W. Winkler, TH Gliwice/Polen
"Aktuelle Schutzprobleme in gelöschten Kabel-
netzen"
- 18.11.1985 PD Dr. H. Fankhauser, ASEA Schweden
"Lastprognose-Modelle"

4.2 Vorträge von Lehrstuhlmitgliedern

- 07.05.1985 E. Handschin
"State Estimation for the Design of an Optimal
on-line Solution", PICA Conference in
San Francisco, USA
- 20.06.1985 E. Handschin
"Dynamische Lastmodelle", FGE-Vortragsveran-
staltung an der RWTH in Aachen
- 27.08.1985 E. Handschin
"Selektive Erdschlußfassung in Parallelkabeln
des Untertagenetzes", MEE-Konferenz über Unter-
tagesicherheit in Pecs, Ungarn
- 17.09.1985 E. Handschin
"Power System Training Simulator - Different
Concepts and Possibilities", CIGRE-Symposium
SC 39 in Toronto, Kanada

5. NATIONALE UND INTERNATIONALE BEZIEHUNGEN

- 21.01.-
02.02.1985 Besuch einer Delegation der TU Budapest in
Dortmund
- 22.01.1985 E. Handschin
Sitzung von Vorstand und Beirat des VDE-Rhein-
Ruhr in Dortmund
- 23.01.1985 E. Handschin und Mitarbeiter
Vorbereitung und technische Klärung für die
Durchführung von Oberwellenmessungen im Netz
der Schachtanlage Haus Aden
- 28.01.1985 E. Handschin
Präsentation eines neuen DFG-Projektes inner-
halb des DFG-Schwerpunktprogramms in Bonn -
Bad Godesberg
- 04.02.1985 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund bei
Calor-Emag in Dortmund
- 05.02.1985 W. Ebbinghaus, E. Handschin, W. Horenkamp,
P. Stöber
Planung einer Oberwellenmessung im Bergwerk
Haus Aden
- 13.02.1985 W. Ebbinghaus, W. Horenkamp, P. Stöber
Durchführung von Oberwellenmessungen im Berg-
werk Haus Aden
- 28.02.1985 E. Handschin
VDE-Stammtisch in Dortmund mit Bericht über
China-Reise 1984

- 01.03.1985 W. Ebbinghaus, E. Handschin, W. Horenkamp,
P. Stöber
Durchführung von Oberwellenmessungen im Berg-
werk Haus Aden
- 13.03.1985 E. Handschin
Sitzung des Deutschen Arbeitskreises zum CIGRE-
Studienkommittee SC-39 in Wendlingen
- 15.03.1985 E. Handschin
Sitzung des Arbeitskreises "Technisches Rechnen"
in Lauffenburg
- 20.03.1985 W. Ebbinghaus, E. Handschin, W. Horenkamp
Besprechung über fehlertolerante Rechnersy-
steme bei TÜV Essen
- 22.03.1985 E. Handschin
VDE-Seminar "Einsatz von Arbeitsplatzcomputern
in der Technik" in Düsseldorf
- 26.03.1985 W. Horenkamp, D. König, H. Labohm, J. Lindemann
Besprechung über die Konzipierung eines Meß-
Auswerte-Systems bei VEW in Dortmund
- 28.03.1985 W. Ebbinghaus
Teilnahme an der VDE-Exkursion zur Bergbau-
versuchsstrecke in Dortmund-Derne
- 01.04.1985 W. Ebbinghaus, W. Horenkamp
Besprechung über Softwarezuverlässigkeit bei
fehlertoleranten Rechnersystemen bei TÜV Essen
- 12.04.1985 E. Handschin, G. Hosemann, D. König,
H. Vasconcellos
Besprechung über den Einsatz von Parallelpro-
zessorrechnern in der Energieversorgung

- 19.04.1985 E. Handschin, H. Hunefeld, H. Meiselbach,
P. Stöber
Besprechung mit WBK-Bochum über Berechnungen
von Netzzrückwirkungen
- 22.04.1985 E. Handschin
Besuch der Hannover-Messe
- 23.04.1985 E. Handschin, W. Horenkamp, H. Klintner,
D. König, M. Wuske
Besprechung über Verbesserungen des Meßwert-
erfassungssystems IMC 2000
- 24.04.1985 W. Ebbinghaus, W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Besuch der Hannover-Messe
- 29.04.1985 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund
bei Hoesch in Dortmund
- 01.05 - E. Handschin
08.05.1985 Vortrag im Forschungszentrum der General
Electric Inc. Connecticut und Teilnahme an der
PICA 1985 in San Francisco
- 09.05.1985 W. Horenkamp, K.-D. Tesch
Teilnahme an der VDE-Fachtagung 0100 in Essen
- 29.05. - E. Handschin, W. Horenkamp
31.05.1985 AK-TR-Seminar "Arbeitsplatzcomputer in der
elektrischen Energieversorgung" in Deidesheim
- 04.06.1985 E. Handschin
Bericht vor dem Kuratorium der Universität
Dortmund über die Kooperation mit chinesischen
Hochschulen

- 02.07.1985 E. Handschin
Treffen der Zweigstellenleiter beim VDE-
Vorsitzenden des Bezirksvereins Rhein-Ruhr,
Direktor Jambor in Münster
- 08.08.1985 E. Handschin
Besichtigung des Stahlwerkes der Thyssen AG
in Duisburg
- 21.08.1985 H. Enning, E. Handschin, W. Hoffmann
Vorbesprechung für eine Studienarbeit auf dem
Gebiet der Rundsteuertechnik
- 25.08. - E. Handschin
31.08.1985 Besprechung an der Technischen Hochschule in
Budapest über das gemeinsame DFG-Projekt
"Spannungs-Regelung"
- 01.09. - P. Stöber
07.09.1985 Besuch beim Ungarischen Elektrotechnischen
Verein in Budapest
- 02.09. - E. Handschin
03.09.1985 Teilnahme am BBC-Symposium "Computer Systems
for Process Control" in Dättwil, Schweiz
- 05.09.1985 E. Handschin, H. Hormann, D. König, H. Labohm,
J. Lindemann, Th. Reißing
Besprechung über das universelle Meß-Auswerte-
Programm UNIMAP in Dortmund
- 05.09.1985 E. Handschin und Mitarbeiter
Besuch der Bundesanstalt für Arbeitsschutz in
Dortmund
- 09.09.1985 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund bei
Siemens in Dortmund

- 15.09. - E. Handschin
21.09.1985 Teilnahme an dem CIGRE-Symposium des Studienkomitees SC-39 in Toronto
- 23.09.1985 H. Enning, W. Hoffmann
Besprechung zum Stand der Arbeiten auf dem Gebiet der Rundsteuertechnik
- 24.09.1985 E. Handschin
Sitzung GMR-ETG-Fachausschusses "Netzregelung" in Frankfurt
- 25.09.1985 E. Handschin, W. Horenkamp, H. Hormann, D. König, H. Labohm, J. Lindemann
Besprechung über integrierte Meßwerterfassung und Auswertung in elektrischen Verteilungsnetzen bei der VEW in Dortmund
- 01.10.1985 H. Flassig, E. Handschin, H. Klintner, J. Lindemann
Besprechung über das universelle Meß-Auswerte-Programm UNIMAP in Dortmund
- 01.10. - D. König
03.10.1985 Besuch der 3. GI/NTG-Fachtagung über Messung, Modellierung und Bewertung von Rechensystemen in Dortmund
- 04.10.1985 H. Göttmann, A. Kubbe
Gespräch über den Stand der Untersuchungen zur optimalen Betriebsweise von HNO_3 -Anlagen bei UHDE in Dortmund
- 04.10.1985 E. Handschin
Sitzung des Deutschen Arbeitskreises zum CIGRE-Studienkomitee SC-39 in Bad Reichenhall

- 08.10.1985 W. Ebbinghaus, W. Horenkamp
Teilnahme am Seminar "Mikroprozessor-
Entwicklung mit Hochsprachen" bei Tektronix
in Köln
- 15.10.1985 E. Handschin
Vorstands- und Beiratssitzung des VDE-Bezirks-
vereins Rhein-Ruhr in Münster
- 23.10.1985 J. Lindemann, K.-D. Tesch
Besuch der Fachschau "Kraftwerke" und Teil-
nahme am VBG-Kongreß in Essen
- 25.10.1985 E. Handschin
Teilnahme an der AK-TR-Sitzung in Mannheim
- 29.10.1985 J. Lindemann
Teilnahme am Seminar "Einsatz von Arbeitsplatz-
computern in der Technik", NLK in Krefeld
- 29.10.1985 W. Hoffmann
Besichtigung der VEW-Hauptschaltleitung
in Dortmund
- 06.11.1985 E. Handschin und Mitarbeiter
Organisation und Teilnahme am VDE-Seminar
"Lichtwellenleiter in der Anlagen- und Nach-
richtentechnik" in Dortmund
- 12.11.1985 K. El-Homsi
Besuch des Vortrags "Neue Komponenten in der
Netzleittechnik" von Herrn Voßwinkel bei
Siemens in Essen
- 13.11.1985 H. Christian, E. Handschin, W. Hoffmann,
P. Stöber
Besprechung anlässlich der Kontaktveranstaltung
des VDE Dortmund

- 18.11.1985 H. Fankhauser, E. Handschin und Mitarbeiter
Besprechung anlässlich des Vortrags von
Herrn Fankhauser von der Firma ASEA in Dortmund
- 26.11.1985 W. Hoffmann
Teilnahme an der Exkursion zur Vorlesung
"Energieversorgung"
- 27.11.1985 E. Handschin und Mitarbeiter
Teilnahme an einer Vortragsveranstaltung über
Patentrecht in Dortmund
- 29.11.1985 E. Handschin, K. El-Homsi
Teilnahme am AK-TR-Forum "Zustandsschätzung
in elektrischen Energieversorgungsnetzen"
der FGH in Stuttgart
- 03.12.1985 E. Handschin
Sitzung der VDE-Zweigstelle Dortmund an der
Universität Dortmund
- 05.12.1985 E. Handschin
Teilnahme am Autorentreffen für ETG-Fachtagung
beim VDE-Kongreß 1986 in Nürnberg, in Frankfurt
- 12.12.1985 E. Handschin, W. Horenkamp, H. Hormann,
D. König, H. Labohm, J. Lindemann
Besprechung über das universelle Meß-Auswerte-
programm UNIMAP bei VEW in Dortmund
- 16.12.1985 W. Ebbinghaus, E. Handschin, P. Stöber
Abschlußbesprechung zur Messung von Netz-
rückwirkungen im Bergwerk Haus Aden

6. VERÖFFENTLICHUNGEN UND BERICHTE

6.1 Veröffentlichungen

K.Reichert, E. Handschin: "Einsatzmöglichkeiten von Arbeitsplatzcomputern in der Energieversorgung", Bull. SEV/VSE 76 (1985) 2, 26. Januar

Arbeitsplatzcomputer - die man in der Computerwelt auch Personal Computer (PC) nennt - können kostengünstig nicht nur umfangreiche Rechenarbeiten durchführen, sie speichern und verwalten auch die dafür erforderlichen oder die dabei anfallenden Daten und stellen sie darüber hinaus noch praxisgerecht dar. Dem planenden oder betriebsführenden Ingenieur eines Energieversorgungsunternehmens bietet sich damit die Möglichkeit, selbständig, d.h. unabhängig von einem zentralen Großrechner, direkt am Arbeitsplatz anspruchsvolle Probleme lösen zu können. Mit dem folgenden Beitrag wird versucht, sinnvolle Einsatzgebiete der Arbeitsplatzcomputer in Energieversorgungsunternehmen und die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Rechenanlagen abzuleiten.

E. Handschin: "Einsatz des Arbeitsplatzrechners in der Elektrizitätswirtschaft", Bull. SE/UCS 76 (1985) 2, 26. Januar

Der Beitrag erläutert einige grundsätzliche Vorteile des Einsatzes von Arbeitsplatzrechnern in der Elektrizitätswirtschaft und behandelt sodann anhand einiger typischer Aufgaben die Vorgehensweise für die Erarbeitung praxisorientierter Lösungen, nämlich bei der Lastanalyse bzw. -prognose der Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie der Optimierung.

K. Reichert, E. Handschin: "Prozeßdatenverarbeitung mit Arbeitsplatzcomputern", Bull. SEV/VSE 76 (1985) 2, 26. Januar

Der Computer ist das ideale Mittel zur Bewältigung der immer noch steigenden Anforderungen an die Prozeßdatenerfassung und

-verarbeitung, sei es als Registriersystem für langsame Vorgänge oder als Transientenrecorder für schnelle Vorgänge. Der Einsatz von Mikrorechnersystemen hat gegenüber den herkömmlichen Meßwerterfassungssystemen wesentliche Vorteile: Neben einem sehr günstigen Preis-Leistungsverhältnis gehört dazu insbesondere auch die Möglichkeit, die Daten mit dem Rechner unmittelbar nach der Aufzeichnung auszuwerten.

E. Handschin: "Zentrale und dezentrale Funktionen müssen sich ergänzen", Handelsblatt - Technische Linie/Kraftwerke 85, Nr. 36, 20.02.1985

In gut geplanten Energieversorgungssystemen ergibt sich von der anlagentechnischen Seite her eine Aufteilung der Überwachungs- und Führungsaufgaben in zentrale und dezentrale Funktionen. Auf anlagentechnischer Seite unterscheidet man drei große Bereiche: Kraftwerke, Übertragungs- und Verteilungsnetze, Schaltanlagen und Umspannwerke.

E. Handschin, W. Horenkamp, W. Hormann, E. Labohm, Th. Reißing: "Integrierte Meßwerterfassung und Auswertung in elektrischen Verteilungsnetzen mit einem Mikrorechnersystem", Elektrizitätswirtschaft, Jg. 84 (1985), Heft 8, S. 270-279

Auch in gut geplanten elektrischen Energieverteilungsnetzen müssen systematisch Messungen mit dem Ziel durchgeführt werden, die wirtschaftliche Auslastung der verfügbaren Arbeitsmittel (Kabel, Transformatoren) zu prüfen. Bisher sind solche Messungen wegen des damit verbundenen Aufwandes nur in begrenztem Umfang durchgeführt worden. Die heute verfügbaren Mikrorechner ermöglichen neue Lösungen. Überall, wo es darum geht, über einen längeren Zeitraum systematisch Meßwerte aufzuzeichnen, die anschließend ausgewertet werden, erweist sich die hier vorgestellte dezentrale Meßwerterfassung mit zentraler Auswertung als sehr zweckmäßig.

E. Handschin, W. Horenkamp, K.-D. Tesch: "Berührungsschutz für die Arbeit in Niederspannungsverteilungs- und Verbraucheranlagen", de/der elektromeister - deutsches elektrohandwerk 1985, Heft 10, S. 709-713

Die Bedeutung elektrischer Energie hat sowohl für den privaten Haushalt wie auch in Industrie und Wirtschaft ständig zugenommen. Über die hohe Versorgungssicherheit der elektrischen Energieversorgung und Verteilung wird man sich erst bei Ausfall der Stromversorgung bewußt. Um diesen Standard zu erreichen, wurden Anlagen zur Verteilung der elektrischen Energie ständig erweitert resp. neu errichtet. Der Umgang mit den dazugehörigen Betriebsmitteln setzt einen hohen Ausbildungsstandard des Personals, sowie eine gute Planung beim Aufbau elektrischer Verbraucher- und Verteilungsanlagen voraus. Unterstützt wird der sichere Umgang mit elektrischer Energie durch umfangreiche Sicherheitsvorschriften und Ausführungsbestimmungen.

Die Veröffentlichung enthält die wichtigsten Ergebnisse eines durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz geförderten Forschungsvorhabens zum Thema "Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile bis 1000 V".

N. Aschöwer, E. Handschin, H. Dobesch, W. Grein, A. Petroianu: "State Estimation for the Design of an Optimal on-line Solution", Proc. of 1985, PICA Conference, May 6-10, 1985, San Francisco

A state estimation simulation package (SES) developed for studies and educational purposes was further upgraded with on-line capabilities and implemented as a production grade program into a large-scale network control system. Although conceived for different applications and run-time environments, this transformation was realized smoothly and relative quickly without modifying the algorithmic kernel; the result is an efficient

state estimation package (SE) with real-time capabilities. The benefits of this development strategy are:

- feasibility studies such as optimal metering are possible with a unified SE approach in the early phase of a new control center project;
- the existence of a thoroughly tested DE simulation package accelerates the debugging phase of the on-line algorithm;
- the joint effort speeds up the know-how transfer and feedback between R & D and reduces the overall costs.

A short description of the SES structure is given. The requirements and design goals of an on-line SE are outlined. Special emphasis is put upon functional extension such as: data base interfaces, the mapping of the network connectivity at equipment (terminal) level into node/branch model and vice-versa, man-machine-interfaces, etc. Methods of software-quality enhancement, performance measurements and results obtained with the on-line SE on a VAX 11/780 are presented.

E. Handschin, G. Schellstede: "Power System Training Simulator - Different Concepts and Possibilities", Paper No CC 85-05, Proc. of CIGRE-Symposium SC-39, Toronto, Sept. 16-21, 1985

The paper discusses different aspects of training simulator for the operation of power systems. After a review of the requirements and specific features of such a training system, the following topics are discussed in some detail; complexity of the system modelling in view of the functions for which training is required, implementation of the simulator as a stand-alone version or integrated in a control center system and the design of the man-machine-interface. Examples of training simulator used by German utilities are briefly described.

E.Handschin, H.-J.Haubrich: "System Engineering Aspects for the Expansion of Electric Power System in Developing Countries", Paper 120-07, Proc. of CIGRE-Symposium on Electric Power System in Developing Countries, November 25-27, 1985, Dakar (Senegal)

The evolution from network islands to interconnected systems is a major engineering challenge for developing countries. The existing systems usually have the character of local distribution networks. The size of the power plants is small; their number rather large. In the first part, the paper addresses the problems related to the systematic expansion planning emphasizing the component point of view. Important questions concerning the network structure, the short circuit coordination and the systematic evaluation of earthing the transformer star-points are discussed. In the second part the simulation methods for the evaluation of the static and dynamic security are presented. Based on the mid-term dynamics a systematic model on the interconnected power system is derived. The problem of load shedding as an important tool for emergency state control is discussed.

E. Handschin und Mitarbeiter: "Berührungsschutz für die Arbeit in Niederspannungsverteilungs- und Verbraucheranlagen", Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 408, Dortmund 1985

Schwere Unfälle sind bei Wartungs- und Erweiterungsarbeiten an Niederspannungsanlagen immer wieder zu beklagen, weil z.B. spannungsführende Teile nicht abgedeckt wurden oder die Konstruktion der Anlage dieses erschwerte. Nach einem kurzen Überblick über die Ursachen elektrischer Unfälle wird der Einsatz temporärer und stationärer Hilfsmittel diskutiert. In diesem Zusammenhang wurde die Akzeptanz der Hilfsmittel besonders berücksichtigt. Weiterhin werden Vorschläge zur Gestaltung von Niederspannungsanlagen aufgestellt, welche den Berührungsschutz in den Vordergrund stellen, und an einigen Beispielen erläutert.

6.2 Forschungsberichte

E. Handschin, Th. Reißing, P. Stöber: "Rechnerische Bestimmung der Ausbreitung von Oberwellen in elektrischen Energieversorgungssystemen", Januar 1985, EV 8502

E. Handschin und Mitarbeiter: "Berührungsschutz für die Arbeit in Niederspannungsverteilungs- und Verbraucheranlagen", Februar 1985, EV 8591

E. Handschin und Mitarbeiter: "Untersuchung der elektrischen Vorgänge bei einem Erdschluß in Mittelspannungsnetzen des deutschen Steinkohlenbergbaus", Januar 1985, EV 8527

6.3 Diplomarbeiten

U. Heseler: "Statische Stabilität elektrischer Energieversorgungssysteme", März 1985, EV 8509

W. Hoffmann: "Interaktives Ein- und Ausgabesystem zur Darstellung von Netzbildern und Steuerung von Netzberechnungen", März 1985, EV 8513

W. Wöstenhöfer: "Optimierung eines Lastprognoseverfahrens hinsichtlich Genauigkeit und Rechenzeit", April 1985, EV 8514

J. Lindemann: "Auswertung automatisch erfaßter Meßdaten mit dem Arbeitsplatzrechner", September 1985, EV 8532

Ch. Dörnemann: "Untersuchung und Optimierung von Verfahren zur Vorhersage der Lastanforderung von Verteilstationen", November 1985, EV 8533

6.4 Studienarbeiten

J. Becker: "Untersuchung verschiedener Verfahren zur Messung von Wechselströmen in Nieder- und Mittelspannungsnetzen", Januar 1985, EV 8501

M. Schnurbusch: "Überarbeitung des Leistungs- und Drehzahlregler-Konzepts für die Motor-Generator-Sätze des Drehstromnetzmodells", Januar 1985, EV 8504

M. Mertsch: "Erstellung von Software für ein graphisches Terminal VT 240", Februar 1985, EV 8505

G. Nimmrich: "Konzeption und Bau eines kompakten Meßwertfassungssystems für einen Einplatinencomputer", Februar 1985, EV 8506

H.J. Ackerstaff: "Aufbau eines Meßpraktikums zur Einhaltung der Schutzmaßnahmen VDE 0100/0701/0413", Februar 1985, EV 8506

Ch. Dörnemann: "Estimation von Verbraucher-Normalkurven für die knotenbezogene Lastprognose", März 1985, EV 8510

F. Eickhoff: "Untersuchungen zur Störungsunempfindlichkeit eines Mikroprozessor-Rechner-Algorithmus zur selektiven Erdschlußfassung", März 1985, EV 8516

V. Lange: "Digitales Meßsystem zur Erfassung von mittelschnellen transienten Vorgängen in elektrischen Energieversorgungsnetzen", April 1985, EV 8517

K. Hundshagen: "Berücksichtigung der automatischen Transformatorstufung in Lastflußberechnungen", April 1985, EV 8518

Ch. Stute: "Untersuchung der Oberschwingungen von Thyristorstromrichtungen am Netzmodell", Juni 1985, EV 8519

G. Wittchen: "Plausibilitätskontrolle für die Meßwertfassung an einem Drehstromnetzmodell", Juni 1985, EV 8521

W. Zimmermann: "Lösung linearer Gleichungssysteme mit Mehrprozessoren", Juni 1985, EV 8522

V. Aue: "Untersuchung von Selbsttestverfahren für Mikrorechner für energietechnische Aufgaben", Juli 1985, EV 8523

H.- W. Paus: "Untersuchung von Verfahren zur statistischen Systemanalyse im Hinblick auf die Identifikation von Lastparametern", August 1985, EV 8528

B. Kretschmann: "Erstellung eines Simulationsprogramms für dynamische Untersuchungen im Mittelzeitbereich", September 1985, EV 8529

M. Seitz: "Berechnung elektrischer Energieübertragungssysteme", August 1985, EV 8531

W. Eghardt: "Programmierung eines Mikrorechnerreglers für die automatische Abstimmung einer Erdschlußspule", September 1985, EV 8534

W.-J. Simadibrata: "Berechnung und Messung von Lastmodellparametern", Dezember 1985, EV 8537

6.5 Programmbeschreibungen

N. Aschöwer: "Ausfallsimulation auf der Basis der schnellen entkoppelten Lastflußberechnung", EVP 8501

U. Heseler: "Statische Stabilität elektrischer Energieversorgungssysteme", EVP 8502

W. Hoffmann: "Interaktives Ein- und Ausgabesystem zur Darstellung von Netzbildern GRIPS", EVP 8503

J. Lindemann: "Universelle Meß-Auswertung UNIMAP", EVP 8504

7. PROMOTIONEN

Aschöwer, Norbert: "Schnelle Berechnungsmethoden zur Betriebsführung elektrischer Energieversorgungssysteme

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H.J. Koglin

Tag der mündlichen Prüfung: 21.06.1985

Zur schnellen Bestimmung des Zustandes elektrischer Energieversorgungssysteme zu beliebigen Zeitpunkten und Schaltzuständen werden entkoppelte Berechnungsmethoden unter Berücksichtigung physikalischer Rand- und Nebenbedingungen weiterentwickelt und programmtechnisch realisiert.

Die notwendigen mathematischen Voraussetzungen sowohl für den on-line als auch für den off-line Einsatz werden geprüft und gegebenenfalls Schwachstellen der Netztopologie konserviert bzw. aufgezeigt, damit die automatisch ablaufenden Programme nicht durch Topologiefehler beeinflusst werden.

Zur Erstellung eines konsistenten Datensatzes wird ein selbst entwickeltes, on-line einsetzbares, entkoppeltes Zustandsschätzverfahren (Zustands-Estimation) angewendet. Basierend auf diesem konsistenten Datensatz werden entkoppelte Lastflußberechnungen mit den relevanten Rand- und Nebenbedingungen eingesetzt.

Das Schätzverfahren, die Lastflußberechnung sowie ein Verfahren zur Meßfehleridentifikation (bad data detection) sind in ein Programmpaket (SIMEST) eingebunden, das speziell entwickelt wurde, um Estimationsrechnungen simulieren zu können und dadurch einem breiten Anwendungsbereich zugänglich und einsetzbar zu machen.

Unter dem Kriterium der $n-1$ Betriebssicherheit wird ein Verfahren vorgestellt, welches eine Aussage darüber macht, mit welcher Wahrscheinlichkeit beim Ausfall beliebiger Betriebsmittel Störungen im vorliegenden Netz entstehen. Diese Betriebsmittel werden nach Priorität geordnet und eine adaptive Störungsliste erstellt, die abhängig von beliebigen Systemzuständen nachgeführt wird. Historisch ermittelte Störungsfälle, die mathematisch nur schwer oder gar nicht erfaßbar sind, können manuell nachgetragen werden. Das Netz lernt abhängig vom Schalt- und Leistungszustand selbst die Schwachstellen zu erkennen, was unter dem Begriff self learning system hier definiert ist.

Für Untersuchungen kleiner Änderungen um einen Betriebspunkt ist die entkoppelte Sensitivitätsanalyse hergeleitet und realisiert.

Beispiele zu den einzelnen Berechnungsmethoden deuten auf die Effizienz der dargestellten Verfahren hin.

Gacka, Michael: "Schutztechnische Behandlung des Erdschlußfehlers in Mittelspannungsnetzen des Kohlenbergbaus"

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Winkler

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.1985

Erdschlüsse sind fehlerhafte leitende Verbindungen mit Erde in isoliert bzw. kompensiert betriebenen Netzen. Der Erdschlußstrom hat einen geringen Wert, so daß eine Weiterführung der Energieversorgung ohne selbsttätige Abschaltungen möglich ist; sie ist auch, abgesehen von speziellen Fällen, durch die Vorschriften zugelassen. Die Ortung und Reparatur kann auf einen geeigneten Zeitpunkt verschoben werden.

Einen Spezialfall stellt der Untertagebereich des Kohlebergbaus dar. Die Vorschriften verlangen eine möglichst schnelle, in Gefahrenbereichen selbsttätige Abschaltung des Erdschlusses. Dies ist mit der hohen Explosions- und Brandgefahr im Untertagebereich begründet. Wie bei allen Schutzkonzepten wird auch hier eine möglichst gute Selektivität angestrebt. Sie hat im Untertagebereich sogar einen noch höheren Stellenwert als anderswo. Unselektive Abschaltungen von Anlagen, die der Sicherheit des Betriebes dienen (Lüfter, Pumpen, Seilfahrtanlagen), können sehr folgenschwer sein.

In der Arbeit wurden in Anlehnung an die Theorie verschiedene Schutzkriterien dargestellt und die Grenzen deren Anwendbarkeit gezeigt. Ein neues Kriterium für den Schutz von parallel geschalteten Kabeln wurde beschrieben und ausführlich diskutiert.

Selektive Abschaltung von Erdschlüssen auf parallel geführten Kabeln ist schon immer ein schwieriges Problem gewesen. Solche Kabel sind stets in der Verbindung zwischen der übertägigen Energieversorgung (Transformator) und dem Untertagebetrieb anzutreffen. Verständlich, daß an diesem wichtigsten Strang gute Selektivität von besonderer Bedeutung ist.

Obwohl Untertagenetze meistens strahlenförmig aufgebaut sind, läßt sich eine Vermaschung manchmal nicht vermeiden. Auch diese Netzformen können selektiv nur mit erheblichem Aufwand und technisch unbefriedigend geschützt werden. Das neue Konzept ist bedingt auch für solche Netze anwendbar. In Strahlennetzen könnte man mit dieser Methode die bis jetzt unvermeidlichen Zeitstaffelungen verkürzen, dies wäre aber mit einem Umbau des Netzes verbunden. Das neue Schutzkonzept stellt eine kostengünstige, zuverlässige und wenig störanfällige Lösung dar. Die Selektivität des Schutzsystems könnte man wesentlich verbessern.

Im Abschluß der Arbeit wurde ein Ausblick auf Möglichkeiten, die neue Techniken bieten, gegeben.

Woltemate, Rüdiger: "Systematische Simulation von Erdschlußvorgängen in den Kabelnetzen des deutschen Steinkohlenbergbaus"

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. E. Handschin
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Winkler

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.1985

In den Kabelnetzen des Steinkohlenbergbaus stellt der einphasige Erdschluß ein Problem dar, das auch heute noch nicht sicher beherrscht wird. Die selektive Abschaltung des Fehlers ist nicht in allen Fällen gewährleistet.

Übertage werden die Netze im Mittelspannungsbereich häufig ohne Sternpunktterdung betrieben. Dagegen sind im Bergbau fast ausschließlich kompensierte Kabelnetze anzutreffen, die Nennspannungen liegen zwischen 5 und 10 kV. Da Erdschlüsse mit ihren relativ geringen Fehlerströmen den Netzzustand nur geringfügig verändern, werden Dauererdschlüsse in Übertagenetzen erst nach einigen Stunden oder Tagen durch Reparatur behoben. In Freileitungsnetzen besteht sogar die Möglichkeit, daß sogenannte Erdschlußwischer durch den Einfluß der Löserspule von selbst verschwinden. Dagegen führt der Erdschluß in einem Kabel immer zur Zerstörung der Isolation oder wird durch die Zerstörung der Isolation hervorgerufen. Er ist also nicht selbstheilend.

Es wurden verschiedene stationäre Berechnungsverfahren entwickelt, die je nach Fragestellung und Umfang der gewünschten Antwort auf ein spezielles Problem angewendet werden können. Es wird der Nachweis geführt, daß Simulationen und Versuche am Netzmodell, bei denen die Kabel durch konzentrierte Elemente dargestellt werden, auch im tonfrequenten Bereich bis zu einigen kHz noch gültige Ergebnisse liefern. Daher kann man auch die kapazitiven Umladevorgänge im zweiten Zeitbereich darstellen. Zur Analyse der Wanderwellen im ersten Zeitabschnitt muß dagegen ein anderer Ansatz gewählt werden.

Es wird anhand einiger Beispiele aus der Praxis demonstriert, welche Probleme für den Erdschlußschutz auftreten können. Mit Hilfe der vorgestellten Rechenverfahren sind Maßnahmen zur Abhilfe vorgeschlagen worden. Dazu gehören folgende Hinweise:

- Die Netze sind stets überkompensiert zu betreiben.
- Das Durchfahren des Resonanzpunktes sollte vermieden werden.
- Es muß sichergestellt werden, daß die Verbraucher keine galvanische Verbindung mit dem Schutzleiter haben.
- Amplitudenabhängige Geräte sollten nach Möglichkeit nicht eingesetzt werden. Wo sie vorhanden sind, dürfen sie nur zum Schutz kurzer Stichkabel eingesetzt werden. Sie müssen stets genau eingestellt werden.
- Erdschluß-Erfassungsgeräte, die die kapazitiven Umladevorgänge auswerten, dürfen nicht in der Nähe von Netzen eingesetzt werden.
- Parallelkabel sollten mit dem Querdifferenzschutz überwacht werden.

Eine wesentliche Verbesserung des Erdschlußschutzes wird durch den Einsatz eines übergeordneten Leitrechners erreicht. Eine zentrale Komponente in der Software des Leitrechners ist der entwickelte Schutzkonfigurator. Er überwacht on-line den Schaltzustand des Netzes und bedient die unterlagerte Schutzebene mit den optimalen Einstellwerten. Nur so ist ein sicherer Betrieb des Netzes stets gewährleistet.

JAHRESBERICHT 1985