



Jahresbericht
des
Institutes für Elektrische Energietechnik
TU Clausthal

Bericht Nr. 3 (1992)

Dezember 1992

Prof. Beck

J A H R E S B E R I C H T 1992
des Instituts für Elektrische Energietechnik
Technische Universität Clausthal

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
1 Lehre	3
1.1 Vorlesungen, neue Studiengänge	3
1.2 Übungen, Praktika	4
1.3 Seminarvorträge	4
1.4 Studien- und Diplomarbeiten, mathematische Praktika	5
2 Veröffentlichungen, Dissertationen, Technische Notizen	7
2.1 Zeitschriftenaufsätze, Patente	7
2.2 Vorträge	7
2.3 Dissertationen	8
2.4 Technische Notizen, Vorlesungsmanuskripte	8
2.5 Forschungsanträge	9
2.6 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte	10
3 Forschungsarbeiten	12
3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen	12
3.2 Projektblätter	12
4 Personelle Besetzung	36
4.1 Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts	36
4.2 Nebenamtlich tätige Hochschullehrer	37
4.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte	37
4.4 Von der Lehrverpflichtung befreite Hochschullehrer	37
4.5 Mitglieder in den Selbstverwaltungsgremien der Universität	37
Anlagen	39

Vorwort

Liebe Freunde und Mitarbeiter des Instituts,

nachdem in den vergangenen zwei Jahren überwiegend die Aufbauarbeit zu den neuen Forschungsschwerpunkten geleistet worden war, konnte in diesem Jahr endlich mit der eigentlichen Forschungstätigkeit begonnen werden. Hierzu gehörte auch die Einwerbung von Drittmitteln. Es zeigte sich, daß die Mittelvergabe bei den industriellen Auftraggebern reibungsloser verlief als bei der öffentlichen Hand. Von den insgesamt fünf gestellten Anträgen wurden zwei abgelehnt und zwei genehmigt. Die fünfte Genehmigung wurde für das nächste Jahr in Aussicht gestellt.

In der Lehre stand die Umsetzung der neuen Diplomprüfungsordnung im Vordergrund, denn durch sie ergeben sich einige Umstellungen im Lehrangebot des IEE, die dem neu herausgegebenen Studienführer und dem kommentierten Vorlesungsverzeichnis des Fachbereiches MVT zu entnehmen sind. Für die zwei vom IEE mitgetragenen Studienrichtungen "Elektrotechnik im Maschinenbau" und "Energietechnik/Energiesysteme" werden sie auszugsweise auch in diesem Jahresbericht wiedergegeben.

Für diejenigen Freunde, Kollegen(-innen) und Mitarbeiter(-innen), die an einem tieferen Einblick in unsere Institutsarbeit interessiert sind, wird dieser Bericht vorgelegt.

Einen herzlichen Dank allen Beteiligten für die von Ihnen geleistete Hilfe, Kooperation und Mitarbeit. Mit den besten Wünschen für ein erfolgreiches Jahr 1993 verbleibe ich

Ihr

Dezember 1992

1 Lehre

1.1 Vorlesungen, neue Studiengänge

Die folgenden Vorlesungen wurden in diesem Jahr von Mitarbeitern des IEE angeboten, ihre Inhalte sind in der Anlage 1 kommentiert. Bis auf zwei, die mangels Beteiligung ausfielen, fanden alle anderen Lehrveranstaltungen mit den dazugehörigen Tutorien, Übungen und Praktika (vgl. Abs. 1.2) statt.

Beck	Grundlagen der Elektrotechnik I/II
Beck	Elektrische Antriebe
Beck	Regelung elektrischer Antriebe
Beck	Energieelektronik
Bretthauer	Elektrische Anlagen im Bergbau
Bretthauer	Hochspannungstechnik
Canders	Elektrische Maschinen
Diemar	Elektrowärme
Helmholz	Theorie der Wechselströme I/II
Mückenheim	Theorie der elektromagnetischen Felder
Wahl	Elektrizitätswirtschaft
Wehrmann	Elektrische Energieerzeugung
Wehrmann	Energieverteilung

Zum Wintersemester 91/92 hat der Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik eine neue Diplomprüfungsordnung eingeführt. Mit ihrer Hilfe sollen auch in Hinblick auf den neuen europäischen Wirtschaftsraum ab 1993 die Studienzeiten weiter verkürzt werden.

Die resultierenden Veränderungen betreffen am IEE hauptsächlich die "Grundlagen der Elektrotechnik I/II" im Vorexamen mit all ihren Lehrveranstaltungen, ferner die Pflichtvorlesung "Elektrische Antriebe" für Maschinenbaustudenten im Hauptstudium. Sie sind in den neuen vom Fachbereich herausgegebenen Studienführern beschrieben.

Insgesamt wurden im Verlauf dieses Jahres zirka 430 Vor- und Hauptdiplomprüfungen von den prüfungsberechtigten Hochschullehrern des Institutes abgenommen.

Außer im Fach "Grundlagen der Elektrotechnik I/II", in dem Vorexamensklausuren geschrieben wurden (344 Teilnehmer), fanden alle Haupt- und Nachprüfungen mündlich statt (216 Teilnehmer). Der Unterzeichnende vertritt die Auffassung, daß auch die Prüfungen an der

Hochschule Lehrveranstaltungen sind und daher der persönliche Kontakt hier ebenso gesucht werden sollte wie in den Vorlesungen, Übungen, Praktika und Seminaren.

1.2 Übungen, Praktika

Im Berichtszeitraum wurden folgende Übungen und Praktika angeboten. Die Zahlen in Klammern geben jeweils die ungefähre Teilnehmerzahl an.

Große Übung	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann)	(180)
Tutorien	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Kanakis und wissenschaftliche Hilfskräfte)	(190)
Praktika	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Kayser, wissenschaftliche Mitarbeiter und Hilfskräfte)	(360)
Übung	zu Elektrische Antriebe (Alders, Engel)	(30)
Übung	zu Regelung elektrischer Antriebe (Krüger)	(8)
Übung	zu Energieelektronik (Sourkounis)	(8)
Praktikum	zu Energieelektronik (Sourkounis)	(4)
Übung	zu Hochspannungstechnik (Wehrmann)	(8)
Übung	zu Elektrische Energieerzeugung (Mendt)	(5)
Übung	zu Energieverteilung (Mendt)	(5)
Praktikum	zu Energieanlagen (Kayser)	(5)
Grundpraktikum	im Hauptstudium (ein Versuch) (Kanakis, Mendt)	(160)

1.3 Seminarvorträge

Niedeck, V. Heutige Drehzahlregelungsverfahren zur Leistungsoptimierung bei Windkraftanlagen

Thamodharan, M. A comparative study on the new types of IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) and the optimization of the IGBT-module configuration

1.4 Studien- und Diplomarbeiten, mathematische Praktika

Studienarbeiten

- Bollmann, M. Vorstudie zur Elektrifizierung der Hanskühlenburg durch Nutzung regenerativer Energiequellen
- Engelhardt, B. Entwicklung einer Lastaufschaltungsvorrichtung für einen Prüfstand
- Fischle, K. Auslegung eines Prüfstandes zur Modellierung des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive
- Frank, K. Optimierung eines Gleichstrommaschinenantriebes für einen Prüfstand
- Ge, H. Entwurf eines Zustandsbeobachters zur Beobachtung der Feder- und Lastmomente des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive
- Koch, M. Aufbau, Inbetriebnahme und Simulation eines Antriebssystems bestehend aus Pulswechselrichter und Asynchronmaschine
- Koch, M. Untersuchung von Möglichkeiten zur Vereinfachung des vollständigen Modells des Drehstrom-Asynchronmotors mit Hilfe rechnergestützter Simulation
- Koschinski, R. Die verschiedenen Prinzipien elektrischer und mechanischer Schutzsysteme zur Verhütung von Schäden durch überhöhte Drehmomente in den Antriebswellen von Walzwerken
- Luh, E. Bestimmung des Meßfehlers eines analogen Drehmomentrechners für fremderregte Gleichstrommaschinen
- Rick, F. Prozeß und Steuerung bei Petrinetzstrukturen
- Tilscher, M. Entwicklung und Simulation einer selbstadaptierenden Kraftschlußregelung für elektrische Bahnantriebe zur Hochausnutzung des Rad-Schiene-Kontaktes

Diplomarbeiten

- Fischle, K. Entwurf eines Reglersystems zur aktiven Unterdrückung von mechanischen Schwingungen bei elektrischen Antriebssystemen
- Hennemann, G. Simulation und Optimierung einer Erdgas-Expansionsturbine zur Stromerzeugung in einer Erdgas-Druckregelstation (in Vorbereitung)
- Maucher, R. Entwurf eines Zustands- und Störgrößenbeobachters nach Luenberger mit einer verbesserten Dynamik zur Wellenmomentbeobachtung eines Dreimassenschwingers
- Niedeck, V. Softwareentwicklung zur Drehmomentsollwertberechnung anhand der Charakteristik eines Windrotors
- Plamper, S. Bestimmung der erzielbaren Drehmomentgenauigkeit von direktumrichtergespeisten Synchronmaschinen für Kaltwalzwerks-Haspelantriebe

Mathematische Praktika

- Brandt, J./
Rathje, O. Berechnung der Eigenwerte und der Übertragungsmatrix des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive
- Kahmann, C. Simulation und Optimierung eines geregelten Gleichstromantriebs

2 Veröffentlichungen, Dissertationen, Technische Notizen

2.1 Zeitschriftenaufsätze, Patente

Zeitschriftenaufsätze

- Beck/
Zenner Elektronische Einrichtung zur Minimierung der Überlasten in Antriebswellen von Walzgerüsten - veröffentlicht in "Stahl und Eisen", Heft 3/92, Verlag des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf (Anlage 2)
- Beck u. a. Elektrotechnisches Festkolloquium - anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. (em.) K. Bretthauer, veröffentlicht im Mitteilungsblatt der TU Clausthal, Heft 74, 1992 (Anlage 3)
- Kayser Electronic equipment for the prevention of damages in rolling mill systems - veröffentlicht in "Journal of Materials Processing Technology", 34 (1992), Elsevier (Anlage 4)

Patente

- Beck/Sourkounis Autonomes modulares Energieversorgungssystem für Inselnetze - angemeldet beim Deutschen Patentamt in München (Zusammenfassung siehe Anlage 5)

2.2 Vorträge

- Beck Vergleich von Spannungs- und Strom-Zwischenkreisumrichtern mit abschaltbaren Ventilen für Bahnanwendungen - gehalten anlässlich des Fakultätskolloquium WS 1991/92 der Universität Karlsruhe
- Beck Vergleich von U- und I-Umrichtern für Lokomotivantriebe - gehalten während eines Gastaufenthaltes an der TU Krakau

2.3 Dissertationen

- Jiang, H. Fertigungsintegrierte 3-D-Vermessung von Objekten durch Kontursensoren mit strukturierter Beleuchtung
- Obenauf, H.-D. Regelung für Drehstrom-Lichtbogenöfen über die Lichtbogenspannungen und unsymmetrisch einstellbare Transformatorspannungen
- Schäfer, P. Numerische Lösungsverfahren für modulare Differentialgleichungssysteme mit Unstetigkeiten zur Simulation technischer Systeme
- Schwartz, H.-J. Selbstadaptierende Regelung der Radsatzdrehzahl zur optimalen Ausnutzung der Zugkraft elektrischer Triebfahrzeuge (TH Darmstadt)
- Thiemann, I. Minimierung der Fehlereinflüsse auf die Parameterschätzung von Bildkonturen

2.4 Technische Notizen, Vorlesungsmanuskripte

Technische Notizen

- Beck Marktstudie über analog und digital arbeitende Drehmomentrechner für fremderregte Gleichstrommaschinen
- Kanakis Einschalten einer Asynchronmaschine mit Sanftanlasser
- Kayser Vorstudie zum Versuchsstand "Elektronische Havariesicherung für Walzwerkshauptantriebe"
- Klepp Vergleichende Untersuchung der Integrationsverfahren des Simulationssystemes MATRIX/X
- Klepp Vergleichende Untersuchung der Integrationsverfahren des Simulationssystemes MATLAB
- Klepp Vergleichende Betrachtung der Simulationssysteme MATRIX/X und MATLAB
- Krüger Optimierung von Drehstromantrieben in der Hüttenindustrie, Teil I

- Mendt Simulation des dynamischen Verhaltens einer Kaltwalzstraße
- Mendt Vergleich der Simulationssysteme SCALE/F, NETASIM und MATRIX/X bezüglich der Laufzeiten zweier Simulationsmodelle
- Mendt Vergleich der Simulationssysteme SCALE/F, NETASIM, MATRIX/X und MATLAB/SIMULAB bezüglich der Laufzeiten zweier Simulationsmodelle

Vorlesungsmanuskripte

- Beck/
Kayser Überarbeitung des Grundlagenpraktikumskriptes I
- Beck/
Sourkounis Vorlesungsskript "Energieelektronik", Ausgabe 92
- Wehrmann/
Mendt Vorlesungsskript "Energieverteilung" (teilweise erstellt)

2.5 Forschungsanträge

Kooperationsvertrag mit der Daimler Benz AG

"Echtzeitsimulation von Antriebssystemen"

Bearbeiter: Dr.-Ing. Wehrmann, Dipl.-Ing. Mendt

Status: genehmigt

VFWH-Forschungsantrag

"Optimierung der Regelung von Drehstromantrieben in der Hüttenindustrie"

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Krüger

Status: genehmigt

DFG-Verbundantrag zusammen mit dem Institut für Hüttenmaschinen und Maschinelle Anlagentechnik, TU Clausthal, und der Bergakademie Freiberg

"Minimierung von Lastkollektiven bei Bahnantrieben durch digitale Wellenmomentbeobachtung und -regelung"

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Alders, Dipl.-Ing. Engel, Dr. Beckert u.a.

Status: Genehmigung voraussichtlich im Januar 93

EG-Förderantrag, Verbundantrag mit der Public Power Corporation, Griechenland

Programm "Joule II" - "Autonomes Modulares Energieversorgungssystem"

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Sourkounis, Dipl.-Ing. Belzios (PPC)

Status: abgelehnt, Neuantrag im Programm "Thermie" bis 11/93

DFG-Verbundantrag mit dem Institut für Hüttenmaschinen und Maschinelle Anlagentechnik,
TU Clausthal

"Elektronische Havariesicherung"

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Kayser, Dipl.-Ing. Harste (IfH)

Status: abgelehnt, Neuantrag mit neuen Lösungsvorschlägen

2.6 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte

Veranstaltungen

Anlässlich des diesjährigen 70. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Bretthauer und des dreißigjährigen Bestehens dieses Institutes, dessen Gründer er ist, wurde ein Elektrotechnisches Festkolloquium vom IEE ausgerichtet.

Das Kolloquium fand am 3. Juli 1992 im Hörsaal des Institutes für Maschinenwesen statt. Neben Vorträgen ehemaliger und derzeitiger Institutsangehöriger wurden Vorführungen in der Versuchshalle des IEE angeboten. Die zirka 150 Gäste wurden ferner zum Ausklang am Abend zu einem gemütlichen Beisammensein eingeladen.

Exkursionen

Preussag Stahl AG (früher Stahlwerke Peine-Salzgitter AG), Salzgitter

Teilnehmer: ca. 30 Studenten der VL "Elektrische Antriebe" und "Energieelektronik", SS 92

Hauptschaltleitwarte der Preußen Elektra, Lehrte, und Kraftwerk Buschhaus der Braunschweigischen Kohlen-Bergwerke AG, Helmstedt-Offleben

Teilnehmer: ca. 15 Studenten der VL "Elektrizitätswirtschaft", "Energieerzeugung" und "Energieverteilung", SS 92

Gastaufenthalte

Herr Dr.-Ing. Bialek von der TH Radom in Polen hielt sich im September dieses Jahres für eine Woche am IEE auf, um seine experimentellen Arbeiten am Lichtbogenofenmodell fortzusetzen. Herr Prof. Dr.-Ing. Bretthauer und Dr.-Ing. Obenauf unterstützen ihn bei seiner Arbeit.

Die Herren Prof. Beck und Dipl.-Ing. Kayser statteten im Rahmen des Partnerschaftsvertrages mit der TU Krakau dieser in der Zeit vom 20.-26.9.92 einen Besuch ab; währenddessen nahmen sie zudem aktiv am Metal Forming 92-Kongress teil.

3 Forschungsarbeiten

3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen

Im Berichtszeitraum wurden genehmigte Mittel für einen CAD/CAE-Pool, für ein Stromrichtergrößgerät (VW-Stiftung) und Berufungsmittel für Spezialmeßgeräte zur Modernisierung und Erweiterung der Institutseinrichtung aufgewendet (siehe Anlage 7).

Es wurden in diesem Jahr angeschafft:

- * ein 160 kVA/400 V Direktumrichter mit Transputersteuerung (AEG) und 84 kVA-Synchronmaschine (Piller)
- * ein 60 kVA/400 V I-Umrichter mit Mikroprozessorsteuerung (Siemens) und 43 kVA Asynchronmaschine (Piller)
- * ein FFT-Analysator für digitale Frequenzanalysen (Hewlett Packard)
- * zwei 4-Kanal-Digitaloszilloskope (Tektronik) mit sechs Strommeßzangen (0 - 20 - 100 - 600 A) für einen Frequenzbereich von 0 - 100 kHz - 20 MHz
- * zwei Drehmomentmeßwellen (HBM, 2 kNm, 5 kNm)

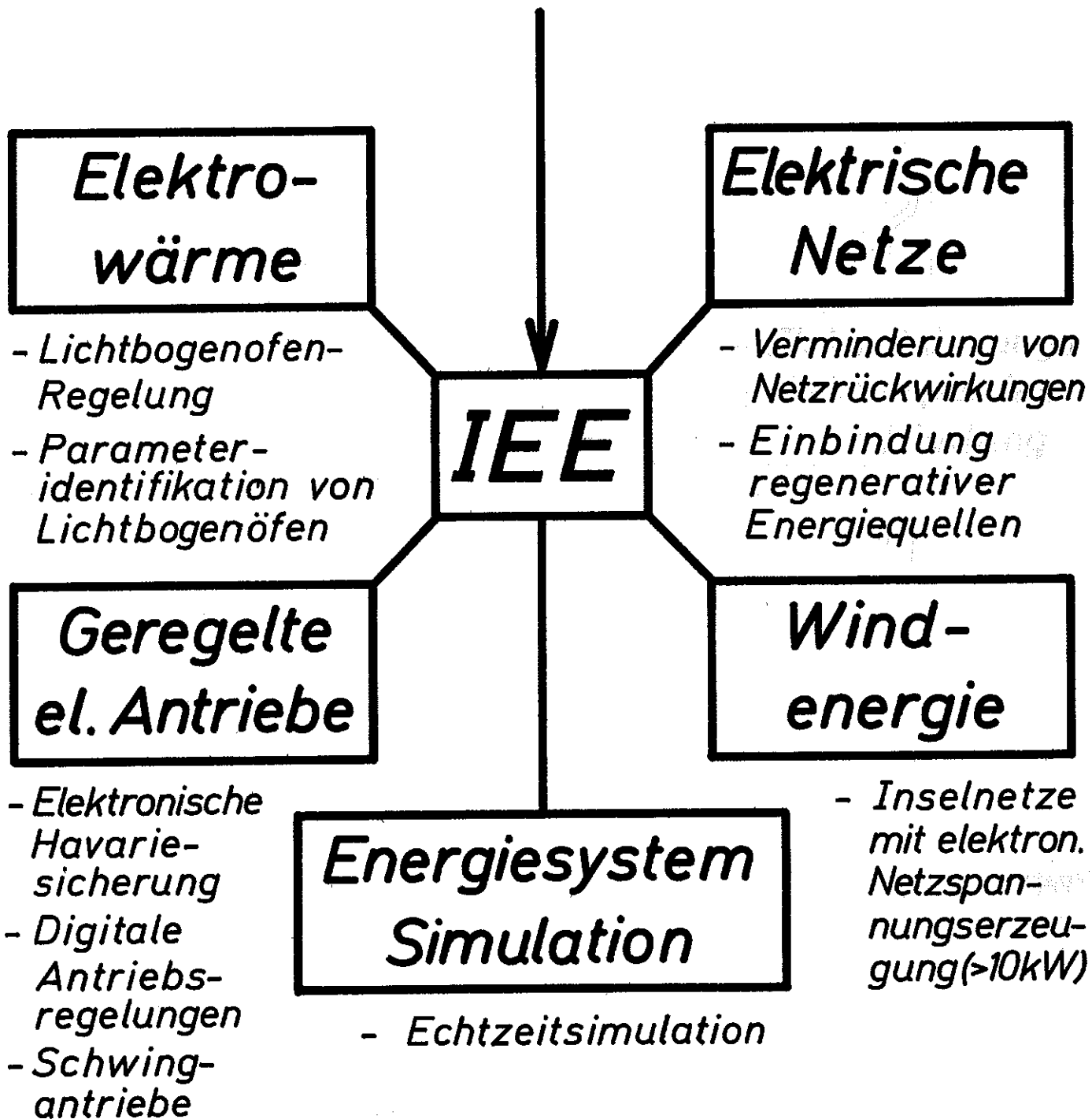
Der CAD/CAE-Pool mit vier SUN-SPARC-Workstations für Energie- und Regelungssystemsimulationen (Software MATRIX/X), die Workstation "Microvax" (Software NETASIM) und einzelne Arbeitsplatzrechner der wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden über Ethernet-Kabel vernetzt. Damit ist zukünftig eine noch bessere Ausnutzung der Rechnerhardware- und -softwarekomponenten des Institutes möglich.

3.2 Projektblätter

Die folgende Übersicht und die sich anschließenden Kurzbeschreibungen der von den wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführten Forschungstätigkeiten geben Auskunft über die derzeitig am IEE laufenden Projekte.



Forschungsschwerpunkte des Institut für Elektrische Energietechnik



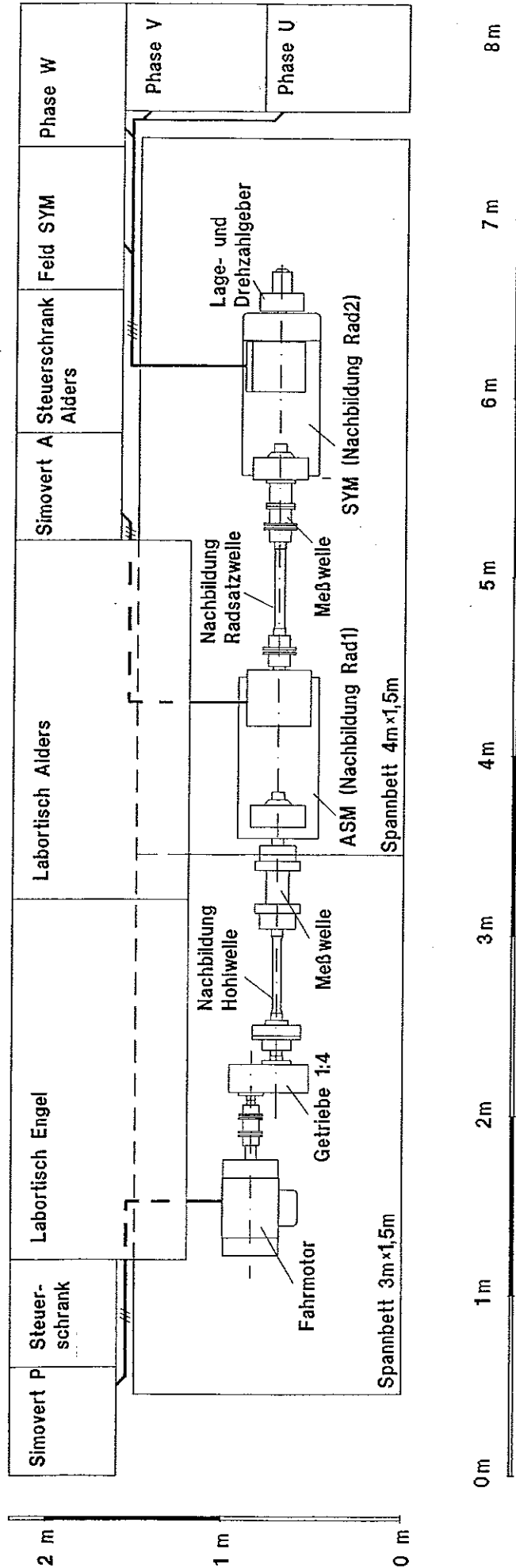
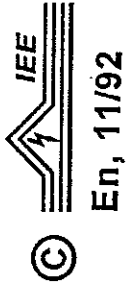


- Problem, Ziel:** Nachbildung des dynamischen Verhaltens und betrieblichen Belastungen eines Hochgeschwindigkeitsbahnantriebes durch einen Prüfstand. Dieser soll als Grundlage für Untersuchungen zur Minimierung von Lastkollektiven bei Bahnantrieben dienen (Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Engel).
- Stand der Technik:**
1. Meßfahrten mit realen Lokomotiven
 2. Simulation auf dem Digitalrechner
 3. Stark vereinfachte Prüfstandsmodelle
 4. Rollenprüfstand für laufdynamische Untersuchungen
- Lösungsweg:**
1. Modellierung und Simulation des Antriebsstranges auf dem Digitalrechner
 2. Ähnliche Nachbildung der mechanischen Komponenten des Antriebsstranges durch einen Prüfstand
 3. Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses durch das Luftspaltemoment elektrischer Maschinen
- Vorteile angestrebter Lösungen:**
1. Untersuchungen, Erprobung und Optimierung von Bahnantriebssteuerungen sind weniger aufwendig und flexibler als bei Meßfahrten
 2. Größere Realitätsnähe gegenüber der Simulation am Digitalrechner
 3. Schwingungsuntersuchungen und Entwicklung neuer Regelkonzepte vereinfacht
- Bisherige Ergebnisse:**
1. Simulationsergebnisse zum Systemverhalten des Antriebsstranges
 2. Ermittlung von Prüfstandsparametern
 3. Auslegung des mechanischen Prüfstandskomponenten
 4. Beginn des Prüfstandsaufbaus
- Voraussichtliches Ende:** 1995
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Alders (Tel.: 72-3821)

Datum: 1.12.1992

**Projekt: Lastkollektivminimierte Bahnantriebe,
Bahnprüfstand**

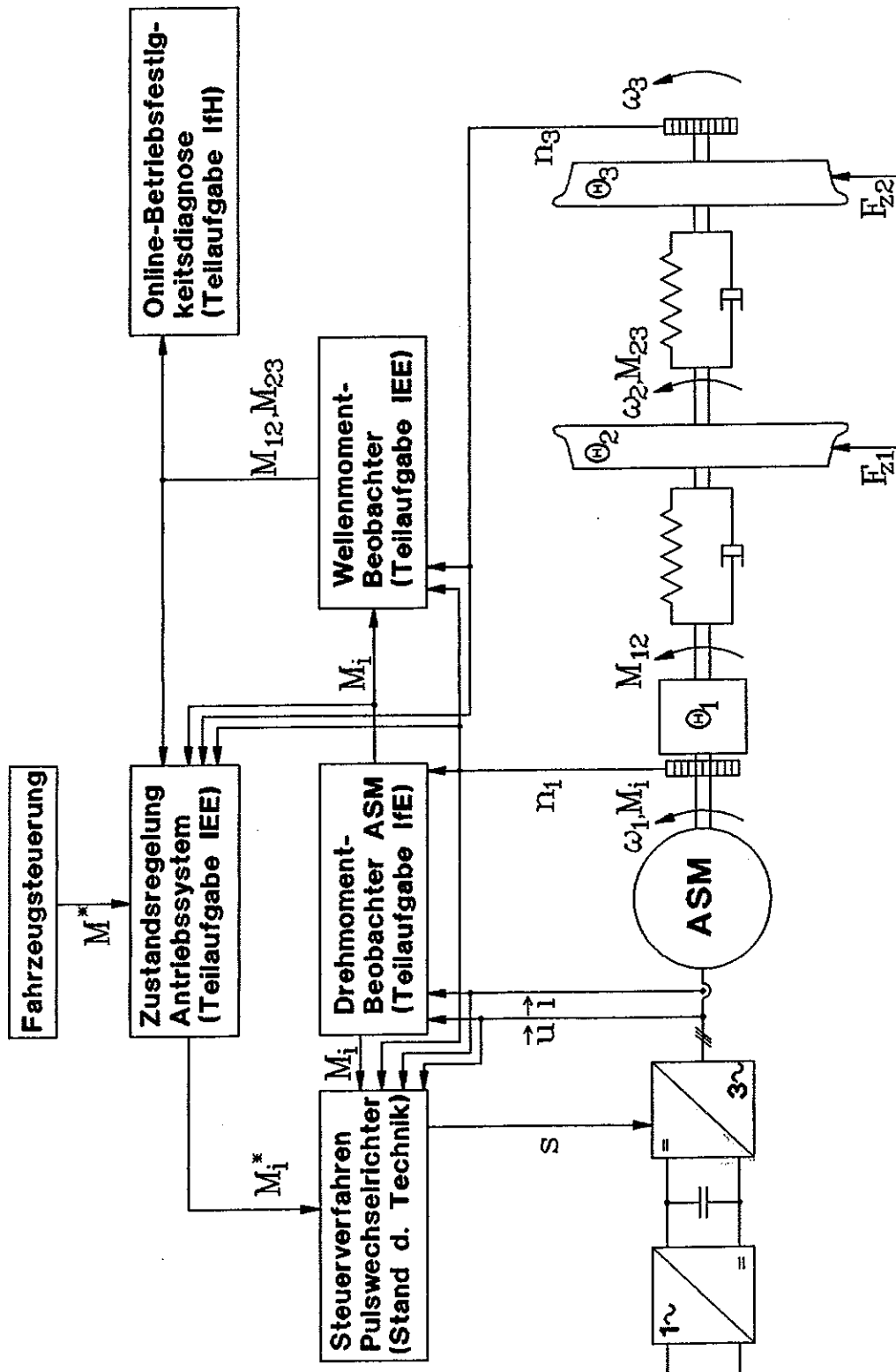
Bahnprüfstand für Einzelachsenantriebe zukünftiger Grenzleistungslokomotiven





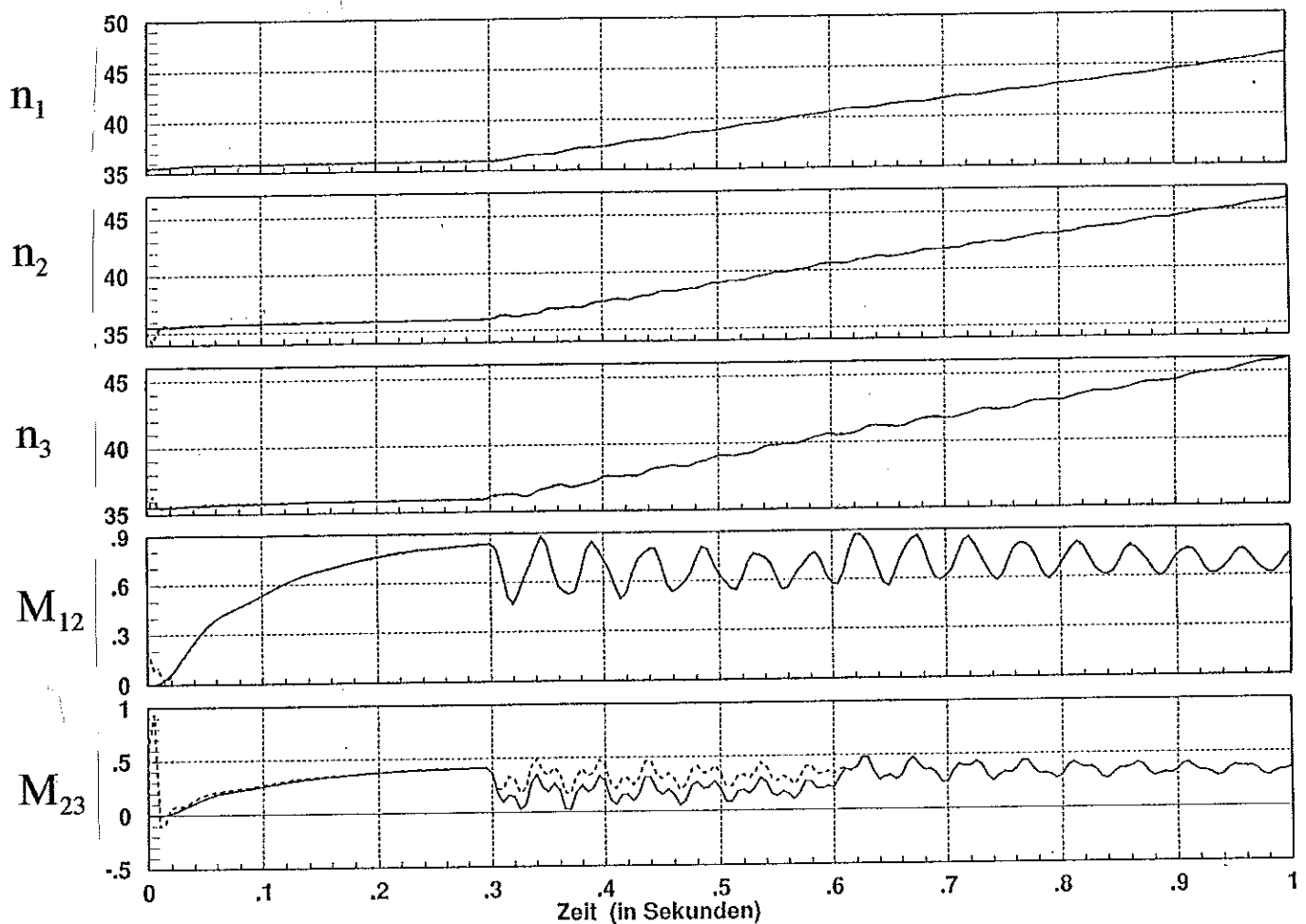
- Problem:** Im Antriebsstrang elektrischer Grenzleistunglokomotiven kommt es zu Torsionsschwingungen, die die Lebensdauer der mechanischen Komponenten herabsetzen.
- Ziel:** Minimierung der Lastkollektive bei Bahnantrieben durch aktive Bedämpfung der Torsionsschwingungen mittels digitaler Wellenmomentbeobachtung und -regelung.
(Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Alders)
- Stand der Technik:** Bei der Erprobung der ersten Drehstromlokomotiven zeigte sich, das konventionelle Gleit- und Schleuderschutzverfahren unbefriedigende Traktionsergebnisse liefern. In Prototypanwendungen wurden verschiedene neuere Verfahren untersucht, deren Ziel der Betrieb im Kraftschlußmaximum ist, um so die schädlichsten Torsionsschwingungen zu vermeiden. Hierbei wird jedoch die Mechanik im Antriebsstrang nicht besonders berücksichtigt.
- Lösungsweg:**
1. Entwicklung und Simulation eines integralen Regelkonzeptes für das Gesamtantriebssystem.
 2. Aufbau des Fahrmorterteiles des Bahnprüfstandes.
 3. Umsetzung des integralen Regelkonzeptes in Software für die Fahrmotorsteuerung.
 4. Erprobung des Regelkonzeptes am Prüfstand und Einführung von Verbesserungen .
- Vorteile angestrebter Lösungen:** Durch die Einführung der aktiven Bedämpfung kann eine höher Drehmomentdynamik im Drehstromantrieb zur Radschlupfregelung zugelassen werden. Außerdem werden die mechanischen Komponenten geschont.
- Bisherige Ergebnisse:**
- Die verfeinerte Modellierung des elektrischen und mechanischen Teil des Antriebs einer Grenzleistungslokomotive sowie des Rad-Schiene-Kontaktes wurde fortgesetzt.
 - Ein fortgeschrittenes Verfahren zur Kraftschlußausnutzung wurde in Simulationen näher untersucht.
 - Es wurden mehrere Verfahren zur Wellenmomentbeobachtung erfolgreich angewandt und die Ergebnisse verglichen.
- Voraussichtliches Ende:** 1994
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Engel (Tel.: 72-2592)

Datum: 1.12.92



© En, 10/91

Struktur eines integralen Regelkonzeptes für "lastkollektivminimierte Bahnantriebe"



- n_1 : Drehzahl des Fahrmotors (meßbar)
 n_2 : Drehzahl des direkt angetriebenen Rades
 n_3 : Drehzahl des indirekt angetriebenen Rades
 M_{12} : Hohlwellenmoment (normiert auf M_N)
 M_{23} : Radsatzwellenmoment (normiert auf M_N)

Bei Raddrehzahlen und Wellenmomenten sind Zustandsgrößen liniert und Schätzwerte gestrichelt geplottet.

Simulation des dynamischen Verhaltens im Antriebsstrang einer elektrischen Lokomotive bei Momentensprung



Problem,Ziel: Autonomes durch Windenergiekonverter gespeistes elektrisches Versorgungssystem mit Asynchrongenerator bei unsymmetrischer Last. Betriebsführung des Systems und Untersuchung der Netzruckwirkungen.

Stand der Technik: 1.Die Spannungsführung übernimmt eine ständig mitlaufende Synchronmaschine.
2.Bereitstellung des Blindstroms zur Erregung der Asynchronmaschine durch Kondensatoren oder Synchrongenerator.
3.Wirkleistungskompensation durch einen netzgeführten Umkehrstromrichter

Lösungsweg: 1.Modellierung und Simulation des autonomen Versorgungssystems auf dem Digitalrechner.
2.Netzführung durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung(USV)
3.Spannungs- und Frequenzregelung übernimmt der selbstgeführte Stromrichter der USV.
4.Der für die Erregung benötigter Blindstrom, wird durch die USV bereitgestellt.

Vorteile: 1.Verbetterung des Wirkungsgrads vom Gesamtsystem, Einsparung von Kraftstoff, Geräuschminderung.
2.Bessere Netzdynamik(Spannungs- und Frequenzstabilität)
3.Geringer Wartungsbedarf, ASM ist robust.
4.Redudanz und Erweiterbarkeit des Systems.

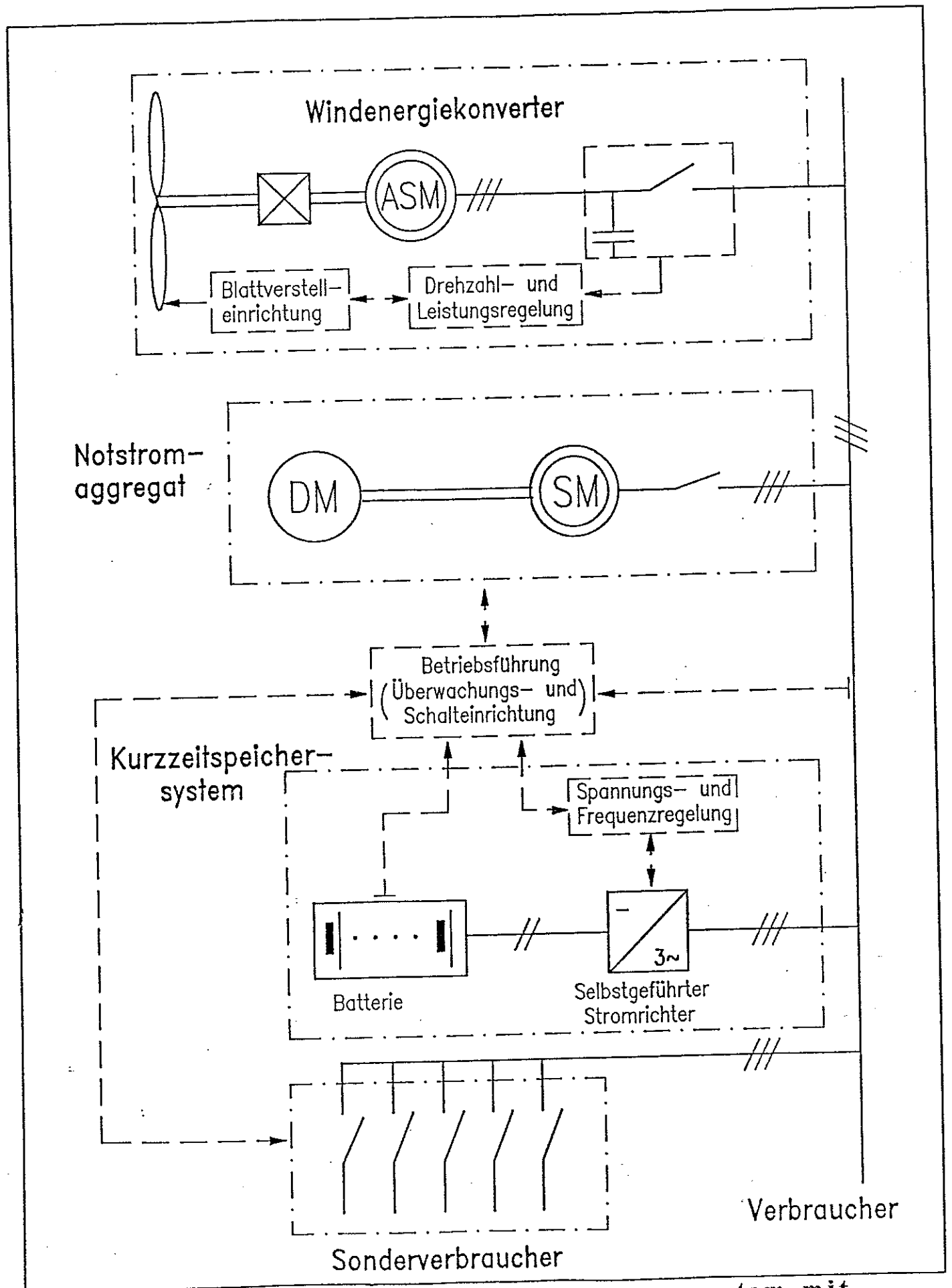
Bisherige Ergebnisse: 1.Konzeptentwicklung zur Stromerzeugung mit einem Aynchron-generator im Inselnetzbetrieb.
2.Untersuchung des dynamischen Verhaltens einer ASM mit Sanftanlasser am Netz.
3.Nachbildung des selbstgeführten Stromrichters durch Simulation.

Voraussichtliches Ende: 1994

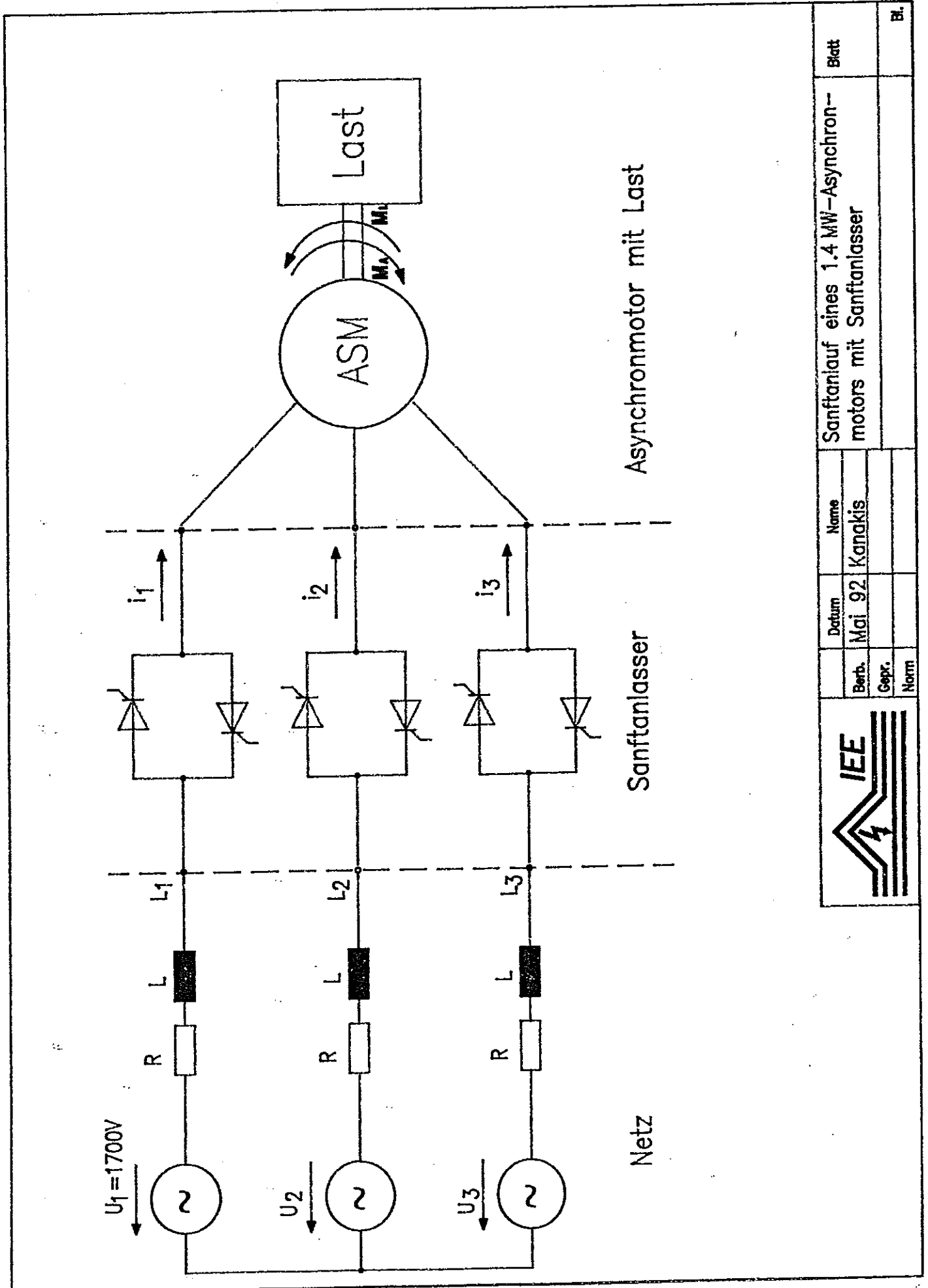
Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Kanakis (Tel.: 72-3637)

Datum: 9.12.1992

Projekt: Kombinierte Inselnetzversorgung mit Wind-und Sonnenenergie



Autonomes elektrisches Energieversorgungssystem mit Asynchrongenerator



IEE		Datum		Name		Blatt
IEE		Mai 92		Kanakis		
IEE		Berb.		Gepr.		Bl.
IEE		Norm				
Sanftanlauf eines 1.4 MW-Asynchronmotors mit Sanftanlasser						



-
- Problem:** In Walzwerken führen Walzenblockierungen in der Regel zu Betriebsstörungen bzw. zu Schäden an der Antriebsanlage.
- Ziel:** Die Reduzierung bzw. Vermeidung der Überlasten in den Antriebssträngen durch eine elektronische Havarie-sicherung.
- Stand der Technik:** Betriebsstörungen der genannten Art können zu einem vorzeitigen Ausfall der Walzanlage führen. Wartung und Reparatur von Sicherheitskupplungen führen zu Produktionsausfällen. Ein Leichtbau des Antriebsstranges ist zur Zeit noch nicht möglich.
- Lösungsweg:**
1. Entwicklung eines Steuerungs- und Regelungskonzeptes für Gleichstromantriebe
 2. Simulation des Konzeptes
 3. Erstellen eines Prüfstandes
 4. Erprobung des entwickelten Konzeptes am Prüfstand
- bisherige Ergebnisse:**
1. Simulationsergebnisse, Nulldurchgänge des Momentes im Getriebe beseitigt
 2. Prüfstand konzipiert und erstellt
→ Technische Notiz IEE/KY-1
 3. Studienarbeiten auf diesem Gebiet:
"Optimierung eines Gleichstrommaschinenantriebes für einen Prüfstand"
"Mathematisches Praktikum über die Simulation und Optimierung eines Gleichstromantriebes"
-

Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Walzwerkshauptantriebe



"Prinzipien elektrischer und mechanischer Schutzsysteme zur Verhütung von Schäden in Walzwerken"

"Entwicklung einer Lastaufschaltungsvorrichtung für einen Prüfstand"

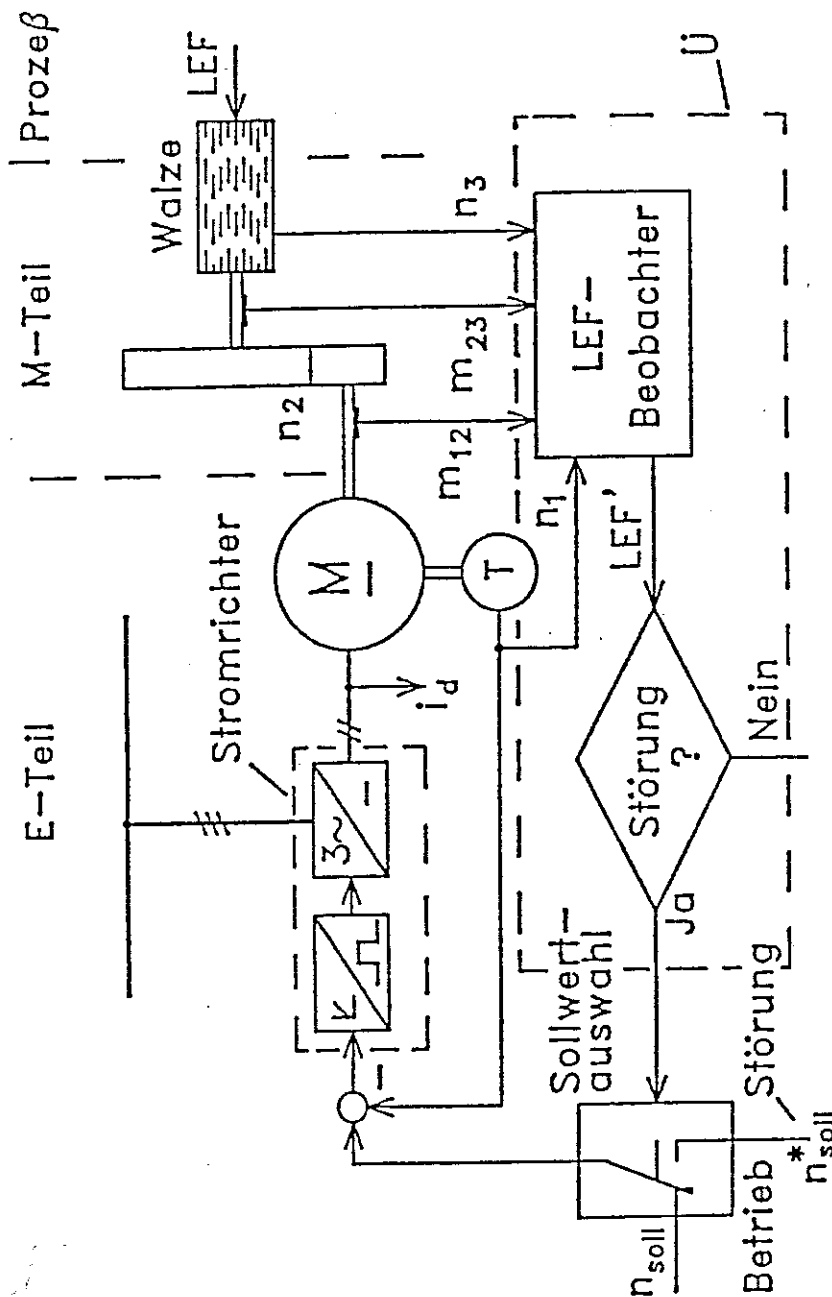
4. Veröffentlichung "Electronic equipment for the prevention of damages in rolling mill systems" auf der Konferenz "Metal Forming '92" in Krakau, Polen

Voraussichtliches Ende: 1994

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Hubert Kayser
(Tel.: 72-2572)

Datum: 01.12.1992

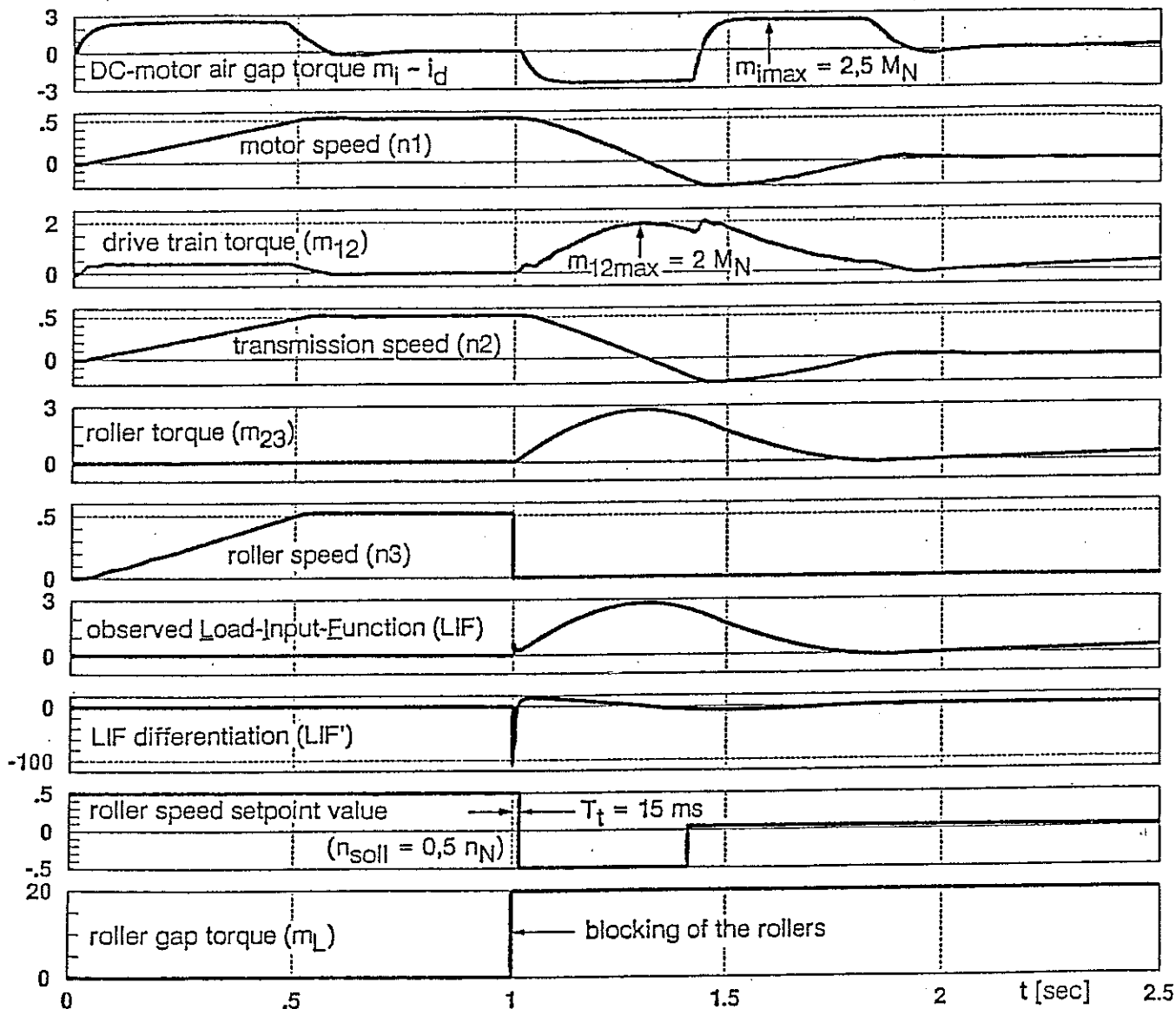
Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Walzwerkshauptantriebe



LEF: Last-Eingangs-Funktion

Prinzipbild eines stromrichter-gespeisten Gleichstromantriebes mit angekoppeltem 3-Massen-Schwinger mit Überlast-Überwachungseinrichtung (Ü).

Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Walzwerkshauptantriebe



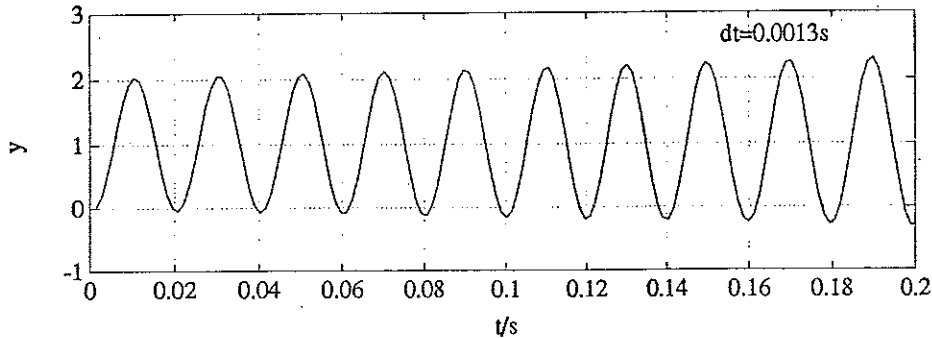
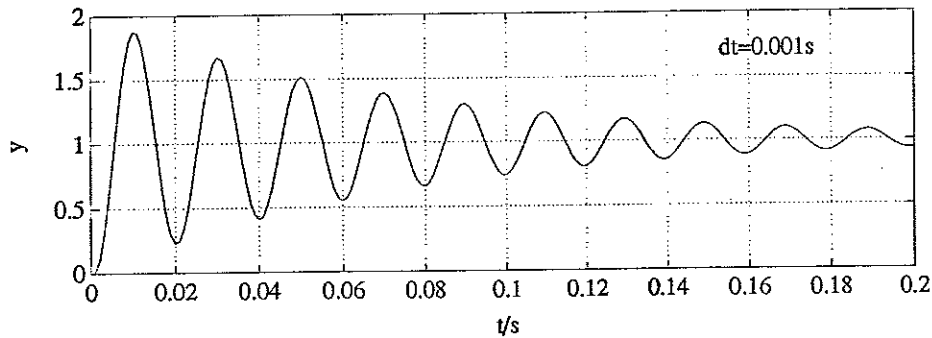
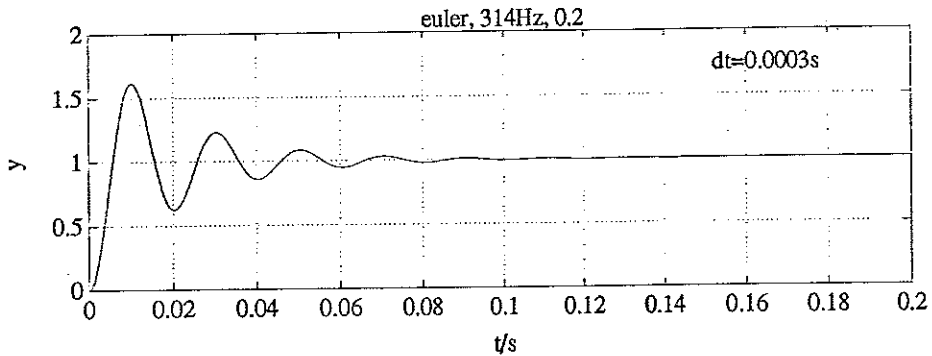
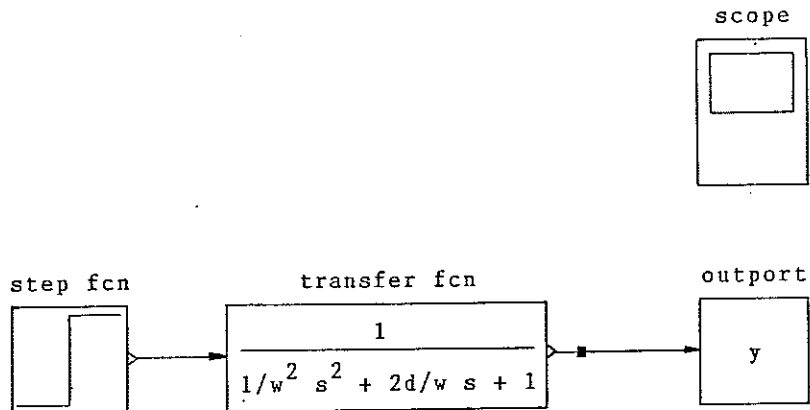
Simulation des dynamischen Verhaltens bei Walzenblockierung mit Einleitung der Gegenmaßnahme.
 Alle Drehzahlen und Drehmomente sind auf die Nennwerte M_N und n_N bezogen. Kein Nulldurchgang des Momentes im Getriebe.

Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Walzwerkshauptantriebe



- Problem, Ziel:** Vergleichende Untersuchung von Simulationssystemen mit Schwerpunkt auf den implementierten Integrationsverfahren. Die Untersuchungsergebnisse sollen der Bewertung und der Unterstützung bei der Auswahl von Simulationssystemen dienen.
- Stand der Technik:** Komplexe Simulationssysteme bieten i.a. mehrere Integrationsverfahren unterschiedlichen Typs zur numerischen Lösung der Simulationsaufgabe, wobei dem Anwender oft nur wenige Informationen zu deren Verhalten z.B. bezüglich Stabilität und Fehler vorliegen.
- Lösungsweg:**
1. Implementierung eines einfachen Testmodells mit schwingungsfähiger Ausgangsgröße und analytischer Lösung
 2. Untersuchung von Stabilität, Fehler und Rechenzeit unter dem Einfluß verschiedener Parameter
 3. Erstellung eines Kriterienkatalogs zur Beurteilung der Simulationssysteme anhand der gewonnenen Ergebnisse
- Vorteile der Untersuchungen:**
1. Objektive Vergleichsmöglichkeit der verschiedenartigen Integrationsverfahren unter festgelegten Testbedingungen
 2. Anwendungsorientierte Kriterien zur Bewertung der Simulationssysteme
 3. Anhaltspunkte zur Auswahl von Integrationsverfahren und Simulationssystem für bestimmte Aufgabenbereiche
- Bisherige Ergebnisse:** Untersuchung, Vergleich und Bewertung der Simulationssysteme Matlab und MATRIXx
- Voraussichtliches Ende:** April 1993
- Bearbeiter:** Dr.-Ing. G. Klepp

Datum: 1.12.1992



Testmodell zur Untersuchung der Integrationsverfahren und Beispiele für zeitliche Verläufe der Ausgangsgröße bei unterschiedlichen Integrationsschrittweiten



Problem, Ziel: Off-Line-Simulation von drehstromgespeisten Antriebssträngen mit schwingungsfähiger Mechanik unter Berücksichtigung von Kupplungs- und Getriebelose. Entwicklung neuer Konzepte zur Drehzahlregelung

Stand der Technik: Regelung der Drehzahl von elektrischen Groß-Antrieben mit PI-Regler und der Motordrehzahl als Meßgröße. Unterlagerte Regelung der drehmomentbildenden Komponente des Motorstromes.

Lösungsweg:

1. Modellierung und Off-Line-Simulation des Antriebsstranges auf dem Digitalrechner
2. Entwicklung, Gegenüberstellung und Bewertung neuartiger Konzepte zur Regelung
3. Simulationstechnische Überprüfung des ausgewählten Regelkonzeptes unter Echtzeitbedingungen
4. Stufenweise Erprobung des neuen Konzeptes am Prüfstand (Hardware in the Loop - Simulation).

Vorteile:

- Umsetzung moderner Regelkonzepte in die Praxis
- Verbesserung des dynamischen und stationären Regelverhaltens von elektrischen Antriebssträngen mit schwingungsfähiger Mechanik
- Große Flexibilität durch Verwendung moderner Digitalrechner

Ergebnisse:

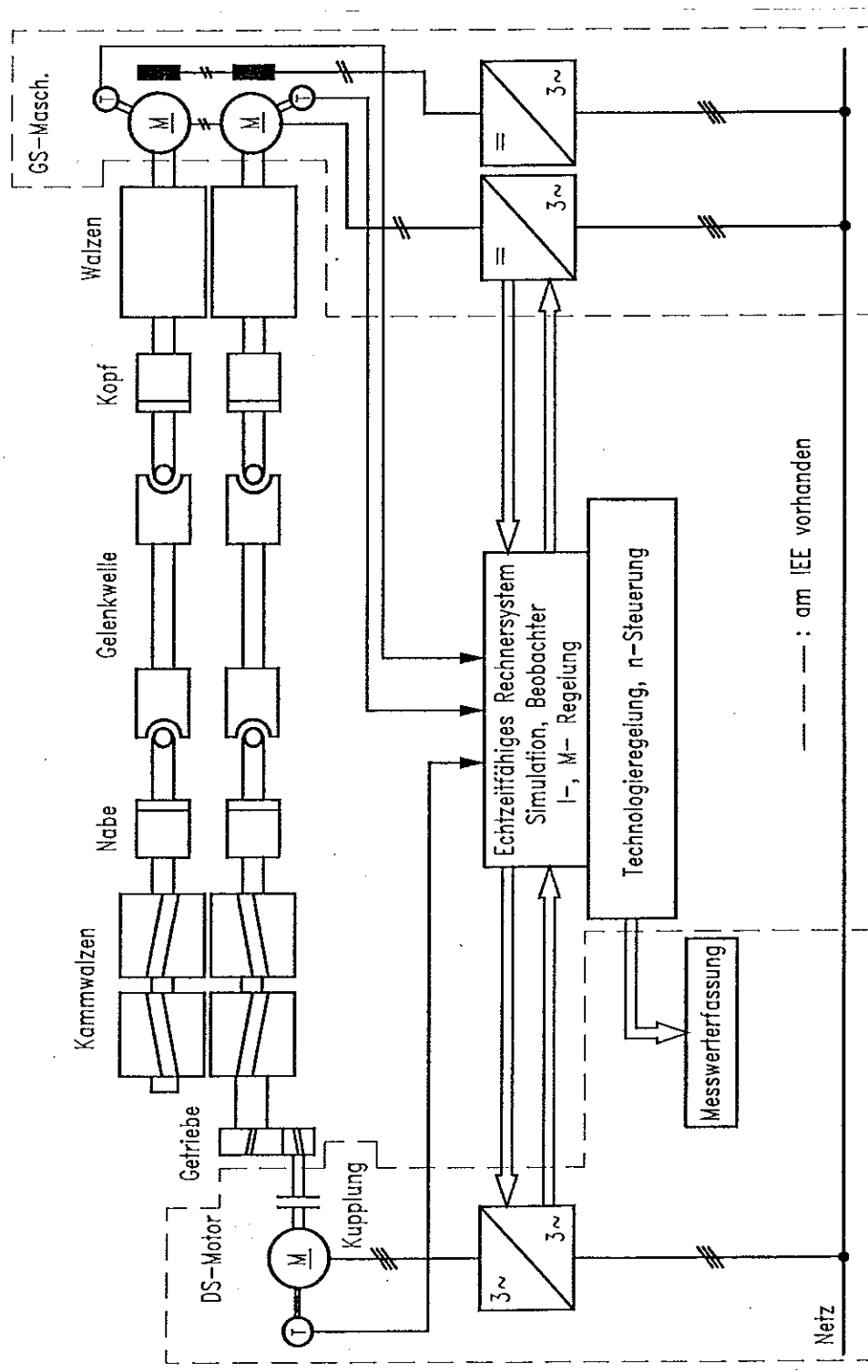
1. Modellierung und Off-Line-Simulation eines ausgewählten Antriebsstranges auf dem Digitalrechner
2. Untersuchung des Regelverhaltens des Antriebsstranges bei Anwendung von Standard-Regelverfahren

voraussichtliches Ende: 1995

Bearbeiter: Dipl.-Ing. M. Krüger (Tel.: 72-2593)

Datum: 02.12.1992

Projekt: Regelung von drehstromgespeisten Antriebssträngen mit schwingungsfähiger Mechanik



Beispiel: Konzept zur Regelung eines Walzwerk-Hauptantriebs (Prüfstandkonzeption)

Projekt: **Regelung von drehstromgespeisten Antriebssträngen mit schwingungsfähiger Mechanik**

- Problem:** Untersuchung der Möglichkeiten zur Echtzeitsimulation verschiedener Antriebssysteme mit unterschiedlichen Regelverfahren und unterschiedlichen Prozeßstrukturen
- Stand der Technik:**
- ◆ Zur Zeit werden Simulationen hauptsächlich in Teilgebieten eingesetzt, z. B. zur Optimierung von Regelkreisen oder zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens von Feder-Masse-Systemen
 - ◆ "Prozeßbegleitende" Echtzeitsimulation wird selten bei komplexen Systemen eingesetzt, i. A. wegen zu geringer Rechengeschwindigkeiten
- Arbeitsschritte:**
- ◆ Vergleich der Leistungsfähigkeit vorhandener mächtiger, anwendungsorientierter Simulationssysteme (Netasim, MatrixX, Scale/F, Matlab/Simulab), insbesondere der Rechengeschwindigkeit
 - ◆ Erarbeiten eines ausbaufähigen Konzeptes für die Soft/Hardware-Investitionen zur Echtzeit-Simulation
 - ◆ Realisierung des Soft/Hardware-Konzeptes zur Echtzeit-Simulation
 - ◆ Untersuchung verschiedener Antriebssysteme in "Echtzeit"
 - ◆ Entwicklung von Entscheidungskriterien zur Auswahl von Antriebssystemen mit prozeßbegleitender Echtzeitsimulation anhand von Simulationsergebnissen
- Ziel:** Einsatz von Echtzeitsimulation im Online-Betrieb zur Prozeßüberwachung und Prozeßsteuerung durch Erarbeitung von Belastungs- bzw. Lebensdauerprognosen aufgrund von Ereignissen im Prozeß
- bisherige Ergebnisse:** Für den Vergleich der Simulationssysteme wurden zwei Testsysteme ausgewählt. Es wurden bisher verschiedene Simulationsläufe mit Scale/F, Netasim, MatrixX und Matlab durchgeführt. Dabei ergaben sich in Abhängigkeit von der Komplexität der durchgeführten Simulation durch Hard- und Softwareinflüsse zum Teil erhebliche Zeitdifferenzen. (vgl. Bild 1)
- Voraussichtliches Ende:** April 1994
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Wolfram Mendt (Tel. 72-2938)

Datum: 04.12.1992

Bild 1: Vergleich der Rechenzeiten verschiedener Simulationssysteme bezüglich zweier ausgewählter Testmodelle (s. a. Technische Notiz 10/92)

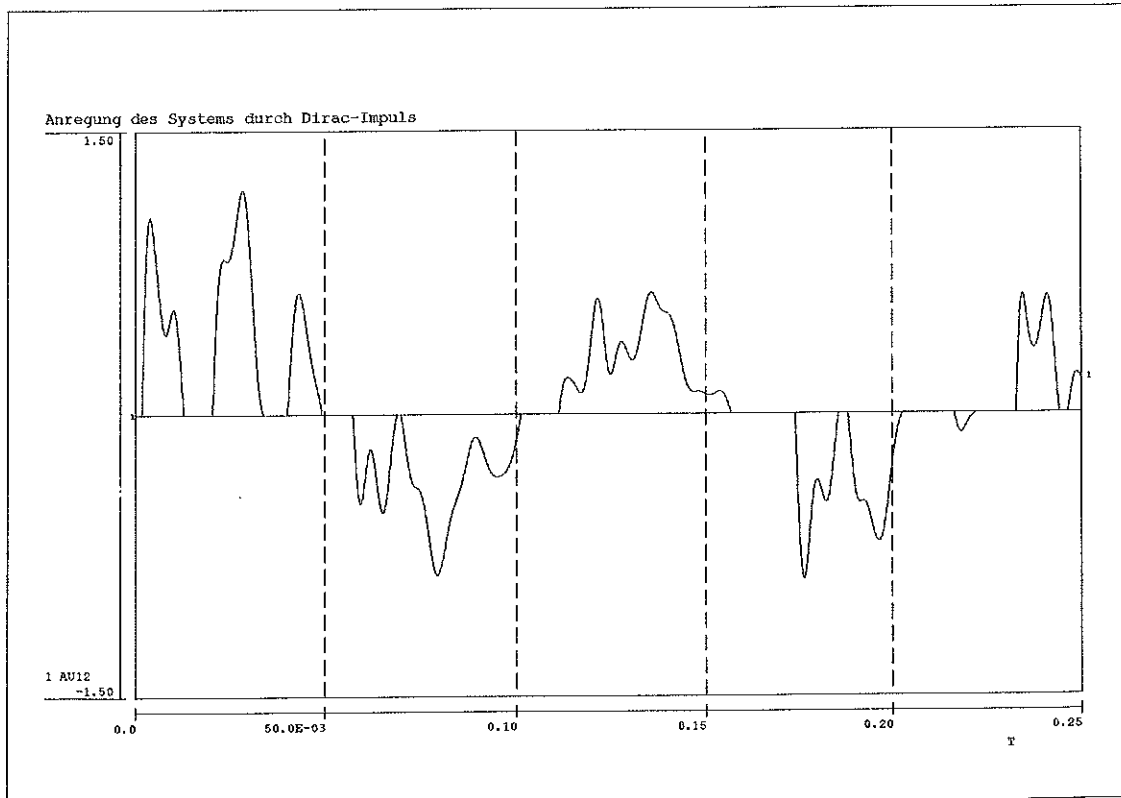
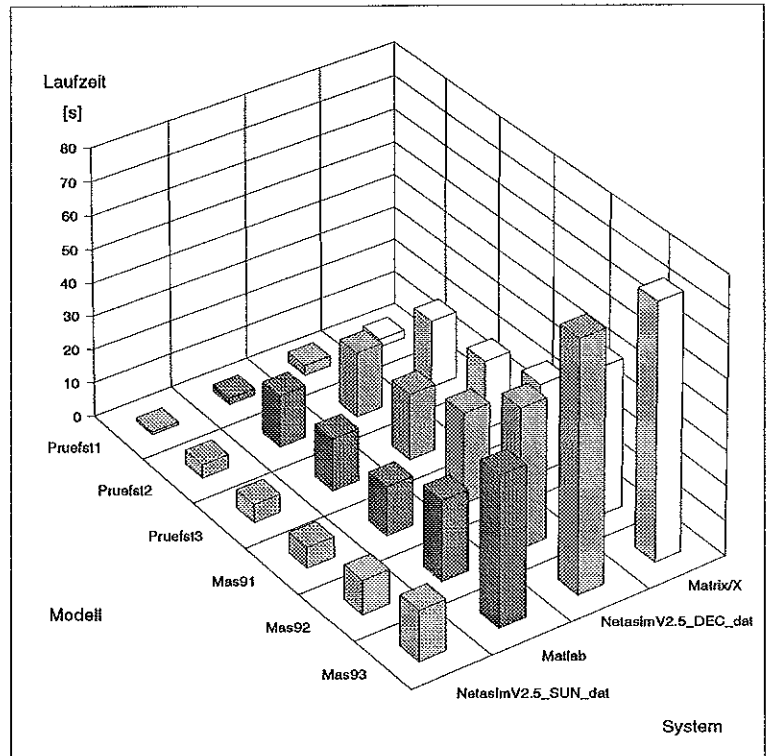


Bild 2: Drehmoment in einem spielbehafteten Wellenstück eines Walzgerüstantriebs mit acht Massen



Problem,Ziel: Autonome modulare Energieversorgung mit Windenergie und Photovoltaikeinspeisung zur Versorgung von Verbrauchern mit elektrischer Energie aus einem Inselnetz, ohne ständig mitlaufendem Dieselgenerator.

Stand der Technik: 1.Synchrongenerator läuft ständig mit. Er sorgt für Blindleistungskompensation sowie Spannungs- bzw. Frequenzstabilität
2.Wirkleistungskompensation durch einen netzgeführten Umkehrstromrichter

Lösungsweg: 1.Synchrongenerator (elektromechanischer-Phasenschieber) durch selbstgeführten Stromrichter ersetzen.
2.Netzführung durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung(USV)
3.Spannungsstabilität durch selbstgeführten Stromrichter.

Vorteile: 1.Bessere Netzdynamik(Spannungs- und Frequenzstabilität)
2.Weniger mechanische Komponenten, geringer Verschleiß
3.Geringer Wartungsbedarf
4.Geringere Geräuschemissionen

Bisherige Ergebnisse: 1.Konzeptentwicklung "AMOEVES"
2.Windrotorsimulation und Nachbildung des Betriebsverhaltens vom Windrotor
3.Simulation des Windenergiekonverters
4.Aufbau des Versuchstandes (Prüfstand : "AMOEVES")

Voraussichtliches Ende: 1994

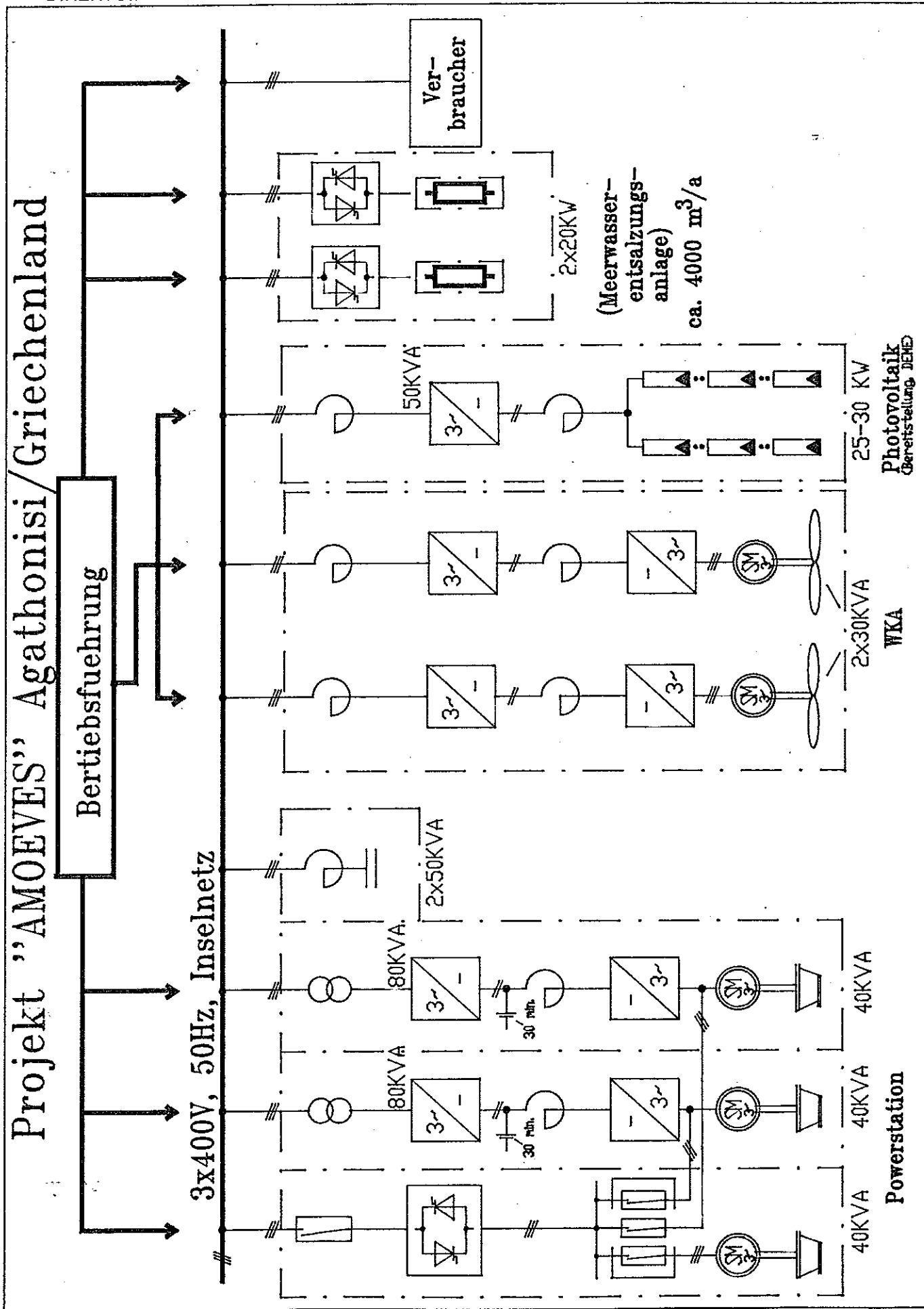
Bearbeiter: Dipl.-Ing. C. Sourkounis (Tel.: 72-2594)

Datum: 1.12.1992

Projekt: Kombinierte Inselnetzversorgung mit Wind-und Sonnenenergie



Projekt "AMOEVES" Agathonisi/Griechenland





- Problem, Ziel:** Entwicklung eines Schwingantriebes mit neuartiger Magnetfeldgestaltung (TFB) für verschiedene Einsatzgebiete (Schwingförderer, Siebe, Schwingmühlen ...). Reduzierung der klassischen Probleme von Schwingantrieben, wie Lagerverschleiß, lange An- und Auslaufzeiten, geringe Variation der Schwingamplitude.
- Stand der Technik:** Lineare Schwingantriebe werden häufig durch Unwucht-, bzw. Schubkurbelsysteme angetrieben. Dabei entstehen hohe Lager- und Fundamentkräfte mit entsprechend großen Verschleißproblemen. Für dynamische Anforderungen sind An- und Auslaufzeiten zu groß. Bei zweidimensionalen Schwingsystemen (Schwingmühle) lassen sich mit Unwuchterregern nur kreisförmige Bewegungen erreichen.
- Lösungsweg:** Bei Magnetantrieben mit Transversalfeld-Beschleunigern (TFB) steht das magnetische Erregersystem senkrecht zur Schwingrichtung.
- Nach diesem Prinzip wurden für die Zielanwendung "Schwingförderer" mathematische Modelle zur Simulation des Gesamtsystems entwickelt und anhand meßtechnischer Untersuchungen an verschiedenartigen Versuchsmustern in Originalgröße verifiziert.
 - Die Übertragung dieses Konzeptes auf das zweidimensionale Antriebssystem einer Schwingmühle (Reaktionsmühle) wird z.Z. vorbereitet.
- Vorteile:**
- Der TFB-Antrieb erlaubt größere Variationen der Schwingamplitude als traditionelle Magnetantriebe bei besserer Ausnutzung des Magnetsystems.
 - Gegenüber den rotierenden Antrieben werden die Verschleißprobleme prinzipiell vermieden, da die Antriebskräfte nicht die Lager belasten.
 - Lange An- und Auslaufzeiten mit entsprechenden Resonanzproblemen bei Zwischendrehzahlen entstehen nicht.
 - Bei zweidimensionalen Schwingsystemen ist über zwei senkrecht zueinander wirkende TFB-Antriebe mit entsprechender Umrichter-Speisung die Steuerung der Schwingbahn-Kurve nach verfahrenstechnischen Gesichtspunkten möglich.
- Ergebnisse:**
- Erprobtes Simulationsmodell zur Systemauslegung für TFB-Schwingantriebe
 - Erfolgreiche Inbetriebnahme zweier sehr unterschiedlicher Versuchsmuster in Normalgröße

voraussichtliches Ende des Projektes:

Bearbeiter:

1995
Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Datum:

08.12.1992

Projekt: Schwingantriebe mit neuartiger Magnetfeldgestaltung (TFB)

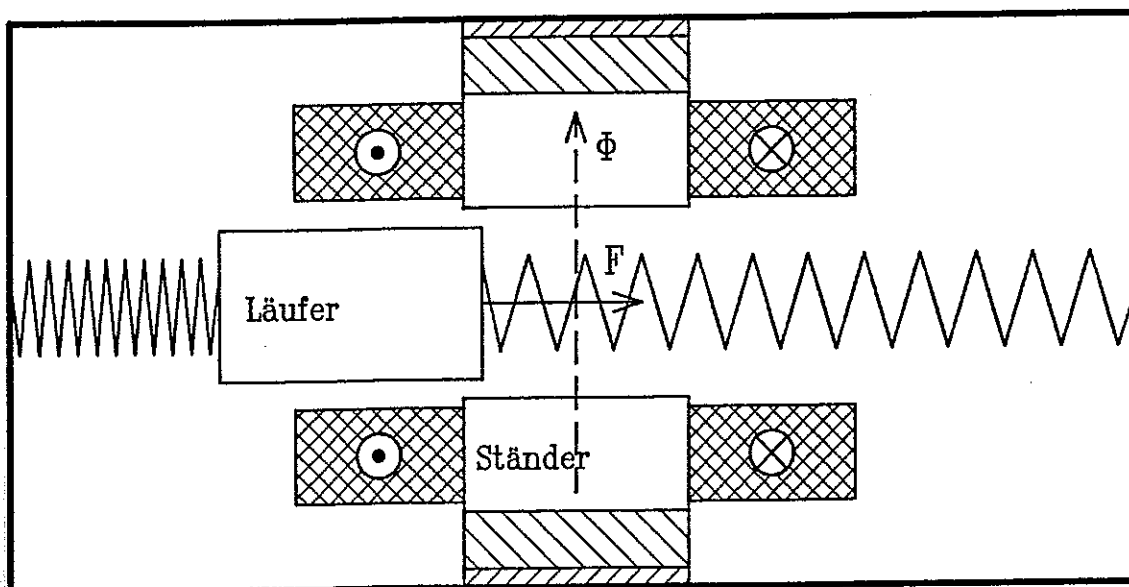
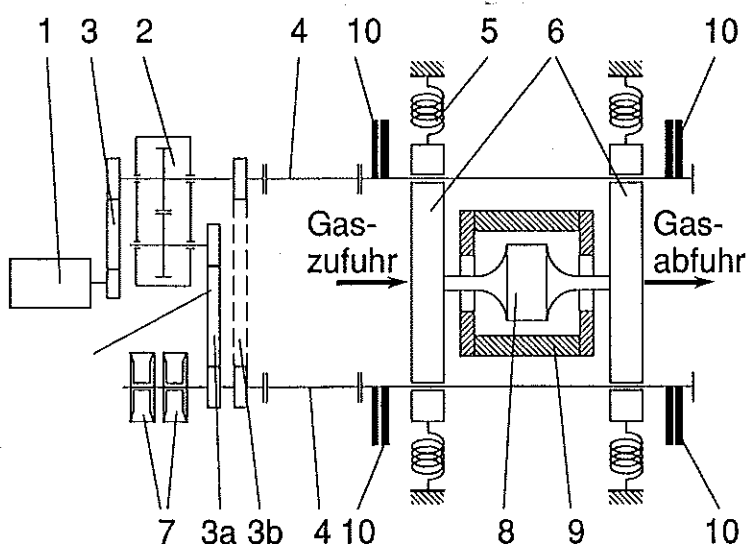


Bild 1: Prinzip des Transversalfeldbeschleunigers (TFB)

Quelle: Diss. Wehrmann, IEE 1990



- 1 Asynchronmotor
- 2 Stirradgetriebe
- 3 Zahnriemen
- 4 Gleichlaufgelenkwelle
- 5 Feder
- 6 Traversen
- 7 Lagerbock
- 8 Mahlbehälter
- 9 Ofen
- 10 je zwei Unwuchtscheiben

Bild 2: Prinzipskizze einer Reaktionsmühle

Quelle: Mitteilungsblatt des Vereins von Freunden der TU Clausthal Heft 73, 1992

4 Personelle Besetzung

(Stand 1.12.92)

4.1 Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts

Hochschullehrer: (Institutsdirektor)	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Oberingenieur:	Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann
Akademischer Rat a. Z.:	Dipl.-Ing. W. Mendt
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Frau Dr.-Ing. G. Klepp Dr.-Ing. B. Jain Dipl.-Ing. J. Alders Dipl.-Ing. B. Engel Dipl.-Ing. A. Kanakis Dipl.-Ing. H. Kayser Dipl.-Ing. M. Krüger Dipl.-Ing. K. Sourkounis
Gastwissenschaftler:	Dr.-Ing. J. Bialek Dr.-Ing. H.-D. Obenauf
Mitarbeiter im Technischen und Verwaltungsdienst:	Frau E. Mendt Herr D. Bartz Herr W. Hansmann Herr F. Höfner Herr V. Just Herr H. Kirchner Herr R. Koschnik Herr H. Schultze (Hausmeister) Herr I. Vahldiek

4.2 Nebenamtlich tätige Hochschullehrer

Prof. Dr. rer. nat. W. Mückenheim

Dr.-Ing. W.-R. Canders

Dr.-Ing. W. Diemar

Dr.-Ing. D.-J. Wahl

Dipl.-Ing. G. Helmholtz

4.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Frau cand.-Ing. R. Riebenstahl

cand.-Ing. A. Barthold

cand.-Ing. S. Bokämper

cand.-Ing. K. Frank

cand.-Ing. A. Franzen

cand.-Ing. T. Freder

cand.-Ing. M. Götz

cand.-Ing. F. Hoffmann

cand.-Ing. M. Stutz

cand.-Ing. P. Wieland

4.4 Von der Lehrverpflichtung befreite Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. (em.) K. Bretthauer

4.5 Mitgliedschaften und Funktionen

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck Leiter des Praktikantenamtes,
Mitglied des Fachbereichsrates MVT,
Leiter der Baukommission MVT,
Mitglied der Senatsbaukommission,
Mitglied der Berufungskommission des FB MVT - Nachfolge
Prof. Krebs,
Mitglied der Berufungskommission des FB Mathematik und
Informatik - Nachfolge Prof. Albrecht,
Mitglied des Forum Clausthal,

Mitglied der Berufungskommission des FB Informatik der Berg-
akademie Freiberg,
Mitglied der Evaluierungskommission der TU Magdeburg,
Mitglied der Berufungskommission der Fakultät Elektrotechnik der
TU Magdeburg

Herr W. Hansmann	Mitglied im Personalrat, Gefahrstoffbeauftragter
Herr H. Kirchner	Mitglied im Personalrat
Herr R. Koschnik	Ausbilder, Sicherheitsbeauftragter

ANLAGEN

- Anlage 1 Vorlesungskommentare zu den vom IEE angebotenen Lehrveranstaltungen
- Anlage 2 H.-P. Beck/H. Zenner: Elektronische Einrichtung zur Minimierung der Überlasten in Antriebswellen von Walzgerüsten
- Anlage 3 Beck u.a.: Elektrotechnisches Festkolloquium
- Anlage 4 H. Kayser: Electronic equipment for the prevention of damages in rolling mill systems
- Anlage 5 Zusammenfassung der Patentanmeldung "Autonomes modulares Energieversorgungssystem für Inselnetze"
- Anlage 6 Programm des Elektrotechnischen Fachkolloquiums
- Anlage 7 Institutsausstattung

Institut für Elektrische Energietechnik	
Theorie der elektromagnetischen Felder	S 8817
<u>Zielgruppe:</u> Studenten der "Elektrotechnik im Maschinenwesen" und "Technomathematik"	
Prof. Dr. rer. nat. W. Mückenheim	2V / 1Ü Fr Blockvorlesung (Z. n. V.)
<ul style="list-style-type: none"> - Vektoralgebra und Vektoranalysis Sätze von Gauß und Stokes - Statisches elektrisches Feld im leeren Raum Dipol- und Quadrupolfeld - Statisches elektrisches Feld in Materie Elektrische Polarisation Kondensator mit Dielektrikum - Stationäres und langsam veränderliches Magnetfeld Coulombbeziehung Biot-Savartsches Gesetz - Veränderliche elektromagnetische Felder Maxwell-Gleichungen Lorentzgleichung Wellengleichungen Skineffekt Hertzscher Dipol 	
<u>Literatur:</u> G. Piefke: Feldtheorie I, BI 771/a/b (1971) G. Lautz: Elektromagnetische Felder, Teubner (1969) M. Wagner: Elemente der Theoretischen Physik 2, Rowohlt (1977) G. Eder: Elektrodynamik, BI 233/a (1967) A. Sommerfeld: Elektrodynamik, Akad. Verlagsges. Leipzig (1967)	
<u>Vorlesungsskript:</u> ----	

Institut für Elektrische Energietechnik	
Grundlagen der Elektrotechnik I	W 8800
<u>Zielgruppe:</u> alle Studenten der Ingenieurwissenschaften <u>Voraussetzungen:</u> keine	
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck	2V Di 08.15-09.45 1Ü Mo 09.15-10.00
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Einführung</u> 2. <u>Grundsätze des Gleichstromkreises</u> Einfacher Stromkreis, Berechnung von Widerstandsnetzwerken 3. <u>Energiebedarf elektrischer Strömung</u> Grundgesetze, Wirkungsgrad, Anpassung, Energieumwandlung, Wirkungsgrad bei der Energieübertragung 4. <u>Wirkungen elektrischer Strömung</u> Wärmewirkung, chemische Wirkung, magnetische Wirkung, physiologische Wirkung, optische Wirkung 5. <u>Elektrisches Feld</u> Abgrenzung zum Strömungsfeld, Größen zur Feldbeschreibung Verhalten von Kapazitäten im Stromkreis, Anwendung des elektrischen Feldes 6. <u>Magnetisches Feld</u> Einführung, Übersicht, Größen zur Feldbeschreibung, Beispiele magnetischer Felder, Materie im Magnetfeld, Induktionsgesetz, Kräfte und Energie im Magnetfeld, Vergleich E- und M-Feld 7. <u>Leitungsmechanismus in Halbleitern</u> Leitfähigkeit von Halbleitern, Halbleiterelemente mit einfachem PN-Übergang, Halbleiterelemente mit gesteuertem PN-Übergang 8. <u>Grundsätze des Wechselstromkreises</u> Einführung, Zeigerdarstellung von Sinusgrößen, einfacher Sinusstromkreis, komplexe Sinusstromkreis-Berechnung, Schwingkreise 	
<u>Hinweis:</u> Zu dieser Vorlesung findet das Pflichtpraktikum "Grundlagen der Elektrotechnik I" statt.	
<u>Literatur:</u> Möller/Fricke/Frohne/Vaske - Grundlagen der Elektrotechnik, Teubner-Verlag Stuttgart, 17. Auflage	
<u>Vorlesungsskript:</u> Es werden Arbeitsblätter zur Vorlesung mit weiteren Literaturangaben herausgegeben.	

Institut für Elektrische Energietechnik	
Grundlagen der Elektrotechnik II	S 8801
Zielgruppe: alle Studenten der Ingenieurwissenschaften Voraussetzungen: keine	
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck	2V Di 08.15-09.45 1Ü Do 13.00-13.45
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Grundgesetze der Dreiphasen-Sinusstromkreise</u> Offenes und verkettetes Dreiphasensystem, Drehfelderzeugung, Drei- und Vierleiterbetrieb 2. <u>Schutzmaßnahmen gegen hohe Berührungsspannungen</u> Physiologische Wirkungen von Körperströmen, Berührungsschutzmaßnahmen, Berührungsschutz durch Schutzabschaltung 3. <u>Nichtlineare Wechselstromkreise</u> Definitionen und Beispiele, Wechselstromkreise mit Eisendrosselspule, Wechselstromkreise bei höheren Frequenzen, Wechselstromkreise mit elektrischen Ventilen 4. <u>Magnetische gekoppelte Wechselstromkreise</u> Idealer Transformator, realer Transformator, realer Transformator im Betrieb, Drehstromtransformatoren 5. <u>Drehfeldmaschinen</u> Grundprinzipien, Asynchronmaschine 6. <u>Gleichstrommaschine</u> Grundprinzip, Aufbau und mathematisches Modell 	
<u>Hinweis:</u> Zu dieser Vorlesung findet das Pflichtpraktikum "Grundlagen der Elektrotechnik II" statt.	
<u>Literatur:</u> Möller/Fricke/Frohne/Vaske - Grundlagen der Elektrotechnik, Teubner-Verlag Stuttgart, 17. Auflage	
<u>Vorlesungsskript:</u> Es werden Arbeitsblätter zur Vorlesung mit weiteren Literaturangaben herausgegeben.	

Institut für Elektrische Energietechnik	
Elektrowärme	W 8802
Zielgruppe: "E-Technik", "Energietechnik", "Metallurgie" Voraussetzungen: Grundlagen der Elektrotechnik	
Dr.-Ing. W. Diemar	2 V / 1 Ü Blockvorlesung (Z. n. V.)
<ol style="list-style-type: none"> 1. El. Energie für wärmetechnische Produktionsverfahren 2. Wirtschaftlichkeit der Elektrowärmeverfahren 3. Widerstandserwärmung <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Unmittelbare Widerstandserwärmung 3.2 Mittelbare Widerstandserwärmung 4. Lichtbogenerwärmung <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Grundlagen 4.2 Aufbau von Öfen 4.3 Lichtbogenofenbetrieb 4.4 Regelungstechnische Probleme 4.5 Besondere industrielle Anwendungen 4.6 Unsymmetrie Probleme 5. Induktive Erwärmung <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Theorie der induktiven Erwärmung 5.2 Induktionsöfen 5.3 Berechnungsmethoden 5.4 Energieversorgung 6. Plasmaerwärmung <ol style="list-style-type: none"> 6.1 Grundlagen 6.2 Anwendung der Plasmaerwärmung 7. Elektronenstrahlerwärmung <ol style="list-style-type: none"> 7.1 Elektronenstrahlkanonen 7.2 Anwendungen 8. Dielektrische Erwärmung <ol style="list-style-type: none"> 8.1 Theorie 8.2 Industrielle Anwendungen 9. Infrarot Erwärmung 10. Mikrowellenerwärmung 11. Temperatur und Leistungsregelung <ol style="list-style-type: none"> 11.1 Regelkreise 11.2 Zweipunkt-, Dreipunktregelung 11.3 Temperaturmessungen 	
<u>Literatur:</u> F. Lauster: Elektrowärmetechnik, Teubner Verlag, Stuttgart J. H. Brunklaus, F. J. Stephanek: Industrieföfen, Bau und Betrieb, Vulkan Verlag, Essen, 5. Auflage	
<u>Vorlesungsskript:</u> wird herausgegeben	

Institut für Elektrische Energietechnik		S 8803
Elektrische Antriebe		
Zielgruppe: Studenten des Maschinenbaus Voraussetzung: Grundlagen der Elektrotechnik		
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck		2V Mi 11.15-12.45 1Ü Di 09.15-10.00
<p>1. <u>Einführung</u> Historische Entwicklung, Anforderungen, Energiewandler und Energieumformer, Energieumformung mit Stromrichtern, Grundgleichungen des elektrischen Antriebs, Drehmomentkennlinien von Arbeitsmaschinen</p> <p>2. <u>Gleichstrommaschine</u> Kommutator, Grundgleichungen der GS-Maschine, Leistung und Drehmoment, Ankerückwirkung, Betriebsverhalten, Nebenschlußmaschine, Reihenschlußmaschine, fremderregte Gleichstrommaschine, Gleichstromstellergereseiste Gleichstrommaschine, Einquadranten- und Mehrquadrantenstromrichter-Gleichstromantriebe</p> <p>3. <u>Transformatoren</u> Eiphasentransformator, Sonderformen von Transformatoren, Dreiphasentransformator, Wirkungsgrad, Schaltgruppen</p> <p>4. <u>Asynchronmaschine</u> Allgemeines, Drehspannungssystem, Drehfeld, Aufbau und Wirkungsweise, Ersatzschaltbild auf die Ständerseite bezogen, Wirkungsweise, Drehtransformator, Wicklungssatzschaltbilder, Asynchronkurzschlußläufermaschine, Leistung und Drehmoment, Drehmoment-Schlupf-Kennlinie, Betriebsverhalten, verlustarmes und verlustbehaftetes Drehzahlstellen, Bremsen und Umsteuern, Regelung von Asynchronmaschinen</p> <p>5. <u>Allgemeines über elektrische Antriebe</u> Stationäre Antriebe, ortsveränderliche Antriebe, technischer Vergleich mit nichtelektrischen Antrieben, Bauformen, Betriebsarten, Kühlung, Wirkungsgrad, Elektromotor und Arbeitsmaschine</p> <p><u>Praktikum:</u> Zu dieser Vorlesung wird im Wintersemester das "Praktikum zu elektrischen Antrieben I" angeboten</p> <p><u>Literatur:</u> Eckhard, H.: Grundzüge der elektrischen Maschinen Teubner Studienbücher Elektrotechnik/Maschinenbau Lämmerhirt, E.-H.: Elektrische Maschinen und Antriebe, Carl-Hanser-Verlag München, Wien</p> <p><u>Vorlesungsskript:</u> Es wird ein Vorlesungsskript mit Literaturangaben herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		W 8805 S 8805 (14-tägig)
Elektrische Maschinen		
Zielgruppe: "E-Technik im Mb" und "Energietechnik/-systeme" Voraussetzung: Grundlagen der Elektrotechnik		
Dr.-Ing. Canders		1V Mi 16.00-16.45 1Ü Mi 16.45-17.30/ 1V Di 16.00-17.30
<p>WS: <u>Grundlagen der elektromechanischen Energiewandlung</u></p> <p>1. Allgemeine Grundlagen - Gesetze des magnetischen Kreises, Kraft auf stromdurchflossene Leiter</p> <p>2. Die Gleichstrommaschine - Aufbau, Wirkungsweise, Betriebsverhalten, Sonderprobleme</p> <p>3. Der Transformator - Aufbau, Wirkungsweise, Betriebsverhalten, Drehstromtransformatoren</p> <p>4. Drehfelder - Erzeugung von Drehfeldern, Drehstromwicklungen, Drehstrombelag</p> <p>5. Komplexe Raumzeiger - Raumzeiger der zeitabhängigen Größen, Raumzeiger der ortsabhängigen Größen</p> <p>6. Die Asynchronmaschine - Aufbau, Wirkungsweise, Drehmomentbildung, Betriebsverhalten, Leistungsbilanz, Schleifringläufer, Käfigläufer, Sonderbauformen</p> <p>7. Die Synchronmaschine - Voll- und Schenkelpolmaschine, Spannungsgleichungen, Betriebsarten, Betriebskennlinien, Gleichungen in d,q-Komponenten (Zweiachsen-theorie)</p> <p>SS: <u>Elektromechanische Sonderprobleme der elektr. Maschinen</u></p> <p>8. Einseitiger magnetischer Zug - Ursachen, magnetische Zugkraft, Einfluß auf das Betriebsverhalten</p> <p>9. Dynamisches Verhalten der Drehfeldmaschinen - kritische Lastfälle, Kurzschluß der Synchronmaschine, Anwendung der Zweiachsentheorie, Stoßmomente</p> <p>10. Die Drehfeldmaschine als Teil eines Wellenstranges - Schnittstelle Maschine-Wellenstrang, Nachbildung von Kupplungen als nichtlineare Drehfeder, Einfluß der Kupplung auf die Beanspruchung des Wellenstranges</p> <p>11. Der Anlauf der Asynchronmaschine - der Anlauf als Ausgleichsvorgang, Anfahrpendelmomente im Luftspalt und im Wellenstrang, transiente Stromverdrängung</p> <p>12. Die Netzumschaltung der Asynchronmaschine - Besonderheiten des Ausgleichsvorganges</p>		
Literatur: H. Eckhardt: Grundzüge der elektrischen Maschinen Teubner Studienbücher		
Vorlesungsskript: Für das Sommersemester wird ein Skript mit Literaturangaben herausgegeben.		

Institut für Elektrische Energietechnik		W 8808
Regelung elektrischer Antriebe		
<p>Zielgruppe: Studenten der "Elektrotechnik im Maschinenwesen" Voraussetzung: Grundlagen d. E-technik, El. Antriebe, RT I</p>		
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck		2V Mi 10.15-11.45 1Ü Mi 11.45-12.30
<ol style="list-style-type: none"> 1. Einführung 2. Komponenten und Klassifizierung elektrischer Antriebs-systeme 2.1 Der geregelte elektrische Antrieb in der komplexen Automatisierungsstruktur 2.2 Systemkomponenten des geregelten elektrischen Antriebs 2.3 Das Gesamtsystem des geregelten elektrischen Antriebs 2.4 Hinweise zur Projektierung des Leistungsteils eines Ein-quadrantenstromrichterantriebs 3. Regelungstechnische Behandlung von Antriebsystemen 3.1 Einführung 3.2 Die lineare kontinuierliche Regelungstechnik in der elektrischen Antriebstechnik 3.2 Analogien, Normierung, Funktionsblöcke, Standardregler Regelgüte 3.3 Methoden und Maßnahmen zur regelungstechnischen Behandlung von Regelkreisen in der Antriebstechnik 3.3 Standardregelkreise, Kaskadenregelungen, Frequenzkennlinien-Verfahren, Optimierungsverfahren 4. Mathematisches Modell der Gleichstrommaschine 4.1 Vernachlässigungen 4.2 Elektr. Ersatzschaltbild und Differentialgleichungen 4.3 Regelungstechnisches Blockschaltbild 5. Regelung der fremderregten Gleichstrommaschine nach dem Stromleitverfahren 6. Mathematisches Modell der Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer 6.1 Vernachlässigungen 6.2 Differentialgleichungssystem und Blockschaltbild 6.3 Linearisierung und Vereinfachung des Blockschaltbildes 7. Regelung der Asynchronmaschine mit Kurzschlußläufer <p><u>Praktikum:</u> Zu dieser Vorlesung wird im Sommersemester das Praktikum "Praktikum zu elektrischen Antrieben II" angeboten</p> <p><u>Literatur:</u> G. Pfaff: Regelung elektrischer Antriebe I/II, Oldenburg Verlag, München, Wien 1988/89 A. Buxbaum, K. Schierau: Berechnung von Regelkreisen in der elektr. Antriebstechnik, AEG-Telefunken-Handbuch 16, Berlin 1980</p>		
<p><u>Vorlesungsskript:</u> Es wird ein Vorlesungsskript mit Literaturangaben herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		W 8810
Theorie der Wechselströme I		
<p>Zielgruppe: Studenten der "Elektrotechnik im Maschinenwesen" Voraussetzung: Grundlagen der E-technik</p>		
AOR Dipl.-Ing. G. Helmholz		2V Mo 18.30-20.00 1Ü Mo 20.15-21.00
<ol style="list-style-type: none"> 1. Anwendung der komplexen Rechnung in der Wechselstromlehre <ul style="list-style-type: none"> - Linien- und Zeigerdiagramme - Kirchhoffsche Sätze - Darstellung sinusförmiger Größen in der komplexen Ebene - Bauelemente und deren Ersatzschaltungen - Schwingkreise 2. Wechselstromnetzwerke <ul style="list-style-type: none"> - Netzwerkumwandlungen - Verfahren der Netzwerkberechnung (Kirchhoff, Maxwell, Knotenspannungen u. a.) - Netzwerkberechnungen in Matrixdarstellung - Elektrische und elektromechanische Netzwerke - Analogien zwischen elektrischen und mechanischen Systemen - Aktive und passive Zweipole, Ersatzschaltungen, Leistungsanpassung - Vierpole, Vierpolgleichungen der verschiedenen Formen - Mechanische Vierpole - Elektromechanische Vierpole 3. Mehrphasensysteme <ul style="list-style-type: none"> - Symmetrische Drehstromsysteme, Stern-, Dreieckschaltungen - Berechnung unsymmetrischer Drehstromsysteme mit Hilfe symmetrischer Komponenten <p><u>Literatur:</u> H. W. Schüssler: Netzwerke und Systeme I, BI H. Wolf: Lineare Systeme und Netzwerke, Springer W. Leonhard: Wechselströme und Netzwerke, Unitext Vieweg H. Weh: Elektrische Netzwerke und Maschinen, BI A. Hochrainer: Symmetrische Komponenten in Drehstromsystemen, Springer A. v. Weiss: Einführung in die Matrizenrechnung zur Anwendung in der Elektrotechnik, Oldenburg</p> <p><u>Vorlesungsskript:</u> Es werden Arbeits- und Übungsaufgabenblätter herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		W 8806
Hochspannungstechnik		
<p><u>Zielgruppe:</u> "E-Technik im Mb" und "Energietechnik/-systeme" <u>Voraussetzung:</u> Grundlagen der Elektrotechnik</p>		
Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. K. Bretthauer		2 V / 1 U nach Vereinbarung
<ol style="list-style-type: none"> 1. Bedeutung und Arbeitsgebiet der Hochspannungstechnik <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Definition der Hochspannungstechnik 1.2 Begründung der Anwendung hoher Spannungen in der elektrischen Energietechnik 2. Das elektrische Feld <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Grundgrößen elektrischer Felder und ihre Einheiten 2.2 Feldberechnung an konzentrischen Zylindern 2.3 Feldberechnung an konzentrischen Kugeln 2.4 Kapazität zweier Kugeln mit großem Abstand 2.5 Superposition von Feldern 2.6 Zeichnerische Ermittlung elektrostatischer Felder 2.7 Methoden zur Aufnahme von Feldbildern 2.8 Verschiedene Dielektrika im Feld 2.9 Verluste im Isolierstoff 3. Elektrische Entladungen <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Allgemeines über Entladungsformen 3.2 Entladung in Gasen 3.3 Durchschlag in Flüssigkeiten 3.4 Durchschlag in festen Isolierstoffen 4. Hochspannungstechnik <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Spannungsmessungen 4.2 Kapazitäts- und tan δ-Messung 5. Hochspannungserzeuger <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Allgemeine Betrachtung 5.2 Wechsellspannungsanlagen technischer Frequenz 5.3 Erzeuger für hohe Gleichspannungen 5.4 Erzeugung von Stoßspannungen 6. Hochspannungsbauteile <ol style="list-style-type: none"> 6.1 Hängeisolatoren 6.2 Freileitungen 6.3 Hochspannungskabel 6.4 Überspannungsableiter 6.5 SF₆-Schaltanlagen 		
<p><u>Literatur:</u> G. Hilgarth: Hochspannungstechnik, Teubner, Stuttgart A. J. Schwab: Hochspannungsmesstechnik, Meßgeräte und Meßverfahren, Springer, Berlin</p>		
<p><u>Vorlesungsskript:</u> wird herausgegeben</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		W 8807
Elektrische Anlagen im Bergbau		
<p><u>Zielgruppe:</u> Studenten des Bergbaus <u>Voraussetzung:</u> Grundlagen der Elektrotechnik</p>		
Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. K. Bretthauer		2 V nach Vereinbarung
<ol style="list-style-type: none"> 1. Einsatz der Elektrotechnik im Bergbau <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Einsatz von Elektromotoren 1.2 Technischer Vergleich Strom - Preßluft 1.3 Wirtschaftlicher Vergleich Strom - Preßluft 2. Schlagwetter- und Explosionsschutz (VDE- und EN-Normen) <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Entstehung explosibler Gase im Bergbau untertage 2.2 Einteilung der brennbaren Gase 2.3 Methoden des Schlagwitterschutzes 2.4 Schlagwetter-Schutzarten (Sch bzw. Ex 1) 2.41 "Druckfeste Kapselung d" 2.42 "Plattenschutzkapselung p" 2.43 "Ölkapselung o" 2.44 "Fremdbelüftung f" (Überdruckkapselung p) 2.45 "Erhöhte Sicherheit e" 2.46 "Eigensicherheit i" 2.47 "Sandkapselung q" 2.48 "Sonderschutzarten s" 2.5 Allgemeine Bestimmungen 2.6 Einzelbestimmungen 2.7 Typen- und Stückprüfung 3. Vorschriften über elektrische Anlagen im Bergbau <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Errichtungsbestimmungen für bergbauliche Betriebe Untertage (VDE 0118) 3.2 Errichtungs- und Betriebsbestimmungen für Tagebaue, Steinbrüche und ähnliche Betriebe (VDE 0118) 3.3 Bergverordnungen 		
<p><u>Literatur:</u> Europannormen EN 50 014 bis 50 020 und 50 039, entsprechend VDE 0170/0171 Teil 1 bis 7 und 10 VDE 0105 Teil 11, 0118, 0165, 0168 Bergverordnungen der Landesoberbergämter</p>		
<p><u>Vorlesungsskript:</u> Es werden Diakopien herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		S 8809
Theorie der Wechselströme II		
Zielgruppe: Studenten der "Elektrotechnik im Maschinenwesen" Voraussetzung: Grundlagen der E-Technik, Wechselströme I		
AOR Dipl.-Ing. G. Helmholz	2V Mo 18.30-20.00 1Ü Mo 20.15-21.00	
<p>1. <u>Nichtsinusförmige periodische Vorgänge</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fourierreihen - Anregungen von linearen Wechselstromkreisen - Leistung, Effektivwert, Klirrfaktor, Welligkeit <p>2. <u>Darstellung komplexer Funktionen durch Ortskurven</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Komplexe Funktionen einer reellen Veränderlichen - Komplexe Funktionen einer komplexen Veränderlichen - Abbildungen durch die Funktion $F = 1 / w$ <p>3. <u>Übertragungsfunktionen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Anregungsfunktionen - Komplexe Kreisfrequenz - Pole und Nullstellen, Stabilitätskriterien - Grundformen von Übertragungselementen (P, I, D, T₁, T₂, T_t u. a.) - Zusammengesetzte Übertragungselemente <p>4. <u>Systemuntersuchungen mit sinusförmigen Größen, Frequenzgang</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bode-Diagramm - Frequenzgänge, Amplituden- und Phasengänge von elementaren und zusammengesetzten Übertragungselementen <p>5. <u>Fourier- und Laplace-Transformation</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Diskretes und kontinuierliches Frequenzspektrum - Rechenregeln zur Laplace-Transformation - Korrespondenzen von Anregungsfunktionen - Partialbruchzerlegungen 		
<p><u>Literatur:</u> K. Simonyi: Theoretische Elektrotechnik, VEB E. Philippow: Nichtlineare Elektrotechnik, Geest & Portig, Leibzig P. Vaske: Übertragungsverhalten elektrischer Netzwerke, Teubner O. Föllinger: Laplace- und Fourier-Transformation Elitera H. Weber: Laplace-Transformation, Teubner</p>		
<p><u>Vorlesungsskript:</u> Es werden Arbeits- und Übungsaufgabenblätter herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik		S 8811
Energieelektronik		
Zielgruppe: "E-Technik im Mb" und "Energietechnik/-systeme" Voraussetzung: Grundlagen der Elektrotechnik		
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck	2V Do 11.15-12.45 1Ü Mo 10.15-11.00	
<p>1. Einführung</p> <p>2. Systemkomponenten</p> <p>2.1 Lineare Komponenten</p> <p>2.2 Halbleiterventile</p> <p>2.3 Nichtlineare Komponenten</p> <p>3. Bauelemente der Energieelektronik</p> <p>3.1 Einführung in die Grundbegriffe</p> <p>3.2 Halbleiterdiode</p> <p>3.3 Leistungstransistor</p> <p>3.4 Thyristor</p> <p>3.5 Abschaltbarer Thyristor (Gate-Turn-Off-Thyristor)</p> <p>4. Schaltvorgänge und Kommutierung</p> <p>4.1 Schaltbedingungen in elektrischen Netzen</p> <p>4.2 Definition der Kommutierung</p> <p>4.3 Stromrichtertypen</p> <p>5. Halbleiterschalter und -steller (Nichtkommutierende Stromrichter)</p> <p>5.1 Der Transistor als Gleichstromschalter und -steller</p> <p>5.2 Halbleiterschalter für Wechsel- und Drehstrom</p> <p>5.3 Halbleitersteller für Wechsel- und Drehstrom</p> <p>6. Fremdgeführte Stromrichter</p> <p>6.1 Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter</p> <p>6.2 Netzgeführte Umrichter</p> <p>6.3 Lastgeführte Wechselrichter (Umrichter)</p> <p>7. Selbstgeführte Stromrichter</p> <p>7.1 Halbleiterschalter für Gleichstrom</p> <p>7.2 Halbleitersteller für Gleichstrom</p> <p>7.3 Selbstgeführte Wechselrichter</p>		
<p><u>Praktikum:</u> Zu dieser Vorlesung wird im Wintersemester das "Praktikum zur Energieelektronik" angeboten.</p>		
<p><u>Literatur:</u> K. Heumann: Grundlagen der Leistungselektronik, Teubner-Verlag 1989</p>		
<p><u>Vorlesungsskript:</u> Es wird ein Vorlesungsskript mit Literaturangaben herausgegeben.</p>		

Institut für Elektrische Energietechnik	
Energieverteilung in elektrischen Netzen	W 8812
Zielgruppe: "E-Technik im Mb" und "Energietechnik/-systeme" Voraussetzung: Grundlagen der Elektrotechnik	
Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann	2V Do 08.00-09.30 1Ü Do 09.45-10.30
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Einführung</u> Stromarten, Spannungsniveaus, Netzformen 2. <u>Aufbau und Daten elektrischer Leitungen</u> Freileitungen, Kabel, Erwärmung, elektrische Kenngrößen (Widerstands-, Induktivitäts- und Kapazitätsbeleg) 3. <u>Berechnung elektrischer Netze</u> Leitungsnachbildung (Ersatzschaltbild), einseitig / zweiseitig gespeiste Leitung, vermaschtes Netz 4. <u>Fehlerarten</u> Dreisträngiger Kurzschluß (generatornah / -fern), unsymmetrische Fehler, symmetrische Komponenten 5. <u>Schutzeinrichtungen</u> Erder, Schutz des Menschen, Schutz der Netzkomponenten 6. <u>Schaltanlagen</u> Aufgaben, Einteilung, Trennschalter, Lasttrennschalter, Leistungsschalter, Sicherungen, Prüfung von Schaltgeräten Aufbau und Betrieb von Schaltanlagen 	
Hinweis: Zum Thema dieser Vorlesung wird das Praktikum S8859 "Anlagen und Steuerungstechnik" angeboten.	
Literatur: R. Flösdorff: Elektrische Energieverteilung, Stuttgart 1986 H. Hoppold: Elektrische Kraftwerke und Netze, Berlin 1978 G. Hosemann: Grundlagen der elektrischen Energietechnik, Berlin 1991	
Vorlesungsskript: Es wird ein Vorlesungsskript mit Literaturangaben herausgegeben.	

Institut für Elektrische Energietechnik	
Elektrische Energieerzeugung in Kraftwerken	S 8815
Zielgruppe: "E-Technik im Mb" und "Energietechnik/-systeme" Voraussetzung: Grundlagen der Elektrotechnik	
Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann	2V Do 16.00-17.30 1Ü Do 17.45-18.30
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Einführung</u> Vergleich verschiedener Energieformen, Strom- und Netzarten, Struktur der Elektrizitätsversorgung 2. <u>Elektrizitätswirtschaft</u> Ausnutzung, Verluste, Gleichzeitigkeitsgrad, Kostenstruktur, wirtschaftlicher Netzbetrieb, Verbundwirtschaft, Strompreisregelung 3. <u>Wärme- und Wasserkraftwerke</u> Kraftwerkstypen, thermischer Prozeß 4. <u>Wasserkraftwerke</u> Wasserkraftgeneratoren, Wasserturbinen, Wasserkraftwerkstypen 5. <u>Kraftwerksgeneratoren (Synchrongeneratoren)</u> Baufornen und Kühlung, Erzeugung von Drehfeldern, Polrad, Drehstromwicklung, Raumzeigerdarstellung, Betriebsverhalten der Voll- und Schenkelpolmaschine, Betriebsarten, Betriebskennlinien, Pendelungen, Anfahren, Generatorschutz 6. <u>Netzregelung</u> Erregungseinrichtungen, Spannungsregelung, Primär- und Sekundärregelung 7. <u>Eigenbedarf in Kraftwerken</u> Aufbau von Eigenbedarfsnetzen, Sicherstellung des Eigenbedarfes, Spannungshaltung 	
Hinweis: Zum Thema dieser Vorlesung wird das Praktikum S8859 "Anlagen und Steuerungstechnik" angeboten.	
Literatur: R. Flösdorff: Elektrische Energieverteilung, Stuttgart 1986 H. Hoppold: Elektrische Kraftwerke und Netze, Berlin 1978 H. Eckhardt: Grundzüge der elektrischen Maschinen, Stuttgart 1982	
Vorlesungsskript: Es wird ein Vorlesungsskript mit Literaturangaben herausgegeben.	

Elektronische Einrichtung zur Minimierung der Überlasten in Antriebswellen von Walzgerüsten

Hans-Peter Beck und Harald Zerner

Zielsetzung. Eine Verbesserung des Masse-Leistungs-Verhältnisses im Walzwerksmaschinenbau setzt voraus, daß unzulässige Überlasten sicherer als bisher beherrscht werden.

Die zur Lösung dieser Aufgabe aus-sichtreichste Methode, die Überlastminimierung auf elektronischem Wege, soll auf ihre theoretischen Ansätze hin geprüft und anhand praktischer Beispiele erörtert werden.

Leichtbau setzt Überlastschutz voraus. Nicht nur im Flugzeug- und Fahrzeugbau, sondern im gesamten Maschinen- und Apparatebau einschließlich des Schwermaschinenbaus wird heute, soweit möglich, aus Kostensparisgründen der „Leichtbau“ bevorzugt. Mit diesem Konstruktionsprinzip verbindet sich die Vorstellung hoher Materialausnutzung. Leichtbau läßt sich jedoch auch durch Begrenzung bzw. Reduzierung der Betriebslasten erzielen. Dies ist möglich, wenn die Betriebslasten bekannt sind und ihr Schwankungsbereich zwischen Normalbetrieb und Überlast in Grenzen gehalten werden kann¹⁾.

Da die Möglichkeiten der Vermeidung von Überlasten durch Blockierungen der Walzen bei Antriebswellen von Walzgerüsten von der Prozeßseite her gering sind – mit falscher Walzenanstellung oder zu niedriger Brauementemperatur etc. muß immer gerechnet werden – bleibt der Weg, sich auf, wobei sich die Walzen vor Beginn der Störung mit halber Nenndrehzahl drehen und der elektrische Antrieb mit unverändertem Drehmoment treibt, kann in den Antriebswellen in Abhängigkeit von der Konstellation der Massen trägheiten und Drehfedereigenschaften als Spitzenwert das fünf- bis sechsfache Nenndrehmoment auftreten²⁾. Bei einer nach Leichtbaukonstruktionsgesichtspunkten ausgelegten Antriebswelle wird dies vermutlich zu einem Schaden oder zumindest zu einer Vorschädigung führen.

Zur Verringerung der Überlast auf elektronischem Wege muß in die elektrische Antriebsregelung rechtzeitig einge-

Zusammenfassung. Bei Überlast-Havarie-Situationen muß auf elektronischem Wege so rechtzeitig in die elektrische Antriebsregelung eingegriffen werden, daß der Aufbau des treibenden Drehmomentes möglichst schnell beendet wird. Durch die funktions- und kostengerechte Einbeziehung des Antriebssystems in die Produktionsanlage, d. h. durch optimale Anpassung der Dynamik des elektrischen Antriebssystems an die mechanische Aus-rüstung, kann diese Aufgabe gelöst werden. Für den praktischen Anwendungsfall müssen über eine Simulation möglicher Störfälle die spezifischen Vorgehensweisen und Systemkonfigurationen ermittelt und entsprechende Schlussfolgerungen für die in Frage kommende Anlagentechnik und Technologie gezogen werden. Der Beitrag beschreibt die Bedingungen für die Modellentwicklung und gibt Beispiele für die Auswahl geeigneter Elektroantriebe und die darauf aufbauende Prozeßsimulation.

griffen werden, um das treibende Drehmoment während des Störfalles schnellstmöglich abzubauen bzw. die Drehzahl des Elektromotors an die durch die Störung erzeugte Wälzdrehzahl – hier gleich Null – anzupassen. Um Schädigungen der Walzen durch Aufheizung vorzubeugen, kann auch eine Drehzahlumkehr zur Brauementräumung in Betracht gezogen werden.

Überlastminimierung auf elektronischem Wege

Grundvoraussetzungen und Grenzen. Wird z. B. ein stromrichtergetriebener Gleichstromantrieb gemäß dem Stand der Technik als Antriebsmaschine verwendet, Bild 1, und die Lastzugangs-funktion (LEF) mit einem „LEF-Beobachter“ in Echtzeit berechnet³⁾, so kann in diesem Fall nach einer Totzeit von $T_1 = 15$ ms entschieden

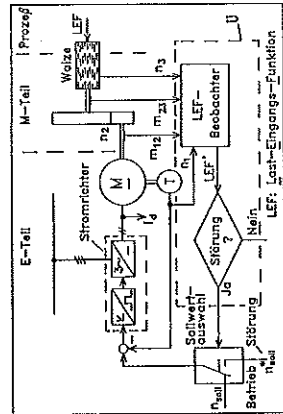


Bild 1. Prinzipbild eines stromrichtergetriebenen Gleichstromantriebes mit angekuppeltem 3-Massen-Schwinger mit Überlast-Überwachungseinrichtung (U)

¹⁾Kurzfassung eines Vortrages anläßlich der Festveranstaltung „25 Jahre Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik der TU Clausthal“ am 24. Oktober 1991 in Clausthal-Zellerfeld.
²⁾Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, Direktor, Inst. f. Elektrische Energietechnik der TU Clausthal-Zellerfeld, Prof. Dr.-Ing. Harald Zerner, Leiter, Institut für Hüttenmaschinen der TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld.

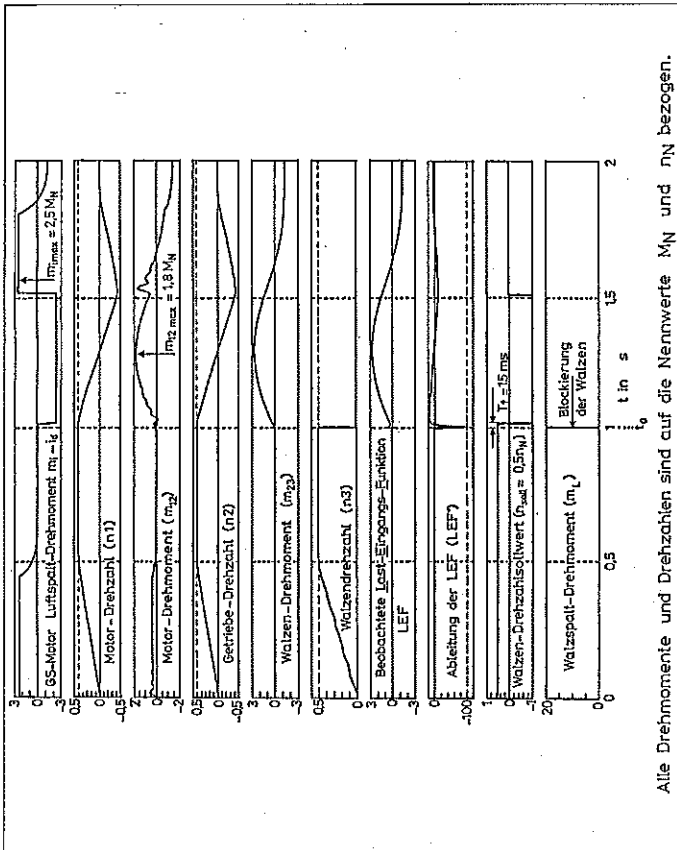


Bild 2. Simulation des dynamischen Verhaltens bei Walzenblockierung mit Einleitung der Gegenmaßnahme

werden, ob eine Störung vorliegt oder nicht. Die Störung ist dabei so definiert, daß bei Nichteingreifen in den aktuellen Drehzahlschwert $n_{3,el}$ das zulässige Spitzendrehmoment überschritten wird. Ein Simulationsergebnis, Bild 2, der Anordnung nach Bild 1 zeigt, daß durch Um-polung von $n_{3,el}$ – $n_{3,el}$ bei $t_0 = 1$ s das Drehmoment m_{12} in der Antriebswelle den zweifachen Nennwert nicht überschreitet. Nach etwa 0,5 s mit m_{12} genügend abgeklu-gert, $n_{3,el}$ wird deshalb auf Null gesetzt. Wird der Sollwert $n_{3,el}$ = $n_{3,nom}$ beibehalten, beschleunigen die Walzen in die umgekehrte Richtung, sofern $|m_{12}| < |m_{12}|_{crit}$ gilt.

Das vorstehende Beispiel zeigt, daß es prinzipiell möglich ist, Überlasten in Antriebswellen zu vermeiden, wenn die nötigen Maßwerte für den „LEF-Beobachter“ zur Verfü-gung stehen und die Drehmomentverstellgeschwindigkeit sowie die zulässigen Stödbereiche des verwendeten geregelten Elektromotors hinreichend groß sind.

In der hier gezeigten idealisierten Antriebsystemsиму-lation (Nachbildung durch lineare, zeitkontinuierliche Übertragungsglieder) werden eine Drehmomentanzugszeit $t_{An} = 10$ ms, Bild 2, und eine 2,5fache zulässige Motor-drehmomentüberlastung vorausgesetzt und somit eine Drehmomentreduzierung auf ein Drittel erzielt. Vergleichs-rechnungen zeigen, daß dieses gute Ergebnis bei der Mi-nimierung der Überlast in der Antriebswelle maßgeblich

durch die kurze Störfüllerkennungszeit von $T_1 = 15$ ms beeinflusst wird⁴⁾. Bei dem hier verwendeten „LEF-Beob-achter“ nach dem Prinzip des „Inversen Mechanischen Modells“ können solche kurzen Zeiten erreicht werden, da die prozessnahen Maßgrößen m_{23} (Drehmoment am Wal-zenzugang) und n_3 (Wälzdrehzahl) als meßbar voraus-gesetzt werden. Diese sind in der Praxis jedoch selten ver-fügbare, so daß andere LEF-Beobachter mit anderen Ein-gangsgrößen verwendet werden müssen.

Überlastminimierung – eine Systemaufgabe. Das Bei-spiel macht deutlich, daß die Überlastminimierung in An-triebswellen von Walzgerüsten auf elektronischem Wege eine Systemaufgabe ist, die nur in enger Zusammenarbeit zwischen Elektrotechnikern und Maschinenbauern gelöst werden kann. Am der TU Clausthal wird diese Aufgabe daher im Rahmen eines Forschungsverbundprojektes be-arbeitet. Beteiligt sind das Institut für Hüttenmaschinen und Maschinelle Anlagentechnik und das Institut für Elek-trische Energietechnik.

In der Praxis wird in derartigen Fällen oft nicht ver-standen, daß eine enge Zusammenarbeit bei der Auslegung von Antriebssystemen zwischen Betreiber (Kunde, Prozeß-kenner), Mechanikler, E-Teiliferant und System-führer erforderlich ist. Aus elektrotechnischer Sicht liegt

Elektrotechnik

ein Hauptgrund für diese Vorgehensweise darin, daß ein elektrischer Antrieb je nach Anwendungsfall ein völlig unterschiedliches dynamisches Verhalten entwickeln kann. Dies gilt insbesondere heute, wo fast alle getriebenen elektrischen Antriebe *stromrichtergetrieben* sind. Durch die Stromrichterpeisung wird die der elektrischen Maschine eigene dynamische Verhaltensweise beeinflusst, bzw. verändert. Das dynamische Verhalten eines Antriebsystems, welches auch die Lebensdauer wesentlich beeinflusst, kann deshalb nur in Form einer Systembetrachtung analysiert werden. Das Ziel ist die „Systemintegration“, d. h. die funktions- und kostengerechte Einbindung des Antriebsystems in die Produktionsanlage. Dies ist eine mehr oder weniger komplexe Aufgabe. Um jedoch Betriebsausfällen, vorzeitiger Schädigung und erhöhten Kosten vorzubeugen und Leichtbaukonstruktionsprinzipien in die Anlagenstellung einfließen lassen zu können, ist eine Systemanalyse, insbesondere bei Stromrichteranwendung, ratsam.

Bezogen auf die elektronische Einrichtung zur Minimierung der Überlasten bedeutet dies, daß der Systemführer folgende Systemgrößen je nach Anwendungsfall festlegen muß:

- notwendige Anregelzeit des Luftspalt-Drehmomentes
- zulässige Überlast in der Antriebswelle
- Einschwingverhalten des Luftspalt-Drehmomentes
- Meßsignale für den LEF-Beobachter
- Überlasterkennungszeit (Totzeit bis zum Eingriff in die Antriebsregelung)
- Lastannahmen für den Mechanik-Teil
- Überlastreserve für den Mechanik- und E-Teil
- Parameter und Genauigkeit des mathematischen Modells des gesamten Antriebs.

Die Festlegung dieser Anforderungen setzt viel Erfahrung und eine Absicherung durch eine *Systemsimulation* voraus. Letztere beeinflusst wesentlich die entstehenden Investitions- und Betriebskosten der Antriebsanlage. Vielleicht sind dies die Gründe dafür, warum elektronische Überlast- bzw. Lastkollektivminimierungen im Schwermaschinenbau bisher selten oder gar nicht angewendet werden. Die heutige Simulationstechnik und rechnergeführte Stromrichterantriebstechnik liefern jedoch neue Möglichkeiten und rechtfertigen die wissenschaftliche Bearbeitung des Themas.

Vorgehen bei der Modellbildung. Elektromechanische Antriebssysteme können grob in zwei Klassen unterteilt werden:

- ungetriebene Antriebe mit netzgespeister Drehfeldmaschine und
- getriebene Antriebe mit stromrichtergetriebenen Gleich- und Drehstrommaschinen.

Bild 3 zeigt ein Blockschaltbild und das Feder-Masse-Ersatzschaltbild eines Antriebs mit netzgespeister Asynchronmaschine (1). Das Kennzeichnende an diesem System ist die Kopplung eines *mechanischen Schwingers* ($\omega_M, \omega_m, \theta_M$), des *gers* und eines *magnetischen Schwingers* ($\omega_e, \omega_m, \theta_e$), dessen Eigenfrequenz und Dämpfung stark vom Betriebspunkt der Asynchronmaschine abhängen. Die mechanischen Übertragungsglieder (2, 3) sind bei genauer Betrachtung nichtlinear und machen eine analytische Lösung zur Berechnung der Wellenmomente praktisch unmöglich. Zur Lösung dieser Problematik wird in neueren Veröffentlichungen

Anlagentechnik

schritten¹⁾ vorgeschlagen, den Rechnungsgang in zwei Teilschritten aufzuteilen: Der E-Maschinenhersteller löst die Spannungs- und Bewegungsgleichungen mit einem stark vereinfachten Wellenstrang und übergibt das so gefundene *Luftspalt-Drehmoment* an den Anlagenbauer, der dieses dann als *Anregungsfunktion* für seinen in allen Einzelheiten nachgebildeten Wellenstrang verwendet. In einem zweiten Schritt wird bei bekannter Lasteingangsfunktion (LEF) auch diese als Anregungsfunktion auf die Lastseite aufgeschaltet und geprüft, inwieweit unzulässige Betriebszustände entstehen. Die Rückwirkung des Luftspalt-Drehmomentes auf die LEF bleibt dabei unberücksichtigt.

Wie umfangreiche Untersuchungen gezeigt haben, kann die Vereinfachung des Wellenstranges sehr weit getrieben werden. Für die Praxis lassen sich die folgenden Regeln aufstellen:

- Die vorgeschlagene dreistufige Vorgehensweise ist zulässig, wenn das mechanische Ersatzmodell wenigstens als *Zweimassenschwinger* nachgebildet wird.
- Nur wenn das Luftspalt-Drehmoment oder die LEF Pendeldrehmomente erzeugt, deren Frequenzen in der Nähe der 1., als auch der 2. *torsionskritischen* Drehzahl des Wellenstranges liegen, muß das Rechenmodell auf einen *Drehmassenschwinger* erweitert werden.
- Es muß vor Rechenansätzen gewarnt werden, die das Luftspalt-Drehmoment durch analytische Ersatzfunktionen zu beschreiben versuchen²⁾. Dies führt zu physikalisch falschen Ergebnissen und kann eine Fehldimensionierung zur Folge haben.
- Im Zweifelsfall wird die Simulation des Gesamtsystems mit Hilfe eines leistungsfähigen Simulationsystems³⁾ empfohlen. Dies gilt insbesondere dann, wenn *Drehmomentenüberschwingungen* im Luftspalt-Drehmoment der elektrischen Maschine erwartet werden, die zu unzulässigen *Torsionsschwingungszusammenbrüchen* im Antriebsstrang führen können.

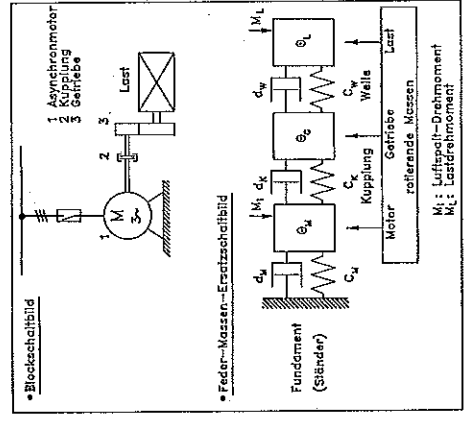


Bild 3. Modellbildung zur Simulation eines Antriebsystems mit Drehstrommotor am starren Netz

Anlagentechnik

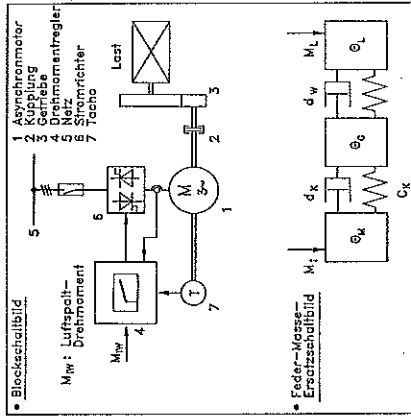


Bild 4. Modellbildung zur Simulation eines Antriebsystems mit stromrichtergetriebem Elektromotor

Getriebene Antriebe mit Stromrichterpeisung haben ein gänzlich anderes Verhalten als netzgespeiste Drehfeldmaschinen. Bild 4 zeigt ein Blockschaltbild und ein Feder-Masse-Ersatzschaltbild eines solchen Antriebs. Zur bedarfsgerechten, verlustarmen Steuerung des elektrischen Energieflusses vom Netz (5) zur elektrischen Maschine (1) ist ein Stromrichter (6) vorgesehen. Der Antrieb wird zum „Drehmomentexponent“, der ein vorgegebenes Soll-Drehmoment M_{sp} drehzahlabhängig in kürzester Zeit, d. h. je nach Typ in ca. 3...300 ms anregt. Durch die Regelung (4) und den Stromrichter wird der magnetische Schwinger „E-Maschine“ quasi eliminiert. Das Feder-Masse-Ersatzschaltbild enthält deshalb unter sonst gleichen Bedingungen einen Schwinger (d_{Mv}, ω_{Mv}) weniger. Die grundsätzliche o. a. Vorgehensweise bei der Auslegung bleibt davon unberührt.

Beispiele geregelter Elektroantriebe für Walzgerüste

Der klassische Elektroantrieb für Walzgerüste ist die stromrichtergetriebene Gleichstrommaschine. Bild 5 zeigt ein Blockschaltbild, ein Oszillogramm zur Drehmomentdynamik und eine Zusammenfassung der wichtigsten Kennzeichen bzw. Eigenschaften. Dargestellt ist ein *Stromrichtertransformator* (1) in „netzfreundlicher“ 12-Puls-Schaltung mit zwei in Reihe geschalteten *6-Puls-Umkehrstromrichtern* (2, 3). Sie speisen über *Schutzschalter* (4) und *Glättungsrossspule* (5) die *Gleichstrommaschine* (6), die für den Vierquadrantenantrieb vorgesehen ist.

Das Oszillogramm des Ankerstromes $i_A(t)$ eines realen Antriebs⁴⁾, welcher dem Luftspalt-Drehmoment $m_A(t)$ proportional ist, zeigt, daß $m_A(t)$ in 10 ms umgekehrt werden kann. Trotz dieses guten Drehmomentverhaltens werden heute bei Neuanlagen überwiegend *Drehfeldmaschinen* eingesetzt, weil so die zu geringe Grenzleistung und die Betriebsbeschränkungen durch den Kommutator (z. B. Begrenzung von d_M/dt) eliminiert werden können.

Elektrotechnik

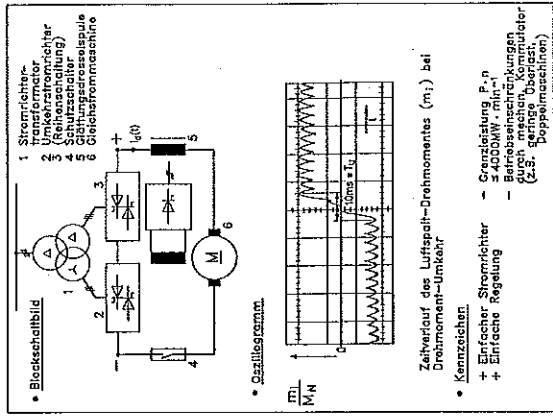


Bild 5. Konventionelle Antriebslösung für Hauptantriebe: Gleichstrommaschine mit Umkehrstromrichter

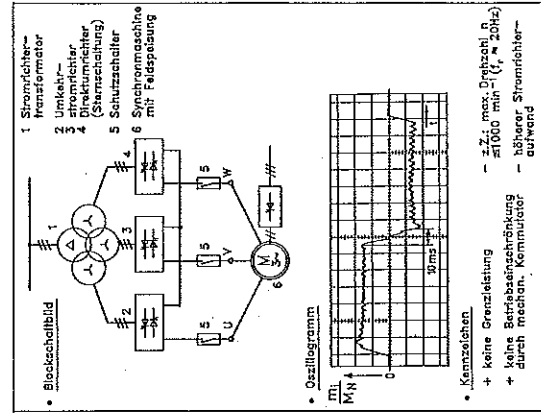


Bild 6. Moderne Antriebslösung für Hauptantriebe: Synchronmaschine mit Direktumrichter

Bild 6 zeigt Blockschaltbild, Oszillogramm und Kennzeichen der heute bei Neuanlagen meist eingesetzten Drehfeldmaschinenvariante. Der prinzipielle Aufbau ähnelt dem der Gleichstromvariante. Anstelle der Gleichstrommaschine wird jedoch eine Dreiphasensynchronmaschine (6) vorgesehen. Aus dem Gleichstrommagnetkreis wird ein Drehstromstromrichter mit den Maschinenanschlüssen (U, V, W) angeschlossen. Die drei notwendigen, in Stern geschalteten Umrichter (2, 3, 4) liefern jetzt einen symmetrischen Drehstrom an die Drehfeldmaschine im Frequenzbereich von $-20 \text{ Hz} \leq f_s \leq 20 \text{ Hz}$ (negative Frequenz entspricht Drehrichtungsumkehr). Die maximale Ausgangsfrequenz von 20 Hz ist prinzipiell durch die Netzfrequenz von 50 Hz vorgegeben. Zukünftig ist damit zu rechnen, daß sie durch Weiterentwicklung dieses Antriebstyps auf 50 Hz angehoben werden kann⁹⁾. Das dynamische Drehmomentverhalten beim Umstern wird durch das Oszillogramm wiedergegeben. Es ist vergleichbar mit dem der Gleichstrommaschine. Allerdings gibt es keine Betriebsbeschränkungen durch den nichtvorhandenen Kommutator.

Eine Zukunftsplanung für *Walzwerkshauptantriebe*, die heute schon bei Hochgeschwindigkeitslokomotiven mit Drehstrom-Asynchron-Fahrmotoren angewendet wird¹⁰⁾, ist in Bild 7 dargestellt. Die Antriebslösung könnte als eine Gleichstrommaschine mit elektronischem Kommutator bezeichnet werden. Dieser besteht aus einem 3-Punkt-Pulswechselrichter (6) mit Gate-Turn-Off-Thyristoren, der aus einem Gleichspannungswicklungsstromkreis gespeist wird¹¹⁾. Er speist die *Drehstromsynchronmaschine (7)* mit einer Frequenz f_s von etwa $-200 \text{ Hz} \leq f_s \leq 200 \text{ Hz}$. Getrennt ist dieses zukunftsweisende Antriebskonzept durch eine robuste elektrische Maschine (keine Schleifringe wie die Drehstrommaschine nach Bild 6) mit hoher Drehzahl- und Drehmomentdynamik. Die bisher kürzeste gemessene Drehmomentumsturzzeit liegt bei 3,5 ms; sie beträgt also nur ca. 30 % des Wertes der Gleichstrommaschine. Solche Antriebe wären wegen ihrer schnellen Reaktionszeit zur elektronischen Überlastminderung und zur aktiven Dämpfung von Torsionsschwingungen im Antriebsstrang hervorragend geeignet. Leider liegt die Grenzleistung derartiger Stromrichter zur Zeit noch bei ca. 5 MVA¹²⁾. Serienmäßig sind sie heute bis 1,8 MVA am Markt verfügbar¹³⁾. Mit einer Markteinführung von Antrieben größerer Leistung ist wegen der schnell fortschreitenden Entwicklung der leistungselektronischen Bauelemente in einigen Jahren zu rechnen.

Tafel 1. Vergleich der Wirkkamkeit der elektrischen Überlastminderung bei Gleich- und Drehstromantrieben; Überlastenrungszeit $t_f = 15 \text{ ms}$, $n_{\text{rot}} = 0,5 n_n$, Eigenfrequenzen des mechanischen Systems $f_1 = 10,9 \text{ Hz}$, $f_2 = 28,5 \text{ Hz}$

	Antriebstyp		
	Umkehrstromrichter mit Gleichstrommaschine	Direkturrichter mit Synchronmaschine	Pulswechselrichter mit Asynchronmaschine
Umsturzzeit (t_u) Luftpaltrehmoment	12 ms	20 ms	∞
Luftspalt-Drehmoment Maximum (m_{max})	1,5	2,5	2,5
Motor-Drehmoment Maximum ($m_{\text{e,max}}$)	2,6	1,8	5,2
Alle Drehmomente sind auf den Nennwert bezogen.			

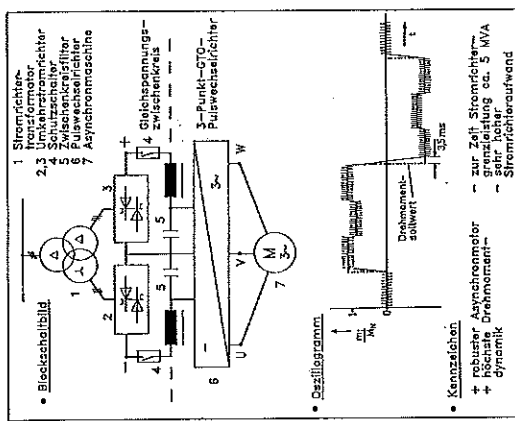


Bild 7. Mögliche Zukunftsplanung für Hauptantriebe: Asynchronmaschine mit 3-Punkt-GTO-Pulswechselrichter

Simulationsbeispiele

Um eine Einschätzung der Wirksamkeit der elektronischen Überlastminderung beim Einsatz dieser drei verschiedenen Antriebskonzepte vornehmen zu können, sollen zum Schluß noch drei Simulationsbeispiele gezeigt werden, wobei von den Drehmomentumsturzzeiten t_u der vorgestellten Antriebstypen ausgegangen wird. Der Mechanismus des simulierten Modellverzögerungswertes wird dabei unberücksichtigt gelassen. Die Überlastenrungszeit beträgt $t_f = 15 \text{ ms}$. Die Stromgrenze des Stromrichterstromes wird einmal auf den 1,5fachen Nennwert¹⁴⁾, zum anderen auf den 2,5fachen Nennwert eingestellt. Die unterschiedliche Dynamik der Antriebe kann durch Variation der Maschinendaten nachgebildet werden. Tafel 1 zeigt,

daß das Maximum des Wellendrehmomentes $m_{1,2}$, vergleiche Bild 2, in Abhängigkeit von der möglichen Antriebsüberlastung auf 50 % ($m_{1,2,\text{max}}/M_N = 1,5$) bzw. 35 % ($m_{1,2,\text{max}}/M_N = 2,5$) gesenkt werden kann. Die Umsturzzeit t_u hat hier keinen Einfluß, weil die *Eigenfrequenzen des mechanischen Systems* mit $f_1 = 10,9 \text{ Hz}$ und $f_2 = 28,5 \text{ Hz}$ vergleichsweise niedrig liegen. Erst wenn diese im Bereich der 20...50 Hz angesiedelt sind, welches heute bei Neuanlagen angestrebt wird, können die kürzeren Umsturzzeiten der strömrichtergespeisten Drehfeldmaschinen zur Wirkung kommen.

Ausblick

Die hier gezeigten Simulationsbeispiele sind ein Ergebnis der seit einem Jahr laufenden Forschungsarbeiten. Aufbauend auf diesen ermutigenden Resultaten werden sich Arbeiten zur Realisierung des LEF-Beschalters und eine Erprobung auf einem 30-kV-Prüfstand anschließen. Hierbei werden u. a. Konzepte zur direkten Wellendrehmomentregelung mit dem Ziel untersucht werden, die Torsionsschwingungen im Antriebsstrang aktiv auf elektronischem Wege zu dämpfen, um so die Lastkollektive in den Betriebs- und Störfällen zu minimieren. (S 284/29)

Schrifttum

- Zimmer, H.: Lichtbau und Betriebsan. Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung, Berlin 1991, S. 183.
- Gruenke, W., König, B., Reifensahl, U.: Neue Hütte (1984).
- Suzumun, G., Wicke, J.: Simulation eines Anlagensicherungs-systems zur aktiven Überlastminderung mit Matlab, ASTM 91, 7. Symposium, Hagen 1991, Vieweg Verlag.
- Suzumun, G.: Ermittlung der Lastgangfunktionen durch dynamische Systemanalyse eines Wellenlaufes und einer Gubertwalzmühle, TU Clausthal, Diss., 1990.
- Peschke, H., Eggels, A.: Instationäre Kupplungsbelastung durch Drehmomentstöße von Elektromotoren, Antriebstechnik 27 (1988) S. 62.
- Meyer, M.: Leistungselektronik, Einführung, Grundlagen, Überblick, Springer Verlag, 1990.
- Hussel, P., Melanz, M.: Synthesis of cycloconverter and current-source-inverter for high power high performance drive, Archiv für Elektrotechnik 74 (1990) S. 25.
- Boader, U., Hodapp, J.: eb (1991) Nr. 3, S. 73.
- Hyvärinen, U., Mäkinen, J. P.: Digital Drive Systems For Variable Speed AC Motors Intelligent Motion, FCIM Europe 11/12, 1990.
- Beck, H.-P., Puz, V., Tadros, Y.: High Power Inverter with GTO-Thyristors, ETG-Fachungungsberichte (Juni 1986).
- Langhoff, J., Raatz, E.: Geringe Gleichstromströme, AEG-Technik-Handbuch Bd. 19, Elsevier 1972.
- VDE/DIN 530: Umlaufende elektrifizierte Maschinen, Teil 1, 1991, S. 26.
- Samsch, H. O., Piatas, E., Orłowski, H.: az 111 (1990) Nr. 6, S. 286/91.
- Schäfer, P., Ind, W.: Simulation gemischter diskret-kontinuierlicher Systeme mit Standard-Simulationssystemen, Tagungsband: Fortschritte in der Simulationstechnik, Vieweg Verlag, September 1991.

Elektrotechnisches Festkolloquium

Professor Dr.-Ing. Karlheinz Bretthauer 70 Jahre, Institut für Elektrotechnik 30 Jahre

Am 3. Juli 1992 fand im „Geburtshaus“ des vor dreißig Jahren gegründeten Institutes für Elektrotechnik – dem Hörsaal des Fritz-Stüchtling-Institutes – ein Festkolloquium statt, welches anlässlich des siebzigsten Geburtstages des Institutsgründers, Professor Dr.-Ing. K. Bretthauer, gefeiert wurde.

Nach der Begrüßung durch den heutigen Institutsleiter, Professor Dr.-Ing. H.-P. Beck, überbrachten der Rektor der TU Clausthal, Professor Dr. rer. nat. G. Müller, und der Dekan des Fachbereiches Maschinen- und Verfahrenstechnik, Professor Dr.-Ing. H. Zenner, Grußworte. Priv.-Doz. Dr.-Ing. S. Köhle vom Betriebsforschungsinstitut des VDEh in Düsseldorf hielt die Laudatio.



Professor Dr. Zenner (rechts) begrüßt Professor Dr. Bretthauer und seine Gattin.

Professor Dr. Bretthauer wurde am 5. März 1922 in Hannover geboren. Er studierte von 1946 bis 1949 an der TH Hannover Elektrotechnik mit dem Hauptfach „Starkstromtechnik“. Nach seinem Diplom-Abschluß war er bis 1962 bei der Siemens AG in verschiedenen Bereichen tätig: Entwicklungsbteilung für Bergbauelektrotechnik, Referat für technisches Bildungswesen, Projektiierung von Walzwerks- und Lichtbogenanlagen sowie als Direktionsassistent.

Zahlreiche Patentschriften und Veröffentlichungen aus dem Bereich der Bergbauelektrotechnik, der Regelung elektrischer Antriebe und Elektrowärmeanlagen belegen den Erfolg seiner Tätigkeit. Während dieser Zeit promovierte er an der TH Hannover. Veröffentlichungen zum technischen Nachwuchs und zum künftigen Ingenieurbedarf zeugten schon früh von seinem Interesse an der Ingenieurausbildung.

Zum Wintersemester 1959/60 erhielt er einen Lehrauftrag in den Fächern „Elektrotechnik im Bergbau“ und „Elektrotechnik im Hüttenwesen“ an der damaligen Bergakademie Clausthal. Als im Zuge der beginnenden Ausweitung der Studienmöglichkeiten an der TU Clausthal im Jahre 1962 ein eigenständiges Institut für Elektrotechnik geschaffen wurde, übernahm Professor Bretthauer im Oktober des Jahres dessen Leitung und wurde zum ordentlichen Professor und Institutsdirektor ernannt. Die ersten Jahre in diesem Amt waren dem Aufbau des Institutes und den damit verbundenen zahlreichen Lehrverpflichtungen gewidmet.

Professor Bretthauer war darüber hinaus als Senatsbeauftragter für die Einführung der Studienrichtung „Maschinenwesen“ und als erster Abteilungsvorsitzender der neugeschaffenen Fachabteilung wesentlich am Aufbau des heutigen Fachbereiches „Maschinenbau und Verfahrenstechnik“ beteiligt, der im letzten Jahr sein

25jähriges Bestehen feiern konnte. Abwechselnde Mitgliedschaften im Senat, in der Fakultät und in der Fachabteilung sowie die Übernahme des Dekanates der Fakultät für Bergbau, Hütten- und Maschinenwesen im Jahre 1970 kennzeichneten seine aktive Mitarbeit in den Hochschulgremien.

In der Lehre vertrat Professor Bretthauer für alle Ingenieurfachrichtungen die „Grundlagen der Elektrotechnik“ sowie die „Bereitstellung und Anwendung elektrischer Energie in maschinen- und verfahrenstechnischen Prozessen“.

Er hat insbesondere durch seine Forschungsarbeiten über die Effekte der Magnetfelder von Hochstromleitern bei Elektrolysen und Drehstromlichtbogenöfen internationale Bekanntheit erlangt. Nur beispielhaft sei hier die Entwicklung des „Meßsystems Clausthal“ zur Messung der Lichtbogenspannung erwähnt. Weitere Forschungsschwerpunkte legen im Bereich der elektrischen Maschinen und Antriebe sowie Stromrichterschaltungen.

Die Forschungserfolge und sein wissenschaftliches Engagement führten zu Mitgliedschaften in mehreren Organisationen und deren Arbeitskreisen: Deutsches Komitee für Elektrowärme, Arbeitsgruppe „Ausbildung und Forschung“ der VDEW, VDE-Ausschuß für Ingenieurausbildung, Deutsche Elektrotechnische Kommission und Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft.

Über seine Emeritierung (am 1. April 1987) hinaus leitete er das heutige Institut für Elektrische Energietechnik und war im Lehr- und Forschungsbereich weiterhin voll eingespannt. Seit der Berufung seines Nachfolgers Professor Dr. Beck (zum 1. Oktober 1989) kann sich Professor Bretthauer gemeinsam mit seiner Frau verstärken seinem Hobby „Reisen in ferne Länder“ widmen. Dennoch stellt er auch weiterhin dem Institut seine Arbeitskraft und Erfahrung bei der Abwicklung von Vorträgen, Prüfungen und Forschungsarbeiten zur Verfügung.

Im Rahmen des Elektrotechnischen Kolloquiums wurden von ehemaligen „Schülern“ des Jubilars die folgenden Fachvorträge gehalten.

Clausthaler Beiträge zur Entwicklung des Drehstromlichtbogenofens

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Siegfried Köhler, Betriebsforschungsinstitut (BFI), VDEh-Institut für angewandte Forschung GmbH, Düsseldorf.

Nach dem Aufbau des neugegründeten Institutes für Elektrotechnik hat sich Professor Bretthauer 1965 der Aufgabe zugewandt, „den Lichtbogenofenbetrieb aus der Sicht des Elektrotechnikers zu optimieren. Voraussetzung für diese Optimierung ist die präzise Kenntnis aller elektrischen Verfahrens- und Einflußgrößen“, wie er in einem Vortrag zur 200-Jahr-Feier der TU Clausthal im Jahre 1975 formulierte.

Es war lange Zeit üblich, die Zusammenhänge zwischen den Spannungen und Strömen des Lichtbogenofens mit Selbstinduktionskoeffizienten der einzelnen Hochstromleiter und Gegeninduktionskoeffizienten zwischen diesen Leitern zu beschreiben. Dieses gekoppelte Ersatzschaltbild hat den Nachteil, daß die Spannung eines Stranges von den Strömen aller drei Stränge abhängt, was die Rechnung erheblich erschwert. Zudem haben die verwendeten Induktionskoeffizienten von Leiterabschnitten keine physikalische Bedeutung.

Das gekoppelte Ersatzschaltbild läßt sich in ein entkoppeltes überführen, das außer den Leitungswiderständen nur noch eine Induktivität je Strang enthält, so daß die Spannung eines Stranges nur von dessen Strom abhängt. Bretthauer und Timm haben 1970 gezeigt, daß diese Stranginduktivitäten die physikalisch definierten Gegeninduktivitäten zweier geschlossener Leiterschleifen sind, die jeweils aus dem Hochstromleiter des betreffenden Stranges und den Hochstromleitern der beiden anderen Stränge gebildet werden.

1971 haben dieselben Verfasser die in der Meßleitung des Ersatzschaltbildes auftretende induktive Fehlerspannung beschrieben und damit gezeigt, wie die Messung der Strangspannungen und auch der Strangleistungen verfälscht wird. Mit dem derart vervoll-

ständigten Ersatzschaltbild und dem dadurch gewonnenen Verständnis für das elektrische Verhalten des Lichtbogenofens war der Weg bereitet für:

- die Untersuchung von Meßfehlern und dahinter verborgenen Unsymmetrien der elektrischen Größen mit ihrem Einfluß auf den Verschleiß der Ofenwand,
- die Messung der Lichtbogenspannungen bzw. deren Gewinnung aus den meßbaren Größen und
- die Simulation des Hochstromsystems und dessen Symmetrierung.

Diese Forschungsergebnisse fanden ihren Niederschlag in mehr als einem Dutzend von Veröffentlichungen und in mehreren Dissertationen der beteiligten Mitarbeiter.

Spätestens mit der Entwicklung des „Meßsystems Clausthal“ mußte diese Stadt internationale Bekanntheit erlangen. Gemäß dem Ersatzschaltbild erhält man die Lichtbogenspannungen, indem man von den meßbaren Sternspannungen die Spannungsabfälle an den Leitungswiderständen und den Stranginduktivitäten sowie die induktive Fehlerspannung subtrahiert. Besonders einflussreich ist die Messung der hierfür benötigten Differentialquotienten der Ströme mit magnetischen Spannungsmessern, den sogenannten Rogowski-Gürteln, was zahlreiche Nachahmer gefunden hat. Das Ersatzschaltbild war auch die Grundlage für die an anderer Stelle durchgeführten Überlegungen und Untersuchungen zur vereinfachten Beschreibung des elektrischen Verhaltens von Drehstromlichtbogenöfen.

Keramikfreies Erschmelzen und Inertgasverdüsen von reaktiven Materialien

Dr.-Ing. Wolfram Diemar, Prokurist der Firma Leybold Durferrit und Leiter des Bereiches „Pulvertechnik“, Hanau

Das industriell und wirtschaftlich führende Metallpulverherstellungsverfahren ist die Wasserverdüsung. Die mit diesem Verfahren hergestellten Metallpulver bestehen aus unregelmäßig geformten, spratzigen Teilchen. Sie lassen sich deshalb gut kalt

2

kompaktieren. Der Hauptnachteil des Verfahrens besteht jedoch in der hohen Reaktivität des Wassers, was sich in hohen Oxidgehalten der auf diese Weise produzierten Pulver auswirkt. Pulver aus Metalllegierungen, die reaktive Komponenten enthalten, oder hochwertige, oxidarme Qualitäten, müssen unter Inertgasatmosphäre zerstäubt werden. Hierbei entstehen kugelförmige Pulverpartikel. Bei hochreaktiven Metallen, zum Beispiel Titan, besteht die Gefahr der Verunreinigung der Schmelze durch Reaktionen mit der Tiegelausmauerung, in der Regel eine Al_2O_3 -Keramik. In diesen Fällen werden sogenannte Kaltiegel oder tiegelfreie Verfahren eingesetzt. Als Energiequellen für das Erschmelzen dieser Materialien dienen Lichtbogen-, Plasma-, Elektronenstrahl- und Induktionsheizquellen. Keramikfreie Metallpulver mit höchsten Qualitätsansprüchen hinsichtlich Reinheit und Feinheit werden zum Beispiel bei der Targetherstellung eingesetzt. Aber auch in der Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt werden extrem reine Metalle oder Metalllegierungen zur Produktion hochbeanspruchter Bauteile benötigt. Typische Materialien, die keramikfreie Herstellungsverfahren benötigen, sind zum Beispiel FeTiB, Ti, TiAl, FeGd. Zwei neuartige Anlagenkonzepte zur keramikfreien Metallpulverzeugung werden nachfolgend kurz vorgestellt.

EIGA-Prozeß (Electrode-Induction-Melting with Inertgas-Atomization)

Eine sich um die eigene Achse drehende Metallelektrode wird von einer ringförmigen Induktionsspule erhitzt und abgeschmolzen. Der kontinuierliche Schmelzfluß gelangt direkt in das Verdüsungssystem, in dem das Metall durch Inertgas zerstäubt wird. Die feinen und hochreinen Metallpulverpartikel erstarren in einem Verdüsungsturm, um anschließend in einer Pulverkammer aufgefangen zu werden. Die Wechselbeziehung zwischen dem Schmelzstrahl, der nahezu ununterbrochen fließt, und der Gasdüsengeometrie führt durch Optimierung zu einer Verbesserung der Feinpulverausbeute. Sie ist bei diesem Prozeß heute durch nahezu 50% unter 50 µm

Partikelgröße gekennzeichnet. Eine EIGA-Anlage ist im letzten Jahr an das „Zentrum für Funktionswerkstoffe“ geliefert worden, einer Institution, die der TU Clausthal angegliedert ist.

PIGA-Prozess (Plasma-Melting Induction-Guiding with Inertgas-Atomization)

Beim Gebrauch dieser Technik wird das Material in einem wassergekühlten Kupfertiegel mit einem Plasmabrenner erschmolzen. Als Einsatzmaterial können Stückchen oder Granulat mit Barren verwendet werden. Dies löst das Problem, vorgefertigte Elektroden anfertigen zu müssen, wie es für den beschriebenen EIGA-Prozess notwendig ist.

Da Titanschmelzen mit jedem Tiegelmaterial reagieren und damit eine Verunreinigung der Schmelze hervorrufen würden, wird für diesen Prozess die Skull-Melting-Technik angewandt. Die Legierung wird dazu in einem wassergekühlten Kupfertiegel aufgeschmolzen. Dabei ist die Innenwand des Tiegels stets so kalt, daß aufgeschmolzenes Material bei Berührung dort sofort erstarrt. Dadurch bildet sich im Kupfertiegel eine feste Schicht aus der Titanlegierung (Skull), die in ihrem Inneren eine Schmelze enthält. Mit dieser Technik kann die Verunreinigung der Schmelze durch Kupfer aus dem Tiegel weitgehend ausgeschlossen werden.

Am Boden des Tiegels befindet sich ein neuentwickeltes Strahlführungssystem, um die abfließende Schmelze durch das Überführungssystem zur Zerstäubung in die Gasdüse zu geleiten. Das Führungssystem besteht aus mehreren wassergekühlten Kupfersegmenten; diese sind untereinander durch schmale Nuten voneinander getrennt. Das elektromagnetische Feld, das von der umgebenden Induktionsspule erzeugt wird, durchdringt die schmalen Nuten und koppelt am Schmelzstrahl an.

Der geschilderte Anlagenaufbau wurde erstmalig am Institut für Werkstoffkunde des GKSS-Forschungszentrums für Entwicklungsanwendungen neuer Materialien, wie Titanaluminide oder intermetallische Verbindungen installiert.

Die Resultate der PIGA-Anlage werden durch zukünftige Optimierungen der geometrischen Anordnung der Induktionsspule des Strahlführungssystems, der Gasdüse und der Prozessparameter (Überhitzung der Schmelze, Schmelzflußrate etc.) noch verbessert. Nach der Optimierung des Prozesses darf eine Pulverausbeute mit $< 45 \mu\text{m}$ von über 90% erwartet werden. Die Pulverform ist kugelförmig mit nahezu keiner Agglomeration und Satellitenbildung.

Berechnungsmethoden

Zur Lösung von Wirbelstromproblemen in Leitungssystemen

Dr.-Ing. habil. Abbas Farschi, Akad. Direktor und Priv.-Doz. an der TU München, Abt. Integrierte Schaltungen

Die Dimensionierung und Optimierung der Leitungen ist in der Regel schwierig und häufig erst über Feldberechnungen möglich. Dabei sind meistens nicht die lokalen Größen, wie die Feldstärke außer- oder innerhalb der Leitungen von Interesse, sondern primär die integralen Größen wie Induktivitäten, Kapazitäten und Widerstände der Leitungen. Spricht man von einem Leitungssystem, so handelt es sich dabei um die Kapazitäts-, Induktivitäts- und Widerstandsmatrix dieses Leitungssystems. Vom Standpunkt der Systemregelung, des Systemverhaltens und der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Signale für das Gesamtsystem aus, das heißt nicht nur des Leitungssystems, sondern auch der durch Leitungen verbundenen Subsysteme, sind diese Matrizen, die von der Stromdichteverteilung abhängig sind, von entscheidender Bedeutung.

Zur Lösung von Wirbelstromproblemen gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die grob in analytische und numerische Methoden unterteilt werden können. Die Einsatzmöglichkeit von analytischen Behandlungen ist sehr begrenzt und nur für sehr einfache geometrische Leiteranordnungen möglich. Die zumeist eingesetzten numerischen Methoden hierfür sind Finite-Differenz-Methode (FDM), Finite-Elemente-Methode (FEM) und Finite-Netzwerk-Methode (FNM).

Die drei genannten Methoden werden nach ihrer Struktur der Koeffizientenmatrix, numerischen Gesichtspunkten, programmtechnischen Umsetzungen und Einsatz- bzw. Anwendungsmöglichkeiten untersucht.

Elektroniksysteme im Kraftfahrzeug

Dr.-Ing. Hubertus Thiele, Geschäftsleiter des Technischen Verkaufes für Deutschland (West), Niederlande und England (teilweise), Robert Bosch GmbH, Köln

Das Kraftfahrzeug ist in seiner Komplexität und in den gestellten Anforderungen ohne Elektronik nicht mehr herstellbar. Die auch im Zusammenhang mit dem Kraftfahrzeug immer dringender werdenden Fragen der Ressourcenschonung und Umwelterhaltung können nur mit Hilfe elektronischer Systeme erfolgreich gelöst werden.

Die Entwicklung dieser Systeme begann Ende der fünfziger Jahre, die extremen Anforderungen im Kraftfahrzeug wie Temperaturschwankungen von -40° bis $+150^\circ$ C, hohe Schüttelbelastungen, Salznebel, Spritzwasser, Öldämpfe usw. verzögerten das schnelle Vordringen.

Mittlerweile übertreffen die elektronischen Systeme die mechanischen bezüglich Zuverlässigkeit und Robustheit, die Geräte sind klein und preiswert, verschleißlos und damit wartungsfrei.

Heute bietet die Elektronik, besonders in Form der modernen Mikroelektronik und Mikroprozessortechnik Möglichkeiten, die mechanisch nicht verwirklicht werden können, zum Beispiel die Verknüpfung vieler Eingangsgrößen durch beliebige Algorithmen oder mehrdimensionale Kennfelder: Die vom Gesetzgeber gestellten Forderungen nach Begrenzung von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemission können so erfüllt werden.

Der Einsatz der elektronischen Systeme läßt sich nach den Oberbegriffen Antriebsstrang, Sicherheit, Kommunikation, Komfort ordnen.

Der Einsatz im Antriebsstrang bedeutet unter anderem elektrische Einspritz- und Zündsysteme mit Lambda-Regelung, Dieselregelung, elektronische Getriebesteuerung und die Steuergerätekopplung. Die Erhöhung der Sicherheit wird zum Beispiel durch Antiblockiersystem und Schlupfregelung, automatische Rückhaltesysteme wie Gurtstraffer und Airbag, elektronisch gesteuerte Lenksysteme und neue Scheinwerfertechnologie realisiert. Unter dem Begriff Kommunikation fallen neben Radio, Telefon und Travelpilot auch Bordcomputer mit zentralem Informationsterminal. Dem Komfort schließlich dienen auch Fahrwerk- und Klimaregelung sowie Sitzverstellung mit Positionsspeicher. Diese genannten Systeme optimieren hauptsächlich das Fahrzeug für sich selbst. Die künftige Entwicklung wird mehr und mehr dazu übergehen, den Verkehr als Gesamtsystem durch eine moderne Verkehrsleittechnik zu verbessern. Der Anteil der Elektronik im Fahrzeug wird weiter wachsen und schon bald rund 20% der Gesamtkosten ausmachen. Mit seiner Hilfe werden die Fahrzeuge in Zukunft noch wirtschaftlicher, sicherer, umweltschonender und komfortabler.

Redundanz bei Prozeßbleitsystemen

Dipl.-Phys. Dr.-Ing. Albrecht We in e r t, Siemens AG, Entwicklungsabteilung Automatisierungstechnik, Karlsruhe
Prozeßbleitsystem (PLS) ist der Überbegriff für die leittechnischen Einrichtungen zum Regeln, Steuern, Bedienen und Beobachten eines fertigungs- oder verfahrenstechnischen Prozesses, die mit einem einheitlichen und durchgängigen Systemansatz arbeiten. Insbesondere bei größeren Anlagen und Prozessen, wie beispielsweise bei einer chemischen Produktionsanlage oder bei einem Kraftwerk, ergibt sich ganz natürlich eine Unterteilung in Teilanlagen und -prozesse sowie eine Hierarchisierung der Leitebenen. Dies geht von der Anlagenleitebene mit zentralen Bedien-, Beobachtungs- und Projektierfunktionen über Gruppen- und Einzelleitenden mit Automatisierungsfunktionen bis hin zu den Sensoren und Aktoren des Prozesses. Die Bezeichnungen der

Ebenen sind je nach Hersteller, System und Branche unterschiedlich. Ein so strukturiertes PLS läßt sich auch als eine Pyramide darstellen, in der Verarbeitungs- und Kommunikationsebenen einander abwechseln. Nach oben zur Spitze der Pyramide zu liegen die prozeßfernen und zur Basis hin die prozeßnahen Komponenten. In den Kommunikationsebenen liegen jeweils Busse, die mehrere darunterliegende Verarbeitungseinheiten und eine darüberliegende Verarbeitungseinheit verbinden.

Bei vielen Anwendungen werden erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen gestellt: Die Prozeßführungsaufgaben sollen auch dann weiter ausgeführt werden, wenn in einzelnen Teilen des PLS Fehler oder Defekte auftreten. Letztere sind wegen des statistischen Ausfallverhaltens elektronischer Bauteile auch mit aufwendigsten Qualitätssicherungsverfahren nicht vermeidbar. Dieses Ziel erreicht man mit Redundanz; das ist das Einsetzen von mehr Mitarbeitern, als zur Erfüllung der Aufgabe nötig wären. Gängige und für das jeweilige Ziel minimale Redundanzstrukturen sind:

- 2 von 2 mit dem Ziel der Sicherheit,
 - 1 von 2 mit dem Ziel der Verfügbarkeit und
 - 2 von 3 mit den Zielen Sicherheit und Verfügbarkeit.
- 2 von 2 bedeutet, daß verdoppelt eingesetzte Verarbeitungseinheiten synchron die gleiche Aufgabe bearbeiten. Auftretende Fehler werden durch Vergleiche erkannt. Die Prozeßführung wird nur aufrechterhalten, wenn beide Verarbeitungseinheiten übereinstimmen, sonst wird der Prozeß sicherheitsgerichtet stillgesetzt.

Neben der Verfügbarkeit bzw. Sicherheit sind weitere Merkmale der eingesetzten Redundanzlösungen wichtig, die man oft unter dem Sammelbegriff „Redundanzqualität“ zusammenfaßt:

- Hoher Fehlererkennungsgrad,
- kleine Fehlerlatenzzeit,
- Einteilung des Gesamtsystems in mehrere fehlerausbreitungsmäßig gut abgeschottete Fehlerabgrenzungsregionen, geringe oder keine Leistungsminde rung bei tolerierten Fehlern,
- On-line-Reparierbarkeit, das heißt Reparieren bei weiterlaufendem Prozeß,

- Transparenz der Redundanz; der Anwender und Projektierer soll wenig bis nichts von der Redundanz einer Komponente merken,

- Durchgängigkeit der Redundierbarkeit.

Die Strenge der Redundanzanforderungen ist je nach Leittechnik-ebene durchaus unterschiedlich und so unterscheiden sich auch die Lösungsprinzipien bei den verschiedenen Verarbeitungs- und Kommunikationseinheiten.

Bei redundanten Bussen zum Beispiel sind die Anforderungen hoch: Ein Fehler muß stoßfrei toleriert werden. Ferner soll im allgemeinen die Redundanz für den Anwender transparent sein.

Bei den prozeßnahen Komponenten lassen sich die strengen Echtzeitanforderungen nach einem stoßfreien und weitgehend „totzeitlosen“ Weiterarbeiten nur mit der synchronen Bearbeitung der Aufgabe in zueinander reduzierten Teilsystemen erfüllen.

Eine besonders attraktive Lösungsmöglichkeit hierfür ist die takt-synchrone Arbeitsweise, wie sie unter anderem beim Zentralteil des Automatisierungssystems TELEPERM M AS 235 H realisiert wurde. Die verdoppelte Standardhardware bearbeitet stets takt-synchron die gleiche Software. Die Taktgeber sind gegenseitig synchronisiert, aber voneinander unabhängig. Das Erkennen von Fehlern sowie alle Synchronisierungsaufgaben übernimmt die einzige spezielle (Nichtstandard-) Hardware in dem modularen System. Die Anwender- und weitestgehend auch die Systemsoftware „sieht“ eine logische und mit dem entsprechenden einkanaligen Standardsystem identische Maschine.

Elektronische Havariesicherung

Dipl.-Ing. Hubert Kayser, Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal

Im Zuge des derzeit anstehenden Strukturwandels bei drehzahl-geregelten hochdynamischen elektrischen Antrieben großer Leistungen von der Gleichstromtechnik zur Drehstromtechnik stellt sich die Frage, ob es möglich ist, die sehr gute Regelbarkeit von Drehmoment und Drehzahl zum Schutz von Antriebswellen, Kupplungen und Getrieben vor gefährlichen Überlastungen auszunutzen. Hierdurch könnten Lebensdauererhöhungen und Ver-ringerungen der Ausfallzeiten betriebsmäßiger Anlagen erzielt werden. Erste Simulationsergebnisse zeigen, daß bei Anwendung intelligenter Auslösemechanismen, die auf der digitalen Echtzeit-simulation und auf dem Vergleich von gerechneten und gemessenen Prozeßgrößen beruhen, Überlastungen bei Antriebswellen vom Sechsfachen auf das Zweifache des Nennmomentes redu-ziert werden können.

Dominierendes Polpaar bei der Asynchronmaschine

Dipl.-Ing. Matthias Krüger, Institut für Elektrische Energie-technik, TU Clausthal

Die Drehstromasynchronmaschine ist heute die am weitesten verbreitete elektrische Antriebsmaschine. Da es sich bei ihr systemtheoretisch um ein zeitvariantes nichtlineares Differen-tialgleichungssystem von mindestens vierter Ordnung (ohne Mechanteil) handelt, ist es für praktische Belange relevant, eine einfache mathematische Beschreibung zu finden, die das dyna-mische Verhalten möglichst im gesamten Betrieb hinreichend genau beschreibt. Es kann gezeigt werden, daß bei Sprunganre-

gungen von bis zu 10% der Nennspeisefrequenz bzw. -spannung das dynamische Verhalten für schwachgedämpfte Maschinen (gilt im allgemeinen für Maschinen > 100 kW) in einem Betriebsbereich oberhalb von 10% der Nennzahl von einem dominie-renden Polpaar bestimmt wird, was die mathematische Beschrei-bung durch ein lineares Systemmodell zweiter Ordnung erlaubt.

Autonomes modulares Energieversorgungssystem – hier Führung von Inselnetzen

Dipl.-Ing. Constantis Sourkounis, Institut für Elektrische Ener-gietechnik, TU Clausthal

Für die Versorgung entlegener Gebiete mit elektrischer Energie, die aus regenerativen Energiequellen (Photovoltaik, Wasserkraft, Wind etc.) erzeugt wird, ist eine Führung des elektrischen Insel-netzes in Hinblick auf Frequenz- und Spannungsstabilität erfor-derlich. Dies geschieht heute mit „Synchron-Phasenschieber-Maschinen“. Hierfür könnten aufgrund des Fortschrittes der Leistungselektronik in Zukunft statische Umrichter eingesetzt werden.

Es wurde ein diesbezügliches Konzept erläutert, welches derzeit am Institut erprobt wird. Es beruht auf der Idee, daß die Synchron-Phasenschieber-Maschine zur Blindleistungskompensation bzw. Spannungsstabilisierung entfällt und der ohnehin notwendige Umrichter zur Auf- und Entladung des Batteriespeichers zum Ausgleich der Wirkleistungsschwankungen (Frequenzstabilisie-rung) die Aufgabe mit übernimmt. Dadurch ergeben sich neben einer Kostenersparnis ein höherer Gesamtwirkungsgrad der Anlage und eine bessere Spannungs- und Frequenzstabilität des Inselnetzes.

Auszug aus

Mitteilungsblatt der TU Clausthal, Heft 74, 1992
ISBN 0344-6611

Electronic equipment for the prevention of damages in rolling mill systems

Dipl.-Ing. Hubert Kayser

Institut für Elektrische Energietechnik, Technische Universität Clausthal, Leibniz-
straße 28, W-3392 Clausthal-Zellerfeld, Germany

Abstract

The following pages provide you with measures to prevent damages in rolling mill systems. Subject-matter of the publication is a method to minimize an unexpected overload in the drive train on an electrical bases, in contrast to conventional protective devices, which partially become destroyed when activated. The report is a part of the research work carried out at the Institute for Electrical Power Engineering at the Technical University of Clausthal.

1. Introduction

Nowadays mankind is more and more conscious that the needs of the future are economization of material, raw material, energy, costs and pollution control.

Fulfillment of these requirements is achieved by optimization of installations with particular care being taken on energy and material consumption. Herefore the construction should be restricted to the bare minimum material required.

Presently machines and hence installations are designed using safety factors making them larger and uneconomical, in respect to material and energy consumption, in order to prevent damages caused by unexpected/uncalculatable overloads.

Should, however, unexpected overloads be minimized or even prevented then such unnecessary material and energy wastage could be stopped.

This report presents electronic equipment designed to prevent damages in rolling mill drive trains. Preventing overloads, like the blocking of the rollers, is difficult on sides of the process itself, because factors such as wrong roller settings and wrong slab temperature can easily occur. /1/

For example: If blocking occurs while the rollers were rotating at half speed and the electric motor continues to drive with a constant torque, then between five to six times the rated load torque is obtained in the drive train at the drive end. This would, most probably, cause severe damage in the drive train. /2/

Due to this, an effective solution would be to influence the electric drive of the rolling mill and thus prevent the unwanted overload. /1/

To minimize the overload electronically, one has to engage in the drive control in sufficient time. The driving torque must be reduced as quickly as possible, or the speed of the motor has to be adjusted to that of the rollers, which, in this case, would be zero.

2. Minimizing the overload - a complex system task

Minimizing the overload in the drive trains of rolling mills electronically is a challenge which can only be solved by cooperation between mechanical and electrical engineering. This can be explained as follows: An electrical drive can develop very different dynamical behaviours only due to its application, especially if the drive is converter-fed.

The dynamical behaviour of such a drive train system can only be analyzed by determining the system characteristics. The aim is a "system-integration", which means the drive must meet the installation needs in function and costs. This is a complex task, which has to be worked out in a team existing of mechanical engineers, electrical engineers, client (= process expert) and system manager.

Applied to the electronic equipment responsible for the minimization of overloads in a rolling mill the system manager has to determine the following system characteristics /3/:

- * necessary rise time of the air gap torque
- * permissible overload in the drive train
- * transient response of the air gap torque
- * measuring signals for the LIF-observer
- * overload recognition time
- * load acceptance of the machinery
- * overload-reserve of the machinery and electronics
- * parameter of the mathematical model of the installation.

Fulfillment of these demands can only be achieved with much experience, as well as a simulation of the installation system.

3. Minimizing the overload - an example for doing it electronically

Taking a converter-fed d.c.-drive, as generally used (Figure 1), and computing the Load Input Function (LIF) with a "LIF-observer" /4/ it can be decided, after an overload recognition time of 15 ms, whether there is a disturbance or not. If you do not react to the disturbance, the allowed peak-torque will be transgressed.

Figure 2 shows the results from a simulation carried out according to the concept of Figure 1. The roller-blocking at $t_0 = 1$ s is due to introducing 20 times

In this shown, idealized simulation, a torque rise time of 10 ms and 2,5 times the nominal value of the motor torque are assumed. The result is a final reduction of the drive train torque to nearly 30% of the possible value (≈ 6 times $M_N/2$).

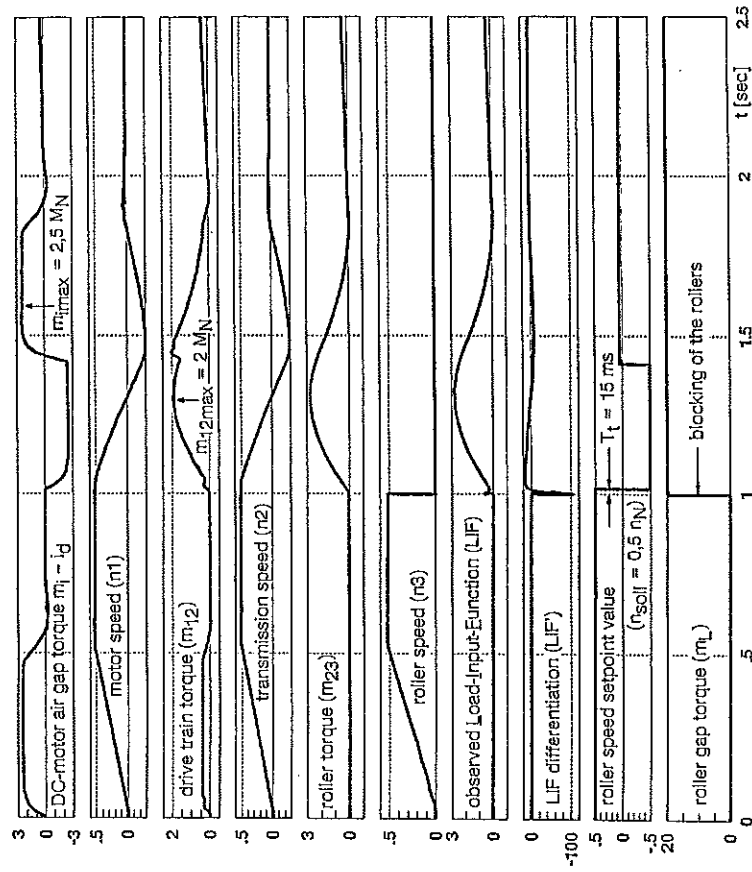


Figure 2: Simulation of the dynamical behaviour with blocking of the rollers and introduction of the electrical overload minimization (p. u. system)

Comparing previously computed results and those obtained from the simulation show that the decisive factor for success is the fast overload recognition time of 15 ms /4/. The applied "LIF-observer" is able to reach these times, because in this case, values for the roller torque m_{23} and the roller speed n_3 are obtainable. In practice this is not always possible and therefore other observer- constructions and values must be used.

the nominal torque M_N between the rollers which in practise can easily come from a too thick slab /1/. It is shown that the torque in the drive train m_{12} does not cross two times the nominal value, if there is a reversion of the speed at $t_0 = 1$ s + 15 ms. After another 0,4 s the drive train torque m_{12} is reduced to an acceptable value. Here the roller speed setpoint value n_{soll} must be set to zero. If n_{soll} is kept at - 100 % the rollers would speed up in the other direction.

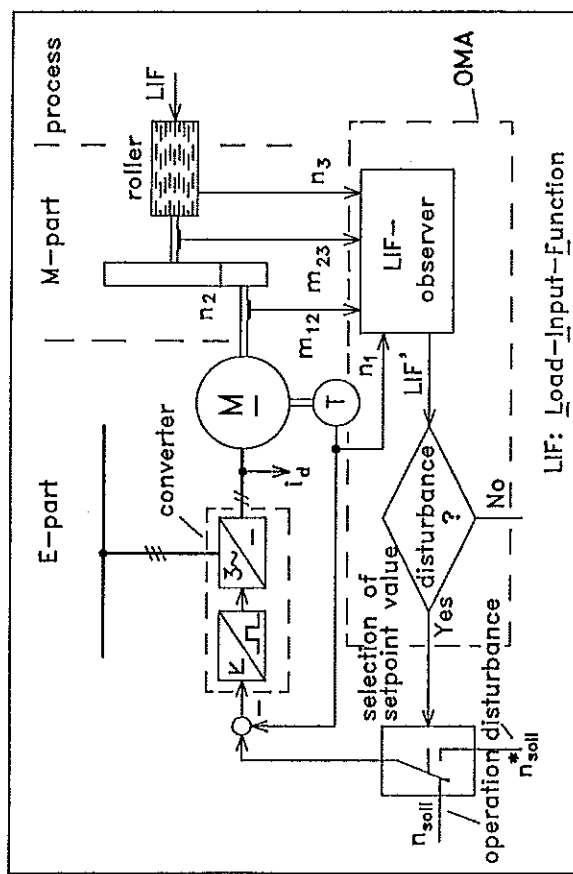


Figure 1: Principle of a converter-fed d.c.-drive with Overload Monitoring Appliance (OMA) /3/

Another aim is to prevent the drive train torque m_{12} and the roller torque m_{23} , which are measured before and after the transmission crossing zero, because this would certainly destroy the tooth flank of the gear train. Unlike previous simulations /3/ this problem does not occur with the discussed simulation as can be seen from the results. Sufficient time remains after carrying out the overload minimization to eliminate further blockage through measures such as separating the rollers.

Preventing overloads in drive trains is principally possible, if the needed data for the "LIF-observer" is obtainable and the electric drive is able to fulfill the needed requirements like torque reversion speed.

4. Controlled drives of rolling mills - yesterday, today and tomorrow

The classical drive of a rolling mill is the converter fed d.c.-motor. If one watches the oscillogram of a real drive's armature current, which is proportional to the air gap torque /5/, one will recognize, that it can be reversed in 10 ms. Although this torque behaviour is favourable, in todays installations a.c.-drives are preferred, because then the disadvantages of the d.c.-drives, such as too low limit rating and restrictions in duty caused by the commutator, can be overcome.

Nowadays a three phased synchronous machine would normally be used. The d.c.-armature circuit now becomes a three-phase stator circuit /6/. The three necessary double-way-converters deliver a symmetrical three-phase current in a frequency band from -20 Hz to +20 Hz (negative frequency means changing the direction of rotation). The supplied maximum frequency of 20 Hz is restricted from the mains.

Still the oscillogram of the dynamical torque-behaviour is comparable to the one of the d.c.-drive, but one has now overcome the previously mentioned disadvantages.

The solution of main-drives for rolling mills in the future is practised already in todays high-speed-locomotives with three-phase asynchronous traction motors /7/. This solution can be denoted as a d.c.-motor with an "electronic commutator". This is a constellation of a 3-point pulse controlled inverter with GTO, which is fed from a direct voltage intermediate circuit /6/. This electronic commutator feeds the three phase asynchronous machine with a frequency from -200 Hz to +200 Hz. This drive-concept is characterized by a robust electrical machine with high dynamic in torque and speed. Until now the shortest measured return of the air gap torque is 3,5 ms. This is only 30 % of the d.c.-drive. The advantages of such drives for use in an electronical overload minimization are obvious.

Unfortunately the limit rating of this kind of converter is, at the moment, 5 MVA /8/. However, at present, converters of only 1,8 MVA are generally available /9/. But, due to the quick development of electronical components, in some years, drives with a higher limit rating should follow.

5. Examples of simulations

Using the three previously mentioned drive types, the simulation was carried out showing the efficiency of the electronical overload minimization method in each case. The mechanical part of the simulated rolling mill system is the same in every case /2/ and the three different types of drive are the ones introduced in chapter 4. The overload recognition time is $T_t = 15$ ms. The current is limited to 1,5 /10/ and 2,5 times the nominal current. Simulating various kinds of drive dynamics available is achieved by changing the data of the machine.

The table shows that the maximum torque in the drive train m_{12} can be reduced to approximately 50 % with $m_{1max} / M_N = 1,5$ and approximately 35 % with $m_{1max} / M_N = 2,5$. The reverse time of the torque has no influence on the obtained results, because the natural frequencies of the mechanical system are $f_1 = 10,9$ Hz and $f_2 = 28,5$ Hz. The quick reverse time of the converter fed polyphase machines can only take effect if the natural frequencies are in the range from 20 Hz to 50 Hz, which is generally achieved in new installations.

Table: Comparison of the efficacy of the electronical overload minimization at different types of drives /3/

return time (T_u) air gap torque	Type of drive						
	double-way-converter with d.c.-drive		direct converter with synchronous machine		pulse-controlled inverter with asynchronous machine		
air gap torque maximum (m_{1max})	12ms	20ms	∞	6ms	10ms	2ms	3,3ms
drive train torque maximum (m_{12max})	1,5	2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5
	2,6	2,0	5,2	2,6	2,0	2,6	2,0

REFERENCES

- 1 A. Guericke, B. Koenig and U. Riefenstahl, Neue Huette, 29 (1984) 54.
- 2 G. Sitzmann and J. Wicke, ASIM'91, 7.Symposium, Hagen, 1991, Vieweg Verlag.
- 3 H.P. Beck and H. Zenner, Stahl und Eisen, 112 (1992).
- 4 G. Sitzmann, Dissertation, TU Clausthal, 1990.
- 5 J. Langhoff and E. Kaatz, Geregelt Gleichstromantriebe, AEG-Telefunken Handbuch, Bd. 19, Elitera Verlag, 1977.
- 6 M. Meyer, Leistungselektronik, Einfuehrung, Grundlagen, Uberblick, Springer Verlag, 1990.
- 7 U. Baader and J. Hodapp, Fur die Hochleistungsstraktion optimierte Regelung der Induktionsmaschine, eb 3/91, S. 73 ff.
- 8 H.P. Beck, V. Putz and V. Tadros, ETG - Fachtagungsberichte, Konferenz, 6/1988.
- 9 U. Hyvainen and J.P. Makinen, PCIM Europe 1/12, 1990.
- 10 VDE/DIN 530, Umlaufende elektrische Maschinen, Teil 1, 1991.

Patentanmeldung

Autonomes modulares Energieversorgungssystem für Inselnetze

Aktenzeichen P 42 32 516.1

Zusammenfassung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein autonomes modulares Wind-Photovoltaik-Batterie-Dieselsystem zu konzipieren, bei dem die zur Netzführung bisher heute notwendige Synchronmaschine ersetzt und ein System entwickelt wird, mit dem eine Wirk- und Blindleistungskompensation mit Spannungseinprägung auf der Gleichstromseite erfolgen kann. Darüber hinaus soll durch Verwendung von erprobten auf dem Markt verfügbaren Komponenten die Modularität und Wirtschaftlichkeit der Anlage erreicht werden.

Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, daß anstelle eines netzgeführten Umkehrstromrichters zur Wirkleistungskompensation sowie eines Synchronmaschinenphasenschiebers zur Blindleistungskompensation eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mit am Eingang angeschlossenem Notstromaggregat Verwendung findet. Derartige unterbrechungsfreie Stromversorgungen sind an sich bekannt und werden heute z. B. zur Speisung von Computeranlagen verwendet. Hier sollen sie in modifizierter Form zur Inselnetzführung eingesetzt werden.

INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CLAUSTHAL

DIREKTOR: PROF. DR.-ING. HANS-PETER BECK
 PROF. (EM.) DR.-ING. KARLHEINZ BRETTTHAUER



Einladung

zum

Elektrotechnischen Fachkolloquium

aus Anlaß des

siebzigsten Geburtstages

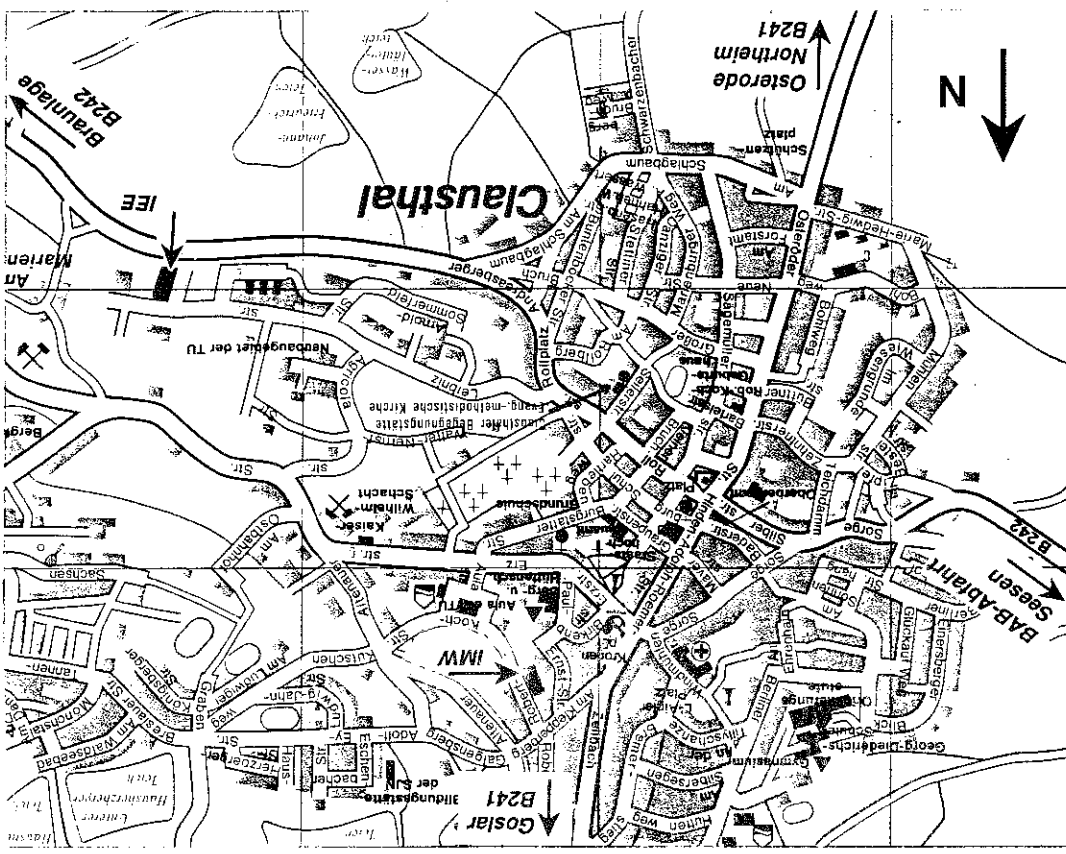
von

Prof. (em.) Dr.-Ing. Karlheinz Bretthauer

am

Freitag, den 3. Juli 1992

Hörsaal des Institutes für Maschinenwesen



Adressen:

IEE
 (Institut für Elektrische Energietechnik)
 Leibnizstraße 28
 D-W-3392 Clausthal-Zellerfeld
 Telefax: (05323) 72-2104

Organisation:
 Frau Mandt 72-2299 (Sekretärin)
 Dr. Wehrmann 72-2595 (Oberingenieur)

Prof. Bretthauer

(privat)
 Berliner Straße 45
 D-W-3392 Clausthal-Zellerfeld
 Telefon: (05323) 1336

Hörsaal des IMW

(Institut für Maschinenwesen)
 Robert-Koch-Straße 32
 D-W-3392 Clausthal-Zellerfeld
 Telefon: (05323) 72-2695

PROGRAMM

10 ⁰⁰ Uhr	Begrüßung durch den Leiter des Institutes für Elektrische Energietechnik Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck	12 ³⁰ Uhr	Mittagspause mit Imbiß und Gelegenheit zum Rundgang im Institut für Elektrische Energietechnik
10 ¹⁵ Uhr	Grußworte: Der Rektor der TU Clausthal Prof. Dr. rer. nat. Georg Müller Der Dekan des Fachbereiches Maschinen- und Verfahrenstechnik Prof. Dr.-Ing. Harald Zenner	15 ⁰⁰ Uhr	Elektronische Systeme im Kraftfahrzeug Dr.-Ing. Hubertus Thiele
10 ³⁰ Uhr	Laudatio: Clausthaler Beiträge zur Entwicklung des Drehstrom-Lichtbogenofens Priv.-Doz. Dr.-Ing. Siegfried Köhle	15 ³⁰ Uhr	Redundanz bei Prozeßleitsystemen Dr.-Ing. Albrecht Weinert
11 ⁰⁰ Uhr	Keramikfreies Erschmelzen und Inertgasverdüsen von reaktiven Materialien Dr.-Ing. Wolfram Diemar	16 ⁰⁰ Uhr	Vorstellung aktueller Forschungsarbeiten am Institut für Elektrische Energietechnik Dipl.-Ing. Hubert Kayser, Dipl.-Ing. Matthias Krüger, Dipl.-Ing. Constantis Sourkounis
11 ³⁰ Uhr	Berechnungsmethoden zur Lösung von Wirbelstromproblemen in Leitungssystemen Dr.-Ing. (habil.) Abbas Farschtschi	16 ⁴⁵ Uhr	Schlußworte Prof. (em.) Dr.-Ing. Karlheinz Brethauer Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
			<u>Institut für Elektrische Energietechnik.</u>
		19 ³⁰ Uhr	Empfang in der Eingangshalle des Institutes
		20 ⁰⁰ Uhr	Gemütlicher Abend



- | | | |
|---|--|----------------------|
| ⊙ | Verfügbare Gebäudefläche
(Leibnizstraße 28) | 1620m ² |
| | – Bürofläche | 826m ² |
| | (einschl. verliehener Fläche) | (220m ²) |
| | – Labor-/Prüffeldfläche | 794m ² |
| ⊙ | Mitarbeiter | |
| | – wissenschaftliches Personal | 12 |
| | – techn.-/Verwaltungspersonal | 9 |
| | – Lehrbeauftragte/Gastwissenschaftler | 5 |
| | – wissenschaftliche Hilfskräfte | 10 |
| | | <hr/> |
| | | Σ 36 |
| ⊙ | Prüffeld mit | |
| | – Maschinen-/Antriebslabor | |
| | – Energieelektroniklabor | |
| | – Hochspannungs-/Energieanlagenlabor | |
| | – Meßdatenverarbeitungslabor (HP1000/PC) | |
| | – Prüfstände für Walzwerks- und Bahnantriebe | |
| ⊙ | Mechanik-/Elektrotechnik-/Elektronikwerkstatt | |
| ⊙ | Prozeßrechner-/Simulationstechniklabor
(MicroVAX, SUN 4, PCs) | |
| ⊙ | CAD-Schaltplanerstellung | |

