Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 19

Artikel: Computergesteuerte elektromagnetische Energiespeichersysteme : ein Beitrag zur Energieoptimierung

Autor: Badr, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904277

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Computergesteuerte elektromechanische Energiespeichersysteme

Ein Beitrag zur Energieoptimierung

H. Badr

Dank der Leistungselektronik können viele Antriebssysteme der Anwendung besser angepasst und bezüglich Energieverbrauch verbessert werden. Am Beispiel einer raschen Positionierung aus dem Militärsektor wird gezeigt, wie mittels eines Schwungrads als Puffer Energie gespart werden kann.

Grâce à l'électronique de puissance, de nombreux systèmes d'entraînement peuvent être mieux adaptés à leur emploi, tout en réduisant la consommation d'énergie. Par l'exemple d'un positionnement rapide dans le secteur militaire, on montre comment de l'énergie peut être économisée par un volant amortisseur.

Das Projekt zur Realisierung des Energiespeichersystems mit dem Ansteuercomputer für die Leistungssteuerungen wurde in der Contraves AG (1980...1981) durchgeführt. Der Autor dankt für die Erlaubnis zur Veröffentlichung.

Adresse des Autors
Hassan Badr, dipl. El.-Ing., Dr. sc. techn. ETH, Dr. H. Badr & Partner AG, Aeschstrasse 112, 8123 Ebmatingen.

1. Einleitung

Positionierungssysteme haben die Aufgabe, eine träge Masse innert möglichst kurzer Zeit aus einer gegebenen Lage in eine neue, genau definierte Lage zu verschieben. Ein bekanntes Beispiel mit geringer Masse ist das Typenrad der Schreibmaschine. Um grössere Massen und damit auch Energieprobleme geht es bei Werkzeugmaschinen, Motorfahrzeugen und verschiedenen speziellen Anwendungen.

Die langjährige Entwicklung der Antriebstechnik und der Leistungselektronik brachte Systeme mit relativ kurzen Einschwingzeiten und hoher Präzision hervor. Durch die Verwendung von neuartigen Wechselstromgeneratoren, Thyristoren und Gleichstrommotoren konnte der Wirkungsgrad hoch gehalten werden. Die Steigerung der systemtechnischen Anforderungen bedingt anderseits eine Steigerung der Antriebsleistung, was eine entsprechende Dimensionierung der Energiequelle zur Folge hat.

Im Militärsektor benötigt man Antriebe z.B. zum Einweisen des Geschützes, des Panzerturmes und des Lenkwaffenwerfers. Im Zivilsektor wird das Auto mit Brennstoffmotor angetrieben. Beide Anwendungen weisen häufige Beschleunigungen und Bremsungen auf. Vorteilhaft wirkt die Integration eines Energiespeichers zur Deckung der Belastungsspitzen bei der Beschleunigung. Dies und die Rekuperation der Energie während der Bremsung reduzieren die Leistungsanforderung an die Energiequelle (meistens mit Brennstoffmotoren). Dabei wird die gesamte Energiebilanz wesentlich verbessert. Dadurch wird es möglich, relativ leichtere Energieversorgungseinheiten mit kleineren Verlusten zu realisieren. Niedrigerer Kraftstoffverbrauch sowie weniger Lärm- und Wärmeentwicklung sind die direkten Vorteile.

Im folgenden wird die Optimierung von Energie und Leistung am Beispiel eines Antriebes für militärische Zwecke gezeigt. Es handelt sich um die Positionierung einer schweren Waffe, die sehr rasch erfolgen soll.

2. Energiebetrachtungen

Die folgenden Daten werden für die Last bzw. Lastbewegung des in Figur 1

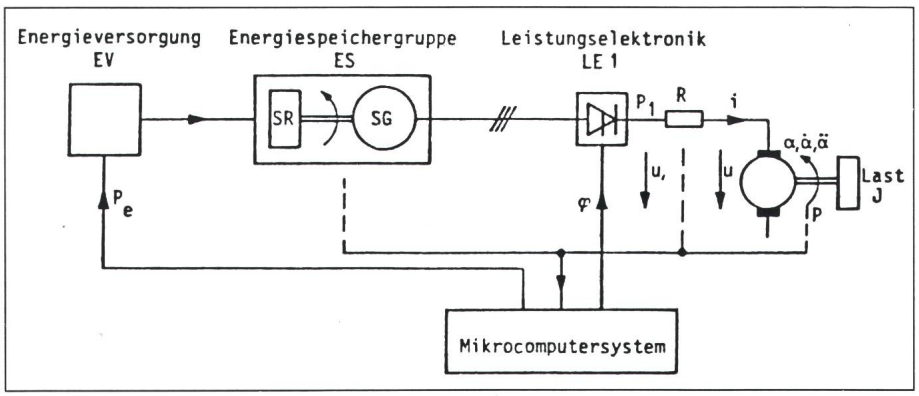


Fig. 1 Beispiel eines Antriebssystems mit Energiespeicher

SG	Synchrongenerator	φ	Zündwinkel
GM	Gleichstrommotor	P_e	Leistungsvorgabe
SR	Schwungrad	J	Lastträgheit
α	Drehwinkel		

schematisch dargestellten Antriebssystems angenommen:

Last-Trägheit (inkl. Motor und Getriebe)	7000 kg/m²
Einweiswinkel (Positionierung)	100°
Einweiszeit	1,6 s
Maximale Winkelgeschwindigkeit	2,2 rad/s
Maximale Beschleunigung	2,7 rad/s²

Die Gleichstrommotor- und Lastgleichungen sollen hier wie folgt vereinfacht verwendet werden:

$$u_i = R\,i + u \tag{1}$$

$$u = k\dot{\alpha} = \frac{k}{p}\,\ddot{\alpha} = \frac{k^2}{Jp}\,i \tag{2}$$

$$i = \frac{J}{k}\,\ddot{\alpha} = \frac{Jp}{k}\,\dot{\alpha} = \frac{Jp}{k^2}\,u \tag{3}$$

R Ersatzwiderstand
k Motorkonstante
J Lastträgheit (inkl. Motor und Getriebe)
τ Zeitkonstante $\tau = RJ/k^2$
p Laplace-Operator

Daraus erhält man die folgenden Übertragungsfunktionen:

$$\frac{u}{u_1} = \frac{1}{1+\tau p} \tag{4}$$

$$\frac{i}{u_1} = \frac{1}{R}\,\frac{\tau p}{1+\tau p} \tag{5}$$

Ohne Stromsteuerung wird unmittelbar nach dem Einschalten einer konstanten Spannung U_1 (Schrittfunktion) der maximale Strom i durch den Ersatzwiderstand R begrenzt. In Praxis wird dazu ein Begrenzungswiderstand benötigt. Für das magnetische Feld sorgen z. B. Permanentmagneten. Der Motor erzeugt ein Drehmoment, das die Last beschleunigt. Die Reibungsverluste werden hier vernachlässigt.

Die Lösung der vereinfachten Übertragungsfunktionen im Zeitbereich lautet (Fig. 2a):

$$u = U_1\,(1 - e^{-t/\tau}) \tag{6}$$

$$i = \frac{U_1}{R}\,e^{-t/\tau} \tag{7}$$

P Motorleistung
E kinetische Energie des Motors
E_1 zugeführte Energie
η_E Wirkungsgrad der Energieübertragung

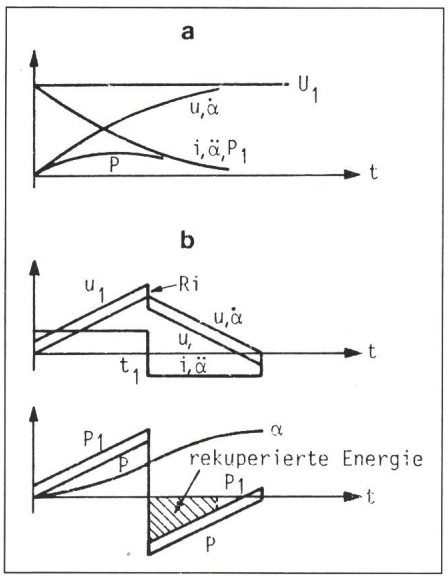


Fig. 2 Zeitverlauf der Systemzustände
a ungesteuerter Strom
b optimale Steuerung

Daraus folgen die Energiegleichungen:

$$E = \int_0^\infty P\,dt = \int_0^\infty u\,i\,dt = \frac{\tau}{2R}\,U_1^2 = \frac{1}{2}\,J\dot{\alpha}^2 \tag{8}$$

$$E = \int_0^\infty U_1\,i\,d\tau = \frac{\tau}{R}\,U_1^2 \tag{9}$$

$$\eta_E = E/E_1 = 50\% \tag{10}$$

Daraus ist es ersichtlich, dass ohne Regelung bzw. Steuerung nur die Hälfte der zugeführten Energie in Form von kinetischer Energie an die Last übertragen bzw. umgewandelt wird. Die andere Hälfte wird im Vorwiderstand und im Motorwiderstand als Wärme (Verluste) an die Umgebung abgegeben.

Eine optimale Steuerung beim Positionieren bedeutet *maximale Beschleunigung bis zur Positionsmitte, dann maximale Bremsung bis zum Stillstand.*

Die Eingangsspannung am Motor wird so gesteuert, dass der Betrag des Stromes und damit auch der Betrag der Beschleunigung konstant bleiben (Fig. 2b). Betrachtet man die maximale Leistung und Energie am Ende der Beschleunigungsphase ($t = t_1$), so gelten folgende Gleichungen:

$$P = u\,i = J\dot{\alpha}\ddot{\alpha} = J\dot{\alpha}^2/t_1 \tag{11}$$

$$P_1 = u_1\,i = P + R\,i^2 \tag{12}$$

$$E = \frac{1}{2}\,J\dot{\alpha}^2 \tag{13}$$

$$E_1 = \frac{1}{2}\,J\dot{\alpha}^2 + R\,i^2\,t_1 \tag{14}$$

$$\eta_E = 1/\left(1 + \frac{2\,Ri}{u}\right) \tag{15}$$

$$\eta_P = 1/\left(1 + \frac{Ri}{u}\right) \tag{16}$$

mit η_P: Wirkungsgrad der Leistungsübertragung

Dabei stellt man fest, dass der Wirkungsgrad vom maximalen Strom bzw. von der maximal gewünschten Beschleunigung und damit auch von der Positionierungszeit abhängig ist.

Lässt sich die Eingangsspannung steuern, so wird die Rekuperation ermöglicht, nämlich die Rückgewinnung der kinetischen Energie während der Bremsphase (beim Auto wird dieser Energieanteil mechanisch vernichtet). Die Eingangsstufe muss geeignet sein, diese Energie aufzunehmen bzw. an eine Energiespeicherstufe oder an das Netz weiterzuleiten. In diesem Fall muss das Netz die rekuperierte Energie anderen Lastgruppen bzw. Speichergruppen zur Verfügung stellen.

Durch die Rekuperation der kinetischen Energie in einem Speicher braucht die Energieversorgung nur die Verlustenergie zuzuliefern. Bei entsprechender Systemkonzeption reduziert sich die von der Stromversorgungseinheit benötigte Spitzenleistung deshalb erheblich. Die Grösse der Speisung hängt dabei wesentlich von der für das «Nachladen» verfügbaren Zeit ab.

3. Energiespeicherung

Für Antriebssysteme sind folgende Speicherarten wegen der geringen Energiedichte nicht geeignet:

- Kondensatoren (0,04 Wh/kg)
- Induktivitäten (0,01 Wh/kg)
- Torsionsfedern (0,03 Wh/kg)

Batterien eignen sich als Langzeitspeicher, falls eine grosse Energiemenge über lange Zeit geliefert werden muss. Sie sind nicht geeignet als Kurz-

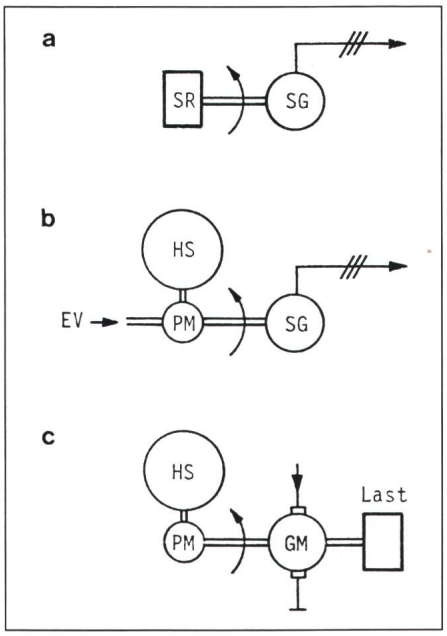


Fig. 3 Energiespeichermöglichkeiten

a Schwungrad SR mit Synchrongenerator SG
b Hydraulikspeicher HS mit Hydraulikpumpe bzw. -motor PM wirken als Leistungsbooster. Die mittlere Leistung wird von der Energieversorgung EV gedeckt.
c Grob- und Feinservo
Hydraulik: grob
elektrisch: fein

zeitspeicher, d.h. wenn eine sehr grosse Leistung während sehr kurzer Zeit erforderlich ist. Batterien haben allgemein eine grosse Energiedichte und eine kleine Leistungsdichte mit starker Einschränkung bezüglich der Aufladeströme.

- Bleibatterien (20 Wh/kg, 100 W/kg)
- NiCd-Batterien (100 Wh/kg, 500 W/kg)

Reine Pneumatikspeichersysteme haben einen niedrigen Wirkungsgrad (30 bis 40%) und wurden deshalb nicht weiter verfolgt. Für Antriebssysteme sind dagegen die folgenden Speicherarten geeignet (Fig. 3):

- Hydraulikspeicher (0,45 Wh/kg)
- Schwungradspeicher (35 Wh/kg)

Die weiteren Abklärungen über den Einsatz des Hydraulikspeichers mit Hydraulikmotor als Leistungsbooster oder als Grobservo zeigten, dass die Verluste und der Aufwand für die vorgesehenen Anwendungen zu gross sind.

Die ursprünglich als Alternative angesehene Schwungradlösung erwies sich erfolgsversprechend. Figur 4 zeigt einen dünnen Ringteil aus einem Schwungrad, um die durch die Rotation entstehenden Kräfte zu analysieren:

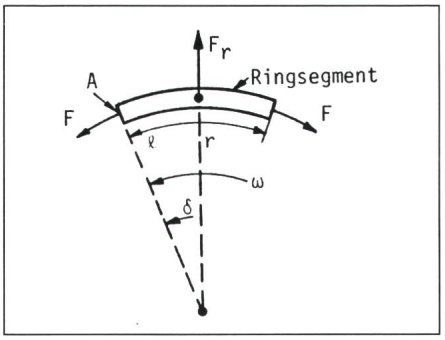


Fig. 4 Beanspruchung des rotierenden Ringteils

F_r Zentrifugalkraft, ω Winkelgeschwindigkeit, r Radius, m Masse, J Trägheit, l Segmentlänge, A Fläche, ϱ spez. Gewicht, E kinetische Energie, σ Zugfestigkeit und v Umfangsgeschwindigkeit

$$F_r = m\omega^2 r = mv^2/r$$
$$m = \varrho A l$$
$$J = mr^2$$
$$E = \frac{1}{2} J\omega^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2$$
$$F = \frac{1}{2} F_r/\sin\delta = F_r r/l = \sigma A$$

Daraus erhält man:

$$\sigma/\varrho = 2E/m$$
$$v = \sqrt{\delta/\varrho}$$

Schwungrad-Materialeigenschaften:

		Stahl	Kunststoffaser Kevlar
Spezifisches Gewicht φ	kg/m³	7840	1360
Max. Zugfestigkeit σ	N/m²	$150 \cdot 10^7$	$200 \cdot 10^7$
Max. Energiedichte E/m	kJ/kg	95	735
Max. Umfangsgeschwindigkeit v	m/s	435	1200

Bemerkungen:

- Ein Sicherheitsfaktor von 2 bis 3 muss bei den Werten dieser Tabelle noch berücksichtigt werden.
- Kevlar bietet eine höhere Energiedichte und ist deshalb geeigneter als Stahl.
- Die Sicherheit bei Kunststoffaser-Schwungrädern ist wegen des Bruchverhaltens viel grösser.
- Der Verarbeitungsaufwand, die Homogenität und thermische Stabilitätsgrenze erschweren anderseits die Realisierung von Kunststoffaser-Schwungrädern.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass zur Zeit der Realisierung die Integration eines modernen Kunststoffaser-Schwungrades mit Termin- und Kostenproblemen verbunden war. Damit blieb das konventionelle Stahl-Schwungrad als einziger mit vertretbarem Aufwand realisierbarer Energiespeicher für die vorgesehenen Anwendungen.

4. Realisierung des Antriebssystems

Eine Energiespeichergruppe nach Figur 1, bestehend aus einem schnelldrehenden Synchrongenerator (12 000 U/min, 400 Hz) mit Stahlschwungrad, liefert die erforderliche Spitzenleistung für den mit Thyristoren gesteuerten Gleichstrommotor. Die Last wird durch den Motor optimal positioniert. Ein Computer regelt den Zündwinkel φ der Thyristoren, um den Strom während der Beschleunigung bzw. der Bremsung konstant zu halten.

Die Energiespeichergruppe kann an verschiedene Energieversorgungen (Fig. 5) angeschlossen werden. Zur Erprobung der Speichergruppe im Labor wurde ein 400-Hz-Asynchronmotor (Fig. 5b) integriert. Durch die Leistungssteuerung des Asynchronmotors wurde das Verhalten der Energieversorgung simuliert.

Das Mikrocomputersystem, bestehend aus einer LSI-11/23-Zentraleinheit und der entsprechenden Hardware und Software für den Echtzeiteinsatz, hat die folgenden Aufgaben:

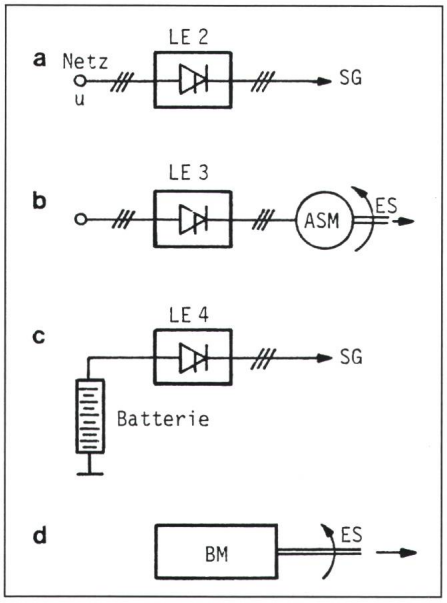


Fig. 5 Möglichkeiten der Energieversorgung

a Gesteuertes Netz: Der Synchrongenerator SG mit Schwungrad wird über die Leistungselektronik variabler Frequenz LE 2 asynchron hochgefahren. Während dem Antrieb der Last ist SG vom Netz abgekoppelt (Koordination der Zündwinkel von LE 1 und LE 2)
b Netztrennung: ASM Asynchronmotor, LE 3 Phasenanschnittsteuerung, ES Energiespeichergruppe
c Batteriesystem, LE 4 Wechselrichter (Inverter), Betrieb analog a
d Brennstoffmotor BM, mechanisch gekoppelt mit der Speichergruppe

ZWEI AUF EINEN STREICH!

Der kompletteste Katalog für den Elektrofachmann

Das Handbuch

Die drei Grossen in Einem

Dreibändiger Losblatt-Katalog

Immer auf dem neusten Stand

Bestellungen für Handbuch und Losblattkatalog nimmt Ihr VLE-electro team-Grossist gerne entgegen

Beide umfassenden Nachschlagewerke werden nicht an Privatpersonen abgegeben

electro team

September 1986

Sehr geehrte electro team-Partner

Nun liegt es vor, das vollständigste Katalogwerk für den Elektro-Installateur und -Fachmann. Es umfasst mehr als 100'000 Artikel, übersichtlich gegliedert in 22 Hauptgruppen. Jeder Artikel ist aussagekräftig beschrieben und systematisch mit der schweizerischen Einheitsnummer identifiziert (EDV-konform und auch in den Unterlagen von VSEI und VSE enthalten).

Je nach Verwendungszweck stehen Ihnen zwei Ausgaben dieses fortschrittlichen Nachschlagewerkes zur Verfügung: Der Losblatt-Katalog und das gebundene, kompakte Handbuch.

Mit dem Losblatt-Katalog, bestehend aus drei soliden Bänden, ist die permanente Aktualität des Kataloges gewährleistet. Das electro team sorgt dafür, dass Neuerungen oder Änderungen schnellstens in Ihrem Katalog Eingang finden.

Das gebundene Handbuch enthält den vollständigen Inhalt der drei Losblatt-Bände. Dieses Handbuch ist Ihr ständiger Begleiter bei der täglichen Arbeit, im Büro, auf der Baustelle, in der Werkstatt. Diese Ausgabe wird ungefähr alle zwei Jahre neu überarbeitet erscheinen.

Ihre Bestellung des Katalogwerkes bzw. Meldung zwecks «à jour»-Bringens Ihres bereits vorhandenen Losblatt-Kataloges nimmt Ihr VLE-electro team-Hausgrossist gerne entgegen. Auch ist er Ihnen in allen katalogtechnischen Belangen behilflich.

Es freut uns, wenn Sie von diesem Katalogwerk recht häufig Gebrauch machen und wir Ihnen mit dieser Dienstleistung Ihre Arbeit erleichtern können.

Mit freundlichen Grüssen
Ihr VLE-electro team

DEUX D'UN SEUL COUP !

Le catalogue le plus complet pour le spécialiste électricien

electro team

septembre 1986

A notre honorable clientèle

Le catalogue le plus complet pour l'électro-installateur et l'homme de métier est maintenant disponible. Il comprend à ce jour plus de 100'000 produits, répartis en 22 groupes d'articles, chaque produit étant identifié par une description technique et son numéro unifié suisse conforme aux besoins informatiques, ainsi qu'aux documents UCS et USIE.

Selon l'emploi auquel il est destiné, ce catalogue est disponible en deux éditions: le catalogue à feuilles volantes et le manuel broché, compact.

Le catalogue à feuilles volantes, en trois volumes, assure l'actualité permanente de l'œuvre. Les nouveautés et mutations y étant introduites rapidement par les soins d'electro team.

Le manuel broché reproduit, sous un format plus compact, le contenu intégral des trois volumes du catalogue à feuilles volantes. Il est destiné à devenir votre compagnon de travail permanent; au bureau, sur le chantier ou à l'atelier.
Sa mise à jour est assurée par une réédition tous les deux ans environ.

Votre grossiste UFE-electro team se fait un plaisir de prendre soin de votre commande du catalogue à feuilles volantes, ainsi que de votre désir de mise à jour de celui que vous possédez déjà. Il vous assiste également dans toute question concernant le catalogue et le manuel.

Nous serions heureux de vous voir utiliser fréquemment ce catalogue et de savoir votre travail facilité par ce service.

Avec nos sentiments distingués
votre UFE-electro team

vos partenaires electro team:

Electro Bauer SA · Elimac SA · Feller SA · A. Fenner & Cie SA · Julius Fischer SA · Otto Fischer SA · Grossauer SA · Levy fils SA · Albert Mäder SA · Ernst Rütschi SA · A. Saesseli & Co SA · Standard SA · Transelectro SA · Trolliet frères SA · Bruno Winterhalter SA · Oskar Woertz · Zahner SA

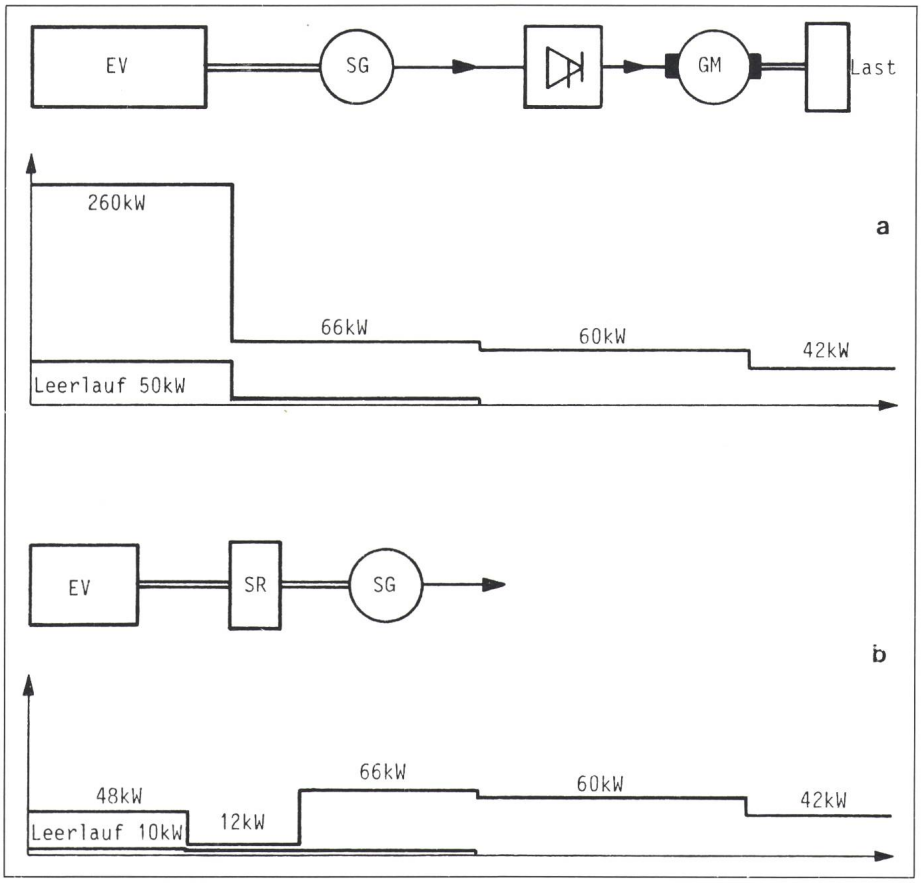


Fig. 6 Leistungsvergleich bei Speisung mit Brennstoffmotor
a ohne Speicher b mit Speicher

- Steuerung des Hochfahrverhaltens des Asynchronmotors und Festlegung der Kennlinien für die zulässigen Werte der Leistung, des Stromes und der Hochfahrzeit.
- Feldregelung des Synchrongenerators bei Belastung und Abschaltung im Leerlauf, um die magnetischen Verluste klein zu halten.
- Regelung des Stromes und damit auch der Beschleunigung des Gleichstrommotors.
- Aus den wenig zugänglichen Messsensoren müssen durch Estimationsverfahren weitere Parameter zur Berechnung der Energie und der Verluste bestimmt werden.
- Datenerfassung, Datenauswertung, Energiebilanz und Erprobungsprotokolle. Die graphischen Darstellungen auf dem Monitor erfolgten on-line. Für die graphische Dokumentation wurden der VAX 11/780 und ein Plotter mit einer hohen Auflösung off-line benutzt.

Die Energiespeichergruppe hat die Aufgabe eines Kurzzeitspeichers zur Deckung der Leistungsspitzen erfüllt. Das Schwungrad deckt die Leistungsspitze von 66 kW, so dass von der Energieversorgung nur 12 kW benötigt werden (Fig. 6). Das Schwungrad erreichte, nach Ende der Positionierung, die Leerlaufgeschwindigkeit in 6 s. Die vom Gleichstrommotor rekuperierte Energie betrug etwa die Hälfte der aufgenommenen Beschleunigungsenergie.

Dass die Energie-Optimierung nicht ohne beträchtlichen Aufwand möglich ist, zeigt abschliessend Tabelle I der Hardware und Software des Computersystems. Die DA-, AD-Wandler und die dazugehörige Interfacesoftware ermöglichen sehr schnelle Abtastvorgänge (bis 80 kHz), um die Energie bei nicht sinusförmigen Strömen genauer zu berechnen.

5. Schlussfolgerungen

- Das konventionelle Stahlschwungrad eignet sich für viele Anwendungen als Kurzzeitspeicher.
- Durch die Verwendung eines Energiespeichers wird eine wesentliche Reduktion der Leistungsanforderung an die Energieversorgung erzielt. Dementsprechend werden die Wärmeverluste, die Energiekosten und gegebenenfalls der Kraftstoffverbrauch reduziert. Besonders günstig wirkt der Energiespeicher bei einer Energieversorgung mit Brennstoffmotoren, da die Brennstoffmotoren einen schlechten Wirkungsgrad aufweisen (etwa 25% bei voller Belastung und weniger bei Teillast): Etwa das Dreifache der Nutzenergie geht in Wärme verloren. Eine kleinere Nennleistung des Brennstoffmotors bedeutet entsprechend kleinere Verluste. Dies gilt auch im Leerlauf.
- Bei einer Energieversorgung aus dem Netz wirkt der Energiespeicher als Trennung zwischen der Leistungsstufe und dem Netz. Dadurch wird die unerwünschte Netzbeeinflussung stark reduziert.

Hardware und Software des Mikrocomputersystems Tabelle I

Hardware:
- LSI-11/23-Mikrocomputer
- Floating Point Unit FPU
- Memory Management Unit MMU
- Ram 256 K
- Real-Time Clock
- Schnelle Digital-Analog-Wandler
- Schnelle Analog-Digital-Wandler
- Direct-Memory-Access-Kanäle DMA
- 2 Floppy-Disc-Drives, je 1 MByte
- I/O-Interface
- Modem (Verbindung zum VAX, off-line)
- Graphik-Terminal
- Drucker

Software:
- Real-Time-Betriebssystem RT 11
- Full-Screen-Editor KED
- Fortran-Compiler
- Fortran-Subroutinen
  - Graphik 105 Lib
  - Scientific Subroutine Package SSP
  - DA/AD-Steuerung DTLIB
- Fortran-Programme (Eigenentwicklung)
  - Hochfahrverhalten
  - Leerlaufmessungen
  - Lastzyklus und Energiebilanz
  - Hilfsprogramme
    - Datenerfassung
    - Frequenzmessung
    - AD-Kontrolle
    - Drehzahlkontrolle
    - Zündwinkelsteuerung
    - Kalman-Filter-Estimation
    - Datenberechnung
    - Plotter

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten erscheinen insbesondere auf folgenden Gebieten möglich:

- Reduktion der magnetischen Verluste und der Reibung.
- Optimierung der Form des Stahlschwungrades.
- Erhöhung der Drehzahl z. B. auf 24 000 U/min.
- Verwendung von Kunststoffaser-Schwungrädern bei grossem Energiebedarf.

Literatur

[1] *R.F. Post* and *S.F. Post:* Flywheels. Scientific American 229(1973)6, p. 17...23.

[2] *T. Ginsburg:* Können Schwungräder Pumpspeicherwerke ersetzen? Neue Zürcher Zeitung 195(1974)323 vom 15.7. (Forschung und Technik), S. 15...16.

[3] *H.K. Asper* und *M.W. Gröbly:* Rotierende Energiespeicher. Neue Zürcher Zeitung 198(1977)287 vom 7.12. (Forschung und Technik), S. 61...63.

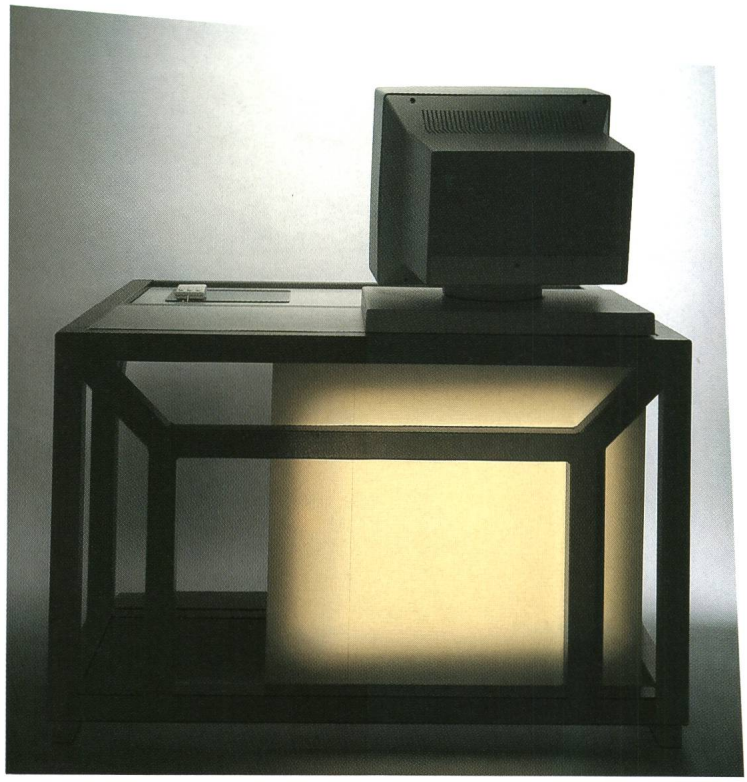
[4] *D.K. Reitan* and *M. Bahari-Kashani:* Superflywheel energy storage and nonsynchronous AC/AD/AC electric transmission supplements power system operation. Proc. IEEE 64(1976)10, p. 1543...1544.

[5] *D.D. Davis* a.o.: Battery flywheel hybrid electric power system for near term application. 2. volumes. UCID-17098. Livermore/California, California University/Lawrence Livermore Laboratory, April 1976.

[6] *C.J. Pentlicki* and *P. Poubeau:* Magnetic bearing momentum wheel. Satellite communications: Advanced technologies, vol. 55: Progress in astronautics and aeronautics (Sixth Communications Satellite Systems Conference, April 1976); p. 35...54.

[7] *M. Ott:* Schwungrad als Zusatzantrieb in Personenwagen mit Schaltgetrieben und Automaten. Technica 26(1977)22, S. 1677...1685.

[8] *S.V. Kulkarni:* Flywheel rotor. Preprint UCRL 84-713. Livermore/California, California University/Lawrence Livermore Laboratory, August 6, 1980.



AUS WELCHER PERSPEKTIVE MAN ES AUCH BETRACHTET

HÖHERE KOMPETENZ

Bei einem geographischen Informationssystem sind viele Dinge wichtig. Ob man isoliert an einer Einzelstation und/oder im LAN-Netzwerkverbund arbeiten kann. Ob UNIX™-Standard, 32bit-Mikroprozessor, vielfältige Software und relationale Datenbank-Struktur vorhanden sind. Ob man gleich zu Beginn viel oder wenig investieren muß. Ob man Daten von Karten und Plänen, Feldmessungen und Luftbildern an speziell ergonomischen Arbeitsstationen eingeben kann. Ob man für jede individuelle Aufgabe Daten mit höchster Freiheit strukturieren, mit letzter Finesse graphisch gestalten sowie unter beliebigen Kriterien kombinieren, speichern und ausgeben kann.
Zeit, das SYSTEM 9 von Wild Heerbrugg kennenzulernen.

UNIX ist ein eingetragenes Warenzeichen von AT&T

Wild+Leitz AG
Forchstrasse 158
Postfach 145
8032 Zürich
Tel. (01) 55 62 62 · Telex 54517

SYSTEM 9

WILD®
HEERBRUGG

Immer wenn das Licht ausfällt, wird KNOBEL eingeschaltet.

Stromausfall. Ein Fall, der eintreten kann, wie ein Blitz aus heiterem Himmel. Was nun?

Die KNOBEL Notbeleuchtungs-Systeme aus Ennenda schalten sich ein. Mit Sicherheit. Egal, welche Lichtquellen zum Einsatz kommen sollen. Denn die KNOBEL Notbeleuchtungs-Systeme erzeugen aus Gleichstrom Wechselstrom und gewährleisten so die Stromversorgung aller Lichtquellen. Dezentral, d.h. Elektronik und Akkus sind in der Leuchte integriert. Oder sektoriell, d.h. Elektronik und Akkus sind ausserhalb der Leuchten in Notbeleuchtungs-Gruppeneinheiten zusammengefasst. Immer aber gilt:

KNOBEL hat für jeden Bedarf das entsprechende System. Ob es 3 oder 300 oder 3000 Lichtquellen zu versorgen gilt.

KNOBEL bietet mit seinen Notbeleuchtungs-Systemen grösste Sicherheit bei geringster Wartung. Sollte dennoch ein Fehler auftreten, sorgt ein Alarmsystem für Meldung.

Zur KNOBEL Sicherheit, hohen Fertigungsqualität und zum technologischen Höchststand kommt der KNOBEL Service-Gedanke: die umfassende Beratung, Projektbearbeitung und der prompte Kundendienst. Licht aus. KNOBEL an.

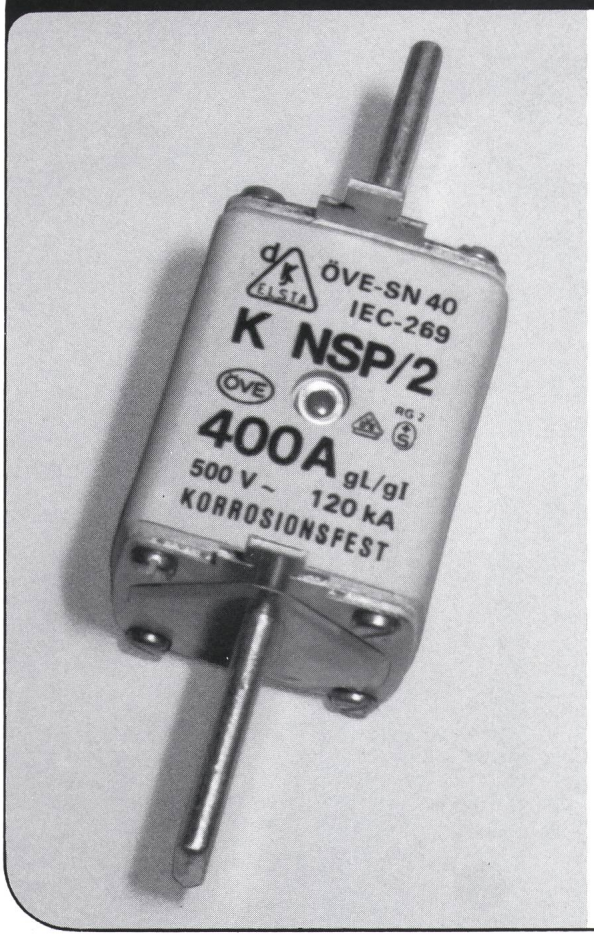
KNOBEL

Hinter gutem Licht steckt Knobel.

F. Knobel Elektroapparatebau AG
CH-8755 Ennenda, Telefon 058-63 11 71
Ein Unternehmen der WMH–Walter Meier Holding AG

Dr.-Juchli 638 Kn

RUTSCHMANN



NHS-Patronen

DIN 43620 VDE 0636 gL

für heute und morgen!

Sie zeichnen sich durch die folgenden Merkmale aus:

- Korrosionsfest
- Verlustarm
- Selektivitätsabstand 1:1,6 gewährleistet
- Kurzschlussfestigkeit 120 kA
- Entsprechend IEC 269 - 1 gl
- Grössen NSP 00: 6 bis 160 A
  NSP 2: 63 bis 400 A
  NSP 3: 160 bis 630 A

Qualität wie Preis überzeugen!

Verlangen Sie die ausführliche Dokumentation bei

RUTSCHMANN

Rutschmann AG
8627 Grüningen, Tel. 01 / 935 21 56

TRANSFORMATOREN TRANELA AG

*Wir **produzieren** auf unsern selbstentwickelten Wickelmaschinen — die weltweit auch bei andern führenden Transformatorherstellern im Einsatz sind —*

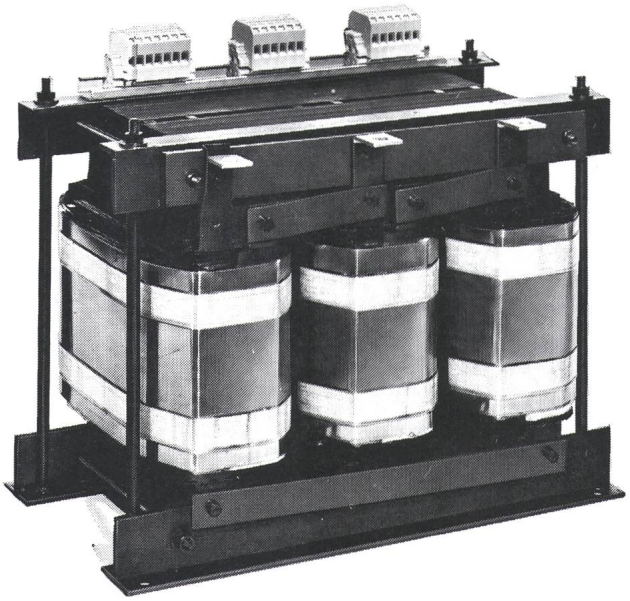
günstiger dank modernster Bandwickeltechnik

*Wir **optimieren** unsere Geräte computergestützt mit eigenen Programmen*

*Wir **fabrizieren** Kupfer- und Aluminiumband-Wicklungen.*

luft- und wassergekühlt.

Transformatoren von 3 bis 1000 kVA
Drosselspulen



TRANELA AG Wiesenstr. 27 8952 Schlieren Tel. 01 / 730 33 03

SIEMENS

Auf Zukunft schalten mit SF_6-Leistungsschaltern von Siemens

Tausende von Siemens-Hochspannungsschaltern stehen weltweit unter den verschiedensten Klimabedingungen im Einsatz.
Auch bei uns in der Schweiz sprechen sehr gute Referenzen für deren sicheren und problemlosen Einsatz.

mit Sicherheit
Im SF_6-Leistungsschalter von Siemens wird der Lichtbogen durch Blaskolbenprinzip und Doppeldüsen-Löschsystem innerhalb weniger Millisekunden gelöscht. Sichere Abschaltung mit hoher Leistung, lange Lebensdauer und konstante Kontaktwerte sind dadurch gewährleistet.

mit Leistung
Der elektrohydraulische Antrieb wird bei immer mehr Herstellern eingesetzt und erfüllt die hohen Ansprüche der heutigen Leistungsschalter.
Die Siemens-Hydraulik bietet jedoch zusätzlich einige Betriebsvorteile bezüglich Dämpfung, Mechanik und Druckkontrolle.
Siemens setzt diesen Antrieb einheitlich für alle Blaskolben-Schalter ein – auch für gekapselte Schaltanlagen.

mit langer Lebensdauer
Die erste Revision wird erst nach 20 Jahren oder nach 3000 Schaltspielen fällig. Ein Vorteil, mit dem Sie eine hohe Verfügbarkeit Ihrer Anlage erzielen.

mit dem richtigen Partner
Wir bieten umfassende Beratung – von der Projektierung bis zur Inbetriebsetzung der Schaltanlagen.
Auch bei unvorhersehbaren Ereignissen während des Betriebs genügt Ihr Anruf nach Zürich, Renens oder Lugano.
Wir sind für Sie da.

Siemens-Albis AG
Energieversorgung
Freilagerstrasse 28
8047 Zürich
Tel. 01/495 44 51

1020 Renens
Tél. 021/34 96 31

6904 Lugano
Tel. 091/51 92 71