Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 47 (1956)
Heft: 5

Artikel: Moderne Steuerverfahren mit Mutatoren für Schwerantriebe
Autor: Zwicky, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058197

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: 23.08.2025

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

La fig. 12 montre très schématiquement comment fonctionne une telle machine; il s'agit d'une métadyne bipolaire, chaque pôle étant séparé en deux. Considérons la fig. 12*a*: si l'on envoie un courant dans les balais *AC*, le rotor crée un flux magnétique selon les traits pointillés et une force électromotrice apparaît donc aux balais *BD*. La puissance électrique délivrée dans le circuit *BD* est commandée par le courant *AC*. Mais à son tour ce courant *AC* est produit par un enroulement inducteur à axe magnétique vertical, comme l'indique la fig. 12*b*. Il suffit de court-circuiter les balais *AC*. Un enroulement dit de neutralisation supprime pratiquement les effets de la réaction d'induit provoquée par le courant de sortie. L'entrefer est aussi petit que possible, et le circuit magnétique feuilleté.

La fig. 13 montre un exemple d'exécution d'une métadyne amplificatrice pouvant fournir une puissance de sortie de 2,5 kW sous 125 V, et ne nécessitant que 270 mW comme puissance d'entrée. Ses caractéristiques sont mentionnées sur le tableau I.

IV. Conclusions

Nous avons vu que l'on dispose pour une commande de machine précise et rapide d'une gamme variée d'amplificateurs, qu'il est possible d'ailleurs de combiner de diverses manières.

L'ingénieur qui élabore les plans d'une commande possède donc des moyens très divers, qui l'obligeront à faire un choix judicieux: il devra examiner dans chaque cas particulier quelle est la meilleure solution au point de vue technique et économique. Il est clair qu'il choisira des moyens plus simples chaque fois qu'il le pourra. Le but du présent article était de montrer à quelles méthodes et à quels éléments il faut faire appel quand la commande d'une machine doit répondre à des exigences plus nombreuses ou particulièrement élevées.

Adresse de l'Auteur:
J. Gilbert, Dr ès sc. techn., Ateliers de Construction Oerlikon, Zurich-Oerlikon.

Moderne Steuerverfahren mit Mutatoren für Schwerantriebe

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV am 10. November 1955 in Olten,

von *R. Zwicky*, Baden

621.316.7:621.314.652:621.34

Mutatorgespeiste Grossantriebe finden in der Schwerindustrie verbreitete Anwendung. Es wird gezeigt, wie sich mit Hilfe moderner, magnetischer und elektronischer Gittersteuergeräte hochwertige, betriebssichere Regelungsanordnungen verwirklichen lassen.

Dans l'industrie lourde, de puissants dispositifs d'entraînement alimentés par des mutateurs sont de plus en plus fréquents. L'auteur montre comment on peut réaliser des dispositifs de réglage sûrs et efficaces à l'aide d'appareils modernes, magnétiques et électroniques, pour commande par grilles.

1. Allgemeine Gesichtspunkte über gittergesteuerte Mutatoren für Antriebe

In der modernen Antriebstechnik spielen die Gleichstromantriebe eine wichtige Rolle, die sie ihrer guten Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Betriebsbedingungen, sowie ihrer guten Regelbarkeit mit Hilfe der Variation der Ankerspannung und des Feldstromes verdanken. Bei Grossantrieben mit Leistungen von einigen Hundert bis zu mehreren Tausend kW, wie sie vorzugsweise in der Schwerindustrie zur Anwendung gelangen, sind oft sehr strenge Anforderungen hinsichtlich Präzision und Raschheit der Regelung zu erfüllen. Dabei muss auch im rauhesten Betrieb eine grosse Betriebssicherheit gewährleistet sein, da bei den grossen, in Frage stehenden Produktionsmengen bereits kurzzeitige Betriebsstörungen ansehnliche Ausfälle zur Folge haben würden.

Die Notwendigkeit, hochwertige Regelungen für einen rauhen Betrieb bei grösster Betriebssicherheit zu bauen, führt auf Anordnungen, die speziell für diese Anwendungen geschaffen wurden. Wir befassen uns hier mit einem Teilgebiet aus dieser interessanten Sparte der Regelungstechnik, nämlich mit den für Grossantriebe zur Anwendung gelangenden Gittersteuerapparaturen für Mutatoren.

Vorerst seien an Hand allgemeiner Überlegungen einige wichtige Gesichtspunkte über mutatorgesteuerte Antriebe zusammengefasst. Für die Speisung grosser Gleichstromantriebe aus dem Drehstromnetz ist eine Anordnung zur Umformung der Stromart erforderlich. Bei grösseren Leistungen fallen praktisch nur zwei Umformungsarten in Betracht, nämlich rotierende Umformer und Quecksilberdampfgleichrichter oder Mutatoren, wobei in diesem Zusammenhang auch die Ignitrons zu erwähnen sind. Die Wahl zwischen den beiden Möglichkeiten erfolgt nach wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten. Die wirtschaftliche Untersuchung, welche neben den Kosten für die Anschaffung auch die Aufstellungs- und Unterhaltskosten, sowie den Wirkungsgrad berücksichtigt, zeigt bei grossen Leistungen im allgemeinen die Überlegenheit des Mutators gegenüber der rotierenden Umformergruppe. Hiezu gesellt sich die technisch äusserst wertvolle Eigenschaft der trägheitslosen Steuerbarkeit mittels der Steuergitter, mit deren Hilfe sich die mannigfaltigsten Regelprobleme elegant lösen lassen. Die Ausschöpfung der damit gegebenen Möglichkeiten setzt voraus, dass eine zweckmässige Gittersteuerapparatur zur Verfügung steht, welche eine Steuergrösse kleiner Leistung mit möglichst geringer Trägheit in eine Phasenverschiebung der Gitterimpulse umsetzt.

Die grundsätzliche Wirkungsweise der Gittersteuerung beruht auf der Tatsache, dass der Einsatz des Anodenstromes eines Mutators mit Hilfe einer negativen Gitterspannung gesperrt werden kann. Erst der Übergang zu einem positiven Gitterspannungswert gibt die Zündung der Anode frei. Von diesem Moment an hat das Gitter keinen Einfluss mehr auf den Strom, der deshalb bis zum

natürlichen Nulldurchgang der Anodenspannung weiterfliesst. Die hiedurch sich ergebende Steuerungsmöglichkeit ist in Fig. 1 am Beispiel einer zweiphasigen Mutatorschaltung erläutert. In der Figur links ist angenommen, dass die Gitterspannung kurz nach dem Nulldurchgang der Anodenspannung vom negativen ins positive Gebiet wechselt. Die abgegebene Gleichspannung U_g wird hier positiv; die an der Anode 1 auftretende Sperrspannung U_a weist vorwiegend negative Werte auf. Der Mutator arbeitet nun als Gleichrichter, wobei sofort ersichtlich ist, dass eine Verschiebung des Zündpunktes nach rechts eine Reduktion des Mittelwertes der Gleichspannung gestattet. Die mittlere Figur zeigt einen Betriebszustand, bei welchem der Gitterimpuls so weit verschoben ist, dass die mittlere, vom Mutator abgegebene Spannung null wird. Die Ausgangsklemmen des Gleichstromkreises dürfen deshalb ohne weiteres durch die gezeichnete Kurzschlussverbindung überbrückt werden. Denken wir uns an deren Stelle eine stillstehende Gleichstrommaschine, welche nun entgegen ihrem Drehmoment angetrieben wird, so kehrt die Spannung an den Klemmen des Mutators um. Gleichzeitig verschieben wir den Zündpunkt weiter nach rechts und gelangen dadurch zum Betriebszustand des Wechselrichters. Der Mutator bezieht Gleichstromleistung, formt sie in Wechselstromleistung um und gibt sie an das speisende Netz zurück. In Fig. 2 sind dieselben Verhältnisse für Mehrphasenbetrieb wiedergegeben. Die zugehörige Steuerkennlinie zeigt, wie eine Verschiebung des Zündwinkels in einem Bereiche, der unter Vernachlässigung von Nebeneffekten 180° beträgt, die stetige Variation der Gleichspannung im gesamten Gleich- und Wechselrichterbetrieb gestattet.

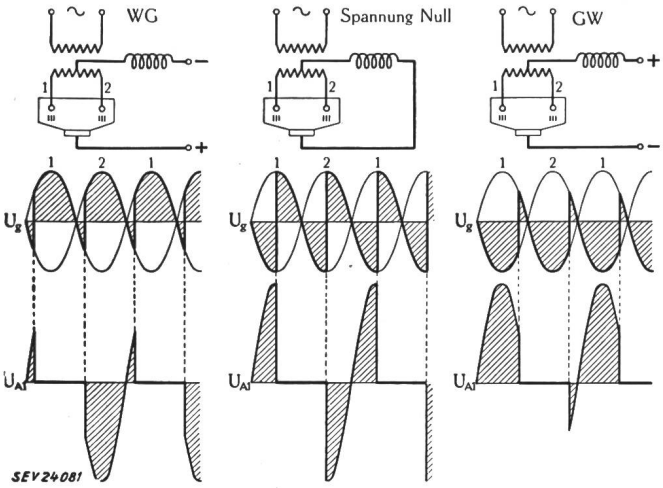


Fig. 1
Prinzipielle Wirkungsweise eines Mutators im Gleich- und Wechselrichterbetrieb

WG Wechselstrom-Gleichstrom-Umformung (Gleichrichter)
GW Gleichstrom-Wechselstrom-Umformung (Wechselrichter)
U_g abgegebene Gleichspannung; U_{a1} an der Anode *1* auftretende Sperrspannung
1, 2 Anoden und zugehörige Anodenwechselspannungen

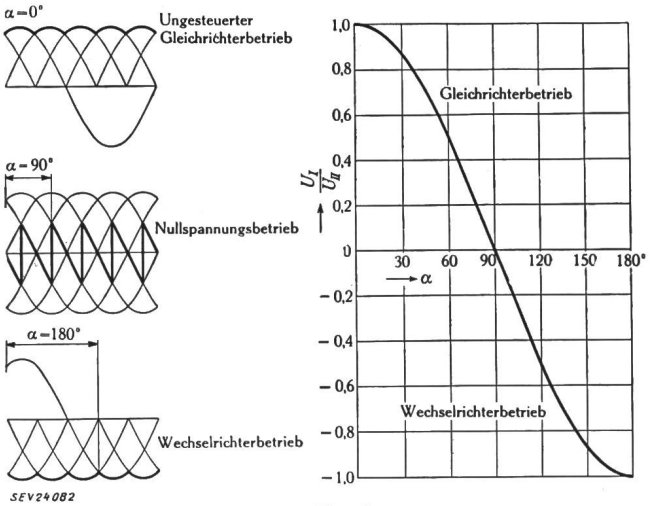


Fig. 2
Steuercharakteristik eines gittergesteuerten Mutators

α Steuerwinkel; U_I gesteuerte Gleichspannung; U_{II} ungesteuerte Gleichspannung

Die Gittersteuerung soll nun in der Lage sein, eine Gitterspannung zu liefern, bei welcher der Zeitpunkt des Übergangs von der negativen, sperrenden Gitterspannung zu einem positiven Werte in einem genügenden elektrischen Winkelbereich verschoben werden kann. Die einfachste und wohl auch älteste Methode besteht darin, das Gitter mit einer Wechselspannung zu speisen, welche gegenüber der Anodenspannung phasenverschoben ist. Aus Fig. 3 ersehen wir, wie beim Nulldurchgang der Gitterspannung die zugehörige Anode zündet. Der Zündzeitpunkt lässt sich in einfachster Weise verschieben durch eine Phasendrehung der Gittersinusspannung mit Hilfe eines Induktionsreglers. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Vertikalverschiebung einer phasenstarren Gitterwechselspannung. Wie der Vergleich der Kurven in Fig. 3 erkennen lässt, wird damit ebenfalls mit Leichtigkeit eine zeitliche Verschiebung des Nulldurchganges der Gitterspannung und damit des Zündzeitpunktes erzielt. Die beiden Methoden der Horizontal- und Vertikalverschiebung einer an das Gitter angelegten Sinusspannung bergen jedoch einige Nachteile in sich, die sie für geregelte Antriebe ungeeignet machen. Es ist dies bei der Horizontalsteuerung der Umweg über den mechanisch betätigten Induktionsregler, bei der Vertikalsteuerung die verhältnismässig grosse Steuerleistung. Ausserdem ist es erforderlich, den Übergang von der negativen zur positiven Gitterspannung stossweise zu vollziehen, um einen präzisen Einsatzzeitpunkt des Anodenstromes zu gewährleisten.

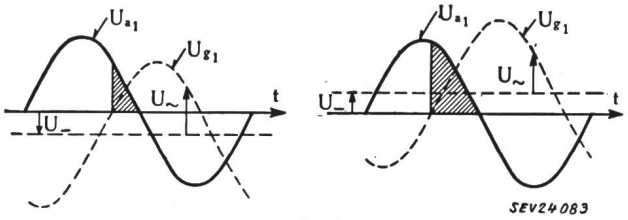


Fig. 3
Sinussteuerung eines Mutators

U_{a1} Anodenspannung; $U_\sim$ Gitterwechselspannung
U_- überlagerte Gittergleichspannung
U_{g1} resultierende Gitterspannung

2. Magnetische Gittersteuerung

Eine entscheidende Verbesserung bringt die Anwendung des Magnetverstärkerprinzips zur Erzeugung von Gitterimpulsen. In Fig. 4 ist das Prinzipschaltbild einer magnetischen Gittersteuerung dargestellt. Der Hauptkreis enthält die Serieschaltung eines Ohmschen Widerstandes, eines Trockengleichrichters und einer Drosselspule mit hochwertigem Nickeleisenkern. Die Drosselspule trägt eine zusätzliche Gleichstrom-Vormagnetisierungswicklung. Diese Schaltung ergibt im Hauptkreis einen Strom gemäss Fig. 4. Die eingezeichnete Sinuslinie

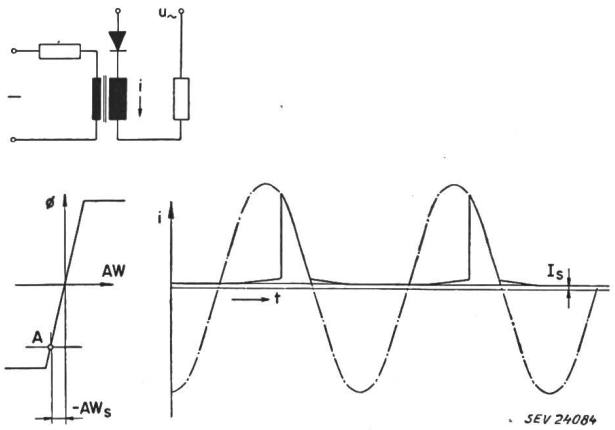


Fig. 4
Prinzip der magnetischen Gittersteuerung
Schaltbild, Magnetisierungskurve des Kerns der Drosselspule und Stromverlauf

i	Strom im Hauptkreis
$u_\sim$	Speisewechselspannung des Hauptkreises
t	Zeitachse
I_s	Steuergleichstrom
AW	Magnetisierende Amperewindungen
AW_s	Steueramperewindungen
A	Ausgangspunkt des Magnetisierungszyklus
Φ	Magnetischer Fluss

entspricht jenem Strom, der sich bei Belastung der Speisewechselspannung nur durch den Belastungswiderstand des Kreises ergeben würde. Die negativen Halbwellen werden durch den in den Kreis geschalteten Trockengleichrichter unterdrückt. Gelangt nun die Speisewechselspannung in das positive Gebiet, so liegt vorerst die gesamte Spannung an den Klemmen der Drosselspule. Diese wird ihren magnetischen Fluss solange ändern, bis das Sättigungsknie der Magnetisierungskurve erreicht ist. Hier verschwindet die Induktivität vollständig, und der Strom steigt plötzlich auf den durch den Belastungswiderstand begrenzten Wert. Mittels einer sehr kleinen Gleichstromsteuerleistung ist es möglich, den Einsatzpunkt des Stromes über die ganze positive Halbwelle der Speisewechselspannung zu verschieben. Der Spannungsabfall über dem Belastungswiderstand weist, entsprechend der Kurvenform des Stromes, die für die Gittersteuerung benötigte steil ansteigende Flanke auf, die sich durch kleine Variationen des Steuergleichstromes zeitlich verschieben lässt.

Die Anwendung des Magnetverstärkerprinzips zur Gittersteuerung hat also gleich zwei entscheidende Vorteile gebracht, nämlich den scharfen Anstieg des Gittersteuerimpulses, sowie eine beträchtliche zusätzliche Verstärkung. Die beschriebene Anordnung weist lediglich den Nachteil auf, dass der Verschiebungswinkel der Steuerimpulse infolge der sinusförmigen Speisespannung zu eng begrenzt ist. Wie aus Fig. 4 leicht zu ersehen ist, werden nämlich die Impulse zu klein, sofern man versucht, auch das Gebiet am Rande der positiven Halbwelle zu benützen. Diesem Nachteil kann abgeholfen werden, indem die Sinusspannung durch eine rechteckförmige Speisespannung ersetzt wird. Die Durchführung dieser Massnahme, zusammen mit einigen weitern schaltungstechnischen Verfeinerungen, führt zu einem rein magnetischen Gittersteuersatz. Er gestattet eine äusserst rasche Impulsverschiebung im gesamten Gleich- und Wechselrichtergebiet. Die ausgezeichneten Regeleigenschaften zeigt Fig. 5 an Hand der Oszillogramme der Steuer-

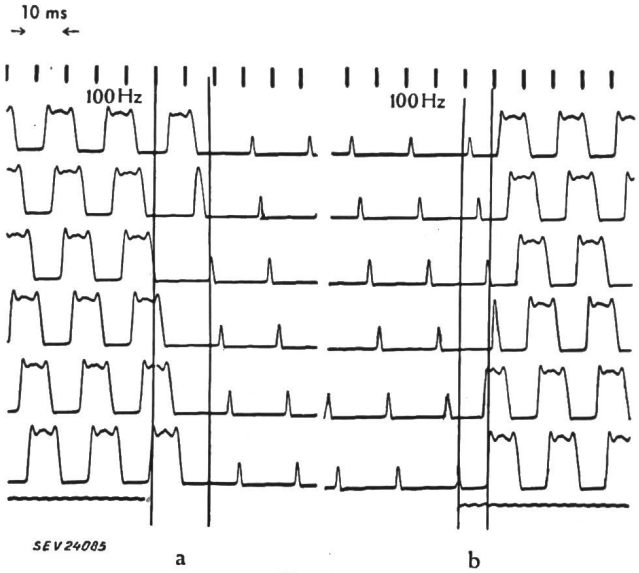


Fig. 5
Dynamisches Verhalten eines Rapid-Gittersteuersatzes
Verschiebung der Gitterimpulse bei plötzlicher Änderung des Steuersignals
a aus dem Gleichrichter- in den Wechselrichterbetrieb
b aus dem Wechselrichter- in den Gleichrichterbetrieb

impulse für einen sechsphasigen Mutator. Die Aufnahme erfolgte bei einer plötzlichen Änderung des Steuerbefehls und lässt deutlich erkennen, wie die Reaktion der Impulse auf den Befehl innerhalb einer Periode in der einen Richtung, nach einer halben Periode in der andern Richtung erfolgt. Diese kurzen Verstellzeiten entsprechen dem theoretisch erreichbaren Minimum auf der Grundlage des Magnetverstärkers.

Dieser Rapidgittersteuersatz stellt mit seinen vorteilhaften Eigenschaften, wie kürzester Verstellzeit, kleinem Platzbedarf, Wartungsfreiheit und Betriebssicherheit infolge Fehlens sich abnützender Teile, ein ideales Mittel dar zur Schaffung hochwertiger, mutatorgespeister Antriebe. Die grosse Eigenverstärkung ergibt eine sehr kleine Steuerleistung, welche von einem kleinen magnetischen Vorverstärker oder von einer kleinen Elektronenröhre geliefert werden kann. Auf diese Weise lässt sich der Steuersatz mit Leichtigkeit an jeden Regelkreis anpassen und bildet damit die Grundlage für

einfache, übersichtliche und betriebssichere Schaltungen.

3. Magnetische Gittersteuerung eines mutatorgespeisten Umkehrantriebes

An Hand eines Antriebes für ein Umkehrwalzwerk sei hier die Wirkungsweise der magnetischen Gittersteuerung für die Beherrschung eines Mutators im Gleich- und Wechselrichterbetrieb veranschaulicht. In einem Umkehrwalzwerk (Fig. 6) erfolgt die Reduktion des Walzgutes zwischen den gleichen Walzen abwechselnd in der einen und in der andern Richtung. Während der Arbeitsphase arbeitet der Mutator als Gleichrichter und führt dem Antriebsmotor Arbeitsenergie zu. Bei der betriebsmässigen Drehzahlumkehr, welche in Intervallen von wenigen Sekunden erfolgt, dient der Mutator während der Bremsperiode dazu, als Wechselrichter die kinetische Energie des Motors an das Netz zurückzugeben, um ihn anschliessend im Gleichrichterbetrieb in entgegengesetzter Richtung zu beschleunigen. Die prinzipielle Wirkungsweise der zur Lösung dieser Aufgabe angewandten Schaltung ist aus Fig. 7 ersichtlich. Das auf dem Befehlsstand angebrachte Sollwertpotentiometer *S* liefert an den Steuerregler *R* eine Spannung, die der gewünschten Drehzahl und Drehrichtung entspricht. Sie wird hier mit der Tachometerspannung verglichen. Die Differenz dieser beiden Werte stellt die Abweichung der Drehzahl vom gewünschten Werte dar. Über einen Gleichstromwandler wird ihr ausserdem eine Strombegrenzungsregelung überlagert, die unabhängig vom Betriebszustand den Strom innerhalb seiner zulässigen Grenzen hält. Die im Regler kombinierten und verstärkten Regeleinflüsse gelangen nun auf die Steuerwicklung des magnetischen Gittersteuersatzes *GS*, welcher über die Steuergitter des Mutators die Regelung des Hauptkreises vollzieht. Eine zusätzliche Regelungsanordnung, welche aus einem hochwertigen Magnetverstärker *MV* und einem Rapiderreger besteht, befindet sich im Erregerkreis des Motors. Sie gestattet,

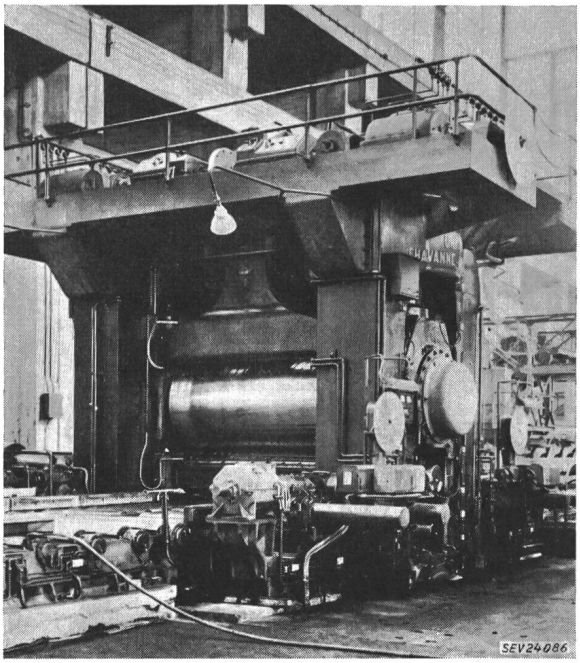


Fig. 6
Walzwerkseitige Ansicht eines mutatorgesteuerten Umkehrwalzwerkes für Leichtmetall
Abschaltdrehmoment 320 tm

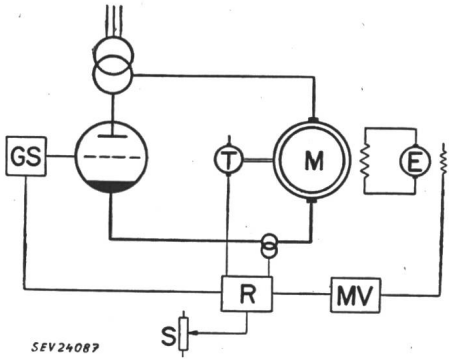


Fig. 7
Prinzipschema der modernen Steuerung eines Umkehrwalzwerkes in Eingefäßschaltung mit Feldumkehr
M Motor; *E* Rapiderreger; *T* Tachodynamo; *R* Regler; *S* Drehzahl-Sollwertgeber; *GS* magnetischer Rapid-Gittersteuersatz; *MV* Erreger-Magnetverstärker

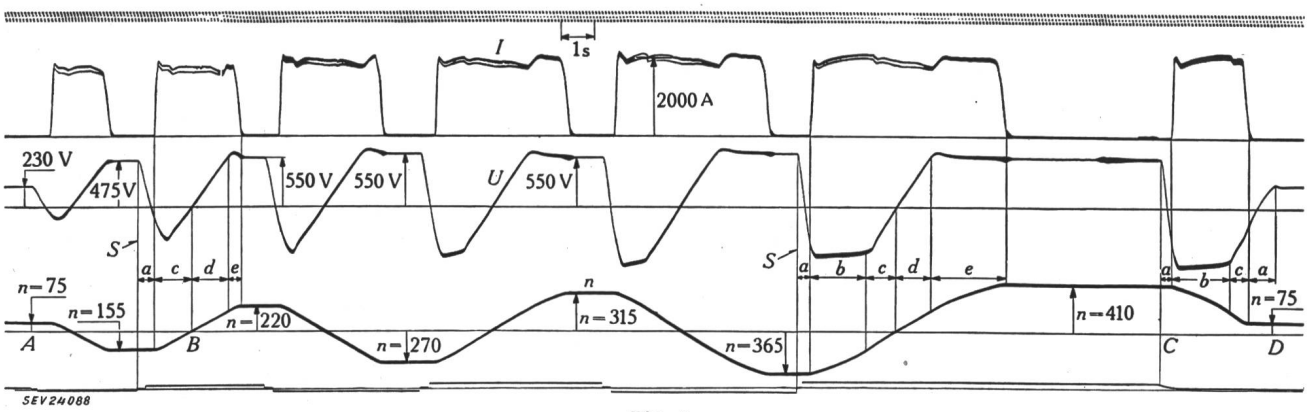
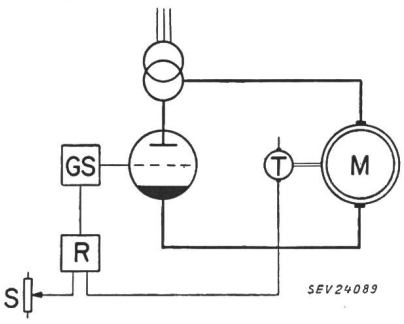


Fig. 8
Folge von Reversiervorgängen eines mutatorgesteuerten Umkehrmotors im Leerlauf
I Ankerstrom; *U* Ankerspannung; *n* Drehzahl in U./min; *A...B* Reversieren im Ankerspannungsbereich; *B...C* Reversieren mit der Enddrehzahl im Feldschwächbereich; *C...D* Drehzahlsenkung und Wiederbeginn des Walzprogramms; *S* Steuersignal; *a* Feldumkehr; *b* Bremsen bei Feldverstärkung und konstanter Wechselrichterspannung; *c* Bremsen mit vollem Feld im Ankerspannungs-Regelbereich; *d* Anfahren im Ankerspannungs-Regelbereich; *e* Anfahren im Feldschwächbereich

das Motorfeld in kürzester Zeit umzupolen, um den gleichen Mutator für beide Drehrichtungen nutzbar zu machen. Diese spezielle Anordnung für die Motorfeldumkehr ist hier nur soweit am Rande erwähnt, als dies für das Verständnis des Oszillogrammes in Fig. 8 benötigt wird. Dieses Oszillogramm illustriert die Regelvorgänge der beschriebenen kombinierten Strom- und Drehzahlregelung. Betrachten wir einen Umkehrvorgang, der aus der stationären Drehzahl rechts von Punkt *B* vorgenommen wird. Nach dem Eintreffen des Steuerbefehls wird unverzüglich das Motorfeld umgepolt und damit die Voraussetzung für den Wechselrichterbetrieb geschaffen. Bei negativer Ankerspannung regelt nun der Mutator den Strom unverzüglich auf einen konstanten Wert. Unter Energierückgabe an das Netz wird der Motor abgebremst und anschliessend bei umgekehrter Energierichtung erneut beschleunigt. Der Strom wird so lange aufrecht erhalten, bis der Motor die gewünschte, neue Drehzahl erreicht hat. Sodann geht die Stromregelung in eine Geschwindigkeitsregelung zur Konstanthaltung der Drehzahl über. Die Anforderungen an die Raschheit der Gittersteuerung sind dadurch bedingt, dass der Zündwinkel der schnell ändernden Motorspannung folgen muss. Dieser Verschiebung in einem weiten Bereich ist die um eine Grössenordnung kleinere Winkelverschiebung für die Stromregelung überlagert, welche auch bei Änderung der Spannung genau und überschwingungsfrei arbeitet. Dieses Beispiel zeigt die hervorragende Eignung des Rapidgittersteuersatzes zur Lösung der verschiedensten Regelaufgaben, zu der er dank seiner trägheitsarmen Wirkungsweise befähigt ist.

4. Elektronische Gittersteuerung für Antriebe höchster dynamischer Regelgüte

Bei gewissen Antriebsproblemen ist es notwendig, selbst die kurze Verstellzeit des magnetischen Steuersatzes von 10...20 ms auszumerzen. Dieser Fall kann beispielsweise vorliegen bei hochwertigen Antrieben für kontinuierliche Walzenstrassen, deren Motoren beim Auftreffen eines Laststosses innert kürzester Zeit auf konstante Geschwindigkeit auszuregeln sind. Die angewandte Schaltung nach Fig. 9 enthält für jeden Motor einen eigenen Mutator. Zur Regelung der Drehzahl wird die Tachometerspannung mit einem Sollwert verglichen und beaufschlagt über einen elektronischen Verstärker den rein elektronischen Gittersteuersatz. Die Vermeidung jeglicher Trägheit führt zu hervorragenden Regeleigenschaften, die im Oszillogramm Fig. 10 wiedergegeben sind. Die Ausregelung eines Vollaststosses, der durch einen versuchsweise angekuppelten Belastungsgenerator eingeleitet wird, erfolgt schwingungsfrei innerhalb der kurzen Zeit von einer Zehntelsekunde. Der vorübergehende Drehzahlabfall innerhalb dieser Ausregelzeit lässt



Blockschema eines Antriebes für kontinuierliche Walzwerke
M Motor; *T* Tachodynamo; *R* elektronischer Regler; *GS* elektronischer Gittersteuersatz; *S* Drehzahl-Sollwertgeber

sich am besten dadurch veranschaulichen, dass der während der Ausregelzeit entstehende Nacheilwinkel gegenüber einer absolut gleichförmigen Drehung nur etwas mehr als 1° im Winkelmass beträgt und damit die Konstanz der Drehung eines Synchronmotors um eine Grössenordnung übertrifft.

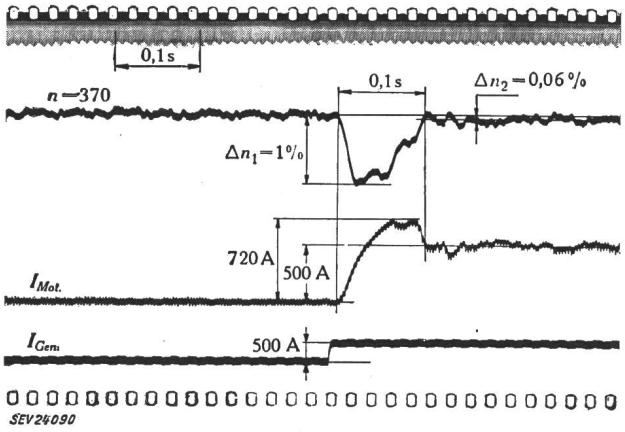


Fig. 10
Oszillogramm der Ausregelung eines Vollaststosses an einem mutatorgesteuerten Motor für kontinuierliche Walzwerke bei Grunddrehzahl
n Drehzahl in U./min; Δn_1 grösste vorübergehende Drehzahlabweichung; Δn_2 dauernde Drehzahlabweichung; $I_{Mot.}$ Motorstrom; $I_{Gen.}$ Strom des Belastungsgenerators
(Man beachte, dass die Nullinie der Drehzahlaufzeichnung weit ausserhalb des Bildes liegt)

Dass selbst derart hochwertige Regelungen betriebssicher gebaut werden können, beweisen eine grosse Zahl ausgeführter Antriebe dieser Art, welche zum Teil seit Jahren in Betrieb stehen und sich im praktischen Betriebe voll bewährt haben.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *R. Zwicky*, dipl. El.-Ing. ETH, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Verwendung von Aluminium in amerikanischen Mittel- und Niederspannungs-Freileitungsnetzen

621.315.14 : 621.315.53

Aluminium wird seit mehr als 50 Jahren für elektrische Übertragungsleitungen verwendet. Während dieser Zeit hat sich dieses Material in jeder Hinsicht, sowohl was Eigenschaften als auch Preis anbetrifft, als so vorteilhaft erwiesen, dass es heute kaum noch jemandem einfällt, für Leitungen hoher Spannungen (über 100 kV) Kupfer zu verwenden. Der gegenüber Kupfer grössere Querschnitt des mit einem höheren spezifischen Widerstand behafteten Aluminiums wird nicht als nachteilig empfunden; im Gegenteil, die bei hohen Spannungen drohenden Koronaverluste und die dabei auf-