Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 31 (1940)

Heft: 6

Artikel: Instabilitätserscheinungen bei selbstgesteuerten Parallel-Gleichstrom-Drehstrom-Mutatoren

Autor: Müller-Strobel, Josef

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057992

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: 22.08.2025

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

Fr. Ghielmetti & Cie. A.-G., Solothurn: Zeit- und Sperrschalter, Schalt- und Steueruhren, Temperatur- und Fernschalter, Thermoregulatoren, Schaufenster- und Treppenlichtschalter, Relais, Fernschaltausrüstungen, Reversierschalter, Schaltautomaten für autom. Heizungen, Schaltschütze, Handschalter.

Glühlampenfabrik Gloria A.-G., Aarau: Elektr. Glühlampen und Wolframdraht.

«Jura» Elektr. Apparatefabrik L. Henzirohs, Niederbuchsiten b. Olten: Elektr. Apparate für Haushalt und Industrie.

A.-G. Kummler & Matter, Aarau: Elektrothermische Apparate, Verzinkungs- und Verzinnungsgut, Freileitungs- und Trolleybusmaterial.

Landis & Gyr A.-G., Fabrik elektr. Apparate, Zug: Elektrizitätszähler, elektr. Uhren, elektr. Schaltapparate, Messwandler, elektr. Geräte.

Leclanché S. A., Yverdon: Elektrische Batterien aller Art, Blei-, Eisen-Nickel- und Kadmium-Nickel-Akkumulatoren, Kondensatoren.

Oskar Locher, Elektr. Heizungen, Zürich: Elektr. Apparate.

Carl Maier & Cie., Fabrik elektr. Apparate und Schaltanlagen, Schaffhausen: Oelschalter, Schaltkasten, Sicherungen, Hebelschalter, Paketschalter, Motorschutzschalter, Schaltkastenbatterien, Verteilkasten, Starkstromapparate für Hoch- und Niederspannung.

Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich-Oerlikon: Eine Auswahl von Oerlikon-Erzeugnissen: Kleinstmotoren, Vielnut-Tiefnutanker-Motoren, Combi-Motoren, Drehstrom-Nebenschluss-Kollektor-Motoren, Notstromgruppe, Schweissgruppen, automatische Spannungswandler-Schutzapparate, automatische Induktionsregler, Motorschutzschalter mit Steckautomaten, Ueberspannungsableiter, Steckkontakte, elektrodynamische Leistungswaage, Werkzeuge mit Hartmetallbestückung.

Moser, Glaser & Cie. A.-G., Spezialfabrik für Transformatoren und elektr. Apparate, Basel: Transformatoren für die verschiedensten Zwecke, Messwandler, Lichtbogen-Schweissapparate.

Prometheus A.-G., Elektr. Heiz- und Schaltapparate, Liestal: Elektr. Heisswasserspeicher, Herde, Kocher, Kaffeemaschinen für Restaurants, Bügeleisen.

Le Rêve S. A., Genève: Elektrische Kochherde.

SAIA Aktiengesellschaft für Schaltapparate, Bern: Schaltuhren, Zeit- und Fernschalter, Mot. Drossel-Klappen und -Ventile, Druckschalter, Thermostate. Neuheiten: Motorisierte Ventile.

H. A. Schlatter & Cie., Zollikon-Zürich: Elektr. Widerstands-Schweissmaschinen als Punkt-, Stumpf-, Abschmelz- und Rollenschweissmaschinen, transportable Punktschweissgeräte, Lichtbogenschweissapparate.

W. Schmocker, Vertreter der Firma A. Schild A.-G., Grenchen: Elektr. Uhren. Neuheit: Synchron-Uhren mit Gangreserve.

Schweizerische Isola-Werke, Breitenbach/Solothurn: Isolierstoffe und isolierte Drähte für die Elektrotechnik. Neuheit: Keramische Isolierstoffe (Steatit).

Sprecher & Schuh A.-G., Aarau: Starkstromapparate für Hoch- und Niederspannung.

Suhner & Cie., Herisau: Isolierte Drähte, Kabel und Schnüre, Motorenkabel, Hochspannungskabel, Bleikabel usw. Pressformstücke aller Art aus Hartgummi und Suconit. Kunstharz-Spritzguss für Telephonie und Apparatebau. Neuheit: Hochfrequenzkabel.

«Sodeco» Société des Compteurs de Genève, Genève: Elektrizitätszähler, Schaltuhren, Telephon-Gebührenmelder.

Therma A.-G., Schwanden: Elektr. Heiz- und Kochapparate, elektr. Kühlschränke, Spültröge aus rostfreiem Chromstahl, Emailschilder ein- und mehrfarbig.

Trüb, Täuber & Cie. A.-G., Zürich: Elektr. Messinstrumente und wissenschaftliche Apparate.

Tyhag A.-G., Küsnacht/Zürich: Elektr. Einsatzofen. Elektr. Vergütungsofen.

Usine Genevoise de Dégrossissage d'Or, Genève: Edelmetalle.

Emil Weidmann, Basel: Holzleuchter.

Instabilitätserscheinungen bei selbstgesteuerten Parallel-Gleichstrom-Drehstrom-Mutatoren.

Von *Josef Müller-Strobel*, Zürich.

(Mitteilung aus dem Elektrotechnischen Institut der Eidg. Techn. Hochschule.)

621.314.57

Nach theoretischen Ueberlegungen sollten bei konstanter Gleichspannung, Steuer- und Löschkapazität wegen der Kopplung der Haupt- und Gittersteuerkreise über den Gittertransformator bei niederen Frequenzen Instabilitätserscheinungen auftreten, die an plötzlichen Aenderungen der Frequenz und der Spannungen erkennbar sind. Die Instabilitäten am Parallel-Gleichstrom-Drehstrom-Mutator treten im Sinne von Zieherscheinungen auf und sind nicht mit dem Kippen des Mutators zu identifizieren. Die beweiskräftigen Messergebnisse werden mitgeteilt.

In der Literatur wird der behandelte Mutatortyp selbstgesteuerter Dreiphasen-Parallel-Wechselrichter genannt.

Des considérations théoriques montrent que pour des fréquences peu élevées, des phénomènes d'instabilité, résultant du couplage par le transformateur de grille du circuit principal et du circuit de grille, devraient se produire lorsque les tensions continues ainsi que les capacités de commande et d'amortissement sont constantes. Ces instabalités sont reconnaissables à des variations subites de la fréquence et de la tension. Les phénomènes d'instabilité des mutateurs parallèles continus triphasés apparaissent sous forme de sauts brusques et ne sont pas identiques au renversement du mutateur. Le valeurs d'essai concluantes sont communiquées.

Le type de mutateur, traité dans cet article, est mentionné dans la littérature sous le terme de redresseur alternatif triphasé parallèle.

1. Einleitung.

Nachdem *Cooper-Hewitt* [1]) im Anschluss an die Untersuchungen von *J. J. Thomson* [2]) über die Beeinflussung von Gasentladungen durch Magnetfelder den Quecksilberdampf-Wechselstrom-Gleichstrom-Mutator entdeckt hatte, war es neben einigen ahnungsvollen Vorläufern [3]) besonders *Langmuir* [4]), der die Steuerbarkeit des Mutators richtig erkannte und die Erscheinungen methodisch untersuchte. Rasch folgten weitere, jedoch mehr kon-

[1]) Cooper-Hewitt, DRP 157642 v. Dez. 1902; Ueber den von Steinmetz bei der Gen. Electric Co. gebauten Gleichrichter s. ETZ Bd. 26 (1905), S. 448.

[2]) J. J. Thomson, Phil. Mag. Bd. 44 (1897), S. 197, Hdb. Phys. Geiger u. Scheel Bd. 12 (1927), S. 154.

[3]) Aeltester Hinweis der Steuerung von Glühkathoden mit E- und H-Feld bei Forest, USA Pat. 841387, v. 15. 1. 1907. Hinweis einer Sperrung durch Gitter: E. Reisz, ETZ 1913, S. 1359; Jonas, Steuerung durch Sperren und Löschen, DRP 317598 v. 23. 7. 1913, DRP 318288 v. 9. 6. 1914.

[4]) J. Langmuir, USA-Pat. 1289823 (1914), Gen. El. Rev. Bd. 26 (1923), S. 731.

struktive Angaben [5]) über die Steuerung nebst denjenigen von *Hull* [6]) über das Glühkathodenventil.

Während sich diese Entdeckungen ausschliesslich auf die Verwendung des Ventils zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom beschränkten, erweiterte *D. C. Prince* [7]) das Anwendungsgebiet durch die Schaffung des fremdgeführten Gleichstrom-Wechselstrom-Mutators. Eine naheliegende Erweiterung stellte der selbstgeführte oder eigenerregte Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator dar, der gleichfalls von Prince angegeben wurde, und worüber hier die Rede sein wird. Das Patent für den Reihen-Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator in Einfachkapazitätsschaltung erwarb sich *A. S. Fitzgerald* [8]), während über dessen Wirkungsweise *A. C. Cable* [9]) berichtete. Eine Abart von diesem Mutator, der Reihen-Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator in Doppelkapazitätsschaltung (straight connection serie type inverter), wurde durch *C. A. Sabbah* [10]) bekanntgegeben. Die Erfindung der grundsätzlichen Schaltung des sog. Parallel-Gleichstrom-Wechselstrom-Mutators (Parallelwechselrichter) sollte man meines Erachtens *Alexanderson* [11]) vor Prince zusprechen.. Angaben betreffend die prinzipielle Anwendung von Schwingkreisen im Gitterkreis bei selbsterregten Gleichstrom-Wechselstrom-Mutatoren finden sich bei *Backer* und *Cornell* [12]). Eine allgemeine Uebersicht der bisherigen Entwicklung gibt *Laub* [13]) [16]) und *Schilling* [14]).

Schilling [14]) versuchte, den einphasigen Reihen- und Parallel - Gleichstrom - Wechselstrom - Mutator durch die Einführung einer Schaltfunktion f auf eine Wechselstromaufgabe zurückzuführen, ein Vorhaben, das dann durch *J. Runge* und *H. Beckenbach* [15]) methodisch erweitert und der Praxis näher gebracht wurde. Näher auf die Probleme ist in einer Zusammenfassung *H. Laub* [16]) eingegangen, indem er die Steuerfähigkeit des selbsterregten Gegentakt-Gleichstrom-Wechselstrom-Mutators untersuchte. Im Anschluss an die bereits erfolgten Konstruktionen mit Schwingkreisen als Steuerspannungsgeber und die vielen Untersuchungen über Beziehungen von Gitter- und Anodenkreis, ohne Berücksichtigung eines Löschkondensators C_L (siehe später), stellte *Micza* [17]), um eine einwandfreie Kommutation zu gewährleisten, Bedingungen für die Dämpfungs- und Phasen- oder Nullpunktssteuerung auf. In einer weiteren Betrachtung von *Schilling* [18]) ist der Wechselrichter mit parallelen Löschkondensatoren auf das einfachste Schaltschema reduziert. Fast gleichzeitig untersuchte *Neidhart* [19]), jedoch auf einer etwas anderen Grundlage als Schilling, einen Gleichstrom-Einphasen-Mutator kleiner Leistung in bezug auf die Frequenzhaltung und die resonanzähnlichen Zustände (s. Bem. später). Ohne welche Rücksicht auf eventuell auftretende Einflüsse der Gitterspannung zu nehmen, hatte *Teh-shin Kuo* [20]) die Grundgleichungen auch für mehrphasige Systeme durch Aufstellen des Systemes von linearen Differentialgleichungen ermittelt.

Alle zur Anwendung gelangten experimentellen Grundlagen, einschliesslich denjenigen von *Teh-shin Kuo* [20]), bezogen sich grundsätzlich auf Gleichstrom-Einphasen-Mutatoren sehr kleiner Leistung, weshalb eine Erweiterung der Experimente, Gleichstrom in Drehstrom mittels einem Glaskolben- oder Eisengefäss-Mutator mit selbsttätiger Gittersteuerung umzuwandeln von Interesse ist.

2. Ziel und Zweck der Untersuchung.

Aus der Ueberlegung heraus, dass bei Dreiphasenschaltung des Mutators mit rückgekoppelten Steuerschwingkreisen nach Fig. 1, zufolge des Zwischenschaltens von Löschkondensatoren, ausser dem zur Zeit $t_0 - \frac{2\pi}{p}$ wirksamen Hauptstromkreis (brennende Anode) noch mehrere, zum Teil induktiv gekoppelte Schwingkreise entstehen, sind die als allgemeingültig erachteten Lösungsansätze von *Teh-shin Kuo* [20]) zu erweitern. Gleichzeitig ist zu untersuchen, ob die von Neidhart angegebenen Formeln für den Gleichstrom-Einphasen-Mutator auf den Gleichstrom-Drehstrom-Mutator übertragen werden können.

Nach theoretischen Ueberlegungen sollten bei konstanter Gleichspannung U_- und konstanter Steuer- und Löschkapazität, wegen der Kopplung der Haupt- und Gittersteuerkreise über den Gittertransformator, zufolge des Wettstreites beider Kopplungsfrequenzen auch bei niedrigen Frequenzen *Instabilitätserscheinungen* auftreten, die an plötzlichen Aenderungen der Frequenz f, der Spannungen $U_{p\sim}$ und U_T zu erkennen wären. Die Frage, ob eigentliche Instabilitäten des Mutators im Sinne von *Zieherscheinungen* spezieller Art bestehen und ob diese mit dem *Kippen* des Mutators zu identifizieren sind oder nicht, scheint berechtigt. Messungen oder

[5]) P. Toulon, DRP 415910 (1922) AEG; L. Dunoyer, P. Toulon, C. R. Acad. Sci., Paris 1924, S. 179; J. Phys. Radium Bd. 5 (1924), S. 257, 289.

[6]) A. W. Hull, AIEE J. Amer. Inst. Electr. Engr. Bd. 47 (1928), S. 762. Gen. El. Rev. Bd. 31 (1929), S. 213, Bd. 32 (1929), S. 390.

[7]) D. C. Prince, Gen. El. Rev. Bd. 31 (1928), S. 348.

[8]) A. S. Fitzgerald, USA Pat. 1752247 v. 19. 4. 1929.

[9]) A. C. Cable, H. C. Steiner, H. T. Maser: J. Amer. Inst. Electr. Engr. Bd. 51 (1932), S. 312.

[10]) C. A. Sabbah, Gen. El. Rev. Bd. 34 (1931), S. 288. H. J. Reich, J. Amer. Inst. Electr. Engr. Bd. 52 (1933), S. 817. P. W. Craig, Electronics Bd. 4 (1933), S. 40. O. W. Livingston, H. H. Lord, Electronics Bd. 6 (1933), S. 96.

[11]) E. F. W. Alexanderson, USA Pat. 1800002 (angem. 13. 7. 1923, erteilt 7. 4. 1931).

[12]) D. C. Prince, Gen. El. Rev. Bd. 31 (1928), S. 347. Backer W. R., Cornell S. I., Electronics Bd. 10 (1931), S. 152.

[13]) H. Laub, E. u. M. Bd. 50 (1932), S. 317, 392. F. N. Tompkins, J. Amer. Inst. Electr. Engr. Bd. 52 (1933), S. 253.

[14]) W. Schilling, Arch. Elektrotechn. Bd 27 (1933), S. 22.

[15]) J. Runge, H. Beckenbach, Z. techn. Phys. Bd. 14 (1933), S. 377.

[16]) H. Laub, Jahrbuch Forschungsinst. AEG Bd. 3 (1934), S. 25. E. u. M. Bd. 25 (1934), S. 294 (Bericht). E. Blaich, Diss. München 1933.

[17]) A. Micza, E. u. M. 52 (1934), S. 465.

[18]) W. Schilling, Arch. Elektrotechn. Bd. 29 (1935), S. 119.

[19]) H. Neidhardt, Arch. Elektrotechn. Bd. 29 (1935), S. 241.

[20]) Teh-shin Kuo, Z. Phys. Bd. 93 (1935), S. 769. (Die Wirkung der Gittersteuerung ist jedoch nicht in die Theorie einbezogen.)

Oszillogramme, die einen diesbezüglichen Rückschluss erlauben würden, sind nicht vorhanden. In der Literatur wurde auf Instabilitäten hingewiesen, darunter aber stets das *Kippen* verstanden.

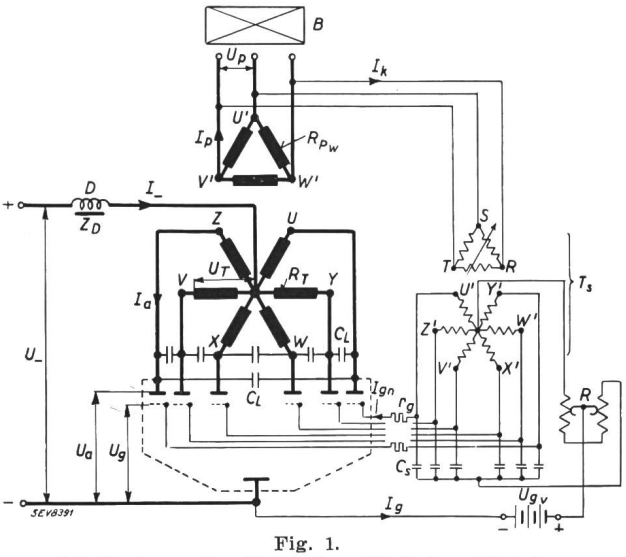

Fig. 1.
Schaltschema des Gleichstrom-Drehstrom-Mutators
mit mehrphasiger Nullpunktsteuerung, gemeinsamem Regulierwiderstand *R*, ohmsche Belastung *B*.
C_L Löschkondensator.
C_s Steuerkapazität.
T_s Steuer- oder Gittertransformator.
r_s Gitterwiderstände ca. 180 Ω
Z_D Kommutierungsdrosselspule.
$R_T = 0{,}04 + j\,\omega\,0{,}133\ \Omega$.
$R_{Pw} = 0{,}073 + j\,\omega\,0.65\ \Omega$.

Bei den Berechnungsgrundlagen von *Schilling* [21]) [Ersatzschema [22])] blieben Rückkopplungserscheinungen wegen des Fehlens des Gitterkreises unberücksichtigt. *Neidhardt* [23]) verwendet in seiner Untersuchung zur Steuerung nicht eigentliche Schwingkreise sondern Schaltungen, mit denen sich nur die richtige Phasenlage einstellen liess. Bei Resonanz sind die Bedingungen für die unsrige wie die oben genannte Steuerung einander ähnlich, weshalb die dort abgeleiteten Formeln nur für die resonanzähnlichen Zustände gelten und deren Erweiterung für die Frequenzberechnung nach Aussagen des Verfassers nicht möglich ist.

Auch ist die Ueberprüfung des Mutators mit Hilfe der von *H. Keller* [22]) angegebenen Belastungsdiagrammen und -charakteristiken, mittels denen man in der Hauptsache Kurzschlusspunkte bzw. -linien ermittelt, von grossem Interesse. Vielleicht würden bei Berücksichtigung der induktiven Kopplung der Gitter die instabilen Arbeitszonen erfassbar.

Es war naheliegend, diese nach theoretischen Ueberlegungen bestehenden Eigenschaften des Mutators, die Instabilität, durch eine bestimmte *Wahl der Schaltelemente* (C_L = const.) bei niederen Frequenzen *zu erzwingen* und das Verhalten bei verschiedenen Belastungen, bzw. Dämpfungen, durchzuführen.

Vermögen die mitgeteilten Ergebnisse einerseits zur Klärung und Erweiterung der theoretischen Ansätze, anderseits zur Behebung der uns in der selbstgeführten Steuerung beim mehrphasigen Mutator entgegentretenden Schwierigkeiten beitragen, ist ihr Zweck erfüllt.

Im Folgenden ist über das Auftreten von Zieherscheinungen [24]) beim Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator berichtet.

3. Versuchsanordnung.

a) Allgemeines: Der untersuchte Mutator speist einen Dreiphasenwechselstromverbraucher aus einem Gleichstromnetz, ohne dass auf der Wechselstromseite ein *synchron geführtes* Netz vorhanden ist. Ein Akkumulator dient als Gleichstromquelle und die zeitlich nacheinander brennenden Anoden (Fig. 1) liegen räumlich nebeneinander. Die Löschkapazitäten C_L sind konstant, 103,5 μF ± 0,8 %. Ihnen kommt wegen dem Fehlen einer Löschspannung an den Gittern die Aufgabe zu, durch die Erzeugung eines Gegenstromes die brennende Anode zwangsweise zu löschen und den Wiederanstieg der Spannung an der folgenden Anode so lange hinzuhalten, bis die Sperrfähigkeit an der gelöschten Anode hergestellt ist. Im Frequenzbereich von 50 bis 150 Hz ist eine einwandfreie Kommutierung in bezug auf die Entionisierungszeit τ_e ($< 10^{-4}$ s) gewährleistet.

b) Schaltung. Der Aufbau erfolgte nach Fig. 1 mit einem 6armigen Glaskolben-Mutator Typ H6z100 G der Signum AG., Wallisellen. Die Steuerung ist als Dämpfungs- oder mehrphasige Nullpunktssteuerung mit einem gemeinsamen Regulierwiderstand *R* ausgeführt. Als Rückkopplungsglied dient ein Gittertransformator T_S. C_S sind die Steuer-, C_L die Löschkapazitäten. Die übrigen Schaltelemente nebst den Symbolen sind aus Fig. 1 ersichtlich.

Strom und Spannung werden mit Hitzdrahtinstrumenten gemessen. Die Gitterwiderstände r_g sind Schutzwiderstände von ca. 180 Ω; sie sind ohne Einfluss auf die Steuerung. Der auf die gewünschte Frequenz eingestellte selbständige Schwingkreis übernimmt die Steuerung. Durch die Kopplung sollen die periodischen Schwingungen lediglich angeregt werden.

4. Messergebnisse.

a) Leerlaufcharakteristiken. Die richtige Phasenlage der Steuerspannung der Schwingkreise, bzw. die Zündmomente werden durch Drehen des Gittertransformators T_S eingestellt. Man untersucht, ob ein resonanzähnlicher Zustand bei konstanter Kom-

[21]) Schilling, a. a. O.

[22]) A. Glaser, K. Müller, Lübeck, Theorie des Stromrichters, Springer, Berlin 1935, S. 270.
H. Keller, Das Belastungsdiagramm des Gleichstrom-Wechselstrom-Mutators, BBC Mitt. (1934), S. 229.

[23]) Neidhardt, a. a. O.

[24]) Aehnliche Erscheinungen sind in der Sende- und Verstärkertechnik, beim Magnetron usw. bekannt. Die theoretische Untersuchung, die sich gegenüber den einfachen Schaltungen wegen dem Auftreten von Ausgleichvorgängen zwischen den einzelnen Phasen über die Löschkondensatoren erheblich schwieriger gestalten wird, ist einem späteren Bericht vorbehalten.

mutierungsdrosselimpedanz Z_D, Transformatorimpedanz Z_T und Löschkondensatoren $C_L = 103{,}5\ \mu F \pm 0{,}8\ \%$ sich einstellt. Da die Induktivität L_S des Steuerkreises nicht regulierbar ist und eine Aende-

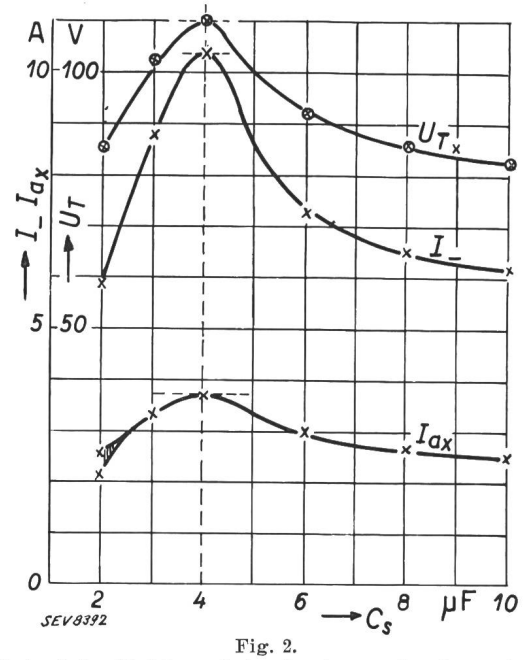

Fig. 2.
Verlauf des Gleich- und Anodenstromes I_-, I_{ax} und der Transformator-Spannung U_{Tx}
am symmetrischen Sechsphasentransformator der Phase X in Abhängigkeit von der Steuerkapaztät C_s
Z_D Drosselspulenimpedanz $= 0{,}1136 + j\omega\ 0{,}04\ \Omega$ [29]).
Löschkapazität $C_L = 103{,}5\ \mu F \pm 0{,}8\ \%$.

rung der gegenseitigen Induktivität bei Leerlauf keinen Einfluss hat, variiert man am vorteilhaftesten die Kapazität des Steuerkreises C_S. Durch Regulieren des Widerstandes R kann das Dämpfungsmass des Schwingungskreises und hiemit die Spannungsamplitude verändert werden. Stellt sich unter den

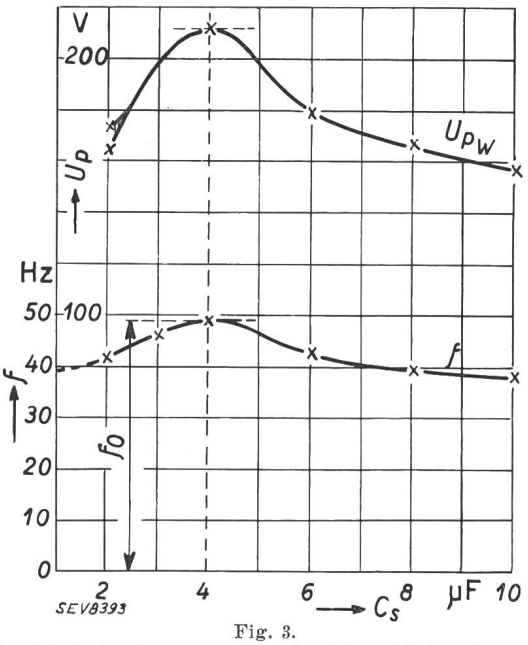

Fig. 3.
Abhängigkeit der Spannung U_{PW} der Phase W des Belastungskreises und der Frequenz f von der Steuerkapazität C_s.
(Uebrige Daten wie Fig. 2.)

Bedingungen eine maximale Frequenz f oder ein maximaler Strom I_p ein, ist das resonanzähnliche Verhalten der ein selbständiges System bildenden Steuer-Schwingungskreise bewiesen [25]) [26]).

Den Einfluss der Kapazität C_S des Steuerkreises charakterisieren die Kurven Fig. 2 und 3. Ströme und Spannungen weisen ein ausgesprochenes Maximum bei $C_S = 4\ \mu F$ auf. Es besteht bei $4\ \mu F$ Resonanz zwischen Steuer- und Hauptstromkreis. Die Werte bei $C_S = 2\ \mu F$ sind einer kleinen Streuung unterworfen. Nach den gewöhnlichen Resonanzbedingungen für $L_T =$ konst. ist zu erwarten, dass einer Vergrösserung von C_S eine Frequenzerniedrigung, einer Verkleinerung derselben eine Frequenzvergrösserung, wie später noch zu zeigen ist, entspricht.

Die oszillographisch aufgenommenen Ströme und Spannungen stellt Fig. 4 dar, nämlich die mit $f\ (U_-) = 2\,p \cdot f$ pulsierende Gleichspannung U_-, die Anodenspannung U_{ax} der Phase X und der gleichnamige Anodenstrom I_{ax}. Der Verlauf der induktiv übertragenen Anodenspannung U_{ax} ist wegen der Trägheit der verwendeten Schleifen dahin zu korrigieren, als U_{ax} beim Eintreten der Zündung im Punkt A (Fig. 4) nach der strichpunktierten Linie absinkt. Die Nachkontrolle erfolgt mittels des Kathodenstrahloszillographen. Die Licht-

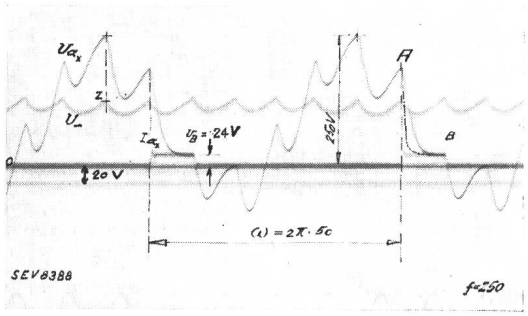

Fig. 4.
Verlauf der Anodenspannung U_{ax} der Phase X und des gleichnamigen Anodenstromes I_{ax} von Leerlauf bis zur Instabilitätsgrenze A.
U_{ax} Gleichspannung.
—·—·— Korrigierter Spannungsverlauf der Anodenspannung U der Phase X zwischen A und B.
Eichfrequenz $f = 250$ Hz.

bogenspannung u_B beträgt 24 V. Der Anodenstrom I_{ax} weist einen ungestörten Verlauf auf. Die Phasenspannung U_P ist merkwürdigerweise bei Leerlauf und Vollast vor und nach den Strom- und Spannungssprüngen nahezu gleich geformt. Es beweist dies die bei einer Frequenz $f = 132$ Hz und einer Belastung von ca. 1,5 kW aufgenommenen Kurve in Fig. 8. Die Amplitude der 3. Harmonischen beträgt kaum 5 %. Die Abhängigkeit der einzelnen Spannungen U_T, U_P und der Frequenz f von der primär zugeleiteten Gleichspannung U_- bei Leerlauf veranschaulicht Fig. 5. Das Abweichen

[25]) G. Wetten, H. Dänzer: Diplomarbeit am Elektrotechnischen Institut der ETH, Zürich 1939.

[26]) E. Blaich, Diss. Techn. Hochschule München 1933. H. Laub, Jahrb. Forsch.-Inst. AEG Bd. 3 (1931—33), S. 27, erschienen 1933.

vom anfänglich linearen Verlauf bei grösseren Spannungen U_- ist auf die starke Vormagnetisierung des Eisens durch den über die Kommutierungsdrosselspule Z_D und die Anodenspulen fliessenden Gleichstromes I_- zurückzuführen, da I_- bei $U_- =$ 90 V eine beträchtliche Grösse erreicht ($\eta \sim 0$). Eine Spannungserniedrigung könnte auch durch die Vergrösserung der Kommutierungsdrosselspule Z_D erreicht werden, der aber gleichzeitig noch eine Frequenzerniedrigung folgen würde.

Die Kurvenform von U_p würde durch die Aenderung von Z_D nur unwesentlich beeinflusst, was die Verkleinerung der Kommutierungsdrosselspule von $Z_D = 0{,}1136 + j\omega\, 0{,}04$ (gemessen bei 50 Hz) auf $0{,}0275 + j\omega\, 0{,}0046\ \Omega$ bei gleicher Vormagnetisierung bewies.

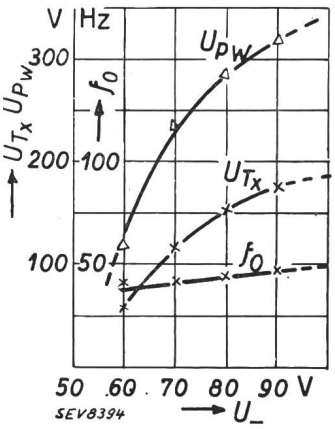

Fig. 5.
Phasenspannung U_{Pw}, Transformatorenspannung U_{Tx} und Frequenz f_0 in Funktion der Gleichspannung U_- im Leerlauf.
$C_s = 4\ \mu F$;
$C_L = 103{,}5\ \mu F \pm 0{,}8\ \%$;
$Z_D = 0{,}1136 + j\omega \cdot 0{,}04\ \Omega$ [27])

b) Charakteristiken bei ohmscher Belastung. Im folgenden ist das Verhalten bei ohmscher Belastung beschrieben. Ströme und Spannungen sind deshalb in Abhängigkeit vom Phasenstrom I_{Pw} der Phase W des Belastungskreises aufgetragen.

Für $C_S = 4\ \mu F$ und $U_- = 70$ V ergibt sich für I_-, I_a, U_T, U_P und f der in Fig. 6 und 7 gezeichnete Verlauf. $I_{Pw} = 1{,}3 \ldots 1{,}25$ A treten nach Ansicht des Verfassers zufolge der Kopplung von Hauptstromkreis mit dem Steuerkreis nach Fig. 9 Zieherscheinungen spezieller Art auf. Ueber die quantitativen Beziehungen der einzelnen Schaltelemente zueinander soll erst im theoretischen Teil berichtet werden.

Mit zunehmender Last wird der im Leerlauf noch bestehende Resonanzzustand des Wechselrichters mehr und mehr unterdrückt. Es ist ein Absinken der Spannung U_T und U_{Pw} bei steigender Frequenz f zu verzeichnen. Die wirksame Induktivität des Transformators wird verringert, weshalb nach bekannten Resonanz- und Steuerbedingungen [28]) die Verkleinerungen von Z_T und Z_D eine Frequenzerhöhung verursachen. Nach dem Durchschreiten des Instabilitätsgebietes arbeitet der Mutator mit steigender Last und steigendem Wirkungsgrad (s. Fig. 6) weiter, geht nach $I_P \sim 2{,}2$ A in einen nahezu stationären Betriebszustand über, indem die Spannung U_P und die Frequenz f nahezu konstant bleiben. Bei ca. $I_P = 4$ A (entspr. 1,3 kW) erfolgt das Kippen des Gleichrichter, hervorgerufen durch das Zusammenwirken der verschiedenen Schaltelemente [29]). Würde man konstante Frequenz f über den ganzen Bereich verlangen, müsste die Kapazität der Löschkondensatoren C_L entsprechend geändert werden. In praxi ist aber eine Anpassung nicht möglich, weshalb die Regelung über den Steuerkreis zu erfolgen hätte. Als verän-

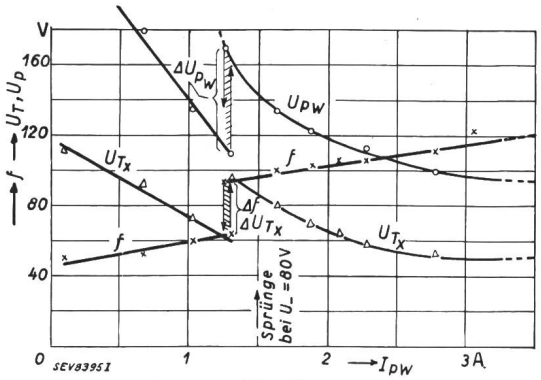

Fig. 6.
Phasenspannung U_{Pw}, Transformatorspannung U_{Tx} und Frequenz f in Funktion des Belastungsstromes I_{Pw} bei ohmscher Belastung.
Δf, ΔU_{Tw} ΔU_{Pw}. Frequenz- bzw. Spannungssprünge.
(Daten wie nach Fig. 5.)

derliches Element bliebe auch noch die Induktivität der Kommutierungsdrosselspule übrig, deren Zunahme eine Frequenzerniedrigung verursachte und so das Konstanthalten von C_L, die im vorliegenden Fall wegen steigender Frequenz f vergrössert werden sollte, ersetzte.

C_L wurde so gross gewählt [30]), dass sichere Löschung auftritt, weshalb von Anfang an ein hohes

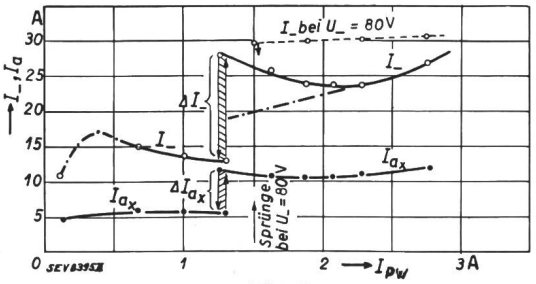

Fig. 7.
Phasenstrom I_{ax} der Phase X und Gleichstrom I_- in Abhängigkeit vom Belastungsstrom I_{Pw} der Phase W.
(Daten wie nach Fig. 5.)

Aufschwingen der Spannung unterdrückt wird und nach dem Ueberschreiten des labilen Gebietes keine wesentlichen Spannungssteigerungen mehr stattfinden.

Messungen bei einer Gleichspannung $U_- = 80$ V und $C_S = 4\ \mu F$ zeigen, dass die Sprünge Δf, ΔU_{Tx}, ΔU_{Pw} erst bei grösseren Strömen, nämlich $I_{Pw} \sim$

[27]) Für eine quantitative Auswertung müsste die wirksame Induktivität der Drosselspule in Abhängigkeit vom Gleichstrom I_- gemessen werden, da die von I_- verursachte Vormagnetisierung, Z_D weitgehend vom überlagerten, nicht sinusförmigen Wechselstrom (s. Fig. 4) abhängig macht.

[28]) Micza, E. u. M. Bd. 52 (1934), S. 466.

[29]) Neidhardt wählte in seiner Schaltung den Dämpfungswiderstand r_g gross, um Eigenschwingungen gänzlich zu unterdrücken.

[30]) A. Engel, H. Klemperer, Wiss. Mitt. Siemens-Konz. Bd. 13 (1930) II, S. 56.

1,4 A im Gegensatz zu $I_{Pw} \sim 1{,}2$ A in Fig. 6 und 7 erscheinen, während sie bei $U_- = 60$ V wenig unter denen bei $U_- = 70$ V liegen. Es ist eine eindeutige Abhängigkeit von U_- vorhanden. Merwürdigerweise werden bei gleichen Daten die Sprünge Δf, ΔU_{Tx}, U_{Pw} bei $U_- = 80$ V um ca 15...20 % kleiner, bei $U_- = 60$ V um ca. 10...15 % grösser als bei $U_- = 70$ V der Fig. 6 und 7. Es ist eine eindeutige *Spannungsabhängigkeit* vorhanden.

Der in Fig. 7 eher als unwahrscheinlich erscheinende Stromverlauf I_- nach dem Sprung ist demjenigen bei $U_- = 80$ V (kein Bild) sehr ähnlich, was einer Bestätigung des Verlaufes nach Fig. 7 gleichkommt.

Bei Einphasen-Wechselrichtern war es nötig, die Verschlechterung der Kurvenform der Spannung U_P bei Belastung durch eine Vergrösserung der Löschkapazität C_L auszugleichen. Beim untersuchten Gleichrichter blieb jedoch die Spannungskurve U_{Pw} gleich derjenigen der Fig. 8. Der Beweis hiefür ist auch aus Fig. 10 ablesbar. Die Anodenspannung U_{ax} hat nach dem Ueberschreiten der Instabilitätszone der Form nach keine wesentliche Veränderung erfahren, weshalb die im Belastungskreis induzierte Spannung formtreu geblieben ist.

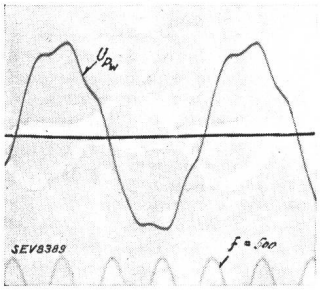

Fig. 8.
Verlauf der Spannung U_{Pw} der Phase W des Dreiphasentransformators bei Belastung, $I_{Pw} \sim 3$ A und einer Frequenz $f \sim 125$ Hz.
Eichfrequenz $f = 500$ Hz.

Das Auftreten der Instabilität ist generell auf folgende Ursachen zurückführbar. Bei geringer Last ist der Hauptstromkreis phasenrein rückgekoppelt und schwingt mit Resonanzfrequenz, also unabhängig vom Dämpfungswiderstand. Ist der Belastungskreis angekoppelt, wirkt dieser wie ein Widerstand der Grösse $\delta R + j\delta\omega L$, weshalb die Eigenfrequenz und der Zündeinsatz bzw. der Voreilwinkel verändert wird. Lässt man die Elemente des Steuerkreises konstant und verändert die Belastung von Null herkommend, so weicht die im System sich ausbildende Frequenz im Belastungskreis nach höheren Frequenzen hin aus. Es entstehen die Sprünge Δ. Wenn man von höheren Belastungen herkommt, weicht die Frequenz dagegen nach kleineren hin aus. Das Ausweichen beginnt jedoch erst bei kleinerem I_{Pw} als wenn man von unten her käme (siehe Pfeile in den Fig. 6, 7, 11, 12). Das sind dem «Ziehen» eigene Erscheinungen.

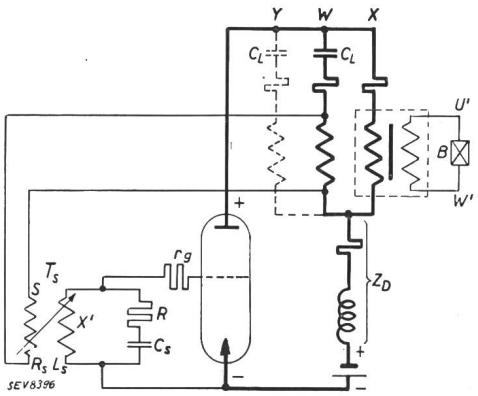

Fig. 9.
Darstellung der vereinfachten Ersatzschaltung mit Haupt- und Steuerstromkreise und des der Rückkopplung dienenden Gittertransformators T_s.

Für die Berechnung von ω lässt sich das Ersatzbild 9 als Grundlage verwenden, da aus ihm die Wechselbeziehungen von Anoden- und Steuerkreis bezüglich dem Auftreten von Koppelschwingungen unmittelbar ersichtlich sind. Wegen der Parallelschaltung der verschiedenen Phasen Y, U, Z, V usw. besitzt die abzuleitende Gleichung determinierenden Charakter und ist höher als 4. Grades.

Die Tatsache ist erwähnenswert, dass wegen der Verringerung der wirksamen Induktivität die Anodenspannung trotz steigender Frequenz f bei gleichen Verhältnissen verkleinert wird, was die Veränderung der Spannungsamplitude in Fig. 10 gegenüber derjenigen der Fig. 4 charakterisiert. Der Scheitelwert ist von $U_{ax} = 250$ V (Fig. 4) bei $U_- = 70$ V auf $U_{ax} = 160$ V (Fig. 10) bei noch höherer Gleichspannung $U_- = 80$ V abgesunken, obschon man Leistungen bis 2 kW erreichte. Als Maßstab der Spannung U_{ax} dient die Bogenspannung $u_B = 24$ V.

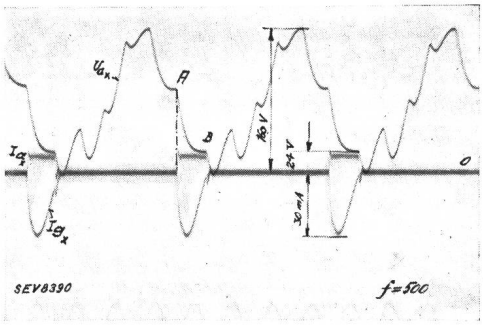

Fig. 10.
Verlauf der Anodenspannung U_{ax} der Phase X und des gleichnamigen Anoden- und Gitterstromes I_{ax} bzw. I_{gx} bei einem Belastungsstrom $I_{Pw} = 3{,}2$ A und nach erfolgten Frequenz- und Spannungssprüngen Δ.
Gleichspannung $U_- = 80$ V; $f = 125$ Hz; $C_s = 4\,\mu$F;
$Z_D = 0{,}1136 + j\omega\, 0{,}04\ \Omega$ [29]).
Eichfrequenz $f = 500$ Hz.

Das Kippen des Gleichrichters wird dann eintreten, wenn U_{ax} entsprechend der Dauer von 60° el. nicht mehr genügend negativ wird, bzw. nicht mehr unter die kritische Zündspannung sinkt. Es brennen in diesem Zustand zwei Anoden gleichzeitig (Zustand höherer Ordnung) auf den unmittelbar der Kurzschluss folgt. Den kurz vor dem Kippen auftretenden Ausgleichvorgängen über die Löschkondensatoren und Transformatorphasen kommen nach hier noch *nicht* veröffentlichten Oszillogrammen (schwingender Anodenstrom, aperiodische Entladung etc.) grosse Bedeutung zu.

Der Anodenstrom I_{ax} der Fig. 10 zeigt noch keine wesentliche Veränderung gegenüber demjenigen der Fig. 4. Gleichfalls weist der Gitterstrom I_{gx} einen noch ungestörten Verlauf auf, woraus man schliesst, dass Ausgleichvorgänge an der nahen Anode noch nicht auftreten [31]).

Um den Einfluss einer veränderlichen Steuerkapazität C_S bei einer Belastung gleich wie in Fig. 4 zu ermitteln, wurde die ergänzende Messung mit $C_S = 10\,\mu F$ bei $U_- = 70$ V durchgeführt. Die Abhängigkeit von U_{Tx}, U_{Pw}, I_-, I_{ax} und f ist aus den Fig. 11 und 12 ersichtlich. Die Frequenz f ist wegen der kleineren Eigenfrequenz des Schwingkreises, die unter den Umständen proportional dem Voreilwinkel ist, niedriger. Die Dissonanz des Steuerkreises macht sich durch die Verschiebung der Instabilität im Bereich kleinerer Stromstärken, $I_{Pw} \sim 0{,}42 \ldots 0{,}50$ A, bemerkbar. Spannungs- und Stromsprünge sind kleiner geworden, was in der Erniedrigung der Frequenz, der die Spannungen nahezu proportional folgen, ihre Ursache hat. Grundsätzlich weisen sie aber den gleichen Verlauf mit den eindeutigen Zieherscheinungen der Kurven der Fig. 2 und 3 auf. Der stationäre Betrieb

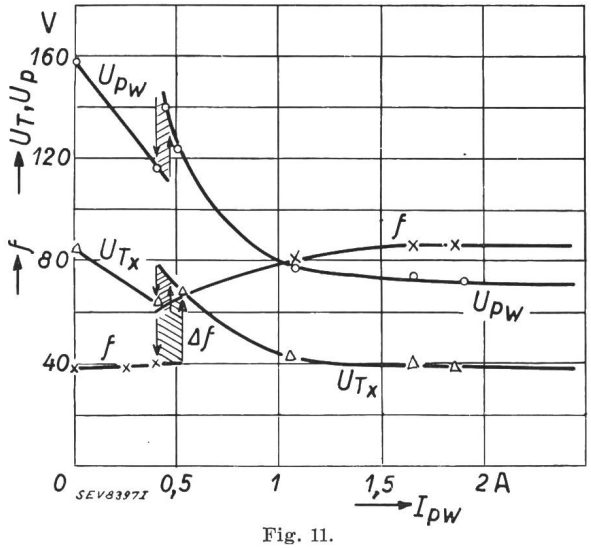

Fig. 11.
Verlauf der Spannungen U_{Pw}, U_{Tx} und der Frequenz f in Abhängigkeit vom Belastungsstrom I_{Pw},
mit den Spannungs- und Frequenzsprüngen ΔU_{Pw}, ΔU_{Tx} und Δf bei $U_- = 70$ V, $C_s = 10\,\mu F$, $Z_D = 0{,}1136 + j\omega\, 0{,}04\,\Omega$ [29]).

wird wegen dem früheren Ueberschreiten der Instabilitätszone eher eintreten und dank diesem Umstand wird Frequenz und Spannung schon bei $I_{Pw} = 1{,}0$ A *belastungsunabhängig* werden.

Der Gesamtwirkungsgrad η weist den ähnlichen Verlauf wie beim Einphasenwechselrichter auf und erreicht bei niederen Gleichspannungen Werte von 0,5, bei grösseren bis 0,75. Für kleine Belastungen ist η sehr klein, jedoch nach dem Springen konsequent höher als vorher. Verluste treten im Ventil, in den Transformatoren, Löschkondensatoren und in der Steuerung auf. Die Steuerleistung ist sehr klein; dagegen sind die durch die Löschkondensatoren C_L verursachten Verluste gross. Der Strom, welcher die zur Ladung des Kondensators benötigte Elektrizitätsmenge zu- und nach dem Erreichen des Spannungsmaximums wieder abführt, leistet bei seinem Durchfluss durch den Transformator nur zum Teil Arbeit. Nach der Zündung

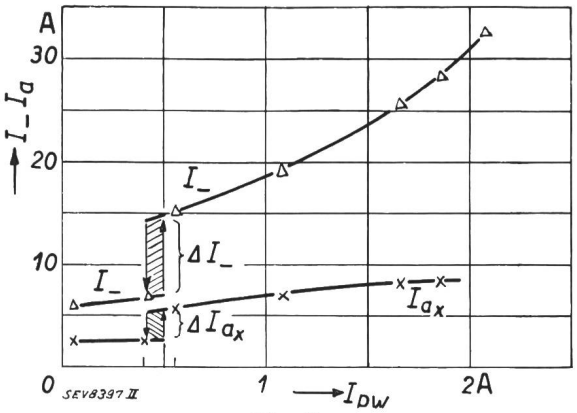

Fig. 12.
Verlauf vom Anodenstrom I_{ax} und dem Gleichstrom I_- in Funktion vom Belastungsstrom I_{Pw}
mit den Stromsprüngen ΔI_{ax} und ΔI_- bei gleichen Daten wie in Fig. 11.

fliesst die restliche Ladung durch den neu gezündeten Bogen direkt ab. Wie beim Einphasenwechselrichter könnte man die Spannungen vor der Zündung stark abschwingen lassen. Man müsste, um das zu erreichen, die Grundfrequenz durch Verkleinern von L_D oder L_T erhöhen. Dadurch wird die negative *Löschspitze* und Wiederkehrzeit der Spannung (s. Disk. zu Fig. 10) sehr klein, so dass die Gefahr des Kippens auftritt und die Unsicherheit gegenüber der Wirkungsgradverbesserung sich nicht aufhebt.

5. Diskussion.

Nach dem Schema Fig. 9 besteht eine Reihenschaltung des Löschkondensators C_L mit der eisenhaltigen Induktivität des Transformators L_T und einem ohmschen Widerstand. Leicht ist man versucht, das Auftreten der Labilität auf Sättigungserscheinungen zurückzuführen. In dem Falle müsste bei zunehmendem Strom I_{ax} oder I_- zwangsläufig die Spannung bis zu einem kritischen Wert steigen, in der labilen Zone sinken und nach dem Erreichen der niedrigsten Spannung von neuem steigen. Nach den vorliegendenMessungen sinkt aber beim selbstgesteuerten Wechselrichter die Spannung U_T, $U_P(\sim)$ bei zunehmender Stromstärke und springt nach dem Ueberschreiten der instabilen Zone, nach den Fig, 6, 7, 11, 12, auf einen grösseren Wert, um bei weiterer Stromzunahme abzusinken. Dieses gegen einen dominierenden Einfluss von Sättigungserscheinungen sprechendes Ergebnis ist auch noch aus einem weiteren Umstand rekonstruierbar. Der normal dimensionierte Transformator ist nur mit ca. $^1/_3$ bis $^2/_5$ Last beansprucht, weshalb Uebersättigungen nicht in Frage kommen. Als Ursache der Instabilität bzw. des Auftretens von Zieherschei-

[31]) Störungen des Gitters durch Ausgleichvorgänge über die Löschkondensatoren werden später behandelt.

nungen spezieller Art sind, wie bereits in den Kapiteln 2 bis 4 ausgesagt, nur Rückkopplungseffekte anzuerkennen.

Die erwähnten Formeln von Neidhardt [19]) sind nur in beschränktem Masse gültig. Für die Berechnung können die Grundlagen von Teh-shin Kuo [20]) insofern Verwendung finden, als der Steuerkreis einzubeziehen ist und die Systemsgleichung wegen des Auftretens von Ausgleichsvorgängen einer näheren Diskussion unterzogen werden muss.

Im stationären Zustand weisen einige Kurven einen ähnlichen Verlauf wie beim Einphasenwechselrichter auf. Einer Verkleinerung der Kommutierungsdrosselspule Z_D entspricht eine Frequenzerhöhung. Die Instabilitätszone wird für kleinere Z_D gegen kleinere Phasenströme I_{Pw} hin verschoben.

6. Zusammenfassung.

In der Einleitung wird ein kurzer Ueberblick von der allgemeinen Entwicklung des gesteuerten Mutators mit besonderen Hinweisen auf diejenigen des gesteuerten Parallel-Gleichstrom-Drehstrom-Mutators gegeben.

Nach theoretischen Ueberlegungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, müssen bei konstanter Gleichspannung, konstanter Lösch- und Steuerkapazität zufolge der direkten Kopplung der Haupt- und Gitterkreise über den Gittertransformator auch bei niedrigen Frequenzen Instabilitätserscheinungen auftreten. Diese Erscheinungen kommen durch die plötzliche Aenderung der Frequenz f und der Phasenspannungen U_P und U_T zum Ausdruck. Sie sind als Zieherscheinungen spezieller Art zu werten und grundsätzlich nicht mit dem *Kippen* des Mutators zu verwechseln.

Wie aus Messungen hervorging, stellten sich bei einer Aenderung der Steuerkapazität C_S optimale Phasenströme I_P und Frequenzen f ein, wodurch das resonanzähnliche Verhalten der ein selbständiges System bildenden Steuerschwingkreise bewiesen ist. Gleichfalls ergaben die Messungen die postulierten Sprünge der Phasenströme und Phasenspannungen in Abhängigkeit von der Strombelastung des Wechselstromverbrauchers. Die Strom- und Spannungsabhängigkeit mit den auftretenden Unstetigkeitsstellen sind in der Form von Kurven, die Kurvenform der Ströme und Spannungen in Oszillogrammen wiedergegeben.

In der Diskussion der Ergebnisse ist erläutert, dass die Ursache der gefundenen Instabilität nicht etwa Sättigungserscheinungen im Sechsphasentransformator sind.

Ein Umschalter für die Aufnahme zweier getrennter Vorgänge mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen.

Von *H. Koller*, Basel.

621.317.755

Es wird ein «elektronischer» Umschalter beschrieben, welcher die Aufnahme zweier getrennter Vorgänge mit dem Einstrahl-Oszillographen erlaubt, indem er die beiden Messgrössen abwechslungsweise auf das Ablenkplattenpaar schaltet. Auf die verschiedenen Verfahren hinsichtlich der Zweifachkurven-Aufnahme mit Umschaltern wird hingewiesen. Die Anwendungsmöglichkeiten werden anhand einiger einfacher Beispiele gezeigt.

L'auteur décrit un commutateur «électronique» qui permet d'enregistrer deux phénomènes séparés avec un oscillographe à un faisceau, par application alternée des deux grandeurs au système de déviation. Il signale les différents procédés d'enregistrement de deux courbes à l'aide de commutateurs et montre les possibilités d'application par quelques exemples simples.

I. Einleitung.

Aus der noch vor einigen Jahren wenig bekannten Braunschen Röhre ist heute ein ausgesprochen technisches Messinstrument geworden. Ihre prinzipielle Entwicklung kann heute, nicht zuletzt dank der eingehenden Durchbildung, welche sie im Zusammenhang mit den Fortschritten auf dem Gebiete des Fernsehens erhalten hat, als abgeschlossen betrachtet werden. Das Schwergewicht verlegt sich deshalb mehr und mehr auf die Entwicklung von Sonderkonstruktionen und Hilfsgeräten, die eine Erweiterung und Ergänzung ihres Anwendungsgebietes bezwecken.

Sehr häufig stellt sich in der Praxis die Aufgabe, zwei Vorgänge, seien sie nun nieder- oder hochfrequenter Natur, miteinander zu vergleichen. Neben der Kurvenform interessiert vor allem die Bestimmung der Phasenlage. Ganz besonders ist dies dann der Fall, wenn die beiden Vorgänge in irgendeiner engeren Beziehung zueinander stehen, z. B. der Strom und die Spannung einer Impedanz.

Mit den bisher bekannten Oszillographen-Ausführungen liessen sich solche Vergleiche einwandfrei nur über den Umweg der photographischen Aufnahme herstellen. Diese Methode hat aber neben der Umständlichkeit den grossen Nachteil, dass sie sehr zeitraubend und unter Umständen ziemlich kostspielig ist. Meistens handelt es sich bei solchen vergleichenden Messungen mehr um Kontrollen, für die nicht viel Zeit zur Verfügung steht. Um solche Messungen rasch durchführen zu können, müssen die Vorgänge unmittelbar auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre verglichen werden können. Mit den üblichen Einstrahl-Oszillographen konnte diese Forderung indessen nicht ohne weiteres verwirklicht werden. Wenn nun in letzter Zeit dem Problem der Mehrfach-Kurvenaufnahme vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt wird, so geschieht dies zweifellos aus einem Bedürfnis der Praxis heraus.

Grundlegend für die direkte Beobachtung und Vergleichung zweier Vorgänge ist die Forderung, dass beide Grössen während einer bestimmten Zeit auf dem Schirm auch als gleichzeitig zu sehen sind. Das will aber nicht heissen, dass beide Vorgänge gleichzeitig auf dem Schirm erscheinen müssen,