

SRPSKA AKADEMIJA NAUKA I UMETNOSTI I
ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT "NIKOLA TESLA" - BEOGRAD

DRUGO SAVETOVANJE O ENERGETSKOJ ELEKTRONICI

Walter BERENS, dipl.ing.
Brown Boveri & Cie, Lampertheim

LEISTUNGSVERSTELLUNG MIT STELLERN AUF DER WECHSEL-
STROMSEITE



BEOGRAD

novembra 1975.

Leistungsverstellung mit Stellern auf der Wechselstromseite

Die Steuerung der Leistung von Verbrauchern für industrielle Anwendungen erfolgt überwiegend durch Umformen des Wechselstromes über Stromrichter in Gleichstrom. In einer Reihe von Anwendungen - z.B. regelbare Induktivität - ist dies nicht möglich, bzw. bei Hochstrom- oder Hochspannungsanlagen ist eine Leistungsverstellung auf der Wechselstromseite günstiger. Hierzu werden Wechsel- oder Drehstromsteller eingesetzt. Die Art der Last, z.B. ohmsch, oder die Steuerungsart, z.B. stetige Steuerung, bestimmen den Aufbau der Steller und deren Steuerung. Für jeden Anwendungsfall kann ein optimal ausgewählter Steller angegeben werden. An Anwendungsbeispielen für den Einsatz von Stellern wird es gezeigt. Es wird zuerst versucht, in die Vielfalt der Schaltungen bzw. der Steuerungsarten eine Systematik vom Aufbau und der Wirkungsweise zu bringen.

1. Begriffsbestimmungen

1.1 Schaltungsbegriffe

Wechselstromsteller sind Wechselstromumrichter, die für eine Verstellung der abgegebenen Wechselspannung bei Anschluß an eine vorgegebene Wechselspannung bestimmt sind. Die Ausgangsfrequenz (Grundschiwingung) ist gleich der Eingangsfrequenz. Das Grundelement der Wechselstromstellerschaltungen, die im folgenden behandelt werden, ist das Wechselwegpaar. Das Wechselwegpaar besteht aus zwei gegensinnig geschalteten Stromrichterhauptzweigen. Der Aufbau kann mit zwei antiparallel geschalteten Thyristoren oder mit Zweirichtungsthyristoren (Triac) erfolgen.

Ausgehend von der Spannungsbildung am Verbraucher unterscheidet man drei typische Fälle: (Bild 1)

- Vollgesteuert mit einphasiger Spannungsbildung
- Vollgesteuert mit dreiphasiger Spannungsbildung
- Halbgesteuert mit dreiphasiger Spannungsbildung

Vom Schaltungsaufbau einer Wechselstromstellerschaltung unterscheidet man bei mehrphasigen Stellerschaltungen:

- Symmetrische mehrphasige Schaltungen
- Unsymmetrische mehrphasige Schaltungen
- Ring- oder Polygonschaltung

1.2 Steuerbegriffe

Von der Steuerbarkeit eines Stellers wird unterschieden:

- stetigsteuerbar
- taktsteuerbar (Nullpunktsteuerung)
- nicht periodisch steuerbar (Schalterbetrieb)

Bei stetigsteuerbaren Wechselstromstellern kann der Steuerwinkel α zwischen dem minimalen und dem maximalen Steuerwinkel stetig verstellt werden. Es sind Steuerwinkelbereiche von $\alpha \leq 210^\circ$ erforderlich.

Bei taktsteuerbaren Stellern ist der Steuerwinkel α nicht stetig einstellbar und auf den minimalen Steuerwinkel $\alpha = 0^\circ$ fest eingestellt. Dies ist meist auch der Spannungsnulldurchgang der Phasenspannung. Sie werden periodisch ein- bzw. ausgeschaltet.

Der "Schalterbetrieb" eines Wechselstromstellers ist gekennzeichnet, daß er nicht periodisch ein- und ausgeschaltet wird. Meist sind Einrichtungen zum Stetigsteuern beim Einschalten vorhanden (Softstarting).

2. Wechselstromsteller stetigsteuerbar, einphasige Spannungsbildung

2.1 Steuerkennlinie

Die Strom- und Spannungsverhältnisse bei Betrieb einer Last über einen Steller zeigt das Bild 2.

Der Strom in einer ohmschinduktiven Last, bestehend aus der Reihenschaltung eines Widerstandes R mit einem induktiven Widerstand L, errechnet sich aus:

$$i = \frac{u \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \frac{R}{\omega L} (\omega t - \alpha) \sin(\alpha - \varphi) \right]$$

Der Strom setzt sich aus ^{dem} periodischem Dauerstrom und einem Ausgleichsstrom, der mit der Zeitkonstante $\tau = L/R$ abklingt, zusammen. Der Ausgleichsstrom kann unterdrückt werden, wenn man den Steuerwinkel α gleich den Lastphasenwinkel φ macht.

Das Bild 3 zeigt die Steuerkennlinien eines Wechselstromstellers. Für rein ohmsche Last beträgt der Steuerbereich 180° el, für rein induktive Last 90° el von $d = \pi/2 \dots \pi$

Der Effektivwert des Laststromes ist für ohmsche Last

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{0\text{eff}}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - d + \frac{1}{2} \sin 2d \right)}$$

induktive Last

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{0\text{eff}}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left\{ (\pi - d) \left(\cos^2 d + \frac{1}{2} \right) + \frac{3}{2} \sin d \cos d \right\}}$$

$I_{0\text{eff}}$ ist der Strom bei Vollaussteuerung.

Für eine ohmsch/induktive Last ergibt sich

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{0\text{eff}}} = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \sin \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{\cos(2d + \varphi + \lambda)}{\cos \varphi}}$$

λ ist der Stromflußwinkel, er ergibt sich aus

$$\tan(\pi - d + \varphi) = \frac{\sin \lambda}{\cos \lambda - e^{-\lambda} \cot \varphi}$$

2.2 Steuerblindleistung und Oberschwingungen

Bei der Anschnittsteuerung durch Zündverzögerung tritt eine **Verzerrung** des Laststromes auf; der Strom enthält außer der Grundschwingungen Oberschwingungen, die sich nach der Fourier-Analyse aus der Stromkurve berechnen lassen. Außer der Erzeugung von Oberschwingungen durch die Verzerrung der Stromkurve ergibt sich im allgemeinen auch eine Phasenverschiebung der Grundschwingung, die eine Grundschwingungs-

blindleistung im Wechselstromnetz zur Folge hat.

Die Grundschiwingung des Stromes kann in einen Wirkanteil, die mit der Wechselspannung in Phase ist und in einem Blindanteil, der gegenüber der Wechselspannung um 90° el. nacheilend verschoben ist, zerlegt werden. Diese Wirk- und Blindanteile der Grundschiwingung des Stromes können mit den bekannten Methoden der Fourier-Analyse berechnet werden.

Daß bei einem ohmschen Verbraucher überhaupt Blindleistung auftreten kann, ist überraschend. Die Grundschiwingungsblindleistung wird jedoch erst durch die Kombination des ohmschen Verbrauchers mit einem steuerbaren Halbleiterventil erzeugt, das bei der Phasenanschnittsteuerung durch die Aufnahme von Spannungszeitflächen Blindleistung zu erzeugen vermag.

In dem Bild 4 sind die Wirk- und Blindleistung im Verhältnis zur maximalen Scheinleistung (ungesteuerter Betrieb) aufgetragen.

Bei symmetrischer Steuerung treten beim Wechselstromsteller nur die ungeraden Harmonischen auf. Für die Grenzfälle rein ohmsche und rein induktive Last ist der Amplitudenverlauf bis zur 13. Oberschiwingung in Bild 5 wiedergegeben. Auffällig an dem Verlauf ist, daß bei ohmscher Last im Bereich mittlerer Steuerwinkel die Amplitude der höheren Oberschiwingungen nur geringfügig schwankt. Bei der rein induktiven Last sind die Maxima und Minima der Amplituden ausgeprägter. Durch Computerrechenprogramme können die Oberschiwingungen auch für Lasten mit beliebigem Phasenwinkel φ , soweit interessant, berechnet werden.

3. Vollgesteuerte Drehstromsteller

3.1 Vollgesteuerte Drehstromsteller mit einphasiger Spannungsbildung für ohmsche und induktive Last.

Die Eigenschaften des Wechselstromstellers bestimmt auch das Verhalten von Drehstromstellern (Bild 1b, c).

Zusätzlich müssen noch die für Drehstromsysteme geltenden üblichen Regeln beachtet werden.

Diese sind für Drehstromsteller mit einphasiger Spannungsbildung, d.h. Drehstromsteller mit Nullpunktverbindung:

- Ist nur ein Strang des Verbrauchers mit dem Netz verbunden, so sind Strangstrom und Nulleiterstrom identisch.
- Führen zwei Stränge Strom, so hat der Nulleiterstrom die Größe eines Strangstromes und liegt in der Phase zwischen beiden Strangströmen.
- Führen alle drei Stränge Strom, so fließt bei ohmscher Last kein Strom über den Nulleiter; nur bei induktiver Last fließt ein Strom konstanter Größe, der je nach Steuerwinkel zwischen 0 und $\hat{i}/2$ liegt.

Bild 6 und 7 zeigen die Spannungsbildung und den Nulleiterstrom bei Drehstromstellern für ohmsche und rein induktive Last.

Für die Auslegung der Nulleiterverbindung ist der Effektivstrom I_0 im Nulleiter von Bedeutung. Diesen findet man durch phasenrichtige Addition der Leiterströme.

Aus Bild 8 kann die Größe des Nulleiterstromes als Funktion des Steuerwinkels bei verschiedenen $\cos \varphi$ der Last abgelesen werden.

3.2 Vollgesteuerte Drehstromsteller mit dreiphasiger Spannungsbildung für ohmsche und induktive Last.

Für Drehstromsteller ohne Nulleiterverbindung, d.h. dreiphasiger Spannungsbildung gelten folgende Regeln:

- Ein Strom kommt nur dann zustande, wenn mindestens zwei Stränge über leitfähige Ventile mit dem Netz verbunden sind.
- Führen zwei Stränge Strom, so folgt die Verbraucherstrangspannung der halben verketteten Spannung beider Stränge.
- Führen drei Stränge Strom, so sind Strangspannung des Netzes und Verbrauchers identisch.
- Zwischen Verbrauchersternpunkt und Netznullpotential entsteht eine Spannungsdifferenz, wenn zwei Stränge Strom führen. Diese hat die halbe Amplitude der Strangspannungen und liegt in der Phasenlage zwischen den stromführenden Strängen.

Bild 9 zeigt als Beispiel für Drehstromsteller mit dreiphasiger Spannungsbildung die Spannung an einer ohmschen und induktiven Last. Es würde den Rahmen des Vortrages sprengen, wenn man auf die Konstruktion der Spannungsbildung im einzelnen eingeht.

Es wird hierzu auf die Literatur hingewiesen.

4. Anwendungen

Wechselstromsteller werden in großen Stückzahlen in Temperaturregelkreisen als Leistungsstellglied eingesetzt. Die Last ist z. B. der Widerstand einer Heizstrecke an einem Kunststoffextruder oder einer Presse. Die Leistungsverstellung erfolgt nur in Sonderfällen über Zündeinsatzsteuerung. Bild 10 zeigt das Schema eines Temperaturregelkreises. Die Leistungsverstellung erfolgt durch periodisches Takten des Stellers nach dem Verfahren der Schwingungspaketsteuerung (Bild 11). Das Ein- bzw. Ausschalten erfolgt jeweils im Nulldurchgang der Spannung. Man vermeidet so Netzurückwirkung durch Zündeinsatzsteuerung mit Blindleistungsbedarf und Oberschwingungserzeugung. Wechselstromsteller nach der Nullpunktsteuerung erzeugen keine Funkstörungen.

Die Steuerkennlinie ist linear. In Abhängigkeit von der Steuerspannung ändert sich die Taktfrequenz des Stellers nach der Kennlinie von Bild 12. Die max. Taktfrequenz ist einstellbar zwischen etwa 0,5 Hz bis 22 Hz. Bei der Wahl der Taktfrequenz ist einmal die zulässige Temperaturschwankung, bzw. die Wärmezeitkonstante der Last zu beachten, bzw. die sogenannte Flickerkurve. Diese stellt einen Zusammenhang dar zwischen störendem Lichtflackern einer Beleuchtung verursacht durch periodische Spannungsschwankungen. Bei etwa 11 Hz ist das menschliche Auge am empfindlichsten und bei einem Netz mit gegebenen Innenwiderstand sind hier die kleinsten Spannungsänderungen zulässig, d. h. nur eine geringe Leistung. Die zulässige Leistung kann erhöht werden, wenn man die Taktfrequenz zu niedrigeren, bzw. höheren Werten verstellt.

Bei Anschlußspannung bis 220 V und Nennströmen bis etwa 25 A sind Wechselstromsteller für ohmsche Lasten überwiegend mit Triacs als Halbleiterschalter ausgerüstet.

Bild 13 zeigt ein Stellglied für 220 V, 25 A. Der Triac ist auf dem Kühler isoliert aufgebaut.

Der Kontakt eines Temperaturreglers steuert die Leistung. Für höhere Anschlußspannungen bis 500 V und mehr, sowie höheren Strömen werden zwei anti-parallelgeschaltete Thyristoren eingesetzt.

Bild 14 zeigt einen Steller für 380 V, 42 A. Bei einer ohmschinduktiven Last in Verbindung mit taktgesteuerten Wechselstromstellern wird das Ausgleichglied im Laststrom vermieden, wenn der erste Zündimpuls nicht bei $\alpha = 0^\circ$ erfolgt, sondern bei $\alpha = \varphi$, wobei φ der Lastwinkel ist. Der erste Zündwinkel kann über ein Potentiometer bei Wechselstromstellern nach Bild 15 eingestellt werden. Der Abgleich auf Stromminimum erfolgt bei der Inbetriebnahme.

Mittels dieses Prinzips kann auch bei ohmsch oder ohmschinduktiven Lasten die über einen Transformator an das einspeisende Netz und einen Steller angeschlossen werden, eine Leistungsverstellung durch Taktsteuerung nach dem Schwingungspaketsteuerung erfolgen. Bild 16 zeigt den Prinzipschaltplan.

In der Praxis bekommt man häufig Schwierigkeiten, weil der Magnetisierungszustand des Transformators vor dem erstmaligen Einschalten unbekannt ist. Es hat sich ein Verfahren bewährt, bei dem das erstmalige Zuschalten des Transformators mit der Last nach dem Prinzip der Zündeinsetzsteuerung erfolgt (über ca. 5 - 7 Perioden) und alle weiteren Takte durch Nullpunktsteuerung. Bild 17 zeigt den Spannungs- und Stromverlauf an einer ohmschen Last.

Bild 18 zeigt den Temperaturverlauf an einem Durchlauf-ofen zum Spannungsfreiglühen von Aluminiumgußstücken. Die Leistung des dreiphasigen Stellers ist 350 kW. Während der Aufheizzeit wird die Temperatur der Heizelemente überwacht und auf max. zulässige Oberflächentemperatur der Elemente geregelt. Nach Erreichen der erforderlichen Ofentemperatur übernimmt ein Temperaturregler die Steuerung des Stellers.



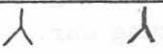


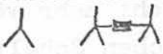

Ändert sich bei einem Heizprozeß die Impedanz der Last sehr stark, z. B. bei Graphitstabheizungen, so erfolgt die Leistungsverstellung nach dem Prinzip der Zündein-satzsteuerung. Nach diesem Verfahren werden auch Hochspannungsanlagen für Elektrofilter betrieben. Entsprechend der Leistung der Last sind Anlagen mit einigen kW, z. B. für E - Filter oder einigen MW, z. B. Brammenheizanlage Mc Clouth USA 50 MW gebaut worden. Bild 19 zeigt einen einphasigen Steller für 500 V Anschlußspannung und 70 A Nennstrom, der nach dem Verfahren der Zündein-satzsteuerung arbeitet.

Bei Nennströmen größer 700 A und bei Einsatz in Schweißmaschinen als Ersatz von Ignitrons werden häufig mit Wasser gekühlte Wechselstromsteller verwendet. Bild 20 zeigt ein Stellermodul für Wasserkühlung mit 1200 A Nennstrom bei 4 l/min Kühlmittelmenge.

Ist ein Einphasenanschluß aus Leistungsgründen nicht vertretbar und die Last einphasig, so wird vielfach über einen Zwischentransformator und einen Gleichrichter eine symmetrische Drehstromlast erreicht, z. B. bei Einheiten für die konduktive Erwärmung von Eisenknüppeln oder für Glühanlagen für Bleche. Bei Senderanlagen für HF - Rohrschweißen oder ähnliche Anwendungen erfolgt die Leistungsverstellung über Drehstromsteller. Drehstromsteller mit Transformator und nachgeschaltetem Gleichrichter erfordern die Beachtung einiger Punkte, um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage sicher zu stellen.

Es ist zu beachten, daß für den Transformator das Durchflutungsgleichgewicht und die Fensterbedingung erfüllt sind. Diese beiden Bedingungen schließen aus, daß jede Drehstromtransformatorschaltung für Stellerbetrieb geeignet ist. Je nach Schaltung des Stellers und des Transformators ergeben sich unterschiedliche Beanspruchungen der Halbleiterventile. Bei Ausführung der Last mit Nulleiterverbindung sind 3 Betriebszustände zu unterscheiden, ein-, zwei- und dreisträngiger Betrieb.

Drehstromsteller mit Transformator und Gleichrichter

| Nr. | Trafoschaltung prim sek | Nulleiter | Gleichrichter- schaltung | |
|-----|--|-----------|-----------------------------|---|
| 1. |  | ja | DB | unbrauchbar, Restdurchflutung |
| 2. |  | ja | DB | bedingt brauchbar, Ausgleichstrom in der Dreieckrichtung, höhere Typenleistung |
| 3. |  | nein | DB | ohne Einschränkung brauchbar |
| 4. |  | nein | DB | ohne Einschränkung brauchbar |
| 5. |  | nein | SD | keine halbgesteuerten Steller brauchbar |
| 6. |  | ja | SD | brauchbar, Spannungsbeanspruchung der Halbleiterventile gegenüber 5 geringer, Saugdrosseltypen- leistung um 3,23-fach größer |
| 7. |  | nein | SD | brauchbar Spannungsbeanspruchung der Halbleiterventile gegenüber 6 höher, Saugdrosseltypenleistung um $\sqrt{3}$ gegenüber 5 höher |

Analog gilt für Lasten ohne Nulleiterverbindung ein zwei- und dreisträngiger Betrieb.

Der Übergang von einer Betriebsart in die andere ist meist mit einem Knick in der Kennlinie für die Ausgangsspannung verbunden. Um unliebsame Überraschungen zu vermeiden, ist diesem Punkt besonders bei hochgenauen Regelungen Beachtung zu schenken.

Einen Sonderfall stellen Drehstromsteller mit nachgeschaltetem Transformator und anschließender Gleichrichtung dar.

Bekanntlich wird bei einer Gleichrichterschaltung der Sekundärstrom je nach Spannungsniveau den einzelnen Strängen durch die Gleichrichter aufgeschaltet. Für den Transformator bedeutet dies, daß er von der Sekundärseite gesehen mit einem eingepprägten Strom rechnen muß. Da bei der Steuerung über Steller auch die netzseitigen Ströme nicht mehr völlig frei fließen können, wird die Zahl der möglichen Schaltungen stark eingeschränkt.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht möglicher Schaltungsvarianten.

Bild 21 zeigt die Drehstromsteller einer hochgenauen Senderspeisung der Klystronsender für die Beschleunigungsstrecken des Speicherringes "Doris" der Desy Hamburg. Die Anlagedaten sind 0 - 70 kV bei 17 A Nennstrom. Die Anlage besteht aus 2 in Reihe geschalteten 6pulsigen Brücken. Da Klystronröhren häufig zu Kurzschlußfehlern neigen und das zulässige I^2t gering ist, ist zur Vermeidung von Röhrenschäden ein Schnellkurzschließer parallel zur Last vorgesehen. Der Kurzschließer wird im Störfall von einer di/dt -Meßeinrichtung ange-regt. Zum Nachweis des einwandfreien Arbeitens wurde die Anlage bei der Abnahme innerhalb von 1 Minute 5 mal bei Nennspannung mit einem Cu - Draht von 0,4 mm Durchmesser kurzgeschlossen, ohne den Draht abzuschmelzen. Stromversorgungsanlagen für Elektronenstahlschmelzöfen bei Spannungen von 20 kV und einigen 100 mA bis zu mehreren Ampere mit Leistungen bis zu 1000 kW oder Anlagen für Plasmaöfen zum Schmelzen von hochwertigen Metallen arbeiten mit dem gleichen Anlagenaufbau wie HF - Senderstromver-sorgungen.

Wechsel- oder Drehstromsteller werden heute in Kompensationsanlagen zur Vermeidung oder Verringerung der auftretenden Netzurückwirkungen bei Betrieb von Lichtbogenöfen eingesetzt.

Als Kondensatorschalter sind sie halb- oder vollgesteuert ausgeführt. Die Spannungsbeanspruchung bei einem halb-gesteuerten Kondensatorschalter ist sehr groß; Sperrspannung $2 \hat{U}$ der Netzspannung, so daß nur wenige Anlagen in Betrieb sind.

Die Verhältnisse für einen Wechselstromsteller für stetige Kompensation von symmetrischen als auch unsymmetrischen Blindleistungen verursacht durch Lichtbogenöfen nach Bild 22 sind günstiger. Die Last ist entweder eine Drossel oder ein Transformator mit großer Streuung ($\mu_K = 100 \%$). Der Steller kann nie mehr als Nennstrom der Anlage führen. Dagegen kann die Spannungsbeanspruchung bei Schaltvorgängen etwa $1,5 U_{\text{Nenn}}$ werden.

Seit Mitte dieses Jahres sind 2 Drehstromsteller mit einer Leistung von je 60 MVA und ein Steller mit einer Leistung von 40 MVA in Betrieb.

Die Nennspannung der Steller sind 5,0 kV bzw. 6,5 kV.
Bild 23 zeigt ein ölgekühltes und ölisoliertes
Stellermodul der 60 MVA - Anlage.

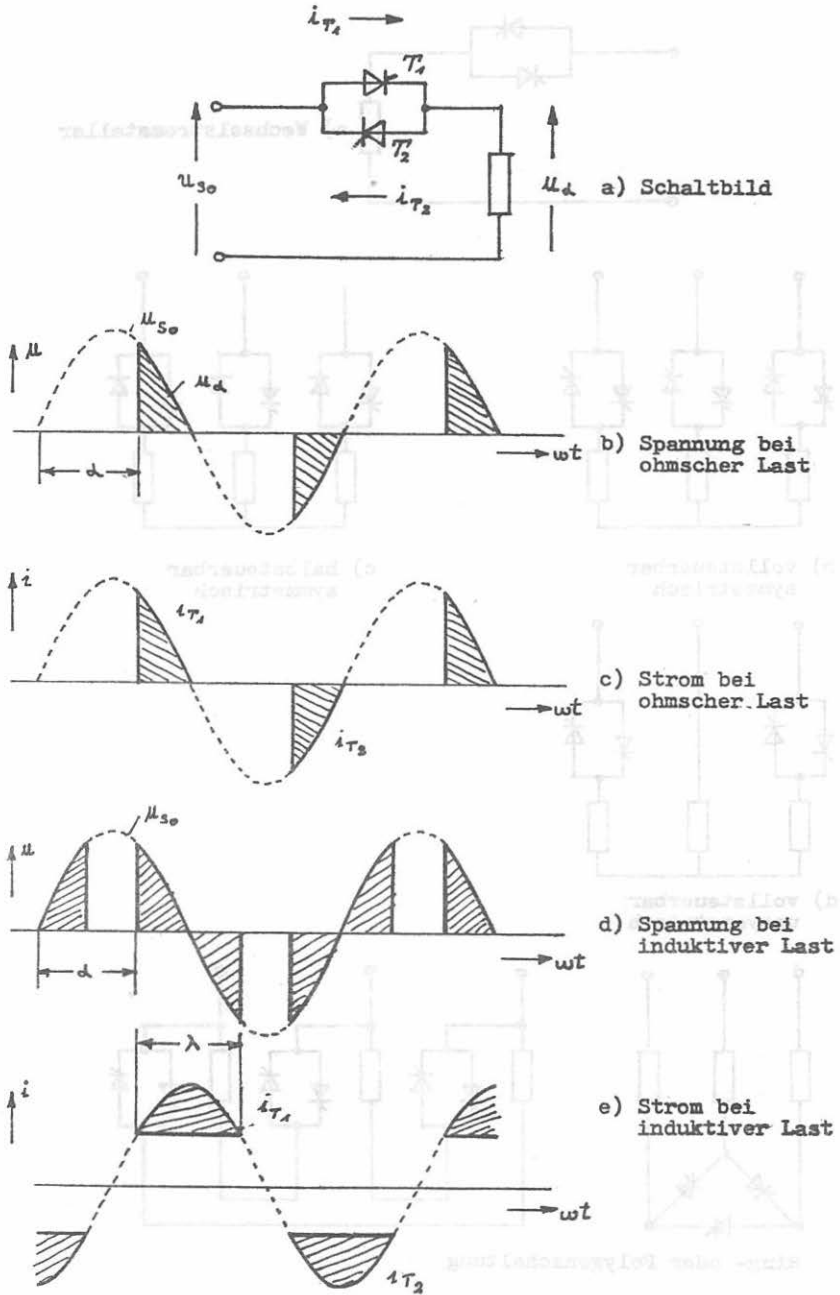
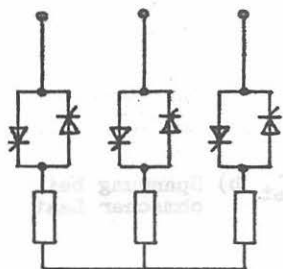
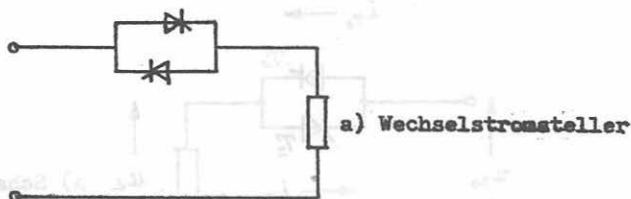
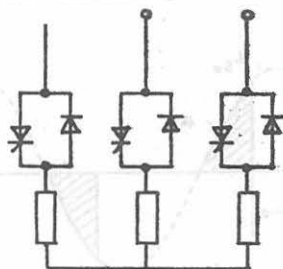
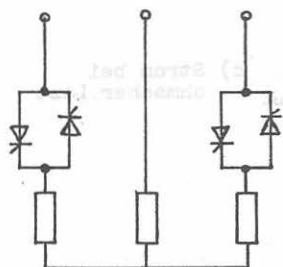
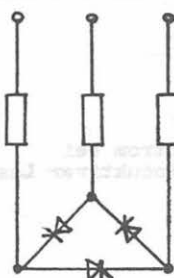


Bild 1 Einphasige Spannungsbildung bei Wechsel- oder Drehstromstellern

b) vollsteuerbar
symmetrischc) halbsteuerbar
symmetrischd) vollsteuerbar
unsymmetrisch

Ring- oder Polygonschaltung

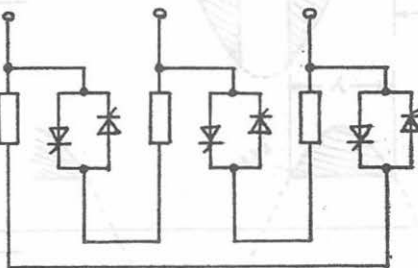


Bild 2 Wechsel- und Drehstromstellerschaltung

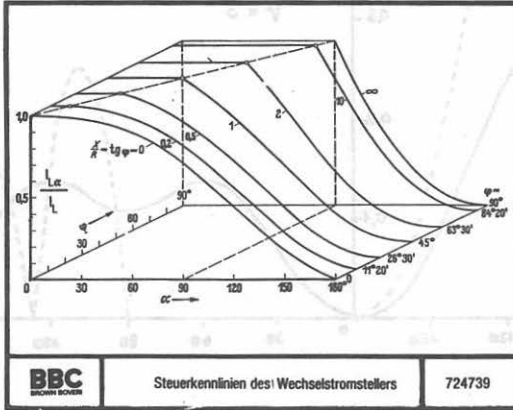


Bild 3

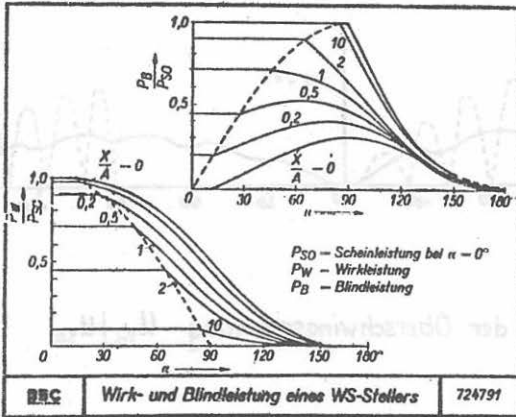
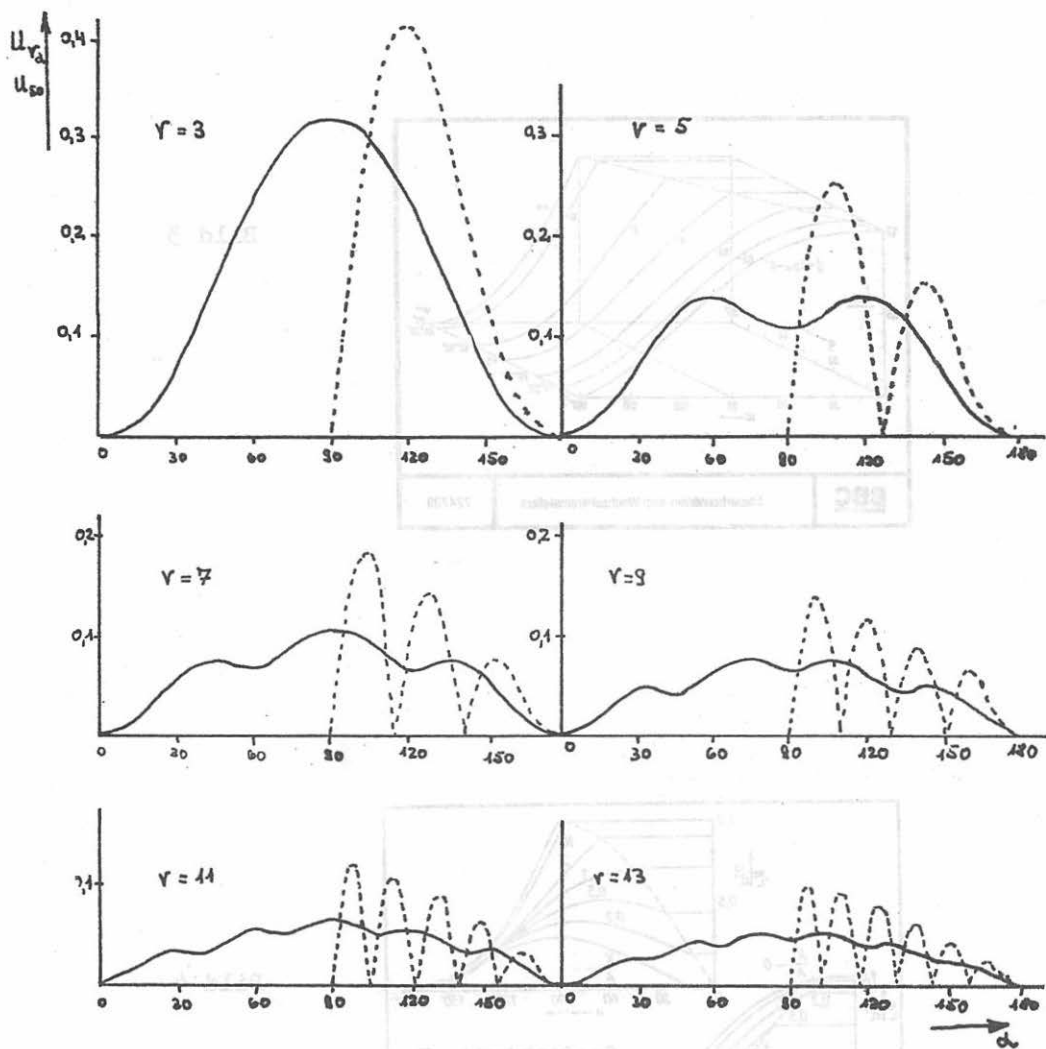


Bild 4



Effektivwert der Oberschwingspannung u_{Vd}/u_{so}

- ohmsche Last $\cos \varphi = 1$
 - - - induktive Last $\cos \varphi = 0$

Bild 5

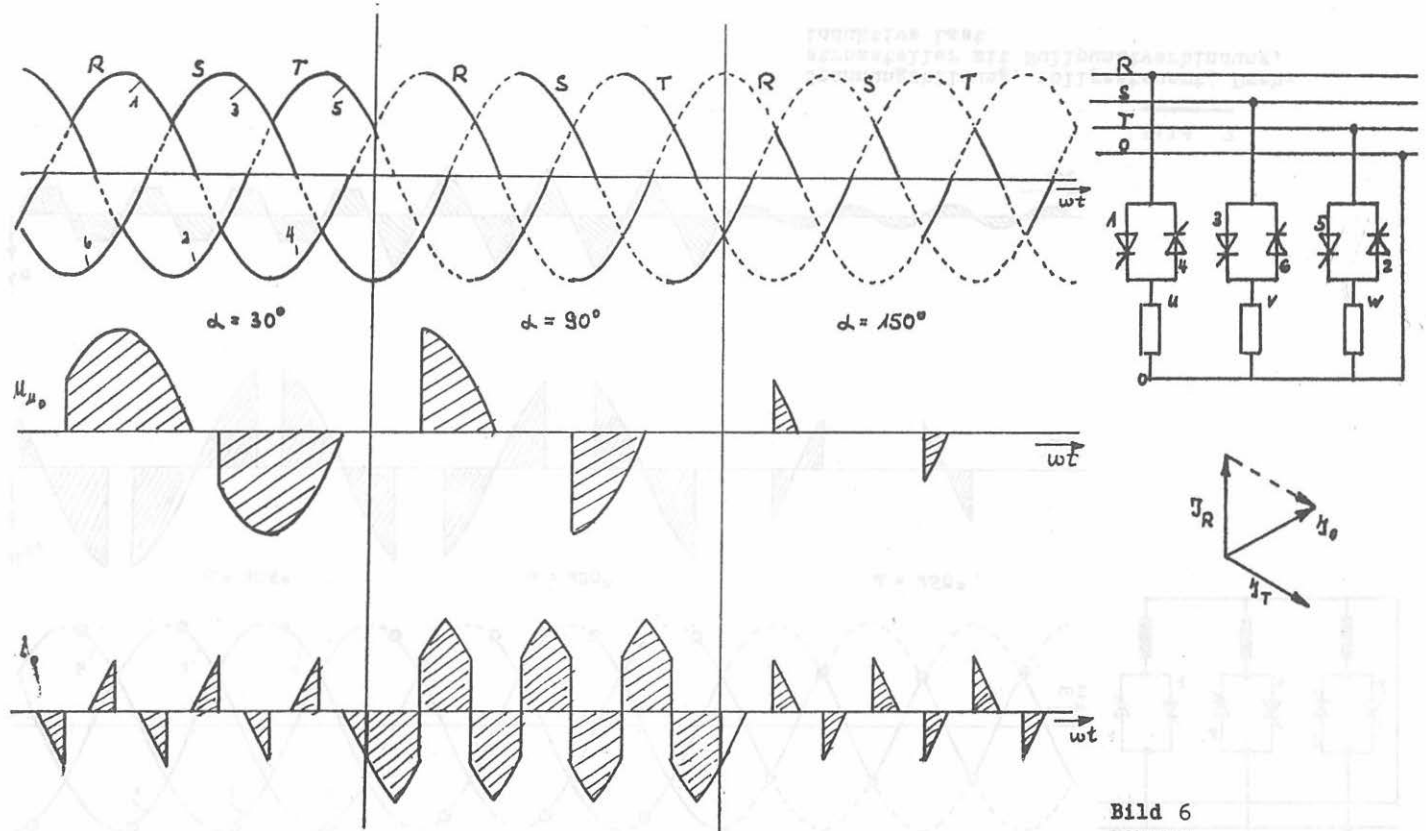


Bild 6

Spannungsbildung, vollgesteuert, Drehstromsteller mit Nullpunktverbindung, ohmsche Last.

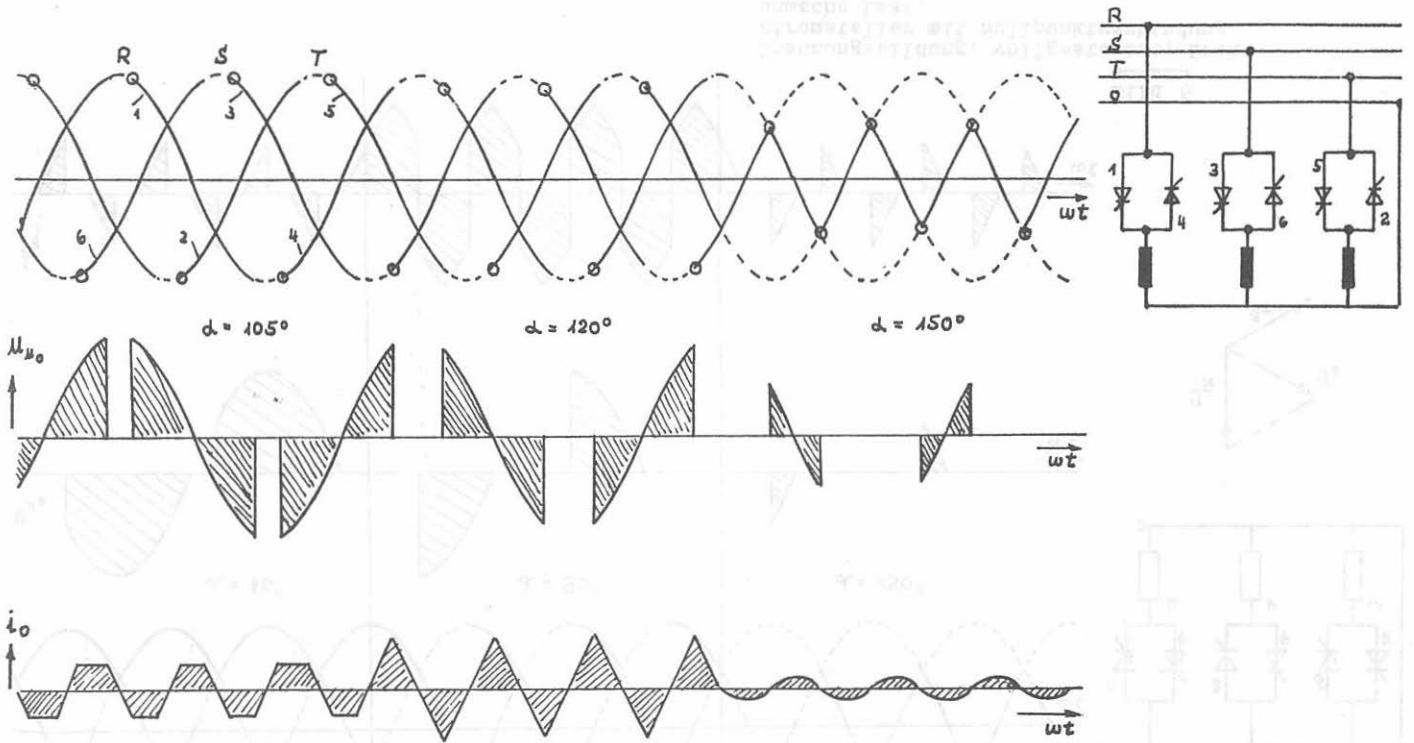


Bild 7

Spannungsbildung, vollgesteuert; Drehstromsteller mit Nullpunktverbindung, induktive Last.

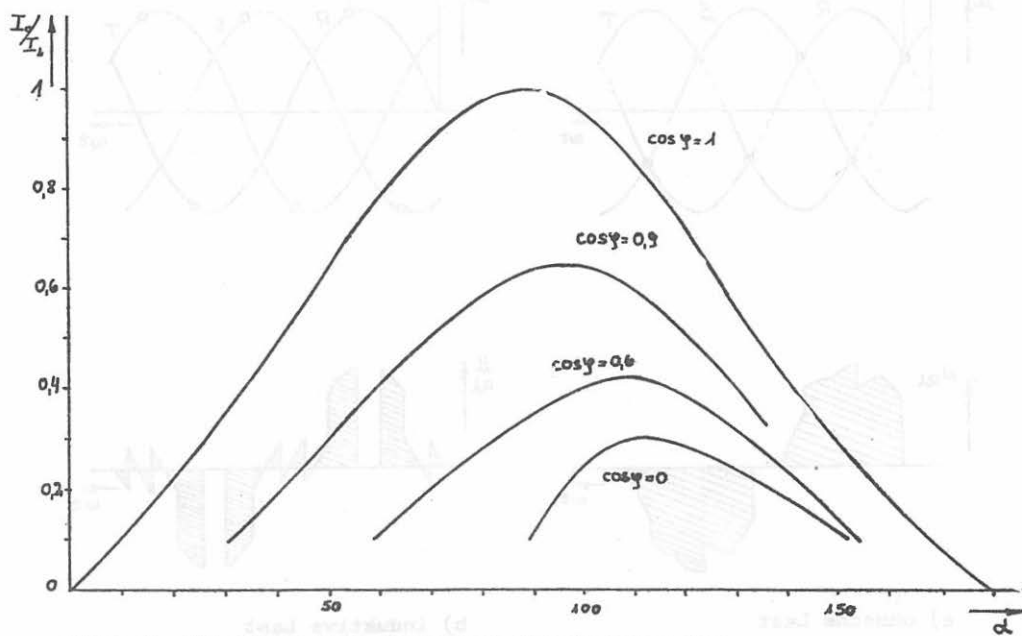


Bild 8 Relativer Nulleiterstrom als Funktion des Steuerwinkels bei verschiedenen $\cos \varphi$

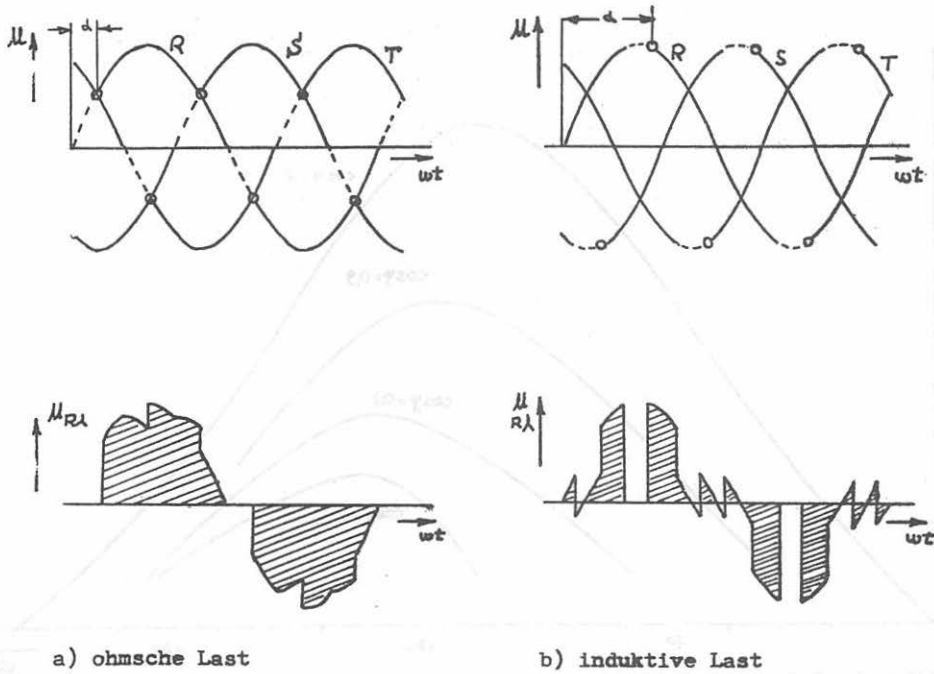


Bild 9 Dreiphasige Spannungsbildung bei vollgesteuerten Drehstromstellern

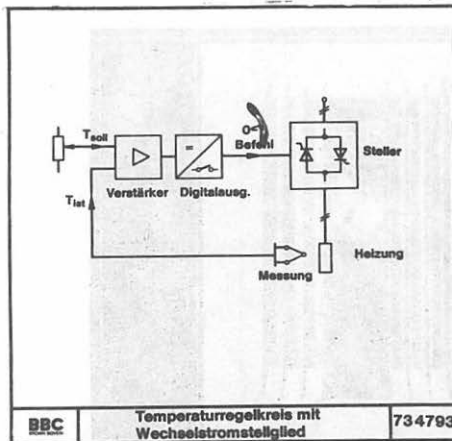


Bild 10

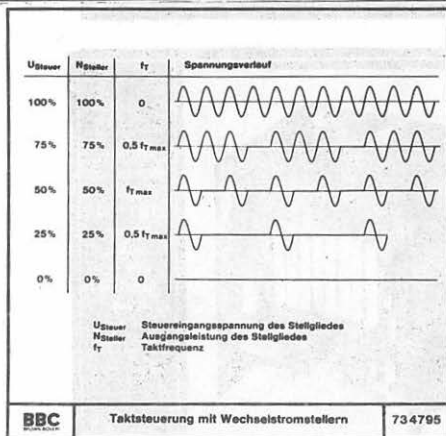


Bild 11

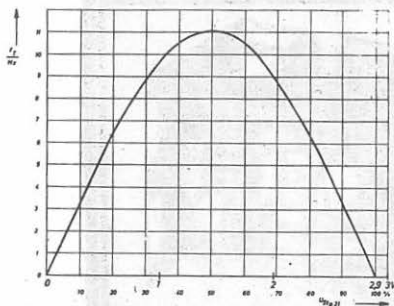
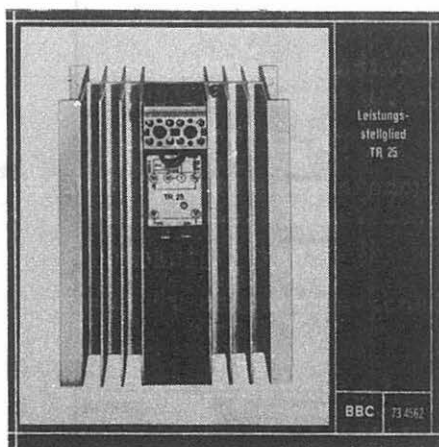


Bild 12

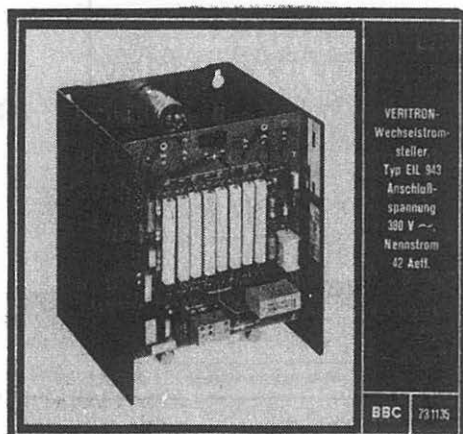
Abhängigkeit der Taktfrequenz f_T von der am Meßpunkt p21 gemessenen Steuerspannung.



Leistungs-
stellglied
TR 25

BBC 73 4562

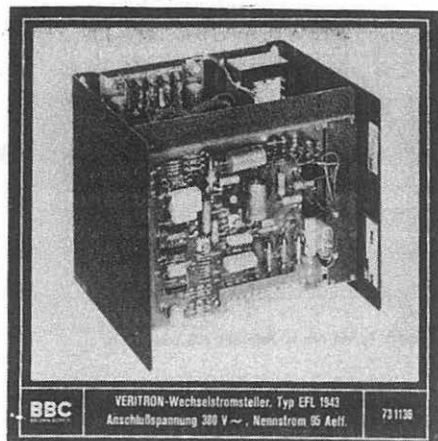
Bild 13



VERITRON-
Wechselstrom-
steller
Typ EIL 943
Anschluß-
spannung
300 V ~
Nennstrom
42 Aeff.

BBC 73 1135

Bild 14



BBC

VERITRON-Wechselstromsteller, Typ EFL 1343
Anschlußspannung 300 V ~, Nennstrom 95 Aeff.

73 1136

Bild 15

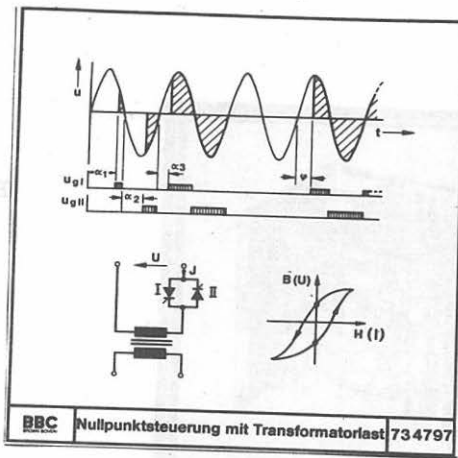


Bild 16

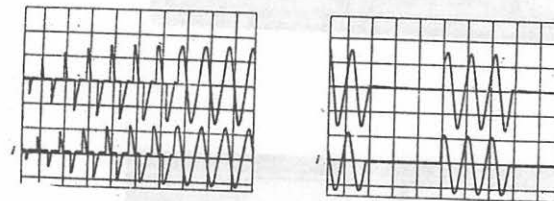


Bild 17

Spannungs- und Stromverlauf
während des Einschalttaktes

Spannungs- und Stromverlauf
während der Folgetakte

Last: Transformator mit ohmscher Belastung

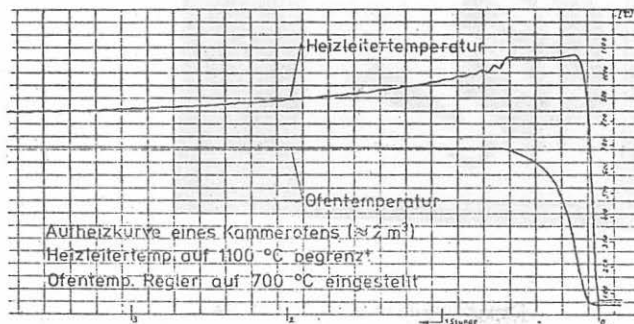


Bild 18

Regelung eines widerstandsbeheizten Ofens mit einer Flächenleistung von 120 kW/m^2 .
Ofentemperatur $700 \text{ }^\circ\text{C}$ Kaskadenregelung (Ofentemperaturregler gibt Sollwert für Heizleitertempera-
tur-Regler vor) mit Thyristorstellglied (Paketsteuerung)



Bild 19

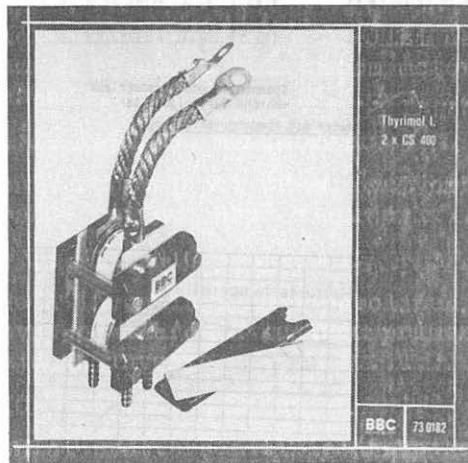


Bild 20

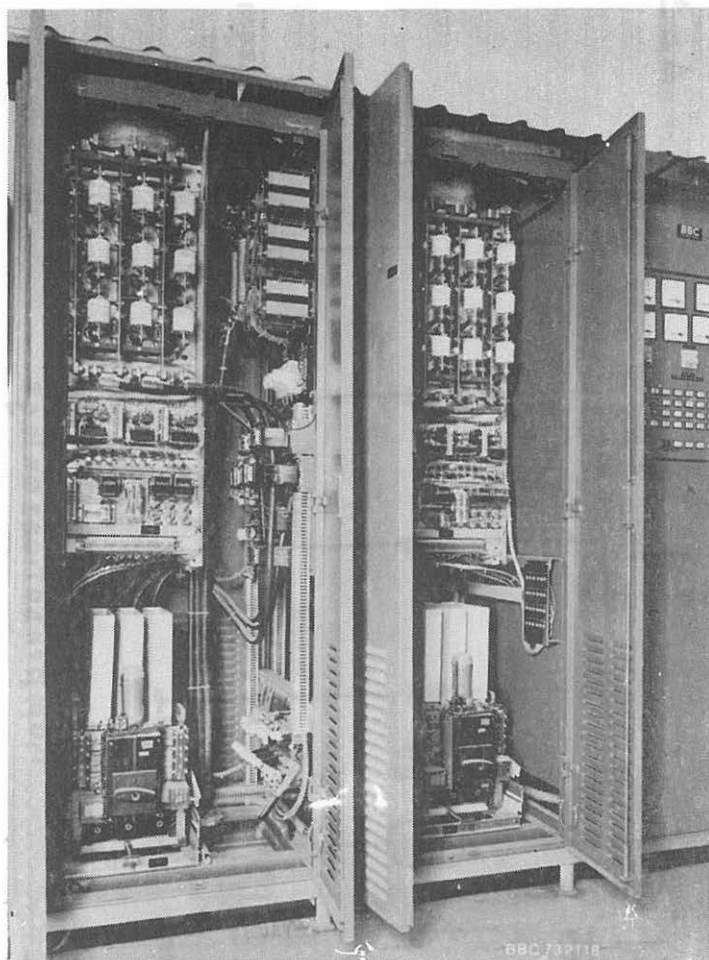


Bild 21

Drehstromsteller
für Klystronsender 70 kV, 17 A

$\Delta u \pm 0,15\%$

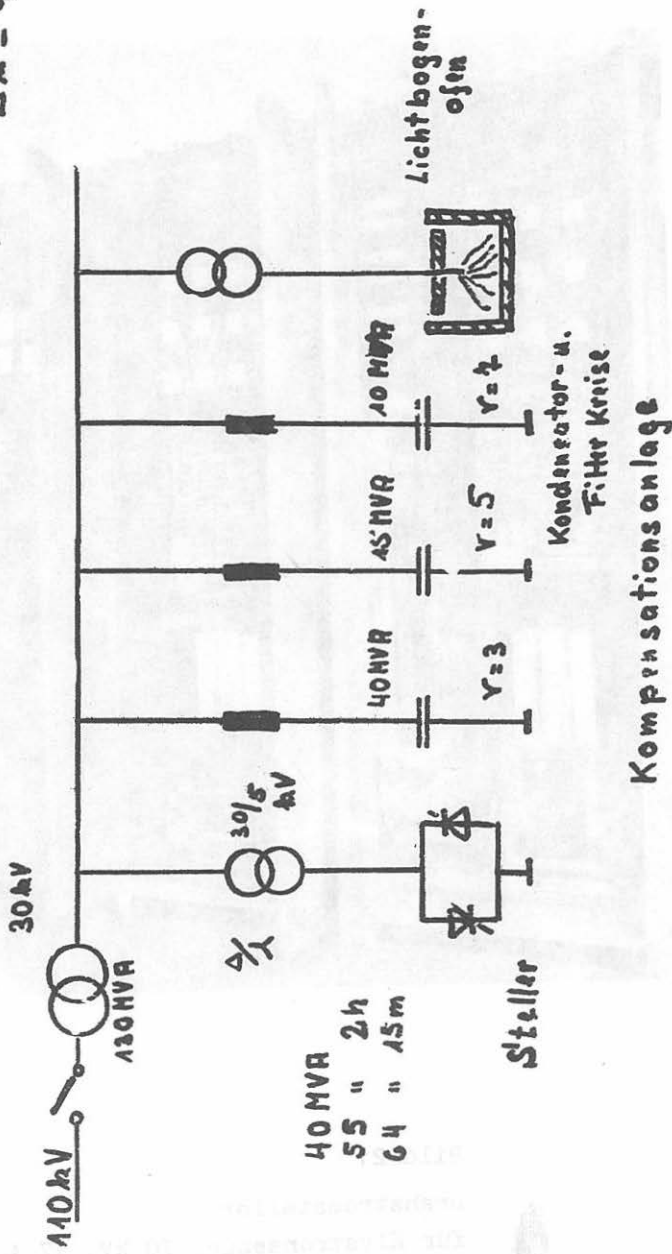


Bild 22

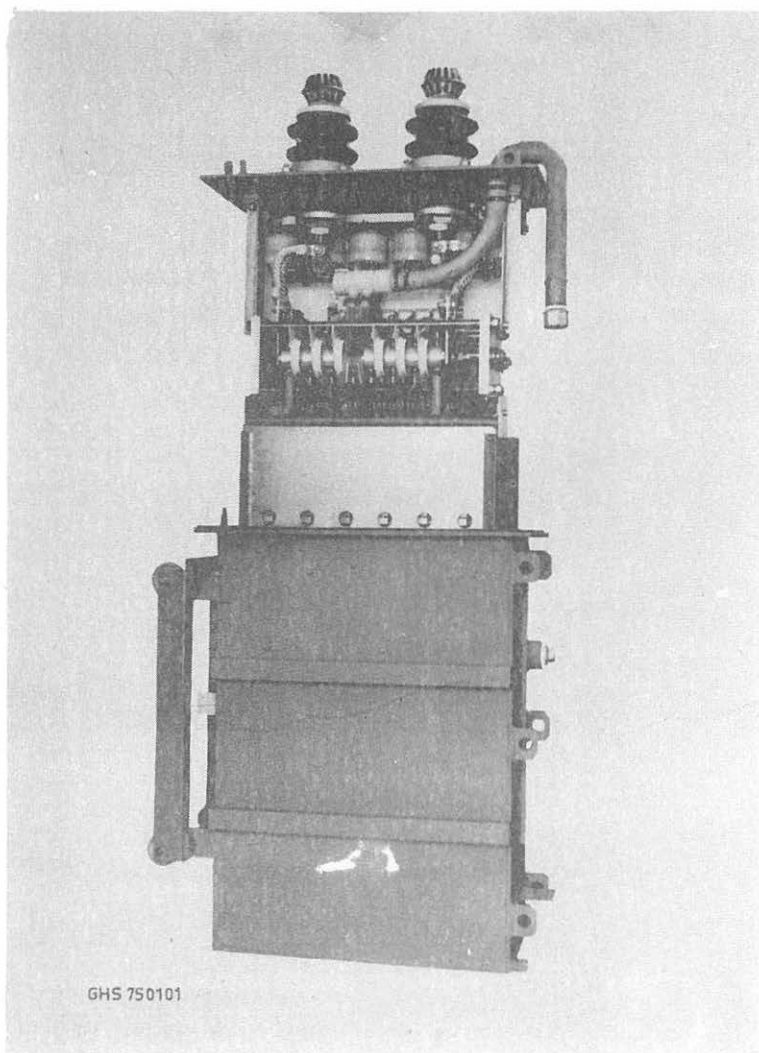


Bild 23

Stromrichtermodul



Figure 1

1918

Photograph