

FORM NO. 51-61
MAY 1949

CLASSIFICATION SECRET

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

INFORMATION REPORT

REPORT NO. [REDACTED]

CD NO. 25X1A

DATE DISTR. 30 August 1949

NO. OF PAGES

NO. OF ENCLS.
(LISTED BELOW)

SUPPLEMENT TO REPORT NO. 25X1X

COUNTRY Germany (Russian Zone)

SUBJECT Comparison of Various Regulating Methods for High-Voltage Transmission; Governing of Rectifiers

PLACE ACQUIRED [REDACTED] 25X1C

DATE OF INFO ACQUIRED



25X1A

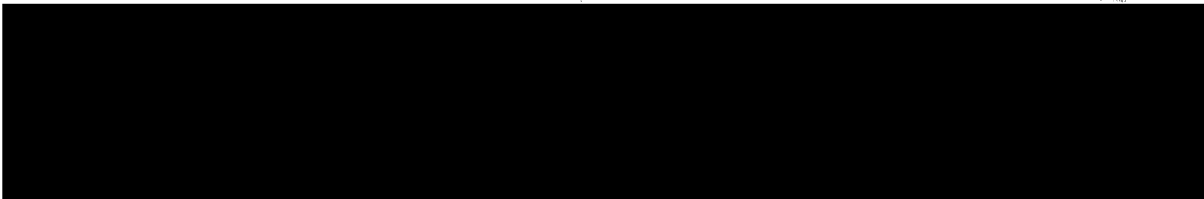
The attached Rectifier Bureau study on the comparison of various regulating methods for high-voltage transmission and the governing of rectifiers is sent to you for retention in the belief that it may be of interest to you.



25X1A

13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

25X1A



R

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ
Technischer Bericht

H- 143 a

Вопрос сильных токов

Тема: Сравнение различных методов регулирования
Тема: Gleichrichterregelung.

Число страниц текста:
Anzahl der Textblätter: 20

Автор:
Verfasser:

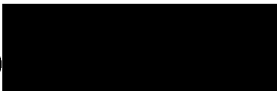
Число приложений:
Anzahl der Beilagen: 9

Число фото:
Anzahl der Fotos: 0

Дата:
Datum: 18. November 1946

Краткое содержание:
Kurze Inhaltsangabe:

Die verschiedenen Kenngrößen der Regelstrecke der HGU wie Stellgröße, Regelgröße, Regelaufgabe werden diskutiert und die drei möglichen Regelverfahren, Gleichrichterregelung, Wechselrichterregelung und Doppelregelung aufgezeigt. Für eine Übertragung mit je 6 % Spannungsabfall auf der Gleichrichterseite, dem Kabel und der Wechselrichterseite, werden für den Fall der Gleichrichterregelung die Leistungs- und Aussteuerungsverhältnisse auf der Gleichrichter- und Wechselrichterseite untersucht. Dabei wird die im Bericht H-155 beschriebene vektorielle Betrachtungsweise zu Grunde gelegt. Es werden nur die statischen Probleme erörtert. Die dynamischen Eigenschaften des Regelkreises bei plötzlichen Störungen sowie das Verhalten bei Wechselrichter- und Doppelregelung, seien Gegenstand weiterer Teilberichte.



II

.....
.....

1. Einleitung	S. 1
2. Aufgabenstellung und Aufbau	S. 2
3. Wirkprinzipien und Regelverhältnisse	S. 4
4. Technische Grundlagen der Übertragung	S. 5
5. Leistungs- und Aussteuerungsverhältnisse	
bei Gleichrichterregelung	S. 6
51. Gleichrichterstation	S. 6
52. Gleichrichterstation	S. 10
521. Gleichrichterregelung mit	
Mittersteuerung	S. 11
522. Gleichrichterregelung mit	
Lastschalter	S. 11
523. Gleichrichterregelung mit	
Halbwegsteuerung	S. 12
524. Gleichrichterregelung mit	
Luststromrichter	S. 14
525. Serienschaltung von Teilstromrichtern	S. 15
6. Zusammenfassung	S. 15

Abbildungungsverzeichnis.

- Fig. 1: Sollwert-Kennlinie der Übertragungsleistung
- Fig. 2: Graphische Darstellung der Übertragungsverhältnisse
- Fig. 3: Gleichrichterregelung mit Gittersteuerung
- Fig. 4: DÜschwinkel der Wechselrichterstation
- Fig. 5: Gleichrichterregelung mit Lastschalter
- Fig. 6: Gleichrichterregelung mit Halbwegsteuerung
- Fig. 7: Gleichrichterregelung mit Zusatzstromrichter
- Fig. 8: Schaltung mit Zusatzstromrichter
- Fig. 9: Serienschaltung von Teilstromrichtern
- Fig. 10: Verlauf der Blindleistungen bei den verschiedenen Regelverfahren der Gleichrichterregelung



Legende zu Fig. 1.1.1
.....

- E_{CO} Leerlauf-Übertragung bei voller Öffnung
- E_{CO}
 E_{CO}
 E_{CO} Leerlaufgleichspannung der beiden Händlern-
Wellen bei voller Öffnung
- E_{gl} Lösswinkelgleichspannung: $E_{gl} = E_{CO} \cdot \cos \alpha_1$
- E_c Leerlaufgleichspannung bei Aussteuerung
- E_{gl} Leerlaufgleichspannung der Übertragung
- U_{CO} Gleichspannung bei Belastung und voller Öffnung
- U_c Gleichspannung bei Belastung und Aussteuerung
- α_c Bündelwinkel
- α_1 Lösswinkel
- γ Grundwellenverschiebungsfaktor
- $\Delta\varphi$ Änderungen der Winkel von Leerlauf
- $\Delta\alpha_1$ bis auf Vollast
- G_x Induktiver Gleichspannungsabfall
- G_x Ohmscher Abfall im Kabel und in den Stationen
- N_v Wirkleistung
- N_{B1} Grundwellenblindleistung
- N_{B1} Grundwellenscheinleistung

- Index I: Gleichrichter
- Index II: Wechselrichter
- Index N: Nennleistung
- Index L: Leerlauf

- 1 -

1. Einleitung

Die selbsttätige Regelung der Überholleistung der Hochstromhochspannungsübertragung kann auf mehreren voneinander abweichenden Prinzipien durchgeführt werden. Eine systematische Untersuchung der verschiedenen Möglichkeiten ist daher erforderlich, um die Bedingungen für den Regler (Regelgröße, Stellgröße, Regelgeschwindigkeit usw.) festzulegen.

Der in sich geschlossene Regelkreis einer selbsttätigen Regelung besteht ganz allgemein aus Regelstrecke und Regler. Der Regler hat die Aufgabe, eine vorgeschriebene Beziehung mehrerer Grössen der Regelstrecke unabhängig von irgendwelchen Störgrössen aufrecht zu erhalten. Bevor daher über die Ausführung des Reglers irgendwelche Angaben gemacht werden können, muss auf die eigentliche Regelstrecke näher eingegangen und deren statisches und dynamisches Betriebsverhalten betrachtet werden. Die mehr statischen Probleme beziehen sich auf folgende Punkte:

- a) Welche Grösse (Regelgröße) soll geregelt werden?
- b) Welche Bedingung (Regelaufgabe) soll die Regelgröße erfüllen?
- c) Auf welche Grösse (Stellgröße) soll der Regler einwirken?
- d) Beziehung zwischen Regelgröße und Stellgröße
- e) Einfluss von langsamen Störungen (Störgrössen) auf die Regelstrecke.

Für das dynamische Verhalten der Regelstrecke sind wesentlich:

- f) Trägheiten der Regelstrecke (Übergangsfunktion vom Stellglied bis zum Messglied)
- g) Einfluss von schnellen Störungen auf die Regelstrecke.

In dem vorliegenden Teilbericht sollen zunächst im wesentlichen die Fragen a., b., c., die sich mit dem statischen Verhalten der

- 2 -

Regelstrecke b fassen, behandelt werden. Die Regelstrecke umschliesst dabei die Gleichrichterstation, die Hochstromübertragung, Leitung und die Wechselrichterstation.

..... Regelgrösse und Regelaufgaben.

Die Gleichstromhochspannungsübertragung ist ihrem Wesen nach nur in der Lage, Wirkleistung zu liefern. Wie bereits in dem Bericht R-10 ausgeführt, wird man aus Gründen der Wirtschaftlichkeit die Übertragung mit konstanter Grundlast fahren. Die Wirkleistung an der Übergabestelle stellt demnach zueckmässigerweise die Regelgrösse dar und die Regelaufgabe besteht darin, den vorgeschriebenen Sollwert der Übergabeleistung einzuhalten. Dieser Sollwert kann konstant sein (Festwertregelung) oder, falls die Wirkleistung der Gleichstromübertragung gegenüber der Netzleistung bereits ins Gewicht fällt, den Belastungsverhältnissen des Netzes angepasst werden. Hierfür bestehen zwei Möglichkeiten:

- a) Der Sollwert der Übergabeleistung wird mit Hilfe eines Fahrplanes auf die gewünschten Werte eingestellt (Fahrplanregelung)
- b) Der Sollwert der Übergabeleistung wird von der Netzfrequenz abhängig gemacht, derart, dass bei absinkender Frequenz der Sollwert bis zu einem oberen Grenzwert ansteigt und bei zunehmender Frequenz bis auf einen unteren Grenzwert absinkt (Kennlinienregelung, s. Fig. 1). Bei Verringerung der Neigung des frequenzabhängigen Teiles geht die Kennlinienregelung in die Festwertregelung über.

Ausser den Wirkleistungsverhältnissen müssen auch die Blindleistungen mit in Betracht gezogen werden. Jede Gitterregelung bedingt bekanntlich einen Blindleistungsbezug aus dem Drehstromnetz. Dies verschlechtert die Spannungshaltung und Stabilität des Netzes und beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Übertragung. Man wird also bestrebt sein, die Aussteuerung

- 3 -

möglichst klein zu halten. Beim Wechselrichter kommt hinzu, dass dort zur Erzielung betriebs sicherer Kommutierungsverhältnisse von der Gefährseite bereits bestimmte Mindestforderungen an die Größe der Aussteuerung gestellt worden. Diese, mit einem Minimum an Blindleistung zu erfüllen, ist eine weitere wesentliche Aufgabe der selbsttätigen Regelung.

Die bisherigen Regelaufgaben haben sich mehr auf den normalen Betrieb der Anlage beschränkt. Darüber hinaus kann der Regler noch eine weitere Funktion übernehmen, die in einem Schutz der Übertragungsanlage bei Betriebsstörungen besteht. Das Eingreifen der Regelung im Katastrophenfall ist beispielsweise erforderlich bei Kurzschlüssen im Sekundärnetz und hierdurch bedingten Spannungszusammenbrüchen, um weitestmöglich den Betrieb des Wechselrichters aufrecht zu erhalten und somit gleichstromseitige Kurzschlüsse zu vermeiden.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Aufgaben der selbsttätigen Regelung herausstellen:

- a) Regelung der Wirkleistung der Übergabestelle, unabhängig von inneren Störungen der Regelstrecke (z.B. Spannungsschwankungen des Primär- und Sekundärnetzes), auf den vorgegebenen Sollwert.
- b) Regelung der Wirkleistung der Übergabestelle entsprechend den Änderungen des Leistungssollwertes (äußere Störung), so dass Istwert und Sollwert der Übergabestelle übereinstimmen.
- c) Regelung der Wirkleistung entsprechend a) und b), so dass einerseits der Blindleistungsbedarf ein Minimum wird und andererseits eine ausreichende Betriebsicherheit des Wechselrichters gewährleistet ist.
- d) Eingreifen des Reglers im Katastrophenfall zum Schutz der Übertragungsanlage.

Von obigen 4 Punkten werden in diesem Bericht nur Punkt b) und c) behandelt. Der Einfluss von Spannungsschwankungen und das Verhalten des Reglers im Störfall seien Gegenstand eines weiteren Berichtes.

5. Stellröhren und Relativverfahren. ~~~~~

Die Übertragungsleistung ist bei Betrieb mit Netzspannung dem Gleichstrom proportional, dessen Größe durch die Spannungsdifferenz $U_1 - U_2$ der Gleichrichter- und der Wechselrichterstation dividiert durch den Gesamtwiderstand, gegeben ist. Eine Wirkleistungsregelung ist daher gleichbedeutend mit einer Spannungsregelung. Die Spannungsregelung kann erfolgen:

- a) mit Lastschalter am Haupttr. fo
- b) mittels Gittersteuerung der Hauptgefäße
- c) mittels Laststromrichter durch Lastschalter oder Gittersteuerung.

Lastschalter und Gittersteuerung stellen somit die Stellglieder der Regelstrecke dar. Für den Eingriff des Reglers bestehen drei grundsätzliche Möglichkeiten:

- a) Gleichrichterregelung. Die Wirkleistungsregelung erfolgt nur auf der Gleichrichterseite, der Wechselrichter bleibt unregelt.
- b) Wechselrichterregelung. Die Wirkleistungsregelung erfolgt nur auf der Wechselrichterseite, der Gleichrichter bleibt unregelt.
- c) Doppelregelung. Beide Stationen werden gleichzeitig geregelt. Eine Station wird durch den Wirkleistungsregler beeinflusst, die zweite Station wird durch einen weiteren Regler erfasst, der die günstigsten Bedingungen hinsichtlich Blindleistung und Betriebssicherheit des Wechselrichters schafft.

Die Vor- und Nachteile dieser drei Regelverfahren sollen in dem Bericht E-143 geklärt werden, wobei der vorliegende Teil E-143a sich mit der Methode der Gleichrichterregelung befasst. Bei diesen zunächst mehr grundsätzlichen Überlegungen seien der Einfachheit halber, wie bereits im Abschnitt 2 erwähnt, die Netzspannungen als konstant vorausgesetzt.

Die Spannungsabfälle seien auf die Wechselrichterlaufspannung bei voller Aussteuerung $U_{GOII} = 100\%$ bezogen. Der Gesamtspannungsabfall der Übertragung beträgt dann:

$$\underline{u = u_{GI} + u_{XII} + u_K = 14\%}$$

Die Spannungs-, Leistungs- und Aussteuerungsverhältnisse werden, wie in Bericht N-155 beschrieben, in einem Vektordiagramm dargestellt, wie dies aus Fig. 2 ersichtlich ist.

5. Leistungs- und Aussteuerungsverhältnisse bei Gleichrichterregelung.

51. Wechselrichterstation.

Da nur auf der Gleichrichterseite geregelt werden soll, bleibt der Steuerwinkel des Wechselrichters konstant. Mit zunehmender Last steigt die Überlappungsdauer und der Löschwinkel nimmt infolgedessen ab. Bei Übertragungleistung Null ist der Ländwinkel gleich dem Löschwinkel

$$\alpha_{zII} = \alpha_{II} = \alpha_{II_L}$$

und die Leerlaufspannung der Übertragung

$$U_{GL} = U_{GOII} \cdot \cos \alpha_{zII} = U_{GOI} \cdot \cos \alpha_{zIL}$$

In Fig. 2, in dem vorerst nur der Wechselrichterteil betrachtet werden soll, wurde von einem Löschwinkel $\alpha_{II_N} = 20^\circ$ bei Nennlast ausgegangen. Bei einem induktiven Gleichspannungsabfall von $u_{XII} = 8\%$ ergibt sich der zugehörige Ländwinkel zu etwa $\alpha_{zII} = 39^\circ$. Der Löschwinkel nimmt also von 39° bis 20°

b) von der Leerlaufleistung bis auf Vollast ge-
hend. Die Kurve α_{1II} entspricht dem in Fig. 2 stark
vergrößerter Kreisbogen α_{1II} .

Als eine protochnisch bedingte Tatsache zeigen mit zunehmendem
Strom abnehmenden Löschwinkels widerspricht den physikalischen
Gegebenheiten der Entladungsoffense. Die mit steigendem Strom
sowohl ansteigende Entionisierungszeit verlangt eine
Vergrößerung des Löschwinkels innerhalb gewisser Grenzen
oder über die Einhaltung eines konstanten unteren Grenzwertes,
in dem der Löschwinkel sich nach den Verhältnissen bei Vollast richtet.

Bei konstanter Aussteuerung des Wechselrichters muss daher
der Zündwinkel so gewählt werden, dass bei der höchsten vor-
kommenden Last dieser zulässige Wert nicht unterschritten
wird und somit eine genügende Betriebssicherheit gewährlei-
stet ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass noch eine ge-
wisse Reserve für kurzzeitige Überlastungen verbleiben muss.
Diese Vergrößerung des Zündwinkels ergibt zwangsläufig bei
Teillasten einen wesentlich größeren Löschwinkel als mit
Rücksicht auf die Betriebssicherheit erforderlich wäre. Dies
zeigt auch Fig. 4. Hier ist der Verlauf des Löschwinkels in
Abhängigkeit von der prozentualen Gleichstrombelastung, die
bei konstanter Netzspannung praktisch mit der Übergabeleistung
übereinstimmt, dargestellt. Dabei sind Löschwinkel von
 $\alpha_{1III} = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ bei Nennlast zugrunde gelegt. Ausser-
dem ist neben dem Gleichspannungsabfall von $\epsilon_{xII} = 8\%$
noch ein extrem niedriger Wert von $\epsilon_{xII} = 3\%$ angenommen
worden, um den Einfluss der Kurzschlussspannung zu zeigen.
Letzterer Wert kann nur durch eine besondere Wicklungsan-
ordnung der Hauptspanner (z.B. doppelkonzentrische Wicklung)
erreicht werden.

Die Schnittpunkte der Löschwinkelkurven mit der Ordinaten-
achse ($N_{wII} / N_{wII} = 0$) ergeben den Zündwinkel α_{zII} und
mit der Abszissenachse ($\alpha_{1II} = 0$) die Kippgrenze. In Fig. 4
sind die durch das Gefäss vorgeschriebenen unteren Grenz-

- 9 -

weite des Löschwinkels ebenfalls eingetragene. Von 0 % bis 150 A Leistung soll der Löschwinkel von 5° bis auf 10° ansteigen. Eine Vergrößerung des Löschwinkels über 20° hinaus bringt keine wertvolle Verbesserung der Betriebswirtschaft, da die Entionisierungswahlkonstante nur 2° beträgt und der Löschwinkel demnach bereits der zehnfachen Entionisierungswahlkonstanten entspricht. Der Löschwinkel sei daher von 150 % der Leistung an mit 10° als konstant angenommen. Die den einzelnen Leistungen (bzw. Strömen) zugeordneten Löschwinkelgrenzwerte dürfen nicht unterschritten werden, auch nicht kurzzeitig, da sich die Entionisierungsverhältnisse im Anodenraum momentan den Strömen entsprechend ergeben. Der Stromrichter ist im Wechselrichterbetrieb bei konstanter Aussteuerung also nicht überlastungsfähig, wie beispielsweise eine Maschine, da nicht die Wärmekapazitäten eine Rolle spielen, sondern die physikalischen Größen der Gasentladung, die sich praktisch trägheitslos aus dem jeweiligen Strom herleiten, es sei denn, dass der Wechselrichter im Nennbetrieb nicht voll ausgenutzt wird und eine gewisse Löschwinkelreserve vorgesehen ist.

Wie aus Fig. 4 zu ersehen ist, liegen bei Teillast die Löschwinkel, wie bereits erwähnt, zum Teil erheblich über den erforderlichen Werten. Je größer σ_x , umso größer sind die Abweichungen des Löschwinkels mit der Belastung. Für einen Löschwinkel von 10° bei Nennstrom wird die Nennleistung nicht mehr erreicht. Bei 30° im Nennbetrieb sind zwar erhebliche Überlastungen möglich, jedoch sind diese auf Kosten höherer Blindleistung erkauft. Die Werte für einen Löschwinkel von 20° bei Nennstrom dürften den praktischen Verhältnissen am nächsten kommen. Sie enthalten eine Überlastungsreserve von:

$$\begin{array}{ll} 15 \% & \text{bei } \sigma_x = 8 \% \\ 25 \% & \text{bei } \sigma_x = 3 \% \end{array}$$

Der Blindleistungsverlauf in Abhängigkeit von der Wirkleistungsabgabe ist ebenfalls aus Fig. 3 ersichtlich. Zu den auf

- 9 -

- 2 -

Der Blindleistungswinkel α_{II} sind
 die zugehörigen Grundwellenblindleistungen
 N_{BII} aufgetragen, wie dies grundsätzlich im Bericht H-155
 Abschnitt 3 beschrieben ist.

Die gesamte Blindleistungswinkel ist in Fig. 4 eingezeichnet.
 Es ist ersichtlich, dass die Grundwellenblindleistung mit
 der Wirkleistung weniger als proportional zunimmt (konvexe
 Krümmung der Blindleistungskurve). Dies ist dadurch bedingt,
 dass mit zunehmendem Strom die Überlappung ebenfalls zu-
 nimmt und somit auch der Grundwellenleistungsfaktor ansteigt.
 Die sich von Leerlauf bis Vollast ergebenden Änderungen des
 Verschiebungswinkels, sind in Fig. 3 durch den stark ausge-
 zogenen Kreisbogen $\Delta \varphi_{II}$ gekennzeichnet. Neben dem erge-
 genommenen Wert von $\alpha_{II} = 8^\circ$ ist in Fig. 3 noch der Blind-
 leistungsverlauf für $\alpha_{II} = 3^\circ$ eingetragen. Der Blindlei-
 stungsbedarf sinkt dadurch um etwa 20 % bei gleicher Wirk-
 leistung. Bei Nennlast betragen die Blindleistungen:

$$\begin{array}{lll} \alpha_{II} = 8^\circ & \alpha_{IIN} = 20^\circ & N_{BII} = 60 \% \cdot N_{NII} \\ \alpha_{II} = 3^\circ & \alpha_{IIN} = 20^\circ & N_{BII} = 45 \% \cdot N_{NII} \end{array}$$

Um zu zeigen, wie stark sich die bei Teillasten vorhandenen
 Löschwinkelreserven auf die Blindleistungsanforderung aus-
 wirken, ist in Fig. 5 für sonst gleiche Verhältnisse auf der
 Wechselrichterseite einmal angenommen worden, dass durch ent-
 sprechende Massnahmen auf der Gleichrichterseite

- a) der Löschwinkel auf den konstanten Wert von 20°
 gehalten wird
- b) der Löschwinkel proportional der Übergabeleistung
 von 10° im Leerlauf auf 20° bei Volllast vergrössert
 wird.

Dieses Regelverfahren soll in einem weiteren Bericht noch
 eingehend behandelt werden. Es stellt bezüglich der Blind-



Leistungsforderung, der des Gleichrichters ...
 netz die optimale Leistung ...
 die Blindleistungen ...
 um folgende Prozentanteile ...
 bezogen höher 1 im optischen ...

Wirkleistung, abgabe	Blindleistungsdifferenz
75 %	14 .. 18 %
50 %	18 .. 27 %
25 %	18 .. 16 %

52. Gleichrichterstation.

Bei konstanter Laststeuerung des Wechselrichters ... bei einer Regelung der Wirkleistung der gesamte Spannungsabfall des Gleichrichters, des Kabels und des Wechselrichters von der Gleichrichterstation aus geregelt werden. Dies bedingt im vorliegenden Fall eine Änderung der Leerlaufgleichspannung um $\Delta U = 24\%$ falls die Überbelastung zwischen 0 und 100% geregelt werden soll. In Anlehnung an Fig. 3 ergibt sich daher von der Leerlaufspannung:

$$E_{SII} = E_{ZI} = E_{ZL}$$

der Übertragung ausgehend für die Leerlaufspannung des Gleichrichters:

$$E_{EOI} = E_{SII} + G_{XII} + C_K + G_{XI}$$

$$E_{EOI} = 1,24 \cdot E_{SII}$$

Die Gleichspannung E_{EOI} wird damit bedingt durch den Spannungsabfall und die Forderung eines bestimmten Mindestwertes für den Überschneidungswinkel etwas grösser als E_{EOII} .

- 11 -

Bei Nennlast ist die Blindleistung, da zunächst keine Spannungsreserve vorhanden ist, voll abgefordert. Die Blindleistung ist im folgenden Fall, die vom Netz angeforderte Blindleistung, ist gleich der Kommutierungsblindleistung.

$$N_{Bl} = P_{Bl} = 41,2 \cdot N_{WI}$$

Unter dieser Bedingung die Blindleistung bei Teillast hängt davon ab, nach welchem Verfahren die Spannungsregulierung vorge-nommen wird.

Die verschiedenen Möglichkeiten der Spannungsregulierung der Gleichrichterstation und die entsprechenden Blindleistungsanforderungen sind in den Diagrammen 3, 5, 6, 7 dargestellt.

521. Gleichrichterregelung mit Gittersteuerung.

Den Blindleistungsbedarf und die Aussteuerungsverhältnisse bei Gitterregelung der Gleichrichterstation, zeigt Fig. 3. Die Ausregelung der gesamten Spannungseffekte bedingt einen Aussteuerbereich von $\alpha_{zIL} = 39^\circ$ im Leerlauf bis auf $\alpha_{zIH} = 0^\circ$ bei Nennlast. Dies bringt auch auf der Gleichrichterseite bei Teillasten verhältnismäßig hohe Blindleistungen mit sich. Der Grundwellenleistungsfaktor ändert sich dabei von $\cos \varphi_I = 0,77$ im Leerlauf bis auf $\cos \varphi_I = 0,92$ bei Vollast. Die Änderungen des Zündwinkels ($\Delta \alpha_{zI}$) und des Verschiebungsfaktors ($\Delta \varphi_I$) beim Überstreichen des gesamten Lastbereiches, sind in Fig. 3 wieder stark ausgezogen.

Auf der Gleichrichterseite ist, ebenso wie auf der Wechselrichterseite, die Blindleistungskurve konvex gekrümmt, bedingt durch die Zunahme des $\cos \varphi_I$ mit steigender Last.

522. Gleichrichterregelung mit Lastschalter.

Erfolgt die Spannungsänderung auf der Gleichrichterseite

nicht erfüllt. Der Blindleistungsbedarf, wenn der Lastschalter der Leitung nicht, so können die Blindleistungsbedarfe auch bei teillastender oder voll öffnender Leitung Blindleistungsbedarf ist. Auch bei teillastender Leitung die Kommutierung blindleistung beschränkt.

In Fig. 5 ist die Blindleistung P_{BI} und die Ortskurve der φ_I -Pfeile bei verschiedenen Transformatorverhältnissen, d.h. verschiedenen Gleichspannungen U_{GDI} und Blindleistung P_{BI} eingetragen unter der Annahme unendlich großer Induktivität des Lastschalters. Infolge zunehmender Übertragungslänge der $\cos \varphi_I$ mit steigender Last ab. Die Blindleistungskurve ist daher konkav. Die Blindleistungsreste sind geringfügig bei ausschließlicher Gitterregelung. Diese sind in Fig. 5 hervor, wo der Blindleistungsbedarf bei Last abnahme noch gestrichelt eingetragen ist. Es ergeben sich Einsparungen bis zu 50 %.

Eine weitere Vergleichsmöglichkeit bezüglich Blindleistungsbedarf ist durch die Ortskurven der φ_I -Pfeile gegeben. Bei ausschließlicher Gitterregelung verlaufen diese auf einem Kreisbogen (s. Fig. 5). Parallele Geraden zur Basislinie ergeben mit den φ_I -Ortskurven Schnittpunkte für die prozentuale Wirkleistung. Der horizontale Abstand x_1, x_2 dieser Punkte ist somit ein prozentuales Maß für die erzielte Blindleistungseinsparung. Die Winkeldifferenz $\Delta \varphi_I$ der beiden Pfeile ergibt die Änderung des Verschiebungsfaktors.

523. Gleichrichterregelung mit Halbbrückensteuerung.

Bei der Brückenschaltung besteht die Möglichkeit, beide Brückenhälften unabhängig voneinander zu regeln, insbesondere eine Brückenhälfte voll zu öffnen und die Spannungsregelung mit der anderen Brückenhälfte vorzunehmen. Es tritt da nur die Steuerblindleistung einer Brückenhälfte in Erscheinung, die kleiner ist als bei der Regelung der gesamten Brücke auf denselben Spannungswert, zusätzlich der Kommuti-

angablindeistung der gesteuerten und ungesteuerten Brücken-
hälften. Dies geht im einzelnen näher aus Fig. 6a hervor. Die
gesamte Spannung E_{SOI} ergibt sich als Summe der Brückenteil-
spannungen $E_{SOa} + E_{SOb}$ der Brückenhälften a und b, die zun-
nehm die Radian der beiden Aussteuerungskreise darstellen.
Spannungen, Blindleistungen, Zünd- und Verschiebungswinkel
ergeben sich wie zuvor nur, dass jeweils die Summe aus den
Werten für jede Brückenhälfte zu bilden ist. Im Leerlauf
ist die Teilspannung E_{SO} soweit herunter geregelt, dass

$$E_{SOa} + E_{SOb} = E_{SI} = E_{SII} = E_{LI}$$

wird. φ_b ist dann gleich Null, der Zündwinkel und Verschie-
bungswinkel

$$\varphi_b = \alpha_{zb} = \alpha_{zbL}$$

Der resultierende Leistungsfaktor ist $\varphi = \varphi_L$. Zur Vergrösse-
rung der Übertragungsleistung regelt man die Brückenhälfte b
durch Verringerung des Zündwinkels hoch. In Fig. 6b sind die
entsprechenden Werte für 50 % der Übertragungsleistung ein-
getragen. Der Grundwellenleistungsfaktor von a nimmt dann
entsprechend der Überlappung ab (Δf_a). Zündwinkel und Lei-
stungsfaktor ändern sich um $\Delta \alpha_{zb}$ und $\Delta \varphi_b$. Der resultie-
rende φ -Wert $\bar{\varphi} = \bar{\varphi}_a + \bar{\varphi}_b$ wandert auf der gestrichelt ein-
getragenen Ortskurve.

In Fig. 6b sind die Blindleistungen und Phasenwinkelortskurven
für Regelung zwischen Leerlauf und Vollast eingetragen. Ge-
genüber der Gitterregelung beider Brückenhälften (Vollweg-
steuerung) bringt die Halbwegsteuerung nur eine unwesentliche
Verbesserung des Leistungsfaktors mit sich, wie insbesondere
aus den nur geringen Unterschieden der φ_I -Ortskurven hervor-
geht. Ausserdem ist zu beachten, dass durch die Art dieser
Steuerung der sechphasige Charakter der Brückenschaltung
teilweise verloren geht und mit zunehmender Unsymmetrie der
Aussteuerungen sowohl gleichstromseitig als auch auf der Netz-

achte, die die Leistung des Gleichrichters durch die
welle stärker in Anspruch nehmen.

5.24. Gleichrichterregler mit Zusatzstromrichter.

Das vorstehend erwähnte Prinzip der Teillaststeuerung kann auch derart abgewandelt werden, dass sämtliche Hauptkreisläufe voll angesteuert werden und die Spannungsregelung durch einen Zusatzstromrichter vorgenommen wird. Der Zusatzstromrichter kann nach Fig.8 in die Mitte gelegt und der Umspannersternpunkt geerdet werden. Die Leistungsregelung von Null bis Vollast wird durch Hochregeln des Zusatzstromrichters bis auf volle Spannung mittels der Gittersteuerung vorgenommen. Den Verlauf der Blindleistung zeigt Fig.7. Dabei ist angenommen, dass im Leerlauf der Zusatzstromrichter a) in den Wechselrichterbereich angesteuert ist, b) auf Gleichspannung Null geregelt ist. Der Blindleistungsverbrauch ist in beiden Fällen praktisch derselbe.

Neben der Gitterregelung ist auch eine Regelung durch Lastschalter im Umspannersternpunkt möglich. Dies ist insofern gegenüber der Regelung der Hauptumspanner vorteilhaft, als der Sternpunkt und somit auch der Lastschalter auf Erdpotential liegen und ausserdem nur ein Lastschalter für beide Hälften benötigt wird, hat allerdings den Nachteil, dass keine direkte Erdung auf der Gleichstromseite möglich ist. Bezüglich der Blindleistung ergeben sich dieselben Verhältnisse wie bei der Regelung der Hauptumspanner, da bei Voraussetzung gleicher Spannungsabfälle die Kommutierungsblindleistungen dieselben sind.

Im Vergleich zu den anderen Verfahren liegt der Blindleistungsverbrauch bei Verwendung eines Zusatzgleichrichters zwischen der Halbwegsteuerung und der Regelung mit Lastschaltern. Ein wesentlicher Nachteil der Gleichrichterregelung mit Zusatzstromrichter ist der apparative Aufwand. Die Gleichstromleistung beträgt beim Zusatzgleich- Wechselrichter rund 12 % und beim Zusatzgleichrichter rund 24 % der ge-

samen Übertragungsleistung beider Anlagenhälften bei einem Gesamtspannungsabfall von 24 %.

5.5. Alternativen zur Anordnung von Teilstromrichtern.

Bisher war eine Schaltung mit je einer dreiphasigen Brücke für jede Anlagenhälfte zugrunde gelegt. Eine andere Möglichkeit ist die Serienschaltung von Teilstromrichtern, wie sie in Fig. 9 für zwei Teilstromrichter je Anlagenhälfte dargestellt ist. Es würde im vorliegenden Fall bei Zugrundeliegung eines Gesamtspannungsabfalls von 24 % genügen, auf jede Anlagenhälfte eine Brückenhälfte nach dem Prinzip der Halbwegsteuerung zu regeln. Da tritt dann nur die Steuerblindleistung dieser Brückenhälfte in Erscheinung, die kleiner ist als im Fall 5.23 (Fig. 6) bei Halbwegsteuerung mit nur einer einzigen Brückenschaltung je Anlagenhälfte. Es ergeben sich blindleistungsmässig dieselben Verhältnisse wie in Fig. 7b für den Zusatzgleichrichter dargestellt ist. Der gesamte apparative Aufwand ist jedoch bei Verwendung einer Brückenhälfte eines Teilstromrichters zur Ausregelung des Spannungsabfalls wesentlich geringer als bei Anordnung eines Zusatzstromrichters mit einer dem Spannungsabfall entsprechenden Nennleistung.

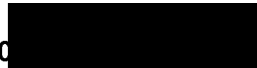
6. Zusammenfassung.

Abschliessend lässt sich sagen, dass die Regelung der Übertragungsleistung auf der Gleichrichterseite für den Wechselrichter ungünstige Verhältnisse liefert, die es nicht gestatten, dort mit den optimalen Bedingungen bezüglich Betriebssicherheit der Kommutierung und minimale Blindleistung zu arbeiten. Auf der Gleichrichterseite ergeben sich je nach dem zur Anwendung kommenden Prinzip der Spannungsregelung verschiedene Blindleistungen bei Teillast. Die Blindleistungskurven sind in Fig. 10 der Übersichtlichkeit halber nochmals zusammengestellt. Die grössten Blindleistungen liegen bei der

Gitterregelung (Kurve a) und die kleinster Blindleistung mit Lastschaltern (Kurve d) vor. Die beiden Verfahren, die auf einer unterschiedlichen Gestaltung von Gleichrichterstationen beruhen (Kurven b, c, e). Es denkt sich, dass auf der Gleichrichterseite den Blindleistungsfragen nicht die Bedeutung zukommt wie bei Gleichrichter auf der Wechselrichterseite, da hier meist ein grosses Kraftwerk in unmittelbarer Nähe liegt, so erscheint ein grösserer Aufwand zur Verringerung der Blindleistung bei Teillasten der Gleichrichterstation nicht gerechtfertigt.

Ganz allgemein lässt sich noch feststellen, dass die Regelung mit Lastschalter zwar den Vorteil kleinster Blindleistung, aber den Nachteil einer durch die zu bewegenden Massen bedingten Trägheit aufweist, während die Gitterregelung praktisch trägheitslos arbeitet, aber mit einem erhöhten Blindleistungsbedarf verbunden ist. Die günstigste Lösung dürfte in einer Kompensation beider Verfahren bestehen, derart, dass die Gittersteuerung eine schnelle Ausregelung vornimmt und durch Betätigung der Lastschalter die Aussteuerung und damit die Blindleistung immer auf einen kleinstmöglichen Wert zurückgeholt wird. Hierauf wird bei der Untersuchung der Netzspannungsschwankungen in einem der folgenden Berichte noch näher eingegangen werden.

Ende |



38-H-143a

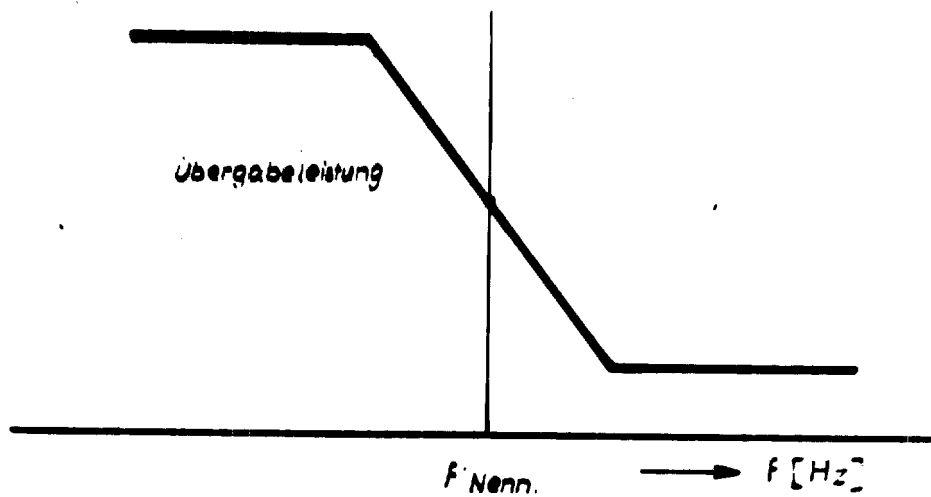


Fig. 1 Sollwert - Kennlinie der Übergabeleistung

3B-H-149a

25X1A

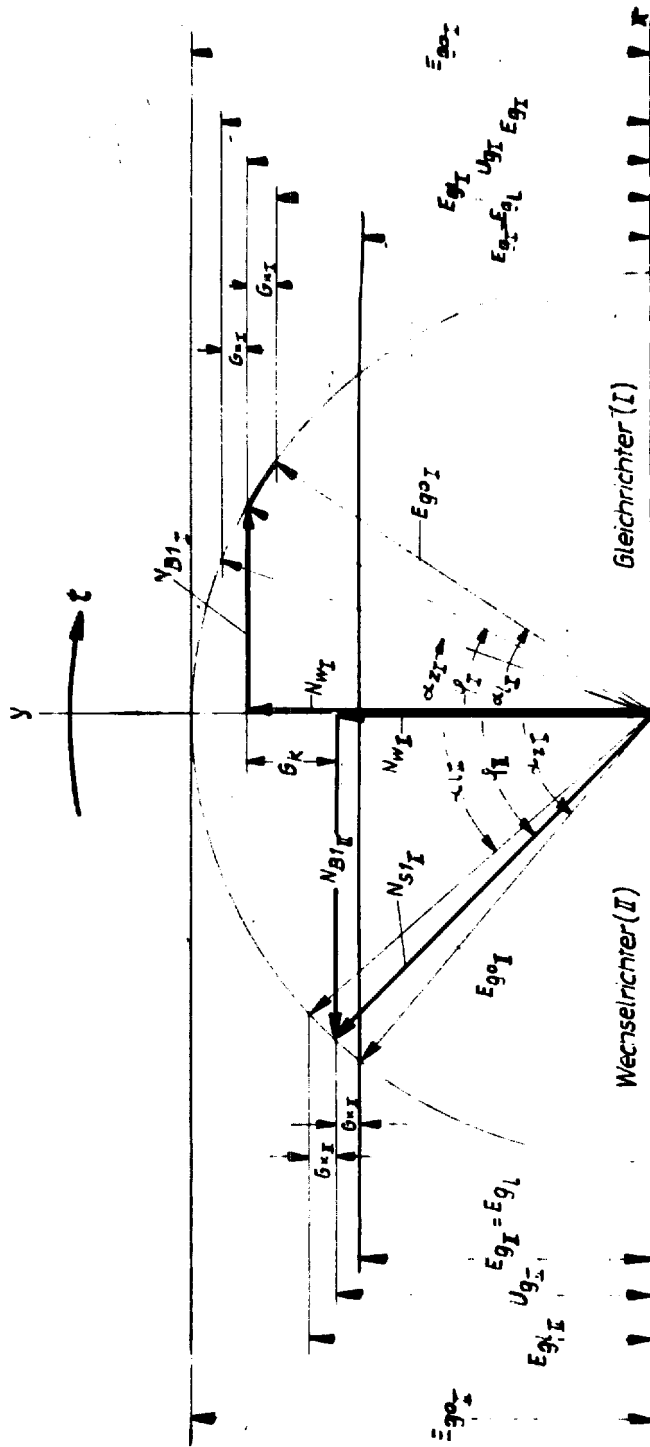


Fig. 2 Graphische Darstellung der Übertragungsverhältnisse

3B-H-143a

25X1A

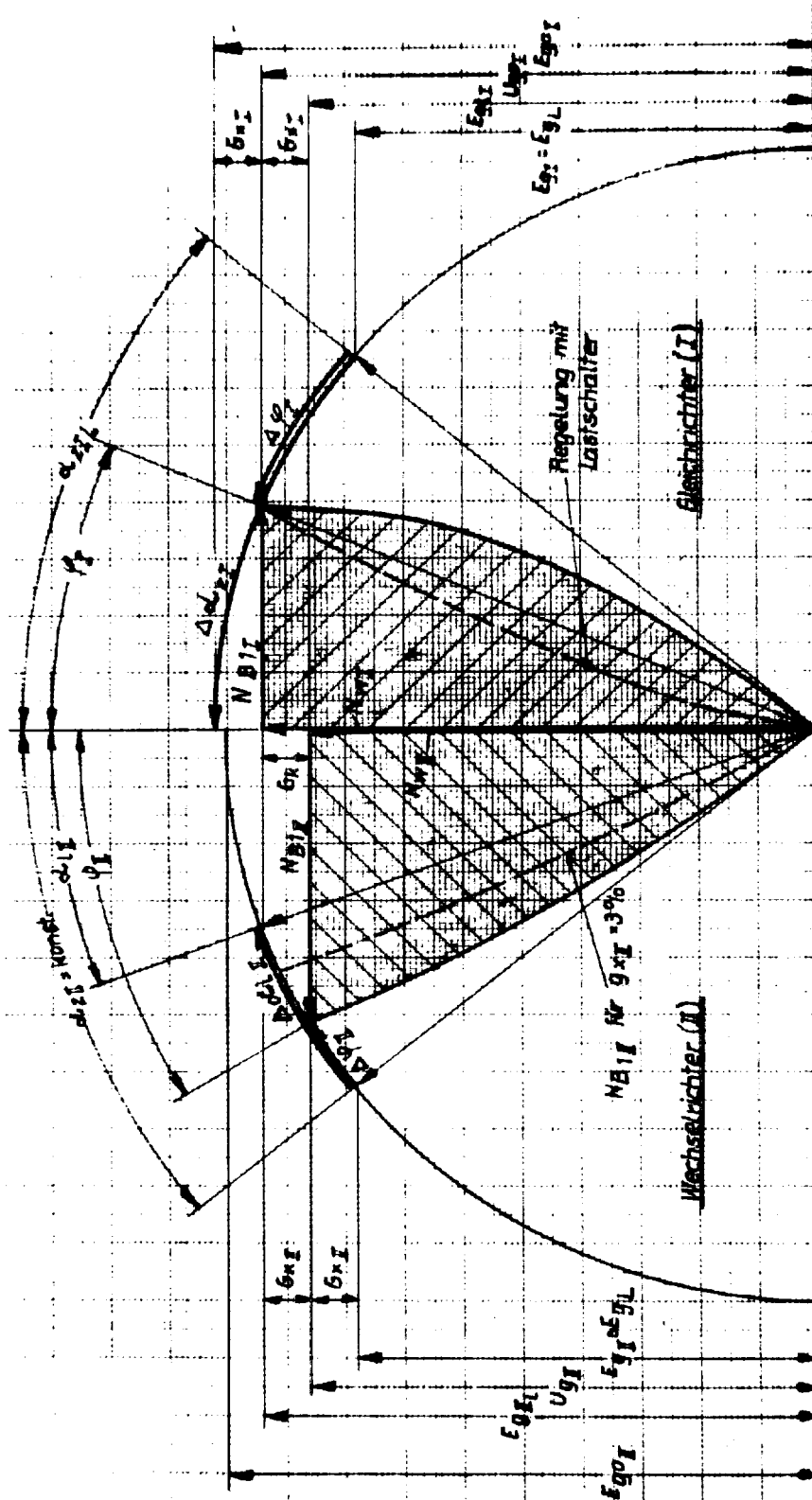


Fig.3 Gleichrichterregelung mit Gittersteuerung.

Wechselrichter ungerade, $\alpha_{zI} = 39^\circ = \text{konst}$

$\delta_{zI,II} = 20^\circ$ bei Normstrom, $\delta_{zI} = 6xI = 0^\circ = \delta_{zI} = 69^\circ$



JB-H-143a

25X1A

Fig. 4 Löschwinkel der Wechselrichter-Station

abhängig von der Wirkleistung für

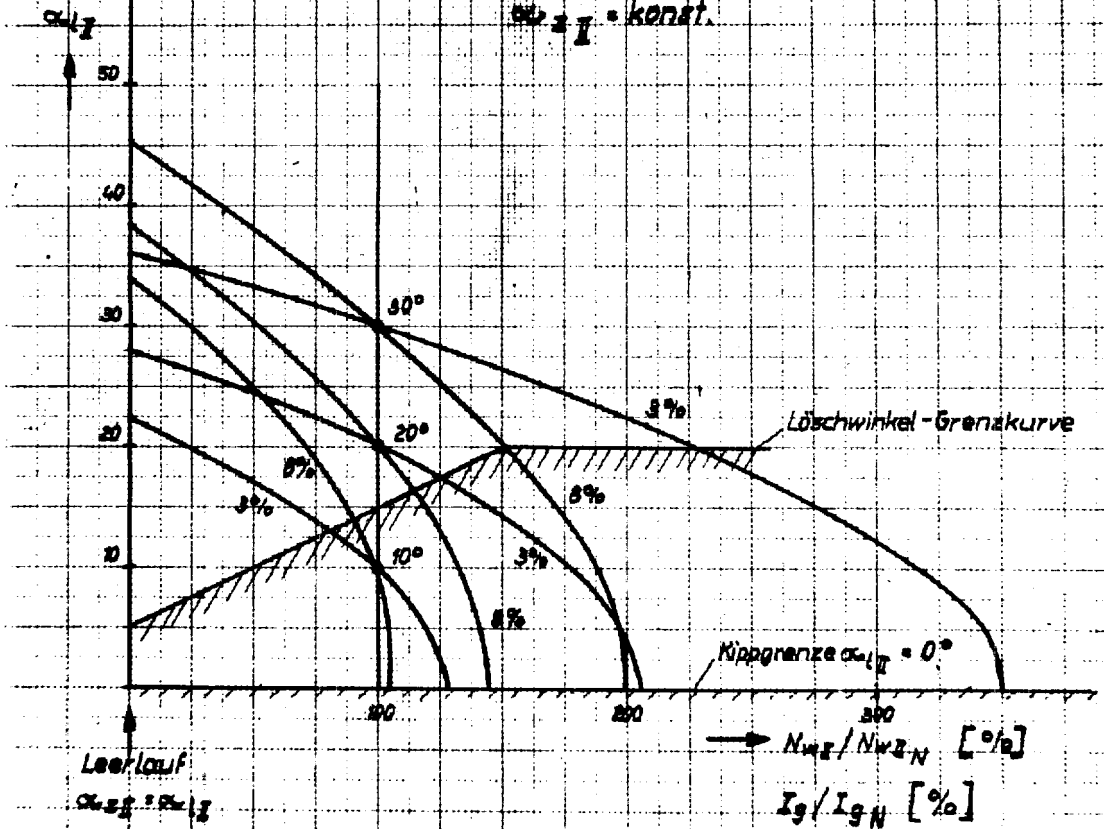
$g_{xI} = 3\%$, $g_{xII} = 6\%$

$\alpha_{zI} = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ im Nennbetrieb

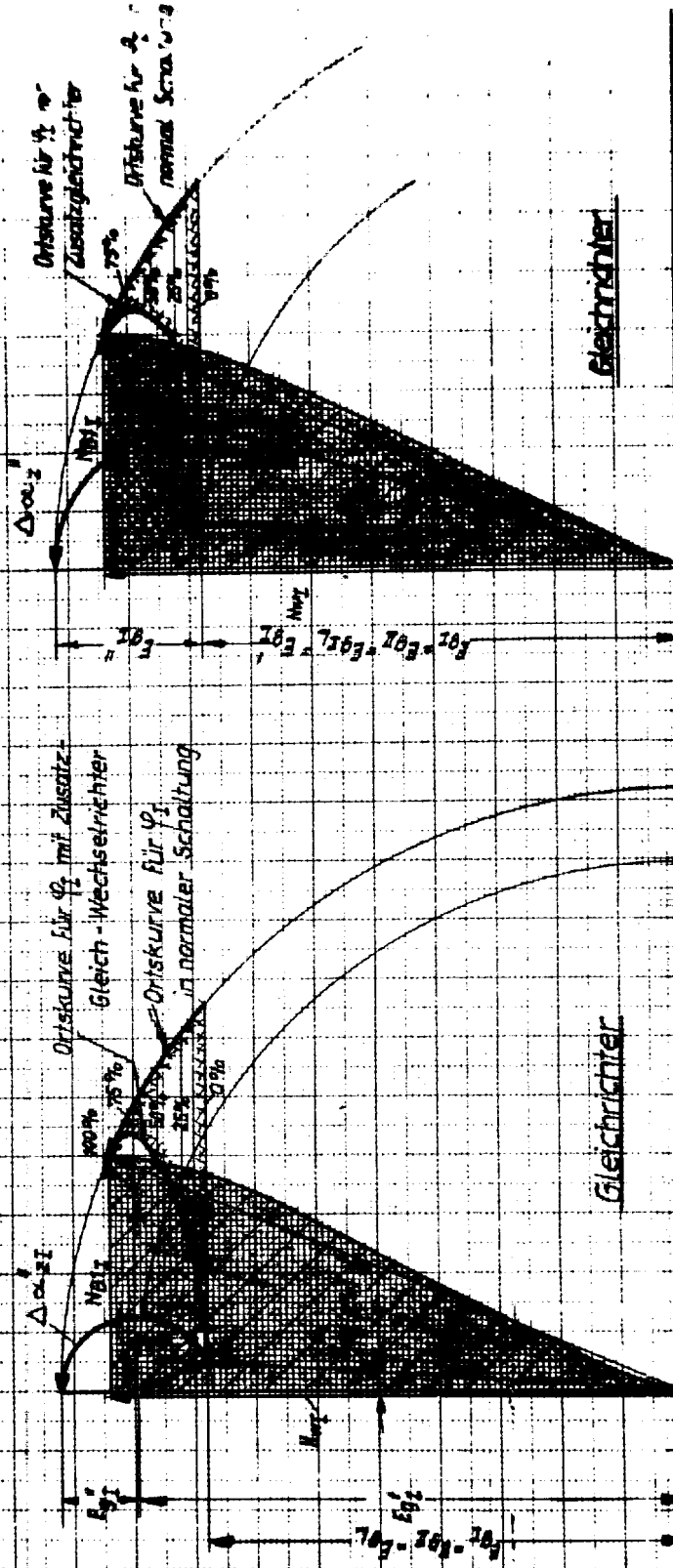
Gleichrichterregelung

Wechselrichteraussteuerung konstant

$\omega_{zI} = \text{konst.}$



JB-H-143a



a) Zusatz-Gleich- u. Wechselrichter
 b) Zusatz-Gleichrichter
Fig. 7 Gleichrichterregelung mit Zusatzstromrichter
 Hauptgleichrichter und Hauptwechselrichter umgerollt
 $\alpha_{d2} = 20^\circ$ bei Mem vom $E_{02} = E_{01} \cdot E_{g2} = 0.94 \cdot E_{01}$

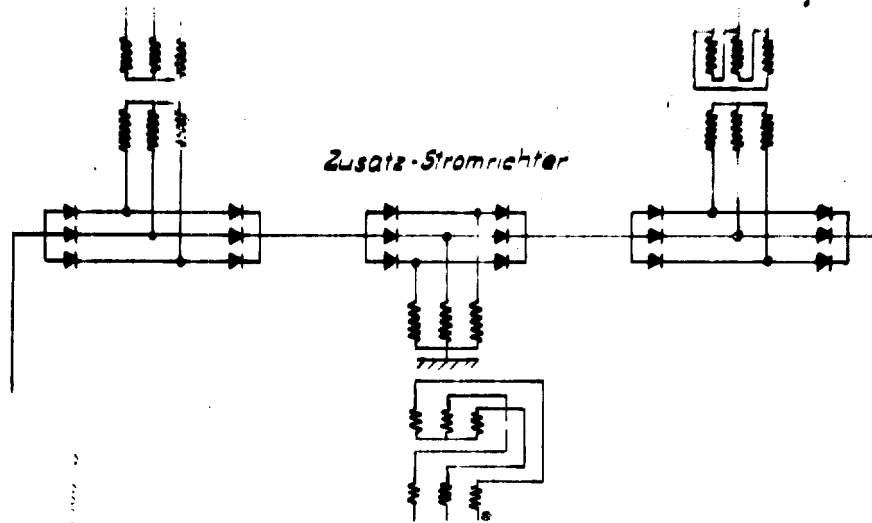


Fig.8 Schaltung mit Zusatzstromrichter

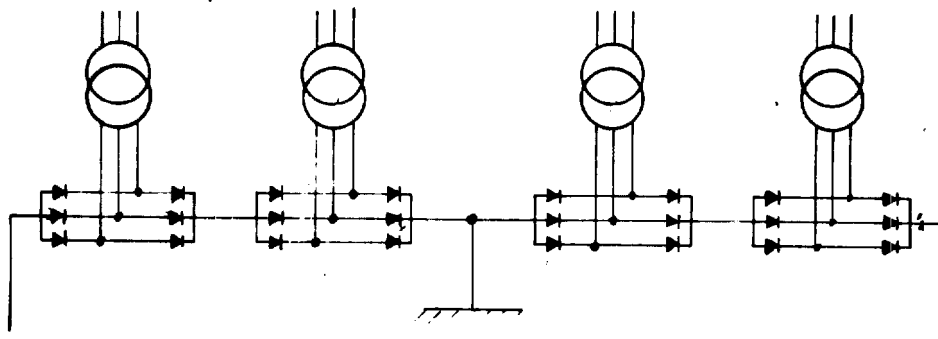


Fig.9 Serienschaltung von Teilstromrichtern

38-11-143a

25X1A

Fig.10 Verlauf der Blindleistungen bei den verschiedenen Regelverfahren der Gleichrichterregelung.

$$g_{xI} = g_{xI} + g_k = 8\%$$

- a: Gitterregelung (Vollweg)
- b: Halbwegsteuerung
- c: Zusatzgleichrichter, Halbwegsteuerung bei Serienschaltung von Teilstromrichter
- d: Zusatz-Gleich- u. Wechsetrichter
- e: Regelung mit Lastschalter

