

Pain Franks

Der A Verstärker und 12 W Verstärker

in den E Kompaßanlagen für U Boote,
T Boote und M Boote

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Erich Sudau
Korvettenkapitän (Ing.)

34

Lfd.-Nr.: 533
Bibl.-Obj.-Nr.: 72759

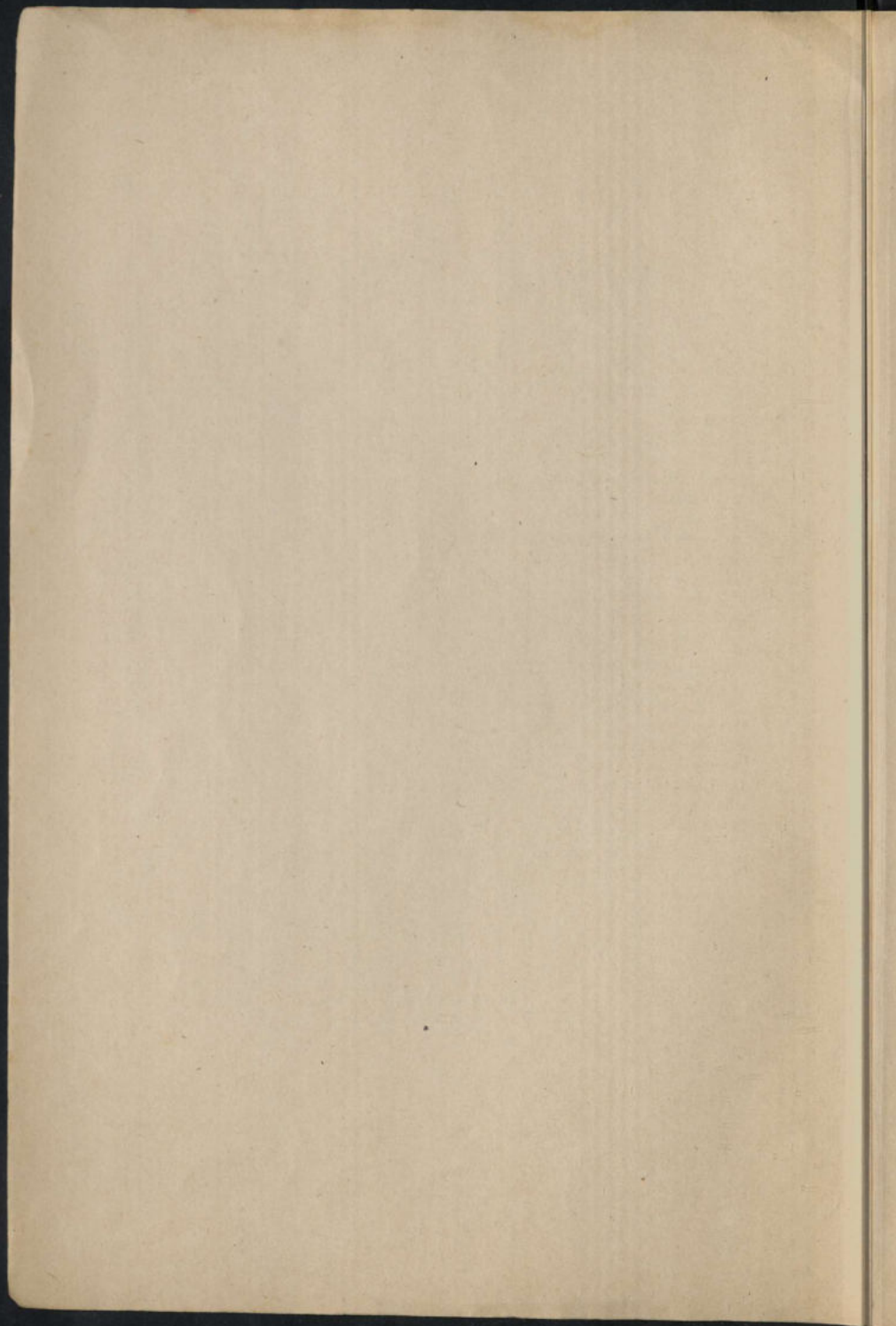
Frank
Stab. Nr. Masch.
1./2. M.S.K.

Der A Verstärker und 12 W Verstärker

in den E Kompaßanlagen für U Boote,
T Boote und M Boote

Bearbeiter:

Dipl. Ing. Erich Sudau
Korvettenkapitän (Ing.)



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Die Übertragung in den E Kompaßanlagen	1
Die Wechselstrommeßbrücke	1
Der A Verstärker	2
Der Heizkreis	2
Gleichrichter und Glättung	2
Anodenspannung und -strom	3
Der Sitterkreis	3
A Verstärkung	4
Automatische Sittervorspannung	4
Der Außenwiderstand	4
Rückkopplung	5
Anlaufverhältnisse	5
Aussteuerungsregelung	5
Der 12 W Verstärker	6
Gleichrichter und Glättung	6
Der Heizkreis	6
Der Anodenstromkreis	6
Der Arbeitspunkt	7
Der Außenwiderstand	7
Anlaufverhältnisse	7
Aussteuerungsregelung	7
Höchstlauf	8
Die Bremströhre	8
Störungen am E Kompaßverstärker	9
Übersicht über die Störungen	13

Bilderverzeichnis

<p>Bild 1 Schema der Übertragung " 2 Meßbrückenschaltung " 3 u. 4 Wirkung des Drosselpeisetztafo " 5 u. 6 Drehrichtung des Wendemotors " 7 Mutterkompaß " 8 Wechselstrommeßbrücke " 9—13 Zeigerschaubilder der Wechselstrommeßbrücke " 14 Oszillogramme der Phasenlage bei der Wechselstrommeßbrücke " 15 Prinzipialbild des A Verstärkers " 16 Kennlinie des Eisenwasserstoffwiderstandes " 17 Heizkreis des A Verstärkers " 18 Gleichrichterzellen " 19 Einweggleichrichtung " 20 Graetzschaltung " 21 Oszillogramme für Glättung mit Kondensatoren " 22 Oszillogramme für Glättung mit Kondensatoren und Spule " 23 Anodengleichstromkreis, Spannungsverteilung " 24 Kennliniensfeld der Röhre AD 1 " 25 A Verstärkung, negative Vorspannung " 26 Kennliniensfeld mit Außenwiderstand bei Anlauf " 27 Automatische Gittervorspannung " 28 Außenwiderstand beim A Verstärker</p>	<p>Bild 28a Vereinfachte Schaltung des Außenwiderstandes " 29 Negative Rückkopplung " 30 Drehmomente des Wendemotors " 31 Ströme der Symmetriedrosseln " 31 Höchstlauf des Wendemotors " 32 Prinzipialbild des 12 W Verstärkers " 33 Anodenspannungsverhältnisse " 34 Kennliniensfeld mit Arbeitspunkt " 35 Die Wechselstromwiderstände im Anodenstromkreis " 36 Oszillogramm, Phasenverschiebung der Drehphase " 37 Wechselstromaußenwiderstand " 38 Anlaufverhältnisse im Kennliniensfeld " 39 Spannungsverhältnisse bei Anlauf " 40 Höchstlaufverhältnisse im Kennliniensfeld " 41 Arbeitskennlinie der Bremsröhre " 42 Die Schaltung der Bremsröhre " 43 Strom- und Spannungsverhältnisse der Bremsröhre " 44 Strom- und Spannungsverhältnisse bei Ausfall des Drosselpeisetztafo " 45 Phasenlage der Dreh- und Festphase " 46 Die Wirkung der Phasendrossel " 47 Vormagnetisierung der Drehphase</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Die Übertragung in den E Kompasanlagen (Arbeitskraftverhältnisse)

Die Übertragung des Kurses vom Mutterkompaß auf die Tochterkompaße geschieht mittels einer Wechselstrommeßbrückenschaltung (Bild 1) und des von dieser gesteuerten Wendegebers. Der Strom wird (Bild 7) von der Phase 3, Schiene 15/18, über Leitung 29, den 6. Schleifring auf der Tragplatte, über 2 Spinnebeine den Leitbändern auf der Hüllkugel zugeführt. Von hier geht der Strom durch die Tragflüssigkeit auf die Leitbänder der Kugel über, welche somit an Phase 3 liegen. In der Hüllkugel befinden sich 2 um 180° versetzte Wendefontakte, die den Graphitkohlestücken an den Abflußstanten des breiten Leitgummibandes gegenüberstehen. Die Übergangswiderstände der Flüssigkeit vom Leitband der Kugel zu den Wendefontakten w_1 und w_2 stellen die Widerstände R_1 und R_2 der Wechselstrombrücke (Bild 2) dar.

Von den Wendefontakten gehen Leitungen durch 2 weitere Spinnebeine zu dem 2. und 3. Schleifring auf der Tragplatte und von hier über die Leitungen 30 und 31 zu den Brückenpunkten A und B der Meßbrücke und von dort über die Brückenwiderstände Z_3 und Z_4 zur 0-Nulleitung des Kreiseldrehstromes. Bei dieser Anordnung würden nur 70 V Brückenspannung in der Meßbrücke liegen. Da die Genauigkeit der Meßbrücke von der Größe des Speisestromes der Brücke abhängig ist, wird die Spannung von 70 V durch einen Spalttransformator (Bild 3) mit einer zufälligen Spannung von 50 V auf 120 V erhöht. Hierdurch steigt der Brückenstrom von 50 mA auf 190—215 mA (Bild 4).

Legt man die Hilfsphase (Wende- oder Drehphase) eines 2phasigen Asynchronmotors — Wendemotor genannt — an die Brückenpunkte A und B, so läuft der Motor bei Ungleichheit der Brücke an. Der Käufer dieses Motors ist so gebaut, daß er nach Abschalten der Drehphase nicht als Einphasenasynchronmotor weiterlaufen kann, sondern zum Stillstand kommt. (Großer Läuferwiderstand, deshalb auch großer Schlupf = 56%.)

Befinden sich die Wendefontakte in der Normalstellung gegenüber dem Leitbände der Kugel, d. h. die Übergangswiderstände sind gleich groß, so ist die Spannung zwischen den Brückenpunkten A und B gleich Null (Bild 5a).

Dreht sich das Schiff mit der Hüllkugel um die E Kompaszkugel, die im Raume feststeht, so werden die Übergangswiderstände ungleich (Bild 5b). Wird z. B. R_1 kleiner (Wendefontakt gegenüber dem breiten Leitband) und R_2 größer (Wendefontakt zwischen den schmalen Leitbändern), so treibt der an den Punkten A und B auftretende Potentialunterschied einen Strom durch die Drehphase; der Wendemotor läuft an. Je nachdem, ob der Widerstand bei A oder bei B kleiner wird, hat der Brückenstrom eine bestimmte Phasenlage. Diese Phasenlage bestimmt den Drehfuss des Wendemotors. Die Drehrichtung des Wendemotors ist durch die Schaltung so bestimmt, daß er die Hüllkugel auf dem kürzesten Wege in die Nullstellung zur E Kompaszkugel zurückdreht. Würde der Anschluß der Drehphase am Wendemotor vertauscht, so wäre damit die Phasenlage um 180° gedreht und der Wendemotor würde so laufen, daß der Wendefontakt, der in normaler Stellung bei 90° steht, jetzt auf 270° kommt. Dann zeigt die Skala am Steuerstrich nach Süden statt nach Norden (Bild 6), die Nosen zeigen also den Kurs um 180° verkehrt an. Mit dem Wendemotor ist der Geber für die elektrische Welle zu den Tochterkompassen verbunden, so daß der von der Hüllkugel zurückgelegte Winkel mit den Drehungen der Tochterkompassskalen übereinstimmt.

Das am Wendemotor entstehende Drehmoment ist abhängig vom Grade der Verdrehung der Hüllkugel, wie aus der Kennlinie Bild 30 ersichtlich ist. Bei dieser direkten Schaltung der Wende- phase in den Brückenkreis springt der Wendemotor bei etwa $0,3^\circ$ Verdrehung der Hüllkugel an. Um ein Anspringen bei erheblich geringerer Verdrehung zu erreichen, kann die Spannung an den Brückenpunkten A und B über einen Eingangübertrager (35) im Bild 15 an das Gitter einer Verstärkerröhre geschaltet werden. Die Drehphase wird dann durch ein Umschaltereleis in den Anodenkreis dieser Verstärkerröhre geschaltet.

Die Wechselstrommeßbrücke

Die Meßbrücke (Bild 8) besteht aus zwei Ohmschen Flüssigkeitswiderständen R_1 und R_2 , sowie den beiden Symmetriedrosselhälften r_1L_1 und r_2L_2 . An die Brückenpunkte A und B ist die Drehphase

des Wendemotors angeschlossen. Ihr Wechselstromwiderstand wechselt zwischen 800 und 2000 Ohm. Der Scheinwiderstand der Meßbrückenzeige beträgt gemessen $\frac{120 \text{ V}}{94 \text{ mA}} = 1280 \text{ Ohm}$.

Bei nachstehender Betrachtung ist zu berücksichtigen, daß der induktive Widerstand der Symmetriedrossel sich je nach der Verteilung der Ströme J_1 und J_2 in weiten Grenzen ändert. Wenn die Ströme J_1 und J_2 gleich groß sind, ist er nahezu gleich Null, da die gleichsinnigen Windungen in entgegengesetzter Richtung von den Strömen durchflossen werden. Bei stark unterschiedlichen Strömen erreicht sie größere Werte, (da dann gewissermaßen ein Teil der bifilaren Windungen abgeschaltet wird).

Bild 9 zeigt den Ruhezustand bei gleich großen Widerständen in beiden Zweigen. Die Spannung zwischen den Brückenpunkten A und B ist gleich Null.

Bei Veränderung der Widerstände R_1 und R_2 würde sich ohne Berücksichtigung der Änderung der Blindspannung an den Drosseln nachstehendes Bild ergeben (Bild 10):

- R_2 werde kleiner. Dann wird der Ohmsche Spannungsabfall $J_1 R_1'$. Wird von dem Brückenstrom zunächst abgezogen, so wird bei kleiner werdendem R_1 der Strom J_1 größer. Dadurch wird die Spannung an $r_1 L_1$ größer. Im zweiten Zweig bleibt die Spannungsverteilung die gleiche. Die Unterschiedspannung $AU = A - B$ liegt an der Brücke. Sie wäre phasengleich dem Brückenstrom J .
- R_2 werde kleiner, R_1 werde größer (Bild 11). Dann rückt der Punkt A nach rechts, der Punkt B nach links (wie vorstehend beschrieben). Die Unterschiedspannung ist dann $A - B$.

In Wirklichkeit ändern sich mit den Strömen auch die Blindspannungen. Dies ist in Bild 12 eingetragen!

- Widerstand R_2 werde verringert. Dann wird der dazugehörige Strom J_2 zunehmen und damit auch $J_2 R_2'$ und $J_2 w L_2$. (Durch den Unterschied der Ströme J_1 und J_2 tritt jetzt die Induktivität der Symmetriedrossel in Erscheinung und vergrößert $J_2 w L_2$ zuungunsten von $J_2 R_2$). Der Punkt B rückt nach $B' \cdot BB'$ ist die Spannungsdifferenz. Sie ist zum Strom in der Phase verschoben.
- Widerstand R_1 werde vergrößert. Der zugehörige Strom J_1 wird dadurch kleiner. Dadurch werden auch $J_1 R_1$ und $J_1 w L_1$ kleiner. Der Spannungsabfall $J_1 R_1$ nimmt zu und der Punkt A rückt nach A' . Die Unterschiedspannung ist $A - A'$ und zum Strom phasenverschoben.

Treten beide Fälle a und b gleichzeitig auf, so wird die Unterschiedspannung AU' gleich $B'A'$. (Siehe auch Bild 13 und 14.)

Der A Verstärker (Bild 15)

Zum Betriebe des Verstärkers dient der Betriebswandler 37, dessen Erstwicklung von der Phase 2-0 des Dreifeldstromnetzes 70 V 333 Hz gespeist wird. Die Normalbelastung auf der Erstseite beträgt 0,5 A. Von den beiden Zweitwicklungen werden der Heizkreis der Röhre und der Trockengleichrichter gespeist. Der Betriebswandler und damit der Verstärker können durch den Übertragungsschalter 7 stromlos gemacht werden.

Der Heizkreis

In den Heizstromkreis ist ein Eisenwasserstoffwiderstand 27 eingeschaltet. Aus dem Schaubild (Bild 16) ist zu ersehen, daß dieser seinen Stromdurchgang auf 1,1 A konstant erhält, solange seine Klemmenspannung zwischen 4 und 11,5 V liegt. Da die Verstärkeröhre AD 1 jedoch nur mit 0,93 A geheizt werden darf, werden 0,170 A durch einen Parallelwiderstand von 23,8 Ohm zum Heizfaden abgeleitet. Die Spannung am Heizfaden beträgt 4 V. Die Zweitwicklung auf dem Betriebswandler hat einen Widerstand von 0,45 Ohm warm. Der innere Spannungsabfall dieser Wicklung beträgt dann bei 1,1 A = 0,5 V. Bei einer, in der Zweitwicklung erzeugten Spannung von 12 V verbleibt (Bild 17) eine Spannung von $12 - (4 + 0,5) = 7,5 \text{ V}$ am Eisenwasserstoffwiderstand, die von einem Spannungsmesser überwacht wird. Ändert sich die Umformerpannung an der Erstwicklung des Heizspanners, so hält der Eisenwasserstoffwiderstand die Heizstromstärke trotzdem gleichbleibend auf 1,1 A, solange seine Klemmenspannung innerhalb der oben angegebenen Grenzen bleibt. Ein genaues Einhalten der Heizstromstärke ist im Hinblick auf die Lebensdauer der Röhre unbedingt erforderlich. Bei zu starker Heizung wird die Röhre vorzeitig taub.

Gleichrichter und Glättung

Die Anodenspannung wird in einer weiteren Zweitwicklung des Betriebswandlers erzeugt und mit einem Trockengleichrichter (39) gleichgerichtet. Zum Gleichrichten werden Eisen-Selenzellen verwandt.

Diese bestehen aus einer vernickelten Eisenplatte (Bild 18) mit einer Selenenschicht, auf der die Gegenelektrode aus einer besonderen Legierung aufgespritzt ist. In Richtung vom Eisen zum Selen hat diese Zelle einen geringen Widerstand. In umgekehrter Richtung dagegen wird der Widerstand

beträchtlich groß, die Zelle sperrt den Stromdurchgang. Eine Zelle sperrt bis 18 V Wechselspannung. Beim Verstärker werden für die höheren Spannungen 22 Zellen hintereinander geschaltet. Der Gleichrichter des A Verstärkers kann mit 0,125 A belastet werden.

Wird nur eine Zelle in den Stromkreis (Bild 19) geschaltet, so wird eine Halbwelle des Wechselstromes gesperrt. Während dieser Zeit fließt kein Strom, jedoch liegt dann die gesamte gesperrte Spannung U_{sp} an der Zelle.

Um beide Halbwellen des Stromes auszunutzen, werden 4 Zellen in Graetzschaltung zusammengefasst (Bild 20). Die Halbwellen durchfließen in gleicher Richtung die an + und - angeschlossenen Geräte. Die gleichgerichtete Spannung und der von ihr verursachte Strom haben jedoch starke Schwantungen (Bild 21a).

Zur Glättung oder Beruhigung wird ein Kondensator parallel zu den Gleichstromanschlüssen des Graetzgleichrichters geschaltet (Bild 21b). Bei Zunahme der Wechselspannung wird der Kondensator aufgeladen, er nimmt den Ladestrom J_L auf und drückt bei Abnahme der Spannung einen Entladestrom in das Res. Dieser Kondensator wird als Ladekondensator bezeichnet.

Da die erforderliche Beruhigung des Gleichstromes jedoch nicht durch Vergrößerung des Ladekondensators allein erreicht werden kann, wie aus den Oszillogrammen (Bild 21 c-f) zu ersehen ist, wird eine Drosselspule in den Gleichstromkreis geschaltet (Bild 22c).

Die Spitzen der Stromkurven werden durch die in der Drosselspule entstehenden EMKe der Selbstinduktion verhindert. Diese EMKe, die dämpfend auf die Stromschwankungen einwirken, haben bei den Stromspitzen ihren höchsten Wert, da hier die Kraftflußänderungen zeitlich am stärksten sind. Wird hinter die Drosselspule noch ein zweiter Kondensator (Siebkondensator) parallel zum Verbraucher geschaltet (Bild 22d), so wird der Strom noch mehr geglättet.

Bei Ausfall dieses Siebkondensators treten Oberwellen von doppelter Netzfrequenz auf, die ein Brummen hervorrufen können (Bild 22e).

Fällt dagegen der Ladekondensator aus, so ergibt sich Bild 22c der Oszillogramme. Der Strom ist zwar etwas geglättet, jedoch liegt der Mittelwert etwa bei $\frac{2}{3}$ des normalen Betriebswertes. Näheres über Betriebswerte hierbei siehe Störungen Nr. 12. Bei Ausfall beider Kondensatoren ergibt sich Bild 22f.

Anodenspannung und -Strom (Bild 15)

Im Anodenstromkreis liegt hinter der Glättungsdroffel 38 der Nachübertrager 36 (ein Sparttransformator mit dem Übersetzungsverhältnis 4 : 3), von dem die Anodenwechselstromleitung zur Drehphase des Wendemotors über einen Sperrkondensator 34 führt. Dieser dient gleichzeitig zur Regelung der zeitlichen Phasenlage der Drehphase im Verhältnis zur Festphase.

Der Sperrkondensator sperrt außerdem die Drehphase gegen Gleichstrom. Näheres hierüber siehe unter Störungen Nr. 15.

Vom Nachübertrager fließt der Anodengleichstrom zur Anode der Verstärkerröhre AD 1. Der Strom fließt weiter durch die Röhre, die Heizfäden und tritt bei einer Anzapfung der Heizwicklung aus dem Heizkreis heraus. Die Anzapfstelle ist so gewählt, daß sie das gleiche Potential wie die Mitte des Heizfadens besitzt. Diese Schaltung ist erforderlich, um den Heizfäden gleichmäßig zu belasten.

Weiterhin sind ein Anodenstrommesser 23, ein 1000 Ohm Widerstand 40 und ein R Relais 8 mit 500 Ohm, das als Umschalterelais für die Drehphase des Wendemotors dient, hintereinander in den Anodenruhestromkreis eingeschaltet. Vom R Relais fließt der Anodenstrom zum Minuspol des Gleichrichters 39. Die Spannung zwischen Heizfäden und Anode errechnet sich im normalen Betriebszustand folgendermaßen (Bild 23):

Die Wechselspannung am Gleichrichter hat 272 V effektiv und 383 V Höchstwert. Die Gleichspannung am Gleichrichter beträgt im Betrieb 310 V, da der innere Spannungsabfall und Glättungsverlust durch den Ladekondensator 73 V benötigen. Als Anodenstrom fließen im Ruhezustand etwa 34 mA. In der Anodendroffel mit dem Gleichstromwiderstand 162 Ohm entsteht dann ein Spannungsabfall von $34 \cdot 162 \cdot 10^{-3} = 5,5$ V und im Nachübertrager mit $132 \cdot 34 \cdot 10^{-3} = 4,5$ V.

Im 1000 Ohm Widerstand und in der Wicklung des R Relais mit 500 Ohm tritt ein Spannungsabfall von 51 V auf. Es bleiben demnach für die Röhre etwa 249 V Anodenruhespannung.

Der Sitterkreis

Die an den Punkten 30 und 31 der Meßbrücke (Bild 15) auftretende Spannung liegt über einen Relaiskontakt r_2 des Umschalterelais an der Erstwicklung des Vorübertragers 35. Dieser Relaiskontakt untersteht bei unverstärktem Betriebe die Zuleitung zum Vorübertrager, damit die von der Symmetriedroffel 11 kommende Spannung dem Wendemotor 16 voll zur Verfügung steht.

Die Brückenpannung wird im Verhältnis 1 : 15 hochtransformiert, um eine genügende Leistungssteuerung der Verstärkerröhre AD 1 schon bei kleinsten Spannungsänderungen an der Meßbrücke zu erreichen. Wie aus dem Betriebskennlinienfeld (Bild 24) hervorgeht, ist der Durchgriff

(Verhältnis der Sitterspannungsänderung zur Anodenspannungsänderung) nur 0,25, so daß höchstens eine Spannungsverstärkung von $\mu = 4$ fach mit der Röhre zu erreichen ist. Da der Wendemotor zum Anlauf jedoch etwa 3 V benötigt, muß die sehr kleine Spannungsänderung an der Meßbrücke bei der geringsten Verdrehung der Hüllkugel durch den Eingangübertrager auf diesen Wert gebracht werden.

Die Größe der durch diese Spannungsänderung auf dem Sitter hervorgerufenen Stromänderung im Anodenstromkreis hängt von der Größe des Wechselstromaußenwiderstandes ab.

Um die Betriebszustände zu übersehen, wird der Außenwiderstand, d. h. die Summe aller im Anodenstromkreis liegenden Wechselstromwiderstände in das Kennlinienfeld eingezeichnet.

A Verstärkung

Die Röhre arbeitet in A Verstärkung, d. h. das Sitter soll durch die darauf gebrachte Wechselspannung nie positiv gegenüber dem Heizfaden werden. Um dies zu erreichen, wird dem Sitter eine negative Vorspannung gegen den Heizfaden erteilt, die so groß sein muß, wie die zu erwartende größte positive Halbwellen der Sitterwechselspannung (Bild 25).

Durch diese Anordnung wird verhindert, daß auf das Sitter auftreffende Elektronen über den Sitterkreis abfließen und so als Verluststrom (Sitterstrom) die Röhre belasten.

Automatische Sittervorspannung

Der Ruhezustand der Röhre wird als „Arbeitspunkt“ in das Kennlinienfeld eingetragen. Die Anodenspannung beträgt nach obigem 249 V. Die Größe des jetzt durch die Röhre fließenden Stromes hängt von der Spannung am Sitter ab.

Bei 249 V Anodenspannung und einer negativen Sittervorspannung von -67 V ist der Anodenstrom gleich Null (Bild 24). Die Größe des Anodenruhestromes wird durch die beim A Verstärker vorgesehene automatische Sittervorspannung geregelt. Hierbei wird die negative Vorspannung des Sitters gegenüber dem Heizfaden durch den Spannungsabfall in den Sittervorspannwiderständen von 1000 Ohm und R Relais 500 Ohm im Anodenstromkreis bestimmt (Bild 27).

Der aus der Heizwicklung austretende Anodenstrom muß durch die Sittervorspannwiderstände fließen, ehe er das niedrigste Potential, die Kathodenfammelleitung, erreicht. Da nun das Sitter an dieser angeschlossene ist, ist es stets um den an den Widerständen auftretenden Spannungsabfall negativer als der Heizfaden. Je größer der Strom J_a wird, um so größer muß auch die negative Sittervorspannung werden, denn $-U_g = J \cdot R_s$ (R_s = Vorspannwiderstände).

Die Größe des durch die Röhre fließenden Stromes hängt allgemein von der Anodenspannung und von der Sitterspannung ab. (Siehe Kennlinienfeld Bild 24). Da die Anodenspannung festliegt und 249 V beträgt, so bestimmt jetzt die Sitterspannung $-U_g$ allein die Größe von J_a . Den Zusammenhang zwischen U_g und J_a bei der Anodenspannung $U_a = 249$ V zeigt die Kennlinie, die senkrecht im Punkte 249 V errichtet wird.

Da der Anodenstrom J_a durch die Widerstände R_s fließt, steht J_a in einem bestimmten Verhältnis zu U_g . $U_g = J_a \cdot R_s$.

Der Widerstand R_s beträgt 1500 Ohm, somit ist der Punkt auf der $U_a = 249$ V Kennlinie der Arbeitspunkt, der einen bestimmten Strom J_a kennzeichnet und durch den die U_g Kennlinie $J_a \cdot 1500$ hindurchgeht. Dieses ist bei 34 mA der Fall, da hierbei die $U_g = 34 \cdot 1500 \cdot 10^{-3} = 51$ V rechnerisch beträgt und aus dem Kennlinienfeld ersichtlich ist, daß diese Kennlinie $U_g = -51$ V durch den Punkt $J_a = 34$ mA, $U_a = 249$ V geht.

Eine Veränderung des Widerstandes R_s verlagert den Arbeitspunkt. Je kleiner der Widerstand wird, um so höher rückt der Arbeitspunkt, d. h. der Anodenstrom wird größer. Die in das Kennlinienfeld eingezeichnete Hyperbel gibt den jeweilig für die betreffende Anodenspannung zulässigen Höchstanodenstrom an. Für jeden Punkt dieser Kurve hat das Produkt aus Anodenruhestrom und Anodenruhestrom den gleichen Wert, der die zulässige Anodenverlustleistung darstellt. Liegt der Arbeitspunkt über dieser Linie, so wird die Röhre überlastet, da das Anodenblech zuviel Leistung aufnehmen muß (Anodenverlustleistung).

Die Bezeichnung automatische Sittervorspannung besagt, daß der Anodenruhestrom auch bei schwankender Anodenspannung immer auf etwa der gleichen Höhe gehalten wird. Steigt z. B. die Anodenspannung, so wird die negative Sittervorspannung durch den auftretenden höheren Anodenstrom in den Sittervorspannwiderständen vergrößert, wodurch der Anodenstrom wieder herabgedrückt wird.

Der Außenwiderstand

Die Außenwiderstandskennlinie beginnt im Arbeitspunkt. Erhöht sich der Anodenstrom infolge Aussteuerung des Sitters nach positiven Werten hin um einen bestimmten Betrag, so verringert sich die Spannung an der Röhre um den im Außenwiderstand durch diese Stromerhöhung zufällig auftretenden Spannungsabfall. Um diesen Wert in das Kennlinienfeld eintragen zu können, muß der für den Wechselstrom wirksame Außenwiderstand berechnet werden.

Als Außenwiderstand ist die Verzweigung (Bild 28) wirksam. Hierbei ist zu beachten, daß Wechselstromwiderstand des Nachübertragers sowie der Drehphase des Wendemotors sich mit der Strombelastung bzw. der Drehzahl des Wendemotors ändern. Kleine Vernachlässigungen zu gunsten einfacherer Berechnung, sind im Hinblick auf diese Änderungen zulässig.

Die Wendemotor-Drehphase hat den geringsten Widerstand bei Stillstand des Wendemotors. Beim Anlauf beträgt er etwa 1600 Ohm und beim schnellsten Lauf des Wendemotors etwa 2110 Ohm.

Der zur Drehphase parallel geschaltete Zweig (Bild 28) hat nach Messung einen sehr großen Wechselstromwiderstand etwa $Z = \frac{51,5 \text{ V}}{1,5 \text{ mA}} = 35\,000 \text{ Ohm}$, so daß er vernachlässigt werden kann.

Die vereinfachte Schaltung siehe Bild 28a.

Die vorgeschaltete Wicklung des Nachübertragers hat im Betriebe einen Wechselstromwiderstand von etwa 620 Ohm induktiv (der Ohmsche Widerstand ist zu vernachlässigen), während die beiden im Außenstromkreis eingeschalteten Kondensatoren, Sperrkondensator 2 Mikrofarad bei $333 \text{ Hz} \frac{1}{\omega C}$

$= 250 \text{ Ohm}$ kapazitiv und Überbrückungskondensator 2 Mikrofarad bei $333 \text{ Hz} \frac{1}{\omega C} = 250 \text{ Ohm}$

kapazitiv haben, so daß diese Widerstände sich nahezu aufheben und mit dem Widerstand der Drehphase als alleinigen Außenwiderstand gerechnet werden kann. Die Messung bestätigt diese Annahme.

Es kann hiernach der Widerstand der Drehphase als Außenwiderstand in das Kennlinienfeld (Bild 26) eingetragen werden. Erhöht sich z. B. der Anodenstrom um 10 mA, verringert sich die Spannung an der Röhre um $10 \cdot 10^{-3} \cdot 1600 = 16 \text{ V}$. Der Arbeitspunkt befindet sich jetzt auf dem Punkt 233 V und 44 mA. Er bewegt sich bei weiterer Aussteuerung auf einer Geraden, da die

Spannungsänderung im gleichen Verhältnis zur Stromänderung $\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = Z_a$ steht.

Rückkopplung

Die negative Gittervorspannung ist vom Anodentruhestrom I_a abhängig und soll stets gleich groß bleiben. Es muß daher verhindert werden, daß der durch Aussteuerung des Gitters mit einer Wechselspannung hervorgerufene Anodenwechselstrom, der sich dem Anodentruhestrom überlagert, über die Gittervorspannungswiderstände fließt. Hierzu dient der Überbrückungskondensator, dessen Wechselstromwiderstand für 333 Hz nur 250 Ohm beträgt, während die Gittervorspannungswiderstände 1500 Ohm ohmschen und einen sehr hohen induktiven Widerstand in der Relaiswicklung enthalten, so daß nur ein geringer Bruchteil des Anodenwechselstromes über diese Widerstände fließt.

Wäre der Überbrückungskondensator nicht vorhanden, so würde z. B. der Strom I_a bei Aussteuerung des Gitters nach positiven Werten zunehmen (Bild 29) und über die Gittervorspannungswiderstände R_g fließen, so daß das Gitter um den Wert $\Delta I_a \cdot R_g$ negativer wird. Es wird ein Teil von der auf das Gitter gebrachten Spannung durch diese galvanische Rückkopplung unwirksam.

Fällt also der Überbrückungskondensator im A Verstärker durch Drahtbruch aus, so entsteht volle negative Rückkopplung, da als Rückkopplungswiderstände nicht nur 1500 Ohm, sondern noch dazu der hohe induktive Widerstand des A Relais wirksam wird. Die Wendemotordrehphase erhält zu wenig Strom, der Wendemotor bleibt stehen, die Übertragung ist gestört. Das Umschaltrelais schaltet auch nicht um, da es nach wie vor Strom erhält (siehe auch Störung Nr. 13).

Anlaufverhältnisse

Bei einer Wechselspannung von 2,4 V eff, d. h. 3,4 V höchst, und einem Wechselstrom von 1,5 mA eff, 2,13 mA höchst springt der Wendemotor an.

Diesem entspricht nach dem Kennlinienfeld Bild 26 eine Gitterwechselspannung von 1,5 V höchst und 1,06 V eff..

Diese Gitterwechselspannung wird dem Gitter von der Meßbrücke über den Vorübertrager zugeführt (Bild 15). Um nun schon bei kleinen Brücken Spannungen eine ausreichende Aussteuerung der Röhre zu erzielen, beträgt das Übersetzungsverhältnis des Vorübertragers 1 : 15.

Aussteuerungsregelung

Um die Aussteuerung der Röhre und damit die Empfindlichkeit der Übertragung den praktischen Anforderungen anpassen zu können, wird die Spannung an der Zweitseite des Vorübertragers über einen Spannungsteiler entnommen. Dieser besteht aus zwei auswechselbaren Hochohmwiderständen, deren Summe immer 500 000 Ohm betragen muß, da die Zweitwicklung des Vorübertragers für diese Belastung bemessen ist (Bild 15). An der Zweitseite des VU befindet sich eine Glühlampe 28, die zur Spannungsbegrenzung der Gitterwechselspannung dient. Bei 120 V zündet die Glühlampe, und es entsteht ein hoher Spannungsabfall in der Zweitwicklung des VU.

In den neueren Anlagen befindet sich hier ein Spannungsteiler, bestehend aus mehreren Widerständen, die mittels Schraubenzieher fortlaufend eingeregelt werden können. Sind z. B. die Wider-

stände 100 000 und 400 000 gesteckt, wobei der letztere der untere am Gitter wirksame sein soll, so muß die Spannung der Zweitseite des $VU = 1,06 \cdot \frac{1}{4} V$ eff. sein = 1,33 V sein. Dann beträgt die Spannung an der Erstseite $1,33 : 15 = 0,089 V$. Dieses ist gleichzeitig die Spannung an den Brückenpunkten A und B. Sie wird erreicht, wenn die Hüllkugel um etwa $1/60''$ aus ihrer Nulllage gegenüber der Kugel verdreht wird.

Um die volle Drehzahl des WM zu erhalten, muß die Hüllkugel um etwa $0,5''$ gegenüber der Kugel verdreht werden. Dann haben die Ströme J_1 und J_2 nach dem Schaubild ihren kleinsten bzw. ihren größten Wert (Bild 30).

In diesem Fall beträgt die Spannung auf dem Gitter der Röhre 20 V (Bild 31) und es ergibt sich an der Drehphase eine Wechselfpannung von $\frac{60 + 50}{2} = 55 V$. Wie aus dem Kennlinienblatt

ersichtlich ist, muß jetzt eine Außenwiderstandskennlinie von 2110 Ohm eingefügt werden, da sich der Wechselstromwiderstand des Motors bei Lauf erhöht. Die durch die Verstärkung erhaltene Wechselfpannung ist verzerrt, denn ihre beiden Hälften betragen 50 bzw. 60 V. Für den Motor wirksam ist das Mittel aus diesen Werten. Als Strom ergibt sich 29 bzw. 24 mA, im Mittel 26,5 mA. Der Mittelwert des Anodenstromes erhöht sich also um 2,5 mA. Der Anodenstrommesser (ein Gleichstrommeßgerät) zeigt jetzt 36,5 mA an.

Der 12 W Verstärker (Bild 32)

Die Übertragung erfolgt in gleicher Art wie beim A Verstärker beschrieben.

Die Netzbrückenpeisung geschieht ebenfalls über einen Drosselpeisetransfo.

Der 12 W Verstärker ist ein A Verstärker mit 2 parallel geschalteten Röhren und einer Bremsröhre. Zu seinem Betrieb dient ein Betriebswandler 37, der 3 Wicklungen für die Röhren AD 1 und eine Anodenpannungswicklung für den Gleichrichter 39 auf der Zweitseite hat. Die Normalbelastung auf der Erstseite beträgt 0,4 A. Bei den U Bootsanlagen liegt der Betriebswandler am Netz 50 V 55,5 Hz. Beim Gleichrichter treten Oberschwingungen doppelter Schwingzahl auf, so daß bei der Speisung aus dem 333 Hz-Netz, wie es bisher geschah, Schwingungen von 666 Hz entstehen. Diese Schwingungen können einen hellen Ton verursachen, der durch Mitschwingen mechanischer Teile der Anlage sehr laut werden kann. Da diese Töne im U Boot wegen der Althorchgefahr vermieden werden müssen, erfolgt die Speisung aus dem 55,5 Hz Netz, wobei sich wesentlich tiefere Obertöne von nur 111 Hz ergeben.

Gleichrichter und Glättung

Der Gleichrichter 39 für den Anodenstrom ist wie bei der A Verstärkeranlage ein Selengleichrichter in Graetzschaltung. Er ist jedoch bis zu 0,3 A belastbar, da er Zellen mit wesentlich größerer Oberfläche besitzt.

Die Wechselfpannung am Gleichrichter beträgt 305 V eff. und 430 V Höchstwert. Die Gleichspannung beträgt im Betriebe 322 V bei 92 mA Belastung, da der innere Spannungsverlust und Glättungsverlust durch den Ladefondensator 108 V betragen.

Zur Beruhigung der Gleichspannung an der Zweitseite des Graetzgleichrichters 39 dient ein Ladefondensator .31. Für die Verstärkeröhren AD 1 erfolgt eine weitere Glättung durch eine Anodendrossel 38 mit einem induktiven Widerstand von rund 11 000 Ohm bei 333 Hz. Ein weiterer Siebfondensator ist hier nicht vorhanden. Es ergeben sich also Stromkurven nach dem Oszillogramm (Bild 22c).

Zur Beruhigung des Anodenstromes für die Bremsröhre ist ein Widerstand von 1500 Ohm 48 in den Anodenstromkreis geschaltet, der gleichzeitig zur Anoden-Spannungsherabsetzung dient. Hinter diesem Widerstand befindet sich noch ein Siebfondensator 32.

Der Heizkreis

Die Heizfäden der drei Röhren liegen direkt an den Heizwicklungen des Betriebswandlers. Besondere Geräte zur Regelung des Heizstromes sind nicht erforderlich, da die Spannung des 55,5 Hz-Netzes stets gleichbleibend ist. Die Heizspannung beträgt 3,9 V.

Der Anodenstromkreis

Der Anodenstrom fließt vom Graetzgleichrichter durch die Anodendrossel zur Anode der Verstärkeröhren und durch die Röhren hindurch, zu den Heizfäden. Vom Heizfaden verläuft der Stromweg zur Mittelanzapfung der Heizwicklung und über je ein Schanzeichen, eine 60 mA Sicherung und je eine A Relaiswicklung über den gemeinsamen Strommesser zur Kathodensammelleitung und zum Minuspole des Gleichrichters. Die Widerstände der Schanzeichen und der A Relaiswicklungen dienen zur Herstellung der negativen Gittervorspannung für die Röhren. Die Spannung beträgt 322 V am Gleichrichter (Bild 33).

In der Anodendrossel entsteht bei normalem Strom von 92 mA ein Spannungsabfall von $92 \cdot 0,125 = 11,5$ V. Da ferner in den Gittervorspannwiderständen $360 \cdot 0,046$ und $720 \cdot 0,046 = 49,9$ einschließlich Strommesser 50,5 V Spannungsabfall entstehen, bleibt an der Röhre eine Spannung von $322 - 62 = 260$ V übrig.

Der Arbeitspunkt

Aus dem Kennlinienfeld der Röhre AD 1 (Bild 34) ergibt sich, daß der Ruhestrom bei dieser Anodenspannung bei einer negativen Gitterspannung von -71 V gleich 0 wird. Je kleiner die Gittervorspannung nun ist, desto größer wird der Ruhestrom. Die Größe der Gittervorspannung hängt vom Ruhestrom selbst und vom Gittervorspannwiderstand ab: $-U_g = J_a \cdot R$.

Es ergibt sich nun aus dem Kennlinienfeld, daß bei einer Anodenspannung von 260 V bei 46 mA $-U_g = -50,5$ V wird.

Dieser Punkt ist der Arbeitspunkt. Er wird verlagert, wenn sich der Gittervorspannwiderstand ändert. Wird dieser z. B. kleiner, so wird $J_a \cdot R_g = -U_g$ auch kleiner und damit der Anodentubestrom größer, so daß der Arbeitspunkt im Kennlinienfeld nach oben wandert.

Zur Vermeidung der negativen Rückkopplung dienen die Überbrückungskondensatoren 33 wie beim A Verstärker beschrieben.

Der Außenwiderstand (Bild 32)

Der Anodenwechselstrom zweigt an der Anode der Röhre über einen Sperrkondensator 34 ab, geht über die A Relaiskontakte zur Drehphase 42 Punkt 14 und 13 und von hier über die Überbrückungskondensatoren 33 zur Röhre zurück.

Als wirksamer Außenwiderstand ist die Verzweigung (Bild 35) vorhanden.

Da der Anker des Wendemotors aus einem Käfig mit Kupferstäben besteht, ändert sich der Widerstand der Drehphase 42 mit der Drehzahl des Wendemotors 16. Am kleinsten ist er bei Stillstand, da der Synchronmotor dann wie ein kurzgeschlossener Transformator wirkt. Beim Lauf tritt eine EMK im Anker auf, wodurch sich der Widerstand der Drehphase scheinbar erhöht. Im Augenblick des Anlaufens beträgt der Wechselstromwiderstand der Drehphase $Z_1 = 800$ Ohm und bei schnellstem Lauf $Z_2 = 1520$ Ohm. Da die Phasenverschiebung an der Drehphase in diesem Falle 90° beträgt, wie das Oszillogramm (Bild 36a) zeigt, können die Ohmischen Widerstände, da verhältnismäßig klein, vernachlässigt werden. Es sind dann beim Anlauf des Wendemotors als Außenwiderstand wirksam (Bild 37): 800Ω ind. — 250Ω kap. = 550Ω , parallel dazu $11\,000 - 125$ Ohm = $10\,875$ Ohm. Da dieses nahezu reine Blindwiderstände sind, ergibt sich ein wirksamer

Außenwiderstand von $\frac{550 \cdot 10\,875}{550 + 10\,875} = 520$ Ohm induktiv, hierzu tritt der kapazitive Widerstand $62,5 \Omega$ der Überbrückungskondensatoren, so daß der Außenwiderstand $Z_a = 520 - 62,5 = 457,5 \Omega$ beträgt. Im normalem Betriebszustande sind 2 Röhren AD 1 parallel geschaltet. Der Innenwiderstand einer Röhre beträgt im Arbeitspunkt wie oben angegeben 900Ω , beide haben also $\frac{900}{2} = 450$ Ohm Widerstand, da sie parallel geschaltet sind. Es ist also beste Leistungsanpassung $R_i = R_a$ für den Anlauf, der den normalen Betriebszustand darstellt, vorgesehen.

Anlaufverhältnisse

Bild 38 zeigt diese Außenwiderstandskennlinie im Betriebskennlinienfeld. Sie geht durch den Arbeitspunkt $U_a = 260$ V, $J_a = 92$ mA.

Der Wendemotor springt bei einer Spannung von 4,8 V eff. (6,8 V höchst) und einem Strom von 5,65 mA eff. (8 mA höchst) an. In diesem Falle beträgt die Spannung am Außenwiderstand (Bild 39) 4,2 V höchst, da der kapazitive Spannungsverlust in den Kondensatoren abzusehen ist. Für diese Anodenwechselspannung ergibt sich aus dem Kennlinienfeld (Bild 38) eine Gitterwechselspannung von $U_{gk} = 1,85$ V.

Da diese dem Gitter der Röhre über einen Vorübertrager 35 (Bild 32) mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 30 zugeführt wird, entspricht dieser Wert von 1,85 V einer Erstspannung von $1,85 : 30 = 0,062$ V, die gleichzeitig an der Schmetriedrossel liegt. Diese Spannung tritt schon bei geringster Verdrehung der Hüllkugel gegenüber der Kreiskugel auf.

Aussteuerungsregelung

Die Spannung an den Bräuspunkten der Meßbrücke wird über einen Spannungsteiler 25 (Bild 32) der Erstwicklung eines VU (35) zugeführt. Am Spannungsteiler kann ein bestimmter Teil der jeweils an der Meßbrücke auftretenden Spannung abgegriffen werden. Man kann also hiermit die Empfindlichkeit der Aussteuerung der Röhre regeln. Dieses ist erforderlich, um einerseits eine Fendeleinigung des Wendemotors zu unterdrücken oder andererseits ein Schleppen des Wendemotors zu verhindern.

Die abgegriffene Spannung wird im VU (35) auf das 30fache erhöht. An der Zweifseite des VU befindet sich eine Glühlampe (28), die zur Spannungsbegrenzung der Gitterwechselspannung dient. Überschreitet diese Spannung 120 V, so zündet die Glühlampe und es entsteht ein hoher Spannungsabfall in der Zweitwicklung des VU, so daß die Gitterwechselspannung auf etwa 120 V herabgesetzt wird. Da die negative Gittervorspannung nur 50 V beträgt, würde das Gitter bei der positiven Halbwelle der Gitterwechselspannung auf $120 - 50 = 70$ V ausgesteuert werden. Dann fließt ein Gitterwechselstrom von 0,08 mA, so daß in den Röhrenschußwiderständen 51 von 500 000 Ohm ein Spannungsabfall von $500\,000 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} = 40$ V stattfindet. Um diesen Betrag wird die Gitterwechselspannung weiter herabgesetzt, da der Gitterwechselstrom außerhalb der Röhre vom Heizfaden zum Gitter und in der Röhre vom Gitter zum Heizfaden (entgegen den Elektronen) fließt, also der Pluspol dieser 40 V am Heizfaden liegt.

Höchstlauf

Die Höchstspannungen treten an der Symmetriedrossel bei einer Verdrehung der Hüllkugel um mehr als etwa 5° aus der Ruhelage gegenüber der Kreiskugel auf.

Die Spannung beträgt dann 45 V an der Meßbrücke bei ausgeschalteter Glühlampe und auf der Zweifseite des VU $45 \cdot 30 = 1350$ V. Mit Glühlampe erreicht im gleichen Falle die Spannung an der Erftseite nur 10 V, also die EMK der Zweitwicklung $30 \cdot 10 = 300$ V. Der innere Spannungsabfall beträgt dann 180 V, da die Spannung an der Glühlampe 120 V nicht überschreiten kann.

Diese hohen Spannungen treten nur beim Einschalten der Übertragungsschalter 7 auf, wenn die Hüllkugel und Kreiskugel noch nicht in Normalstellung zueinander stehen, d. h. die Wendefontakte der Hüllkugel noch nicht auf 90 bzw. 270° der Kugel gegenüber den Staphitohletflächen des breiten Leitbandes stehen.

Ferner treten sie auf, wenn die Zuleitungen 30 und 31 von der Meßbrücke zu den Wendefontakten unterbrochen werden, oder wenn ganz allgemein die Nachdrehung durch den Nachdrehmotor verfaßt.

Das Kennlinienschaubild (Bild 40) zeigt den Betriebszustand im Falle dieser hohen Gitterwechselspannung bei schnellstem Lauf des Wendemotors.

Als Außenwiderstandskennlinie gilt die Kennlinie für 1059,5 Ohm (1122Ω ind. $-62,5 \Omega$ kap.) (Bild 37).

Der durch die Aussteuerung entstehende pulssierende Anodengleichstrom erreicht im Höchstwert 324 mA (Bild 40). Über den Anodenruhestrom ist ein verzerrter Wechselstrom gelagert, der eine Halbschwingung von 232 mA und eine verkürzte Halbschwingung von 92 mA hat. Für den Wendemotor wirksam ist demnach ein Wechselstrom mit gleich großen Halbschwingungen von je 162 mA. Man kann sich diesen verzerrten Anodenstrom zusammengesetzt vorstellen aus einem Gleichstrom mit dem Wert 162 mA und einem darüber gelagerten Wechselstrom von J_a höchst = 162 mA. Der Anodentrommesser für den Anodengleichstrom zeigt dementsprechend bei diesem Betriebszustand 162 mA an. Für jede Röhre beträgt dieser Anodengleichstrom 81 mA. Der Arbeitspunkt liegt jetzt bei 81 mA auf der Z_a -Kennlinie. Wie aus dem Kennliniensfeld ersichtlich ist, liegt er jedoch noch innerhalb der Hyperbel, die die Anodenleistung der Röhre begrenzt.

Die Anodenwechselspannung beträgt dementsprechend $\frac{348}{2} = 174$ V^{höchst}. Der Verstärker liefert also eine ausgesteuerte Leistung von

$$\frac{J_{ah} \cdot U_{ah}}{2} = \frac{174 \cdot 162}{2} = 14,2 \text{ W}$$

Die Bremsröhre

Um ein Anspringen des Wendemotors schon bei geringsten Spannungsunterschieden zwischen den Punkten 30 und 31 der Meßbrücke zu erreichen, wird die Aussteuerung des Verstärkers mit dem Spannungsteiler am Eingangübertrager sehr empfindlich eingestellt. Hierbei würde ein Pendeln des Wendemotors eintreten. Dieses Pendeln wird jedoch durch eine auf der Achse des Wendemotors sitzende Wirbelstrombremse unterdrückt.

Die Bremse besteht aus einem Kurzschlußanker, der sich in einem Gleichstromfeld bewegt, wobei die Bremswirkung von der Drehgeschwindigkeit und der Stärke des Feldes, d. h. dem Feldstrom, abhängt.

Im Kurzschlußanker der Bremse wird beim Drehen eine EMK induziert, deren Größe vom Kraftfluß und der Drehgeschwindigkeit abhängt. Diese EMK bringt einen Strom zum Fließen, der nach dem Lenzschen Gesetz seine Entstehungsursache, die Drehbewegung, zu hemmen sucht. Je geringer nun die Drehgeschwindigkeit ist, um so geringer ist die EMK, also auch der Strom und die Bremswirkung.

Diese elektromagnetische Bremswirkung hat vor mechanischen Bremsen den Vorteil, daß sie dem Wendemotor gestattet, bei kleinstem Drehmoment langsam in die genaue Lage einzudrehen, auch wenn die Bremse durch Zunahme des Feldstromes schon in Tätigkeit getreten ist.

Der Strom für das Feld der Bremse wird von einer Bremströhre AD 1 so gesteuert, daß er bei ausgesteuertem Verstärker zu Null wird und damit das Gleichstromfeld verschwindet, wodurch die Bremswirkung aufgehoben wird. Bei nicht ausgesteuertem Verstärker fließt ein Ruhestrom von bestimmter Größe.

Der Anodenstromkreis (Bild 32) für die Bremströhre führt vom Graetzgleichrichter über einen Glättungs- und Spannungserabsetzungswiderstand 48 zur Anode der Bremströhre 47. Hinter dem Widerstand liegt ein Kondensator 32 zur Glättung des Stromes. Von der Anode fließt der Strom durch die Röhre zum Heizfaden, dann über einen Bremsstrommesser 49 und einen Kontakt a_1 des Umschalterrelais und die vierpolige Bremswicklung 43 und von hier zum Minuspol des Gleichrichters 39. Da die Bremswicklung einen Widerstand von 1850 Ohm besitzt, hat die Bremströhre als Außenwiderstand $1850 + 1500 = 3350$ Ohm. Im Ruhezustand ist das Gitter spannungslos, also $U_g = 0$. Aus dem Kennlinienfeld für die Röhre AD 1 (Bild 41) ergibt sich der Arbeitspunkt hier nach bei einer Gleichrichterspannung von 322 V dadurch, daß diese volle Spannung beim Strom $J_a = 0$ A an der Röhre anliegt. Es ist der Punkt 322 V auf der Abszisse, da hierbei der Strom $J_a = 0$ ist. Fließt nun ein Anodenstrom, so treten in den Widerständen von insgesamt 3350 Ohm Spannungsverluste $J_a \cdot 3350$ auf, die die Anodenspannung für die Röhre herabsetzen. Die Widerstandskennlinie 3350 Ohm wird also durch den Punkt $U_a = 322$, $J_a = 0$ gezogen. Sie trifft die Kennlinie für $U_g = 0$ im Punkte $U_a = 71$ V, $J_a = 75$ mA. Dies ist der Arbeitspunkt bei wirksamer Bremse. Der Bremsstrom beträgt 75 mA. Erhält das Gitter eine negative Spannung von -83 V, dann wird der Strom nach dem Kennlinienfeld gleich Null, wodurch das Bremsfeld verschwindet und damit die Bremse gelüftet ist.

Zum Aussteuern des Gitters der Bremströhre wird die an der Drehphase des Wendemotors anliegende Spannung benutzt (Bild 42). Vor dem Sperrkondensator 34 von 2 Mikrofarad zweigt eine Leitung über einen weiteren Sperrkondensator 52 von 0,002 Mikrofarad ab. Dann folgt eine Sperrzelle 55, die den Strom nur in einer Richtung fließen läßt. Der weitere Stromweg geht über die Bremswicklung zur Kathodensammelleitung, an der auch der Ausgang, Punkt 13, der Drehphasenwicklung liegt. Der Gitteranschluss vor der Sperrzelle 55 hat nahezu das gleiche Potential wie der Eingang (Punkt 14) der Drehphase.

Wird der Verstärker ausgesteuert, so fließt der Anodenstrom durch die Drehphase. Bei der Halbwelle, die ihr positives Potential (+) am Punkt 14 hat, kann ein Strom durch die Sperrzelle fließen (Bild 43). Es entsteht an ihr nur ein geringer, innerer Spannungsabfall, da der Abzugstrom über den Kondensator 52 sehr gering ist. Der sehr kleine Sperrkondensator 52 mit 0,002 μ F begrenzt den Stromfluß bei der nicht gesperrten Wechselstromhalbwelle, da er einen Wechselstromwiderstand von 250 000 Ω bei 333 Hz hat. Wäre er nicht vorhanden, so würde ein größerer Stromfluß in der Sperrzelle einen höheren inneren Spannungsabfall $u_i = J_r$ verursachen, der als positive Gitterspannung auftreten und die Aussteuerung nach negativen Werten durch die zweite Wechselstromhalbwelle stören würde. Kommt nun die nächste Halbwelle, deren positives Potential (+) an 13 liegt, so sperrt die Sperrzelle. Der Stromkreis ist durch die Sperrzelle unterbrochen $R = \infty$, und es liegt die Spannung der Drehphase (vermindert um den Spannungsabfall im Kondensator 34) mit dem negativen Potential am Gitter.

Da die Spannung sehr stark pulsiert (Bild 43), wäre die Bremse noch nicht so lange gelüftet, wie eingefallen. Der Bremsstrom und damit die Bremswirkung wird erst unwirksam, wenn die negative Gitterspannung einen Wert von etwa 80 V erreicht hat. Um das Bremsfeld dauernd zu Null zu machen, wird die Spannung am Gitter mittels Glättungswiderstand 54 und Glättungskondensator 53 geglättet. Die Glättung erfolgt nach einer Kurve ähnlich dem Dösjilogramm (Bild 22e).

Aus dem Kennlinienfeld für die Verstärkerröhre AD 1 (Bild 41) ist ersichtlich, daß bei Verdrehung der Hüllfugel um mehr als 5° aus der Normalstellung heraus eine Wechselspannung von 174 V an der Drehphase anliegt. Diese ist auch nach Abzug der Glättungsverluste noch gut ausreichend, um den Bremsstrom zu Null zu machen, da hierzu nur 85 V benötigt werden.

Beim Anlauf hat der Wendemotor nur eine geringe Spannung von 7 V, dann geht der Bremsstrom (Bild 41) nur auf etwa 68 mA zurück. Es findet also noch eine Bremsung statt, die trotz des starken Feldes nicht sehr wirksam ist, weil der Wendemotor bei dieser geringen Spannung und damit auch der Kurzschlußanker der Bremse eine kleine Drehgeschwindigkeit erreicht haben. Die Bremsung wird jedoch sofort sehr stark, wenn der Wendemotor zu pendeln beginnt, da dann auch die Drehgeschwindigkeit des Kurzschlußankers zunimmt.

Störungen am E Kompaßverstärker

Treten Störungen am Verstärker auf, so kann dieser durch Herausnehmen der Sicherungen für den Betriebswandler stromlos gemacht werden. Dadurch wird der Anodenstrom zu Null und das Umschalterrelais schaltet auf unverstärkten Betrieb, so daß die E Kompaßanlage mit Töchtern in Betrieb bleiben kann.

Der Verstärkereinsatz kann beim A Verstärker nach Lösen der Verbindungsdrähte zum Vermittler herausgenommen und untersucht werden. Der 12 W Verstärker ist mit Messerkontakten eingeseht, so daß ein Lösen der Verbindungsdrähte nicht erforderlich ist.

Durch einen Wechseltkontakt am Umschalterelais werden Lampen eingeschaltet, die die Stellung des Umschalterelais anzeigen. Fällt der Anodenruhestrom der Röhre aus, so schaltet das Umschalterelais die Drehphase an die Bräudenpunkte A (30) und B (31) direkt, so daß der Betrieb des Wendemotors ohne Verstärkung erfolgt.

Die vom Umschalterelais gesteuerten Signallampen zeigen nur an, daß der Anodenruhestrom beim A Verstärker unter 8 mA, beim 12 W Verstärker unter 15 mA gesunken ist. Es werden durch diese Signallampen also nicht alle Störungen am Verstärker angezeigt, so daß die noch vorhandenen Meßgeräte und Sicherungen überwacht werden müssen.

1. Schlagen die Sicherungen für den Betriebswandler durch, oder wird die Zuleitung zum Betriebswandler unterbrochen, so wird dieser stromlos. Die Anodenspannung der Röhre und der Heizstrom werden zu Null. Der Anodenstrom geht auf Null zurück und das Umschalterelais schaltet die Drehphase auf unverstärkten Betrieb. Gleichzeitig wird durch den Umschaltekontakt beim A Verstärker die Lampe „Verstärkung ein“ ab und die Lampe „Verstärkung aus“ eingeschaltet. Beim 12 W Verstärker ist die Lampe „Verstärkung ein“ nicht vorhanden. Dort leuchtet nur die Lampe „Verstärkung ausgefallen“ auf.
2. a) Wird die Verstärkerröhre taub, so sinkt der Anodenstrom ab. Die Empfindlichkeit des Verstärkers wird herabgesetzt, so daß die taubgewordene Röhre beim Unterschreiten von 20 mA beim A Verstärker und 60 mA beim 12 W Verstärker bei Betrieb mit beiden Röhren ausgetauscht werden muß.
b) Geht der Anodenstrom sehr stark zurück, auf unter 8 mA beim A Verstärker und 15 mA beim 12 W Verstärker, so schaltet das Umschalterelais auf unverstärkten Betrieb, wobei die betreffenden Signallampen aufleuchten. Das A Relaiskontakt unterbricht den Bremsstromkreis. Die Bremse ist nicht erforderlich, da der Wendemotor bei unverstärktem Betrieb nicht pendelt.
3. Brennt der Heizfaden der Verstärkerröhren durch, so werden die betreffenden Röhren sofort stromlos. Beim A Verstärker zeigt der Anodenstrommesser auf Null und das stromlos gewordene Umschalterelais schaltet auf unverstärkten Betrieb, die Signallampe „Verstärkung aus“ leuchtet auf. Der Spannungsmesser am Eisenwasserstoffwiderstand zeigt in diesem Falle 1—2 V an.

Beim 12 W Verstärker zeigt das Schanzeichen im Anodenstromkreis der betreffenden Röhre nicht mehr an. Das Umschalterelais schaltet nicht um, da es noch den Anodenstrom der zweiten Röhre erhält. Der Anodenstrommesser zeigt 46 mA.

4. Beim A Verstärker wird der Heizstrom durch den Eisenwasserstoffwiderstand geregelt. Brennt dieser durch, so wird der Heizstrom unterbrochen. Die Spannung am Eisenwasserstoffwiderstand steigt auf die Höhe der Heizwicklungsspannung = 12 V. Da die Heizung wegfällt, wird der Anodenstrom zu Null und das Umschalterelais schaltet auf „unverstärkt“.
5. Schlägt eine Anodenstromsicherung beim 12 W Verstärker durch, so wird der Anodenstromkreis der betreffenden Verstärkerröhre unterbrochen. Das Anodenstromschanzeichen verschwindet und der Anodenstrommesser zeigt nur noch den Strom einer Röhre = 46 mA an.
6. Ist der Verstärker zu empfindlich angesteuert, so beginnt der Wendemotor zu pendeln. Die am Spannungsteiler an der Zweitseite des Eingangsübertragers abgegriffene Spannung für das Gitter muß verringert werden. Beim A Verstärker wird die zwischen Verstärkerröhre und Eisenwasserstoffwiderstand befindliche Kappe über den Spannungsteilerwiderständen entfernt und der rechte Widerstand gegen einen Widerstand geringerer Ohmzahl ausgetauscht. Hierbei ist zu beachten, daß die Summe beider Widerstände immer 500 000 Ohm ergeben muß. Bei den neueren Verstärkern befindet sich ein Spannungsteiler an Stelle dieser beiden Widerstände, der mittels Schraubenzieher geregelt werden kann.

Der 12 W Verstärker hat ebenfalls einen Spannungsteiler, der mittels Schraubenzieher regelbar ist und sich neben der linken Verstärkerröhre befindet.

7. Der 12 W Verstärker wird sehr empfindlich angesteuert, um ein sofortiges Ansprechen des Wendemotors und damit genauestes Nachdrehen der Hüllkugel und Einstellen der Tochterkompasse zu erzielen. Fällt die Bremsröhre aus, so geht der Bremsstrom auf Null zurück, der Bremsstrommesser zeigt nicht mehr an und der Wendemotor pendelt.

Ein Ausfall der Bremse kann eintreten beim Durchbrennen des Heizfadens der Bremsröhre oder durch Unterbrechung des Bremsstromkreises. Die Unterbrechung kann auch durch Verlagen des im Bremsstromkreis liegenden A Relaiskontaktes verursacht werden.

Dieser Kontakt hat den Zweck, beim Umschalten auf unverstärkten Betrieb auf jeden Fall die Bremse abzuschalten, da sonst der Wendemotor nur sehr schleppend wegen der Bremswirkung nachdrehen würde. Die Bremse wird nur dann beim Lauf des Wendemotors gelöst, wenn die Drehphase Spannung vom Verstärker erhält.

8. Der Anodenstromkreis wird zwischen Anodendrossel und Verstärkerröhren oder Kathodenfammelleitung und Anodenstrommesser unterbrochen. Das A Relais schaltet um auf unverstärkten Betrieb. Der A Relaiskontakt im Bremsstromkreis versagt und öffnet nicht. Da das Gitter der Bremsröhre jetzt nicht mehr an der Spannung des Wendemotors liegt, bleibt die Bremse ständig wirksam, der Wendemotor dreht nur schleppend nach. Durch Entfernen der Sicherung des Betriebswandler wird dieser stromlos, so daß der Bremsstrom zu Null wird.
9. Treten Störungen im Gitterstromkreis der Bremsröhre auf, so dreht der Wendemotor nur sehr schleppend nach, da er den Anker der Bremse im starken Bremsfeld drehen muß. Der Gitterstromkreis kann durch Unterbrechung oder Versagen der Sperrzelle gestört werden. In diesem Falle muß auf unverstärkten Betrieb geschaltet werden, durch Herausnehmen der Sicherung für den Betriebswandler.
10. Fällt der Drosselpeiseträsa aus, wegen Durchschlagens der Sicherung oder sonstiger Unterbrechung, so findet eine Phasendrehung des Stromes für die Drehphase statt. (Siehe Oszillogramm Bild 44a und b). Diese Phasendrehung kommt dadurch zustande (Bild 44c und d), daß statt der in den Speisefreis der Wechselstrombrücke hineininduzierten Spannung von 50 V, die phasengleich mit der an der Brücke liegenden Spannung ist, nunmehr in dieser stromlos gemordenen Bildung ein induktiver Widerstand auftritt, der eine Phasenverschiebung von etwa 60° bewirkt (Bild 44 u. 44h). Da der Drosselpeiseträsa ein Sparumspanner ist, hat die Gesamtspannung an der Brücke eine bestimmte, zeitliche Lage zu den anderen Spannungen des Drehstromes, die mit der Lage der Phase 3 übereinstimmt (Bild 44c). Fällt jedoch die in einem Teil der Zweitwicklung erzeugte Spannung von 50 V fort, so werden diese Windungen als induktiver Widerstand sehr stark wirksam, da der Kraftfluß durch den Eisenkern des Drosselpeiseträsa geschlossen ist. Würde der gleiche Strom fließen, so würden hier 50 V Blindspannung induziert (Bild 44d). Wegen des hohen induktiven Widerstandes wird jedoch der Strom kleiner, er sinkt von 190 bis 210 mA auf etwa 28 mA, so daß die Ohmsche Spannungsabnahme kleiner wird. Der Strom J_2 hat also eine Phasenverschiebung von 4φ gegen vorher. Da der Wendemotor ein 2 Phasenmotor ist, hat er sein bestes Drehmoment, wenn beide Phasenströme zeitlich 90° Phasenverschiebung haben. Dies ist auch erreicht, wie aus den Oszillogrammen (Bild 46) ersichtlich ist. Das Zeigerschaubild (Bild 45) hierzu gibt diese Phasenverschiebung wieder. Die Spannung der Drehphase hat 138° Phasenverschiebung gegenüber dem Strom der Symmetriedrossel. Dieser Winkel ist auch aus dem Zeigerschaubild für die Wechselstrombrücke zu ersehen. Zwischen U_{Dr} und J_{Dr} bestehen laut Oszillogramm 90° Phasenverschiebung. Da J_2 und $J_{Festph.}$ einen Phasenwinkel von 45° bilden, bleibt als Phasenwinkel zwischen J_{Dr} und $J_{Festph.}$

$$360 - (138 + 90 + 45) = 87^\circ.$$

Fällt der Drosselpeiseträsa aus, so tritt die oben erwähnte Phasennäherung von 60° auf, so daß die Phasenverschiebung zwischen J_{Dr} und J_2 sich um den gleichen Betrag verringert. Der Wendemotor erhält bei gleicher Verdrehung der Hüllkugel nicht nur geringeren Strom in der Drehphase (siehe Oszillogramm Bild 4), sondern die Phasenverschiebung wird auch noch ungünstiger für seinen Betrieb (Bild 44). Hierdurch beginnt der Wendemotor zu schleppen und die Tochterkompasse stellen sich mit verminderter Genauigkeit auf den Kurs der E Kompaßkugel ein.

11. Eine der beiden Sicherungen für die Erstwicklung der Phasendrossel ist durchgeschlagen. Die Phasendrossel hat den Zweck, die Phasenlage des Stromes für die Festphase um einen bestimmten Winkel 4φ vorzudrehen, damit die Ströme der Drehphase und der Festphase 90° Phasenverschiebung zueinander haben (Bild 46). Zu der Spannung 2—0 der Festphase wird die dazu um 90° zeitlich verschobene Spannung U 3—1 hinzugefügt. Dies geschieht in einem Umspanner (Phasendrossel) (Bild 46). Je nach den Abgriffen der einzelnen Spannungen kann die Phasenlage um beliebige Winkel gedreht werden. Das Oszillogramm (Bild 46) zeigt die zeitliche Lage der Ströme J_2 der Festphase und J_{Dr} der Drehphase. Sie liegen beinahe gleichphasig. Das Drehmoment des Wendemotors hat einen ungünstigen Wert. Der Wendemotor schleppt. Bild 46 zeigt die Phasenlage der Ströme mit Phasenwähler. Hieraus ist ersichtlich, daß eine Phasenverschiebung von 90° besteht. Schlägt also eine Sicherung der Phasendrossel durch, so schleppt der Wendemotor und stellt sich auch entsprechend ungenau ein, da sein Drehmoment kleiner gemordnen ist. Da das Durchschlagen dieser Sicherungen nicht angezeigt wird, müssen die Sicherungen überwacht werden.
12. Die Leitung vom Trodengleichrichter zum Ladefondensator wird unterbrochen. Aus dem Oszillogramm (Bild 22c) ist zu ersehen, daß dann die Anodenpannung um etwa $\frac{1}{2}$ ihres Wertes herabsinkt, damit wird gleichzeitig der Anodenstrom kleiner und der Anodenstrommesser zeigt beim A Verstärker statt 30 mA nur noch 20 mA und beim 12 W Verstärker statt 92 mA etwa 60 mA an, auch wenn eine neue Röhre eingeseht worden ist. Ferner ist ein singender Ton zu vernehmen, der von den Obwellen herrührt, die jetzt stärker auftreten.

13. Der Überbrückungskondensator ist durchgeschlagen. Hierdurch werden das Umschalterrelais, der Anodenstrommesser und der 1000 Ohm Widerstand beim A Verstärker stromlos. Das Umschalterrelais schaltet auf unverstärkten Betrieb. Da jedoch die negative Vorspannung für die Verstärkerröhre zu Null geworden ist, fließt ein hoher Anodenstrom, obwohl der Anodenstrommesser nichts anzeigt, da er kurzgeschlossen ist. Durch den hohen Anodenstrom wird die Verstärkerröhre überlastet und der Heizfaden zerstört.

Beim 12 W Verstärker äußert sich diese Störung nur dadurch, daß das Schanzeichen der Verstärkerröhre, deren Überbrückungskondensator durchgeschlagen ist, dunkel wird. Der Anodenstrommesser zeigt jetzt nur den Strom für eine Verstärkerröhre mit 46 mA an. Die andere Verstärkerröhre wird überlastet, wie beim A Verstärker. Die Anodenstromsicherung dieser Röhre schützt diese nicht, da sie durch den Überbrückungskondensator kurzgeschlossen wurde.

14. Die Leitung zum Überbrückungskondensator wird unterbrochen. Hierdurch tritt eine volle negative Rückkopplung an den Gittervorspannwiderständen auf. Hierbei wirkt besonders stark das Umschalterrelais, da dessen Induktivität für den ausgesteuerten Anodenwechselstrom einen sehr großen Widerstand hervorruft. Beim A Verstärker bleibt die Röhre im Betrieb und der Anodenruhestrom fließt weiter, so daß das Umschalterrelais nicht umschaltet. Da jedoch nur ein sehr kleiner Anodenwechselstrom wegen der Rückkopplung fließt, erhält die Drehphase zu wenig Strom und der Wendemotor kann nicht anlaufen. Somit ist die gesamte Nachdrehung gestört. Es muß das Umschalterrelais stromlos gemacht werden durch Ziehen der Sicherung für den Betriebswandler, wodurch die Anodenspannung zu Null gemacht wird.

Da beim 12 W Verstärker 2 Röhren vorhanden sind, bleibt die 2. Röhre im Betrieb. Der gesamte Anodenruhestrom behält seinen Wert bei. Jedoch steigt er beim vollen Aussteuern des Verstärkers nicht auf den oben genannten Wert von 162 mA, sondern nur auf etwa 107 mA. Wird die zweite Röhre herausgenommen, so erfolgt beim Aussteuern keine Drehung des Wendemotors mehr, obwohl ein Anodenruhestrom von 46 mA angezeigt wird.

15. Der Sperrkondensator ist vorbelastet mit der Gleichspannung des Trodengleichrichters von rund 300 V, dazu kommt bei Betrieb noch die Anodenwechselspannung von etwa 100 V. Schlägt der Sperrkondensator durch, so drückt die Anodenspannung einen Gleichstrom durch die Drehphase des Wendemotors. Da diese nur einen geringen Gleichstromwiderstand besitzt, so wird der Strom sehr hoch werden. Damit werden der Trodengleichrichter, die Anodendrossel und die Drehphasenwicklung überlastet. Sie werden unzulässig erwärmt und können unbrauchbar werden. Durch den auftretenden hohen, inneren Spannungsverlust im Gleichrichter, sowie den zusätzlichen Spannungsverlust in der Anodendrossel wird die Spannung an der Verstärkerröhre herabgesetzt, so daß der Anodenstrommesser einen geringeren Strom als normal anzeigt.

Da der Wendemotor jetzt in der Drehphase keinen reinen Wechselstrom, sondern einen pulsierenden Gleichstrom erhält, dreht er sich bei Aussteuerung nicht mehr, oder nur sehr langsam. Man kann sich (Bild 47) den pulsierenden Gleichstrom aus einem Gleichstrom I und darübergelagerten Wechselstrom $i\omega$ zusammengesetzt denken. Der Wechselstrom $i\omega$ ruft das Drehfeld hervor. Der hohe Gleichstrom erzeugt ein starkes Gleichstromfeld, indem sich jetzt der Anker des Wendemotors drehen muß. Da dieser ein Eisenzylinder ist, so werden in ihm durch das hinzugekommene Gleichstromfeld wie bei einer Wirbelstrombremse Kurzschlussströme induziert, die eine Drehung hemmen bzw. gänzlich verhindern. Um wieder eine Übertragung zu erhalten, muß die Betriebswandler-Sicherung gezogen werden, wodurch der Verstärker und damit das Umschalterrelais stromlos werden, und der Wendemotor auf unverstärkten Betrieb geschaltet wird.

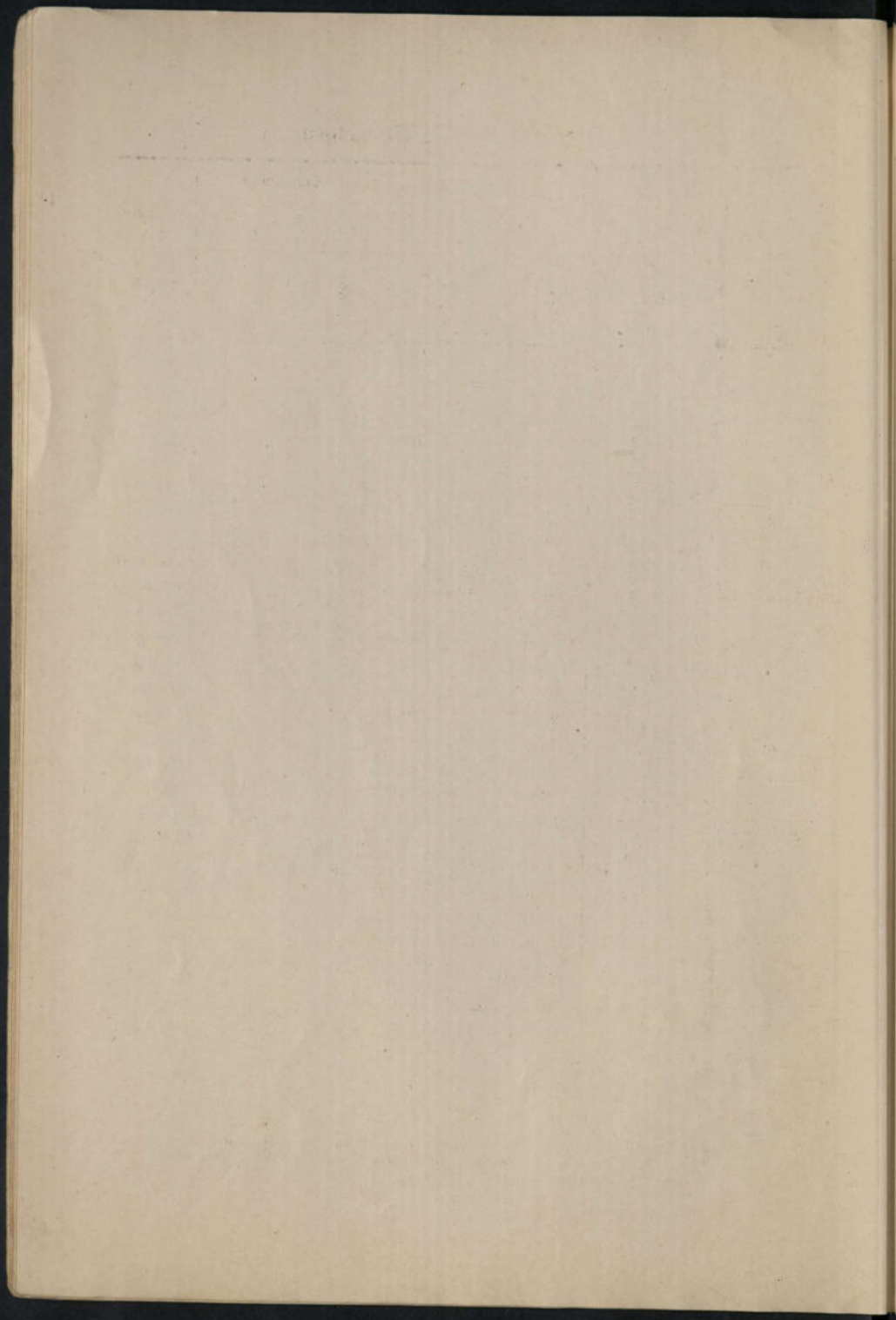
Übersicht über die Störungen

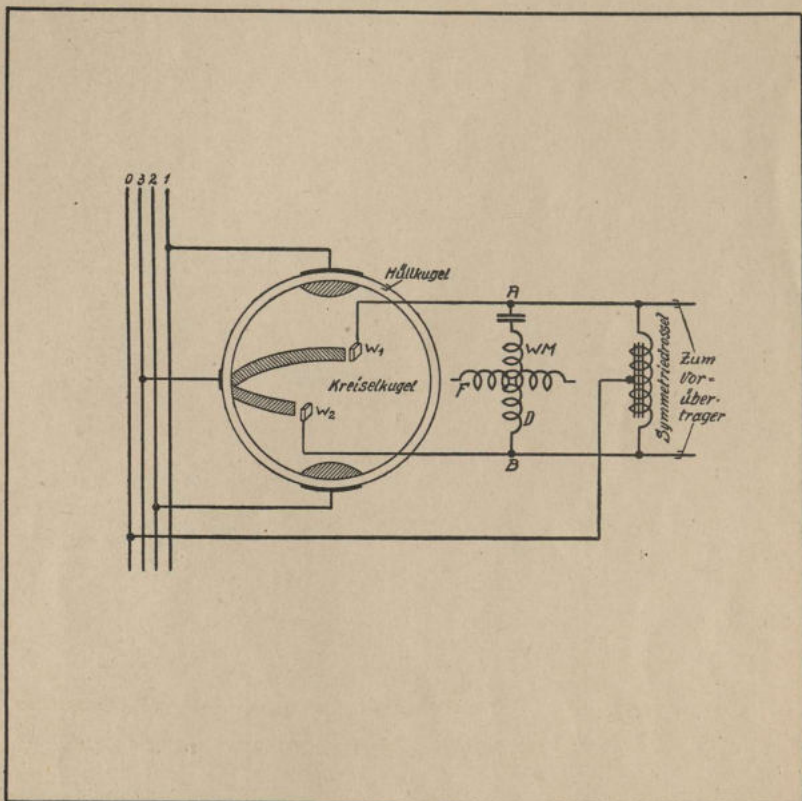
Nr.	Störung	Verstärker	Lampen:		Schauszahlen	Meßgeräte			Sicherungen			Betrieb des Wendemotors
			Verstärker			Anodenstrom	Heißspannungsmesser	Bremsstrommesser	Betriebswandler	Drosselkondensator	Phasenwähler	
			ein	aus								
1	A	×	+	—	×	×	—	×	+	—	—	unverstärkt
	12 W	—	+	××	×	—	×	×	+	+	++	unverstärkt
2	a) A	+	×	—	< 20 mA	7,5 V	—	+	+	—	—	schleppt
	12 W	—	×	++	< 60 mA	—	70/80	+	+	+	++	schleppt
	b) A	×	+	—	< 8 mA	7,5 V	—	+	+	—	—	unverstärkt
	12 W	—	+	++	< 15 mA	—	×	+	+	+	++	unverstärkt
3	A	×	+	—	×	1—2 V	—	+	+	—	—	unverstärkt
	12 W	—	×	××	46 mA	—	70/80	+	+	+	++	normal
4	A	×	+	—	×	12 V	—	+	+	—	—	unverstärkt
5	12 W	—	×	××	46 mA	—	70/80	+	+	+	××	verstärkt
6	A	+	×	—	schwankt	7,5 V	—	+	+	—	—	pendelt
	12 W	—	×	++	schwankt	—	schwankt	+	+	+	+	pendelt
7	12 W	—	×	++	schwankt	—	×	+	+	+	+	pendelt
8	12 W	—	+	××	×	—	70/80	+	+	+	+	schleppt
9	12 W	—	×	++	92 mA	—	70/80	+	+	+	+	schleppt
10	A	+	×	—	30 mA	7,5 V	—	+	×	—	—	schleppt
	12 W	—	×	++	92 mA	—	70/80	+	×	+	+	schleppt
11	12 W	—	×	++	92 mA	—	70/80	+	+	×	+	schleppt
12	A	+	×	—	20 mA	7,5 V	—	+	+	—	—	schleppt
	12 W	—	×	++	60 mA	—	rd. 50	+	+	+	+	schleppt
13	A	×	+	—	×	7,5 V	—	+	+	—	—	unverstärkt
	12 W	—	×	×+	46 mA	—	70/80	+	+	+	+	verstärkt
14	A	+	×	—	30 mA	7,5 V	—	+	+	—	—	steht
	12 W	—	×	++	92 mA	—	70/80	+	+	+	+	verstärkt
					ausgest. 107 mA		geht n. ganz auf Null					
15	A	+	×	—	< 30 mA	7,5 V	—	+	+	—	—	steht
	12 W	—	×	++	< 92 mA	—	70	+	+	+	+	steht

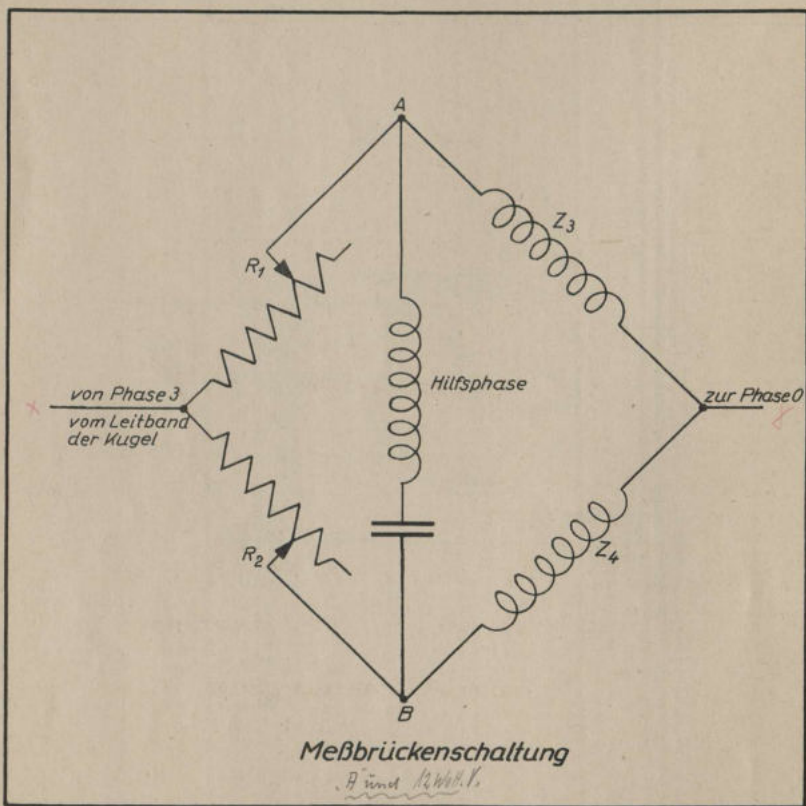
Zeichenerklärung: + Lampe brennt, Sicherung ist in Ordnung, Schauszahlen, Meßgerät zeigt an.

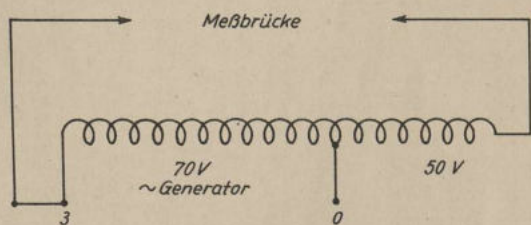
× Lampe dunkel, Sicherung ist durchgebrannt, Schauszahlen, Meßgerät zeigt nicht an.

— nicht vorhanden.







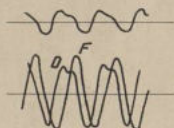


Drosselspeisetrafo

Spannung an Meßbr:

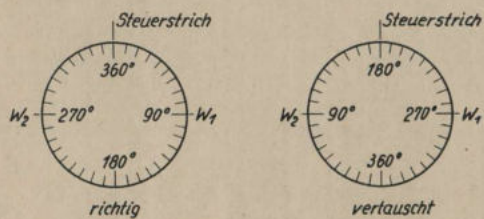
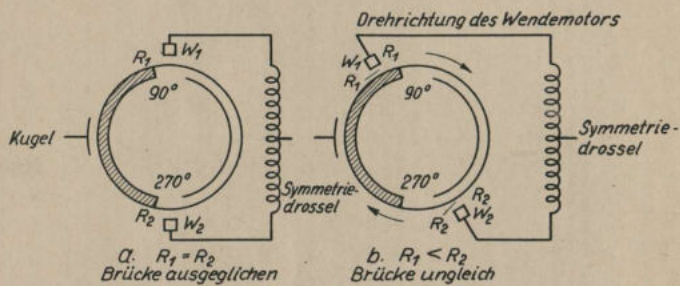
Drehphase
Festphase

ohne Drosselspeisetrafo

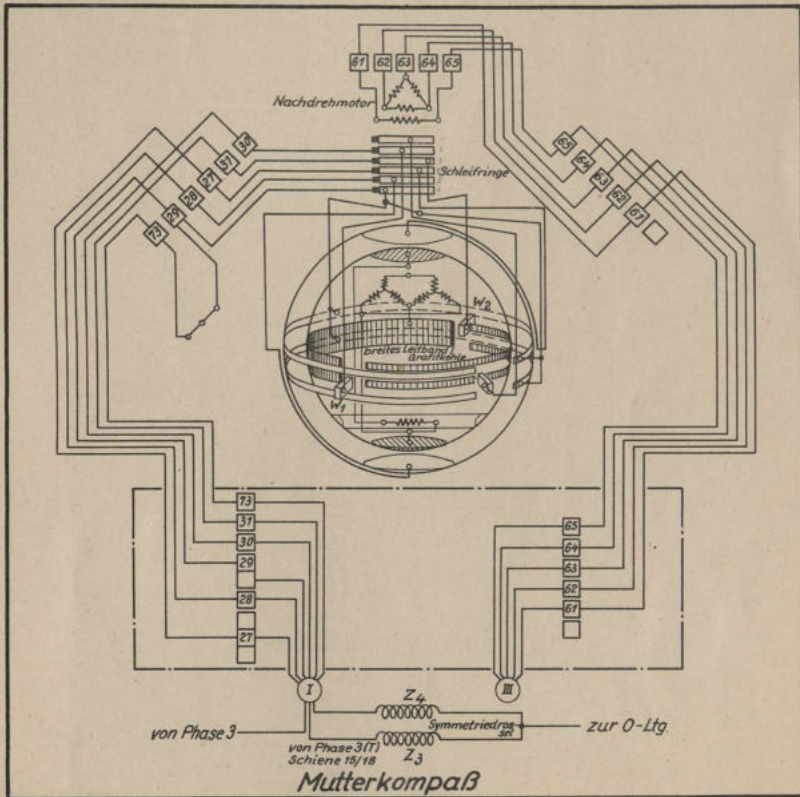


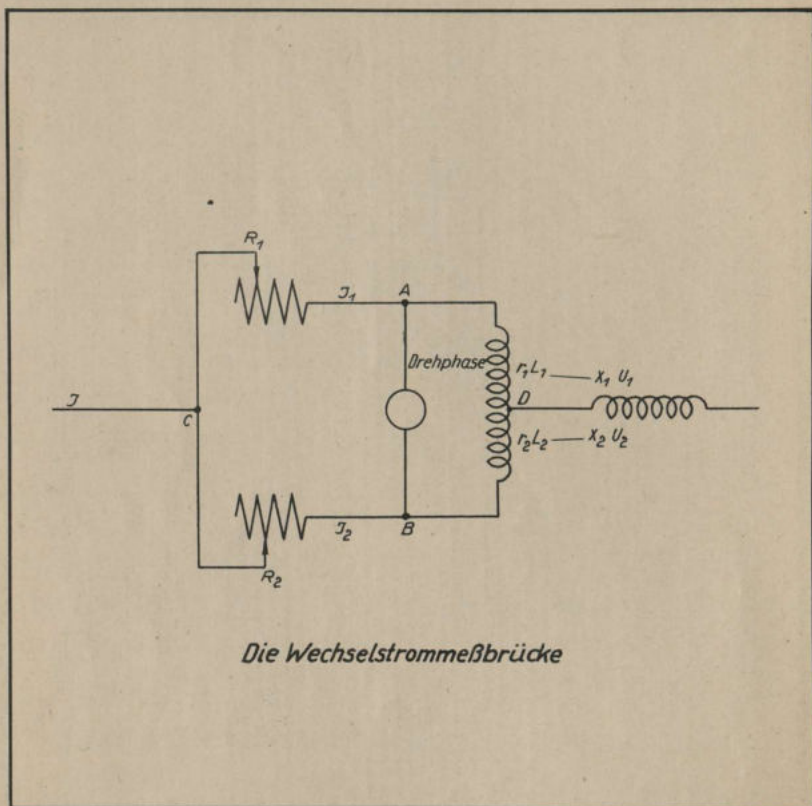
mit Drosselspeisetrafo

Wirkung des Drosselspeisetrafo

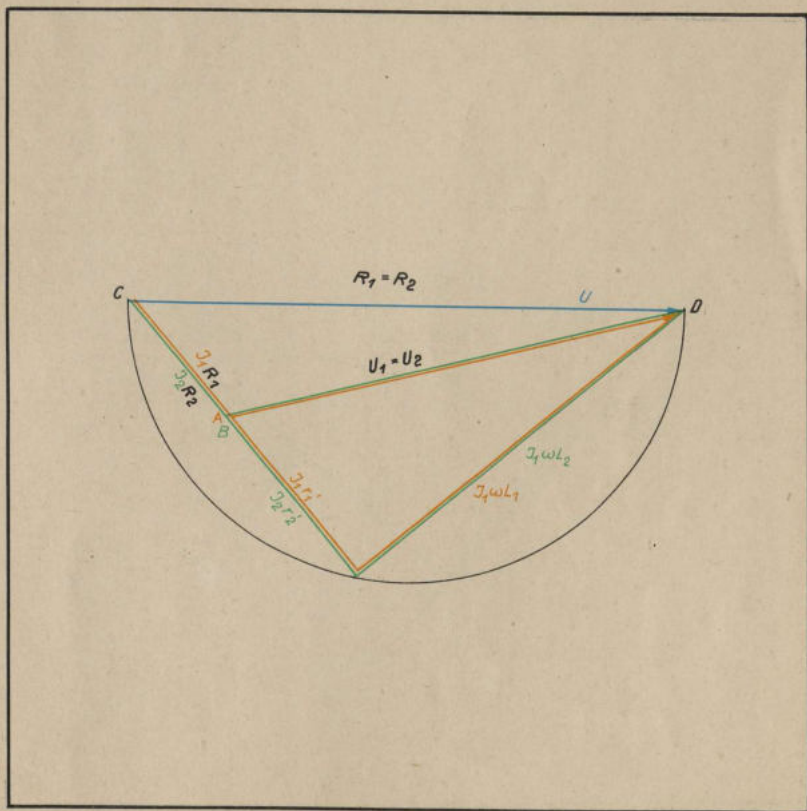


Phasenanschluß am Wendemotor

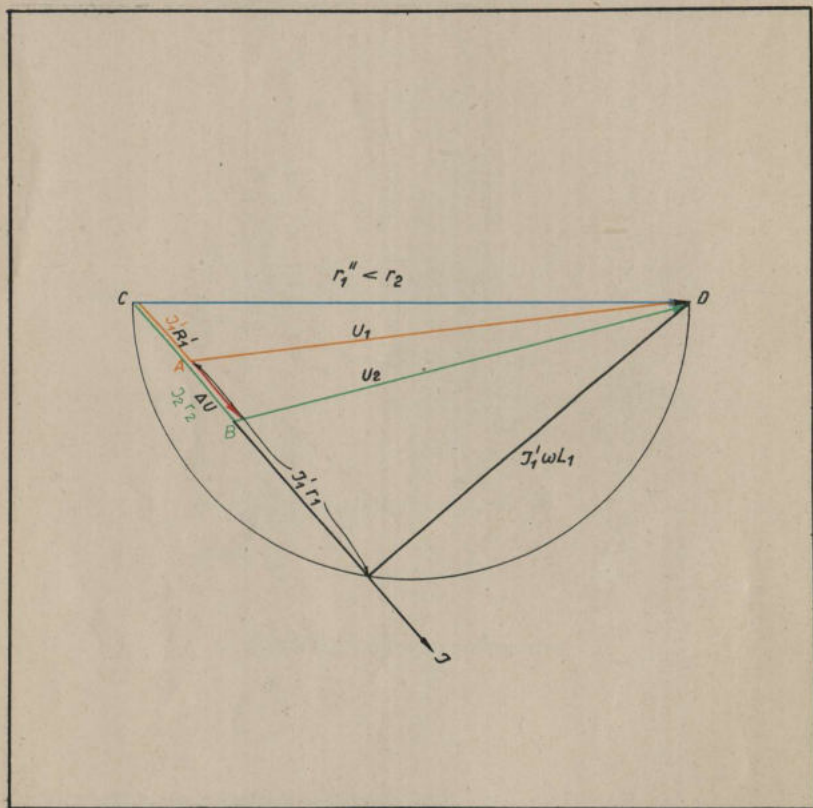


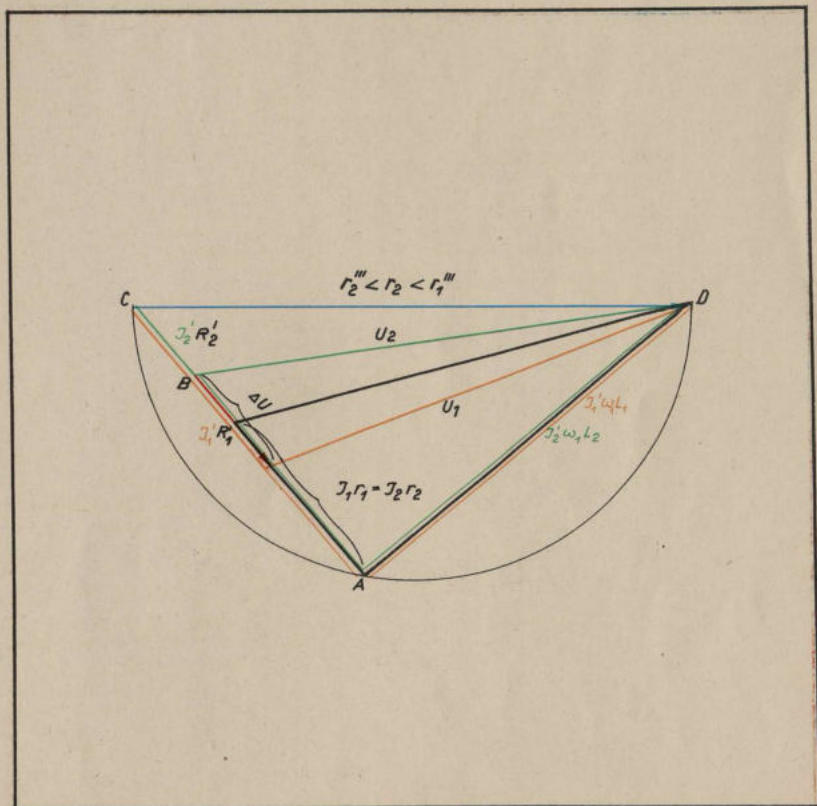


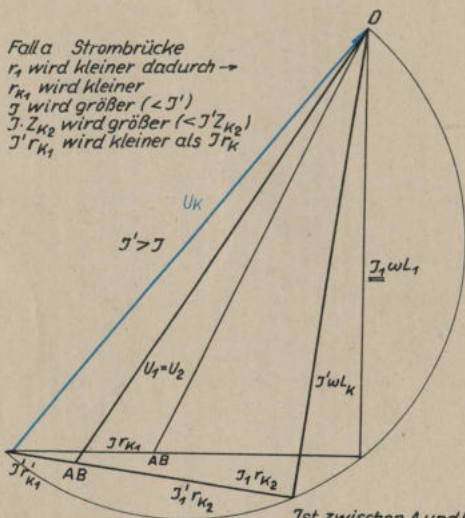
Die Wechselstrommeßbrücke



Bei voll als gekrümmte Ueßfläche tritt die Ph. Verk. 90°



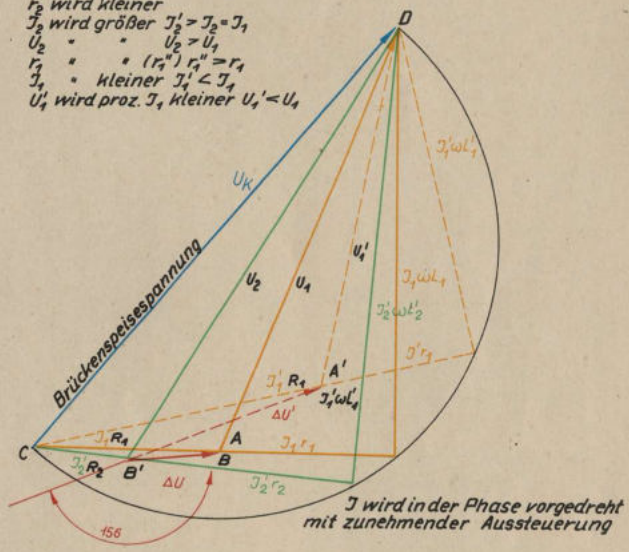


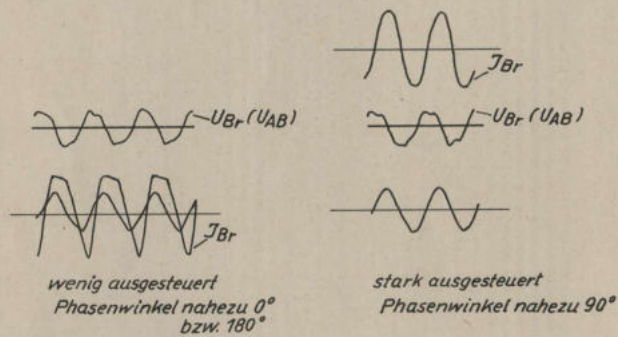


Ist zwischen A und B eine Verbindung
 vorhanden, so fließt in dieser der Stromunterschied
 entsprechend den Widerständen des r_{K1}

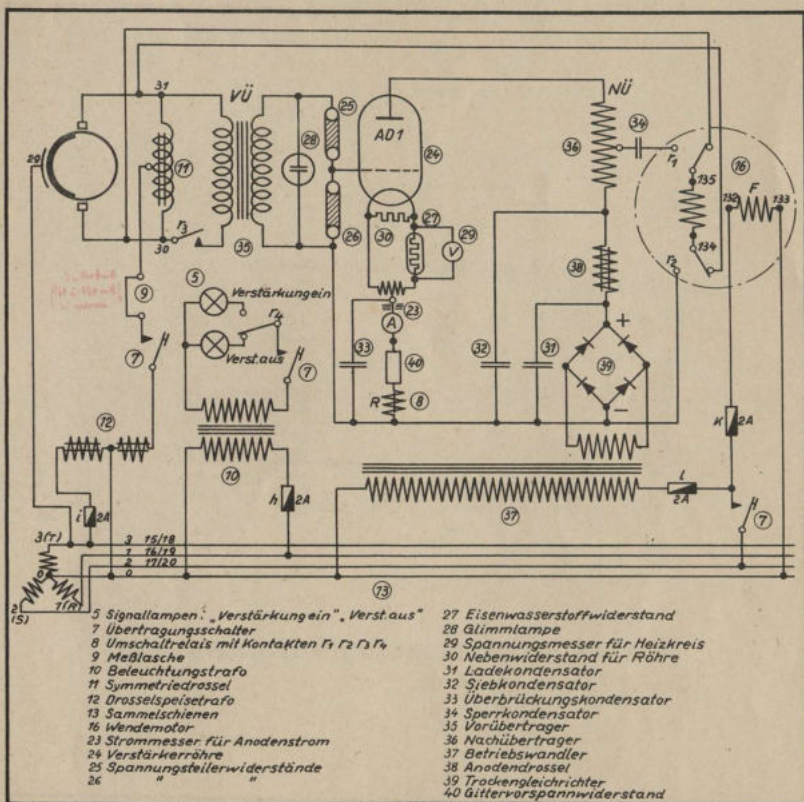
Fall b Spannungsbrücke

- r_2 wird kleiner
- J_2 wird größer $J_2' > J_2 = J_1$
- U_2 " " $U_2' > U_1$
- r_1 " " $(r_1'') r_1'' > r_1$
- J_1 " kleiner $J_1' < J_1$
- U_1 wird proz. J_1 kleiner $U_1' < U_1$

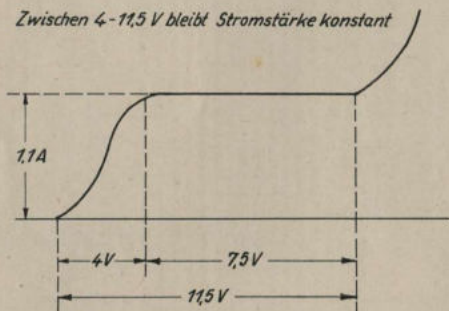




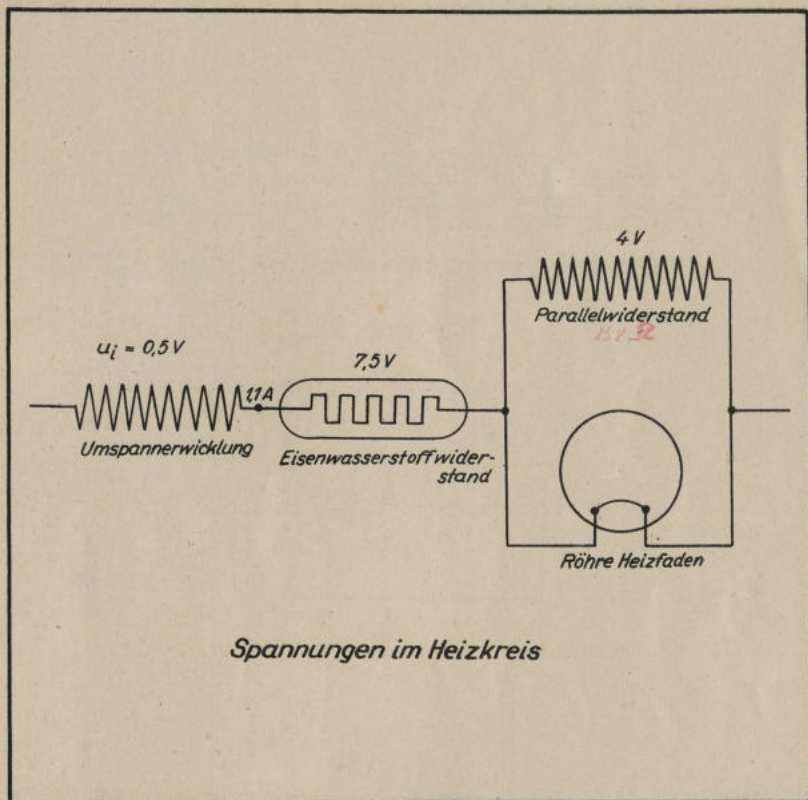
Änderung der Phasenlage bei angesteuerter Brücke

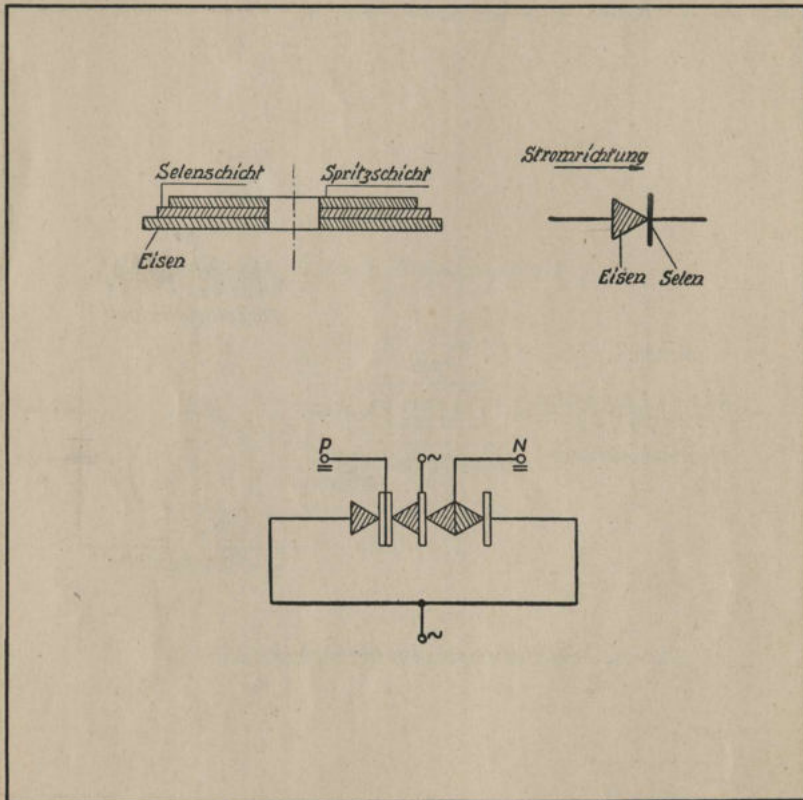


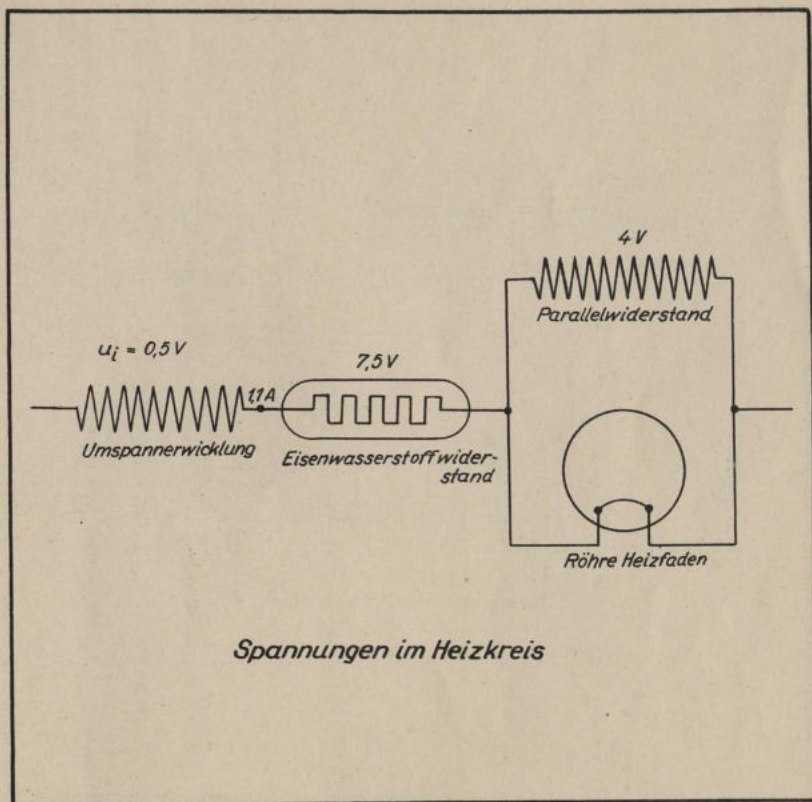
Zwischen 4-11,5 V bleibt Stromstärke konstant



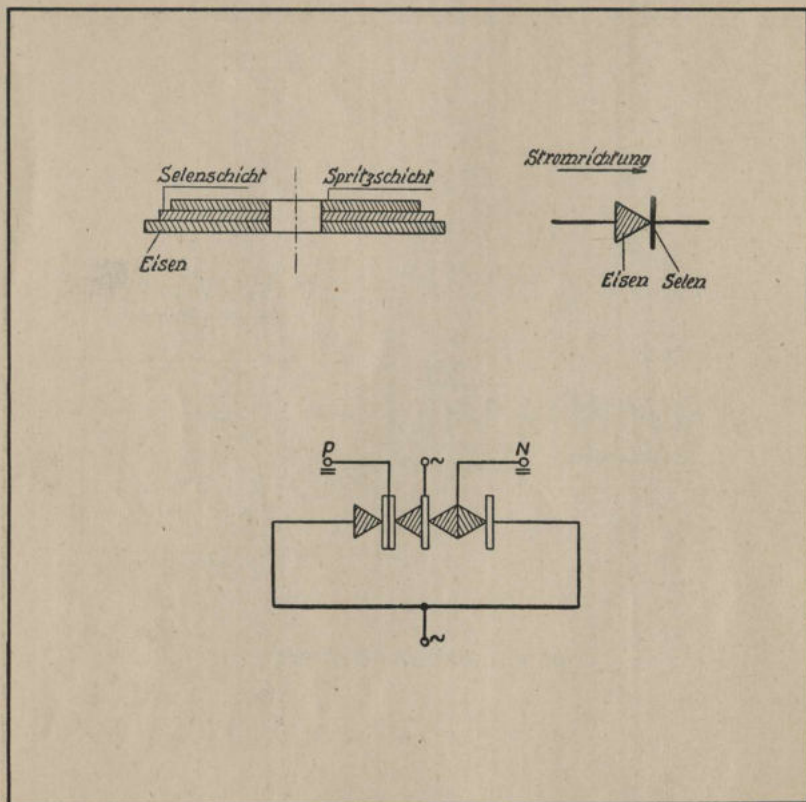
Kennlinie des Eisenwasserstoffwiderstandes

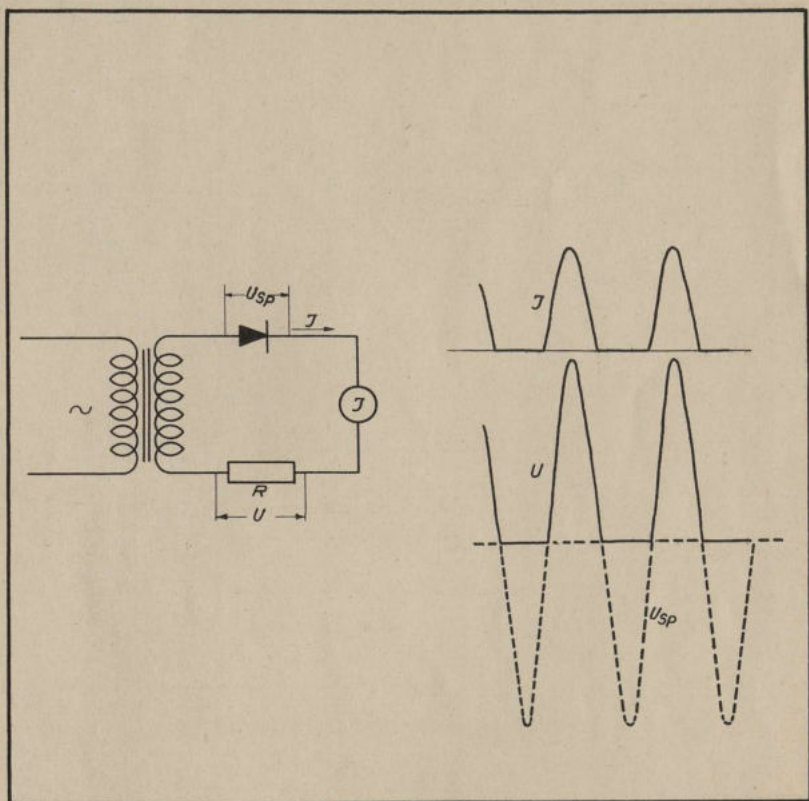


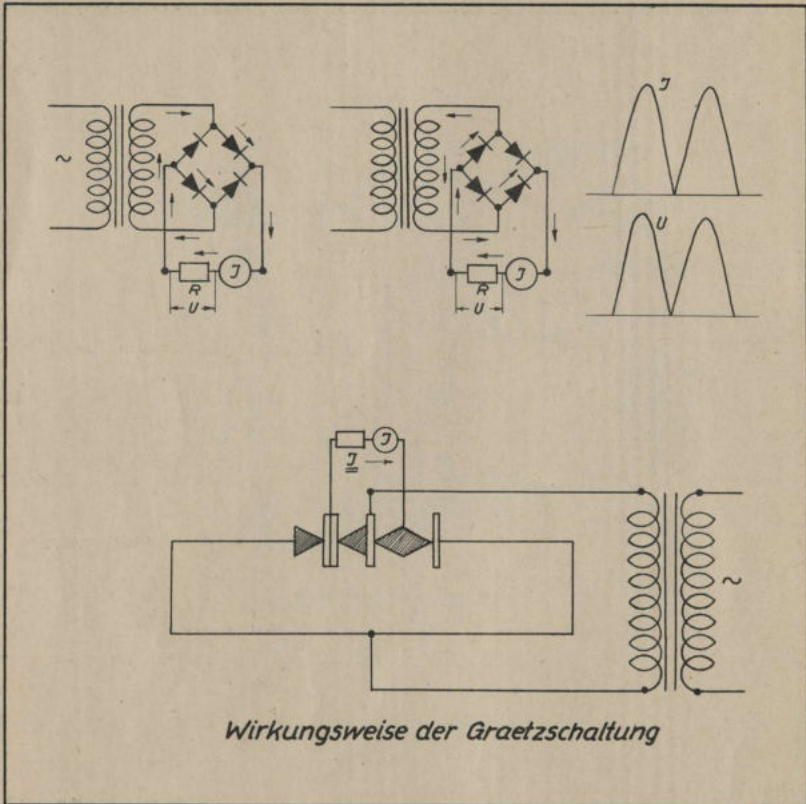


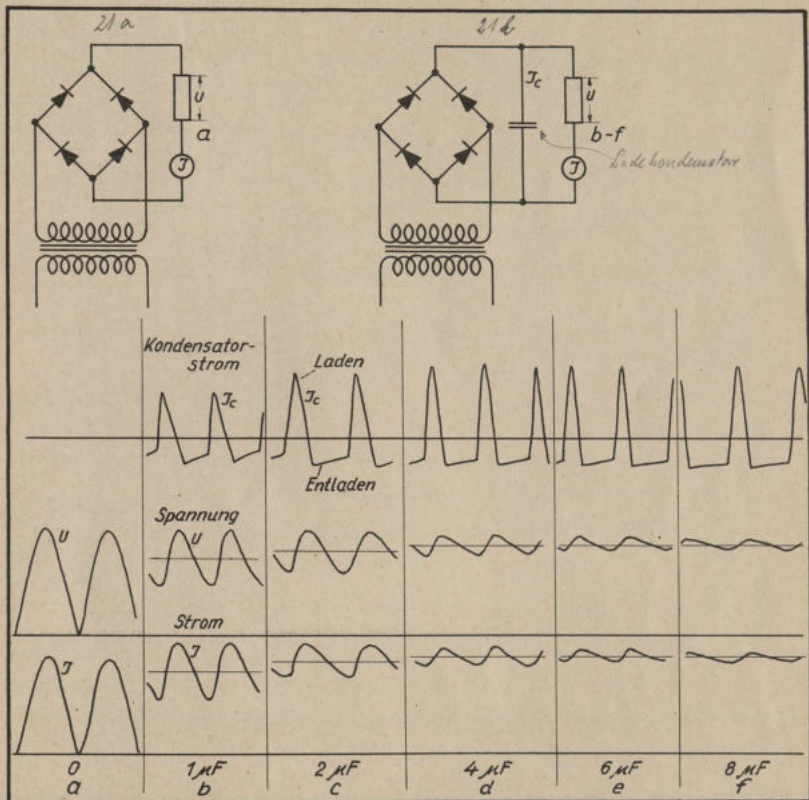


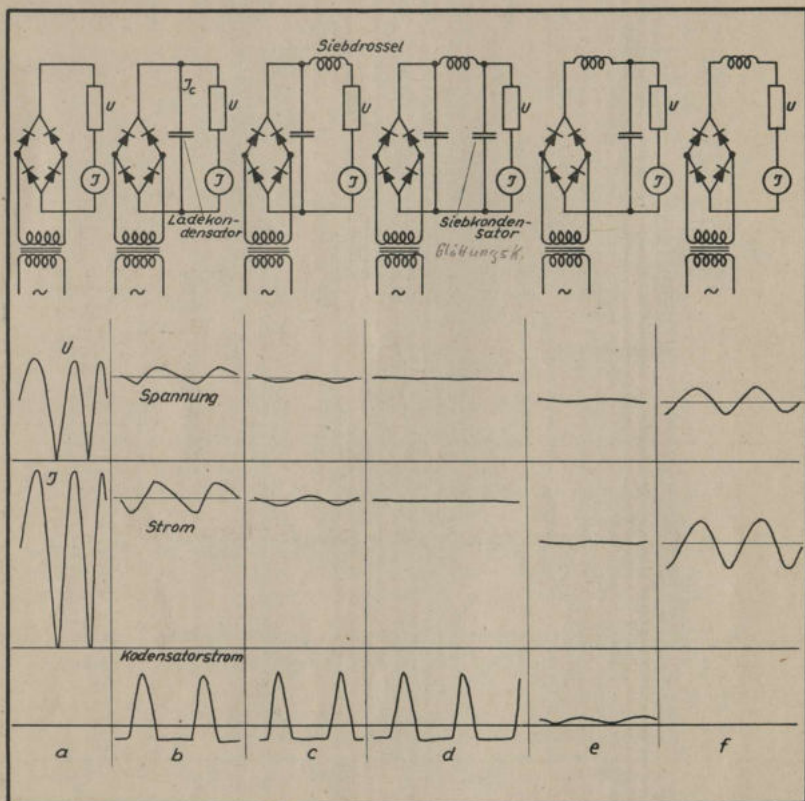
Spannungen im Heizkreis

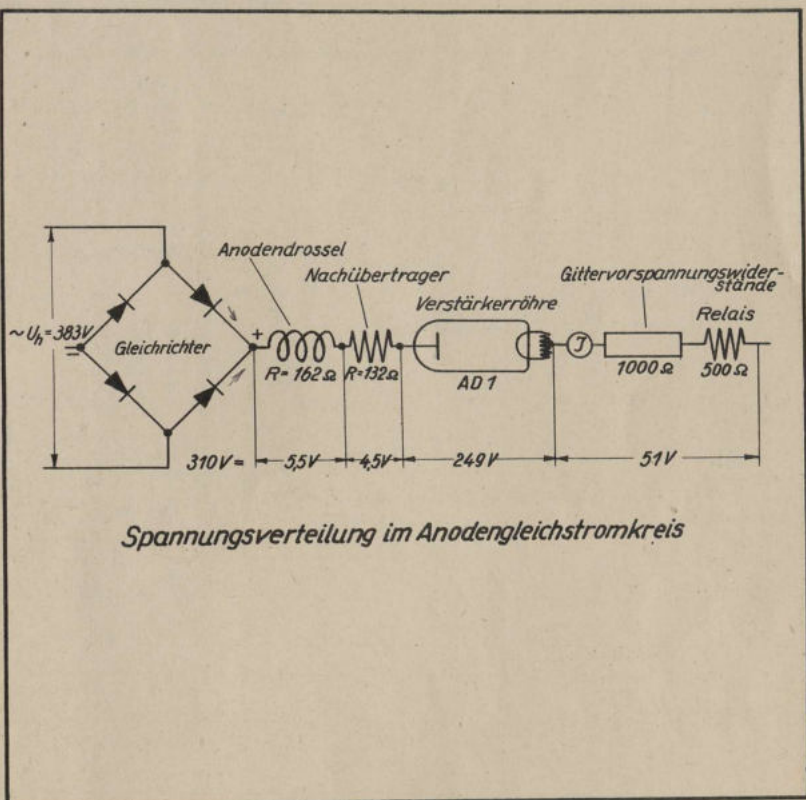


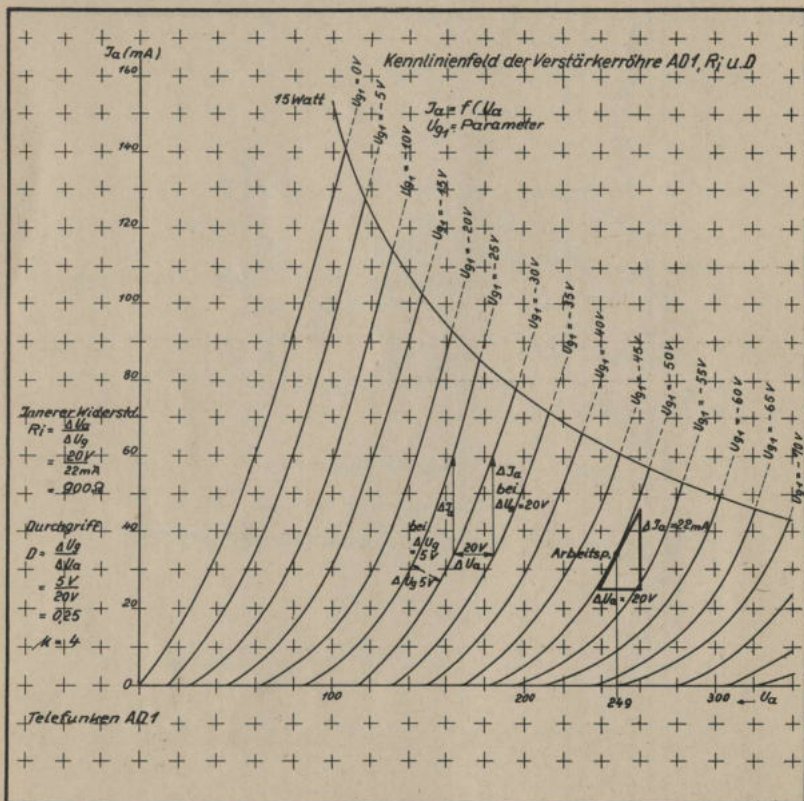


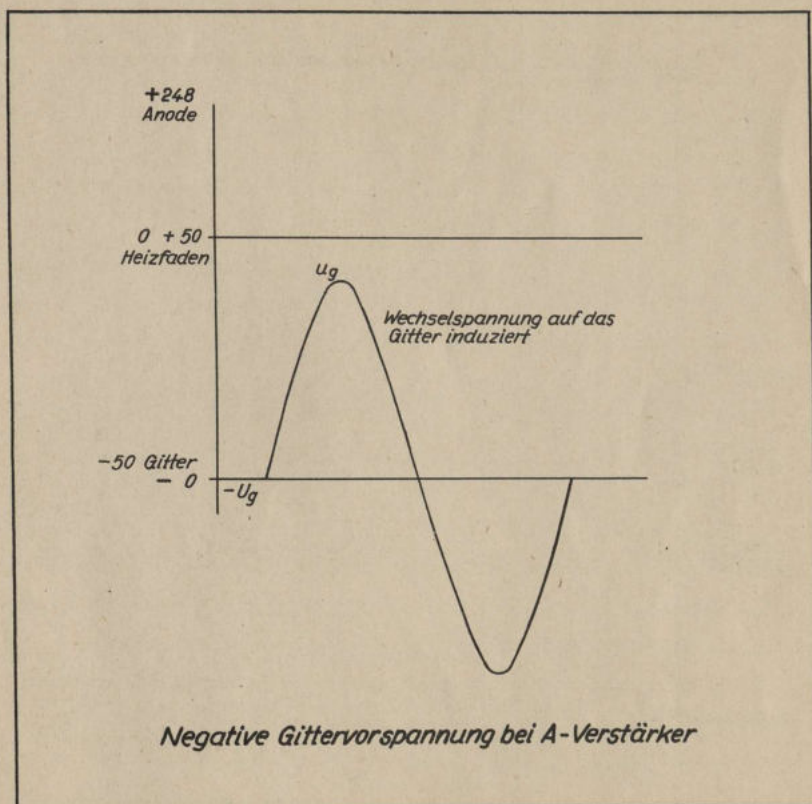


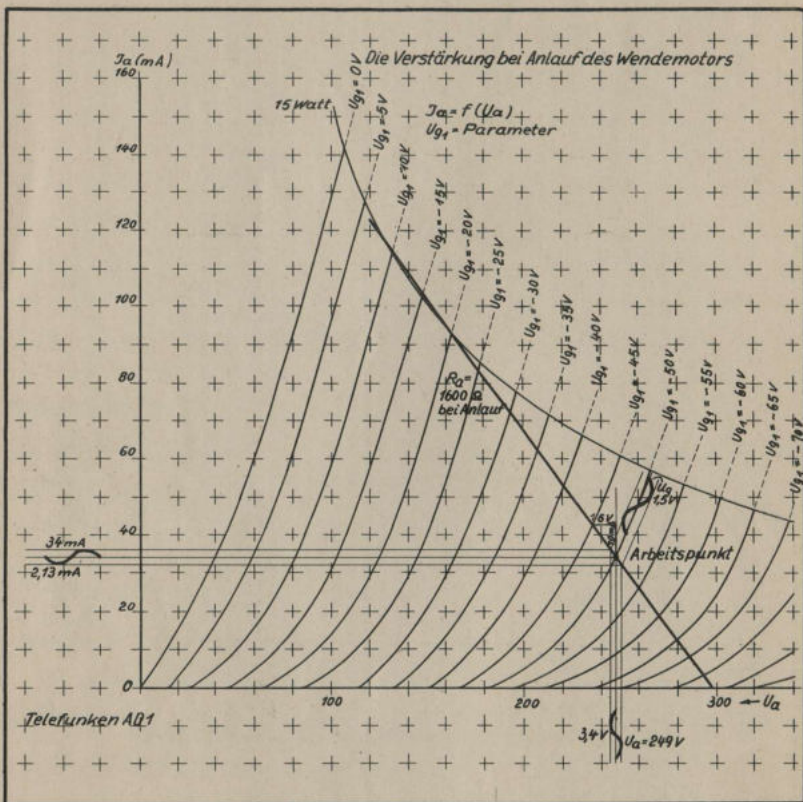


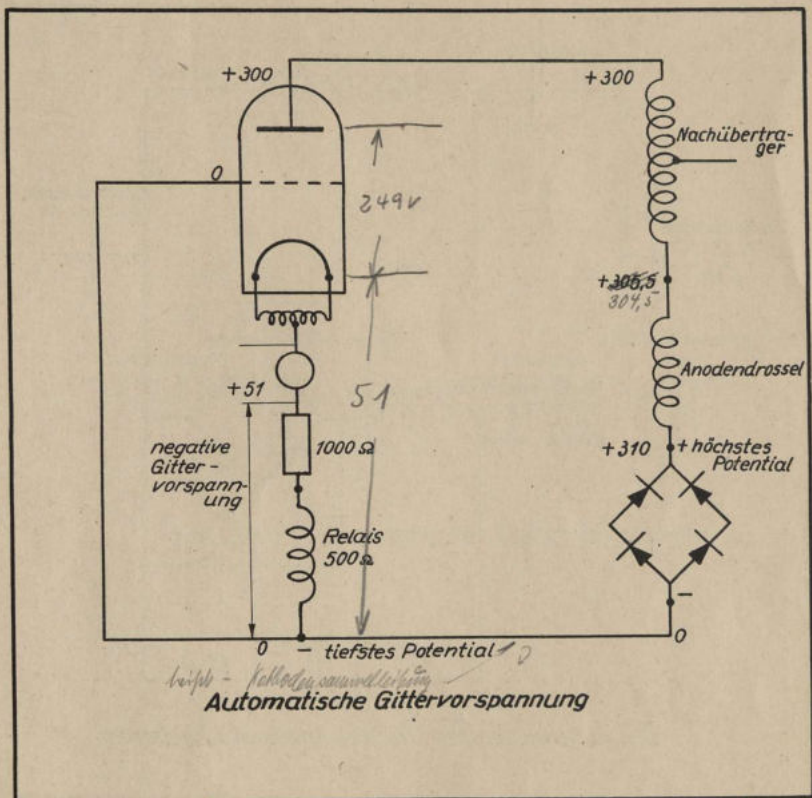


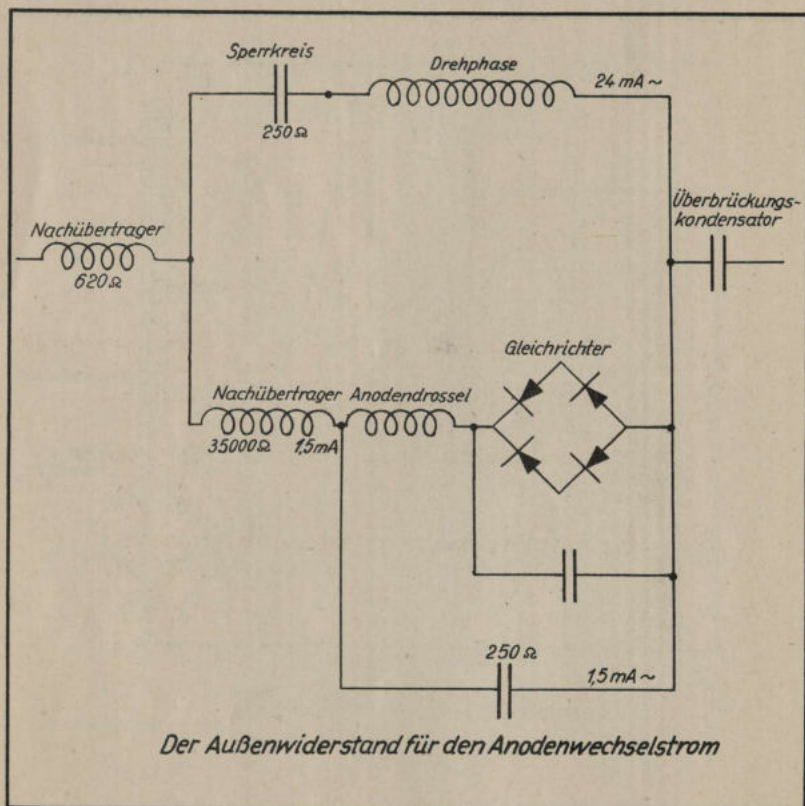


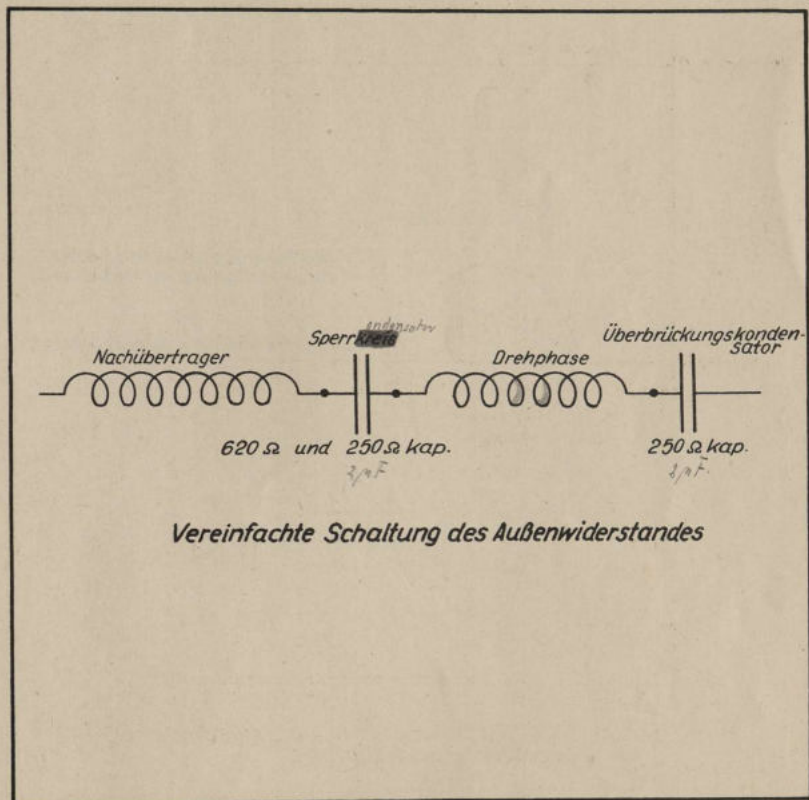


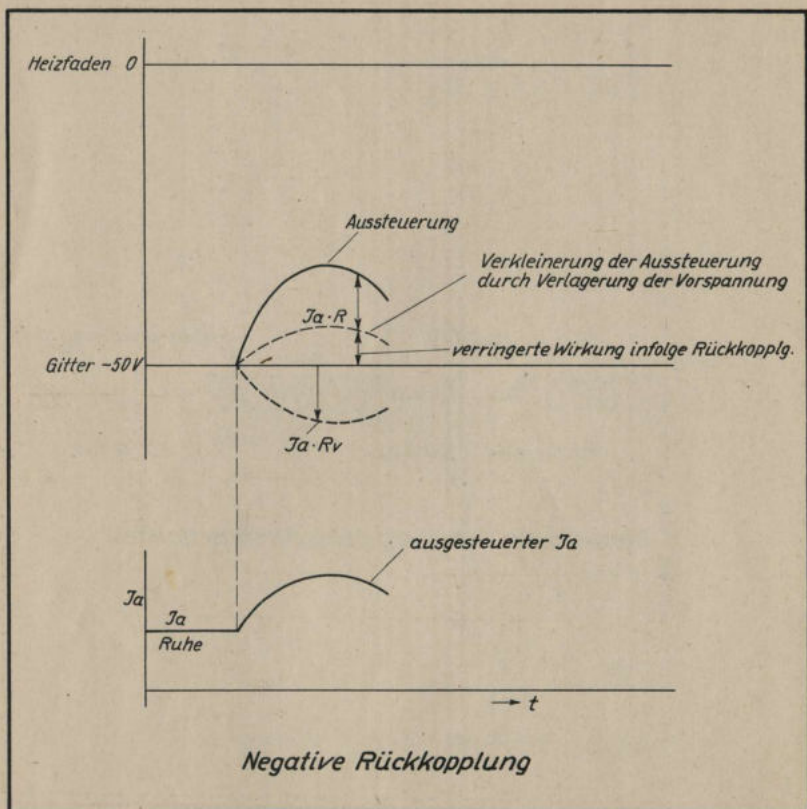


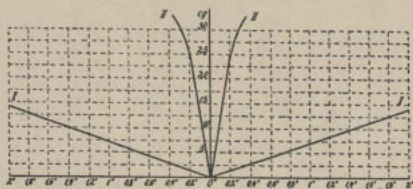




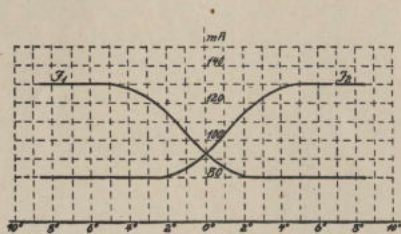




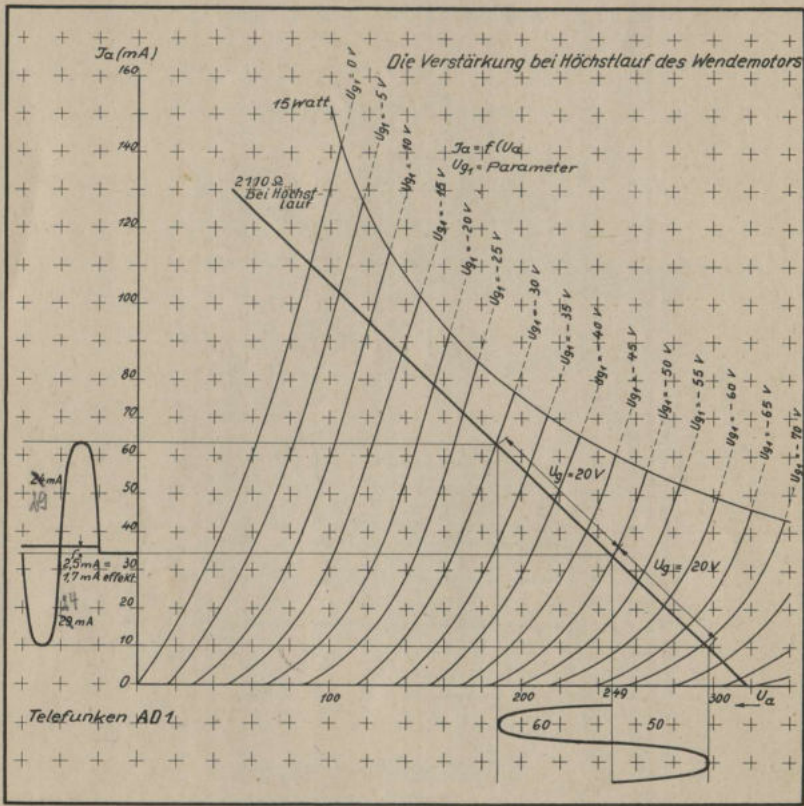


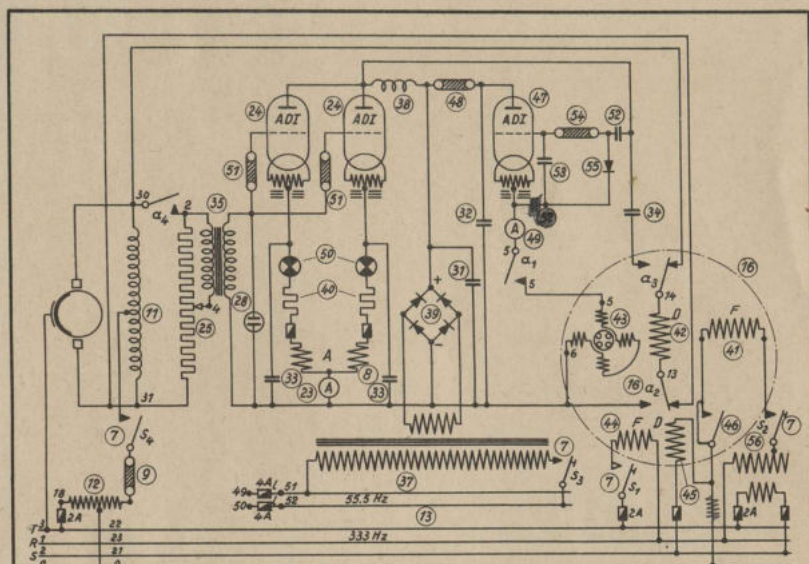


Ad.



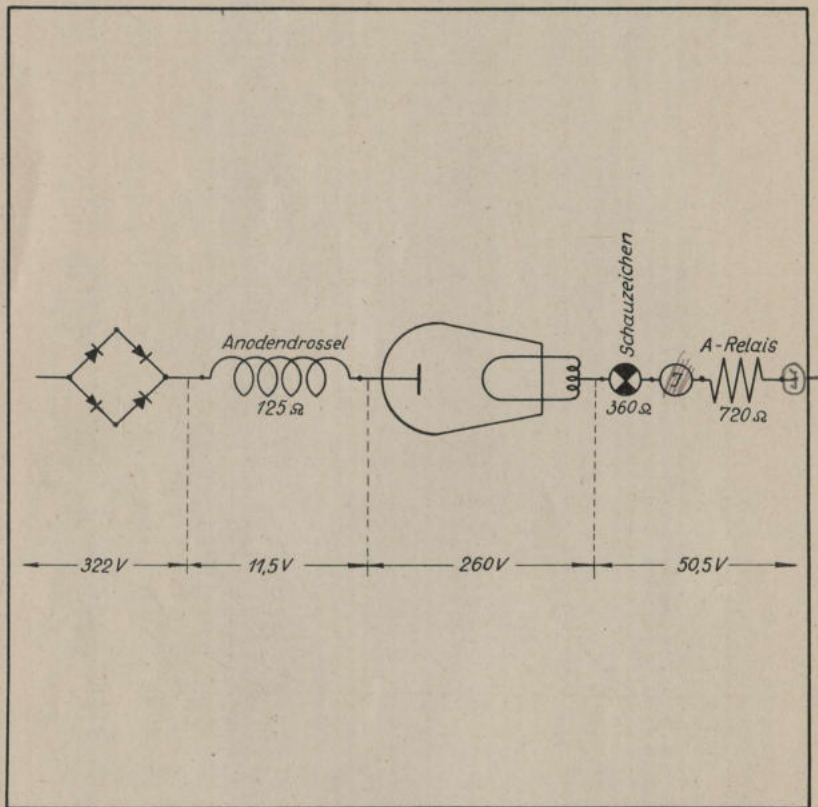
4C

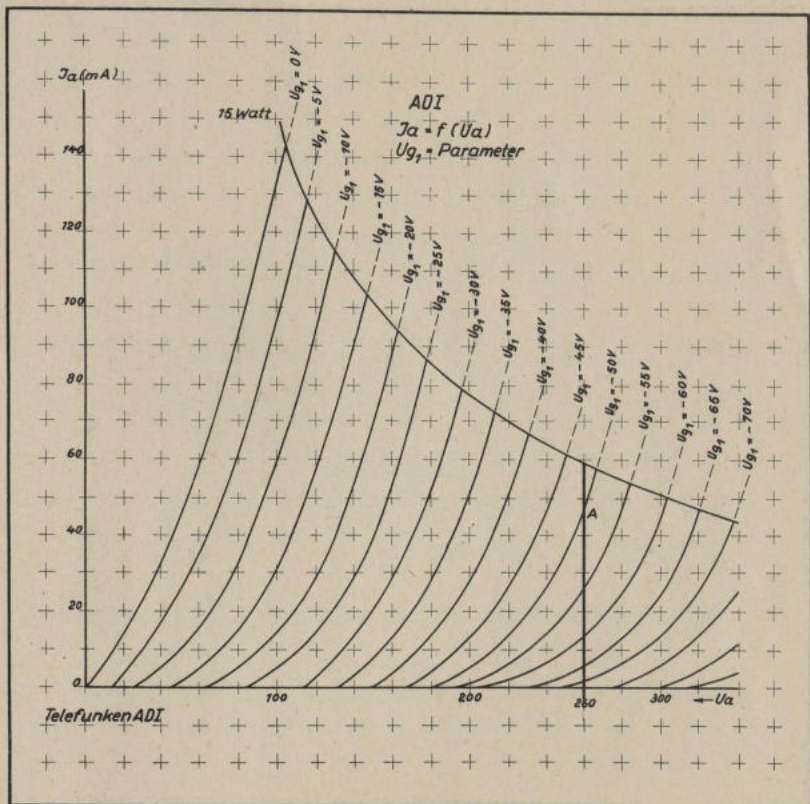


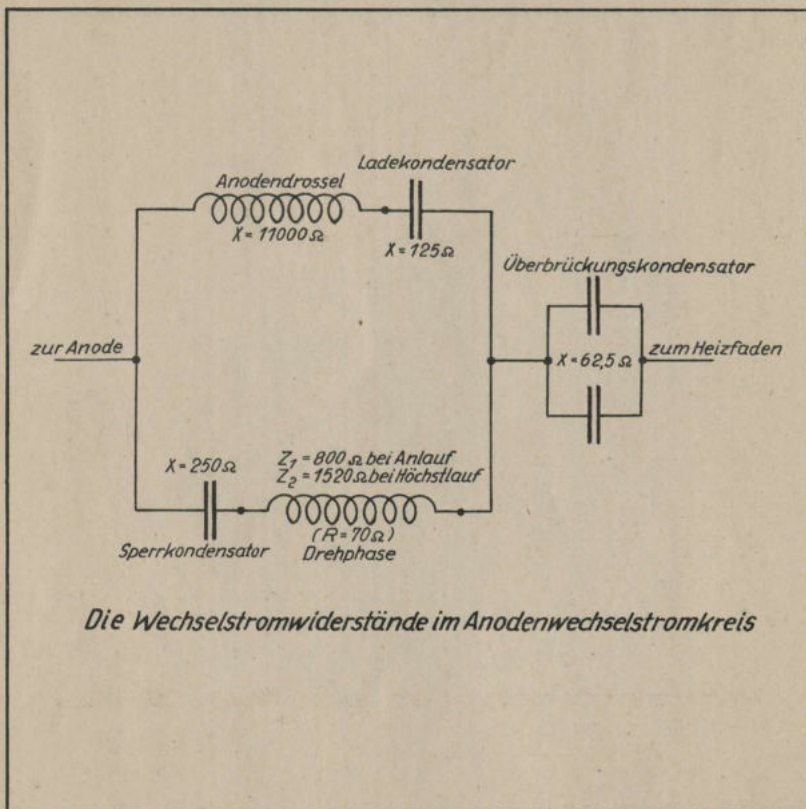


- | | | |
|------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 7 Übertragungsschalter | 32 Siebkondensator | 45 Lüftermotor - Drehphase |
| 8 Umschaltrelais | 33 Überbrückungskondensator | 46 Fliehkraftkontakt am Lüftermotor |
| 9 Meßblase | 34 Sperrkondensator | 47 Bremsröhre |
| 11 Symmetriedrossel | 35 Vorübertrager | 48 Anodenwiderstand |
| 12 Drosselspeisetrafa | 37 Betriebswandler | 49 Bremsstrommesser |
| 13 Sammelschienen | 38 Anodendrossel | 50 Schutzzeichen für Anodenstrom |
| 16 Wendemotor | 39 Trockengleichrichter | 51 Schutzwiderstände |
| 23 Anodenstrommesser | 40 Gittervorspannwiderstände | 52 Sperrkondensatoren |
| 24 Verstärkerröhre | 41 Wendemotor - Festphase | 53 Gältungskondensator |
| 25 Spannungsteiler | 42 " - Drehphase | 54 " Widerstand |
| 28 Glühlampe | 43 " - Bremsse | 55 Sperrzelle für Gitterspannung |
| 31 Ladekondensator | 44 Lüftermotor - Festphase | 56 Phasenwähler |

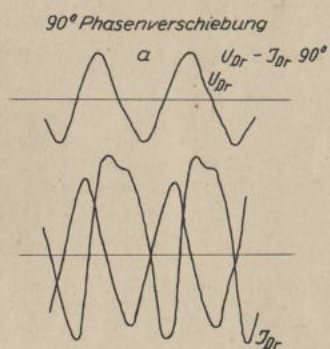
Prinzipschaltbild des 12 Watt Verstärkers für U-Boote



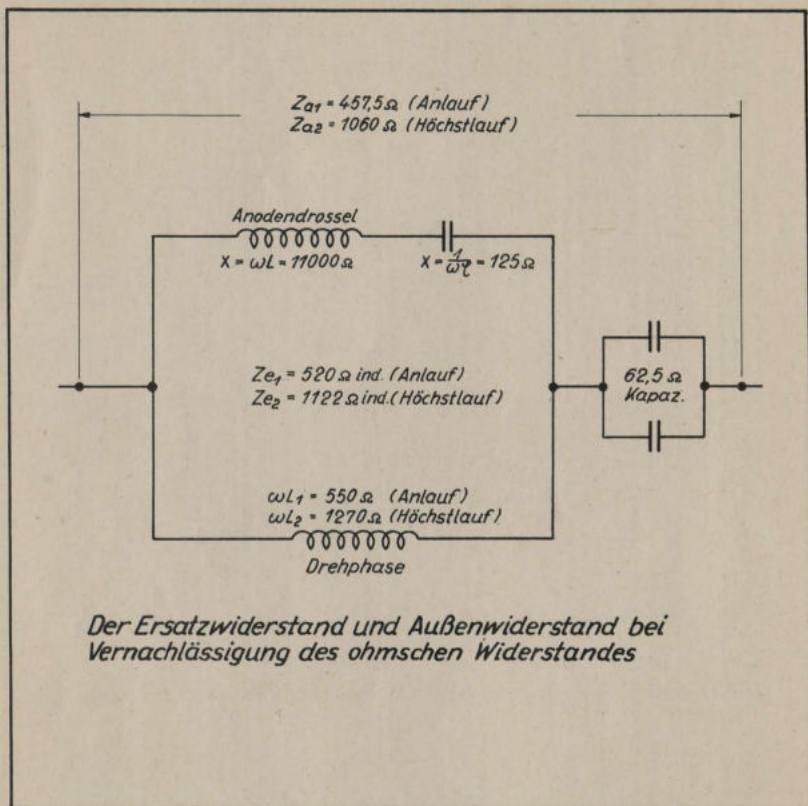


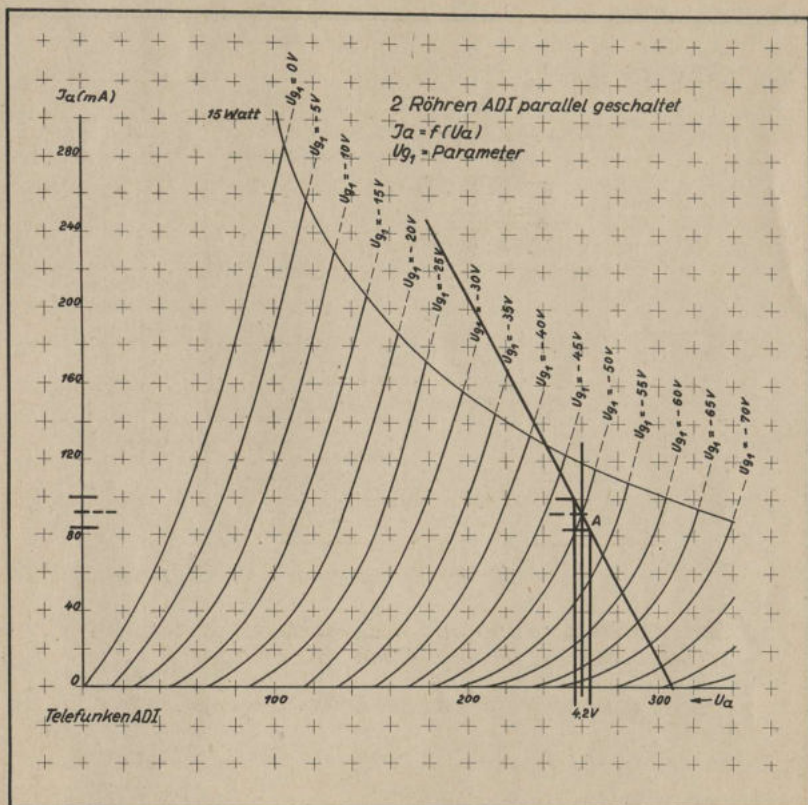


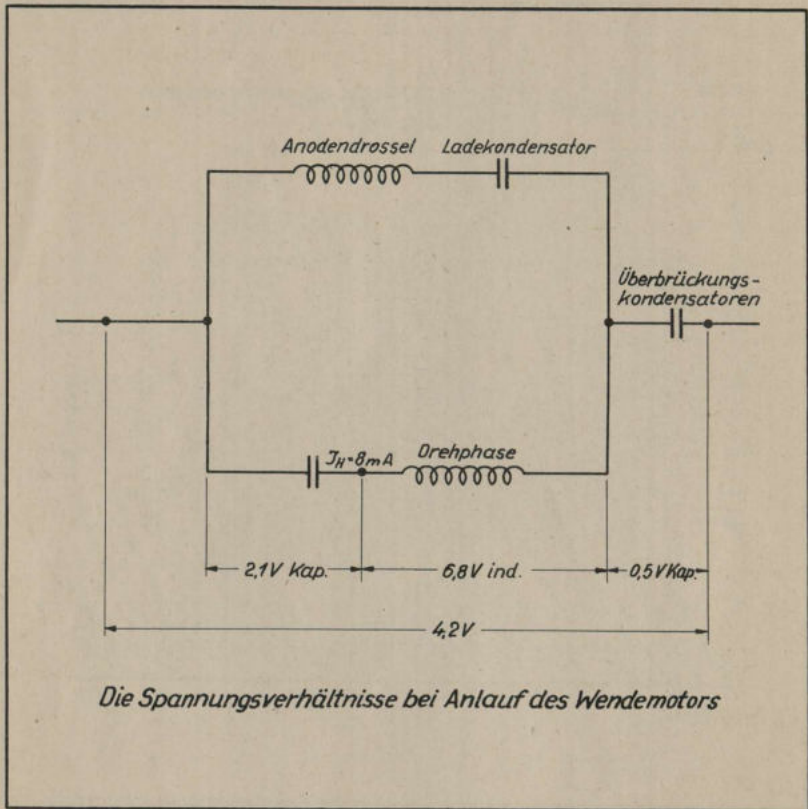
Die Wechselstromwiderstände im Anodenwechselstromkreis

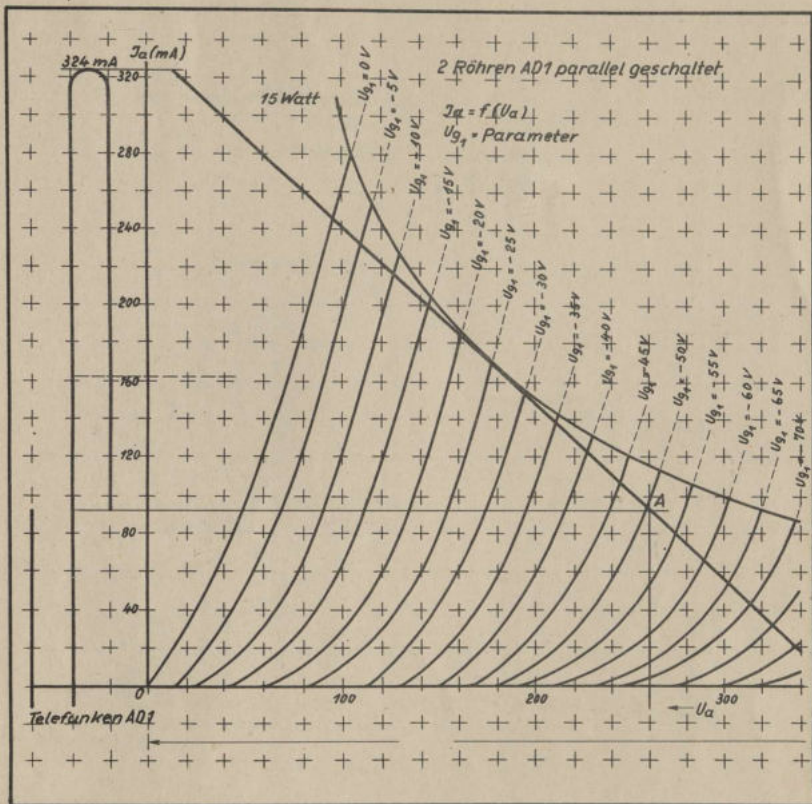


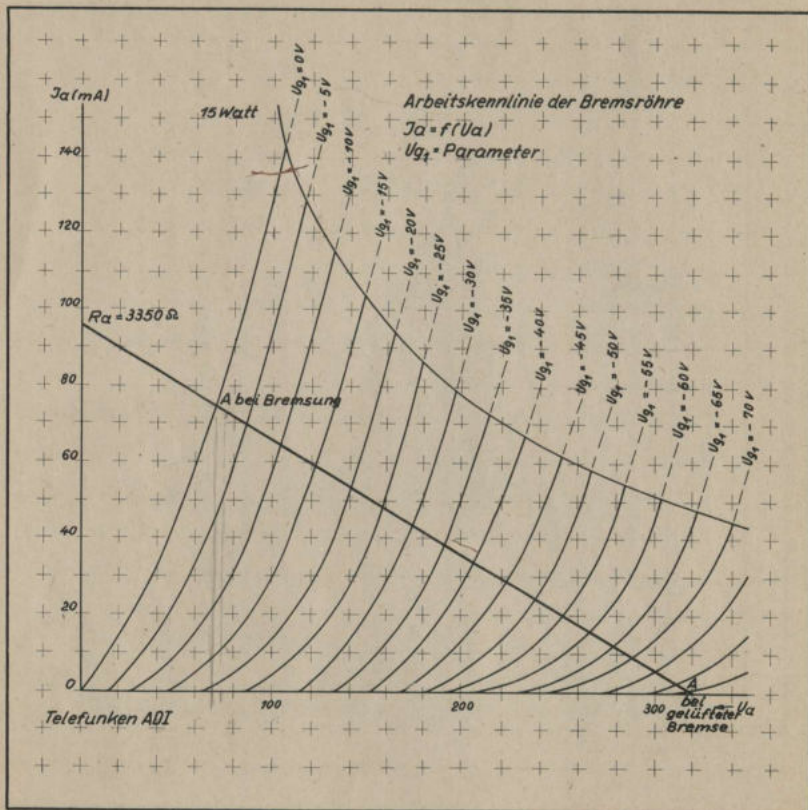
Die Phasenverschiebung im Wendemotorstromkreis (Drehphase)

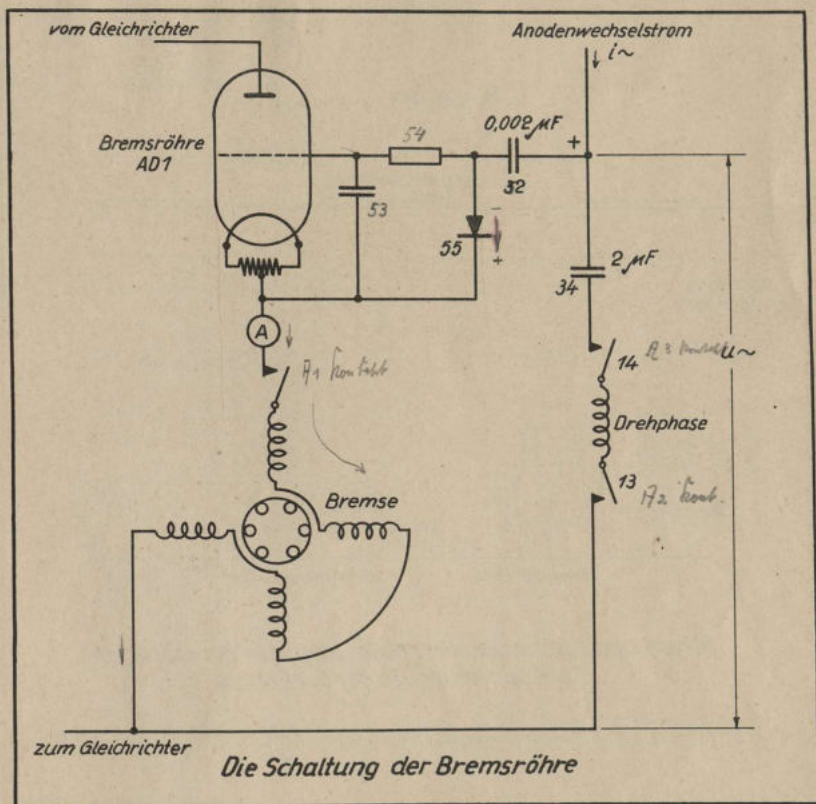


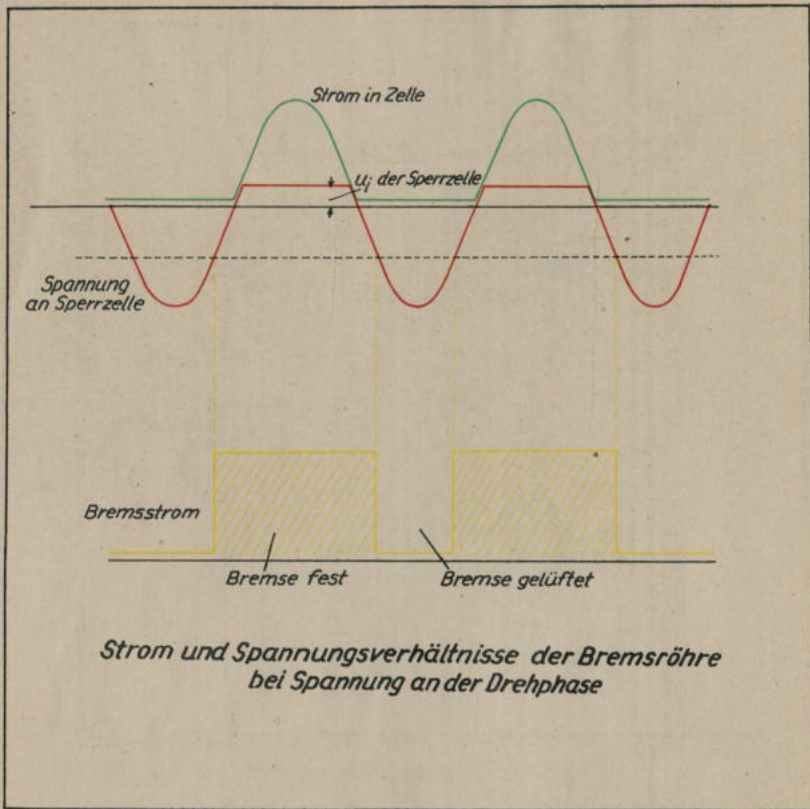


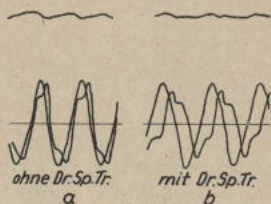
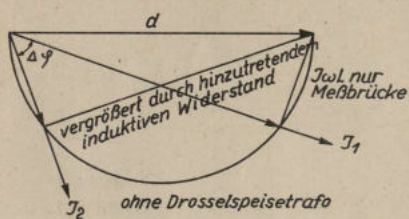
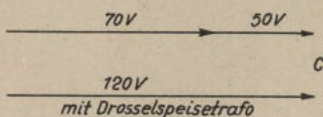
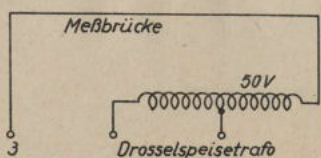




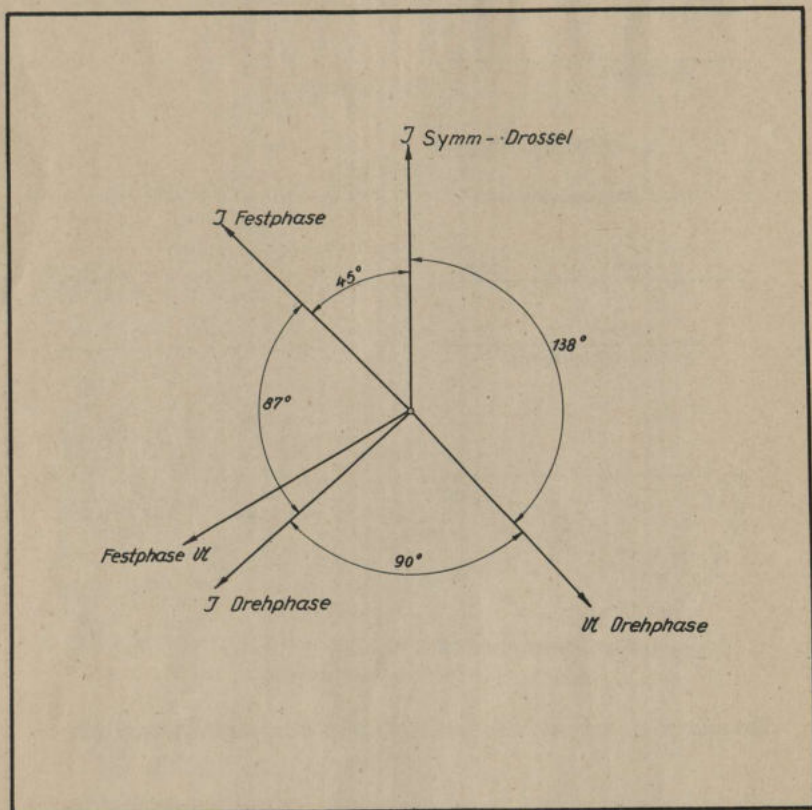




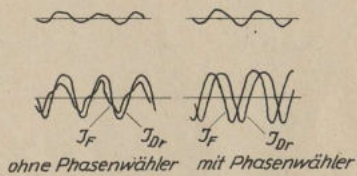
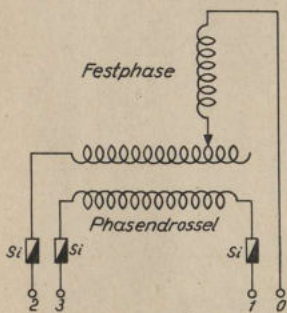
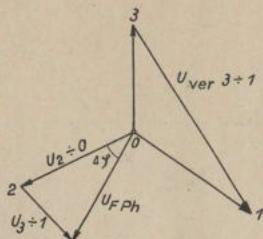


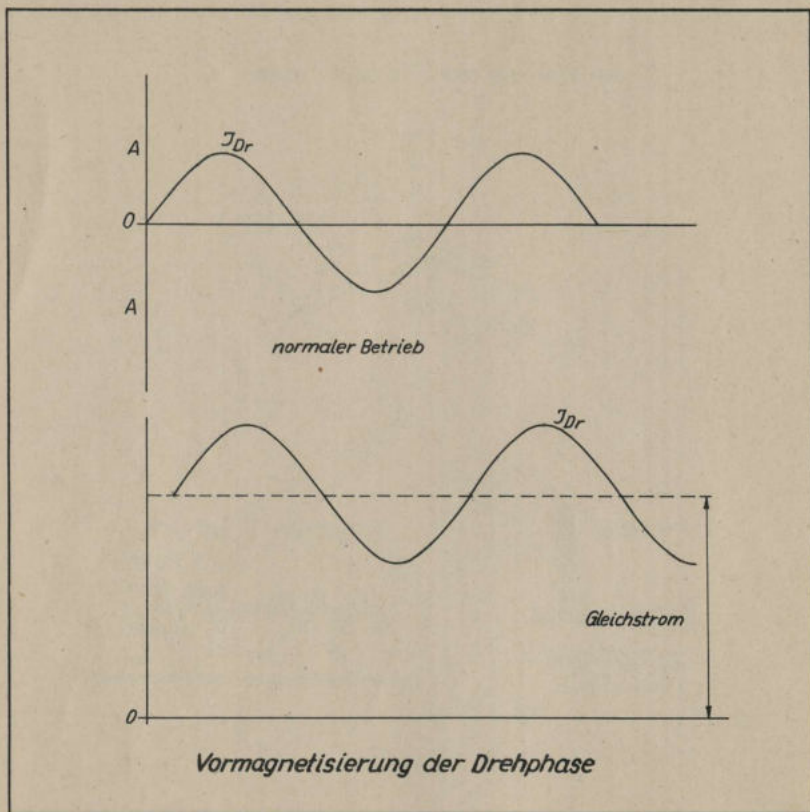


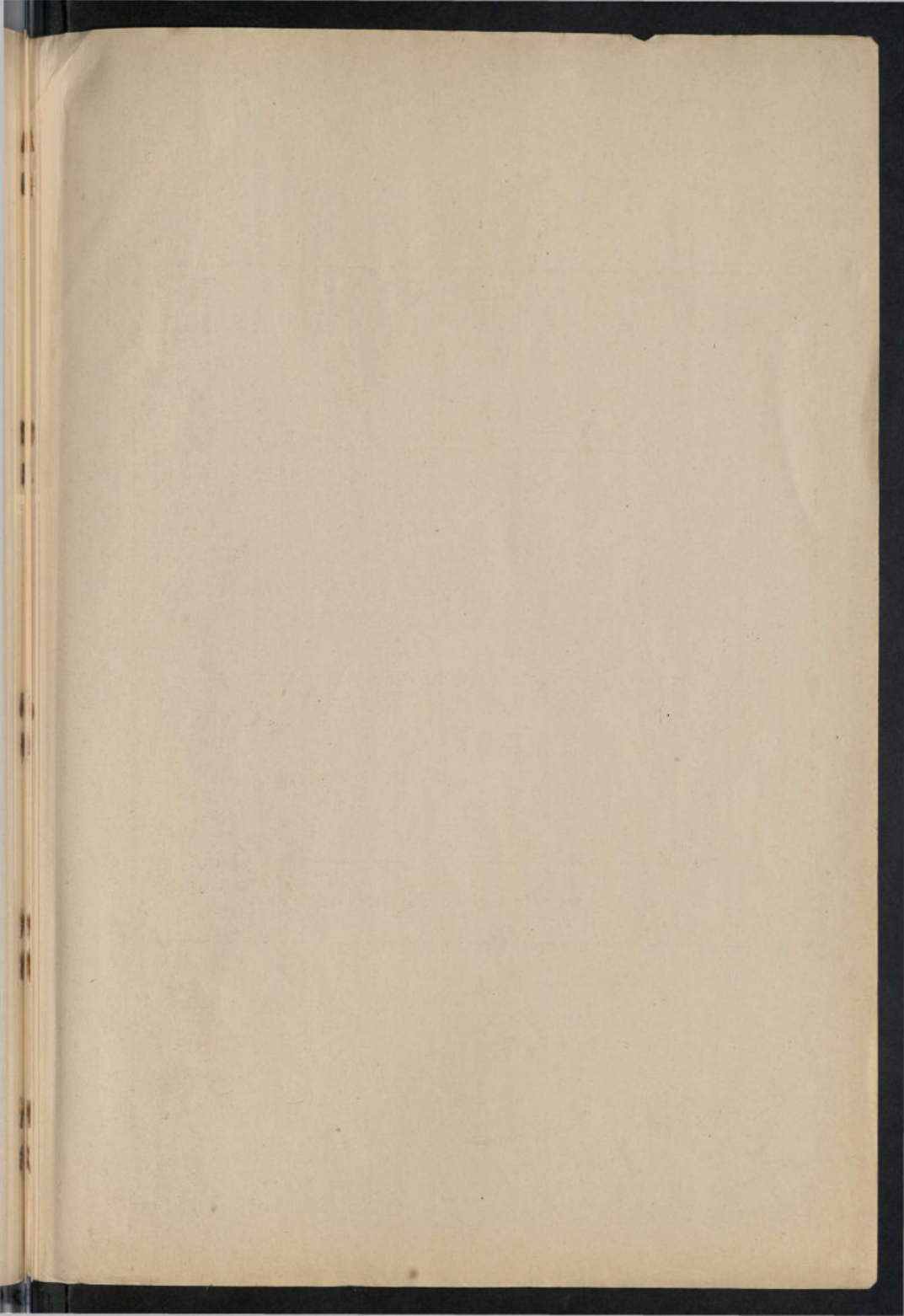
Spannungs- u. Stromverhältnisse bei Ausfall des Drosselspeisestrafo

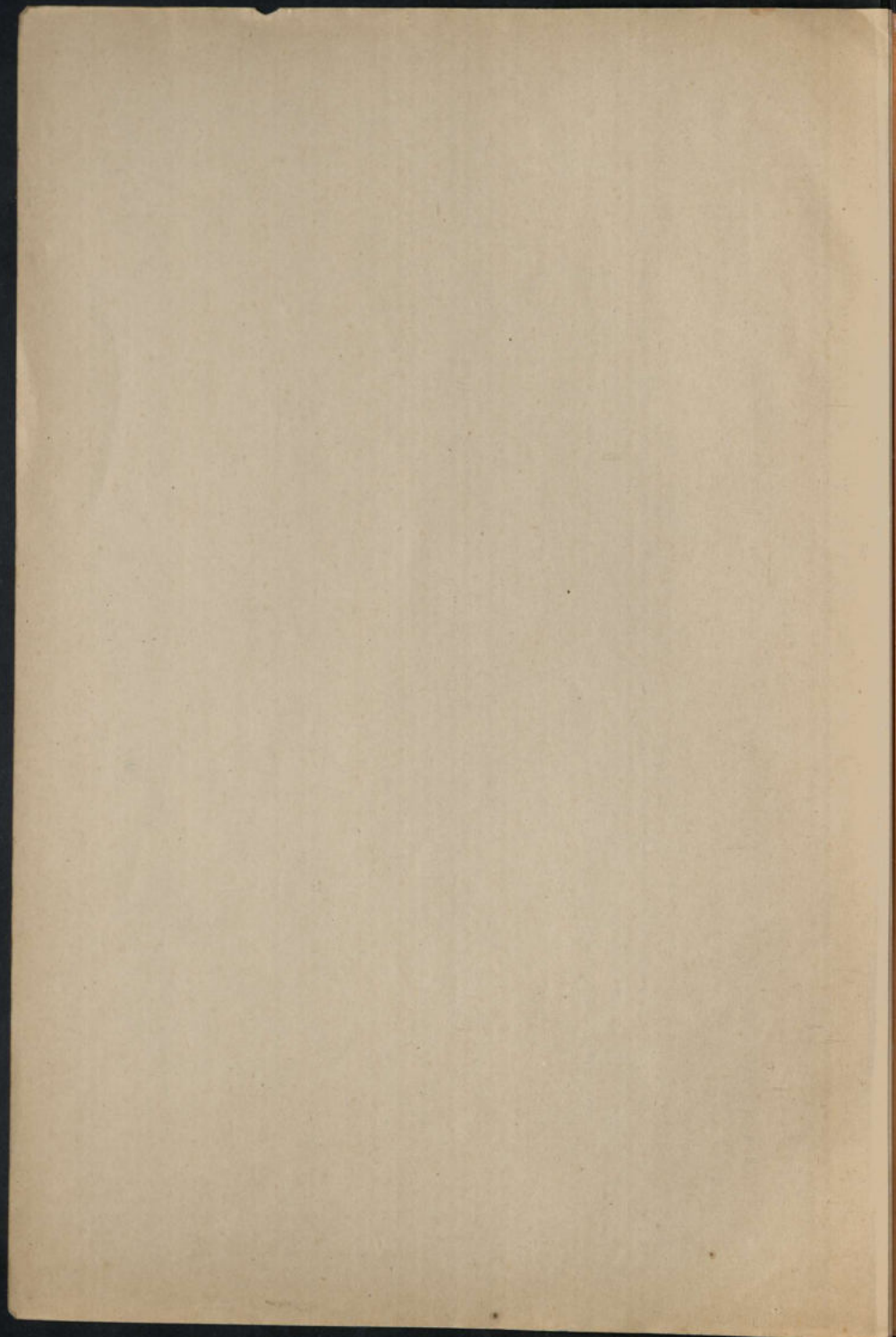


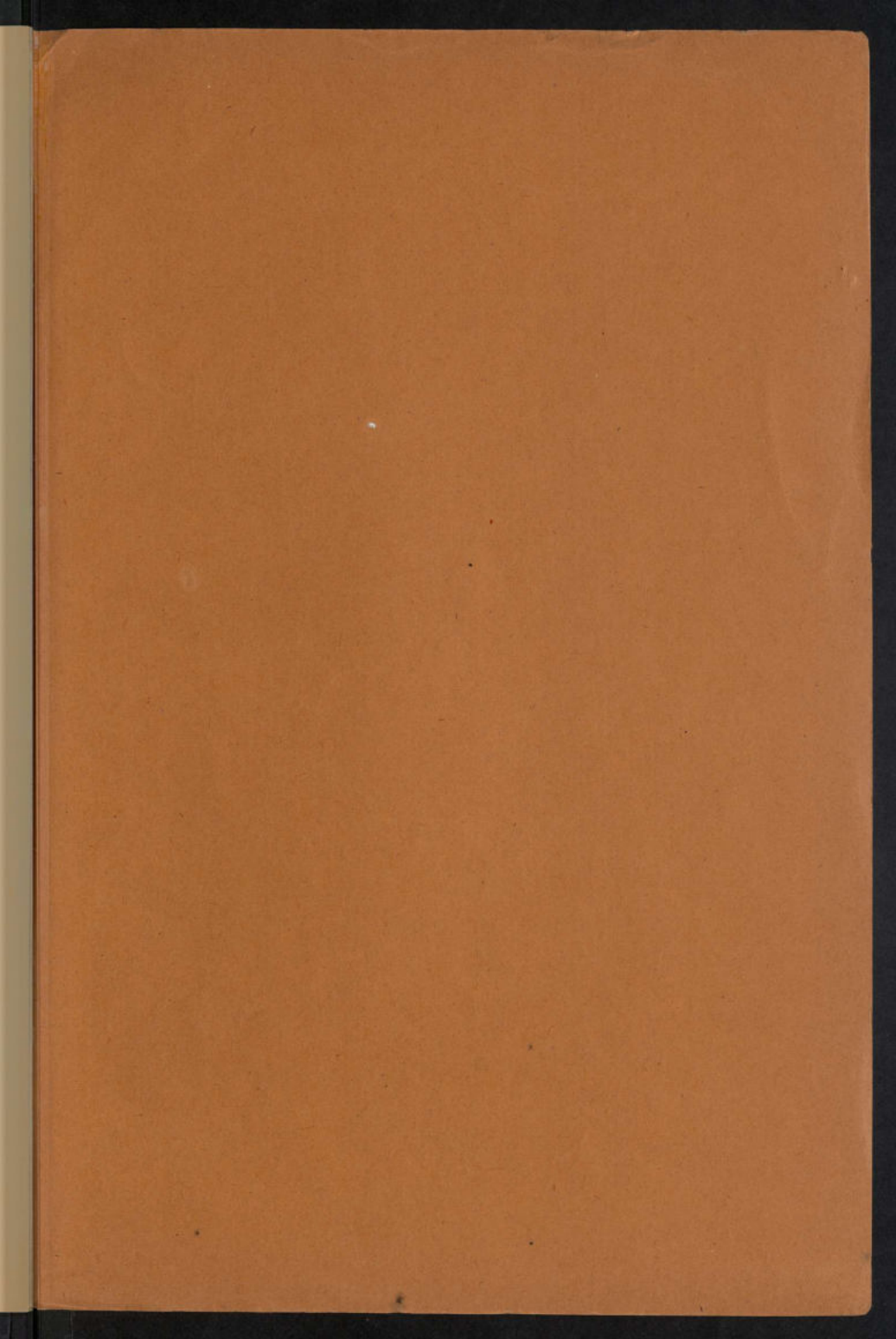
Die Wirkung der Phasendrossel











Konvolut (U-Boot-Vertrag)