

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 31 (1940)
Heft: 16

Artikel: Zum Gleichspannungsabfall in Mutatoranlagen
Autor: Uhlmann, Erich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058012>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.02.2025

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

Zum Gleichspannungsabfall in Mutatoranlagen.

Von Erich Uhlmann, Ludvika (Schweden).

621.3.015.1 : 621.314.65

1. Der induktive Gleichspannungsabfall ist mittels eines einachsigen Wechselstromkurzschlussversuches am Transformator direkt messbar. Werden bei diesem Versuch die primär- und sekundärseitigen Reaktanzen, die auch im Gleichrichterbetrieb vorhanden sind, miteingeschaltet, so ist im Ergebnis des Versuches auch deren Einfluss auf den Abfall richtig enthalten.

2. Der Anteil der Anodenreaktanzen am Gleichspannungsabfall kann durch eine einphasige Messung für sich allein bestimmt werden.

3. Der Anteil von Reaktanzen des Primärnetzes am Gleichspannungsabfall allein mit Kenntnis der Phasenzahl des Gleichrichtertransformators aus der gewöhnlichen 3phasigen Kurzschlußspannung des Netzes angegeben werden.

4. Wenn man unter der Kurzschlußspannung eines Gleichrichtertransformators nicht mehr die dreiphasige, sondern die näher angegebene einachsige Kurzschlußspannung versteht, so ist damit der Einfluss des Transformators auf den Gleichspannungsabfall ebenfalls für alle Schaltungen eindeutig festgelegt.

Der relative Gleichspannungsabfall ε in Gleichrichterschaltungen, bezogen auf die ideelle Leerlaufgleichspannung G_0 setzt sich bekanntlich aus einem ohmschen Anteil ε_r und einem induktiven ε_x zusammen, also

$$\varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_x \quad (1)$$

Der ohmsche Anteil wird aus der Summe aller Kupferverluste ΣP_{Cu} gefunden, wobei die Verluste der Netzseite, des Transformators evtl. mit Saug- und Anodendrosselspulen, der Kathodendrosselspule, kurz alle Verlustquellen bis zu der Stelle, an der der Spannungsabfall bestimmt werden soll, einbezogen werden. Bezeichnet man mit I den Gleichstrom, so ist

$$\varepsilon_r = \frac{\Sigma P_{Cu}}{G_0 I} \quad (2)$$

Für den induktiven Anteil des Spannungsabfalles gilt

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} (1 - \cos u), \quad (3)$$

wo u den Ueberlappungswinkel in elektrischen Graden bedeutet.

Zur Bestimmung von ε_x pflegt man eine dreiphasige Kurzschlussmessung auszuführen und die dabei erhaltene Kurzschlußspannung mit für die einzelnen Transformatorschaltungen charakteristischen Faktoren zu multiplizieren. Diese Faktoren sind berechnet auf Grund der Vorstellung, dass der Transformator selbst streuungslos ist und unverkettete Reaktanzen in seinen sekundären Ableitungen die gesamte Streureaktanz des Transformators repräsentieren. Mit dem gleichen Recht kann man sich die Reaktanz auf der Primärseite konzentriert denken, und kommt mit dieser Vorstellung bei einigen Schaltungen zu den gleichen Faktoren, bei anderen aber zu völlig verschiedenen. Es zeigt sich weiter, dass es in vielen Fällen vom Wicklungsaufbau abhängt, ob eine und welche der beiden Ersatzreaktanzen der Berechnung der Faktoren zugrunde

1° La chute de tension continue inductive se laisse mesurer directement à l'aide d'un essai bien déterminé de court-circuit en courant alternatif sur le transformateur. Si, pour cet essai, on met également en circuit les réactances primaires et secondaires qu'on peut trouver pendant le fonctionnement en redresseur, le résultat de l'essai tient correctement compte de l'influence de ces réactances sur la chute de tension.

2° La part éventuelle des réactances d'anode à la chute de tension continue peut être mesurée séparément par une mesure en monophasé.

3° La part des réactances du réseau primaire à la chute de tension continue peut être indiquée sur la base de la tension de court-circuit triphasé ordinaire du réseau, lorsqu'on connaît le nombre de phases du transformateur du redresseur.

4° Lorsque, par tension de court-circuit d'un transformateur de redresseur, on entend non plus la tension triphasée, mais la tension de court-circuit monophasée définie dans cet article, l'influence du transformateur sur la chute de tension continue est alors généralement fixée sans préjudice de la connexion.

gelegt werden kann. Damit hat aber diese Art der Messung ihren Sinn verloren; denn der Einfluss des Wicklungsaufbaus sollte ja in der Kurzschlussmessung zum Ausdruck kommen, während die Faktoren nur als Konstante auftreten sollten. Im folgenden wird nun eine andere Kurzschlussmessung beschrieben und ihre Aufnahme in die Regeln für Mutatoren zur Diskussion gestellt.

Wir beschränken uns auf Schaltungen, bei denen nur zwei Transformatorphasen miteinander kommutieren; das sind also einmal alle einfachen Grundschaltungen, bei denen die Anodenbrenndauer $\frac{2\pi}{p}$ ($p =$ Phasenzahl) ist und ferner alle Saugdrosselspulen-schaltungen, bei denen der Anodenstrom nicht verschieden hohe Stufen aufweist. Die hier betrachteten Schaltungen bestehen auf der Sekundärseite aus s einzelnen Sternen, von denen jeder den Strom $\frac{I}{s}$ zum Gleichstrom beiträgt und die durch Verkettungseinrichtungen miteinander verbunden sind. Die Kommutierung findet dabei zwischen zwei Phasen des gleichen Sternes statt. Den Verlauf der Kommutierung stellen wir uns so vor, dass der Gleichstrom in seiner bisherigen Verteilung

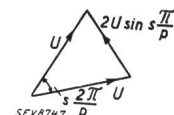
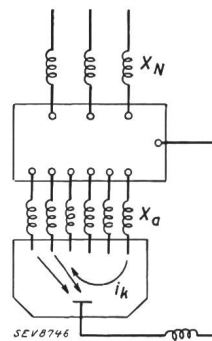


Fig. 2.

Fig. 1 (links).
Schematische Darstellung
des
Kommutierungsverlaufes.

weiter fließt, während durch das Zünden der neuen Anode ein Kurzschlusskreis geschaffen wird, dessen Strom sich über die bisherige Verteilung lagert (Fig. 1). Der Strom in der neuen Anode ist dann

dieser Kurzschlußstrom, während der in der alten die Differenz des bisherigen und dieses Kurzschlussstromes ist. Der Kommutierungsvorgang wird durch die Ventilwirkung der alten Anode dann beendet, wenn diese Differenz gerade Null geworden ist; der Kurzschlußstrom hat in diesem Augenblick den Wert $\frac{I}{s}$, vorausgesetzt, dass der Gleichstrom völlig geglättet ist ¹⁾.

Der Kurzschlusskreis enthält zwei Phasenspannungen U (Fig. 2), die um den Winkel $s\frac{2\pi}{p}$ auseinander liegen. Die EMK in diesem Kreis ist also

$$e_k = 2\sqrt{2} U \sin s \frac{\pi}{p} \sin \vartheta \quad (4)$$

mit ϑ als Zeitvariabler. Die für die Kommutierung wirksame Reaktanz sei X , wobei wir über deren Zusammensetzung aus verschiedenen Teilreaktanzen gar keine Voraussetzungen machen wollen. Der im Kommutierungskreis umlaufende Kurzschlussstrom, der zur Zeit $\vartheta = 0$ einsetzen möge, ist dann

$$i_k = \frac{2\sqrt{2} U \sin s \frac{\pi}{p}}{X} (1 - \cos \vartheta) \quad (5)$$

Der Kommutierungsvorgang ist zur Zeit $\vartheta = u$ beendet, wobei i_k den oben festgestellten Wert $\frac{I}{s}$ erreicht hat. Aus Gl. (3) und (5) erhalten wir somit

$$\varepsilon_x = \frac{IX}{4\sqrt{2} U s \sin s \frac{\pi}{p}} \quad (6)$$

Wir wollen nun einen Kurzschlussversuch durchführen, bei dem die Reaktanzen genau in der gleichen Weise eingehen, wie in den Kommutierungskurzschlusskreis. Wir speisen deshalb die Primärseite des Transformators über die gleichen Reaktanzen wie vorhin und schliessen auf der Sekundärseite zwei Phasen, die im Gleichrichterbetrieb miteinander kommutieren, kurz. Da dies derselbe Kurzschlusskreis wie für die Kommutierung ist, wird auch hier dieselbe Reaktanz X wirksam. Der Versuch ist aber unbequem, da wir drei verschieden grosse Primärströme erhalten, deren Abstufung von der Phasenlage des sekundären Kurzschlusses abhängt. Wir drehen deshalb bequemer die Anordnung um, schliessen den Transformator auf der Primärseite kurz und speisen ihn einphasig zwischen den beiden Sekundärphasen (Fig. 3). Wir stellen dabei einen Wechselstrom I' ein und messen die Spannung U' , so dass

$$X = \frac{U'}{I'} \quad (7)$$

die sowohl bei unserem Kurzschlussversuch als auch im Gleichrichterbetrieb wirksame Reaktanz ist. Aus Gl. (6) und (7) erhält man

¹⁾ S. a. W. Schilling, Die Gleichrichterschaltungen, Oldenbourg 1938.

$$\varepsilon_x = \frac{U'}{2U \sin s \frac{\pi}{p}} \cdot \frac{I}{2\sqrt{2} s I'}$$

Im Nenner des ersten Bruches steht die Spannung, die im Leerlauf zwischen unseren Speisepunkten herrscht. Den Bruch selbst können wir also als eine einachsige Kurzschlußspannung U'_k bezeichnen. Den zweiten Bruch machen wir zu 1, indem wir

$$I' = \frac{I}{2\sqrt{2} s} \quad (8)$$

wählen, d. h. wir führen den Kurzschlussversuch mit einem Effektivwert des Stromes $= \frac{1}{2\sqrt{2}} = 35,4\%$ des Gleichstromanteiles eines der s Sterne durch. Damit wird

$$\varepsilon_x = U'_k \quad (9)$$

Es war uns also möglich, den relativen Gleichspannungsabfall unabhängig von der Schaltung auf eine einachsige Kurzschlußspannung zurückzuführen, ohne dass es dabei auf die Verteilung der Reaktanzen in- und ausserhalb des Transformators ankommt. Hat die Schaltung mehrere ungleiche Kommutierungskreise (z. B. Doppelgabelschaltung), so sind diese natürlich einzeln zu messen, und es ist dann der Mittelwert zu bilden.

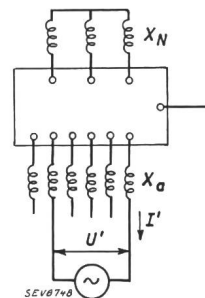


Fig. 3. Schaltbild für den einachsigen Kurzschlussversuch.

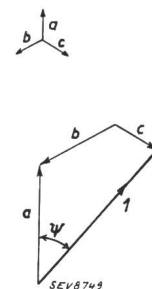


Fig. 4.

Der Einfluss des ohmschen Widerstandes im Kurzschlusskreis auf ε_x ist bisher vernachlässigt worden, kann aber leicht durch eine gleiche Ueberlegung berücksichtigt werden. Der beim einachsigen Kurzschluss festgestellte Widerstand ist auch der, der die Kommutierung beeinflusst, und zwar auf zwei verschiedene Weisen:

1. Wäre im Kommutierungskreis keine treibende Spannung vorhanden, so würde sich der Strom in der alten und der neuen Anode nach einer e -Funktion ausgleichen. Der Strom nach einer Zeit $\vartheta = u$ in der alten Anode ist also nicht mehr $\frac{I}{s}$, sondern er ist abgeklungen auf

$$\frac{I}{2s} \left(1 + e^{-u \cot \varphi} \right),$$

wo φ der im einachsigen Kurzschluss gemessene Phasenwinkel ist.

2. Der Kurzschlußstrom der Gl. (5) wird bei Vorhandensein von Widerstand

$$i_k = \frac{2\sqrt{2} U \sin s \frac{\pi}{p}}{X} \sin \varphi \left[\sin \varphi e^{-\vartheta \cot \varphi} + \sin(\vartheta - \varphi) \right]$$

Damit ergibt sich der relative Gleichspannungsabfall

$$\epsilon_x = \frac{IX}{4\sqrt{2}Us \sin s \frac{\pi}{p}} \cdot \frac{\frac{1}{2}(1 - \cos u) \left(1 + e^{-u \cot \varphi}\right)}{\sin \varphi \left(\sin \varphi e^{-u \cot \varphi} + \sin(u - \varphi)\right)}$$

Der Faktor, der nun zu Gl. (6) hinzugetreten ist, lässt sich nach u entwickeln und wird dabei

$$1 - \frac{u}{6} \cot \varphi + \frac{u^2}{9} \cot^2 \varphi \dots$$

Für normale Verhältnisse, $u = 22^\circ$, $\cot \varphi = 0,2$, ergibt dies einen Wert von 0,988. Der Einfluss des Widerstandes auf die Kommutierung ist also äusserst klein und kann vernachlässigt werden.

Wenn wir nun im folgenden die verschiedenen Arten der Reaktanzen durchsprechen wollen, so haben wir nur ihren Einfluss auf den einachsigen Kurzschluss zu untersuchen.

1. Die Anodenreaktanzen.

Hier liegen die Verhältnisse besonders einfach. Hat jede Anodenreaktanz einen Wert X_a , so wird (Fig. 3) die von ihnen herrührende Kommutierungsreaktanz

$$X = 2 X_a \tag{10}$$

womit man aus Gl. (6) den von den Anodenreaktanzen verursachten Gleichspannungsabfall erhält. Man kann aber auch durch zwei in Reihe geschaltete Anodenreaktanzen einen Strom nach Gl. (8) schicken und die dabei gemessene Spannung ins Verhältnis zur Leerlaufspannung zwischen zwei kommutierenden Phasen setzen. Die so gemessene Reaktanzspannung ist dem relativen Gleichspannungsabfall gleich.

2. Die Netzreaktanz.

Wir stellen uns eine Sekundärphase vor, die auf allen drei Schenkeln Wicklungsteile hat und dort mit den resp. Windungszahlen a, b, c vertreten ist (Fig. 4); die vektorielle Zusammensetzung der Windungszahlen ergebe 1 und schliesse den Winkel ψ mit der a -Richtung ein. Die algebraische Summe der drei Windungszahlen bezeichnen wir mit f ; dann ist

$$\begin{aligned} a - \frac{1}{2}(b + c) &= \cos \psi \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}(b - c) &= \sin \psi \\ a + b + c &= f \end{aligned}$$

und daraus

$$a, b, c = \frac{2}{3} \cos \left(\psi \pm \frac{0}{3} \right) + \frac{1}{3} f \tag{11}$$

Soll also eine Sekundärphase einen vorgeschriebenen Winkel ψ mit der a -Richtung einschliessen, so kann noch immer f willkürlich gewählt werden. Diese Wahl pflegt im allgemeinen so vorgenommen zu werden, dass ein Wicklungsteil verschwindet und

man ein Zickzack aus nur zwei Teilstücken erhält. Daraus ergibt sich eine Beziehung für f . Wir wollen aber hier für die Wahl von f gar keine Festsetzungen treffen.

Bei unserem einachsigen Kurzschluss sind zwei solche Phasen eingeschaltet, die wir mit den Indices 1 und 2 bezeichnen wollen. Sie werden vom Kurzschlußstrom in umgekehrter Richtung durchflossen und die sekundären AW werden damit I' ($a_1 - a_2$) bzw. I' ($b_1 - b_2$) bez. I' ($c_1 - c_2$). Diesen AW stehen die von der Tertiär- und Primärwicklung herrührenden gegenüber. Die Tertiärwicklung habe die Windungszahl 1, dann wird ihr Strom

$$I_t = \frac{1}{3} I' (f_1 - f_2) \tag{12}$$

Die Primärwicklung habe ebenfalls die Windungszahl 1, dann werden ihre Primärströme

$$I_{a,b,c} = I' \frac{2}{3} \left[\cos \left(\psi_1 \pm \frac{0}{3} \right) - \cos \left(\psi_2 \pm \frac{0}{3} \right) \right] \tag{13}$$

Die Spannungsabfälle dieser drei Ströme an der Netzphasenreaktanz X_N treten auch an der Primärwicklung auf und werden auf die Sekundärseite mit den Uebersetzungsverhältnissen ($a_1 - a_2$) usw. nach Gl. (11) übertragen. Dort setzen sie sich zur Spannung U' zusammen. Bei der Addition entfallen alle Glieder mit f und wir erhalten schliesslich mit $\psi_1 - \psi_2 = s \frac{2\pi}{p}$, die im einachsigen Kurzschluss wirksame Reaktanz zu

$$X = \frac{8}{3} \sin^2 s \frac{\pi}{p} X_N \tag{14}$$

die in Gl. (6) eingesetzt den vom Primärnetz herrührenden Teil des Gleichspannungsabfalles ergibt. X_N selbst pflegt durch eine dreiphasige Kurzschlussmessung angegeben zu werden

$$U_{kN} = \frac{I_N X_N}{U_N} \quad (U_N = \text{Netzphasenspannung}) \tag{15}$$

Ferner ist

$$U_N = U \quad \text{und} \quad I_N = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{\sin s \frac{\pi}{p}}{s \sin \frac{\pi}{p}} I^2 \tag{16}$$

Aus Gl. (6), (14) bis (16) erhalten wir schliesslich

$$\epsilon_x = U_{kN} \sin \frac{\pi}{p} \tag{17}$$

d. h. der Gleichspannungsabfall und die dreiphasig gemessene Netzkurzschlußspannung sind durch eine Konstante verbunden, die allein von der Phasenzahl und in keiner Weise von der Schaltung abhängt. Zu beachten ist jedoch, dass die Gl. (11) bis (17) nur für ein dreiphasiges Primärnetz gelten. Bei

²⁾ E. Uhlmann, E. u. M. 1936, Heft 11.

einem Einphasennetz wird in Gl. (17) der Faktor $\sin \frac{\pi}{p}$ durch $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ersetzt.

3. Der Gleichrichtertransformator.

Für den Transformator ist die oben definierte einphasige Kurzschlußspannung allein massgebend. Unabhängig von Eigenarten der Schaltung und des Wicklungsaufbaus wird die Spannung gemessen, die den Gleichspannungsabfall tatsächlich bestimmt.

Bei einer Reihe von Schaltungen kann der einphasige und der dreiphasige Kurzschluss ineinander durch einen konstanten Faktor überführt werden. Es sind dies alle Schaltungen mit 120° Brenndauer und ferner noch solche anderer Brenndauer, die keine Tertiärwicklung und keine Zickzackwicklung haben, also reine Zweiwicklungstransformatoren sind. Bei solchen Schaltungen legt somit auch die dreiphasige Kurzschlußspannung den Gleichspannungsabfall eindeutig fest, wenn man die Umrechnungsfaktoren kennt. Der Einheitlichkeit halber sollte man aber auch hier davon absehen und die einphasige Kurzschlussmessung zur Bestimmung des Gleichspannungsabfalles für alle Schaltungen empfehlen.

Bei allen anderen Schaltungen ist der Umrechnungsfaktor vom dreiphasigen Kurzschluss auf den Gleichspannungsabfall in hohem Masse von der Konstruktion abhängig. Es soll hier darauf nicht weiter eingegangen werden, sondern es genüge als Beispiel die Bemerkung, dass bei einer gewöhnlichen 6-Phasenschaltung mit Tertiärwicklung der Gleichspannungsabfall im Verhältnis 1 : 3 verändert werden kann, wenn man die Tertiärwicklung von der Sekundärwicklung zur Primärwicklung bewegt, ohne dass dadurch die dreiphasige Kurzschlußspannung verändert wird. Ebenso ist auch bei der Doppelgabelschaltung der Gleichspannungsabfall stark von der Verkettung der äusseren Aeste abhängig, ohne dass dies einen Einfluss auf den Dreiphasenkurzschluss hat.

Wird aber die oben definierte einachsige Kurzschlußspannung bei Gleichrichtertransformatoren einheitlich als «die Kurzschlußspannung» angegeben, so charakterisiert sie den für den Gleichrichterbetrieb typischen Einfluss der Streureaktanz und man gewinnt die Möglichkeit ebenso wie bei gewöhnlichen Leistungstransformatoren, die Parallelarbeit zweier Einheiten unabhängig von Schaltung, Grösse, Wicklungsaufbau und Fabrikat aus dieser Angabe beurteilen zu können.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Dynamikpresser und Dynamikdehner.

[Nach K. H. Weber, Telefunken Hausmitt. Bd. 19 (1938), Nr. 79, S. 40.]

621.395.665.1

Bei Rundfunkübertragungen besteht ein Bedürfnis, die Verstärkung des Mikrophonstromes in bestimmten Grenzen zu regeln, um Uebersteuerungen und Untersteuerungen zu vermeiden. Früher wurde diese Regelung willkürlich von Hand besorgt. Dies setzt für die mit der Regelung betraute Person zum voraus eine gewisse Kenntnis etwa des zu übertragenden Musikstückes voraus, um z. B. beim Eintreffen einer Fortissimostelle den Regler im voraus betätigen zu können. Da diese Voraussetzung des Vorauswissens oft gar nicht erfüllt sein kann, sind für diesen Zweck automatische Regler erfunden worden. Da der Bereich der Amplituden in dem erwähnten Fall verkleinert wird, werden diese Einrichtungen als Dynamikpresser (Kompressor) bezeichnet. Will man auf der Empfangsseite die durch den Presser hervorgerufene Amplitudenverzerrung oder Dynamikverminderung wieder aufheben, so wendet man den Dynamikdehner (Expander) an.

Bei den Dynamikpressern und -dehnern wird eine lineare Abhängigkeit des Logarithmus der Ausgangsamplitude vom Logarithmus der Eingangsamplitude angestrebt, d. h. $\log E_2 =$

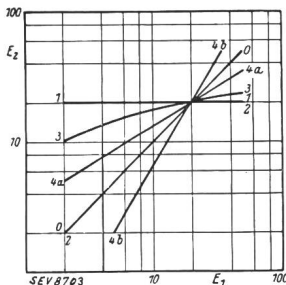


Fig. 1. Prinzipielle Regelkurven von selbsttätigen Verstärkungsreglern.
 E₁ Eingangsspannung.
 E₂ Ausgangsspannung.
 0-0 unregelter Verstärker.
 1-1 Spannungshalter.
 2-2 Begrenzer.
 3-3 Kommandoregler.
 4a-4a Dynamikpresser.
 4b-4b Dynamikdehner.

$a \log E_1 + k$, wobei die Konstante k unwesentlich ist. $a = 1$ entspricht dem unregulierten Verstärker, $a < 1$ dem Dynamikpresser und $a > 1$ dem Dynamikdehner. Je nach dem Ver-

wendungszweck ergeben sich die in Fig. 1 schematisch dargestellten Regelkurven (E_2 als Funktion von E_1). Spannungsbegrenzer sind dabei solche Regler, bei denen die Regelung erst von einer gewissen Amplitude an zu wirken beginnt. Bei den Spannungshaltern ist $a = 0$, sie werden im allgemeinen nur zu Messzwecken verwendet. Eine Mittelstellung

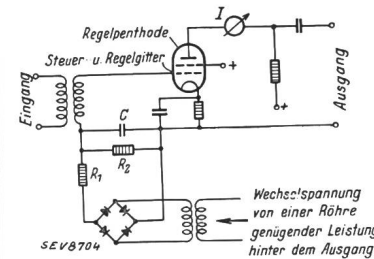


Fig. 2. Schaltung eines einfachen Kommandoreglers.

zwischen diesen beiden nehmen die sog. Kommandoregler ein (Kurve 3-3 in Fig. 1). Eine einfache Schaltung für einen solchen Kommandoregler zeigt Fig. 2. Eine genügend hohe, an irgendeiner Stufe der Verstärkung abgenommene Wechselspannung wird über einen Transformator und Gleich-

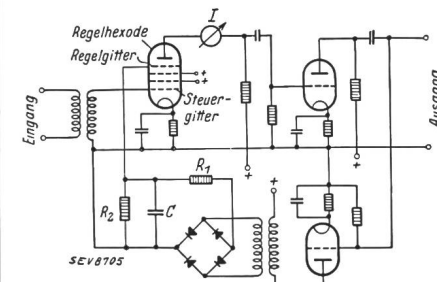


Fig. 3. Schaltung eines einfachen Dynamikpressers.

richter an das gleichzeitig als Regelgitter benutzte Steuer-gitter gelegt. Die benutzte Regelhexode dient ebenfalls als Verstärker. Je nach der Ausgangsamplitude werden am