

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 25  
  
**Artikel:** Ueber eine Regulierdrosselspule mit Potentialsteuerung  
**Autor:** Stein, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059555>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

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

Wir möchten auf diese verschiedenen Auslegungsmöglichkeiten zur Kennzeichnung der Abschaltleistungen von Schmelzsicherungen, je nachdem der Abschmelzvorgang mit einem grossen oder mit einem kleinen Vielfachen des Sicherungsnennstroms

erfolgt, hingewiesen haben und das Thema eventuell zur Bearbeitung für die Vereinsnormen empfehlen.

(Nachsatz der Redaktion: Stellungnahmen zu diesem interessanten Vorschlag von Herrn Direktor E. Heusser nehmen wir mit Dank entgegen.)

## Ueber eine Regulierdrosselspule mit Potentialsteuerung.

Von Dr.-Ing. G. Stein, Berlin.

621.314.234 : 621.314.214 : 621.316.722

Die Untersuchung erstreckt sich auf eine Regulierdrosselspule zur stetigen Regelung eines Spannungsverhältnisses. Die Ausgangsform ist ein induktiver Spannungsteiler. Das Potential in seinem Teilpunkt wird von einem beweglichen Eisenrückschluss gesteuert, auf welchem zur Verkleinerung des inneren Spannungsabfalles eine besondere Steuerwicklung und ausserdem an den beiden Enden Kurzschlussringe mitgeführt werden können. Die Steuerwicklung lässt sich auch in Sparschaltung oder in einer allgemeineren Transformatorenschaltung ausbilden und macht dann einen besonderen Transformator entbehrlich. Für ein Drehstromnetz kommen drei einphasige Drosselspulen in Sternschaltung oder zwei in V-Schaltung zur Anwendung. Auch ist hier eine Phasenregulierung möglich. Zur Bestimmung der Regulierverhältnisse werden einfache Formeln und Diagrammdarstellungen angegeben.

Cette étude est consacrée à une bobine d'inductance servant au réglage continu d'une tension. La forme initiale est un diviseur de tension inductif. Le potentiel au point de division est contrôlé par une culasse mobile sur laquelle, pour diminuer la chute de tension interne, on peut disposer un enroulement spécial de contrôle ainsi que des anneaux de court-circuit aux deux extrémités. L'enroulement de contrôle peut être exécuté comme celui d'un auto-transformateur ou comme celui d'un transformateur à deux enroulements séparés, ce qui évite un transformateur spécial. Pour un réseau triphasé, on peut utiliser trois bobines monophasées couplées en étoile ou deux couplées en V. Là aussi, il est possible de réaliser un réglage du déphasage. Des formules simples et des graphiques permettent de déterminer les conditions de réglage.

Der Reguliertransformator mit einer kontinuierlichen Regelung des Uebersetzungsverhältnisses bildet eine wichtige Type auf dem Gebiete der Regeltransformatoren, wo er z. B. für den elektrischen Zugantrieb usw. gute Dienste leisten kann. Seine ältesten Ausführungsformen sind bekanntlich der Drehregler und der Schubtransformator, bei welchen die Kopplung zweier Spulen durch eine mechanische Bewegung der einen gegen die andere verändert wird. Diese Regelung kann entweder allein zwischen den Enden des hierzu bestimmten Wicklungsteiles eines Spartransformators vorgesehen oder jeweils an eine Stufe eines mechanischen Regulierschalters zur Erzielung einer stromlosen Umschaltung gelegt werden.

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit einem Schubregler und betrachtet als dessen Grundform einen induktiven Spannungsteiler, in welchem nach Fig. 1 eine auf einem Eisenkern  $K_1$  zylindrisch angeordnete Spule von der Induktivität  $L_D$  durch eine Anzapfung  $M$  in zwei gleiche Wicklungen von den Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  und der Gegeninduktivität  $L_{12}$  unterteilt ist. An diesen treten die Spannungen  $e_1$  und  $e_2$  auf und es fliessen ihnen die Ströme  $i_1$  und  $i_2$  zu. Die Spulen werden der Einfachheit halber im folgenden jeweils mit den für sie eingeführten Induktivitäten bezeichnet. Die freien Enden  $a$  und  $b$  von  $L_1$  und  $L_2$  sind an die Spannung  $e_D$  der Anzapfungen  $A$  und  $B$  des Spartransformators angeschlossen, welchem eine Netzspannung  $e_1$  und ein Netzstrom  $i_1$  mit der Kreisfrequenz  $\omega$  zugeführt werden und in welchem der Bereich  $e_D = \alpha \cdot e_1$  stetig zu regulieren ist. Dem Punkt  $B$  fliessen zu beiden Seiten die Ströme  $\alpha i_2$  und  $(1 - \alpha) i_2$  zu. Die Belastungsspannung  $e_{II}$  wird zwischen der Eingangsklemme  $C$  des Spartransformators und der Klemme  $M$  entnommen. Durch

einen beweglichen Eisenrückschluss oder Schieber  $K_2$  für  $L_1$  und  $L_2$  lässt sich das Potential von  $M$  so steuern, dass es im idealen Falle, d. h. unter Vernachlässigung aller inneren Spannungsabfälle, in der oberen Stellung von  $K_2$  mit dem von  $B$ , in der

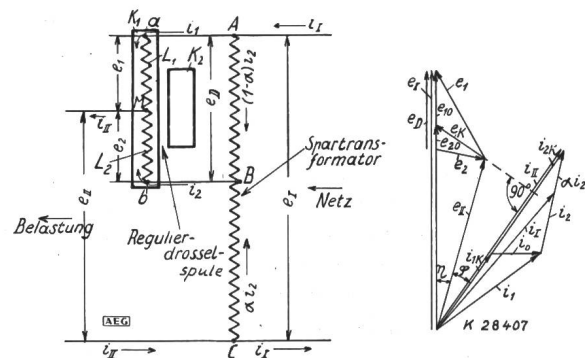


Fig. 1.  
Allgemeine Strom- und Spannungsverteilung einer doppelten Regulierdrosselspule.

unteren mit dem von  $A$  zusammenfällt. Hierbei fliesst der Belastungsstrom  $i_{II}$  über die jeweils eisenoffene Drosselspule und erzeugt dort einen Spannungsabfall  $e_K$ , welcher die Höhe von  $e_{II}$  herabsetzt, seine Phase gegenüber  $e$  um einen Winkel  $\eta$  dreht und den tatsächlichen Regulierbereich gegenüber  $e_D$  erheblich verkleinert.

Im allgemeinen, d. h. für jede Stellung von  $K_2$ , erhält man  $e_K$  aus einer Kurzschlussmessung (Index  $K$ ) der Drosselspule allein, bei welcher man  $a$  mit  $b$  verbindet und zwischen  $M$  und  $a$ , bzw.  $b$ , mit  $i_{II}$  erregt. Die Ueberlagerung der Ergebnisse dieser Kurzschlussmessung über die einer entsprechenden unter Erregung mit  $e_D$  vorgenommenen Leerlaufmessung (Index  $o$ ) mit dem Leerlaufstrom  $i_o =$

$i_{10} = -i_{20}$  liefert das in Fig. 1 mit eingezeichnete Belastungsdiagramm der Kombination Drosselspule + Spartransformator, wobei die Leerlaufsströme und Kurzschlußspannungen des letzteren der einfachen Darstellung halber nicht berücksichtigt sind und in als bekannt vorausgesetzter Weise überlagert werden können. Die für die Ströme und Spannungen eingeführten kleinen Buchstaben sollen ihre Momentanwerte bezeichnen, während für ihre Effektivwerte die entsprechenden grossen Buchstaben gesetzt sind. Die Leerlaufs- und Kurzschlussgrößen der Regulierdrosselspule lassen sich dann bei Vernachlässigung der Ohmschen Spannungsabfälle und unter Einführung einer Leerlaufimpedanz  $\omega L_0$ , sowie einer Kurzschlussimpedanz  $\omega L_K$  auch in der Form:

$$\left. \begin{aligned} \omega L_0 &= \frac{E_D}{I_0} = \omega L_D = \omega (L_1 + 2L_{12} + L_2); \\ \omega L_K &= \frac{E_K}{I_{II}} = \omega \frac{L_1 \cdot L_2}{L_D} \left[ 1 - \frac{L_{12}^2}{L_1 \cdot L_2} \right]; \\ \frac{E_{10}}{E_D} &= \frac{I_{2K}}{I_{II}} = \frac{L_1 + L_{12}}{L_D}; \\ \frac{E_{20}}{E_D} &= \frac{I_{1K}}{I_{II}} = \frac{L_2 + L_{12}}{L_D} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

errechnen. Demnach teilt sich im Kurzschluss und mit Rücksicht auf die geringe Höhe der Leerlaufsströme bei Belastung  $i_{II}$  angenähert in  $i_1$  und  $i_2$  so, als ob  $L_1$  und  $L_2$  direkt parallel geschaltet wären.

Eine wesentliche Verkleinerung von  $e_K$  ergibt die Anordnung Fig. 2 einer von dem Strom  $i_p$  durchflossenen Steuerwicklung auf  $K_2$  von der gleichen

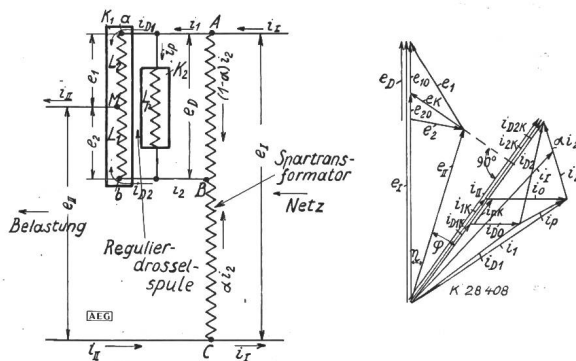


Fig. 2.

Allgemeine Strom- und Spannungsverteilung einer doppelten Regulierdrosselspule mit Potentialsteuerung.

Windungszahl wie  $L_1$ , bzw.  $L_2$ , welche parallel zur festen Drosselspule an die Klemmen  $a$  und  $b$  angeschlossen wird und welche die Selbstinduktivität  $L_p$  und die Gegeninduktivitäten  $L_{Dp}$ ,  $L_{1p}$ ,  $L_{2p}$  gegenüber  $L_D$ , sowie gegenüber  $L_1$  und  $L_2$  besitzt.  $i_{D1}$  und  $i_{D2}$  bezeichnen hierbei die Drosselspulenströme, während  $i_1$  und  $i_2$  von  $A$  und  $B$  aus zufließen. In den Endstellungen von  $K_2$  herrscht alsdann im idealen Falle, d. h. bei einer vollkommenen Kopplung zwischen  $L_p$  und den gegenüberliegenden Drosselspulenwicklungen, die gleiche Potentialverteilung wie bei einer Drosselspule ohne Steuerwicklung.

$i_{II}$  hingegen fließt jetzt in der oberen Endstellung des Schiebers von  $B$  aus mit gewisser Analogie dem Gesetz der kommunizierenden Röhren in der Hydrodynamik folgend über  $L_p$  hinauf und durch das gegenüberliegende  $L_1$  wieder bis  $M$  hinab, schafft sich also seinen eigenen Gegenstrom. Spiegelbildlich hierzu strömt  $i_{II}$  in der unteren Endstellung von  $A$  aus über  $L_p$  hinab und durch  $L_2$  wieder bis  $M$  hinauf. In Wirklichkeit sind diesmal gewissermaßen die Streuinduktivitäten  $S_{1p}$  und  $S_{2p}$  zwischen  $L_p$  und  $L_1$ , bzw.  $L_2$ , parallel geschaltet, so dass sich  $i_{II}$  in den Endstellungen auf die eisengeschlossene und auf die eisenoffene Drosselspule, d. h. gleichwie in den übrigen Teilen des Schieberweges auf beide Drosselspulen zweigeteilt. Das allgemeine auf Fig. 2 miteingezeichnete Belastungsdiagramm folgt hier wie das auf Fig. 1 aus einer Überlagerung der in gleicher Weise wie bei der Drosselspule ohne Steuerwicklung vorgenommenen Leerlaufs- und Kurzschlussmessung, wobei der Leerlaufsdrosselspulenstrom mit  $i_{D0} = i_{D10} = -i_{D20}$  bezeichnet wird. Für die Vorausberechnung der Leerlaufs- und Kurzschlussgrößen ergibt sich unter Einführung der gegenseitigen Streuinduktivitäten  $S_{Dp}$  und  $S_{12p}$  von  $L_p$  und  $L_D$ , sowie von  $L_p$ ,  $L_1$  und  $L_2$  die Form:

$$\left. \begin{aligned} \omega L_0 &= \omega S_{Dp} \frac{L_p}{L_p - 2L_{Dp} + L_D}; \\ \omega L_K &= \omega \frac{S_{1p} \cdot S_{2p}}{S_{Dp}} \left[ 1 - \frac{S_{12p}^2}{S_{1p} \cdot S_{2p}} \right]; \\ \frac{I_{D2K}}{I_{II}} &= \frac{S_{1p} + S_{12p}}{S_{Dp}}; \quad \frac{I_{D1K}}{I_{II}} = \frac{S_{2p} + S_{12p}}{S_{Dp}}; \\ \frac{I_{pK}}{I_{II}} &= \frac{\frac{L_{2p}}{L_p} S_{1p} + \frac{L_{2p} - L_{1p}}{L_p} S_{12p} - \frac{L_{1p}}{L_p} S_{2p}}{S_{Dp}}; \\ \frac{E_{10}}{E_D} &= \frac{I_{2K}}{I_{II}} = \frac{L_{1p}}{L_p} + \frac{I_{D2K}}{I_{II}} (L_p - L_{Dp}); \\ \frac{E_{20}}{E_D} &= \frac{I_{1K}}{I_{II}} = \frac{L_{2p}}{L_p} + \frac{I_{D1K}}{I_{II}} [L_p - L_{Dp}] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Diese Ausdrücke unterscheiden sich von den Gl. (1) der Drosselspule ohne Steuerwicklung im wesentlichen insofern, als anstelle der Selbst- und Gegeninduktivitäten die entsprechenden Streuinduktivitäten treten, und stimmen mit ihnen darin überein, dass sich in jeder Schieberstellung die den beiden Drosselspulenhälften von  $A$  und  $B$  aus zufließenden Kurzschlußströme umgekehrt wie deren Leerlaufspannungen verhalten.

In der Mittelstellung verschwindet der Einfluss der Steuerwicklung auf die Grösse von  $e_K$  und so in der Anordnung Fig. 2 auf alle Belastungsgrößen. Dagegen lässt sich  $e_K$  durch Mitführen von Kurzschlusswicklungen oder Kurzschlussringen an jedem Ende von  $K_2$  auch in jenem Bereiche noch erheblich verringern, da die in ihnen fließenden Gegenströme die Induktivitäten der eisenoffenen Drosselteile verkleinern. Diese Massnahme trägt in den übrigen Schieberstellungen zu einer weiteren Her-

absetzung von  $e_K$  bei und bleibt selbst in einer Drosselspule ohne Steuerwicklung (Fig. 1) auf dem ganzen Schieberwege wirksam.

Die Regulierung der Drosselspulen Fig. 1 und 2 ist umkehrbar; d. h. man kann auch bei  $M$  und  $C$  mit  $e_{II}$  erregen und eine Belastungsspannung  $e_I$  bei  $A$  und  $B$  abnehmen, wobei zur Konstruktion der entsprechenden Belastungsdiagramme die Kurzschlußströme und Spannungen gegenüber denen bei Leerlauf umzukehren sind. Dann besitzt auch in der Mittelstellung die Steuerwicklung einen, wenn auch sehr kleinen Einfluss.

Anstelle einer Diagrammkonstruktion (Fig. 1 und 2) lassen sich zur Ermittlung der Regulierwerte unter Einführung einer Belastungsimpedanz  $z$  und eines Belastungswinkels  $\varphi$  mit grosser Annäherung folgende für die Drosselspule ohne, wie auch mit Steuerwicklung gültige Formeln entwickeln:

$$\left. \begin{aligned} \omega L_o &= \frac{E_D}{I_o}; \quad \omega L_K = \frac{E_K}{I_{II}}; \\ \frac{E_{IIo}}{E_I} &= 1 - \alpha \frac{E_{Io}}{E_D}; \\ Z &= \frac{E_{II}}{I_{II}}; \quad \frac{I_{Io}}{I_o} = \alpha; \quad \frac{E_K}{E_{II}} = \frac{\omega L_K}{Z}; \\ \frac{E_{II}}{E_I} &= \frac{E_{IIo}}{E_I} = \frac{1}{1 + \frac{E_K}{E_{II}} \sin \varphi}; \\ \operatorname{tg} \eta &= \frac{E_{II}}{E_{IIo}} \cdot \frac{E_K}{E_{II}} \cos \varphi; \\ \frac{I_o}{I_{II}} &= \frac{\alpha Z}{\omega L_o} \cdot \frac{E_I}{E_{II}}; \\ Z &= \frac{E_I}{I_I}; \quad \frac{I_{IIo}}{I_o} = \alpha; \quad \frac{I_o}{I_I} = \frac{\alpha Z}{\omega L_o}; \\ \frac{I_{II}}{I_I} &= \frac{E_I}{E_{IIo}} \left( 1 + \alpha \frac{I_o}{I_I} \sin \varphi \right); \\ \frac{E_K}{E_I} &= \frac{\omega L_K}{Z} \cdot \frac{I_{II}}{I_I}; \\ \frac{E_{II}}{E_I} &= \frac{E_{IIo}}{E_I} + \frac{E_K}{E_I} \sin \varphi; \\ \operatorname{tg} \eta &= \frac{E_I}{E_{II}} \cdot \frac{E_K}{E_I} \cos \varphi \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Er-} \\ \text{regung} \\ \text{an } e_I \\ \\ \\ \\ \text{Er-} \\ \text{regung} \\ \text{an } e_{II} \end{array} \quad (3)$$

Als Beispiel diene die Regulierung einer von der AEG-Transformatorfabrik an die Preussischen Elektrizitätswerke A.-G. gelieferten dreiphasigen Drosselspule. Bei dieser beträgt in jeder Phase:  $E_I = 3930$  V;  $E_D = 925$  V;  $z = 30 \Omega$ ;  $\cos \varphi = 0,8$  (induktiv);  $\alpha = 0,235$ . Die zugehörigen aus den Werten in den Endstellungen und in der Mittelstellung von  $K_2$  bei einer Spaltweite  $\delta = 2$  mm zwischen  $K_1$  und  $K_2$  (vgl. Fig. 9) konstruierten Regulierkurven, d. h.  $E_{II}/E_I$  in Abhängigkeit von dem in 16 gleiche Abschnitte geteilten Schieberweg, zeigt Fig. 3. Man erkennt hier deutlich die von der Steuerwicklung vor allem in den

Endstellungen und von den Kurzschlussringen vor allem in der Mittelstellung erzielten Verbesserungen. Auch sei darauf hingewiesen, dass die Kurven bei Erregung durch  $e_I$  unterhalb, bei Erregung durch  $e_{II}$  oberhalb der sich für  $E_K = 0$  ergebenden idealen Kurve liegen. Die näheren Daten dieser Regulierung gehen aus Tabelle I hervor, wo für die Fälle Fig. 3 neben  $E_{II}/E_I$  die Phasendrehung  $\eta$  und der Regulierbereich und  $\omega L_K$  in den Endstellungen und in der Mittelstellung angegeben sind.

Genau genommen verlaufen die Regulierkurven nicht so glatt wie in Fig. 3, sondern es ändern sich die Werte von  $\omega L_o$ ,  $\omega L_K$  und  $E_{Io}/E_D$  in Abhängigkeit vom Schieberweg und für  $\delta = 0,2$ , bzw.  $2,0$  mm aus weiter unten näher erläuterten Gründen bei dem genannten Zahlenbeispiel und für den Fall einer Regulierung mit Steuerwicklung und Kurzschlussringen nach Fig. 4. Auf dieser besitzen vor allem die Kurven von  $\omega L_o$  und  $\omega L_K$  eine mit abnehmenden  $\delta$  stark wachsende Verzerrung. Die sich aus Fig. 4 ergebenden Regulierkurven zeigt Fig. 5. Von diesen bildet der Verlauf bei  $\delta = 2$  mm eine verfeinerte Darstellung der gestrichelten Kurven 1<sub>b</sub> und 2<sub>b</sub> in Fig. 3. Selbst bei  $\delta = 0,2$  mm wächst, bzw. fällt  $E_{II}/E_I$  in Fig. 5 trotz der Schwankungen auf dem ganzen Schieberweg monoton und läuft für beide  $S$  in den Endstellungen horizontal ein, so dass die eigentliche Regulierung erst in der 2., bzw. 14. Schieberstellung beginnt.

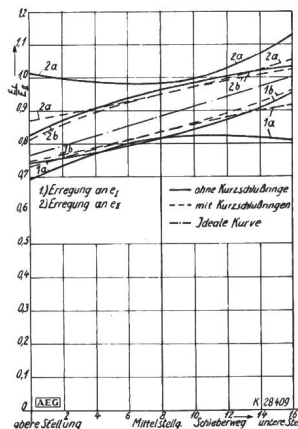


Fig. 3.

Regulierkurven bei Belastung einer doppelten Regulierdrosselspule. Nach den Werten der Schieberendstellungen und der Mittelstellung.

- a) Ohne Steuerwicklung.  
b) Mit Steuerwicklung.

Die beiden behandelten Regulierungen Fig. 1 und 2 bedürfen neben der eigentlichen Regulierdrosselspule eines besonderen Spartransformators. Dieser wird nunmehr in der beispielsweise für eine Erregung durch  $e_I$  gezeichneten Anordnung Fig. 6 vermieden, indem wir seine Hauptwicklung zwischen  $B$  und  $C$  in Gestalt einer von dem Strome  $i_t$  durchflossenen Spule  $L_t$  auf den Schieber  $K_2$  legen und den Wicklungsteil zwischen  $A$  und  $B$  mit  $L_p$  zusammenfallen lassen. Die übrigen Daten bleiben hier dieselben wie in Fig. 2. Eine Berechnung der zugehörigen Strom- und Spannungsverteilung lässt sich in derselben Weise wie dort (Gl. 1 bis 3) vornehmen, wenn wir uns an Stelle von  $L_p$  zwei gleiche parallel geschaltete Wicklungen  $L_{pa}$  und  $L_{pb}$  denken, auf welche sich  $i_p$  so verteilt, dass sich die Ampèrewindungen von  $L_{pa}$ ,  $L_1$  und  $L_2$  einerseits, sowie die

Aus Leerlauf- und Kurzschlussmessung berechnete Regulierverhältnisse einer doppelten Regulierdrosselspule.

Tabelle I.

Schaltung der Regulierdrosselspule		Obere Schieberstellung		Mittlere Schieberstellung		Untere Schieberstellung		Regulierbereich %	Schieberendstellung $\omega L_K \Omega$	Mittlere Schieberstellung $\omega L_K \Omega$
		$E_{II} / E_I$	$\eta$	$E_{II} / E_I$	$\eta$	$E_{II} / E_I$	$\eta$			
Idealer Fall		0,765	0°	0,882	0°	1,000	0°	23,5	0,0	0,0
Ohne Zusatzwicklungen	Erregung an $e_I$	0,696	10° 25'	0,820	5° 20'	0,808	10° 25'	12,4	8,00	3,74
	Erregung an $e_{II}$	1,014	14° 30'	0,980	6° 10'	1,127	11° 30'	14,7	8,00	3,74
Mit Kurzschlussringen	Erregung an $e_I$	0,734	4° 52'	0,837	3° 54'	0,918	4° 52'	18,4	3,40	2,68
	Erregung an $e_{II}$	0,872	7° 38'	0,944	4° 57'	1,051	5° 6'	17,9	3,40	2,68
Mit Potentialsteuerung	Erregung an $e_I$	0,743	2° 52'	0,820	5° 20'	0,957	2° 52'	21,4	1,95	3,74
	Erregung an $e_{II}$	0,823	4° 45'	0,963	6° 23'	1,034	2° 58'	21,1	1,95	3,74
Mit Potentialsteuerung und Kurzschlussringen	Erregung an $e_I$	0,748	2° 18'	0,837	3° 54'	0,963	2° 18'	21,5	1,54	2,68
	Erregung an $e_{II}$	0,812	3° 47'	0,944	5° 0'	1,025	2° 23'	21,3	1,54	2,68

von  $L_{pb}$  und  $L_t$  anderseits gesondert ausgleichen. Die gegenseitige Induktion dieser beiden Systeme ist hierbei vernachlässigbar klein. Bei einer experimentellen Untersuchung hingegen behandeln wir die Drosselspule Fig. 6 wie einen gewöhnlichen

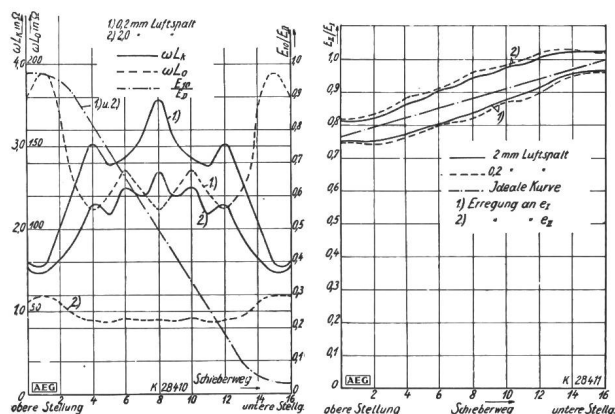


Fig. 4.

Regulierungsgrößen der doppelten Regulierdrosselspule mit Steuerwicklung und Kurzschlussringen.

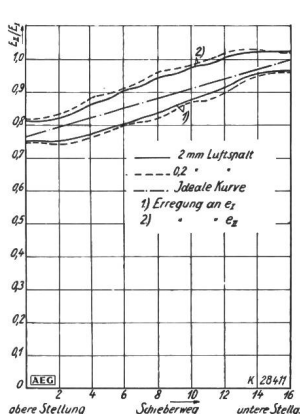


Fig. 5.

Regulierungskurven der doppelten Regulierdrosselspule mit Steuerwicklung und Kurzschlussringen.

Transformator, indem wir für dieses Beispiel einer Erregung durch  $e_I$  das nebenstehende Belastungsdiagramm aus den Regulierdaten einer Kurzschluss-erregung durch  $i_{II}$  bei Verbindung von  $A$  mit  $C$  und einer Leerlauf-erregung durch  $e_I$  zusammensetzen. In analoger Weise wäre dann bei einer Erregung durch  $e_{II}$  zur Konstruktion des Belastungsdiagramms in der Kurzschlussmessung durch  $i_I$  zu erregen und  $M$  mit  $C$  zu verbinden, während die Leerlaufsmessung von  $e_{II}$  aus zu erfolgen hätte.

Für den Fall einer symmetrischen Regulierung von  $E_{II}/E_I$ , also in den Grenzen  $1 - \frac{\alpha}{2}$  und  $1 + \frac{\alpha}{2}$  ist der obere Leiter von  $e_I$  anstatt bei  $A$  (Fig. 6) in der Mitte von  $L_p$  anzuschließen.

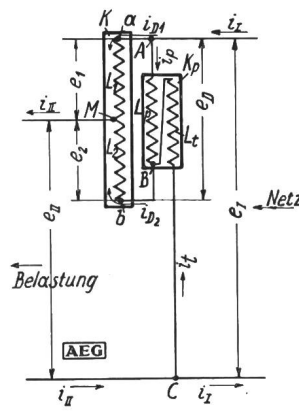


Fig. 6.

Allgemeine Strom- und Spannungsverteilung einer doppelten Regulierdrosselspule mit Potentialsteuerung in Sparschaltung.

Die Sparschaltung Fig. 6 lässt sich zu einer allgemeineren Transformatorschaltung ausgestalten, wenn wir auf dem Schieber  $K_2$  noch eine weitere von den übrigen Teilen elektrisch getrennte Wicklung anordnen und die Spannung  $e_I$  an diese anstatt an die Klemmen  $A$  und  $B$  heranzuführen. In dieser Anordnung kann man die Drosselspule direkt an ein Hochspannungsnetz legen, dem eine durch sie regulierbare Niederspannung entnommen werden soll.

Zur Regulierung eines Drehstromnetzes lassen sich u. a. nach dem Schaltungsdiagramm Fig. 7 drei



Einphasendrosselspulen  $D_1, D_2, D_3$  mit Steuerwicklung und Sparschaltung in Sternschaltung verbinden, indem man sie z. B. für die in Fig. 1 und 2 behandelten Energierichtung zwischen den Klemmen  $A_1, A_2, A_3$  erregt, zwischen den Klemmen  $M_1, M_2, M_3$  belastet und die Klemmen  $C_1, C_2, C_3$  miteinander verbindet. Es erübrigt sich hierbei, die Drosselspulen durch eine in Dreieck geschaltete Tertiärwicklung zu verketteten, da die Luftspalte  $\delta$  (Fig. 9) die Oberwellen dreifacher Frequenz in den

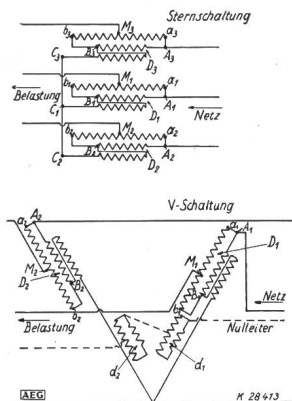


Fig. 7.

Drehstromschaltung von 3 doppelten Regulierdrosselspulen mit Steuerwicklung in Sparschaltung.

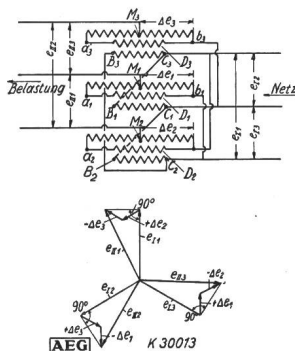


Fig. 8.

Phasenregulierung durch eine Drehstromschaltung von 3 doppelten Regulierdrosselspulen mit Steuerwicklung in Sparschaltung.

Phasenspannungen genügend dämpfen. Anstelle der Sternschaltung braucht man auch nur zwei Drosselspulen  $D_1, D_2$  in der auf Fig. 7 mit zur Darstellung gebrachten Form zu einer V-Schaltung zusammenzuschliessen, wobei man sie bei  $A_1, A_2$  und ihrer gemeinsamen Klemme erregt, sowie bei dieser und  $M_1, M_2$  belastet. In einem solchen Falle wird es allerdings notwendig, einen etwa vorhandenen Nulleiter durch gesonderte hintereinandergeschaltete Systeme  $d_1, d_2$  aus Steuer- und Drosselspulenwicklungen von den halben Windungszahlen wie die Hauptwicklungen mit zu regulieren, da sonst sein Potential nicht im Schwerpunkt des Spannungsdreiecks bleibt.  $d_1, d_2$  werden auf den entsprechenden Eisenkernen von  $D_1$  und  $D_2$  mit untergebracht.

Für eine Phasenregulierung durch eine Drehstromschaltung von drei Regulierdrosselspulen  $D_1, D_2, D_3$  mit Steuerwicklung und Sparschaltung etwa zum Zwecke der Blindlastverteilung auf zwei gekoppelte Netze sind die Wicklungsteile zwischen  $B_1$  und  $C_1, B_2$  und  $C_2, B_3$  und  $C_3$  der Sternschaltung Fig. 7 von den übrigen zwischen  $a_1$  und  $b_1, a_2$  und  $b_2, a_3$  und  $b_3$  liegenden Spulen jeder Drosselspule elektrisch zu trennen und nach dem Schaltungsschema Fig. 8 in Dreieck zusammenzuschliessen. Hiernit vereinigen wir in Sternschaltung die der Phase

nach jeweils gegenüberliegenden Steuer- und Drosselspulenwicklungen, d. h. wir verbinden  $C_1$  mit  $b_2, C_2$  mit  $b_3$  und  $C_3$  mit  $b_1$ . Dieses System wird z. B. bei  $C_1, C_2, C_3$  durch die Spannungen  $e_{11}, e_{12}, e_{13}$  erregt und bei  $M_1, M_2, M_3$  durch  $e_{112}, e_{123}, e_{131}$  belastet. Bezeichnen  $\Delta e_1, \Delta e_2, \Delta e_3$  die von den einzelnen Drosselspulenwicklungen gelieferten zusätzlichen Spannungen, so bestehen nach Fig. 8 die Spannung  $e_{111}$  aus  $e_{12}, \Delta e_2$  und  $-\Delta e_3$ , die Spannung  $e_{112}$  aus  $e_{12}, \Delta e_3$  und  $-\Delta e_1$  usw. Deshalb kommt nach dem hier mit eingezeichneten Vektordiagramm zu  $e_{11}, e_{12}, e_{13}$  je ein resultierender um  $90^\circ$  voreilender Vektor durch die Regulierung hinzu und ergibt die gewünschte Phasendrehung dieser Spannungen.

Die nähere konstruktive Gestaltung einer Regulierdrosselspule, und zwar speziell einer solchen in Sparschaltung zeigt Fig. 9.  $K_1$  bildet hier einen Zylinder, welchen der in zwei Joche unterteilte Schieber  $K_2$  zu beiden Seiten umrahmt. Die Wicklungen  $L_1$  und  $L_2$  bestehen aus mehreren in gesonderten Nuten auf  $K_1$  untergebrachten Scheibenspulen.  $L_p$  und  $L_t$  hingegen sind, ebenso wie eine weitere hier nicht eingezeichnete elektrisch getrennte Transformatorwicklung, als geschlossene Zylinderspulen ausführbar, so dass sie nur ebenso wie ein gewöhnlicher Transformator isoliert zu werden brauchen und demnach in ihrer Spannungshöhe praktisch nicht begrenzt sind, während die Nutenwicklungen von  $L_1$  und  $L_2$  erfahrungsgemäss nur bis etwa 20 000 Volt gegen  $K_1$  isoliert werden können. Aus diesem Grunde bringt man  $K_1$  auf das gleiche elektrische Potential wie  $M$ , wodurch die Drosselspule für jede in Frage kommende Hochspannung ausführbar wird. Die Flansche der Schieberjoche überdecken an einigen Stellen des

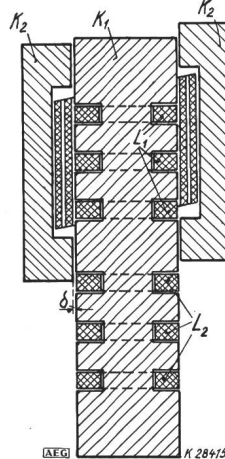


Fig. 9.

Konstruktives Schema einer doppelten Regulierdrosselspule mit Steuerwicklung in Sparschaltung.

Schieberweges die gegenüberliegenden Scheibenspulen, so dass dort eisengeschlossene Wicklungen mit ganz beträchtlich erhöhten Induktivitäten entstehen. Hierdurch sind auch die Schwankungen in dem Verlauf von  $\omega L_0, \omega L_K$  und  $E_{11}/E_1$  in Fig. 4 und 5 erklärt. Zu ihrer Verkleinerung hat man die beiden Schieberjoche in Fig. 9 gegeneinander versetzt, so dass jeweils nur das eine von ihnen eine Scheibenspule überdecken kann. Die konstruktive Anordnung der Fig. 9 von Schieber und Drosselspule lässt sich schliesslich auch umkehren, d. h. wir können  $K_1$  als Hohlzylinder ausbilden und  $K_2$  in seinem Innern führen.