

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 43 (1952)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Bisherige Lösungen zur Regulierung von Spannung und Blindleistung und ihre Grenzen  
**Autor:** Gantenbein, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057871>

### **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:** 25.12.2024

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

## Bisherige Lösungen zur Regulierung von Spannung und Blindleistung und ihre Grenzen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung über Regulierung grosser Netzverbände des SEV vom 3. April 1952 in Lausanne, von A. Gantenbein, Zürich

621.316.72

Die Blindleistungs-Kompensation in Nieder- und Hochspannungsnetzen als Mittel zur Vermeidung von unnötigen Verlusten in Leitungen und Transformatoren wird dargelegt. An Hand von Beispielen werden die verschiedenen Arten der Kompensations- und Regulier-Möglichkeiten der Blindleistung gezeigt. Entsprechend der grossen Bedeutung der Spannungs- und Blindleistungs-Regulierung im Verbundnetz wird die Doppelaufgabe des Reguliertransformators in Kuppelleitungen, mit der zugehörigen Apparatur, ausführlich beschrieben. Einerseits soll mit dem Reguliertransformator der Blindleistungs-Transportanteil der Kuppelstelle geregelt werden, solange noch andere Kuppelstellen bestehen die das Spannungsverhältnis der Netzteile festgelegt haben. Andererseits soll der Reguliertransformator ein bestimmtes Spannungsverhältnis aufrecht erhalten, wenn eines der Netze frei ist. Das Delta Var Relais stellt die zwei erwähnten Betriebszustände automatisch fest und regelt je nach Umständen auf Spannung oder Blindleistung. Diese Regelung bewirkt ein Minimum von Blindleistungsaustausch und damit auch einen wirtschaftlichen Verbundbetrieb, ohne fernübertragende Messwerte.

La compensation de la puissance réactive dans les réseaux à haute et basse tension comme moyen d'éviter des pertes supplémentaires dans les lignes et transformateurs est exposée. A l'aide d'exemples, diverses possibilités de compensation et de régulation de la puissance réactive sont montrées. Le double rôle du transformateur réglable dans les lignes de couplage, avec l'appareillage correspondant est décrit en détail, étant donnée la grande importance que revêt le réglage de la tension et de la puissance réactive dans l'interconnexion. D'une part, la part de puissance réactive transportée doit être réglée au lieu de couplage par le transformateur à gradins tant qu'il y a encore d'autres points de couplage qui fixent les rapports de tension des réseaux partiels. D'autre part, le transformateur réglable doit maintenir une tension déterminée lorsqu'un des réseaux est libre. Le relais deltavar différencie ces deux états et passe automatiquement au réglage de la tension ou de la puissance réactive selon le cas. Cette régulation réduit au minimum les échanges de puissance réactive et, par suite, un service d'interconnexion rationnel, sans télémessures.

Bei Wechselstrom ist mit dem Begriff Wirkenergie zwangswise auch der Begriff Blindenergie verbunden. Blindenergie wird benötigt sowohl bei den Verbrauchern selbst als auch in den elektrischen Übertragungseinrichtungen. Bei den Verbrauchern sind es vor allem die Magnetisierungsströme der Motoren, bei den Übertragungseinrichtungen diejenigen der Transformatoren und bei den Leitungen die induktiven Spannungsabfälle, die den Bedarf an Blindenergie verursachen.

Der beim Verbraucher benötigte Blindstrom muss zwangswise vom Generator geliefert werden, sofern keine Blindstromkompensationseinrichtungen vorhanden sind. Da die Generatoren vom Verbraucher oft sehr weit entfernt sind, so wird, wenn man die Fig. 1 betrachtet, klar, was für grosse zusätzliche Verluste im ganzen Übertragungssystem entstehen. Der Blindstrom im 380-V-Netz muss über das 16-kV-Hochspannungsverteilsnetz, das 50-kV-Mittelspannungsnetz und das 150-kV-Hochspannungsübertragungsnetz vom Generator gedeckt werden. Wenn wir uns das gesamte Netz der Fig. 1 richtig vergegenwärtigen, so kommt man zwangsläufig zur Erkenntnis, dass Blindströme am Ort des Verbrauchers oder wenigstens in deren näherer Umgebung zu kompensieren sind, damit ein Blindstromtransport und unnötige Verluste im ganzen Netz vermieden werden. Im Idealfall der Blindstromkompensation sollte in jeder Spannungsstufe der betreffende Blindstromanteil gedeckt werden. Der Generator wäre damit praktisch von der Blindstromlieferung entbunden.

Die letzte Frage Nr. 8f im Fragebogen der Studienkommission für Regulierung grosser Netzverbände, die im Jahre 1947 den Elektrizitätswerken zugestellt wurde, lautete:

«Welche Anforderungen stellen Sie an die Blindleistung, die mit der Wirkleistung zu übertragen ist?»

Die weitaus meisten Elektrizitätswerke, die Energie direkt an den Konsumenten abgeben, ant-

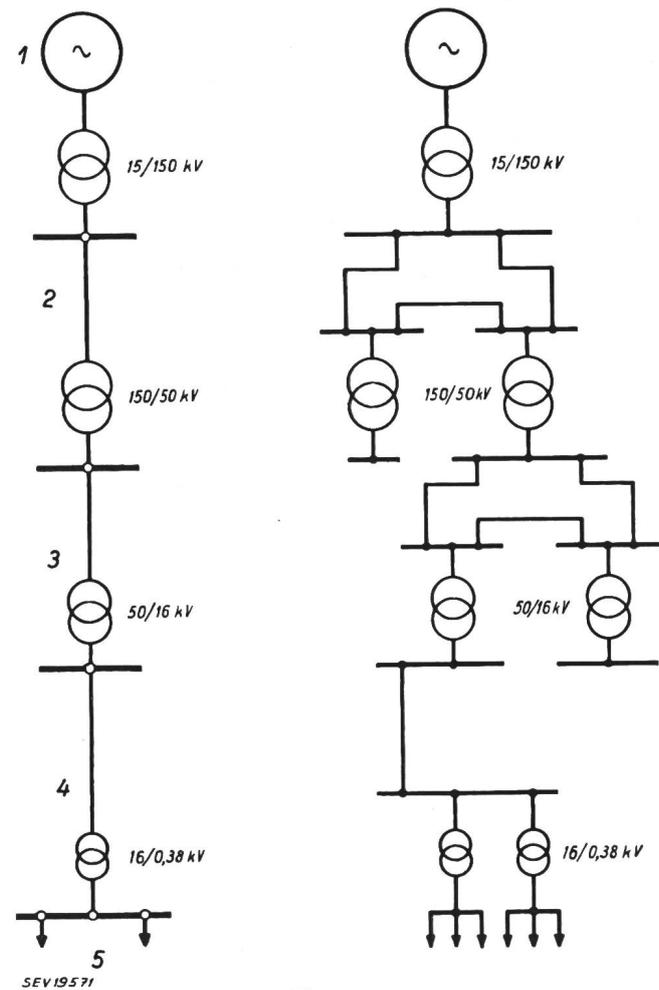


Fig. 1  
Schaltschemata von Energie-Übertragungssystemen  
1 Stromerzeuger; 2 Hochspannungs-Übertragungsnetz; 3 Mittelspannungsnetz; 4 Hochspannungs-Verteilnetz; 5 Niederspannungs-Verteilnetz (Verbraucher)

worteten: Der Leistungsfaktor soll  $\cos \varphi \geq 0,8$  betragen. Einzelne Werke haben keine weiteren Bedingungen gestellt, andere belasten die Blindleistung tariflich, wieder andere besitzen ein Prämien- bzw. Bussensystem. Aus diesen Massnahmen geht eindeutig hervor, dass die Elektrizitätswerke mit allen Mitteln darauf achten, schon beim Verbraucher selbst den Blindstrom zu kompensieren, da sie den Blindstromanteil, der in den eigenen Übertragungseinrichtungen entsteht, ohnehin selber decken müssen.

Schliessen einzelne, selbständige und unabhängige Elektrizitätsunternehmen ihre Netze zum Verbundbetrieb zusammen, so kommt der Beherrschung des elektrischen Energieflusses in den sog. Kuppel-

1. Blindleistungsregulierung im Niederspannungsverteilnetz,
2. Blindleistungsregulierung im Hochspannungsverteilnetz bzw. im Mittelspannungs- und Hochspannungs-Übertragungsnetz,
3. Blindleistungsregulierung im Verbundnetz.

### 1. Blindleistungsregulierung im Niederspannungsverteilnetz

Als Mittel zur Blindleistungskompensation kommen in erster Linie Kondensatoren in Frage. Das Zu- und Abschalten der einzelnen Kondensatoreinheiten kann von Hand oder automatisch durch ein Blindleistungsrelais erfolgen. Fig. 2 zeigt ein prinzipielles Schaltschema einer solchen Regulierung. Der Regler 1 hält den Leistungsfaktor in den vorgeschriebenen Grenzen, indem er über den Walzenschalter 5 und die Schütze 6 die einzelnen Kondensatoreinheiten zu- und abschaltet.

Bei den Abnehmern mit grossen Motorleistungen können mit Vorteil auch übererregte Synchronmotoren verwendet werden. Ein automatischer  $\cos \varphi$ -Regler reguliert dann die Erregung des Synchronmotors so, dass der Leistungsfaktor praktisch konstant ist. Der Einstellwert des Leistungsfaktors lässt sich dabei auf beliebige Werte im induktiven und kapazitiven Gebiet einstellen. Schreibt das Elektrizitätswerk einen bestimmten minimalen  $\cos \varphi$  vor, so ist es Sache des Konsumenten, solche Kompensationsmittel anzuschaffen.

### 2. Blindleistungsregulierung im Hochspannungsverteilnetz, bzw. im Mittelspannungs- und Hochspannungs-Übertragungsnetz

Die in diesen Übertragungseinrichtungen benötigten Blindströme muss das Werk selber decken. Je

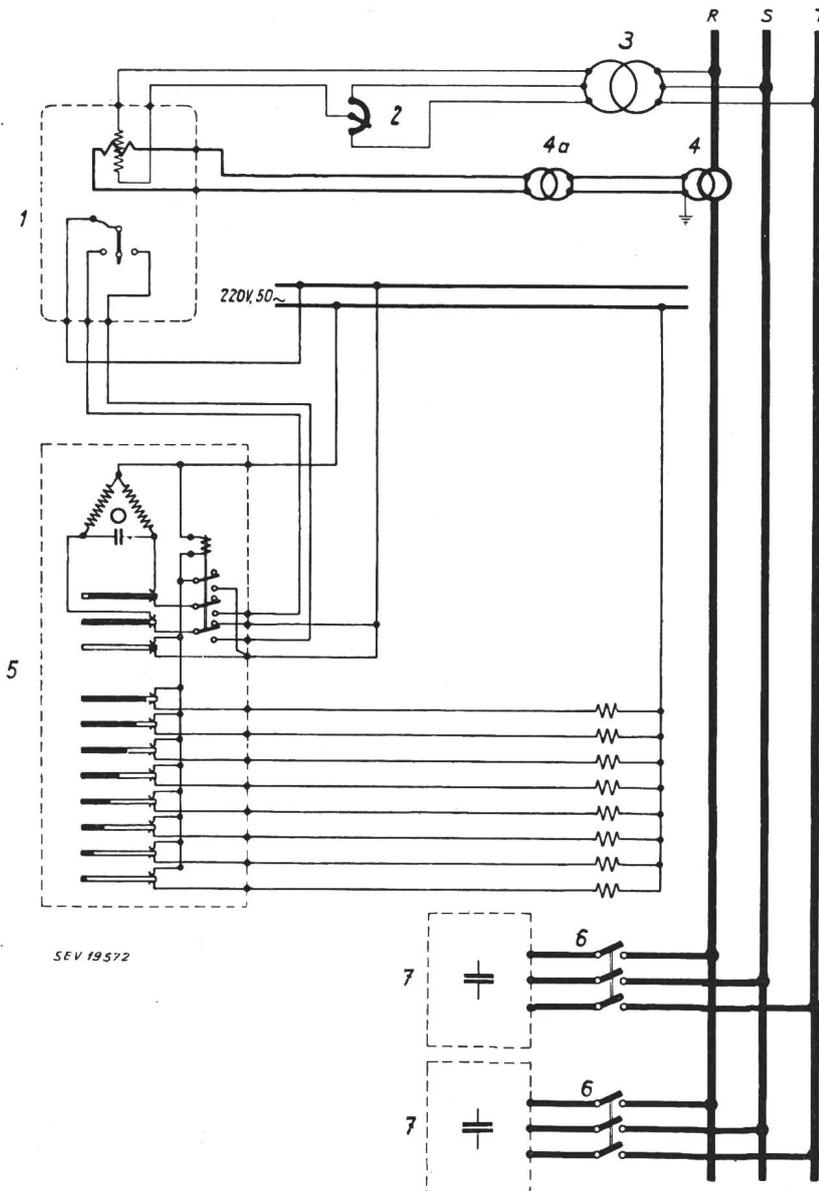


Fig. 2

Automatische Steuerung einer Kondensatorbatterie durch  $\cos \varphi$ -Regler

- 1 Schützenregler; 2  $\cos \varphi$ -Einsteller;  
3 Spannungswandler; 4, 4a Stromwandler;  
5 Walzenschalter; 6 Einschalterschütz;  
7 Kondensator

leitungen die allergrösste Bedeutung zu. Es werden z. B. Wirk- und Blindleistungsfluss nach Grösse und Richtung und zeitlichem Verlauf zwischen den einzelnen Werken vorgeschrieben.

Wir wollen die Blindleistungsregulierungen bei den einzelnen Netzteilen etwas näher betrachten, und zwar:

nach der vorhandenen Netzkonfiguration können hiezu die dem Verbraucher am nächsten gelegenen eigenen Kraftwerke herangezogen werden. Zur Energieerzeugung nicht benötigte Generatoren werden als Phasenschieber benutzt; die Turbine läuft leer mit. Daraus folgt, dass es für ein Elektrizitätsunternehmen, das die Energie über grössere Ent-

fernungen übertragen muss, wegen allfälliger Blindstromkompensation wesentlich ist, in der Nähe der Hochspannungsverteilnetze eigene Kraftwerke zu besitzen. Sind keine solchen Kompensationsmöglichkeiten vorhanden und erweist sich die Übertragung wegen starker Verluste infolge Blindströme als unwirtschaftlich, so muss auch hier zur Kompensation mittels Kondensatoren geschritten werden. Die Kondensator-Einheiten werden an die Sammelschienen der Unterwerke angeschlossen und in ganz wenigen, z. B. zwei Einheiten einzeln zu- oder abgeschaltet. Es folgt daraus zwangsläufig, dass bei diesem System nur in ganz groben Stufen reguliert werden kann. Eine andere Lösung, die eine feinere Regulierung zulässt, ist in Fig. 3 wiedergegeben. Die Kondensatorelemente werden von einem Auto-Reguliertransformator gespeist, der direkt über einem Schalter an das Sammelschienenetz angeschlossen ist. Dadurch wird eine wesentlich bessere Anpassung der Blindleistung an die Bedürfnisse des Netzbetriebes erzielt.

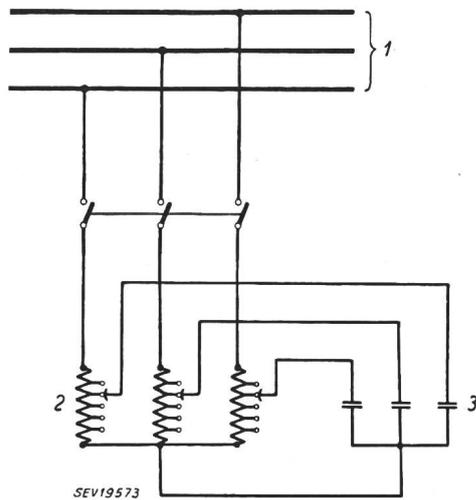


Fig. 3  
Phasenschieber-Kondensatorbatterie mit Auto-Reguliertransformator

1 Sammelschiene der Unterstation; 2 Auto-Reguliertransformator; 3 Kondensatoren

Im weiteren sei hier noch kurz auf die Synchronkompensatoren hingewiesen, die speziell zur Erzeugung von Blindleistung bzw. zur Spannungsstützung aufgestellt werden. Bei diesem System halten entweder automatische Regler die Blindleistung auf dem vorgeschriebenen Wert, oder es sorgen sehr rasche Spannungsregler für die Spannungsstützung im betreffenden Netzpunkt. Für Verteilnetze mit verhältnismässig vielen Kabeln, wie städtische Betriebe, bedeuten die Ladeströme der Kabel bereits eine merkliche Blindleistungskompensation.

Es sei hier noch kurz der Serie-Kondensator an Stelle des Parallel-Kondensators erwähnt, der in neuerer Zeit im Ausland auch zur Kompensation des Leistungsfaktors bzw. zur Spannungsregulierung verwendet wird. In Fig. 4 sind die verschiedenen Schaltungsarten (ohne Phasenschieberkondensator, mit Parallel- bzw. mit Serie-Kondensator) dargestellt. Man sieht, dass bei Parallelschaltung von Kondensatoren die kapazitive Blindleistung bei ge-

gebener Spannung von der Belastung unabhängig ist, beim Serie-Kondensator ist dagegen die kapazitive Blindleistung vom Belastungsstrom abhängig. Sie passt sich selbsttätig dem induktiven Spannungsabfall der in Serie liegenden Induktivitäten an. In

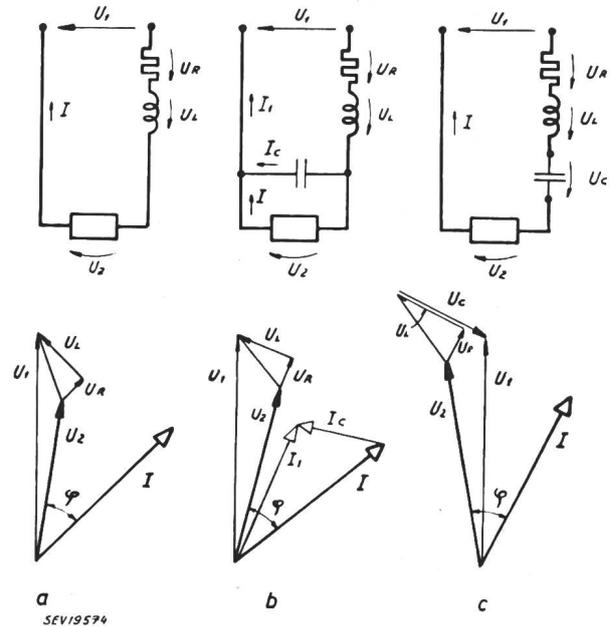


Fig. 4  
Vergleich der Wirkungsweise von Parallel- und Serie-Kondensatoren  
a ohne Kondensator; b mit Parallelkondensator; c mit Serie-Kondensator

Fig. 5 sind die Spannungsabfälle  $\Delta U$  für  $\cos \varphi = 0,8$  und für eine Kondensatorleistung von 30 % der maximalen Anschlussleistung für die angenommenen Leitungsdaten aufgetragen. Kurve a zeigt den Spannungsabfall ohne Kompensation, Kurve b denjenigen mit Parallelkondensator und c denjenigen

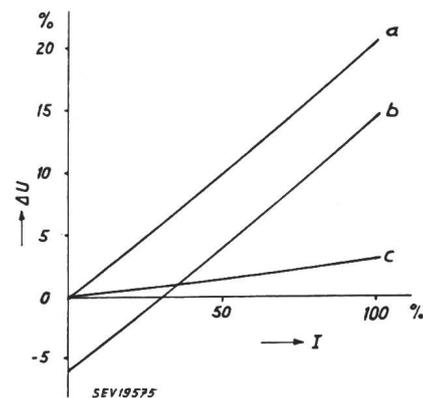


Fig. 5  
Spannungsabfall  $\Delta U$  in Funktion des Stromes I  
a ohne Kondensator; b mit Parallelkondensator; c mit Serie-Kondensator  
 $\Delta U = \frac{U_1 - U_2}{U_2}$ ; Leistungsfaktor:  $\cos \varphi = 0,8$ ; Kondensatorleistung:  $P = 0,3 P_{max}$ ; angenommene Leitungsdaten bei Nennbelastung:  $\Delta U_L = 0,2 U_2$ ;  $\Delta U_R = 0,1 U_2$

mit Serie-Kondensator in Abhängigkeit vom Belastungsstrom. Die Spannungsregulierung mit Serie-Kondensator hat den Vorteil, dass sie sehr einfach und trägheitslos ist. Sie erfordert jedoch eine sehr sorgfältige Projektierung, insbesondere ist der Er-

mittlung der Kurzschlußstromstärke, den Schutzmassnahmen gegen zu hohe Überspannungen am Kondensator, allfälligen Resonanzen die grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Bei langen Übertragungsleitungen, z. B. bei der neuen 380-kV-Leitung in Schweden, werden die Seriendensatoren auch zur Erzielung einer besseren Stabilität verwendet.

### 3. Blindleistungsregulierung im Verbundnetz

Es sind technische und vor allem wirtschaftliche Gründe, die die Elektrizitätsunternehmen veranlassen, sich zum Verbundbetrieb zusammenzuschliessen. Da Blindstrom stets Verluste bedeutet, so stellt sich im Verbundbetrieb erst recht die Forderung, dass die angeschlossenen Unternehmen den kapazitiven Blindstrom weitgehend selbst erzeugen. Verbundbetrieb soll somit im eigentlichen Sinn des Wortes nur Verbundbetrieb für Wirkleistung sein, aber kein Verbundbetrieb für Blindleistung sein. Das heisst nun aber nicht, dass für die Blindleistung keine Reguliereinrichtungen vorhanden sein müssen, im Gegenteil, die mannigfaltigen Anforderungen der verschiedenen Unternehmen bedingen erst recht Reguliereinrichtungen, die sich äusserst leicht und rasch ganz verschiedenen Bedingungen anpassen lassen. Sind z. B. diese Unternehmen an einem Grosskraftwerk gemeinsam beteiligt oder sind ihre Versorgungsnetze durch eine Kuppelleitung verbunden, so lassen sich alle damit zusammenhängenden Regulierprobleme praktisch auf das Prinzipschema der Fig. 6 zurückführen. Da die

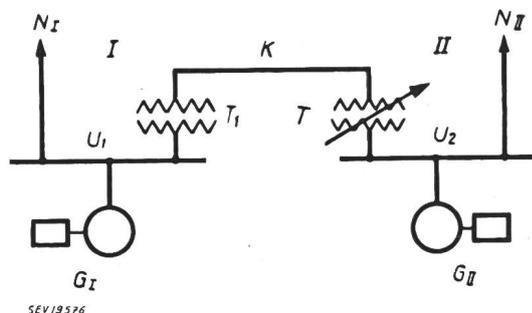


Fig. 6

#### Prinzipschema des Verbundbetriebes

I Netz I; II Netz II;  $N_I$  Versorgungsgebiet Netz I;  $N_{II}$  Versorgungsgebiet Netz II; K Kuppelleitung; T Reguliertransformator;  $T_1$  Transformator;  $U_1$  Spannung im Netz I;  $U_2$  Spannung im Netz II;  $G_1$  Kraftwerksgruppe Netz I;  $G_2$  Kraftwerksgruppe Netz II

Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  den betreffenden Versorgungsgebieten angepasst werden müssen, erkennen wir leicht, dass ein Austausch einer bestimmten Blindleistung nur möglich ist, wenn in die Kuppelleitung ein Regulierorgan, z. B. ein Reguliertransformator eingebaut wird. Genau wie die Wirkleistung in beiden Richtungen durch den Reguliertransformator fliessen kann, muss auch der Blindleistungsaustausch in beiden Richtungen erfolgen können. Öfters ist erwünscht, dass der Blindleistungsbedarf der einzelnen Netze  $N_I$  und  $N_{II}$  möglichst am Verbrauchsort selbst erzeugt und nicht über die Kuppelleitung übertragen wird. Oft ist man aber auch durch Verträge an das Einhalten einer bestimmten Blindleistung oder an das Einhalten eines

bestimmten Leistungsfaktors gebunden. So haben z. B. die Maggia-Kraftwerke für die Übertragung ihrer Energie aus dem Tessin einen konstanten Leistungsfaktor vorgesehen, oder je nach Betriebsführung soll mit dem Rückgang der Wirkleistung die Blindleistung leicht zunehmen. Im weiteren muss bei bestimmten Netzstörungen automatisch von Blindleistungsregulierung auf Spannungsregulierung umgeschaltet werden. Man sieht, dass die gestellten Anforderungen an die ganze Reguliereinrichtung gross sind. Ich möchte Ihnen nun kurz die Blindleistungsregulierung der Maschinenfabrik Oerlikon, wie sie auch für die Maggia-Kraftwerke geliefert wird, auseinandersetzen. Es sind im wesentlichen 3 Regulierapparate, die die Aufgabe bewältigen, und zwar:

- a) der Blindleistungsregler,
- b) das Delta Var Relais, das die selbsttätige Umschaltung von Blindleistungs- auf Spannungs-Regulierung und umgekehrt vornimmt,
- c) der automatische Spannungsregler.

### Blindleistungsregler

Der Blindleistungsregler hat ein reines Blindleistungs-Meßsystem, das ein Drehmoment  $M = kIU \sin \varphi$  erzeugt. Darin bedeuten  $I$  den dem Regler zugeführten Strom,  $U$  die angelegte Spannung und  $\varphi$  den Phasenwinkel zwischen den beiden Vektoren.

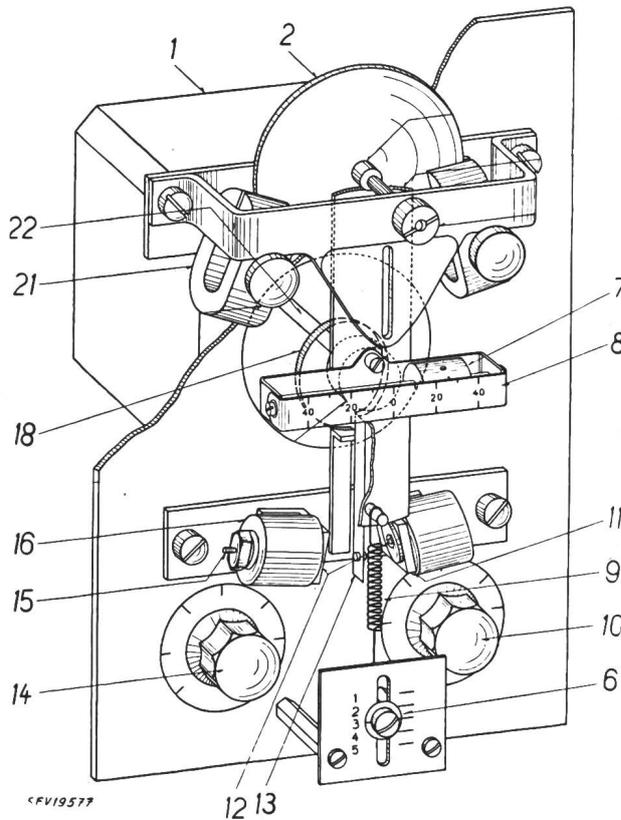


Fig. 7

#### Aufbau des MFO-Blindleistungsreglers

1 Meßsystem; 2 Dämpferscheibe; 6 Einstellschraube für Ansprechempfindlichkeit; 7 Schiebegericht für Einstellung des Blindleistungsgrundwertes; 8 Skala in % der Blindleistung; 9 Feder zur Einstellung der Ansprechempfindlichkeit; 10, 14 Rückführ-Drehwiderstände; 11 Spulenträger; 12 feste Gegenkontakte; 13 beweglicher Kontakt; 15 Einstellschraube für Kontakt; 16 Magnetspule; 18 Strom-Zuführungsspirale; 21 Dämpfermagnet; 22 Systemwelle

Je nach dem Vorzeichen von  $\sin \varphi$  ist das erzeugte Drehmoment positiv oder negativ, d. h. die Achse des Meßsystems dreht sich in der einen oder andern Richtung. Der Aufbau des Reglers selbst geht aus Fig. 7 hervor. Das Meßsystem 1 ist mit der Welle 22 fest verbunden. An der Welle ist der bewegliche Kontakt 13 befestigt. Bei einer bestimmten Drehung der Welle 22 schliesst der bewegliche Kontakt den einen oder andern festen Gegenkontakt. Dadurch wird dann über Schütze die Steuerung des Reguliertransformators in der gewünschten Richtung eingeleitet. Mit der Einstellfeder 9 können die Ansprechgrenzen des Reglers der Blindleistungsänderung einer Stufenschaltung leicht angepasst werden. Je mehr diese Feder gespannt wird, um so grösser wird die zum Ansprechen des Reglers notwendige Blindleistungsänderung. Diese Feder bringt den Regler auch wieder in seine Mittel-lage. Zur Erzielung einer sicheren Kontaktgabe sind die Gegenkontakte mit Magnetspulen 16 ausgerüstet. Sie werden erst im Moment der Kontaktberührung erregt und beeinflussen daher den Einstellwert des Reglers in keiner Weise.

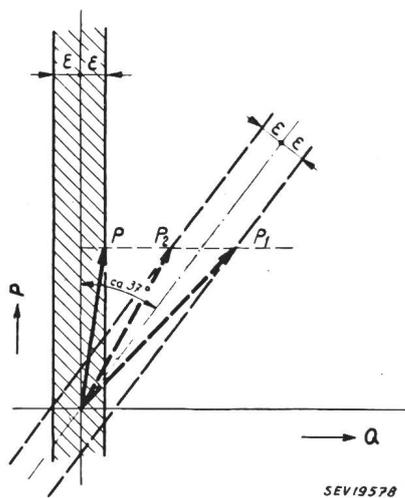


Fig. 8

Wirkung des Blindleistungsreglers

P, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> Wirkleistung; Q Blindleistung;  $\xi$  Ansprechwert des Reglers

Die Wirkungsweise der Blindleistungsregulierung lässt sich am besten im Leistungsdiagramm erklären. In Fig. 8 ist auf die Ordinate die Wirkleistung P, auf die Abszisse die Blindleistung Q aufgetragen. Da der Blindleistungsregler ein Nullinstrument mit den Ansprechwerten  $\pm \epsilon$  der Nennleistung ist, so reguliert er so lange, bis die Blindleistung innerhalb des aufgezeichneten Unempfindlichkeitsbandes liegt. Die Breite dieses Bandes lässt sich, wie bereits erwähnt, mit der Feder 9 der Stufengrösse des Reguliertransformators anpassen. Man erkennt auch gleich, dass der Wirkleistungsaustausch über den Reguliertransformator mit dem kleinst möglichen Blindleistungsstrom, d. h. in diesem Falle nahezu mit  $\cos \varphi = 1$  erfolgt.

Soll nun im Gegenteil ein bestimmter mittlerer Leistungsfaktor bei beliebiger Austauschleistung eingehalten werden, so wird durch Verdrehung der

dem Meßsystem zugeführten Spannung mit Hilfe eines Phasenschiebers dem Regler der Zustand von  $\cos \varphi = 1$  vorgetäuscht. Die Schaltung des Phasenschiebers mit zugehörigem Blindleistungsregler geht aus Fig. 9 hervor. Man erkennt, dass durch das Verdrehen des Phasenschiebers nur der Spannungsvektor im Meßsystem verschoben wird. In Fig. 8 ist der Leistungsvektor für  $\cos \varphi = 0,8$  gestrichelt eingetragen. Das ganze Unempfindlichkeitsband dreht sich um  $37^\circ$ , was ebenfalls durch eine Drehung des Phasenschiebers um den gleichen Winkel erreicht wird.

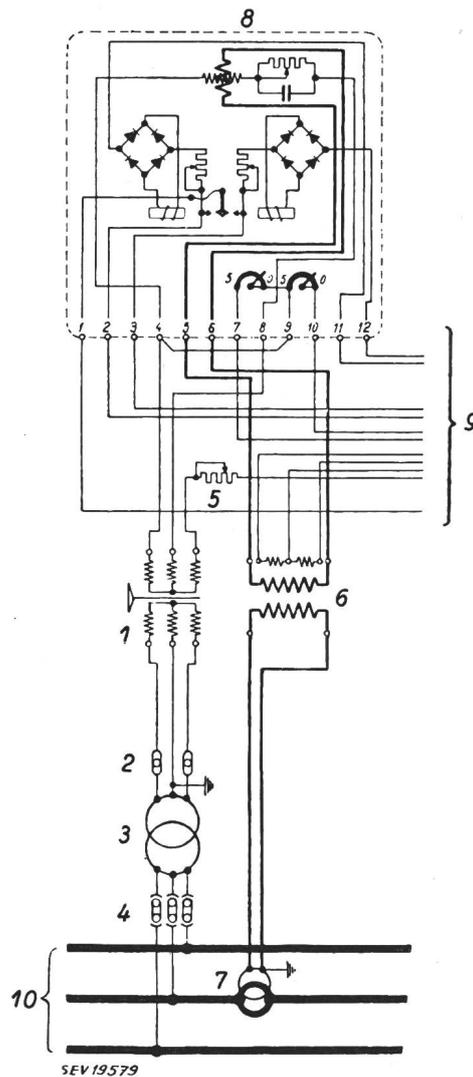


Fig. 9

Schaltung des Blindleistungsreglers mit zugehörigem Phasenschieber

1 Phasenschieber; 2, 4 Sicherungen; 3 Spannungswandler; 5 Fixwiderstand; 6 Zwischen-Stromwandler; 7 Stromwandler; 8 Blindleistungsregler; 9 Steuerleitungen; 10 Drehstromnetz

Eine weitere Möglichkeit, die dieser Blindleistungsregler für den Betrieb frei lässt, ist die Regelung auf einen bestimmten Blindleistungsgrundwert. Mittels des Laufgewichtes 7 in Fig. 7 wird ein zusätzliches mechanisches Drehmoment in der einen oder andern Richtung auf die Reglerachse ausgeübt. Durch Verschieben dieses Laufgewichtes kann nun der gewünschte Bezugs- oder Abgabe-Blind-

leistungsgrundwert in seiner Grösse beliebig eingestellt werden. Fig. 10 zeigt die Ausführung des Blindleistungsreglers mit abgehobenem Deckel.

In Fig. 11 ist die Blindleistungsregulierung mit steigender und fallender Kennlinie dargestellt. Auf

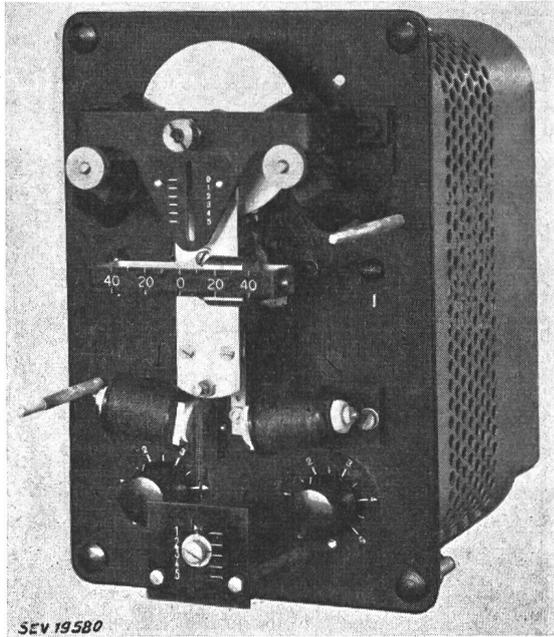
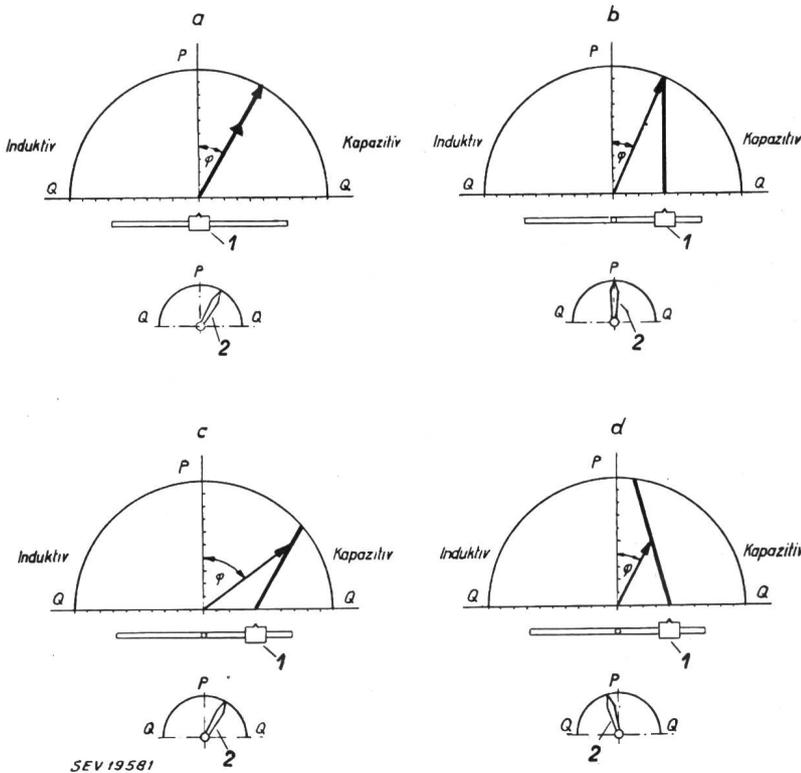


Fig. 10  
Blindleistungsregler mit abgehobenem Deckel



**Delta Var Relais**

dem Zeiger am Handrad des Phasenschiebers und der Senkrechten. Fig. 11b zeigt das Diagramm, bei dem die Blindleistung unabhängig von der Wirkleistung ist und stets einen bestimmten Wert besitzt. Dieser Blindleistungswert ist durch das Schiebegewicht 7 der Fig. 7 beliebig einstellbar. Fig. 11c zeigt mit abnehmender Wirkleistung auch abnehmende Blindleistung, während Fig. 11d mit abnehmender Wirkleistung zunehmende Blindleistung ergibt. Alle diese Einstellungen können vom Betriebspersonal vorgenommen werden.

Es ist in gewissen Fällen erwünscht, dass bei Störungen im Netz automatisch von der Blindleistungsregulierung auf Spannungsregulierung umgeschaltet wird. Es war zuerst die Bernische Kraftwerke A.-G., die bereits in den dreissiger Jahren dieses Problem aufgeworfen hat. Ch. Jean-Richard gab bereits damals die erste Idee für die Lösung dieses Problems. Als Kriterium, ob auf Blindleistung oder Spannung reguliert werden soll, ist nämlich die zufolge einer Stufenschalterverstellung hervorgerufene Blindleistungsänderung zu betrachten. Ist z. B. noch Verbundbetrieb vorhanden, dann bewirkt eine Stufenschalterverstellung auch eine Blindleistungsänderung. Ist kein Verbundbetrieb mehr vorhanden, so tritt nur eine Spannungsänderung ein. Der Name «Delta Var Relais» dieses selbsttätigen Umschaltrelais rührt daher, dass es Blindleistungsänderungen misst. Tabelle I gibt eine Zusammenstellung über die Funktionen des Delta Var Relais. Es ist noch zu erwähnen, dass das Delta Var Relais die Umschaltung in beiden Richtungen jeweils auf die richtige Regulierart übernimmt. Das Meßsystem ist auch hier wieder ein Blindleistung-Meßsystem, dessen Blindleistungsgrösse automatisch kompensiert wird. Das Relais besitzt eine ausserordentlich grosse Ansprechempfindlichkeit von  $\pm 0,3 \%$  und kann die durch die Stufenschalterverstellungen erzeugte Blindleistungsänderungen

Fig. 11  
Blindleistungsregulierung mit steigender und fallender Kennlinie

a reine  $\cos \varphi$ -Regulierung; b reine Blindleistungs-Regulierung; c Blindleistungs-Regulierung mit fallender Kennlinie; d Blindleistungs-Regulierung mit steigender Kennlinie  
1 Blindleistungseinstellgewicht am Regler; 2 Phaseinstellung am Phasenschieber; P Wirkleistung; Q Blindleistung;

die Ordinate ist wieder die Wirkleistung P und auf die Abszisse die Blindleistung Q aufgetragen. Die Leistungsübertragung mit konstantem Leistungsfaktor zeigt Fig. 11a. Der Phasenwinkel  $\varphi$  ist rein äusserlich auch gegeben durch den Winkel zwischen

mit Sicherheit erfassen. Fig. 12 zeigt die Ausführung des Delta Var Relais. Es würde hier zu weit führen, dieses Relais ausführlich zu beschreiben, so interessant auch die Wirkungsweise an und für sich ist.

Funktionen des Delta Var Relais

Tabelle I

Betriebszustand	Stufenschaltverstellung bewirkt	Delta Var Relais veranlasst
Blindleistungsregulierung in Betrieb	Blindleistungsänderung	Blindleistungsregulierung beizubehalten
	keine Blindleistungsänderung	auf Spannungsregulierung umzuschalten
Spannungsregulierung in Betrieb	Blindleistungsänderung	auf Blindleistungsregulierung umzuschalten
	keine Blindleistungsänderung	Spannungsregulierung beizubehalten

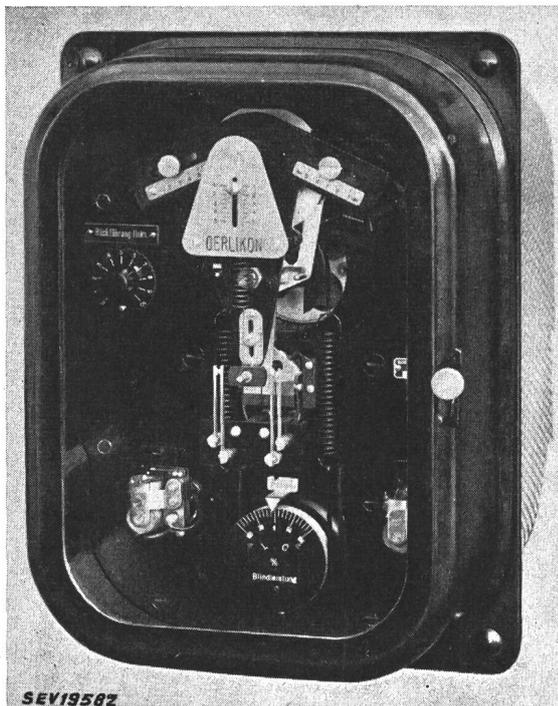


Fig. 12  
Delta Var Relais

Spannungsregler

Nachdem das Delta Var Relais auf Spannung umgeschaltet hat, erfolgt die Spannungsregulierung durch den Spannungsregler automatisch. Im Aufbau und in den Abmessungen entspricht dieser automatische Spannungsregler genau dem Blindleistungsregler. Dasselbe Meßsystem wird als reines Spannungsmeßsystem geschaltet. Das Einstellgewicht für den Blindleistungsgrundwert kommt in Wegfall, dafür sind zwei Hauptfedern eingebaut, die das vom Spannungsmeßsystem erzeugte elektrische Drehmoment kompensieren. Fig. 13 zeigt die Aussenansicht dieses Reglers ohne Deckel.

In bestimmten Fällen ist es von Vorteil, den Einstellwert des automatischen Spannungsreglers von einer andern Grösse abhängig zu machen. Dem Meßsystem wird ein Ohmscher Widerstand vorgeschaltet, in welchem ein vom Netz abhängiger Spannungsabfall erzeugt wird. Stehen z. B. die Vektoren des Stromes im Meßsystem und des Stromes in der

Kuppelleitung bei  $\cos \varphi = 1$  senkrecht aufeinander, so wird der Spannungsregler nur von der Blindleistung beeinflusst. Bei induktivem Blindstrom reguliert der Regler auf höhere, bei kapazitivem Blindstrom auf kleinere Spannung.

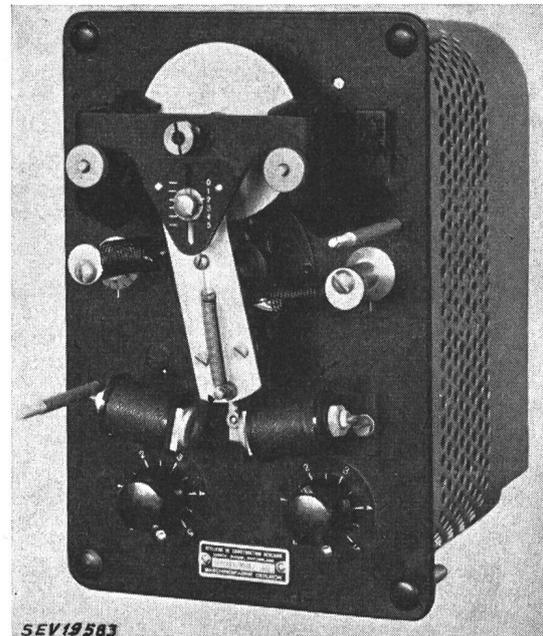


Fig. 13  
Spannungsregler ohne Deckel

Es ist weiter möglich, die Spannung auch entsprechend einem weiter entfernten Ort zu regulieren, ohne dass eine Übertragungseinrichtung des Messwertes vorhanden sein muss. Die Impedanzen von Leitungen und Transformatoren werden in diesem Fall abgebildet. Unter Berücksichtigung der erzeugten Spannungsabfälle reguliert dann der automatische Regler auf den gewünschten Wert am entfernten Ort.

Grenzen der Reguliermöglichkeiten

Betrachten wir zum Schluss die Grenzen der Reguliermöglichkeiten bei Spannungs- und Blindleistungsregulierung, so sehen wir, dass es den Herstellerfirmen von automatischen Reguliereinrichtungen weitgehend gelungen ist, die gestellten Anforderungen der Elektrizitätswerke zu erfüllen. Dass bei der Spannungs- und Blindleistungsregulierung der Reguliertransformator am gleichen Ort ist wie das Messorgan und die regulierte Spannung bzw. die übertragene Blindleistung durch den Reguliertransformator unmittelbar beeinflusst wird, hat die Lösung der gestellten Aufgabe erleichtert.

Wir haben weiter gesehen, dass mittels einfacher Reguliereinrichtungen praktisch jeder Wunsch der Betriebsleitung bezüglich Spannungs- und Blindleistungsregulierung erfüllt werden kann. Gerade im Hinblick auf die stets zunehmende Belastung der Netze gewinnt aber eine wirtschaftliche Betriebsführung bezüglich Blindleistung immer mehr an Bedeutung.

Adresse des Autors:

A. Gantenbein, Adjunkt der technischen Direktion der Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.