

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 26 (1935)

**Heft:** 16

**Artikel:** Ein neuer Blindleistungsbegrenzer zur Zentralkompensation mit Phasenschieber-Kondensatoren

**Autor:** Stern, Walter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060323>

#### 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:** 23.02.2026

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

## Ein neuer Blindleistungsbegrenzer zur Zentralkompensation mit Phasenschieber-Kondensatoren.

Von Walter Stern, Berlin.

621.316.727

Ausgehend von einem Beispiel der bisher üblichen Einzelkompensation mit Kondensatoren werden die Vorteile der Zentralkompensation gezeigt. Die Bedingung für Betrieb mit zentral aufgestellten Kondensatoren wird angegeben, und es wird ein einfacher neuartiger Blindleistungsbegrenzer erklärt, der diese Bedingung erfüllt. An einem Diagramm wird die Arbeitsweise des Reglers erklärt.

Partant d'un exemple de compensation isolée à l'aide de condensateurs, comme on l'a pratiquée jusqu'à présent, l'auteur montre les avantages d'une compensation centrale. Il indique ensuite la condition à remplir pour une exploitation à condensateurs centralisés et décrit un nouveau limiteur de puissance réactive simple, qui remplit cette condition. Un diagramme sert à l'explication du fonctionnement du régulateur.

### I. Einleitung.

Der Verbesserung des Leistungsfaktors in den grossen Wechselstromnetzen wird immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt, und es hat sich hierbei ergeben, dass der Starkstrom-Phasenschieber-Kondensator infolge seiner Einfachheit und Betriebssicherheit in fast allen Fällen das geeignete Mittel zur Kompensation der Blindleistung darstellt.

Während bei den Elektrizitätswerken die Verbesserung des Leistungsfaktors hauptsächlich zwecks besserer Ausnutzung der vorhandenen Anlagen erstrebte wurde, erfolgte der Einbau der Phasenschieber-Kondensatoren bei den Bezugern in erster Linie infolge der Tarifpolitik der Werke, die auch oft die zur Verfügung gestellte Blindleistung verrechnen.

### II. Einzel- oder Zentral-Kompensation.

Die bis heute noch am meisten angewendete Kompensationsart ist die Einzelkompensation. Man geht hierbei von den kleinsten Betrieben mit nur einem Motor aus und schaltet dementsprechend auch bei Betrieben mit mehreren Motoren jedem Motor einen Kondensator parallel (Fig. 1). Ueber Erfahrungen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) mit dieser Betriebsart berichtet Werdenberg in dieser Zeitschrift<sup>1)</sup>.

Zahlreiche Gründe sprechen gegen die Einzel-Kompensation. Die Phasenverschiebung ist bei einem normalen Asynchronmotor von der Belastung abhängig. Der Leistungsfaktor ist bei Leerlauf des Motors sehr niedrig und verbessert sich mit zunehmender Belastung. Durch den mit dem

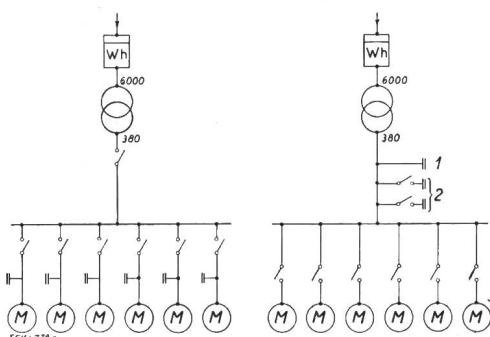


Fig. 1.  
Einzel-  
Kompensation.

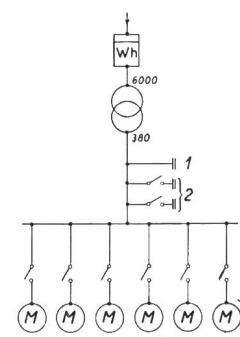


Fig. 2.  
Zentral-Kompensation.  
1 fest angeschalteter  
Kondensator.  
2 je nach Belastung aus-  
zuschaltende Konde-  
n-sato-ren.

Motor zusammengeschalteten, für mittlere Belastungen bemessenen Kondensator wird nun bei leerlaufendem Motor kapazitive Blindleistung ins Netz geliefert, während bei Volllast die induktive Blindleistung nicht ganz beseitigt werden kann. Eine restlose Beseitigung der Blindleistung ist demnach nicht möglich und es entstehen ganz allgemein folgende Nachteile:

1. bei zuwenig eingeschalteten Kondensatoren bleibt ein Teil des induktiven Blindstroms bestehen, daher:

<sup>1)</sup> W. Werdenberg, Bull. SEV 1934, S. 10.

a) Kosten für verbrauchte Blindenergie,

b) unnötige Steigerung der Stromstärke bei gegebener Leistung, dementsprechend

c) starke Erwärmung und daher

d) keine volle Belastungsmöglichkeit der Transformatoren und Leitungen;

2. bei zuviel eingeschalteten Kondensatoren entsteht kapazitiver Blindstrom, daher

a) Verminderung der Vergütung für guten Leistungsfaktor je nach Tarif,

b) Steigerung der Stromstärke wie 1b,

c) Erwärmung wie 1c,

d) keine volle Belastungsmöglichkeit wie 1d,

e) Gefahr der Spannungserhöhung auf der Niederspannungsseite des Transformators, daher insbesondere

f) Kürzung der Lebensdauer der Glühlampen und

g) Gefahr des Durchschlags der Phasenschieber-Kondensatoren.

Bei nur einem Motor sind diese Nachteile der ungenauen Kompensation nicht so schwerwiegend. Sobald es sich aber um grössere Zahlen von Motoren handelt, sind diese Erscheinungen zu beachten.

Hinzu kommt, dass es meistens gar nicht nötig ist, so zahlreiche Kondensatoren zu beschaffen. Rechnet man z. B. einen Betrieb mit 100 Motoren, wobei jedem Motor ein Kondensator von 1 Kilovar parallel geschaltet sei, so werden bei Einzelkompensation 100 Kondensatoren zu 1 Kilovar benötigt.

Nun ist aber in vielen Betrieben immer nur ein bestimmter Teil der Motoren eingeschaltet, beispielsweise 50 %. Also würde eigentlich in diesem Beispiel eine Kapazität von 50 Kilovar ausreichend sein, wenn man nicht jedem Motor einen separaten Kondensator zuteilen müsste.

Damit kommen wir zur Zentralkompensation (Fig. 2), benötigen also weniger Kapazität und sind nicht gezwungen, viele kleine Kondensatoren zu verwenden; wir können, da ja immer bestimmte Gruppen von Kondensatoren eingeschaltet sind, grössere Kondensatoreinheiten verwenden, die preislich günstiger liegen. Statt 100 Kondensatoren zu 1 Kilovar könnten also in diesem Beispiel 5 Kondensatoren zu 10 Kilovar bei zentraler Kompensation ausreichen.

Weiter können die Anschaffungskosten noch dadurch gesenkt werden, dass Kondensatoren für eine besonders geeignete Klemmenspannung zwischen 500 und 10 000 Volt aufgestellt werden<sup>2)</sup>.

Will man also die genannten Nachteile vermeiden, so ist bei zentraler Kompensation Bedingung, dass immer nur so viel Kondensatoren am Netz liegen, als zur Beseitigung der Blindleistung nötig sind. Die Zu- und Abschaltung der Kondensatoren muss also entsprechend der jeweiligen Belastung des Betriebes erfolgen.

Nach Angaben des Verfassers wurde ein Blindleistungsbegrenzer entwickelt, der die gestellten Bedingungen auch bei stark schwankendem Betrieb in einfacher Weise erfüllt.

### III. Der automatische Blindleistungsbegrenzer.

Fig. 3 und 4 zeigen den Aufbau eines solchen Blindleistungsbegrenzers. Er besteht aus einem *Blindverbrauchzählersystem*, das eine *Laufwerksteuerung* mit Quecksilber-Schaltröhren antreibt. Das *Blindverbrauchzählersystem* wird

<sup>2)</sup> Bauer, «Der Kondensator», Berlin, Springer, S. 84.

bei Drehstrom in der bekannten Zählerschaltung nach Fig. 5 an die Strom- und Spannungswandler angeschaltet. Das Drehmoment dieses Systems entspricht  $M = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$ .

Bei induktionsfreier Belastung ist  $\varphi = 0$ , und  $\sin \varphi = 0$ , d. h. das Zählersystem steht still; es erreicht dann seine

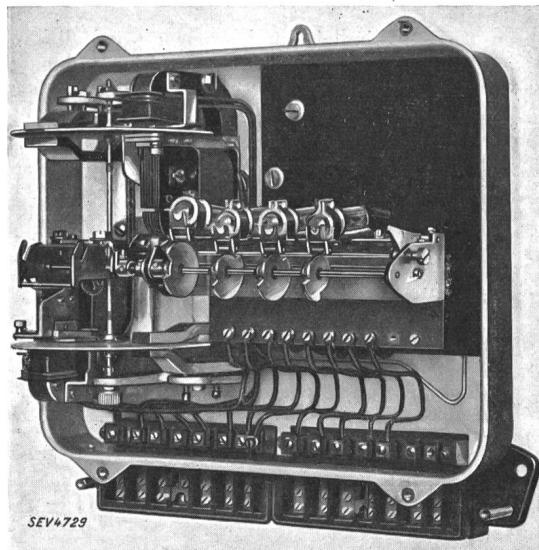


Fig. 3.  
Blindleistungsbegrenzer für 4 Kondensatoren.

höchste Drehzahl, wenn eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  erreicht ist. In Fig. 6 ist das Drehmoment eines solchen Blindverbrauchzählersystems im Vergleich mit dem eines Wirkverbrauchzählersystems eingezeichnet. Man ersieht daraus, dass ein Blindverbrauchzählersystem bei induktiver und kapazitiver Belastung verschiedene Drehrichtungen besitzt. Damit sind die Bedingungen für ein Antriebssystem zur Steuerung erfüllt.

Wenn also induktive Blindleistung fließt, läuft das Antriebssystem nach rechts und bringt nach einer bestimmten Zeit die erste Schaltröhre der über Zahnräder gekuppelten

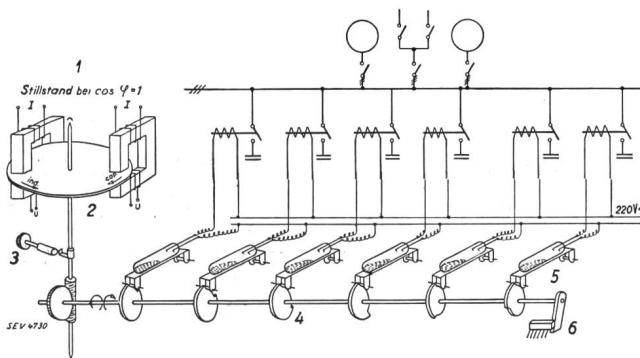


Fig. 4.  
Schema des Blindleistungsbegrenzers mit Laufwerksteuerung  
für 6 Kondensatoren.  
1 Blindverbrauchzähler-Triebsystem.  
2 Triebwerk.  
3 Anlaufbegrenzung.  
4 Schaltnocken.  
5 Quecksilberschaltröhren.  
6 Begrenzung.

Laufwerksteuerung zum Kippen und legt über ein Schütz den ersten Starkstromkondensator an das Netz.

Diese Zuschaltung erfolgt um so schneller, je grösser die aufgetretene Blindleistung ist. Ist nach erfolgter Zuschaltung des ersten Kondensators noch induktive Blindleistung vorhanden, so läuft das Antriebssystem mit entsprechender Ge-

schwindigkeit weiter und schaltet so lange Schaltröhren und damit Kondensatoren zu, bis keine Blindleistung mehr vorhanden ist und dementsprechend bei  $\cos \varphi = 1$  Stillstand des Antriebssystems eintritt.

Sinkt nun die induktive Blindleistung im Betrieb, so wird durch die eingeschalteten Kondensatoren eine bestimmte kapazitive Blindleistung fliessen, die das Antriebssystem nach

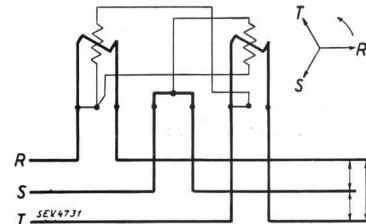


Fig. 5.  
Schaltbild des Blindverbrauchzähler-Triebsystems  
(Strom- und Spannungswandler sind nicht eingezeichnet.)

links laufen lässt, und es werden damit so lange Schaltröhren und Kondensatoren abgeschaltet, bis wieder  $\cos \varphi = 1$  erreicht und somit auch die kapazitive Blindleistung zum Verschwinden gebracht ist.

Damit nun kein Pendeln der Reglereinrichtung entsteht, ist eine Anlaufhemmung vorgesehen, die das Vor- und Rückwärtslaufen des Antriebssystems bei kleinen Änderungen unmöglich macht. Die Anlaufhemmung kann z. B. so eingestellt werden, dass bei induktiver Blindleistung der Anlauf

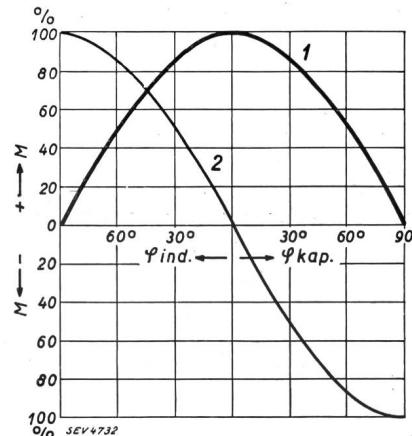
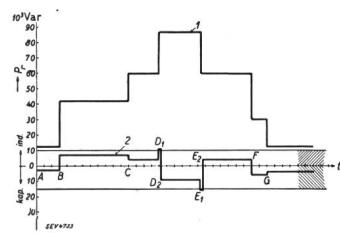


Fig. 6.

Drehmoment des Wirkverbrauchs- (1) und Blindverbrauchs- (2) Zählersystems.

bereits bei 1 %, bei kapazitiver Blindleistung jedoch erst bei 5 % erfolgt. Auf diese Weise kann die Konstanthaltung eines Leistungsfaktors erreicht werden, der etwas in das kapazitive Blindleistungsgebiet fällt. Es kann aber auch ohne weiteres die Einregulierung auf  $\cos \varphi = 0,8$  induktiv erfolgen, je nach den vorliegenden Verhältnissen und den gültigen Tarifen.

Durch die Wahl des Bremsmagneten und durch entsprechende Übersetzungsräder bei der Kupplung kann selbst



Art. 7.

Verlauf der Blindleistung bei 4 automatisch gesteuerten Kondensatoren.

1 Blindleistung ohne Kondensatoren.

2 Blindleistung bei 4 automatisch gesteuerten Kondensatoren.

bei 1 % Blindleistung die Schaltung der ersten Röhre schon nach wenigen Sekunden oder aber bei anderer Einstellung erst nach mehreren Minuten erfolgen. Auf Grund dieser Eigenschaften können die Regler als Fein- oder Grobregler benutzt werden.

Erwähnt sei noch, dass häufig eine bestimmte Kapazität zur Kompensation der auch bei Leerlauf des Transformators vorhandenen Blindleistung *fest* an das Netz angeschlossen wird, so dass also der Begrenzer nur die induktiven Blindleistungsspitzen zu kompensieren hat. Man erreicht dadurch, dass der Regler nur selten zu schalten braucht.

Fig. 7 zeigt den Verlauf der Blindleistung in einem Betriebe bei ein- und ausgeschalteten Kondensatoren. Dabei ist angenommen, dass ein Kondensator mit 15 Kilovar zur Kompensation des Leerlaufbetriebes dauernd am Netz ist. Die Regulierung ist auf «Grob» eingestellt und darf zwischen induktiv 10 und kapazitiv 15 Kilovar schwanken. Vorhanden sind vier Kondensatoren zu je 20 Kilovar, die von dem Blindleistungsbegrenzer entsprechend der auftretenden Blindlei-

stung gesteuert werden. Zwischen A und B ist die Blindleistung ein wenig kapazitiv, da die fest angeschalteten 15 Kilovar einer induktiven Blindleistung von nur 12 Kilovar gegenüberstehen. Bei B wurde der erste Kondensator mit 20 Kilovar automatisch an das Netz geschaltet, so dass zwischen B und C die Blindleistung induktiv ist usw.

Fig. 4 zeigt einen solchen Blindleistungsbegrenzer für 6 Kondensatoren.

Durch diesen Blindleistungsbegrenzer wird die vorteilhafte Zentralkompensation möglich. Das Anwendungsgebiet erstreckt sich nicht nur auf die zentrale Kompensation der Blindleistung beim Bezugser, dieses Gerät eignet sich auch zur automatischen Begrenzung der Blindlast in bedienten und unbedienten Unterstationen.

## Beitrag zur Dimensionierung von Bimetallrelais.

Von Enrico Erni, Solothurn.

621.316.573 : 621.315.554

*Es werden Beziehungen abgeleitet über die Wechselwirkung der in den Bimetallrelais auftretenden Kräfte, die Auslösecharakteristik bestimmt und schliesslich die erhaltenen rechnerischen Resultate an einem Beispiel nachgeprüft.*

*L'auteur développe des relations entre les effets des forces qui apparaissent dans les relais à languette bimétallique, en détermine la caractéristique de déclenchement puis contrôle les résultats de ses calculs à l'aide d'un exemple pratique.*

Bimetallrelais erfreuen sich im Apparatebau ihrer Einfachheit, Zuverlässigkeit und nicht zuletzt ihrer Billigkeit wegen wachsender Beliebtheit. Die Elektrotechnik speziell macht davon ausgiebigen Gebrauch, besonders von solchen, die durch direkten Stromdurchgang geheizt werden; auf diese beschränken sich die nachstehenden Untersuchungen.

Alle bis heute in der Literatur bekannten Studien befassen sich hauptsächlich mit der Bestimmung der Durchbiegung<sup>1)</sup>). Der Apparatekonstrukteur sollte aber oft das Verhalten der gewählten Dimensionen des Bimetallstreifens nicht nur in Bezug auf Durchbiegung, sondern auch auf die verfügbare Kraft, bzw. Arbeit und Zeit kennen.

Es soll im folgenden versucht werden, diese Lücke auszufüllen und eine Methode zu entwickeln, die bei der Dimensionierung eines Bimetallstreifens gute Dienste leistet. Die Gesetzmässigkeit der Durchbiegung wird als bekannt vorausgesetzt.

### A. Die Kraft.

Betrachtet man einen Bimetallstreifen als einen einseitig eingespannten Balken, auf dessen freies Ende eine von einem zu betätigenden Mechanismus abhängige Kraft  $K_0$  wirkt, so muss, damit eine Bewegung zustandekommen und bis zu Ende geführt werden kann

$$K_0 = K = \frac{3JE}{l^3} f_1 \quad (1)$$

$$f_1 + f_0 \leq f_{tot} \quad (2)$$

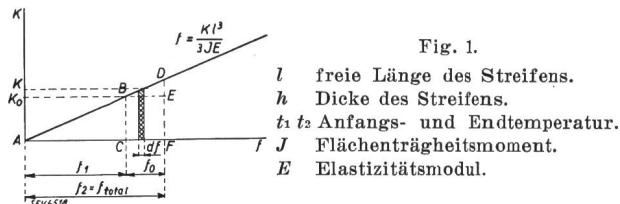
sein, wo  $f_0$  den Weg des zu betätigenden Mechanismus bedeutet, oder:

$$\frac{K_0}{3JE} l^3 + f_0 \leq f_{tot} = k \frac{(t_2 - t_1)}{h} l^2 \quad (3)$$

1)  $f = k \frac{(t - t_0) l^2}{h}$ ; spezifische Durchbiegung ( $k$ ), Länge ( $l$ ) und Dicke ( $h$ ) in mm, Temperatur ( $t$ ) in °C.

Konstruieren wir das Arbeitsdiagramm (Fig. 1), so bedeuten:

die Fläche ABC die Deformationsarbeit des Bimetallstreifens, bis die Kraft  $K_0$  erreicht ist,



die Fläche ADF die zur Verfügung stehende Arbeit,

die Fläche CBEF die zu leistende Arbeit.

Berechnen wir den Gütegrad  $\eta_g$  des Vorganges, so ist

$$\eta_g = \frac{\text{Fläche CBEF}}{\text{Fläche ADF}} = \frac{\frac{3JE}{l^3} f_0 f_1}{\frac{3JE}{l^3} f_2^2} = \frac{2 f_0 f_1}{f_2^2} = \frac{2 f_0 f_1}{(f_1 + f_0)^2} \quad (4)$$

$\eta_g$  wird ein Maximum für  $\frac{d \eta_g}{d f_1} = 0$

$$\frac{d \eta_g}{d f_1} = \frac{2 f_0 (f_1 + f_0)^2 - 2 \cdot 2 f_1 f_0 (f_1 + f_0)}{(f_1 + f_0)^4} = 0$$

$$2 f_0 (f_1 + f_0) - 4 (f_1 f_0) = 0$$

woraus folgt  $f_1 = f_0$  (5)

$$\eta_{g \max.} = 0,50$$

oder bei gegebenem Querschnitt  $q$ , Dicke  $h$  und Länge  $l$  des Bimetallstreifens ergibt sich die maximale Kraft, die noch überwunden werden kann: