

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Zur Theorie der Spannungshaltung auf Höchstspannungsleitungen  
**Autor:** Oehler, D.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058827>

### **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:** 18.01.2026

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

que la dispersion du jet est différente sous l'influence du champ électrique qui s'établit entre l'objet aspergé et les gicleurs mis à la terre, lors de l'essai de rigidité diélectrique. C'est comme s'il se formait des gouttelettes plus grosses. Bien que les 60 premiers centimètres du jet soient protégés par les écrans de l'installation de pluie artificielle, un regroupement du jet peut se produire plus loin. Il n'est toutefois pas possible d'éliminer l'effet de la tension d'essai en prolongeant les écrans, car la distance disruptive envers l'objet en essai serait alors trop réduite. Il faut donc tenir compte de cet effet perturbateur en procédant au contrôle de la densité d'eau incidente lorsque l'objet est sous tension. Pour cela, le récipient de mesure fixé devant l'objet doit être isolé. La mesure doit être poursuivie sous tension suffisamment longtemps pour que le temps durant lequel la tension n'était pas encore appliquée n'ait plus d'influence. Quelques mesures fondamentales avec et sans tension montreront quelle est l'influence de celle-ci. Cette influence dépend de la disposition générale des électrodes et diffère par conséquent selon les plateformes d'essais.

Outre le relèvement du jet, la concentration due à l'influence de la tension d'essai provoque une aspersion irrégulière de l'objet. Il faut donc également observer ce phénomène, afin d'obtenir des valeurs reproductibles lors des essais sous pluie artificielle. L'influence du champ électrique, qui regroupe les gouttelettes, est un phénomène général, dont il y a lieu de tenir compte pour chaque essai sous pluie.

Pour contrôler l'uniformité de l'aspersion, on fixe devant l'objet en essai un récipient de mesure appropriée et mesure l'intensité de la pluie sous tension durant un temps suffisamment long (5 minutes environ).

La figure 6 indique la répartition des composantes horizontales dans une hauteur de mesure de 2,4 m. Le récipient est subdivisé de telle sorte que l'on peut mesurer simultanément sur 50 cm de hauteur, de 5 en 5 cm. La répartition de la pluie sans et avec une tension d'essai de 500 kV est dif-

férente, malgré la présence des grilles-écrans. Sous tension, la pluie porte plus haut, de sorte que dans la zone supérieure la composante horizontale est nettement plus grande. Néanmoins, en procédant au contrôle sous tension, l'intensité de la pluie peut être réglée à la valeur désirée. En tenant correctement compte de ce phénomène, il devrait être possible d'effectuer des mesures vraiment reproductibles, avec la nouvelle installation à gicleurs capillaires de l'ASE<sup>1)</sup>. Avec d'autres installations de pluie artificielle des résultats concordants pourraient également être obtenus lorsque la composante horizontale et la résistivité de l'eau sont conformes aux prescriptions, et que la grosseur des gouttelettes de la pluie est également analogue.

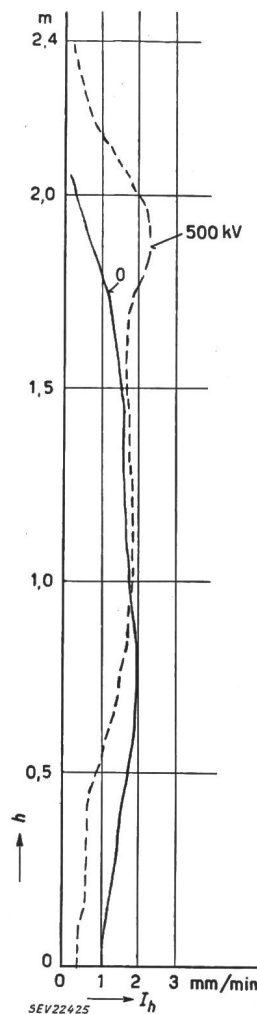


Fig. 6

Répartition de la composante horizontale de la pluie dans une hauteur de mesure de 2,4 m

$h$  Hauteur de mesure  
 $I_h$  Intensité horizontale

<sup>1)</sup> Voir «La nouvelle installation à gicleurs capillaires de l'ASE pour les essais de rigidité diélectrique sous pluie artificielle et son utilisation». Bull. ASE t. 45(1954), n° 14, p. 561...570.

Adresse de l'auteur:

D<sup>r</sup> ès sc. techn. H. Kläy, ing. dipl., Fabrique de porcelaine de Langenthal S. A., Langenthal (BE).

## Zur Theorie der Spannungshaltung auf Höchstspannungsleitungen

Von D. Oehler, Zürich

621.315.051 : 621.316.722.1

In den folgenden Darlegungen wird zuerst eine kurze Beschreibung der theoretischen Grundlagen für Quer- und Längskompensation gegeben. Anschliessend wird an einem Beispiel gezeigt, dass der Ohmsche Widerstand auf die Erscheinungen der Spannungshaltung bei Querkompensation keinen prinzipiellen Einfluss hat, bei Längskompensation jedoch unbedingt berücksichtigt werden muss. Da keines der beiden Verfahren allein den Anforderungen der Praxis genügen dürfte, wird zum Schluss eine Kombination der beiden erwähnt, die erlaubt, grosse Übertragungsleistungen unter der Bedingung der Spannungshaltung stabil über lange Höchstspannungsleitungen zu transportieren.

An der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Dezember 1952 berichtete A. Hauser u. a. über die Hilfsmittel zur Erhaltung der Spannungskonstanz längs langer Starkstromleitungen im Fall des

<sup>1)</sup> siehe Hauser, W.: Spannungshaltung und Kurzschluss-Schutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 137...141.

L'exposé suivant traite d'abord des bases théoriques de la compensation en parallèle et en série. Il montre ensuite par un exemple que la résistance ohmique n'a pas de principe une influence sur le maintien de la tension d'une ligne compensée en parallèle, mais qu'il faut par contre absolument en tenir compte lors de la compensation en série. Comme ni l'un ni l'autre des deux procédés satisfait aux exigences de l'exploitation pratique, l'article finit par indiquer une combinaison des deux procédés, permettant la transmission de très grandes puissances sur des lignes à très haute tension d'une manière satisfaisante du point de vue de la stabilité et du maintien de la tension.

Betriebs mit über- bzw. unternatürlicher Leistung<sup>1)</sup>. In seinen Deduktionen verzichtete er (wie allgemein üblich) auf die Berücksichtigung des Leitungswiderstandes. Nun ist bekannt, dass diese Vernachlässigung im Fall der Querkompensation keine grundsätzliche Abweichung vom Verhalten der ver-

lustbehafteten Leitung zur Folge hat. Nicht so bei Anwendung der Längskompensation. Hier stellt die verlustlose Leitung einen Sonderfall dar, der keine hinreichenden Schlüsse auf die wirklichen Verhältnisse zulässt.

Der Unterschied im Verhalten verlustloser und verlustbehafteter Leitungen bei Quer- und Längskompensation wurde unter der Leitung von B. Bauer an der Professur für angewandte Elektrotechnik und Energiewirtschaft untersucht. Im Anschluss an allgemeine theoretische Betrachtungen wurden die Verhältnisse der Lukmanier-Leitung für verschiedene Übertragungsdistanzen rechnerisch und experimentell näher betrachtet.

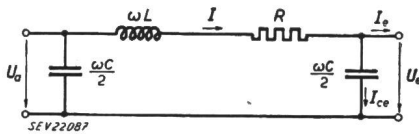


Fig. 1

Ersatzbild einer Fernleitung

$U_a, U_e$  Phasenspannungen am Anfang bzw. am Ende der Leitung;

$R, L, \frac{\omega C}{2}$  Betriebsimpedanzen;

$I$  Strom durch die Längsimpedanzen  $R$  und  $\omega L$ ;

$I_e$  Strom, der am Ende der Leitung abgegeben werden kann;

$I_{cc}$  Strom durch die Querkapazität am Ende der Leitung.

Um in der Elektrotechnik Leitungen theoretisch und experimentell untersuchen zu können, werden sie bekanntlich als  $\Pi$ -Glieder mit konzentrierten Leitungsbelägen dargestellt (Fig. 1). Diese Nachbildung ist für unsere Zwecke genügend genau, sofern die Länge der Leitung den achten Teil ihrer Wellenlänge nicht überschreitet. Auch für die Drehstromleitungen gelten diese Beziehungen, wenn sie symmetrisch aufgebaut und belastet sind, sowie ihre Induktivitäten und Kapazitäten als Betriebsinduktivitäten und Betriebskapazitäten verstanden werden. Höchstspannungs-Freileitungen bis zu einer Länge von etwa 750 km dürfen somit durch ein  $\Pi$ -Glieder reproduziert werden.

Bei den sehr erheblichen kilometrischen Erstellungskosten der Höchstspannungsleitungen ist man bestrebt, sie in der Wirkleistung voll auszunützen, d. h. sie vom Transport der von den Verbraucher-netzen verlangten Blindleistungen zu entlasten. Es entsteht daher beim Bezug von Wirkenergie über lange Höchstspannungsleitungen die Aufgabe, den zugehörigen Blindenergieanteil im Verbrauchsgebiet selbst zu erzeugen. Dieses Problem wird in den folgenden Darlegungen als gelöst betrachtet und darum  $\cos \varphi_e = 1$  gesetzt.

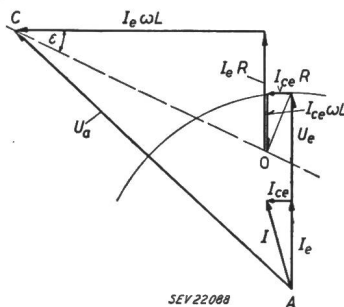


Fig. 2

Vektordiagramm einer Fernleitung entsprechend dem Ersatzbild in Fig. 1

$$\operatorname{tg} \varepsilon = R/\omega L$$

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1 und Text

Zunächst soll aus Fig. 1 das Vektordiagramm der Leitung (Fig. 2) entwickelt werden. Die Spannungs-

abfälle auf der Leitung, hervorgerufen vom Strom  $I_e$ , der am Ende der Leitung abgegeben wird, und vom Strom  $I_{cc}$ , der durch die Endkapazität fliesst, sind getrennt aufgetragen. Ihre Beträge zu  $U_e$ , der Spannung am Ende der Leitung, geometrisch addiert, ergibt die Anfangsspannung  $U_a$ . Für eine bestimmte Leitung mit einer konstanten Endspannung  $U_e$  sei in Funktion von  $I_e$  bzw.  $P_e$  der geometrische Ort der Spitze des Spannungsvektors  $U_a$  gesucht. ( $P_e$  ist die am Ende der Leitung abgegebene Wirkleistung.) Man hat zu beachten, dass die Spannungsabfälle, die von  $I_{cc}$  verursacht werden, von  $U_e$  abhängen, von  $I_e$  aber unabhängig – somit konstant – sind. Der gesuchte geometrische Ort ist, wie man aus Fig. 2 leicht ersieht, die gestrichelte Gerade  $\overline{OC}$ . Sie ist bestimmt durch den Punkt  $O$  und ihren Neigungswinkel  $\varepsilon$  zur Horizontalen ( $\operatorname{tg} \varepsilon = R/\omega L$ ); d. h. ihre Lage wird eindeutig festgelegt durch die Leitungskonstanten  $R, \omega L, \frac{\omega C_e}{2}$  und durch den Betrag der Spannung am Ende der Leitung.

Die Strecke  $\overline{OC}$  entspricht einem bestimmten  $I_e$  bzw.  $P_e$ . Diese Gerade zeigt uns die bekannte Tatsache, dass für kleine Belastung (unternatürliche Leistung) der Leitung die Anfangsspannung kleiner ist als die Endspannung und für grosse Last (übernatürliche Leistung) umgekehrt die Anfangsspannung grösser wird als die Endspannung.

Wenn man bei der Leitung Spannungshaltung verlangt, so versteht man darunter, wie früher erwähnt, dass längs der Leitung eine konstante Spannung herrscht. Auf das Ersatzbild (Fig. 1) übertragen, heisst das, dass der Betrag von  $U_a$  gleich dem Betrag von  $U_e$  sei, bzw. dass die Spitze des Vektors  $U_a$  (Fig. 2) auf dem Kreis mit  $U_e$  als Radius liegt. Wir packen also das Problem so an, dass für ein bestimmtes nach Richtung und Betrag konstantes  $U_e$  das betragsmässig gleich grosse  $U_a$  gesucht wird.

Aus Fig. 2 erkennt man schon die Grundlagen der Massnahmen zur Spannungshaltung. Um bei unternatürlicher Leistung zur Spannungsgleichheit  $U_a = U_e$  zu gelangen, kann man z. B. die Leitungskapazität künstlich verringern durch Einbau einer Querkapazität am Leitungsende oder aber durch Vergrösserung des Winkels  $\varepsilon$  mittels Serieschaltung einer Längsinduktivität mit der Induktivität der Leitung. Bei übernatürlicher Leistung erhält man z. B. Spannungsgleichheit durch Zuschalten einer Querkapazität am Ende der Leitung oder durch Einfügen einer Längskapazität in den Leitungszug. Für eine bestimmte übertragene Leistung, die sog. natürliche Leistung, herrscht Spannungsgleichheit ohne künstlichen Eingriff. Im Vektordiagramm der Fig. 2 entspricht dies dem Schnittpunkt der Geraden  $\overline{OC}$  mit dem Kreis vom Radius  $U_e$ .

#### a) Querkompensation

Schaltet man am Ende der Leitung parallel zur Kapazität eine Querreaktanz  $X_q$  zu, so kann die Kapazität je nach Bedarf vergrössert oder verkleinert werden (Fig. 3). Die Wirkungsweise dieser Querreaktanz kann am besten an Hand eines Bei-

spiels erklärt werden. Die Leitung sei im Leerlauf. In diesem Fall fliesst durch ihre Induktivität  $\omega L$  und durch ihren Ohmschen Widerstand  $R$  nur der

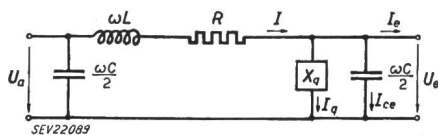


Fig. 3

Ersatzbild einer Fernleitung mit Querkompensation  
 $X_q$  zusätzliche Querreaktanz zur Spannungshaltung  
 Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1, 2

Ladestrom der Endkapazität  $I_{ce}$ . Der so über der Leitung erzeugte Spannungsabfall verschiebt bei nach Richtung und Betrag konstant gehaltenen  $U_e$  die Spitze des Vektors  $U_a$  nach  $O$  (Fig. 2). Sofern eine induktive Querreaktanz  $X_q$  zugeschaltet wird, fliesst durch sie ein Strom  $I_q$ , der dem Strom  $I_{ce}$  entgegengesetzt gerichtet ist. Wird  $X_q$  in der Grösse so gewählt, dass  $I_q$  dem Betrag nach gleich  $I_{ce}$  ist, kompensieren sich die beiden, und über die Leitung fliesst kein Strom mehr. Es entsteht dann auch kein Spannungsabfall, und der Vektor  $U_a$  entspricht nach Richtung und Betrag dem Vektor  $U_e$ .

Wenn man die Voraussetzung macht, dass die Querreaktanz  $X_q$  — analog den Leitungskapazitäten — keinen Ohmschen Anteil besitze, ist der Strom  $I_q$  gleich oder entgegengesetzt  $I_{ce}$  gerichtet und steht damit senkrecht zum Strom  $I_e$ ; bzw. die Spannungen  $I_q \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  und  $I_e \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  stehen unter einem rechten Winkel (Fig. 2). Man hat also mit einer Querreaktanz die Möglichkeit, die Gerade  $\overline{OC}$  parallel zu sich selbst zu verschieben, bzw. die Spitze des Vektors  $U_a$  für jeden beliebigen Wert von  $P_e$  auf einer Senkrechten zur Geraden  $\overline{OC}$  zu bewegen. Die Richtung dieser Verschiebung hängt davon ab, ob  $X_q$  induktiv oder kapazitiv gewählt wird; die Grösse der Verschiebung wird durch den Wert von  $X_q$  bestimmt. Vermittels einer Querreaktanz kann also die Spitze des Vektors  $U_a$  auf den Kreis mit  $U_e$  als Radius gebracht und damit die Spannungshaltung erreicht werden.

Multipliziert man im Spannungsdiagramm alle Strecken mit dem Faktor  $U_e / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ , dann werden die Spannungen zu Leistungen:

$$I_e \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \left( \frac{U_e}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \right) = P_e$$

$$I_q \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \left( \frac{U_e}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \right) = Q_q$$

$Q_q$  ist die in der Reaktanz  $X_q$  erzeugte, zur Spannungshaltung benötigte Blindleistung. Das so erhaltene Leistungsdiagramm ist in Fig. 4 dargestellt. Es entspricht dort die Strecke  $\overline{OC}_0$  der natürlichen Leistung der Leitung (in der II-Glied-Darstellung verstanden). Diese lässt sich auch unter Zuhilfenahme der analytischen Geometrie finden, indem die Koordinaten des Schnittpunkts der Geraden  $\overline{OC}$  mit dem Kreis errechnet werden. Bei Anwendung der Querkompensation gibt es für jede Hoch-

spannungsleitung eine maximal mögliche Übertragungsleistung, die nicht überschritten werden kann, wenn die Spannungshaltung noch gewährleistet wer-

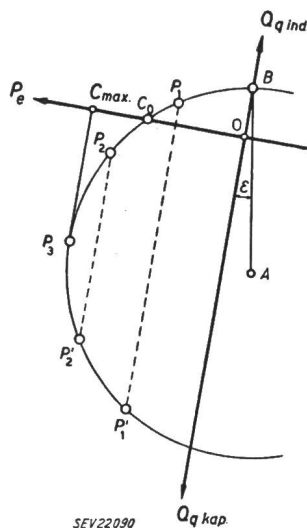


Fig. 4

Leistungsdiagramm  
 bei Querkompensation

$P_e$  am Ende der Leitung abgegebene Wirkleistung;

$Q_q$  zur Spannungshaltung in der zusätzlichen Querreaktanz benötigte Blindleistung;

$\overline{OC}_{max}$  entspricht  $P_{e max}$ , der theoretisch grösstmöglichen Wirkleistung, die am Ende der Leitung abgegeben werden kann

den soll. In Fig. 4 entspricht sie der Strecke  $\overline{OC}_{max}$  und beträgt für Drehstrom

$$P_{e max} = 3 U_e^2 \frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} - R}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Für den Fall der verlustlosen Leitung mit  $R = 0$  steigt sie auf

$$P_{e max (R=0)} = \frac{3 U_e^2}{\omega L}$$

Im Bereich  $O$  bis  $C_{max}$  ergeben sich theoretisch für jede Leistung  $P_e$  jeweils zwei Lösungen für  $Q_q$ , und zwar:

von  $O$  bis  $C_0$ : ein induktives und ein kapazitives  $Q_q$ , den Punkten  $P_1$  und  $P_1'$  in Fig. 4 entsprechend;  
 von  $C_0$  bis  $C_{max}$ : zwei kapazitive  $Q_q$ , in Fig. 4 durch die Punkte  $P_2$  und  $P_2'$  dargestellt.

In Berücksichtigung des Parallelbetriebs kommen nur Lösungen auf dem Kreisbogen von  $B$  bis  $P_3$  in Frage, weil sich dabei kleinere Lastwinkel (bzw. kleinere Winkel zwischen  $U_a$  und  $U_e$ ) einstellen (vgl. auch Fig. 6). Für den Fall  $R = 0$  ( $\varepsilon = 0$ ) fällt in Fig. 4 die  $Q_q$ -Achse mit  $\overline{AB}$  zusammen, und die  $P_e$ -Achse steht senkrecht dazu. Die Blindleistung  $Q_q$  in Funktion von  $P_e$  aufgetragen stellt einen Kreis dar.

Um die Verbindung mit dem Aufsatz im Bulletin SEV 1953, Nr. 4<sup>1)</sup>, herzustellen, drehe man Fig. 4 im Punkt  $O$  um  $180^\circ$ , denke  $\varepsilon = 0$  und so hat man die gleiche Darstellung für  $Q_q$  in Funktion von  $P_e$ .

Es sind für das Mastbild der Lukmanierleitung und für verschiedene Leitungslängen die entsprechenden Ersatzbilder gemäss Fig. 1 errechnet und in einem bestimmten Maßstab im Demonstrationsmodell abgebildet worden. Dort wurde experimentell und gleichzeitig rein rechnerisch die benötigte Blindleistung  $Q_q$  in Funktion der abgegebenen Leistung  $P_e$  für die verschiedenen Fälle ermittelt. Die Resultate sind in Fig. 5 aufgezeichnet. Die Kurven für  $R = 0$  sind natürlich nur errechnete Werte und können im Modell der Ohmschen Widerstände der

Drosselspulen wegen nicht gemessen werden. Der Unterschied zwischen verlustloser und verlustbehafteter Leitung ist aus den Kurven klar ersichtlich;

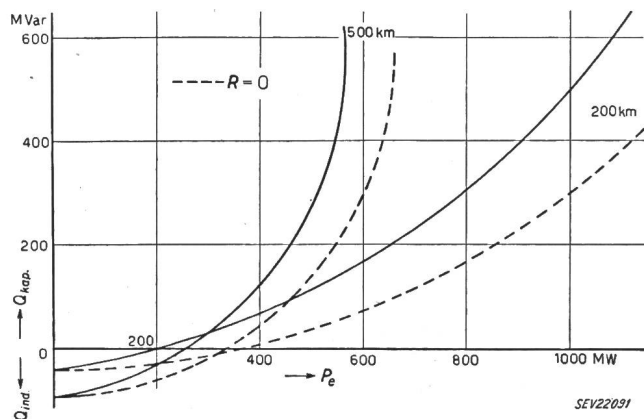


Fig. 5

Erforderliche Kompensationsblindleistung  $Q_q$  in Funktion der abgegebenen Wirkleistung  $P_e$  bei  $\cos \varphi_e = 1$  für Leitungen mit Querkompensation

$R$  Ohmscher Widerstand der betreffenden Leitung

ebenso der Einfluss der Leitungslänge auf den Blindleistungsbedarf  $Q_q$ . Die Darstellung für  $Q_q$  in Funktion von  $P_e$  wird prinzipiell nicht verändert, wenn zur Vereinfachung der Betrachtung der Ohmsche Widerstand  $R$  der Leitung vernachlässigt wird.

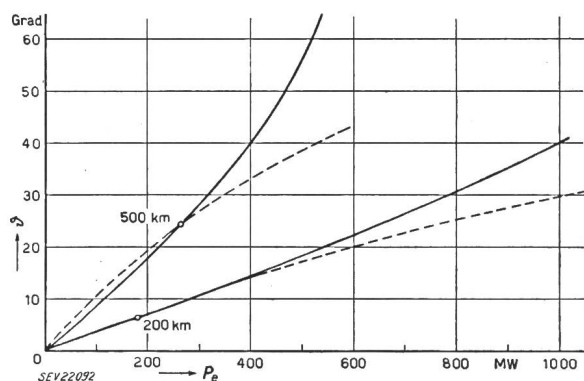


Fig. 6

Winkel  $\delta$  zwischen Anfangs- und Endspannung in Funktion der abgegebenen Wirkleistung  $P_e$  bei  $\cos \varphi_e = 1$  für Leitungen mit Querkompensation

---- unkompenzierte Leitung ————— kompenzierte Leitung

In Fig. 6 sind die Zwischenwinkel zwischen  $U_a$  und  $U_e$  in Funktion der Leistung  $P_e$  für unkompenzierte und kompenzierte Leitung dargestellt. Daraus lassen sich gewisse Anhaltspunkte für die Stabilität der Leitung feststellen.

### b) Längskompensation

Es wird in Serie zur Induktivität der Leitung eine Längsreaktanz  $X_l$  geschaltet. Wie die Querreaktanz  $X_q$  soll sie keine Ohmsche Komponente enthalten und je nach Bedarf induktiv oder kapazitiv sein (Fig. 7). Der Einfluss der Reaktanz  $X_l$  auf die Anfangsspannung  $U_a$  ist im Vektordiagramm (Fig. 8) ersichtlich. Es ist ein beliebiger Belastungsfall eingezeichnet. Der Endpunkt der unkompenzierten Anfangsspannung sei  $C$ . Man kann nun ein induktives  $X_l$  zuschalten, dadurch wird die Induktivität der Leitung grösser, und der Punkt  $C$  geht nach  $P_1$  auf dem Kreisbogen, sofern die Grösse von  $X_l$  richtig

gewählt wurde. Wenn  $X_l$  kapazitiv von entsprechender Grösse eingefügt wird, wandert  $C$  wegen verkleinerter Induktivität der Leitung nach  $P_1'$ . Es ist

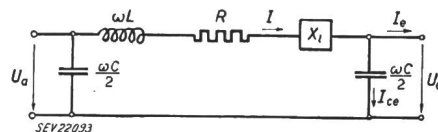


Fig. 7

Ersatzbild einer Fernleitung mit Längskompensation  
 $X_e$  zusätzliche Längsreaktanz zur Spannungshaltung  
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1, 2

sehr schwer, in dieser geometrischen Darstellung den Überblick über die Verhältnisse bei veränderter Wirkleistung  $P_e$  zu gewinnen, da die Gerade  $PP_{11}'$  für jeden  $P_e$ -Wert in Bezug auf die  $OC$ -Gerade eine andere Lage einnimmt. Das  $Q_l/P_e$ -Diagramm lässt sich darum nur durch umfangreiche

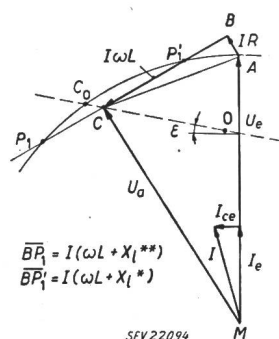


Fig. 8

Vektordiagramm einer Fernleitung mit Längskompensation entsprechend dem Ersatzbild in Fig. 7

$X_e^*$  zusätzliche Längskapazität  
 $X_e^{**}$  zusätzl. Längsinduktivität

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Berechnung, durch punktweises Konstruieren aus dem Vektordiagramm oder durch Messung ermitteln ( $Q_l$  ist die in  $X_l$  verbrauchte Blindleistung). In analoger Weise wie für die Querkompensation sind die Resultate in Fig. 9 wiedergegeben. Wie bei der Querkompensation entspricht auch hier (Fig. 8) die Strecke  $OC$  der natürlichen Leistung der Leitung (als  $\Pi$ -Glieder dargestellt). Diese findet sich in Fig. 9 als Schnittpunkt der  $Q_l$ -Kurve mit der  $P_e$ -Achse. Es existiert ebenfalls eine grösstmögliche Leistung, die unter der Bedingung der Spannungshaltung gerade noch über die Leitung übertragen werden kann. Sie ist erreicht, wenn in Fig. 8 die Gerade  $BC$  zur Tangente an den  $U_e$ -Kreis wird; bzw. in Fig. 9 steht dann die Tangente an die  $Q_l$ -Kurve senkrecht auf der  $P_e$ -Achse. Die Spannungshaltung ist also auch hier nur in einem bestimmten Bereich  $P_e$  möglich. Im Vergleich zur Querkompensation liegt bei Längskompensation die maximal übertragbare Leistung bei wesentlich geringeren Werten von  $P_e$ . Je nach Art der betreffenden Leitung ist die dabei zur Spannungshaltung benötigte Blindleistung in der Längsreaktanz induktiv oder kapazitiv.

Im kompensierbaren Bereich ergeben sich für jeden bestimmten Wert von  $P_e$  zwei mögliche  $Q_l$ -Werte. Sobald der sichere Parallelbetrieb über die Leitung berücksichtigt wird, fallen Lösungen mit induktiven Längsreaktanzen weg.

Für den Fall der verlustlosen Leitung ( $R = 0$ ,  $\varepsilon = 0$ ) fällt in Fig. 8 die Spannung  $IR$  weg und die  $Q_l$ -Kurven haben den in Fig. 9 gestrichelt gezeichneten Verlauf. Die obere Grenze des kompensier-

baren Leistungsbereichs wandert im Vergleich zu  $R \neq 0$  ins  $\infty$  ab, d. h. hier ist theoretisch für jeden Wert von  $P_e$  die Spannungshaltung möglich. Der obere gestrichelte Ast der  $Q_l$ -Kurven stellt den Fall  $\omega L = 1/\omega C = X_l$  und damit die vollständig kompensierte Leitung dar. Der untere Teil der  $Q_l$ -Kurven entspricht der im Bulletin SEV 1953, Nr. 4<sup>1)</sup>, gezeigten Darstellung für Längskompensation.

Aus Fig. 9 ist klar ersichtlich, dass bei Längskompensation aus einer Untersuchung der verlustlosen Leitung keine Schlüsse auf deren wirkliches Verhalten gezogen werden dürfen. Um auch hier einen gewissen Einblick in die Stabilitätsverhältnisse der Leitung zu gewinnen, sind in Fig. 10 die Zwischenwinkel zwischen  $U_a$  und  $U_e$  in Funktion von  $P_e$  für unkomensierte und komensierte Leitung aufgetragen.

### Schlussfolgerungen

Als wesentlichste Erkenntnisse gelten:

Mittels Querkompensation ist es möglich, bis zu grossen Leistungen die Spannungshaltung zu bewerkstelligen. Für übernatürliche Leistungen vergrössert sich der Zwischenwinkel zwischen Anfangs- und Endspannung der Leitung derart, dass die stabile Leistungsübertragung in Frage gestellt wird.

Bei einer längskompensierten Leitung ist der Leistungsbereich wesentlich kleiner. Dafür bleibt der Zwischenwinkel in sehr günstigen Grenzen, wird zum Teil sogar kleiner als bei der entsprechenden unkomensierte Leitung.

Fig. 9

Erforderliche Kompensationsblindleistung  $Q_l$  in Funktion der abgegebenen Wirkleistung  $P_e$  bei  $\cos \varphi_e = 1$  für Leitungen mit Längskompensation

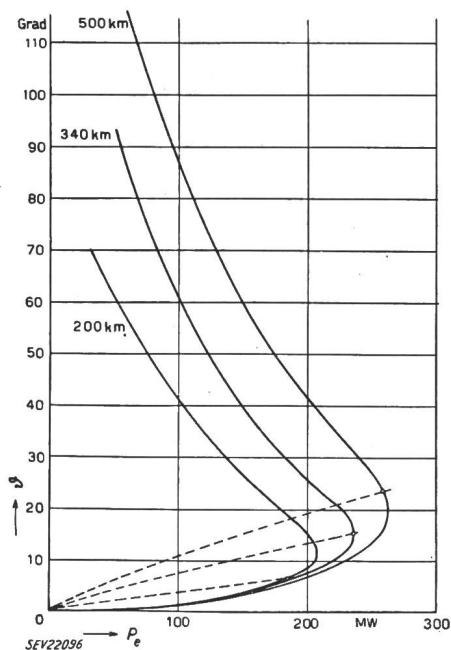
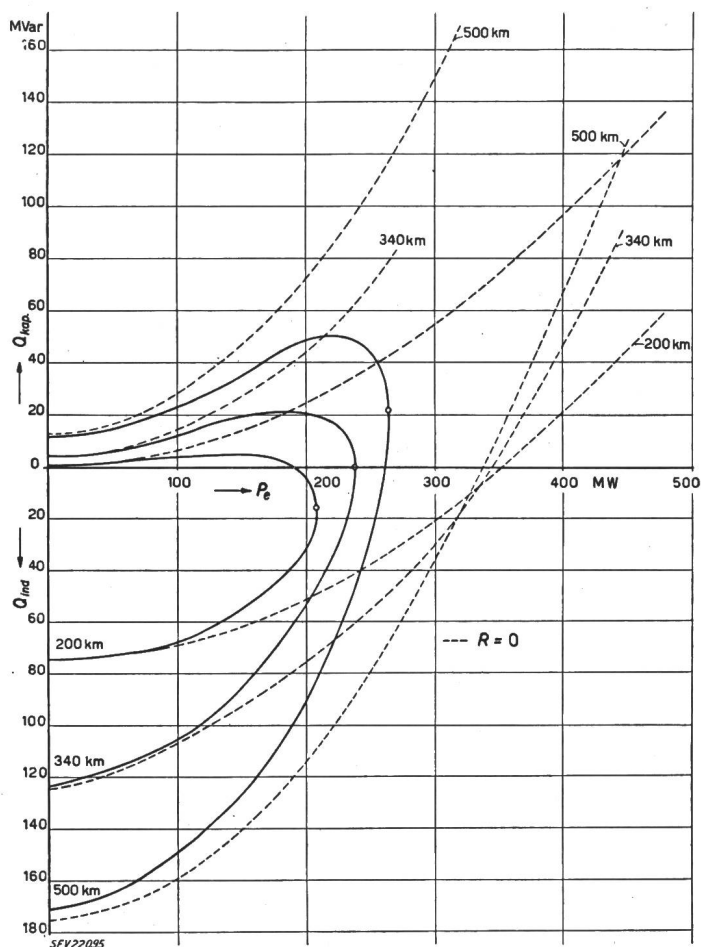


Fig. 10

Winkel  $\delta$  zwischen Anfangs- und Endspannung in Funktion der abgegebenen Wirkleistung  $P_e$  bei  $\cos \varphi_e = 1$  für Leitungen mit Längskompensation

----- unkomensierte Leitung  
——— komensierte Leitung

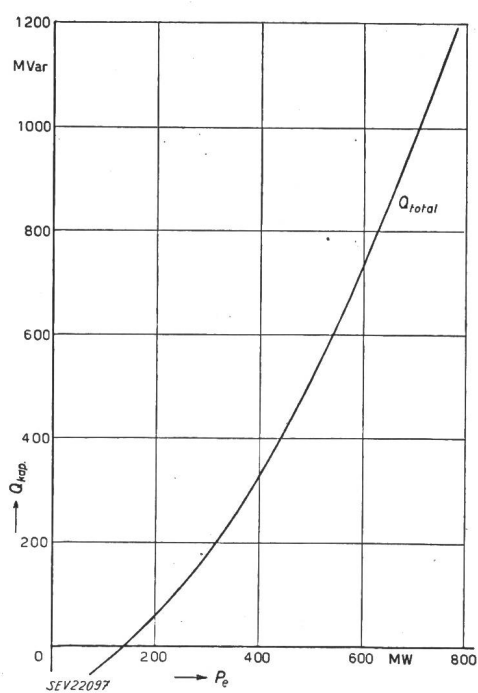


Fig. 11

Erforderliche Kompensationsblindleistung  $Q$  in Funktion der abgegebenen Wirkleistung  $P_e$  bei  $\cos \varphi_e = 1$  für eine Fernleitung mit Quer- und Längskompensation

eine bestimmte Leitung mit einer konstanten Längskapazität versehen und mittels Querkompensation die Spannung halten. Für das Modell der 500 km langen Lukmanierleitung wurde dieses Verfahren angewendet und die in Fig. 11 wiedergegebenen Werte gemessen. Ohne dass auf die wirtschaftlichen Aspekte der dabei verwendeten Kompensationsmit-

tel näher eingetreten sei, ist mit den zuletzt gezeigten Massnahmen eine mögliche Lösung zur stabilen Übertragung grosser Leistungen unter der Bedingung der Spannungshaltung gezeigt.

Adresse des Autors:

D. Oehler, dipl. EL.-Ing. ETH, Assistent an der Professur für angewandte Elektrotechnik und Energiewirtschaft der ETH, Zürich 1.

## Automatische Telephonzentralen «Hasler System 52»

Von W. Keller, Bern

621.395.34

Die neu entwickelten Bauelemente, die nach neuen Gesichtspunkten erfolgte konstruktive Durchbildung der Stromkreise sowie der wesentlich vereinfachte Vorgang für den Bau der Telephonzentralen werden dargestellt.

Le présent exposé décrit les nouveaux organes mis au point et les circuits de nouvelle conception qui caractérisent ce système de central téléphonique ainsi que le montage simple de celui-ci.

### I. Einleitung

In einer früher im Bulletin SEV erschienenen Arbeit<sup>1)</sup> sind die nach neuen Überlegungen und Prinzipien entwickelten Stromkreise für die als «Hasler-System 52» bezeichnete Ausführung von automatischen Telephonzentralen behandelt worden. Die ersten dieser neuen Anlagen stehen nun schon seit mehreren Monaten bei der PTT in Betrieb und die bisher gemachten Betriebserfahrungen zeigen, dass die in das neue System gesetzten Erwartungen erfüllt werden.

In den nachfolgenden Kapiteln sollen, gewissermassen als Fortsetzung der ersten Arbeit, die Bauelemente, die konstruktive Durchbildung der Stromkreise und die neuartige Montage dieser Anlagen behandelt werden.

### II. Bauelemente

Der Aufwand für den Unterhalt der automatischen Telephonzentralen bildet einen der wichtigsten Faktoren des Telephonbetriebes. Es wurde deshalb darnach getrachtet, mit einer möglichst kleinen Zahl von Bauelementen auszukommen und diese ferner so zu gestalten, dass ein möglichst geringer Aufwand für den Unterhalt notwendig ist. Weiter wurden die Konstruktionen der Apparate derart vereinfacht, dass deren Revision und Unter-

halt durch Fachleute ohne grosse Spezialkenntnisse möglich ist.

Als universell verwendbares Relais wird das schon vielfach bewährte Flachrelais (Fig. 1) verwendet. Mit Doppelkontakten aus Edelmetall ausgerüstet, kann es für alle notwendigen Aufgaben, als Zweischritt-Teilnehmerrelais, Prüfreis, Speisereis, Impulsrelais, Verzögerungsrelais, usw. verwendet werden, so dass irgendwelche Sonderkonstruktionen vermieden sind.

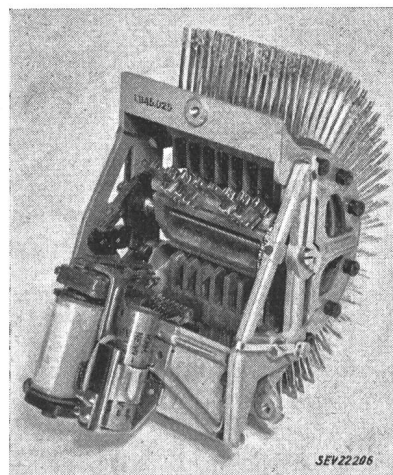


Fig. 2

Als 30-, 60- und 120teiliger Sucher verwendeter Drehschalter mit Schrittschaltantrieb

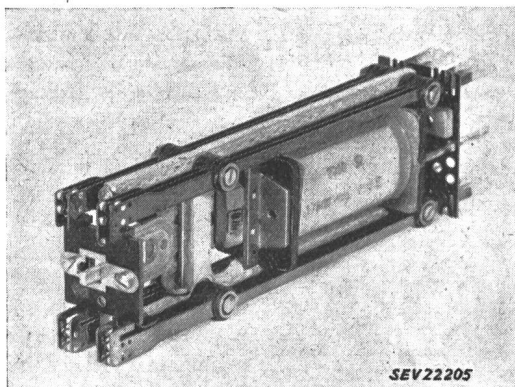


Fig. 1

Hasler Flachrelais

<sup>1)</sup> Berner H.: Un nouveau chercheur et une nouvelle méthode de marquage dans un système de téléphonie automatique. Bull. SEV Bd. 44 (1953), Nr. 11, S. 481...484.

Neben dem Relais bilden die Sucher die wichtigsten Bestandteile der neuen Zentralen. Es wurden zwei neue Typen von Suchern (Wählern) entwickelt, die im grundsätzlichen Aufbau und in der Arbeitsweise gleich sind, dagegen aber verschiedenen grosse Anschlussmöglichkeiten in den Kontaktbänken aufweisen. Es sind beides durch Schrittschaltwerke direkt angetriebene Sucher, die eine Drehbewegung ausführen (Fig. 2 und 3). Dank einer sinnreichen Konstruktion lassen sich Antrieb und Bürstenwagen ohne jedes Werkzeug von der Kontaktbank wegnehmen und weiter zerlegen. Die Kontaktbänke sind doppelseitig ausgeführt, so dass durch das Aufeinanderschichten von 4 bis 8 dieser Bänke nach Belieben Kontaktbanksysteme mit  $8 \times 30$  bis  $16 \times 30$  Kontakten gebaut werden können.