

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 41 (1950)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Über zusätzliche Verluste beim Parallelbetrieb von Leitungen  
**Autor:** Schär, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061270>

### **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:** 03.04.2026

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

Die Lösung der Gleichung (18) ist:

$$\delta \hat{u} = A e^{\mu t}, \text{ wobei } \mu = -\frac{1}{C \hat{u}_0} \frac{d(P + P_v)}{d\hat{u}} \quad (19)$$

Wenn  $\delta \hat{u}$  mit zunehmender Zeit kleiner werden soll, muss  $\mu$  negativ sein. Damit erhält man als Bedingung für Stabilität einer Gleichgewichtslage wieder:

$$\frac{d(P + P_v)}{d\hat{u}} > 0 \quad (20)$$

Wie man sich leicht überzeugen kann, gilt für den Fall  $\hat{u} \neq 0$  auch die Bedingung:

$$\frac{d(G + G_v)}{d\hat{u}} = \frac{dG}{d\hat{u}} > 0 \quad (21)$$

Wir hoffen, mit diesem einfachen Beispiel die Methoden der gleichwertigen Linearisierung genügend klargemacht zu haben. Mit ähnlichen Überlegungen und etwas grösserem Aufwand können auch die in den Beispielen *b)* und *c)* erwähnten Probleme der gleichzeitigen Schwingungen und der Synchronisation behandelt werden.

**Literatur**

**Lehrbücher**

- [1] *Minorsky, N.*: Non-Linear Mechanics. Ann Arbor, Edwards, 1947.
- [2] *Kryloff, N. and N. Bogoliuboff*: Introduction to Non-Linear Mechanics. Princeton, University Press, 1947.
- [3] *Andronow, A. and C. Chaikin*: Theory of Oscillations. Princeton, University Press, 1949.

**Zeitschriften**

- [4] *Appleton, E. V. and B. Van der Pol*: On a Type of Oscillation Hysteresis in a Simple Triode Generator. Philos. Mag. Bd. 42 (1921).
- [5] *Van der Pol, B.*: An Oscillation Hysteresis in a Triode Generator with two Degrees of Freedom. Philos. Mag. Bd. 43 (1922), S. 700.
- [6] *Huggins, W. H.*: Multifrequency Bunching in Reflex Klystrons. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 36 (1948), S. 624.
- [7] *Van der Pol, B.*: The Non-Linear Theory of Electrical Oscillations. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 22 (1934).
- [8] *Cartwright, M. L.*: Forced Oscillations in Nearly Sinusoidal Systems. J. Instn. Electr. Engr"., Part III, Bd. 95 (1948), Nr. 34, S. 88...96.

**Adresse des Autors:**

Dr. Hans Schaffner, dipl. Ing., University of Illinois, Dept. of Electrical Engineering, Urbana, Ill., USA.

## Über zusätzliche Verluste beim Parallelbetrieb von Leitungen

Von F. Schür, Olten

621.3.017.29:621.315.016.32

*Am Beispiel je einer durch einen Transformator parallel geschalteten 150-kV- und 50-kV-Leitung wird gezeigt, wie sich das Minimum der zusätzlichen Verluste leicht berechnen lässt, und es wird das Ergebnis diskutiert.*

*L'auteur montre, à l'aide de l'exemple de deux lignes à 150 et 40 kV couplées en parallèle par un transformateur, qu'il est facile de calculer le minimum des pertes additionnelles. Il procède ensuite à la discussion des résultats.*

Die heutigen Anforderungen an die Elektrizitätsversorgungsunternehmen bedingen oft, insbesondere im Hinblick auf die Betriebssicherheit, dass grössere Netzteile als Maschennetze betrieben werden müssen. Dabei kann es vorkommen, dass Leitungen von verschiedener Nennspannung an beiden Leitungsenden über Transformatoren parallel geschaltet sind und derselben Energieübertragung dienen.

Je nach der Belastung der Knotenpunkte und, wenn die Transformatoren mit Stufenschaltern ausgerüstet sind, je nach deren Einstellung, verteilt sich die Last auf die beiden Leitungen. Mit Rücksicht auf die Übertragungsverluste ist es jedoch nicht gleichgültig, wie sich der Strom auf die beiden Pfade verteilt. Die Verhältnisse lassen sich am besten an Hand eines Beispiels etwa nach Fig. 1 überblicken.

Die im Knotenpunkt *A* zufließende Energie ( $U = 150 \text{ kV}$ ,  $I = 200 \text{ A}$ ) sei nach dem Knotenpunkt *B* zu übertragen, wobei der Einfachheit halber die Belastungen durch die Zweige *a* und *b* unberücksichtigt bleiben sollen.

Die günstigste Verteilung des Stromes von 200 A auf die beiden Leitungen ist offenbar dann vorhanden, wenn die Übertragungsverluste ein Minimum sind. Die totalen Verluste zwischen den beiden Knotenpunkten *A* und *B* betragen, wenn man von den Eisenverlusten der Transformatoren, der Ableitung und den Koronaverlusten absieht:

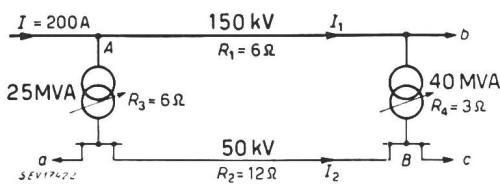
$$P_{vt} = P_{v1} + P_{v2} = 3 [I_1^2 (R_1 + R_4) + I_2^2 (R_2 + R_3')] \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

- $P_{vt}$  die totalen Leitungsverluste,
- $P_{v1}$  die Verluste über den 150-kV-Strang einschliesslich Kupferverluste im Transformator,
- $P_{v2}$  die Verluste über den 50-kV-Strang einschliesslich Kupferverluste im Transformator,
- $R_3'$  den auf die 50-kV-Seite bezogenen Ohmschen Widerstand des 25-MVA-Transformators.

Die Bedeutung der übrigen Symbole geht aus Fig. 1 hervor.

Drückt man noch den Strom  $I_2$  durch  $I_1$  aus, wobei die Transformatorübersetzung an beiden Transformatoren der Einfachheit halber gleich an-



Teil eines vermaschten Netzes  
Energietransport von A nach B

$R_1, R_2$  Ohmsche Widerstände der Übertragungsleitungen  
 $R_3, R_4$  auf die 150-kV-Seite bezogene Ohmsche Widerstände der Transformatoren

genommen wird und mit  $\ddot{u}$  bezeichnet werde, dann ist:

$$I_2 = (I - I_1) \ddot{u} \quad (2)$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung 1 ein, so wird:

$$P_{vt} = 3 [I_1^2 (R_1 + R_4) + (I - I_1)^2 \ddot{u}^2 (R_2 + R_3')] \quad (3)$$

Differenziert man diese Gleichung in bekannter Weise nach  $I_1$ , so findet man für das Minimum der Verluste den Ausdruck

$$I_1 = \frac{I \ddot{u}^2 (R_2 + R_3')}{R_1 + R_4 + \ddot{u}^2 (R_2 + R_3')} \quad (4)$$

Die auf die gleiche Spannung bezogenen Widerstände der zwei Leitungspfade betragen nach Fig. 1

$$R_1 = 6 \Omega; \quad R_4 = 3 \Omega; \quad R_2 = 12 \Omega; \quad R_3' = 0,66 \Omega$$

Damit ergibt sich:

$$I_1 = \frac{1800 \cdot 12,66}{6 + 3 + 9(12 + 0,66)} = \underline{186 \text{ A}}$$

Das heisst nun aber, dass über die 150-kV-Leitung 93 % der ganzen Leistung übertragen werden müssen, wenn sich die minimalen Verluste einstellen sollen.

Die parallel geschaltete 50-kV-Leitung ist vom Gesichtspunkt der Verluste aus gesehen praktisch fast bedeutungslos, denn sie muss nur 7 % des Stromes transportieren.

Da die Stromverteilung auf die beiden Leitungszweige ausser von den Leitungskonstanten auch noch vom Phasenwinkel des übertragenen Stromes und überdies von den Einstellungen der Stufenschalter abhängt — dem System also aufgezwungen wird —, so ist es ein reiner Zufall, wenn sich gerade die minimalen Verluste ergeben. Aus betrieblichen Gründen kann andererseits das günstigste Verhältnis nicht immer oder sogar nur selten einreguliert werden. Wie die Kurve Fig. 2 zeigt, können aber die zusätzlichen Verluste so erheblich sein, dass es im Hinblick auf diese am besten ist, wenn die 50-kV-Leitung geöffnet wird.

Mit Rücksicht auf die Sicherheit der Energielieferung (Verminderung von Unterbrüchen) sollte

jedoch die 50-kV-Leitung eingeschaltet bleiben, wobei diese Sicherheitsverbesserung verhältnismässig teuer bezahlt werden muss.

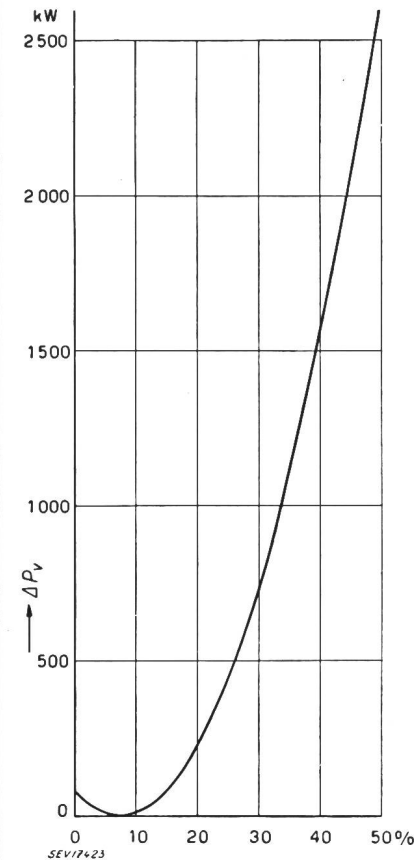


Fig. 2  
Zusätzliche Verluste  $\Delta P_v$  in Funktion der Beteiligung der 50-kV-Leitung am Energietransport  
Total von A nach B übertragene Leistung 52 MVA  
Abszisse: Prozentualer Anteil der 50-kV-Leitung am Energietransport

In Zeiten von Energieknappheit und relativ kleiner Störanfälligkeit wird man daher solche Leitungen eher ausschalten und in gewitterreichen Sommern eher einschalten.

Die hier am Beispiel einer 150-kV- und einer 50-kV-Leitung diskutierten Resultate gelten natürlich sinngemäss auch für andere Parallel-Leitungen verschiedener Spannung.

Adresse des Autors:

F. Schär, Elektrotechniker, Schöngrundstrasse 63, Olten (SO).

## Ein einfacher Gleichstrom-Messverstärker für Betriebsmessungen

Von E. Blamberg, Basel

621.314.12.08

Es wird ein einfacher, praktisch wartungsfreier, sehr genauer Gleichstrom-Messverstärker beschrieben, der als Betriebsgerät gedacht ist und nach dem Prinzip der automatischen Kompensation nach Lindeck-Rothe mit Nullmotor, Photozelle und Verstärkerröhre arbeitet. Die Fehlermöglichkeiten werden diskutiert.

### 1. Verstärker mit Mitteln der Elektronik

Verstärker für kleine Wechselspannungen sind mit den normalen Mitteln der Elektronik, z. B. Übertragern, Verstärkerröhren usw., verhältnismässig leicht zu bauen, Verstärker für kleine Gleichspannungen erfordern dagegen viel mehr Aufwand. Die Gleichspannung muss erst in eine

Description d'un amplificateur de mesure à courant continu d'une grande simplicité, n'exigeant pratiquement aucun entretien et néanmoins très précis. Cet appareil destiné à l'exploitation fonctionne d'après le principe de la compensation automatique selon Lindeck-Rothe, avec moteur de compensation, cellule photoélectrique et tube amplificateur. Discussion des sources d'erreurs.

proportionale Wechselspannung umgeformt werden. Das ist schon nicht ganz einfach. Dazu kommt die Schwierigkeit, den Nullpunkt konstant zu halten und die Anordnung so zu treffen, dass sie unabhängig von Änderungen der Röhrendaten richtig arbeitet. Derartige Gleichstromverstärker werden kompliziert und teuer, und einzelne Bauelemente,