

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 58 (1967)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Energiemessungen in Drehstrom-Hochspannungsnetzen  
**Autor:** Gocht, K. / Weber, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916253>

#### **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>**

«Niederfrequente Normalkomponente» nach Gl. (23) und (30) unter Berücksichtigung eines Tiefpasses bestimmt. Die hochfrequenten Anteile, die in Gl. (23) und (30) auftreten, werden durch den Tiefpass gedämpft. Sie zeigen, wie in Fig. 7 deutlich sichtbar, eine Schwingung mit der doppelten Trägerfrequenz. Das eben für die «Normalkomponente» Gesagte gilt auch für die «Quadraturkomponente» in Fig. 8. Es tritt hier ein noch grösserer Unterschied zwischen der Berechnung nach dem in Diskussionspunkt c) angeführten Näherungsverfahren und der nach Gl. (23) und (30) auf, da die in [4] vernachlässigten hochfrequenten Schwingungsanteile dieselbe Grössenordnung erreichen, wie der niederfrequente Zeitanteil in Gl. (23) und (30).

## Literatur

- [1] G. Doetsch: Theorie und Anwendung der Laplace-Transformation. Springer, Berlin 1937.
- [2] G. Doetsch: Handbuch der Laplace-Transformation. Bd. 1: Theorie der Laplace-Transformation. Birkhäuser, Basel 1950.
- [3] J. Peters: Einschwingvorgänge, Gegenkopplung, Stabilität. Theoretische Grundlagen und Anwendungen. Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1954.
- [4] K. Antreich: Berechnung trägerfrequenter Einschwingvorgänge aus der Wirkungsfunktion linearer Netzwerke bzw. linearer Übertragungssysteme. Arch. elektr. Übertrag. 18(1964)11, S. 686...691.
- [5] R. Saal: Der Entwurf von Filtern mit Hilfe des Kataloges normierter Tiefpässe. 2. Auflage, Telefunken AG, Backnang 1963.

## Adresse des Autors:

M. Welzenbach, dipl. Ingenieur, Telefunken AG, Gerberstrasse 34, D - 715 Backnang.

## Energiemessungen in Drehstrom-Hochspannungsnetzen

Von K. Gocht, Goldenstedt, und K. Weber, Hameln

621.317.785 : 621.316.13

Bei Energiemessungen in Hochspannungsnetzen bestanden immer noch Unklarheiten über die richtige Anwendung von Dreibzw. Vierleiterzählern sowie über deren Schaltung mit den dazugehörigen Messwandlern. Aufgrund neuer theoretischer Untersuchungen kann nunmehr für alle in Hochspannungsnetzen vorkommenden Messaufgaben die richtige Schaltung gewählt werden. Für alle Schaltungen wird immer der gleiche Zähler mit drei Messwerken verwendet. Je nach Messaufgabe kann dieser Zähler in der Zweiwattmeterschaltung für Hochspannungsnetze ohne Nullstromeinfluss und in der Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss für Hochspannungsnetze mit Nullstromeinfluss eingesetzt werden.

Les mesures d'énergie effectuées dans les réseaux à haute tension laissaient toujours subsister jusqu'à présent des incertitudes au sujet de l'application correcte des compteurs à trois, resp. à quatre fils, ainsi que le couplage de ces derniers avec les transformateurs de mesure qui leur sont affectés. Des recherches théoriques ont prouvé, que tous les travaux de mesure impliquent nécessairement le choix d'une charge parfaitement appropriée au compteur. Tous les couplages sont mesurés à l'aide du même compteur, équipé de trois éléments de mesure. Ce compteur peut, selon la mesure à effectuer, être appliquée suivant la méthode de couplage des deux wattmètres dans les réseaux à haute tension soustraits à l'influence du courant homopolaire, et suivant le couplage des trois wattmètres avec raccordement au point neutre dans les réseaux à haute tension influencés par le courant homopolaire.

Hochspannungsnetze galten lange Jahre hindurch als typische Dreileiter-Drehstrom-Anlagen und wurden mit zweisystemigen Zählern in Aronschaltung ausgerüstet. Die für diese Schaltung notwendige Bedingung, dass die Summe der drei Phasenströme gleich Null ist, ist aber nur im nicht-erdgeschlusskompensierten Hochspannungsnetz direkt hinter dem Einspeisetransformator und direkt vor dem Verbrauchertransformator erfüllt. An allen anderen Meßstellen verändert sich das Dreileiternetz wegen der unterschiedlichen Leitererderkapazitäten in ein Vierleiternetz.

Erdschlusskompensierte Netze stellen — ausser an Abzweigen mit direktem Verbraucheranschluss und an den Leitungsenden mit primär ungeerdetem Ausgangstransformator — ebenfalls Vierleiternetze dar, weil einerseits der Sternpunkt des Einspeisetransformators über die Löschedrosselspule und anderseits das Leitungssystem über die Kapazitäten und Ableitungen gegen Erde mit dem vierten Leiter, nämlich der Erde verbunden sind, wobei geschlossene Nullstrombahnen gebildet werden. Arbeitsmessungen im Vierleiternetz können aber bekanntlich nicht mit zweisystemigen Zählern in Aronschaltung, sondern nur mit dreisystemigen Zählern, also Drehstrom-Vierleiterzählern, durchgeführt werden.

Um zu einer einheitlichen und messtechnisch einwandfreien Zählerausführung zur Energiemessung an beliebigen Stellen des Hochspannungsnetzes zu gelangen, ist es zweckmässig, nur Drehstromzähler mit drei Messwerken zu ver-

wenden. Sie liefern in den weiter unten angegebenen Schaltungen richtige Messwerte und haben darüber hinaus den Vorteil, dass sie gegenüber Dreileiterzählern wegen des höheren Drehmomentes geringeren Reibungseinfluss und stabilere Kleinlastwerte aufweisen und ausserdem leichter einzustellen sind.

Die zur Energiemessung sowohl in nicht-erdgeschlusskompensierten als auch in erdschlusskompensierten Netzen verwendeten Drehstromzähler mit drei Messwerken (Universal-Drehstromzähler) könnten in der Zweiwattmeterschaltung, in der Dreiwattmeterschaltung mit freiem Sternpunkt und in der Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss angeschlossen werden. Es kämen demnach folgende Schaltungen für Hochspannungsnetze in Frage [1; 2] <sup>1)</sup>.

- a) Schaltung 1: Zweiwattmeterschaltung;
- b) Schaltung 2: Dreiwattmeterschaltung mit freiem Sternpunkt;
- c) Schaltung 3: Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss.

Je nach Zustand des Hochspannungsnetzes und nach Lage der Meßstelle können Zähler, die nach diesen drei Grundschaltungen angeschlossen sind, mehr oder weniger grosse Abweichungen ihrer Anzeige gegeneinander aufweisen. Um die wegen der falschen Anwendung der Schaltungen immer wieder aufgetretenen Schwierigkeiten zu beheben, sollen im folgenden genaue Richtlinien für die richtige Verwendung der drei verschiedenen Schaltungen angegeben und Angaben darüber gemacht werden, wie die Spannungs- und Stromwandler mit den Zählern, die in jedem Falle gleichen Aufbau und gleiche Innenschaltung als Universal-Drehstromzähler (3 Messwerke) haben, zu schalten sind.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

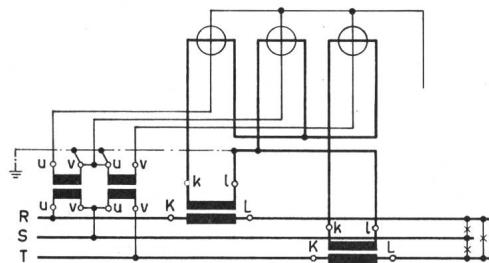


Fig. 1  
Schaltung 1 (Zweiwattmeterschaltung)

mit dreisystemigem Drehstromzähler an zwei Stromwandlern und zwei Spannungswandlern in V-Schaltung  
Die Buchstaben bezeichnen die Klemmen der Messwandler

Die Buchstaben bezeichnen die Klemmen der Messwandler

### *Schaltung 1 (Zweiwattmeterschaltung)*

Diese Schaltung für Wirkverbrauch ist in Fig. 1 dargestellt. Die Spannungsspulen des Zählers sind an zwei Spannungswandler in V-Schaltung angeschlossen. Der Spannungsspulen-Sternpunkt ist offen. Es sind nur zwei Stromwandler vorhanden. Der fehlende dritte Strom wird nach der Gleichung

$$I_S = -(I_R + I_T)$$

aus den beiden Aussenleiterströmen zusammengesetzt.

Diese Schaltung, die nach der Aronschaltung arbeitet, zeigt die elektrische Energie bei beliebigen Verzerrungen der Strom- und Spannungssysteme richtig an, wenn die geometrische Summe der drei Leiterströme gleich Null ist, also in reinen Dreileiternetzen und in erdschlusskompensierten Hochspannungsnetzen an nullstromfreier Stelle.

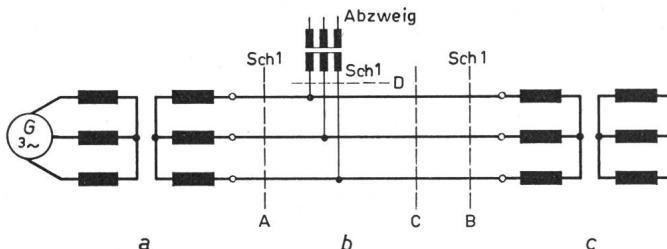


Fig. 2  
altung) im nichterdschlusskompensierten

**Hochspannungsnetz**  
*a* Einspeisetransformator; *b* Hochspannungsnetz; *c* Verbrauchertransformator  
 Meßstelle *A* am Leitungsanfang: Einspeiseenergie; Meßstelle *B* am Leitungsende: Verbraucherenergie; Meßstelle *C* im Leitungszuge: Übertragene Energie; Meßstelle *D* in einer Abzweigleitung: Verbraucherenergie.

Die Schaltung 1 arbeitet demnach wie folgt:

1. Die Schaltung misst im nicht-erdgeschlusskompensierten Hochspannungsnetz unmittelbar hinter dem Einspeisetransformator die Einspeiseenergie (Fig. 2, Meßstelle A).
  2. Die Schaltung misst die Verbraucherenergie an allen Abzweigen mit direktem Verbraucheranschluss und an jedem Leitungsende mit primär ungeerdetem Ausgangstransformator. Das gilt sowohl für das nicht-erdgeschlusskompensierte Hochspannungsnetz (Fig. 2, Meßstellen B und D) als auch für das erdschlusskompensierte Hochspannungsnetz (Fig. 3, Meßstellen C und D).

Am Anfang der Leitung und inmitten des Leitungszuges ist ein erdschlusskompensierte Hochspannungsnetz ein Vierleiternetz, weil die von den Phasen gegen Erde vorhandenen drei ungleichen Scheinwiderstände  $X_1, X_2, X_3$  einen Nullleiterstrom  $i_0$  zur Folge haben (Fig. 3). Dieser Nulleiterstrom ist am Leitungsanfang am grössten und nimmt bis zum Ende der Leitung annähernd linear bis auf Null ab. Am Ende der Leitung ist also ein reines Dreileiternetz vorhanden, in dem

die Summe der drei Ströme Null ist. Deshalb kann die Schaltung 1 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz direkt vor dem Verbrauchertransformator zur Messung der Verbraucherenergie verwendet werden.

3. Die Schaltung 1 misst in einem erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz mit mehreren Erdschlussspulen an dem nullstromfreien Zwischenpunkt die übertragene Energie (Beispiel: Fig. 4, Meßstelle D in einem Hochspannungsnetz mit je einer gleich grossen Erdschlussspule am Anfang und am Ende der Leitung).

An anderen Meßstellen darf die Schaltung nicht verwendet werden, da mit Nullstromeinflüssen zu rechnen ist.

### *Schaltung 2 (Dreiwattmeterschaltung mit freiem Sternpunkt)*

Die Schaltung 2 unterscheidet sich von der Schaltung 1 dadurch, dass hier statt zwei Stromwandler in Kunstschal-

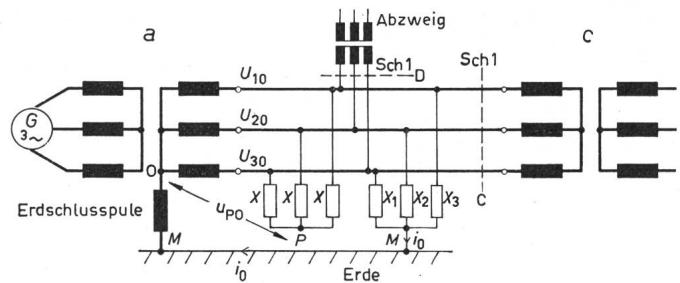


Fig. 3

**Schaltung 1 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz**  
 Misst an Meßstelle *C* die Verbraucherenegie, da am Leitungsende die Summe der Ströme gleich Null ist, und an Meßstelle *D* die Verbraucherenegie in einer Abzweigleitung.

chenergie in einer Abzweigleitung  
 $a$  Einspeisetransformator;  $c$  Verbrauchertransformator  
 $X_1, X_2, X_3$  Ableit-Scheinwiderstände der Hochspannungsleitung gegen  
 Erde;  $X$  Scheinwiderstand eines Einphasen-Spannungswandlers;  
 $U_{10}, U_{20}, U_{30}$  sekundäre Sternspannungen;  $u_{p0}$  Nullpunktspannung;  
 $M$  Erdpotential;  $i_0$  Nulleiterstrom

tung drei Stromwandler angeschlossen sind. Ferner können wahlweise anstelle von zwei Spannungswandlern in V-Schaltung auch drei Spannungswandler in Sternschaltung mit freiem Sternpunkt eingebaut werden.

Die Schaltung 2 wird gelegentlich im erdschlusskompen-sierten Hochspannungsnetz am Einspeisepunkt zur Messung der Einspeiseenergie eingesetzt. (Die Einspeiseenergie ist die gesamte ins Netz eingespeiste Arbeit und schliesst auch die Nulleiterenergie mit ein.)

Die Messung ist aber immer nur dann richtig, wenn entweder die ins Netz eingespeisten Sternspannungen  $U_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $U_{30}$  völlig symmetrisch sind oder die Summe der Phasenströme Null ist ( $i_0=0$ ). In Fig. 5 ist ein symmetrisches Spannungsdreieck angenommen. Die Speisespannungen  $U_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $U_{30}$  sind gleich gross und genau um  $120^\circ$  verschoben. Sie bilden den sekundären Sternpunkt 0 des Einspeisetrans-

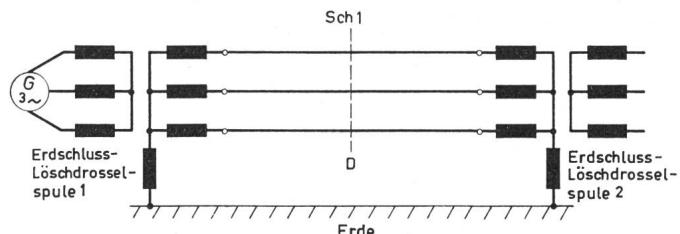


Fig. 4  
Schaltung 1 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz mit zwei

## **Erdschluss-Löschkondensatoren**

Misst am nullstromfreien Zwischenpunkt zwischen den Transformatoren die übertragene Energie (Meßstelle D).

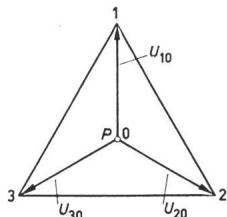


Fig. 5

### Symmetrisches Spannungsdreieck

Bei symmetrischen Speisespannungen  $U_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $U_{30}$  fällt der von den Spannungswandlern gebildete Sternpunkt als Schwerpunkt  $P$  des Spannungsdreiecks mit dem sekundären Sternpunkt  $0$  des Einspeisetransformators zusammen

formators. Ferner bilden die drei gleichen Scheinwiderstände  $X$  (Fig. 3), die die Primärwicklungen der drei in Stern geschalteten Spannungswandler für die Erregung der Spannungsspulen des Zählers darstellen, den Sternpunkt  $P$  der im Diagramm als Schwerpunkt im Spannungsdreieck erscheint. Bei symmetrischen Einspeisespannungen fällt der Sternpunkt 0 mit dem Spannungsspulen-Sternpunkt  $P$  zusammen (Fig. 5). Sowohl bei unsymmetrischen Einspeise- spannungen als auch bei ungleichen Spannungsabfällen in den Transformatorwicklungen fallen aber Sternpunkt 0 und Schwerpunkt  $P$  nicht mehr zusammen (Fig. 6). Es entsteht

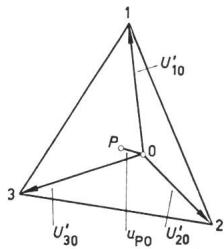


Fig. 6

## Fig. 6 Unsymmetrisches Spannungsdreieck

Bei unsymmetrischen Speisespannungen  $U_{10}'$ ,  $U_{20}'$ ,  $U_{30}'$  fallen Transformator-Sternpunkt 0 und Schwerpunkt  $P$  nicht zusammen. Die Spannung zwischen 0 und  $P$  ist die Nullpunktsspannung  $u_{P0}$

eine Nullpunktspannung  $u_{P0}$ , die, wenn ein Nullstrom  $i_0$  vorhanden ist, die Nullpunktleistung  $u_{P0}i_0$  ergibt. Diesen Betrag kann man aber mit Schaltung 2 nicht messen. Sie misst also bei unsymmetrischer Einspeisung und vorhandenem Nullstrom die Einspeiseleistung um diesen Betrag zu wenig. Der Fehler ist vom Grad der Unsymmetrie und der Grösse des Nullstromes abhängig. Schon geringfügige Spannungsverzerrungen können beträchtliche Fehler hervorrufen.

Da die Einspeisespannungen und die Spannungsabfälle in der Praxis nie ganz gleich sind und immer mit Nullstromeinflüssen gerechnet werden muss, ist die Anwendung der Schaltung 2 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz zur Messung der Einspeiseenergie ungeeignet. Auch die übertragene Energie kann mit dieser Schaltung nicht gemessen werden.

### *Schaltung 3 (Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss)*

Die Schaltung 3 kann auf zwei verschiedene Arten angewendet werden, die sich durch den Anschluss des primären Spannungswandler-Sternpunktes unterscheiden. In Fig. 7 ist die Schaltung zur Messung der übertragenen Energie angegeben.

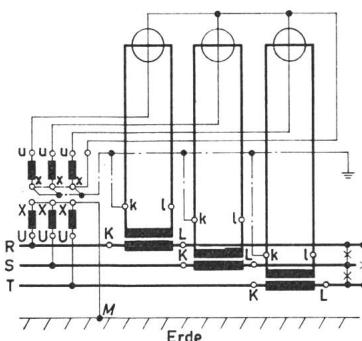


Fig. 7  
Schaltung 3 zur Messung der  
übertragenen Energie an belie-  
biger Stelle des Netzes

biger Stelle des Netzes Dreiwattmeterschaltung mit dreisystemigem Drehstromzähler an drei Einphasen-Spannungswandlern, primärer und sekundärer Sternpunkt geerdet, sekundärer Sternpunkt im Zähler angeschlossen.  $M$  Erdpotential Weit.  $P$  reicht nicht aus.

Fig. 3

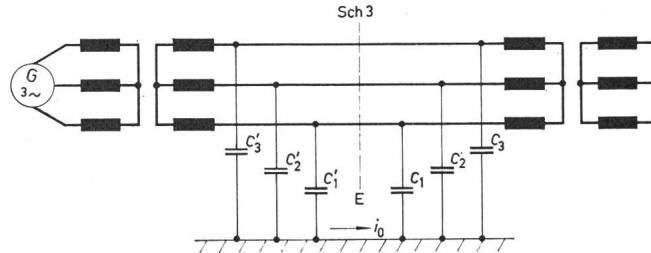


Fig. 8

### Schaltung 3 (Dreiwelltmeterschaltung mit Sternpunktanschluss) im nicht-kompensierten Hochspannungsnetz zur Messung der übertragenen Energie (Meßstellen E)

(Menstelle E)  $C_1, C_2, C_3$ , drei ungleiche Leiter, Erdkapazitäten am Leitungsende;  
 $C'_1, C'_2, C'_3$ , drei ungleiche Leiter, Erdkapazitäten am Leitungsanfang;  
 $I_0$ , Nulleiterstrom (Ausgleichsstrom durch die Erde)

Die Spannungsspulen des Zählers sind an die Sekundärwicklungen der drei Einphasenspannungswandler in Sternschaltung angeschlossen. Der sekundäre Sternpunkt der Spannungswandler ist mit dem Sternpunkt der Zählerspannungsspulen verbunden und geerdet. Der primäre Sternpunkt der Spannungswandler ist ebenfalls geerdet (Betriebserdung durch Anschluss an das Erdpotential  $M$ ). Die Stromspulen der Zähler sind an die Sekundärwicklungen der drei Stromwandler angeschlossen.

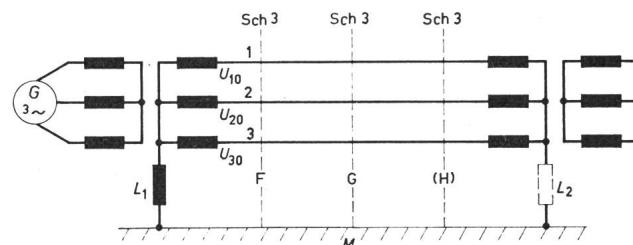


Fig. 9

### Schaltung 3 (Dreiwelltmeterschaltung mit Sternpunktanschluss) zur Messung der übertragenen Energie (Meßstellen F und G) und der Verbraucherenergie (Meßstelle H) bei Vorhandensein der zweiten Löschdrosselpule $L_2$

Messungen gemäss der Schaltung 3 mit geerdetem primären Spannungswandler-Sternpunkt sind sowohl im nicht-kompensierten, als auch im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz richtig. Man misst an jeder beliebigen Stelle des Netzes die physikalisch genau definierte Wirkenergie als übertragene Energie. Diese ist die Summe der Verbraucherenergie und den Verlusten von Nullpunktströmen, die durch

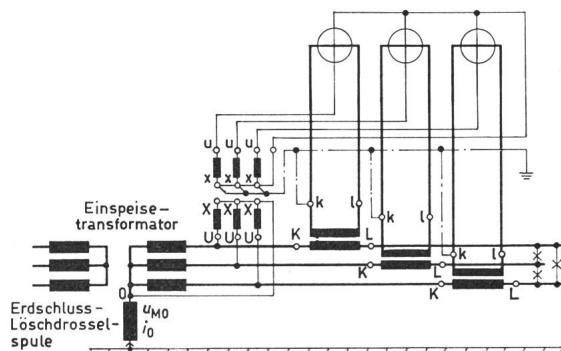


Fig. 10

Fig. 10  
Schaltung 3e zur Messung der Einspeisenergie im erdschlusskompensierten Netz

Drei Einphasen-Spannungswandler, doppelseitig isoliert. Primärer Spannungswandler-Sternpunkt an sekundären Sternpunkt 0 des Speisetransformators angeschlossen. Sekundärer Spannungswandler-Sternpunkt (schutzgeerdet) mit dem Zähler-Spannungsspulen-Sternpunkt verbunden.

Bezeichnungen siehe Fig. 3

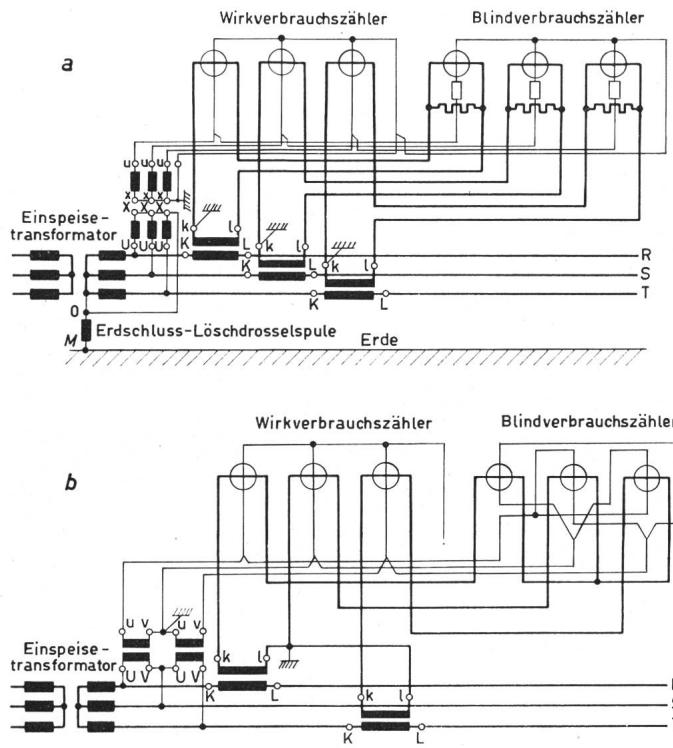


Fig. 11

**Schalschema zur Messung der Einspeise-Wirk- und Blind-Energie**

a im erdschlusskompensierte Hochspannungsnetz mit Schaltung 3 gemäss Fig. 10, am Anfang der Hochspannungsleitung direkt hinter dem Einspeisetransformator; b im nichtkompensierte Hochspannungsnetz mit Schaltung 1, am Anfang der Hochspannungsleitung direkt hinter dem Einspeisetransformator

ungleiche Scheinwiderstände zwischen den drei Phasenleitern und Erde entstehen und durch die Erde ihren Rückschluss finden. Im erdschlusskompensierte Netz (Fig. 3) fliesst der Nullstrom von den Leitern durch die ungleiche Scheinwiderstände  $X_1, X_2, X_3$  (aus Erdkapazitäten und Ableitungen) über Erde und Löschedrossel zum Sternpunkt des Speisetransformators und von dort in Teilströmen durch das Netz zurück. Im nichtkompensierte Hochspannungsnetz entstehen durch ungleiche Leiter-Erdkapazitäten an räumlich voneinander entfernten Stellen der gleichen Leitung ( $C_1, C_2, C_3, C'_1, C'_2, C'_3$  in Fig. 8) Ausgleichströme, die durch die Erde fliesen und trotz der Verdrillung nicht zu vermeiden sind.

Die Schaltung 3 ist die einzige Schaltung, die im Hochspannungsnetz zur Messung der übertragenen Energie an allen Meßstellen angewendet werden darf. Danach muss diese Schaltung an folgenden Meßstellen eingesetzt werden:

a) Im nicht-erdschlusskompensierte Hochspannungs-Dreileiternetz inmitten des Leitungszuges (Fig. 8, Meßstelle E).

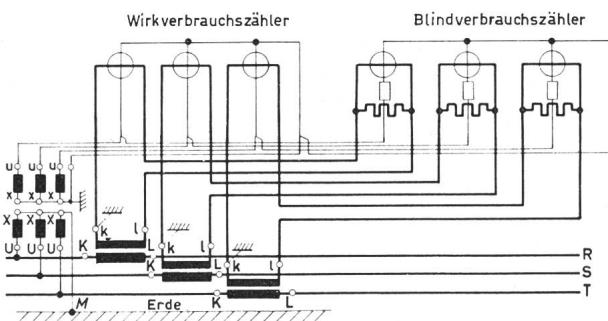


Fig. 12

**Schalschema zur Messung der übertragenen Wirk- und Blindverbrauchs-Energie an beliebiger Stelle des erdschlusskompensierte oder nichtkompensierte Hochspannungsnetzes**

Das Dreileiternetz ohne Erdschlusskompensation verwandelt sich durch das Auftreten der erwähnten Ausgleichströme in den Bereichen zwischen Stellen mit ungleichen Leiter-Erd-Kapazitäten in ein Vierleiternetz. Dort ist also die Summe der drei Leiterströme nicht mehr gleich Null. In reiner Zweiwattmeterschaltung würde man an dieser Stelle falsch messen, wogegen ein Vierleiterzähler mit Sternpunktanschluss richtig misst.

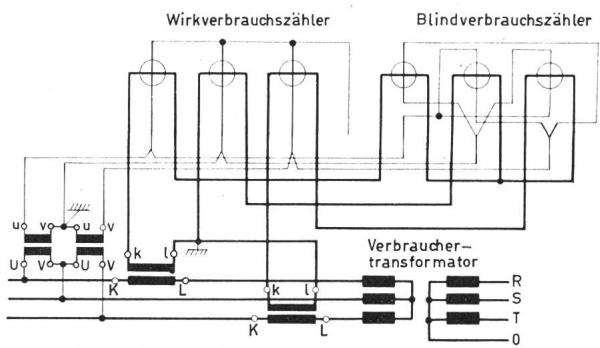
b) Im erdschlusskompensierte Netz an den Meßstellen F und G (Fig. 9) zur Messung der übertragenen Energie, sowie — bei Vorhandensein der zweiten Löschedrossel-Spule  $L_2$  — an der Meßstelle H (Fig. 9) zur Messung der Verbraucherenergie.

An der Meßstelle H misst man mit der Schaltung 3 auch dann richtig, wenn  $L_2$  nicht vorhanden ist. In diesem Fall kann aber auch die Schaltung 1 verwendet werden (wie in Meßstelle B).

In Fig. 10 ist die Schaltung 3e für die Messung der Einspeiseenergie im erdschlusskompensierte Netz angegeben. In dieser Schaltung ist der primäre Spannungswandler-Sternpunkt nicht wie bei jenem in Fig. 7 an Erde (Potential M), sondern an den Sternpunkt des Einspeisetransformators (Potential 0) gelegt. Die Schaltung 3e misst als einzige Schaltung die Einspeiseenergie im erdschlusskompensierte Hochspannungsnetz richtig. Die Einspeiseenergie ist die Summe aus übertragerener Energie und den Verlusten in der Erdschluss-Löschedrossel-Spule  $u_{M0} i_0$ .

Da im Erdschluss die Löschedrossel die volle Phasenspannung annehmen kann, müssen die drei Einphasenspannungswandler für diese Schaltung doppelpolig isoliert sein (wie V-Wandler, jedoch für Phasenspannung ausgelegt).

Die Einspeiseenergie, die mit Wirk- und Blindverbrauchs-zählern am Anfang des Hochspannungsnetzes hinter einem Einspeisetransformator mit Erdschlusstransformator mit Erdschlusslöschedrossel-Spulen gemessen wird, unterscheidet sich von



**Schalschema zur Messung der Verbraucher-Wirk- und Blind-Energie am Ende der erdschlusskompensierte oder nichtkompensierte Hochspannungsleitung direkt vor dem Verbraucher-Transformator**

der übertragenen Energie, die an der gleichen Einbaustelle mit einer Schaltung gemäss Fig. 7 gemessen wird, lediglich durch die Wirk- bzw. Blindenergie in der Löschedrossel-Spule. Im erdschlussfreien Betrieb durchfliesst nur der kleine, durch die restlichen Unsymmetrien der Erdkapazitäten verursachte Nullstrom die Erdschlussspule, und die Wirkverluste der Spule sind ausser im Kleinlastbereich vernachlässigbar klein. Deshalb unterscheiden sich die Anzeigen der Wirkverbrauchszähler in den Schaltungen gemäss Fig. 10 und Fig. 7 kaum. Bei den Blindverbrauchsmessungen dagegen, wo sich die hohe Reaktanz der Löschedrossel-Spule auswirkt, muss mit erheblichen Unterschieden zwischen den beiden Schaltungen gerechnet werden. Im Erdschluss sind auch bei Wirkverbrauchsmessungen grosse Differenzen vorhanden.

Beide Schaltungen (Fig. 10 bzw. Fig. 7) bringen eindeutige, genau definierte Messergebnisse. Allerdings ist die Schaltung gemäss Fig. 10 wegen der Verwendung doppelseitig isolierter Spannungswandler teurer als diejenige gemäss Fig. 7, der mit preiswerteren Erdungsspannungswandlern ausgerüstet ist. Da der Unterschied der Anzeige sich, wie erwähnt, auf die jeweiligen Löschedrossel-Spulenverluste beschränkt, die Wirkverluste im erdschlussfreien Betrieb praktisch verschwinden.

tisch richtig gemessen werden und die stärkeren Drosselspulenverluste im Erdschluss sich auf kurze, vorübergehende Störungszeiten beschränken, so kann man mitunter nach Abwägung der Vor- und Nachteile auf die Messung der Einspeisearbeit mit der Schaltung gemäss Fig. 10 verzichten und sich mit der Messung der übertragenen Arbeit mit derjenigen gemäss Fig. 7 zufriedengeben. Das ist immer noch besser als Schaltung 2 zu verwenden, deren Messergebnis in undefinierbarer Weise durch unvermeidliche, auch durchaus innerhalb der zulässigen Grenzen des VDE liegende Unsymmetrien der Spannungen und Reaktanzen des Einspeisetransformators sowie durch Nullstromeinflüsse erheblich verfälscht werden kann.

Die Auswahl der Blindverbrauchszähler richtet sich nach der Schaltung:

Zur Schaltung 1 gehört ein dreisystemiger Blindverbrauchszähler mit  $90^\circ$  Abgleich; zur Schaltung 3 gehört ein Blindverbrauchszähler mit  $180^\circ$  Abgleich (auch  $0^\circ$ -Abgleich genannt).

In den Fig. 11, 12 und 13 sind die Ergebnisse der Untersuchungen in Schaltschemata übersichtlich zusammengestellt. Daraus kann für jede Meßstelle, sowohl im erdschlussskompensierten als auch im nichtkompensierten Hochspan-

nungsnetz, die richtige Schaltung für die Messung von Wirk- und Blindenergie bestimmt werden.

Fig. 11 zeigt die Messung der Einspeise-Wirk- und Blindenergie. Die Messgeräte befinden sich am Anfang der Hochspannungsleitung direkt hinter dem Einspeisetransformator. Fig. 12 stellt die Messung der übertragenen Wirk- und Blindenergie an beliebiger Stelle des Netzes dar.

Fig. 13 zeigt die Messung der Verbraucher-Wirk- und Blindenergie. Die Messgeräte befinden sich dabei am Ende der Leitung, direkt vor dem Verbrauchertransformator. Die Schaltung für Messungen der Verbraucherenergie an beliebig gelegenen Abzweigungen ist in den Fig. 2 und 3 (Messstellen D) eingezeichnet.

Mit diesen Darstellungen ist die immer wieder auftauchende Frage nach der richtigen Verwendung von Messschaltungen in Hochspannungsnetzen einer einwandfreien Klärung zugeführt worden.

#### Literatur

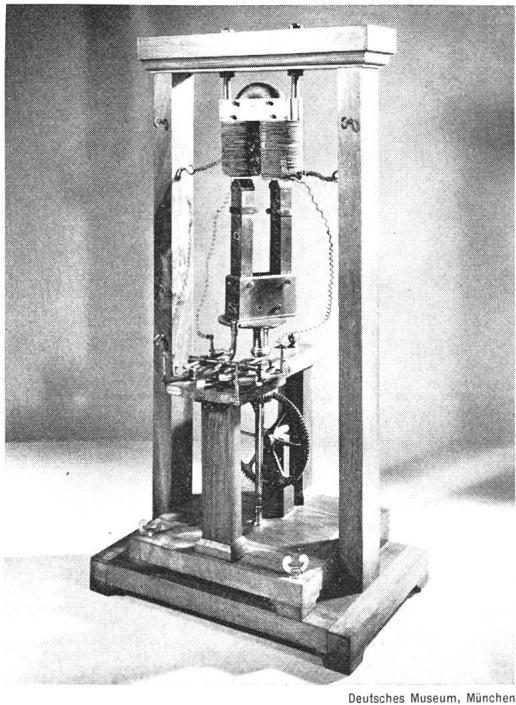
- [1] S. Franck: Drehstrom-Arbeitszählung in Hochspannungsanlagen. ETZ-A 75(1954)17, S. 551...556.
- [2] S. Franck: Zählung der Drehstromarbeit in Hochspannungsnetzen. ATM -(1955)229, V 3416-1, S. 27...30.

#### Adressen der Autoren:

Dr.-Ing. K. Gocht, Goldenstedt, und Dr.-Ing. K. Weber, AEG-Fabriken, Kuhbrückenstrasse 2-4, Hameln (Deutschland).

## EIN BLICK ZURÜCK

### Magnetelektrische Maschine von Pixii 1831



Faraday<sup>1)</sup> entdeckte im Jahre 1831 die Induktion. Diese Entdeckung ermöglichte es, mit Hilfe der Veränderung eines Magnetfeldes einen elektrischen Strom zu erzeugen. Einer seiner Versuche bestand darin, dass er einen Stahlmagneten einer an ein Galvanometer angeschlossenen Spule näherte. Bei Annäherung und Entfernung erhielt er einen kurzen Stromstoss in wechselnder Richtung. Man konnte also mit Hilfe der Induktion durch mechanische Arbeit einen elektrischen Strom erzeugen.

Es lag nahe, diese Arbeit mit Hilfe einer Maschine verrichten zu lassen. Noch im gleichen Jahr baute der Mechaniker von Ampère<sup>2)</sup> für Hippolyte Pixii in Paris den ersten rotierenden Generator. An einem Gestell befestigte er ein Spulenpaar und brachte darunter auf einer senkrechten Welle einen Hufeisenmagneten an. Dieser Magnet wurde über Winkelzahnräder von Hand in Rotation versetzt (s. Bild).

Die erste Maschine lieferte Wechselstrom, mit dem man damals noch nicht viel anzufangen wusste. Letzten Endes wollte ja Pixii, ebenso wie die, welche nach ihm ähnliche Maschinen bauten, die damals noch sehr unkonstanten galvanischen Elemente ersetzen; die Maschine musste also Gleichstrom liefern. Schon Pixii fand bei seiner nächsten Maschine einen Weg, den Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln. Er setzte auf die Magnetwelle eine Scheibe, welche eine Ampèresche Wippe im Augenblick der Stromumkehr umschaltete, so dass den Klemmen der Wippe ein pulsierender Gleichstrom entnommen werden konnte. Offensichtlich

hat er eine grössere Anzahl dieser Maschinen gebaut. Eine von ihnen kaufte 1832 die Bayrische Akademie der Wissenschaften. Heute hat diese einen Ehrenplatz im Deutschen Museum.

Gebraucht wurden diese magnetelektrischen Maschinen oder Elektromotoren, wie sie damals hießen, weil sie die Elektrizität in Bewegung brachten, in den Physikalischen Kabinettten, und nicht zuletzt in der Medizin. Die später in der Medizin verwendeten Maschinen hatten mehrere Spulen, welche in Serie oder parallel geschaltet werden konnten. Ausserdem konnte man ihnen Wechselstrom und Gleichstrom entnehmen. Von der Heilwirkung des elektrischen Stromes wurden damals geradezu Wunder berichtet bei Rheuma, Lähmungen, Sprachstörungen usw. Immerhin verdankt die Entwicklung der Starkstromtechnik in ihren allerersten Anfängen der Medizin manchen Impuls.

A. Wissner

<sup>1)</sup> s. Bull. SEV 57(1966)20, S. 930.

<sup>2)</sup> s. Bull. SEV 52(1961)13, S. 489.