

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. 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: 18.03.2025

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 Drei- bzw. 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 appliqué 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-erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz direkt hinter dem Einspeisetransformator und direkt vor dem Verbrauchertransformator erfüllt. An allen anderen Meßstellen verwandelt sich das Dreileiternetz wegen der unterschiedlichen Leitererdkapazitäten 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 Löschdrosselspule und andererseits 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-erdschlusskompensierten 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] ¹⁾.

- 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.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

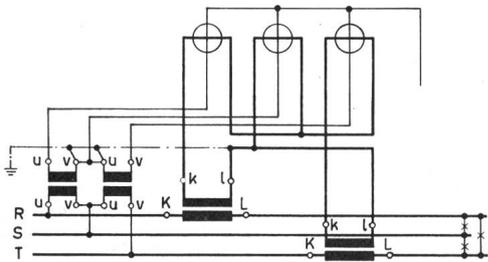


Fig. 1

Schaltung 1 (Zweiwattmeterschaltung)

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

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.

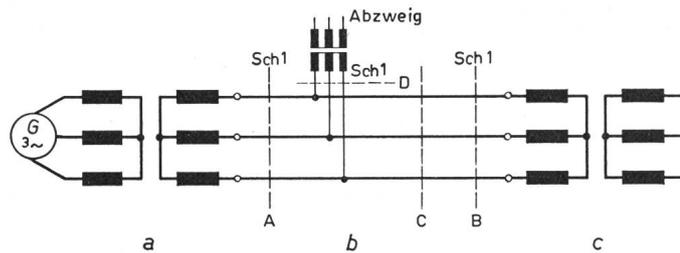


Fig. 2

Schaltung 1 (Zweiwattmeterschaltung) 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 Abzwegleitung; Verbraucherenergie

Die Schaltung 1 arbeitet demnach wie folgt:

1. Die Schaltung misst im nicht-erdschlusskompensierten 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-erdschlusskompensierte 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 erdschlusskompensiertes 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-

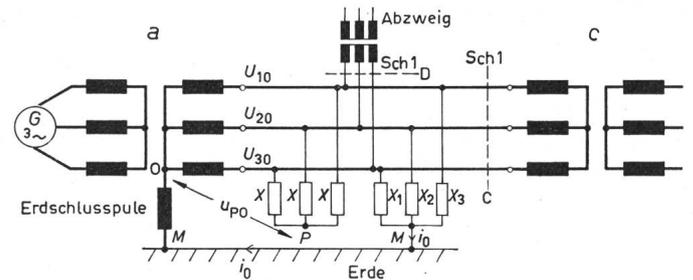


Fig. 3

Schaltung 1 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz

Misst an Meßstelle C die Verbraucherenergie, da am Leitungsende die Summe der Ströme gleich Null ist, und an Meßstelle D die Verbraucherenergie in einer Abzwegleitung

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 erdschlusskompensierten 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° verschoben. Sie bilden den sekundären Sternpunkt 0 des Einspeisetrans-

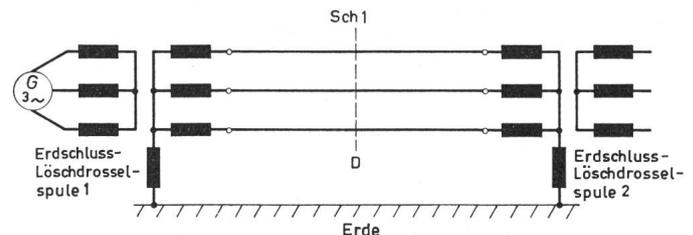


Fig. 4

Schaltung 1 im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz mit zwei Erdschluss-Löschdrosselspulen

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

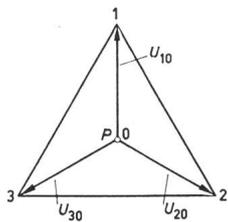


Fig. 5
Symmetrisches Spannungsdreieck
Bei symmetrischen Speisespannungen U_{10} , U_{20} , U_{30} fällt der von den Spannungswandlern gebildete Sternpunkt als Schwerpunkt P des Spannungsdreiecks mit dem sekundären Sternpunkt 0 des Einspeisetransformators zusammen

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 Einspeisespannungen als auch bei ungleichen Spannungsabfällen in den Transformatorwicklungen fallen aber Sternpunkt 0 und Schwerpunkt P nicht mehr zusammen (Fig. 6). Es entsteht

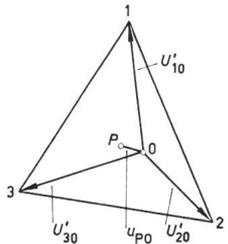


Fig. 6
Unsymmetrisches Spannungsdreieck
Bei unsymmetrischen Speisespannungen U'_{10} , U'_{20} , U'_{30} fallen Transformator-Sternpunkt 0 und Schwerpunkt P nicht zusammen. Die Spannung zwischen 0 und P ist die Nullpunktspannung u_{P0}

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 Nullstrom-einflüssen 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.

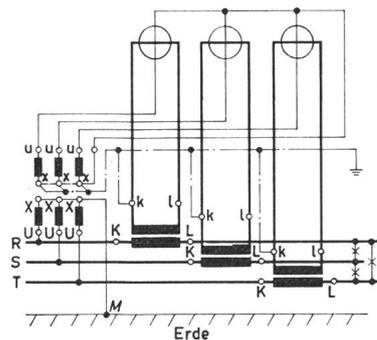


Fig. 7
Schaltung 3 zur Messung der übertragenen Energie an beliebiger Stelle des Netzes
Dreiwattmeterschaltung mit dreisystemigem Drehstromzähler an drei Einphasen-Spannungswandlern, primärer und sekundärer Sternpunkt geerdet, sekundärer Sternpunkt im Zähler angeschlossen. M Erdpotential. Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 3

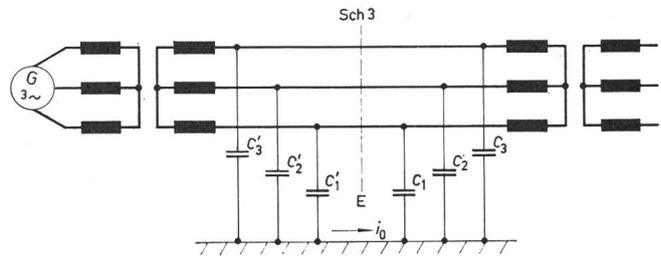


Fig. 8
Schaltung 3 (Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss) im nicht-kompensierten Hochspannungsnetz zur Messung der übertragenen Energie (Messstelle E)

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.

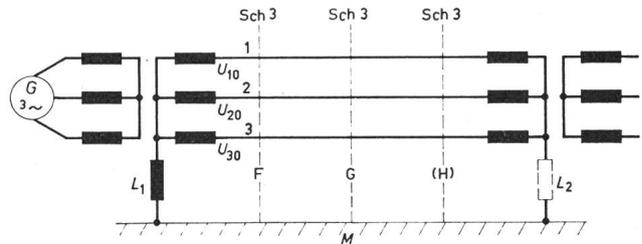


Fig. 9
Schaltung 3 (Dreiwattmeterschaltung mit Sternpunktanschluss) zur Messung der übertragenen Energie (Messstellen F und G) und der Verbraucherenergie (Messstelle H) bei Vorhandensein der zweiten Löschdrosselspule L_2

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

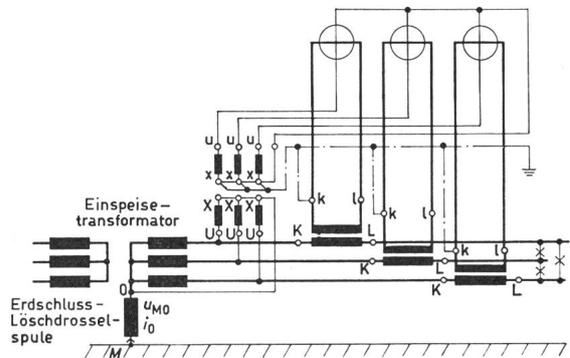


Fig. 10
Schaltung 3e zur Messung der Einspeiseenergie im erdschlusskompensierten Netz

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

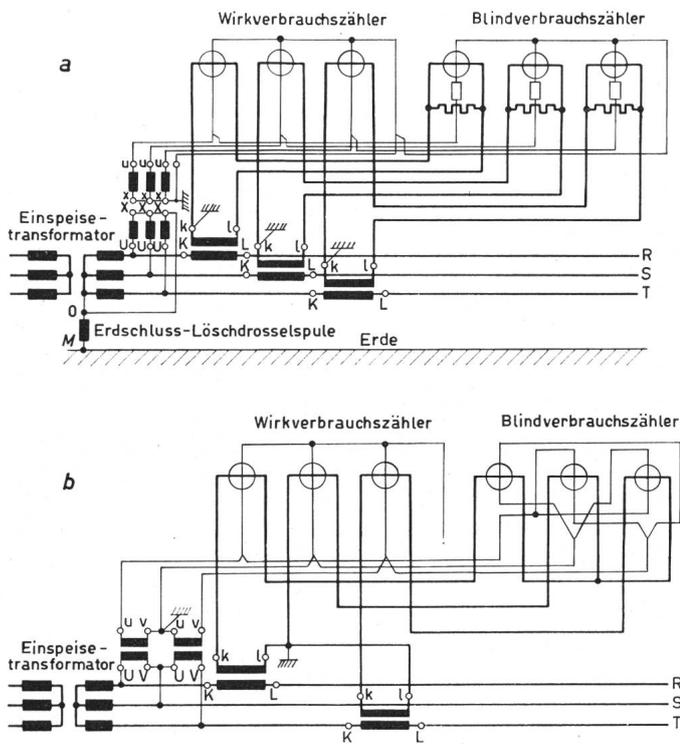


Fig. 11

Schalterschema zur Messung der Einspeise-Wirk- und Blind-Energie

a im erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz mit Schaltung 3 gemäss Fig. 10, am Anfang der Hochspannungsleitung direkt hinter dem Einspeisetransformator; b im nichtkompensierten 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 erdschlusskompensierten Netz (Fig. 3) fliesst der Nullstrom von den Leitern durch die ungleichen Scheinwiderstände X_1, X_2, X_3 (aus Erdkapazitäten und Ableitungen) über Erde und Löschkspule zum Sternpunkt des Speisetransformators und von dort in Teilströmen durch das Netz zurück. Im nichtkompensierten 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 fließen 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-erdschlusskompensierten Hochspannungs-Dreileiternetz inmitten des Leitungszuges (Fig. 8, Meßstelle E).

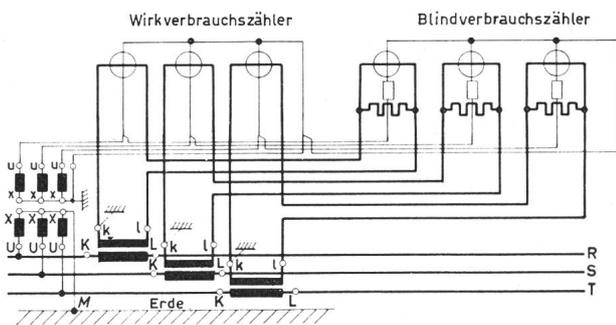


Fig. 12

Schalterschema zur Messung der übertragenen Wirk- und Blindverbrauchs-Energie an beliebiger Stelle des erdschlusskompensierten oder nichtkompensierten 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 erdschlusskompensierten Netz an den Meßstellen F und G (Fig. 9) zur Messung der übertragenen Energie, sowie — bei Vorhandensein der zweiten Löschkrosselspule 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 erdschlusskompensierten 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 erdschlusskompensierten Hochspannungsnetz richtig. Die Einspeiseenergie ist die Summe aus übertragener Energie und den Verlusten in der Erdschluss-Löschkrosselspule $u_{M0} i_0$.

Da im Erdschluss die Löschkspule 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 Erdschluss-Transformator mit Erdschlusslöschkrosseln gemessen wird, unterscheidet sich von

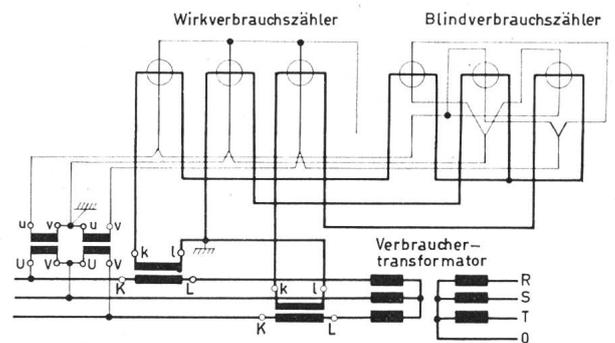


Fig. 13

Schalterschema zur Messung der Verbraucher-Wirk- und Blind-Energie am Ende der erdschlusskompensierten oder nichtkompensierten 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 Löschkrosselspule. Im erdschlussfreien Betrieb durchfliesst nur der kleine, durch die restlichen Unsymmetrien der Erdkapazitäten verursachte Nullstrom die Erdschlusspule, und die Wirkverluste der Spule sind ausser im Kleinlastbereich vernachlässigbar klein. Deshalb unterscheiden sich die Anzeigen der Wirkverbrauchs-zähler in den Schaltungen gemäss Fig. 10 und Fig. 7 kaum. Bei den Blindverbrauchs-messungen dagegen, wo sich die hohe Reaktanz der Löschkspule auswirkt, muss mit erheblichen Unterschieden zwischen den beiden Schaltungen gerechnet werden. Im Erdschluss sind auch bei Wirkverbrauchs-messungen 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 doppel-seitig isolierter Spannungswandler teurer als diejenige gemäss Fig. 7, der mit preiswerteren Erdungspannungswandlern ausgerüstet ist. Da der Unterschied der Anzeige sich, wie erwähnt, auf die jeweiligen Löschkrosselspulenverluste beschränkt, die Wirkverluste im erdschlussfreien Betrieb prak-

tisch richtig gemessen werden und die stärkeren Drossel-
spulenverluste im Erdschluss sich auf kurze, vorübergehende
Störungszeiten beschränken, so kann man mitunter nach Ab-
wägung der Vor- und Nachteile auf die Messung der Ein-
speisearbeit 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 un-
definierbarer Weise durch unvermeidliche, auch durchaus
innerhalb der zulässigen Grenzen des VDE liegende Un-
symmetrien der Spannungen und Reaktanzen des Einspeise-
transformators sowie durch Nullstromeinflüsse erheblich ver-
fälscht werden kann.

Die Auswahl der Blindverbrauchsähler richtet sich nach
der Schaltung:

Zur Schaltung 1 gehört ein dreisystemiger Blindver-
brauchsähler mit 90° Abgleich; zur Schaltung 3 gehört ein
Blindverbrauchsähler mit 180° Abgleich (auch 0°-Abgleich
genannt).

In den Fig. 11, 12 und 13 sind die Ergebnisse der Unter-
suchungen in Schaltschemata übersichtlich zusammenge-
stellt. Daraus kann für jede Meßstelle, sowohl im erdschluss-
kompensierten 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 Blind-
energie. Die Messgeräte befinden sich am Anfang der
Hochspannungsleitung direkt hinter dem Einspeisetransfor-
mator. 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 be-
liebigen gelegenen Abzweigungen ist in den Fig. 2 und 3 (Mess-
stellen D) eingezeichnet.

Mit diesen Darstellungen ist die immer wieder auftau-
chende Frage nach der richtigen Verwendung von Mess-
schaltungen in Hochspannungsnetzen einer einwandfreien
Klärung zugeführt worden.

Literatur

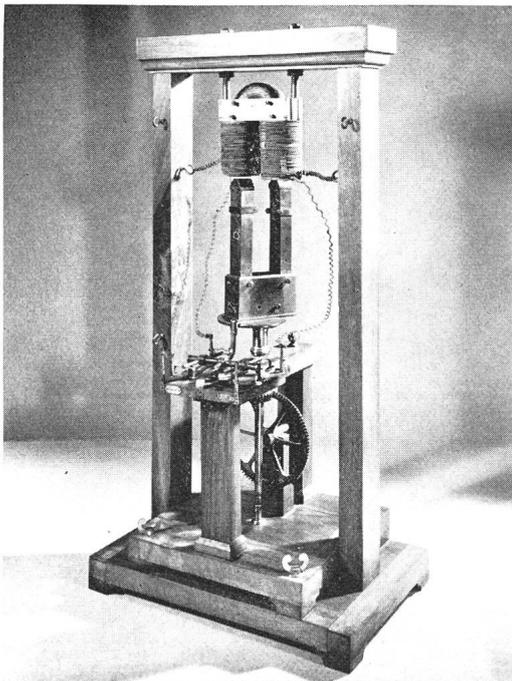
- [1] S. Franck: Drehstrom-Arbeitszählung in Hochspannungsanlagen.
ETZ-A 75(1954)17, S. 551...556.
- [2] S. Franck: Zählung der Drehstromarbeit in Hochspannungsnetzen.
ATM -(1955)229, V 3416-1, S. 27...30.

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



Deutsches Museum, München

Faraday¹⁾ 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 Ampère²⁾ für
Hippolyte Pixii in Paris den ersten rotierenden Generator. An einem
Gestell befestigte er ein Spulenpaar und brachte darunter auf einer senk-
rechten 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 Augen-
blick 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 Wissen-
schaften. 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 Kabinetten, und nicht zuletzt in der Medizin. Die später in der
Medizin verwendeten Maschinen hatten mehrere Spulen, welche in Serie oder parallel geschaltet werden konnten. Ausser-
dem konnte man ihnen Wechselstrom und Gleichstrom entnehmen. Von der Heilwirkung des elektrischen Stromes wur-
den damals geradezu Wunder berichtet bei Rheuma, Lähmungen, Sprachstörungen usw. Immerhin verdankt die Entwick-
lung der Starkstromtechnik in ihren allerersten Anfängen der Medizin manchen Impuls.

A. Wissner

¹⁾ s. Bull. SEV 57(1966)20, S. 930.

²⁾ s. Bull. SEV 52(1961)13, S. 489.