

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 12

Artikel: Transistorisierte Messwertumformer in den Elektrizitätsbetrieben

Autor: Gätzi, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916948>

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: 14.01.2026

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

Prüfung. Hierbei werden die Schmelzeinsätze einem Belastungs-Zyklus unterworfen, der sich aus einer einstündigen Belastungszeit mit einem je nach Schmelzeinsatz-Typ bestimmten Überstrom, z. B. $1,2 \times$ Nennstrom und einer anschliessenden $\frac{1}{4}$ stündigen Ruhezeit zusammensetzt. Es werden 100 Zyklen durchgeführt, wobei nachfolgend der vorgesehene Stundenstrom, z. B. $1,5 \times$ Nennstrom noch ausgehalten werden muss. Der Spannungsabfall des Schmelzeinsatzes darf nach diesem Dauerversuch um max. 10 % höher sein als im Neuzustand.

3. Normung und Kennzeichnung

In verschiedenen Ländern bestehen Landesnormen, welche die Eigenschaften von Apparateschutz-Sicherungen festlegen. Hierdurch ergibt sich eine Vielfalt von Typen, welche die bekannten Nachteile bei Ersatz usw. verursachen. Es ist daher als besonders erfreuliches Zeichen zu werten, dass es der CEI in neuester Zeit gelungen ist, für Apparateschutz-Schmelzeinsätze internationale Empfehlungen aufzustellen, welche in CEI-Publikation Nr. 127 dargelegt sind. Diese Empfehlungen setzen sich aus einem allgemeinen Teil, in welchem Definitionen, allgemeine Anforderungen und die Prüfbedingungen enthalten sind, sowie aus einzelnen Datenblättern zusammen, welche für jeden Schmelzeinsatz-Typ die speziellen Werte festlegen. In der

Schweiz werden ebenfalls Regeln für Apparateschutz-Schmelzeinsätze ausgearbeitet, die sich voraussichtlich in allen wesentlichen materiellen Punkten mit den Empfehlungen des CEI decken werden.

Als Kennzeichnung für Schmelzeinsätze mit kleinem Schaltvermögen dient der sichtbare Schmelzleiter. Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen sind nicht transparent, der Schmelzleiter ist nicht sichtbar. Die Kappen des Schmelzeinsatzes werden nach den oben erwähnten Normen, sowie nach der heutigen, weitverbreiteten Praxis beschriftet mit der Firmenmarke des Herstellers, der Nennspannung in V, sowie der Nennstromstärke in A oder mA. Der Trägheitsgrad bei superflinken Schmelzeinsätzen wird in Zukunft auf der Kappe mit FF, der flinken mit F, der trägen mit T und der superträgen Schmelzeinsätze mit TT bezeichnet.

Literatur

- [1] Rüdenberg, R.: Elektrische Schaltvorgänge in geschlossenen Stromkreisen von Starkstromanlagen. 4. Aufl., Berlin: Springer 1953.
- [2] General Electric: Controlled Rectifier Manual. 1960.
- [3] Gutzwiller, F. W.: The Current-Limiting Fuse as Fault Protection for Semiconductor Rectifiers. Trans. AIEE -I, Commun. & Electronics, 77(1958)39, S. 751...754; Diskussion: S. 754...755.
- [4] Gasser, F. W.: Thermoelektrische Kühlung — eine neue Halbleiteranwendung. STZ 58(1961)36, S. 733...738.

Adresse des Autors:

H. Bolleter, H. Schurter AG, Luzern.

Transistorisierte Messwertumformer in den Elektrizitätsbetrieben

Von G. Gätzi, Zug

621.3.087.9 : 621.382.3.004 : 621

Es wird eine sich bei Schalt- und Transformatortationen, Unterwerken und Lastverteilern aufdrängende Anwendungsmöglichkeit von Messwertumformern beschrieben und der prinzipielle Aufbau solcher Geräte erläutert.

1. Allgemeines

Als Messwertumformer bezeichnet man in der Elektrotechnik Apparate, die elektrische Messwerte, wie z. B. Wirk- oder Blindleistungen, Spannungen oder Ströme in proportionale Gleichströme umformen. Das konventionelle Anwendungsgebiet — die eigentliche Fernmessung — wurde in jüngster Zeit stark erweitert durch die Verwendung dieser Apparate in Schalt- und Transformatortationen, Unterwerken, Lastverteilern, Kommandoräumen, denn die Nennspannung der Energie-Transportanlagen ist allmählich gestiegen. Parallel mit der Erhöhung der Nennspannung müssen naturgemäß die Abstände von Leiter zu Leiter vergrössert werden, so dass man für Schaltstationen und Unterwerke, bei denen mehrere Leitungen zusammen laufen, bereits sehr ausgedehnte Areale beanspruchen muss. Dies bedingt lange Mess-, Signal- und Steuerleitungen von der Kommandostelle zu den einzelnen Wählern, Trennern und Schaltern. Längere Messleitungen rufen aber nach grösseren Querschnitten, damit man die Bürden und Spannungsabfälle in den zulässigen Grenzen halten kann. Bei den Stromwandlerleitungen kann man die durch sie verursachte Bürde reduzieren, indem man mit der Sekundärstrom-

stärke auf beispielsweise 1 A heruntergeht. Diese Massnahme schafft aber neue Probleme, denn sowohl die Sekundärwicklungen der Stromwandler wie auch die Leitungen selbst müssen für die bei Unterbruch im Sekundärkreis auftretende Leerlaufspannung isoliert sein. Bei den Spannungswandlerleitungen liegen die Verhältnisse etwas anders. Hier darf aus messtechnischen Gründen der Spannungsabfall höchstens 1 % betragen. Diese Forderung bedingt bei den heute üblichen Sekundärspannungen von 100...200 V und Bürden bis zu 200 VA bereits einen Leiterquerschnitt von 20...80 mm² pro 100 m Entfernung zwischen Wandler und Messstation. Distanzen von 500...700 m oder mehr sind aber heute keine Seltenheit. Entsprechend den Entfernungen müssen auch grössere Querschnitte für die Messleitungen verlegt werden, sofern man nicht, wie dies bereits bei einigen Anlagen der Fall ist, auf die nachstehend näher beschriebene, indirekte Messung übergeht.

Jeweils im Hochspannungsfeld wird zwischen zwei Hochspannungsleitungen bzw. Wandlersätzen ein kleines Gebäude unter- oder oberirdisch errichtet (Relaisstation), das dann die Zähler, Messwertumformer, Fernmesswandler, Zwischenrelais und Schützen aufnimmt (Fig. 1 und 3).

In diese Relaisstationen führen nun sämtliche Wandlertypen, ebenfalls die Steuer- und Rückmeldeleitungen für die Schalter und Trenner. Die Wirk- und Blindenergiezähler sind mit Sendekontakten ausgerüstet, die für die Zählwerte in Form von Schwachstromimpulsen über ein mehradriges Signalkabel in die Kommandostelle auf Fernzählwerke (Fernzähltableau) geben. Die Momentanwerte der Leistungen, Ströme und Spannungen werden mittels der Messwertumformer bzw. Fernmesswandler in proportionale Gleichströme umgeformt, die nun ebenfalls über

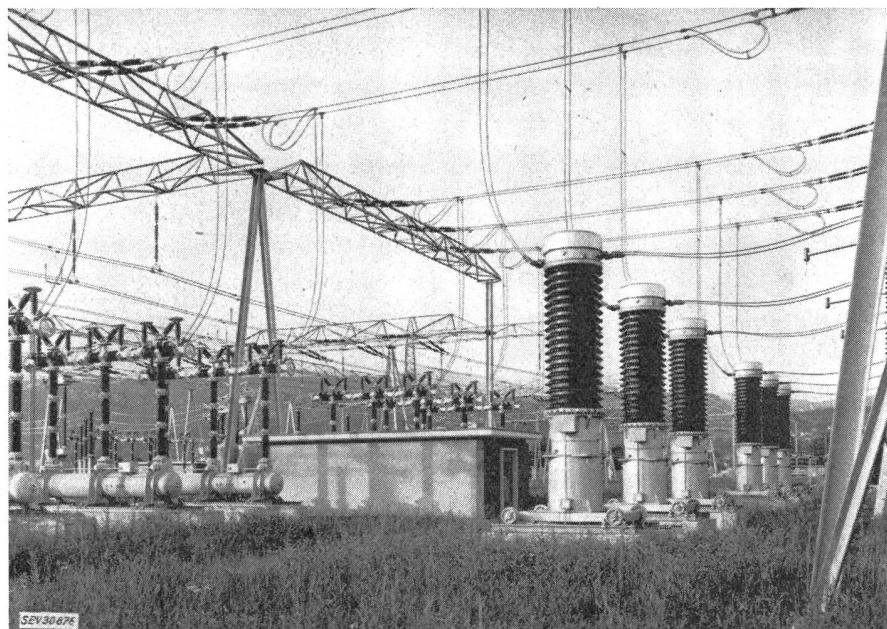


Fig. 1
220-kV-Schaltstation Grynau der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG

Signalleitungen in die Kommandostelle auf Drehspul-Anzeige-Instrumente geleitet werden. Die Steuer- und Rückmeldeesignale für Schalter, Trenner usw. werden in der Relaisstation auf Schwachstrom umgeformt, so dass auch hier zwischen der Relaisstation und der Kommandostelle Signaladern mit kleinen Querschnitten genügen.

Fig. 2 zeigt eine Gegenüberstellung der Kosten für eine Messgruppe samt Kabel bei direkter und indirekter Messung. Je nach Art der Messgruppen betragen die Kabelkosten bereits bei Distanzen in der Größenordnung von 100...300 m ebensoviel wie der Mehraufwand an Apparaten für eine indirekte Messung. Bei grösseren Distanzen steigen die Kabelkosten, da sie quadratisch zunehmen, rapid an.

Ist im Verbundbetrieb die Kommandostelle als Lastverteiler ausgebildet, so laufen meistens noch verschiedene werkfremde Fernmesswerte ein, die wiederum in Form von Gleichströmen anstehen und dann mit anderen Messwerten kombiniert, angezeigt

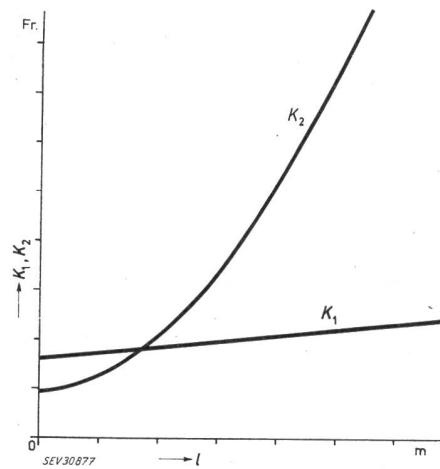


Fig. 2

Gegenüberstellung der Kosten für eine Messgruppe samt Kabel bei direkter und indirekter Messung in Funktion der Distanz zwischen Wandler und Messgruppe

und registriert werden müssen. Hier leistet der Messwertumformer hervorragende Dienste, sei es, um Summen oder Differenzen zu bilden — jeweils unter Berücksichtigung der richtigen Gewichte der einzelnen Glieder — sei es, um Teilströme für den Betrieb von

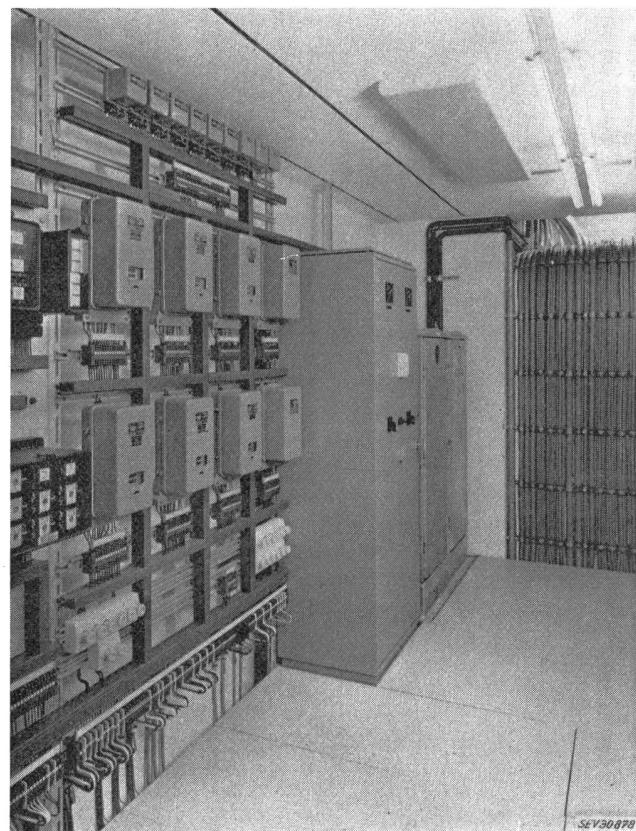


Fig. 3
Unterirdische Relaisstation im Unterwerk Beznau der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG
Entlang jeder Längswand sind die Mess-, Steuer- und Überwachungsapparate für eine Transformatoren- bzw. Schaltergruppe angeordnet

robusten Messinstrumenten oder Reglerorganen zu verstärken.

Aus Platzgründen werden bei den Blindschaltbildern, selbst für solche, die in unmittelbarer Nähe der Messwandler platziert sind, oft Messwertumformer und Fernmesswandler eingesetzt. Hier ist nicht die mess-technische Seite ausschlaggebend, sondern der Umstand, dass man für das Blindschaltbild Drehspul-Anzeige- oder Registraturinstrumente beliebiger Form und Grösse verwenden kann.

Über die bereits erwähnte Kombinationsmöglichkeit von verschiedenen Werten hinaus lassen sich auf ebenso elegante Art Anwahl- und Mutterfeldmessungen verwirklichen.

Obwohl diese Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten für den Messwertumformer schon seit langem bestehen, wurde er doch erst in den letzten Jahren, d. h. seit man die Elektronenröhren durch Transistoren ersetzt hat, in vermehrtem Masse eingesetzt und als vollwertiges Glied unter die betriebssichereren und wartungsfreien Apparate aufgenommen.

2. Prinzipielles

Die meisten Messwertumformer arbeiten nach dem Drehmoment-Kompensationsprinzip. Die Eingangsgröße erzeugt am beweglichen, rückkraftlosen Messsystem ein bestimmtes Drehmoment. Diesem wirkt ein dem Ausgangstrom entsprechendes Drehmoment (Kompensations-Drehmoment) entgegen. Sind beide Drehmomente gleich gross, so ist das System in Ruhe, andernfalls wird es auf die eine oder andere Seite ausgelenkt. Diese Auslenkung benutzt man, um den Ausgangstrom so zu beeinflussen, dass wiederum Gleichgewicht herrscht. Unter der Voraussetzung, dass sowohl Mess- wie auch Kompensationssystem linear sind, wird der Ausgangstrom proportional zur Eingangsgröße.

3. Aufbau des Messwertumformers

3.1 Steuerteil

Als Steuerteil bezeichnet man dasjenige Glied, das den Ausgangstrom — meistens über einen Verstärker — so beeinflusst, dass das durch ihn erzeugte Kompensations-Drehmoment gleich gross wird wie das Messdrehmoment.

Diese für einen Messwertumformer äußerst wichtige Einrichtung wird in den verschiedensten Varianten ausgeführt. Die photoelektrische Steuerung hat lange Zeit dominiert. Da nun aber durch die Transistorisierung das Glühlämpchen zum schwächsten Glied geworden ist, wird die induktive oder kapazitive Steuerung je länger je mehr angewendet. Ein gutes Steuersystem soll rasch arbeiten und das Meßsystem in keiner Weise beeinflussen. Außerdem soll eine kleine Bewegung des Drehsystems bereits eine grosse Wirkung hervorrufen, damit das Mess- wie auch das Kompensationssystem im linearen Teil arbeiten und die Verstellzeit klein bleibt. Nachstehend seien die verschiedenen möglichen Steuermethoden kurz beschrieben:

3.1.1 Steuerung mit variablem Widerstand (Fig. 4). Wegen der unvermeidlichen Reibung am Potentiometerabgriff ist die erzielbare Genauigkeit dieser Steuerung für Messzwecke ungenügend. Aus diesem Grunde verwenden einzelne Konstrukteure anstelle des Potentiometers ein Kontaktssystem. Das Meßsystem schliesst den Stromkreis, das Kompensationsdrehmo-

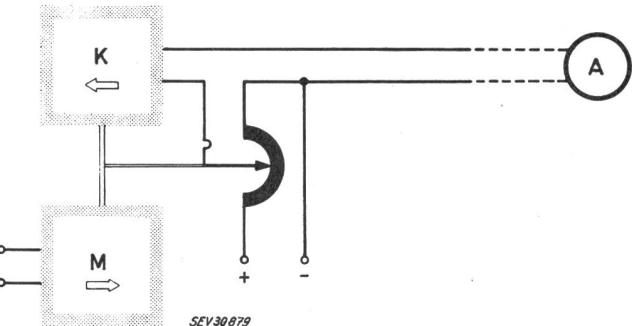


Fig. 4
Steuerung des Kompensationsstromes mit Potentiometer

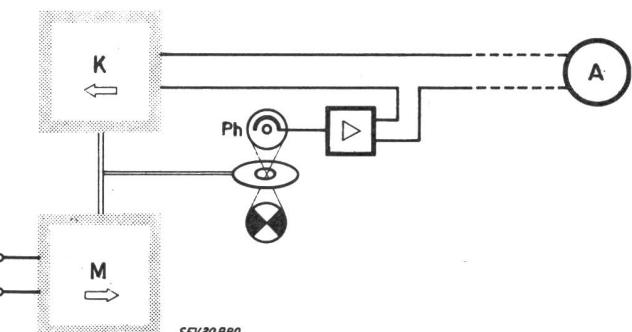


Fig. 5
Photoelektrische Steuerung

ment öffnet ihn wieder, ähnlich einem Wagnerschen Hammer. Der Ausgangstrom wird demnach zerhackt, der Mittelwert entspricht aber dem Messwert. Infolge des unvermeidlichen Kontaktabbrandes sind die auf diesem Prinzip beruhenden Apparate gerne störfällig, bedürfen auf jeden Fall einer häufigen Wartung.

3.1.2 Photoelektrische Steuerung (Fig. 5). Zwischen einem Glühlämpchen und einer Photozelle, Photowiderstand oder Phototransistor Ph befindet sich die bewegliche Blende. Der vom Ph abgegebene Strom wird verstärkt und zur Anzeige gebracht. Damit lässt sich eine Rückwirkung des Steuerteils auf das Messsystem vollkommen eliminieren. Es ist leider unvermeidlich, dass das Glühlämpchen trotz sehr starker Unterbelastung schwächer wird und gelegentlich ausbringt.

3.1.3 Bolometrische Steuerung. Die bolometrische Steuerung arbeitet im Prinzip gleich wie die photoelektrische. Hier wird durch die bewegliche Blende die Wärmestrahlung zwischen einem Heizwiderstand und einem Temperaturfühler (Widerstandsfühler oder

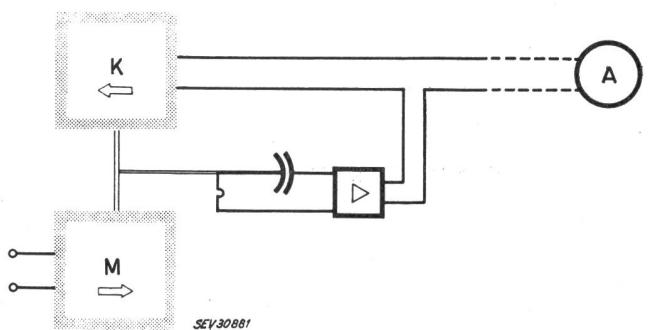


Fig. 6
Kapazitive Steuerung

Thermoelement) beeinflusst, so dass die Steuerung ebenfalls rückwirkungsfrei arbeitet. Der Nachteil dieser Einrichtung liegt in ihrer verhältnismässig grossen Trägheit.

3.1.4 Kapazitive Steuerung (Fig. 6). Je nach Stellung des Drehsystems wird die kapazitive Kopplung verändert, was man dann für die Steuerung des Verstärkers ausnutzt. Einige Konstrukteure verwenden Differential-Kondensatoren, wodurch man die Steilheit vergrössern oder die Zuführungsspirale umgehen kann. Es ist besonders zu berücksichtigen, dass die durch das Meßsystem verursachten Erschütterungen verstärkt werden und sich als Brumm auf dem Ausgangsstrom bemerkbar machen. Durch Einfügen von Dämpfungen kann dieser Nachteil eliminiert werden, hingegen wird dadurch auch die Einstellgeschwindigkeit kleiner.

3.1.5 Direkte induktive Steuerung (Fig. 7). In die Spule S wird je nach Stellung des Drehsystems eine grössere oder kleinere Spannung induziert. Als Nach-

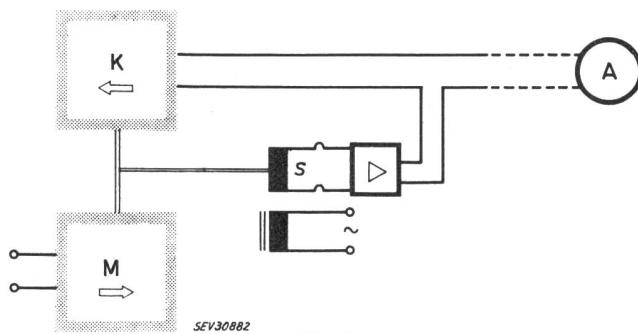


Fig. 7
Direkte induktive Steuerung

teil muss die nicht vermeidliche Rückwirkung auf das Drehsystem aufgeführt werden. Sie ist dadurch verursacht, dass einerseits ein wenn auch geringer Steuerstrom der Spule entnommen wird, anderseits die notwendigen Stromzuführungen eine gewisse Richtkraft ausüben.

3.1.6 Indirekte induktive Steuerung (Fig. 8). Der Spule S_1 wird eine Hochfrequenzspannung zugeführt und durch die Fahne F die Kopplung nach der Abgriffspule S_2 verändert. In S_2 wird somit eine durch die Lage der Fahne bestimmte Spannung induziert, die gleichgerichtet und verstärkt wird. Die geringe Rückwirkung auf das Meßsystem kann man eliminieren, indem man die Fahne zum Teil aus magnetischem Material führt.

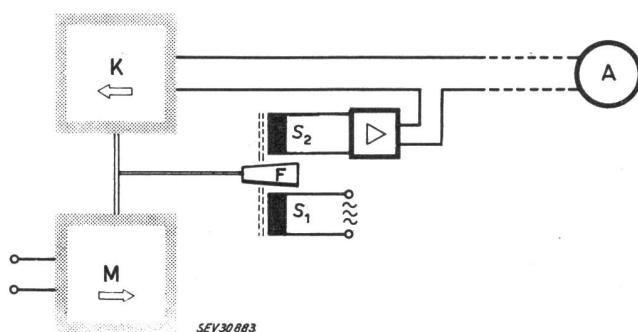


Fig. 8
Indirekte induktive Steuerung

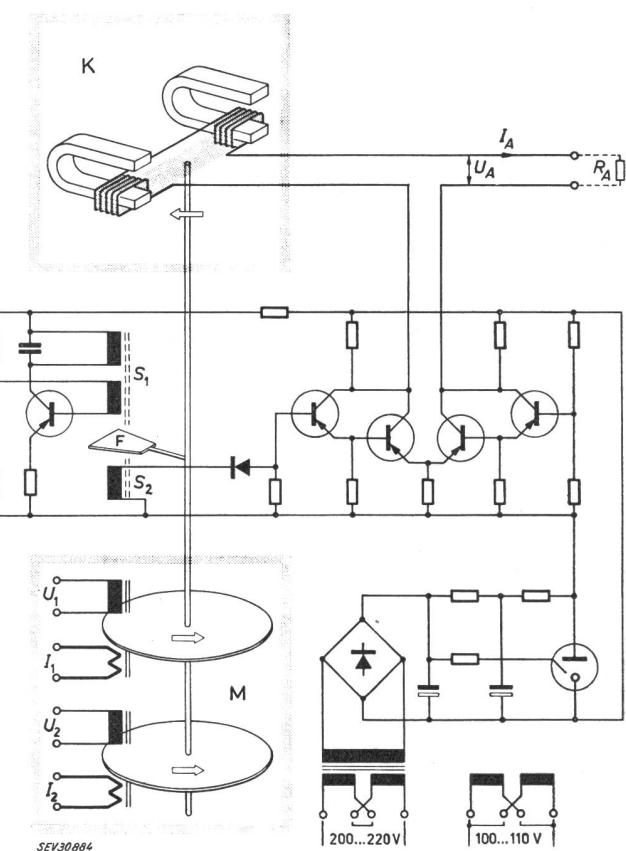


Fig. 9
Schema eines Messwertumformers

3.2 Verstärkerteil

Die heute üblichen Verstärker unterscheiden sich verhältnismässig wenig voneinander, meistens sind die Schaltelemente wie Widerstände, Gleichrichter, Transistoren und Kondensatoren in gedruckten Schaltungen eingelötet. Fig. 9 zeigt eine prinzipielle Schaltung. Dabei ist zu beachten, dass der Ausgang eine Brückenschaltung darstellt, so dass der Ausgangsstrom positiv oder negativ sein kann, je nach Richtung des Messdrehmomentes. Die übliche Ausgangsleistung beträgt 5...10 mA an max. 5000 Ω .

3.3 Kompensationssystem

Das Kompensationssystem ist im allgemeinen als Drehspul-Meßsystem ausgebildet. Das von ihm erzeugte Drehmoment muss, wie oben erwähnt, dem Messdrehmoment die Waage halten. Im Interesse einer guten Genauigkeit und Unempfindlichkeit gegen Stösse und Erschütterungen darf man nicht mit allzu kleinen Drehmomenten arbeiten. Somit muss das Kompensationssystem eine gewisse Grösse und Robustheit besitzen.

3.4 Speisegerät

Die Speisung des elektronischen Teiles erfolgt mit Gleichstrom, der vorzugsweise im Apparat selbst mit einem kleinen Netzgerät erzeugt wird. Der Netztransformator besitzt meistens eine Umschaltmöglichkeit für Spannungen zwischen 100 und 250 V, so dass der Apparat an die Wanderspannung oder an ein Hilfsnetz angeschlossen werden kann. Bei einigen Fabrikaten ist die dem Elektronikteil zugeführte Spannung stabili-

siert. Dies bringt zweierlei Vorteile, einerseits wird dadurch eine Überlastung der in dieser Beziehung noch recht empfindlichen Transistoren verhindert, anderseits wirken sich rasche Hilfsspannungsschwankungen nicht mehr aus. Spannungsschwankungen werden durch das Kompensationsprinzip korrigiert; sie täuschen nur vorübergehende Messwertänderungen vor, wenn sie so rasch erfolgen, dass das Kompensationssystem nicht sofort den Ausgleich wieder herstellen kann.

3.5 Meßsystem

Je nach Verwendungszweck ist der Messwertumformer mit verschiedenen Messwerken ausgerüstet.

3.5.1 Wirk- und Blindleistungsmessungen. In diesem Falle werden im allgemeinen Dynamometer- oder Ferraris-Meßsystemen verwendet. Beide Systeme besitzen ihre Vor- und Nachteile. Das Dynamometer-System benötigt im Gegensatz zum Ferraris-Meßsystem pro Spannungskreis Zuführungsspiralen, die ein Stördrehmoment erzeugen. Beim Ferraris-System kann man die naturgegebene Temperaturabhängigkeit durch entsprechendes Shunten der Kompensationsspule einwandfrei kompensieren. Beide Arten sind somit betrifft Messgenauigkeit ungefähr gleichwertig. Dem Ferraris-Meßsystem darf man noch heute zugute halten, dass sich die — durch das grosse Drehmoment mögliche — robuste Lagerung des Systems und die Elemente für den Kleinlast- und Phasenabgleich in den bekannten Elektrizitätszählern zum Teil auch unter sehr rauen Bedingungen bewährt haben. Der kleine Eigenverbrauch des Ferraris-Meßsystems ist außerdem vorteilhaft, weil die Strom- und Spannungswandler nur wenig zusätzlich belastet werden.

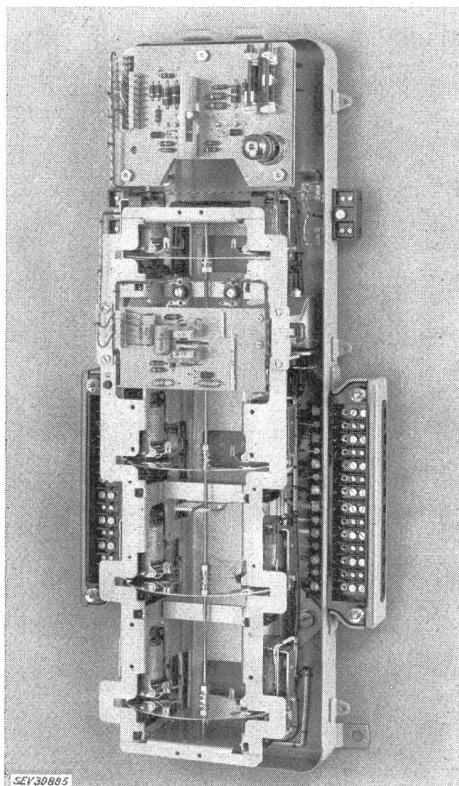


Fig. 10
Messwertumformer mit 8 Ferraris-Meßsystemen

Da die Ferraris-Systemscheiben verhältnismässig leicht sind und keine Zuführungsspiralen benötigen, ist es möglich, mehrere Systeme übereinander und nebeneinander anzurichten. Es lassen sich daher mehrere asynchrone Drehstromleistungen mit einem einzigen Messwertumformer summieren. Fig. 10 zeigt einen Messwertumformer mit 8 Meßsystemen, mit dem 4 Drehstromleistungen in Aronschaltung oder 8 Drehstromleistungen einphasig erfasst werden können.

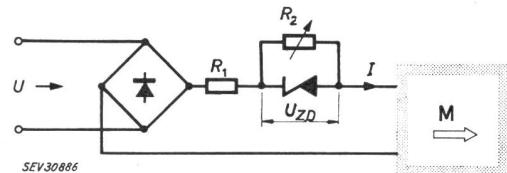


Fig. 11
Eingangsschaltung für eine sog. «Spannungslupe»

3.5.2 Strom- und Spannungsmessungen. Für Strom- und Spannungsmessungen wird als Meßsystem ein Drehspulsystem verwendet. Im allgemeinen ist dieses mit dem Kompensationssystem kombiniert, d. h. Mess- und Kompensationsspulen sind auf denselben Rahmen gewickelt.

3.5.2.1 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessungen. Dem Meßsystem wird hier ein Gleichrichter vorgeschaltet. Der Ausgangsstrom ändert sich linear mit dem Effektivwert der Eingangsgröße. Bei Wechselspannungsmessungen möchte man aber oft eine nicht-lineare Skala, weil nur der Bereich in der Nähe der Nennspannung von Interesse ist. Man kann nun als Meßsystem dasjenige eines üblichen Voltquadratstundenzählers verwenden, oder aber man kann dem Drehspul-Meßsystem ein nichtlineares Glied, z. B. eine Zehnerdiode vorschalten, wie dies in Fig. 11 schematisch dargestellt ist.

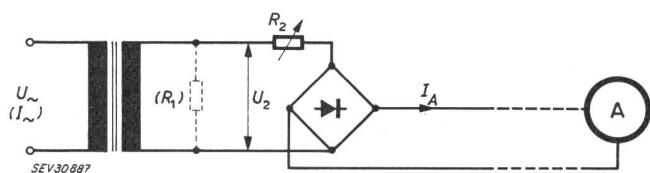


Fig. 12
Schaltung eines Fernmesswandlers

In diesem Zusammenhang sei noch auf den eingangs erwähnten Fernmesswandler für Strom- und Spannungsmessungen hingewiesen. Dieser unterscheidet sich vom Messwertumformer dadurch, dass er nicht einen eingeprägten Gleichstrom abgibt, aber immerhin einen Gleichstrom, der über eine kürzere oder längere Leitung auf ein Anzeige- oder Registrierinstru-

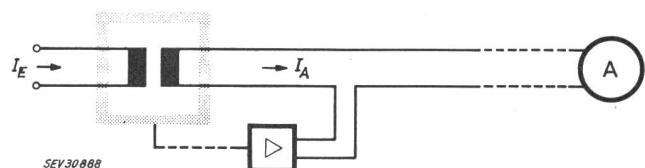


Fig. 13
Kompensationsverstärker mit galvanischer Trennung zwischen Ein- und Ausgang

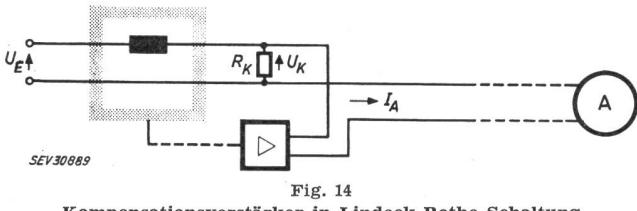


Fig. 14
Kompensationsverstärker in Lindeck-Rothe-Schaltung

ment geleitet werden kann. Er besteht im wesentlichen aus einem Hilfsstrom- oder Hilfsspannungswandler, einem Gleichrichter und Widerständen, geschaltet nach Fig. 12. Bei richtiger Wahl von U_2 und R_2 kann man erreichen, dass die Ausgangstromänderung (verursacht durch die naturgegebenen Widerstandsänderungen im Außenkreis) innerhalb der Messgenauigkeit liegt.

Die Konzeption dieses sehr einfachen und billigen Gerätes setzt einen Gleichrichter mit kleinem Innenwiderstand und hoher Sperrspannung, also eine moderne Halbleiterdiode voraus. Die früher gebräuchlichen Selen- oder Kupferoxydul-Gleichrichter waren hier nur bedingt verwendbar; entweder ergab sich eine durch die Gleichrichter-Charakteristik bedingte Nicht-

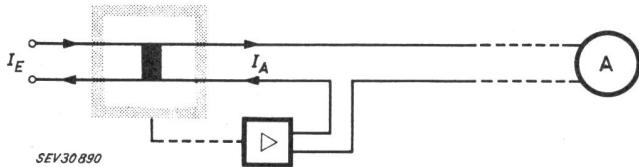


Fig. 15
Kompensationsverstärker in Saugschaltung

linearität oder man durfte den Außenkreis nicht öffnen, weil sonst die Sperrspannung überschritten und der Gleichrichter zerstört wurde.

3.5.2.2 Gleichstrom- und Gleichspannungsmessungen. Wie bereits erwähnt, wird für Gleichstrom- und Gleichspannungsmessungen ein Drehspul-Meßsystem verwendet, das mit dem Kompensationssystem kombiniert ist. Fig. 13 zeigt die Schaltung, wenn eine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgangskreis gefordert ist und in Fig. 14 und 15 sind die prinzipiellen Schaltungen für das verlustlose Messen von Spannungen und Strömen dargestellt.

Diese beiden Schaltungen dienen hauptsächlich zur Bildung von Summen, Differenzen und Summendiffe-

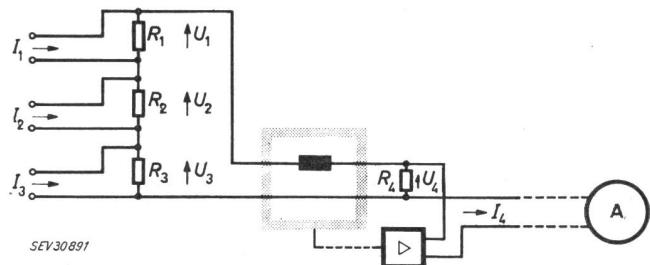


Fig. 16
Summierung dreier Ströme nach dem Prinzip der Spannungs-Summation

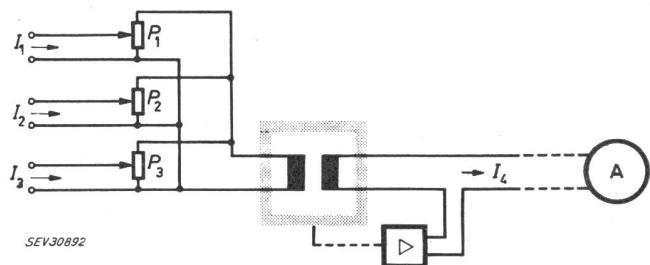


Fig. 17
Summierung dreier Ströme nach dem Prinzip der Strom-Summation

renzen von verschiedenen Werten. Fig. 16 zeigt die Summierschaltung von verschiedenen Eingangsströmen, welche von galvanisch getrennten Quellen stammen. Jedem zu messenden Wert und auch dem Summenwert (Summendifferenzwert) ist ein Widerstand entsprechender Grösse zugeordnet; der Verstärkereingang ist nach Lindeck-Rothe geschaltet. Fig. 17 zeigt eine Summierschaltung von Eingangsströmen, die galvanisch miteinander verbunden sind. Solche Schaltungen werden in Kommandoräumen, Lastverteileranlagen und Regeleinrichtungen oft verwendet.

4. Schlussbetrachtungen

Dank der modernen Halbleitertechnik und rationeller Fabrikationsmethoden ist es heute möglich, bei Energie-Erzeugungs-, Verteil- und Regelanlagen absolut betriebssichere und preiswerte elektronische Geräte einzusetzen, wo dies noch vor wenigen Jahren wegen zu geringer Zuverlässigkeit auf die berechtigte Ablehnung durch die Betriebsleiter stieß.

Adresse des Autors:
G. Gätzi, Ingenieur, Landis und Gyr AG, Zug.