

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 47 (1956)
Heft: 23

Artikel: Probleme der Steuerung von Schaltanlagen in Elektrizitätswerken
Autor: Trachsler, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060120>

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: 17.02.2026

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

Probleme der Steuerung von Schaltanlagen in Elektrizitätswerken

Vortrag, gehalten an der 15. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik vom 22. Juni 1956 in Olten,
von F. Trachsler, Bern-Bümpliz

621.398.2 : 621.311

Der Artikel befasst sich mit der Entwicklung der Sicherheits- und Übertragungsschaltungen in der Fernsteuertechnik. Dabei wird besonders Gewicht auf den grundlegenden Unterschied in der Behandlung von Steuer- und Rückmelde-schaltungen gelegt.

Der Zweck des Vortrages besteht darin, die Probleme der Fernsteuerung von Schaltanlagen kurz zu erläutern. Dabei handelt es sich nicht darum, die Technik der Übermittlungskanäle zu erörtern, sondern um die Besprechung der Fernsteueranlagen mit ihren Sicherheitsschaltungen als solche.

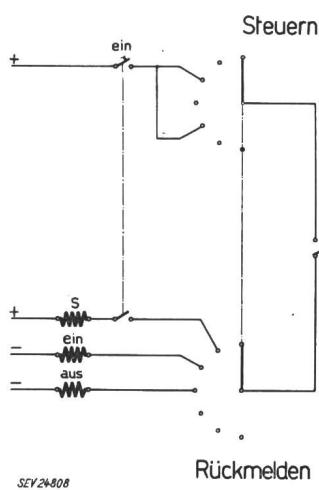
Die erste Fernsteueranlage, die das öffentliche Telephonnetz als Verbindungskanal verwendete, wurde im Jahre 1929 gebaut. Es handelte sich dabei um die Fernsteuerung der BKW-Schaltstation Birkigen vom Kraftwerk Mühleberg aus¹⁾. In dieser Anlage wurden die Steuer- und Rückmeldeimpulse mit Tonfrequenz übertragen. Da die künstlich gebildeten Übertragungskanäle meistens störfest sind, müssen in solchen Anlagen Sicherheitsschaltungen vorhanden sein, die allen solchen Störungseinflüssen Rechnung tragen.

L'auteur brosse rapidement le tableau du développement de la technique de télécommande. Une attention particulière est vouée à la différence de conception entre les techniques de transmission d'un ordre et la transmission d'un signal en retour.

zweiten Verteilerstellung ein spezieller Schaltimpuls übermittelt wird. Die zu übermittelnden Befehle werden mit Hilfe der Schalter markiert. Die Übertragung der markierten Befehle erfolgt dann durch die beiden im Synchronlauf arbeitenden Verteiler. Treffen die Befehlsimpulse auf der Empfangsseite richtig ein, so können die Befehle ausgeführt werden. Trifft jedoch aus irgend einem Grund ein falscher Impuls ein, so erfolgt eine Fehlschaltung. Infolgedessen darf dieses System nur angewendet werden, wenn Fehlschaltungen, verursacht durch falsche Impulse, durch zusätzliche Impulskontrolleinrichtungen verhindert werden.

Im Verlaufe der Zeit hat sich aus betriebstechnischen Gründen gezeigt, dass in Kraftwerksteueranlagen immer nur ein Organ nach dem andern gesteuert werden soll. In diesem Falle ist die An-

Steuerstelle



Steuern

Rückmelden

Gesteuerte Stelle

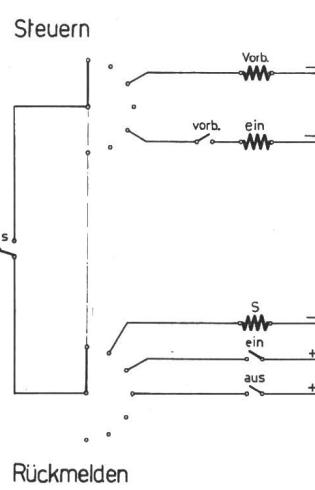


Fig. 1
Synchronlaufende Wähler

Steuerung mit Vorbereitungs- und Durchschaltimpuls. Rückmeldung mit einfachen «Ein»- und «Aus»-Impulsen. Kontrolle durch Impulzzählung

s Kontakt des Relais S; S Steuer-Rückmelde-Umschaltrelais

Die Schaltung, welche in der erwähnten Anlage damals verwendet wurde, zeigt Fig. 1.

Der Konstrukteur dieser Anlage hatte sich hier die Aufgabe gestellt, in einem Verteilerrundlauf ein ganzes Schaltprogramm zu übermitteln. Auf der Steuerseite wie auf der gesteuerten Seite sind 2 Kontaktbögen eines Schrittschalters dargestellt. Der eine dieser Bogen dient Steuer- und der andere Rückmeldezwecken. Die Steuerbögen werden immer erst an den Kanal geschaltet, wenn auf der

wendung von Kombinationsschaltungen zweckmäßig. Fig. 2 zeigt eine solche Kombinationsschaltung. Um die Schaltung möglichst gut verständlich zu zeigen, wurden für die Verbindung der Sende- und der Empfangsstelle vier Kanäle angenommen. Mit dem dargestellten Kontakt Dreieck kann man auf diese Weise 16 Befehle übermitteln. Sämtliche Steuerkombinationen können auf sehr einfache Art aus dem abgebildeten Kontakt Dreieck abgeleitet werden. Angenommen, das Organ Nr. 8 müsse gesteuert werden, so findet man anhand des Kontakt-

¹⁾ BKW = Bernische Kraftwerke A.-G.

dreieckes sofort heraus, dass zur Ausscheidung dieses Befehls die Relais 1, 2 und 3 unter Spannung gesetzt werden müssen. Mit Hilfe der Kombination von vier Relais können also die erwähnten 16 Befehle ausgeschieden werden. Mit 5 Relais wäre es schon möglich, 32 Befehle auszuscheiden. Bezeich-

In Fig. 4 ist nun eine Schaltung dargestellt, bei welcher mit Hilfe einer Impulszählleinrichtung Fehlschaltungen verhindert werden können. Um diese Impulszählung zu ermöglichen, werden nur diejenigen Kombinationen verwendet, welche eine gleiche Anzahl von Impulsen benötigen. Wenn wir

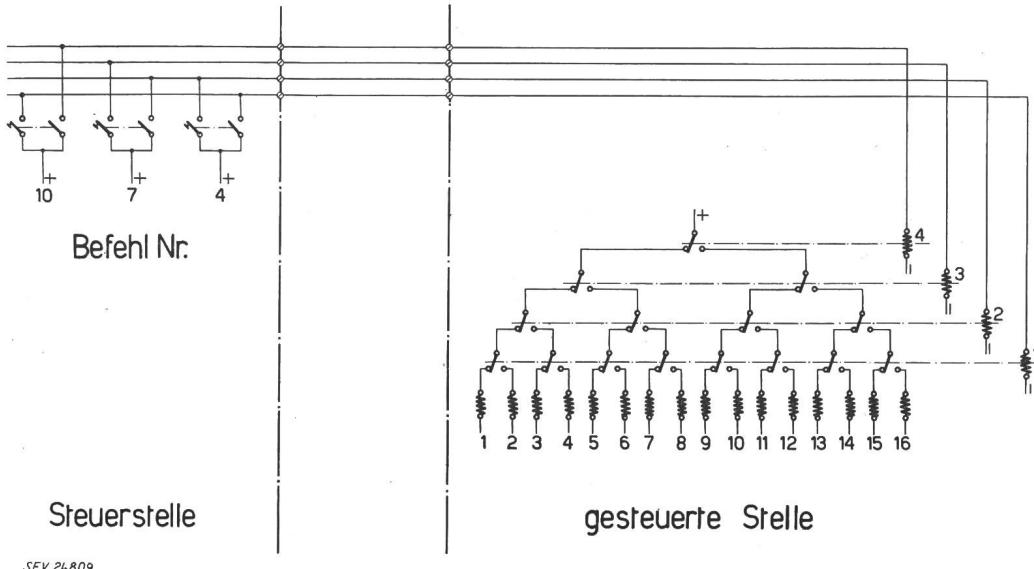


Fig. 2
Steuerung mit Kombinationsschaltung über mehrere Adern
Anzahl Möglichkeiten = $2^{\text{Anzahl Adern}} = 2^4 = 16$ Befehle über 4 Adern

net man die Anzahl Kanäle mit n , so ergibt sich die Anzahl Steuermöglichkeiten mit 2^n .

Fig. 3 zeigt eine solche Kombination, angewendet in Verbindung mit synchronlaufenden Verteilern. Mit dieser Anordnung kann ein gewünschtes Organ mittels einer minimalen Verteilerschrittzahl gewählt werden. Damit haben wir aber noch nichts für die

die Anzahl der Verteilerschritte mit n bezeichnen und die Anzahl der Impulse mit k , so ergibt sich eine mögliche Anzahl Kombinationen von $\binom{n}{k}$.

Zur Auswertung dieser Kombinationen kann wieder ein normales Kontakt Dreieck verwendet werden, worin man alle unnötigen Kontakte aus-

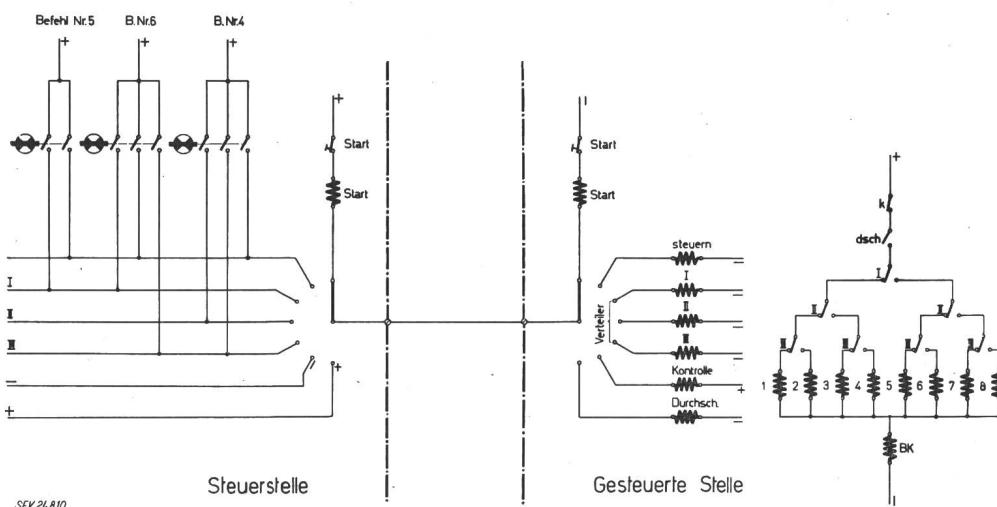


Fig. 3
Steuerung mit Kombinationsschaltung in Verbindung mit synchron laufenden Verteilern
Anzahl Verteilerschritte = n ; Anzahl mögliche Kombinationen = 2^n ; I, II, III... Verteilerschritte

Sicherheit gegen Fehlschaltungen getan. Wohl kann man auch hier den Synchronlauf und die Impulslänge überwachen; treffen jedoch Impulse auf falschen Stellungen ein, so erfolgen auch hier Fehlschaltungen.

lässt. Es ist aber auch möglich, eine Schaltung aus Arbeitskontakte zu bilden, wie sie auf dem Bilde dargestellt ist. Diese hat aber den Nachteil, dass z. B. beim fälschlichen Anziehen eines Kombinationsrelais mehrere Betätigungsstromkreise durch-

geschaltet werden. Mit Hilfe von Überwachungseinrichtungen hat man hier die Möglichkeit, den Synchronlauf, den Verbindungskanal und die Im-

Die in Fig. 5 dargestellte Schaltung arbeitet mit 2 Kontakt Dreiecken. Die zu steuernden Organe sind zwischen die beiden Kontakt Dreiecke geschaltet.

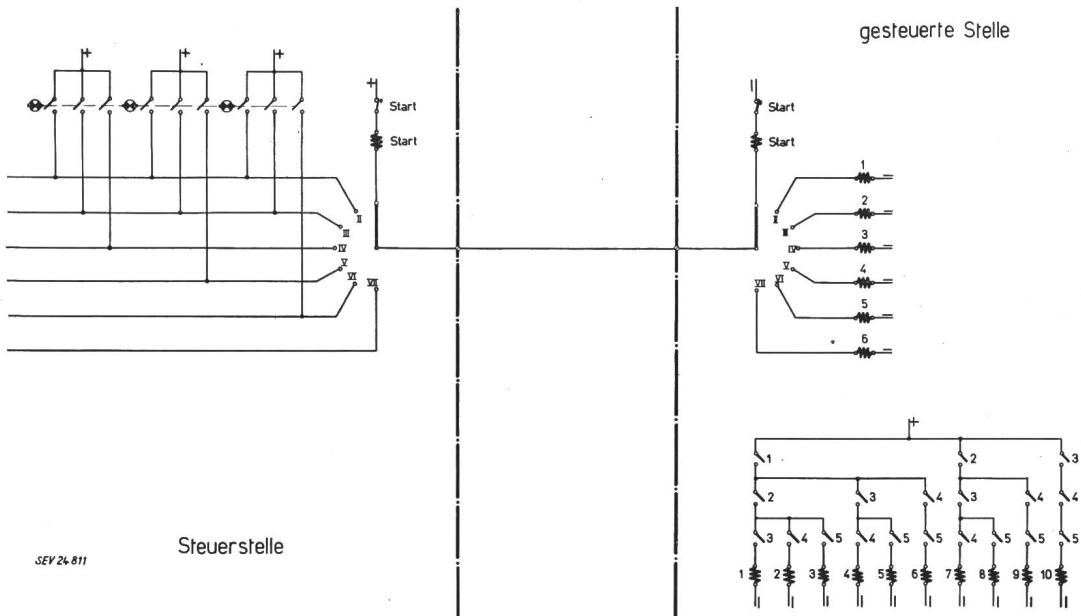


Fig. 4

Kombinationsschaltung, bei der für jede Steuerung gleichviel Impulse verwendet werden
Anzahl Impulse = k ; Anzahl Verteilerschritte $I, II, III \dots = n$; Anzahl mögliche Kombinationen = $\binom{n}{k}$
für $n = 5$ $\binom{n}{k} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 10$

pulszahl zu überprüfen. Nicht überwacht ist aber die ganze Schaltungseinrichtung zur Auswertung der Kombinationen.

Da die erwähnten Überwachungseinrichtungen wieder mögliche Störungsquellen in sich schliessen,

Ziehen irgendwelche falsche Relais an, so kann in jedem der Kontakt Dreiecke nur ein einziger Befehlstromkreis vorbereitet werden. Solange die beiden vorbereiteten Stromkreise jedoch nicht zusammenstimmen, kann keine Durchschaltung erfolgen.

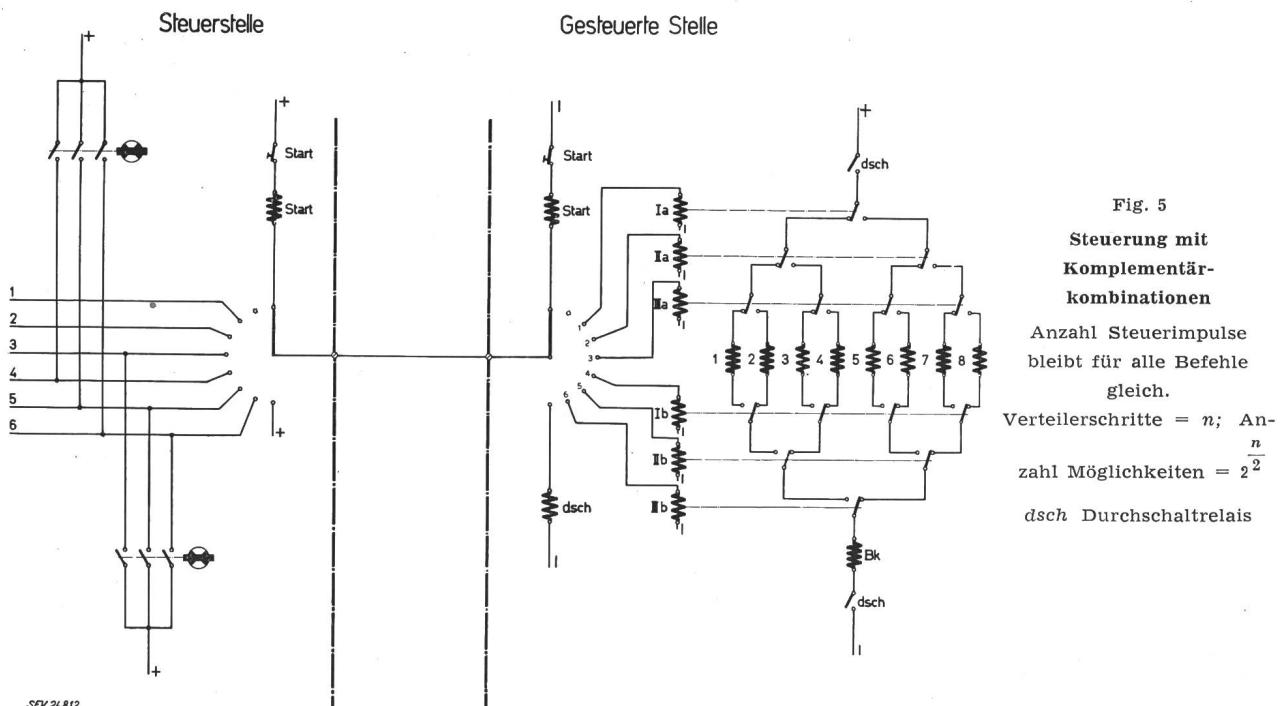


Fig. 5

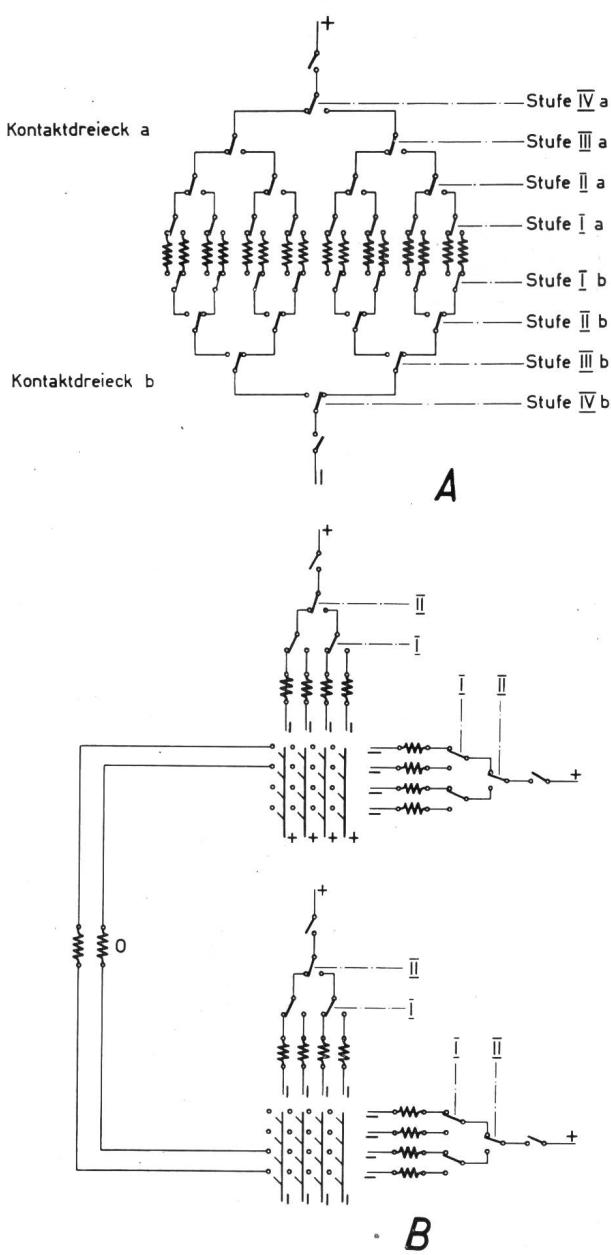
Steuerung mit Komplementär-kombinationen

Anzahl Steuerimpulse bleibt für alle Befehle gleich.
Verteilerschritte = n ; Anzahl Möglichkeiten = $2^{\frac{n}{2}}$
dsch Durchschaltrelais

gingen die Bestrebungen dahin, ein System zu finden, welches die Anwendung solcher Kontrolleinrichtungen unnötig macht und die Sicherung der Anlage bis zum steuernden Organ gestattet.

Die in der Figur für 8 Befehle dargestellte Schaltung darf deshalb ohne weitere Kontrolleinrichtungen verwendet werden. Jede Verschiebung in der Lage der Steuerimpulse, verursacht durch Stör-

einflüsse auf dem Kanal, Asynchronlauf der Verteiler usw., muss sich schliesslich auf die Kontakt Dreiecke auswirken. Wegen der Nichtübereinstim-



SEV 24813

Fig. 6
Rückrechner mit und ohne Kreuzwähler

A ohne Kreuzwähler

Nachteil bei grösseren Anlagen: es müssen zu viele Kontakte verwendet werden

n Anzahl Stufen pro Kontaktdreieck; 2^n Anzahl Steuermöglichkeiten; Anzahl Kontakte in beiden Dreiecken zusammen:

$$2(2^n - 1)$$

Für dargestelltes Beispiel $n = 4$

$$2(2^4 - 1) = 30 \text{ Kontakte}$$

Anzahl Steuermöglichkeiten: $2^n = 2^4 = 16$

B mit Kreuzwähler

Die Anzahl der notwendigen Kontakte kann durch die Verwendung von Kreuzwählern stark vermindert werden

Zerlegung der Stufenzahl n in a und b

$$\text{für } n = 4 \quad a = \text{z. B. } 2 \quad b = 2$$

es entstehen 2 Dreiecke: $2^a = 2^2$ und $2^b = 2^2$

Mit diesen 2 mal 4 Ausgängen und einem Kreuzwähler mit 4 senkrechten und 4 horizontalen Elementen entstehen 16 Ausgänge, also: $(2^2) \cdot (2^2) = 2^4 = 16$

Anzahl Kontakte = $2(2^a - 1) + 2(2^b - 1)$

für $a = 2$ und $b = 2$: $2(2^2 - 1) + 2(2^2 - 1) = 6 + 6 = 12$ Kontakte

mung beider Befehlsstromkreise kann dann unter solchen Umständen kein falscher Steuerbefehl durchgehen. Selbst wenn ein Relais oder ein Kontakt der Dreiecke hängen bliebe, käme es zu keiner Fehlschaltung. Die Schaltung sichert also die Anlage bis zu den zu steuernden Organen. Eine interessante Eigenschaft der Schaltung ist die, dass durch die Anwendung zweier Kontaktdreiecke auch hier für die Ausscheidung jedes Befehls eine gleiche Anzahl von Impulsen übermittelt werden muss. Es wäre also auch hier möglich, als Kontrolle eine Impulszählung vorzunehmen. Aus oben erwähnten Gründen ist dies jedoch sinnlos.

In grösseren Anlagen angewendet, weisen die Kontaktdreiecke folgende Nachteile auf:

Der Aufwand an Kontakten und somit auch an Relais wird sehr gross. Pro Befehlsstromkreis müssen zu viele Kontakte in Serie geschaltet werden, was die Übersichtlichkeit der Schaltung wesentlich vermindert. Aus diesen Gründen wurde nach einem Hilfsmittel gesucht, welches in dieser Richtung eine Vereinfachung gestattet. Dieses wurde im Kreuzwähler, der sich hiefür besonders gut eignet, gefunden.

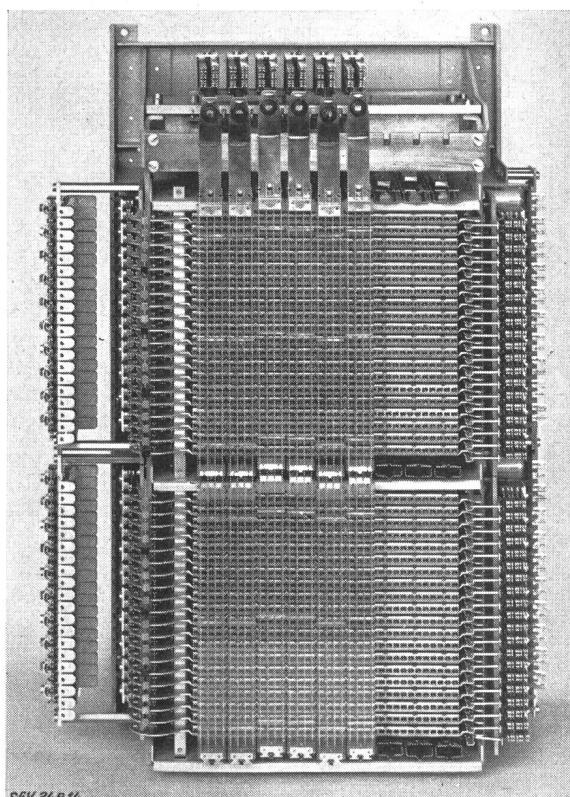


Fig. 7
Kreuzwähler mit 40 Quer- und 6 Längsgliedern

In Fig. 7 sieht man, wie mit Hilfe von 2 Kreuzwählern die grossen Kontaktdreiecke in wesentlich kleinere Kontaktdreiecke aufgeteilt werden können. Mit beiden Schaltungen können 16 Befehle ausgeschieden werden. Die erwähnte Massnahme wirkt sich natürlich hauptsächlich in grossen Anlagen aus.

Zur Orientierung sei kurz erwähnt, dass heute schon Kreuzwähler gebaut werden, welche bis 8000

Kreuzpunktkontakte aufweisen. Die der Fig. 7 entsprechende Schaltung ist wieder bis zu den zu steuernden Organen gesichert. Es sind nun aber unter Verwendung der Kreuzwähler auch einfachere Schaltungen möglich. Verzichtet man z. B. auf die Sicherung der Kontakt Dreiecke und des Wählers selber, so kann zur Steuerung des Kreuzwählers wieder eine Schaltung mit konstanter Impulszahl verwendet werden. Steuert man z. B. die Aggregate und die Stangen mit je einer Kombination $\binom{7}{3}$, so erhält man im Kreuzwähler $35 \times 35 = 1225$ Ausgänge.

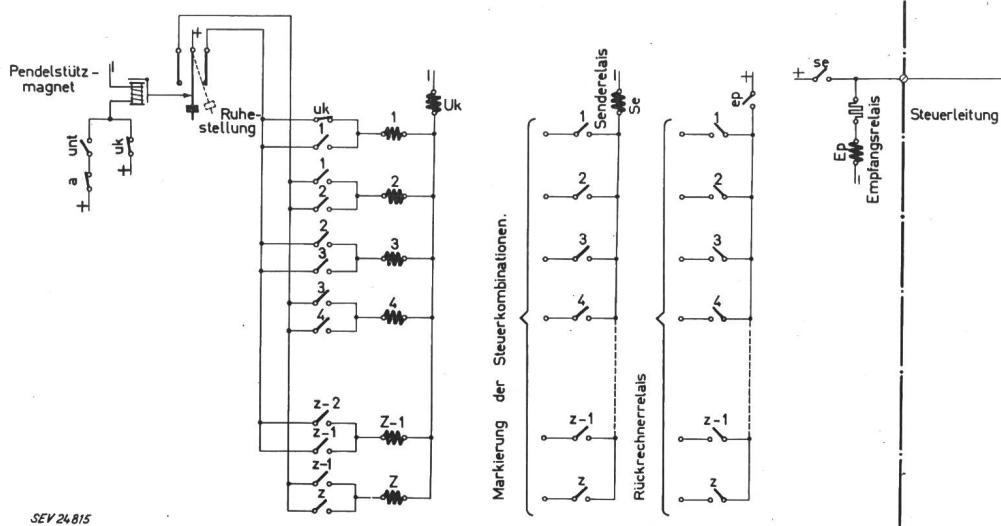


Fig. 8
Relaiskette als Impulsverteiler

Auf den bisherigen Figuren waren die synchronlaufenden Verteiler in Form von rundlaufenden Verteilerarmen dargestellt. Früher wurden fast ausschliesslich Schrittschalter verwendet, welche dieser Darstellung entsprachen. Vor einigen Jahren wurden jedoch diese Schrittschalter durch Relaisketten abgelöst (Fig. 8). Die Steuerung dieser Ketten erfolgt durch einen Pendelkontaktgeber, in der Folge kurz Pendel genannt. Dieses Pendel wird in der Ruhelage auf der einen Seite festgehalten und erst mit dem Anlassimpuls freigegeben. Nach der Freigabe kann das Pendel unabhängig von jeder Spannung frei schwingen, was die Steuerung der Relaiskette im richtigen Rhythmus gestattet. Der Synchronlauf des sender- und empfängerseitigen Verteilers kann auf diese einfache Art und Weise sicher gewährleistet werden.

Die Anforderungen, welche an ein Pendel gestellt werden müssen, sind nicht grösser als diejenigen, welche von einer Pendeluhr erfüllt werden müssten, der eine Laufzeitstreuung von etwa einer Viertelstunde pro Tag zugelassen wäre.

Die Relaiskette hat gegenüber dem Schrittschalter verschiedene Vorteile:

- Sie ist weniger spannungsabhängig;
- Während der Schrittschalter immer eine volle Umdrehung machen muss, lässt sich die Relaiskette auf einfache Weise aus jeder Lage heraus sofort in die Grundstellung zurückstellen.

Es gibt noch andere Methoden zur Steuerung der Verteiler. So kann z. B. der Fernsteuerkanal für die Fortschaltung der Verteiler verwendet werden. In diesem Fall sind aber für die Übertragung von Steuerimpulsen keine Mittel mehr vorhanden. Man hilft sich dann so, dass die Verteiler auf den Schritten, über die ein Steuerbefehl gegeben werden soll, länger gehalten werden als auf den übrigen Schritten. Durch Messen der Schrittängen wird also ausgeschieden, ob auf dem betreffenden Schritt ein Befehl abgegeben werden soll oder nicht.

Bis jetzt wurde ausschliesslich über die Fernbetätigung von Schaltanlagen gesprochen. Anders

liegen die Probleme in Bezug auf die Rückmeldung des Schaltzustandes von Anlagen. Hier müssen hauptsächlich folgende Punkte berücksichtigt werden: Eine Rückmeldung soll unter allen Umständen die Kommandostelle erreichen. Eine sichere Übermittlung der Rückmeldung erfolgt nach der in Fig. 9a dargestellten Schaltung. Hier hat man für die Rückmeldung Verbindungsleitungen zur Verfügung. Werden dagegen, wie in Fig. 9b, für die Übermittlung der Rückmeldungen synchronlaufende Teile verwendet, so müssen die übertragenen Meldungen festgehalten werden. Diese Anordnung hat den Nachteil, dass bei nichteintreffenden Rückmeldungen der alte Zustand bestehen bleibt.

Eine nichteintreffende Rückmeldung entspricht also einer falschen Rückmeldung. Ein weiterer Nachteil der Anordnung besteht darin, dass zur Haltung der Rückmeldung die Haltewicklung der Relais dauernd unter Spannung steht. Fällt also die Spannung einmal aus, so werden sämtliche Rückmeldungen gelöscht. Dieser Nachteil wurde jedoch durch die Anwendung mechanisch verriegelter Stützrelais beseitigt.

Aus den dargelegten Tatsachen lässt sich unschwer erkennen, dass die Verhältnisse bei der Übermittlung von Rückmeldungen anders liegen, als bei der Übermittlung der Steuerbefehle. Absolut sicher arbeitet eine Rückmeldeeinrichtung erst dann, wenn der alte Schaltzustand vor der Anzeige des neuen Schaltzustandes gelöscht wird. Will man

jedoch die alten Meldungen immer löschen, bevor die Anzeige der neu übermittelten Meldungen erfolgt, bedingt dies die Einholung aller Meldungen

standes nicht in einem einzigen Rundlauf erfolgen kann, wird hier während eines Rundlaufs der Zustand ganzer Gruppen von Organen übermittelt.

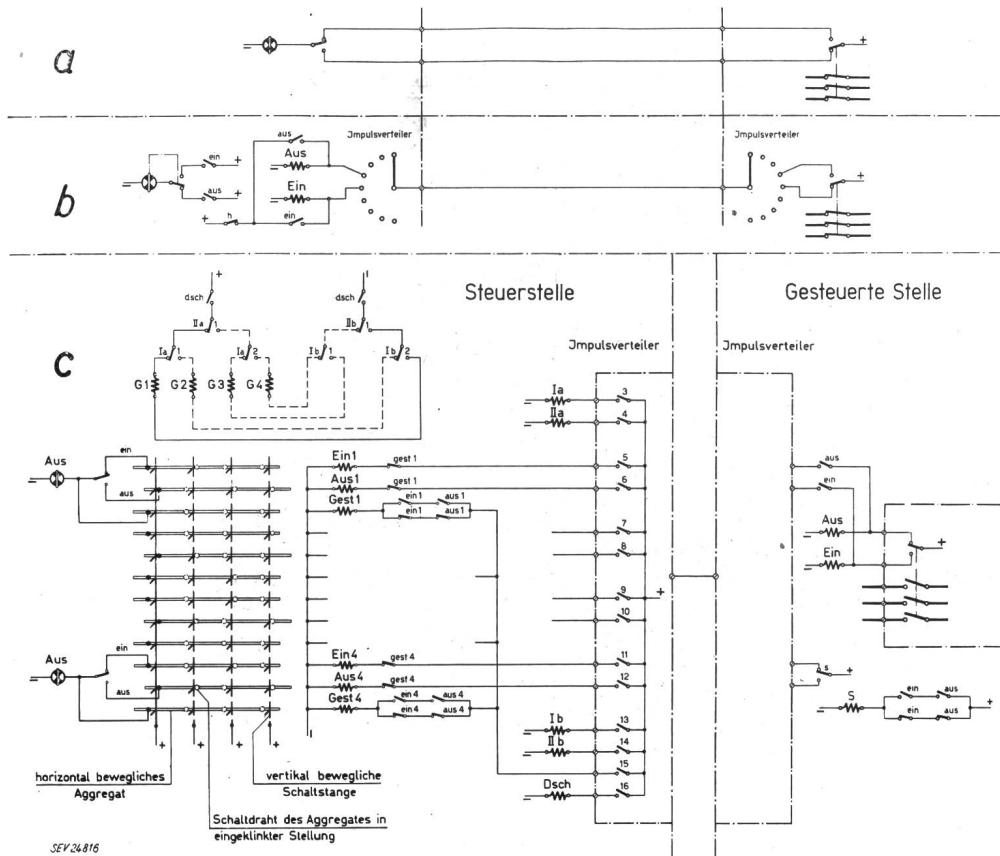


Fig. 9
Schalterstellungsrückmeldung
Bezeichnungen siehe im Text

während einem einzigen Melderundlauf. Diese Bedingung ergibt sich aus der Tatsache, dass bei Einzelmeldung eine Löschung erst möglich wäre, sobald ausgeschieden ist, was rückgemeldet wird, bei

Diese Anordnung gestattet, was nach Kanalausfällen usw. sehr wichtig sein kann, eine Gesamtkontrolle des Schaltzustandes der Anlage in kurzer Zeit. Ein weiterer Vorteil besteht auch darin, dass wenn z. B.

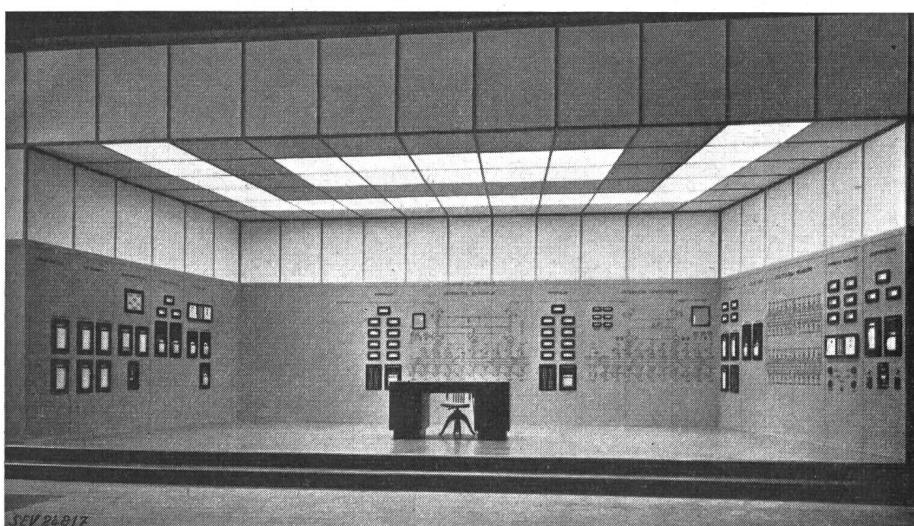


Fig. 10
Kommandoraum Monbijou
des Elektrizitätswerkes
Bern

Von diesem Kommandoraum aus werden zwei Unterstationen fern- und eine Unterstation lokal gesteuert

Nichteintreffen einer Meldung, also überhaupt nie. Alle diese Gründe führten zur Anwendung der in Fig. 9c dargestellten Methode. Da namentlich in grösseren Anlagen die Übermittlung des Schaltzu-

in einer Transformatorengruppe mehrere Veränderungen gleichzeitig stattfinden, diese auch alle innerhalb einem einzigen Melderundlauf gemeldet werden.

Wechselt der in der Figur eingezeichnete Schalter seine Stellung, so werden sofort die entsprechenden Speicher-, Gruppenausscheide- und Anlassorgane automatisch in Betrieb gesetzt. Diese Organe wurden einfachheitshalber in die Figur nicht eingezeichnet. Als Schaltelement, welches die Aufgaben dieser Organe zu erfüllen hat, eignet sich auch hier wieder der Kreuzwähler sehr gut. Die Gruppenausscheidung erfolgt nach der gleichen Methode wie die Ausscheidung der Steuerbefehle, wogegen die Stellungen der überwachten Organe möglichst direkt vom Schalterhilfskontakt aus mit Einzelimpulsen übertragen wird. In der Steuerstelle werden die Meldungen wie folgt ausgewertet:

Die Ausscheidung der Gruppen erfolgt durch die beiden dargestellten Kontakt Dreiecke. Jeder Meldegruppe ist eine vertikale Stange des dargestellten Kreuzwählers zugeordnet, den Einzelmeldungen dagegen je ein horizontales Aggregat. Die eintreffenden Meldungen bewirken also den Anzug der horizontalen Aggregate. Sind sämtliche Meldungen einer Gruppe eingetroffen, so werden durch Heben der ausgewählten Gruppenstange sämtliche alten Meldungen gelöscht. Nachher fällt die gleiche Stange wieder in ihre Ruhelage zurück, wobei die Kreuzpunktkontakte der angezogenen Aggregate eingeklinkt werden. Erst jetzt erfolgt die Anzeige des neuen Schaltzustandes. Da in der Ruhelage sämtliche Stangen des Kreuzwählers abgefallen sind, können auch hier die Meldungen ohne jeden Stromverbrauch festgehalten werden. Trifft von irgendeinem Organ der gemeldeten Gruppe keine, oder treffen 2 Meldungen ein («ein» und «aus»), so wird das mit «gest» bezeichnete Aggregat angezogen und beim Herunterfallen der

Stange der entsprechende Kreuzpunkt kontakt eingeklinkt. Die Rückmeldelampe wird dann dauernd unter Spannung gesetzt, was eine Quittierung durch Drehen des Schaltergriffes verunmöglicht. Auf diese einfache Weise kann signalisiert werden, dass der Zustand des Organes nicht oder falsch gemeldet wurde. Mit der besprochenen Anordnung wird, kurz zusammengefasst, folgendes erreicht:

1. Sämtliche Funktionen der Anlage sind gesichert.
2. Die Rückmeldungen werden direkt beim zu meldenden Organ eingeholt.
3. In der Kommandostelle wird sofort erkannt, ob und welche Rückmeldungen fehlen.
4. Kontrollen über den Schaltzustand der gesamten Anlage können rasch vor sich gehen.
5. Zum Festhalten des Schaltzustandes in der Kommandostelle wird kein Ruhestrom benötigt.

Abschliessend kann festgestellt werden, dass in den heute gebräuchlichen Fernsteueranlagen vieles vereinfacht werden könnte. An Stelle der Übertragung von 2 Befehlen pro Schalter («ein»—«aus») könnte z. B. auch nur die Veränderung der Schalterstellung befohlen werden. Mit dieser Vereinfachung liessen sich in einer Anlage 50 % der Stellungen einsparen. Genau gleich könnte man natürlich auch bei der Übertragung von Rückmeldungen verfahren. Da jedoch diese Vereinfachungen nur auf Kosten der Sicherheit durchgeführt werden können, sollte bei der Anwendung von Fernsteueranlagen in Kraftwerken davon abgesehen werden.

Adresse des Autors:

F. Trachsel, Ingenieur, technischer Direktor der Gfeller A.-G., Bern-Bümpliz.

Diskussionsbeitrag

Dr. A. de Quervain, Ingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG): Es scheint zweckmässig, mit einigen Worten auf die eigentlichen Übertragungskanäle für Fernmeldeverbindungen zu sprechen zu kommen, die in der Schweiz und auch in vielen anderen Ländern als TFH-Kanäle¹⁾ die eigentlichen Nervenbahnen der Nachrichtentechnik darstellen. Es sollen hiebei nach einer ganz kurzen Repetition altbekannter Probleme in bezug auf die Möglichkeit, die Hochspannungsleitung als Übertragungskanal zu verwenden, in einigen Worten die wesentlichen Punkte herausgeschält werden, in denen sich diese Technik von der bekannten Trägerfrequenztechnik über Telephonkabel unterscheidet. Daran anknüpfend soll der Weg, den diese Technik in der Schweiz im praktischen Einsatz genommen hat, kurz erwähnt werden.

Die Verwendung einer Hochspannungsleitung als Übertragungsweg ist schon nach dem ersten Weltkrieg vorgeschlagen und auch in einer Reihe von Ländern verwirklicht worden. Fig. 1 zeigt den Übertragungsvorgang, wobei in erster Linie in Erinnerung gerufen werden soll, dass bei der üblicherweise zur Anwendung gelangenden Einphasenkopplung die Erde wegen der grossen Dämpfung nicht, bzw. nur für sehr kurze Distanzen den Rückweg darstellt und die nicht eingekoppelten Phasen über kapazitive Kopplung den Rückweg bilden. Die Dämpfung einer Hochspannungsleitung kann ganz roh mit etwa 10 mN/km eingesetzt werden, wozu noch ein Betrag von ca. 0,5...1 N für die Einkopplungsverluste beidseitig kommt.

Die Hochspannungsleitung stellt damit einen dämpfungs-mässig gegenüber dem Telephonkabel sehr günstigen Aus-

breitungsweg dar. Dafür haftet dieser Übertragungsart eine spezifische Schwäche an, die sich auf die Konstruktion der zugehörigen Geräte und deren Einsatz tiefgreifend ausgewirkt hat.

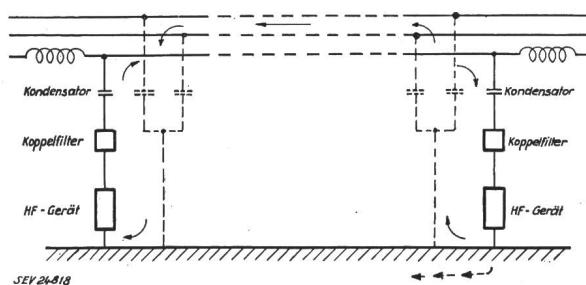


Fig. 1

HF-Ubertragungsvorgang bei Einphasenkopplung
Die nicht eingekoppelten Leiter sind über die Streukapazität Leiter-Erde an der Rückleitung beteiligt

Das Netz der Hochspannungsleitungen ist auf den höchsten Spannungsebenen, also 220 kV und mehr, in der Regel ein Strahlennetz, auf den Ebenen der Verteilnetze wie 150, 130 kV und tiefer, ein Maschennetz. Die Punkte, welche ein Nachrichtennetz bilden, d. h. Kraftwerke, Unterwerke, Kommandozentralen liegen an den Endpunkten bzw. Knotenpunkten dieser Netze. Die Nachrichtenkanäle sind somit meist nur über Teilstücke dieser Leitungen geführt.

Die Ausbreitung der Trägerfrequenzen, welche im Bereich 50...150 kHz, vereinzelt auch höher liegen, lässt sich jedoch auch durch Sperrnicht ideal auf den benutzten

¹⁾ TFH-Kanäle = Telefonie längs Hochspannungsleitungen. Eine sich im deutschen Sprachgebrauch einbürgern Bezeichnung für Trägerfrequenzkanäle längs Hochspannungsleitungen.

Leitungsabschnitt beschränken, dazu kommt noch zum Teil eine Abstrahlung, die ebenfalls die Wirkung der Sperrung verschlechtert. Bei einer Serieschaltung von Trägerfrequenz-Teilstrecken auf Hochspannungsleitungen sind deshalb jeweils für jede Teilstrecke neue Frequenzpaare zu verwenden. Fig. 2 zeigt die prinzipielle Anordnung von Trägerfrequenz-Teilstrecken in Serie geschaltet. Jede Teilstrecke ist durch Sperren, die im Leitungszuge der Hochspannungsleitung liegen, beidseitig abgegrenzt. Die Sperrung hat jedoch trotz beschränkter Sperrwirkung ihre volle Berechtigung im Falle, wo die Leitung an Erde gelegt wird und die Trägerfrequenzübertragung gleichzeitig sichergestellt bleiben soll.

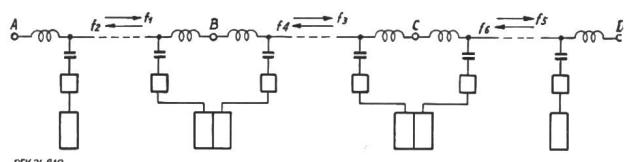


Fig. 2
Fixfrequenzsystem

Längs einer Leitung in Serie geschaltete Trägerfrequenzkanäle erfordern im nächstfolgenden Abschnitt andere Trägerfrequenzpaare

Im Gegensatz zur Trägerfrequenztechnik auf Kabeln, wo keine solchen Ausbreitungsphänomene auftreten, muss also dem Aufbau eines Nachrichtennetzes auf Hochspannungsleitungen eine Frequenz-Planung vorausgehen, ähnlich denjenigen für drahtlose Verbindungen. Jedoch bestehen für die Wiederverwendung von Frequenzen ganz unterschiedliche und glücklicherweise weniger strenge Kriterien als bei Funkverbindungen.

Diese beschränkte Wiederverwendungsmöglichkeit von Trägerfrequenzen innerhalb der vermaschten und auch international durchverbundenen Hochspannungsnetze hatte die Einführung der Einseitenbandtechnik zur Folge, deren Aufbau als bekannt vorausgesetzt werden darf. Bei dieser Technik ist die belegte Bandbreite im Trägerfrequenzbereich gleich gross wie im zu übertragenden Niederfrequenzbereich.

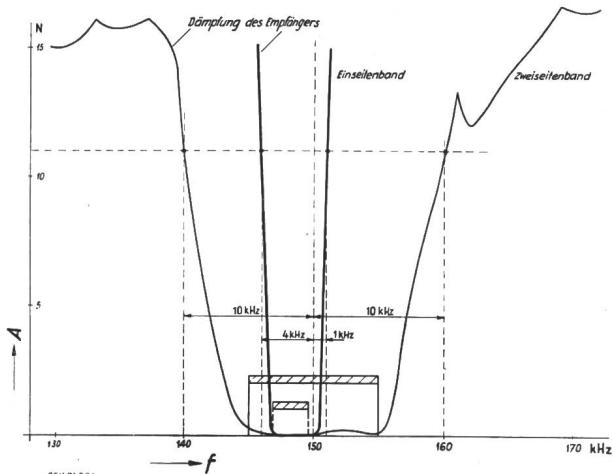


Fig. 3
Selektivität von Zweiseiten- und Einseitenbandgeräten
A Dämpfung; f Frequenz

Mit dem Übergang von Zweiseitenband- auf Einseitenbandtechnik, die in ganz Europa, auch in dichter besiedelten Überseegebieten, zu konstatieren ist, ging bei den meisten Konstrukteuren eine wesentliche Erhöhung der Selektivität parallel. Fig. 3 zeigt dies an einem Beispiel, das die Verteilungen für beide Systeme einander gegenüberstellt. Die Bandbreite wird für Einseitenbandgeräte zugleich auf 4 kHz beschränkt.

Eine weitere technische Forderung, die sich aus dem Bestreben ergab, bei der Frequenzplanung das zur Verfügung stehende Spektrum optimal auszunützen, die aber auch mit Rücksicht auf die Ankopplung an die Leitung und deren Sperrung erwünscht war, ist die, den Sende- und Empfangs-

kanal einer Verbindung direkt nebeneinander zu legen. Dabei ergeben sich außerordentlich hohe Anforderungen, nicht nur an die Selektivität, sondern besonders an die Verzerrungsfreiheit der Geräte. So beträgt beispielsweise die Sendespannung bei einer nominellen Leistung des Senders von 10 W ca. 30 V an 125Ω (was die am meisten gebräuchliche Abschlussimpedanz der Geräte darstellt). Die Empfangsspannung, die an demselben Kabel liegt, kann unter ungünstigen Verhältnissen auf wenige Millivolt sinken. Die Linearisierung der Endverstärker ist so weit zu treiben, dass auch im ungünstigsten Fall Intermodulationsprodukte, die mit ihrer Frequenz in den Empfangskanal fallen, diesen nicht stören können. Auch in diesem Punkte sind die europäischen Konstrukteure mehr und mehr in der Lage, solchen Bedingungen zu genügen, während interessanterweise in den USA gerade auf diesem Gebiet die Verfeinerung der Technik eher noch im Rückstand ist.

Für das die Qualität einer Verbindung bestimmende Verhältnis Nutz- zu Störpegel ist als Störpegel nicht, wie bei Kabelträgertelephonie, in erster Linie das Eigenrauschen der Verstärker in Kalkulation zu setzen, sondern der auf der Leitung vornehmlich durch die Koronaerscheinung erzeugte Störpegel, der durch ein Rauschen mit überlagerten kurzen Impulsen höherer Amplitude und der Repetitionsfrequenz von 300 Hz angenähert werden kann. Dazu kommen durch Betätigen von Schaltern und Trennern Schaltknacke — die allerdings nicht oft auftreten — deren Amplitude den Korona-Störpegel um ein Mehrfaches übertreffen kann. Tonfrequenzkanäle, seien sie für Wahl-, Steuerungs- oder Rückmeldungsvorgänge, müssen durch eine angepasste Verschlüsselung diesem Umstand Rechnung tragen.

Der Bedarf an Telephonikanälen zwischen zwei Punkten eines Nachrichtennetzes der EW ist und bleibt klein. Der Nachrichteninhalt ist im wesentlichen auf Durchgabe von Energieprogrammen, Kommandos und Auskünften bei Netzausfällen beschränkt. Das Personal, das mit diesen Aufgaben gleichzeitig beschäftigt ist, bleibt auch in einem grösseren Komplex von Elektrizitätswerken immer auf eine kleine Zahl beschränkt. Nur bei sehr stark ausgebauten Netzen mit einer bedeutenden Konzentration von Elektrizitätswerken längs einer Arterie lohnt es sich, auf den Hauptabschnitten 2 oder mehr parallel geführte Telephonkanäle vorzusehen.

Anderseits ist der Bedarf an Fernwirkanälen gross und nimmt ständig zu. Es bildet sich hierdurch von selbst eine Mehrkanaltechnik heraus, bei der der Löwenanteil an Kanälen aus sog. Schmalbandkanälen, meist von 120 Hz Breite oder dem Vielfachen davon (240, 360, 480 Hz) und nicht aus Telephonikanälen bestehen. Hin- und Rückweg weisen hiebei in der Regel nicht dieselbe Belegung auf. Während Regel- und Fernmesskanäle meist nur in einer Richtung verlaufen, sind Fernsteuer- und auch Rückmeldekanäle wegen der erforderlichen Übertragung von Quittierimpulsen immer bilateral. Dasselbe gilt auch für die Hochfrequenz-Kuppelung des Schnelldistanzschutzes, die immer mehr zur obligatorischen Ausrüstung wichtiger Leitungszüge wird.

Es hat sich diese spezielle Mehrkanaltechnik in Europa in zwei Richtungen entwickelt: Während in Deutschland Telephonie- und Fernwirkanäle mit Vorliebe getrennt geführt werden, d.h. über getrennte Sende- und Empfangseinrichtungen, haben die weitaus grössere Zahl der übrigen Länder der gemeinsamen Führung je eines Telephonikanales und mindestens einer Anzahl Fernwirkanäle im selben Trägergerät den Vorzug gegeben.

Vor- und Nachteile dieser verschiedenen Techniken können hier nicht erwähnt werden, bis auf einen Punkt, der die Frequenzplanung betrifft.

Die lückenlose Ausnutzung des Frequenzspektrums unter optimaler Wiederverwendung von Frequenzpaaren ist neben den erörterten technischen Vorbedingungen (Einseitenbandtechnik, nebeneinanderliegende Sende- und Empfangskanäle) auch davon abhängig, dass von vorneherein eine Einheitsteilung in Normalkanäle festgelegt wird.

Diese Einheitskanäle sind in der Schweiz auf 4 kHz Bruttobandbreite, d.h. 8 kHz für Hin- und Rückweg festgelegt worden. Obwohl mit der 4-kHz-Teilung die Normalteilung der Kabel-Trägerfrequenztelephonie übernommen wurde, steckt eine ganz andere Absicht dahinter. Während sich die Mehrkanaltechnik über Kabel zur Hauptsache auf parallelgeführten Telephonikanälen mit einer oberen Grenzfrequenz von 3,2...3,4 kHz pro Telephonkanal aufbaut, ist in der TFH-Technik die obere Grenzfrequenz der Telephon-

kanäle auf ca. 2,2 kHz beschnitten, was für Dienstgespräche noch eine sehr gute Verständigung garantiert. Das nun zur Verfügung stehende Band von 2,2...3,2 kHz bleibt für Schmalband-Fernwirkkanäle reserviert. So entsteht diese Mehrkanaltechnik im Kleinen, d. h. jeweils innerhalb 4 kHz Bandbreite.

Die Frequenzplanung hat nun keine Rücksicht mehr darauf zu nehmen, ob und wann ein Kraftwerk betrieb Telefonie- oder Fernwirkkanäle, oder beides vorsehen will. Es spielt auch keine Rolle, ob Kanäle nur mit Telefonie betrieben und später ausgebaut werden. Dies ist vor allem mit Rücksicht auf Sperren und Kopplungseinrichtungen, die ja meist fest installiert sind, sehr bedeutsam. Der spätere Ausbau von Kanälen durch Hinzunahme von Fernmess- und Fernsteuerkanälen ist nicht mehr eine trägerfrequente, sondern nur noch eine niederfrequente Angelegenheit. Es sind keine zusätzlichen Frequenzzuteilungen auf dem Konzessionsweg mehr erforderlich; nachträgliche Anpassarbeiten an die

HF-Kopplungsglieder usw. entfallen. Diese Zuteilung von Einheitskanälen mit direkt nebeneinanderliegenden Frequenzen für Sende- und Empfangskanal, die die Aufteilung des niederfrequenten Feinspektrums nicht präjudiziert, ermöglicht erst eine Planung auf weite Sicht.

In der Schweiz ist wohl das erste Mal eine solche Planung auf konsequente Weise auf Grund der 4-kHz-Teilung und nebeneinanderliegenden Kanälen an die Hand genommen worden, und zwar durch das Expertenkomitee zur Begutachtung von Konzessionsgesuchen des SEV, mit dem Resultat, dass es wohl möglich sein wird, die Zahl der in dem beschränkten Frequenzband unterzubringenden Kanäle in der Schweiz gegenüber dem heutigen Stand zu verdreifachen.

Das heutige EW-Telephonienetz der Schweiz umfasst total ca. 100 im Betrieb stehende Kanäle von zusammen 3700 km Länge, bei einem geplanten Ausbau auf rund 300 Kanäle.

Fausse manœuvre

Par Ch. Jean-Richard, Muri/Berne

621.3.014.3

Deux réseaux à 50 Hz et 50 kV ayant été le théâtre de multiples claquages à la terre, survenus simultanément à la suite d'une fausse liaison entre une phase d'un côté et de l'autre, l'auteur en indique une explication plausible.

Le 18 février 1956 à 6 h 17 deux réseaux, exploités chacun à 50 Hz et à 50 kV, ont été malencontreusement reliés sur une de leurs phases, à la suite du mouvement inachevé d'un sectionneur de couplage manœuvré à la main, et d'un arc de env. 7 cm amorcé entre le couteau et le pôle d'en face du sectionneur fautif. Aussitôt le poste de couplage a été rempli du grésillement caractéristique dû à une tension bien plus élevée que la tension de service. Un instant après, le poste est devenu silencieux, les relais l'ayant coupé de part et d'autre. De plus, dans les deux réseaux, le long des deux phases libres, de multiples arcs à la terre se sont produits, p. e. entre les bornes des éclateurs de protection de deux transformateurs de potentiel, éloignés l'un de l'autre de 30 km environ. Ces arcs, formant court-circuit, ont été déclenchés correctement.

Après examen des circonstances particulières de cette perturbation voici ce qui a dû se produire.

D'abord il est plus que plausible que les deux réseaux étaient, par hasard, à peu près en opposition de phase. D'ailleurs ils n'étaient pas synchrones. Le neutre de chaque réseau devait se trouver pratiquement au potentiel de la terre, l'un étant isolé, l'autre relié à la terre par une bobine d'extinction. Les capacités, par rapport à la terre, des trois phases de l'un et l'autre réseau ainsi que la bobine d'extinction étaient en équilibre.

Avant le jaillissement de l'arc il dut y avoir environ deux fois la tension de phase entre les points touchés de la phase en cause, soit environ 57 kV. Cette tension était suffisante pour faire jaillir l'arc sur 7 cm, pendant que le couteau s'approchait de sa position de fermeture, à une allure relativement modérée.

L'arc, jailli, a imprimé à la phase touchée le même potentiel par rapport à la terre dans les deux réseaux, ce potentiel étant différent de ceux occupés par la phase en cause dans les deux réseaux avant l'arc fatal. De ce fait, les deux phases libres dans chacun des deux réseaux, plus la bobine d'ex-

tinction ont dû chercher un nouvel équilibre. Celui-ci ne fut possible que dans la mesure où les potentiels par rapport à la terre des deux phases libres du réseau à bobine d'extinction diminuaient et ceux des deux phases libres du réseau à neutre isolé augmentaient. Il fut atteint lorsque dans le réseau à neutre isolé les deux phases libres accusaient un potentiel par rapport à la terre d'environ 90 kV, suffisant à amorcer un arc aux éclateurs de protection des deux transformateurs de potentiel, mentionnés. La phase touchée accusait alors le potentiel de 50 kV à la terre et la tension aux bornes de la bobine d'extinction a dû être de 22 kV. Cette situation s'est maintenue pendant près de 2 périodes, suivie par le claquage à la terre des deux phases libres.

Au poste de couplage, le sectionneur en cause fut enveloppé de chaque côté par un arc à la terre, provoqué par l'arc initial et les 50 kV par rapport à la terre.

Sans doute, les claquages à la terre dans le réseau à neutre isolé ont dû se répercuter dans le réseau à bobine d'extinction en y provoquant des claquages également.

Ainsi, de proche en proche, la perturbation a gagné les deux réseaux. Seuls, des déclenchements multiples ont mis fin à ce jeu dangereux.

On peut se demander ce qui se serait passé si les deux réseaux avaient été à neutre isolé. Selon ce qui précède, il est clair que l'arc initial aurait simulé une mise à la terre de la phase touchée dans les deux réseaux. Cette mise à la terre n'aurait guère eu de conséquences.

Pour terminer nous dirons, que l'analyse de cette perturbation, comme de tant d'autres, a été facilitée par l'oscillo-perturbographe de Masson Carpentier, installé à proximité du poste de couplage, du côté du réseau à neutre isolé.

Adresse de l'auteur:

Ch. Jean-Richard, ingénieur, 19, Quartierweg, Muri près Berne.