

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegraфи svizzeri |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe   |
| <b>Band:</b>        | 34 (1956)   |
| <b>Heft:</b>        | 11  |
| <b>Artikel:</b>     | Probleme der Steuerung von Schaltanlagen in Elektrizitätswerken   |
| <b>Autor:</b>       | Trachsel, F.  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-874551">https://doi.org/10.5169/seals-874551</a>   |

### 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:** 24.01.2026

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

# Probleme der Steuerung von Schaltanlagen in Elektrizitätswerken\*

Von F. Trachsel, Bern-Bümpliz

621.398.2:621.311

**Zusammenfassung.** 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 Telefonnetz als Verbindungskanal verwendete, wurde im Jahre 1929 gebaut. Es handelte sich dabei um die Fernsteuerung der BKW-Schaltstation Bickigen vom Kraftwerk Mühleberg aus<sup>1</sup>. In dieser Anlage wurden die Steuer- und Rückmeldeimpulse mit Tonfrequenz übertragen. Da die künstlich gebildeten Übertragungskanäle meistens störempfindlich sind, müssen in solchen Anlagen Sicherheitsschaltungen vorhanden sein, die allen solchen Störungseinflüssen Rechnung tragen.

Die Schaltung, welche in der erwähnten Anlage damals verwendet wurde, zeigt Figur 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 Kontaktbogen eines Schrittschalters dargestellt. Der eine dieser Bogen dient Steuer- und der andere Rückmeldezwecken. Die Steuerbogen werden immer erst an den

**Résumé.** 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.

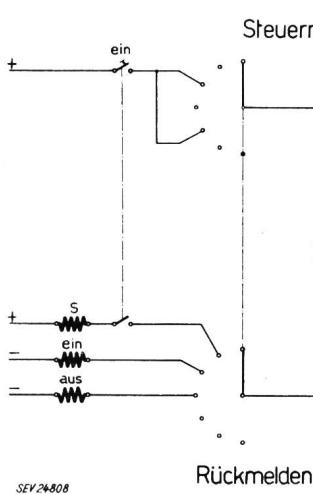
Kanal geschaltet, wenn auf der zweiten Verteilerstellung ein spezieller Schaltimpuls übermittelt wird. Die zu übermittelnden Befehle werden mit Hilfe der Schalter markiert. Die Übertragung der markierten Befehle erfolgt dann durch die beiden im Synchronlauf arbeitenden Verteiler. Treffen die Befehlsimpulse 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 Anwendung von Kombinationsschaltungen zweckmäßig. Figur 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 Kontaktdreieck kann man auf diese Weise 16 Befehle übermitteln. Sämtliche Steuerkombinationen können auf sehr einfache Art aus dem abgebildeten Kontaktdreieck abgeleitet werden. Angenommen, das Organ Nr. 8 müsse gesteuert werden, so findet man anhand des Kontaktdreieckes sofort

\* Vortrag, gehalten an der 15. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik vom 22. Juni 1956 in Olten.

<sup>1</sup> BKW = Bernische Kraftwerke AG.

Steuerstelle



Gesteuerte Stelle

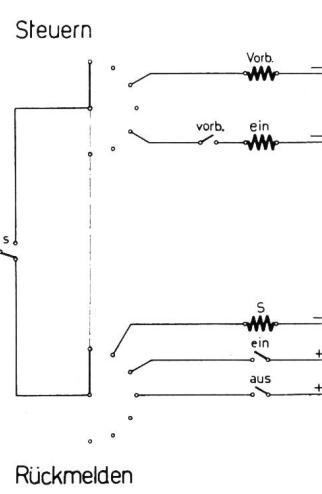


Fig. 1.  
Synchronelaufende Wähler.  
Steuerung mit Vorbereitungs- und Durchschaltimpuls. Rückmeldung mit einfachen «Ein»- und «Aus»-Impulsen. Kontrolle durch Impulszählung. *s* Kontakt des Relais S; *S* Steuer-Rückmelde-Umschaltrelais

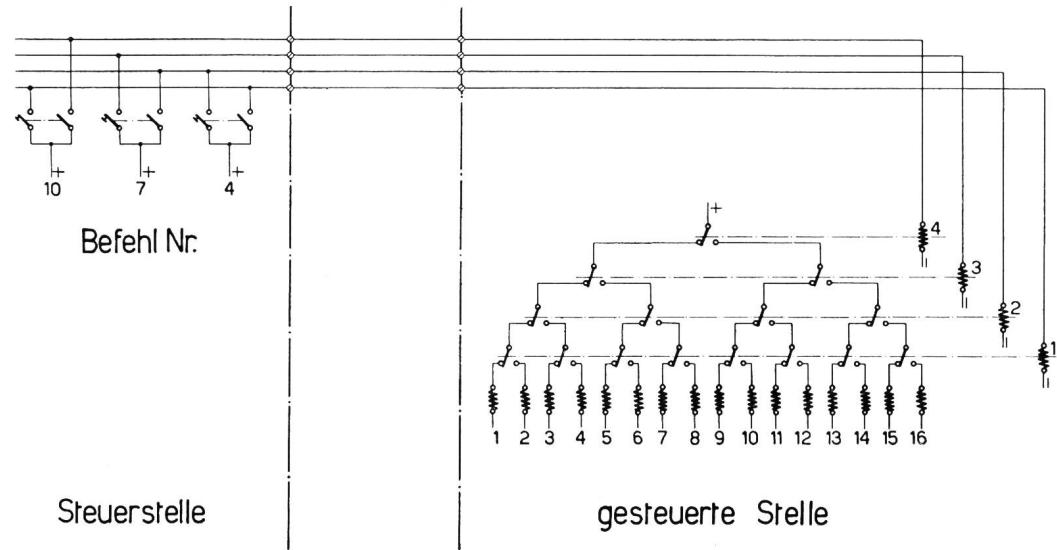


Fig. 2.

Steuerung mit Kombinationsschaltung über mehrere Adern. Anzahl Möglichkeiten = Anzahl Adern =  $2^4 = 16$  Befehle über 4 Adern

Steuerstelle

SEV 21.808

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

Figur 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 Sicherheit gegen Fehlschaltungen getan. Wohl kann man auch hier den Synchronlauf und die Impuls-länge überwachen; treffen jedoch Impulse auf fal-schen Stellungen ein, so erfolgen auch hier Fehl-schaltungen.

In Figur 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 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 auslässt. 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 durchgeschaltet werden. Mit Hilfe von Überwachungseinrichtungen hat man hier die Möglichkeit, den Synchronlauf, den Verbindungskanal und die Impulszahl zu überprüfen. Nicht überwacht ist aber die ganze Schaltungseinrichtung zur Auswertung der Kombinationen.

Da die erwähnten Überwachungseinrichtungen wieder mögliche Störungsquellen in sich schliessen, gingen die Bestrebungen dahin, ein System zu finden, welches die Anwendung solcher Kontrolleinrich-

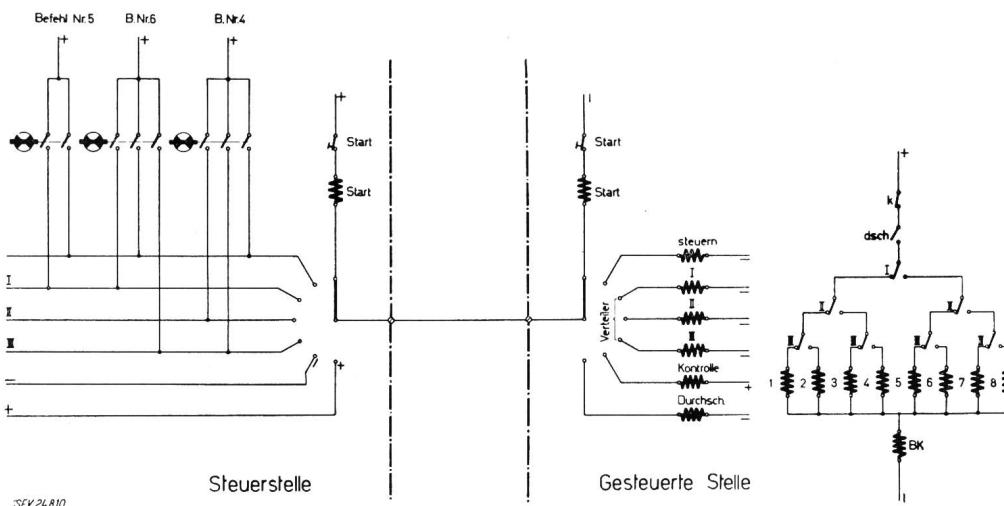


Fig. 3.

Steuerung mit Kombinations-  
schaltung in Verbindung mit  
synchron laufenden Verteilern.  
Anzahl Verteilerschritte =  $n$ ;  
Anzahl mögliche Kombinatio-  
nen =  $2^n$ ; I, II, III ... Ver-  
teilerschritte

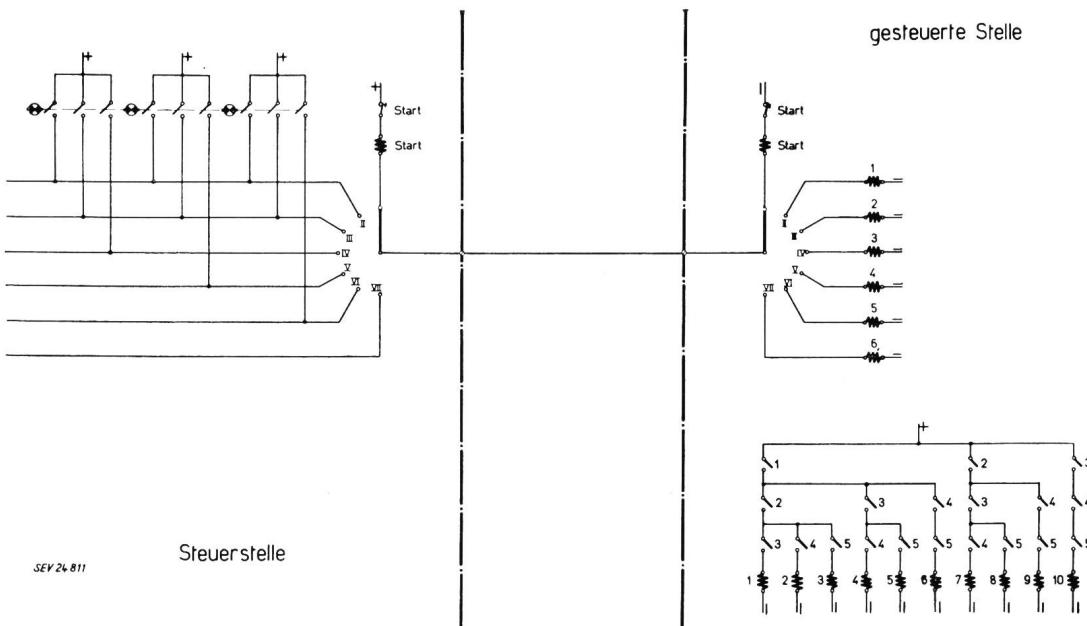


Fig. 4. Kombinationschaltung, bei der für jede Steuerung gleichviel Impulse verwendet werden. Anzahl Impulse =  $k$ ; Anzahl Ver-teilerschritte  $I, II, III \dots = n$ ; Anzahl mögliche Kombinationen =  $\binom{n}{k}$  für  $n = 5$  ( $k = 3$ )  $\binom{5}{3} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 10$

tungen unnötig macht und die Sicherung der Anlage bis zum gesteuerten Organ gestattet.

Die in Figur 5 dargestellte Schaltung arbeitet mit 2 Kontakt Dreiecken. Die zu steuernden Organe sind zwischen die beiden Kontakt Dreiecke geschaltet. 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. Die in der Figur für 8 Befehle dargestellte Schaltung darf deshalb ohne weitere Kontrolleinrichtun-

gen verwendet werden. Jede Verschiebung in der Lage der Steuerimpulse, verursacht durch Störeinflüsse auf dem Kanal, Asynchronlauf der Verteiler usw., muss sich schliesslich auf die Kontakt Dreiecke auswirken. Wegen der Nichtübereinstimmung beider Befehlstromkreise 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 Kontakt-

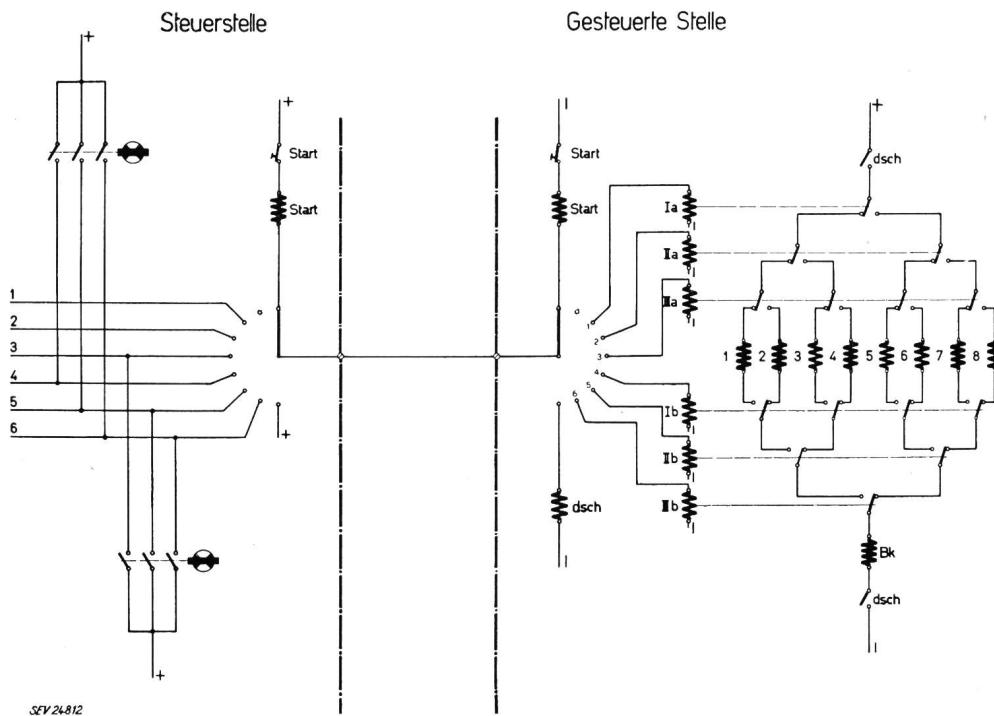
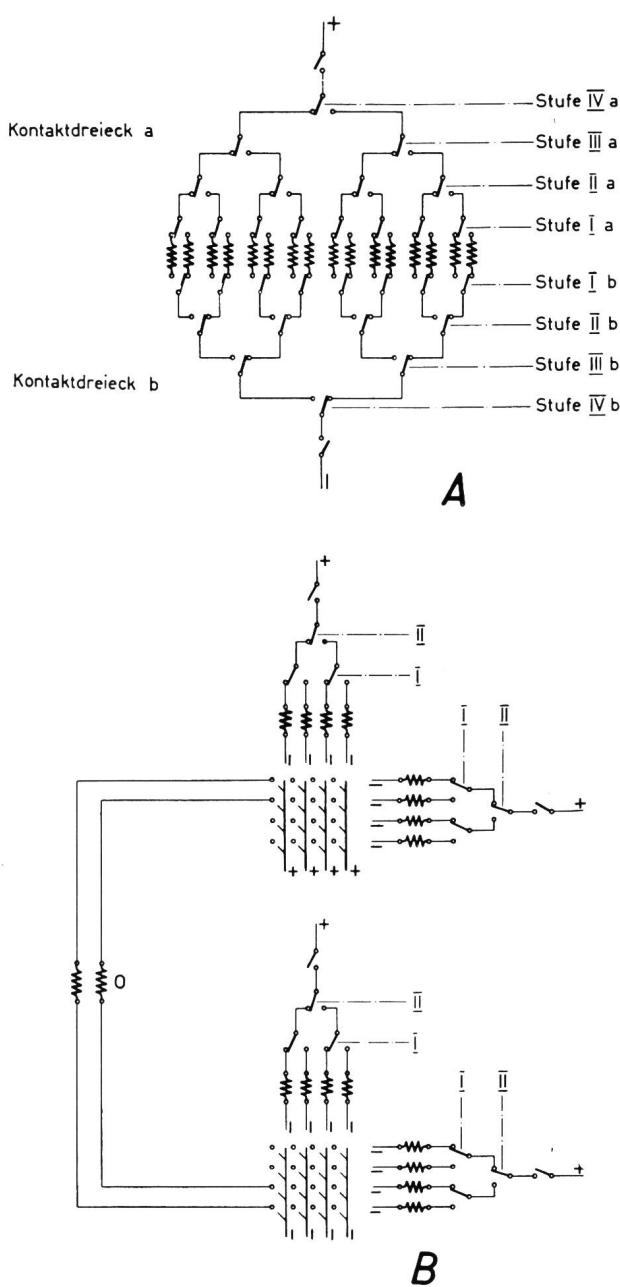


Fig. 5.  
Steuerung mit Komplementärkom-binationen. Anzahl Steuerimpulse bleibt für alle Befehle gleich. Ver-teilerschritte =  $n$ ; Anzahl Mög-lichkeiten =  $2^{\frac{n}{2}}$  dsch Durchschalt-relais



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:

$$\begin{aligned} & 2(2^n - 1) \\ & \text{Für dargestelltes Beispiel } n = 4 \\ & 2(2^4 - 1) = 30 \text{ Kontakte} \end{aligned}$$

$$\text{Anzahl Steuermöglichkeiten: } 2^n = 2^4 = 16$$

*B mit Kreuzwählern*

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

Zerlegung der Stufenzahl  $n$  in  $a$  und  $b$ für  $n = 4 \quad a = z. B. 2 \quad b = 2$ 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

dreiecke 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 Befehlstromkreis 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.

In Figur 6 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 hauptsächlich in grossen Anlagen aus.

Zur Orientierung sei kurz erwähnt, dass heute schon Kreuzwähler gebaut werden, welche bis 8000 Kreuzpunktkontakte aufweisen. Die der Figur 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 Kontaktdreiecke und des Wählers selber, so kann zur Steuerung des Kreuzwählers wieder eine Schaltung mit konstanter Impulszahl verwendet

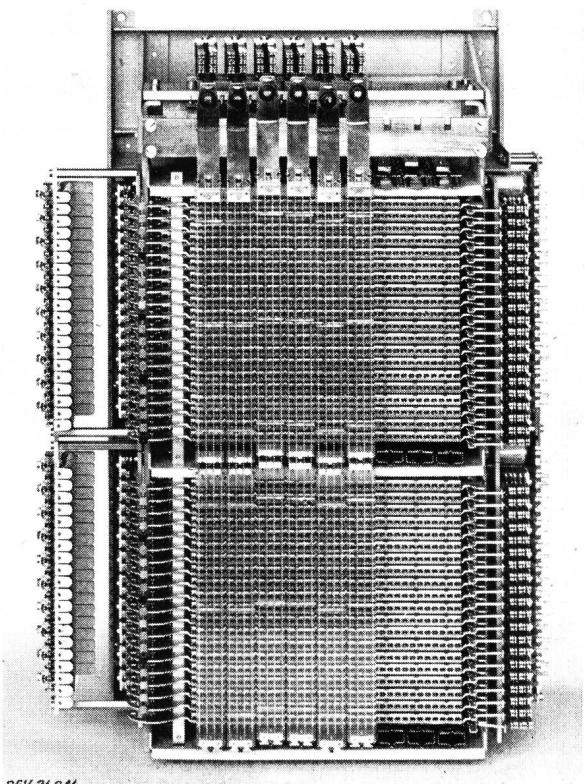


Fig. 7. Kreuzwähler mit 40 Quer- und 6 Längsgliedern

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.

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 Schritthalter durch Relaisketten abgelöst (Fig. 8). Die Steuerung dieser Ketten erfolgt durch einen Pendelkontaktgeber, in der Folge kurz Pendel genannt. Dieses Pendel wird im Ruhezustand auf der einen Seite festgehalten und erst mit dem Anlassimpuls freigegeben. Nach der Freigabe kann das Pendel unabhängig von jeder Spannung frei

angehalten 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 Figur 9a dargestellten Schaltung. Hier hat man für die Rückmeldung Verbindungsleitungen zur Verfügung. Werden dagegen, wie in Figur 9b, für die Übermittlung der Rückmeldungen synchronlaufende

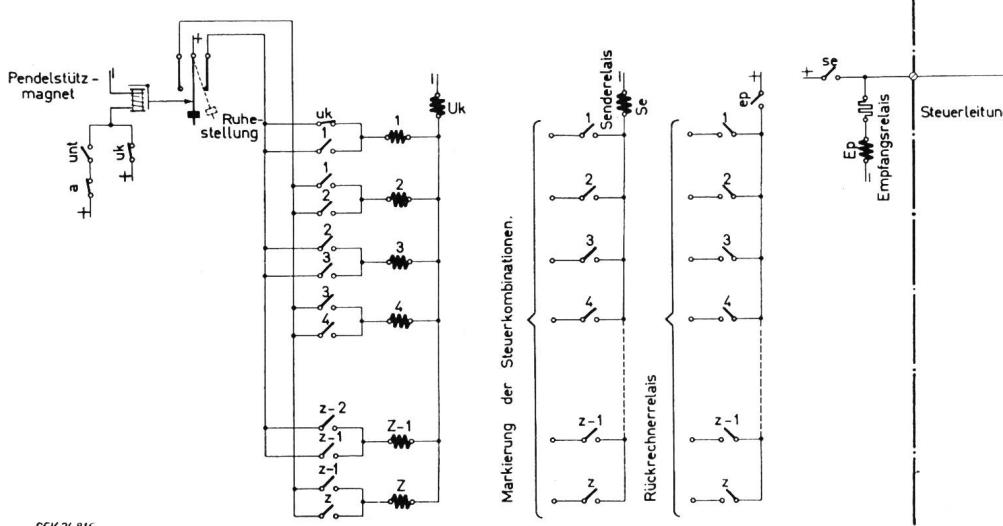


Fig. 8.  
Relaiskette als Impulsverteiler

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

Teile verwendet, so müssen die übertragenen Meldungen festgehalten werden. Diese Anordnung hat den Nachteil, dass bei Nichteintreffen der 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 während eines einzigen Melderundlaufs. Diese Bedingung ergibt sich

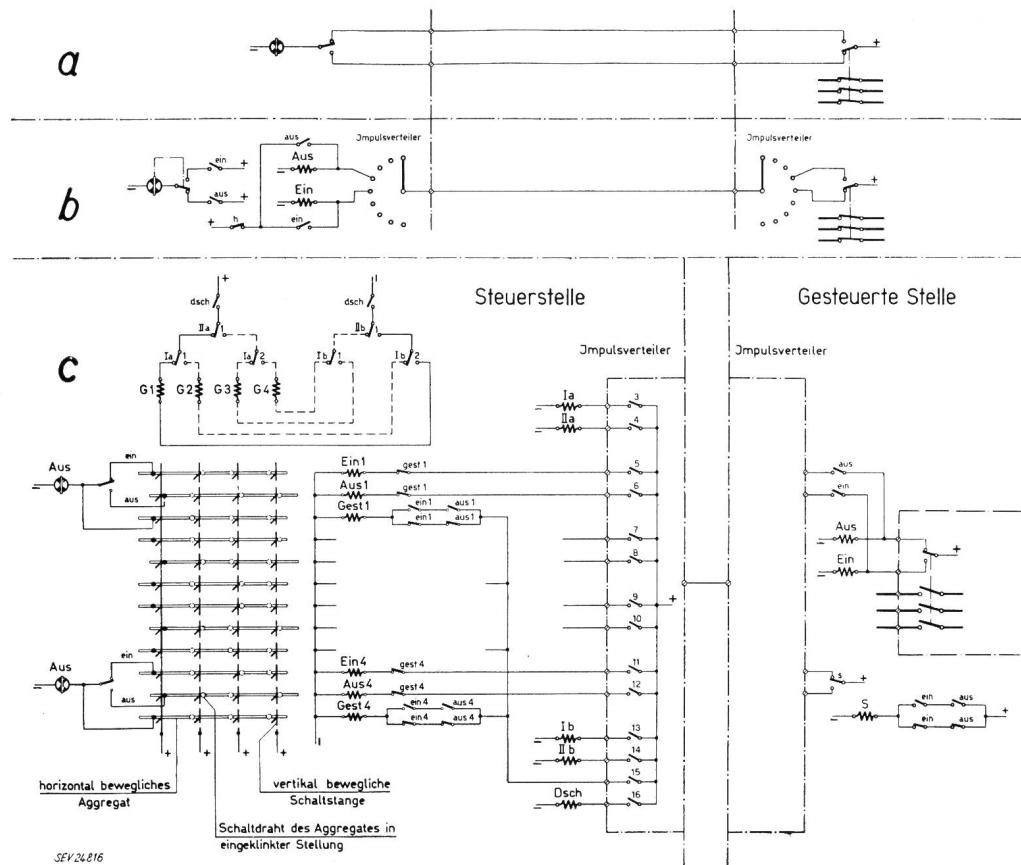


Fig. 9.  
Schalterstellungsrückmeldung.  
Bezeichnungen siehe im Text

aus der Tatsache, dass bei Einzelmeldung eine Lösung erst möglich wäre, sobald ausgeschieden ist, was rückgemeldet wird, bei Nichteintreffen einer Meldung also überhaupt nie. Alle diese Gründe führten zur Anwendung der in Figur 9c dargestellten Methode. Da namentlich in grösseren Anlagen die Übermittlung des Schaltzustandes nicht in einem einzigen Rundlauf erfolgen kann, wird hier während eines Rundlaufs der Zustand ganzer Gruppen von Organen übermittelt. 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. in einer Transformatorengruppe mehrere Veränderungen gleichzeitig stattfinden, diese auch alle innerhalb eines einzigen Melderundlaufs 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 Ausschei-

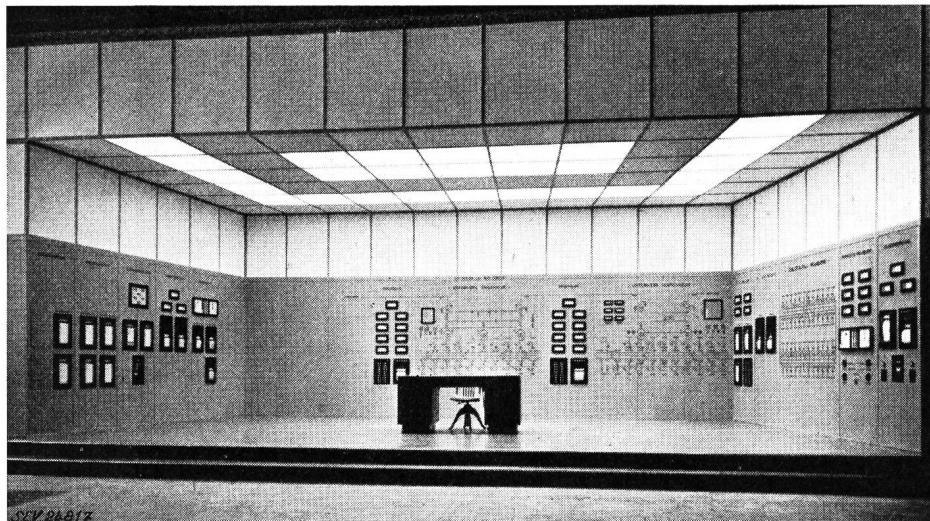


Fig. 10.  
Kommandoraum Monbijou des Elektrizitätswerkes Bern. Von diesem Kommandoraum aus werden zwei Unterstationen fern- und eine Unterstation lokal gesteuert

dung der Steuerbefehle, wogegen die Stellungen der überwachten Organe möglichst direkt vom Schalterhilfskontakt aus mit Einzelimpulsen übertragen werden. 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 Verfassers:** F. Trachsel, Ingenieur, technischer Direktor der Gfeller AG., Bern-Bümpliz.

### Diskussionsbeitrag

Dr. A. de Quervain, Ingenieur der AG. 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-Kanäle<sup>1</sup> die eigentlichen Nervenbahnen der Nachrichtentechnik darstellen. Es sollen hierbei nach einer ganz kurzen Repetition altbekannter Probleme in bezug auf die Möglichkeit, die Hochspannungsleitung als Übertragungsleitung 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 zirka 0,5...1 N für die Einkopplungsverluste beidseitig kommt.

Die Hochspannungsleitung stellt damit einen dämpfungsmässig gegenüber dem Telephonkabel sehr günstigen Ausbreitungsweg dar. Dafür haftet dieser Übertragungsart eine spezifische Schwäche an, die sich auf die Konstruktion der zugehörigen Geräte und deren Einsatz tiefgreifend ausgewirkt hat.

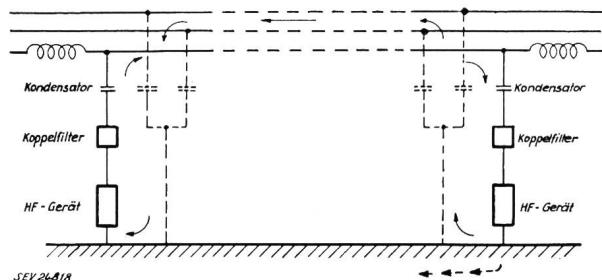


Fig. 1. HF-Übertragungsvorgang bei Einphasenkopplung  
Die nicht eingekoppelten Leiter sind über die Streukapazität Leiter-Erde an der Rückleitung beteiligt

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, das heisst Kraftwerke, Unterwerke, Kommandozentralen liegen an den Endpunkten bzw. Knotenpunkten dieser Netze. Die Nachrichtenkanäle sind somit meist nur über Teilabschnitte dieser Leitungen geführt.

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

<sup>1</sup> TFH-Kanäle = Telephonie längs Hochspannungsleitungen. Eine sich im deutschen Sprachgebrauch einbürgende Bezeichnung für Trägerfrequenzkanäle längs Hochspannungsleitungen.

Sperre hat jedoch trotz beschränkter Sperrwirkung ihre volle Berechtigung im Falle, wo die Leitung an Erde gelegt wird und die Trägerfrequenzübertragung gleichzeitig sichergestellt bleiben soll.

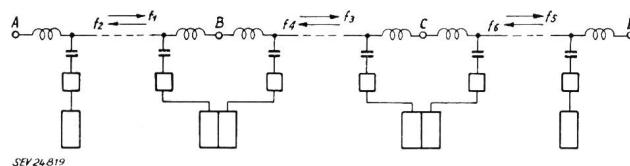


Fig. 2. Fixfrequenzsystem

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 derjenigen 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. 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 Verhältnisse für beide Systeme einander gegenüberstellt. Die Bandbreite wird für Einseitenbandgeräte zugleich auf 4 kHz beschränkt.

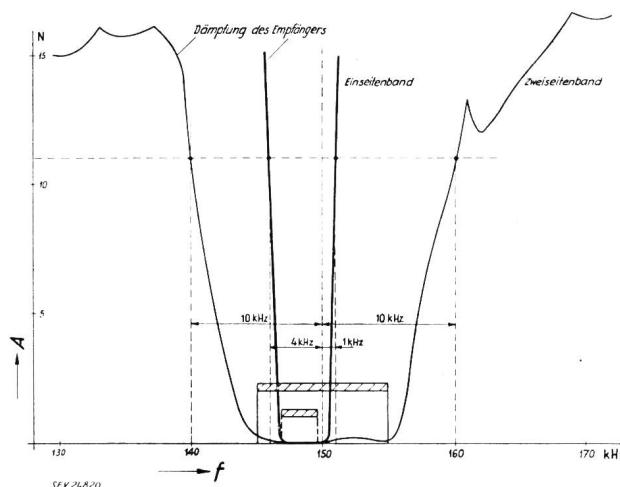


Fig. 3. Selektivität von Zweiseiten- und Einseitenbandgeräten  
A Dämpfung; f Frequenz

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 Empfangskanal 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 zirka 30 V an 125 Ω (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 zwei oder mehr parallel geführte Telephonkanäle vorzusehen.

Anderseits ist der Bedarf an Fernwirkskanälen gross und nimmt ständig zu. Es bildet sich hierdurch von selbst eine Mehrkanaltechnik heraus, bei der der Löwenanteil an Kanälen aus sogenannten Schmalbandkanälen, meist von 120 Hz Breite oder dem Vielfachen hiervon (240, 360, 480 Hz) und nicht aus Telephonikanälen bestehen. Hin- und Rückweg weisen hierbei 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 Hochfrequenzkopplung des Schneldistanzschutzes, die immer mehr zur obligatorischen Ausrüstung wichtiger Leitungszüge wird.

Es hat sich diese spezielle Mehrkanaltechnik in Europa in zwei Richtungen entwickelt: Während in Deutschland Telephon- und Fernwirkskanäle mit Vorliebe getrennt geführt werden, das heißt über getrennte Sende- und Empfangseinrichtungen, hat die weitaus grössere Zahl der übrigen Länder der gemeinsamen Führung je eines Telephonikanals und mindestens einer Anzahl Fernwirkskanäle 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 Ausnützung des Frequenzspektrums unter optimaler Wiederverwendung von Frequenzpaaren ist neben den erörterten technischen Vorbedingungen (Einseitenbandtechnik, nebeneinanderliegende Sende- und Empfangskanäle) auch davon abhängig, dass von vornherein eine Einheitsteilung in Normalkanälen festgelegt wird.

Diese Einheitskanäle sind in der Schweiz auf 4 kHz Bruttobandbreite, das heißt 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 Mehrkanal-

technik über Kabel zur Hauptsache auf parallel geführten Telefonikanälen mit einer oberen Grenzfrequenz von 3,2...3,4 kHz pro Telephonkanal aufbaut, ist in der TFH-Technik die obere Grenzfrequenz der Telephonkanäle auf zirka 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, das heisst 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 Telephonie 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 träge-frequente, 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-kHh-Teilung und neben-einanderliegenden 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 zirka 100 im Betrieb stehende Kanäle von zusammen 3700 km Länge; bei einem geplanten Ausbau auf rund 300 Kanäle.

## Considérations sur l'exploitation téléphonique

Par A. Langenberger, Berne

654.15

Fait curieux, les expressions «service d'exploitation» ou «exploitation» prêtent toujours à confusion au sein de notre administration. Pour les uns, ces termes sont les synonymes de «service manuel», c'est-à-dire du service de commutation assuré par des téléphonistes; pour les autres, ils représentent en bloc les «directions des téléphones» par opposition à la «direction générale» laquelle, en règle générale, ne traite pas directement avec les abonnés. Ces différentes interprétations pouvaient être admises il y a une vingtaine d'années; aujourd'hui, elles prêtent à confusion et il convient de mettre les choses au point pour éviter les malentendus.

La «division des téléphones et des télégraphes» de la direction générale des PTT possède une organisation propre qui est adaptée aux circonstances; elle a été réaménagée à fin 1955 quand les services technique et de l'exploitation de la télévision lui ont été confiés. En plus de ses tâches de direction et de coordination proprement dites, elle traite toutes les questions relatives à la planification et à la normalisation; elle élabore et tient à jour les instructions générales et les prescriptions de service, construit le réseau des câbles interurbains, les stations de radiodiffusion, de radiotéléphonie et de télévision (qu'elle exploite), ainsi que les centraux téléphoniques et télégraphiques; elle passe elle-même toutes les commandes en matériel technique auprès de ses fournisseurs et tient du matériel normalisé en magasin; elle traite et coordonne les affaires de personnel des directions des téléphones et des services extérieurs; au nom de la direction générale (qui fait partie de l'administration générale de la Confédération suisse), elle traite toutes les questions de télécommunications internationales, directement avec les administrations étrangères intéressées en ce qui concerne les télécommunications par fil et la radiotéléphonie, d'une part, et avec la

Radio-Suisse pour ce qui a trait à la radiotélégraphie internationale, d'autre part.

Les relations avec les autorités cantonales et locales, avec les abonnés et autres usagers, sont confiées aux directions des téléphones, qui contrôlent la construction des réseaux locaux et ruraux, et assurent les services téléphoniques et télégraphiques, c'est-à-dire l'exploitation des réseaux et des installations de centraux et d'abonnés.

A cet effet, le territoire suisse a été divisé en 17 circonscriptions, chacune d'elles étant attribuée à une direction des téléphones distincte.

L'organisation générale de chacune des directions des téléphones est la même. Elle comprend les quatre services suivants:

1. administration
2. construction
3. télégraphe
4. exploitation.

Le service d'administration (appelé aussi service administratif) est chargé de traiter toutes les affaires de personnel de la direction et, le cas échéant, de sa succursale ainsi que celles qui relèvent des dicastères des abonnements, de la caisse et de la comptabilité et de l'administration générale.

Le service de construction établit les lignes pour le raccordement des abonnés à leurs centraux respectifs, les artères aériennes, et pose les câbles locaux et ruraux.

Le service du télégraphe assure l'exploitation télégraphique et certains travaux administratifs spéciaux.

Passons maintenant au service d'exploitation téléphonique. Voyons d'abord ce que l'on entend par exploiter. Dans le cas qui nous occupe, ce terme peut être remplacé par celui de «gérer», c'est-à-dire maintenir les installations techniques à la hauteur des