

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 25 (1947)

**Heft:** 3

**Artikel:** Die Grundlage der Trägerstrom-Telephonie [Fortsetzung und Schluss]

**Autor:** Jacot, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875745>

### **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:** 30.04.2026

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

## Die Grundlagen der Trägerstrom-Telephonie

Von H. Jacot, Bern

(Fortsetzung und Schluss)

621.395.44

Ersetzt man die vier Zweige eines Kreuzgliedes durch Quarzkristalle, so ist der Abstand zwischen den Serie- und Parallelresonanzfrequenzen verhältnis-

eine Induktivität in Serie zum Kristall schaltet; dadurch vergrössert man aber den effektiven Widerstand wieder und geht des durch die Verwendung von Kristallen erwarteten Gewinnes verlustig. *W. P. Mason* hat festgestellt, dass diese Selbstinduktivitäten ausserhalb der vier Zweige gesetzt werden können, so dass ihr Widerstand demjenigen der Abschlussglieder hinzugefügt wird, was aber nur zur Folge hat, dass die Dämpfung bei allen Frequenzen vergrössert wird, die Form der Dämpfungskurve erleidet dabei keine Veränderung. Die Fig. 18 veranschaulicht den Vorgang und zeigt die Dämpfungskurve in ihrer Beziehung zur Frequenz eines derartigen Filtergliedes. Der Durchlassbereich erstreckt sich zwischen den entsprechenden Punkten  $f_{R1}$  und  $2$  der Reaktanzkurven. Der Abstand zwischen den Kreuzungspunkten  $I_1$  und  $I_2$  der Reaktanzen und den Punkten  $f_{R1}$  und  $2$  bestimmt die Steilheit der Dämpfungskurve. Durch die richtige Wahl der Werte der verschiedenen Elemente, aus denen das Filter besteht, erreicht man, dass diese Kreuzungspunkte sehr nahe an die Grenzfrequenzen des Durchlassbereiches kommen, wodurch die Dämpfungskurve sehr steil und dementsprechend die Trennung sehr scharf wird. In seiner endgültigen Ausführung hat ein Bandpassfilter die nachstehend beschriebene Zusammensetzung (Fig. 19).

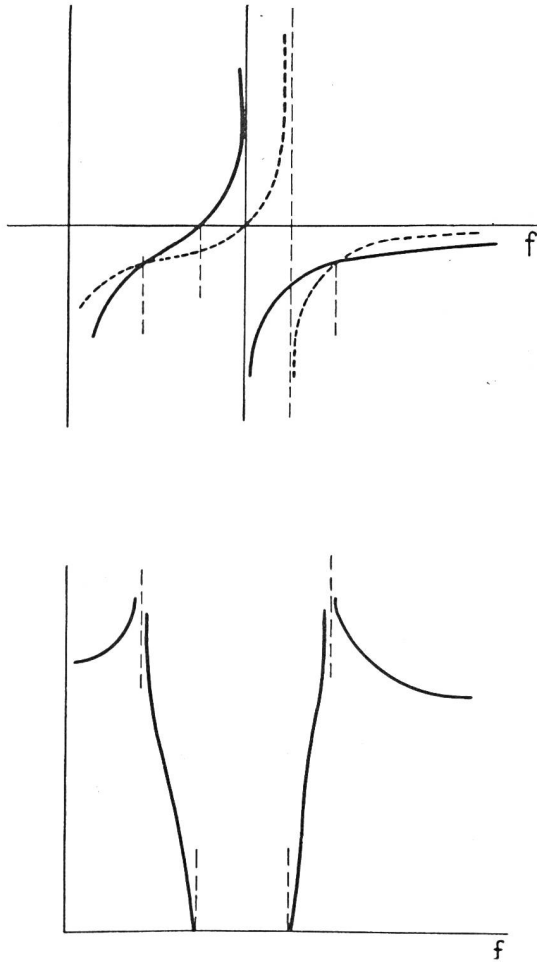
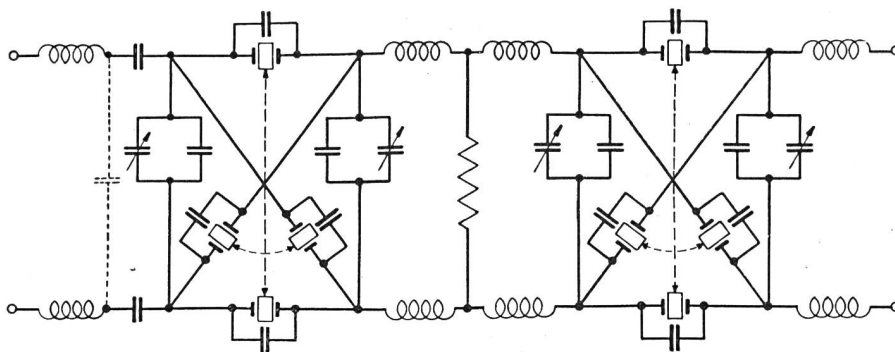


Fig. 18.

mässig klein, so dass der Durchlassbereich bei 60 kHz eine Breite von höchstens 480 Hz haben würde. Man kann den Durchlassbereich verbreitern, indem man

Jedes Kristallfilter besteht aus vier Kristallen für die quer- und in seriegeschalteten Zweige. Da der Kristall nichts anderes ist als ein elektromechanisches System, kann man je zwei Kristall-Lamellen durch eine einzige ersetzen, die mit zwei Paar Elektroden versehen ist, wobei der mechanische Teil gemeinschaftlich ist, während die elektrischen Teile voneinander getrennt sind; die beiden Kristallpartien schwingen somit im Gleichtakt. Dies erleichtert die Handhabung und das Einstellen und verbilligt die Fabrikation. Die Hauptoberfläche des Kristalles ist mit einer dünnen, in der Längsrichtung unterteilten Silber- oder Aluminiumschicht überzogen, damit die beiden Kristalle in elektrischer Beziehung voneinan-



cristaux couplés  
mécaniquement  
mechanisch  
gekoppelte Kristalle



Fig. 19.

der unabhängig bleiben. Je nach der Frequenz des Trägerstromes der Leitung haben die Kristalle eine Länge von 24 bis 42 mm und eine Dicke von 1,1 bis 0,63 mm. Der Kristall selbst ist in einem Halter aus isolierendem Material gelagert. Der Temperaturkoeffizient beträgt ungefähr  $\frac{1}{4000}$  für jedes Grad Celsius und die Resonanzfrequenz variiert nach ihrer Einstellung nicht mehr als um 1 bis 2 Perioden. Durch Schnitte besonderer Orientierung kann auf leichte Art eine grössere Präzision erreicht werden. Die Selbstinduktivitäten sind paarweise abgeglichen; sie sind besonders stabil und ihr Volumen ist, dank der Verwendung von Kernen von besonderer Zusammensetzung, sehr klein. Auch die festen Kondensatoren sind von besonderer Bauart und sehr stabil. Die vier kleinen, regulierbaren Luftkondensatoren dienen zur genauen Einstellung der Kapazitäten des Filters. Um die Elemente des

und die Beständigkeit der durch die Oszillatoren erzeugten Frequenzen sehr gross sein muss; für eine Trägerfrequenz von 60 kHz sollte die Frequenz nicht um mehr als  $\frac{5}{100\,000}$  variieren.

Die Frequenz der Oszillatoren muss infolgedessen vollständig unabhängig sein von den Schwankungen der Speisespannungen und der Verstärkerröhren. Diese Unabhängigkeit kann allenfalls leicht erreicht werden, doch bleiben die den Resonanzkreisen anhaftenden Fehler und die durch die Temperaturschwankungen in den Elementen verursachten Veränderungen bestehen. Für die Trägerfrequenz-Systeme, die für den Betrieb über Kabelleitungen bestimmt sind, benötigt man eine grosse Zahl von Oszillatoren. Die Frequenzen dieser Trägerströme werden im allgemeinen so gewählt, dass sie in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, so dass sie alle auf

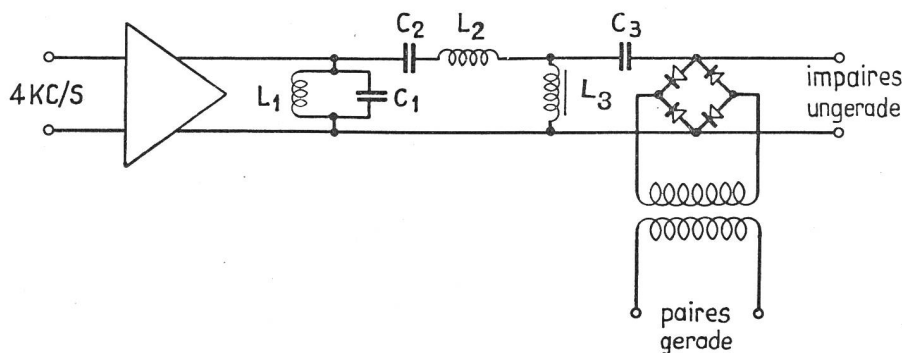


Fig. 20.

Filters gegen Feuchtigkeit zu schützen, werden sie in einem Gehäuse hermetisch abgeschlossen.

Die Kristallfilter finden im Trägerstrom-System Typ K als Bandpassfilter der Modulatoren und Demodulatoren der Uebermittlungskanäle Verwendung, ebenso in der Speiseausrüstung der Trägerströme für die Aussiebung der Träger- und Pilotfrequenzen. Da die Filter der Gruppen-Modulatoren und -Demodulatoren Tiefpassfilter sind, benützt man nur gewöhnliche, mit Induktivitäten und Kapazitäten ausgerüstete Filter. Dank der Kristallfilter kann der für die Ausrüstung benötigte Raum noch weiter reduziert werden.

#### Generatoren für Trägerströme

Die für die Modulation und Demodulation benötigten Trägerströme verschiedener Frequenz können durch ebensoviele Oszillatoren erzeugt werden, deren Frequenzen jedoch sehr konstant und genau sein müssen, da die Trägerströme nicht auf die Leitung gesandt, sondern jeder Endausrüstung beigelegt werden. Für eine gute Uebermittlung der Sprache kann höchstens ein Unterschied von 20 Hz zwischen der Ausgangs- und der Eingangs-Trägerfrequenz zugelassen werden. Wird jedoch die Leitung für den Fernschreiberdienst benützt, so muss der Unterschied noch kleiner sein. Dies bedeutet also, dass die Genauigkeit

die als Basis dienende Grundharmonische zurückgeführt werden können. Im Falle eines Systems von 12 Kanälen beträgt der Unterschied zwischen den verschiedenen Trägerfrequenzen 4 kHz, so dass diese Frequenzen von den Harmonischen einer Grundfrequenz von 4 kHz abgeleitet werden können, vorausgesetzt, dass der Hauptoszillator eine Spannung erzeugt, die alle diese Harmonischen enthält. Es genügt für diesen Zweck, dass der vom Oszillator ausgehende Strom eine sehr grosse Verzerrung aufweist, denn je nach dem System, muss man bis über die 30. Harmonische verfügen können, was einer Frequenz von 120 kHz entspricht. Bei diesem Vorgang genügt es, wenn der Hauptoszillator (4 kHz) eine absolut konstante und genaue Frequenz liefert, denn die davon abgeleiteten Harmonischen werden zu der Grundfrequenz stets im gleichen Verhältnis stehen. Die Genauigkeit der Frequenz des Hauptoszillators kann durch die Synchronisierung mit einem Quarzkristall-Oszillator höherer Frequenz (z. B. 60 kHz) erreicht werden, der den Hauptoszillator mitzieht. Es ist bedeutend leichter, Quarz-Oszillatoren für eine höhere Frequenz herzustellen, und wenn gewisse Vorsichtsmassnahmen beobachtet werden, so kann man eine sehr grosse Stabilität und Genauigkeit erreichen. Diese Methode wird zum Beispiel in einem von der Firma Siemens konstruierten 12-Kanal-Trägerstromsystem

verwendet, das allgemein unter der Bezeichnung U-System bekannt ist. Beim ursprünglichen K-System der Western benützt man einen Hauptoszillator mit einer Frequenz von 4 kHz, dessen Resonanzkreis entweder aus einer Stimmgabel mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten, oder aus einer Quarzlamelle besteht.

Die Verzerrung der Ausgangsspannung des Hauptoszillators erhält man mittels einer Induktivität, deren magnetischer Kern gesättigt ist. Diese nicht-lineare, gesättigte Induktivität erzeugt alle ungeraden Harmonischen von 4 kHz. Das Prinzip des Stromkreises ist in Figur 20 dargestellt.

Der vom Hauptoszillator kommende Strom von einer Frequenz von 4 kHz wird in einem besonderen Verstärker verstärkt, um am Ausgang eine genügende Leistung zu erhalten. Die parallel- ( $L_1$  und  $C_1$ ) und in Serie- ( $L_2$  und  $C_2$ ) geschalteten Resonanzkreise halten die Harmonischen von der Grundfrequenz ab, damit der an die gesättigte Spule  $L_3$  angelegte Strom ein reiner Sinusstrom sei. Diese Spule hat einen sehr kleinen Kern (gewöhnlich aus Permalloy) und die Ströme, die sie durchfliessen, haben eine solche Amplitude, dass der Kern für den grössten Teil der Periode gesättigt ist. Wenn der Kern nicht gesättigt ist, so hat die Spule eine vergleichsweise hohe Induktivität, die jedoch zu einem sehr kleinen Wert herabsinkt, sobald der Kern gesättigt ist, wodurch wir ein Element besitzen, das eine nicht-lineare Kennlinie aufweist. Die Nicht-Linearität, wie auch der Entladestromkreis haben zur Folge, dass eine äusserst spitze Kurvenform erzeugt wird. Figur 21a zeigt die Form der Welle am Eingang, Figur 21b diejenige am Ausgang. Die Schwingungsform der Figur 21b ist reich an ungeraden Harmonischen und man hat gefunden, dass ihre Amplituden sehr wenig voneinander abweichen. So beträgt z. B. die Abweichung der Amplitude der 17. Harmonischen gegenüber der 27. nur ungefähr 0,2 Neper. Um die geraden Harmonischen zu erhalten, benützt man eine Gleichrichterbrücke; die Form der Welle am Ausgang ist in Figur 21c dargestellt.

Die geraden und ungeraden Harmonischen werden am Ausgang mittels sehr enger Bandpassfilter getrennt. Je nach Bedarf werden einzelne dieser Harmonischen noch verstärkt, wie dies beim K-System für 120 kHz (30. Harmonische) der Fall ist, und für 8 kHz beim U-System. Diese zwei Frequenzen werden für die Gruppen- und die Vormodulation benützt.

Im K-System benötigt man die Frequenzen von 64 bis 108 kHz (16. bis 27. Harmonische) und von 120 kHz. Jede Frequenz kann ohne Zusatzverstärker 12 Systeme zu 12 Kanälen speisen, mit einem Zusatzverstärker 48 Systeme. Die Bandpassfilter der Trägerfrequenzen sind Quarzkristall-Filter.

Im U-System werden die Frequenzen von 20 bis 64 kHz (5. bis 16. Harmonische) benötigt; die Frequenz der Vormodulation von 8 kHz wird von einem Spezialoszillator erzeugt, der mit der Grundfrequenz

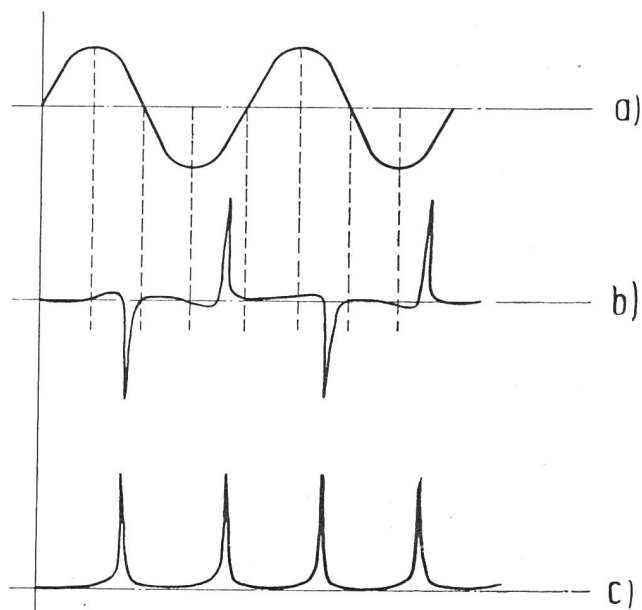


Fig. 21.

(4 kHz) synchronisiert wird. Die verschiedenen Frequenzen sind ebenfalls durch gewöhnliche, aus Induktivitäten und Kapazitäten bestehende Filter getrennt. Es können maximal drei Systeme auf diese Art gespeisen werden. Für das 4. bis 20. System fügt man für jede Trägerfrequenz einen mit der entsprechenden Harmonischen synchronisierten Oszillator hinzu. Die Trägerfrequenz der Vormodulation (8 kHz) wird durch einen eigenen Verstärker verstärkt.

Die verschiedenen Trägerfrequenzen werden zu Sammelschienen geführt, von wo sie über Schutzwiderstände zu jedem Modulator oder Demodulator gehen. Die Schutzwiderstände sollen verhindern, dass im Falle eines Kurzschlusses in einem System nicht auch alle anderen Systeme ausser Betrieb gesetzt werden.

Da das Funktionieren der Systeme durch eine Unterbrechung der Trägerstromspeisung gestört wird, erstellt man diese Stromkreise gewöhnlich doppelt und versieht sie mit einer automatischen Umschaltung. Die Umschaltorgane variieren je nach System; da diese mit dem Prinzip der Trägerstrom-Systeme nichts zu tun haben, verzichten wir darauf, sie hier zu beschreiben.

#### Leitungsverstärker, Gegenkopplung

Alle Trägerstromkanäle werden gleichzeitig auf der gleichen Leitung übertragen; sie besetzen ein viel breiteres Frequenzband als die gewöhnliche Telephonie. Die auf der Leitung verteilten Verstärker sollen imstande sein, dieses Band zu verstärken. Man nennt sie deshalb oft auch «Breitbandverstärker». Die Verstärkung soll ziemlich hoch (5...7 Neper) und sehr konstant sein, während der Pegel der Harmonischen sehr tief sein soll; letzteres ist äusserst wichtig. Wenn man die einzelnen Kanäle frequenzmässig nebeneinanderlegt, so muss man darauf achten, dass die

Harmonischen des einen Kanals nicht in den eines andern fallen. Wenn zum Beispiel unterwegs Harmonische entstehen, so folgen diese dem gleichen Weg wie die Kanäle, in deren Frequenz sie fallen und gelangen schliesslich zum Teilnehmer, wo sie als Nebensprechen wahrgenommen werden. Es ist der Entwicklung der Verstärker mit Gegenkopplung zu verdanken, dass sich die Mehrfachtelefonie in den letzten Jahren in diesem Ausmass entwickeln konnte. Dank diesem Prinzip können Verstärker gebaut werden, die in bezug auf Stabilität und schwacher, nicht-linearer Verzerrung alle erforderlichen Bedingungen erfüllen. Das Prinzip der Gegenkopplung und ihre Anwendung wurden vom Amerikaner *Black* verwirklicht.

Im allgemeinen versteht man unter dem Ausdruck «Rückkopplung» das Zurückführen eines Teiles der Ausgangsenergie eines Verstärkers an dessen Eingang. Die Rückkopplung ist eine bekannte Erscheinung, die die Charakteristik eines Verstärkers wesentlich ändert. Sie wird zum Beispiel hervorgerufen durch die Kopplung über die Speisequellen der Verstärkerröhren oder durch kapazitive oder induktive Kopplungen. Diese Rückkopplungen sind störend und man muss sie unterdrücken. Die Rückkopplung kann die durch den Verstärker hervorgerufene Verstärkung entweder vergrössern oder vermindern, je nachdem die zu den Eingangsklemmen zurückgeführte Spannung mit der Eingangsspannung in Phase steht oder nicht. Im ersten Falle hat man eine eigentliche «Rückkopplung», wie in einem Oszillator oder einem Zweidrahtverstärker der pfeift. Man nennt sie auch «positive Rückkopplung». Im zweiten Falle hat man es mit einer «Gegenkopplung» oder «negativen Rückkopplung» zu tun.

Ein Verstärker mit Gegenkopplung stellt sich im Prinzip wie folgt dar (Fig. 22):

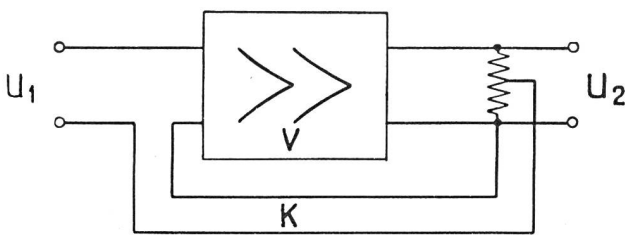


Fig. 22.

Bedeutet  $v$  die Verstärkung und  $k$  den Teil der Ausgangsspannung, die zum Eingang zurückgeführt wird (wobei  $k$  auch als die Dämpfung eines zwischen Verstärkerausgang und -eingang eingeschalteten Dämpfungsgliedes betrachtet werden kann), so erhält man ohne Gegenkopplung

$$U_2 = v \cdot U_1.$$

Mit der Rückkopplung führt man eine Spannung von  $k \cdot U_2$  zum Eingang zurück, so dass man am Ausgang eine Spannung

$U_2 = v \cdot U_1 + v \cdot k \cdot U_2$ , das heisst

$$U_2 = \frac{v}{1 - v \cdot k} \cdot U_1 \text{ erhält.}$$

Die Verstärkung  $v'$  mit Rückkopplung beträgt:

$$v' = \frac{U_2}{U_1} = \frac{v}{1 - v \cdot k}, \text{ woraus folgt}$$

$$\frac{v}{v'} = 1 - v \cdot k.$$

Der Ausdruck  $1 - v \cdot k$  bedeutet den Grad der Rückkopplung oder Gegenkopplung, je nachdem er kleiner oder grösser ist als 1. Im Falle, wo  $1 - v \cdot k \leq 1$  ist, hat man eine positive Rückkopplung mit Verstärkungszunahme; wenn  $1 - v \cdot k \geq 1$  ist, so hat man eine negative Rückkopplung oder Gegenkopplung und eine Verminderung der Verstärkung.

Die Grössen  $v$ ,  $v'$  und  $k$  sind in Wirklichkeit Vektoren und weisen einen Phasenwinkel auf. Die Ausgangsspannung  $U_2$  des Verstärkers befindet sich nicht in Phase mit der Eingangsspannung. Der Amerikaner *Nyquist* hat die Bedingungen der Rückkopplungsspannung und der Phase studiert, die erfüllt sein müssen, damit der Verstärker für alle Frequenzen stabil bleibt, das heisst damit er nicht schwingt. Der Gegenkopplungskreis ist gewöhnlich so gehalten, dass die Phase um  $180^\circ$  verschoben wird.

In Fig. 22 nimmt man an, dass die Rückkopplungsspannung am Eingang des Verstärkers in Serie angelegt ist. Wir haben somit eine Gegenkopplung in Serie oder in Abhängigkeit der Spannung. Aber man kann die Rückkopplung ebensogut parallel an den Eingang des Verstärkers anlegen und erhält damit eine parallelgeschaltete Gegenkopplung in Abhängigkeit der Intensität des Stromes. Die Rückkopplung kann schliesslich von Brückenschaltungen abgeleitet werden, die am Ein- und Ausgang des Verstärkers angeordnet sind; auf diese Weise ist die Rückkopplungsspannung unabhängig vom Belastungswiderstand des Verstärkers.

Die Gegenkopplung kann nur auf eine oder alle Verstärkungsstufen angewendet werden, je nach dem gewünschten Ergebnis.

Einer der wesentlichsten Vorteile der Gegenkopplung besteht in der Verminderung der nichtlinearen Verzerrung, die sich im Verstärker selbst durch die Krümmung der Kennlinie der Verstärkerröhren ergibt, wie auch der Geräusche, die sich in den Verstärkern bilden. Es lässt sich beweisen, dass die Harmonischen und die Geräuschspannungen auch durch den Faktor  $1 - v \cdot k$  geteilt werden, der im Falle der Gegenkopplung grösser als 1 ist.

Was die Verstärkung des Frequenzbandes betrifft, so erhält man dank der Gegenkopplung einen flachen Frequenzgang. Wenn man aber im Stromkreis der Gegenkopplung Elemente einfügt, deren Impedanz gemäss einem bestimmten Gesetz mit der Frequenz variiert, so nimmt die Verstärkung bei gewissen Frequenzen mehr oder weniger rasch zu. Bei diesen Frequenzen nimmt die Gegenkopplung ab, während die

Verstärkung zunimmt. Man hat auf diese Weise Leitungsverstärker konstruiert, deren Verstärkung im Verhältnis der vorangehenden Leitungsdämpfung zunimmt. Durch einstellbare Entzerrerglieder in der Gegenkopplung kann man die Steilheit der Verstärkung ändern, um letztere den Kabeldämpfungen anzupassen. Im Falle, wo die Verstärkung für das ganze Frequenzband flach ist, gleicht ein Leitungskorrektor die Erhöhung der Dämpfung des Stromkreises gegen die höheren Frequenzen aus.

Endlich hat die Gegenkopplung noch den Vorteil, dass die Verstärkung, trotz den Schwankungen der Speisespannung und der Abnutzung der Röhren, sehr konstant bleibt. Dies ist wichtig, da die Zahl der Zwischenverstärker infolge der grösseren Dämpfung der Leitungen auch viel grösser ist.

Die maximale Leistung, die ohne nichtlineare Verzerrung übermittelt wird, ist bedeutend höher als bei den gewöhnlichen Leitungsverstärkern. Dies erklärt sich ohne weiteres, wenn man bedenkt, dass mehrere Gespräche gleichzeitig durch den gleichen Verstärker verstärkt werden. Durch eingehende Studien hat man für diese Verstärker die maximale Energie bestimmt, die ohne Verzerrung übermittelt werden muss und sich dabei auf die mutmassliche Zahl von Teilnehmern, die gleichzeitig in derselben Richtung sprechen, und auf die Wahrscheinlichkeit gleichzeitig entstehender Maximalwerte der Sprechströme gestützt. Wie man sieht, handelt es sich um ein ziemlich verwickeltes Problem. Die Leitungsverstärker für Trägerstromleitungen zu 12 Kanälen sind so konstruiert, dass ihre Maximalleistung 1 Watt beträgt. Sie bestehen aus 3 Verstärkerstufen; alle Röhren sind Pentoden, und die letzte Röhre kann eine Kraftverstärkerröhre sein. Aus Sicherheitsgründen erfolgt die Speisung durch eine einzige Batterie; die Heizfäden einer gewissen Zahl Röhren werden in Serie gespiesen, während die ganze Batteriespannung als Anodenspannung benützt wird. Man benützt also für die Heizfäden und für die Anodenspannung eine einzige Batterie, deren Spannung durch einen am Wechselstromnetz angeschlossenen Gleichrichter erhalten wird. Ein Spannungsschnellregler hält die Entladungsspannung auf einem konstanten Wert. Da die Zahl der Leitungsverstärker grösser ist als für gewöhnliche Telephonverbindungen, kommt es oft vor, dass sich ihr Aufstellungsort nicht immer in der Telephonzentrale selbst befindet. Man war deshalb an gewissen Orten gezwungen, besondere Zweckbauten zu erstellen, in welchen die Batterie, der Gleichrichter und die Verstärkergestelle untergebracht werden. Da kein ständiger Dienst für den Unterhalt vorhanden ist, sind, zur Erhöhung der Sicherheit des Betriebes, Reserveverstärker vorgesehen, die, im Falle des Aussetzens eines Verstärkers, durch besondere mit den Eingangs- und Ausgangsübertragern verbundene Schaltrelais automatisch eingeschaltet werden. Eine Alarmeinrichtung meldet die Störung an die nächstgelegene Zentrale mit durchgehendem Dienst. Die nähere Beschreibung dieser Strom-

kreise würde zu weit führen und aus dem Rahmen dieses Artikels fallen.

### Trägerstromsysteme

Da nun die verschiedenen Elemente der Trägerstromsysteme bekannt sind, können wir zum Studium der vollständigen Systeme übergehen. Wir beschränken uns darauf, die Trägerstromtelephonie über Kabel und im besonderen die Systeme mit 12 Kanälen, wie sie in unserem Netz benützt werden, zu betrachten. Es sind selbstverständlich auch Systeme entwickelt worden, die für oberirdische Linien benützt werden, doch soll von diesen hier nicht die Rede sein.

Es handelt sich beim System zu 12 Kanälen darum, auf einem Aderpaar gleichzeitig 12 auf verschiedene Frequenzbänder umgesetzte Gespräche zu übertragen. Der Frequenzabstand zwischen den Trägerströmen beträgt 4 kHz, so dass es möglich ist, ein Tonfrequenzband von mindestens 200 bis 3600 Hz zu übermitteln. Im Kabel belegen diese 12 Kanäle ein Frequenzband von 12...60 kHz. Für jede Uebermittlungsrichtung werden besondere Aderpaare benützt, die sich aus Gründen des Uebersprechens gewöhnlich in verschiedenen Kabeln befinden. Man hat somit Vierdrahtleitungen, bei denen der Anschluss zur Zentrale mittels Abschlusseinheiten des gewöhnlichen Typs geschieht. Der einzige Unterschied besteht darin, dass man an Stelle von metallischen Leitungen 12 Trägerstromkanäle erhält, die alle über die gleiche Leitung gehen. Die benützten Aderpaare sind nicht belastet, denn das Frequenzband ist bedeutend breiter als bei der gewöhnlichen Telephonie. Da die Dämpfung bei den hohen Frequenzen viel stärker ist, muss man auf der Strecke eine grössere Zahl Zwischenverstärker einschalten, gewöhnlich alle 20 bis 30 km. Man kann auch für die Trägerstromtelephonie besonders konstruierte Kabel verwenden, die eine geringere Kapazität der Aderpaare aufweisen, als die für die gewöhnliche Telephonie benützten Kabel. Andererseits wird bei der Fabrikation der Längen danach getrachtet, die Gleichmässigkeit zu erhöhen, um das Nebensprechen zwischen den verschiedenen Aderpaaren noch mehr zu verringern und den Einfluss des einen Systems auf das andere zu verhüten. Da es auch bei sehr sorgfältigem Ausgleich der Paare schwierig ist, genügend hohe Werte für das Nebensprechen zu erhalten, setzt man am Eingang eines jeden Verstärkers ein besonderes Element — das Ausgleichsfeld — hinzu, mit dem man die Nebensprechdämpfung erhöhen kann. Zu diesem Zwecke schaltet man zwischen den Adern eines Vierers und den andern Vierern kleine Kapazitäten oder gegenseitige Induktivitäten, die bis zur Erreichung des besten Wertes reguliert werden.

Stehen keine Spezialkabel zur Verfügung, so kann in den gewöhnlichen Telephonkabeln die Belastung einer Anzahl Paare aufgehoben und letztere für die Mehrfachtelephonie verwendet werden. Die Qualität der Verbindungen hängt zu guter Letzt von der Genauigkeit des Ausgleichens ab, die man zur Vermin-

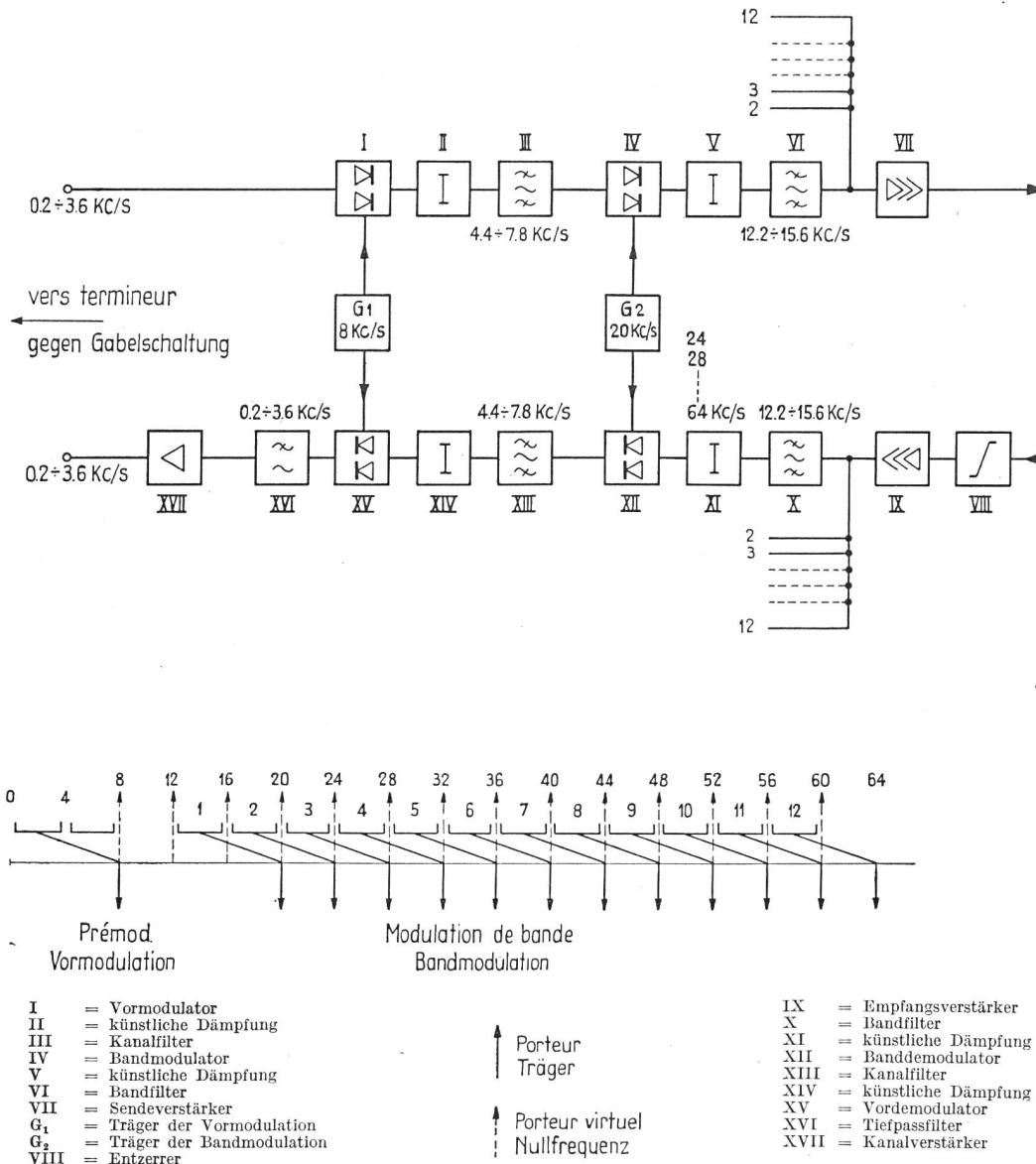


Fig. 23.

derung des Nebensprechens und des Einflusses der im gleichen Kabel befindlichen mit Sprechfrequenzen betriebenen Verbindungen erreicht hat. Die schweizerische Verwaltung hat sich vorderhand für diese Lösung entschieden.

### System U

Das Trägerstromsystem U wurde vor dem Kriege in Deutschland entwickelt und von der Firma Siemens hergestellt. Das Prinzipschema ist in Figur 23 dargestellt. In einer Vormodulation mit einer Trägerfrequenz von 8 kHz werden vorerst alle Kanäle auf diese Frequenz moduliert. Durch ein Bandpassfilter wird das obere Seitenband unterdrückt, so dass am Ausgang nur noch ein Frequenzband von 4,4... 7,8 kHz vorhanden ist. Ein zweiter Modulator, «Bandmodulator» genannt, überträgt dieses Frequenzband mittels Trägerströmen verschiedener Frequenzen in das gewünschte Frequenzspektrum. Wenn die Träger-

frequenz 20 kHz beträgt, was dem ersten Kanal entspricht, so erhält man am Ausgang des folgenden Bandpassfilters, der das obere Seitenband unterdrückt, ein Frequenzband von 12,2... 15,6 kHz. Die Nullfrequenz, die mit der Frequenz Null des Tonfrequenzkanals übereinstimmt, beträgt 12 kHz. Die 12 Kanäle sind am Ausgang dieser Bandpassfilter durch eine Spezialschaltung gekoppelt und werden gemeinsam vom Sendeverstärker übertragen, an dessen Ausgang das Kabeladerpaar angeschlossen ist. Alle andern Kanäle sind identisch, mit Ausnahme der Trägerfrequenz und der Bandpassfilter der Bandmodulation.

Auf der Empfangsseite befindet sich vor dem Leitungsverstärker ein Entzerrer zum Ausgleich der frequenzabhängigen Dämpfung des Kabels; damit erhält man am Ausgang des Verstärkers einen konstanten Pegel für alle Frequenzen. Durch einen Kopplungskreis gelangt man zu den 12 Kanälen mit ihren Band-

passfiltern, die das entsprechende Frequenzband durchlassen. Der Banddemodulator benützt die gleiche Trägerfrequenz wie der Modulator; somit wird das vom Bandpassfilter herrührende und durch den Träger von 20 kHz modulierte Frequenzband von 12,2 ... 15,6 kHz in das Spektrum von 4,4 ... 7,8 kHz versetzt, da das obere Seitenband durch das Bandpassfilter vor dem Vordemodulator unterdrückt worden ist. Durch eine Trägerfrequenz von 8 kHz und durch die Aufhebung des oberen Seitenbandes durch ein Tiefpassfilter versetzt der Vordemodulator das Ganze in das Tonfrequenzband von 0,2...3,6 kHz. Am Ausgang des Tiefpassfilters befindet sich ein einstufiger Verstärker — der «Kanalverstärker» —, durch den der Pegel des demodulierten Frequenzbandes auf den gewünschten Wert zurückgebracht wird.

Am Modulator wird der Eingangspegel durch veränderliche Dämpfungsglieder auf — 2 Neper fest eingestellt, um die Gleichrichterzellen nicht zu über-

lasten. Für später ist vorgesehen, diese Einstellung in Abhängigkeit von der Dämpfung des am Kanal des Systems angeschlossenen Stromkreises automatisch auszuführen. Dies wird erlauben, im automatischen Fernbetrieb die Wahlverstärker auszuschalten, sobald ein Trägerstromkanal in die Verbindung gelangt; damit werden die unwiderlegbaren Vorteile, die die Trägerstromkanäle bieten, in keiner Weise verringert. Die künstlichen Dämpfungen bestehen aus 4 verschiedenen Stufen, mit denen eine Gesamtdämpfung von 1,5 Neper eingeführt werden kann; die Stromschiene und die Regulierung sind dieselben, wie bei den Wahlverstärkern.

Der Ausgangspegel des Kanalverstärkers beträgt + 1 Neper. Auch hier sind die vorläufig festen und später automatisch regulierbaren künstlichen Dämpfungen so eingeschaltet, dass der Pegel auf der 2-Draht-Seite der Gabelschaltung auf den gewünschten Wert eingestellt werden kann.

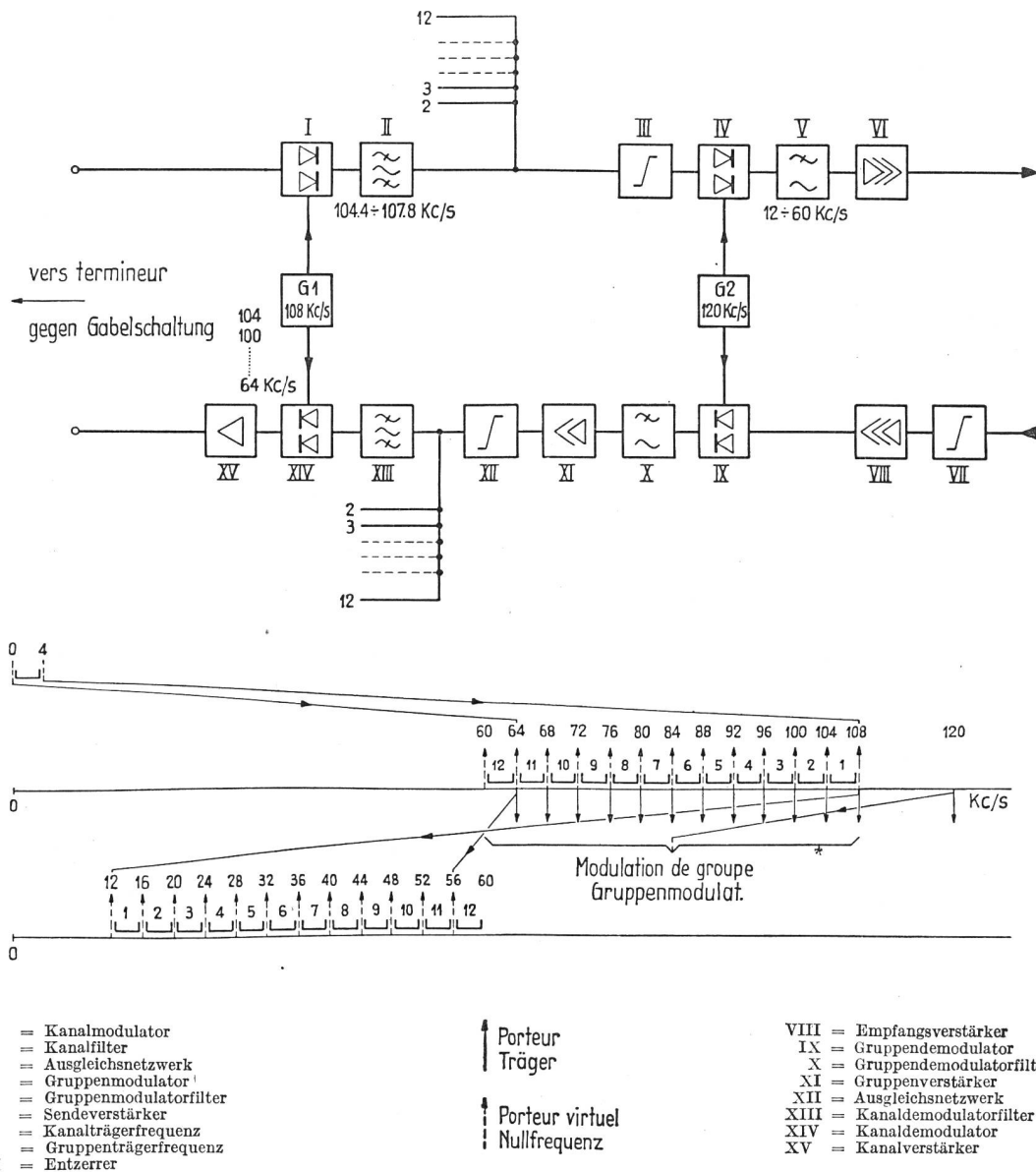


Fig. 24.

Der Anruf auf den Kanälen bewerkstelligt sich in der gleichen Weise wie bei den gewöhnlichen Vierdraht-Verbindungen. Da diese Stromkreise in die Bündel der automatischen Leitungen, der Tandem- oder der Terminalleitungen, eingeführt werden sollen, hat man ein Impulsübermittlungssystem mittels eines Stromes von einer Frequenz von 3000 Hz vorgesehen. Diese Vorrichtung ist direkt mit der Gabelschaltung verbunden und bildet nicht Bestandteil des eigentlichen Trägerstromsystems.

Da der Scheinwiderstand des unbelasteten Aderpaares je nach den in Frage kommenden Fällen von 120 bis 160 Ohm variiert, werden die Eingangs- und Ausgangsscheinwiderstände der Empfangs- und Senderverstärker mittels Korrekturgliedern für das ganze Frequenzband angepasst; dies um Reflektionerscheinungen zu vermeiden, die das Uebersprechen erhöhen würden.

### System K

Dieses Trägerstromsystem wurde in Amerika durch die Bell-Laboratorien auf Grund der Erfahrungen entwickelt, die mit Trägerströmen auf den oberirdischen Linien gemacht wurden. Man wendet ebenfalls die doppelte Modulation an, jedoch benützt man hier Quarzkristallfilter wobei die Modulationsfrequenzen erhöht werden müssen. Das Prinzipschema ist in Figur 24 dargestellt. Im Kanalmodulator wird das Tonfrequenzband mittels Trägerströmen, deren Frequenzen auch einen Abstand von 4 kHz aufweisen, moduliert, wobei der erste Trägerstrom eine Frequenz von 108 kHz und der letzte eine solche von 64 kHz erhält. Man verwendet das untere Seitenband; das obere Seitenband wird durch ein Quarzkristall-Bandpassfilter unterdrückt. Für den ersten Kanal erhält man ein Frequenzband von 104,4...107,8 kHz am Ausgang des Filters, wo mittels eines Ausgleichsnetzwerkes die Filterausgänge der 11 andern Kanäle angeschlossen werden. Durch einen Spezialstromkreis werden die Pegel sämtlicher Kanäle auf den gleichen Wert gebracht, bevor sie zum Gruppensmodulator gelangen; letzterer versetzt mit Hilfe einer Frequenz von 120 kHz alle Kanäle in das Frequenzband von 12...60 kHz, unter Verwendung des unteren Seitenbandes. Das obere Seitenband wird durch ein Tiefpassfilter des Gruppensmodulators unterdrückt.

Auf der Empfangsseite gelangt man nach dem Empfangsverstärker mit seinem zur Kompensation der Dämpfungsverzerrung des Kabels dienenden Entzerrer direkt zum Gruppensdemodulator mit seinem Trägerstrom von 120 kHz, der das vom Kabel her empfangene Frequenzband von 12...60 kHz in das Spektrum von 60...108 kHz überträgt; das obere Seitenband wird durch das Gruppensdemodulatorfilter (Tiefpassfilter) unterdrückt. Ein Gruppenverstärker bringt den Pegel der Modulationsprodukte auf den gewünschten Wert. Dieser Verstärker hat Gegenkopplung mit flachem Frequenzgang. Am Ausgang dieses Verstärkers sind die 12 Kanäle durch ein besonderes Ausgleichsnetzwerk parallelgeschaltet. Ein Kanaldemo-

dulatorfilter (Bandpassfilter aus Quarzkristallen) trennt die verschiedenen Kanäle voneinander. In unserm Beispiel (Kanal 1) hat das Frequenzband 104,4...107,8 kHz. Durch ihre im Abstände von 4 kHz zwischen 64 und 108 kHz gestaffelten Träger versetzen die Kanaldemodulatoren die 12 Kanäle in das Tonfrequenzband 0,2...3,6 kHz; es wird nur das untere Seitenband benützt. Der einstufige Kanalverstärker bringt den Pegel jeden Kanals wieder auf den normalen Wert. Ein Spezialstromkreis am Ausgang jeden Demodulators unterdrückt die ausserhalb des Tonfrequenzbandes befindlichen Modulationsprodukte. Die Nullfrequenzen sind ebenfalls im Abstände von 4 kHz zwischen 12 und 56 kHz gestaffelt.

Die Eingangspegel am Modulator und der Ausgangspegel am Kanalverstärker sind die gleichen wie beim System U, das heisst  $-2$  und  $+1$  Neper. Mittels der künstlichen Dämpfungen in den Gabelschaltungen kann die Restdämpfung jedes Kanals auf den richtigen Wert eingestellt werden; dieser Teil der Ausrüstung ist identisch mit dem beim System U beschriebenen.

Dank der Gruppensdemodulation und -modulation können 11 Modulatoren und Demodulatoren eingespart werden, da man für jeden Kanal nur einen Modulator und einen Demodulator benötigt und einen gemeinsamen Modulator und Demodulator zu 12 Kanälen für die Modulation und Demodulation dieser Gruppe. Im U-System werden im Gegenteil für jeden Kanal stets zwei Modulatoren und zwei Demodulatoren benötigt. Ausserdem kann man durch Aufhebung der Gruppenmodulation und -demodulation im Frequenzband von 60...108 kHz 12 zusätzliche Kanäle übermitteln; man erhält somit 24 Kanäle auf dem gleichen Aderpaar. Dies ist jedoch nur auf Kabeln möglich, die besonders für die Trägerstromtelephonie konstruiert sind, da bei diesen hohen Frequenzen die Bedingungen für das Uebersprechen und die Geräusche viel strenger gehalten sind.

### Ueberwachung der Systeme

Sollte aus irgend einem Grunde eine Uebermittlungsrichtung eines Systems von 12 Kanälen unterbrochen sein, so werden dadurch 12 Kanäle ausser Betrieb gesetzt. Man muss verhindern, dass die Unterbrechung zu lange dauert; sie soll deshalb unverzüglich gemeldet werden. Zu diesem Zweck sendet man von jeder Endausrüstung in jede Uebermittlungsrichtung einen Pilotstrom von 60 kHz mit bestimmtem Pegel, der am andern Ende durch einen mit einem Resonanzkreis versehenen und auf diese Frequenz abgestimmten Detektor-Verstärker empfangen wird. Mit diesem Pilotstrom kann man sich auch vergewissern, ob sich die Restdämpfung der Leitung innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen befindet; wenn sie ausserhalb dieser Grenzen liegt, oder wenn eine vollständige Unterbrechung vorliegt, löst der Pilotstrom eine Alarmeinrichtung aus. Das Endamt, bei dem die Alarmvorrichtung ausgelöst wird, kann alsdann ohne

Verzug alle notwendigen Massnahmen treffen. Da es sich zudem um Fernverbindungen mit automatischer Fernwahl handelt, werden diese am Ausgangsende blockiert, damit sie nicht durch ausgehende Verbindungen der automatischen Zentrale belegt werden.

Man kann den Pilotstrom auch für die Messungen des Uebertragungspegels bei den Zwischenverstärkern mittels trennscharfen Messapparaten benützen; damit kann festgestellt werden, ob sich die Uebermittlungsleitung in Ordnung befindet, ohne für die Messung die 12 Kanäle unterbrechen zu müssen.

Auf sehr langen Leitungen, bei denen die Temperaturunterschiede bei diesen hohen Frequenzen bedeutende Schwankungen der Dämpfung verursachen, kann man mit dem Pilotstrom auch den Verstärkungsgrad gewisser Zwischenverstärker in Abhängigkeit zu den Dämpfungsschwankungen der Leitung automatisch regulieren. Da die in unserem Netz für die Mehrfachtelephonie verwendeten Leitungen verhältnismässig kurz sind, ist eine automatische Regulierung vorderhand nicht in Aussicht genommen.

Mittels der Frequenz des Pilotstromes können ausserdem die Oszillatoren der verschiedenen Endausrüstungen eines Netzes synchronisiert werden. Ein Alarmstromkreis zeigt an, wenn der Synchronismus gestört ist.

### Schlussbetrachtung

Die Trägerstromsysteme zu 12 Kanälen gestatten den Zentralen, entsprechend dem raschen Anstieg des Fernverkehrs, eine grössere Zahl Verbindungen zur Verfügung zu stellen, ohne hierfür neue gewöhnliche Kabel oder Spezialkabel mit einer beschränkten Zahl von Aderpaaren auslegen zu müssen. Da der Hauptbestandteil der Systeme aus den Endausrüstungen

besteht, hängt ihre Wirtschaftlichkeit von der Länge der benützten Leitungen ab; es ist daher klar, dass solche Systeme nur für Leitungen in Frage kommen, die eine gewisse Länge aufweisen (im Minimum 100 km). Gleichzeitig erhält man durch die Verbreiterung des übermittelten Frequenzbandes Verbindungen besserer Qualität. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf den unbelasteten Verbindungen viel grösser ist, so treten keine Echowirkungen in Erscheinung, wie dies auf den gewöhnlichen belasteten Vierdrahtleitungen der Fall ist, und es sind hierfür keine diesbezüglichen Massnahmen zu ergreifen. Durch die Verwendung neuer Elemente konnte die Grösse der Ausrüstungen stark reduziert und die Sicherheit des Betriebes durch automatische Schalt- und Ueberwachungsvorrichtungen bedeutend erhöht werden.

Die Trägerstromsysteme zu 12 Kanälen sind geeignet auf den internen und internationalen Fernleitungsnetzen immer weitere Verwendung zu finden. Es ist sogar vorgesehen, sie für die Uebermittlung über koaxiale Kabel als Basisgruppen zu benützen, wo sie durch aufeinanderfolgende Modulation im Frequenzspektrum nebeneinander versetzt würden. Da die koaxialen Kabel ein Frequenzband bis zu 1000 kHz übermitteln können, wäre man unter Umständen in der Lage, gleichzeitig bis zu 240 oder mehr Telefongespräche zu führen. Solche Systeme sind aber nur da am Platze, wo die Leitungsbündel der langen Fernverbindungen eine genügend grosse Dichte aufweisen.

Da sich die Mehrfachtelephonie stark entwickelt, ist es gut, wenn sich das Personal mit ihrem Prinzip mehr und mehr vertraut macht; dies ist der Zweck des vorliegenden Artikels.

### Bibliographie

- Campbell, George A. Physical Theory of the Electric Wave-Filter. Bell Syst. Techn. J. 1 (1922), November, p. 1.
- Chesnut, R. W., L. M. Ilgenfritz and A. Kenner. Cable Carrier Telephone Terminals. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 106.
- Clark, A. B. and B. W. Kendall. Carrier in Cable. Bell Syst. Techn. J. 12 (1933), July, p. 251.
- de Groot, F. A. und P. J. den Haan. Modulatoren für Trägerfrequenztelephonie. Philips techn. Rdsch. 1942, Nr. 3, S. 87.
- Düll, H. Das deutsche Zwölfband Trägerfrequenzsystem. Europ. Fernsprechdienst 1939, 51. Folge, S. 43.
- Düll, H. und F. Strecker. Ein Streckenversuch mit dem U-System, einem 12-fach-System mit unbelasteten Leitungen. Europ. Fernsprechdienst 1942, 60. Folge, S. 3.
- Green, C. W. and E. J. Green. A Carrier Telephone System for Toll Cables. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 80.
- Hollbrook, B. D. and J. T. Dixon. Load Rating Theory for Multi-Channel Amplifiers. Bell Syst. Techn. J. 18 (1939), October, p. 624.
- Jacobsen, B. B. The Effect of Non-Linear Distorsion in Multi-Channel Amplifiers. Electrical Commun. 19 (1940 — 41), N° 1, p. 29.
- Kruse, Sigurd. Theory of Rectifier Modulators. Ericsson Technics 1939, N° 2, p. 17.
- Lane, C. E. Crystal Channel Filters for the Cable Carrier System. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 125.
- Mason, W. P. Electrical Wave-Filters employing Quartz Crystals as Elements. Bell Syst. Techn. J. 13 (1934), July, p. 405.
- Peterson, E. and L. W. Hussey. Equivalent Modulators Circuits. Bell Syst. Techn. J. 18 (1939), January, p. 32.
- Peterson, E., J. M. Manley and L. R. Wrathall. Magnetic Generation of a Group of Harmonics. Bell Syst. Techn. J. 16 (1937), October, p. 437.
- Schmid, A. Die Wirkungsweise der Ringmodulatoren. Siemens Veröff. a. d. Gebiete d. Nachrichtentechn. 1936, 3. Folge, S. 145.
- Thierbach, D. und H. Jacoby. Ueber die Verteilung der Sprechspannungen bei der Uebertragung zahlreicher trägerfrequenter Gespräche. Z. f. techn. Physik 1936, H. 12, S. 553.
- van der Pol, Balh. et Th. J. Weijers. Filtres électriques. Rev. techn. Philips 1 (1936), N° 8, p. 240; N° 9, p. 271; N° 10, p. 298; N° 11, p. 331; N° 12, p. 376.
- Zobel, Otto J. Theory and Design of Uniform and Composite Electrical Wave-Filters. Bell Syst. Techn. J. 2 (1923), January, p. 1.