Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 58 (1967)

Heft: 5

Artikel: Restfehlerkorrektur bei einer Leitungspegelsteuerung mit Hilfe des Fernspeisestromes

Autor: Korn, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916230

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: 09.08.2025

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

Bei den verschiedenen Leuchtstoffröhren liegt der Anteil an UV-Licht, das den Phosphor durchdringt, unterschiedlich hoch, und damit auch die Wirkung auf Kunststoffe. Die verschiedenen Röhren ergeben in gleicher Zeit etwa folgende Vergilbungsfaktoren:

	YF
Deluxe warm white	4
Soft white	3,5
Deluxe cool white	2,5
Cool white	1,5
Warm white	1
Daylight	1

Zur Lichtdurchlässigkeit von Kunststoffen sind einige Bemerkungen zu machen. Schon in neuem Zustand braucht die Durchlässigkeit nicht über den ganzen Bereich des Lichtspektrums gleichmässig zu sein. An den Grenzen des sichtbaren Bereichs und jenseits davon bestehen oft sehr grosse Differenzen. Zwei recht ähnlich aussehende Kunststoffe, Polystyrol (PS) und Polymethylmethacrylat (PMMA) verhalten sich gegenüber kurzwelligem Licht geradezu komplementär. Bei 3000 Å ist PMMA praktisch vollkommen lichtdurchlässig und PS praktisch ganz undurchlässig. Soweit Ungleichheiten im Durchlässigkeitsgrad innerhalb des sichtbaren Bereichs nicht allzu grosses Ausmass annehmen, behilft man sich häufig mit einer komplementären Einfärbung. Die Lichtdurchlässigkeit im sichtbaren Bereich senkrecht zur Schichtebene liegt etwa bei folgenden Werten:

Polyester glasfaserverstärkt 1...1,5 mm dick	78...82 %
Acrylglas farblos 3 mm dick	92 %
PVC farblos	80...90 %
PVC durchscheinend farbig	30...60 %
Polystyrol 2,5 mm dick	
für die Wellenlänge 4000 Å	66 %
für die Wellenlänge 6700 Å	77 %
weiss durchscheinend eingefärbt bei 1,5 mm Dicke	50...60 %

Wie bereits festgestellt, führt insbesondere das kurzwellige Licht, sofern es absorbiert wird, zu Veränderungen im Kunststoff. Diese Veränderungen führen oft zu einer Abnahme der Lichtdurchlässigkeit. Tritt diese Abnahme bevorzugt am blauen Ende des Lichtspektrums auf, so wird das durchfallende Licht gegen gelb oder rot verschoben. Nach der Belichtung eines glasfaserverstärkten Polyesters in einem Belichtungsgerät ergab sich folgende Lichtdurchlässigkeit bei 3650 Å in %:

Beleuchtungszeit	Lichtdurchlässigkeit
0 h	84 %
400 h	59 %
1200 h	10 %
2000 h	1 %

Der lichttechnische Wirkungsgrad wird aber nicht nur durch eine Abnahme der Lichtdurchlässigkeit des Kunststoffs beeinträchtigt, sondern auch durch Verschmutzung. Oft genug ist dieser Faktor von überwiegender Bedeutung. Die Luft enthält fein verteilte Partikeln fester oder flüssiger Substanzen, wie Russ, mineralische Stäube, Tröpfchen von Ölen und dgl. Diese setzen sich teilweise durch Sedimentation, teilweise aber auch durch elektrostatische Anziehung ab.

Gegen die Verstaubung können verschiedene Massnahmen ergriffen werden. Bei der Sedimentation sammelt sich der Staub vorwiegend auf horizontalen Flächen. Man wird also nach Möglichkeit dafür sorgen müssen, dass die Beleuchtungskörper oberhalb solcher horizontaler Platten durch staubdichte Gehäuse abgeschlossen werden. Eine andere Massnahme besteht darin, dass man in staubigen Räumen horizontale Flächen weitgehend vermeidet z. B. durch Verwendung von Rastern bei denen fast nur vertikale Flächen vorkommen. Die elektrostatische Aufladung kann durch eine Nachbehandlung der Oberflächen stark gemildert werden. Im Prinzip handelt es sich um das Erzeugen einer besser leitenden Oberflächenschicht. Bei der periodischen Reinigung, die am einfachsten mit Seifenwasser erfolgt, kann diese Oberflächenbehandlung mühelos erneuert werden.

Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass die Bauvorschriften eine recht komplexe Angelegenheit sind, und dass die Grenzen der Anwendung von Kunststoffen von Kanton zu Kanton verschieden sein können. Es ist eine Aufgabe der Zukunft, in Zusammenarbeit mit allen interessierten Kreisen die entsprechenden Vorschriften dem heutigen Stand der Technik anzupassen. Es wird dabei vor allem darauf ankommen, die Kunststoffe sachlich richtig einzustufen.

Im Rahmen einer kurzen Übersicht ist es natürlich nicht möglich, das Thema erschöpfend zu behandeln. Worauf es hier besonders ankam, war, auf einige Gesichtspunkte hinzuweisen, die leicht übersehen werden. Im Besondern schien es zweckmässig, auf die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten hinzuweisen. Man darf die Kunststoffe heute ruhig realistisch betrachten und ihre Grenzen ohne Scheu aufzeigen, es bleiben auch so genug Möglichkeiten zu ihrer Anwendung. Auf die Dauer wird ohnehin nur ein technologisch sinnvoller Einsatz für Hersteller und Verbraucher gleichermassen befriedigend sein.

Adresse des Autors:
Dr. *G. O. Grimm*, Dipl. Ing.-Chemiker, H. Weidmann AG, 8640 Rapperswil.

Restfehlerkorrektur bei einer Leitungspegelsteuerung mit Hilfe des Fernspeisestromes

Von *J. Korn*, Backnang/Württ.

621.395.44 : 621.317.341

Die Regulierung des Leitungspegels in Trägerfrequenz-Weitverkehrssystemen hat den Zweck, die temperaturabhängigen Dämpfungsänderungen der Kabel automatisch auszugleichen. Dies kann mittels einer Regelung oder einer Steuerung geschehen. Eine Kombination der Regelung und Steuerung ist technisch und wirtschaftlich am günstigsten. Die Leitungsregler werden durch eine Pilotspannung gesteuert. Die Pegelsteuerung geschieht mit Hilfe des Fernspeisestromes, der durch den temperaturabhängigen Widerstand des Kabels verändert wird, so dass zwischen seiner Änderung und der Änderung der temperaturabhängigen Kabeldämpfung ein direkter Zusammenhang besteht. Ein Teil des Fernspeisestromes wird als Stellstrom zur Einstellung der Stellglieder der Pegelsteuerung verwendet.

Dans les systèmes de transmission à grande distance par fréquence porteuse, le réglage du niveau de ligne a pour but de compenser automatiquement les variations d'affaiblissement des câbles dépendant de la température. Cela peut être réalisé à l'aide d'un réglage ou d'une commande. Du point de vue technique et économique une combinaison de réglage et de commande constitue la solution la plus avantageuse. Les régulateurs de ligne sont commandés par une tension pilote. La commande du niveau de ligne s'effectue à l'aide d'un courant d'alimentation à distance, modifié par la résistance du câble, variant en fonction de la température; cette commande est réalisée de manière à établir une relation directe entre la modification de ce courant et la modification de l'affaiblissement du câble en fonction de la température. Une partie du courant d'alimentation à distance sert

Die Fehler der Pegelsteuerung können infolge extremer Betriebsbedingungen unzulässig gross werden. Diese kann man dadurch stark reduzieren, dass die Pilotspannung in den oberirdischen Speisestellen ausser dem geregelten Leitungsverstärker in dieser Stelle auch noch die geregelte Spannung der benachbarten Fernspeiseschleifen korrigierend beeinflusst.

Drei verschiedene Korrekturanordnungen werden beschrieben und diskutiert.

de courant de commande pour le réglage des organes de commande du réglage du niveau de ligne.

Par suite de conditions d'exploitation extrêmes, les erreurs de commande du niveau de ligne peuvent s'amplifier de manière inadmissible. Ce défaut peut être fortement réduit, lorsque la tension pilote exerce dans les centres d'alimentation aériens une influence corrective non seulement sur l'amplificateur de ligne réglé de ce centre, mais également sur la tension réglée des boucles d'alimentation à distance avoisinantes.

Trois dispositifs correctifs divers sont décrits et discutés.

1. Einleitung

Bei trägerfrequenten Übertragungssystemen ist die Dämpfung der Leitung temperaturabhängig. Vor allem wird der Ohmsche Widerstand der Leitung durch die Temperatur beeinflusst. Die Frequenzabhängigkeit der temperaturbedingten Dämpfungsänderungen bei Koaxialkabeln folgt annähernd einem $\sqrt{f}$-Gesetz. Einen Grössenbegriff gibt die Gesamtdämpfung von 1750 N für 2500 km Kleinkoaxialkabel des Systems V 300 bei der höchsten Übertragungsfrequenz; die temperaturabhängige Dämpfungsänderung ist 3,5 N/Grad. Das bedeutet für Kabel in unseren Breitengraden mit einer Temperaturänderung von ± 10 °C im Laufe eines Jahres und einer Verlegungstiefe von etwa 1 m eine Dämpfungsänderung von ± 35 N; über den Tag kommen maximale Dämpfungsänderungen von 3,5 N vor. Da aber eine gewisse Pegelabweichung (z. B. von $\pm 0{,}2$ N) an keiner Stelle des Systems überschritten werden darf, wird in passenden Abständen ein Dämpfungsausgleich notwendig.

Die temperaturabhängigen Dämpfungsänderungen der Kabel müssen automatisch ausgeglichen werden. Dies kann mittels einer Regelung oder einer Steuerung geschehen.

Als ein Einstellkriterium für die Leitungsregelung wird eine Pilotspannung bestimmten Pegels und passender Frequenz verwendet. Sie wird am Anfang des Übertragungssystems zusätzlich eingespeist und erleidet dieselbe Dämpfung wie das trägerfrequente Nutzsignal. Die Pilotspannung wird in gewissen Abständen ausgekoppelt und zum Einstellen eines Leitungsreglers verwendet [1] [1]).

Die automatische Leitungsregelung mit Hilfe einer Pilotspannung kann den Übertragungspegel sehr genau halten; sie ist jedoch relativ aufwendig. Ausserdem sind die Pilotregler in den unterirdischen Verstärkerstellen schwer zu überwachen.

Aus diesen Gründen ist man dazu übergegangen, einen Teil der unterirdischen Verstärker durch Temperaturfühler zu steuern und die noch verbleibenden Pegelabweichungen dann in grösseren Abständen mit Hilfe von Pilotreglern auszuregeln [2; 3].

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen werden bei transistorisierten Trägerfrequenz-Weitverkehrsanlagen auf Koaxialkabeln nur in grösseren Abständen (30...100 km) oberirdische Verstärkerstellen eingerichtet, während die dazwischenliegenden Verstärker unterirdisch in Betonbunkern oder in vergrabenen Kästen angeordnet und von den oberirdischen Stellen über die Innenleiter der Koaxialpaare mit Gleichstrom ferngespeist werden [4; 5].

Schon in den vierziger Jahren wurde ein Vorschlag diskutiert, den Fernspeisestrom auch als Stellstrom zur Pegelsteuerung der ferngespeisten Zwischenverstärker zu verwenden. Dabei soll der Fernspeisestrom durch den temperaturabhängigen Widerstand der Leitung verändert werden, so dass zwischen seiner Änderung und der Änderung der temperaturabhängigen Dämpfung des Kabels ein direkter Zusammenhang besteht. Eine solche Pegelsteuerung wurde realisiert und vom Verfasser [6] beschrieben.

Zur Veranschaulichung der Pegelsteuerung mit Hilfe des Fernspeisestromes betrachte man die schematische Darstellung eines Übertragungsabschnittes zwischen zwei oberirdischen Speisestellen (Fig. 1). In den oberirdischen Ämtern A und B sind die Fernspeisegeräte G_1 und G_2 vorhanden, die die Unterflurverstärker der Fernspeiseschleifen I und II mit Energie versorgen. Die Induktivitäten L und die Kapazitäten C deuten Fernspeiseweichen an, die den Fernspeisestrom von den trägerfrequenten Nutzsignalen trennen.

Wenn nun die Betriebsspannungen der ferngespeisten Unterflurverstärker durch Zenerdioden stabilisiert werden und die Spannung der Fernspeisegeräte in den Speiseämtern konstant gehalten wird, so ist der Fernspeisegleichstrom hauptsächlich durch den temperaturabhängigen Widerstand der Innenleiter der Koaxialpaare bestimmt und somit ein Mass für die temperaturabhängige Dämpfungsänderung der Kabel.

Es ist zweckmässig, alle ferngespeisten Verstärker mit einer Pegelsteuerung auszurüsten. Als Stellglieder werden dabei Heissleiter verwendet.

Bekanntlich können bei einer Steuerung Fehler auftreten. Es kann z. B.:

a) Die Kennlinie des Stellgliedes einen Verlauf haben, der mit dem Sollverlauf nicht ganz übereinstimmt;

b) Die Heissleiterstellglieder folgen nicht nur dem Stellstrom, sondern auch der Umgebungstemperatur;

c) Die Fernspeisespannung ist nicht genügend konstant;

d) Die Änderungen des Fernspeisestromes sind nicht den Temperaturänderungen streng proportional.

Die Fehler der Leitungspegelsteuerung nach der Kabeltemperatur können infolge extremer Betriebsbedingungen unzulässig gross werden. Nach einem Vorschlag des Verfassers können diese dadurch stark reduziert werden, dass der Pilotpegel im Speiseamt ausser dem vollgeregelten Leitungsverstärker in diesem Amt auch noch die geregelte Spannung der benachbarten Fernspeiseschleifen korrigierend beeinflusst. Dabei wird der Fernspeisestrom so verändert, dass alle in der betreffenden Fernspeiseschleife angeordneten, den einzelnen Verstärkern zugehörigen Heissleiter-Stellglieder gleichmässig im Sinne einer Fehlerverminderung verstellt werden. Dies bedeutet, dass der Pilotpegel einer Übertragungsrichtung jeweils eine Fernspeiseschleife beeinflusst, die zu beiden Übertragungsrichtungen gehört.

Damit Temperaturänderungen im Speiseamt nicht als Fehler in die mitgeregelten Fernspeiseschleifen injiziert werden, ist eine Temperaturkompensation der Heissleiter-Stellglieder der vollgeregelten Leitungsverstärker in diesen Speiseämtern erforderlich. Dies wird günstigerweise mit Hilfe einer Anordnung nach [7] erreicht.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Bei grossen Abständen der speisenden Ämter überbrückt eine Fernspeiseschleife einen halben Übertragungsabschnitt zwischen zwei benachbarten Speiseämtern. Es seien hier der Einfachheit halber Systeme mit gleich grossen Übertragungsabschnitten, die jeweils zwei Fernspeiseschleifen enthalten, betrachtet.

2. Korrekturanordnungen

Es lassen sich drei Arten von Korrekturanordnungen unterscheiden.

2.1 Korrekturanordnung mit Beeinflussung beider Fernspeiseschleifen in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung

Nach Fig. 1 werden die Speisegeräte G_1 und G_2 beider Fernspeiseschleifen eines Übertragungsabschnittes von den Pilotreglern P_1 und P_2 der dazugehörigen Speiseämter korrigirend beeinflusst, wobei jeder Pilotregler die Fernspeiseschleife der ankommenden Übertragungsrichtung beeinflusst. Dabei werden alle ferngespeisten Verstärker dieser Übertragungsrichtung zusammen mit dem dazugehörigen vollgeregelten Leitungsverstärker zu einem rückwärtsgeregelten Regelkreis vereinigt.

Diese Verkopplung der Stellwirkung der Pilotregler zweier benachbarter Speiseämter, die verschiedenen Übertragungsrichtungen zugehören, ergeben eine geschlossene Schleife, die zur Instabilität neigen kann. Damit diese Verkopplung nicht zur Instabilität des Systems führt, ist eine Aufteilung der auszugleichenden Pegelfehler auf den vollgeregelten Verstärker im Speiseamt und die mitgesteuerten Verstärker der Fernspeiseschleife notwendig. Ist der von der Gesamtheit der mitgesteuerten Verstärker in einer Übertragungsrichtung der Fernspeiseschleifen auszugleichende Anteil eines vom Pilotregler ausgewerteten Pegelfehlers gleich Q, so ist die Ringverstärkung der Schleife:

$$v_r = Q^2 \tag{1}$$

Ein örtlicher Pegelfehler Δa in einer Übertragungsrichtung wird durch die Rückkopplung der Schleife um den Faktor

$$W = 1/(1 - v_r) = 1/(1 - Q^2) \tag{2}$$

vergrössert. Davon wird durch den Pilotregler im Speiseamt der Anteil

$$\Delta a_1 = (1 - Q)\, W \cdot \Delta a = \frac{\Delta a}{1 + Q} \tag{3}$$

ausgeregelt und der Anteil

$$\Delta a'_2 = -\, Q W \cdot \Delta a = \frac{-\,\Delta a\, Q}{1 - Q^2} \tag{4}$$

in die andere Übertragungsrichtung injiziert. Der Pilotregler der anderen Übertragungsrichtung muss den Fehler

$$\Delta a_2 = -\,(1 - Q) \cdot \Delta a'_2 = \frac{-\,\Delta a\, Q}{1 + Q} \tag{5}$$

ausregeln.

Der Pegelverlauf zwischen zwei benachbarten Speiseämtern, der eine gedachte Verbindungslinie zwischen den Pegelwerten der einzelnen Unterflurverstärker darstellt, beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers in einer Übertragungsrichtung und bei einem Stellwirkungs-Aufteilungsfaktor $Q = 0{,}4$ wird in Fig. 2 veranschaulicht. Die Werte Δa_1, Δa_2 und $\Delta a'_2$ werden berechnet. Am Anfang des Übertragungsabschnittes in jeder Übertragungsrichtung ist die Pegelabweichung gleich Null. Der Pegelverlauf zwischen Anfang und Ende einer Fernspeiseschleife ist linear und macht nur am Fehlerort einen Sprung. Die Neigung der Pegelverlaufskurve in den beiden Übertragungsrichtungen der gleichen Fernspeiseschleife ist entgegengesetzt gleich. Damit ist der Pegelverlauf nach Fig. 2 erklärt. Der gestrichelte Pegelverlauf gilt für $Q = 0$ (keine Korrektur).

Die Wirkung eines in beiden Übertragungsrichtungen auftretenden örtlichen Pegelfehlers ergibt sich durch die Überlagerung der Wirkungen eines jeden Pegelfehlers in der jeweiligen Übertragungsrichtung. Ist der Pegelfehler in jeder Übertragungsrichtung gleich Δa, so ergibt sich durch Addition der Gl. (3) und (5) der von den Pilotreglern in jeder Übertragungsrichtung auszuregelnde Anteil zu:

$$\Delta a_1 = \Delta a_2 = \frac{\Delta a}{1 + Q} - \frac{\Delta a\, Q}{1 + Q} = \frac{\Delta a\,(1 - Q)}{1 + Q} \tag{6}$$

Der Pegelverlauf zwischen zwei benachbarten Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers gleicher Grösse an der gleichen Stelle in beiden Übertragungsrichtungen bei einem Stellwirkungs-Aufteilungsfaktor von $Q = 0{,}4$ zeigt Fig. 3.

Der Pegelverlauf zwischen zwei benachbarten Speiseämtern beim Auftreten gleicher systematischer Pegelfehler in allen ferngespeisten Verstärkern beider Übertragungsrichtungen bei einem Stellwirkungs-Aufteilungsfaktor von $Q = 0{,}4$ zeigt Fig. 4. Man erhält diesen Verlauf, wenn man die systematischen Fehler an jeder Stelle als singuläre, örtliche Pegelfehler gleicher Grösse in beiden Übertragungsrichtungen betrachtet und ihre Wirkungen überlagert. Die systematischen Fehler werden entsprechend der Gl. (6) um den Faktor $(1-Q)/(1+Q)$ reduziert.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass die Korrekturanordnung nach Fig. 1 beim Ausregeln eines in einer Übertragungsrichtung auftretenden örtlichen Pegelfehlers sich insofern nachteilig auswirkt, als dadurch ein Pegelfehler in die andere Übertragungseinrichtung nur selten und kurzzeitig auftritt und nur eine

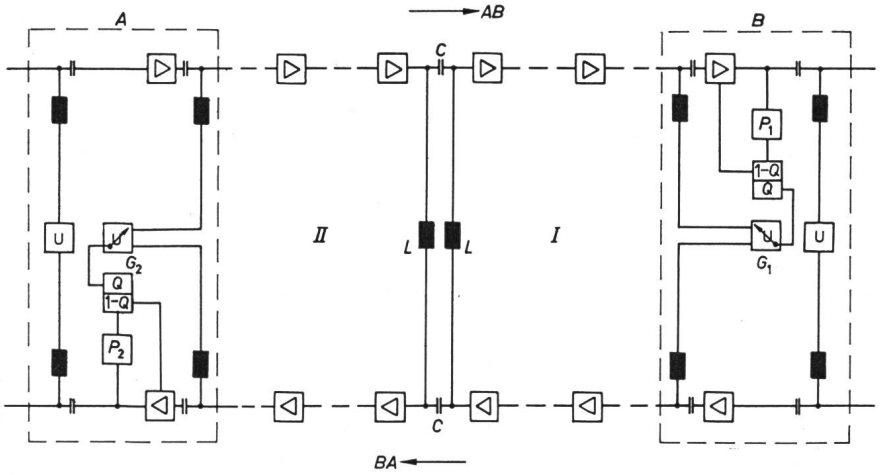


Fig. 1
Korrekturanordnung mit Beeinflussung beider Fernspeiseschleifen in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung
A, B Speiseämter; *I, II* Fernspeiseschleifen; G_1, G_2 Fernspeisegeräte; P_1, P_2 Pegelregler; *C, L* Fernspeiseweichen (Kondensator, Induktivität); *AB, BA* Übertragungsrichtungen; *Q* Stellwirkungsanteil der mitgesteuerten Verstärker

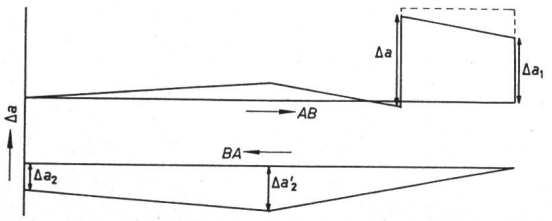


Fig. 2
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in der Übertragungsrichtung *AB*
Korrekturanordnung nach Fig. 1
Δa auftretende Pegelfehler; Δa_1 vom Pilotregler im Speiseamt auszuregelnde Anteil des Pegelfehlers; $\Delta a_2'$ in die andere Übertragungsrichtung injizierte Pegelfehler; Δa_2 vom Pilotregler der anderen Übertragungsrichtung auszuregelnde Pegelfehler;
—— $Q = 0{,}4$; ----- $Q = 0$

Grösse von 0,2 N haben darf, ist dieser Nachteil bei einem nicht zu grossen Faktor Q nicht schwerwiegend. Pegelfehler, die in beiden Übertragungsrichtungen auftreten, insbesondere systematische Fehler, werden dagegen stark reduziert.

Man ist bestrebt, einerseits die Wirkung eines örtlichen Fehlers auf die andere Übertragungsrichtung möglichst klein zu halten, andererseits sollen die systematischen Fehler möglichst stark vermindert werden. Eine Aufteilung mit $Q = 0{,}4$ stellt einen guten Kompromiss zwischen den zwei Gesichtspunkten dar.

Wird der Einfluss des Pilotreglers auf den vollgeregelten Verstärker in allen Übertragungsabschnitten gleich gemacht, während der Einfluss des Pilotreglers auf die Gesamtheit der frengespeisten Verstärker der zugehörigen Fernspeiseschleife nur bei langen Abschnitten z. B. eine Aufteilung der Fehler im Verhältnis 60 : 40 verursacht, und bei kürzeren Abschnitten und Fernspeiseschleifen dieser Einfluss entsprechend verkleinert wird, so werden auch die systematischen Fehler der kürzeren Abschnitte schwächer reduziert. Da aber auch die Fehler der kürzeren Abschnitte insgesamt kleiner sind, ergibt sich hierbei eine gleiche Güte der Regelung unabhängig von der Länge der Fernspeiseschleifen. Örtliche Pegelfehler werden dagegen schwächer in die Gegenrichtung injiziert.

Die gerätetechnische Realisierung dieser Anordnung ist sehr einfach. Es müssen alle Pilotregler gleiche Charakteristiken haben und unabhängig von der Zahl der ferngespeisten Verstärker muss die Beeinflussung des Fernspeisegerätes durch den Pilotregler immer gleich eingestellt werden. Damit entspricht einer bestimmten Verstärkungsänderung des vollgeregelten Verstärkers im Speiseamt immer eine feste Änderung des Fernspeisestromes. Dazu wird von dem Stellwerk des Pilotreglers eine, seiner Stellung proportionale Spannung abgegriffen und der Vergleichsspannung des Fernspeisegerätes überlagert.

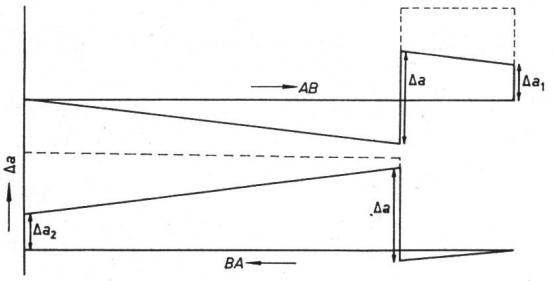


Fig. 3
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in beiden Übertragungsrichtungen
Korrekturanordnung nach Fig. 1
Bezeichnungen siehe Fig. 2

2.2 Korrekturanordnung mit Beeinflussung jeweils nur einer Fernspeiseschleife in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung

Nach Fig. 5 wird in jedem Übertragungsabschnitt zwischen zwei benachbarten Speiseämtern nur eine Fernspeiseschleife der ankommenden Übertragungsrichtung vom Pilotregler im Speiseamt korrigierend beeinflusst. Diese Korrektur in jedem zweiten speisenden Amt wird von Pilotreglern entgegengesetzter Übertragungsrichtung vorgenommen, damit die Fehler beider Übertragungsrichtungen gleichmässig korrigiert werden. Diese Verkopplung bringt keine Neigung zur Instabilität mit sich, da keine geschlossene Schleife vorhanden ist.

Auch hier sei ein Stellwirkungs-Aufteilungsfaktor Q wie in Abschnitt 2.1 definiert.

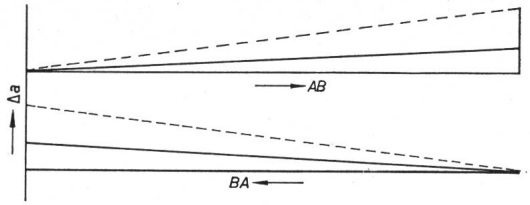


Fig. 4
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten systematischer Pegelfehler
Korrekturanordnung nach Fig. 1
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Ein örtlicher Pegelfehler Δa in der ankommenden Übertragungsrichtung AB des korrigierenden Speiseamtes wird so ausgeglichen, dass der Pilotregler im Speiseamt den Anteil

$$\Delta a_1 = (1 - Q)\,\Delta a \tag{7}$$

ausregelt und der Anteil

$$\Delta a_2 = Q\,\Delta a \tag{8}$$

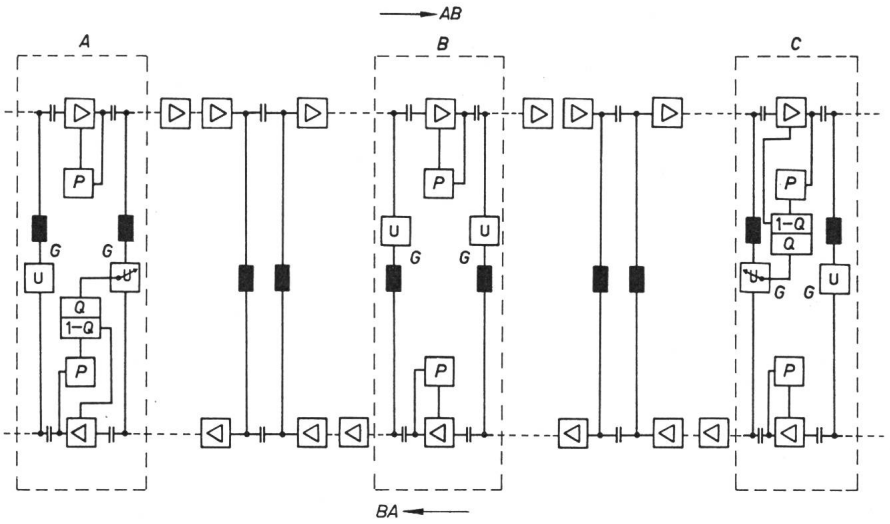
in die andere Übertragungsrichtung injiziert und vom Pilotregler der anderen Übertragungsrichtung ausgeregelt wird.

Damit ein örtlicher Pegelfehler in einer Übertragungsrichtung nicht zu stark die andere Übertragungsrichtung «verseucht», ist auch hier ein $Q < 1$ zweckmässig.

Der Pegelverlauf zwischen zwei benachbarten Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers in der Übertragungsrichtung AB bei einem Stellwirkungs-Aufteilungsfaktor $Q = 0{,}5$ wird im Diagramm von Fig. 6 veranschaulicht. Das Diagramm in Fig. 7 zeigt denselben Pegelverlauf beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers gleicher Grösse an der gleichen Stelle in beiden Übertragungsrichtungen. Fig. 8 zeigt schliesslich den Pegelverlauf beim Auftreten gleicher, systematischer Pegelfehler in allen ferngespeisten Verstärkern beider Übertragungsrichtungen.

In Bezug auf die Wirkung dieser Korrekturanordnung auf örtliche Pegelfehler gilt das gleiche wie in Abschnitt 2.1. Systematische Pegelfehler werden bei $Q = 0{,}5$ im arithmetischen Mittel in der einen Übertragungsrichtung auf ¼ und in der zweiten Übertragungsrichtung auf ¾ reduziert. Da aber für die Geräuschbilanz des Systems in erster Näherung das arithmetische Mittel der Fehler massgebend ist, und die

Fig. 5
Korrekturanordnung mit Beeinflussung jeweils nur einer Fernspeiseschleife in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung
A, B, C Speiseämter; *G* Fernspeisegeräte; *P* Pegelregler; *C, L* Fernspeiseweichen; *AB, BA* Übertragungsrichtungen; *Q* Stellwirkungsanteil der mitgesteuerten Verstärker



Korrektur abwechselnd von Pilotreglern beider Übertragungsrichtungen vorgenommen wird, werden die systematischen Fehler auf ½ reduziert.

Bezüglich der Realisierung der Korrektur gilt das gleiche wie in Abschnitt 2.1.

Eine Variante der Anordnung nach Fig. 5 besteht darin, dass von einem und demselben Pilotempfänger im korrigierenden Speiseamt zwei gesonderte Regler betrieben werden, von denen der eine schnelle Regler für unnatürliche, plötzliche Pegelsprünge im Speiseamt zuständig ist, während der andere, langsame Regler, der kleinere Ansprechschwellen und kleineren Regelbereich als der erste Regler hat, zur Korrektur der Fehler der Pegelsteuerung dient. Bei langsamen natürlichen Pegeländerungen spricht immer der empfindliche Regler an und korrigiert die Fernspeisespannung, während plötzliche Pegelsprünge vom schnellen unempfindlicheren Regler ausgeregelt werden, bevor der Korrekturregler sich nennenswert verändert hat.

Eine andere Variante dieser Anordnung sieht zwei völlig getrennte Regeleinrichtungen mit getrennten Pilotempfängern vor, wobei der Korrekturregler vor dem eigentlichen Amtsregler angebracht ist.

Die zwei letzten Varianten der Korrekturanordnung erfordern etwas mehr Aufwand aber erlauben eine fast völlige Trennung der natürlichen und unnatürlichen Pegelfehler und der Mittel zu ihrem Ausgleich.

2.3 Korrekturanordnung mit Beeinflussung einer Fernspeiseschleife in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung und der anderen Fernspeiseschleife durch Vorwärtssteuerung

Nach Fig. 9 werden in jedem Speiseamt vom Piloten einer vorher festgelegten Übertragungsrichtung die Speisegeräte G_1 und G_2 beider benachbarten Fernspeiseschleifen in der Weise korrigierend beeinflusst, dass in jedem Übertragungsabschnitt zwischen zwei benachbarten Speiseämtern nur eine Fernspeiseschleife rückwärts geregelt und die zweite Fernspeiseschleife vorwärts gesteuert wird. In der anderen Übertragungsrichtung sind in jedem Speiseamt Pilotregler vorgesehen, die nur den zugehörigen Leitungsverstärker allein regeln. Dadurch gibt es keine Verkoppelung der Wirkungen zweier Pilotregler entgegengesetzter Übertragungsrichtung und keine Neigung zur Instabilität.

Wenn der Übertragungsabschnitt zwischen zwei benachbarten Speiseämtern nur kurz ist und nur eine Fernspeiseschleife besitzt, kann selbstverständlich von da ab die Korrektur von den Pilotreglern der anderen Übertragungsrichtung vorgenommen werden.

Der Stellwirkungsanteil für die rückwärts geregelte bzw. vorwärts gesteuerte Fernspeiseschleife sei Q bzw. Q'.

Es ist zweckmässig, den Stellwirkungsanteil Q der Gesamtheit aller rückwärtsgeregelten Verstärker der ankommenden Übertragungsrichtung grösser als den Stellwirkungsanteil Q' der Gesamtheit aller vorwärtsgesteuerten Verstärker der abgehenden Übertragungsrichtung zu machen. Der Grund hierfür ist folgender: Nimmt man den sehr ungünstigen Fall an, dass mehrere benachbarte Übertragungsabschnitte Restfehler Δa_f alternierenden Vorzeichens aufweisen, so wird durch die Vorwärtssteuerung, wie sich leicht nachweisen lässt, dieser Fehler nach einer geometrischen Reihe mit dem Quotienten Q' wachsen. Bei unendlich vielen Abschnitten wächst dieser Fehler auf den Betrag

$$\Delta a'_f = \frac{\Delta a_f}{1 - Q'} \tag{9}$$

Man erkennt, dass mit wachsendem Q' auch dieser Fehler wächst.

Ein örtlicher Pegelfehler Δa in der korrigierenden Übertragungsrichtung AB wird entsprechend den Gl. (7) und (8) ausgeglichen und «verseucht» nicht nur die andere Übertragungsrichtung, sondern über die vorwärtsgesteuerte Fernspeiseschleife auch die vor ihm liegenden Übertragungsabschnitte.

Der Pegelverlauf in zwei benachbarten Übertragungsabschnitten I und II beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers im Übertragungsabschnitt I in der korrigierenden Übertragungsrichtung AB bei $Q = 0{,}75$ und $Q' = 0{,}5$ wird in Fig. 10 wiedergegeben. Das Diagramm in Fig. 11 zeigt denselben Pegelverlauf beim Auftreten eines örtlichen Pegelfehlers gleicher Grösse an der gleichen Stelle in beiden Übertragungsrichtungen.

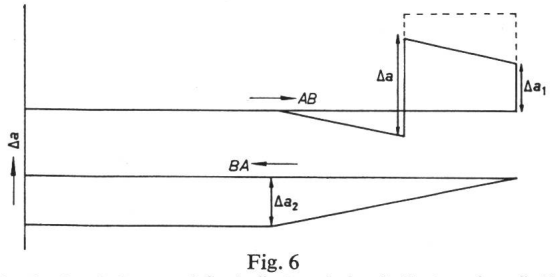


Fig. 6
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in der Übertragungsrichtung *AB*
Korrekturanordnung nach Fig. 5
—— $Q = 0{,}5$; ----- $Q = 0$
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

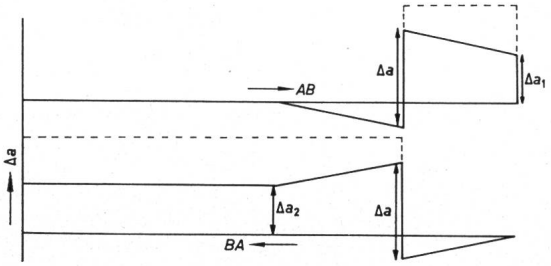


Fig. 7
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in beiden Übertragungsrichtungen *AB* und *BA*
Korrekturanordnung nach Fig. 5
Bezeichnungen siehe Fig. 6

Beim Auftreten gleicher systematischer Pegelfehler in allen ferngespeisten Verstärkern beider Übertragungsrichtungen wird der vom korrigierenden Pilotregler ausgewertete Pegelfehler $\Delta a'_1$ aus der Gleichung:

$$\Delta a - Q'\Delta a'_1 = \Delta a'_1 \tag{10}$$

zu

$$\Delta a'_1 = \frac{\Delta a}{1 + Q'} \tag{11}$$

berechnet. Dabei ist Δa der im gesamten Übertragungsabschnitt bei fehlender Korrektur aufgelaufene Pegelfehler.

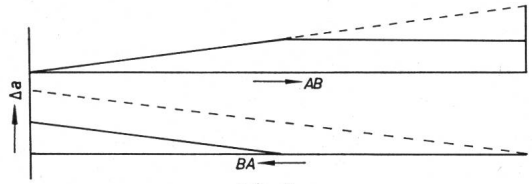


Fig. 8
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten systematischer Pegelfehler
Korrekturanordnung nach Fig. 5
Bezeichnungen siehe Fig. 6

Der korrigierende Pilotregler übernimmt den Anteil:

$$\Delta a_1 = (1 - Q)\Delta a'_1 = \frac{\Delta a\,(1 - Q)}{1 + Q'} \tag{12}$$

Der Anteil $Q\Delta a'_1$ wird von der Gesamtheit der rückwärtsgeregelten Verstärker und der Anteil $Q'\Delta a'_1$ von der Gesamtheit der vorwärtsgesteuerten Verstärker übernommen.

Der Pegelverlauf zwischen zwei benachbarten Speiseämtern beim Auftreten gleicher systematischer Pegelfehler in allen ferngespeisten Verstärkern beider Übertragungsrichtungen bei $Q = 0{,}75$ und $Q' = 0{,}5$ wird in Fig. 12 veranschaulicht. In der Übertragungsrichtung AB wird hierbei der arithmetische Mittelwert der Pegelfehler auf ¼ und in der Übertragungsrichtung BA auf $^1/_{12}$ reduziert.

In Bezug auf die Wirkung dieser Korrekturanordnung auf örtliche Pegelfehler gilt das gleiche wie in Abschnitt 2.1, zusätzlich des Nachteils, dass auch die vor ihm liegenden Übertragungsabschnitte mit «verseucht» werden. Diese ungünstige Beeinflussung der anderen Übertragungsabschnitte durch örtliche Pegelfehler ist aber nicht sehr gross und aus denselben Gründen tragbar wie die «Verseuchung» der anderen Übertragungsrichtung. Diese Beeinflussung klingt auch infolge kleinen Q' sehr schnell in der abgehenden Übertragungsrichtung ab. Systematische Pegelfehler werden dagegen durch diese Korrekturanordnung sehr stark reduziert.

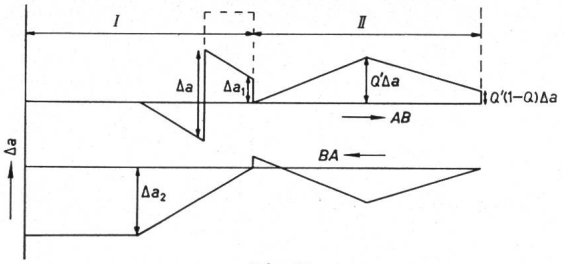


Fig. 10
Pegelverlauf in zwei Übertragungsabschnitten (*I* und *II*) beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in der Übertragungsrichtung *AB*
Korrekturanordnung nach Fig. 9
—— $Q = 0{,}75$; $Q' = 0{,}5$; ----- $Q = Q' = 0$
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

Bezüglich der Realisierung der Korrektur gilt das gleiche wie in Abschnitt 2.1. Auch hier sind zwei zusätzliche Varianten der Anordnung wie in Abschnitt 2.2 denkbar.

Die Heissleiter-Stellglieder in den ferngespeisten Verstärkern folgen wegen ihrer sehr grossen Zeitkonstante nur langsam einer Stromänderung, während die Regelung im Speiseamt sehr schnell erfolgt. Das bedeutet, dass ein plötzlicher Pegelsprung im Speiseamt zuerst von den vollgeregelten Verstärkern ausgeregelt und erst nachher von den dazugehörigen ferngespeisten Verstärkern zum Teil übernommen wird. Dadurch hat die Pegelsteuerung keinen Einfluss auf das dynamische Verhalten des Systems. Das gleiche gilt auch für die Korrekturanordnung nach Abschnitt 2.1 und 2.2.

3. Diskussion und Vergleich der Korrekturanordnungen

Ein Vergleich der verschiedenen Korrekturanordnungen kann unter den Gesichtspunkten der Einfachheit der Anord-

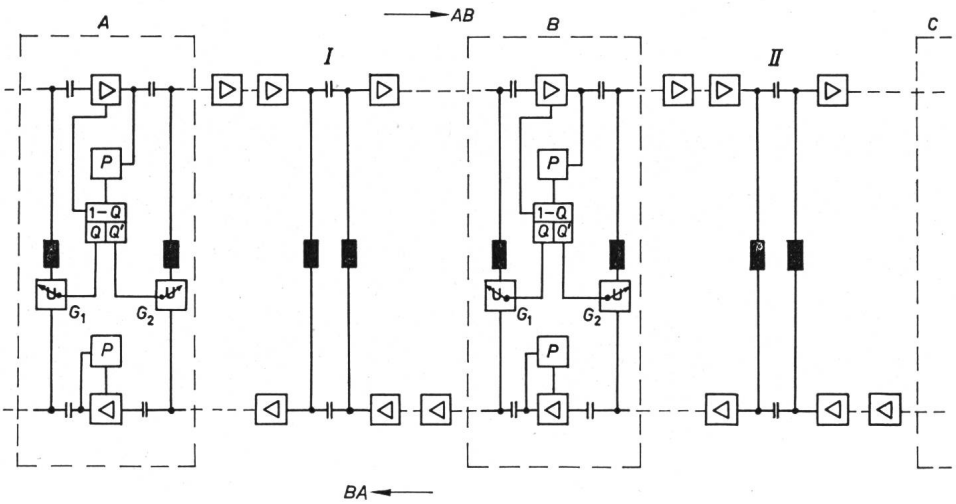


Fig. 9
Korrekturanordnung mit Beeinflussung einer Fernspeiseschleife in jedem Übertragungsabschnitt durch Rückwärtsregelung und der anderen Fernspeiseschleife durch Vorwärtssteuerung
A, B, C Speiseämter; *I, II* Übertragungsabschnitte; G_1, G_2 Fernspeisegeräte; *P* Pegelregler; *C, L* Fernspeiseweichen; *AB, BA* Übertragungsrichtungen; *Q* Stellwirkungsanteil der rückwärts geregelten Verstärker; *Q'* Stellwirkungsanteil der vorwärts gesteuerten Verstärker

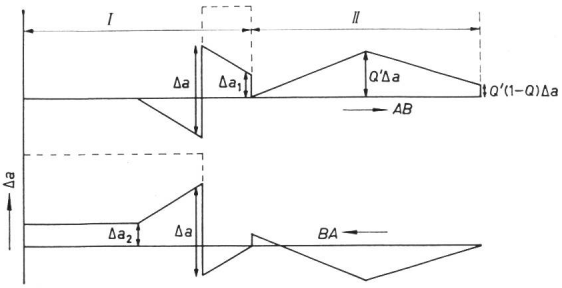


Fig. 11
Pegelverlauf in zwei Übertragungsabschnitten (*I* und *II*) beim Auftreten eines örtlichen Fehlers in beiden Übertragungsrichtungen *AB* und *BA*
Korrekturanordnung nach Fig. 9
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 10

nung oder ihrer Wirksamkeit durchgeführt werden. Die Einfachheit der Anordnung bezieht sich nicht auf die einzelne Fernspeiseschleife, sondern auf ein ganzes Trägerfrequenzsystem.

Die Korrekturanordnung nach Abschnitt 2.1 ist von allen Anordnungen die einfachste, denn alle Fernspeiseschleifen ohne Ausnahme werden in gleicher Weise von den zugehörigen Pilotreglern korrigierend beeinflusst. Diese völlige Symmetrie bedeutet, dass bei der Montage des Systems keinerlei Überlegungen angestellt werden müssen, ob diese oder jene Fernspeiseschleife beeinflusst oder nicht beeinflusst wird. Diese Korrekturanordnung ist auch sehr wirksam, weil alle Abschnitte in beiden Übertragungsrichtungen in gleichem Masse korrigiert und insbesondere systematische Fehler stark reduziert werden. Wegen der Verkopplung der beiden Übertragungsrichtungen kann allerdings der Faktor Q nicht beliebig gross und die Korrektur nicht beliebig gut gemacht werden.

Die Korrekturanordnungen nach Abschnitt 2.2 und 2.3 sind in der Handhabung komplizierter, denn sie verlangen vor der Montage eine genaue Überlegung darüber, welche Fernspeiseschleifen eine Korrektur erhalten.

Die Anordnung nach Abschnitt 2.2 hat zwar den Vorteil, dass eine Verkopplung beider Übertragungsrichtungen zu einer Schleife vermieden wird. Aber dies kann nicht zur Verbesserung ihrer Wirksamkeit ausgenutzt werden, denn trotz einer Vergrösserung des Faktors Q können systematische Fehler, wie es sich leicht nachweisen lässt, nicht um mehr als die Hälfte verringert werden.

Die Korrekturanordnung nach Abschnitt 2.3 ist von allen drei Anordnungen die wirksamste, denn sie erlaubt ohne Rücksicht auf die Verkopplung der beiden Übertragungsrichtungen, eine solche Wahl der Faktoren Q und Q', dass die systematischen Fehler sehr stark reduziert werden.

Es empfiehlt sich also bei Systemen mit normalen Betriebsbedingungen die Anordnung nach Abschnitt 2.1 zu verwenden. Bei Systemen mit extrem erschwerten Betriebsbedingungen (z. B. sehr viel Kabel in Luft verlegt) kann die

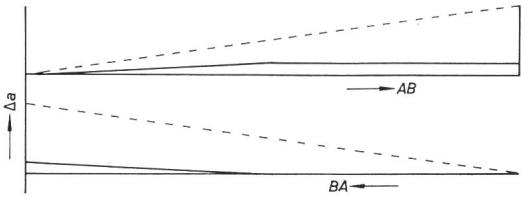


Fig. 12
Pegelverlauf zwischen zwei Speiseämtern beim Auftreten systematischer Pegelfehler
Korrekturanordnung nach Fig. 9
Bezeichnungen siehe Fig. 10

Verwendung der Korrekturanordnung nach Abschnitt 2.3 vorteilhaft sein. Die Anordnung nach Abschnitt 2.2 ist für die Anwendung weniger interessant.

Literatur

[1] *J. Korn:* Eine digitale Leitungsregelung für Trägerfrequenz-Weitverkehrssysteme NTZ 17(1964)10, S. 521...526.
[2] *J. Dezoteux:* Système transistorisé à 1,3 MHz fournissant 300 voies sur paires coaxiales de 1,2/4,4 mm″. Câbles et Transmission 16(1962)1, S. 41...50.
[3] *A. Jeschko:* Temperaturmessungen an der Koaxialkabelleitung Bern–Neuenburg. Techn. Mitt. PTT 41(1963)2, S. 29...33.
[4] *L. Becker:* Ein neuartiges 300-Kanal-Trägerfrequenzsystem für den Einsatz auf dünnen Koaxialleitungen (Zwergtuben). SEL-Nachrichten 7(1959)1, S. 1...6.
[5] *H. Kemter* und *G. Mieg:* Streckenausrüstung des Trägerfrequenzsystems V 300. Telefunken-Ztg. 38(1965)2, S. 156...165.
[6] *J. Korn:* Regulierung des Leitungspegels bei langen Trägerfrequenzverbindungen. Telefunken-Ztg. 38(1965)2, S. 165...172.
[7] *J. Korn:* Temperaturkompensation indirekt geheizter Heissleiter. Internat. Elektron. Rdsch. 20(1966)2, S. 105...113.

Adresse des Autors:
Dr. *J. Korn,* AEG-Telefunken, Gerberstrasse 34, D - 7150 Backnang/Württ.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die erste 400-kV-Freileitung in Mexiko

621.315.1 (72)

[Nach *P. Cathelat:* Das Wasserkraftwerk von El Infiernillo und die 400-kV-Leitung El Infiernillo—Mexiko der Comisión Federal de Electricidad in Mexiko. Techn. Informationsblatt des Franz. Generalkonsulates, Zürich, Nr. 7–8, 1966, S. 1...7]

Um die im Kraftwerk El Infiernillo am Rio Balsas erzeugte Energie auf wirtschaftliche Weise nach der Hauptstadt Mexiko transportieren zu können, wurde zum ersten Mal in der Geschichte des Landes 400 kV als Übertragungsspannung gewählt. Zwei praktisch parallel zueinander verlaufende Drehstromleitungen von 325 km Länge verbinden das Kraftwerk, welches eine installierte Leistung von 672 MW aufweist, mit der Unterstation Nopala bei Mexiko-City. Mit Rücksicht auf eine geringe Radiostörspannung wurden Zweileiterbündel gewählt mit einem Leiterabstand von 45 cm. Die Stahl-Aluminiumseile besitzen einen Aussendurchmesser von 32 mm und die Entfernung der Abstandhalter beträgt höchstens 70 m. Angesichts der grossen Höhenlage der Leitung und der starken Gewitterhäufigkeit sind die Leitungen über die ganze Länge durch zwei auf den Mastspitzen verlegte Erdseile geschützt. Die ausserordentlich günstige Gelegenheit an zwei in nur 100 m Abstand verlaufenden 400-kV-Leitungen Vergleiche zwischen Glas- und Porzellanisolatoren anzustellen, hat der Auftraggeber dazu benützt, um die nördliche Leitung mit Isolatoren aus gehärtetem Glas und die südliche mit Porzellanisolatoren auszurüsten.

Beim Verlegen der Leiter wurde ein Verfahren benützt, welches neue, von der Sté Générale d'Entreprise in Paris entwickelte Geräte zum Abspulen umfasste:

a) Ein Zuggerät mit automatischer Aufwicklung des Hilfsseiles;
b) Ein Abwickelgerät für die Leiterseile mit einer regulierbaren Bremse an der Seiltrommel.

Das Hilfsseil — ein biegsames Stahlseil — wird auf dem Boden ausgelegt, wozu infolge der topographischen Verhältnisse auf zwei Dritteln der Länge Menschenkraft erforderlich war. Dann wird es bis zu den Mastbalken angehoben und in die