Zeitschrift: 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 telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 34 (1956)

Heft: 6

Artikel: Steuer- und Regelschaltungen zum Ausgleich der wetterbedingten Dämpfungsschwankungen von Fernsprechleitungen

Autor: Welti, A. / Fischer, H. / Schlatter, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874528

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

Steuer- und Regelschaltungen zum Ausgleich der wetterbedingten Dämpfungsschwankungen von Fernsprechleitungen *

Von *A. Welti, H. Fischer* und *H. Schlatter*, Zürich 621.395.44 + 621.395.664

Zusammenfassung. *Die Dämpfung der Telephonleitungen ist witterungsbedingten Änderungen unterworfen. Ausserdem ist dieser Einfluss noch frequenzabhängig. Es ist angezeigt, diese Variationen mit Hilfe von Regelapparaten, bei Verwendung von Thermistoren, auszugleichen. Die Regelspannung kann aus der Widerstandsänderung der zugehörigen Phantomschlaufe oder mit Hilfe der Pilotschwingung gewonnen werden. Die Stabilität verursacht in beiden Fällen keine besonderen Schwierigkeiten.*

Résumé. *L'amortissement des lignes téléphoniques varie selon les conditions météorologiques. Cette influence dépend, de plus, de la fréquence. Il est donc nécessaire de compenser ces variations à l'aide d'appareils de réglage, qui comportent des thermistors. La tension de réglage peut s'obtenir à partir de la résistance ohmique du circuit ou à l'aide de l'onde pilote. La stabilité ne donne lieu à aucune difficulté, même dans le second cas.*

1. Einleitung

Die Dämpfung der Fernsprechleitungen hängt von der Temperatur (Kabel) oder vom Wetter im allgemeinen (Frei- und Feldleitungen) ab. Die dadurch hervorgerufenen Pegelschwankungen werden im Zusammenhang mit den steigenden technischen Anforderungen, die heute an die weitverzweigten und über grosse Distanzen verlegten Leitungskomplexe gestellt sind, als störend empfunden. Deshalb wird der Übertragungstechnik in zunehmendem Masse eine Steuer- und Regeltechnik angegliedert. Die Elektronik hat als Ersatz für die aufwendigen mechanischen Glieder einerseits die Elektronenröhre und den Transistor,

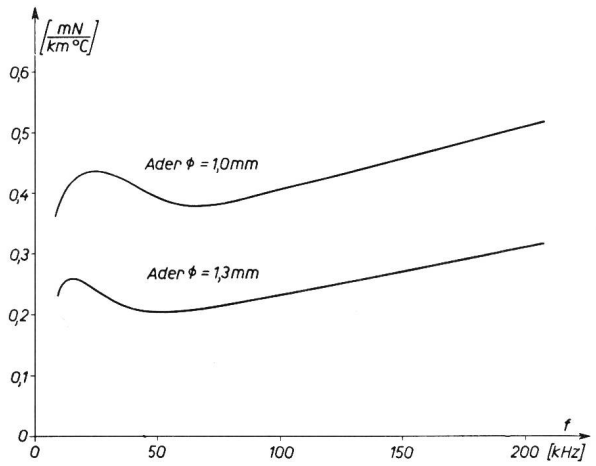


Fig. 1. Temperaturkoeffizient der Dämpfung von Trägerkabeln mit symmetrischen Aderpaaren in Abhängigkeit der Frequenz

mit denen man steuern und auch verstärken kann, anderseits die verschiedenen Arten Heissleiter mit ihrem spannungs- und stromabhängigen Widerstand zur Verfügung gestellt. Der Thermistor, von der letzten Gruppe, hat schon ungezählte Anwendungen gefunden, und die vorliegende Arbeit zeigt unter anderem seine Verwendung in Steuer- und Regelschaltungen im Dienste der Fernsprechübertragung.

* Aus: Albiswerk-Berichte 1956, Nr. 1, S. 7...20, mit freundlicher Bewilligung der Firma Albiswerk Zürich AG., Zürich.

2. Das wetterbedingte Verhalten von Fernsprechleitungen

Bei im Boden verlegten *Kabeln* treten temperaturbedingte Dämpfungsschwankungen auf, die bei genügender Verlegungstiefe im wesentlichen dem jahreszeitlichen Gang der Bodentemperatur folgen; die täglichen Schwankungen der Oberflächentemperatur dringen naturgemäss um so weniger bis zum Kabel, je tiefer es verlegt ist. Nach Messungen, die an Trägerkabeln mit symmetrischen Aderpaaren gemacht worden sind (siehe *F. Locher:* Übersicht über den heutigen Stand der Trägertelephonie. Technische Mitteilungen PTT 1950), ist der Temperaturkoeffizient der Kabeldämpfung auch frequenzabhängig (s. Fig. 1). Die mittlere Jahrestemperatur darf bei einer Verlegungstiefe von 0,8...1 m etwa +10° C und die jahreszeitlich bedingte Schwankungsamplitude mit ± 8...10° C angesetzt werden.

Im allgemeinen wird die Bedingung gestellt, dass die Pegelschwankungen bei der höchsten Signalfrequenz – hier 200 kHz – die Grenze ± 0,1 N nicht überschreiten dürfen. Diese Grenze gilt auch für die linearen Verzerrungen, die von der Frequenzabhängigkeit der Dämpfungsschwankungen hervorgerufen werden. Aus diesen Bedingungen und aus den Werten der Figur 1 folgen die maximalen Längen einer ungeregelten Leitung und einer nur pegelgeregelten Leitung (s. *Tabelle I*).

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass schon bei verhältnismässig kurzen Kabelleitungen Einrichtungen zur Pegelkonstanthaltung, sogar solche mit zusätzlicher Entzerrung des frequenzabhängigen Temperaturkoeffizienten vorzusehen sind, wenn der Signalpegel zeitlich über einen weiten Frequenzbereich hinreichend konstant sein soll. Auf die Änderungsgeschwindigkeit der temperaturbedingten Pegelschwankungen von Kabelleitungen braucht nicht besonders eingegangen zu werden, beträgt doch diese höchstens wenige Millineper je Stunde. Alle Vorgänge sind daher nach rein statischen Gesichtspunkten zu beurteilen.

Bei *Freileitungen* (Übertragungsfrequenzbereiche bis 150 kHz und Feldlängen von 100 km und mehr) sind es in erster Linie die atmosphärischen Einflüsse

Tabelle I. Beziehung zwischen Streckenlänge und erforderlicher Regelung

Temperaturschwankungen	± 8° C		± 10° C	
Trägerkabel	1,3 mm ⌀	1,0 mm ⌀	1,3 mm ⌀	1,0 mm ⌀
ungeregelt bis.	37 km	22 km	29,5 km	17,5 km
Nur Pegelausgleich . .	37...90 km	22...62,5 km	29,5...71,5 km	17,5...50 km
Pegel und Frequenzausgleich ab.	90 km	62,5 km	71,5 km	50 km

als Gesamtes, die – übrigens ausgesprochen starke – Dämpfungsverzerrungen verursachen (s. Fig. 2). Der Dämpfungszuwachs bei Rauhreif und Vereisung ist so ausgeprägt, dass u. U. die Übertragung überhaupt in Frage gestellt ist. Die Entzerrung der frequenz-

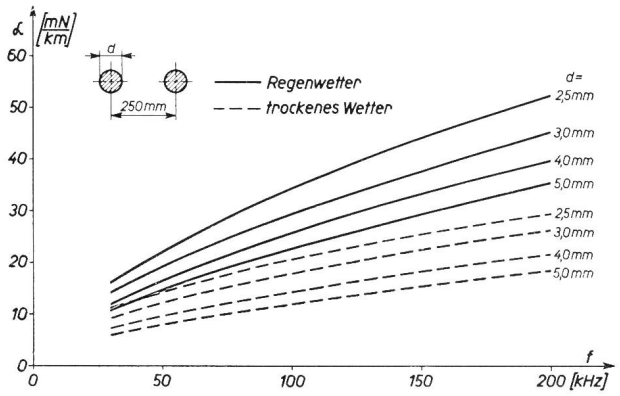


Fig. 2. Gegenüberstellung der Dämpfung von Freileitungen bei trockenem und bei Regenwetter

abhängigen, wetterbedingten Dämpfung ist daher durch Steuer- oder Regelorgane von vornherein in die Planung einzubeziehen (s. z. B. *S. Kleiber:* Eine Schaltung zur selbsttätigen Pegelhaltung bei Trägerfrequenz-Vielfachsystemen für Freileitungen. Europ. Fernsprechdienst 1939, 53. Folge). In Anbetracht der grossen Schwankungen wird der Pegel auf etwa ± 0,2 N konstant gehalten. Auch die dynamischen Vorgänge weisen bei der Freileitung ein abweichendes Verhalten auf: Die Änderungsgeschwindigkeit der Pegelschwankungen kann infolge eines plötzlichen Wetterumschwunges wenn nicht grosse, so doch grössere Beträge annehmen als bei Kabelleitungen, im Mittel etwa Werte von 50 mN je Minute, im Maximum Werte von 100 mN je Minute. Alles in allem gesehen, ist aber auch diese Änderungsgeschwindigkeit ausserordentlich klein, so dass das dynamische Verhalten stark in den Hintergrund tritt.

Als weiterer Leitungstyp sei auf die *Feldleitungen* hingewiesen, die im vorliegenden Zusammenhang zufolge ihrer ausgesprochen wetter- und verlegungsabhängigen Übertragungseigenschaften am ungünstigsten abschneiden. Hierbei ist nicht nur der Dämpfungsgang, sondern auch der Wellenwiderstand äusserst starken Schwankungen unterworfen. Auch hier führt unter Umständen (grosse Feuchtigkeit, Schnee) die Verschlechterung bis zur Unbrauchbarkeit der Leitung. Einen Einblick in das Verhalten bei verschiedenen Wettereinflüssen und Verlegungsarten geben die Figuren 3 bis 7, die sich auf eigene Messungen stützen. Auffällig ist vor allem die starke Änderung der Kapazität und der Ableitung. Die Änderungsgeschwindigkeit folgt etwa derjenigen von Freileitungen.

Tabelle II. Dämpfungsschwankungen bei ± 10° C und 25 km Feldlänge

Frequenz kHz	Temperaturkoeffizient $\left[\frac{mN}{km^oC}\right]$ Kabel		Pegelabweichung (N) Kabel	
	1,3 mm ⌀	1,0 mm ⌀	1,3 mm ⌀	1,0 mm ⌀
12	0,25	0,38	0,0625	0,095
50	0,202	0,392	0,0505	0,098
65,5	0,208	0,376	0,0520	0,094
200	0,275...0,34	0,455...0,568	0,069...0,085	0,114...0,142

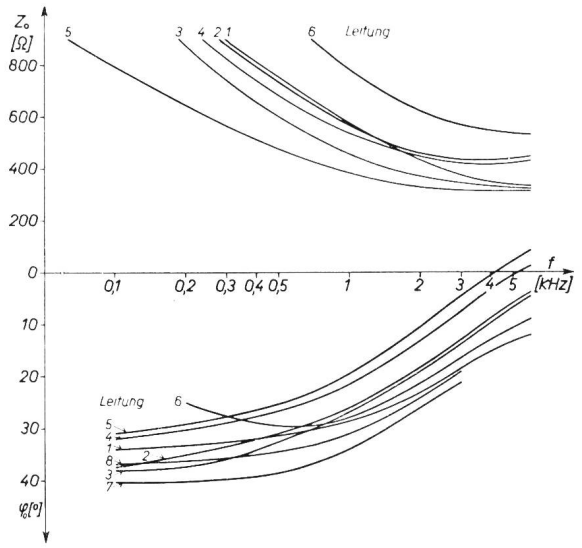


Fig. 3. Wellenwiderstand nach Betrag und Phase einer zweidrähtigen Feldleitung in Abhängigkeit der Frequenz bei verschiedener Verlegung, verschiedenen Aderabständen und unterschiedlicher Witterung (siehe Tabelle)

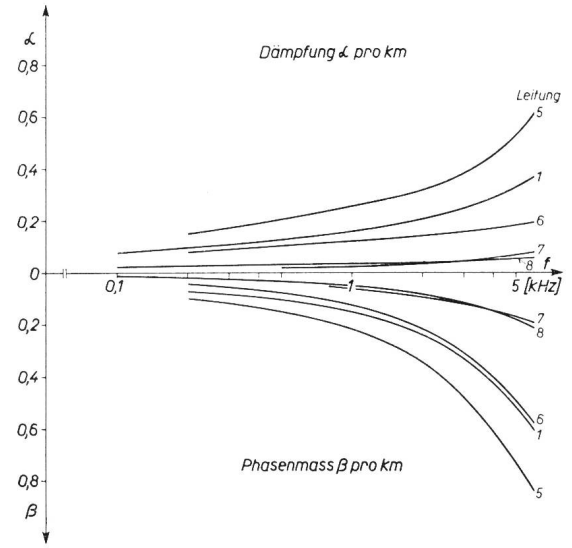


Fig. 4. Dämpfungs- und Phasenmass einer zweidrähtigen Feldleitung in Abhängigkeit der Frequenz bei verschiedener Verlegung, verschiedenen Aderabständen und unterschiedlicher Witterung (siehe Tabelle)

3. Eine Pegelsteuerung (direkte Regelung) zum Ausgleich der temperaturbedingten Dämpfungsschwankungen bei Trägerkabeln

Die Ausführungen im Abschnitt 2 lassen erkennen, dass bereits Kabelstrecken von der Grösse eines Verstärkerfeldes (etwa 25 km bei nutzbarem Frequenzbereich 200 kHz) einen Ausgleich der temperaturbedingten Dämpfungsschwankungen erfordern. Bei einer Temperaturschwankung von ± 10° C und 25 km Feldlänge gelten die Werte in *Tabelle II*.

Ist eine Pegelsteuerung für jedes Verstärkerfeld vorgesehen, so bleiben die Pegelschwankungen eng begrenzt; besondere Massnahmen beim Ausfall einer im Leitungszuge eingesetzten Pegelsteuerung sind deshalb nicht zu treffen. Eine besondere Bedingung sollte allerdings eingehalten werden, dass nämlich ausgefallene Steuereinrichtungen auf Mittellage (und nicht auf eine Endlage) gehen.

Von der Steuerung muss ferner verlangt werden, dass der Dämpfungsausgleich durch die Regelglieder wenigstens im stationären Zustand näherungsweise den temperaturbedingten Schwankungen entsprechen. Aus Literaturangaben (s. z. B. *D. van den Berg:* Dämpfung und Phasenverschiebung von Papierkabeln, welche bei der Trägertelephonie benützt werden. Het PTT-bedrijf, Jaargang 1, No. 2, 1947/48) ist bekannt, dass die Zunahme der Kabeldämpfung bei steigender Temperatur hauptsächlich auf die Widerstandszunahme des Leitungskupfers zurückzuführen ist. Es lässt sich daher mit genügender Genauigkeit aus dieser Widerstandsänderung eine Steuerspannung ableiten, um mittelbar den Verstärkungsgrad der Leitungsverstärker zu verstellen. Verhältnisrichtige Übertragung der Steuerspannung auf das Stellglied ist eine erste Voraussetzung. Zweite Voraussetzung ist die Temperaturunempfindlichkeit aller im Zuge der Leitung liegenden Apparate,

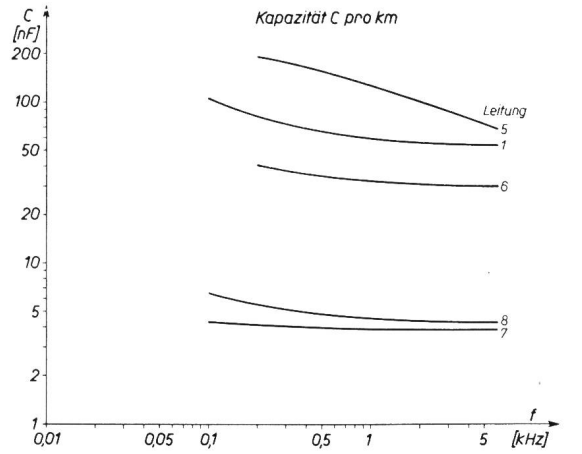


Fig. 5. Kilometrische Kapazität einer zweidrähtigen Feldleitung in Abhängigkeit der Frequenz bei verschiedener Verlegung, verschiedenen Aderabständen und unterschiedlicher Witterung (siehe Tabelle)

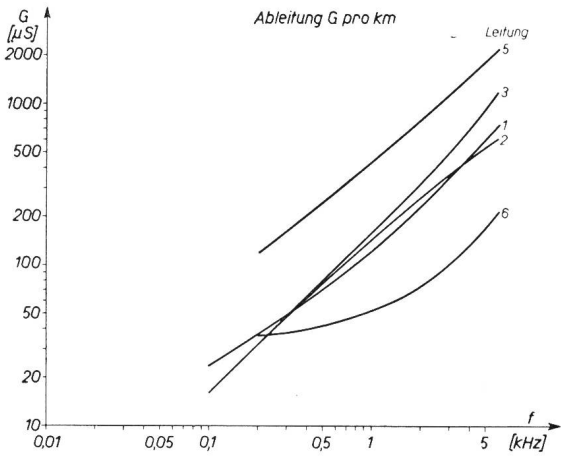
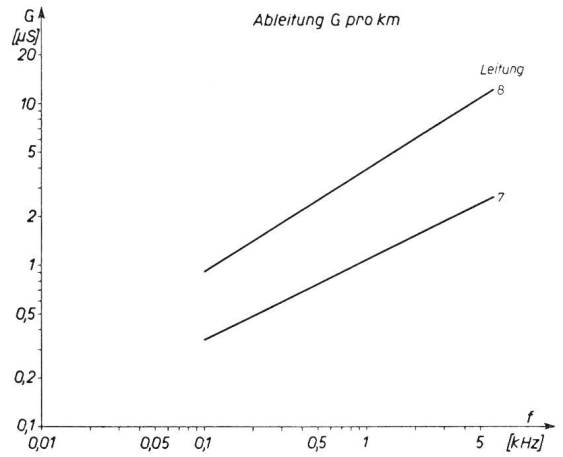


Fig. 6. Kilometrische Ableitung einer zweidrähtigen, am Boden verlegten Feldleitung in Abhängigkeit der Frequenz bei verschiedenen Aderabständen und unterschiedlicher Witterung (siehe Tabelle)



Leitung	Verlegung	Adernabstand	Witterung
1	am Boden	5 cm	nass
2	am Boden	50 cm	nass
3	am Boden	50 cm	nasser Schnee
4	am Boden	3 m	nass
5	am Boden	300 m	nass
6	am Boden	300 m	trocken
7	hoch	300 m	trocken
8	hoch	300 m	nass

Fig. 7. Kilometrische Ableitung einer zweidrähtigen, hoch verlegten Feldleitung in Abhängigkeit der Frequenz bei trockener und nasser Witterung

vor allem der Stellglieder selbst in den Verstärkern. Eine Selbsterregung kann dagegen bei der hier betrachteten direkten Steuerung nicht vorkommen.

Wird als 25-km-Meßstrecke ein Phantomkreis, der am fernen Ende kurzzuschliessen ist, verwendet, so darf beispielsweise bei einem Kabel von 1,3 mm ⌀ mit einem Schleifenwiderstand von etwa 325 Ω gerechnet werden. Bei einer Temperaturschwankung von $\pm$ 10° C und $\alpha_{Cu} = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/° C (Temperaturkoeffizient des Leitungskupfers) ergibt sich eine Widerstandsänderung von $\pm$ 13 Ω. Unter Widerstand ist hier der Gleichstromwiderstand zu verstehen, der auch bei Wechselstrom 50 Hz gilt (bis zu Phasenverschiebungen kleiner als 5°). Diese Widerstandsänderung wird in einer Messbrücke bzw. Differentialschaltung, die nur einen einzigen sehr genau zu haltenden Normalwiderstand benötigt, erfasst. Als Messspannung wird 1 V bei 50 Hz verwendet; grössere Spannungen sind unzulässig, wenn die Stammleitungen und vor allem benachbarte, mit Musik belegte Phantomleitungen unbeeinflusst bleiben sollen.

Bezeichnet U_1, gemäss Figur 8, die am Eingang der Differentialschaltung zugesetzte Meßspannung, Δt die Temperaturabweichung gegenüber einem mittleren Wert ($+$ 10° C), α_{Cu} den Temperaturkoeffizienten des Leitungskupfers, so entsteht im Mittelzweig der Differentialschaltung bei nicht allzugrossen Widerstandsänderungen der Phantomleitung und bei Vernachlässigung kleiner Grössen zweiter Ordnung eine linear und vorzeichenrichtig von Δt abhängige Steuerspannung U_2:

$$U_2 = \frac{U_1}{4} \cdot \alpha_{Cu} \cdot \Delta t$$

Mit den bereits bekannt gegebenen Werten von $U_1 = 1$ V, $\alpha_{Cu} = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/° C und $\Delta t = \pm$ 10° C folgt für U_2 ein Betrag von $\pm$ 0,01 V.

Die Steuerspannung ist weder vom absoluten Betrag des Phantomschleifenwiderstandes noch vom Normalwiderstand abhängig. Es entsteht demnach unabhängig von Streckenlänge und Kabelart – wobei allerdings entsprechende Normalwiderstände zum Brückenabgleich eingesetzt werden müssen – dieselbe Steuerspannung bei gleicher Temperaturabweichung. Daraus geht hervor, dass derselbe Steuerspannungsgeber in allen Fällen benützt werden kann, wenn eine kleine Potentiometerschaltung, dem linearen Einfluss der Streckenlänge (Streckenkorrektur) entsprechend, die Steuerspannung herabsetzt.

Die in der Differentialschaltung abgeleitete Steuerspannung U_2 wird im Steuerspannungsverstärker verstärkt. Starke Spannungsgegenkopplung setzt den Innenwiderstand am Ausgang so weit herab, dass der Verstärkungsgrad unabhängig von der Belastung konstant bleibt. Die Veränderbarkeit der Ausgangsbelastung ergibt sich nämlich aus der oben geforderten Streckenkorrektur, die folgendermassen wirkt: Bei Normalstrecken (25 km) wird die volle Ausgangsspannung zur Verstellung der in den Leitungsverstärkern befindlichen Einstellmittel (Stellglieder) verwendet. Bei kürzeren Strecken sorgt ein Spannungsteiler für die Einstellung einer zur Streckenlänge proportionalen Steuerspannung.

Die Ausgangsleistung des Steuerspannungsverstärkers ist so gross, dass sie direkt zur Verstellung aller Stellglieder für eine Kabelstrecke verwendet werden kann. Es besteht jedoch die Forderung, dass bei Ausfall der Steuerspannung die Stellglieder in die Mittellage des Regelbereiches zurückgehen. Es wird deshalb den Stellgliedern Leistung von zwei Seiten zugeführt: vom Steuerspannungsverstärker die den Temperaturschwankungen entsprechende Steuerleistung und von einer festen Stromquelle die dem Jahresmittel 10° C entsprechende Dauerleistung. Als feste Stromquelle dient eine konstantgehaltene 50-Hz-Stromversorgung, woraus übrigens auch die obenerwähnte Meßspannung bezogen wird. Als Kopplungspol wird eine Differential-Brückensternschaltung benützt, worin die von zwei Seiten zugeleiteten 50-Hz-Schwingungen je nach Vorzeichen der Steuerspannung addiert oder subtrahiert werden. Am Ausgang des Kopplungspoles entsteht somit eine Differenzspannung, die ein genaues Abbild der Temperatur des Kabels darstellt und die den in Reihe geschalteten Stellgliedern der Leitungsverstärker zugeführt wird. Es handelt sich also um eine Mehrfachsteuerung: Die gemeinsame Steuerspannung wirkt auf Über-

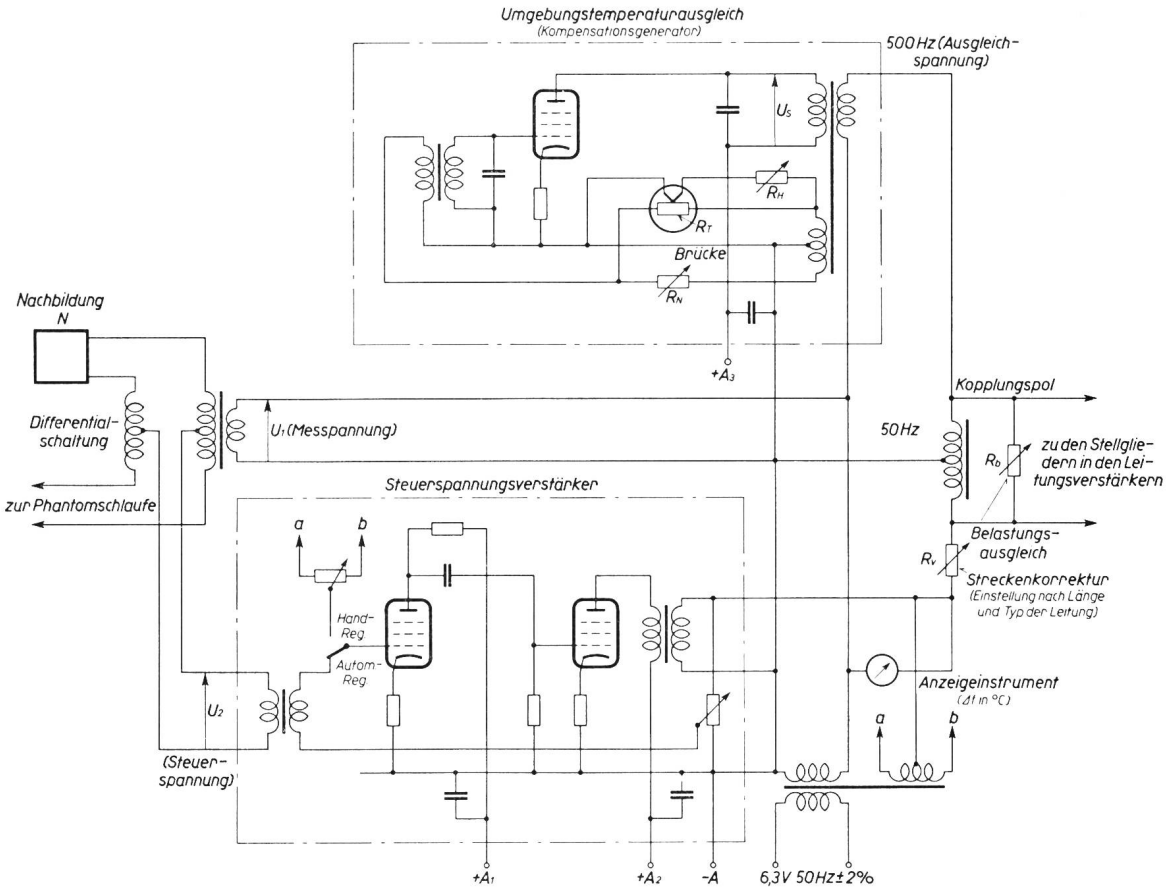


Fig. 8. Übersichtsstromlauf des Steuerspannungsgebers einer Pegelsteuerung

tragungsmittel ein (Verstärker), die die gleichen temperaturbedingten Dämpfungsänderungen ausgleichen sollen (Aderpaare derselben Kabelstrecke).

Als Stellglieder in den Leitungsverstärkern werden in den Gegenkopplungszweig stromabhängige Widerstände (Thermistoren) eingesetzt. Die Widerstandsänderung erfolgt in Abhängigkeit der an der Heizwicklung eingeprägten Steuerleistung, wenn diese die Verlustleistung der Widerstandsstrecke um einige Grössenordnungen übersteigt.

Aus Figur 9 ist zu entnehmen, dass eine Leistung von höchstens 0,06 W je Thermistor zum Durchsteuern erforderlich ist. Sollen alle Leitungsverstärker einer Strecke und einer Richtung, das heisst bei einem Trägerkabel mit 24 symmetrischen Aderpaaren 24 Verstärker und 2 Reserveverstärker, insgesamt also 26 Verstärker geregelt werden, so beträgt der gesamte Leistungsbedarf etwa 1,6 W. Massgebend für die Bemessung des Steuerspannungsverstärkers ist aber nicht diese Gesamtleistung, sondern nur die um eine Mittellage wirksame Steuerleistung, die beträchtlich kleiner ist. Sind weniger Leitungsverstärker im Betrieb, so werden die fehlenden Thermistorheizkreise durch Widerstände nachgebildet (Belastungsausgleich in Figur 8).

Der Thermistor ist Bestandteil eines Entzerrernetzwerkes (frequenzabhängige Temperaturentzerrung) in dem Sinne, dass bei der mittleren Kabeltemperatur (+ 10° C) das Gegenkopplungsmass und damit der Verstärkungsgrad des Leitungsverstärkers mittlere Beträge aufweisen und eine Frequenzabhängigkeit unterbleibt. Für jeden anderen Temperaturzustand wird die Widerstandsstrecke des Thermistors so verstellt, dass das Gegenkopplungsmass und im entgegengesetzten Sinne der Verstärkungsgrad den Dämpfungsverzerrungen entsprechend angepasst werden. Die Frequenzabhängigkeit der Dämpfungsschwankungen wird dabei auch berücksichtigt.

Wie bereits bemerkt, dürfen die Stellglieder selbst durch die Umgebungstemperatur nicht verstellt werden. Die Thermistoren sind jedoch aus physikalischen Gründen – als Widerstände mit Heissleiterkennlinie – auf die Umgebungstemperatur stark empfindlich. Es kann sogar durch Änderung der Umgebungstemperatur angenähert dieselbe Kennlinie erzielt werden wie durch den Steuerstrom. Wohl lässt sich dieser Einfluss dadurch mildern, dass die Thermistoren bei möglichst grosser Heizleistung, das heisst bei grosser Heizfadentemperatur, betrieben werden; trotzdem bleibt ein erheblicher, von der jeweiligen Umgebungstemperatur abhängiger Fehler zurück, der je Regelstrecke und bei einem Temperaturunterschied von 15° C bis zu 0,014 N beim Kabel 1,3 mm ⌀ und bis zu 0,03 N beim Kabel 1,0 mm ⌀ betragen kann. Ein Vergleich mit den Werten aus der *Tabelle II* zeigt, dass diese systematischen Fehler bis zu 30 % des Regelbereiches ausmachen können und deshalb ausgeschieden werden müssen. Zum

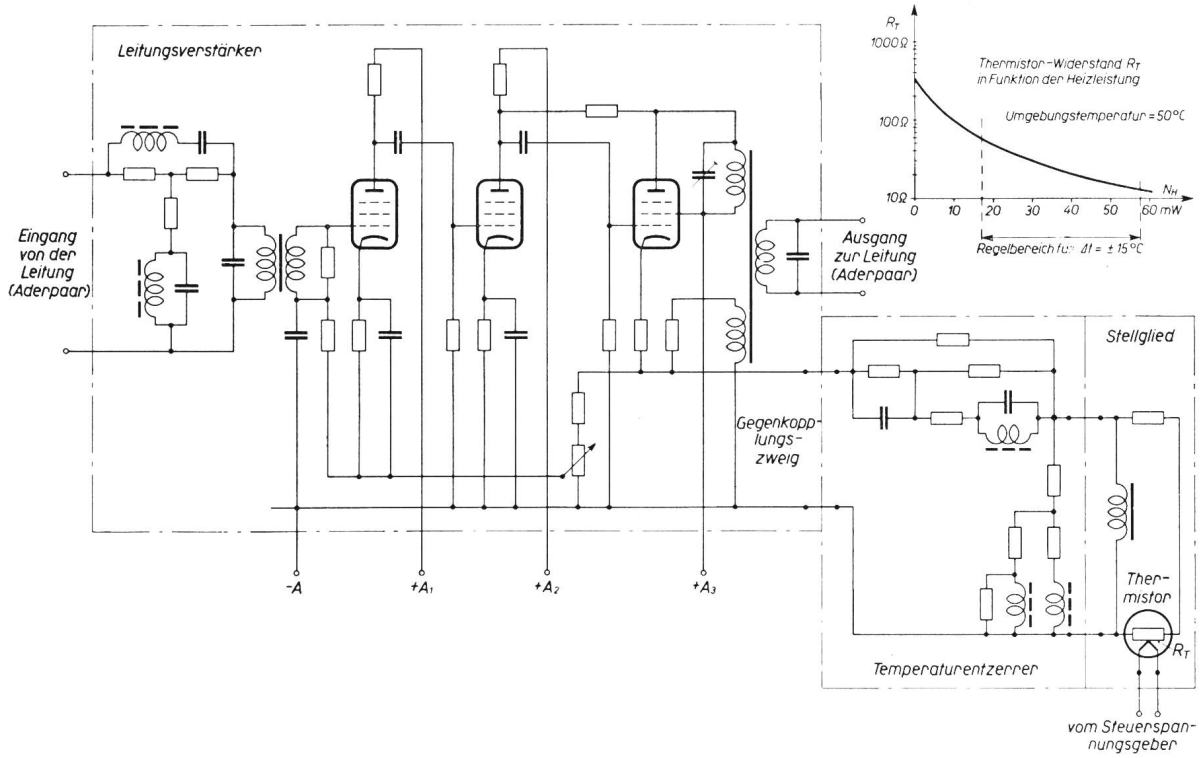


Fig. 9. Stromlaufübersicht eines Leitungsverstärkers, ausgerüstet mit einem Thermistor-Stellglied. Kennlinie des Thermistors

Ausgleich der Umgebungstemperatur wird eine zusätzliche Spannung (Ausgleichspannung) im Kopplungspol eingeprägt, die allein von der Umgebungstemperatur bestimmt wird (s. Fig. 8). Selbstverständlich erfolgt auch diese Steuerung gemeinsam für die Stellglieder aller Leitungsverstärker, wobei der Einfluss der Einbauhöhe im Gestell als Fehlergrösse zweiter Ordnung unberücksichtigt bleibt. Damit die Ausgleichspannung mit den andern Steuerspannungen nicht interferiert, wird ihre Frequenz höher (500 Hz) gewählt. Diese Ausgleichspannung wird in einem brückenstabilisierten Generator erzeugt, bei dem eine sehr hohe Brückenversteilerung für die Erzeugung einer von den Röhrendaten und der Speisespannung unabhängigen Schwingspannung sorgt. Als Stabilisierungselement dient ein in einem Brückenzweig liegender, durch die Schwingspannung geheizter Thermistorwiderstand. Die Schwingbedingung ist nur für einen ganz bestimmten Thermistorwiderstand (R_T) und deshalb bei einer ganz bestimmten Temperatur der Widerstandstrecke erfüllt. Diese Gleichgewichtstemperatur wird mindestens so hoch wie die höchste zu erwartende Umgebungstemperatur (50° C) gewählt. Die zugeführte Leistung ist proportional der Differenz Δt zwischen Umgebungs- und Gleichgewichtstemperatur. Die auf diese Art erzeugte Spannung dient nun zur zusätzlichen Heizung der in den Stellgliedern eingebauten Thermistoren. Der Einfluss der Umgebungstemperatur wird dadurch ausgeglichen.

Die Figur 10 zeigt das Messergebnis eines Betriebsversuches an einer Kabelleitung von 95 km Länge und 1,3 mm Aderdurchmesser. Die Kurve I stellt den Frequenzgang des Pegels P (max. Entzerrungsfehler etwa $\pm$ 50 mN) anlässlich der Einpegelung der Leitung (22. 2. 1952) dar. Die Kabeltemperatur wurde auf Δt = 8,5° C unter der mittleren Temperatur (+ 10° C) geschätzt, und der Steuerspannungsgeber wurde entsprechend eingestellt.

Die Kurve II zeigt den Frequenzgang bei Erwärmung (1. 5. 1952) auf + 10° C (Δt = 0° C), wobei die Kabeltemperatur dem Anzeigeinstrument des Steuerspannungsgebers entnommen ist. Mit Ausnahme eines Anstieges von etwa 50 mN bei tiefen Frequenzen, der wahrscheinlich zur Hauptsache auf einer Alterung des Leitungsentzerrers beruht, ist eine nennenswerte Änderung nicht erkennbar.

Die Messung bei Δt = + 8° C gibt die Kurve III, wobei Änderungen von nur etwa 20 mN hervortreten. Die Kurve III* zeigt den ebenfalls gemessenen Frequenzgang, der sich ohne Pegelregulierung ergibt, wenn das Kabel bei einer Temperatur von + 10° C (Δt = 0° C) eingepegelt wird.

Schliesslich zeigen die Kurven IV und V den Frequenzgang für Δt = –2° C, bzw. –7,5° C, wobei die Kurve V* wiederum den Frequenzgang ohne Ausgleich durch die Pegelregulierung zeigt. In der Zeit zwischen den Messungen III und IV scheint sich ein zur Pegelsteuerung gehörendes Übertragungselement geändert zu haben. Der Pegel bei 60 kHz ist deswegen um etwa 40 mN, bei 200 kHz um etwa 70 mN abgesunken. Die Pegeländerung *ohne* im Vergleich mit den gesamten Änderungen *mit* Pegelsteuerung ergibt eine Reduktion auf etwa 20 %

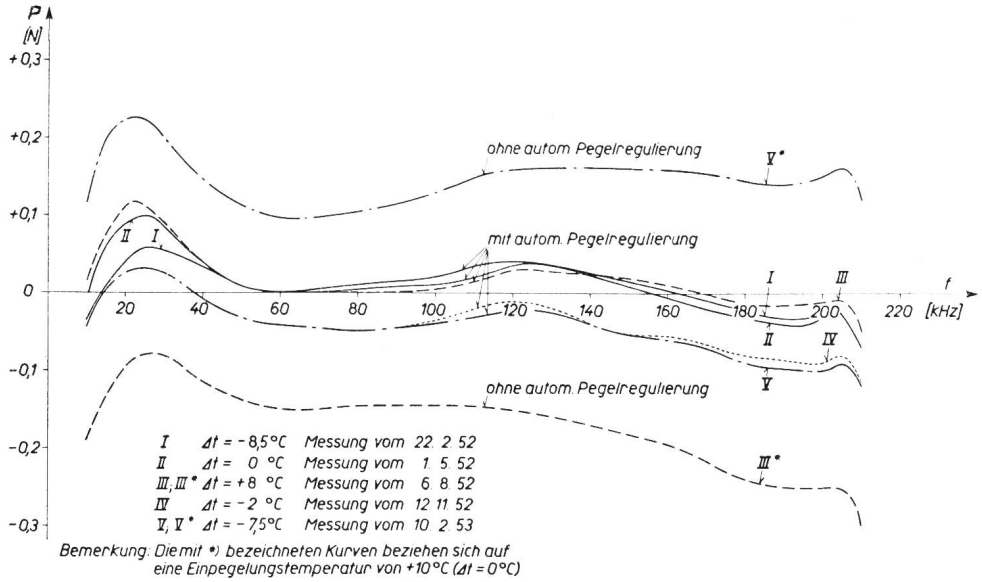


Fig. 10. Messungen an einer Trägerkabelleitung von 95 km Länge und 1,3 mm Aderdurchmesser

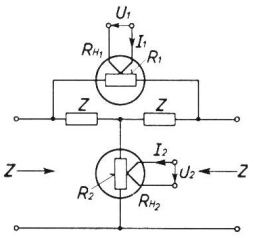
durch die Pegelsteuerung. Der eigentliche Regelfehler dürfte jedoch nur ungefähr 10% betragen, sobald die Alterung der Elemente als abgeschlossen betrachtet werden darf.

4. Die Gruppenpilotregulierung als Beispiel einer geschlossenen (indirekten) Regelschaltung

Die im 3. Abschnitt beschriebene reine Steuerung zeigt bereits einige Wesenszüge der Pegelkonstanthaltung von Fernsprechleitungen: sie macht deutlich, dass der Dämpfungsausgleich vielfach mit einer Frequenzgangentzerrung zu koppeln ist. Daneben gibt es Probleme, die erst im Zusammenhang mit einer vollständigen Regelung auftreten, das heisst wenn eine geschlossene Wirkung von der Regelgrösse (Leitungspegel) über die Stellgrösse (Dämpfung) zurück zur Regelgrösse stattfindet. Hierzu zählt in erster Linie das Übergreifen vom einen zum andern der den Leitungszug unterteilenden Regelabschnitte. Bei der direkten Steuerung ist eine Beeinflussung von einem Regelabschnitt (Verstärkerfeld) zum andern unmöglich, weil die Steuergrösse (Schleifenwiderstand) von den anderen Regelabschnitten unabhängig bleibt. Bei der indirekten Regelung ist die Steuergrösse der Pegelzustand selbst auf der Leitung, so dass eine Dämpfungsschwankung in einem Abschnitt sich durch eine Änderung des Pegels in den nachfolgenden Teilstrecken bemerkbar macht. Alle Regler werden deshalb verstellt, auch wenn nur einer verstellt bleiben muss. Es entsteht daraus eine Instabilität der ganzen Übertragung, die störend wirken kann. Eine plötzliche Störung kann jedoch als unnatürlich betrachtet werden. Die witterungsbedingten natürlichen Pegel- und Dämpfungsschwankungen weisen im Gegenteil stetigen Charakter und ausgesprochen kleine Änderungsgeschwindigkeit auf (s. 2. Abschnitt: höchstens etwa 0,1 N/Min. für Freileitungen). Die Übergangs- oder Einschwingzeiten können deshalb gross angelegt werden, so dass die Auswirkung unzeitgemässer Betätigung des Reglers bei Pegelsprüngen (augenblicklichen Kurzschlüssen, Zusammenschlagen von Leitungsdrähten) stark gemildert ist.

Das Merkmal grosser Übergangszeiten der Leitungsregler (Grössenordnung eine Minute) lässt auch die dynamischen Vorgänge in den Regelkreisen selbst mehr in den Hintergrund treten. Vor allem fällt die bei Schnellreglern bekannte Erscheinung der Selbstanfachung weg. Nach Küpfmüller tritt Selbstanfachung nicht ein, so lange der Regelgrad oder die reziproke Regelsteilheit nicht kleiner als $c \cdot t_0/\tau$ (c in der Grösse von etwa 1) ist. τ ist die oben erwähnte Übergangszeit, t_0 die Laufzeit, das heisst die Verzögerungszeit, gezählt vom Augenblick der Störung bis zum Beginn der Verstellung in der Regelstrecke. Da t_0 nur kleinste Bruchteile von Sekunden beträgt und τ in der Grössenordnung von einer Minute liegt, könnten Regelgrade von 10^{-3} beziehungsweise Regelsteilheiten von 1000 und mehr, also bis zwei Grössenordnungen über dem hier verlangten (10...50) erreicht werden, ohne die Stabilität zu gefährden.

Bei der sogenannten Gruppenpilotregelung wird als Steuergrösse eine Pilotschwingung angewandt. In der Technik der Vielfachtelephonie mit ganzen Gruppen von übertragenen Gesprächen wird jeder Grundgruppe, die zwölf Kanäle zusammenfasst, eine eigene, sehr konstante Pilotschwingung beigegeben, die mit der Gruppe über den ganzen, vielfach über grosse Entfernungen gespannten Leitungszug verbunden bleibt und die Pegelschwankungen überwacht. Diese Pilotschwingung wird an bestimmten Orten für die indirekte Pegelregelung ausgenützt. Als Stellglied für diese Pegelregelung wird ein steuerbares Dämpfungsglied in der Art eines überbrückten T-Gliedes (s. Fig. 11) benützt. Die Längs- und Querwiderstände sind gegengleichgesteuerte



(1) $$(K-1)^2 = \frac{R_1}{R_2}$$

(2) $$K = e^a$$

(3) $$R_1 = Z \cdot (K-1)$$

(4) $$R_2 = Z/\ (K-1)$$

Fig. 11. Überbrücktes T-Glied mit Längs- und Querthermistoren als Stellglied

Thermistoren, die bekanntlich thermische Zeitkonstanten von 0,5...1 Minute aufweisen. Die Dimensionierung eines solchen steuerbaren Dämpfungsgliedes ist praktisch durch zwei Gesichtspunkte bestimmt: durch den Aussentemperaturausgleich und die Widerstandswerte der Thermistorstrecken.

Wie schon erwähnt wurde, übt die Aussentemperatur einen ganz erheblichen Einfluss auf die Thermistorwiderstände aus, was zu einer ungewollten Verstimmung der Steuerkennlinie führt. Bei besonderer Wahl der Längs- und Querwiderstände, nämlich $R_1 = R_2$, tritt allerdings keine Dämpfungsabweichung auf, weil Zähler und Nenner des rechten Teils der Vierpolgleichung (1) von der Aussentemperatur in gleicher Weise erfasst werden. Damit bleibt K, folglich auch die Dämpfung a nach Gleichung (2), konstant. Hingegen tritt nach den Formeln (3) und (4) eine Kennwiderstandsabweichung ein. Die dadurch verursachte Stossdämpfung bleibt aber in bescheidenen Grenzen. Beim überbrückten T-Glied tritt also ein selbsttätiger Aussentemperaturausgleich auf, der Restfehler ist sogar Null, wenn $R_1 = R_2$, weshalb diese Einstellung vorzugsweise in die Mitte der Steuerkennlinie verlegt wird. Mit (1) und (2) ergibt sich dann eine Grunddämpfung von $a_0 = 0{,}7$ N. Nach (3) und (4) ist der Kennwiderstand durch die Widerstandswerte der Thermistorstrecken festgelegt, wofür bei handelsüblichen Typen mit Werten von etwa 150 Ω gerechnet werden darf. Im übrigen lässt sich durch zweckmässige Ein- und Ausgangsübertrager jeder Kennwiderstand bei beliebigem Arbeitspunkt erzielen.

Meistens, wie vorstehend erwähnt, genügt ein gesteuertes Dämpfungsglied den Anforderungen eines Stellgliedes als Bestandteil einer Pegelkonstanthaltung noch nicht, sondern es ist durch zusätzliche Einstellmittel zur Entzerrung des Frequenzganges zu erweitern. An Stelle eines steuerbaren Dämpfungsgliedes tritt ein steuerbares Entzerrernetzwerk. Figur 12 zeigt zwei Schaltungsvorschläge. Beide beruhen auf zwei gegengleichgesteuerten Thermistorstrecken (links in Spannungsteilerschaltung mit gesteuertem Abgriffpunkt, rechts in überbrückter T-Schaltung mit gesteuertem Längs- und Querzweig) und im weiteren auf den üblichen frequenzgangbestimmenden Reaktanzgliedern.

Nachdem im wesentlichen Aufbau und Aussentemperaturabgleich des Stellgliedes einer indirekten

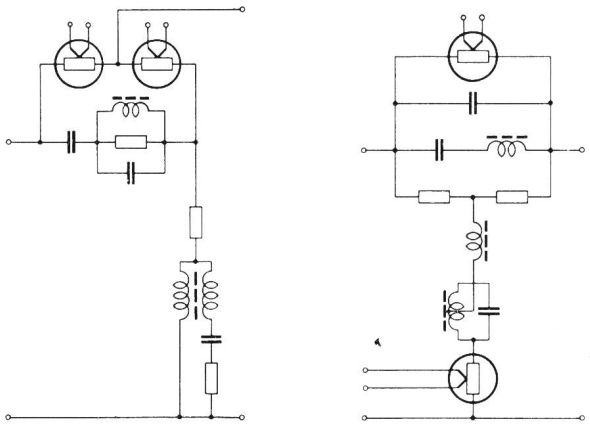


Fig. 12. Entzerrernetzwerk mit Thermistoren
Spannungsteilerglied Überbrücktes T-Glied

Regelschaltung für Pegelkonstanthaltung einer Fernsprechleitung besprochen sind, bleibt noch die Aufgabe, einen hierfür geeigneten Regler zu entwickeln. Hierbei besteht das Kernproblem darin, die zur Leitungsüberwachung und -regelung abgegriffene Pilotschwingung (Frequenz beispielsweise 35,86 kHz) zur Steuerung der gegengleich ausgelegten Stellgliedzweige verwendbar zu machen. Aus (3) und (4) folgt die Bedingung:

(5) $$R_1 \cdot R_2 = Z^2 = \text{konstant}$$

Wenn zum Beispiel der Leitungspegel und deshalb die Pilotspannung zu hoch sind, muss im Längszweig R_1 eine Widerstandsvergrösserung, im Querzweig eine Widerstandsabsenkung so erzielt werden, dass die Bedingung (5) erfüllt bleibt. In Differentialform stellt sich (5) vor als:

(6) $$\frac{\Delta R_1}{R_1} = -\frac{\Delta R_2}{R_2}$$

Die Steuerkennlinie der beiden Thermistoren ist die gleiche $R = \mathrm{f}\,(U)$. Die Gleichung (6) nimmt hiermit die Gestalt an:

(7) $$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\mathrm{f}'\,(U)}{\mathrm{f}\,(U)} \cdot \Delta U_1 = -\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\mathrm{f}'\,(U)}{\mathrm{f}\,(U)} \cdot (-\Delta U_2)$$

Wenn die Differentialgleichung:

(8) $$\frac{\mathrm{f}'\,(U)}{\mathrm{f}\,(U)} = \text{konstant}$$

in jedem Fall erfüllt ist, so geht die Vierpolbedingung (5) mit (6) und (7) in den besonders einfachen Ausdruck über:

(9) $$\Delta U_1 = -\Delta U_2 \text{ oder } \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$$

Die Lösung der Gleichung (8) lautet:

(10) $$R = R_0 \cdot e^{(-U/U_0)}$$

Für den Vergleich mit der tatsächlichen Kurve $R(U)$ wird diese am besten graphisch dargestellt, wobei R in logarithmischem, U in linearem Maßstab aufgezeichnet werden. Dieser Vergleich zeigt (s. Fig. 13) im Arbeitsbereich eine, wenn nicht genaue, so doch genügende Übereinstimmung mit einer Exponential-

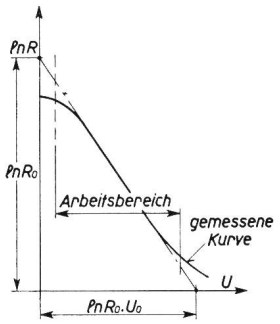


Fig. 13. Steuerkennlinie des Thermistors

funktion, um von der Beziehung (9) Gebrauch machen zu können. Die Integration gibt:

$$U_1 + U_2 = \text{konstant} \tag{11}$$

oder

$$I_1 + I_2 = \text{konstant},$$

wenn I_1 und I_2 die den Steuerspannungen verhältnisgleichen Steuerströme in den Heizkreisen (Widerstand R_H = konstant) der Thermistorstrecken be-

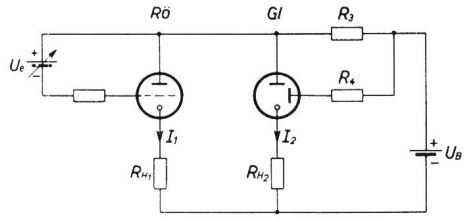


Fig. 14. Übersichtsstromlauf des Steuergerätes der Gruppenpilotregulierung

deuten (s. Fig. 11). Die Bedingung (11) muss als Bemessungsgrundlage des Reglers betrachtet werden. Zur physikalischen Verwirklichung dieser Forderung ist die bekannte Glimmstrecke sehr geeignet, die bei vorgeschaltetem Widerstand die Eigenschaft aufweist, ihren Strom I_2 (Querstrom) dem Verbraucherstrom I_1 so anzupassen, dass ihre Summe bei weitgehender Unveränderlichkeit der Streckenspannung angenähert konstant bleibt. Als Grundschaltung des Reglers gilt daher das in Figur 14 gezeigte Steuergerät: Auf das Gitter der Triode fällt die mittelbar aus der empfangenen Pilotschwingung abgeleitete Regelgleichspannung U_e ein. Der hierdurch stetig und verhältnisgleich gesteuerte Röhrenstrom I_1 beaufschlagt unmittelbar die Thermistorstrecke im Längszweig des Stellgliedes (R_{H_1}). Der Glimmstreckenstrom I_2 nimmt, der Bedingung (11) entsprechend, ab oder zu, so dass die Heizwicklung des Querzweiges in Reihe mit der Glimmstrecke anzuschliessen ist (R_{H_2}).

Bei dem beschriebenen Steuergerät ergibt sich die in Figur 15 dargestellte Regelkennlinie. Sowohl am oberen wie unteren Ende tritt eine Begrenzung durch natürliche Über- oder Untersteuerung ein. Neben dem Steuergerät gehört zum vollständigen Regler ein selektiver Empfänger zur Aussiebung, Verstärkung und Gleichrichtung der Pilotschwingung (siehe Fig. 21).

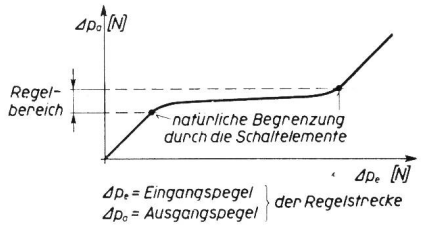


Fig. 15. Regelkennlinie mit natürlicher Begrenzung

In vielen Fällen ist die erzielbare Dämpfungsänderung des Stellgliedes (a_{max} etwa 2 N) für den Einsatz zu gross, so dass der Regelung eine künstliche Begrenzung zugeordnet werden muss. Aus der Überlegung, dass bei einer bestimmten Dämpfung des überbrückten T-Gliedes in den beiden Thermistorheizkreisen eindeutig festgelegte Ströme fliessen müssen, ergibt sich für eine elektronische Begrenzung der Regelung von selbst die Forderung nach konstanten Minimal- und Maximalströmen. Wie Figur 16 zeigt, ist eine Begrenzung in beiden Rich-

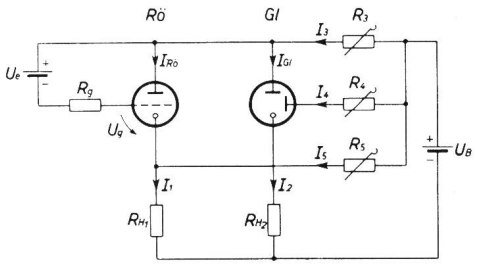


Fig. 16. Übersichtsstromlauf eines Steuergerätes mit künstlicher Begrenzung der Regelung

tungen von der Regelmitte aus mit einem kleinen Aufwand möglich. Mit den Widerständen R_4 und R_5 können die untere und die obere Regelgrenze eingestellt werden.

Physikalisch ergibt sich folgendes Bild: Der Strom I_1 durch die Thermistorheizung R_{H_1} setzt sich zusammen aus dem konstanten Strom I_5 und dem

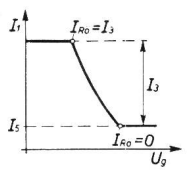


Fig. 17. Heizstrom im Längsthermistor des Stellgliedes

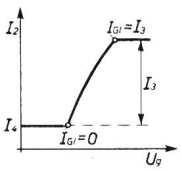


Fig. 18. Heizstrom im Querthermistor des Stellgliedes

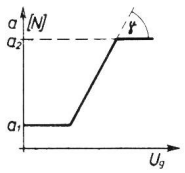


Fig. 19. Dämpfungsverlauf des Stellgliedes

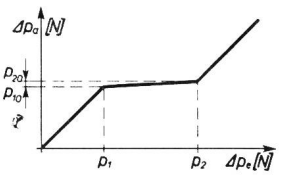


Fig. 20. Regelkennlinie mit künstlicher Begrenzung

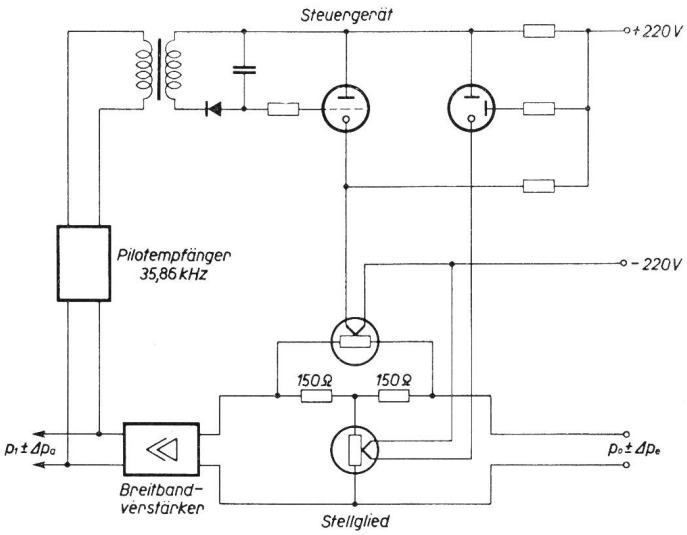


Fig. 21. Übersichtsstromlauf der Gruppenpilotregulierung als Beispiel einer geschlossenen Regelschaltung

Strom $I_{Rö}$ durch die Röhre *Rö*. $I_{Rö}$ ist abhängig von der jeweiligen Gitterspannung U_g und kann von 0 bis zum Wert I_3 variieren. Falls ideale Elemente zur Verfügung ständen, würde die Kennlinie von I_1 beim Punkt $I_{Rö} = I_3$ sowie beim Punkt $I_{Rö} = 0$ einen idealen Knick beschreiben und in die Horizontale übergehen (s. Fig. 17). Der Strom I_2 durch die Thermistorheizung R_{H_2} setzt sich analog aus einem konstanten Strom I_4 (Hilfszündungsstrom) und dem Glimmlampenstrom I_{Gl} der Hauptzündstrecke zusammen. Nach dem Glimmlampenprinzip ($I_3 = I_{Gl} + I_{Rö}$) folgt, wieder unter Annahme idealer Elemente, eine Kurve für I_2, wie sie in Figur 18 dargestellt ist. Der aus diesen Strömen I_1 und I_2 in den Heizkreisen des Stellgliedes resultierende Dämpfungsverlauf ist in Figur 19 dargestellt. Die Dämpfungen a_1 und a_2 sind die eingestellten Grenzwerte. Der Winkel γ ist direkt proportional zur Versteilerung. In Figur 20 ist der relative Ausgangspegel Δp_a in Funktion des relativen Eingangspegels Δp_e des gesamten Regelkreises aufgezeichnet. Im Gebiet zwischen p_1 und p_2 wirkt die volle Regelsteilheit (Pegeländerung $p_{20} - p_{10}$ klein). Das Verhältnis

$$\frac{p_2 - p_1}{p_{20} - p_{10}}$$

gibt direkt die Versteilerung an. Die Figur 21 zeigt schliesslich noch den Stromlauf des ganzen Regelkreises.

5. Schlussbemerkungen

Der Thermistor erweist sich als ein fast ideales Element für den Ausgleich der wetterbedingten Dämpfungsschwankungen in den Fernsprechleitungen. Der einzige Nachteil ist seine Empfindlichkeit gegenüber der Aussentemperatur, was besondere Massnahmen erfordert. Die thermische Zeitkonstante ist gut an diejenige der Leitungen angepasst, so dass die Stabilitätsprobleme bei einer indirekten Steuerung unwichtig sind. Mit Hilfe des Thermistors kann deshalb der Pegel auf einer Leitung praktisch bei allen Frequenzen konstant gehalten werden.

Die schweizerische Nachrichtentechnik gestern und – morgen

Von *G. A. Wettstein*, Bern[1]

621.39 (494)
654.1 (494)

Als ich das letztemal an Ihrer Generalversammlung die Ehre hatte, zu Ihnen sprechen zu dürfen – es war dies 1954 –, da habe ich meine Ausführungen unter das Motto «*Rückblick und Ausblick anlässlich der Einschaltung des 700 000. Telephonteilnehmers*»[2] gestellt. Heute, nur zwei Jahre später, gehört bereits der Anschluss des 800 000. Teilnehmers schon der Vergangenheit an, das heisst, das abgelaufene Jahr war wiederum ein Rekordjahr, und die Zahlen des ersten Vierteljahres 1956 lassen erkennen, dass die Entwicklung wohl auch dieses Jahr noch im gleichen Masse anhält, wenn auch schon einige Anzeichen darauf hindeuten, dass die Hochkonjunktur ihren Kulminationspunkt doch vielleicht schon überschritten hat.

Der Geschäftsbericht des Bundesrates an die eidgenössischen Räte ist von deren Kommissionen bereits behandelt worden, und die Presse hat darüber schon einlässlich berichtet. Ich darf mir deshalb eine gründliche Kommentierung ersparen und mich auf

[1] Exposé, erstattet anlässlich der 29. ordentlichen Generalversammlung der «Pro Telephon» in Neuenburg, vom 16. Mai 1956.
[2] Vgl. Techn. Mitt." PTT 1954, Nr. 5, S. 195...206.

La technique suisse des télécommunications hier et... demain

Par *G.-A. Wettstein*, Berne[1]

La dernière fois que j'ai eu l'honneur de vous parler à l'occasion de votre assemblée générale – c'était en 1954 –, j'avais intitulé ma causerie «700 000 abonnés au téléphone en Suisse. Regard vers le passé et perspective pour l'avenir»[2]. Aujourd'hui, soit deux ans plus tard, le raccordement du 800 000e abonné appartient déjà au passé; l'année dernière a été de nouveau une année-record, et les chiffres du premier trimestre de 1956 permettent de constater que la progression ne s'est pas ralentie jusqu'ici, même si quelques signes semblent montrer que la haute conjoncture a peut-être dépassé son point culminant.

Les commissions des chambres fédérales ont pris connaissance du rapport du Conseil fédéral sur sa gestion en 1955, dont la presse a donné de larges extraits. Je puis donc me passer de le commenter longuement et limiter mon exposé à quelques points importants intéressant particulièrement votre association.

[1] Exposé présenté à la 29e assemblée générale de la société «Pro Telephon» le 16 mai 1956 à Neuchâtel.
[2] Voir Bulletin technique PTT 1954, no 5, p. 195...206.