

Hochfrequenz- Nachrichtentechnik für Elektrizitätswerke

Von

Gerhard Dreßler †

Zweite völlig neu bearbeitete Auflage

von

Heinrich-Karl Podszeck

Oberingenieur, Berlin

Mit 92 Abbildungen



Springer-Verlag
Berlin/Göttingen/Heidelberg
1952

übertragungskanälen nach dem Vielbandverfahren (oder von reinen Sprechgeräten), solange sie mit gleicher Sendeleistung und gleicher Bandbreite arbeiten.

Der Störpegel ist bei Trägerfrequenzübertragungen über Hochspannungsleitungen wesentlich höher als bei Trägerfrequenznachrichtenübertragungen über Postfreileitungen und stellt eine der entscheidenden Größen für den Aufbau und den Einsatz der Nachrichtengeräte dar. Die Bestrebungen, durch Frequenzmodulation verbesserte Übertragungsbedingungen gegenüber der Amplitudenmodulation zu schaffen, sind in erster Linie auf die Höhe dieses Störpegels zurückzuführen. Bei den Untersuchungen über die Eignung der Frequenzmodulation für Trägerfrequenzübertragungen über Hochspannungsfreileitungen bildete sich die Vorstellung, daß der Störpegel nicht nur von zusätzlichen Fremdspannungen gebildet wird, die außer den erwünschten, vom Nachrichtensender kommenden Nutzspannungen auf den Empfänger treffen. Es tritt vielmehr auch noch eine mit der Betriebsspannung zunehmende „Koronamodulation“ auf, eine unerwünschte Modulation des Nachrichtenträgers auf seinem Weg vom Sender zum Empfänger.

Die Fremdspannung setzt sich aus Teilspannungen mit allen Frequenzen des Bereichs 50 kHz bis 300 kHz zusammen. Man kann den sich daraus ergebenden Anteil des Störpegels als additive Größe in bezug auf den Nutzpegel ansehen. Bei Betriebsspannungen bis 220 kV ist dies allgemein der bei weitem größere Anteil des Störpegels. Bei höheren Betriebsspannungen wachsen die Spannungsdurchbrüche von der Leiteroberfläche zum umgebenden elektrischen Feld längs des ganzen Übertragungsweges immer mehr. Die dadurch auftretende Koronamodulation liefert den zweiten Anteil des Störpegels, den man als multiplikative Größe in bezug auf den Nutzpegel auffassen kann. Bei dieser Art Störung nützt eine Erhöhung des Sendepiegels nicht mehr. Die entsprechenden theoretischen Untersuchungen [4] führen zu Vergleichsmöglichkeiten zwischen Übertragungen mit Amplitudenmodulation bei Zweiseitenband- sowie Einseitenbandübertragung einerseits und mit Frequenzmodulation andererseits (Abb. 35); sie wurden auch durch Messungen an mehreren Netzen verschiedener Betriebsspannung bestätigt. Zur Zeit ist die Frage, für welche Betriebsspannungen und welche Arten von Nachrichtenanlagen in Höchstspannungsnetzen die Frequenzmodulation mit Nutzen angewandt werden kann, noch nicht abschließend zu beantworten; wahrscheinlich kann man allein wegen des Hochspannungsbetriebes nicht so nahe an der kritischen Randfeldstärke arbeiten, daß eine für den Trägerfrequenzbetrieb hinderliche Koronamodulation auftritt, und infolgedessen ist die Anwendung der Frequenzmodulation aus diesem Grund nicht nötig.

8. Trägerfrequenzgeräte für Fernsprechen.

Die Entwicklung des Fernsprechens über Hochspannungsleitungen war bisher dadurch bestimmt, daß meist nur eine einzige Sprechverbindung zwischen zwei Punkten gebraucht wurde; im Gegensatz dazu kam es beim Trägerfrequenzfernsprechen über Postleitungen von Anfang an darauf an, zwischen den Endpunkten einer Nachrichtenleitung, also den Fernplätzen der Vermittlungsämter zweier Großstädte, möglichst viel Nachrichtenkanäle einzurichten.

Zur Trägerfrequenzübertragung über Fernmeldeleitungen wurden zwar auch Einfach-Systeme durchgebildet, um nur ein Trägerfrequenzgespräch über eine Leitung durchzuführen, die bereits mit einem Sprechweg in der (natürlichen) Niederfrequenzlage belegt ist; hauptsächlich jedoch werden Mehrfach-Systeme gebraucht, um ganze Bündel von Sprechkanälen zwischen den zwei Endpunkten der Leitung zu erhalten. Wenn auch mit der zunehmenden Vermaschung eines Trägerfrequenznetzes für Hochspannungsleitungen die Zahl der benötigten Sprechkanäle auf einem Leitungsabschnitt zunimmt, so bleiben doch diese Bündel wegen des wesentlich schwächeren Sprechverkehrs so dünn, daß bisher Einfach-Systeme ausreichen. Notfalls werden zwei oder drei Einfachgeräte parallel geschaltet. Dies paßt auch ganz gut zu den Verkehrsaufgaben in Hochspannungsnetzen, weil es öfter vorkommt, daß in einer zentralen Stelle zwar mehrere Sprechwege beginnen, diese Sprechwege aber später entweder längs einer Linie in verschiedenen Stationen enden oder strahlenförmig nach verschiedenen Stationen auseinanderlaufen.

Man kann sich fragen, warum überhaupt für Elektrizitätswerke besondere Trägerfrequenzsprechgeräte hergestellt werden, wo doch auch Trägerfrequenzgeräte für Nachrichtenfreileitungen durchgebildet worden sind. Zunächst liegt das daran, daß der Sendepiegel der Einfach-Geräte zum Betrieb über Hochspannungsleitungen wesentlich höher sein muß als beim Betrieb über Nachrichtenleitungen, damit man bei dem hohen Störpegel auch noch die gegebenen Entfernungen überbrücken kann; dann liegen die Trägerfrequenzen für die Einfach-Geräte der Posttechnik nicht in dem für die Übertragung über Hochspannungsleitungen günstigen Bereich 50 kHz bis 300 kHz; und schließlich ist der Abstand der zwei Kanäle nicht so veränderbar, wie er es für Maschennetze sein muß, um eine günstige Frequenzverteilung einführen zu können. Weiterhin arbeiten die Nachrichtengeräte der Elektrizitätswerke meistens mit einem eingebauten Relaiseteil für die Nummernwahl, während die Postgeräte ohne diesen Relaiseteil aufgebaut sind.

Trotz allem Streben nach einer einheitlichen Geräteausführung konnte man im Laufe der Entwicklung nicht eine Lösung finden, die sowohl beim Betrieb über Nachrichtenfreileitungen als auch über Hochspan-

nungsfreileitungen gleichermaßen hätte angewandt werden können. Die Anforderungen an den Aufbau der Geräte sind vom Übertragungsweg aus gesehen für beide Anwendungsgebiete zu unterschiedlich. Es ist vielmehr das Gegenteil, das Streben nach weiterer Differenzierung der Ausführungsformen, festzustellen. So begann man zum Beispiel in den USA etwa im Jahr 1938 die Entwicklung einer „Farmertelefonie“ [1]. Diese hat zum Ziel, die Hochspannungsfreileitungen, die zur Energieversorgung zerstreut liegender Farmen dienen (Mittelspannung, etwa 30 kV), auch als Fernsprechwege für den öffentlichen Nachrichtenverkehr zu benutzen. Diese Aufgabe ist sehr ähnlich der Fernsprechaufgabe für den Werkbedarf der Elektrizitätsversorgungsunternehmen und hat naturgemäß auch zu sehr ähnlichen Lösungen geführt.

Die Mehrfach-Systeme aus der Posttechnik können aus den gleichen Gründen wie die Einfach-Systeme für Postleitungen nicht über Hochspannungsleitungen arbeiten. Es gibt zwar Postsysteme, die innerhalb des günstigen Frequenzbereiches arbeiten, jedoch ist der Frequenzabstand der Bündel wiederum starr; damit sind diese Systeme für eine günstige Frequenzverteilung in einem Maschennetz nicht geeignet.

Die Einführung von Mehrfach-Systemen für Hochspannungsnetze wird dadurch gehemmt, daß der Bedarf selten und meistens erst bei einem dicht besetzten Frequenzplan auftritt und dann ein nachträgliches Einfügen der breiten Frequenzbänder für die gebündelten Kanäle mit hohen Kosten für den Umbau und die Umstimmung der übrigen vorhandenen Anlagen verbunden ist. Die Aufgabenstellung selbst ist alt; so wurde zum Beispiel bereits im Jahre 1932 in der Sowjetunion darauf hingewiesen, daß es bei den geographischen Verhältnissen Rußlands zweckmäßig sei, die Hochspannungsleitungen zwischen den weit auseinander liegenden Industriezentren für den öffentlichen Nachrichtendienst zu benutzen; die Hochspannungsleitungen sollten dabei an die Stelle von Fernkabeln treten.

a) Zweikanalgeräte mit Zweiseitenbandübertragung.

Bis etwa zum Jahre 1938 wurden fast ausschließlich Sprechgeräte mit Amplitudenmodulation verwendet, die beide Seitenbänder übertragen. Auch heute werden immer noch Zweiseitenbandgeräte bevorzugt, so lange nicht der Frequenzmangel oder die Störpegelverhältnisse die Anwendung der Einseitenbandtechnik oder der Frequenzmodulation angebracht erscheinen lassen, weil die Zweiseitenbandgeräte in ihrem Aufbau einfacher und übersichtlicher, sowie die Kosten für ihre Anschaffung niedriger sind als bei Geräten der anderen Übertragungssysteme.

Die Grundschaltung eines Zweikanalgerätes mit Zweiseitenbandübertragung (Abb. 43) stimmt bei den meisten Geräten der verschiedenen Herstellerfirmen überein, die schaltungstechnischen Einzelheiten der

verschiedenen Baugruppen jedoch sind sehr unterschiedlich. Der Relaisenteil ist in der Grundschaltung der Übersichtlichkeit halber weggelassen. Es hängt von der Aufgabenstellung im Einzelfall ab, ob es zweckmäßiger ist, diese Automatik in das Trägerfrequenzgerät einzubauen, oder nicht. So lange nur wenige

Trägerfrequenzfern-sprechgeräte in einer Hochspannungsstation untergebracht werden sollen, wie es bisher überwiegend der Fall war, ist es wirtschaftlicher und auch technischer zweckmäßig, die Nachrichtengeräte als in sich geschlossene Baueinheiten auszuführen und auch den

Relaisenteil mit einzubauen. Bei größeren Nachrichtenanlagen, die in Knotenpunkten entstehen, wenn dort viele Trägerfrequenzkanäle enden und außerdem umfangreiche örtliche Fernsprechvermittlungseinrichtungen eingebaut sind, ist es wegen der Wartungsarbeiten besser, den Relaisenteil aller Trägerfrequenzfern-sprechgeräte mit den örtlichen Vermittlungseinrichtungen zusammenzufassen.

Vom Teilnehmer außerhalb des Trägerfrequenzfern-sprechgerätes bis zur Gabelschaltung im Gerät werden auf einer zweiadrigen Leitung sowohl die zum Hochfrequenzsendeteil abgehenden Niederfrequenzfern-sprechströme als auch die vom Hochfrequenzempfänger ankommenden Niederfrequenzfern-sprechströme übertragen. Soweit eine Automatik eingebaut ist, werden auch die abgehenden Wahlimpulse (Unterbrechung einer Gleichstromschleife durch einen Wählscheibenkontakt) und die ankommenden Rufimpulse (Wechselstromstöße aus einer Rufstromquelle innerhalb des Trägerfrequenzgerätes) in der Regel über dasselbe Drahtpaar übertragen, das der Sprachübertragung dient. Vom Teilnehmerapparat aus gesehen sind dann also für den Anschluß an ein Trägerfrequenzfern-sprechgerät die gleichen Anschlußbedingungen gegeben wie für die Anschaltung an eine Selbstwählzentrale.

In der „Gabelschaltung“ (Abb. 44) wird der Zweidrahtverkehr zwischen Trägerfrequenzgerät und Teilnehmer aufgelöst in einen Vierdraht-

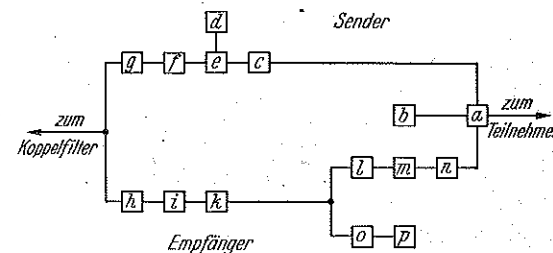


Abb. 43. Grundschaltung eines Zweikanalsprechgerätes mit Zweiseitenbandübertragung.

a Gabel; b Nachbildung; c Niederfrequenzsendeverstärker; d Hochfrequenzgenerator; e Modulator; f Hochfrequenzsendeverstärker; g Hochfrequenztrennfilter für F_1 ; h Hochfrequenztrennfilter für F_2 ; i Pegelregler; k Hochfrequenzempfangsverstärker; l Demodulator; m Begrenzer für Niederfrequenzband; n Niederfrequenzempfangsverstärker; o Rufempfangsverstärker; p Rufempfänger.

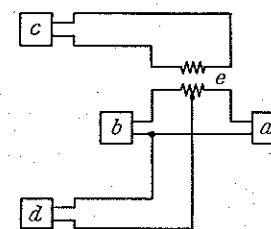


Abb. 44. Gabelschaltung. a Teilnehmer; b Nachbildung; c Niederfrequenzsendeverstärker; d Niederfrequenzempfangsverstärker; e Differentialtransformator.

c) Fernschreiber und Hellschreiber.

Die Fernschreiber arbeiten nach einem Codeprinzip [6]. Jeder Buchstabe wird durch eine Zusammenstellung von fünf gleichlangen Schritten dargestellt, denen jeweils ein Anlaufschritt vorangeht und ein Sperrschritt folgt. Es sind also insgesamt sieben Schritte zur Übertragung eines Buchstabens nötig. Als Grundlage dient das zwischenstaatliche Telegrafenalphabet Nr. 2 (nach MURRAY USA., Abb. 84). Die größte Schreibgeschwindigkeit beträgt 428 Zeichen je Minute. Die Übertragung ist einwandfrei, wenn die Zeichenkombination fehlerlos übertragen wird; Störimpulse innerhalb einer Zeichenkombination fälschen den übertragenen Buchstaben in einen anderen.

□ kein Strom ● Strom

A	-	●	●	●	●	●
B	?	●	●	●	●	●
C	:	●	●	●	●	●
D	werda ⁴⁾¹⁾	●	●	●	●	●
E	3	●	●	●	●	●
F	7)	●	●	●	●	●
G	7)	●	●	●	●	●
H	7)	●	●	●	●	●
I	8	●	●	●	●	●
J	Halt ^{x)}	●	●	●	●	●
K	(●	●	●	●	●
L)	●	●	●	●	●
M	.	●	●	●	●	●
N	,	●	●	●	●	●
O	9	●	●	●	●	●
P	0	●	●	●	●	●
Q	1	●	●	●	●	●
R	4	●	●	●	●	●
S	'	●	●	●	●	●
T	5	●	●	●	●	●
U	7	●	●	●	●	●
V	=	●	●	●	●	●
W	2	●	●	●	●	●
X	/	●	●	●	●	●
Y	6	●	●	●	●	●
Z	+	●	●	●	●	●
Wagenrücklauf ²⁾						
Zeilenvorschub ²⁾						
Buchstabenwechsel ³⁾						
Ziffern- u. Zeilenwechsel						
Zwischenraum						
nicht benutzt						

- x Hörbares Zeichen
- 1) Verfügbar für den inneren Dienst jeder Verwaltung
- 2) Für Blattdruck
- 3) Bei Streifen sendung auch „Löschung der Irrung“
- 4) Auslösung des Namengebers

Abb. 84. Zwischenstaatliches Telegrafenalphabet Nr. 2 (MURRAY, U.S.A.).

Soweit nicht bereits eine Doppeltontastung ausreicht, um derartigen Störimpulsen zu begegnen, kann man anstatt des Codeprinzips auch ein vereinfachtes Bildtelegrafprinzip für die Übertragung der Fernschreibzeichen benutzen. Beim „Hellschreiber“ [6] werden die auf einfachste Form gebrachten Zeichenbilder in verschieden lange rechteckige Bildelemente zerlegt. Jedem Zeichen ist im Sender eine Nockenscheibe zugeordnet, auf deren Umfang die Zeichenelemente als Nocken in richtiger Länge und Reihenfolge aufgetragen sind. Beim Betätigen einer Zeichentaste wird die Nockenscheibe durch einen Kontakt abgetastet und so die den Bildelementen entsprechende Impulsfolge auf den Übertragungskanal gegeben. Im synchron laufenden Empfänger werden die Impulse durch eine Schreibspirale wieder in Zeichenelemente umgesetzt und zu Zeichenbildern zusammengefügt. Störimpulse können ein geschriebenes Zeichen nur verwischen, nicht aber die Wieder-

gabe eines ganz anderen Zeichens zur Folge haben. Die Lesbarkeit bleibt also erhalten, sofern der Störpegel nicht außergewöhnlich hoch ist (Abb. 85).

Die Telegrafiergeschwindigkeit bei Hellschreibern ist größer als bei Fernschreibern; daher genügt die Bandbreite eines für 50 Baud bemessenen Fernschreibkanals nicht zur Übertragung der Hellschreiberzeichen (Anhang h).



Abb. 85 a—c. Empfangsstreifen des Hellschreibers, unter verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen.
a) Störungsfreier Betrieb. b) Mangelnder Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger. c) Hoher Störpegel im Übertragungskanal.

d) Modulation, Überlagerung, Schwebung.

Eine „Modulation“ ist definiert durch Produktgleichungen [Gl. (18) u. (19)]. Diese geben einen unmittelbaren Aufschluß über den Verlauf der modulierten Schwingung (Abb. 33 a, b). Da jede periodische Funktion in eine Summe von Kosinusschwingungen zerlegt werden kann, ist es stets möglich, die Produktgleichungen durch eine mathematische Umformung in identische Summengleichungen zu überführen.

Dieser mathematischen Umformung entspricht ein physikalischer Sachverhalt. Die einzelnen Summanden stellen die durch den Modulationsvorgang entstehenden Seitenschwingungen dar. Eine durch eine Summengleichung dargestellte modulierte Schwingung ist als Summe der Teilschwingungen verschiedener Frequenzen anzusehen, die im Modulator entstehen.

Es gibt eine ganze Reihe von „Modulatoren“, also Einrichtungen zur Verschiebung einer Nachrichtenfrequenz in eine höhere Frequenzlage, und von „Demodulatoren“, also Einrichtungen zur Rückverschiebung in die ursprüngliche Frequenzlage. Alle diese Frequenzumsetzer sind praktisch nichtlineare Widerstände, in denen durch die steuernden Schwingungen gesteuerte Schwingungen in einer anderen Frequenzlage erzeugt werden. Es handelt sich bei der Modulation physikalisch gesehen um den gleichen Vorgang wie er später (Anhang e) als nichtlineare Verzerrung beschrieben wird, nur daß die Modulation ein beabsichtigter Effekt ist, um eine Nachricht in eine andere Frequenzlage zu verschieben, während die nichtlineare Verzerrung ein unerwünschter Effekt ist, der sich letzten Endes als Störpegel in einem Übertragungskanal anderer Frequenzlage auswirkt.

Im Gegensatz zur Modulation handelt es sich bei der „Überlagerung“ darum, daß Wechselströme verschiedener Frequenz gleichzeitig durch einen linearen Widerstand fließen. Jede Stromart verhält sich, als ob die andere gar nicht vorhanden wäre. Die Überlagerung ist also eine Addition zweier Spannungen verschiedener Frequenz an linearen Widerständen (auch „Superposition“).

Die Wählergeräte in einer Fernmelde- und Fernsteueranlage (Abb.88) sind aus Bausteinen der Fernsprechvermittlungstechnik aufgebaut. Sie laufen nur an, wenn ein Melde- oder Befehlsvorgang durch Kontakte (außerhalb des Wählergerätes) ausgelöst wird, und haben die Aufgabe, eine für diesen Vorgang charakteristische Impulsfolge herzustellen und die Ausführung der Meldung oder des Steuerbefehls nur dann zuzulassen, wenn die Impulsfolge fehlerfrei über den Übertragungsabschnitt zur Gegenstation gelangt ist. Der Übertragungsvorgang ist nach einigen Sekunden wieder beendet, und die Wählergeräte setzen sich selbsttätig wieder still.

In den Schaltungen dieser Wählergeräte können die Anforderungen an die Sicherung gegen Fehler in der Impulsübertragung, an die Ausbaufähigkeit des Gerätes, an die Beschränkung der Bauelemente auf ein

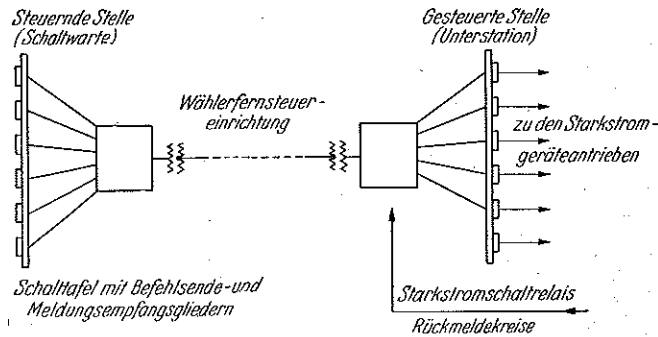


Abb. 88. Fernmelde- und Fernsteuer-Anlage.

Minimum und ähnliches in unterschiedlicher Art erfüllt werden. Dementsprechend baut jede Lieferfirma ein anders benanntes System, wobei der wesentliche Unterschied in den Schaltungsprinzipien liegt.

h) Telegrafiergeschwindigkeit, Bandbreite des Telegrafiekanales.

Wenn man bei der Tastung eines Stromes die Schließungszeit und die Unterbrechungszeit des Sendekontakts gleich lang macht, so gibt die Anzahl der Impulse je Sekunde die Tastgeschwindigkeit an. Impuls und Pause, in der Telegrafie als „Zeichenstrom“ und „Trennstrom“ bezeichnet, zählen gleichermaßen als Zeichenelement. Im allgemeinen sind in der Telegrafie die Zeichenelemente jedoch verschieden lang. Das kürzeste Zeichenelement bezeichnet man als „Schritt“.

Beim Fernschreiber setzt sich ein Zeichen (Buchstabe) stets aus der gleichen Anzahl von Elementen zusammen, die unter sich gleichlang sind (Anhang c). Das Zeichenelement ist also hier gleich dem Schritt. Für die Übermittlung eines Buchstabens werden der Anlaufschritt,

fünf Schritte nach dem MURRAY-Alphabet und der Sperrschritt übertragen, insgesamt also sieben Schritte.

Beim Morsebetrieb ist der Punkt das kürzeste Zeichenelement, also der Schritt mit der Dauer τ_0 . Für die anderen Zeichenelemente rechnet man den Strich mit $3\tau_0$, die Zwischenräume innerhalb eines Buchstabens mit τ_0 , die Zwischenräume zwischen den Buchstaben mit $3\tau_0$ und zwischen den Wörtern mit $5\tau_0$. Die Anzahl der Zeichenelemente je Buchstabe ist dabei verschieden.

Als Maß für die „Telegrafiergeschwindigkeit“ ist die Anzahl der Schritte in der Sekunde festgelegt, also $\frac{1}{\tau_0}$ mit der Bezeichnung „Baud“ (nach dem Erfinder des BAUDOT-Apparates). Die Telegrafiergeschwindigkeit ist bei den verschiedenen Arten von Telegrafierapparaten unterschiedlich und kennzeichnet nicht die Geschwindigkeit, mit der ein Buchstabe übermittelt wird.

Es ist üblich, bei diesen Betrachtungen eine „Punktfrequenz“

$$f_0 = \frac{1}{2\tau_0}$$

einzuführen, die um so höher ist, je kürzer der Schritt wird.

Bezeichnet man die Zahl der in der Zeiteinheit übermittelten Buchstaben mit n und die Zahl der Schritte, die (im Mittel) auf einen Buchstaben entfallen mit z , so ist für jeden Telegrafienapparat

$$n \cdot z \cdot \tau_0 = 1. \quad (29)$$

Der Fernschreiber überträgt maximal nach Gl. (29)

$$n = \frac{1}{z\tau_0} = \frac{50}{7} \approx 7 \text{ Buchst/s.}$$

Für den praktischen Betrieb kommt es auf die „Übermittlungsgeschwindigkeit“ n an, (auch „Telegrafierleistung“) die angibt, wieviel Buchstaben man in der Zeiteinheit über eine Telegrafienverbindung übermitteln kann. Die elektrischen Vorgänge in den Übertragungskanälen dagegen hängen hauptsächlich von der Telegrafiergeschwindigkeit ab, also von der Dauer des Schrittes. Die Übermittlungsgeschwindigkeit kann in einem anders als der Fernschreiber aufgebauten Telegrafienapparat trotz größerer Telegrafiergeschwindigkeit (höherer Punktfrequenz) kleiner sein als bei der Fernschreibmaschine. Ein Hellschreiber beispielsweise mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 5 Buchstaben/s hat bei einer 7 Linienschrift eine Punktfrequenz von

$$f_0 = \frac{1}{2\tau_0} = \frac{7 \cdot 7 \cdot 5}{2} = 122,5 \text{ Hz}$$

und dementsprechend eine Telegrafiergeschwindigkeit

$$\frac{1}{\tau_0} = 2 \cdot 122,5 = 245 \text{ Baud.}$$

Obwohl also der Hellschreiber nur 5 Buchstaben/s gegenüber einem Fernschreiber mit 7 Buchstaben/s übermittelt, arbeitet er mit etwa der fünffachen Telegrafiergeschwindigkeit.

Bei der Netzfrequenz von 50 Hz dauert ein Schritt $\frac{1000}{100} = 10$ ms; dem entspricht eine Telegrafiergeschwindigkeit von $\frac{1000}{10} = 100$ Baud.

Bei der Modulation einer Trägerschwingung mit einer Nachrichtenfrequenz wird das Frequenzband (für das ein Nachrichtenkanal zur Übertragung des modulierten Trägers eingerichtet sein muß), um so breiter, je höher die modulierende Nachrichtenfrequenz ist (s. S. 65ff). Das gleiche gilt für die Tastung eines Nachrichtenträgers, die man als eine Modulation mit einer rechteckigen Nachrichtenschwingung (Modulationsgrad 100%) auffassen kann. Je schneller der Nachrichtenträger getastet wird, je größer also die Telegrafiergeschwindigkeit ist, um so breiter muß der Nachrichtenkanal sein, in dem die getastete Nachrichtenschwingung mit ihren Seitenschwingungen übertragen werden soll. Eine Übertragung von Zeichen der Punktfrequenz f_0 ist nur dann möglich, wenn der Übertragungsbereich des Kanals mindestens etwa gleich $1,6 f_0$ ist.

Der „Übertragungsbereich“ der Nachrichtenkanäle ist in Richtwerten des CCI für die verschiedenen Verwendungszwecke festgelegt durch Zahlenangaben über die höchstzulässigen Werte der Restdämpfung (als Beispiel Abb. 78).

Die „Bandbreite“ ist jeweils durch die zulässigen Werte der Dämpfungserhöhungen für die Eckfrequenzen eines zu übertragenden Frequenzbandes gegeben. Für die Wechselstromtelegrafie zum Beispiel gilt als Bandbreite eines Filters der Abstand zwischen denjenigen beiden Punkten auf der Dämpfungskurve des Filters, die um 0,5 N höher liegen als die Dämpfung bei der Nennfrequenz des Kanals in der Mitte des Durchlaßbereichs.

Die Bandbreite der Filter bestimmt auch die Laufzeit eines Zeichens. Je schmaler der Durchlaßbereich wird, um so größer wird die Laufzeit.

i) Streckenschutz mit Trägerfrequenzkanälen.

Eine Streckenschutzanlage hat die Aufgabe, die Hochspannungsleitung selbsttätig abzuschalten, wenn ein Kurzschluß oder ein Erdschluß auftritt. Man baut allgemein nur selektive Streckenschutzanlagen, in denen lediglich der fehlerbehaftete Abschnitt der Hochspannungsleitung abgeschaltet wird, während die Energieversorgung über das übrige Netz ungestört weitergeht.

Eine Streckenschutzanlage (Abb. 89) enthält an jedem Ende einer Hochspannungsleitung einen Relaisatz, der an die Meßwandler angeschlossen ist und dauernd die Größe der Leistung überwacht. Nimmt

diese infolge eines Fehlers im Hochspannungsnetz unzulässig große Werte an, so schalten die Relais in kürzest möglicher Zeit (weniger als 1 Sekunde) die Leistungsschalter an den Enden des fehlerbehafteten Abschnittes aus. Für die meisten Streckenschutzanlagen reicht die Meßgenauigkeit und die Arbeitsgeschwindigkeit der Schutzrelaissätze aus, um alle längs einer Leitung möglichen Fehler zu erfassen und sie in genügend kurzer Zeit abzuschalten; dazu ist keine Signalübertragung zwischen den Schutzrelais an den beiden Enden des Leitungsabschnittes nötig.

Es gibt aber in der Netzschutztechnik eine Reihe von Aufgaben, bei denen die Abschaltzeiten zu lang werden würden, wenn nicht Signalübertragungen zwischen den Endpunkten der zu schützenden Streckenabschnitte zur Beschleunigung des Abschaltvorganges durchgeführt werden. Diese Signalübertragungen werden bei Hoch- und Höchstspannungsleitungen großer Länge mangels anderer Nachrichtenleitungen über Trägerfrequenzkanäle durchgeführt.

Die erforderlichen Abschaltzeiten für die ganze Streckenschutzanlage liegen in der Größenordnung von 100 bis 200 Millisekunden. Es kommt demnach bei der Übertragung von Impulsen darauf an, daß im Impulsübertragungsweg keine „Wiedergabeverzögerung“ (Anhang l), also im Trägerfrequenzkanal auch keine „Laufzeit“ (Anhang e) auftritt, deren Größe im Verhältnis zu dieser kurzen Gesamtzeit nennenswert ist.

Es gibt in der Netzschutztechnik einfache „Mitnahmeschaltungen“, bei der ein durch einen Leitungsfehler auslösender Leistungsschalter den Schalter in der Gegenstation über einen Signalkanal ebenfalls ausschaltet; hierbei wird durch einen Auslösevorgang nur eine Verkehrsrichtung der Übertragungskanäle beansprucht. Bei einer vollständigen Streckenschutzschaltung (Abb. 89) wird mittels der Energierichtungsrelais an beiden Enden der Hochspannungsleitung durch Richtungsver-

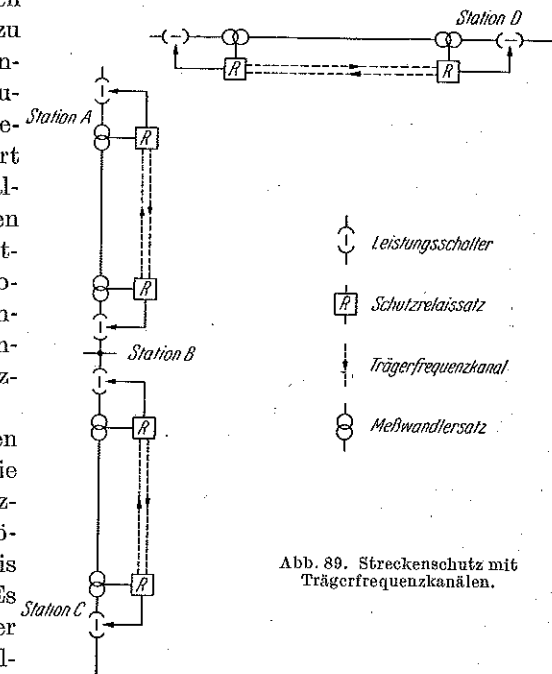


Abb. 89. Streckenschutz mit Trägerfrequenzkanälen.