

Gerhard Dreßbler

---

# Hochfrequenz- Nachrichtentechnik

für Elektrizitätswerke

# Hochfrequenz- Nachrichtentechnik für Elektrizitätswerke

Von

Gerhard Dreßler

Mit 159 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin  
Heidelberg GmbH  
1941

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1941

Originally publish by Julius Springer in Berlin 1941

Softcover reprint of the hardcover 1st Edition 1941

ISBN 978-3-662-41628-0      ISBN 978-3-662-41627-3(eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-41627-3

## Vorwort.

Die Nachrichtentechnik mit hochfrequenten Trägerströmen über Hochspannungsleitungen findet im Dienste der Elektrizitätsversorgung ständig wachsende Anwendung. Die Zahl der Hersteller von Hochfrequenzkanälen auf Starkstromleitungen ist in der ganzen Welt nur klein. Erfahrungen über den Einsatz solcher Anlagen sind daher nur an einigen wenigen Stellen gesammelt worden. Daraus erklärt sich wohl die verhältnismäßig geringe Zahl von Veröffentlichungen auf diesem Gebiet, die zudem im Schrifttum noch weit verstreut sind. Die wenigen zusammenfassenden Darstellungen gehen mit Ausnahme der Werbeschriften der Hersteller meist von der rechnerischen Behandlung der physikalischen Grundlagen dieser Technik aus. Sie sind mehr für den Fachmann auf dem Fernmeldegebiet als für Elektrizitätswerksleute bestimmt.

Jedenfalls ist in den letzten Jahren an den Verfasser vielfach der Wunsch nach einer zusammenhängenden Darstellung der Hochfrequenznachrichtentechnik auf Hochspannungsleitungen aus Elektrizitätswerkskreisen herangetragen worden, so daß er geglaubt hat, ihm durch eine Buchveröffentlichung entsprechen zu sollen.

Diese versucht, den vordringlich mit anderen Aufgaben beschäftigten Leiter von Elektrizitätsversorgungsunternehmungen, den starkstrommäßig orientierten Betriebsmann und den Bearbeiter der Nachrichtenanlagen bei den Elektrizitätswerken zunächst ohne engere spezialfachliche Voraussetzungen oder rechnerische Behandlung in die Probleme der Hochfrequenznachrichtentechnik auf Hochspannungsleitungen einzuführen. Dabei will sie ihn jedoch mit dem Stoff so vertraut machen, daß er weiß, welche berechtigten Forderungen man an das EW-Nachrichtennetz nach dem heutigen Stande der Technik stellen kann, wohin die künftige Entwicklung geht und welche Probleme noch einer Lösung harren. Hierzu muß manchmal auch die vergangene Entwicklung gestreift und Lösungsvorschläge, die sich nicht bewährt haben, müssen erörtert werden. Soweit die rechnerische Behandlung einiger Probleme der EW-Nachrichtentechnik zu deren Klärung beitragen oder die Begriffsbestimmung deutlicher machen konnte, ist sie kurz in den Anmerkungen bzw. im Anhang erfolgt.

Die Darstellung stützt sich auf Erfahrungen, die beim Vertrieb und Einsatz solcher Anlagen in anderthalb Jahrzehnten gesammelt wurden. Aus naheliegenden Gründen wurden als Ausführungsbeispiele vielfach



Erzeugnisse der Firma gebracht, bei der der Verfasser beruflich tätig ist. Jedoch sind auch die Fabrikate anderer Hersteller zur Darstellung der Gerätetechnik weitgehend herangezogen worden. Hierbei lassen sich Wiederholungen nicht vermeiden. Die Beschreibung der Geräte muß allerdings eine gewisse Kenntnis der Grundlagen der Funktechnik im Zeitalter des Rundfunks voraussetzen.

Für freundliche Zurverfügungstellung von Bild- und Textunterlagen bin ich den Herstellerfirmen zu Dank verpflichtet.

Das Schrifttumsverzeichnis zur Geschichte der EW-Hochfrequenztechnik (S. 6) enthält im wesentlichen die Entwicklung kennzeichnende Veröffentlichungen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ebenso ergänzen die angeführten Patentschriften nur den Schrifttumsnachweis — ohne Rücksicht auf den Prioritätsstandpunkt.

Bei der Bearbeitung des Stoffes haben mir Herr Professor Dr.-Ing. Wolman, Dresden, und Herr Dipl.-Ing. Herrmann, Berlin, die nacheinander das Entwicklungslaboratorium einer der führenden Firmen auf diesem Gebiet leiteten, wertvolle Ratschläge gegeben und mich durch freundliche Mitarbeit unterstützt. Ich möchte ihnen hierfür meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Da in einem modernen großen Industrieunternehmen jedes Aufziehen eines Arbeitsgebietes und damit auch die Sammlung von Erfahrungen Gemeinschaftsarbeit im besten Sinne ist, gilt dieser Dank auch allen meinen Mitarbeitern auf dem Gebiet der EW-Nachrichtentechnik bei dem Unternehmen, in dem ich tätig bin.

Die Eigenart des Krieges erlaubte mir während der ruhigen Weihnachtszeit 1939 im Felde die Arbeit einer Durchsicht zu unterziehen und abzuschließen.

Hierbei war die Frage zu entscheiden, wieweit die Hochfrequenzsysteme der mit uns im Kriege befindlichen Länder berücksichtigt werden sollten. Ich bin der Meinung, man sollte die gegnerischen Systeme kennen. Wo allerdings die Hergabe von Unterlagen vor Kriegsbeginn an die Zurverfügungstellung von Belegexemplaren geknüpft wurde, war es jetzt unmöglich, diese Unterlagen zu verwenden.

Sollten durch die eigenartige Fertigstellung des Buches sich Mängel eingeschlichen haben, so muß ich bitten, mir dafür die besonderen Kriegsverhältnisse zugute zu halten.

Herr Ing. Podszeck hat während meiner Abwesenheit im Felde in mühevoller Arbeit das Manuskript druckreif gemacht und die Drucklegung überwacht. Hierfür bin ich ihm zu besonderem Danke verpflichtet.

Der Verlagsbuchhandlung Julius Springer danke ich für ihr stets bewiesenes Entgegenkommen und ihre große Geduld.

Im Felde, Neujahr 1940.

**Gerhard Dreßler.**

# Inhaltsverzeichnis.

## Einleitung.

	Seite
A. Die Notwendigkeit werkseigener Nachrichtenanlagen für den Betrieb von Elektrizitätsversorgungsunternehmen . . . . .	1
B. Geschichtlicher Überblick über die Hochfrequenztechnik im Dienste der Elektrizitätsversorgung . . . . .	2
C. Gliederung der Darstellung . . . . .	5
D. Schrifttum zu B . . . . .	6

## Die Nachrichtentechnik für Elektrizitätswerke.

I. Welche anderen Nachrichtenmittel stehen außer der Hochfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen den Elektrizitätswerken zur Verfügung? . . . . .	8
1a. Drahtübertragungen mit Niederfrequenzströmen . . . . .	8
$\alpha$ ) Das öffentliche Fernsprechnet . . . . .	8
$\beta$ ) Werkseigene Fernmeldeeinrichtungen . . . . .	9
1b. Hochfrequenzübertragungen über Hochspannungstelefonleitungen	11
2. Drahtlose Übertragungen . . . . .	11
II. Die Hochfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen . . . . .	12
1. Die Leitungsausrüstung . . . . .	12
a) Ankopplung . . . . .	14
$\alpha$ ) Luftdrahtkopplung . . . . .	14
$\beta$ ) Benutzung vorhandener Hochspannungsapparate zur Kopplung	15
$\gamma$ ) Hochspannungskondensatorkopplung . . . . .	15
$\delta$ ) Prüfbedingungen . . . . .	21
b) Sperren . . . . .	25
$\alpha$ ) Resonanzsperren . . . . .	25
$\beta$ ) Allwellensperren . . . . .	30
$\gamma$ ) Sperrung durch Eisenüberzug . . . . .	32
$\delta$ ) Tragbare Sperren . . . . .	34
c) Die Sicherungseinrichtung . . . . .	35
d) Die Überbrückung von Leitungstrennstellen . . . . .	38
2. Der Übertragungsvorgang von hochfrequenten Wellen . . . . .	40
a) „Leitungsgerichtete“ Übertragung . . . . .	40
b) Erdrückleitung bei Einphasenkopplung . . . . .	42
c) Zwischenphasenkopplung . . . . .	43
d) Zwischensystemkopplung . . . . .	44
e) Vorteile und Nachteile der verschiedenen Kopplungen . . . . .	45
3. Der Frequenzbereich der HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen . . . . .	46
a) Die obere Frequenzgrenze . . . . .	46
b) Die untere Frequenzgrenze . . . . .	46
c) Frequenzwahl . . . . .	47
d) Zahl der übertragbaren Kanäle . . . . .	49

	Seite
III. Probleme der Frequenzersparnis . . . . .	52
1. Verringerung des Frequenzbedarfs einer Sprechverbindung . . . . .	53
a) Übergang von Zweikanalsystemen auf Einkanalssysteme . . . . .	53
$\alpha$ ) Das Einkanalsprechsystem mit Handumschaltung . . . . .	55
$\beta$ ) Das Einkanalsprechsystem mit Sprachsteuerung . . . . .	56
b) Übergang von Zweiseitenbandübertragung auf Einseitenbandübertragung . . . . .	57
$\alpha$ ) Das Zweikanalsprechsystem mit Unterdrückung des Trägers und eines Seitenbandes . . . . .	59
2. Die Kombination von Zweikanalsprechsystemen mit anderen Hochfrequenzfernmeldungen . . . . .	60
a) Anderweitige Verwendung der Telefoniewellen während der Gesprächspausen . . . . .	61
$\alpha$ ) Fernmessung auf Anwahl und Dauermessung, unterbrochen durch Gespräche . . . . .	61
$\beta$ ) Schalterstellungsmeldung und Schaltersteuerung . . . . .	63
$\gamma$ ) Fernschreibung . . . . .	65
b) Anderweitige Verwendung der Telefoniewellen gleichzeitig mit dem Gespräch . . . . .	67
$\alpha$ ) Überwachung der Hochspannungsübertragung durch die Trägerwellen . . . . .	67
$\beta$ ) Unterlagerungsverfahren . . . . .	68
$\gamma$ ) Tonfrequenzübertragungen innerhalb des Sprachbandes . . . . .	70
c) Umfang der Trägerfrequenzersparnis durch die Kombination von Telefonie und anderen Fernmeldeanlagen . . . . .	72
IV. Die Hochfrequenztelefoniegeräte . . . . .	72
A. Grundsätzliches . . . . .	73
B. Ausführungsbeispiele . . . . .	78
1. Die Einkanalgeräte . . . . .	78
a) System General Electric Co. Shenectady, USA. . . . .	78
$\alpha$ ) Sender—Empfänger, Röhren und Filterteil . . . . .	79
$\beta$ ) Automatische Pegelregelung . . . . .	80
$\gamma$ ) Sprachsteuerung . . . . .	81
$\delta$ ) Rufeinrichtung . . . . .	82
$\epsilon$ ) Speisung . . . . .	82
b) System Thomson-Houston . . . . .	83
c) System Henry Lepaute . . . . .	83
2. Die Zweikanalgeräte . . . . .	83
a) System Thomson-Houston . . . . .	83
$\alpha$ ) Senderleistung . . . . .	83
$\beta$ ) Modulation . . . . .	83
$\gamma$ ) Empfang . . . . .	84
$\delta$ ) Anruf . . . . .	85
b) System Henry Lepaute . . . . .	85
1. Ausschließlich Sprechzwecken dienende HF-Geräte . . . . .	85
2. Kombinierte Geräte für Telefonie, Fernmessung, Selektivschutz und Fernsteuerung . . . . .	85
3. Gemeinsame Eigenschaften . . . . .	87
$\alpha$ ) Frequenzstabilität . . . . .	87
$\beta$ ) Sendeleistung . . . . .	87
$\gamma$ ) Speisung . . . . .	87
$\delta$ ) Selektivruf . . . . .	88

Inhaltsverzeichnis.

VII

	Seite
c) System Telefunken . . . . .	88
1. Großgerät . . . . .	88
$\alpha$ ) Sender—Empfänger . . . . .	89
$\beta$ ) Automatik . . . . .	91
$\gamma$ ) Aufbau und Überwachung . . . . .	91
$\delta$ ) Speisung . . . . .	91
$\epsilon$ ) Röhren und Reichweite . . . . .	92
2. Tragbares Gerät . . . . .	93
d) System DeTeWe . . . . .	94
1. Großgerät . . . . .	94
2. Tragbares Gerät . . . . .	97
e) System Perego . . . . .	97
f) System Siemens . . . . .	97
1. Hochfrequenzgroßgeräte vorwiegend für Sprechzwecke . . . . .	99
2. Hochfrequenzsprechgeräte, geeignet für Selektivschutz einer Drehstromleitung . . . . .	102
3. Hochfrequenzsprechgeräte, geeignet für Fernmessung und Selektivschutz zweier Drehstromleitungen . . . . .	102
4. Kleingerät . . . . .	104
5. Tragbares Gerät . . . . .	104
g) System AEG . . . . .	105
1. HF-Großgeräte für Sprechzwecke . . . . .	105
$\alpha$ ) Aufbau . . . . .	105
$\beta$ ) Sender—Empfänger . . . . .	106
$\gamma$ ) Röhren . . . . .	107
$\delta$ ) Filter und Leitungsabstimmkreise . . . . .	107
$\epsilon$ ) Automatik . . . . .	107
$\zeta$ ) Meßeinrichtung und Netzanschlußteil . . . . .	107
2. Hochfrequenzgerät für End- bzw. Linienverkehr. . . . .	107
3. Hochfrequenzgroßgeräte für kombinierte Zwecke . . . . .	108
4. Kleingeräte . . . . .	109
5. Tragbares Gerät . . . . .	110
6. Zwischenverstärker ohne Sprechstelle . . . . .	110
7. Zwischenverstärker mit Sprechstelle . . . . .	111
3. Die Einseitenbandgeräte . . . . .	113
System Siemens . . . . .	113
1. HF-Sprech-Endgeräte . . . . .	113
$\alpha$ ) Sender . . . . .	113
$\beta$ ) Empfänger . . . . .	114
$\gamma$ ) Ruf . . . . .	115
$\delta$ ) Automatik . . . . .	115
$\epsilon$ ) Speisung . . . . .	115
2. HF-Zwischenverstärker mit Sprechstelle . . . . .	117
V. Zusammenschaltung von Hochfrequenz- mit Niederfrequenzleitungen . . . . .	118
VI Hochfrequenzfernmeldegeräte, die besondere Trägerfrequenzen für Fernmessung, Fernzählung, Fernsteuerung, Fernregelung sowie für den Selektivschutz benutzen . . . . .	121
A. Grundsätzliches . . . . .	121
1. Tastsender und -empfänger . . . . .	121
2. Mehrfach modulierbare Geräte . . . . .	124

	Seite
B. Ausführungsbeispiele . . . . .	127
1. Tastgeräte Type Siemens & Halske . . . . .	127
2. Modulationsfähige Geräte . . . . .	128
a) Type Siemens & Halske . . . . .	128
$\alpha$ ) Vierfach modulationsfähiges Gerät . . . . .	129
$\beta$ ) Sechsfach modulationsfähiges Gerät . . . . .	130
b) Type AEG . . . . .	131
3. HF-Gerät nach dem Interferenzverfahren Type Siemens & Halske . . . . .	133
4. Zwischenverstärker für Fernbedienungs- (Fernwirk-) Anlagen . . . . .	135
VII. Die HF-Netzgestaltung . . . . .	136
1. Die Zusammenfassung von HF-Geräten zu Sprechbezirken . . . . .	136
a) Der Verkehr zwischen zwei Sprechstellen . . . . .	136
b) Der Verkehr zwischen mehr als zwei Sprechstellen . . . . .	138
$\alpha$ ) Strahlenverkehr . . . . .	138
$\beta$ ) Wellenwechselverkehr . . . . .	139
$\gamma$ ) Linienverkehr . . . . .	140
c) Der Sprechbezirk als Teil des HF-Netzes . . . . .	141
2. Die Zusammenschaltung von Sprechbezirken zu HF-Netzen . . . . .	142
a) Die Technik der Zusammenschaltung . . . . .	144
3. Die Berücksichtigung der Benutzung von Telefoniewellen für andere Fernmeldezwecke bei der Netzaufteilung . . . . .	146
VIII. Automatik . . . . .	148
1. Fernsteuerung des Hochfrequenzgerätes über zwei Adern . . . . .	149
a) Einschaltung und Ausschaltung . . . . .	149
b) Wellenwechsel . . . . .	150
c) Verriegelung mehrerer angeschlossener Teilnehmer . . . . .	150
2. Die Steuerung der selbsttätigen Pegelregelung . . . . .	150
3. Wahlruf der Hochfrequenzgeräte mit vollständiger Signalgabe . . . . .	151
a) Wahlruf in einem HF-Abschnitt . . . . .	151
$\alpha$ ) Belegung der Leitung . . . . .	151
$\beta$ ) Impulsgebung . . . . .	152
$\gamma$ ) Freizeichen und Besetzzeichen . . . . .	152
$\delta$ ) Aufschaltmöglichkeit . . . . .	152
$\epsilon$ ) Rufen des Teilnehmers . . . . .	153
$\zeta$ ) Schlußzeichengabe . . . . .	153
b) Wahlruf bei Zusammenschaltung mehrerer HF-Abschnitte . . . . .	153
4. Übergang auf Selbstanschlußzentralen . . . . .	156
5. Übergang auf Wahlrufanlagen . . . . .	157
6. Wahlweise Umschaltung von Fernsprechen auf andere Fernmelde- dienste . . . . .	157
IX. Die Mehrfachankopplung von HF-Geräten . . . . .	158
X. Die Planung von HF-Netzen . . . . .	161
1. Notwendige technische Unterlagen . . . . .	161
2. Wirtschaftlicher und technischer Vergleich mit anderen Fernmelde- netzen . . . . .	164
XI. Meßgeräte für Hochfrequenzanlagen auf Hochspannungsleitungen . . . . .	166
1. Trägerstrommeßgeräte . . . . .	168
a) Meßsender (Hochfrequenzsummer) . . . . .	168
b) Sendeverstärker . . . . .	170
c) Röhrenvoltmeter . . . . .	170
d) Frequenzmesser . . . . .	172

## Inhaltsverzeichnis.

IX

	Seite
2. Tonfrequenzmeßgeräte . . . . .	174
a) Normalgenerator . . . . .	174
b) Pegel- bzw. Dämpfungszeiger . . . . .	179
XII. Messungen vor dem Einsatz, zur Abnahme und Überwachung von HF-Anlagen . . . . .	180
1. Messung der Übertragungsleitung vor dem Einsatz der HF-Geräte oder nach Leitungsänderung bzw. bei Störung der schon bestehenden HF-Übertragung . . . . .	181
2. Messung an den Hochfrequenzgeräten, Kondensatoren, Sperren usw. 182	182
a) Spannungs- und Strommessung, Messung des Modulationsgrades 182	182
b) Prüfung der Automatik, Pegelregelung und Hochfrequenzdämpfung . . . . .	182
c) Frequenzmessung . . . . .	183
d) Prüfung der Leitungs-ausrüstung . . . . .	183
$\alpha$ ) Kondensatoren . . . . .	183
$\beta$ ) Sperren . . . . .	183
e) Überwachung der Speisung . . . . .	183
f) Prüfung der Relais . . . . .	184
3. Messung der gesamten Hochfrequenzverbindung . . . . .	184
Schlußwort . . . . .	186
Anhang . . . . .	187
Namenverzeichnis . . . . .	203
Sachverzeichnis . . . . .	204

# Einleitung.

## A. Die Notwendigkeit werkseigener Nachrichtenanlagen für den Betrieb von Elektrizitätsversorgungsunternehmen.

Die öffentliche Elektrizitätsversorgung folgt in allen Ländern im wesentlichen zwei Grundsätzen, dem der Zuverlässigkeit der Stromlieferung und dem der Preiswürdigkeit der gelieferten elektrischen Arbeit. Für die Erfüllung dieser beiden Forderungen benötigt jedes Elektrizitätsversorgungsunternehmen Nachrichtenanlagen. Ohne sie würde die Bedingung der zuverlässigen Stromlieferung hundertprozentige Reserven für den Störfall erfordern und damit die Stromabgabe zu wohlfeilem Preis ausschließen. Aber auch im störungsfreien Betriebe erlaubt erst die Nachrichtenanlage den Werken eine Verbundwirtschaft, die Orts- und Fernstrom, kohle- und wassererzeugte elektrische Energie in zweckentsprechendem Austausch verwendet und dadurch eine billige Stromlieferung ermöglicht. Insbesondere wird die geplante Verbundwirtschaft im neuen Großdeutschland ein eigenes selbständiges Nachrichtennetz nicht entbehren können. Auch das Problem der wirtschaftlichen Spitzendeckung kann in allgemeiner Form nicht ohne die Hilfe einer jederzeit verfügbaren und betriebssicheren Nachrichtenanlage gelöst werden. Schließlich fordert neuerdings die Wehrpolitik in vielen Ländern zuverlässige Nachrichtenanlagen für die Elektrizitätsversorgung. Diese Forderung wird durch die inzwischen eingetretenen Kriegsverhältnisse sicherlich verschärft werden.

Das Nachrichtennetz eines Elektrizitätsversorgungsunternehmens muß das Kraftwerk mit seinen Unterwerken, die Erzeugungsstätten untereinander und schließlich alle Umspannwerke verbinden. Im allgemeinen obliegt die Betriebsführung bei den größeren Unternehmungen dem „Lastverteiler“ oder einer ähnlich benannten zentralen Befehlsstelle. Diese muß durch Nachrichtenanlagen mit allen anderen Stromerzeugungs- und Verteilungsstellen des eigenen Netzes wie der Nachbarnetze verbunden sein, wenn die Stromabgabe stets in wirtschaftlichster und zuverlässigster Weise sowohl im normalen Betrieb wie im Störfall sichergestellt sein soll.

Die häufigste und erschöpfendste Nachrichtenverbindung ist naturgemäß durch den Fernsprecher gegeben. Die Sprechverbindung ist aber durchaus nicht immer die einfachste und zweckdienlichste im Elektrizitätswerksbetrieb, ja, für manche Zwecke, z. B. für die ständige

Fernüberwachung von Meßwerten ist sie wegen der begrenzten Dauer der Gespräche ungeeignet. In anderen Fällen, wie etwa für den selektiven Schutz der Hochspannungsnetze scheidet der Fernsprecher wegen der Herstellungszeit der Verbindung aus, weil beim Netzschutz Bruchteile von Sekunden eine entscheidende Rolle spielen. Die Fernsprechverbindung muß daher in der Fernmessung, der Fernzählung, der selbsttätigen Schalterstellungsmeldung und der Fernsteuerung, sowie in der Fernregelung und der Fernmeldung für Selektivschutzzwecke ihre Ergänzung finden. Der schriftlichen Übermittlung wichtiger Schaltbefehle dient die moderne Fernschreibtechnik.

Alle diese Nachrichtenverbindungen können grundsätzlich drahtlos oder über Draht erfolgen.

In den meisten europäischen Ländern wird gegenwärtig die drahtlose Übertragung von den Behörden für Elektrizitätswerke nicht zugelassen, da der verfügbare Wellenbereich durch den Rundfunk und andere zivile oder militärische Funkdienste belegt ist. Zudem bestehen gegen sie derzeit noch schwerwiegende technische Bedenken.

Unter den Drahtverbindungen kommen für Elektrizitätsversorgungsunternehmen Niederfrequenzübertragungen über Freileitungen oder Kabel des öffentlichen Fernsprechnetzes, über gemietete oder werkeigene Freileitungs- bzw. Kabelverbindungen, die auf einem Sondergestänge oder an den Hochspannungsmasten — bzw. im Boden — verlegt sein können und schließlich Hochfrequenzübertragungen über die Hochspannungsnetze selbst in Frage.

Mit den werkseigenen Nachrichtenanlagen, die mit hochfrequenten Strömen über die Hochspannungsleitungen arbeiten, wollen wir uns im folgenden näher beschäftigen.

## **B. Geschichtlicher Überblick über die Hochfrequenztechnik im Dienste der Elektrizitätsversorgung.**

Die ersten Versuche, hochfrequente Ströme über Drahtleitungen, und zwar über Schwachstromleitungen, für den Nachrichtenaustausch zu benutzen, wurden von Ruhmer (1) in Deutschland und Squier (2) in Amerika in den Jahren 1908—1911 ausgeführt. Eine später vielfach angezogene theoretische Abhandlung über den Einsatz von Hochfrequenzanlagen auf Leitungen stammt von Stone-Stone (3) aus dem Jahre 1912. An eine Hochfrequenzübertragung auf Starkstromleitungen hat zunächst keiner von ihnen gedacht.

Sieht man von einigen allgemeineren Angaben in französischen (4), deutschen (5) und englischen (6) Patentschriften über die Verwendung von Hochfrequenzströmen auf Hochspannungsleitungen ab, bei denen



die „Hochfrequenzströme“ entweder im hörbaren Bereich liegen oder drahtlos übertragen und nur mit der Hochspannungsleitung als Antenne aufgefangen werden, so findet sich die erste Literaturstelle über „ultraakustische“, also Hochfrequenzübertragungen auf Hochspannungsleitungen im heutigen Sinne, in einer japanischen elektrotechnischen Zeitschrift (7) vom Juni 1919. Aus dem gleichen Monat stammt das erste erteilte deutsche Patent (8) über eine Betriebstelefonie mit ultraakustischen Strömen für Elektrizitätswerke.

Nach den japanischen Veröffentlichungen ist in Japan die erste Hochfrequenztelefonie-Versuchsanlage auf einer etwa 19 Meilen langen 30- bzw. 60 kV-Leitung im Dezember 1918 eingesetzt worden. In Europa wurden im Jahre 1920 die ersten deutschen Anlagen (9) errichtet. Alle Erstanlagen stellten Versuche dar, drahtlose Sender und Empfänger mit Hilfe von Antennen an die Hochspannungsleitungen anzukoppeln, um eine „leitungsgerichtete“ Übertragung zu erreichen. Erst als hochspannungssichere *Koppelkondensatoren* an Stelle der Antennen traten, gewann die Hochfrequenztelefonie umfangreichere praktische Bedeutung, indem sie sich allmählich vom drahtlosen Funkgerät zum Draht-Betriebsfernsprecher entwickelte (10). In gleicher Richtung ging die Entwicklung in Amerika (11), Frankreich und Italien.

Es waren schon 100 Geräte des „drahtlosen“ Typs eingesetzt, als in den Jahren 1923—1924 in Deutschland (12) und Amerika (13) fast gleichzeitig Hochfrequenzanlagen auf dem Markt erschienen, die den *Wahlruf* wie im Selbstanschlußverkehr erlaubten und mit *Wellenwechsel* für den *beliebigen Untereinanderverkehr* aller Sprechstellen, wie er in Niederfrequenz-Wahlrufnetzen üblich ist, ausgerüstet waren. Damit war der entscheidende Anstoß für die Weiterentwicklung im Sinne des Draht-Betriebsfernsprechers gegeben.

Eine Stabilisierung der Hochfrequenznetze wurde etwa 1926 (14) durch den Einsatz von *Hochfrequenzsperrern* in die Hochspannungsleitung erreicht. Damit wurden die Hochfrequenzströme im wesentlichen auf den gewünschten Sprechabschnitt begrenzt, und die Übertragung wurde weitgehend unabhängig von Schaltänderungen und Erdung der Leitungen hinter diesen Sperrern gemacht (15).

Während die eingangs geschilderte Entwicklung in Deutschland und Amerika zwar unabhängig voneinander, aber ziemlich gleichzeitig verlief, zögerten die Amerikaner lange mit der Einführung von HF-Sperrern im Zuge der Hochspannungsleitung (16, vgl. auch S. 53). Nach neueren Veröffentlichungen werden sie jetzt aber auch in Amerika vielfach eingesetzt (17).

Die weitere Entwicklung ging in Deutschland (18) und Amerika (19) wieder fast gleichzeitig und gleichsinnig vor sich, obwohl zwischen beiden Ländern ein praktischer Erfahrungsaustausch nicht besteht. Sie betraf vor allem die weitgehende Sicherstellung des Sprechverkehrs

unter möglicher Ausschaltung von atmosphärischen Einflüssen, die Verbesserung der Sprachqualität im Sinne der Richtlinien des Comité Consultatif International (CCI) für den Weitsprechverkehr<sup>1</sup> und schließlich die Vervollkommnung der Automatik, um beliebige Zusammenschaltungen von HF- und NF-Sprechabschnitten in vielseitiger Form vornehmen zu können.

Später und zögernder als die HF-Telefonie setzte die Entwicklung der Hochfrequenztechnik für andere Fernmeldezwecke der Elektrizitätswerke ein.

Im amerikanischen Schrifttum findet sich eine Veröffentlichung (20) aus dem Jahre 1927 über die Verwendung von Hochfrequenzströmen auf Hochspannungsleitungen für Schaltersteuerung im Elektrizitätswerksdienst. Aus dem gleichen Jahre stammt die Beschreibung einer Hochfrequenzübertragung in Amerika, die der Meldung der Stromrichtung von einem Ende eines Leitungsabschnittes zum anderen für die Zwecke des selektiven Schutzes von diesem Netzabschnitt dient.

Im Anfang der zwanziger Jahre hatte bei Projektierung des Bayernwerks zwar Oscar von Miller bereits die Aufgabe gestellt, Meßwerte drahtlos oder mit hochfrequenten Strömen über die Hochspannungsleitung auf große Entfernungen zu einer Zentralbefehlsstelle zu übertragen (22). Es mußten aber erst geeignete Fernmeßsysteme entwickelt werden, ehe die Lösung dieser Aufgabe verwirklicht werden konnte. Im Jahre 1928 wurden in Deutschland die ersten Fernmeßübertragungen mit hochfrequenten Strömen über Starkstromleitungen auf Entfernungen von mehr als 100 km ausgeführt (23 und 24).

Je mehr die Verbundwirtschaft zunahm, um so stärker wurde das Bedürfnis der Lastverteilerstelle, Meßwerte von den verschiedenen Kraftwerken stets sichtbar vor Augen zu haben bzw. auch umgekehrt die Gesamtsumme der Erzeugung den einzelnen Kraftwerken wieder zu melden. Mit wachsender Zahl der Übertragungskanäle wächst aber auch der Mangel an verfügbaren Wellen und damit die Notwendigkeit, für die Übertragung mehrerer Meßwerte zwischen den gleichen Orten eine einzige hochfrequente Trägerwelle mit Hilfe der Modulation durch mehrere Tonfrequenzen zu verwenden. Derartige tonfrequenzmodulierte Hochfrequenzübertragungen wurden erstmalig 1932 von deutschen Firmen in der Schweiz und in den folgenden Jahren in Deutschland, Italien, Norwegen, Frankreich, Belgien, Schweden und Japan ausgeführt.

Etwas um die gleiche Zeit fand auch der hochfrequente Selektivschutz Eingang in Frankreich (25) und in Deutschland (26).

In den letzten Jahren hat die Anwendung von Hochfrequenzströmen für Schalterstellungsmeldung und Fernsteuerung sowie für den Selektivschutz wachsenden Umfang in Europa und Amerika angenommen.

<sup>1</sup> Comité Consultatif International des Communications Téléphoniques à grande distance.

Außerdem ist die gleichzeitige Benutzung derselben Hochfrequenzwelle für Fernsprechen, Fernmessen, Schalterstellungsmeldungen und Selektivschutz im steigenden Maße in Aufnahme gekommen (27—33).

Überhaupt steht das Problem des Wellenmangels und seiner Behebung bei der ständig zunehmenden Zahl von Hochfrequenzanlagen in den Hochspannungsnetzen im Vordergrund des Interesses. Es hat daher auch die Gliederung dieser Darstellung weitgehend beeinflußt.

### C. Gliederung der Darstellung.

Die Ausführungen gliedern sich dementsprechend folgendermaßen:

Es wird zunächst untersucht, welche anderen Nachrichtenmittel den Elektrizitätswerken zur Verfügung stehen, um von vornherein klarzustellen, für welche Fälle die HF-Übertragung über Hochspannungsleitungen am Platze ist.

Danach wird die Herrichtung der Hochspannungsleitung für die Nachrichtenübertragung behandelt. Hierbei muß auf den Übertragungsvorgang der hochfrequenten Wellen über die Leitung näher eingegangen sowie untersucht werden, innerhalb welchen Frequenzbereichs die Übertragung möglich ist und wodurch die Zahl der übertragbaren Kanäle bestimmt wird.

Wie eingangs erwähnt, werden dann im Hinblick auf die Wichtigkeit des Problems der Frequenzersparnis die Möglichkeiten hierzu untersucht, und zwar zunächst für das Fernsprechen allein, sodann für die Heranziehung der Trägerwellen der Sprachübertragung zu anderen Fernmeldungen.

Nachdem dabei die Grundbegriffe der verschiedenen Systeme geklärt worden sind, werden die Apparate näher dargestellt. Hierfür wird eine größere Zahl von Ausführungsbeispielen aus dem In- und Ausland gebracht.

Ein besonderer Abschnitt ist wegen der Bedeutung der Zusammenschaltung von Hochfrequenz- und Niederfrequenzleitungen dieser Frage gewidmet.

Danach werden die HF-Fernmeldegeräte behandelt, die auf eigenen Trägerwellen die Fernüberwachung bzw. Fernbedienung vornehmen.

Nachdem der Leser damit die Apparatetechnik in den Grundzügen kennengelernt hat, werden die Möglichkeiten für die Eingliederung dieser Geräte in das Hochspannungsnetz und damit für die Gestaltung der Hochfrequenznetze erörtert.

Da die Automatik bei dieser Zusammenfassung eine hervorragende Rolle spielt, sind in einem besonderen Kapitel die Aufgaben der Automatik, die bei den verschiedenen Geräten bereits kurz skizziert sind, nochmals zusammengestellt.

Die örtliche Häufung der verschiedenen Kanäle bringt vielfach eine gemeinsame Ankopplung der unterschiedlichen Geräte an die Hochspannungsleitungen über die gleichen Kopplungseinrichtungen. Die Technik hierfür wird in einem weiteren Abschnitt zusammengefaßt.

Der Planung von HF-Netzen ist ein selbständiges Kapitel gewidmet.

Zum Schluß werden die neueren Meßgeräte und Meßverfahren, die für die EW-HF-Nachrichtentechnik zur Verfügung stehen, erläutert und die Messungen vor dem Einsatz und zur Abnahme von HF-Telefonanlagen, sowie deren Überwachung kurz beschrieben.

Im „Schlußwort“ wird schließlich die Wichtigkeit dieser Meßverfahren für die Planung von Landeshochfrequenznetzen und damit für eine die Ausbaumöglichkeiten fördernde Frequenzverteilung unterstrichen.

## D. Schrifttum zu B.

1. Ruhmer, E.: Mehrfachtelefonie. Z. Schwachstromtechn. Bd. 4 (1911) S. 89.
2. Squier: Multiplex Telephony and Telegraphy by means of Electric Waves guided by Wires. Proc. Amer. Inst. Electr. Engineers 1911, S. 857.
3. Stone-Stone: The Practical Aspects of the Propagation of High-Frequency Electric Waves along Wires. J. Franklin Inst. Bd. 174 (Okt. 1912) Nr. 4.
4. Neu, Lucien: Franz. Pat. Nr. 355442/1905.
5. S. S. W.: DRP. Nr. 292197.
6. Squier: Brit. Pat. Nr. 17487/1914.
7. Nakamura, Ryozo: Über Radio-Drahttelegraphie und Telephonie. Denki Hyoron Bd. 7 (1919) Heft 6.
8. Rüdemberg: DRP. Nr. 380307.
- 9a. Gewecke: Hochfrequenztelefonie in Überlandzentralen. ETZ Jg. 41 (Aug. 1920) Heft 34 S. 670.
- 9b. Arco: Drahtlose Nachrichtenübermittlung für Überlandwerke. ETZ Jg. 41 (Okt. 1920) Heft 40.
10. Habann: Untersuchungen über Hochfrequenztelefonie auf Starkstromleitungen. Jb. drahtl. Telegr. Bd. 22 (1923) Heft 4.
11. Dreßler: Stand der Hochfrequenztechnik auf Starkstromleitungen in Europa und Amerika. Z. Fernmeldetechn., Febr. 1928 Heft 2.
- 12a. Rukop: Neuere Fortschritte der Hochfrequenztelefonie in Elektrizitätswerken. VDE-Fachber. Bd. 31 (1926) S. 56.
- 12b. Pütz: Diskussionsbeitrag S. 59 am gleichen Ort.
13. Boddie and Cooke: Limitations of Carrier Current Telephony. Electr. Wld., Bd. 81 (April 1923) S. 909.
14. Arco: Betriebstelefonie mit Trägerfrequenzen auf Hochspannungsleitungen. Elektro. J. Bd. 10 (Aug. 1926) S. 316.
15. Habann: Die HF-Telefonie und ihre Drossleinrichtungen. Elektrizitätswirtschaft. Jg. 27 (Okt. 1928) Nr. 468.
- 16a. Fuller and Tolson: Power Line Carrier Telephony. J. Amer. Inst. Electr. Engineers Oct. 1928.
- 16b. Wolfe and Sarros: Problems in Power-Line Carrier Telephony. J. Amer. Inst. Electr. Engineers Oct. 1928.
17. Sporn and Wolford: Experience with Carrier Current Communication. J. Amer. Inst. Electr. Engineers Febr. 1930.

18. Wolman: Hochfrequenztelefonie über Starkstromleitungen. Schweiz. Bauztg. Bd. 104 (Okt. 1934) Nr. 14.
19. Johnson: Recent Developments in Power Line Carrier. Electr. Engng. Bd. 53 (April 1934) S. 542.
20. Boddie: The Use of High Frequency Currents for Control. J. Amer. Inst. Electr. Engineers 1927 S. 763.
21. Fitzgerald: A Carrier-Current Pilot System of Transmission Line Protection. J. Amer. Inst. Electr. Engineers Okt. 1927 S. 1015.
22. Keinath: Die Technik der elektrischen Meßgeräte, S. 432. München u. Berlin: Oldenbourg 1922.
23. Wilde: Ein neues Fernmeß-System für Elektrizitätswerksbetriebe. Elektrizitätswirtsch., Febr. 1928.
24. Schleicher: a) Die Fernmessung über hochspannungsseitig beeinflusste Schwachstromleitungen. VDE-Fachber. 1928 S. 78. — b) Die Lastverteilungsanlagen und die Fernbedienung von Kraftwerken und Unterwerken. ETZ Bd. 50 (1929) Heft 8 u. 11 S. 257—382.
25. Fallou: Discussion des Rapports. C. R. des Travaux de la 7ième Sess. 1933 Confér. Internat. des Grands Rés. Electriques, Tome III, 2ième partie D. 88, Groupe 38, Rapport 101.
26. Neugebauer: Streckenschutz mit Hochfrequenzverbindung. Siemens-Z., März 1934 Heft Nr. 3 S. 83.
27. Gabriel: La Téléphonie par ondes porteuses à haute fréquence guidées par les conducteurs des lignes d'énergie. Bull. Soc. belg. Electr., avril, mai 1937 p. 266f. 328f.
28. Löfgreen: Die Hochfrequenztelefonie- und Fernwirkanlagen im 220 kV-Netz der Krängede A.G. AEG-Mitt., Juli 1937.
29. Riedel: Mehrfachausnutzung von Hochfrequenzkanälen für Fernsprech- und Fernwirkanlagen. VDE-Fachber. 1937 S. 174.
30. Baranowsky: Der Wellenmangel in der EW-Telefonie und Wege zu seiner Beseitigung. VDE-Fachber. 1937 S. 179.
31. Lindemann: Höifrekvensoverföring på höispenningsledninger. Elektroteknisk Tidsskr. Sept. 1937 Nr. 25.
32. Reinauer: Das Fernmeldewesen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen und seine Bedeutung für die Betriebsführung. Elektrizitätswirtsch. Jg. 36 (Dez. 1937) Nr. 35 S. 793.
33. Dreßler: Moderne Hochfrequenzübertragungen über Hochspannungsleitungen. Elektrotechn. u. Masch.-Bau 1938, Heft 29.

# Die Nachrichtentechnik für Elektrizitätswerke.

## I. Welche anderen Nachrichtenmittel stehen außer der Hochfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen den Elektrizitätswerken zur Verfügung?

Um ein richtiges Bild zu gewinnen, wann der Einsatz von Hochfrequenzanlagen im EW-Betrieb am Platze ist, müssen wir zunächst die Frage prüfen, welche anderen Nachrichtenmittel den Elektrizitätswerken zur Verfügung stehen. Wir unterscheiden, wie in der Einleitung erwähnt,

1. Drahtübertragungen und
2. drahtlose Verbindungen.

### 1a) Drahtübertragungen mit Niederfrequenzströmen.

a) Das öffentliche Fernsprechnet. Für *städtische* Elektrizitätswerke sowie für Elektrizitätsversorgungsunternehmen, deren Sitz in großen Städten liegt, kommt vor allem der Gebrauch von öffentlichen Fernsprechverbindungen in Frage. Fast alle großstädtischen Fernsprechnetze sind *verkabelt*, so daß Witterungseinflüsse wie Gewitter, Sturm, Rauhref, die den Betrieb auf Freileitungen in Frage stellen können, ausscheiden. Zudem geht der Fernsprechbetrieb zeitlich uneingeschränkt Tag und Nacht durch. Soweit die Ämter auf *selbsttätigen Betrieb* umgestellt sind, hängt die Herstellung der Verbindungen nicht von der Betriebsbereitschaft des Personals ab. Ein Nachteil für den EW-Sprechbetrieb besteht bei automatisierten Strecken darin, daß man in dringenden Fällen nicht in bestehende öffentliche Verbindungen eintreten kann.

Teilweise sind auch schon *ländliche* Fernsprechnetze *verkabelt* und *automatisiert* (z. B. in Bayern und in der Schweiz der sog. „Netzgruppenverkehr“), so daß bei deren Benutzung die geschilderten Vorteile auch für den Fernverkehr der EW in Frage kommen. Natürlich gilt auch hier der genannte Nachteil, auf besetzte Leitungen sich nicht aufschalten zu können. Eine solche Aufschaltberechtigung ist grundsätzlich mit der Natur eines öffentlichen Fernsprechnetzes mit Selbstwählbetrieb nicht vereinbar.

Benutzt man zur Herstellung von nicht automatisierten *Fernverbindungen* Fernkabel über die *öffentlichen Fernämter*, so ist für Betriebs-

gespräche der EW im allgemeinen die Wartezeit bzw. die hohe Gebühr für Schnellverbindungen (Blitzgespräch, Dringgespräch usw.) auf die Dauer nicht tragbar. — Andere als Fernsprechverbindungen sind bis jetzt bei Benutzung öffentlicher Netze durch die EW unseres Wissens kaum in Betracht gezogen worden, obwohl z. B. öffentliche Fernschreibnetze in Deutschland und in einigen anderen Ländern bereits zur Verfügung stehen. Diese sind verkabelt und automatisiert. Sie können daher eine wichtige Ergänzung für den Sprechverkehr der Elektrizitätswerke bieten.

Öffentliche Fernsprechverbindungen über *Freileitungen* scheiden i. a. für den EW-Sprechverkehr aus. Gerade im Bedarfsfall, bei Gewittern im Sommer, bei Rauheif und Sturm im Winter sind sie nicht mit Sicherheit verwendbar, weil einerseits die Ämter vielfach den Dienst einstellen, andererseits die Drähte sehr der Bruchgefahr ausgesetzt sind. Meist brauchen die EW die Verbindung dann aber am nötigsten. In abgelegenen Gegenden, wo häufig z. B. die Wasserkraftwerke liegen, haben die Ämter oft nur stundenweise Dienstzeit. Derartig zeitlich beschränkte Sprechmöglichkeiten sind aber ebenfalls mit dem EW-Betrieb unvereinbar.

Bei *Beseitigung von Störungen* im öffentlichen Fernsprechnetze ist das Elektrizitätswerk auf die Postbehörde angewiesen, die diese im allgemeinen in der Reihenfolge des Auftretens erledigt.

*Das öffentliche Fernsprechnetze* kann daher nur in gewissem Umfang die Forderungen befriedigen, die ausgedehnte Elektrizitätsversorgungsunternehmen an die Nachrichtenverbindungen stellen müssen. *Es kann im gegenwärtigen Zustand niemals das Rückgrat des Nachrichtennetzes eines Überlandwerks sein.*

**β) Werkseigene Fernmeldeeinrichtungen.** Die Nachteile in der Benutzung öffentlicher Fernsprechnetze für den EW-Sprechverkehr liegen also vor allem darin begründet, daß diese Einrichtungen den Werken nicht ausschließlich zur Verwendung vorbehalten sind. Werkseigene Drahtverbindungen helfen diesem Mangel ab. Die Wetterabhängigkeit der *Freileitungen* bleibt aber selbstverständlich auch bei ihnen als Nachteil bestehen, wenn er auch durch die sofortige Behebungsmöglichkeit von Störungen mit eigenem Personal gemildert wird.

Die privaten Fernmeldeleitungen haben — ob gemietet oder im Eigenbesitz des betreffenden Werkes — außerdem den Vorteil vor öffentlichen Verbindungen, daß auf ihnen nicht nur der Sprechverkehr abgewickelt werden kann, sondern daß sie auch für Fernmessung, Fernsteuerung und Signalisierung, sowie für Selektivschutz und Fernregelung geeignete Kanäle darstellen, soweit die vermietende Behörde bzw. Gesellschaft diesen *Mehrfachbetrieb* zuläßt. Daher können sie z. B. gleichzeitig mit dem Sprechverkehr durch Einsatz von Unter- bzw. Überlagerungsverfahren mit Gleichstrom, Wechselstrom bzw. Tonfrequenzen die verschiedenen Meldungen übertragen.

*Eigene Kabel* zu verlegen ist auf große Entfernungen fast immer unwirtschaftlich, auf kürzere lohnt es sich besonders dann, wenn die Bodenverhältnisse es ohne Schwierigkeit gestatten, oder wenn ein Starkstromkabel verlegt wird und das Fernsprechkabel in den gleichen Kabelgraben kommen kann. Eine werkseigene direkte Kabelverbindung stellt zweifellos einen ausgezeichneten Nachrichtenkanal dar. Für größere Entfernungen müssen *Fernkabel* verwendet werden, die einen erhöhten Aufwand bedingen. Bei *Erdkabel* besteht — besonders im Stadtgebiet — die Gefahr, daß es bei Erdarbeiten beschädigt werden kann. Diese fällt bei *Luftkabeln* fort. Dafür verlangt ein Luftkabel entsprechend hohe Maste genügender Festigkeit, so daß sie das zusätzliche Gewicht tragen können. Bei alten Leitungen ist dies seltener der Fall. Bei der Errichtung neuer Leitungen besteht die Möglichkeit, das selbsttragende Luftkabel als Erdseil zu verlegen. Je mehr gleichzeitige Nachrichtenverbindungen dann verlangt werden, je mehr Aderpaare also in Frage kommen, um so wirtschaftlicher wird das Kabel auf größere Entfernungen. Die äußerste Wirtschaftlichkeitsgrenze für Kabelverbindungen im Vergleich zu HF-Verbindungen dürfte jedoch zur Zeit 50 km nicht überschreiten, im allgemeinen liegt sie weit tiefer (durchschnittlich bei etwa 20 km).

In späterer Zukunft werden wahrscheinlich einmal Kabel für den HF-Vielfachverkehr, als Erdseil verlegt, eine Rolle spielen (vgl. S. 166).

*Werkseigene Freileitungen* werden entweder auf Sondergestänge oder am Hochspannungsgestänge unter den Starkstromleitungen verlegt. Die erste Gattung hat den Vorteil, frei von Hochspannungsbeeinflussung zu sein, wenn ein genügender Abstand vom Hochspannungsgestänge gewahrt wird. Sie ist natürlich kostspieliger als die zweite Art, da sie ein Gestänge für sich und Wegrechte verlangt. Deshalb kommt sie seltener in Betracht. Von der Verlegung der *Fernsprechleitung am Starkstromgestänge* dagegen ist und wird noch in weitem Maße mit Erfolg Gebrauch gemacht.

Diese kommt überall da in Frage, wo — bei Spannungen i. a. nicht über 70 kV — eine größere Zahl von Sprechstellen auf mittlere Entfernungen einzusetzen ist, da hier aus *wirtschaftlichen* Gründen Hochfrequenzübertragungen meistens ausscheiden. Bei weitverzweigten Hochspannungsnetzen niederer Spannung mit vielen Stichleitungen und Trennstellen sprechen auch *technische* Gesichtspunkte, über die noch zu reden sein wird, gegen den ausschließlichen Einsatz von Hochfrequenzübertragungen (vgl. S. 164). Zum Schutz gegen Hochspannung müssen die am Gestänge verlegten Leitungen mit Schutzeinrichtungen versehen werden.

Mit diesen Maßnahmen läßt sich bei gut verlegten Leitungen ein einwandfreier Sprechbetrieb durchführen. Bei Störung der Symmetrie im Erdschlußfall kann jedoch eine hinreichende Geräuschfreiheit nicht erzielt werden.



Solche Hochspannungstelefonanlagen scheiden ferner aus bei sehr großen Entfernungen und dann, wenn die Masthöhe eine Unterbringung der Sprechleitung am Gestänge mit genügendem Erdabstand nicht mehr zuläßt. Außerdem sind auch bei Hochspannungsleitungen mit sehr großen Spannungsfeldern so große Querschnitte für die Telefonleitungen und durch diese bedingte Mehrkosten erforderlich, daß im allgemeinen bei Spannungen über 70 kV derartige Hochspannungstelefonanlagen nicht in Betracht kommen.

### **1b. Hochfrequenzübertragungen über Hochspannungstelefonleitungen.**

In geringerem Umfange sind auf diesen Hochspannungstelefonleitungen bei deutschen Elektrizitätswerken auch Hochfrequenzkanäle eingerichtet worden. Sie dienen dort einem, dem normalen niederfrequenten Betriebsgespräch überlagerten Direktionsverkehr. Man erspart zwar bei ihnen die kostspieligen Ankoppelmittel an die Hochspannungsleitung und die dort benötigten Sperren. Sie sind aber natürlich nur wirtschaftlich, wenn die Hochspannungsfernsprechleitung bereits vorhanden ist. Wegen der schwächeren Drähte und der geringwertigeren Isolation bieten sie jedoch nicht die gleiche Betriebssicherheit wie Hochfrequenzkanäle auf Hochspannungsleitungen.

## **2. Drahtlose Übertragungen.**

Drahtlose Übertragungen für Elektrizitätswerke arbeiten meistens mit ungerichteter Raumstrahlung im Langwellenbereich, da für Kurzwellen durchweg die Entfernungen wenig geeignet sind und für Ultrakurzwellen die optische Sicht meist nicht gegeben und der Störpegel in der Nähe der Kraftwerke zu hoch sein wird. Sie benötigen eine größere Leistung als Hochfrequenzübertragungen über Leitungen, wenigstens etwa 100 W. Im allgemeinen scheidet ihre Benutzung aber in dichter besiedelten Ländern am Wellenmangel. Hinzu kommt, daß sie bei Gewittern eine Erdung der Sendeantennen verlangen, sofern man diese Notwendigkeit nur empfangsseitig durch Rahmenantennen umgehen kann. Außerdem werden bei Gewittern die Luftstörungen zu stark, um überhaupt noch Nachrichten empfangen zu können. Fast das gleiche gilt im Winter bei Schneestürmen.

Bei drahtloser Telegraphie kann man das für die Verbindung benutzte Frequenzband schmal halten und deswegen eher eine Trägerwelle genehmigt bekommen als für Telefonie. Hierzu braucht man aber entweder im Morsen ausgebildetes Personal und dauernde Besetzung der Empfangsstelle, oder man muß sich moderner Fernschreibeinrichtungen bedienen, die natürlich einen größeren technischen Aufwand bedingen. Typenbildübertragungen (SH-Schreiber) arbeiten dann allerdings auch weitgehend witterungsunabhängig (vgl. S. 65).

Die Erfahrungen, die man bisher in Europa und Amerika mit im EW-Betrieb verwendeten drahtlosen *Sprechübertragungen* gemacht hat, lassen die derzeitige drahtlose Technik im Vergleich mit Hochfrequenzsprechübertragungen über die Hochspannungsleitungen als wenig vorteilhaft erscheinen.

## II. Die Hochfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen.

Beim Hochfrequenzverkehr der Elektrizitätswerke werden die Hochspannungsleitungen selbst für die Übertragung der hochfrequenten Ströme benutzt. Die Hochspannungsleitungen verbinden dabei meist auf kürzestem Wege die Stellen, die miteinander verkehren sollen. Gegenüber Schwachstromleitungen haben die Starkstromleitungen den großen Vorteil bester Isolation und außerordentlicher mechanischer Festigkeit, so daß Beschädigungen durch Witterungseinflüsse sehr selten sind. Bei ihrer Benutzung entfallen alle Aufwendungen für Leitungsmaterial. Bei Instandsetzungsarbeiten ist ferner das Elektrizitätswerk von keinem Dritten abhängig.

### 1. Leitungsausrüstung.

Für die Übertragung der Hochfrequenzströme müssen die Hochspannungsleitungen erst hergerichtet werden (Bild 1). Man muß ihnen die Hochfrequenzströme zuleiten und sie wieder von ihnen abführen, ohne

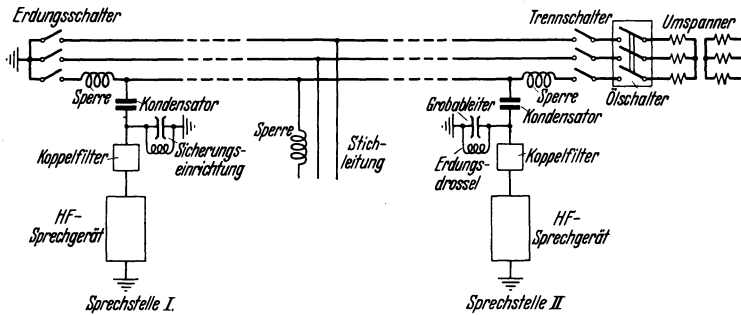


Bild 1. Ausrüstung einer Hochspannungsleitung für HF-Übertragungen.

daß die Fernsprechgeräte oder das Bedienungspersonal durch die Hochspannung gefährdet werden und ohne daß für die Starkstromübertragung durch die Hochfrequenznebenschlüsse nennenswerte Verluste entstehen.

Erschwerend gegenüber Schwachstromleitungen ist beim Verkehr über Hochspannungsleitungen die Forderung, daß die Hochfrequenzübertragung, vor allem, wenn sie dem Sprechverkehr dient, noch einwandfrei arbeiten muß, wenn die Hochspannungsleitungen betriebsmäßig geerdet sind. Deshalb müssen in die Erdverbindung Sperren eingeschaltet werden,

die den Abfluß der Hochfrequenzströme in die Erde verhindern, da sonst eine zu große zusätzliche Dämpfung für die Übertragung bzw. ein direkter Kurzschluß über die Geräterde entsteht. Auch die an die Hochspannungsleitungen angeschlossenen Umspanner und Sammelschienen, die meist beträchtliche Erdkapazitäten besitzen, verursachen zusätzliche Verluste. Schließlich fließen die Trägerströme noch in etwa von der Hauptleitung abzweigende Stichleitungen ab, wodurch — insbesondere bei gewissem Längenverhältnis zwischen der Stichleitung und der hochfrequenten Trägerwelle — infolge Reflektion die Dämpfung auch auf der Hauptleitung sehr stark anwachsen kann.

Man grenzt daher durch Sperren den Übertragungsweg für die Hochfrequenzströme möglichst ein und riegelt ebenfalls alle Abflußstellen unterwegs durch Sperren ab.

Die Mittel, die man zur Ankopplung der HF-Sprechgeräte verwendet, und die, welche man zur Sperrung der für die Hochfrequenzübertragung nicht bestimmten Leitungsteile braucht, faßt man unter dem Begriff

„Leitungsausrüstung“ zusammen. Beide dienen dazu, die eigentlich für die Starkstromübertragung gebauten Hochspannungsleitungen für die Übertragung der Hochfrequenzenergie geeignet zu machen. Dabei sind die Aufgaben, die die Koppelglieder zu erfüllen haben, genau umgekehrt wie die, die die Sperren übernehmen. Während die ersteren den Starkstrom fernhalten und den Hochfrequenzstrom durchlassen sollen, dürfen die letzteren für den Starkstrom kein Hindernis bieten, müssen aber den Hochfrequenzstrom praktisch sperren. Starkstrom und Trägerstrom für die HF-Übertragung unterscheiden sich durch die Frequenz. Die Starkstromfrequenz liegt zwischen  $16^{2/3}$  und 60 Hz, die Trägerfrequenz zwischen 50 und 300 kHz.

Geeignete Trennmittel stellen daher grundsätzlich Kondensatoren, deren Scheinwiderstand mit der Frequenz  $f$  abnimmt, für die Ankopplung und Spulen, deren Scheinwiderstand mit der Frequenz wächst, für die Sperrung dar (Bild 2).

Zur Leitungsausrüstung gehören ferner die Sicherungseinrichtungen, die betriebsmäßig die Kondensatorladeströme von i. a. 50 Hz und — bei einem etwaigen Kondensatordurchschlag — den Erdschlußstrom der Anlage sicher zur Erde ableiten müssen.

Zur Leitungsausrüstung ist auch das neuerdings verwendete Koppelfilter zu zählen, das in unmittelbarer Nähe des Kondensators angebracht

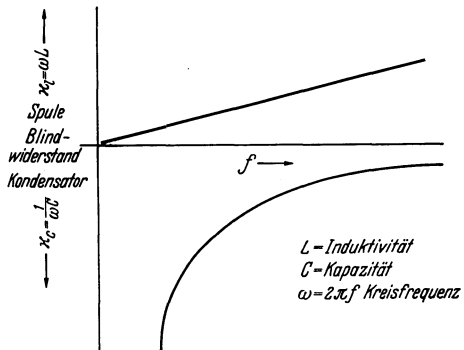


Bild 2. Abhängigkeit der Blindwiderstände von Spulen und Kondensatoren von der Frequenz.

mit der Koppelkapazität bestimmt, welches Frequenzband durch den Koppelkondensator hindurchgelassen wird.

Liegen Trennstellen im Zuge der Leitung, die bei Öffnung die Hochfrequenzübertragung nicht unterbrechen dürfen, so müssen Umgehungswege für die Hochfrequenzströme geschaffen werden, die ebenfalls der Leitungsausrüstung zuzurechnen sind. Sie werden allgemein als „Überbrückung“ oder als „Trennschalterbrücken“ bezeichnet (Bild 3).

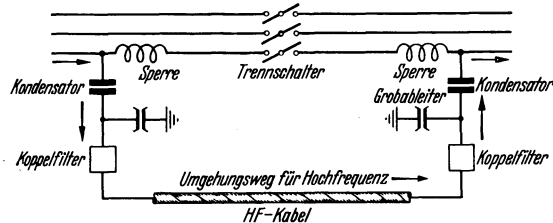


Bild 3. Überbrückung von Leitungstrennstellen.

Wir behandeln nun im einzelnen die Bestandteile der Leitungsausrüstung: Ankopplung, Sperrung, Sicherung und Überbrückung.

### a) Ankopplung.

a) **Luftdrahtkopplung („Antennenkopplung“)**. Da zu Beginn der Hochfrequenztelefonie für Elektrizitätswerke die Hochspannungstechnik hochspannungssichere Koppelkondensatoren mit ausreichender Kapazität (etwa  $1000\text{--}2000\text{ cm}$ )<sup>1</sup> noch nicht für die Ankopplung zur Verfügung stellen konnte, benutzte man ursprünglich wie in der Funktechnik Antennen (Bild 4), die in genügendem Abstand von der Hochspannungsleitung unter dieser an den Leitungsmasten befestigt wurden.

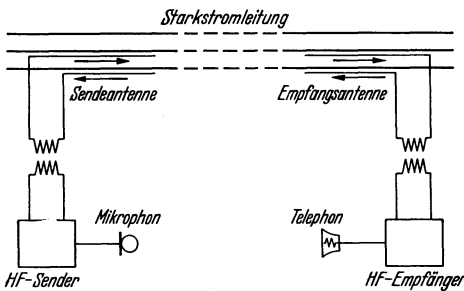


Bild 4. Luftdrahtkopplung (aus ETZ 1920).

Die Länge wurde auf mehr als 100 m bemessen und dieser Luftdraht, die „Antenne“, auf die benutzten Frequenzen abgestimmt. Der Wirkungsgrad war schlecht. Die Kapazität der Antenne gegen Erde ist größer als die der Antenne gegen die Leitung. Hierdurch entstehen Verluste. Ein weiterer Teil der Hochfrequenzenergie wird in den Raum abgestrahlt. Ebenso ist die Störanfälligkeit gegen fremde Raumwellen nicht unbeträchtlich. In die Resonanzabstimmung geht die Kapazität der Schaltanlage mit ein, wodurch bei Schaltänderungen Verstimmungen entstehen. Man gab deshalb die Antennenkopplung auf, sobald betriebssichere Hochspannungskondensatoren greifbar waren.

<sup>1</sup>  $1000\text{ cm} = 0,0011\ \mu\text{F}$ .

Ein Vorschlag, zwei große Drahtgitterflächen, von denen die eine mit der Hochspannungsleitung, die ihr gegenüberstehende mit dem HF-Gerät zu verbinden ist, als Luftkondensatoren zu verwenden, scheiterte an den baulichen Schwierigkeiten und dem großen Raumbedarf<sup>1</sup>.

β) **Benutzung vorhandener Hochspannungsapparate zur Kopplung.** Das Bestreben der Elektrizitätswerke blieb allerdings immer dahin gerichtet, nach Möglichkeit vorhandene Hochspannungsapparate für die Ankopplung mitzubeneutzen, um den Einbau besonderer Koppelglieder und damit zusätzlicher Fehlerquellen zu vermeiden<sup>2</sup>. Aber weder die Herrichtung des Blitzseils als Antenne<sup>3</sup> durch seine Isolation oder durch Sperrung gegen Erde bis zum zweiten bzw. dritten Mast, noch die Benutzung der Kapazität der Durchführungen für die Ankopplung<sup>4</sup> konnten sich auf die Dauer durchsetzen. Das Blitzseil krankt im wesentlichen an den gleichen Mängeln wie die unter der Hochspannungsleitung gespannten Antennen. Zudem ist es aus Eisen und bildet deswegen eine weitere Verlustquelle für die Hochfrequenzströme. Die mit Hilfe der Durchführungen erzielbaren Koppelkapazitäten sind andererseits zu gering, um eine ausreichende Übertragung der Hochfrequenzenergie auf die Leitung zu ermöglichen. Außerdem wird im allgemeinen die betriebsmäßige Weiterverwendung dieser Hochspannungsgeräte durch die für die Hochfrequenz notwendige Isolation bzw. Sperrung gegen Erde an Stelle der sonst vorgeschriebenen direkten Erdung in Frage gestellt. Das gleiche gilt für die Ölschalter und Transformatoren, soweit deren Kapazitäten für die Ankopplung von Hochfrequenzgeräten ausgenutzt werden sollen<sup>5</sup>. Zudem wird die Hochfrequenzverbindung dann bei jeder Abschaltung der Leitung bzw. der Transformatoren unterbrochen.

Die Entwicklung besonderer Hochspannungskopplungskondensatoren ließ sich daher nicht umgehen. Inzwischen hat man ihre Sicherheit erprobt und sie ganz allgemein eingeführt.

γ) **Hochspannungskondensatorkopplung.** In Europa verlief die Entwicklung der Koppelkondensatoren folgendermaßen:

Die ersten Koppelkondensatoren aus *Hartpapier* (Bild 5) waren wie die Durchführungen nach dem Prinzip der Nagelklemme<sup>6</sup> gebaut, d. h. in die Hartpapierwickel waren lagenweise abgestufte Metallfolien eingebracht, um eine günstige Feldverteilung zu erzielen. Solange es sich um *Innenraumkondensatoren* handelte, schien die Koppelfrage mit ihnen gelöst zu sein. Je mehr die Schaltanlagen in Freiluft ausgeführt wurden,

<sup>1</sup> Vgl. franz. Patent 613 140; Fig. 7.

<sup>2</sup> Vgl. DRP. 326 812 und 387 839.

<sup>3</sup> Vgl. DRP. 403 435 und 437 544.

<sup>4</sup> DRP. 445 307. — Gewecke: Hochfrequenztelefonie in Elektrizitätswerken. Mitt. Ver. Elektrizitätswerke Nr. 296, Sept. 1921. — Dreßler: HF-Telefonie längs Kraftleitungen. ETZ 1923, Heft 31.

<sup>5</sup> DRP. 415 527, franz. Pat. 611 410.

<sup>6</sup> DRP. 177 667.

um so dringlicher wurde das Bedürfnis nach einem betriebssicheren *Freiluftkondensator*. Die ursprünglich verwendete Lösung, denselben Hartpapierkondensator wie für Innenraum für Freiluft in einem Eisentopf unterzubringen und ihn mit einem *Porzellanüberwurf* (Bild 6) zu versehen,

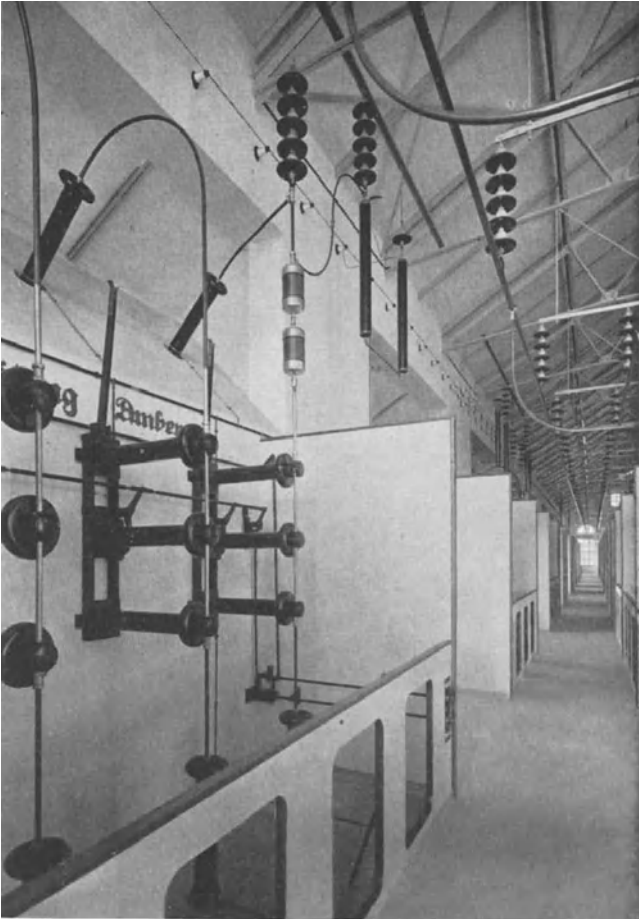


Bild 5. Hartpapierkondensatoren für Innenräume.

stieß auf verschiedene Schwierigkeiten, insbesondere in Klimaten mit starken Temperatursprüngen. Die Trennstelle zwischen den zwei Teilen des Porzellanüberwurfes bzw. zwischen dem Überwurf und dem den Kondensatorkörper enthaltenden Eisentopf ließ sich damals nicht feuchtigkeitssicher machen. Mit der Zeit zog Feuchtigkeit in das Innere der Füllmasse, die zwischen Kondensatorkörper und Porzellanhaube eingebracht war. Bei Frost trieb diese und das Porzellan bekam Risse.

Damit war der Porzellankörper in rauhem Klima etwa innerhalb von 1—2 Jahren der Zerstörung verfallen. Haarrisse entstanden auch an der Stoßstelle von Metall und Porzellan bei starken Temperatursprüngen infolge der verschiedenen Ausdehnungseigenschaften. Die Hartpapierkörper haben sich übrigens bei dieser Art der Kopplungskondensatoren erstaunlicherweise selbst im Fall der Porzellanzerstörung gut bewährt.

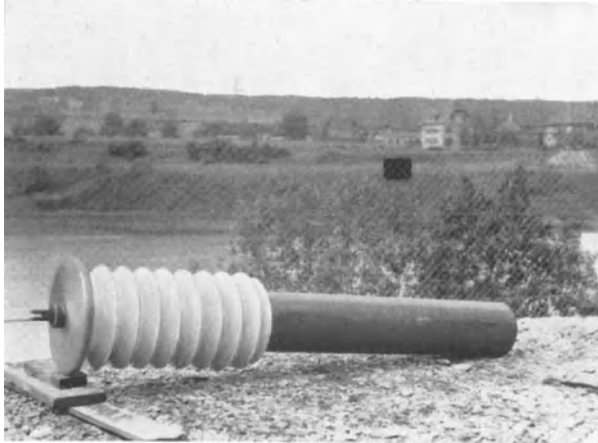


Bild 6. Hartpapierkondensator mit Porzellanüberwurf für Freiluftmontage.

Hier diene das Porzellan allerdings nur als Witterungsschutz, nicht als Dielektrikum.

Nun ist ein rein keramischer Werkstoff zweifellos aber wegen seiner weitgehenden Witterungsbeständigkeit ein vorzügliches Dielektrikum für Freiluftgeräte. Man griff deshalb, als die Hartpapierkondensatoren mit Porzellanüberwurf die genannten Schwierigkeiten zeigten, auf den alten Gedanken der Leydener Flasche zurück unter Ersatz des Glases durch *Porzellan* und gewann damit einen ausgezeichneten *Freiluftkoppelkondensator* (Bild 7)<sup>1</sup>. Da große Porzellanstücke beim Brennen jedoch einen erheblichen Ausschub geben, läßt sich aus wirtschaftlichen Gründen wegen der notwendigen Kapazität von 1000—2000 cm und im Hinblick auf den Überschlagweg keine höhere Spannung in einem Element herrschen als etwa 60—70 kV. Für 100 kV benötigt man also 2 Elemente in Reihe. Zu dieser Reihenschaltung von 2 Elementen zu je 1000 cm mit einer resultierenden Kapazität von 500 cm muß also eine zweite derartige Reihe parallelgeschaltet werden, wenn man eine resultierende Kapazität von 1000 cm erreichen will. Für 150 kV wächst die Zahl der Elemente je Reihe auf 3, und eine resultierende Kapazität von

<sup>1</sup> Regerbis: Hochspannungs-Porzellan-Kondensatoren für leitungsgerichtete Telefonie- und Fernmeßzwecke. VDE-Fachberichte 1929, S. 54.

etwa 2000 cm erfordert die Parallelschaltung von drei Reihen mit je 3 Einzelementen von 2000 cm; insgesamt werden also 9 Elemente benötigt (Bild 8). Bei 220 kV wird die erforderliche Reihen- und Parallel-

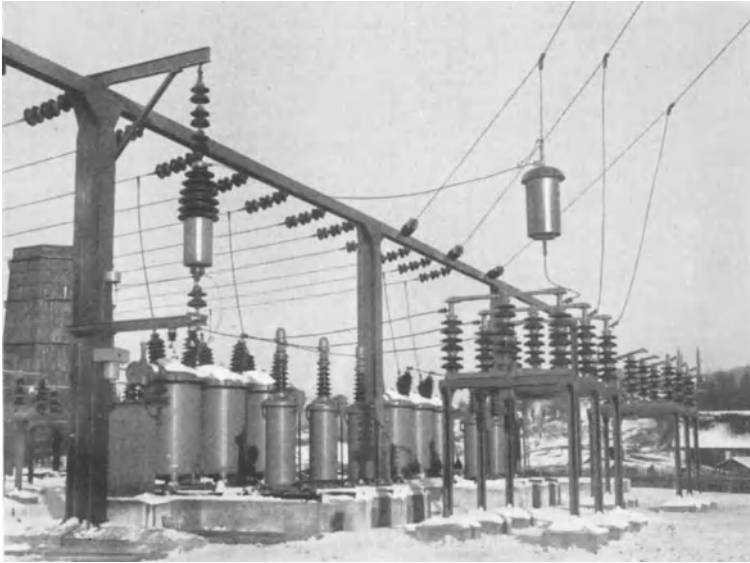


Bild 7. Deutscher Porzellankondensator.

schaltung von insgesamt 16 Elementen wirtschaftlich und räumlich untragbar.

In Amerika werden noch kleinere Einheiten von Porzellankondensatoren für Spannungen von 50 kV je Element verwendet (Bild 9). Damit

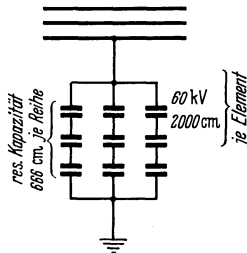


Bild 8. Porzellankondensator-Anordnung für Ankopplung einer 150 kV-Leitung.

wird für europäische Begriffe die Grenze der Wirtschaftlichkeit und der räumlichen Unterbringungsmöglichkeit infolge der benötigten großen Zahl von Einzelementen noch eher erreicht.

In Europa beherrscht seit etwa 1931 bei Spannungen über 60 kV der Ölpapierkondensator das Feld (Bild 10 a—d). Er besteht wie die



Spannungswandler aus Flachwickeln von Lagen Papier und Metallfolie, die in einem mit Schirmen versehenen Porzellangefäß im Vakuum erhitzt und unter Öl gesetzt sind. Die Einzelwickel sind derart in Reihe geschaltet,



Bild 9. Ankopplung einer amerikanischen HF-Anlage mit Porzellankondensatoren.

daß an jedem Wickel nur eine Teilspannung von wenigen Kilovolt liegt. Wichtig ist für die Hochfrequenzbenutzung, die Induktivität der Wickel durch geeignete Maßnahmen so klein wie möglich zu halten, um einen ungleichmäßigen Durchlaß der Trägerwellen bei den verschiedenen Frequenzen zu vermeiden. Ein Ausdehnungsgefäß sorgt dafür, daß das Ölvolumen den Temperatur- und Druckschwankungen folgen

kann, ohne daß Außenluft und damit Feuchtigkeit in das Innere des Kondensators zieht.

Mit diesem Kondensator kann man Spannungen bis zu den höchst vorkommenden in einer Einheit beherrschen. Die Möglichkeit, ihn

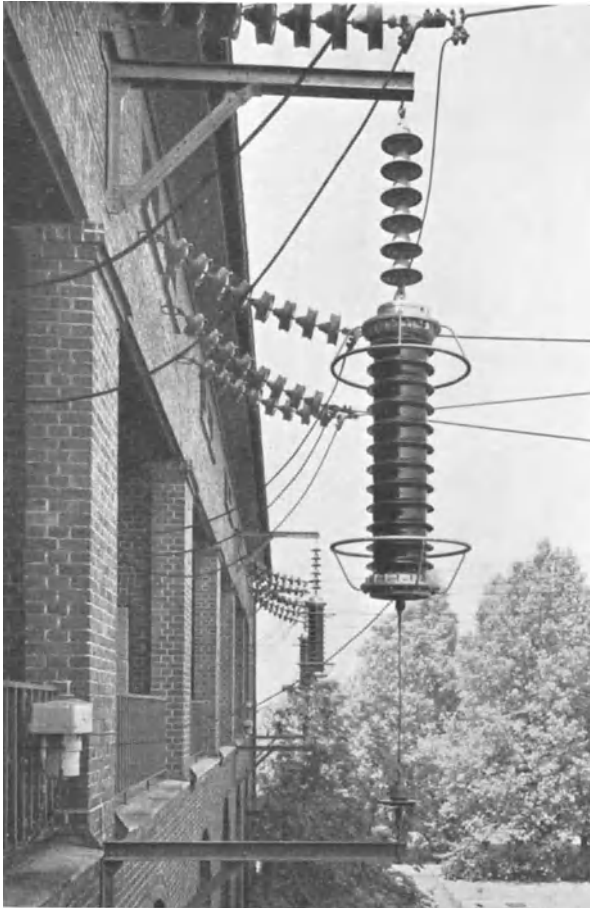


Bild 10a. Ölpapierkondensator für 100 kV-Leitung (Bauart Meirowsky & Co.).

stehend statt hängend zu montieren, erleichtert die Unterbringung. Der Platzbedarf ist gegenüber den früheren Typen wesentlich verringert, und dementsprechend ist der Ölpapierhochspannungskondensator sehr wohlfeil im Vergleich mit Porzellankondensatoren. Er wird zur Zeit in Deutschland, Schweden (Bild 11a), Frankreich und Italien sowie in Amerika und Japan (Bild 11b) hergestellt und gewinnt ständig an Boden.

In Amerika werden außer den genannten Kondensatoren noch Glimmerkondensatoren, Kabelkondensatoren (Bild 12) und reine Ölkondensatoren (Bild 13) verwandt (vgl. Schrifttum zur Einleitung B, 17).

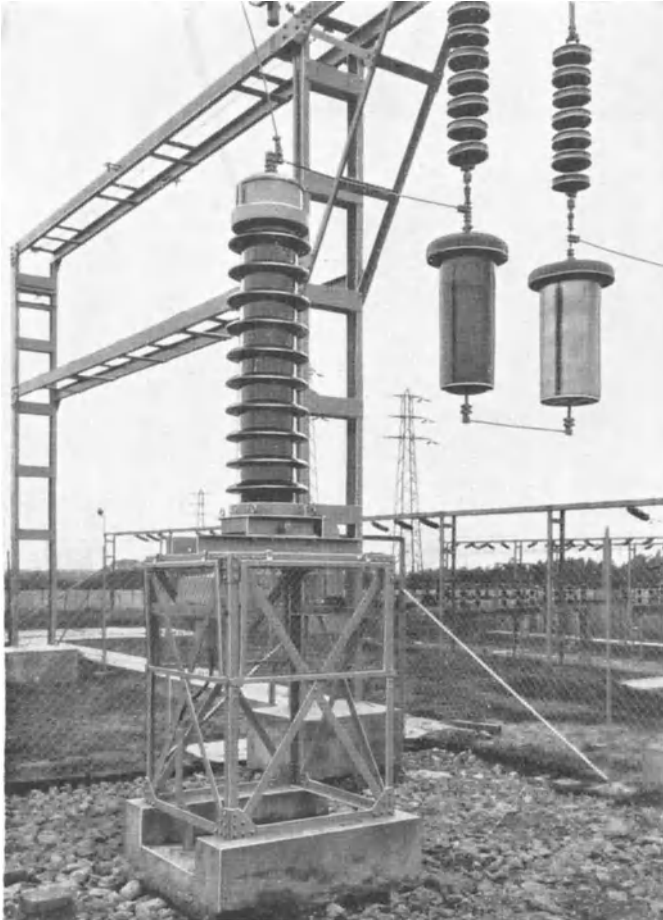


Bild 10b. Ölpapierkondensator für 150 kV-Leitung (Bauart Siemens & Halske AG.).

d) **Prüfbedingungen.** Während ursprünglich die Forderungen bezüglich der Prüfspannung der Kondensatoren sehr hoch getrieben wurden, da der Kondensator als Fremdkörper in der Hochspannungsanlage unbedingt die größte Sicherheit haben sollte, sind heute die Anschauungen über die Prüfspannungen stark in Wandlung begriffen. Man weiß, daß zu hohe Prüfspannungen dem Kondensator bei der Prüfung den Todeskeim einimpfen können, so daß er trotz oder gerade wegen der

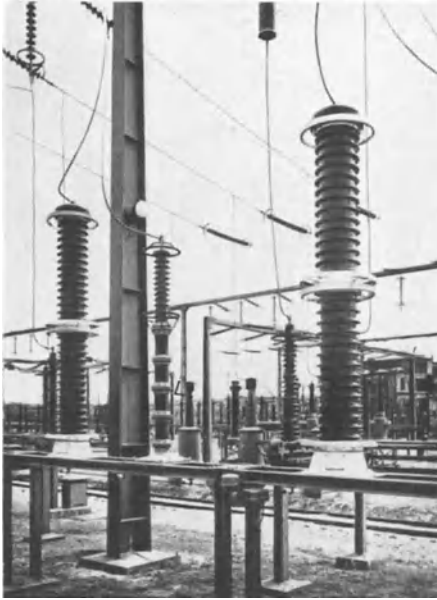


Bild 10c. Ölpapierkondensator für 220 kV-Leitung  
(Bauart Meirowsky & Co.).

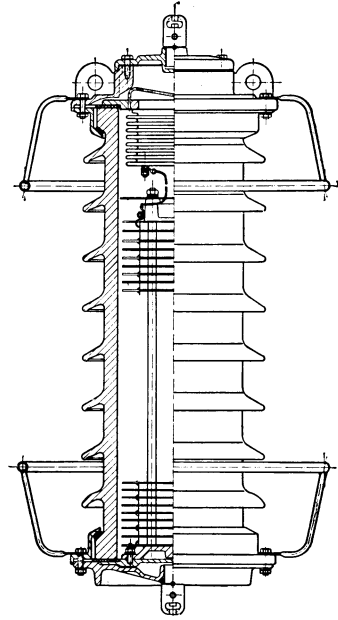


Bild 10d. Schnitt durch einen  
Ölpapierkondensator.

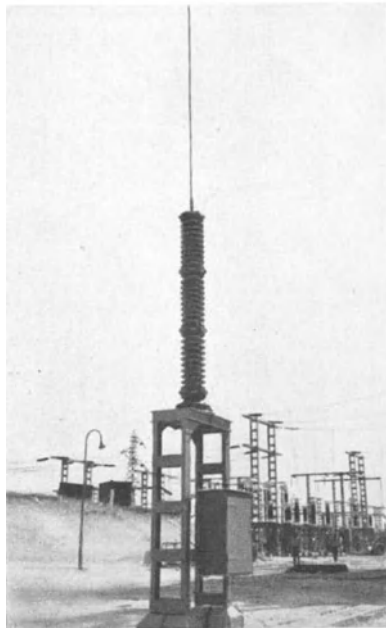


Bild 11a. Ölpapierkondensator, schwedische Ausführung (Sieverts Kabelwerk).

„erfolgreichen“ Erprobung einer später im Betrieb auftretenden hohen Beanspruchung nicht mehr gewachsen ist.

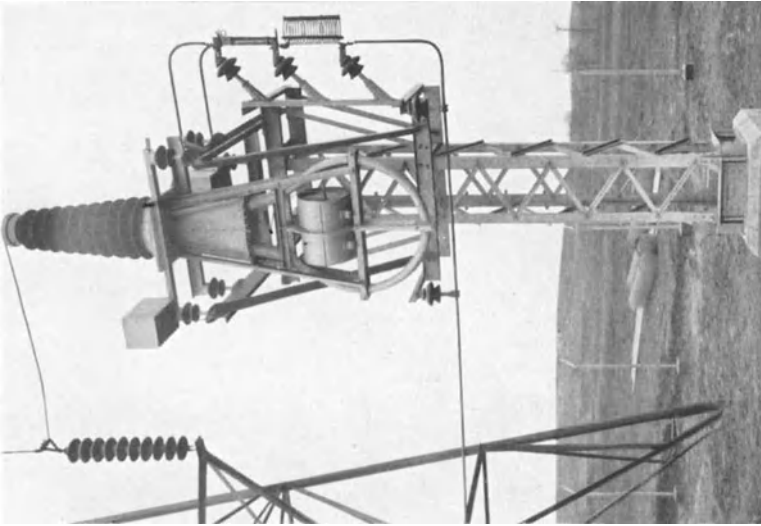


Bild 12. Amerikanischer Kabelkondensator.

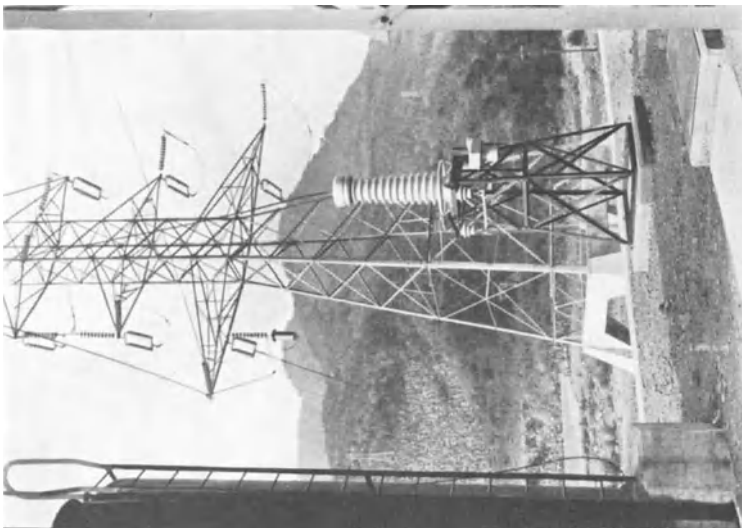


Bild 11b. Ölpapierkondensator, japanische Ausführung.

Seit mehreren Jahren mißt man schon während der Spannungsprüfung mit der Scheringbrücke den Verlustwinkel, und zwar in neuerer Zeit nicht mehr punktförmig, sondern registrierend. Sein Gleichbleiben



Bild 13. Amerikanischer Ölkondensator.

Reihe	Betriebsspannung bis kV	Prüfspannung trocken oder unter Regen in kV	Mindestüberschlagspannung in kV	Mindeststoßüberschlagspannung in kV
30	34,5	86	95	230
45	51,75	119	131	300
60	69	152	167	380
100	115	240	264	630
120	138	288	317	740
150	172,5	360	385	950
200	230	480	506	1270

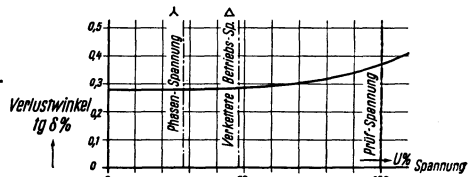


Bild 14. Verlustwinkelmessung bei Kondensatorprüfung.

bei wachsender Spannung wird als Zeichen dafür angesehen, daß das Material fehlerfrei ist (Bild 14).

Die Durchschlagspannungen der Kondensatoren liegen im allgemeinen etwa 30—50% über den bei Bild 14 angegebenen Mindest-Überschlagspannungen, so daß Ölpapierkondensatoren Bauelemente sehr hoher elektrischer Festigkeit darstellen. Bei Stoßbeanspruchung gelten in Deutschland die Werte für eine Halbwertsdauer von  $50 \mu\text{s}$  und eine Stirndauer von  $0,5 \mu\text{s}$  gemäß den VDE-Regeln.

## b) Sperren.

a) **Resonanzsperren.** Schon in den ersten Jahren des Hochfrequenzfernsprechens über Hochspannungsleitungen war man sich darüber klar geworden, daß Abzweige von der Hauptleitung wie die metallische Verbindung dieser mit anderen Nachbarleitungen unerwünschte Senken für den Fluß der Hochfrequenzenergie zwischen den verlangten Sprechstellen bildeten. Insbesondere hatte man festgestellt, daß Stichleitungen, die ein gewisses Längenverhältnis zur benutzten Wellenlänge hatten, zu einer vollständigen Auslöschung der HF-Sendeenergie führen konnten (vgl. Anmerkung).



Bild 15. Einwillige Resonanzsperre.

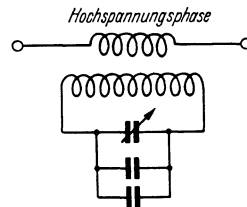


Bild 16. Sperre mit abgestimmtem Sekundärkreis.

Als Abhilfe dafür hatte man den Einsatz von Spulen, Resonanzkreisen oder Resonanzschleifen in den Abzweigpunkten der Stichleitungen bzw. hinter den Kopplungsstellen in Richtung der zu sperrenden Leitungsteile vorgeschlagen<sup>1</sup>.

Hierbei muß die Induktivität der Spulen so bemessen werden, daß sie für den Starkstrom mit den Frequenzen unter 100 Hz kein Hindernis, für den Hochfrequenzstrom mit Frequenzen, die rund 1000fach höher liegen, eine merkliche Sperre bedeutet. Da man aber beim Einsatz von Spulen mit ausreichender Induktivität zur Sperrung der Trägerströme nachteilige Einflüsse auf die Starkstromübertragung befürchtete, griff man zwecks Erhöhung der Sperrwirkung zur *Resonanzabstimmung der Sperren* auf die Trägerfrequenz durch Parallelschaltung eines Kondensators zur Drossel (Bild 15). Um die von Starkstrom durchflossene Induktivität und den Abstimmkondensator möglichst klein zu halten, koppelte man einen auf die Trägerfrequenz abgestimmten Sekundärkreis, der eine Spule höherer Windungszahl besaß, induktiv mit einer Spule kleinerer Windungszahl im Leitungszuge (Bild 16).

<sup>1</sup> DRP. 377274, 380295, 379755.

Eine andere Art von Resonanzsperre stellt die *Antennensperre* dar: Durch Schleifenbildung der Hochspannungsleitung<sup>1</sup> kann man bei geeigneter Bemessung der Schleife im Verhältnis zur benutzten Wellenlänge erreichen, daß Wellen mit gegenläufiger Phase an diejenigen Stellen der Hochspannungsleitung gelangen, in die die Trägerfrequenz nicht eintreten soll, z. B. an Abzweigpunkte von Stichleitungen. Damit wird praktisch die Wellenfortpflanzung in den zu sperrenden Leitungsteil verhindert. Jedoch hat man wegen der im Hinblick auf den benutzten Wellenbereich erforderlichen Schleifenlänge von etwa 1000 m, ferner wegen der schwierigen Änderung bei Umstimmungen, kurz also wegen der Unhandlichkeit von dieser theoretisch möglichen Art der Sperrung bisher praktisch keinen Gebrauch gemacht. Ihre Anwendung ist auch im Sinne einer Allwellensperre wenig aussichtsreich, da die Antennenschleifensperre nur eine Grundfrequenz mit ihren Harmonischen sperrt.

Anmerkung. Die Auslöschung von Hochfrequenzträgerwellen durch Stichleitungen und die Eigenschaften von Antennensperren erläutert folgende Rechnung (vgl. Schrifttum zur Einleitung B, 15).

Der Eingangsscheinwiderstand  $\mathfrak{B}_{a l}$  einer am Ende *offenen Stichleitung* von der Länge  $l$  ist am Abzweigpunkt für die Trägerfrequenz  $f$ :

$$a) \mathfrak{B}_{a l} = -j \mathfrak{Z} \operatorname{ctg} \frac{2\pi fl}{c} \quad (\text{Ableitung der Formeln vgl. Anhang S. 194}),$$

wobei  $c = 300000$  km/s die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Trägerwelle auf der Hochspannungsfreileitung und  $\mathfrak{Z}$  den Wellenwiderstand der Leitung bedeutet.

Für die am Ende *kurzgeschlossene Stichleitung* ist der Scheinwiderstand  $\mathfrak{B}_{a k}$ :

$$b) \mathfrak{B}_{a k} = j \mathfrak{Z} \operatorname{tg} \frac{2\pi fl}{c}.$$

Da  $\mathfrak{Z}$  der Wellenwiderstand der Leitung je nach der Kopplungsart (einphasig bzw. zwischenphasig) etwa 350 bzw. 600 Ohm ist, also nie Null wird, wird der Eingangsscheinwiderstand der Stichleitung nur Null, d. h. der Stich bildet an der Abzweigstelle einen Kurzschluß für die Trägerwelle, im Falle

$$a), \quad \text{wenn} \quad \operatorname{ctg} \frac{2\pi fl}{c} = 0.$$

Da der  $\operatorname{ctg}$  von  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $450^\circ$  usw. = 0 ist, wird  $\operatorname{ctg} \frac{2\pi fl}{c} = 0$  mit  $2\pi = 360^\circ$

für  $\frac{fl}{c} = \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4} \dots$

$$b), \quad \text{wenn} \quad \operatorname{tg} \frac{2\pi fl}{c} = 0.$$

Da der  $\operatorname{tg}$  von  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ ,  $540^\circ = 0$  ist, wird mit  $2\pi = 360^\circ$

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi fl}{c} = 0 \quad \text{für} \quad \frac{fl}{c} = \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2} \dots$$

*Beispiel:* Für eine Trägerwelle von 100 kHz ergibt also eine am Ende *offene Stichleitung* an der Abzweigstelle einen *Kurzschluß*  $\mathfrak{B}_{a l} = 0$ , wenn die *Länge der Stichleitung*:

$$l = \frac{c}{f} \cdot \frac{1}{4}, \frac{c}{f} \cdot \frac{3}{4}, \frac{c}{f} \cdot \frac{5}{4} = \frac{300 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \text{ km; } \underline{2,25 \text{ km; } 3,75 \text{ km}}$$

<sup>1</sup> Vgl. Schrifttum zur Einleitung B, 15.



ist. Offene Stickleitungen dieser Länge müssen also am Abzweigpunkt gesperrt werden.

Die *kurzgeschlossene Stickleitung* kommt als *Sperre* in einer Abzweigleitung für die Grundwelle und die harmonischen Oberwellen in Frage. Da sie den Hochfrequenzfluß in den Abzweig hinein sperren soll, muß ihr Eingangsscheinwiderstand  $\mathfrak{B}_{\alpha k}$  unendlich groß gemacht werden.

Da der  $\operatorname{tg}$  für  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $450^\circ$  usw.  $= \infty$  wird, muß  $\frac{f \cdot l}{c} = \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4} \dots$  sein.

Daraus ergibt sich die kürzeste Länge der Drosselschleife zu:  $l = \frac{c}{f} \cdot \frac{1}{4} = 0,75 \text{ km}$  für eine Trägerwelle von 100 kHz und deren 3. Oberwelle zum Beispiel.

Daneben findet sich im Schrifttum der Vorschlag, den ganzen Hochfrequenzbereich durch Verwendung eines Eisenkernes zu sperren<sup>1</sup>. Auch

die Verwendung von *Massekernspulen* für die Sperrung der Trägerfrequenzen wurde, um die Spulenabmessungen klein zu halten, angeregt<sup>2</sup>. Praktisch sind jedoch von den „Zweipolsperrern“ — d. h. Sperren, die lediglich *eine* Eingangs- und *eine* Ausgangsklemme besitzen und im Zuge einer Phase liegen — nur die abgestimmten Resonanzsperrern in der Vergangenheit von Bedeutung geworden, die etwa 1926<sup>3</sup> eingeführt, bald auf mehrere Trägerfrequenzen abgestimmt wurden und jetzt fast ausschließlich als *Zweiwellendrosseln* die übliche Sperre darstellen.

Resonanzsperrern für *stationären Aufbau* sind für Strombelastungen von 200—700 Amp. gebaut worden. Am häufigsten wird die 400 Ampere-sperre verwendet. Diese ist i. a. aus Hochkantkupfer gewickelt mit etwa den in Bild 17 angegebenen Abmessungen. Sie hält einen Stoßkurzschlußstrom bis 30000 Amp. aus. Die Einbauteile zur Abstimmung befinden sich bei dieser Ausführung auf einer Schienenkonstruktion im Innern angebracht. Für die Aufhängung im Freien erhält die Sperre eine Metallkappe und einen Überwurf aus Silimanit (Bild 18 und 10b). Hierdurch und durch den Einbau der Abstimmittel in das Zylinderinnere wird die Entlüftung zur Abführung der Wärme ungünstiger, so daß bei dieser

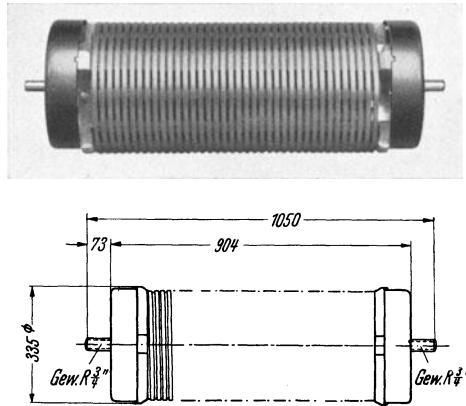


Bild 17. 400 Ampere-sperre, Innenraumausführung.

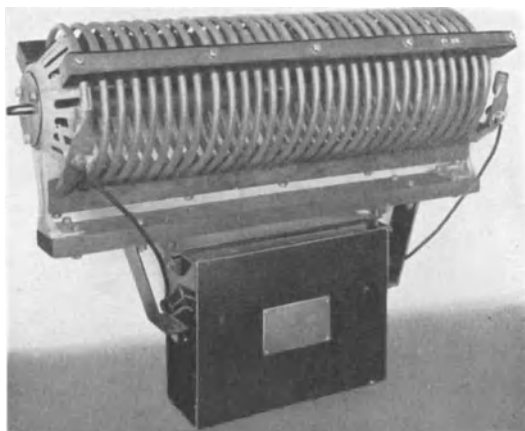
<sup>1</sup> Habann, E.: Untersuchungen über HF-Telefonie auf Starkstromleitungen. Jb. drahtl. Telegr. Bd. 22 (1923) S. 142.

<sup>2</sup> DRP. 495356.

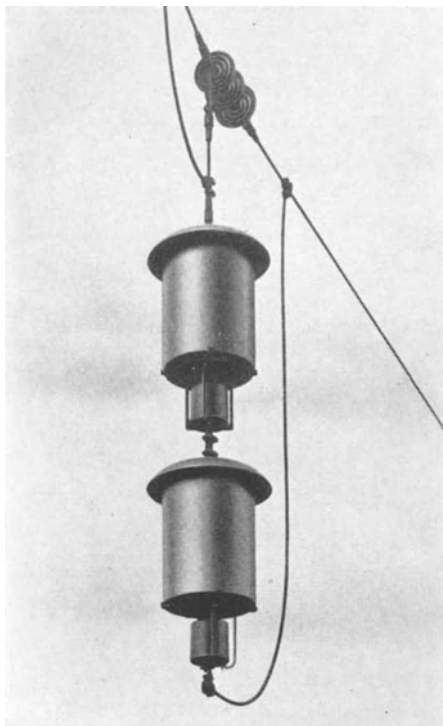
<sup>3</sup> Arco: Schrifttum zur Einleitung B, 14 und Habann: Schrifttum zur Einleitung B, 15.



**Bild 18.** 400 Amperesperre mit  
Siltmanitüberwurf für  
Freiluftmontage.



**Bild 19.** Amerikanische 400 Amperesperre.



**Bild 20.** Europäische 700-Amperesperren mit außenliegenden Abstimnteilen.

Bauart der Freiluftsperrn die höchste Strombelastung kritischer ist. Bei amerikanischen Sperren und bei einer europäischen Type sind die Abstimmente außen an den Sperren angebracht (Bild 19 und 20). Der Kupferquerschnitt muß jedenfalls so bemessen werden, daß die im Sommer bei voller Belastung auftretende Übertemperatur auch bei Einbau der Abstimmente in das Sperreninnere die zulässigen Grenzen nicht übersteigt.

Bezüglich der *Abstimmung der Sperren* ist folgendes zu sagen:

Die Sekundärkreis­kopplung (Bild 16) ergab beim Auftreten von Wanderwellen so hohe Spannungen an der Sekundärspule, daß die Kondensatoren mit festem Dielektrikum, die dem Drehkondensator zur Erzielung ausreichender Kapazität parallelgeschaltet wurden, häufig durchschlugen. Man hat deshalb diese Abstimmentypen verlassen. Auch die danach angewandte Methode, die Gesamtinduktivität der Spule in zwei Hälften zu teilen und jeder Hälfte einen besonderen Kondensator — zwecks Abstimmung auf je eine der beiden Wellen für das Gegengespräch — parallelzuschalten, um so mit einer Drossel zwei Wellen zu sperren, wird wegen Abstimm­schwierigkeiten in Deutschland kaum noch angewendet (Bild 21).

Üblich ist heute, die Gesamtinduktivität der Sperre, etwa 0,15 mH, durch Parallelschaltung eines Kondensators für eine Frequenz  $f_1$  abzustimmen und — unter Zwischenschaltung eines auf die erste Frequenz  $f_1$  abzustimmenden Sperrkreises — dem ersten Abstimmkreis einen weiteren Kondensator parallelzuschalten, der mit der Gesamtanordnung nun auch die zweite Frequenz  $f_2$  sperrt (Bild 22). Hierbei ist als  $f_1$  die höhere, als  $f_2$  die tiefere Frequenz zu nehmen.

Der Sperrwiderstand läßt sich für beide Trägerfrequenzen damit auf ein Mehrfaches des Wellenwiderstandes der Leitung (Leitungswiderstand etwa 400 Ohm bei einphasiger, 600 Ohm bei zwischenphasiger Ankopplung) bringen. Dies reicht zur Sicherstellung der Übertragung bei Erdung der Leitung hinter den Sperren und bei Schaltänderungen in der Hochspannungsanlage aus. Wir wollen diese Art der Resonanzsperrn als „Betriebssperren“ bezeichnen.

An Stelle der lange Zeit als Abstimmkapazitäten üblichen Glimmerkondensatoren in Preßgehäuse, deren Spannungsfestigkeit nicht ausreichend war, und der geschichteten unvergossenen Glimmerkondensatoren, deren Kapazität infolge der Schraubbefestigung druckabhängig ist, verwendet man jetzt meist mit Dekor aus Edelmetall bespritzte Glimmerkondensatoren, deren Kapazität sehr konstant ist, und die

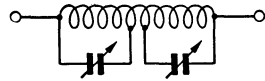


Bild 21. Zweiwellensperre mit Serienabstimmung.

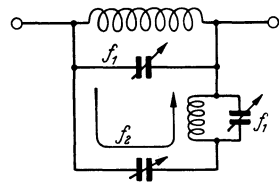


Bild 22. Abstimmung moderner Zweiwellensperren.

gegen Witterungseinflüsse durch luftdichten Abschluß in einem Metallkasten geschützt sind (Abb. 23).

Zum Schutz der Kondensatoren gegen Überspannungen durch Wanderwellen wird ein Kathodenfalleiter parallel zur Sperre geschaltet.

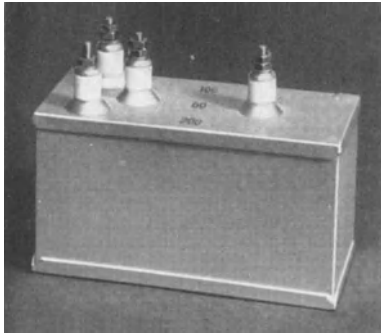


Bild 23. Moderner Abstimmkondensator für Sperrern.

Der Nachteil aller abzustimmenden Sperrern ist der, daß sie bei Änderung der Trägerfrequenzen für die Hochfrequenzübertragung nachgestimmt werden müssen. Praktisch ist dies mit der erforderlichen Genauigkeit nicht ohne Leitungsabschaltung möglich, trotzdem man durch Herausziehen der Abstimmteile aus dem Sperrerninneren bzw. durch Änderung des Drehkondensators im Innern mit einer Schaltstange vom Boden aus versucht hat, diesen schwerwiegenden betrieblichen Eingriff auf die Fälle einer völligen Umstimmung der Frequenzen zu beschränken.

Ein weiterer Mangel der Resonanzsperrern besteht darin, daß sie wohl den Sprechverkehr bei Erdung und Schaltänderung sicherstellen, nicht jedoch so wirksam sind, daß die Wiederverwendung der benutzten Frequenzen im Nachbarnetz durch sie ermöglicht würde. Zu der mangelhaften Sperrwirkung der Resonanzsperrern kommt natürlich die Weiterleitung der verwendeten Frequenzen durch die nicht gesperrten Nachbarphasen erschwerend hinzu. Über die als „Betriebssperre“ geeignete Resonanzsperre hinaus verlangt

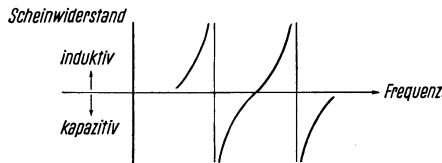


Bild 24a. Frequenzgang des Scheinwiderstandes von Resonanzsperrern.

der dichte Einsatz von Hochfrequenzanlagen in Zukunft zur Trennung der Hochfrequenznetze eine wirksamere „Übersprechssperre“.

**β) Allwellensperrern.** Man kann den Nachteil, die Leitung bei Sperrernumstimmung abschalten zu müssen, nur durch Einsatz von „Allwellensperrern“ umgehen, die den ganzen verwendbaren Frequenzbereich sperren. Hierfür sind Resonanzsperrern an sich ungeeignet, da zwischen zwei Resonanzspitzen der Scheinwiderstand immer wieder durch Null geht (Bild 24a). Grundsätzlich erfordert die Schaffung von Allwellensperrern nach dem heutigen Stand der Technik zwei Maßnahmen:

1. Für die *Betriebssperrern* erhöht man die *Induktivität* der Spule im Leitungszug auf *einige Millihenry*. Dann wird der induktive Widerstand für die Trägerfrequenzen zwischen 50 und 300 kHz größer als der Wellen-

widerstand der Leitung (400—600 Ohm) und damit ausreichend zur Sicherstellung der Übertragung im Erdungsfalle. Schwierig ist bei großen Induktivitäten die Beherrschung der mechanischen Kräfte im Kurzschlußfall. Die Erfahrungen, die im letzten Jahrzehnt mit dem Bau von Kurzschlußbegrenzungsdröseln gesammelt wurden, gestatten jetzt diesen Weg zu beschreiten. Dabei ist jedoch Bedacht darauf zu nehmen, daß für die verwendeten Frequenzen keine Längsresonanz (Spannungsresonanz) der Sperreninduktivität mit der Kapazität der Transformatoren und Sammelschienen auftreten darf, da sonst ein praktisch widerstandsloser Abflußweg für gewisse Hochfrequenzen anstatt der gewünschten Sperrung geschaffen wird. Eine derartige Sperre erfordert natürlich einen erheblichen Raum zur Unterbringung in den Schaltanlagen (Bild 24 b).

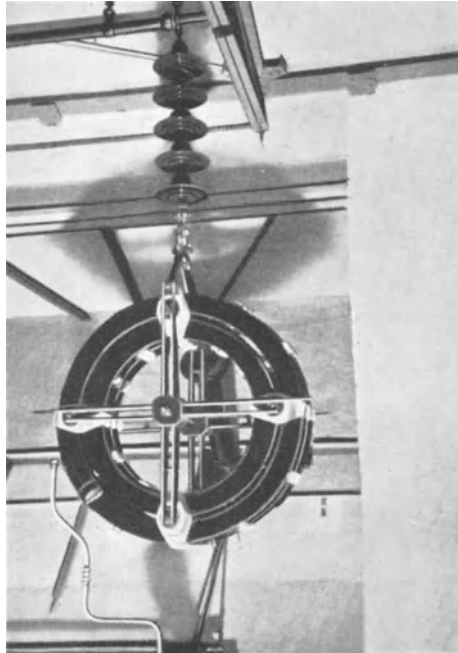


Bild 24 b. Allwellenbetriebssperre.

Die „Betriebs-Allwellensperren“ haben aber nicht nur den betrieblichen Vorteil, daß spätere Umstimmungen sich erübrigen, die bisher stets eine Leitungsabschaltung nötig machten. Da alle Abstimmteile fehlen, ist auch mit keinerlei Schwierigkeiten infolge mangelnder Wetterfestigkeit dieser mehr zu rechnen. Schließlich beschränkt sich die Zahl der aufzuhängenden Sperren in jeder Phase auf eine einzige. Bei der ständig wachsenden Zahl der Trägerfrequenzen für Hochfrequenzübertragungskanäle ist dieser Vorteil in wirtschaftlicher und räumlicher Beziehung ausschlaggebend. Die Allwellensperre wird daher zukünftig große Bedeutung erlangen.

2. Für die *Übersprechsperren*, die erheblich größere Dämpfungen bei den zu sperrenden Frequenzen ergeben sollen, verwendet man an Stelle der bisher benutzten Zweipolsperren *Vierpolsperren*, die 2 Eingangs- und 2 Ausgangsklemmen haben (Bild 24 c). Wie aus der Theorie der Filter<sup>1</sup> bekannt, kann man mit Vierpolen gewisse Frequenzbereiche sperren und

<sup>1</sup> Wagner, K. W.: Arch. Elektrotechn. Bd. 3 (1915) S. 315.

andere durchlassen<sup>1</sup>. Bei der im Bild 24 c dargestellten Spulenleitung sind mehrere Drosseln von der Größe der unter 1. genannten im Leitungszuge erforderlich. Außerdem benötigt man zwei Querkondensatoren von mehreren tausend Zentimeter Kapazität zwischen Hin- und Rückleitung, die für die Betriebsspannung zu bemessen sind. Die Aufwendungen für solche Bandsperren, die in alle vorhandenen Phasen eingesetzt werden müssen, sind also sehr beträchtlich. Um mit zwei Drosseln im Leitungszuge und einem Querkondensator auszukommen, schaltet man parallel bzw. in Reihe mit ihnen weitere Abstimmglieder, die nicht mehr strom- bzw. spannungsmäßig so hoch beansprucht sind. Diese Abwandlung der reinen Spulenleitung erlaubt in beschränktem Umfange die Wieder-

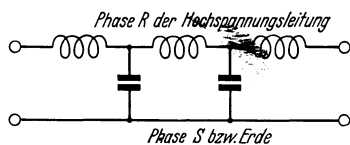


Bild 24 c. Vierpolsperre.

verwendung eines benutzten breiten Frequenzbandes in nicht unmittelbar aneinander grenzenden Nachbarabschnitten, stellt also mit diesen Einschränkungen eine „Übersprechperre“ dar. Sie wird vor allem an der Stoß-

stelle von ausgedehnten Hochfrequenznetzen erforderlich, wenn man in Nachbarnetzen aus Wellenmangel genötigt ist, auf die gleichen Frequenzen zurückzugreifen.

In dieser Hinsicht sind noch Bestrebungen zu erwähnen, die Trenntransformatoren, die zur besseren Erdschlußbekämpfung und Leistungsregelung in neuerer Zeit häufig zwischen Landesnetzen eingesetzt werden, so auszubilden, daß sie gleichzeitig auch zur Trennung der Hochfrequenznetze dienen können. Sie sollen also als Allwellenübersprechperre wirken. Diese Bestrebungen erscheinen aussichtsreich.

γ) **Sperrung durch Eisenüberzug** (vgl. Anmerkung). Im Sinne der Allwellensperre wirkt ferner die Sperrung durch Eisenüberzug der Leitung. Die Sperrmöglichkeit beruht hierbei auf der Hautwirkung der Hochfrequenzströme. Diese drängen sich an der Leiteroberfläche zusammen. Ist die oberste Schicht daher aus einem Stoff mit schlechterem Leitvermögen als der Kupferinnenleiter und mit beträchtlicher Permeabilität, wie sie der Eisenüberzug der Leitung besitzt, so tritt auch eine entsprechend stärkere Dämpfung auf, die schließlich zu einer Auslöschung der hochfrequenten Ströme führen kann. Immerhin sind hier erhebliche Leitungslängen<sup>2</sup> mit Eisenüberzug erforderlich, so daß praktisch die Anwendung des Eisenüberzuges zur Sperrung der Hochfrequenzströme ausscheidet.

Anmerkung. Die Rechnung ergibt hierfür folgendes: Die Stromverdrängung wirkt sich zunächst in einer Erhöhung des Widerstandes aus. Für den Ohmschen

<sup>1</sup> Vgl. Anhang S. 199.

<sup>2</sup> Löbner: Die Eindringtiefe von HF-Strömen usw. in Starkstromleitern. Veröff. a. d. Nachr.-Techn. Jg. 3 (1933) 3. Folge, S. 253.

Widerstand eines Leiters gilt in dem hier in Frage kommenden Trägerfrequenzbereich mit guter Annäherung<sup>1</sup>

$$R \approx \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{\mu f}{\pi \sigma}} = 10 \frac{\text{mm}}{r} \sqrt{\frac{\mu}{\mu_0} \cdot \frac{f}{\text{kHz}} \cdot \frac{\text{S}}{\sigma} \frac{\text{m}}{\text{mm}^2} \frac{\Omega}{\text{km}}}.$$

Hierbei bedeutet  $r$  den Leiterhalbmesser,  $f$  die Frequenz,  $\sigma$  die Leitfähigkeit und  $\mu$  die Permeabilität. Ferner ist  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9} \frac{\text{H}}{\text{cm}}$ .

Bei einem Kupferleiter mit  $\sigma = 58 \text{ S} \frac{\text{m}}{\text{mm}^2}$ ,  $\mu = 1\mu_0$  und einem Halbmesser von  $r = 7,2 \text{ mm}$  erhält man bei  $f = 100 \text{ kHz}$

$$R_{\text{Cu}} \approx \frac{10}{7,2} \sqrt{\frac{1 \cdot 100}{58}} \frac{\Omega}{\text{km}} \approx 2 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

Nimmt man an Stelle des Kupferleiters einen Eisenleiter gleichen Halbmessers mit  $\mu = 500\mu_0$  und  $\sigma = 10 \text{ S} \frac{\text{m}}{\text{mm}^2}$ , so erhöht sich der Hochfrequenzwiderstand infolge der Permeabilität und des schlechten Leitvermögens auf

$$R_{\text{Fe}} \approx \frac{10}{7,2} \sqrt{\frac{500 \cdot 100}{10}} \frac{\Omega}{\text{km}} \approx 100 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

Die Dicke einer Schicht, deren Gleichstromwiderstand gleich dem Hochfrequenzwiderstand des massiven Leiters ist, ist<sup>1</sup>

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\pi \sigma f \mu}} = \frac{15,9}{\sqrt{\frac{\sigma}{\text{S}} \frac{f}{\text{kHz}} \frac{\mu}{\mu_0}}} \text{ mm},$$

sie beträgt also für den Kupferleiter

$$\vartheta_{\text{Cu}} = \frac{15,9}{\sqrt{58 \cdot 100 \cdot 1}} \text{ mm} \approx \frac{1}{2} \text{ mm}$$

und für den Eisenleiter

$$\vartheta_{\text{Fe}} = \frac{15,9}{\sqrt{10 \cdot 100 \cdot 500}} \text{ mm} \approx \frac{1}{50} \text{ mm}.$$

Da aus rein mechanischen Gründen eine geringere Schichtdicke als 0,1 mm bei der Ummantelung eines Kupferleiters mit Eisen ausscheidet, kann man den oben errechneten Wert für den Hochfrequenzwiderstand eines Eisenleiters auf den eisenummantelten Kupferleiter anwenden.

$$R_{\text{Cu/Fe}} \approx 100 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

Da nun für die Dämpfung gilt  $\beta = \frac{R_e}{2Z}$  (vgl. Anhang S. 191), der Wellenwiderstand  $Z$  aber einen mittleren Wert von  $400 \Omega$  besitzt, so erhält man für den metallischen Übertragungsweg

$$\beta = \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 400} \frac{\text{N}}{\text{km}} = 0,25 \frac{\text{N}}{\text{km}}.$$

Um eine zur Übersprechsperrung ausreichende Dämpfung von z. B. 6 Neper zu erhalten, müßte man also 24 km Kupferleitung mit Eisen ummanteln.

<sup>1</sup> Wallot, J.: Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik, 2. Aufl., § 84. Berlin: Julius Springer 1940.

d) **Tragbare Sperren.** Außer der Sperrung der Leitungen an Abzweigpunkten und den Enden des Sprechabschnittes sowie bei Überbrückung von Trennstellen mit Hilfe festeingebauter Drosseln kommt noch bei Instandsetzungsarbeiten an der Leitung der Einsatz von Sperren

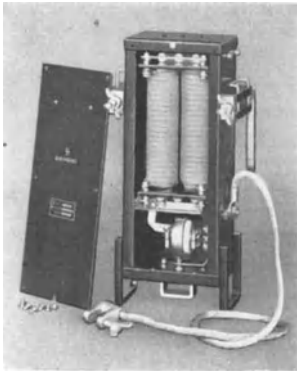


Bild 25. Tragbare Allwellensperre für eine Phase.

unterwegs zwecks Aufrechterhaltung der Sprechverbindungen in Frage. Hierfür müssen sie in die Erdverbindungen der Freileitung geschaltet werden, die diesseits und jenseits der Arbeitsstelle gemäß den VDE-Regeln bzw. entsprechenden Vorschriften des Auslandes erforderlich sind.

Das Montagepersonal soll diese Sperren mit sich führen können. Sie müssen also leicht tragbar sein. Um die Induktivität klein zu halten, stimmte man sie früher in ähnlicher Weise wie die stationären Sperren auf Resonanz ab und brachte sie in einem leichten Holzkasten unter. Für verschiedene Trägerfrequenzbereiche be-

nötigte man mehrere Sperren<sup>1</sup>. Mit Rücksicht darauf, daß bei der steigenden Zahl der eingesetzten Trägerfrequenzanlagen die Zahl der mitzuführenden Sperren wächst und daß die Wahrscheinlichkeit, daß

die abgestimmten Sperren in die Erdleitung der richtigen Phasen kommen, bei Belegung mehrerer Phasen mit Trägerwellen abnimmt, geht man auch hier zur Allwellensperre über.

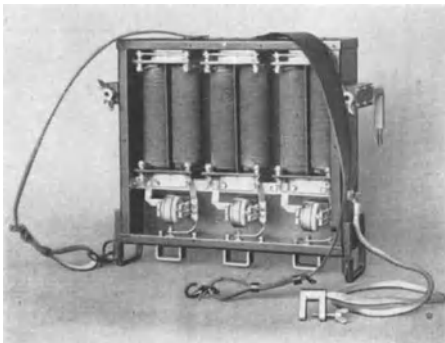


Bild 26. Tragbare Allwellensperre für drei Phasen.

Ihre Herstellung gelang in dem Ausführungsbeispiel dadurch, daß das neuere Hochfrequenzisen einerseits die Erreichung einer genügenden Induktivität zur Sperrung des gesamten Hochfrequenzbereiches ermöglichte, und anderer-

seits bei fehlerhafter Spannungseinschaltung eine Spannungsbegrenzung an der Drossel infolge Verminderung der Induktivität durch Eisensättigung gestattete. Um hierbei jedoch eine längere Belastung der Sperren zu vermeiden, wird ihr außerdem ein Spannungsableiter parallelgeschaltet.

Trotz großer Robustheit der in schmiedeeisernen Gehäusen untergebrachten Einphasenallwellensperren übersteigt ihr Gewicht nicht 10 kg

<sup>1</sup> DRP. 436136.



(Bild 25). Die Ausführung zur Sperrung aller drei Phasen gemeinsam wiegt etwa 20 kg (Bild 26).

Bei Einsatz der Allwellensperre verringert sich die Zahl der Sperren je Arbeitsstelle auf 2 bei einphasiger bzw. 4 bei zweiphasiger Ankopplung und Erdung über einphasige Sperren, unabhängig davon, wieviel Wellen über diese Phasen laufen. Bequeme Anbringung am Mast und einfacher Anschluß der Erdseile sind weitgehend erreicht. Damit sind wichtige psychologische Voraussetzungen für die Mitführung und den tatsächlichen Einsatz tragbarer Sperren durch die Störbehebungs-trupps geschaffen. Werden registrierende Hochfrequenzferneßanlagen über diese Leitungen betrieben, so läßt sich am Registrierstreifen erkennen, ob die den Arbeitskolonnen mitgegebenen tragbaren Sperren bei Erdung richtig eingesetzt worden sind oder nicht.

**e) Die Sicherungseinrichtung.**

Die Sicherungseinrichtung hat zwei Aufgaben zu erfüllen, einmal im normalen Betrieb, d. h. bei gesundem Kondensator die von der

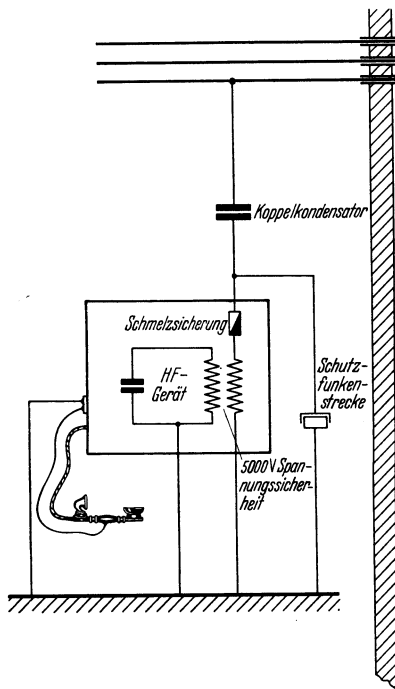


Bild 27. Schutzschaltung einer einphasig gekoppelten HF-Anlage (Telefunken).

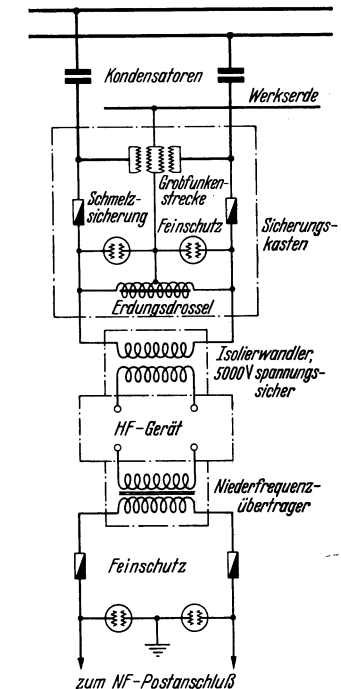


Bild 28. Schutzschaltung einer zweiphasig gekoppelten HF-Anlage (DeTeWe).

Hochspannung herrührenden Ladeströme zur Erde abzuleiten und damit gefährliche Berührungsspannungen zu vermeiden, und andererseits bei

Kondensatordurchschlag die Leitung ohne Gefährdung der Geräte oder des Bedienungspersonals sicher zu erden.

Zur Ableitung des Ladestromes muß eine galvanische Erdverbindung des Kondensators geschaffen werden, die die Hochfrequenzströme nicht durchlassen darf. Hierzu dient i. a. eine Erdungsdrossel.

Für den Kondensatordurchschlag ist nach den deutschen Verbandsvorschriften eine sicher wirkende Erdung vorzusehen. Diese wird gewöhnlich durch Einsatz eines Grobspannungsableiters mit etwa 3000 V Ansprechspannung erreicht. Außerdem müssen die vom Bedienungs-

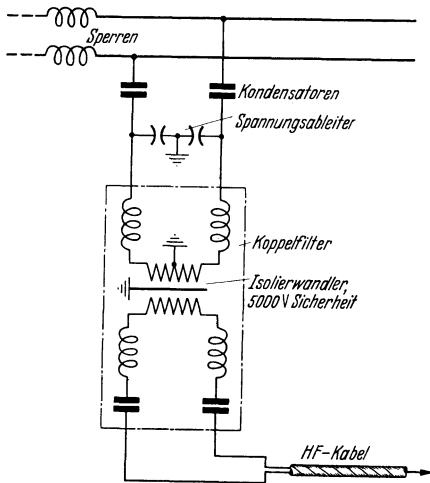


Bild 29. Kopplfilterschema mit Schutzschaltung.

personal zu benutzenden Teile für mindestens 5000 V gegen den Leitungskreis gesichert sein. Vielfach wird diese Sicherheit durch einen Isolierwandler im Kopplfilter hergestellt, der dann gleichzeitig die Ladeströme zur Erde abführen und als Anpassungsübertrager ausgebildet werden kann (Bild 29).

In Bild 27—31 sind Ausführungsbeispiele von Ankoppel- und Sicherungseinrichtungen verschiedener Herkunft dargestellt.

Der anfangs in der Hochspannungszuführungsleitung zum Kondensator vorgesehene Trennschalter, der für die volle Betriebsspannung bemessen werden mußte, kommt

praktisch nicht mehr zur Anwendung, da ein Durchschlag des Koppelkondensators außerordentlich selten geworden ist. Bei Verwendung von Kopplfiltern mit Schutzvorrichtung nach Bild 29 ist für den Schutz der hinter dem Kopplfilter liegenden Hochfrequenzgeräte der Einsatz einer Schmelzsicherung nicht erforderlich. Sie könnte zudem beim Versagen des Spannungsableiters den Lichtbogen nur dann mit Sicherheit löschen, wenn sie für die volle Betriebsspannung bemessen wäre. Für 100 kV ist sie aber nicht marktgängig.

Die an das HF-Gerät angeschlossenen Teilnehmerapparate sind mit dem üblichen postalischen Feinschutz, Schmelzsicherungen im Leitungszug und Luftleerspannungsableiter quer dazu abgesichert (vgl. Bild 28).

Die amerikanischen Hersteller bauen i. a. ebenfalls gemäß Bild 31 die Leitungsabstimmvorrichtung elektrisch und auch räumlich mit der Sicherungseinrichtung zusammen.

Wichtig ist für die gesamte Sicherungseinrichtung eine einwandfreie Erdung. Sie ist aber durch Anschluß an die Werkserde i. a. unschwer herzustellen.

Die Zuführungsleitung zwischen Koppelfilter und HF-Gerät wird heute meist in kapazitätsarmem Hochfrequenzkabel ausgeführt und ist damit spannungssicher (gegen etwa 2000 V). Besteht die Verbindung aus einer Freileitung, so muß unter Umständen nochmals eine Sicherungseinrichtung unmittelbar vor das HF-Sprechgerät gesetzt werden, falls

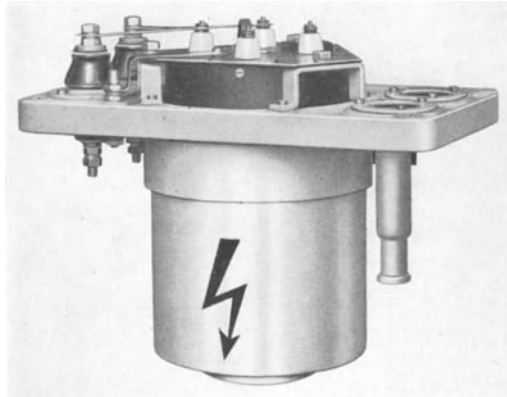


Bild 30. Koppelfilter (Freiluftausführung).

die Freileitung gefährlichen Hochspannungen oder Blitzeinschlägen ausgesetzt ist. Aus demselben Grund kann der Einsatz einer zweiten Sicherungseinrichtung unmittelbar vor dem HF-Gerät auch bei einer Kabelverbindung nötig werden, wenn das HF-Kabel im gleichen Graben mit Hochspannungskabel liegt.

Das HF-Kabel z. B. wird an die Zweitwicklung des Anpassungsübertragers im Koppelfilter angeschlossen (Bild 29), um seinen tieferen Wellenwiderstand an den höheren Wellenwiderstand der Hochspannungs-

leitung anzupassen. Fehlanpassungen wirken sich als Dämpfungszunahme aus, können

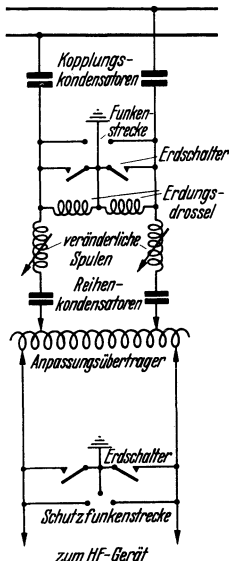


Bild 31. Schema eines amerikanischen Leitungsabstimmgerätes mit eingebauter Sicherungseinrichtung.

aber in gewissem Umfang zur Verbreiterung des durch das Filter durchzulassenden Frequenzbereiches herangezogen werden (Anhang S. 201). Die HF-Kabelverbindung, deren Länge mehrere 100 m betragen kann, bietet baulich vor der früher als Freileitung zu verlegenden Kondensatorverbindung große Vorteile. Die Freileitung mußte wegen der Hochspannungsfährdung fast immer bruchsicher aufgehängt werden. Hierdurch ergaben sich vielfach in ausgedehnten Freiluftschaltanlagen erhebliche Schwierigkeiten.

**d) Die Überbrückung von Leitungstrennstellen.**

Die ursprünglich vorgeschlagene Überbrückung von Trennstellen mit Hilfe eines zur Hochspannungsleitung parallel geführten isolierten Luftdrahtes (Bild 32) hat sich als ebenso wenig wirksam erwiesen, wie die Luftdrahtkopplung überhaupt, und zwar aus den gleichen Gründen. Allein mit Kondensatoren läßt sich die Überbrückung deshalb nicht durchführen, weil Kondensatoren mit den üblichen Kapazitäten den Hochfrequenzströmen einen zu großen Widerstand entgegensetzen.

Deshalb hatte man zunächst die Kondensatoren durch Zwischenschaltung einer Induktivität für die benutzte Trägerfrequenz abgestimmt (Bild 33). Mit Rücksicht auf die Gefahr, von dem noch Spannung führenden Abschnitt in den spannungslos gemachten Gefährdungsspannungen

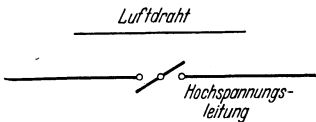


Bild 32. Luftdrahtüberbrückung von Trennstellen.



Bild 33. Trennschalterbrücke mit einfacher Abstimmspule zwischen den Kondensatoren.

zu übertragen, erdete man später jeden Kondensator für sich über eine abgestimmte Induktivität und koppelte die beiden magnetisch<sup>1</sup> (Bild 34 und 35). Bei entsprechend fester Kopplung erreicht man hiermit die Übertragung eines Frequenzbandes. Zu dieser Technik ist man in der vervollkommenen Form der Koppelfilter zurückgekehrt, nachdem in der Zwischenzeit Resonanzschaltungen mit Sperrkreisen für die Übertragung von i. a. zwei Frequenzen angewendet worden waren (Bild 36).

<sup>1</sup> DRP. 421 425. Habann: Jb. drahtl. Telegr. Bd. 22 (1923) S. 142, Fig. 7.

Bei diesen Resonanzkreisen stand die Forderung nach schärfster Abstimmung auf den Träger, um größtmögliche Rufenergie zu übertragen,

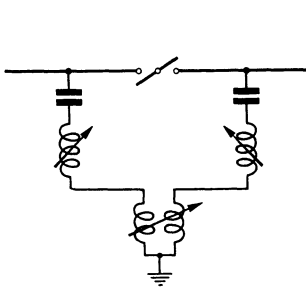


Bild 34. Trennschalterbrücke mit galvanischer Trennung der Brückenarme (einphasige Ankopplung).

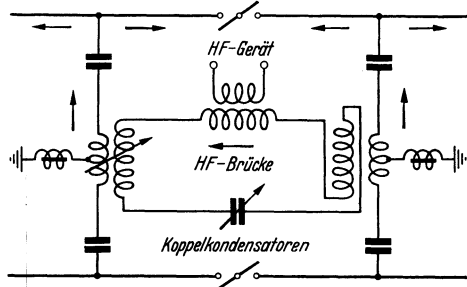


Bild 35. Trennschalterbrücke mit galvanischer Trennung der Brückenarme und angekoppelter Sprechstelle (zwischenphasige Ankopplung).

vielfach im Gegensatz zu der nach ausreichender Sprachgüte, die bei spitzen Resonanzkurven leidet.

Heute bringt man diesseits und jenseits der Trennstelle je einen Kondensator mit einem Koppelfilter an und verbindet sie mit Hilfe eines Kabels (Bild 3, S. 14). Im allgemeinen wählt man die Koppelkapazitäten groß (mindestens 2000 cm) und bemißt die Filter so, daß möglichst sämtliche Trägerströme im Frequenzbereich, der auf Hochspannungsleitungen üblich ist, durch die Überbrückung durchgelassen werden.

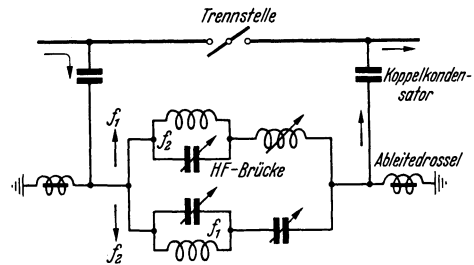


Bild 36. Resonanzbrücke für 2 Frequenzen an Trennstellen.

Es kann jedoch Fälle geben, wo man nur einen Teil der auf einem Leitungsabschnitt benutzten Frequenzen über die Brücke hinweg auf den anderen Leitungsabschnitt

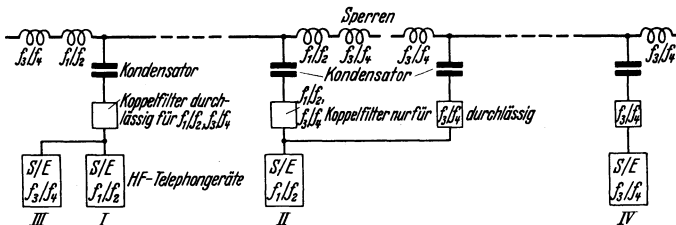


Bild 37. HF-Brücke mit begrenztem Wellendurchlaß.

übertreten lassen will. Dann muß man Filter einsetzen, die nur den gewünschten Frequenzbereich übertragen (Bild 37 und 119). Dies ist besonders zwischen Netzen verschiedener Spannung empfehlenswert.

Nach Möglichkeit sollte man den Einsatz von Brücken zwischen solchen Netzen vermeiden.

Zwischen die Kondensatoren und die Trennstelle schaltet man Sperren, um auch bei Erdung der abgeschalteten Leitung die Verbindung aufrecht zu erhalten und Verluste in Schalterkapazitäten und Abzweigleitungen von den Sammelschienen für die Hochfrequenzströme zu vermeiden. Wird an der Trennstelle ein Sprechgerät benötigt, so muß dessen Anschaltung an die Bandfilter im Ruhezustand hochohmig erfolgen, um den Durchlaß der Trägerströme über die Trennstelle hinweg beim Verkehr zwischen den Endstationen nicht zu beeinträchtigen.

## 2. Der Übertragungsvorgang von hochfrequenten Wellen.

### a) „Leitungsgerichtete“ Übertragung.

Wie eingangs dargestellt, kam das Hochfrequenzfernsprechen über Hochspannungsleitungen von der drahtlosen Technik her. Die Ankopplung war anfangs eine Luftdrahtkopplung. So bildete sich die Vorstellung, die Übertragung sei ein Raumstrahlungsvorgang, der sich in Richtung der Leitung bevorzugt vollzieht. Man sprach deshalb allgemein von „leitungsgerichteter Hochfrequenzübertragung“, ein Ausdruck, der auch heute noch vielfach angewendet wird.

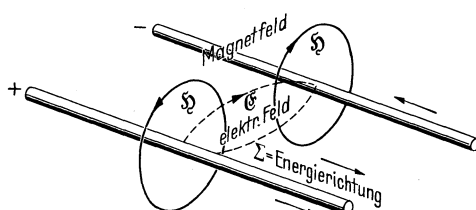


Bild 38. Energiefluß im Feld einer Doppelleitung.

Diese Vorstellung ist nur bedingt richtig. Sehen wir zunächst von der Ankopplung ab und betrachten die Fortpflanzung der Hochfrequenzströme in einem Mehrphasenleitungssystem. Um den Hochfrequenzstrom im Leiter bildet sich ein kreis-

förmiges Magnetfeld. Vom Hinleiter zu dem oder den Rückleitern spannt sich das elektrische Feld. Senkrecht zu beiden Feldern in Richtung des Leitersystems pflanzt sich die elektrische Energie im Dielektrikum zwischen Hin- und Rückleitung fort (Bild 38)<sup>1</sup>. Die Anschauung über die Fortpflanzung der elektrischen Energie ist die gleiche, ob es sich um Starkstrom von 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> bzw. 50 Hz, oder um hochfrequente Ströme handelt, deren Schwingungszahl 1000mal so groß oder noch höher ist. Unterschiedlich allein ist die Dämpfung<sup>2</sup>, die die Ströme niederer Schwingungszahl gegenüber Hochfrequenzströmen im Leiter finden und die bei Hochspannungsfreileitungen gleich der Hälfte des Verhältnisses von Wirkwiderstand zum Wellenwiderstand der Leiterschleife ist ( $\beta_{km} = \frac{1}{2} \frac{R_{km}}{Z}$ ). Je höher die Frequenz, um so geringer ist die Eindringtiefe der Ströme in den Leiter. Die Stromfäden

<sup>1</sup> Breisig, F.: Theoretische Telegraphie, 1924 S. 476.

<sup>2</sup> Vgl. Anmerkung auf S. 41.

drängen sich an der Leiteroberfläche zusammen, der stromdurchflossene Querschnitt verkleinert sich und damit wächst der Widerstand  $R$  und mit ihm die Dämpfung. Die Dämpfung infolge dieser Hautwirkung (Skinneffekt) steigt mit der Wurzel aus der Frequenz  $f$  ( $\beta = \text{konst} \times \sqrt{f}$ ). Während der Starkstrom von 50 Perioden noch etwa 1 cm tief in einen hinreichend starken Kupferleiter eindringt, beträgt die Eindringtiefe bei einem Hochfrequenzstrom von 100 000 Hz nur etwa  $\frac{1}{4}$  mm. Die Dämpfung ist rund 40mal größer.

Bei den mit Rücksicht auf die kilometrische Dämpfung der Leitung benutzten Frequenzen kommt ein Verlust durch Raumstrahlung nicht merkbar in Frage<sup>1</sup>. Hierfür müßte der Abstand zwischen Hin- und Rückleiter in die Größenordnung der benutzten Wellenlängen fallen. Diese liegen aber in der Größenordnung von 1—6 km, während der Phasenabstand nach Metern mißt. Die Ableitungs- und dielektrischen Verluste, die bei Hochfrequenzübertragungen über Schwachstromleitungen eine Rolle spielen, sind auf Hochspannungsleitungen wegen des hohen Isolationsgrades bei gutem Wetter vernachlässigbar. Bei Rauhreif wächst die Dämpfung infolge dielektrischer Verluste in der Eisschicht bei den üblichen Wellenlängen annähernd proportional mit der Frequenz<sup>2</sup>.

Wir sehen also, daß die Bezeichnung „leitungsgerichtete Hochfrequenz“ insofern zutrifft, als die Energiefortpflanzung im Dielektrikum längs der Leiter sich vollzieht, daß sie aber eine irriige Vorstellung weckt, wenn man darin einen Unterschied gegenüber der Fortpflanzung niederfrequenter Starkströme erblickt und als Ursache eine Art Raumstrahlung längs der Leitung ansieht<sup>3</sup>.

Anmerkung. (Ausführlichere Ableitung vgl. Anhang.)

Unter *räumlicher Dämpfung* versteht man die Abnahme der Amplitude, z. B. der der Hochspannungsleitung am Leitungsanfang aufgedrückten Hochfrequenzspannung längs der Leitung. Ist die Hochspannungsleitung gleichmäßig und unendlich lang (im Verhältnis zur für die Übertragung benutzten Wellenlänge von 1—6 km) oder kann sie zur Erzielung einer günstigen Hochfrequenzübertragung mit einem HF-Apparatewiderstand  $R_e$  gleich dem Leitungswellenwiderstand  $Z$  abgeschlossen werden, so gilt folgende Beziehung zwischen der *Hochfrequenzspannung am Anfang*  $U_0$  und der *Hochfrequenzspannung am Ende* der Leitung  $U_e$ :

$$\text{a) } U_e = U_0 \cdot e^{-\beta l} \quad (\text{Anhang Gl. 40}),$$

wobei  $e$  die Grundzahl der natürlichen Logarithmen,  $\beta$  die räumliche Dämpfungskonstante je km und  $l$  die Leitungslänge ist.

Für die *Dämpfungskonstante*  $\beta$  gilt, wenn  $R$  den Wirkwiderstand der Hochspannungsfreileitung je km darstellt, bei normalen Witterungsverhältnissen:

$$\text{b) } \beta = \frac{R}{2Z} \quad \text{in Neper/km} \quad (\text{Anhang Gl. 22}).$$

<sup>1</sup> Rössler, E.: Zur Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen längs Leitern. E. N. T. Bd. 4 (1927) S. 281.

<sup>2</sup> Kaden u. Brückenstein-Kuhl: Die Ableitungsverluste von Freileitungen bei Rauhreif. ETZ Jg. 55 (1934) Heft 47, S. 1146.

<sup>3</sup> Habann, E.: Schrifttum zur Einleitung B, 15.

Bezeichnet man mit  $C$  die Kapazität und  $L$  die Induktivität der Leitung je km, so ist

$$c) \quad Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{Anhang Gl. 10}).$$

Der *Wellenwiderstand*  $Z$  der Leitung stellt praktisch einen Ohmschen Widerstand dar in der Größenordnung von etwa  $350 \Omega$  bei Ankopplung der HF-Geräte an eine Phase und etwa  $600 \Omega$  bei Ankopplung zwischen zwei Phasen. Für Hochspannungskabel beträgt der Wellenwiderstand etwa  $50 \Omega$ . Die Dämpfung ist dementsprechend 10mal höher als bei Hochspannungsfreileitungen.

Der *Wirkwiderstand*  $R$  der Leitung hängt vom Werkstoff der Phase und ihrem Querschnitt ab, also bei gegebenem Leiter von einem konstanten Faktor  $k_1$ . Wegen der Zusammendrängung der Stromlinien bei höheren Frequenzen an der Leiteroberfläche ist der Wirkwiderstand ferner abhängig von der benutzten Trägerfrequenz der HF-Übertragung, und zwar wächst er mit der Wurzel aus der Frequenz

$$d) \quad R = k_1 \sqrt{f}.$$

Da, wie ausgeführt,  $Z$  praktisch konstant ist, ergibt sich aus b) und d) für

$$e) \quad \beta = k_2 \sqrt{f} \text{ in Neper/km.}$$

Die Dämpfung  $b = \beta l$  nimmt mit der Wurzel aus der benutzten Trägerfrequenz zu.

Sie beträgt für eine 100 kV-Drehstromleitung von 100 km Länge bei einer Trägerfrequenz  $f = 100$  kHz größenordnungsmäßig 1 Neper. Nach a) ist hierbei

$$U_e = U_0 e^{-1} = \frac{U_0}{e} = \frac{U_0}{2,72}.$$

Die Spannungsamplitude am Leitungsende ist also auf rund  $\frac{1}{3}$  der Anfangsspannung abgesunken.

### b) Erdrückleitung bei Einphasenkopplung.

Von der Niederfrequenzfernsprechtechnik her war bekannt, daß man über einen Draht unter Benutzung der Erde als Rückleitung eine Sprachübertragung herstellen kann. So glaubte man, daß bei Ankopplung der Hochfrequenzsprechgeräte an nur eine Phase auch die Erde die Rückleitung der Hochfrequenzströme übernehme. Theoretische Überlegungen und praktische Versuche haben aber gezeigt, daß für hochfrequente Ströme der Erdwiderstand zu hoch ist, als daß die Erde auf längere Strecken die Rückleitung bilden könnte<sup>1</sup> (vgl. Fußnote S. 43). Die Stromfäden im Erdboden drängen sich unter der Hinleitung um so mehr zusammen, je höher die Frequenz ist. Damit verringert sich der stromdurchflossene Querschnitt im Erdboden und der Widerstand für Wellen im Bereich der Hochfrequenzübertragung wächst mit der Wurzel aus der Frequenz. Da bei einem Kupferleiter, wie wir sahen, die gleiche Wirkung auftritt, läßt sich derjenige Kupferdraht bestimmen, der den gleichen Widerstand wie die Erde besitzt. Er hat für Hochfrequenzwellen über Hochspannungsleitungen von etwa 10 m Höhe über dem Erdboden einen Durchmesser von einigen Zehntel Millimeter. Hieraus

<sup>1</sup> Rüdénberg: Z. angew. Math. Mech. Bd. 5 (Okt. 1925) Heft 5 S. 361. — Gewecke: Hochfrequenztelephonie in Überlandzentralen. ETZ 1920 Heft 34 S. 670.



erkennt man, daß die Erde als Rückleiter für Hochfrequenzströme ungeeignet ist<sup>1</sup>.

Tatsächlich arbeiten nun aber viele Hochfrequenzanlagen mit Ankopplung an eine einzige Phase, so daß doch die Anschauung von der Erde als Rückleiter entgegen der Theorie berechtigt erscheint. In Wirklichkeit dienen aber die restlichen nicht gekoppelten Phasen als Rückleiter. Die an eine Phase angekoppelte Hochfrequenzsprechstelle ist geerdet. Der sendeseitig erzeugte Hochfrequenzstrom fließt also über die Koppelkapazität einerseits in die angekoppelte Phase, andererseits in die Erde. Von dort schließt er sich mittels elektromagnetischer Kopplung durch die Luft zu den restlichen nicht gekoppelten Phasen (Bild 39.

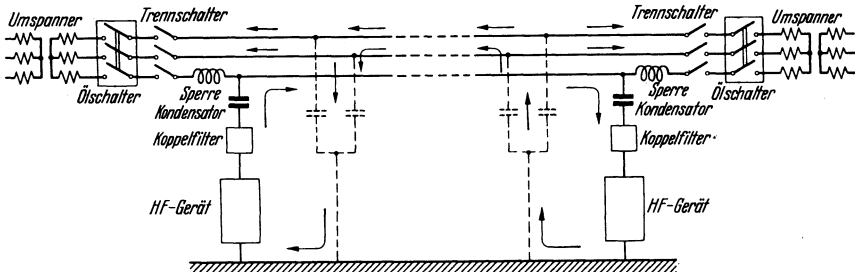


Bild 39. HF-Übertragungsvorgang bei Einphasenkopplung.

Vgl. auch Anhang S. 195). Hierbei entsteht also außer den Verlusten in den Koppelmitteln eine zusätzliche Dämpfung zur Leitungsdämpfung, die wir als „Einphasenzusatzdämpfung“ bezeichnen. Während die gekoppelte Phase hinter dem Koppelpunkt gegen die Hochspannungsstation gesperrt ist, sind in die nicht gekoppelten Phasen keine Sperrungen eingesetzt. Der in ihnen induzierte hochfrequente Rückleitungsstrom fließt daher nicht nur in Richtung der Gegensprechstelle, sondern auch rückwärts als Verluststrom in die Leistungsschalter, Transformatoren, Sammelschienen usw. mit ihrer verhältnismäßig großen Erdkapazität. Hierdurch erhöht sich nicht allein die Dämpfung weiter, sondern es entsteht außerdem eine gewisse, wenn auch geringe Abhängigkeit dieser Rückleitung von dem jeweiligen Schaltzustand.

### c) Zwischenphasenkopplung (Bild 40).

Während also auf dem größeren Teil einer längeren Leitung die Dämpfung nicht unterschiedlich ist zwischen einphasig angekoppelten Hochfrequenzanlagen und solchen, bei denen eine eindeutige metallische Rückleitung durch Ankopplung der zweiten Ausgangsklemme der

<sup>1</sup> Der Widerstand der Erdrückleitung beträgt nach Rüdénberg für Hochfrequenzen im Bereiche der Nachrichtenkanäle über Hochspannungsleitungen üblicher Länge mehrere 1000  $\Omega$  und verhindert damit eine wirksame Übertragung durch die Erde.

HF-Sprechstelle an eine zweite Phase mit Hilfe eines Koppelkondensators geschaffen ist, ist die gesamte Betriebsdämpfung einer Einphasenanlage

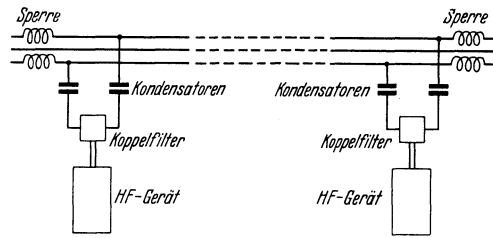


Bild 40. Zwischenphasenkopplung.

um die Einphasenzusatzdämpfung größer als die einer zwischenphasig angekoppelten Hochfrequenzanlage. Als Einphasenzusatzdämpfung bezeichnen wir somit die zusätzliche Dämpfung, die über die Dämpfung der zwischenphasig angekoppelten Anlage hinaus

durch den Rückschluß des Hochfrequenzstromes von der Erde aus in die nicht gekoppelten und nicht gesperrten Phasen entsteht.

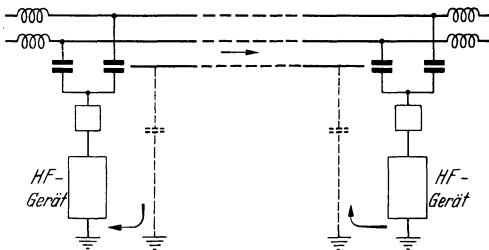


Bild 41. Doppelphasenkopplung mit sogenannter Erdrückleitung.

Diese Anschauung schließt aus, daß man bei einer Dreiphasenleitung, die allein auf dem Gestänge liegt, eine Verbesserung der Übertragungsbedingungen durch Parallelschaltung zweier gekoppelter Phasen erhält, während man die zweite Ausgangsklemme der Hochfrequenzsprechstelle an Erde

legt (Bild 41 und Anhang S. 195). Denn auch in diesem Falle entsteht die zusätzliche Ankopplungsdämpfung, und zwar in noch höherem Maße als bei der Einphasenkopplung.

#### d) Zwischensystemkopplung (Bild 42).

Stehen Doppelleitungen für die Übertragung zur Verfügung, so

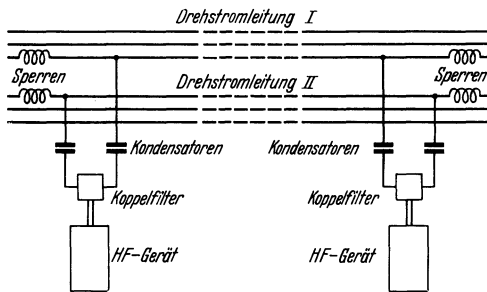


Bild 42. Zwischensystemkopplung.

koppelt man zur Erhöhung der Sicherheit der Hochfrequenzübertragung häufig die Hochfrequenzsprechstelle an je eine Phase von jeder der beiden Leitungen. Die HF-Übertragung ist dann selbst für den Fall noch sichergestellt, wenn eine der beiden Drehstromleitungen unterwegs ohne

Sperrung geerdet wird. Diese Art der Kopplung ist allerdings nur so lange vorteilhaft, wie die beiden Leitungssysteme auf einem Gestänge geführt

sind. Sind zwei verschiedene Trassen für die beiden Drehstromleitungen wegen der sicheren Hochspannungsübertragung benutzt, so entstehen bei der Ankopplung an je eine Phase der beiden getrennt geführten Leitungen zusätzliche Ankopplungsdämpfungen. Es empfiehlt sich dann, die zwischenphasige Ankopplung an zwei Phasen ein und derselben Drehstromleitung vorzunehmen, wenn man die geringere Dämpfung der Zwischenphasenkopplung ausnutzen will. Hierbei muß man jedoch auf den Vorteil, eine zur HF-Übertragung herangezogene Drehstromleitung direkt unterwegs erden zu können, verzichten.

Zweckmäßigerweise wählt man bei der Zwischensystemkopplung verschiedene Phasen der beiden Drehstromleitungen (z. B.  $R$  des einen,  $S$  des anderen Systems), um bei Defektwerden der Sperren Kurzschlüsse gleicher Phasen über die Sammelschienen zu vermeiden.

#### e) Vorteile und Nachteile der verschiedenen Kopplungen.

Nachdem die Übertragungsbedingungen geklärt sind, erhebt sich für den praktischen Betrieb die Frage: *wann benutzt man die einphasige und wann die zwischenphasige Ankopplung?*

Wirtschaftlich ist die Einphasenkopplung, die nur die Hälfte der Kondensatoren und Sperren einer Zwischenphasenanlage benötigt, der Zwischenphasenkopplung wegen der Kondensatorpreise um so überlegener, je höher die Leitungsspannung ist. Erlaubt es die Betriebsdämpfung der Anlage, die Einphasenzusatzdämpfung in Kauf zu nehmen, ohne damit die für den Störfall nötige Reserve unzulässig zu vermindern, so ist technisch gegen die Einphasenkopplung nichts einzuwenden. Zu prüfen ist allerdings außerdem dabei, ob die erhöhte Störanfälligkeit durch Raumwellensender und die größere Abhörbarkeit mit Rundfunkempfängern im Einzelfall keine Rolle spielen.

Die Zwischenphasenanlage vermeidet die Einphasenzusatzdämpfung. Sie muß also dort angewendet werden, wo die gesamte Betriebsdämpfung so groß ist, daß zusätzliche Dämpfungen nicht mehr tragbar sind. Dies ist z. B. bei großer Länge der Leitung oder Rauhreifgefährdung der Hochfrequenzstrecke, bei vielen Brücken oder vielen Sprechstellen im Zuge der Leitung der Fall. Der kostenmäßige Mehraufwand ist dann durch die notwendige Betriebssicherheit bedingt. Er kann auch in der Nähe stärkerer Raumwellensender erforderlich werden.

Bei Zwischensystemkopplung entsteht noch, wie erwähnt, der weitere Vorteil, daß eine der beiden Drehstromleitungen auch unterwegs ohne Sperren geerdet werden kann, und daß trotzdem der HF-Verkehr ungestört aufrecht erhalten bleibt.

### 3. Der Frequenzbereich der HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen.

Der Frequenzbereich der Hochfrequenzübertragungen auf Hochspannungsleitungen liegt zwischen 50 und 300 kHz.

#### a) Die obere Frequenzgrenze.

Die obere Frequenzgrenze von etwa 300 kHz<sup>1</sup> ist in den meisten Ländern durch behördliche Vorschriften im Hinblick auf den Rundfunk und andere Funkdienste festgelegt.

Technisch ist sie durch folgende Erwägungen bestimmt:

Wir haben gesehen (S. 41), daß es im wesentlichen die mit wachsender Frequenz steigende Zusammendrängung der HF-Stromlinien auf der Leiteroberfläche ist, welche den Verlustwiderstand und damit die Leitungsdämpfung je Längeneinheit gegenüber Niederfrequenzströmen erhöht. Die Dämpfung steigt mit der Wurzel aus der Frequenz an. Außerdem treten Dämpfungsverluste durch Leitungsverzweigung und die Überbrückung von Trennstellen unterwegs auf. Hinzu kommt bei Einphasenkopplung die Einphasenzusatzdämpfung an den End- und Brückenstellen. Damit ergibt sich aus der durchschnittlichen Leitungslänge, die bei gegebenem Werkstoff und Querschnitt der bestimmende Faktor für die Leitungsdämpfung einer Hochfrequenzwelle ist, unter Berücksichtigung der zusätzlichen Ankopplungs- und Überbrückungsdämpfungen bei festgelegter Reichweite der Hochfrequenzgeräte die zulässige Höchsthäufigkeit, wenn man übliche Leitungslängen wirtschaftlich mit Hochfrequenz betreiben will. Da die Reichweite der Hochfrequenzgeräte, die durch die Sendeleistung und Empfangsempfindlichkeit bedingt ist, sich infolge behördlicher Vorschriften für die Sendeleistung und wegen des Hochspannungsstörpegels bezüglich der Empfangsempfindlichkeit nicht beliebig steigern läßt, kommt man auch aus rein technischen Gründen auf eine obere Grenze von etwa 300 kHz für die HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen üblicher Länge.

Die durch Einsatz von Verstärkern mögliche Erhöhung der oberen Grenze scheidet an der Verwendung der höheren Frequenzen für andere Funkdienste.

#### b) Die untere Frequenzgrenze.

Betrachtet man die Ankopplung mit Koppelkondensatoren als die derzeit gebräuchlichste und wirkungsvollste, so ist ein bestimmender Faktor für die untere Frequenzgrenze die Koppelkapazität. Der Kondensator hat, wie geschildert, den Zweck, die Hochfrequenzgeräte gegen den

<sup>1</sup> In Deutschland ist der Bereich von 50—150 kHz für EW-Hochfrequenzübertragungen vorbehalten, ausnahmsweise 150—375 kHz, mit dem Sperrbereich von 179—203 kHz für den Deutschlandsender. Die Genehmigung für den Betrieb ist jederzeit widerruflich.

Starkstrom von  $16^{2/3}$  bzw. 50 kHz zu sperren und den hochfrequenten Nutzstrom möglichst ungeschwächt hindurchzulassen. Da reine Koppelkapazitäten größer als 2000 cm wirtschaftlich für Höchstspannungsanlagen zur Zeit kaum herstellbar sind, kann man die untere Frequenzgrenze nicht viel tiefer als 50 kHz wählen, will man mit Bandfiltern noch den notwendigen Durchlaßbereich für mehrere Wellen auf die Starkstromleitung erzielen<sup>1</sup>. Damit scheidet der auf Schwachstromleitungen üblichere Frequenzbereich für Trägerstromübertragungen unterhalb von 40 kHz für Hochspannungsleitungen aus.

Für tiefere Frequenzen als 50 kHz würden ferner die Hochfrequenzsperrungen einen ungenügenden Sperrwiderstand ergeben bzw. unwirtschaftlich groß werden und nachteilige Folgen für die Hochspannungsübertragung haben können.

### c) Frequenzwahl.

Innerhalb des Bereichs von etwa 50—300 kHz (Bild 43) liegen also aus organisatorischen und technischen Gründen die für die Hochfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen *brauchbaren* Frequenzen.

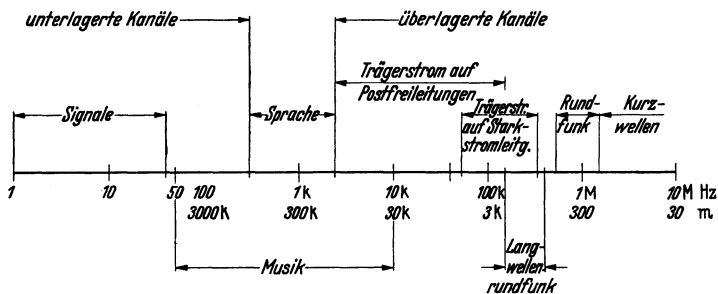


Bild 43. Frequenzschema von Nachrichtenkanälen.

Da, wo bereits Hochfrequenzanlagen in Betrieb sind, ist für neu zu errichtende Hochfrequenzübertragungen zunächst auf die schon benutzten Frequenzen Rücksicht zu nehmen. Hierbei muß beachtet werden, daß Netze gleicher Spannung bei der Zunahme der Verbundwirtschaft als metallisch zusammenhängend anzusehen sind. Bei der infolge der großen Oberfläche der Höchstspannungsleiter geringen Hautwirkungsämpfung für die hochfrequenten Ströme heißt dies, daß die gleichen Frequenzen i. a. erst mehrere hundert Kilometer entfernt wieder verwendet werden dürfen, es sei denn, daß unterwegs eine wirksame Sperrung erfolgt (z. B. Vierpolsperrung der 3 Phasen). Auch die metallische Trennung von Netzen gleicher Spannung durch Umspanner mit dem Übersetzungsverhältnis 1:1 bewirkt nicht immer eine sichere Absperrung der hochfrequenten Ströme, da diese Umspanner bei der üblichen Bauweise i. a.

<sup>1</sup> Vgl. Anhang S. 200.

Kettenleitercharakter besitzen und damit für gewisse Hochfrequenzwellen einen bequemen Durchlaß bieten. Durch geeignete Bauweise kann dieser Nachteil voraussichtlich jedoch vermieden werden. Schließlich können auch zwischen Leitungen ungleicher Spannung Frequenzbeeinflussungen vorkommen, wenn sie auf längere Strecken parallel laufen, so daß auch hier eine Sperrung bzw. ein Kurzschluß der nicht gewünschten Frequenzen erforderlich werden kann.

Aber selbst, wo noch keine Hochfrequenzanlagen vorhanden sind, ist man in der Frequenzwahl nicht immer völlig frei.

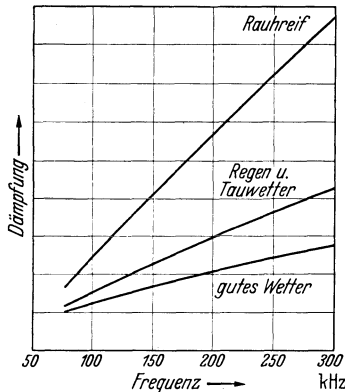


Bild 44. Dämpfungszunahme bei Rauheis.

Man hat bei langen Leitungen Frequenzen über 150 kHz bisher ihrer Dämpfung wegen nicht gern verwendet, zumal man bei den höheren Frequenzen außerdem auf Langwellenrundfunksender sowie auf andere drahtlose Dienste, die in diesem Frequenzbereich arbeiten, Rücksicht nehmen muß. In manchen Ländern ist deshalb die Benutzung von Frequenzen über 150 kHz nur auf jederzeitigen Widerruf gestattet; aber auch dort, wo keine Einschränkungen für ihre Verwendung bestehen, wird man sie nur auf kürzeren Strecken benutzen.

Schließlich ist für die Frequenzwahl von Bedeutung, ob etwa im Winter mit Rauheisbehang der Leitungen zu rechnen

ist<sup>1</sup>. Da der Rauheis eine ernste Störungsquelle auch im Hochspannungsbetrieb darstellt, muß gerade dann die Sprechverständigung über die Hochfrequenzanlage zwecks Behebung von Hochspannungsschäden sichergestellt sein. Längere Untersuchungen auf stark rauheisgefährdete Leitungen haben ergeben, daß der Rauheis eine Dämpfungszunahme annähernd proportional mit der Frequenz in dem EW-Wellenbereich bewirkt (Bild 44). Die Ursache hiervon sind dielektrische Verluste in der Eisschicht, die verständlich werden, wenn man das Dielektrikum zwischen den Leitern als das Medium für die Fortpflanzung der Hochfrequenzenergie betrachtet<sup>2</sup>.

Es ist deshalb empfehlenswert für rauheisgefährdete Leitungen Frequenzen unter 100 kHz und gegebenenfalls Zwischenphasenkopplung zu wählen, um die nötige Sicherheit für die Hochfrequenzübertragung auch im Winter zu haben.

Bei Schaffung neuer unabhängiger Hochfrequenzanlagen sollte man möglichst eine einheitliche Planung des ganzen Landesnetzes vornehmen,

<sup>1</sup> Vgl. Anhang S. 190.

<sup>2</sup> Kaden u. Brückersteinkuhl: Die Ableitungsverluste von Freileitungen bei Rauheis. ETZ Jg. 55 (1934) Heft 47, S. 1146.

um von vornherein durch Berücksichtigung des zukünftigen voraussichtlichen Ausbaus spätere Frequenzschwierigkeiten tunlichst zu vermeiden<sup>1</sup>.

**d) Zahl der übertragbaren Kanäle.**

Die Zahl der innerhalb der Grenzen von 50—300 kHz unterzubringenden Frequenzen hängt zunächst von der Bandbreite ab, die jede Trägerwelle erfordert, danach von der Trennschärfe der Empfänger.

Die Bandbreite richtet sich danach, ob *Sprache* oder *Zeichen* zu übertragen sind.

Für eine einwandfreie *Sprachübertragung* wird ein Frequenzband von etwa 300—2400 Hz benötigt. Da bei der Aufdrückung der Sprache auf die Trägerwelle ein oberes und ein unteres Seitenband gleicher Breite entstehen (Bild 45<sup>2</sup>), verlangt zunächst jede Sprachübertragung in einer Richtung ein Band von etwa 5000 Hz. Man braucht jedoch nur eines der beiden Seitenbänder zu übertragen und kann deshalb das andere unterdrücken. Der erforderliche Aufwand hierfür erschien bisher in der EW-Telefonie noch nicht gerechtfertigt. Fast alle

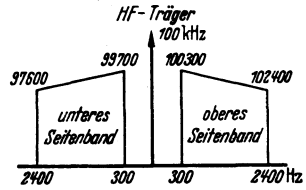


Bild 45. Sprachmodulation einer HF-Trägerwelle.

HF-Sprechübertragungen über Hochspannungsleitungen senden daher gegenwärtig beide Seitenbänder aus und beanspruchen demzufolge auch eine Bandbreite von 5000 Hz für *eine* Gesprächsrichtung. In stark vermaschten Hochfrequenznetzen wird man sich bald diese Bandverschwendung nicht mehr leisten können und zur Einseitenbandübertragung übergehen müssen. Bei dieser kann man neuerdings innerhalb von 5000 Hz die Bänder für *beide* Gesprächsrichtungen unterbringen.

Die Trennschärfe der Empfangsfilter muß grundsätzlich genügend groß sein, um trotz des starken Pegelunterschiedes zwischen Sendee- und Empfangsspannungen (Verhältnis bis 1000:1) diese zu trennen.

Bei der Sprachübertragung mit modernen „Zweikanalgeräten“ (vgl. S. 53), die beide Seitenbänder aussenden, sind heute etwa folgende Mindestwerte für die Frequenzabstände einzuhalten:

Zwei Sender am gleichen Ort, aber auf getrennten Leitungen (z. B. durch Sperren getrennt) erfordern zwischen  $f_1$  und  $f_2$  5 kHz Abstand (Bild 46a und b), während zwischen Sender und Empfänger am gleichen Ort, unter der gleichen Voraussetzung 10 kHz Abstand erforderlich sind (Bild 47a und b), schließlich verlangen Sender und Empfänger im gleichen Gerät untergebracht i. a. einen Abstand von 10—15 kHz (Bild 48a und b).

<sup>1</sup> Klöckener: Aufbau und Betrieb von Fernmeldeeinrichtungen in einem großen Überlandnetz. Elektrizitätswirtsch. 1938 S. 561 Nr. 22.

<sup>2</sup> Vgl. Anmerkung S. 51.

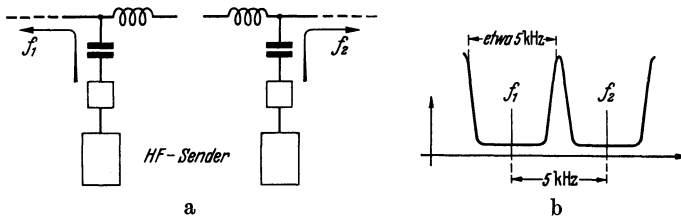


Bild 46 a und b. Frequenzabstände zwischen Sender—Sender auf getrennten Leitungen am gleichen Ort.

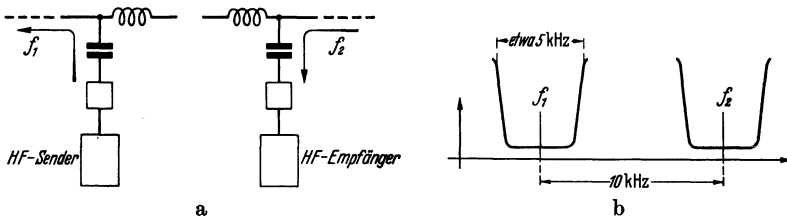


Bild 47 a und b. Frequenzabstände zwischen Sender—Empfänger auf getrennten Leitungen am gleichen Ort.

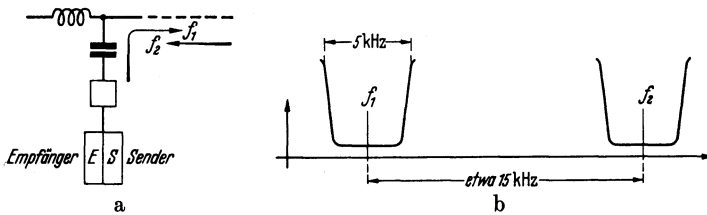


Bild 48 a und b. Frequenzabstände zwischen Sender—Empfänger im gleichen Gerät.

Der letzte Abstand gilt für die zwei Frequenzen eines Gegengesprächs. Hieraus geht hervor, daß die Zahl der im zur Verfügung stehenden Frequenzbereich unterzubringenden HF-Übertragungen mit „Zweikanalgeräten“ recht begrenzt ist. Man muß daher möglichst mit Frequenzen sparen.

Im Vordergrund stand deshalb seit langem die Frage, ob man für den Gegengesprächsverkehr in beiden Richtungen zukünftig mit der Bandbreite auskommen kann, die man zur Zeit noch für eine Gesprächsrichtung braucht. Wir werden sehen, welche Schwierigkeiten dem entgegenstanden und wie diese zunächst zwangsläufig zu anderen Mitteln der Frequenzersparnis führten, von denen die Kombination der Sprechkanäle mit anderen Fernmeldekanälen in größerem Umfang Anwendung gefunden hat und noch findet.

Bei *Zeichenübertragungen* für Signalisierungs-, Steuer-, Meß- und Regelzwecke hängt die Bandbreite davon ab, ob man die Trägerwelle zur Zeichengabe direkt tastet oder ob man für Zwecke der Mehrfachausnutzung diese mit Tonfrequenzen moduliert. In letzterem Falle



bestimmt die Zahl der gleichzeitig zu übertragenden Tonfrequenzen die Bandbreite (Bild 49a). Man kann natürlich auch hier die Trägerwelle und ein Seitenband unterdrücken und damit den Frequenzbedarf für die Übertragung auf die Hälfte zurückführen.

Mit Rücksicht auf Einschwingvorgänge gibt man jeder Tonfrequenz ein Filter mit einem Durchlaß von mehr als 25 Hz. Dieses genügt an sich z. B. für Meßübertragungen mit 12 Impulsen je Sekunde, jedoch nicht für den Fernschreibbetrieb. Hierfür muß entsprechend der etwa doppelten Stromsritzzahl und den höheren Anforderungen der Telegrafie an die Zeichentreue auch die Bandbreite ein Mehrfaches sein. Für Bildtelegrafie oder ähnliche Verfahren sind noch weit größere Bandbreiten erforderlich.

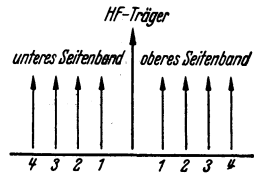


Bild 49 a. Modulation einer HF-Trägerwelle mit vier Tonfrequenzen.

Man kann nun aber zur Bestimmung der zulässigen Kanalzahl für Fernbedienungsanlagen bei modulierten Hochfrequenzsendern nicht etwa die Breite des Sprachbandes durch 25 Hz teilen. Da im Gegensatz zur Sprachübertragung z. B. für Dauerübertragungen mehrerer Meßwerte alle Tonfrequenzen gleichzeitig die Trägerwelle modulieren sollen, entfällt auf jede nur ein Bruchteil der verfügbaren Trägerenergie.

Die zulässige Kanalzahl hängt also wesentlich von den energetischen Bedingungen der Übertragung ab; sie schwankt zwischen drei und sechs und erhöht sich beim Einseitenbandsystem etwa auf das Doppelte, da hier die Senderleistung ausschließlich dem einen Seitenband zugute kommt und der durch das schmalere Empfangsfilter durchgelassene Störpegel geringer ist.

Anmerkung. Der Modulationsvorgang (vgl. VILBIG: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik, S. 426 ff.) stellt sich rechnerisch folgendermaßen dar:

Die hochfrequente Trägerwelle mit der Amplitude  $A$ , der Frequenz  $f_1$ , und dem Phasenwinkel  $\varphi$  sei bezeichnet mit:

$$i_h = A \sin(2\pi f_1 t + \varphi) \text{ oder mit } 2\pi f_1 = \Omega \quad (1)$$

$$i_h = A \sin(\Omega t + \varphi). \quad (2)$$

Ändert man diesen Hochfrequenzstrom in seiner Amplitude durch einen veränderlichen Widerstand, z. B. im Mischrohr im Takte einer sinusförmigen Tonfrequenzschwingung der Frequenz  $\sin 2\pi \nu = \sin \omega t$  und bezeichnet den Phasenwinkel der Tonfrequenzschwingung mit  $\xi$ , so ergibt sich die modulierte Schwingung zu:

$$i_m = A [1 + m \sin(\omega t + \xi)] \sin \Omega t, \quad (3)$$

wenn mit  $m = a/A$  das Verhältnis der Niederfrequenzamplitude  $a$  zum Mittelwert des Hochfrequenzstromes  $A$  als Modulationsgrad bezeichnet wird. Der Modulationsgrad bei der Sprachübertragung liegt mit Rücksicht auf die Verzerrungsfreiheit bei 30–60%. Bei Mehrfachmeß-

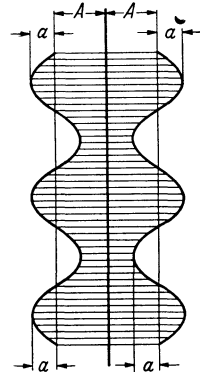


Bild 49 b.

Sprachübertragung liegt mit Rücksicht auf die Verzerrungsfreiheit bei 30–60%. Bei Mehrfachmeß-

übertragungen kann man bis zu 90% gehen. Die Gleichung (3) läßt sich nun in einfacher Weise trigonometrisch umformen

$$i_m = A \sin \Omega t + \frac{m}{2} A \cos [(\Omega - \omega) t - \xi] - \frac{m}{2} A \cos [(\Omega + \omega) t + \xi]. \quad (4)$$

Außer der hochfrequenten Trägerwelle mit der Frequenz  $f_1$  (Kreisfrequenz  $\Omega$ ) sind noch zwei Seitenfrequenzen  $f_1 + \nu$  ( $\Omega + \omega$ ) und  $f_1 - \nu$  ( $\Omega - \omega$ ) vorhanden.

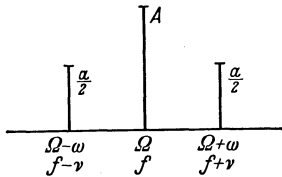


Bild 49 c.

Zur einwandfreien Übertragung von Sprache muß ein Band von 300—2400 Hz übertragen werden. Die gesamte Bandbreite für eine Sprechrichtung ergibt sich also bei Übertragung beider Seitenbänder zu 4800 Hz.

Da bei der Sprachmodulation alle Seitenfrequenzen von 300—2400 oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz entstehen, spricht man von diesen beiden Bändern als den „Seitenbändern“.

Wird der Träger wie bei der Mehrfachmeßübertragung mit mehreren Tonfrequenzen  $\sin(\omega_1 t + \xi_1)$ ,  $\sin(\omega_2 t + \xi_2)$ ,  $\sin(\omega_3 t + \xi_3)$  moduliert, so ist die modulierte Schwingung gegeben durch:

$$\begin{aligned} i = & A \sin \Omega t + \frac{m_1}{2} A \cos [(\Omega - \omega_1) t - \xi_1] - \frac{m_1}{2} A \cos [(\Omega + \omega_1) t + \xi_1] \\ & + \frac{m_2}{2} A \cos [(\Omega - \omega_2) t - \xi_2] - \frac{m_2}{2} A \cos [(\Omega + \omega_2) t + \xi_2] \\ & + \frac{m_3}{2} A \cos [(\Omega - \omega_3) t - \xi_3] - \frac{m_3}{2} A \cos [(\Omega + \omega_3) t + \xi_3], \end{aligned}$$

wobei  $m_1, m_2, m_3$  die Modulationsgrade der verschiedenen Tonfrequenzen darstellen. Da der maximale Modulationsgrad, der den Summenwert der einzelnen Modulationsschwingungen darstellt, 90% auch für die Fernmeßübertragung nicht übersteigen kann, ergibt sich mit wachsender Zahl der Modulationsschwingungen ein immer kleinerer Modulationsgrad für die einzelne Schwingung; damit sinkt für diese, wie noch an anderer Stelle ausgeführt wird, der Nutzpegel und hierdurch der Störpegelabstand, also auch die Sicherheit der Übertragung.

### III. Probleme der Frequenzersparnis.

Wie wir sahen, arbeiten die auf Hochspannungsleitungen betriebenen Hochfrequenzanlagen innerhalb des Frequenzbereiches 50—300 kHz. Die Übertragung jeder Meldung beansprucht innerhalb dieses Bereiches ein Frequenzband von einer gewissen Breite. Ein für eine Nachricht benutztes Frequenzband kann auf einem galvanisch zusammenhängenden Hochspannungsleitungsnetz nur unter einschränkenden Bedingungen wiederverwendet werden (Kapitel II, Abschnitt 3). Der Bedarf an Nachrichtenkanälen ist aber bei den Elektrizitätsversorgungsunternehmen so groß, daß man in der Entwicklung besondere Wege einschlagen mußte, um den zur Verfügung stehenden Frequenzbereich günstigst auszunutzen. Hierfür bieten sich folgende Möglichkeiten:

Einmal die Verringerung des für eine Sprechverbindung benötigten Frequenzbedarfs; sie bringt keinerlei Einschränkungen im Sprechverkehr mit sich.

Zum andern die Kombination verschiedenartiger Nachrichtenkanäle, z. B. Mitbenutzung von Telefoniewellen für Fernmeßzwecke usw., mit geringfügigen Einschränkungen im Sprechverkehr.

Schließlich liegt eine Möglichkeit, bei der allerdings stärkere Einschränkungen im Sprechverkehr in Kauf genommen werden müssen, in der Frequenzeinsparung bei der Netzplanung durch geeigneten Zusammenschluß von mehr als zwei HF-Sprechstellen zu einem Sprechbezirk. Der letzte Weg wird in dem Kapitel „Die HF-Netzgestaltung“ (Kapitel VII, Abschnitt 1) behandelt werden.

### 1. Verringerung des Frequenzbedarfs einer Sprechverbindung.

Die übliche Telefonieverbindung zwischen zwei Stationen arbeitet am einfachsten mit zwei verschiedenen Trägerfrequenzen entsprechend den beiden Sprechrichtungen bei einem Gespräch. Wir wollen diese Betriebsart „*Zweikanalsystem*“ nennen. Durch den Modulationsvorgang entstehen um jeden der beiden Träger die beiden Seitenbänder. Zur Verringerung des Frequenzbandbedarfs einer solchen Sprechverbindung kann man entweder den Gegenverkehr auf nur einem der beiden Kanäle abwickeln, in der Weise, daß der gleiche Kanal *nacheinander* für die beiden Sprechrichtungen benutzt wird, wobei derselbe Träger also erst von der einen, dann von der anderen Sprechstelle ausgesendet wird — wir bezeichnen diese Betriebsart als „*Einkanalsystem*“ — oder man unterdrückt eines der beiden Seitenbänder, da die zu übermittelnde Nachricht bereits voll in einem Seitenband enthalten ist. Diese Betriebsart sei „*Einseitenbandsystem*“ genannt.

Beide Wege wurden von den Herstellerfirmen beschritten.

Der geringste Bedarf an Frequenzbandbreite ließe sich übrigens erreichen, wenn beide Mittel gleichzeitig zur Anwendung kämen. Man würde dann ein „Einseitenband-Einkanalsystem“ erhalten, dessen Frequenzbandbedarf nur ein Viertel desjenigen der zur Zeit üblichen Geräte betrüge.

#### a) Übergang von Zweikanalsystemen auf Einkanalsysteme.

Das Einkanalsprechsystem, das unter der unklaren Bezeichnung „Einfrequenzsprechsystem“ bekannt geworden ist, und das mit der Übertragung beider Seitenbänder arbeitet, bietet grundsätzlich eine ganze Reihe von *Vorteilen* gegenüber Systemen, die zwei verschiedene Kanäle in den beiden Sprechrichtungen verwenden.

An die Leitungsausrüstung, Sperren und Kondensatoren werden einfachere Anforderungen gestellt. Die Amerikaner konnten bei ihrem Einkanalsprechsystem beispielsweise fast ein Jahrzehnt auf Sperren überhaupt verzichten, indem sie die einzige Trägerfrequenz für die

Übertragung je nach der Leitung empirisch so wählen, daß zusätzliche Dämpfungen infolge Resonanzerscheinungen an Stichleitungen oder in den Endstationen bei den verschiedenen Schaltzuständen in tragbaren Grenzen blieben.

Die Dämpfung für die eine Trägerfrequenz ist in beiden Richtungen gleich. Es gibt selbst bei fehlender Pegelregelung keinen Unterschied in der Empfangslautstärke, gleich welche der beiden Endstellen spricht. Da in jedem Augenblick nur der eine Sprechweg vorhanden ist, kann eine Rückkopplung grundsätzlich nicht eintreten. Die Übertragung ist also pfeisicher, und Lautsprecherempfang ist möglich.

Alle in einem Netzabschnitt zusammengefaßten Stationen können bei einem Gespräch beide Teilnehmer hören, da beide auf der gleichen Trägerfrequenz sprechen. Der Konferenzverkehr wird dadurch erleichtert.

Der wichtigste Vorteil der Einkanalssysteme aber ist schließlich der, daß die Zahl der im zur Verfügung stehenden Frequenzbereich unterzubringenden Sprechverbindungen doppelt so groß sein kann wie bei Zweikanalssystemen, die für jede Sprechrichtung eine besondere Trägerfrequenz benötigen.

Diesen Vorteilen stehen allerdings bis jetzt schwerwiegende *Nachteile* gegenüber:

Während des Sendens muß der Empfänger abgeschaltet oder auf andere Weise unwirksam gemacht werden, weil sonst die volle Sendenergie den eigenen Empfänger übersteuert und dadurch einen Gegenverkehr unmöglich macht. Während man selbst spricht, kann man daher den anderen Teilnehmer nicht hören.

Ein Sprechverkehr, bei dem man den Sprechenden nicht jederzeit unterbrechen kann, erfordert eine hohe Gesprächsdisziplin. Gerade in Störungsfällen ist diese jedoch vielfach nicht gewährleistet. Es ist aber möglich, daß eine neuartige Rückkopplungssperre<sup>1</sup> in Zukunft auch auf diesem Gebiet eine befriedigendere Lösung für die Sprechwegumsteuerung bringt.

Da die Trägerfrequenz nicht ständig von jeder Sprechstelle ausgesandt wird, sind alle Schaltungen, bei denen die Trägerfrequenz die Verbindung hält, wie bei den üblichen automatischen Durchschaltungen mehrerer Sprechabschnitte in Reihe, beim Verkehr über selbsttätige Vermittlungsämter usw. nur mit größerem Aufwand durchzuführen, als bei Geräten mit ständig ausgesandter Trägerfrequenz.

Die Tatsache, daß beim Einkanalssystem der eine Kanal abwechselnd für beide Sprechrichtungen gebraucht wird, schließt aus, daß er außer für das Gespräch noch für andere Fernmeldezwecke benutzt wird, soweit diese eine Dauerübertragung erfordern. Hierdurch wird der Vorteil der

<sup>1</sup> Hölzler: Rückkopplungssperre nach dem Kipp-Prinzip. Veröff. Nachrichtentechn. 1938 3. Folge S. 447.

Frequenzersparnis bei Einkanalgeräten gegenüber Zweikanalgeräten, die für andere Dauerfernmeldungen herangezogen werden können, teilweise wieder aufgehoben.

In Anlehnung an die Niederfrequenztechnik ist ferner eine Lösung denkbar, bei der ein einziger Kanal zum gleichzeitigen Gegensprechen verwendet wird. Sende- und Empfangseinrichtungen werden hierbei in den Endapparaten durch HF-Gabeln voneinander getrennt (s. folgenden Unterabschnitt). Ein solches System weist den wesentlichsten der genannten Nachteile — die nicht jederzeitige Unterbrechungsmöglichkeit — grundsätzlich nicht auf. Leider scheidet, wie wir sehen werden, diese

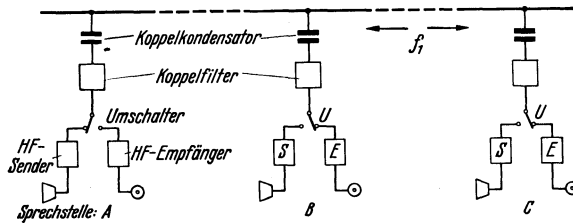


Bild 50. Einkanalsprechsystem mit Handumschaltung.

Lösung für den EW-Verkehr daran, daß sie mangels hinreichender Nachbildfähigkeit der Hochspannungsleitungen nicht genügend stabil gemacht werden kann.

Wir betrachten nun die verschiedenen Einkanalssysteme:

**a) Das Einkanalsprechsystem mit Handumschaltung.** Die ersten Hochfrequenzfernsprechanlagen über Hochspannungsleitungen waren Einkanalssysteme. Sender und Empfänger in demselben Gerät waren also auf die gleiche Frequenz abgestimmt. Um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden, sendete und empfing man zeitlich nacheinander (Simplexverkehr). Die Umschaltung geschah von Hand (Bild 50). Diese Verkehrsart ist natürlich sehr primitiv, da sie kein Zwischensprechen erlaubt. Prüft man die Frage, ob man zur Vermeidung der Handumschaltung und zur Ermöglichung des Zwischensprechens nicht die Gabelschaltung der Niederfrequenzfernsprechtechnik für gleichzeitiges Senden und Empfangen derselben Frequenz anwenden kann, so kommt man zu folgendem Ergebnis:

In der Niederfrequenzverstärkertechnik (vgl. Bild 96, S. 120) wird das unabhängige gleichzeitige Arbeiten von Sender und Empfänger dadurch erzielt, daß der Empfänger an im Hinblick auf den Sender spannungslosen Punkten einer Brückenschaltung, deren einer Zweig den Teilnehmer, deren anderer die „Nachbildung“ enthält, an die Leitung angekoppelt wird. Das Brückengleichgewicht ist nur herzustellen, wenn der Wellenwiderstand der künstlichen Leitung (Nachbildung) gleich dem der nachzubildenden Leitung gemacht werden kann. Bei Hochfrequenzüber-

tragungen über Fernsprechkabel z. B. ist ein entsprechendes Verfahren in Amerika 1926 mit Erfolg verwendet worden<sup>1</sup>. Für Hochspannungsleitungen eignet es sich deshalb nicht, weil das Brückengleichgewicht nicht konstant gehalten werden kann (Bild 51). Schaltänderungen der Hochspannungsleitung und atmosphärische Einflüsse ändern ihren Scheinwiderstand. Die Nachbildung müßte sich gleichzeitig selbsttätig

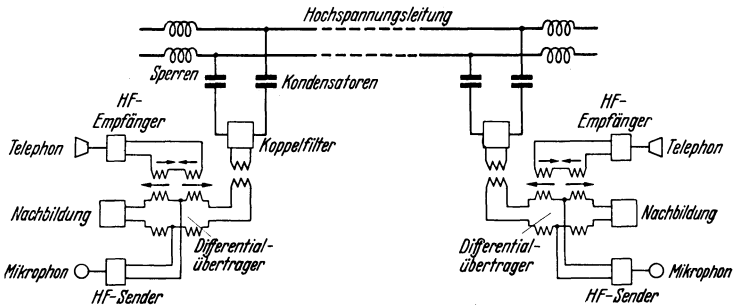


Bild 51. Einkanalssystem mit Hochfrequenzkabel.

entsprechend ändern. Dies ist aber mit einfachen Mitteln nicht ausführbar. Damit scheidet praktisch dieses durchgreifende Verfahren zur Frequenzersparnis, das an sich keine Einschränkung für den Sprechverkehr nach sich ziehen und die jederzeitige Unterbrechungsmöglichkeit bieten würde, für den Nachrichtendienst der Elektrizitätswerke über Kraftleitungen aus.

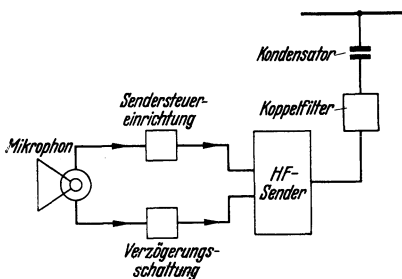


Bild 52. Grundsätzlicher Einsatz einer Verzögerungsschaltung.

β) Das Einkanalssprechsystem mit Sprachsteuerung (vgl. S. 81). Wenn man die Umschaltung zwischen Senden und Empfangen anstatt von Hand durch die Sprache selbst vornimmt, kann man eher die Möglichkeit schaffen, dem anderen Teilnehmer in die Rede zu fallen. Im Ruhezustand

ist dann nur der Empfänger betriebsbereit. Mit den ersten Sprachlauten zündet der Sprechende den eigenen Sender und sperrt den Empfänger. Bei Unterbrechung oder Beendigung der Rede hört die Zündung des eigenen Senders auf, und der Empfänger wird wieder betriebsbereit gemacht. Damit ist eine beschränkte Unterbrechungsmöglichkeit gegeben, wodurch die Anforderungen an die Gesprächsdisziplin sich vermindert.

Allerdings ließ sich bisher die Sprachsteuerung auch bei geschicktester Ausführung nur mit neuen Nachteilen erkaufen. Man mußte eine Ver-

<sup>1</sup> Hitchcock: Carrier Current Communication on Submarine Cables, J. A. I. E. E., Oct. 1926.

zögerungsschaltung verwenden, um zu erreichen, daß der Sender bereits betriebsbereit ist, wenn die ersten Sprachlaute übertragen werden sollen (Bild 52). Sonst trat eine Verstümmelung der Anfangslaute ein.

Die Verzögerung liegt in der Größenordnung von 40 ms je Sprechstelle, also von 80 ms je Sprechabschnitt. Bei Hintereinanderschaltung mehrerer Sprechabschnitte, die in ausgedehnten Netzen heute die Regel darstellt (Bild 53), treten Laufzeiten von mehr als 250 ms auf. Diese stellen eine einwandfreie Gesprächsführung in Frage, da sie zu ständigen Rückfragen Veranlassung geben.

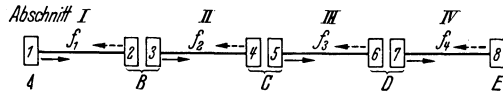


Bild 53. Hintereinanderschaltung mehrerer HF-Sprechabschnitte mit Einkanalgeräten.

Der Aufwand an Röhren und Entzerrern zum Ausgleich der Schwächung und Verzerrung, die die

Verzögerungsschaltung z. B. durch Aufzeichnen der Sprache auf ein Stahlband verursacht, ist zudem nicht unerheblich.

Selbst aber, wenn man die genannten Nachteile in Kauf nimmt, erreicht man bisher mit dem sprachgesteuerten Einkanalssystem kein vollkommenes Gegengespräch (Duplex). Spricht ein Teilnehmer pausenlos, so vermag man nicht, ihn zu unterbrechen. Diese Tatsache scheint zunächst im Wesen der Sprachsteuerung begründet. Ob sich etwa doch eine jederzeitige Unterbrechungsmöglichkeit mit neuen Rückkopplungssperren auch hier (s. S. 54) schaffen lassen wird, bleibt abzuwarten. Grundsätzlich ist außerdem nicht vermeidbar, daß Raumgeräusche im Sprachfrequenzbereich, die mit Amplituden von der Größe der normalen Sprachamplitude auf das Mikrofon treffen, den Sender zünden. Im Kraftwerksbetrieb ist dies bisweilen in Schaltwarten neben Turbinenhallen der Fall. Dadurch wird dann in der bisherigen Schaltung der eigene Empfänger blockiert und der Empfang der Gegensprechstelle in Frage gestellt.

### b) Übergang von Zweiseitenbandübertragung auf Einseitenbandübertragung.

Wie bereits ausgeführt, entstehen bei der Modulation einer hochfrequenten Trägerwelle mit der Sprache zwei Seitenbänder, das eine oberhalb und das andere unterhalb der Trägerfrequenz. Jedes umfaßt für einwandfreie Sprachübertragung einen Frequenzbereich von etwa 300—2400 Hz. Es genügt aber,

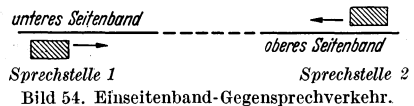


Bild 54. Einseitenband-Gegensprechverkehr.

nur eines von ihnen dem Empfänger zu übermitteln (Bild 54). Auch der Träger braucht nicht übertragen zu werden, wenn man ihn empfangsseitig für den Demodulationsvorgang wieder hinzusetzt.

Man hat das Einseitenbandverfahren auf *Schwachstromleitungen*, unter anderem auch auf Hochspannungstelefonleitungen, seit mehreren Jahren mit Erfolg angewandt<sup>1</sup>. Bei der Übertragung auf *Hochspannungsleitungen* ergeben sich demgegenüber Schwierigkeiten; die Unterdrückung der unerwünschten Frequenzen erfolgt im wesentlichen mit Hilfe von Filtern, d. h. Netzwerken von Spulen und Kondensatoren, die nur gewisse Frequenzbereiche durchlassen, andere aber sperren. Der Abstand zwischen oberem und unterem Seitenband, von denen das eine durchgelassen, das andere gesperrt werden soll, beträgt, da beide 300 Hz vom Träger entfernt sind, 600 Hz. Auf Schwachstromleitungen ist die tiefste Trägerfrequenz allein dadurch bestimmt, daß sie genügend hoch über dem Sprachband liegen muß, um einwandfrei im Rhythmus der

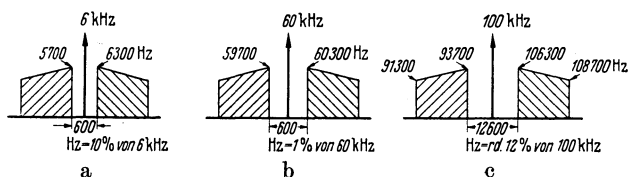


Bild 55. Abstand der Seitenbänder in Hundertteilen der Trägerwelle bei a HF-Übertragung auf Schwachstromleitungen; b HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen; c Doppelmodulation.

Sprachfrequenzen verändert werden zu können. Bemißt man sie z. B. zu 6 kHz, so erfordert die Unterdrückung des einen Seitenbandes Filter, die Frequenzbänder, welche 600 Hz, also 10% vom Träger, voneinander entfernt sind, einwandfrei trennen. Da auf Hochspannungsleitungen die tiefste Trägerfrequenz größenordnungsmäßig 60 kHz beträgt, liegt das zu unterdrückende Seitenband nur 1%, bezogen auf den Träger, vom durchzulassenden ab, bei 120 kHz sogar nur 0,5%. Solche Trennschärfen lassen sich wegen der zeitlichen Inkonstanz der Filterelemente, nämlich der Kondensatoren und Spulen, auf die Dauer nicht sicherstellen. Die Quarzfilter eröffnen hierfür neue Möglichkeiten.

Zur Zeit arbeitet man zwecks Verminderung dieser Schwierigkeiten mit Doppelmodulation, d. h. man drückt die Sprache zunächst auf eine tiefe Trägerfrequenz, z. B. 6 kHz und führt dann die Trennung der Seitenbänder durch. Moduliert man nun mit dem einen Sprachseitenband, z. B. dem oberen, das etwa von 6300 bis 8700 Hz reicht, einen zweiten Träger, der für die Übertragung auf Hochspannungsleitungen bestimmt ist, von beispielsweise 100 kHz, so ergeben sich zwei Seitenbänder von 106300—108700 bzw. 93700—91300 Hz (Bild 55). Der Abstand der beiden Seitenbänder ist  $d = 106300 - 93700 = 12600$  Hz, d. h. etwa 12% der Trägerwelle. Diese Trennung ist praktisch durchführbar.

Für die doppelte Modulation erhöht sich natürlich der Röhrenaufwand. Man kann ihn aber durch Verwendung von Gleichrichtern für

<sup>1</sup> Vogel u. Roloff: Hochfrequenz-Einfachtelephoniesystem. Veröff. Nachrichtentechn. 1933 3. Folge.



Modulationszwecke (sog. Ringmodulatoren), wie sie bei der Hochfrequenzübertragung auf Breitbandkabeln verwendet werden, herabsetzen. Hierbei wird gleichzeitig der Träger weitgehend unterdrückt.

Durch die entsprechende Entwicklung der Trägerstromübertragungen auf Kabeln wurden wesentliche Vorarbeiten für den Einsatz von Einseitenbandgeräten auf Hochspannungsleitungen geleistet. Abgesehen von den wirtschaftlichen Vorteilen, die sich aus der Übernahme der für ein verwandtes Arbeitsgebiet schon entwickelten Bauelemente ergaben, konnte man auch die bereits vorhandenen technischen Erfahrungen verwenden.

**a) Das Zweikanalsprechsystem mit Unterdrückung des Trägers und eines Seitenbandes.** Das unter der Bezeichnung „Einseitenbandsprechsystem“ für Hochspannungsleitungen in Deutschland bekannt gewordene Zweikanalsprechsystem arbeitet mit Geräten, die für den Gegenseprechverkehr zwei unmittelbar benachbarte Frequenzbänder benutzen. Hierbei kann der Hochfrequenzerzeuger eines Gerätes sowohl zur Erzeugung des Sendebandes als auch zur Umsetzung des empfangenen Bandes in die niederfrequente Lage dienen. Diese Anordnung hat den großen Vorzug, daß ein Gespräch, das bei Zweiseitenbandübertragung eine Bandbreite von 5 kHz je Gesprächsrichtung, zusammen also 10 kHz verlangt (wobei die Bänder für Senden und Empfangen mindestens 10 kHz voneinander getrennt liegen müssen), hier insgesamt nur einen 5 kHz breiten Kanal erfordert. Praktisch bedeutet dies, daß man innerhalb des in Deutschland festliegenden 5 kHz-Schemas in einer einzigen Frequenzlücke von 5 kHz ein vollständiges Gespräch unterbringen kann, während das Zweikanalsystem mit Zweiseitenbandübertragung zwei solcher Lücken benötigte. Bezüglich Ersparnis an Frequenzbandbreite ist übrigens das Zweikanalsystem mit Einseitenbandübertragung dem Einkanalssystem mit Zweiseitenbandübertragung gleichwertig. Dagegen besitzt das Einseitenbandsystem nicht wie das Einkanalssystem die durch die Richtungsumschaltung des Kanals bedingten Nachteile. Mit ihm ist vielmehr uneingeschränktes Gegendesprechen mit jederzeitigem In-die-Rede-fallen möglich.

Sind mehr als zwei Sprechstellen in einem Abschnitt zusammengefaßt, so muß für den beliebigen Untereinanderverkehr ein automatischer Wechsel der Seitenbänder vorgenommen werden, damit nicht zwei Sprechstellen im Gegenverkehr das gleiche Seitenband senden bzw. empfangen.

Der hohe Pegelunterschied zwischen Sende- und Empfangsspannung bei der Elektrizitätswerkstelefonie bringt gegenüber der Anwendung des Einseitenbandverfahrens auf Breitbandkabeln erhöhte Anforderungen bezüglich Fernhaltung von Kombinationstönen vom Empfänger.

Da der Träger nicht mitverstärkt wird, steht die gesamte Röhrenleistung der Endstufe zur Verstärkung des einen Seitenbandes zur

Verfügung. Damit wird eine Vergrößerung des Störpegelabstandes erzielt. Darüber hinaus besteht bezüglich des Störpegels noch der Gewinn, daß in dem halben Band auch ein geringeres Störvolumen von der Leitung empfangen wird. Für Höchstspannungsleitungen ist dies wegen ihres hohen Störpegels von Bedeutung. Für wehrpolitisch wichtige Leitungen spielt die verminderte Abhörbarkeit der Einseitenbandgespräche infolge Fehlens des Trägers auf der Leitung eine Rolle. Auch die Vielfachausnutzung der Sperren (eine der jetzigen Doppelwellensperren für zwei Gespräche) ist als Vorzug zu bewerten.

Der Übergang von der Zweiseitenbandübertragung auf die Einseitenbandübertragung, wie er für Sprechgeräte eingehender erörtert wurde, ist grundsätzlich auch bei anderen HF-Fernmeldekanälen auf Hochspannungsleitungen durchführbar, so z. B. für Fernmessungen, Streckenschutz usw. Die zur Zeit beginnende Einführung des Einseitenbandprinzips für die Nachrichtenübermittlung über Hochspannungsleitungen stellt bisher die durchgreifendste Maßnahme zur Lösung des Problems der Frequenzersparnis dar.

## **2. Die Kombination von Zweikanalsprechsystemen mit anderen Hochfrequenzfernmeldungen.**

Eine grundsätzlich andere Möglichkeit der Frequenzersparnis besteht darin, daß man die hochfrequenten Trägerwellen der Zweikanalsprechgeräte gleichzeitig für andere Fernmeldezwecke benutzt. Da bei fast allen größeren EW-Netzen außer dem Sprechbedürfnis auch vielfältige andere Fernmeldebedürfnisse zu befriedigen sind, hat man diese Methode häufig mit Erfolg angewendet. Sie wird deshalb auch weiter ihre Bedeutung behalten.

Eine Kombination der Sprachübertragung mit anderen Fernmeldungen ist, ebenso wie bei Zweikanalendverbindungen auch bei Sprechabschnitten mit Zwischenverstärkern möglich.

Man muß grundsätzlich unterscheiden zwischen Fernmeldungen, die

- a) während der *Gesprächspausen* und
- b) solchen, die *gleichzeitig* mit den Gesprächen auf den Telefoniewellen übermittelt werden.

Während Übertragungen in den Gesprächspausen auch bei Einkanalssystemen in beiden Richtungen nacheinander ausgeführt werden können, sofern nicht Gleichzeitigkeit der Übertragungen in beiden Richtungen verlangt wird, läßt sich gleichzeitig mit den Gesprächen eine Fernmeldung auf den Telefoniewellen praktisch nur mit Zweikanalsystemen erzielen, da bei Einkanalanlagen der eigene Träger während des Empfanges verschwindet. Zeitweise verschwindende Telefonieträger sind natürlich für kontinuierliche Fernmeldungen nicht geeignet.

Bei der Mitbenutzung der Sprechgeräte für andere Fernmeldungen ist grundsätzlich zu beachten, daß im allgemeinen die Sprechkanäle im Ruhezustand nicht aufgebaut sind. Eine kontinuierliche Fernmeldung fordert naturgemäß einen Dauerbetrieb des Übertragungskanal.

a) In den Gesprächspausen läßt sich von anderen Fernmeldungen, z. B. Fernmessen auf Anwahl oder eine ständige, jedoch durch die Gespräche unterbrochene Fernmessung sowie Schalterstellungsmeldung und Schaltersteuerung, schließlich auch Fernschreiben mit den Telefoniewellen durchführen.

b) *Gleichzeitig* mit den Gesprächen kommt Unterlagerung oder Überlagerung der Sprache hauptsächlich für kontinuierliche Fernmessung und Fernregelung in Betracht. Diese Möglichkeit bleibt grundsätzlich auch beim Einseitenbandsystem erhalten. Hierbei bringt jedoch die Unterlagerung bereits eine Verbreiterung des zu übertragenden Bandes mit sich. Sie erhöht damit für das Einseitenbandgerät die Forderungen hinsichtlich der Trennung des Seitenbandes vom Träger. Die Bandverbreiterung durch die Überlagerung sprengt andererseits bei Ein- und Zweiseitenbandgeräten das 5 kHz-Schema.

Schließlich können die Telefoniewellen gleichzeitig für die Energieichtungsmeldung von einem Leitungsende zum anderen dem Zwecke des selektiven Streckenschutzes dienen.

#### a) **Anderweitige Verwendung der Telefoniewellen während der Gesprächspausen.**

a) **Fernmessung auf Anwahl und Dauermessung, unterbrochen durch Gespräche.** Bei einer Fernmessung nach dem Impulsfrequenzverfahren<sup>1</sup>, bei dem die Impulszahl je Zeiteinheit den Meßwert kennzeichnet, wird die Telefoniewelle in Impulse z. B. durch den Zählerkontakt des Fernmeßgebers zerhackt. Die fernübertragenen Impulse des Trägerstromes werden vom Anrufempfangsrelais des Telefoniegerätes aufgenommen. Dies steuert im Takt der Impulse bei diesem Fernmeßverfahren den Ladekreis eines Kondensators der Meßempfangseinrichtung, die entsprechend der Kondensatorladung die Anzeige bzw. die Aufzeichnung des Meßwertes vornimmt.

Die Erzeugung und Verstärkung des Hochfrequenzträgers auf der Sendestelle, seine Verstärkung und Gleichrichtung auf der Empfangsstelle geschieht also mit den vorhandenen Einrichtungen des Telefoniegerätes. Lediglich die Erzeugung der die Meßgröße kennzeichnenden Impulsfolge sowie die Umsetzung der wieder gleichgerichteten Impulse in die entsprechende Meßwertanzeige erfolgt in zusätzlichen Meßgebern

<sup>1</sup> Schleicher: Elektrische Fernüberwachung und Fernbedienung für Starkstromanlagen und Kraftbetriebe. Berlin: Julius Springer 1932, Abb. 28, S. 45. Stäblein: Die Technik der Fernwirkanlagen. Oldenbourg 1934, S. 44.

und Meßempfängern. Der Kanal für die Meßübertragung ist also vollständig durch die Übertragungseinrichtung der Telefonie gegeben.

Einschränkungen im Fernsprechverkehr werden durch die Fernmessung auf Anwahl nicht verursacht, insbesondere ist die Zahl der in einem Sprechabschnitt zu verwendenden Sprechgeräte nicht begrenzt, wie wir es im Gegensatz dazu bei den Dauerübertragungen sehen werden. Bei mehreren Hochfrequenzsprechabschnitten in Reihe bzw. beim Übergang von HF-Sprechgeräten auf Niederfrequenzautomaten werden zur Einhaltung einwandfreier Impuls- und Pausenlängen beim Ruf häufig Schaltungen zur Impulsberichtigung erforderlich. Diese müssen für die Messung umgangen werden, da sie den Meßwert, der ja beim Impulsfrequenzverfahren proportional der Impulszahl je Sekunde ist, fälschen können.

Bei einer Fernmessung auf Anwahl nach dem Impulsfrequenzverfahren vollzieht sich unter Benutzung der Telefoniewellen der Betrieb etwa folgendermaßen:

Der Lastverteiler wählt eine besondere Anrufnummer auf seiner Nummernscheibe am Sprechgerät. Damit sendet er die Telefonieanrufwelle  $f_1$  zu der Sprechstelle, deren Meßwert er zu wissen wünscht. Der Drehwähler der Anrufautomatik läuft dort auf den entsprechenden Schritt. In Abhängigkeit von diesem Kontakt wird der Zähler der Meßeinrichtung auf die Gegenträgerwelle  $f_2$  geschaltet. Das von der Kontaktscheibe des Zählers gesteuerte Tastrelais zerhackt die Gegensprechwelle  $f_2$  in HF-Impulse. Das Anrufrelais der Lastverteilersprechstelle nimmt die Impulse nach ihrer Gleichrichtung auf und leitet sie der Meßempfangseinrichtung zu, die bereits bei der Wahl der Anrufnummer der Meßstelle durch den Lastverteiler an dessen auf  $f_2$  abgestimmten Empfänger angeschaltet wurde.

Die Fernmessung auf Anwahl kann nur vorgenommen werden, wenn die Sprechwellen nicht durch ein Gespräch belegt sind. Im allgemeinen ist das Gespräch vordringlicher als die Messung, so daß Eintrittsmöglichkeiten in ein bestehendes Gespräch für den Meßbetrieb nicht vorgesehen werden.

Die Dauer der Meßwertübertragung wird entweder durch ein Zeitglied in der Sendestelle begrenzt oder auch durch einen Wahlvorgang von einer HF-Sprechstelle aus. Die Zahl der wahlweise übertragbaren Meßwerte richtet sich einerseits in gewissem Umfange nach der freien Nummernzahl der Anrufautomatik, andererseits nach der etwa an diese angeschlossenen Verteilereinrichtung für die Nacheinanderübertragung mehrerer Meßwerte. Schließlich hängt sie von der Länge der Gesprächspausen ab, falls der Sprechverkehr den Vorrang vor der Meßübertragung hat und eine sehr große Dichte aufweist.

Außer für Fernmessung auf Anwahl können die HF-Wellen des Sprechgerätes unter gewissen Voraussetzungen auch für ständige Fern-

messung während der Gesprächspausen benutzt werden. Dann wird die Fernmessung z. B. durch Abheben des Hörers bzw. durch Betätigung der Wählscheibe für den Ruf zum Gesprächsaufbau unterbrochen. Das Wiederauflegen des Hörers bzw. das Wegbleiben des Trägers für eine Zeit, die länger ist als die Pausen bei der Zerschneidung des Trägers durch die Wählscheibe oder auch ein besonderes Schlußzeichen am Ende des Gespräches schaltet die Fernmessung wieder selbsttätig ein. I. a. wird man sich hierbei mit einer *Anzeige* des Meßwertes begnügen und von einer Registrierung absehen, da der Registrierstreifen während der Gespräche Lücken aufweist.

Die Sprechgeräte müssen in diesem Falle für Dauersendung des Trägers geeignet sein, z. B. also eine Dauerpegelregelung besitzen, um

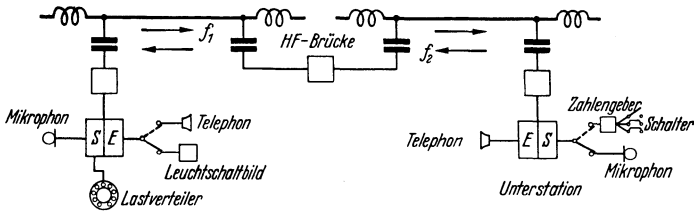


Bild 56. Schalterstellungsmeldung auf Anwahl.

eine konstante Empfangsspannung trotz schwankender Leitungsdämpfung sicherzustellen.

β) **Schalterstellungsmeldung und Schaltersteuerung.** Eine Schalterstellungsänderung wird entweder unmittelbar vom überwachten Schalter eingeleitet, wenn dieser auslöst, oder auch durch Abfragen von einer Netzüberwachungsstelle aus. Im ersten Fall läßt der auslösende Schalter in der überwachten Station einen Zahlengeber an, der die HF-Verbindung zur Meldeempfangsstelle wie beim Ruf vor einem Gespräch aufbaut und damit den Übertragungskanal für die Meldeimpulse herstellt. Anschließend werden selbsttätig die Meldeimpulse des Fernmeldegerätes übermittelt. Der zweite Fall, die Abfrage der Schalterstellungen durch den Lastverteiler, unterscheidet sich bezüglich des Übertragungskanals kaum von der Fernmessung auf Anwahl; d. h. wenn der Lastverteiler die Stellung der Schalter in einer bestimmten Unterstation wissen will, hebt er seinen Handapparat von der Gabel des Sprechgerätes und wählt auf seiner Nummernscheibe eine bestimmte Nummer (Bild 56). Dadurch sendet er die eine Sprechträgerwelle  $f_1$  aus und zerschneidet diese in Impulse. Er erreicht damit die gewünschte Gegenstation und läßt auf dem gewählten Kontaktschritt des dortigen Drehwählers deren Fernmeldegerät an. Auf der Gegensprechwelle  $f_2$  sendet das Fernmeldegerät die den Schalterstand kennzeichnende Impulsreihe zurück. Diese trifft beispielsweise auf eine beim Wählen der Abfragenummer an den eigenen Empfänger des Lastverteilers gelegte Anzeigeeinrichtung,

die die Schaltersymbole auf dem Leuchtschaltbild entsprechend dem übertragenen Schalterstand aufleuchten läßt. Soweit ist praktisch kein Unterschied bezüglich der Übertragung in der Abfrage der Schalterstellung und der Fernmessung auf Anwahl.

Gegenüber dieser muß die Meldeeinrichtung aber dafür sorgen, daß durch entsprechende Kontrollanordnungen die Richtigkeit jeder Impulsübertragung gewährleistet wird, da mit gelegentlichen Störimpulsen z. B. durch Wanderwellen gerechnet werden muß. Diese Sicherstellung geschieht nach den bekannten Verfahren der spiegelbildlichen Übertragung der Impulse, der Ergänzungsbildung von Zahlenreihen, der Wiederholung, durch Pausenkriterien usw.<sup>1</sup> Der wesentlichste Unterschied im Hinblick auf den Übertragungskanal liegt jedoch in der Notwendigkeit, bei Stellungsänderung eines Schalters während eines Gespräches die Meldung trotz besetzter Leitung sofort zu übertragen. Die Schalterstellungsmeldung muß also in diesem Falle vor dem Gespräch den Vorrang erhalten, d. h. der Zahlengeber muß sich auf ein bestehendes Gespräch aufschalten können. Natürlich hören die Sprechenden die Impulsübertragung oder werden kurzfristig abgeschaltet. Die bestehende Sprechverbindung braucht aber nicht zusammenzufallen. Die Störung infolge der Meldung dauert nur wenige Sekunden.

Dieser Vorrang der Meldung vor dem Gespräch erfordert besondere Schaltmaßnahmen, wenn die Zahl der Sprechstellen im Sprechabschnitt zwei übersteigt. Bei mehr als zwei kann die Möglichkeit bestehen, daß zwischen 1 und 2 ein Gespräch läuft, während von 3 nach 1 eine Schalterstellungsmeldung übertragen werden soll. Da zu beiden Übertragungen das gleiche Frequenzpaar benutzt wird, muß die Leitung erst vom Gespräch freigemacht werden. Dazu kann man beispielsweise die Aussendung eines Störtones auf einer der Trägerwellen benutzen und hierdurch den Abbruch eines Gespräches erzwingen. Bei mehr als zwei Sprechstellen muß daher mit einer gewissen Verzögerung in der Durchgabe der Meldung während eines Gespräches gerechnet werden. Diesen Nachteil kann man durch Bildung von Sprechabschnitten mit Verstärkern für die Zwischenstationen und Daueraussendung der Trägerwellen von den beiden Endstationen bei geeigneter Netzgestaltung vermeiden (Bild 115). Die Abschaltung der Sprechapparate von den Trägerwellen geschieht dann unverzüglich durch einen Tonimpuls, der z. B. der Sprache unterlagert ist und die Rufrelais in Abhängigkeit von der Schalterstellungsmeldung betätigt. Die Schalterstellungsmeldung erfolgt gleichfalls durch Tonimpulse.

Die Schaltersteuerung wird in der gleichen Verkehrsrichtung wie die Abfrage der Schalterstellungen vorgenommen. Der Befehlsschalter läßt

<sup>1</sup> Stäblein: Die Technik der Fernwirkanlagen, Oldenbourg 1934, S. 134 ff. — Henning: Die Siemens-Fernbedienungseinrichtung nach dem Wählersystem. Siemens-Z. Bd. 18 (Mai 1938) Heft 5.

einen Zahlengeber an, der den Übertragungskanal für die Steuerimpulse wie beim Ruf vor einem Gespräch aufbaut. Anschließend werden selbsttätig die Steuerimpulse des Fernsteuergerätes übermittelt.

γ) **Fernschreibung.** Die einfachste Art, während der Gesprächspausen die Hochfrequenzwellen einer Sprechverbindung zum Fernschreiben heranzuziehen, ist die, das Fernschreiben auf einer im Sprachband liegenden Hilfsfrequenz von z. B. 900 Hz nach Art der „Eintontelegrafie“

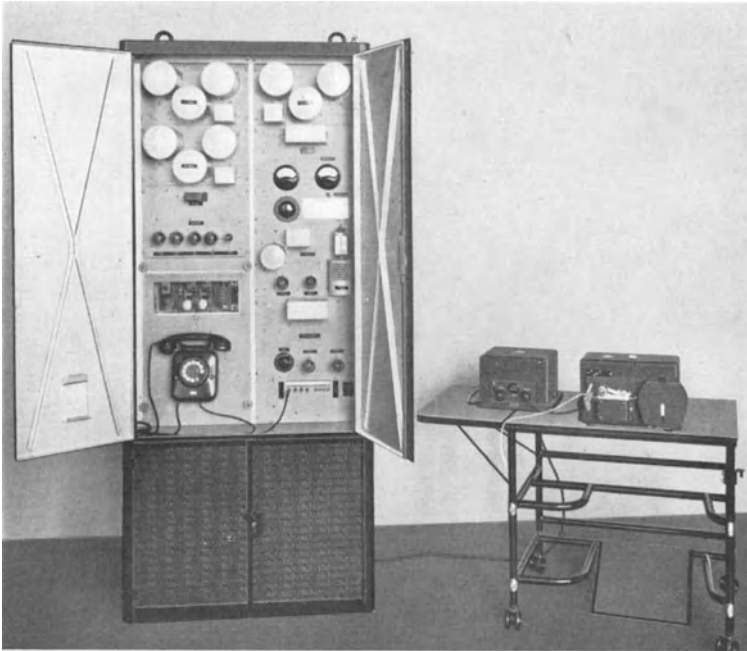


Bild 57. Zusammenschaltung eines HF-Fernsprechgerätes mit einem Typenbildschreiber.

vorzunehmen. Bei modernen HF-Geräten kann dann die Zuschaltung der Fernschreibanlage an Stelle des Teilnehmerapparates im HF-Gerät i. a. ohne wesentlichen Eingriff erfolgen (Bild 57). Die betriebsmäßige Einordnung erfordert allerdings eine einfache Zusatzautomatik zur normalen Automatik des HF-Sprechgerätes.

Um die Zeit während der Gesprächspausen bei dichtem Sprechverkehr bestens auszunutzen, empfiehlt es sich, an Stelle eines Handgebers einen Maschinengeber zu verwenden, der den mit den vorliegenden Nachrichten vorbereiteten Lochstreifen in dem höchsterreichbaren Telegrafiertempo während der Pausen durchgibt.

Das Fernschreiben bietet gegenüber dem Gespräch den Vorteil, wichtige Schaltbefehle schriftlich festzulegen und Mißverständnisse durch

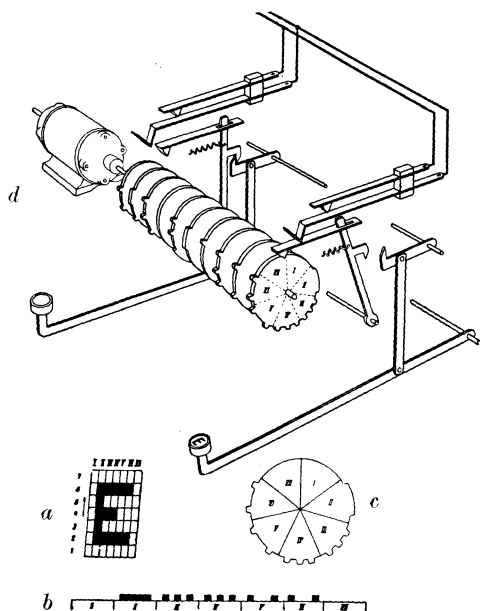


Bild 58. Prinzip des Siemens-Hellschreibers (Sendeseite).  
*a* Aufteilung des Buchstabenfeldes für den Buchstaben E; *b* Stromschrittfolge des Zeichens E; *c* Nockenscheibe für den Buchstaben E; *d* Grundsätzliche Senderdarstellung.

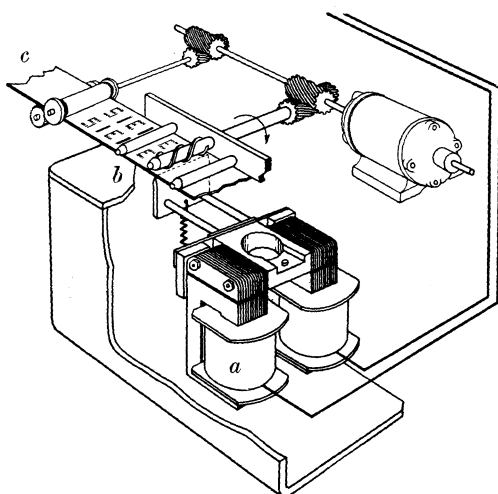


Bild 59. Prinzip des Siemens-Hellschreibers (Empfängseite).  
*a* Empfangsmagnet mit Anker; *b* Schreibspirale; *c* Schreibstreifen.

Hörfehler auszuschließen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß bei hohem Störpegel auf der Hochspannungsleitung die nach dem Fünferalphabet arbeitende Fernschreibmaschine<sup>1</sup> infolge von Störimpulsen falsche Zeichen schreiben kann. Bei Durchgabe von Schalternummern, Zählerständen, Leistungswerten usw. können dadurch schwerwiegende Folgen eintreten, sofern man die Zahlenangaben nicht wiederholt.

Der Siemens-Hell-Schreiber bietet demgegenüber den großen Vorteil, daß Störimpulse keine falschen Zeichen hervorrufen können. Das liegt in seinem Prinzip als Typenbildgerät begründet<sup>2</sup>. Er erlaubt allerdings nicht das „Blattschreiben“ wie die Fernschreibmaschine, sondern gibt die übertragenen Zeichen auf einem Streifen wieder (Bild 59).

Die wirtschaftlichere Ausnutzung der HF-Sprechkanäle durch Fernschreiben während der Gesprächspause besonders mit dem weitgehend störungsunabhängigen SH-Schreiber wird mit zunehmender Verbundwirtschaft zweifellos an Bedeutung gewinnen. Außerdem lassen sich Sprechkanäle erfahrungsgemäß dadurch stark entlasten.

<sup>1</sup> Jipp: Moderne Telegrafie, S. 7, Bild 3.

<sup>2</sup> Vilbig: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik 1937 S. 577ff. — Damjanovic: Der Siemens-Hellschreiber. Z. Fernmeldetechn. Jg. 17 (1936) Nr. 12.



### b) Anderweitige Verwendung der Telefoniewellen gleichzeitig mit dem Gespräch.

a) Überwachung der Hochspannungsübertragung durch die Trägerwellen. Die direkte Benutzung der Telefoniewellen kommt für den HF-Selektivschutz in Frage, der die schnellste Abschaltung des kranken Netzteiles bezweckt<sup>1</sup>. Durch das bloße Vorhandensein der Wellen kann der Ruhezustand für die zusätzliche Meldung dargestellt werden, während ihr kurzfristiges Verschwinden den Arbeitszustand der Meldung kennzeichnet. Da beim Fernsprechen die Trägerwelle durch die Modulation nur ihre Amplitude ändert, aber nicht ganz verschwindet, wird durch das Gespräch der Ruhezustand der Zusatzmeldung nicht gestört. Die

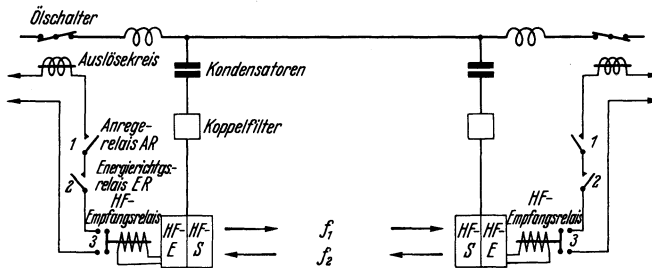


Bild 60. Grundsaltung des Hochfrequenzstreckenschutzes.

Unterbrechung der Trägerwelle durch die Meldung darf natürlich andererseits nur kurz sein, so daß die Sprechverbindung hierdurch nicht ernstlich beeinträchtigt wird. Sie muß jedoch wesentlich länger als die Unterbrechung durch den Ruf sein, damit dieser bei Zerhackung der Trägerwelle nicht eine Meldung vortäuscht. Man kann diese Schwierigkeit vollständig umgehen, wenn man die Hochfrequenzträgerwelle für Rufzwecke nicht zerhackt, sondern mit Tonfrequenzen moduliert.

Solche zusätzlichen Meldungen über die Sprachträgerwellen sind die Energierichtungsmeldungen von einem Leitungsende zum anderen zur Ermittlung der Fehlerstelle beim hochfrequenten Selektivschutz (Bild 60).

Für die selektive Schnellabschaltung einer Leitungsstrecke sind drei Kennzeichen erforderlich: 1. ein Überstrom oder eine Unterimpedanz läßt das *Anreicherrelais* AR (linke Seite der Zeichnung) ansprechen, 2. gleichzeitig läuft das *Energierichtungsrelais* ER an. Geht die *Energierichtung nach dem Innern der Leitung*, und liegt daher der Fehler in dieser Richtung, so wird die hochfrequente Trägerwelle  $f_1$  von der Leitung abgeschaltet. Wird 3. auch die Gegenträgerwelle  $f_2$  durch das *Energierichtungsrelais* am anderen Leitungsende fortgenommen, weil auch dort die *Energierichtung nach dem Leitungsabschnitt* weist, und fällt dadurch das *eigene HF-Empfängerrelais* ab, so sind die drei Kennzeichen für die Schnellabschaltung des gestörten Leitungsabschnittes gegeben. Die Auslösung

<sup>1</sup> Neugebauer: Schrifttum zur Einleitung B, 26.

erfolgt dann über den nunmehr geschlossenen Auslösekreis unverzüglich. Der Fehler muß in diesem Falle, wo die Energierichtungsrelais an den beiden Leitungsenden nach innen zeigen, auf diesem Leitungsabschnitt liegen, da der Energiefluß bei Kurzschluß stets nach der Störungsstelle hin gerichtet ist. Bei einseitiger Speisung wird die fehlende Anregung auf der Gegenstation dadurch ersetzt, daß das Ausbleiben des Trägers  $f_1$  von der anderen Leitungsseite den eigenen Träger  $f_2$  nach kleiner Wartezeit fortnimmt (Echoschaltung).

Der Vorteil des überlagerten hochfrequenten Streckenschutzes liegt gegenüber der alleinigen Verwendung des meist als Grundschutz beibehaltenen Impedanz-Reaktanzschutzes oder des Schutzes mit unabhängiger Zeit vor allem in der Verkürzung der Abschaltzeit.

Da das Zweikanal-Fernsprechsystem zum Gegensprechverkehr zwischen zwei Sprechstellen definitionsgemäß zwei Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  verwendet, kann man für den selektiven Schutz einer Drehstromleitung die Hochfrequenzsprechgeräte ständig eingeschaltet lassen, um durch Unterbrechen des hochfrequenten Ruhestromes die Anzeige des Energierichtungsrelais „nach Innen“ an einem Leitungsende zur Gegensprechstelle am anderen Leitungsende zu melden. Auch diese Daueraussendung der Trägerwelle für Selektivschutzzwecke erfordert wie die für eine ständige Fernmessung eine dauernd wirkende Pegelregelung zur Konstanthaltung der Empfangsspannung.

Die Sicherheit der HF-Übertragung ist durch das *Ruhestromverfahren* weitgehend gewährleistet, da hierbei Geräte und Leitung ständig überwacht werden. Auch eine Unterbrechung des Hochfrequenzkanals durch eine Leitungsstörung beeinträchtigt bei dieser Schaltung den Schutz nicht, da in diesem Falle des Fehlers im Leitungsabschnitt die Hochfrequenzträger sowieso durch die Energierichtungsrelais an den beiden Enden des Abschnittes abgeschaltet würden. Tritt eine Störung der HF-Geräte ein, so erfolgt Alarm. Der überlagerte HF-Schnellschutz wird dann in geeigneter Weise (Zeitspalt) selbsttätig abgeschaltet, und der Grund-Impedanzschutz z. B. übernimmt allein die Überwachung.

Voraussetzung für die Heranziehung der Telefoniewellen zum Streckenschutz in der geschilderten Weise ist, daß nur zwei Sprechgeräte im Sprechabschnitt für den Gegenverkehr vorhanden sind (vgl. S. 69. sog. Endverkehr).

Handelt es sich um eine Doppelleitung, so genügen die zwei hochfrequenten Trägerwellen für die Meldung der vier möglichen Energierichtungen an den zwei Leitungsenden nicht. Hier muß man zur Mehrfachmodulation der Trägerwellen greifen, die unter b,  $\gamma$ ) behandelt ist.

**$\beta$ ) Unterlagerungsverfahren.** Da die einwandfreie Übertragung von Sprache, wie ausgeführt, ein Sprachband von 300—2400 Hz verlangt, kann theoretisch eine Reihe von Tönen sowohl unterhalb wie oberhalb des Sprachbandes übertragen werden. Die Verbreiterung des zu über-

tragenden Seitenbandes nach oben läßt sich allerdings nur mit entsprechender Verbreiterung der Filter durchführen: Eine derartige Bandverbreiterung würde das 5 kHz-Frequenzschema im Wellenplan stören (vgl. S. 49) und dadurch der günstigsten Ausnutzung des verfügbaren Frequenzbereiches abträglich sein. Die Unterlagerung des Sprachbandes mit Frequenzen tiefer als 300 Hz weist den Nachteil der Kanalverbreiterung nicht auf.

Da die Unterlagerung gleichzeitig mit der Sprachübertragung erfolgen soll, muß die Endröhre neben der Träger- und der Sprachbandleistung auch noch die Leistung für die Unterlagerungsbänder aufbringen. Um eine einwandfreie Übertragung zu gewährleisten, muß bei allen HF-Kanälen der Abstand zwischen dem Nutzspannungspegel („Nutzpegel“) und dem auf Höchstspannungsleitungen stets vorhandenen Störspannungspegel („Störpegel“) genügend groß sein. Einerseits sinkt nun der Nutzpegel am Empfänger mit der Dämpfung der Leitung sowie mit dem Einsatz von energieverzeh-

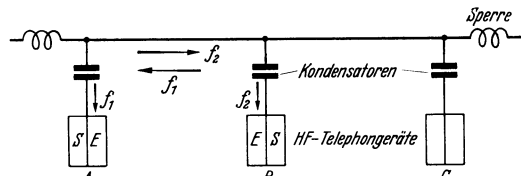


Bild 61. Beschränkung der HF-Stationszahl bei Dauerermessung auf den Telefoniewellen.

renden Brücken; andererseits steigt der Störpegel der Leitung mit Abnahme des Isolationsgrades, d. h. bei feuchtem Wetter, wenn die Hänge- oder Stützerisolatoren anfangen zu sprühen und damit eine Funkenerregung eintritt, die über das ganze Frequenzspektrum geht. Um auch für diesen Fall einen genügenden Störpegelabstand zu haben, benötigt man Reserven. Diese werden durch eine Unterlagerung unterhalb des Sprachbandes zum Teil aufgezehrt. Man macht daher von der Unterlagerung nur da Gebrauch, wo die Übertragungsverhältnisse energetisch günstig liegen, und wo nur die Übertragung eines einzigen Wertes verlangt wird, z. B. die Fernmessung eines Leistungswertes. Zu den energetischen Schwierigkeiten tritt nämlich noch die nicht einfache Aufgabe der Frequenztrennung; z. B. entstehen bei der Unterlagerung von 200 Hz auch 400 Hz als obere Harmonische, die in das Sprachband fallen und dadurch die Sprachübertragung stören würden.

Eine gewisse Anwendungsbeschränkung liegt bei der Heranziehung beider Telefoniewellen eines Sprechkanals für Dauerübertragungszwecke mit und ohne Unterlagerung darin, daß die Zahl der HF-Sprechgeräte im Abschnitt zwei nicht überschreiten darf, da durch ständige Aussendung der beiden Hochfrequenzträgerwellen die Empfänger der Gegensprechstellen A, B dauernd mit  $f_1$  bzw.  $f_2$  besetzt sind; eine dritte Sprechstation C kann also keinen der beiden Empfänger — weder mit  $f_1$  noch mit  $f_2$  — erreichen (Bild 61).

Bei der Kombination von Sprechgeräten mit Hochfrequenzstreckenschutzeinrichtungen ist die Beschränkung auf zwei Geräte im HF-Abchnitt wirtschaftlich stets tragbar, da der Streckenschutz an sich je Leitungsende einen Sender und Empfänger verlangt und i. a. Zwischenstationen im Leitungszuge ausschließt.

Nimmt man eine Meßwertübertragung mit Unterlagerung auf einer hochfrequenten Trägerwelle, die sonst der Sprachübertragung dient, vor, so darf die Trägerfrequenz für Rufzwecke nicht mehr in Impulse zerhackt werden, da sonst auf dem Registrierstreifen der Messung jeder Ruf als Störwischer aufgezeichnet würde. Andererseits fehlt infolge der

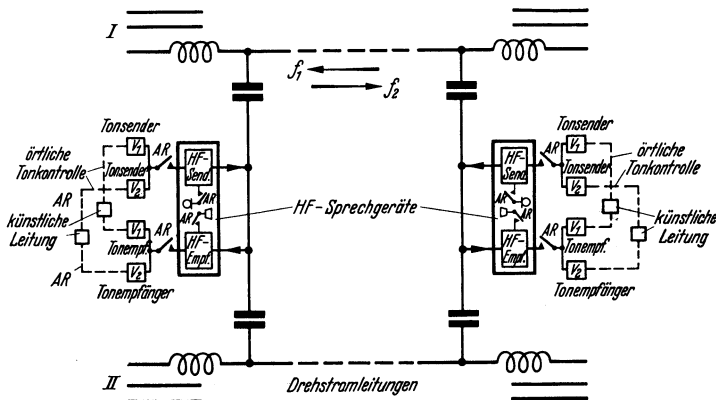


Bild 62. Hochfrequenzstreckenschutz zweier Drehstromleitungen mit Hilfe von Tonfrequenzmodulation der Hochfrequenzträgerwellen der Sprechgeräte.

Daueraussendung des Trägers die Möglichkeit, diesen bei der Gesprächsherstellung zur Belegung der Leitung erscheinen und als Schlußzeichen bei Gesprächsbeendigung verschwinden zu lassen (Bild 126, S. 153).

Man benutzt daher für den Ruf einen zweiten Unterlagerungston. Da dieser nie gleichzeitig mit der Sprache auftritt, entfallen außer den Bedenken gegen die Verringerung der Reserven auch die Filterschwierigkeiten für die Trennung des unterlagerten Rufes vom Sprachseitenband. Dieser Ton kann sogar direkt im Sprachband liegen.

**$\gamma$ ) Tonfrequenzübertragungen innerhalb des Sprachbandes.** Will man für die Energierichtungsmeldung beim selektiven Streckenschutz von zwei Drehstromleitungen die nötige Zahl der Kanäle zur Ersparnis an Trägerwellen durch Tonfrequenzmodulation der Telefoniewellen gewinnen, so benötigt man mindestens zwei Tonfrequenzen, um die Meldungen der Energierichtung von beiden Systemen voneinander zu trennen (Bild 62). Unterhalb des Sprachbandes sind diese aus den genannten Gründen nicht unterzubringen. Man legt sie also in das Sprachband hinein. Ihre Dauerübertragung gleichzeitig mit der Sprache ist dann nicht möglich. Die Modulation mit den Tonfrequenzen erfolgt vielmehr

erst auf Wirkung des Anregerrelais  $AR$ , das gleichzeitig den Sprechkreis von der Trägerwelle für Bruchteile von Sekunden abtrennt. Da die *hochfrequenten* Trägerwellen in Gegenrichtung frequenzverschieden sind, kann man für die beiden Energierichtungsmeldungen in der Gegenrichtung die gleichen Tonfrequenzen wieder verwenden. Man braucht also für jeden zu schützenden Doppelleitungsabschnitt nur zwei verschiedene Tonfrequenzen.

In Abhängigkeit von der Anregung werden nach Abschaltung der Sprache die zwei Tonfrequenzen für die Energierichtungsmeldungen an jedem Leitungsende den hochfrequenten Trägerwellen aufmoduliert. Die Tonfrequenz, die demjenigen Drehstromsystem zugeordnet ist, bei dem die Energierichtung nach dem Leitungsinnen zeigt, wird vom Energierichtungsrelais unterbrochen. Damit fällt das entsprechende Tonfrequenzempfangsrelais der Gegenstelle ab. War auch hier die Energierichtung nach innen gerichtet, so erfolgt die Freigabe für die Leitungsabschaltung, da dann der Fehler dieses Systems auf diesem Leitungsabschnitt liegen muß. Es sind also genau die gleichen drei Kriterien für die Abschaltung erforderlich wie beim Schutz *einer* Drehstromleitung (vgl. Bild 60). Nur werden die Tonfrequenzen über die Trägerwellen erst zur Gegenstation geschickt, nachdem das Anregerrelais angesprochen hat.

Die Beschränkung auf zwei Tonfrequenzen infolge des Frequenzunterschiedes der Gegenträgerwellen erlaubt im Ruhezustand eine örtliche Überwachung der eigenen *Tonfrequenzempfänger* durch die eigenen *Tonfrequenzsender*, da in Gegenrichtung dieselben Tonfrequenzen laufen. Damit wird die *Ruhestromüberwachung* der *Hochfrequenzträgerwellen* über die Leitung durch eine entsprechende *örtliche Überwachung* der *Tonfrequenzen* wirksam ergänzt. Dieser örtliche Überwachungskreis *Tonfrequenzsender—Tonfrequenzempfänger* wird erst bei Aufschaltung der Tonfrequenzen auf die Trägerwellen in Abhängigkeit von der Anregung unterbrochen. Gegebenenfalls muß durch Übertragung der Anregung von einem Leitungsende auf die Gegenstelle — z. B. durch kurzfristige Unterbrechung der hochfrequenten Trägerwelle<sup>1</sup> — dafür gesorgt werden, daß der örtliche Überwachungskreis nicht geöffnet wird, ehe der eigene Tonfrequenzempfänger die von der Gegenstation gesendete Tonfrequenz empfangen hat. Sonst könnte das dritte Kriterium: Abfall des Tonfrequenzempfangsrelais und damit Freigabe der Leitungsabschaltung gegeben sein, ohne daß die Energierichtung am anderen Leitungsende überhaupt geprüft wurde.

Die Umschaltung der Trägerwellen von einer Fernmeldung zur anderen hat sich in mehrjähriger Praxis bewährt. So arbeiten Selektivschutzanlagen kombiniert mit Telefonie- und Fernmeßanlagen auch für den Schutz mehrerer Drehstromleitungen im In- und Ausland ohne

<sup>1</sup> Franz. Pat. 815583.

Beanstandung<sup>1</sup>. Die — wenn auch noch so kurze — Umschaltung der Trägerwellen von einer anderen Fernmeldung auf den Schutz steht allerdings bei der kombinierten Lösung dem Ziel im Wege, eine optimale Verkürzung der Abschaltzeiten zu erreichen.

Abgesehen von diesem Sonderfall unterliegt es aber keinem Zweifel, daß die große Frequenzknappheit auch weiterhin die Mehrfachausnutzung hochfrequenter Trägerwellen für verschiedenartige Fernmeldungen in steigendem Maße erzwingen wird.

### c) Umfang der Trägerfrequenzersparnis durch die Kombination von Telefonie- und anderen Fernmeldeanlagen.

Wollte man alle unter a) und b) genannten Übertragungen mit besonderen Hochfrequenzträgerwellen anstatt nach dem Kombinationsverfahren vornehmen, so benötigte man zwei für die Sprachübertragung, zwei für den Selektivschutz der einen Drehstromleitung, zwei für den Selektivschutz der zweiten Drehstromleitung, zwei für die Fernmessung, Fernregelung usw. in beiden Richtungen, insgesamt also acht.

Die Kombinationsmethode verlangt an Stelle der acht nur zwei hochfrequente Trägerwellen. Während der Gesprächspausen kann man außerdem Schaltermeldung bzw. Messung mehrerer Werte auf Anwahl oder Fernschreiben in der früher angegebenen Art durchführen. Damit ist die Vielfachausnutzung hochfrequenter Trägerwellen sehr weit getrieben. Tatsächlich sind kombinierte Hochfrequenzübertragungen mit so vielen Funktionen mit gutem Erfolg zum Einsatz gekommen.

Da Einkanalssysteme mit richtungswechselndem Träger die gleichzeitige Übertragung mehrerer Funktionen nicht gestatten, erweisen sich die Zweikanalsysteme ihnen bezüglich Frequenzersparnis dann überlegen, wenn die Kombination mit mehreren gleichzeitigen Meldungen vorgenommen werden kann. Natürlich ist stets zu prüfen, ob die Sicherheit der Übertragung im Gefahrenfalle die Zusammenfassung aller Meldungen auf einem Trägerfrequenzpaar zuläßt.

## IV. Die Hochfrequenztelefoniegeräte.

Nachdem wir uns mit der Leitungsausrüstung und dem Übertragungsvorgang näher befaßt und untersucht haben, welche Fernsprechsysteme vom Standpunkt der Frequenzersparnis aus jeweils in Frage kommen, wollen wir uns im folgenden mit den Hochfrequenzgeräten beschäftigen, die die Bausteine dieser Systeme bilden.

<sup>1</sup> Neugebauer: Schrifttum zur Einleitung B, 26. — Riedel: Schrifttum zur Einleitung B, 29.

## A. Grundsätzliches.

Grundsätzlich bestehen die HF-Geräte, die mit Hilfe der vorstehend beschriebenen Leitungsausrüstung über die Hochspannungsleitung arbeiten, aus dem *Sender* und dem *Empfänger* (Bild 63).

Der *Sender* muß Mittel zur Erzeugung und Modulation der Trägerfrequenz, der *Empfänger* Mittel zur Verstärkung und Gleichrichtung besitzen. Die Erzeugung des Trägerstromes durch umlaufende Maschinen scheidet bei der kleinen benötigten Leistung aus wirtschaftlichen Gründen aus. Es kommt nur Röhrenerzeugung in Frage. Diese wird heute meist in einer der üblichen Rückkopplungsschaltungen des Schwingrohres vorgenommen. Die Leistung des Rückkopplungsgenerators reicht im

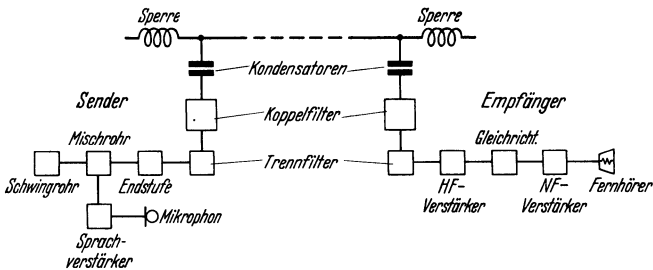


Bild 63. Grundsätzliche Schaltung einer einseitigen HF-Sprechverbindung.

allgemeinen als Sendeenergie nicht aus. Deshalb wird dahinter ein Verstärkerrohr als Leistungsrohr in der „Endstufe“ geschaltet. Bei Anodenspannungen bis zu 400 V erreicht man damit eine Sendeleistung des Trägerstromes von etwa 10—15 W. Höhere Leistungen sind i. a. behördlicherseits mit Rücksicht auf andere Funkdienste nicht zugelassen und im Hinblick auf die gegenseitige Beeinflussung frequenzbenachbarter HF-Kanäle der Elektrizitätswerke meist auch nicht erwünscht. In Amerika benutzt man zur Zeit für Störungsfälle Leistungen bis zu 50 W. Hierzu benötigt man dann etwa 1000 V Anodenspannung und größere Röhren.

Für Telegrafiezwecke, z. B. für die Übermittlung der Rufimpulse ebenso wie für die Fernmessung oder Schalterstellungsmeldung, wird der hochfrequente Träger häufig direkt getastet.

Soll der Trägerstrom mit Sprache oder Tonfrequenzen moduliert werden, so wird hierfür i. a. ein besonderes Mischrohr verwendet. An seine Stelle kann auch eine Gleichrichterschaltung zur Modulation treten. Bei tragbaren Kleingeräten, wo sowohl an Leistung wie an Qualität der Sprache geringere Anforderungen gestellt werden, benutzt man mitunter das Endverstärkerrohr oder das Schwingrohr selbst zur Modulation. In letzterem Falle kann man i. a. auf eine Verstärkung der Mikrofonströme verzichten. Bei stationären Geräten werden dagegen

die Sprechströme üblicherweise im Sprachverstärker verstärkt, ehe sie dem Mischrohr aufgedrückt werden.

Das Schwingrohr gibt den hochfrequenten Strom ebenfalls auf das Mischrohr, entweder gitter- oder anodenseitig. Auf dem gekrümmten Teil der Gitter- oder Anodenkennlinie erfolgt der Modulationsvorgang, der außer dem Träger im wesentlichen ein oberes und ein unteres Seitenband entstehen läßt<sup>1</sup>. Im allgemeinen werden bei EW-Nachrichtenanlagen beide Seitenbänder übertragen. Für Sprache genügt eine Bandbreite von 300—2400 Hz für eine ausreichende Verständlichkeit, so daß der Gesprächsteilnehmer am anderen Leitungsende an der Sprache erkennbar ist.

Das Modulationsprodukt wird dem Gitter des Endverstärkerrohres aufgedrückt und in ihm verstärkt. Maßgebend für die Reichweite ist bei modulierten Trägerströmen nicht die Trägerstromleistung, sondern die Seitenbandleistung, die je nach dem Modulationsgrad einen größeren oder kleinen Bruchteil der Trägerleistung ausmacht. Üblich sind Modulationsgrade von 30—60%.

Zu berücksichtigen ist, daß für die Güte der Übertragung empfangsseitig der Abstand zwischen der Nutzspannung des Seitenbandes und der Störspannung maßgebend ist, die als „Störpegel“ bezeichnet auf Hochspannungsleitungen besonders bei feuchtem Wetter nicht vernachlässigt werden kann und die mit der Höhe der Betriebsspannung wächst, in Europa also auf 220 kV-Leitungen am größten ist<sup>2</sup>. Der Störpegel rührt im wesentlichen von der Herabsetzung der Isolation bei feuchtem Wetter oder bei Verschmutzung und daraus folgenden Funkenübergängen sowie ferner von Schaltmanövern in dem Hochspannungsnetz her. Bei 220 kV-Leitungen dürften auch Koronaeinflüsse nicht ohne Bedeutung sein.

Bei hohem Störpegel setzt man bisweilen auch modulierte Sender da ein, wo die Übertragung an sich mit einfacher Trägertastung, z. B. für Rufzwecke ausgeführt werden könnte. Man gewinnt durch die Tonfrequenzmodulation an Ausiebbbarkeit gegenüber Störungen und damit an Störpegelabstand.

Die aus dem Endrohr kommende Leistung wird einem Bandfilter (Trennfilter) zugeführt, das z. B. bei modulierten Trägern diese mit den beiden Seitenbändern durchläßt, dagegen ober- und unterhalb dieser Frequenzen durch ihre Flankensteilheit Oberharmonische bzw. Kombinationstöne so weit schwächt, daß sie nicht mit auf die Leitung oder in die benachbarten Empfangsfilter gelangen (vgl. Bild 132, S. 160). Die früher übliche Abstimmung mit Hilfe von Resonanzkreisen auf den Träger hatte eine Beschneidung der Seitenbänder zur Folge (Bild 64)

---

<sup>1</sup> Vgl. Anmerkung auf S. 51.

<sup>2</sup> Vgl. Anmerkung auf S. 178.



und damit eine Verschlechterung der Sprachqualität, die sich insbesondere bei Hintereinanderschaltung mehrerer Abschnitte bemerkbar macht.

Voraussetzung für die Verwendung von Bandfiltern ist eine hohe zeitliche Konstanz der Elemente, Spulen und Kondensatoren, und damit der Durchlaßbreite, da sonst auch bei Filtern, die keine verstellbaren Elemente enthalten, eine gleichbleibende Übertragungsgüte nicht erreicht werden kann. Diese Konstanz ist bei den heutigen Herstellungsmethoden für die bisherigen Systeme hinreichend gewährleistet, ihre Begrenztheit macht aber z. B. beim Einseitenbandverfahren noch die Doppelmodulation bzw. Quarzfilter nötig (s. S. 58).

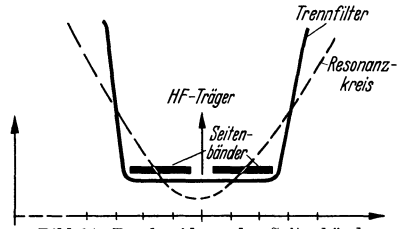


Bild 64. Beschnittung der Seitenbänder durch Resonanzkreise.

Sende- und empfangsseitig wird an die Koppelkondensatoren ebenfalls ein Bandfilter (Kopplfilter) angeschlossen, um einen möglichst

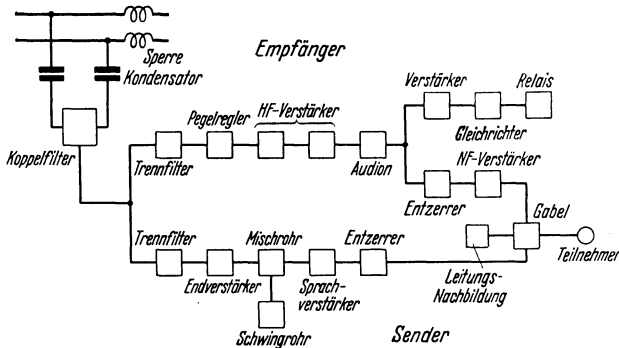


Bild 65. Grundschaltung eines Zweikanalsprechgerätes.

ungeschwächten und unverzerrten Durchlaß für alle zu übertragenden Frequenzen zu erzielen.

Im Empfänger folgt dahinter ein Trennfilter, um fremde Frequenzen auszublenden.

Das durchgelassene Frequenzband wird durch Hochfrequenzverstärker verstärkt und dann gleichgerichtet. Die beispielsweise im Sprachgleichrichter demodulierten Tonfrequenzen werden darauf in Niederfrequenzverstärkern verstärkt und dem Teilnehmerapparat zugeführt.

Bei dem dem Bilde 65 zugrundeliegenden Gerät, das die Schaltung für den Gegensprechverkehr zeigt, wird der Rufträgerstrom hinter dem Sprachgleichrichter abgezweigt, in einem weiteren Rohr verstärkt, in einem Oxydgleichrichter gleichgerichtet und dann dem Empfangsrelais zugeleitet.

In entsprechender Weise sind i. a. die Empfangseinrichtungen für die anderen telegrafischen Übertragungen wie für Fernmessung, Selektivschutz usw. ausgebildet.

Für den Ruf zerhackt der Teilnehmer mit der Wahlscheibe, die über eine Gleichstromschleife das Tastrelais betätigt, den HF-Trägerstrom in Impulse, deren Zahl der gewünschten Rufnummer entspricht. Das Empfangsrelais steuert über eine Gleichstromschleife entsprechend der gewählten Rufnummer den Empfangswähler auf den Kontakt, an den der gewünschte Teilnehmer angeschlossen ist. Über die mit Gleich- oder Wechselstrom betriebene Teilnehmerschleife wird darauf der Wecker im Teilnehmerapparat betätigt. Bei einer Speisespannung von 30 V kann über ein Kabel von 0,8 mm  $\varnothing$  bis zu einer Entfernung von 7 km der Wahlvorgang mit Gleichstrom erfolgen. Für größere Kabellängen werden besondere Rufübertrager für die Wahl erforderlich.

Beim *Gegensprechverkehr* mit zwei Frequenzen treten, wie in Bild 65 dargestellt, die entsprechenden Sende- bzw. Empfangsgeräte in der umgekehrten Richtung hinzu. Hochfrequenzseitig müssen hochwertige Trennfilter zum Einsatz kommen, um den Einfluß des Senders auf den eigenen Empfänger trotz großen Pegelunterschiedes auszuschalten und niederfrequenzseitig Gabelschaltungen mit guter Teilnehmernachbildung Verwendung finden, um trotz zweidräftigen Teilnehmeranschlusses eine Rückwirkung des Empfängers auf den eigenen Sender und damit ein Pfeifen der Verbindung zu vermeiden (vgl. S. 120, Bild 96).

Um die Stabilität der Übertragung sicherzustellen, wird in neueren Geräten eine *selbsttätige Pegelregelung* verwendet. Diese gleicht sowohl Dämpfungsunterschiede infolge unterschiedlicher Entfernungen der Stationen aus wie auch solche, die durch Witterungseinflüsse auf die Übertragung eintreten.

Bei Dauerübertragung muß sie kontinuierlich arbeiten, bei zeitweiligen Übertragungen genügt die einmalige Einpegelung vor der Übertragung, z. B. vor dem Gespräch, da die Dämpfungsschwankungen auf der Leitung langsam vor sich gehen. Während die erstere rein elektrisch arbeitet, benutzt die letztere im allgemeinen die Mittel der Automatik, die mechanisch häufig wiederkehrenden Beanspruchungen völlig gewachsen sind, um z. B. durch Einschaltung von Dämpfungsgliedern den entsprechend der jeweiligen Leitungsdämpfung ankommenden Energieüberschuß vor dem Eintritt in den Empfänger zu vernichten (Bild 66 und S. 99).

Bezüglich der *Verkehrsbedingungen* wird fast durchweg die Forderung gestellt, daß der Hochfrequenzsprechverkehr über die Hochspannungsleitungen im Aufbau und in der Betriebsweise der Verbindungen sich nicht vom gewöhnlichen Niederfrequenzfernsprechverkehr auf Schwachstromleitungen unterscheidet. Da hier der *Selbstanschlußbetrieb* mehr und mehr durchgeführt wird, fordert man allgemein diesen auch von

den Hochfrequenzsprechgeräten. Beim Selbstanschlußverkehr ist der Teilnehmerapparat mit nur zwei Adern an den Automaten anschließbar. Man verlangt demgemäß das gleiche auch von der weitentfernten Teilnehmersprechstelle des Hochfrequenzgerätes.

Dazu ist aber nicht nur die Ausrüstung des HF-Gerätes mit der üblichen Automatik der Niederfrequenzsprechgeräte erforderlich, sondern es muß auch selbsttätige Ein- und Ausschaltung des eigenen Hochfrequenzsenders wie des Gegensenders und schließlich die Einpegelung der HF-Sprechverbindung hinzukommen. Überdies muß die Automatik des HF-Gerätes auch noch den selbsttätigen Wellenwechsel bei mehreren

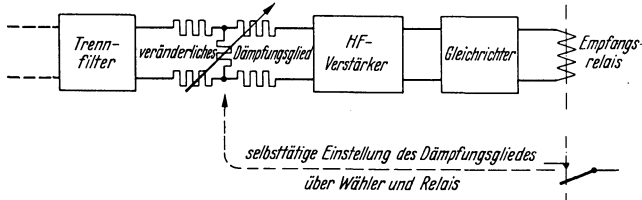


Bild 66. Selbsttätige Pegelregelung mit den Mitteln der Fernsprechautomatik vor dem Gespräch.

Geräten im Sprechabschnitt erlauben, der in VII, 1b ausführlicher behandelt wird.

Die sonst üblichen Forderungen der Selbstanschlußtechnik, die vom Hochfrequenzgerät erfüllt werden müssen, sind kurz folgende:

- Leitungsbelegung, Impulsgebung für den Wahlruf,
- Freizeichen- bzw. Besetztzeichengabe,
- Nachwählen bei Übergang auf Selbstanschlußzentralen,
- Rufen des Teilnehmers und Schlußzeichengabe.

Darüber hinaus wird für die wichtigen Gespräche des Lastverteilers meist eine Aufschaltmöglichkeit auf bestehende Sprechverbindungen verlangt, sowohl örtlich, wenn ein anderer NF-Teilnehmer der gleichen HF-Sprechstelle spricht (Ortsaufschaltung), als auch, wenn im gleichen Sprechbezirk von anderen HF-Sprechstellen gesprochen wird (Bezirksaufschaltung).

Schließlich kommt eine Aufwahl auf benachbarte Sprechabschnitte im Zusammenhang mit der Durchwahl in den Nachbarabschnitt in Betracht (Fernaufschaltung).

Hierbei bietet der Einsatz von Impulsspeichern Bedienungserleichterungen für die Wahl. Die Speicher werden außerdem bei HF-Geräten verwendet, deren Sender erst bei Abheben des Hörers durch den Teilnehmer eingeschaltet wird, um zu verhindern, daß Rufimpulse herausgehen, ehe der Sender betriebsbereit ist. Bei der Durchwahl über mehrere Sprechabschnitte besorgen sie den selbsttätigen Aufbau der Verbindung, ohne daß nach Freimachung eines besetzten Abschnittes eine Neuwahl notwendig wird. Endlich erlaubt der Speicher noch, die Zahl der zu

wählenden Rufziffern zu vermindern, was insbesondere bei Hintereinanderschaltung zahlreicher Abschnitte von erheblicher Bedeutung sein kann. Eine große Rufnummerzahl verlängert nicht nur die Herstellungszeit der Verbindung, sondern gibt auch häufig Anlaß zu Fehlwahlen.

Die Aufgaben, die an die Automatik der Hochfrequenzgeräte gestellt werden, sind in VIII eingehender erörtert.

Bei der Wichtigkeit der HF-Verbindungen für den Betrieb sollte neben den über ein Selbstanschlußamt angeschlossenen Teilnehmern *stets noch eine direkt an das HF-Gerät angeschlossene Sprechstelle* vorhanden sein, um auch bei Störungen im Selbstanschlußamt den HF-Sprechverkehr sicherzustellen.

Nachstehend werden einige Ausführungsformen von Hochfrequenztelefoniegeräten der verschiedenen Herstellerfirmen näher beschrieben, und zwar die *Einkanalgeräte* der amerikanischen General Electric Co. Shenectady, USA., der Compagnie des Téléphones Thomson Houston, Paris, von Henry Lepaute, Paris sowie die *Zweikanalgeräte* der europäischen Firmen:

Compagnie des Téléphones Thomson Houston, Paris,

Henry Lepaute, Paris,

Telefunken, Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin,

Deutsche Telefonwerke und Kabelindustrie AG., Berlin,

Società Anonima Brevetti Arturo Perego, Rom,

Siemens & Halske AG., Berlin,

Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin.

Zum Schluß wird das *Einseitenbandgerät* der Firma Siemens & Halske erläutert.

## B. Ausführungsbeispiele.

Die vorstehend grundsätzlich dargestellten Systeme sehen geräte-seitig in ihren Hauptzügen in den verschiedenen Ländern etwa folgendermaßen aus:

### 1. Die Einkanalgeräte.

#### a) System General Electric Co. Shenectady, USA.<sup>1</sup>

Das System arbeitet mit einer Frequenz mittels Sprachsteuerung. Es beherrscht den amerikanischen Markt. Seine Bevorzugung gegenüber Zweikanalsystemen wird mit folgendem begründet:

Frequenz- und damit Kanalersparnis, geringster Einfluß von Leitungsunregelmäßigkeiten und Schalthandlungen auf die Übertragung, gleiche Übertragungsverluste in beiden Richtungen.

Außerdem wird die Vereinfachung der Abstimmung und die Möglichkeit des Konferenzverkehrs hervorgehoben, der von vielen Betriebsleitern in Amerika als wichtig angesehen wird.

<sup>1</sup> Vgl. Schrifttum zur Einleitung B, 19.

Das in Schrankform angeordnete Gerät ist baukastenartig (vgl. Bild 69) aufgebaut. Es kann daher durch Zusetzen von Einzelplatten einmal von der Betriebsart „Simplex“ (Handumschaltung) auf die Betriebsart „Duplex“ (Sprachsteuerung) umgeschaltet sowie durch zusätzliche Niederfrequenz- bzw. Leistungsverstärkerplatten ergänzt werden. Auch bei der Duplexschaltung ist, während der Sender den modulierten Trägerstrom aussendet, der Empfänger blockiert.

Man ist soweit gegangen, den Einzelplatten getrennte Netzanschluß- und Siebeinrichtungen zuzuordnen, um möglichst freizügig in der Zusammensetzung zu sein.

Der Aufbau der Platten ist so vorgenommen, daß Übertrager, Drehkondensatoren, Spulen und Röhren auf den horizontalen Platten, Widerstände, Blockkondensatoren, Verdrahtung und Klemmleisten *darunter* angebracht sind.

**α) Sender—Empfänger, Röhren- und Filterteil.** Der Schwingungserzeuger (Hartley-Schaltung<sup>1</sup>) mit einem Frequenzbereich von 50 bis 150 kHz steuert einen Leistungsverstärker Klasse C<sup>2</sup> mit einer Trägerleistung von 10 W. Der Mischkreis besteht aus zwei Röhren in Gegentaktschaltung Klasse B<sup>2</sup> mit genügender Ausgangsleistung, um den 10 W-Sender hundertprozentig aussteuern zu können. Die niederfrequente Sprache wird in einem Sprachverstärker Klasse A<sup>2</sup> verstärkt, bevor sie auf das Gitter der Mischröhre gegeben wird. Als Gleichrichter für Gitter- und Anodenspannung ist eine kleine Quecksilberdampfgleichrichterröhre in Zweiwegschaltung vorgesehen. Der Heizfaden dieser Röhre brennt ständig.

Der Ausgangsübertrager des Senders kann entweder durch Freileitung oder Kabel mit der Koppelinrichtung verbunden werden, oder er kann auf das Gitter eines zusätzlichen Leistungsverstärkers arbeiten.

Für den Zwischensystemverkehr, bei dem zwei getrennte Frequenzen für zwei verschiedene Sprechverbindungen (z. B. Bezirks- und Weitverkehr) verwendet werden, ist ein zweites Schwingrohr mit Abstimm- und Umschaltmitteln vorgesehen.

Der zusätzliche Leistungsverstärker für sehr hohe Leitungsdämpfung arbeitet mit 50 W Trägerleistung unter Benutzung von zwei Röhren in Gegentaktschaltung Klasse B<sup>2</sup>, die 1000 V Anodenspannung verlangen.

**Empfänger** (Bild 67). Die drei induktiv gekoppelten Eingangskreise werden mit Drehkondensatoren abgestimmt und bilden ein Bandfilter zwischen 50 und 150 kHz. Auch der Anodenkreis des Schirmgitterrohres  $V_1$  mit veränderlichem Verstärkungsgrad ist auf den Träger abgestimmt. Filter und Verstärker lassen Frequenzen bis zu beiderseits

<sup>1</sup> Vilbig, F.: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik, S. 317, Abb. 370, Dreipunktschaltung.

<sup>2</sup> Urtel, R.: Maximale Leistung, Wirkungsgrad und optimaler Widerstand von Endröhren. Telefunkenztg Nr. 62 S. 28 Bild 33.

3000 Hz Abstand vom Träger ohne merkliche Dämpfung durch. Der Nachbarkanal muß in 10—15 kHz Abstand liegen. Der Demodulator besteht aus einem indirekt geheizten Rohr  $V_2$  (3-Elektrodenrohr). Die zwei Sekundärwicklungen des Ausgangsübertragers dieses Rohres sind einerseits mit dem Gitterkreis eines Verstärkers für eventuellen Lautsprecher- und Relaisbetrieb zum Rufen, andererseits mit einem 500  $\Omega$ -Telefonkreis verbunden (Det. Ausgang).

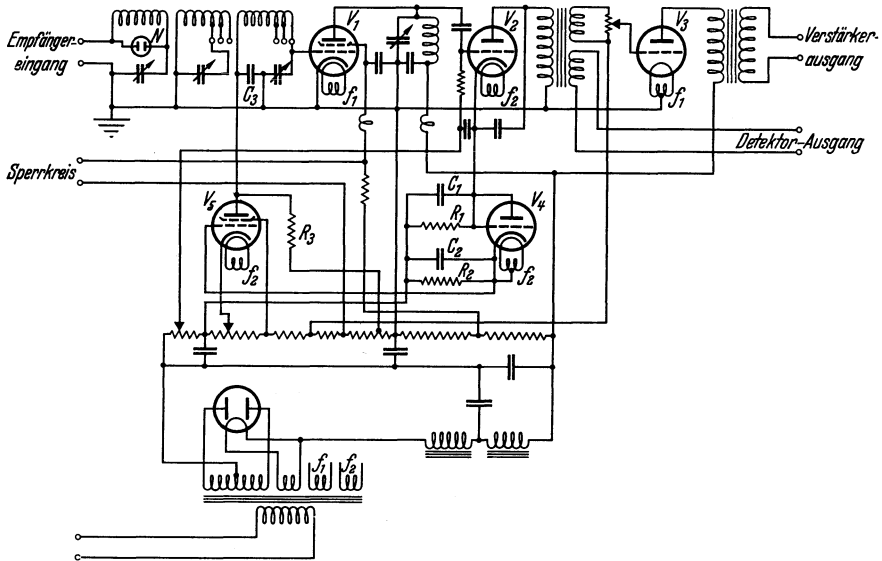


Bild 67. Schaltbild des GECO-Empfängers.

$\beta$ ) **Automatische Pegelregelung.** Die automatische Pegelregelung arbeitet kontinuierlich, und zwar so, daß ein durch Erhöhung der Empfangsspannung bedingtes Anwachsen des Anodenstromes der Gleichrichterröhre  $V_2$  eine Erhöhung des Spannungsabfalles am Widerstand  $R_1$  hervorruft. Infolgedessen erhöht sich die Spannung am Hochohmwiderstand  $R_2$ , der in Reihe mit dem Gleichrichterrohr  $V_4$  liegt. Dadurch wird der große Kondensator  $C_1$  auf ein höheres Potential geladen und das Gitter der Schirmgitterröhre  $V_5$  schwingt in positiver Richtung. Daher fließt mehr Anodenstrom durch Widerstand  $R_3$ , wodurch die Gitterspannung am Eingangsrohr  $V_1$  negativer wird. Infolge des veränderlichen Verstärkungsgrades dieses Rohres ruft eine kleine Änderung der Gittervorspannung eine große Änderung der Verstärkung hervor, wobei die Verstärkungsverringerung sehr schnell vor sich geht. Eine Verstärkungserhöhung kann jedoch nur so rasch eintreten, wie die Entladung des Kondensators  $C_2$  über  $R_2$  erfolgt. Eine entsprechende Bemessung von  $C_2$  und  $R_2$  ergibt die gewünschte Zeitkonstante.

Die Pegelregelung sorgt für gleichbleibende Lautstärke trotz Dämpfungsschwankungen von rund 4 Neper auf der Hochfrequenzseite.

γ) **Sprachsteuerung.** Gleichzeitig dient das Rohr  $V_1$  auch zur Sperrung des Empfängers während des Sendens, wobei die normale Vorspannung des Schirmgitters von + 100 V an einen negativen Punkt des Spannungsteilers mittels Relaisumschaltung gelegt wird. Dadurch ist der Empfänger wirksam gesperrt.

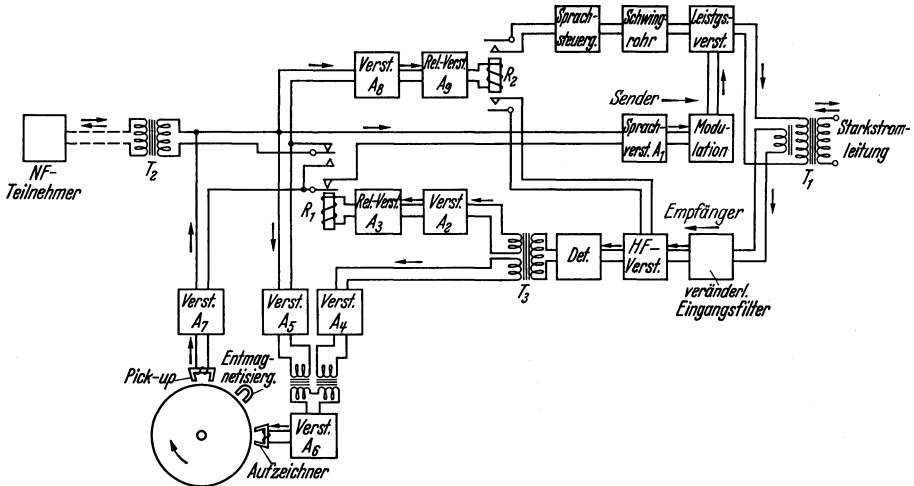


Bild 68. Grundschialtung der Sprachsteuerung des GECO-Gerätes.

Auf der dritten und vierten Platte des Hochfrequenzgerätes sind die Sprachsteuerung und die Teile für den Zweidrahtanschluß von Niederfrequenzeinrichtungen untergebracht.

Aus Kosten- und Raumgründen ist an Stelle elektrischer Verzögerungsschaltungen eine Einrichtung nach dem Poulsenschen Telegrafonprinzip verwendet (Bild 68). Auf der Achse eines kleinen Induktionsmotors sitzt eine Scheibe aus Isoliermaterial, auf der zylindrisch eine Lage Stahldraht aufgewickelt ist. Durch zwei kleine Spulen mit entsprechend geformten Polkernen können magnetisch Tonschwankungen auf das Stahlband übertragen und wieder abgenommen werden. Die Verzögerung in der Wiedergabe der aufgezeichneten Nachricht ist bestimmt durch den Weg eines Punktes der Scheibe von der Aufzeichnung zur Abnahmespule (Pick-up). Mit Hilfe eines kleinen Magneten wird das Stahlband wieder entmagnetisiert. Die Frequenzverzerrungen werden durch Entzerrer, die Dämpfung von etwa 2 Neper wird durch einen zweistufigen Verstärker ausgeglichen.

Das Prinzipschema (Bild 68) stellt den Ruhezustand von Sender und Empfänger dar. Beim Sprechen gelangen die Mikrofonströme

über Übertrager  $T_2$  und die Kontakte von  $R_1$  zu Verstärker  $A_8$  einerseits und  $A_5$  andererseits. Der über Verstärker  $A_8$  und  $A_9$  gehende Teil betätigt Relais  $R_2$ .  $R_2$  schließt zwei Kontakte, der eine zündet den



Bild 69. Simplexgerät (Thomson-Houston).

Sender, der andere blockiert den Empfänger. Der über Verstärker  $A_5$  und  $A_6$  gehende Teil der Mikrofonströme kommt zur Verzögerungseinrichtung, wo er 40 ms verzögert wird. Über Verstärker  $A_7$  und einen Kontakt von  $R_1$  fließen die verzögerten Mikrofonströme zum Sprachverstärker  $A_1$  und zum Mischkreis, indem die bereits gezündete Trägerwelle moduliert wird. Das Modulationsprodukt wird im Leistungsverstärker verstärkt.

Beim Empfang gelangt die ankommende HF-Welle auf das Empfangsfilter, danach auf den HF-Verstärker. Im Gleichrichter (Det.) wird sie demoduliert. Ein Teil des Detektorstromes betätigt über Verstärker  $A_2$ ,  $A_3$  Relais  $R_1$  und öffnet dadurch den Eingangskreis von den Verstärkern  $A_1$ ,  $A_5$  und  $A_8$ . Andererseits wird der Verstärker  $A_7$  an die Teilnehmerleitung gelegt. Der andere Teil des Detektorstromes erreicht über Verstärker  $A_4$  und  $A_6$  die Verzögerungseinrichtung und damit nach 40 ms über Verstärker  $A_7$  und Übertrager  $T_2$  das Telefon des Teilnehmers.

Eine Gabelschaltung ist nicht erforderlich, da immer nur der Sender oder der Empfänger mit der Teilnehmerleitung verbunden ist.

**d) Rufeinrichtung.** Der Ruf erfolgt mit den Mitteln der Automatik selektiv durch Modulation der Trägerwelle mittels einer Tonfrequenz von 400 Hz. Der Niederfrequenzanschluß von vier Teilnehmern über Zweidraht ist vorgesehen. Für den Lastverteiler besteht Aufschaltmöglichkeit auf bestehende Hochfrequenzgespräche.

**ε) Speisung.** Ein Tungar-Gleichrichter liefert 48 V für den Relaisbetrieb und für Erzeugung des 400 Hz-Tones, mit dem der Ruf arbeitet.



Die Speisung des Gerätes erfolgt im übrigen aus dem Netz von 110 oder 220 V, 50 oder 60 Per/s. Bei Netzausfall wird ein Motorgenerator oder Einankerumformer zur Speisung aus der Stationsbatterie eingeschaltet.

#### b) System Thomson-Houston.

Die französische Firma Compagnie des Téléphones Thomson-Houston, Paris, stellt ebenfalls Einkanalgeräte mit Handumschaltung her (Simplex). Diese sind ähnlich wie die amerikanischen nach dem Schubkastenprinzip gebaut (s. Abb. 69). Die HF-Sendeleistung beträgt ungefähr 10 W. Die Modulation wird in Heising-Schaltung<sup>1</sup> vorgenommen. Der Empfänger enthält einen HF-Verstärker mit abgestimmten Kreisen und einen Richtverstärker. Der Anruf erfolgt durch Modulation der Trägerwelle mit 2500 Hz.

#### c) System Henry Lepaute.

Die französische Firma Henry Lepaute, Paris, baut gleichfalls ein Einkanalgerät, das für solche Elektrizitätswerke bestimmt ist, die den wirtschaftlichen Gesichtspunkt bei der Beschaffung der HF-Anlage voranstellen. Es handelt sich auch hier um ein Simplex-Gerät, bei dem ein Wechselsprechverkehr vorgesehen ist.

## 2. Die Zweikanalgeräte.

### a) System Thomson-Houston.

Außer dem vorerwähnten Simplexgerät stellt Thomson-Houston noch Zweikanalgeräte gemäß Abb. 70 her und vertreibt diese in Frankreich und den Kolonien. Das Zweikanalgerät erlaubt gegenüber dem Simplexgerät den vollen Gegensprechverkehr.

Sowohl beim Einkanal- als auch beim Zweikanalgerät wird die Trägerwelle mit beiden Seitenbändern auf die Leitung gesendet.

**α) Senderleistung.** Die HF-Sendeleistung beträgt 15 W<sup>2</sup>. Der Sender ist fremdgesteuert mit einem stabilisierten Schwingungserzeuger, der eine Verstärkerstufe, die nach Klasse A<sup>3</sup> geschaltet ist, beaufschlagt. Dieser Verstärker steuert seinerseits eine Ausgangsstufe in Gegentakt-schaltung Klasse C<sup>3</sup>.

**β) Modulation.** Die Modulation erfolgt in Heising-Schaltung<sup>1</sup>. Der Modulator enthält eine Verstärkerstufe, Klasse A<sup>3</sup>, die die eigentliche Modulationsstufe speist. Diese ist in Gegentaktschaltung Klasse AB<sup>3</sup> geschaltet.

<sup>1</sup> Vilbig: Hochfrequenztechn. S. 439.

<sup>2</sup> In Frankreich zulässig.

<sup>3</sup> Urtel, R.: Maximale Leistung, Wirkungsgrad und optimaler Widerstand von Endröhren. Telefunkenztg Nr. 62 S. 28 Bild 33.

Auf diesen Modulator wirken drei Stromkreise:

Ein Sprechkreis, der mit Hilfe eines Filters nur ein Frequenzband zwischen 300 und 2300 Hz durchläßt, ein Stromkreis mit einer Frequenz



Bild 70. Zweikanalgerät für kombinierte Zwecke (Thomson-Houston).

oberhalb von 2300 Hz, ein Stromkreis mit einer Frequenz unterhalb von 300 Hz.

Der Unter- und der Überlagerungskanal können für zusätzliche Übertragungen neben der Sprechverbindung benutzt werden<sup>1</sup>.

**γ) Empfang.** Der Empfang erfolgt mit abgestimmten Kreisen. Der Empfänger mit selbsttätiger Amplitudenregelung umfaßt eine Schirm-

<sup>1</sup> Vgl. hierzu S. 68.

gitterröhre und eine Diode-Triode. Die Selektivitätskurve des Empfängers verläuft flach über ein Band von: Trägerfrequenz  $\pm 2,5$  kHz und zeigt eine Dämpfung von 40 Dezibel<sup>1</sup> bei etwa: Trägerfrequenz  $\pm 10$  kHz.

Die Empfangsempfindlichkeit ist so bemessen, daß die Anlage noch über eine Dämpfung von 60 Dezibel<sup>2</sup> arbeitet.

Am Ausgang des Empfängers werden die Sprachfrequenzen und die Unter- bzw. Überlagerungsfrequenzen durch drei parallel geschaltete Siebe getrennt.

**d) Anruf.** Der Anruf erfolgt durch Zerhackung der hochfrequenten Trägerwelle mit Hilfe der Wahlscheibe, die mit normaler Geschwindigkeit abläuft. Im Empfangsrelais verschwindet also der Trägerstrom während der Impulse.

Die HF-Geräte sind in Schrankform gebaut; die Schränke aus Riffelblech enthalten 15 Fächer, in denen bewegliche Rahmen in Schubladenform untergebracht sind. Jede dieser Schubladen ist für eine bestimmte Funktion des Schrankes vorgesehen.

### b) System Henry Lepaute.

Außer dem Simplexgerät baut die Firma Henry Lepaute noch zwei andere Typen von Zweikanalgeräten.

#### 1. Ausschließlich Sprechzwecken dienende HF-Geräte (Bild 71).

Die ausschließlich Sprechzwecken dienenden HF-Geräte erlauben bei Ausrüstung des Netzes mit geeigneten HF-Brücken Gegensprechverbindungen, bei denen bis zu 5 HF-Sprechstellen im Netzabschnitt vorhanden sein können (2 Endgeräte und 3 Zwischensprechstellen, die an drei HF-Brücken angekoppelt sind), vgl. VII, 1 b.

#### 2. Kombinierte Geräte für Telefonie, Fernmessung, Selektivschutz und Fernsteuerung (Bild 72).

Diese Geräte ermöglichen gleichzeitig die Übertragung von Ferngesprächen und von Impulsen für Fernmessung, Fernsteuerung und Selektivschutz bei ständiger Aussendung der HF-Trägerwellen.

Durch geeignete Filter wird das Sprachband auf 250—2500 Hz beschränkt. Die Frequenzen unterhalb 250 Hz und oberhalb 2750 Hz werden zur Übertragung von Impulsen für Fernwirkanlagen verwendet<sup>3</sup>. Niederfrequenz- bzw. Tonfrequenzgeneratoren und Demodulatoren, die

<sup>1</sup> 40 Dezibel = 4,61 Neper.

<sup>2</sup> 60 Dezibel = 6,91 Neper.

<sup>3</sup> Vgl. hierzu S. 68.

auf Frequenzen unterhalb von 200 und oberhalb von 2750 Hz abgestimmt sind, sind für die zusätzlichen Fernmeldungen erforderlich.

Mit Hilfe besonders für diesen Zweck entwickelter Filter und eines selbsttätigen Modulationsgradbegrenzers sowie der auf ein breites

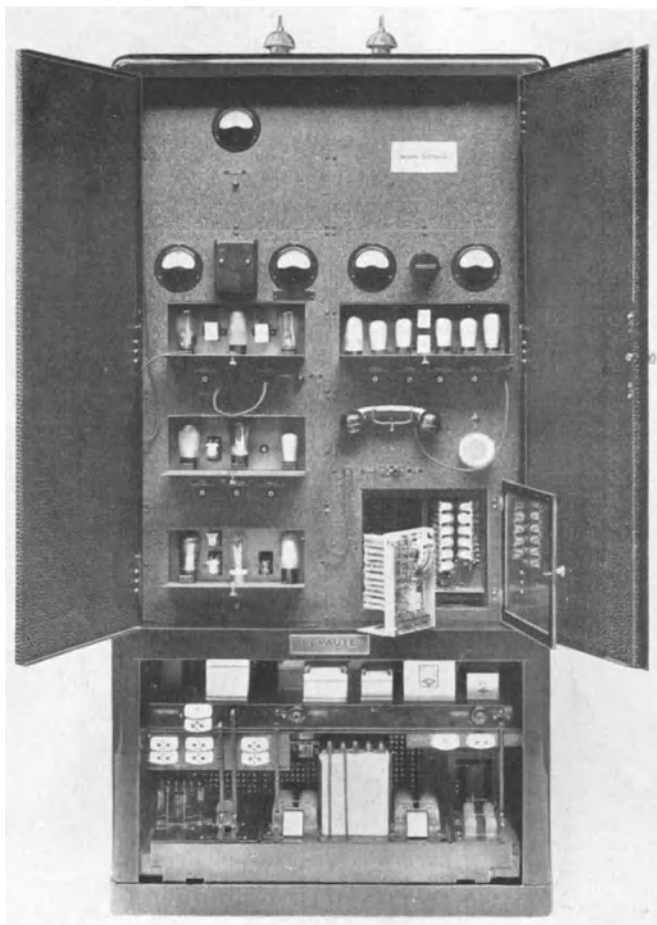


Bild 71. HF-Sprechgerät (Henry Lepaute).

Frequenzband abgestimmten HF-Sperren, können die durch die verschiedenen Tonfrequenzen geschaffenen Kanäle gleichzeitig mit der Sprachübertragung betrieben werden, ohne daß eine Störung der letzteren eintritt.

Die verschiedenen von der Firma Lepaute herausgebrachten Typen haben folgende gemeinsame Kennzeichen:

### 3. Gemeinsame Eigenschaften.

**a) Frequenzstabilität.** Im Hinblick auf die Zusammendrängung der Frequenzen innerhalb des für die HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen vorbehaltenen Bandes war es notwendig, eine vollkommene Stabilität der Trägerfrequenzen vorzusehen, um Interferenzen mit benachbarten Wellenlängen und Störungen von anderen HF-Kanälen zu vermeiden. Die HF-Geräte der Firma Lepaute haben eine Frequenzstabilität

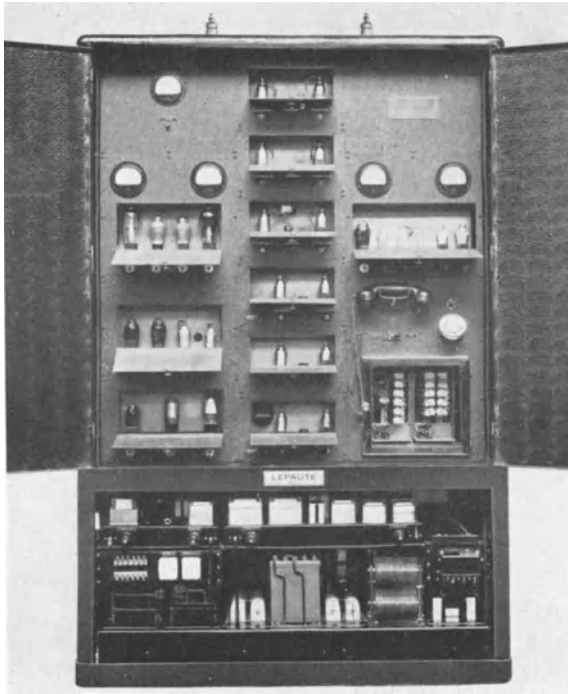


Bild 72. Kombiniertes HF-Gerät (Henry Lepaute).

der Trägerwellen, die unterhalb von 0,01 % für Schwankungen der Speisespannung von  $\pm 10\%$  liegt.

**β) Sendeleistung.** Die Geräte können in die Hochspannungsleitung eine zwischen 2 und 20 W<sup>1</sup> regelbare Leistung abgeben. Hierdurch kann der Abstand des Nutzpegels vom Störpegel im Bedarfsfall entsprechend vergrößert werden.

**γ) Speisung.** Die HF-Schränke werden vollständig mit Wechselstrom gespeist. Die Speisespannung von 24 V für die Telefonieautomatik wird von einem Gleichrichter geliefert, so daß Akkumulatoren-

<sup>1</sup> In Frankreich zulässig.

batterien ganz vermieden werden. Die Trockengleichrichter haben unbegrenzte Lebensdauer und benötigen keine Unterhaltung.

d) **Selektivruf.** Der Selektivruf für den Sprechverkehr erfolgt mit der Wahlscheibe. Wenn das Netz nicht mehr als 100 Sprechstellen enthält, beträgt die Zahl der Rufziffern zwei. Sie steigt auf drei, wenn die Zahl der Sprechstellen zwischen 101 und 1000 liegt.

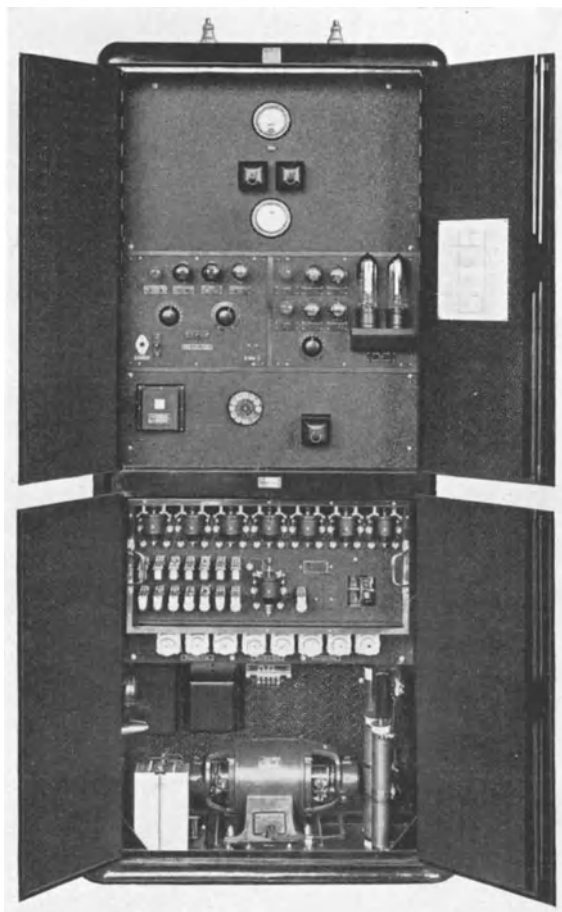


Bild 73. Telefunktrossgerät.

### c) System Telefunken.

#### 1. Großgerät.

Telefunken, Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin, baute Hochfrequenzsprechgeräte zum Verkehr über Hochspannungsleitungen seit 1920. Die ursprünglichen Wandschrankgeräte wurden 1926 durch einen Standschrank (Bild 73) abgelöst. Dieser hatte etwa die nachstehend

beschriebene Ausbildungsform. Mehrere hundert Geräte dieser Type sind in Europa, Asien, Afrika und Australien eingesetzt. 1932 gab Telefunken das Gebiet an seine Mutterfirmen AEG und Siemens ab.

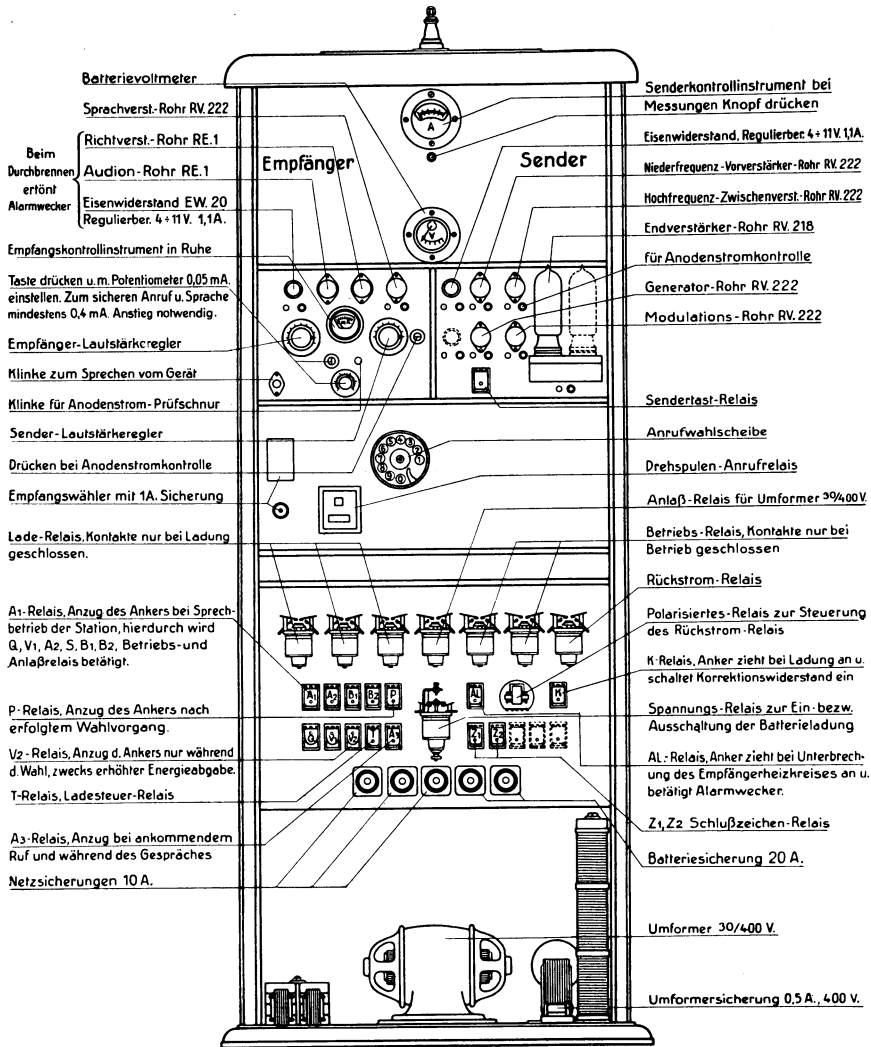


Bild 74. Wesentliche Teile des Telefunken Großgerätes.

a) **Sender—Empfänger** (Bild 75). Der Röhrensender  $R_2$  erzeugt in Rückkopplungsschaltung die hochfrequente Trägerwelle. Diese wird zusammen mit den im Sprachverstärker  $R_1$  verstärkten Sprachfrequenzen dem Gitter des Mischrohres  $R_3$  aufgedrückt. Das Modulationsprodukt wird in dem Leistungsverstärker  $R_4, R_5$  verstärkt und aus dem Schwingkreis induktiv dem Leitungsabstimmkreis über Spule 8 zugeführt. Die

von der Gegenstation ankommende Hochfrequenz gelangt aus dem Koppelkondensator über den abgestimmten Eingangübertrager 10 in das Rohr  $R_6$ , das wie  $R_7$  mit 30 V Anodenspannung aus einer Batterie versorgt werden kann, die gleichzeitig die Heizfäden und einen Anodenspannungsumformer für die übrigen Röhren speist. Die hochfrequenten Rufströme werden nach ihrer Verstärkung in  $R_6$  kapazitiv dem Gleichrichter  $R_7$  zugeführt, der seinerseits das Rufrelais  $R_8$  betätigt. Die

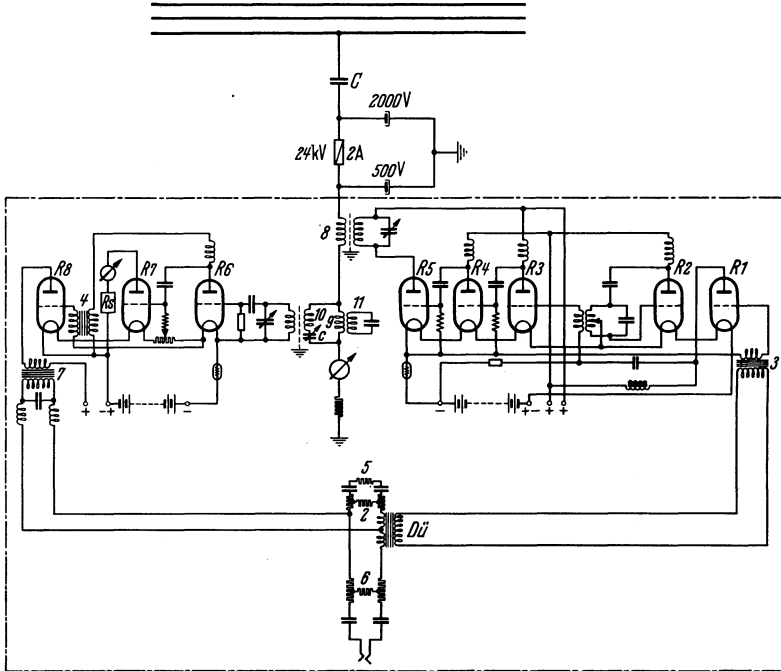


Bild 75. Grundschtung des Telefunktengroßgerätes.

Sprechströme werden dagegen nach ihrer Demodulation in  $R_6$  über den Übertrager 4 dem Empfangsverstärker  $R_8$  zugeleitet. Von hier gelangen sie über den Übertrager 7 und ein Bandfilter, das sie auf 3000 Hz begrenzt, zur Gabelschaltung 2. Diese umfaßt einerseits den Differentialübertrager  $Dü$  und die Leitungsnachbildung 5, auf der anderen Seite ist über ein zusätzliches Dämpfungsglied 6 der Teilnehmerapparat an die Adern  $La$ ,  $Lb$  anzuschließen. Sendeseitig ist mit dem Differentialübertrager über den weiteren Übertrager 3 der Sprachverstärker  $R_1$  induktiv gekoppelt.

Im Hochspannungskopplungskreis ist der Scheinwiderstand des Koppelkondensators  $C$  für die zwei hochfrequenten Trägerwellen kompensiert, und zwar einerseits durch die Spulenkombination 8, 9, Erde für die Sendewelle  $f_1$  und andererseits für die Empfangswelle  $f_2$



durch die Reihenschaltung der Induktivitäten 8, 10, die größer als 9 ist, mit dem Kondensator  $c$ . Der Sendeweg ist durch den an 9 gekoppelten auf  $f_2$  abgestimmten Sekundärkreis 11 für die Empfangswelle  $f_2$  gesperrt.

Zur besseren Entkopplung des Empfängers vom Sender ist in den neueren Geräten eine Differentialschaltung verwandt.

**β) Automatik.** Die Geräte sind mit Wahlruf ausgerüstet, bei dem der Trägerstrom mit Hilfe der Nummerscheibe in Impulse zerhackt wird. Der Anschluß von Handämtern und Selbstanschlußämtern ist möglich und vielfach ausgeführt. Für den Untereinanderverkehr aller Geräte kann der in jedem Gerät vorgesehene Wellenwechsel eingeschaltet werden (vgl. Kapitel VII, 1 b). Er erfolgt dann selbsttätig auf der rufenden Station und wird durch den Ruf in allen anderen Geräten blockiert. Zur Prüfung, daß die Verbindung in Ordnung ist, dient eine Rufrückmeldung. Die angerufene Station moduliert mit dem Wecker die Gegensträgerwelle und meldet damit der rufenden Station, daß der Ruf angekommen ist.

**γ) Aufbau und Überwachung** (Bild 73 und 74). Zur Überwachung des Gerätes dient ein Hitzdrahtinstrument für den Sendestrom, das sich zusammen mit dem Gleichstrominstrument (Batterievoltmeter) für die Prüfung der Heiz- und Anodenspannungen auf der oberen Montageplatte befindet, und das zur Messung mit Hilfe des darunter angebrachten Druckknopfes eingeschaltet wird.

Zur Überprüfung der Verbindung kann man vom HF-Gerät mit dem Handapparat, der hierfür in eine Klinke gesteckt wird, sprechen. Auf der obersten Platte sitzen außerdem die Wellenwechselrelais. Darunter folgt links die Empfänger-, rechts die Senderplatte mit den Röhren. Mit einem veränderlichen Parallelwiderstand zum Eingangsübertrager des Sprachvor- bzw. Nachverstärkers läßt sich die Lautstärke regeln (Knöpfe auf Empfängerplatte). Unter den Röhren sind die Nummernscheibe, das Drehspulanrufrelais und weitere Relais für die Sendertastung und den Wellenwechsel sichtbar.

Als letzte Platte folgt eine Relaisplatte, auf der die Automatik für den Ruf und die Speisung des Gerätes untergebracht sind. Unter den Sicherungen sieht man den Anodenumformer, das Anodenspannungspotentiometer und die Siebkette.

Als Beispiel für den Aufbau eines Hochfrequenzgerätes sind im Bild 74 die wesentlicheren Teile des Telefunkengerätes genauer bezeichnet.

**δ) Speisung.** Die Speisung kann entweder von einer Batterie, wie im Bild 74 vorausgesetzt, oder durch Maschinen erfolgen. Bei Batterie-speisung versorgt eine automatische geladene Zentralbatterie von 30 V sowohl die Automatik als auch die Heizfäden, letztere über Eisenwasserstoffwiderstände zur Konstanthaltung der Spannung und die Anoden von den Empfängerröhren  $R_6$  und  $R_7$  (Bild 75). Schließlich wird noch ein Umformer 30/400 V, der die Anodenspannung von 220 bzw. 350 V

für alle anderen Röhren — außer  $R_6$  und  $R_7$  — während des Gespräches liefert, aus ihr gespeist. Siebketten zwischen Batterie und Umformer bzw. Umformer und Gerät dienen zur Reinigung der Empfangsströme von Geräuschen.

In neuerer Zeit sind meist Dreimaschinensätze für die Speisung verwandt worden, die normalerweise aus dem Netz, im Störfall aus der



Bild 76. Tragbares Gerät, System Telefunken.

Werksbatterie mit Hilfe eines Drehstrom- bzw. Gleichstrommotors betrieben werden. Die Umschaltung und Rückschaltung von Drehstrom auf Gleichstrom erfolgt selbsttätig, meist über Spannungswächter, die schon bei 20% Spannungsabsenkung des Wechselstromnetzes umschalten.

ε) **Röhren und Reichweite.** Die Röhren sind Sparröhren, wie sie in der kommerziellen drahtlosen Technik üblich sind. Bei Röhrendurchbrennen erfolgt Alarm. Die Sendeleistung ist 10 W. Die Reichweite des Gerätes beträgt etwa 4,5 Neper.

Zahlreiche früher von Telefunken gelieferte Geräte sind von den Mutterfirmen später durch Einbau einer selbsttätigen Pegelregelung auf den neuesten technischen Stand gebracht worden.

## 2. Tragbares Gerät.

Für den Sprechverkehr von der Strecke aus, insbesondere bei Instandsetzungsarbeiten, hat Telefunken ein tragbares Gerät (Bild 76) geschaffen. Um das Gewicht möglichst klein zu halten und den Verkehr trotz dem rauhen Betrieb unterwegs sicher zu gestalten, ist jede Automatik sowie das Anrufrelais fortgelassen. Die Schaltung ist in der Weise vereinfacht, daß die Sprache nach ihrer Vorverstärkung ebenso wie die mit dem Schwingrohr erzeugte Trägerwelle direkt dem Endrohr zugeführt wird, in dem die Modulation stattfindet. Der Empfang wird mit Detektor vorgenommen. Nötigenfalls erfolgt Empfangsverstärkung mit Hilfe eines Verstärkerrohres.

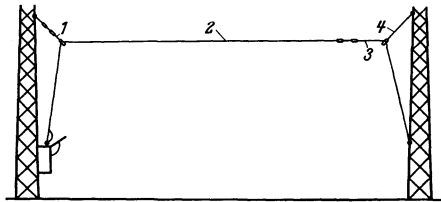


Bild 77.  
Antennenaufhängung unter Hochspannungsleitung zur Ankopplung der tragbaren Geräte.

Ein Handdrehgenerator erzeugt die Spannungen für die Röhren, die normalerweise nur für das Senden benötigt werden. Dadurch wird eine unbegrenzte Betriebsbereitschaft erreicht.

Die Ankopplung erfolgt mit Hilfe einer Antenne, die unter die Hochspannungsleitung zwischen zwei Masten gemäß Bild 77 gespannt wird.

Eine der beiden Endstationen läßt sich mit Sicherheit von der Strecke aus mit dem tragbaren Gerät erreichen, sofern die Gesamtentfernung nicht größer als etwa 150 km ist.

Das Gerät ist in einem Leichtmetallgehäuse untergebracht, in dem auch der Handdrehgenerator und die Antennenhaspel mit Zubehör Platz finden. Die gesamte Traglast wiegt 36 kg. Man sieht im Bild 76 oben das Meßinstrument für den Antennenstrom und die Abstimmmknöpfe für die Schwingkreise, darunter folgen die eingebauten Röhren. Auf der vorletzten Platte sitzt außer dem Wellenumschalter und der Buchse für die Sprechgarnitur die Wählerscheibe zum Anruf der stationären Endgeräte. Diese müssen sich übrigens selbst halten, da der Hochfrequenzträger des tragbaren Gerätes nur beim Sprechen auf der Leitung liegt. — Im untersten Fach sind der Handdrehgenerator und die Antennenhaspel untergebracht.

Der Aufbau und die Inbetriebsetzung des Gerätes erfolgen mit geschultem Personal in etwa 10 min.

#### d) System DeTeWe.

##### 1. Großgerät (Bild 78).

Das Hochfrequenztelefoniesystem der „Deutsche Telefonwerke und Kabelindustrie AG.“ (System Habann) war das erste, das 1924 in Europa den Selektivruf mit den Mitteln der Selbstanschlußtechnik und



Bild 78. DeTeWe-Hochfrequenzsprechergerät, Type C.

den automatischen Wellenwechsel (vgl. Kap. VII, 1 b) in die Praxis der EW-Telefonie einführte. Hierdurch wurde die Betriebsart des „Strahlenverkehrs“, bei dem eine Zentralsprechstelle mit mehreren Unterstationen sprechen kann, nicht dagegen die Unterstationen miteinander, ergänzt durch den beliebigen Untereinanderverkehr aller Teilnehmer wie beim gewöhnlichen Fernsprecherkehr. Durch beide Maßnahmen wurde der Weg des EW-Hochfrequenzgerätes vom „drahtlosen“ Typ zum Drahtbetriebsfernsprecher geebnet.

Das System benutzt stets Zwischenphasenkopplung und kann daher mit kleiner Leistung auskommen. Die ursprünglichen Geräte arbeiten

mit Spezialröhren (nach Habann). Der Schwingungserzeuger (Bild 79) ist ein magnetischer Generator, wie er durch die Kurzwellentechnik in weiteren Kreisen bekannt geworden ist. Modulator und Demodulator für Ruf- und Sprachzwecke sind Röhren mit Schachtelanoden und Verteilerwirkung<sup>1</sup>.

Entsprechend der Grundschaltung des DeTeWe-Gerätes in Bild 79 ist Sender (links oben), Sprachempfänger (rechts oben) und Rufempfänger

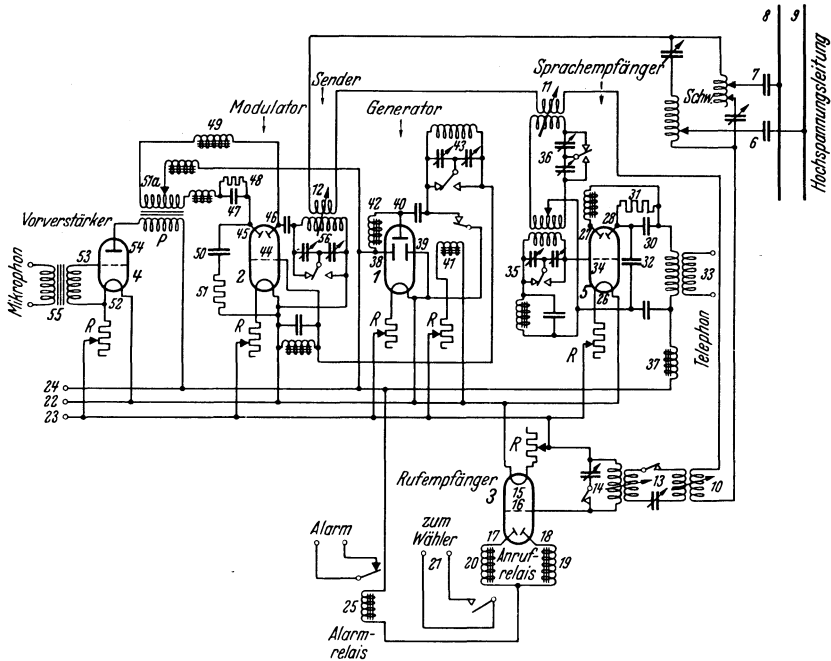


Bild 79. Grundschaltung des DeTeWe-Gerätes.

(unten) über eine Mehrfachankopplung („Schw“) an die Kopplungskondensatoren 6, 7 mit Hilfe der Spulen 12, 11 und 10 angeschlossen.

Die Schwingungen werden mit dem Generatorrohr 1, das eine fallende Charakteristik besitzt, im Schwingungskreis 43 erzeugt und auf das Gitter 44 des Modulatorrohres 2 gegeben. Zwischen die ungleich belasteten Anodenzweige 45, 46 des Modulatorrohres ist der Ausgangsübertrager *P* des Vorverstärkerrohres 4 gelegt, auf dessen Gitter 53 die Mikrofonströme mit Hilfe des Vorübertragers 55 aufgedrückt werden.

Das Modulationsprodukt, Träger und beide Seitenbänder, gelangen über den Schwingungskreis 56 in die Spule 12 und damit in den Leitungskreis.

<sup>1</sup> Habann: Hochfrequenztelefonie und -telegrafie auf Leitungen. Braunschweig: Vieweg 1929, S. 12ff.

Die von dem anderen Leitungsende kommenden Rufströme werden über den Übertrager 10 und die gekoppelten Kreise 13, 14 dem Gitter 16 der Ventilröhre 3 zugeführt, in deren Anodenkreis das Anrufrelais 20 liegt. Dieses betätigt den Rufstromkreis. Die nach erfolgtem Anruf über die Hochspannungsleitung übertragene, mit Sprache modulierte Trägerwelle wird über die Kopplungsspule 11 und die abgestimmten Kreise 36, 35 dem Gitter 34 der Sprachempfängerröhre zugeführt, in deren unsymmetrisch belasteten Anodenkreis der Ausgangsübertrager 33 die Sprachströme nach der Demodulation dem Telefon zuführt.

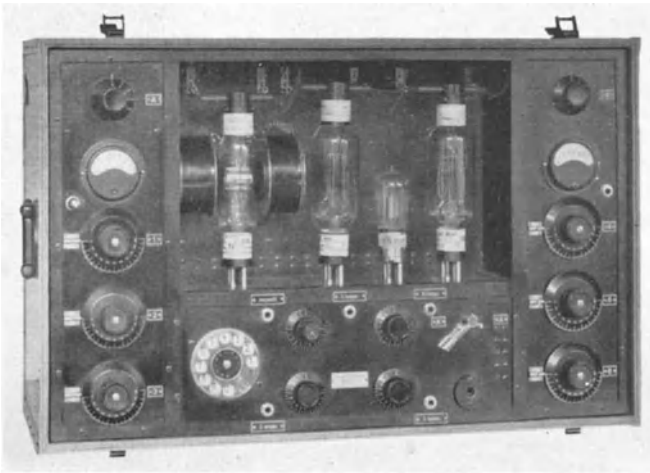


Bild 80. Transportables HF-Sprechgerät, System DeTeWe.

In dem Gerät Bild 78 sind auf der obersten Platte neben dem Meßinstrument für den Hochfrequenzsendestrom die Leitungsabstimmkreise untergebracht. Links oben befindet sich unter dem Leitungsabstimmfeld das Generatorfeld mit den Drehknöpfen für Heiz- und Magnetspannung sowie mit Drehknöpfen für die Abstimmkondensatoren der Schwingungskreise beim Wellenwechsel. Außerdem sitzen auf dieser Platte die Wellenwechsel- und das Tastrelais.

Auf der Rufempfangsplatte, die unter der Sendepatte folgt, befinden sich das Meßinstrument für die Anzeige des Empfangsstromes und wiederum die Drehknöpfe für Heizspannung und Kondensatorabstimmung sowie Rufempfangs-, Alarm- und sonstige Relais.

Unter dieser Platte sitzt die Automatikplatte mit der Wahlscheibe, dem Schauzeichen, dem sichtbaren Drehwähler und den Relais.

Die rechte obere Platte ist die Modulatorplatte mit den Abstimmknöpfen für die Drehkondensatoren und die veränderliche Leitungsan Kopplung des Senders. Außerdem sitzen auf ihr die Anrufglocke sowie die Wellenwechselrelais.

Unter der Modulatorplatte ist die Sprachempfangsplatte angebracht, auf der vier Drehkondensatorknöpfe für die mit Rücksicht auf Selektivität erhöhte Zahl der Abstimmkreise sowie die Wellenwechselrelais und der Drehknopf für die Heizspannung sichtbar sind.

Die Speisung des Gerätes erfolgt aus einer 12-V-Heiz- und einer 24-V-Anodenbatterie oder bei den letzten Typen dieser Geräte aus umlaufenden Maschinen. Die Röhren werden von der Rückseite des Gerätes, die leicht herausnehmbar ist, aus eingesetzt.

## 2. Tragbares Gerät.

Ein transportables Gerät, Bild 80, erlaubt den Gegensprechverkehr mit selektiver Rufmöglichkeit von der Strecke zu den stationären Geräten. In diesem Bilde sind Generatorröhre zwischen den Magnetspulen, die Ventilröhren für Modulation und Demodulation sowie die Vorverstärker- röhre sichtbar. Die Ankopplung geschieht mit Hilfe von Antennen, wie beim Telefunkengerät beschrieben. Eine Akkumulatorenbatterie liefert den Heizstrom für die Röhren und speist den Anodenumformer für 320 V Anodenspannung.

### e) System „Perego“ (S. A. Brevetti Arturo Perego).

Über das System Perego, das vornehmlich in Italien Anwendung gefunden hat, geht aus der Veröffentlichung von Poli<sup>1</sup> folgendes hervor: Es handelt sich um ein Zweikanalsystem mit 10 W Sendeleistung. Die Geräte werden mit handelsüblichen kommerziellen Röhren betrieben. Sie sind mit Bandfiltern ausgerüstet. Das System überträgt den Träger und beide Seitenbänder bis  $\pm 2000$  Hz. Der Ruf erfolgt selektiv mit den Mitteln der Selbstanschlußtechnik. Auftretende Fehler werden durch Alarm signalisiert.

Die Firma hat auch ein tragbares Gerät entwickelt, das den Verkehr von der Strecke zu den festen Stationen erlaubt. Hierbei wird Antennenkopplung verwendet. Das Gerät enthält nur Sprachsender und Sprachempfänger, während Rufempfänger und Automatik in Fortfall kommen.

Die Speisung des stationären Gerätes kann entweder durch Batterien oder durch ein Dreimaschinenaggregat, in gleicher Weise wie bei Telefunken beschrieben, erfolgen. Die Speisung des tragbaren Gerätes geschieht mit Hilfe eines Handdrehgenerators.

### f) System Siemens.

Die Siemens-Zweikanalgeräte sind seit 1934 in vielen Hochspannungsnetzen des In- und Auslandes eingesetzt. Sie haben die folgenden Ausführungsformen:

<sup>1</sup> Poli, Ivan: Telecomunicazioni per alta frequenza al servizio delle reti di trasporto e di distribuzione die energia elettrica. L'energia elettrica, Nov. 1934.

1. vorwiegend Sprechzwecken dienende Hochfrequenzgroßgeräte, die jedoch in den Sprechpausen Fernmessung auf Anwahl und Schaltermeldung gestatten.

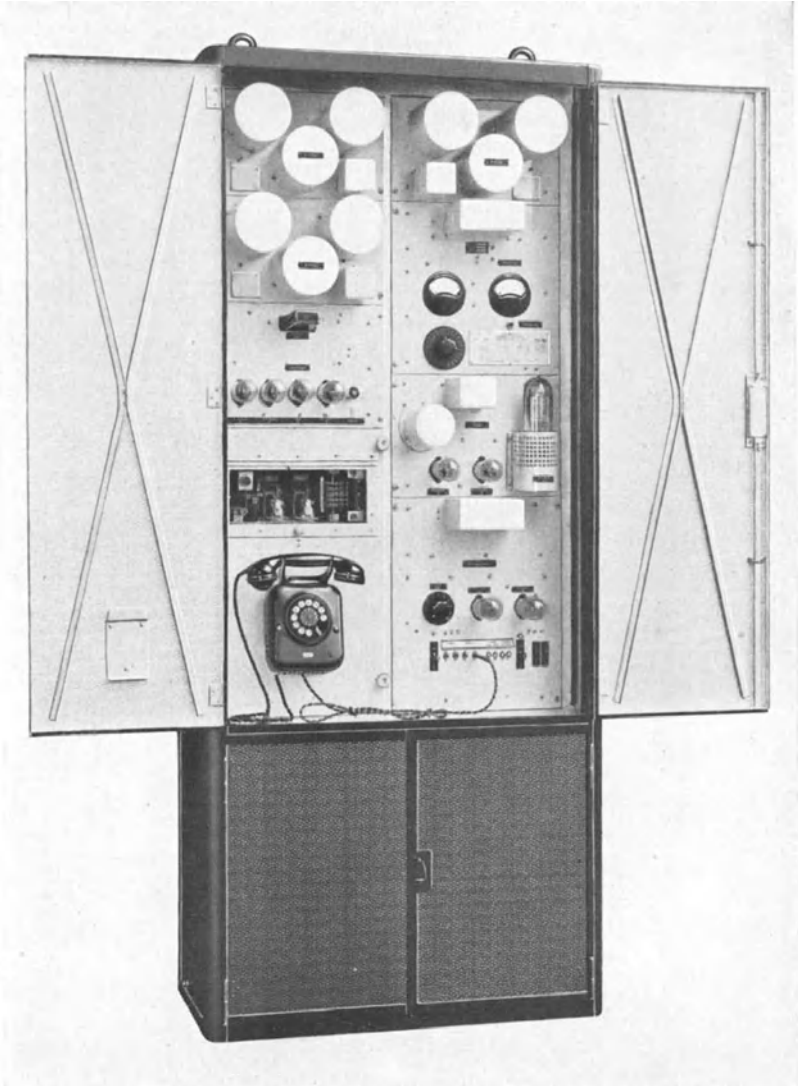


Bild 81. Siemens HF-Sprechgerät, große Type (mit Zweiseitenbandübertragung).

2. Hochfrequenzsprechgeräte, bei denen die HF-Trägerwellen gleichzeitig zum Selektivschutz *einer* Drehstromleitung dienen.

3. Hochfrequenzgeräte, bei denen die Trägerwellen außer mit der Sprache noch mit anderen Tönen für zusätzliche Nachrichtenüber-



tragungen moduliert werden, wobei diese für Unterlagerungsmessung bzw. Selektivschutz von zwei Drehstromleitungen benutzt werden.

4. Hochfrequenzkleingeräte für Sprechzwecke.
5. tragbare Hochfrequenzgeräte.

### 1. Hochfrequenzgroßgeräte, vorwiegend für Sprechzwecke

Bei dieser Type ist nur der Empfänger dauernd in Betrieb. Der Sender wird lediglich während des Gespräches eingeschaltet. Die Pegelregelung erfolgt einmalig vor dem Gespräch. Sie benutzt die Mittel der Automatik (Bild 66). Durch einen Pegelwähler werden stufenweise in den Eingangskreis des Empfängers so viel Glieder einer veränderlichen Dämpfung geschaltet, bis das den Wähler steuernde Empfangsrelais abfällt. Damit ist stets die gleiche optimale Spannung an den Eingangsklemmen des Empfängers vorhanden, vorausgesetzt, daß die Dämpfungszunahme nicht die normalerweise zu vernichtende Energiereserve übersteigt (regelbare Reserve i. a. etwa 3,5 Neper bei einer Gesamtreichweite von 7 Nepern). Für die Aufnahme der auf die Einpegelung folgenden Rufimpulse wird das Relais auf eine höhere Empfindlichkeitsstufe umgeschaltet.

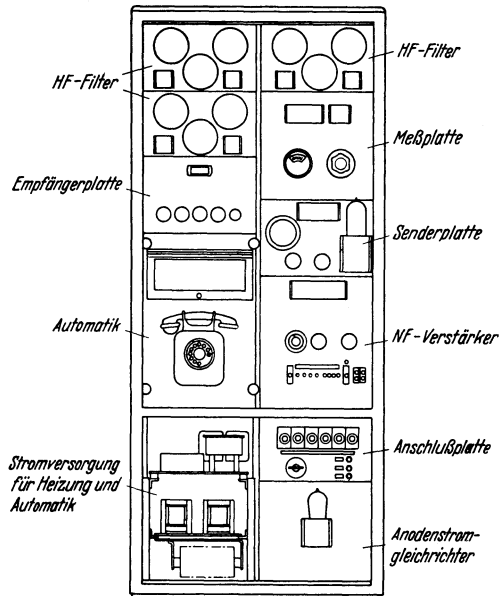


Bild 82. Aufbau des HF-Großgerätes.

Das Gerät, Bild 81, ist in seinem Aufbau so eingeteilt, daß Sender und Empfänger je eine Hälfte des Schrankes einnehmen. Die einzelnen Montageplatten, Bild 82, sind leicht auswechselbar. Man erkennt oben die Filter, darunter links die Empfangsröhren, und zwar 2 Hochfrequenzverstärkerstufen, einen Sprachgleichrichter bzw. eine 3. HF-Verstärkerstufe und das Rufempfangsverstärkerrohr sowie das Anrufrelais. Unter den Röhren ist die Automatik hinter staubdichtem Glasverschluß angebracht. Unter dieser sitzt der Sprechapparat für Prüfzwecke am Gerät. Auf die Sendefilter, rechts oben, folgen untereinander die Meßplatte mit Meßmöglichkeit sämtlicher Spannungen im Gerät, die an einem Gleichstrominstrument abgelesen und mit den darunter verzeichneten Sollwerten verglichen werden können.

Ein Thermoinstrument läßt nach Einschaltung des Senders und Einstellung des Meßstellenumschalters auf die entsprechende Stellung den herausgehenden Sendestrom erkennen. Darunter sitzt die Sendeplatte mit dem Schwingungserzeugerrohr, dem Mischrohr und dem Leistungsverstärker sowie mit der Schwingkreisspule und den Wellenwechselrelais. Sämtliche Röhren sind technische Röhren, wie sie in postalischen Verstärkerämtern verwendet werden. Diese haben eine große Gleichmäßigkeit sowohl in der Charakteristik wie in der hohen

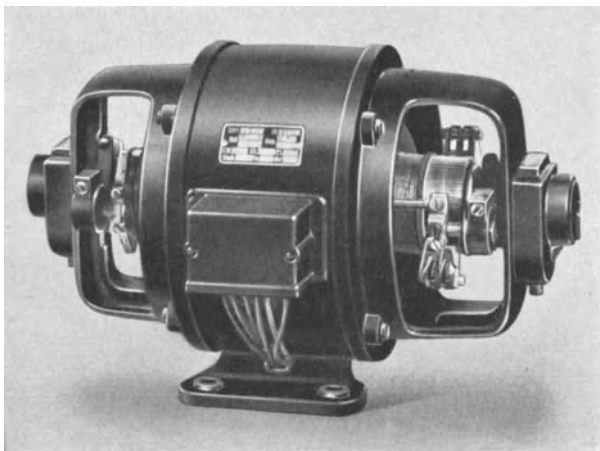


Bild 83. Notstromaggregat zur Erzeugung von 220 V 50 Per. aus der Stationsbatterie.

Lebensdauer. Unter der Sendeplatte folgt die Niederfrequenzplatte mit Sprachvor- und Nachverstärker, einem Lautstärkereglер sowie den Signalisierungslampen und Klinken.

Das Gerät ist für die Überbrückung einer Gesamtdämpfung von 7 Nepern geeignet. Der Frequenzabstand zum nächsten Sender am gleichen Ort muß mindestens 5 kHz, der zum nächsten Empfänger mindestens 10 kHz betragen. Sende- und Empfangsfrequenz des gleichen Gerätes liegen i. a. etwa 15—20 kHz auseinander (vgl. S. 49).

Zur Trennung von Sende- und Empfangsfrequenzen sowie zur Fernhaltung fremder Störfrequenzen sind die obenerwähnten Filter eingesetzt. Der Anschluß an die Koppelkondensatoren erfolgt mit Hilfe von Koppelfiltern (Bild 29 und 30). Bei 2000 cm Koppelkapazität und einphasiger Ankopplung lassen diese einen sehr breiten Frequenzbereich durch, etwa 50—100 kHz bzw. 100—250 kHz. Die ausschließliche Verwendung von Filtern an Stelle von Resonanzkreisen vermeidet Sprachverzerrungen und ermöglicht damit einen einwandfreien Weitsprechverkehr.

Auf diesen ist auch die Automatik abgestellt. Sie gestattet zunächst den Anschluß zweier elektrisch gegeneinander verriegelter Teilnehmer,

d. h. z. B. der Direktionssprechverkehr kann von einem Teilnehmerapparat aus ohne Mithörmöglichkeit des zweiten erfolgen. Trotzdem kann z. B. der Lastverteiler durch Wahl einer besonderen Nummer sich auf jedes bestehende Gespräch aufschalten. Ein Impulsspeicher sorgt dafür, daß Impulse erst auf die Leitung gehen, wenn der eigene Sender betriebsklar und die Gegenstation eingepegelt ist. Beim Weitsprechverkehr kommt man mit höchstens zweistelligen Rufnummern aus, auch wenn mehrere Abschnitte hintereinandergeschaltet sind. Ist ein Abschnitt besetzt, so erhält der vom Nachbarabschnitt aus rufende Teilnehmer ein akustisches Besetztzeichen. Ruft der Lastverteiler mit einer bevorzugten Nummer, so schaltet er sich auf die bestehende Verbindung auf und verlangt Freimachung der Leitung. Danach baut sich infolge des Einsatzes der Speicher die gewählte Verbindung selbsttätig auf, ohne daß der Lastverteiler neu wählen müßte. Bei Auflegen eines der beiden am Gespräch beteiligten Teilnehmer fällt die Verbindung zusammen. Damit wird die Leitung für neue Gespräche frei, selbst wenn einer der beiden Teilnehmer vergißt, aufzulegen (Rückauslösung).

Für besonders störanfällige Leitungen wird ein Tonruf verwendet, der den Störpegelabstand infolge der Tonsiebung vergrößert (vgl. S. 74).

Die Speisung des Gerätes erfolgt aus dem Netz von 220 oder 110 V, 50 Per. mit Hilfe eines Netzanschlußteiles, der unten im Gerät eingebaut ist.

Für den Netzausfall ist ein Notstromaggregat (Bild 83) vorgesehen, das von der Werksbatterie angetrieben wird und geräteseitig 220 V, 50 Per. abgibt. Einschaltung und Rückschaltung erfolgen i. a. selbsttätig über eine Schalttafel (Bild 84) mit den nötigen Schützen, Schaltern Sicherungen usw.

Das grundsätzliche Schaltbild des Sprechgerätes ist in Bild 65 dargestellt und der allgemeinen Beschreibung einer Hochfrequenztelefonieverbindung auf S. 75 zugrunde gelegt.

Diese Gerätetype A erlaubt außer dem Sprechverkehr durch Einbau einer einfachen Relaisanordnung die Fernmessung auf Anwahl während der Gesprächspausen bzw. die Schalterstellungsmeldung und Fern-



Bild 84. Schalttafel zum Notstromaggregat.

steuerung in der früher geschilderten Form (S. 63f.). Für die Schalterstellungsmeldung bzw. Steuerung kann die Aufschaltmöglichkeit auf bestehende Gespräche vorgesehen werden, wenn sie vor Gesprächen den Vorrang erhält.

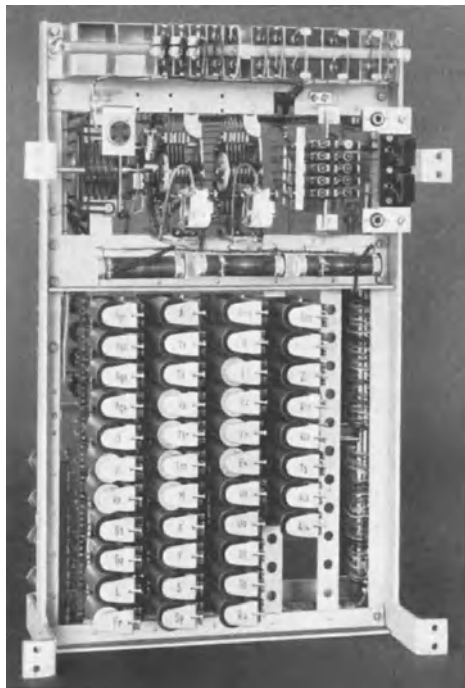


Bild 85. Zusatzgestell zum HF-Großgerät für Fernsteuerung.

Die Unterbringung der hierfür nötigen Relais usw. erfolgt im Automatikteil bzw. im unteren Teil des Gerätes, so daß sich sein Äußeres hierdurch nicht ändert. Die Zahlengeber, Relais, Wähler usw. für die Auswahl der Schalter bzw. das Leuchtschaltbild oder die Anzeigevorrichtung auf der Empfangsseite werden auf Sondergestellen gemäß Bild 85 angeordnet. Diese sind für die verschiedenen Anforderungen je nach dem Sonderfall ausbaufähig.

Auch die Benutzung dieser Gerätetype für das Fernschreiben während der Gesprächspausen, die nur einen kleinen zusätzlichen Aufwand im Automatikteil des Hochfrequenzgerätes bedingt, da die Schreibverbindung im „Eintonverfahren“ den Sprechweg benutzt, ändert gemäß Bild 57 das Äußere des HF-Gerätes nicht.

2. Hochfrequenzsprechgeräte, geeignet für Selektivschutz einer Drehstromleitung.

Obwohl bei der direkten Benutzung der Trägerwelle der Gerätetype *B* für den Selektivschutz einer Drehstromleitung diese dauernd ausgesendet und mit ständig wirkender Pegelregelung versehen werden muß (vgl. S. 68), hat dies auf die äußere Erscheinung des Gerätes nur geringen Einfluß. Die ständige Pegelregelung wird entweder mit Heißleitern oder Röhren mit veränderlichem Verstärkungsgrad durchgeführt (Exponentialröhren vgl. S. 80).

3. Hochfrequenzsprechgeräte, geeignet für Fernmessung und Selektivschutz zweier Drehstromleitungen.

Die Type C dagegen benötigt räumlich für die Unterlagerung bzw. für den gleichzeitigen Selektivschutz von zwei Drehstromleitungen zwei

Schränke von der Größe des Telefoneschranks. Bild 86 zeigt links den Tonfrequenz-, rechts den eigentlichen Fernsprechschränk. Hier ist die ständig wirkende Pegelregelung mit Heißeleitern auf der Empfangsröhrenplatte des Telefoneschranks ausgeführt (obere Röhrenreihe).

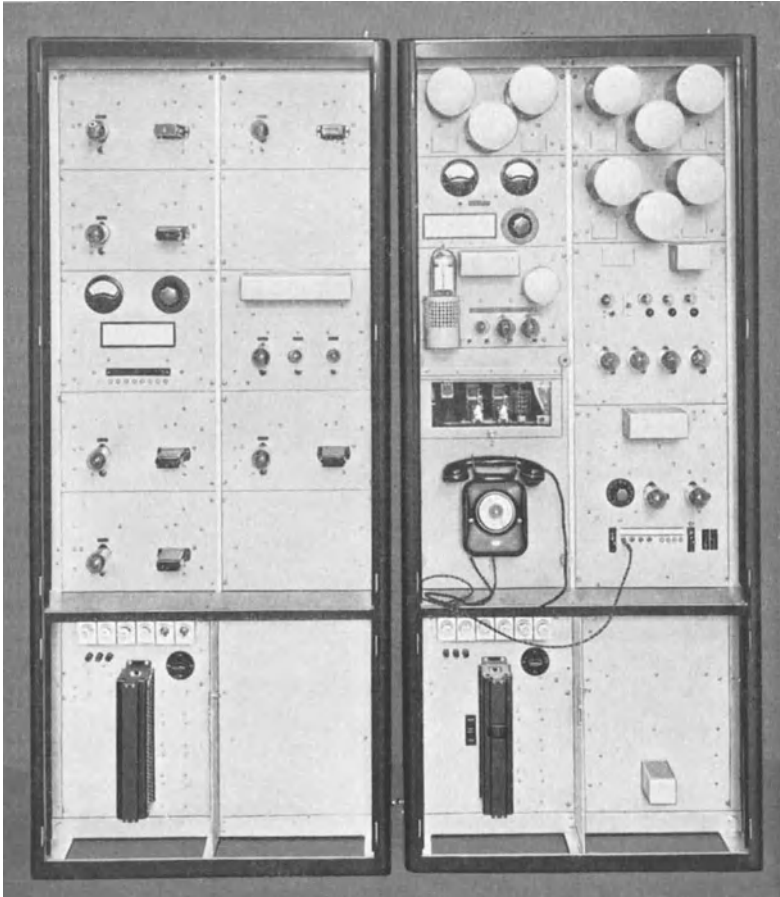


Bild 86. Kombiniertes HF-Sprech- und Selektivschutzgerät für zwei Drehstromleitungen (Siemens & Halske).

Im Tonfrequenzschrank sind sechs Tonfrequenzplatten mit je einer Röhre und einem Relais auf ihrer Vorderseite, eine Meßplatte mit Gleichstrominstrument, Meßstellenumschalter und Sollwerttafel sowie eine Platte mit einem Rohr zur Rufempfangsverstärkung, zwei Eisenwasserstoffwiderständen und einigen verdeckten Relais untergebracht. Von den sechs Tonfrequenzplatten dienen zwei als Unterlagerungstonsender und -empfänger für den Ruf, und je einer der beiden übrigen Tonsender bzw. Tonempfänger im Sprachband ist als Überwachungskanal einer der

beiden Drehstromleitungen für Selektivschutzzwecke zugeordnet (vgl. S. 70). Die beiden Leerplatten können mit Unterlagerungssendern und -empfängern für Dauerfernmessung in beiden Richtungen ausgerüstet werden (vgl. S. 68). Im unteren Teil sitzen Regelwiderstände bzw. Sicherungen für die Maschinenspeisung, die für den Selektivschutz erforderlich ist (vgl. S. 163).

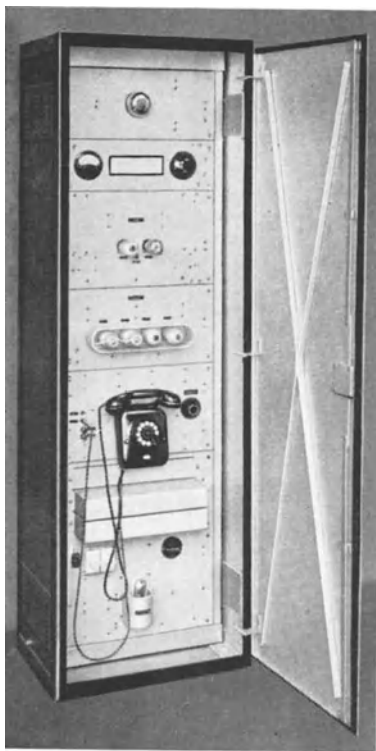


Bild 87. HF-Telefoniekleingerät  
(Siemens & Halske).

#### 4. Kleingerät.

Für einfache Anforderungen in Mittelspannungsnetzen bis 60 kV genügt ein Kleingerät, das geringere Leistung (Reichweite etwa 4 Neper), vereinfachte Automatik und Pegelregelung besitzt und i. a. keinen Wellenwechsel vorsieht. Die Bauelemente sind die des Großgerätes. Normalerweise werden zwei Geräte in einem Sprechabschnitt oder mehrere im Strahlenverkehr (vgl. Kap. VII, 1b) zusammengefaßt.

Der Filterteil ist ebenfalls vereinfacht, so daß weder die hohe Selektivität der Großgeräte, die für den dichten Einsatz bei 100 kV-Netzen erforderlich ist, noch deren Sprachqualität erreicht wird, wie sie die Hintereinanderschaltung mehrerer Sprechbezirke verlangt (vgl. S. 143).

Die vorhandene Automatik gestattet den Selektivruf der Teilnehmer im Sprechabschnitt und den Anschluß mehrerer Tischapparate an jedes Gerät mit mehr als zwei Adern, nicht dagegen den Übergang auf Selbstanschlußämter.

Das Bild 87 zeigt den schmalen Kleingeräteschrank mit den untereinander angebrachten Meß-, HF-Sende-, HF-Empfangs-, Niederfrequenz- und Automatikplatten sowie mit dem Netzanschlußgerät.

#### 5. Tragbares Gerät.

Dieses entspricht dem Telefunkengerät. Nur wurden weitere, umschaltbare Abstimmkreise vorgesehen, um den Einsatz der tragbaren Geräte in mehreren frequenzverschiedenen Sprechabschnitten ohne zeitraubende Umstimmung zu ermöglichen.

## g) System AEG.

Von der AEG, die zahlreiche Hochfrequenzanlagen im In- und Ausland errichtet hat, sind bisher folgende Geräte bekannt geworden:

1. Hochfrequenzgroßgerät für Sprechzwecke (mit Wellenwechsel),
2. Hochfrequenzgerät für End- bzw. Linienverkehr,
3. Hochfrequenzgroßgeräte für kombinierte Zwecke,
4. Hochfrequenzkleingeräte,
5. Tragbare Hochfrequenzgeräte,
6. Zwischenverstärker ohne Sprechstelle,
7. HF-Zwischenverstärker mit Sprechstelle.

## 1. Hochfrequenzgroßgerät für Sprechzwecke.

α) Aufbau (Bild 88). Das Hochfrequenzsprechgerät großer Ausführung besitzt normalerweise Wellenwechsel (Kap. VII, 1 b) und kann daher in Hochfrequenzverbindungen für Strahlen- oder Wellenwechselverkehr eingesetzt werden. In Sonderausführungen wird es für Endverkehr (vgl. S. 68) bzw. für kombinierte Zwecke geliefert. Konstruktiv sind die Geräte so aufgebaut, daß nötigenfalls eine Ausführung in die andere übergeführt werden kann.

Das Hochfrequenzgerät ist in einem vorn und hinten zu öffnenden Standschrank untergebracht, in dem sich im obersten Felde die Leitungs- und Überwachungsinstrumente, darunter die Sende- und

Empfangsfilter einschließlich der Wellenwechselrelais, und unter ihnen rechts der Sender, links der Empfänger sowie in der Mitte der Niederfrequenzteil mit den dazugehörigen Röhren befindet. Links unter dem Empfänger sitzt der Drehpegelregler, dessen Einstellung durch ein Glasfenster überwacht werden kann, sowie die zur Kennzeichnung von evtl. Fehlern dienenden Überwachungslampen, die Anschlußbuchse für



Bild 88. HF-Telefoniegroßgerät der AEG.

die Schranksprechstelle und der Meßstellenumschalter. Rechts befindet sich in dem in Fernsprechanlagen üblichen Aufbau der Relaiseteil. Der Wähler ist hinter einer Glasscheibe angeordnet, so daß er beobachtet werden kann. Im untersten Geräteteil sitzt rechts das Netzanschlußgerät, links befinden sich die Eisenwasserstoffwiderstände zur Konstanthaltung der Heizströme. Nach Bedarf kann unterhalb von ihnen die Notstromautomatik eingebaut werden.

β) **Sender-Empfänger** (Bild 89). Die in der Schwingungserzeugerstufe *Gen* erzeugte Hochfrequenz wird im Hochfrequenzvorverstärker *HVV*

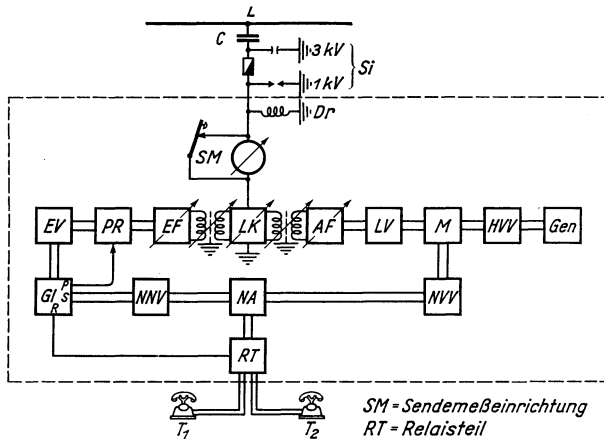


Bild 89. Grundsätzliches Schaltbild des HF-Telefoniegroßgerätes der AEG.

verstärkt. Die Modulation erfolgt im Modulator *M*, nach dem die vom Niederfrequenzanschluß *NA* kommenden Sprechströme im Vorverstärker *NVV* verstärkt sind. Vom Leistungsverstärker *LV*, der die in Deutschland maximal zulässige Leistung von 10 W abgeben kann, gehen die modulierten Hochfrequenzströme über das Ausgangsfilter *AF* auf den Leitungskreis *LK* und über diesen und den Hochspannungskondensator auf die Hochspannungsleitung. Die auf den Empfänger auftreffende Hochfrequenz gelangt über den Leitungskreis *LK*, das Empfangsfilter *EF*, den Pegelregler *PR* und den Empfangsverstärker *EV* auf den Gleichrichter *GL*, der gleichzeitig zur Einstellung des Pegelreglers, zur Aufnahme der Sprache und des Rufes verwendet wird. In Abhängigkeit von dem im Gleichrichter *GL* erzeugten Gleichstrom wird in dem als Pegelregler verwendeten von einem Drehspulsystem angetriebenen Differentialdrehkondensator die Eingangsspannung am Empfangsverstärker selbsttätig geregelt, womit Änderungen der Leitungsdämpfung weitgehend ausgeglichen werden. Die dem Gleichrichter *GL* entnommene Niederfrequenz wird über den Nachverstärker *NVV* und den Niederfrequenzanschluß des Relais teiles *RT* den Teilnehmerapparaten *T*<sub>1</sub> oder *T*<sub>2</sub> zugeführt. Während die Pegelregelung selbsttätig bei



Beginn und während jedes Gespräches stattfindet, werden bei der Inbetriebsetzung die für Sender und Empfänger vorgesehenen Lautstärke-regler von Hand eingestellt.

**γ) Röhren.** Die Entwicklung der verwendeten Röhren hat sich aus der Rundfunktechnik ergeben. Der Aufbau entspricht Rundfunkröhren, berücksichtigt aber die besonderen Anforderungen der EW-Technik. In der Senderendstufe sind Schirmgitterröhren verwendet. Sämtliche Röhren sind indirekt geheizt, so daß die Heizung dauernd eingeschaltet ist und keine Wartezeiten für das Anheizen entstehen.

**δ) Filter und Leitungsabstimmkreise.** Die Kompensation des Blindwiderstandes des Koppelkondensators für die Trägerfrequenzen erfolgt entweder durch ein Leitungsabstimm- oder Überbrückungsfilter am Koppelkondensator selbst oder durch den Leitungsabstimmkreis  $LK$  im Gerät. Die Sende- und Empfangsfilter  $AF$  und  $EF$  sind aus veränderlichen Bauteilen so zusammengesetzt, daß ihre Umstimmung auf andere Trägerfrequenzen an Ort und Stelle erfolgen kann.

**ε) Automatik.** Die Automatik gestattet außer der im Schrank vorgesehenen Sprechstelle zur Überwachung den Anschluß von zwei Teilnehmerapparaten. An Stelle der Teilnehmersprechstellen können Vermittlungseinrichtungen angeschlossen werden, die manuell, halb-selbsttätig oder vollselbsttätig arbeiten. Außerdem ist die Automatik für den Anschluß von Einrichtungen zur Übertragung von Fernmeßwerten auf Abfrage bzw. während der Gesprächspausen, oder von Schalterstellungsmeldungen vorgesehen.

**ζ) Meßeinrichtung und Netzanschlußteil.** Zur Kontrolle aller betriebswichtigen Ströme und Spannungen dient ein Meßgerät, das sowohl den Senderstrom als auch alle übrigen Ströme und Spannungen zu kontrollieren gestattet und über einen Meßumschalter an alle wesentlichen Meßstellen gelegt werden kann.

Die Speisung des Gerätes erfolgt aus dem Netzanschlußteil in der gleichen Weise wie bei anderen modernen Geräten.

## 2. Hochfrequenzgerät für End- bzw. Linienverkehr (Bild 90).

Zum Einsatz in Sprechbezirken, bei denen die Endgeräte dauernd senden, die Pegelregelung dauernd erfolgt und die Rufimpulse durch Tonfrequenz übertragen werden, wird das Hochfrequenzgerät für End- bzw. Linienverkehr verwendet. Es entspricht in allen Teilen dem beschriebenen Hochfrequenzgroßgerät, besitzt jedoch nur ein Empfangsfilter und ein Sendefilter, also keinen Wellenwechsel, ist dafür aber mit dem Tonfrequenzerzeuger und Tonfrequenzempfänger zur Rufübertragung ausgerüstet. Das Relaisenteil entspricht bis auf den Tonruf und die besondere Betriebsweise dem Gerät unter 1.

### 3. Hochfrequenzgroßgeräte für kombinierte Zwecke.

Das Hochfrequenzgroßgerät für kombinierte Zwecke ist, ähnlich wie das Hochfrequenzgroßgerät unter g2, mit dauernd wirkender Pegelregelung und Tonruf ausgerüstet. Außerdem enthält es jedoch noch



Bild 90. HF-Gerät der AEG für End- bzw. Linienverkehr.

einen Sender für eine unterhalb des Sprachbandes liegende Unterlagefrequenz, die unabhängig von dem Ferngespräch für Telegrafiezwecke z. B. Meßwertdauerübertragung ausgenutzt werden kann. Durch Umschaltung dieses Unterlagekanals kann der HF-Kanal auch für die Übertragung von Selektivschutzkriterien für ein Leitungsende verwendet werden. Um die Übersteuerung des Senders bei übermäßig hohen Sprachamplituden (Überschreien und damit Störungen des Telegrafiekansals) zu vermeiden, ist es mit Amplitudenbegrenzungseinrichtungen ausgerüstet. Die Sprechfrequenzen werden im Bereich von 350 bis 2400 Hz übertragen, während der Frequenzbereich unter 300 Hz für

den Unterlagerungskanal benutzt wird. Die Trennung der Sprache von der Unterlagerungsfrequenz erfolgt durch Niederfrequenzfilter.

Bei Drehstromdoppelleitungen kann mit ähnlichen Mitteln eine zusätzliche Übertragung innerhalb des Sprachbandes geschaffen werden, um beide Leitungen mit Hochfrequenzselektivschutz auszurüsten.

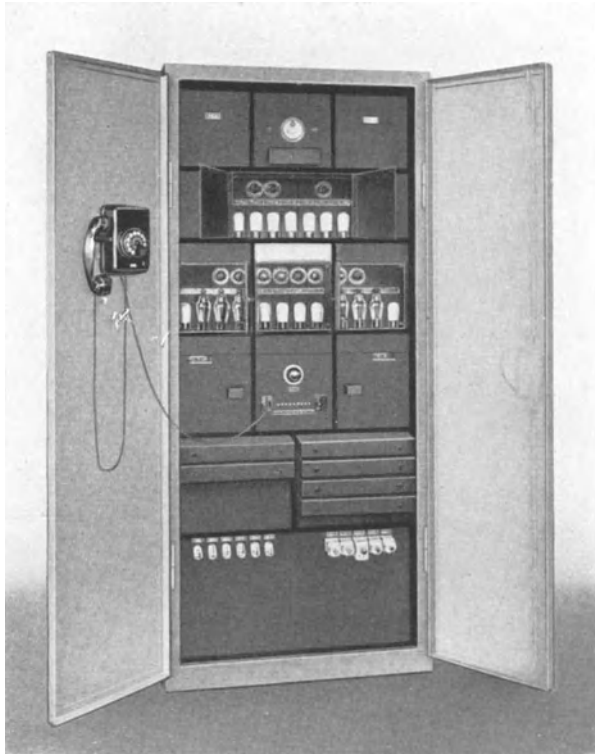


Bild 91. HF-Telefoniergerät der AEG für kombinierte Zwecke.

#### 4. Kleingeräte (Bild 92).

Für Netze mit geringeren Anforderungen (bis 60 kV) werden Hochfrequenz-Kleingeräte verwendet, die eine einfache Pegelregelung, geringere Selektivität und einen stark vereinfachten Relaiseteil haben, der zwar den Selektivruf und Handvermittlung, jedoch nicht die selbsttätige Weiterwahl in Nachbarbezirke oder Niederfrequenzanlagen gestattet.

Das Gerät ist mit denselben Bausteinen wie das Großgerät in einem kleineren Standschrank aufgebaut. Das Bild zeigt oben das Meßinstrument. Auf der gleichen Platte sitzen der Leitungsabstimmkreis und die Filter, darunter Sender, Empfänger und Niederfrequenzteile auf einer

Platte und unter diesen der Relaiseteil, die Sicherungen und der Niederfrequenzanschluß. Im untersten Teil des Gerätes ist der Netzanschlußteil untergebracht bzw. Platz für die Umschalteinrichtung bei Notstromversorgung vorgesehen.

Die Sendeleistung ist entsprechend den geringeren Anforderungen kleiner, die Schaltung des Senders entspricht sonst im wesentlichen der

des Großgerätes ebenso wie die des Empfängers, der eine geringere Verstärkungsreserve hat, so daß die Reichweite etwa 4 Neper beträgt. Die Pegelregelung erfolgt im Gegensatz zum Großgerät durch eine Röhrenanordnung ähnlich dem Schwundausgleich bei Rundfunkgeräten.

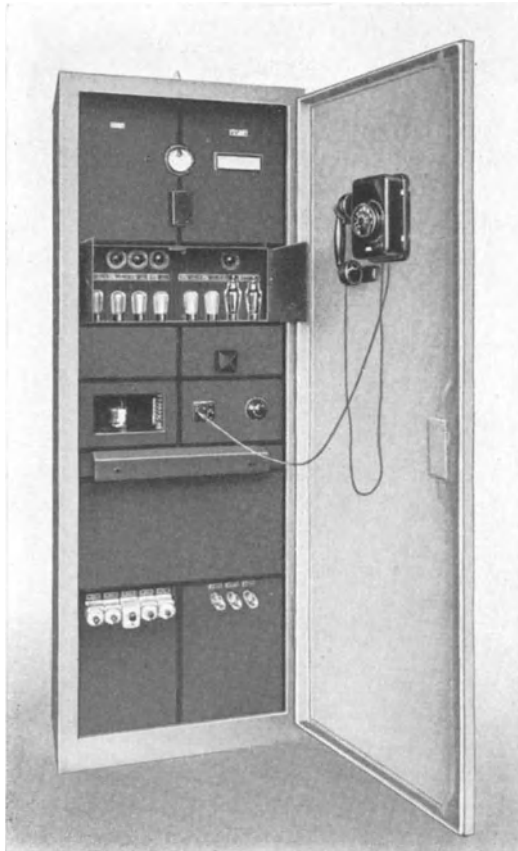


Bild 92. HF-Telefoniekleingerät der AEG.

Jede der beiden Trägerfrequenzen des Sprechbezirkes wird nur in einer bestimmten Richtung verstärkt, so daß bei Wellenwechselsprechbezirken (vgl. Kap. VII, 1 b) die Hochfrequenzgeräte auf wahlweisen Wellenwechsel umgestellt werden müssen. Die im Verstärker erzielbare Verstärkung hängt von der Rückkopplungsdämpfung zwischen den beiden angekoppelten Leitungen ab und liegt in der Regel in der Größenordnung von  $2-2\frac{1}{2}$  Neper, bezogen auf die Anschlußpunkte der Kopplungskondensatoren an der Leitung, vgl. S. 137.

#### 5. Tragbares Gerät.

Das tragbare Hochfrequenzgerät entspricht dem tragbaren Telefongerät.

#### 6. Zwischenverstärker ohne Sprechstelle.

Der Zwischenverstärker ohne Sprechstelle dient zum Einsatz in Hochfrequenzfernsprechanlagen, die mit Hochfrequenzgroß- oder -kleingeräten ausgerüstet sind.

Die von Werk I (Bild 93a) kommende Hochfrequenz  $f_1$  kommt über den Leitungskreis  $LK$  auf das Empfangsfilter  $EF$  der Frequenz  $f_1$  und geht über den Pegelregler, den Leistungsverstärker und das Ausgangsfilter für die Frequenz  $f_1$  auf den Leitungskreis, über den sie der Leitung zum Werk III zugeführt wird. In ähnlicher Weise geht die Trägerfrequenz  $f_2$  vom Werk III über den Leitungskreis, das Empfangsfilter für die Frequenz  $f_2$ , den Pegelregler, den Leistungsverstärker und das Ausgangsfilter für die Frequenz  $f_2$  auf den Leitungskreis und die Leitung

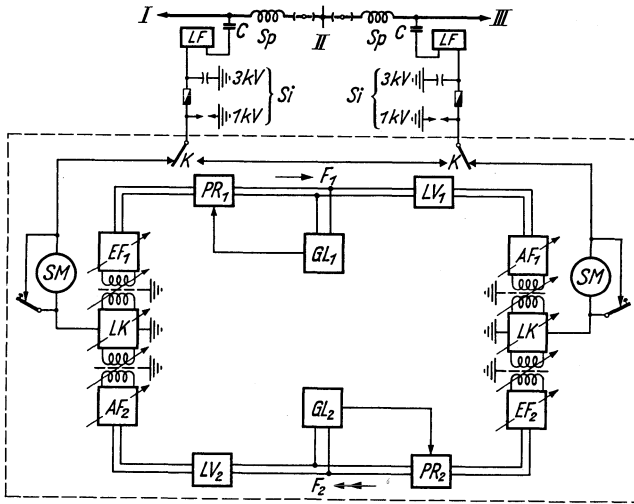


Bild 93a. Schaltbild des AEG-Zwischenverstärkers.

zum Werk I. Vor beiden Verstärkern liegt ein Pegelregler, der durch den jeder Frequenz zugeordneten Gleichrichter eingestellt wird. Die Zwischenverstärker sind in der gleichen Weise wie die Hochfrequenzgroß- und -kleingeräte in vorn und hinten zugänglichen Standschränken eingebaut. Sie besitzen die gleichen Abstimmittel und werden ebenso mit Netzanschlußgeräten ausgerüstet, die durchweg mit Trockengleichrichtern arbeiten. Die Pegelregler bestehen auch hier aus den oben beschriebenen Drehpegelreglern.

Bei Auftreten von Störungen werden in gleicher Weise Störungskennlampen eingeschaltet. Außerdem werden, sofern die Störungen den Betrieb des Hochfrequenzverstärkers wenigstens in einer Richtung unterbrechen, die Kontakte  $k$  umgelegt, die den Zwischenverstärker während der Störung kurzschließen und die Verbindung ohne Zwischenverstärkung aufrecht erhalten.

### 7. HF-Zwischenverstärker mit Sprechstelle.

Die Hochfrequenzzwischenverstärker mit Sprechstelle werden für zwei Betriebsarten gebaut, und zwar

1. für Tastrufbetrieb, wie er den Verkehrsarten Wellenwechsel und Zentralverkehr (vgl. Kap. VII, 1b) entspricht und
2. für den Linienverkehr (vgl. S. 140).

Die grundsätzliche Schaltung stellt Bild 93b dar. Wie bei den Zwischenverstärkern ohne Sprechstelle, sind Filter, Pegelregler und Verstärker für jede Richtung vorhanden. Außerdem sind sie mit allen Einrichtungen des großen Hochfrequenzgerätes ausgerüstet, so z. B. mit einem Rufempfänger und einem Sprachempfänger für jede Frequenz,

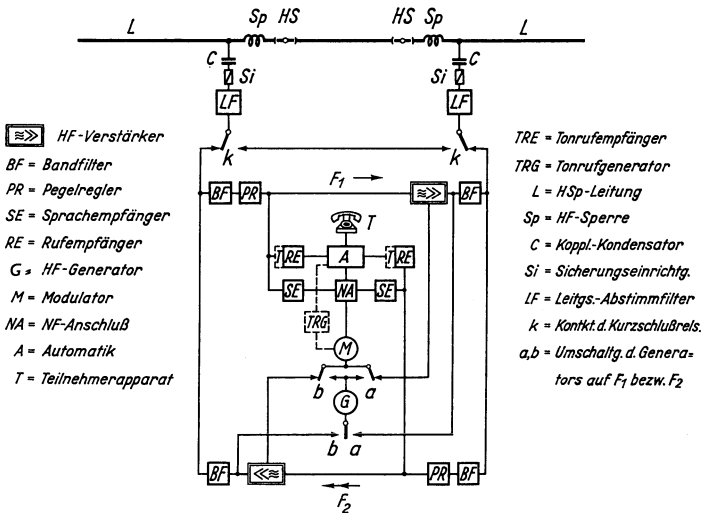


Bild 93b. Schaltbild des AEG-Zwischenverstärkers mit Sprechstelle.

mit Niederfrequenzanschluß, Automatik, einer Modulationseinrichtung und einem Generator. Bei den Zwischenverstärkern für Tastrufbetrieb wird der eigene Generator entweder auf der Frequenz  $f_1$  oder  $f_2$  in Betrieb gesetzt, je nachdem, nach welcher Richtung der Zwischenverstärker sprechen will, bzw. von welcher Richtung aus er angerufen wird. Die Modulationseinrichtung wirkt dabei auf den eigenen Generator bzw. die von ihm erzeugte Hochfrequenz.

Beim Linienverkehr besitzt der Zwischenverstärker mit Sprechstelle außer den genannten Einrichtungen noch Tonfrequenzrufempfänger für jede Frequenz und einen Tonfrequenzgenerator. Die von den Endgeräten des Sprechbezirkes gesendeten Hochfrequenzen durchlaufen die Verstärker und werden bei einem Gespräch in diesen Verstärkern moduliert, so daß bei dieser Betriebsweise im Gegensatz zum Sprechabschnitt mit Wellenwechsel (vgl. Kap. VII, 1b), die Teilnahme von mehr als zwei HF-Sprechstellen an einem Gespräch möglich ist. Hierzu kann jede beliebige HF-Sprechstelle eines Sprechbezirkes sich auf ein bestehendes Gespräch aufschalten. Für besonders wichtige Sprechstellen (Lastver-

teiler) kann die Möglichkeit vorgesehen werden, durch entsprechende Maßnahmen eine bestehende Verbindung zwangsweise zu trennen, um den Kanal für seine eigenen Zwecke zu verwenden.

Bei Zwischenverstärkern für Tastbetrieb besteht die erwähnte Aufschaltmöglichkeit nur für Gespräche, die über den Verstärker hinweggeführt werden. In allen übrigen Fällen findet die Aufschaltung wie beim Wellenwechselverkehr durch Inbetriebsetzung des eigenen Senders statt. Ein HF-Generator ist auch beim Linienverkehrverstärker vorhanden. Er wird dort jedoch nur dann eingeschaltet, wenn etwa durch Leitungsbruch oder Fehler in einem Endgerät der Hochfrequenzträger in einer Richtung ausbleibt.

Konstruktiv sind beide Hochfrequenzverstärker so aufgebaut, daß sie nötigenfalls in die andere Ausführungsform umgewandelt werden können. Sie sind ebenfalls, wie die Hochfrequenzgeräte, in einem vorn und hinten leicht zugänglichen Standschrank eingebaut und entsprechen in allen Einzelteilen dem Aufbau der großen Hochfrequenzgeräte (g 1 und 2). Sie besitzen — wie das Hochfrequenzgroßgerät für den Wellenwechsel — je ein Empfangs- und ein Ausgangsfilter für jede Trägerfrequenz, die aus den gleichen Bauteilen wie bei den Großgeräten zusammengesetzt sind.

Zur Pegelregelung dienen ebenfalls die Drehpegelregler, deren Einstellung durch ein Fenster beobachtet werden kann und die den Zustand der Verbindung zu überprüfen gestattet. Die Automatik entspricht der Automatik des Hochfrequenzgerätes für Linienverkehr (2) und ermöglicht ebenso wie die Automatik der großen Hochfrequenzgeräte den vollautomatischen Anschluß an Wählerzentralen, die automatische Vierdrahtdurchwahl oder auch die Vierdrahtanddurschaltung in Nachbarnsprechbezirke (vgl. S. 145).

### 3. Die Einseitenbandgeräte.

#### System Siemens.

Das Einseitenbandgerät System Siemens benötigt nur eine Bandbreite von 5 kHz für ein Gespräch.

Es benutzt als Zwischenfrequenz für die erste Modulationsstufe (vgl. S. 58) in beiden Richtungen einen Träger von 10 kHz.

#### 1. HF-Sprech-Endgeräte.

a) Sender (Bild 94 a). Die vom Teilnehmer *T* gesteuerten Mikrofonströme gelangen über einen Hochpaß *HP* auf die erste Modulationsstufe *RM I*, die aus einem Ringmodulator mit Eingangs- und Ausgangsübertragern besteht. Außer den Mikrofonströmen wird diesem von dem gemeinsamen Zwischenfrequenzerzeuger für beide Richtungen die Trägerfrequenz von 10 kHz zugeführt. Der Ringmodulator unter-

drückt weitgehend den Träger. Das Modulationsprodukt wird über ein Zwischenfrequenzfilter  $ZF$  mit nachfolgendem Zwischenfrequenzverstärker  $ZV$  der zweiten Modulationsstufe  $RM II$  zugeleitet. Im Filter  $ZF$  wird außer dem Trägerrest das eine Seitenband unterdrückt.

Der HF-Umsetzer besteht wiederum aus einem Ringmodulator  $RM II$ , mit Eingangs- und Ausgangsübertrager, der außer mit dem einen Seitenband der Zwischenfrequenz von dem gemeinsamen Hochfrequenz-erzeuger für beide Richtungen mit der hochfrequenten Trägerwelle beschickt wird. Diese liegt je nach den Hochspannungsnetzverhältnissen zwischen 50 und 300 kHz.

Während der Ringmodulator für die weitgehende Unterdrückung des Trägers sorgt, schneidet das darauffolgende Hochfrequenzvorfilter  $HFF$

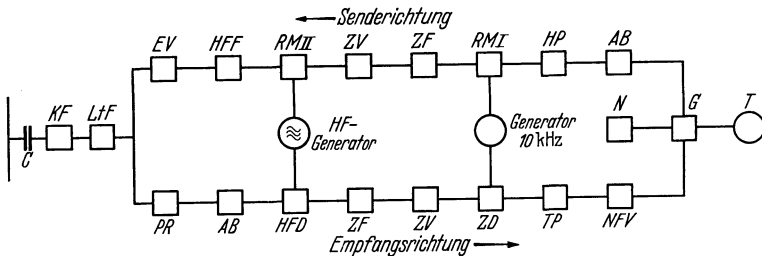


Bild 94 a. Schaltbild des Einseitenbandgerätes Siemens & Halske.

den Trägerrest und das eine Seitenband ab, so daß nur ein Seitenband der hochfrequenten Trägerwelle auf dem dahinter geschalteten Endverstärker  $EV$  gelangt. Die Gesamtleistung dieses Endverstärkers kommt daher ausschließlich dem einen Seitenband zugute, so daß gegenüber dem Zweikanalsystem mit ausgesandtem Träger und beiden Seitenbändern der Störpegelabstand vergrößert wird. Über das Leitungstrennfilter  $LtF$  und das Koppelfilter  $KF$  wird das hochfrequente Seitenband auf den Hochspannungskondensator und damit auf die Hochspannungsleitung gegeben.

**β) Empfänger.** Das von der Gegenstation kommende Seitenband wird über Koppelkondensator  $C$ , Koppelfilter  $KF$  und dasselbe Leitungstrennfilter  $LtF$ , das durch das Koppelfilter eintretende fremde Frequenzen aussiebt, der ersten Hochfrequenzumsetzungsstufe zugeführt. Die davorliegende Pegelregelung  $PR$  erfolgt einmalig vor dem Gespräch mit den Mitteln der Selbstanschlußtechnik (vgl. Zweikanalgeräte S. 99). Ein Amplitudenbegrenzer  $AB$  vor dem HF-Umsetzer sorgt dafür, daß die vom Endverstärker im Sendeweg des gleichen Gerätes ausgehenden HF-Ströme nicht mit zu großer Amplitude auf den Eingang des Empfängers treffen. Der Pegelunterschied zwischen Sende- und Empfangsspannung kann bis zu 7 Neper betragen!



Die erste Umsetzungsstufe empfangsseitig wird von dem gleichen HF-Schwingungserzeuger wie die letzte Umsetzungsstufe der Sendeseite gespeist. Im Ringmodulator *HFD* wird diese HF-Trägerwelle dem von der Gegenstation kommenden einen Seitenband zugesetzt. Der Träger wird wiederum im Ringmodulator unterdrückt, während das eine Seitenband im Zwischenfrequenzfilter *ZF* zusammen mit dem Trägerrest herausgesiebt wird. Das andere Seitenband gelangt aus dem Zwischenfrequenzfilter in den Zwischenfrequenzverstärker *ZV* und von diesem in die Zwischenfrequenzumsetzungsstufe *ZD*, in der durch Zusetzung des 10-kHz-Trägers die Demodulation des Sprachseitenbandes erfolgt. Dieses wird über einen Niederfrequenzbandpaß *TP* dem niederfrequenten Empfangsverstärker *NFV* zugeführt, der die Sprachströme über die Gabel *G* zum Teilnehmerapparat *T* leitet.

**γ) Ruf.** Der Wahlruf erfolgt durch Tastung einer Tonfrequenz, die an Stelle der Sprache in der Senderichtung zunächst der Zwischenfrequenz und dann der hochfrequenten Trägerwelle aufmoduliert wird.

Empfangsseitig wird der Ruftön nach Durchlaufen der zwei Umsetzungsstufen hinter dem Niederfrequenzempfangsverstärker abgezweigt und nach nochmaliger Aussiebung und Verstärkung über einen Trockenleichrichter dem Empfangsrelais zugeführt.

**δ) Automatik.** Die Automatik des Gerätes unterscheidet sich nicht von der des Zweikanalgerätes mit Tonruf. Sie erlaubt die gleiche Verbindungsherstellung, Aufschaltmöglichkeit usw. wie die Zweikanalautomatik.

**ε) Speisung.** Die Speisung des HF-Einseitenbandgerätes erfolgt aus dem Netz. Die Notstromversorgung geschieht in gleicher Weise wie beim Zweikanalgerät.

Das Einseitenbandgerät ist in der vorherbeschriebenen Form ausschließlich für den Sprechverkehr bestimmt, eine Kombination mit Unterlagerung u. dgl. ist also nicht vorgesehen. Mit dem immer steigenden Bedarf an Sprechkanälen wird das Einseitenbandgerät mit seiner geringen Frequenzbandbreite künftig in wachsendem Maße Verwendung finden. Außerdem ist die Herabsetzung der Abhörmöglichkeit infolge Fehlens des Trägers auf der Leitung sowie sein größerer Störpegelabstand zunehmend von Wichtigkeit. Diese technischen Vorteile gegenüber den Zweikanalgeräten bedingen naturgemäß einen erhöhten Aufwand und damit einen höheren Preis.

Bei Einsatz von Einseitenbandgeräten für Fernsprechen werden zweckmäßigerweise andere Fernmeldungen im gleichen Hochfrequenznetz ebenfalls mit entsprechenden besonderen Einseitenbandgeräten durchgeführt.

In der in Bild 94 b dargestellten Ausführungsform sitzt rechts oben im Schrank das Sendefilter und darunter der Endverstärker. Unter diesem folgen der Meßstellenumschalter mit dem Thermoinstrument für den

Sendestrom und dem Gleichstrominstrument für die Überwachung des Empfangsstromes und der verschiedenen Spannungen. Die nächste

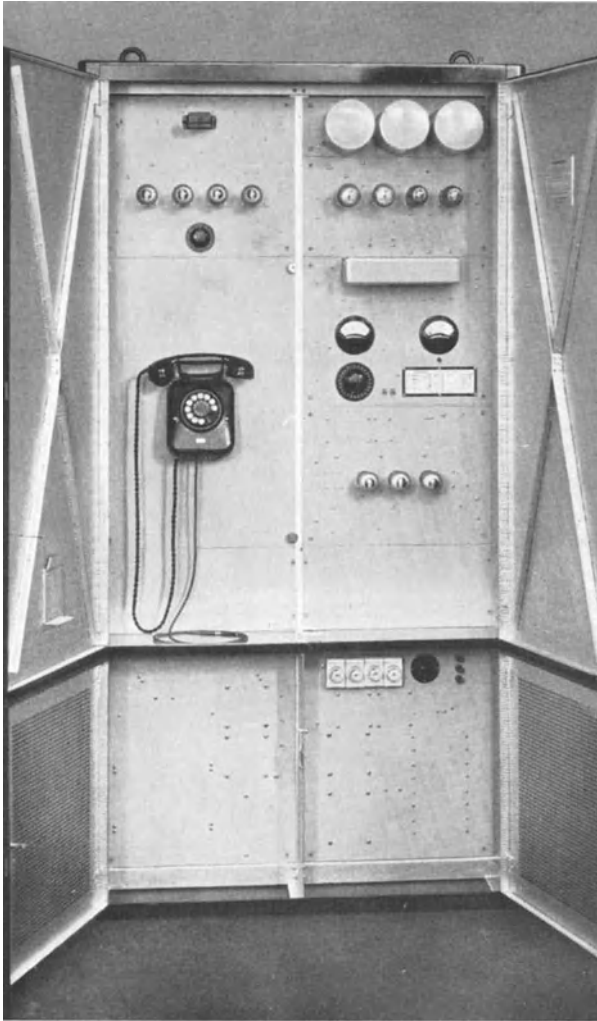


Bild 94b. Einseitenbandgerät von Siemens & Halske.

Platte darunter enthält Röhren und Trennfilter der Zwischenfrequenzstufe. Auf der linken Hälfte sind oben das Anrufempfangsrelais, die Schwingröhren für 10 kHz und den HF-Trägerstrom sowie die Empfangsverstärkerrohre für Sprache und Tonruf und schließlich der einmalig einzustellende Lautstärkereglere angebracht. Die darunter befindliche

Platte trägt vorn die Sprechstelle des Gerätes und dahinter die Automatik mit Relais, Wähler usw. sowie die selbsttätige Pegelregelung. Im unteren Drittel des Gerätes befindet sich der Netzanschlußteil mit Sicherungen, Schaltern usw.

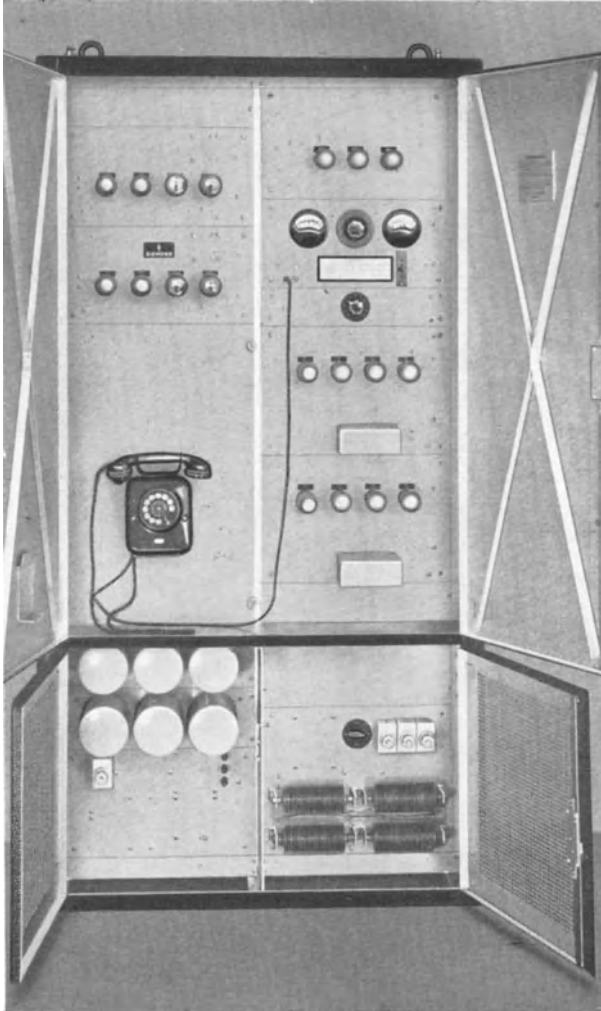


Bild 94 c. Einseitenband-Zwischenverstärker mit Sprechstelle (Siemens & Halske).

## 2. HF-Zwischenverstärker mit Sprechstelle.

Der für das Einseitenbandsystem entwickelte Zwischenverstärker, Type Siemens (Bild 94 c), ist wie der für Zweiseitenbandsysteme mit Sprechstelle ausgerüstet. Er besitzt daher ebenfalls zwei Modulations-

stufen und kann auch im Endverkehr genau wie normale Endgeräte benutzt werden. Beim Endverkehr durchläuft das empfangene Hochfrequenzband von den Ankoppelmitteln kommend wie bei den Endgeräten nacheinander zunächst Leitungstrennfilter, Pegelregelung und Hochfrequenzumsetzer. Nach der Umsetzung folgen dann in der Zwischenfrequenzlage Zwischenfrequenzfilter und -verstärker sowie ein zweiter Umsetzer, in dem das empfangene Band durch Zusetzen des 10 kHz-Trägers in den Sprachbereich zurückverschoben wird.

Bei durchlaufenden Gesprächen werden die empfangenen Hochfrequenzbänder, um selektiv verstärkt werden zu können, zunächst ebenfalls in die Zwischenfrequenzlage umgesetzt. Der Verstärkung folgt dann die Rückumsetzung in die Hochfrequenzlage mit nochmaliger Verstärkung in einer Leistungsstufe.

Der Zwischenverstärker ist wie die Endgeräte mit einer selbsttätig arbeitenden Pegelregelung ausgerüstet, die unmittelbar vor dem Aufbau einer Sprechverbindung wirksam wird. Die Wahlruf- und Automatikschaltung entspricht ebenfalls weitgehend der der Endgeräte. Sie ist nur insoweit ergänzt, als einige Teile der Endgeräte, wie z. B. die Leistungsstufe oder der Rufempfänger, für jede der beiden Verkehrsrichtungen vorhanden sein müssen, während andere, der Sprechstelle zugeordnete Teile gemeinsam gebraucht werden können.

Die in Bild 94c dargestellte Ausführungsform enthält im linken Teil des Schrankes oben übereinander angeordnet die beiden Leistungsstufen für die beiden Verkehrsrichtungen. Darunter befindet sich, durch eine Deckplatte verkleidet, die Wahlruf- und Automatikschaltung, auf der Deckplatte der Prüffernsprecher. Im rechten Teil des Schrankes ist oben das Generatorfeld angeordnet, darunter das Meßfeld mit Instrumenten, Meßstellenumschalter und Lautstärkereglern, unter diesem liegen wiederum zwei gleiche Felder, enthaltend Zwischenfrequenz- und Niederfrequenzverstärker, sowie je eine Rufempfangsröhre. Im unteren Teil des Schrankes sitzt rechts der Netzanschluß mit Sicherungen, Schaltern usw., während links übereinander die beiden Leitungstrennfilter angebracht sind.

## V. Die Zusammenschaltung von Hochfrequenz- und Niederfrequenzleitungen.

Der dichte Einsatz von Hochfrequenzsprechstellen und die weitgehende Vermaschung der Hochfrequenzsprechnetze erfordert die ständig zunehmende Benutzung der Mittel der Niederfrequenzfernsprechtechnik, um den Wahlruf und den Sprechverkehr zwischen den Teilnehmern entferntester Netze sicherzustellen und wichtigen Sprechstellen sowie dem Lastverteiler alle Möglichkeiten der schnellen Durchbringung vor-

dringlicher Gespräche ohne wesentliche Beschränkung der Gesprächsmöglichkeiten für die übrigen Teilnehmer zu bieten<sup>1</sup>. Daneben wird die Zusammenschaltung der Hochfrequenzsprechnetze mit den verschiedenartigen Niederfrequenzfernsprechnetzen der Elektrizitätswerke verlangt, gleichviel, ob es sich hier um am Hochspannungsgestänge verlegte Fernsprechleitungen oder um gemietete Kabel oder Freileitungsnetze handelt und unabhängig davon, ob darin der Selbstanschlußbetrieb durchgeführt ist, oder ob die Verbindungsherstellung von Hand erfolgt. Einmal soll dadurch der beliebige Untereinanderverkehr aller Dienststellen des Elektrizitätsversorgungsunternehmens ermöglicht werden, zum anderen

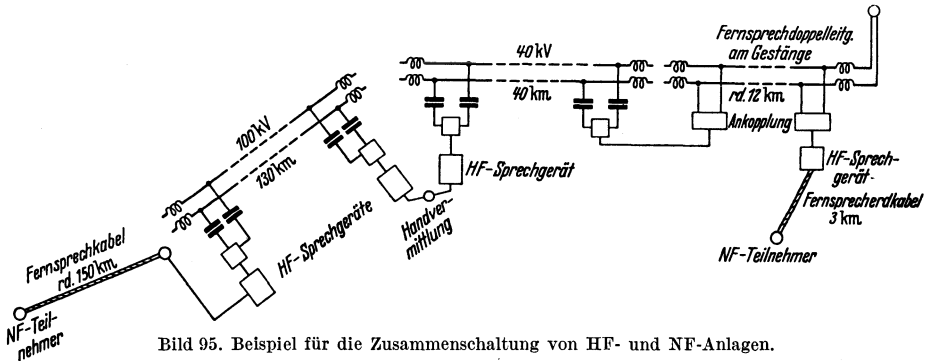


Bild 95. Beispiel für die Zusammenschaltung von HF- und NF-Anlagen.

lassen sich bisweilen nur unter Benutzung der verschiedenartigsten vorhandenen Sprechnetze Weitfernsprechverbindungen auf größte Entfernungen mit tragbaren Kosten für wirtschaftlich getrennte, betrieblich aber zusammenarbeitende Elektrizitätsversorgungsunternehmen herstellen.

Bild 95 bietet ein Beispiel der Praxis dafür, in dem gemietete bzw. werkseigene Erdkabel mit Hochfrequenzkanälen über Hochspannungsleitungen und über Fernsprechleitungen am Hochspannungsgestänge zu einem Weitsprechnetze zusammengeschlossen sind. Die Teilnehmer des Sprechverkehrs verlangen eine hohe Lautstärke auch auf große Entfernungen und eine klare unverzerrte Sprache auf ruhigem Untergrund, außerdem möglichst den Wahlruf mit kleinen Rufnummern. Welche Forderungen bezüglich der reinen Hochfrequenzabschnitte im Hinblick auf ihre Zusammenschaltung zu erfüllen sind, ist in Kap. VII, 2 ausführlicher angegeben. Bezüglich des Überganges auf Niederfrequenznetze ist folgendes zu sagen:

Die Niederfrequenzleitungen sind fast durchweg als „Zweidrahtverbindungen“ ausgebildet, d. h. Sprech- und Hörleitung sind für die beiden Gesprächsrichtungen nicht voneinander getrennt. Sobald daher

<sup>1</sup> Vgl. Herrmann: Über HF-Sprechnetze und ihre Zusammenschaltung mit NF-Verbindungen. Veröff. Nachrichtentechn. 1939, 2. Folge, S. 39.

beim Weitsprechverkehr Verstärker Anwendung finden, oder der Zusammenschluß mit Hochfrequenzsprechgeräten erfolgt, die mit ihrem getrennten Sende- und Empfangsteil gewissermaßen Vierdrahtverstärker darstellen, ist Pfeifgefahr gegeben. Aus Bild 96 ist dies zu ersehen, wenn man sich zunächst unter Fortlassung der Gabelschaltung mit der Nachbildung auch den Empfänger  $E$  an die Teilnehmerleitung transformatorisch angekoppelt denkt. Die eigenen Sprechströme z. B. des Teilnehmers  $II$  gelangen über die Trägerwelle  $f_2$  am anderen Ende der HF-Verbindung nicht nur in den Empfänger  $E$  des HF-Gerätes  $I$  und zum zweidrahtig an das HF-Gerät  $I$  angeschlossenen Teilnehmer  $I$ , für den sie bestimmt sind, sondern auch in den Gegensender  $S$  des HF-Gerätes  $I$ , den sie modulieren, und von dort über  $f_1$  wieder zum Ausgangsort zurück.

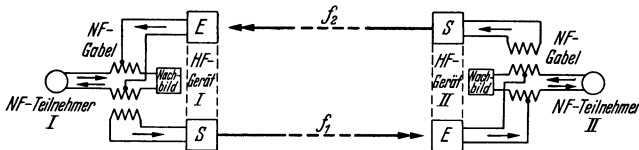


Bild 96. Gabelschaltung am Hochfrequenzsprechgerät.

Dadurch entsteht ein Rückkopplungsweg des ersten Senders und die Verbindung kann zum Pfeifen kommen. Diese Gefahr läßt sich durch die bekannte Gabelschaltung beheben, bei der an der Übergangsstelle vom Zwei- auf Vierdraht Sender und Empfänger so an die Zweidrahtleitung angeschaltet werden, daß keine gegenseitige Beeinflussung auftritt<sup>1</sup>. Dazu muß der Wellenwiderstand der Zweidrahtteilnehmerleitung nach Betrag und Phase nachgebildet werden. Bei Anschaltung dieser Leitungsnachbildung an die andere Seite der Gabel vermag der an den neutralen Gabelpunkten der Teilnehmerleitung zugeführte Empfangsstrom den eigenen Sender nicht mehr zu beeinflussen, da sich in der Zweitwicklung des Übertragers auf der Senderseite die vom Empfänger her induzierten Ströme aufheben, sofern der Wellenwiderstand von Teilnehmerleitung und Nachbildung gleich ist. Hierzu ist eine um so sorgfältigere Scheinwiderstandsmessung der Zweidrahtleitung und eine dementsprechende Bemessung der Nachbildung erforderlich, je inhomogener die Zweidrahtleitung ist und je geringer die Restdämpfung mit Rücksicht auf den Störpegel gemacht werden muß.

Ist der Störpegel eines mit dem Hochfrequenznetz zusammenzuschließenden Schwachstromnetzes hoch, wie das insbesondere bei am Hochspannungsgestänge verlegten Leitungen häufig der Fall ist, so setzt man zweckmäßigerweise nur Sendeverstärker an den Niederfrequenzsprechstellen ein. Diese heben sendeseitig den Sprachpegel über den Störpegel (Bild 97) ohne, wie es Empfangsverstärker tun, die Stör-

<sup>1</sup> DRP. 301772, USAP. 1352786.

ströme mit zu verstärken. Empfangsseitig muß dann eine zusätzliche Dämpfung vorgenommen werden, die auch den Störpegel schwächt.

Fernsprechleitungen am Gestänge von Hochspannungsleitungen müssen einwandfrei verdreht und mit Erdungsspulen ausgerüstet sein, um den Störpegel auf ein erträgliches Maß herabzudrücken. Durch moderne Isolierwandler mit geeignetem Übersetzungsverhältnis und Anpassung

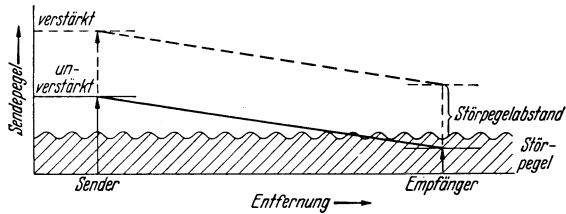


Bild 97. Pegeldiagramm bei Einsatz von Sendeverstärkern auf Leitungen mit hohem Störpegel.

der Apparate läßt sich oft der Nutzpegel auf der Leitung sendeseitig weiter heben und damit der Störpegelabstand vergrößern.

Schließlich können bei diesen Zusammenschaltungen von Hoch- und Niederfrequenzleitungen alle die Rufervollkommnungen Anwendung finden, wie sie beim Hochfrequenzweitsprechverkehr angeführt sind. Diese erlauben sämtliche Bequemlichkeiten bei der Verbindungsherstellung und Auflösung wie in einheitlichen Selbstanschlußnetzen. Dabei kann im Niederfrequenznetz ein Ruf mit Gleichstrom oder bei mit Übertragern abgeriegelten bzw. langen Leitungen mit Hilfe von Induktionsstößen, Wechselstrom oder Tonfrequenz Verwendung finden. Der Zusammenschluß der Hoch- und Niederfrequenznetze für den Ruf erfolgt dann mit sog. Relaisübertragern.

## VI. Hochfrequenzfernmeldegeräte, die besondere Trägerfrequenzen für Fernmessung, Fernzählung, Schalterstellungsmeldung, Fernsteuerung, Fernregelung sowie für den Selektivschutz benutzen.

### A. Grundsätzliches.

#### 1. Tastsender und -empfänger.

Wird keine Sprechverbindung, sondern ausschließlich die Übermittlung einer Folge von Signalen zum Zweck der Fernmessung, Fernzählung, der Schalterüberwachung, der Fernsteuerung, der Fernregelung und des Selektivschutzes *einer* Drehstromleitung mit Richtungsvergleich verlangt, so ist es am einfachsten, den hochfrequenten Trägerstrom

selbst in Impulse zu zerhacken. Hierbei können Zeichen und Pause in schneller Folge abwechseln wie beim Fernmessen (bis etwa 12 Impulse je Sekunde), Fernzählen, bei der Schalterüberwachung, der Steuerung und manchen Arten der Fernregelung, oder es kann ein Dauerstrom ausgesandt werden, der wie beim Selektivschutz kurzzeitig für die Energierichtungsmeldung unterbrochen wird.

Voraussetzung für die Tastübertragung ist, daß der Störpegel der Leitung klein und bei der Fernmessung z. B. nur ein Meßwert zu übertragen ist.

Der *Sender* (Bild 98) besteht i. a. aus einem Schwingungserzeuger und einem Leistungsverstärker. Die Zeichentastung geschieht meist

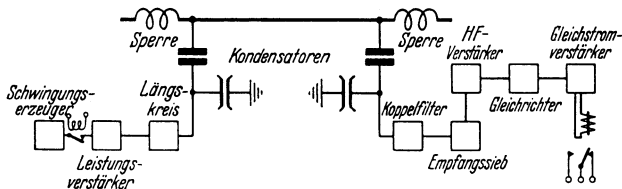


Bild 98. Grundschialtung einer Tastverbindung.

am Gitter des ersten Rohres. Da hohe Anforderungen an Bandbreite nicht gestellt werden, genügt es an sich, Resonanzkreise aus festen Spulen und abstimmbaren Drehkondensatoren zu verwenden.

Die Koppelkapazität kann im einfachsten Fall mit einer veränderlichen Spule auf die Trägerwelle abgestimmt werden.

Die Speisung geschieht i. a. mit Gleichrichtern aus dem Netz; für die Heizung kann Wechselstrom verwandt werden. Bei Verwendung für Fernsteuerung und Selektivschutz ist dafür zu sorgen, daß auch bei Störungen in der Hochspannungsanlage die Energieversorgung für die Hochfrequenzgeräte aufrecht erhalten wird, da sie gerade während dieser Augenblicke einwandfrei arbeiten müssen.

Wenn der *Empfänger*, wie vielfach, an Orten zum Einsatz kommt, wo mehrere Trägerwellen zusammenlaufen, wird er zweckmäßigerweise mit einem Koppelfilter angekoppelt, sonst genügt auch hier für die einfachsten Bedingungen eine Spule zur Kompensation der Koppelkapazität für die Trägerwelle. Zwecks Erhöhung der Trennschärfe werden meist mehrere gekoppelte Kreise als Empfangssieb in den Eingang des Empfängers geschaltet. An sich reicht schon ein Gleichrichterrohr als Detektor mit einem empfindlichen Relais im Anodenkreis aus. Bei hoher Leitungsdämpfung und zur Sicherung einer Reserve wird häufig eine Kaskade, bestehend z. B. aus Hochfrequenzverstärker, Gleichrichter und Gleichstromverstärker oder in ähnlicher Form eingesetzt. Mit einer einfachen Kondensator-Widerstandspegelregelung im Gitterkreis eines der Rohre kann man für Konstanthaltung des Relaisstromes trotz schwankender



Leitungsdämpfung und dementsprechend veränderlicher Eingangsspannung durch Verlagerung des Gitterpotentials sorgen (Bild 99).

Bei *Meßübertragungen* legt man i. a. die Zeitkonstante der Kondensator-Widerstandskombination im Gitterkreis in der Weise fest, daß der Empfänger in den Zeichenpausen infolge der Kondensatorladung

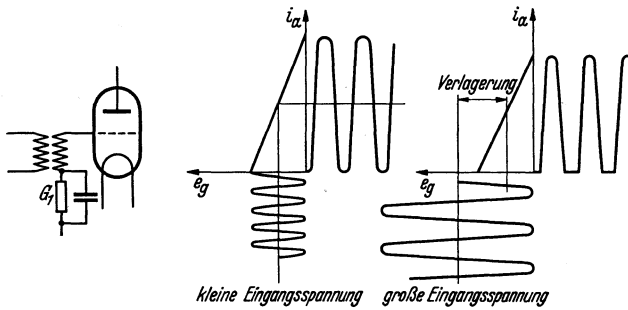


Bild 99a. Wirkungsweise einer ständigen Pegelregelung mittels Verschiebung des Gitterpotentials.

unempfindlich bleibt. Damit wird er der Einwirkung von Störimpulsen weitgehend entzogen.

An Geräte für *Fernregelung* sowie an solche, die dem *Streckenschutz* dienen, sind durchweg höhere Forderungen bezüglich Sicherheit der Übertragung zu stellen als an *Fernmeßgeräte*. Zwecks Erhöhung der Selektivität gegenüber Störimpulsen benutzt man häufig modulierte Trägerströme, selbst wenn nur ein Kanal in Frage kommt, oder Schwebungsverfahren (Interferenzverfahren). Beim Schwebungsverfahren (Bild 100) gibt ein örtlicher Sender (rechte Bildseite) eine der Empfangswelle  $f_1$  frequenznahe Trägerwelle  $f_2$  auf den eigenen Empfänger. Hierdurch entsteht infolge Überlagerung der beiden Trägerfrequenzen, der eigenen  $f_2$  und der fernempfangenen  $f_1$  ein Ton von z. B. einigen 100 Hz der nach seiner Siebung Verstärkung und Gleichrichtung das Relais betätigt. Nur Störimpulse in diesem Tonbereich können dann die Übertragung beeinträchtigen.

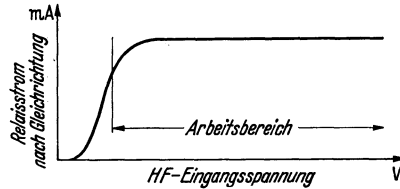


Bild 99b. Regelkurve.

Aus Sicherheitsgründen müssen bei derartigen Geräten umfangreichere Überwachungs- und Alarmvorrichtungen vorgesehen werden, als es bei einfachen Meßübertragungen üblich ist.

Beim *HF-Selektivschutz*, der Meldungen in zwei Richtungen verlangt, kann der örtliche Überlagerungssender in *B* für den Schwebungsempfang gleichzeitig seine Trägerwelle  $f_2$  auch als Sendewelle für die Gegenrichtung nach *A* über die Leitung schicken. Die beiden Trägerwellen

( $f_1 \approx f_2$ ) liegen dabei so dicht nebeneinander, daß sie mit einer Einwellensperre gesperrt werden können.

Bei *Fernsteueranlagen* sorgt meist das Fernsteuerverfahren selbst für die erforderliche Sicherheit gegenüber Störimpulsen durch Kontrolle der Gesamtzahl der übermittelten Impulse, einfache oder spiegelbildliche Wiederholung der ersten Impulsreihe vor der Befehlsausführung zwecks Überprüfung der Steuervorbereitung usw.<sup>1</sup>.

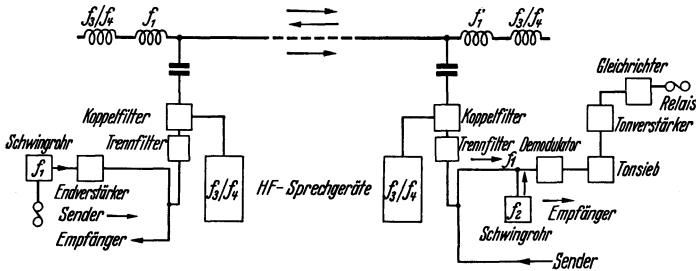


Bild 100. Grundschialtung einer HF-Verbindung nach dem Interferenzverfahren.

Zwecks Ersparung der Koppelglieder können die Tastsender und -empfänger z. B. an vorhandene Telefoniekoppelfilter mit angekoppelt werden (Bild 100). Dagegen verlangt zur Zeit noch ein Tastkanal besondere Resonanzsperrern für die getastete Trägerfrequenz. Erst die Allwellensperre kann die Verhältnisse dahin ändern, daß für den zusätzlichen Tastkanal bei vorhandener Zweikanal-Telefonieverbindung nur Sender und Empfänger benötigt werden. Bei Einseitenbandgeräten reicht die Zweiwellensperre für die Sperrung der Telefonie- und Tastfrequenzen aus. Mit Hilfe der Quarzsteuerung lassen sich andererseits die Frequenzen von Tastverbindungen so dicht aneinander rücken, daß man auch mit einer Resonanzsperrern mehrere Tastkanäle sperren kann.

## 2. Mehrfach modulierbare HF-Geräte.

Zur Ersparung von Trägerfrequenzen und zur Verminderung der Kosten für die Leitungsausrüstung, im wesentlichen zur Herabsetzung der Zahl der Resonanzsperrern, werden für die Mehrfachübertragung gleichzeitig zu übermittelnder Meldungen, z. B. von mehreren Meßwerten, zwei Energierichtungsmeldungen usw., Tonfrequenzen verwendet, die einer einzigen hochfrequenten Trägerwelle aufmoduliert werden. Gegenüber der Modulation durch die Sprache, bei der die Frequenzen im Sprachbereich im wesentlichen nacheinander oder bei Gleichzeitigkeit nicht mit gleicher Amplitude auf die Trägerwelle einwirken, erscheinen die verschiedenen Modulationsfrequenzen bei der Mehrfachübertragung gleichzeitig (Bild 101), wobei alle Töne gleiche Amplituden haben sollen.

<sup>1</sup> Vgl. Fußnoten S. 64.

Dementsprechend verringert sich für jede Modulationsfrequenz der Modulationsgrad gemäß der Zahl der zu übertragenden Tonfrequenzen<sup>1</sup>. Mit sinkendem Modulationsgrad sinkt auch der Nutzpegel jeder Tonfrequenz und damit ihr Störpegelabstand. Üblicherweise geht man deshalb nur bis zu drei oder vier Modulationsfrequenzen. Ausschließlich für Leitungen mit geringer Dämpfung und kleinem Störpegel sind sechs Tonfrequenzen je Trägerwelle bei Aussendung beider Seitenbänder zulässig.

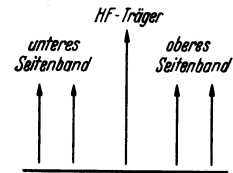


Bild 101. Gleichzeitige Übertragung von zwei Meßwerten mittels Tonfrequenzmodulation der Trägerwellen.

Die Tonfrequenzen liegen im Bereich von etwa 300 bis 2000 Hz. Sie haben einen Abstand von 120 Hz und eine Bandbreite von etwa 40 Hz. Damit ist eine Meßwertübertragung bis zu 20 Impulsen je Sekunde, jedoch keine Fernschreibung durchführbar, da diese eine größere Bandbreite bedingt.

Der *Sender* (Bild 102) besteht im Hochfrequenzteil aus Schwingungserzeuger, Mischrohr und Leistungsverstärker (Endverstärker). Die mit je einem Rohr erzeugten Tonfrequenzen, die meist am Gitter des

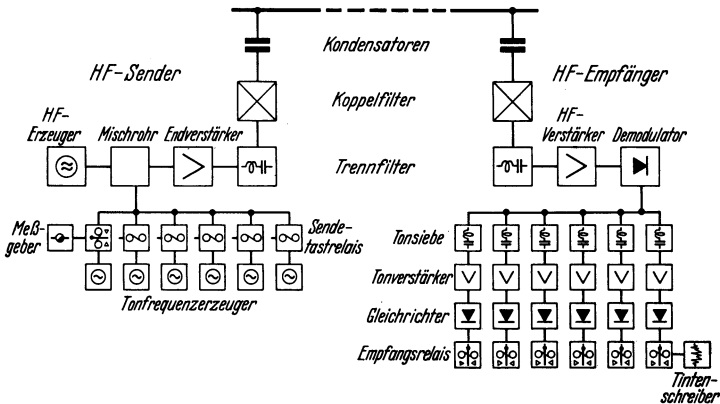


Bild 102. Grundschialtung des sechsfach modulierten Hochfrequenzkanals.

Schwingrohres, z. B. von dem jeweiligen Meßwertgeber getastet werden, werden in Reihe dem Gitter des Mischrohres aufgedrückt (vgl. S. 51). Die Erzeugung der Tonfrequenzen erfolgt in Röhrenschialtungen, weil diese hinsichtlich der Kanalzahl anpassungsfähiger als maschinelle Erzeugung sind. Bei Tonrädern muß man sich bezüglich des Aufbaues von vornherein festlegen. Auch die Frage der Reservehaltung ist schwieriger.

Die bei der Modulation entstehenden Oberwellen usw. werden durch ein Sendefilter unterdrückt.

<sup>1</sup> Vgl. Anmerkung S. 51.

Der *Empfänger* enthält hinter dem Trennfilter meist einen Hochfrequenzverstärker und einen Richtverstärker. Aus dem demodulierten Gemisch, das gegebenenfalls nochmals verstärkt wird, werden die verschiedenen Töne mit Filtern ausgesiebt; jeder einzelne Ton wird darauf in einem besonderen Rohr verstärkt und seinem Gleichrichter zugeführt. Jeder Gleichrichter speist seinerseits das zugehörige Empfangsrelais. An diese Relais werden bei der Meßwertübertragung z. B. die Meßkondensatoren mit den einzelnen Anzeigeinstrumenten bzw. Tintenschreibern angeschlossen.

Außer einer Pegelregelung der einzelnen Tonverstärker wird zweckmäßigerweise eine gemeinsame Tonfrequenzpegelregelung vorgesehen.

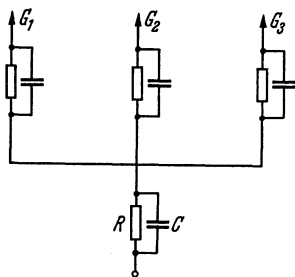


Bild 103. Gemeinsame Pegelregelung der drei Tonfrequenzkanäle.

Die Einzelpegelregelung soll gemäß den Ausführungen auf S. 123 neben der Gleichhaltung des Arbeitsstromes im Empfangsrelais den Empfänger während der Zeichenpausen unempfindlich gegen Störimpulse machen. Die gemeinsame Pegelregelung hat den Zweck, die Empfindlichkeit eines nicht getasteten Kanals durch die in Betrieb befindlichen Tonkanäle herabzusetzen. Dies wird dadurch erreicht, daß der Gitterstrom aller Tonfrequenzverstärker über einen gemeinsamen Regelwiderstand  $R \parallel C$

(Bild 103) fließt und somit auch die Empfindlichkeit im nicht getasteten Kanal vermindert wird.

Da im Vergleich mit Tastübertragungen höhere Anforderungen an Bandbreite und Verzerrungsfreiheit zu erfüllen sind, werden im Sender und Empfänger Bandfilter mit hochwertigen konstanten Bauelementen benutzt.

Die Speisung geschieht meist mit Gleichrichtern aus dem Netz, mit Ausnahme der Heizung, die mit Wechselstrom erfolgt. Eine Notstromversorgung für Netzausfall ist dann vorzusehen, wenn in diesem Fall die Hochfrequenzübertragung z. B. für Meß- oder Regelzwecke aufrechterhalten werden muß.

Da es sich bei Mehrfachübertragungen fast immer um wichtige Überwachungsstellen handelt, sind mit Rücksicht auf weiteren Ausbau möglichst 2000 cm Kondensatoren und Koppelfilter mit breitem Durchlaß einzusetzen. Es können dann z. B. die mehrfach modulierten Trägerwellen für die Messung mit den Trägerfrequenzen für den Sprechverkehr über die gleichen Kondensatoren geschickt oder mehrere jeweilig vielfach modulierte Trägerwellen für Messung, Selektivschutz, Fernregelung gemeinsam an dieselbe Phase angekoppelt werden.

Für zwei mehrfach modulierte Trägerfrequenzen (z. B.  $2 \times 6 = 12$  Kanäle) genügt eine Doppelwellen-Resonanzsperrung zur Abriegelung.

Diese Sperrenersparnis fällt räumlich und wirtschaftlich stark ins Gewicht. Natürlich wirkt auch hier die Allwellensperre noch durchgreifender.

## B. Ausführungsbeispiele.

Als Ausführungsbeispiele für 1. *Hochfrequenzastgeräte* und 2. *Modulationsfähige Geräte* für Fernmessung, Fernregelung, Fernzählung bzw. Selektivschutz werden nachstehend die Geräte von Siemens & Halske und der AEG beschrieben. Andere Ausführungsbeispiele, die in ähnlichem Umfang in Europa Einsatz gefunden hätten, wurden im Schrifttum und in der Praxis nicht ermittelt.

### 1. Tastgeräte Type Siemens & Halske.

Die Hochfrequenzastgeräte von Siemens & Halske sind — im Hinblick auf den vielfach vorkommenden Einbau in engen, unbedienten Stationen — mit möglichst geringen Abmessungen gebaut. Sender (Bild 104) und Empfänger (Bild 105) zeigen den gleichen Aufbau und

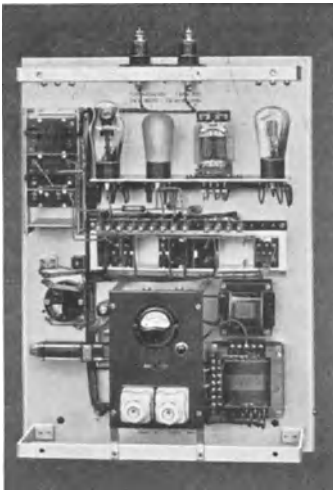


Bild 104.  
Tastsender, Type Siemens & Halske.

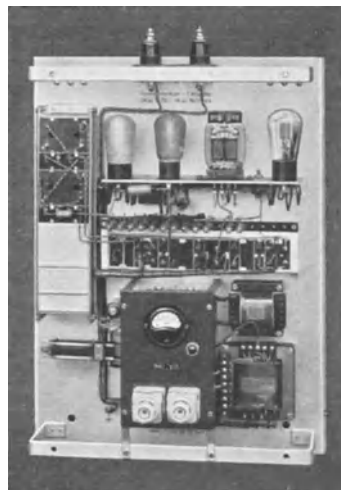


Bild 105.  
Tastempfänger, Type Siemens & Halske.

unterscheiden sich äußerlich kaum. Tatsächlich sind sie nur an den Röhren erkenntlich. Der Empfänger der Tast- wie der modulationsfähigen Geräte ist mit einer selbsttätigen, dauernd wirkenden Pegelregelung ausgerüstet, die, wie im allgemeinen Teil beschrieben, arbeitet. Sie ist im Gitterkreis der zweiten HF-Verstärkerröhre eingesetzt und hält den Arbeitsstrom des Empfangsrelais praktisch konstant, wenn sich die hochfrequente Empfangsspannung um 3 Neper ändert.

Der Sender besteht aus einem Hochfrequenzschwingungserzeuger und einer Endverstärkerröhre; der Hochfrequenzempfänger aus einer Hochfrequenzstufe mit zwei Röhren in Reihe und einem Kupferoxydulgleichrichter. Die Sendeleistung der Endröhre beträgt 1,5 W, die höchste überbrückbare Leistungsdämpfung 4 Neper. Die Anodenspannung wird für Sender und Empfänger durch das rechts sitzende Gleichrichterrohr erzeugt.

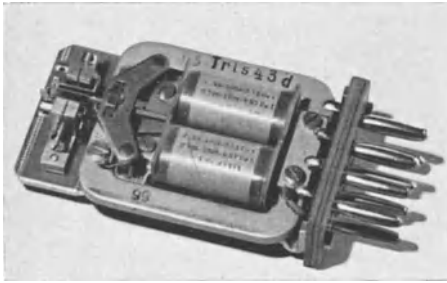


Bild 106. Tastrelais mit Federreibungskontakt.

Zwischen den Röhren ist das Telegrafienrelais (Bild 106) untergebracht, das beim Sender den hochfrequenten Trägerstrom z. B. im Takte der Fernmeßimpulse unterbricht und beim Empfänger zur Aufnahme dieser Impulse dient. Es besitzt zwei Wicklungen. Die

Rückzugwicklung gibt dem Relais eine eindeutige Ruhelage. Die Arbeitswicklung führt den Zeichenstrom. Infolge der Federreibungskontakte mit Funkenlöschung arbeitet das Relais prellungsfrei.

Neben der Röhrenleiste sieht man das Empfangsfilter beim Empfänger bzw. das Ausgangsfilter beim Sender, das allein die verwendete Trägerfrequenz durchläßt und fremde Frequenzen sperrt. Unter der Röhrenleiste befindet sich eine Klemmleiste mit Schaltelementen. Spulen, Kondensatoren und Übertrager sind in Bechern untergebracht. Der untere Teil des Gerätes zeigt ein Thermomilliamperemeter mit durch Druckknopf aufhebbarer Schutzkurzschluß sowie die Sicherungen und den Netzanschlußteil. Über das ganze Gerät wird eine Haube gestülpt und mit Schrauben befestigt. Die Anschlüsse an das Koppelfilter bzw. den Kondensator und Erde werden an den beiden an der Oberseite befindlichen Durchführungsklemmen vorgenommen.

Eine Alarmvorrichtung überwacht den einwandfreien Betriebszustand des Gerätes.

## 2. Modulationsfähige Geräte.

### a) Type Siemens & Halske.

Entsprechend Bild 107a/b und 108a/b sind die Bauformen der mehrfach modulierten Siemens & Halske-Geräte unterteilt nach der Zahl der übertragbaren Tonfrequenzen. Bis zu vier Tonfrequenzkanälen wird ein schmalerer Schrank verwendet, bei dem sämtliche Montageplatten untereinander angebracht sind, während für mehr als vier Tonfrequenzkanäle ein breiterer Schrank entsprechend dem für die Telefoniegeräte Verwendung findet, bei dem die Montageplatten unter- und nebeneinander liegen.

a) **Vierfach modulationsfähiges Gerät.** Der Schrank aus schwarzem Buckelblech (Bild 107a/b) enthält das Gestell, auf dessen oberster Montageplatte die Filterspulentöpfe bzw. ein Alarmrelais sitzen, während dahinter die Sende- bzw. Empfangsfilter liegen. Sender und Empfänger

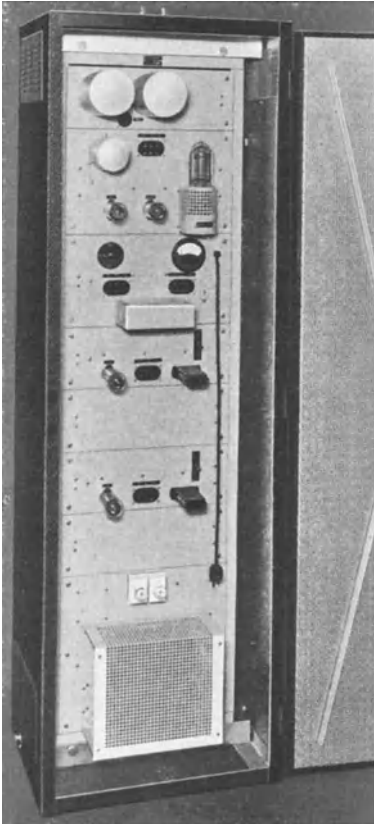


Bild 107 a.  
Sender des mit 4 Tönen modulierbaren  
Gerätes (Type Siemens & Halske).

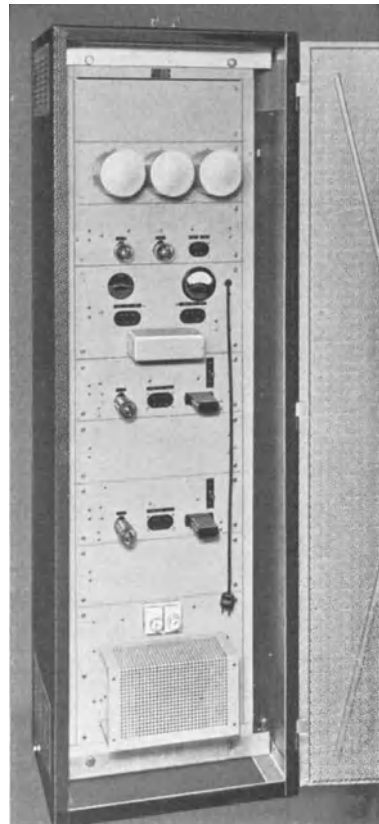


Bild 107 b.  
Empfänger des mit 4 Tönen modulierbaren  
Gerätes (Type Siemens & Halske).

unterscheiden sich sonst in ihrem äußeren Aufbau nur im Röhrenteil durch die Leistungsverstärkerröhre des Senders.

Der Hochfrequenzempfänger besitzt eine Hochfrequenzverstärker- und eine Demodulationsstufe, der Sender einen Schwingungserzeuger, ein Mischrohr und eine Leistungsverstärkerröhre. Unter der Röhrenplatte folgt die Meßplatte mit einem Meßinstrument, das mit Hilfe einer Stöpselschnur und Klinken an den Meßstellen sämtliche Spannungen bzw. Ströme des Gerätes zu überwachen erlaubt. Unter der Meßplatte liegen die vier Tonfrequenzsende- bzw. Empfangsplatten mit auf der Vorderseite

je einem Tonerzeuger- bzw. Tonverstärkerrohr und den zugehörigen Telegrafienrelais, die beim Sender zur Tastung, beim Empfänger zur Aufnahme der Impulse dienen. Auf der Rückseite sind die anderen Schaltelemente sowie die Tonsiebe und Gleichrichter untergebracht. Diese



Bild 108a. Sender des mit 6 Tönen modulierbaren Gerätes (Type Siemens & Halske).

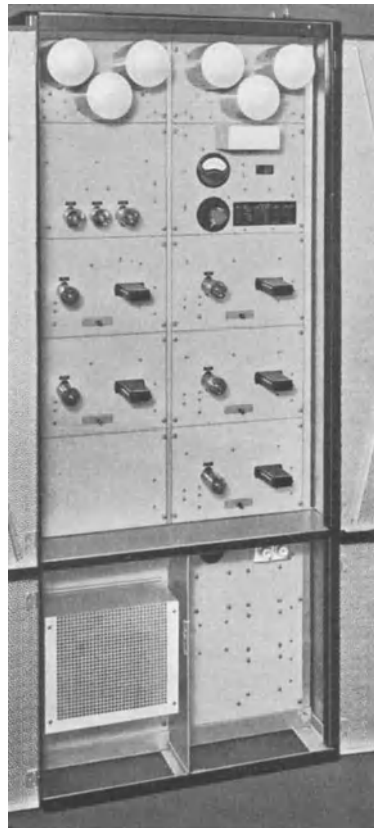


Bild 108b. Empfänger des mit 6 Tönen modulierbaren Gerätes (Type Siemens & Halske).

Tonfrequenzplatten können beliebig am Montageort hinzugefügt werden, so daß ein vierfach ausbaufähiges Gerät anfangs nur mit einer oder zwei Tonfrequenzen wie in Bild 107 a/b und zum Schluß mit allen vier Tonfrequenzen ausgebaut betrieben werden kann.

Die unterste Platte enthält den Netzanschlußteil. Wegen der Berührungsfahr beim Anodenspannungsgleichrichter ist dieser Teil mit einer durchlocherten Schutzkappe überdeckt.

β) **Sechsfach modulationsfähiges Gerät** (Bild 108 a/b). Das Sechsfachgerät unterscheidet sich vom Vierfachgerät nur im Aufbau und in der



Anordnung der Montageplatten. Außerdem enthält der Empfänger hinter dem Demodulator noch einen NF-Verstärker für das Tongemisch, da die Seitenbandleistung des Einzeltones bei sechs Tönen kleiner als bei vier Tönen ist. — Die Messung erfolgt hier mit Hilfe eines Meßstellenumschalters (rechts zweite Montageplatte) neben dem die Sollwerttabelle für sämtliche Spannungen angebracht ist.

Die einzelnen Tonfrequenzplatten sind, wie auch im Vierfachgerät, durch Schalter selbständig aus- und einschaltbar gemacht.

#### b) Type AEG.

Im Schaltbild (Bild 109c) des tonfrequenzmodulierten Gerätes der AEG bedeutet  $G$  den Schwingungserzeuger,  $M$  das Mischrohr und  $SHF$  den Senderausgangsverstärker. Jede Tonfrequenz wird in einem Tonfrequenzgenerator  $STF_1$  bis  $STF_4$  erzeugt und in einem Niederfrequenzverstärker verstärkt, bevor sie dem Mischrohr  $M$  zugeführt wird.

In der in Abb. 109a dargestellten Ausführungsform ist der Hochfrequenzsender mit dem Tongenerator und dem Verstärker der ersten Modulationsfrequenz baulich vereinigt. Für die weiteren Tonfrequenzen sind besondere Einsätze vorgesehen, die sich nötigenfalls auch nachträglich in das Gerät einbauen lassen. Die in der Endstufe  $SHF$  auf die zulässige Ausgangsleistung verstärkte modulierte Hochfrequenz wird über die Ausgangskreise und den Leitungskreis auf die Hochspannungsleitung gegeben. Der Hochfrequenzsender für Tonfrequenzbetrieb hat Meßeinrichtungen, mit denen alle für den Betrieb wichtigen Spannungen und Ströme überwacht werden können. Im zugehörigen Empfänger (Bild 109c) gelangt die modulierte Hochfrequenz über den Leitungskreis und das je nach der geforderten Trennschärfe aufgebaute Empfangsfilter in den Hochfrequenzver-

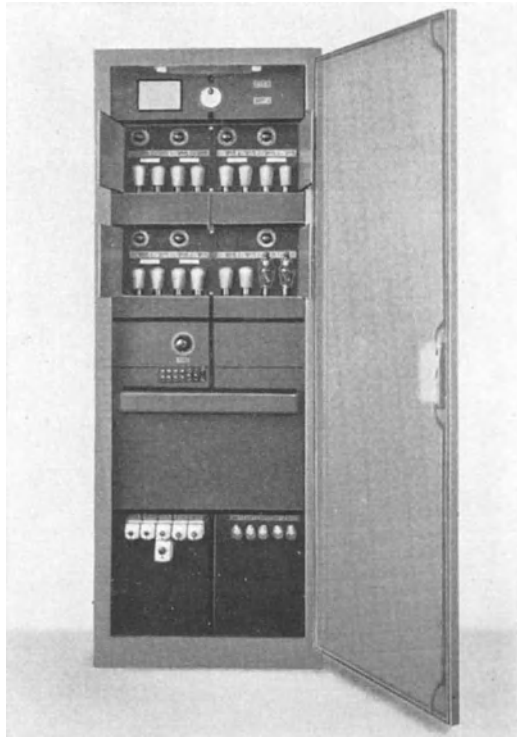


Bild 109a. Tonfrequenzmodulierter Hochfrequenzsender (System AEG).

132 Hochfrequenzfernmeldegeräte, die besondere Trägerfrequenzen benutzen.

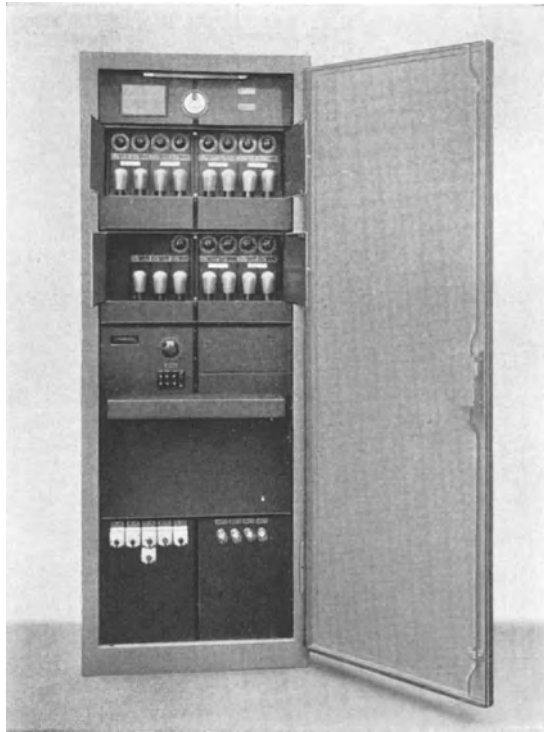


Bild 109b. Tonfrequenzmodulierter Hochfrequenzempfänger (System AEG).

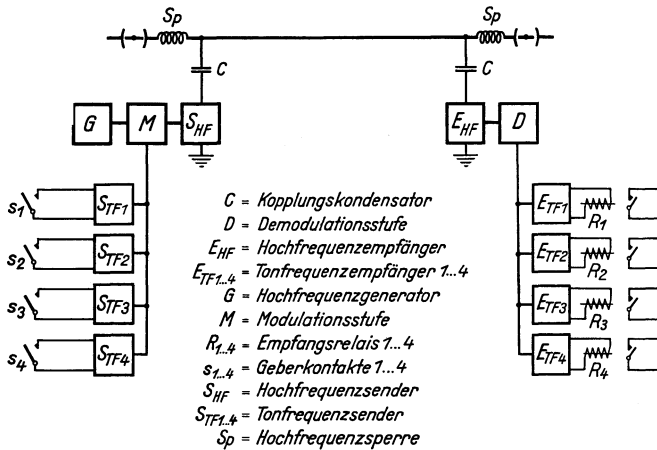


Bild 109c. Schaltbild der tonfrequenzmodulierten Fernwirkgeräte der AEG.

stärker  $E_{HF}$  und von diesem in den Demodulator  $D$ . Der Anodenstrom des Gleichrichters durchfließt die Drehspule eines Pegelreglers,

der einen kapazitiven Spannungsteiler (Drehkondensator) vor dem Hochfrequenzverstärker so einstellt, daß die an dem Verstärker auftretende Hochfrequenzspannung praktisch immer den gleichen Wert hat. Um das Einregeln auf kurzzeitige Wanderwellenvorgänge zu verhindern, ist der Pegelregler mit einer Verzögerung ausgerüstet.

Nach der Demodulation werden die einzelnen Tonfrequenzen des Gemisches durch Siebkreise voneinander getrennt und den einzelnen Tonempfängern  $ETF_1$  bis  $ETF_4$  zugeführt, dort verstärkt und gleichgerichtet. Als Gleichstromimpulse betätigen sie die zugehörigen Relais  $R_1$  bis  $R_4$ .

Der konstruktive Aufbau des Empfängers (Bild 109b) entspricht dem des Senders. Die einzelnen Tonempfänger sind mit Ausnahme des ersten auf einzelnen Einsätzen aufgebaut, so daß sie bei einer späteren Erweiterung nötigenfalls auch nachträglich zugesetzt werden können. Der Empfänger besitzt ebenfalls die zur Messung der einzelnen Ströme und Spannungen notwendigen Einrichtungen. Sender und Empfänger sind mit Netzanschluß versehen.

### 3. HF-Gerät nach dem Interferenzverfahren, Type Siemens & Halske.

Als Ausführungsbeispiel für eine Fernmeldeanlage nach dem Schwebungsverfahren (Interferenzverfahren) wird ein Siemens & Halske-System beschrieben, das zum selektiven Schutz von zwei Drehstromleitungen Verwendung findet (Bild 110a/b). Für jede Drehstromleitung ist ein Sender-Empfänger kombiniert, so daß sich die im oberen Teil des Schrankes befindlichen Platten im unteren wiederholen. Zwischen beiden sitzt die gemeinsame Meßplatte mit dem Thermoinstrument zur Messung des Senderausgangsstromes, dem Gleichstrominstrument zur Messung sämtlicher Spannungen im Gerät sowie mit der Sollwerttabelle zu beiden Instrumenten und schließlich mit dem Meßstellenumschalter. Über der Sollwerttabelle sind Alarmrelais mit entsprechenden Alarmlampen darunter angebracht. Zwecks Konstanthaltung des schmalen Schwebungsfrequenzbandes wird die HF-Trägerwelle mit einem Schwingquarz gesteuert.

Jeder der kombinierten Sender-Empfänger für eine der beiden Drehstromleitungen besteht aus der Filterplatte, unter der sich die Senderplatte mit einem Eisenwasserstoffwiderstand, dem Schwingrohr zur Erzeugung der Trägerfrequenz und dem Ausgangsverstärker sowie dem Sendetastrelais befindet. Auf ihr sitzt auch die gekapselte Schwingkreisspule. Unter der Sendepalte folgt die Empfangsplatte mit einem Mischrohr, in dem die von der Gegenstation kommende Trägerfrequenz mit der im Schwingrohr erzeugten zur Überlagerung gebracht wird; dahinter sind zwei Verstärkerstufen geschaltet. Rechts von den Röhren

sitzt das Empfangsrelais, während sich das Sieb für den Schwebungston sowie der Gleichrichter für den Relaisstrom auf der Rückseite der Empfangsplatte befinden.

Der kombinierte Sender-Empfänger für die zweite Drehstromleitung, der unter der Meßplatte angebracht ist, zeigt den gleichen

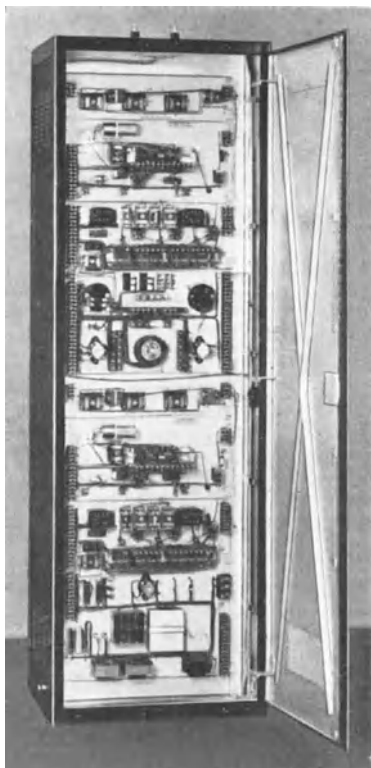


Bild 110a.  
HF-Gerät nach dem Interferenzverfahren zum  
Schutz von zwei Drehstromleitungen,  
Vorderansicht.



Bild 110b.  
HF-Gerät nach dem Interferenzverfahren zum  
Schutz von zwei Drehstromleitungen,  
Rückansicht.

Aufbau. Unter diesem folgt ein gemeinsames Stromversorgungsfeld, das Sicherungen für Heiz- und Anodenspannung sowie den Ein- und Aus- schalter des Gerätes und ein Potentiometer für den Abgriff der Anoden- spannung von der Speisemaschine aufweist.

Mit Rücksicht auf die bevorzugte Verwendung dieses Interferenz- gerätes für Selektivschutzzwecke muß dafür Sorge getragen werden, daß die Stromversorgung auch bei Ausfall des Netzes keine Unterbrechung erfährt. Sie erfolgt daher i. a. von einer dauernd laufenden Maschine (vgl. S. 163).

#### 4. Zwischenverstärker für Fernbedienungs- (Fernwirk-) Anlagen.

Für Fernbedienungsanlagen und Fernwirkübertragungen werden ebenfalls Zwischenverstärker gebaut. Zu unterscheiden sind Zwischenverstärker für eine Trägerfrequenz ohne Empfangs- und Sendemöglichkeit, Zwischenverstärker für zwei Trägerfrequenzen in Gegenrichtung ohne Empfangs- und Sendemöglichkeit, und Zwischenverstärker für eine Trägerfrequenz für modulierten Betrieb mit Empfangs- und Sendemöglichkeit an der Zwischenverstärkerstelle.

Der Aufbau der Zwischenverstärker ohne Empfangs- und Sendemöglichkeit entspricht dem Aufbau des Fernsprechzwischenverstärkers ohne Sprechstelle (siehe Hochfrequenztelefoniergeräte).

Als Beispiel eines Zwischenverstärkers für modulierten Betrieb mit Sende- und Empfangsmöglichkeit wird die Type der AEG beschrieben.

Der Zwischenverstärker für modulierten Betrieb mit Empfangs- und Sendemöglichkeit entspricht in seinem Aufbau hinsichtlich der Filter und der Verstärkereinrichtung dem Fernsprechzwischenverstärker für Linienverkehr. Hinter dem Pegelregler liegt ein Gleichrichter, an den verschiedene Tonfrequenzempfangseinsätze angeschlossen werden können, so daß die auf den entsprechenden Tonfrequenzen übermittelten Impulsreihen im Zwischenverstärker empfangen werden können. Sollen am Verstärkerort dem Hochfrequenzträger weitere Tonfrequenzen für die Übertragung zum Empfänger zugesetzt werden, so wird nach Empfang der vom ursprünglichen Sendeort gesendeten Tonfrequenzen der HF-Träger von seinen Seitenbändern befreit. In der darauffolgenden Modulationsstufe werden ihm alle Tonfrequenzen aufmoduliert, die auf dieser Trägerfrequenz zum Empfänger übertragen werden sollen. Insgesamt können höchstens sechs Tonfrequenzen gleichzeitig dem Träger aufmoduliert werden.

Der Zwischenverstärker für modulierten Betrieb mit Sende- und Empfangsmöglichkeit besitzt auch einen Hilfssender, der eingeschaltet werden kann, wenn die Trägerfrequenz vom ursprünglichen Hochfrequenzsender ausbleibt. Der Hilfssender wird jedoch nur dann eingeschaltet, wenn vom Verstärkerort Meßwerte zum Empfänger übertragen werden sollen, die mit den vom ursprünglichen Sendeort des Trägers herkommen den Meßwerten betrieblich keine unmittelbare Beziehung haben (z. B. bei Übertragung von Einzelmeßwerten, nicht dagegen z. B. bei Übertragung der Summe aus einem vom ursprünglichen Sender- und einem vom Verstärkerort herrührenden Leistungsmeßwert), damit die Störung durch den Ausfall des Trägers auch sofort am Empfangsort erkennbar ist.

Die Röhrentypen sind die gleichen wie bei den sonstigen Zwischenverstärkern. Das Gerät ist ebenfalls mit Netzanschluß ausgerüstet.

## VII. Die HF-Netzgestaltung.

Nachdem wir in den vorhergehenden Abschnitten die Hochfrequenzgeräte näher kennengelernt haben, kommen wir zur Frage ihrer Zusammenfassung in den Hochfrequenzübertragungsnetzen.

Die einfachste Zusammenfassung ist die von zwei Hochfrequenzgeräten im Gegensprechverkehr mit zwei Trägerfrequenzen beim Zweikanalsystem bzw. mit einer Trägerfrequenz beim Einkanalsystem zu einem „Sprechbezirk“.

Sollen mehrere Sprechstellen — wie sehr häufig im EW-Fernsprechdienst — miteinander verkehren, so läßt sich diese Forderung hochfrequenzmäßig nicht in ebenso einfacher Weise erfüllen wie in der Niederfrequenztelefonie, bei der alle Teilnehmer im gleichen Bereich der Sprachfrequenzen hören und sprechen.

Man hat deshalb zunächst den naheliegenden Gedanken verwirklicht, alle Kraft- und Umspannwerke, die miteinander sprechen sollen, paarweise mit HF-Geräten zum Gegensprechen auszurüsten. Erfahrungsgemäß zeigte es sich bald, daß nicht alle Verbindungswege *gleichzeitig* verfügbar sein müssen. Man kam damit zur Zusammenfassung *mehrerer* HF-Sprechstellen in einem Sprechbezirk. Hierzu drängte auch der in Kap. III erläuterte Frequenzmangel. Für diese Zusammenfassung waren aber besondere Maßnahmen erforderlich, um ähnliche Möglichkeiten des wahlweisen bzw. gleichzeitigen HF-Sprechverkehrs untereinander zu schaffen, wie sie an einer Sammelleitung für die Niederfrequenztelefonie bestehen.

Durch die Zusammenfassung mehrerer HF-Sprechbezirke schließlich entsteht ein „*HF-Netz*“, dessen besondere Erfordernisse im 2. Teil dieses Kapitels behandelt werden.

### 1. Die Zusammenfassung von HF-Geräten zu Sprechbezirken.

#### a) Der Verkehr zwischen zwei Sprechstellen.

Bei dem einfachsten Fall des Gegensprechens zwischen zwei Geräten kann der HF-Bezirk, da die Hochspannungsleitungen an sich eine sehr geringe Dämpfung besitzen, auf einer durchgehenden abzweiglosen Starkstromleitung bis zu großen Entfernungen ausgedehnt werden.

Nun verlaufen aber die Hochspannungsleitungen selten auf große Entfernungen ohne Zwischenstationen, Trennstellen oder Abzweige. Da eine HF-Sprechverbindung auch in dem Fall, ja meist gerade dann besonders verlangt wird, wenn die Trennstellen geöffnet sind, muß eine Überbrückung durch Schaffung eines Nebenweges für die hochfrequenten Ströme erfolgen, der auch im Trennfalle ihren ungehinderten Fluß erlaubt (vgl. Bild 3, S. 14). Dieser Nebenweg läßt sich nicht verlustfrei herstellen (Bild 111)<sup>1</sup>; aber auch unüberbrückte und daher nicht abgeriegelte

<sup>1</sup> Vgl. Anmerkung auf S. 177.

Zwischenstationen rufen zusätzliche Dämpfungen für die Hochfrequenzströme hervor. Man sperrt zwar durch Einbau von Drosseln nach Möglichkeit solche Abflußstellen sowohl in unüberbrückten Zwischenstationen als auch in Abzweigleitungen unterwegs. Eine vollständige Sperrung läßt sich jedoch nie erreichen, schon deshalb nicht, weil gewöhnlich nur eine Phase gesperrt ist, die anderen aber auch HF-Energie führen. Bei einphasigen Überbrückungen ist außerdem die „Einphasenzusatzdämpfung“ (vgl. S. 43) nicht vermeidbar.

Diese Zusatzdämpfungen an Brückenstellen, unüberbrückten Zwischenstationen und Abzweigleitungen begrenzen die Ausdehnung von

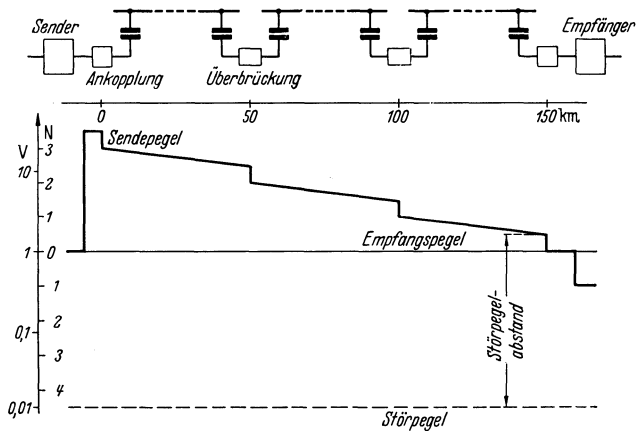


Bild 111. Pegeldiagramm einer HF-Leitung mit Brückenstellen.

Hochfrequenzbezirken, insbesondere da Energiereserven für Zunahme der Leitungsdämpfung und des Störpegels infolge von Witterungseinflüssen vorgesehen werden müssen.

Überschreitet der Sprechstellenabstand die Reichweite der handelsüblichen Geräte, so bieten sich zwei Möglichkeiten: entweder man richtet unterwegs eine Relaisstation ein, so daß zwei hintereinandergeschaltete HF-Bezirke mit zwei verschiedenen Frequenzpaaren entstehen, oder man schiebt durch Einsatz von Zwischenverstärkern die Reichweitengrenze hinaus. Mit Zwischenverstärkern kann man nämlich die infolge der Leitungsdämpfung abgesunkene Nutzspannung wieder um einen gewissen Betrag heben (etwa um 2,5 Neper bei 5—7 Neper Reichweite der HF-Geräte).

Eine beliebige Verstärkung ist durch Einsatz von Zwischenverstärkern deshalb nicht erzielbar, weil eine gewisse Rückkopplung zwischen Ausgang und Eingang des Verstärkers über die nicht gekoppelten und nicht gesperrten restlichen Phasen der Drehstromleitung eintritt. Der Verstärkungsgrad ist durch die Dämpfung dieses Rückkopplungsweges bestimmt. Geht man mit der Verstärkung darüber hinaus, beginnt der

Verstärker zu pfeifen. Für beträchtliche Leitungsverlängerungen muß man deshalb mehrere Zwischenverstärker in Reihe schalten.

Da solche Weitverbindungen meist HF-Nahnetzen überlagert werden und somit durch Gebiete führen, in denen bereits viele Hochfrequenzanlagen laufen, ist es nicht immer einfach, über die Gesamtstrecke durchgehende Frequenzen für den Zwischenverstärkerbetrieb zu finden, die mit keiner der auf den verschiedenen Streckenabschnitten schon benutzten Frequenzen Störungen ergeben.

Versieht man den Zwischenverstärker noch zusätzlich mit einer Besprechungseinrichtung, so ist damit eine neue HF-Sprechstelle ohne Mehraufwand an Frequenzen geschaffen und eine der drei Lösungen für den Verkehr mehrerer HF-Sprechstellen in einem Bezirk verwirklicht. Wir werden sie unter „Linienverkehr“ nachher ausführlicher behandeln.

Für den einwandfreien Betrieb von Zwischenverstärkern ist eine selbsttätige Pegelregelung Voraussetzung, d. h. die hochfrequente Eingangsspannung muß trotz schwankender Leitungsdämpfung konstant gehalten werden.

#### b) Der Verkehr zwischen mehr als zwei Sprechstellen.

Der Frequenzmangel zwingt — wie eingangs erwähnt — beim Aufbau eines größeren HF-Netzes dazu, die Sprechbedürfnisse mit möglichst wenig Trägerfrequenzen zu befriedigen. Man faßt deshalb mehr als zwei Sprechstellen zu einer Gruppe zusammen, die mit den gleichen Trägerfrequenzen arbeiten.

Andererseits ist die Sprechdichte in Hochfrequenznetzen über Hochspannungsleitungen i. a. groß und wächst erfahrungsgemäß mit der Güte der Sprechverbindungen. Da nun bei Benutzung von zwei Frequenzen oder zwei Bändern zum Gegengespräch jeweils nur zwei Sprechstellen miteinander gleichzeitig in unabhängigen Verkehr treten können, empfiehlt sich meist aus betrieblichen Gründen eine Beschränkung der Stationszahl in dem mit einem Wellen- oder Bandpaar betriebenen HF-Bezirk. Außerdem sprechen die vorstehend erläuterten Dämpfungsverhältnisse für die Begrenzung der HF-Gerätezahl im Sprechbezirk.

Bei den bisher in Europa üblichen Zweikanalsystemen sowie beim Einseitenbandsystem müssen nun besondere Maßnahmen getroffen werden, sobald mehr als zwei Sprechstellen an den Leitungsabschnitt angeschlossen sind, um den Sprechverkehr aller zu erlauben. Hierfür bieten sich drei Möglichkeiten:

a) **Strahlenverkehr.** Ist nach Bild 112 die Sendefrequenz der Sprechstelle  $A$   $f_1$ , die von  $B$   $f_2$ , so empfängt  $A$   $f_2$ ,  $B$   $f_1$ . Eine dritte Sprechstelle  $C$ , die wie  $B$   $f_2$  aussendet und  $f_1$  empfängt, kann dann nur mit  $A$  verkehren. Der Verkehr zwischen  $B$  und  $C$  ist nicht möglich, da beide gleiche Sendefrequenzen ( $f_2$ ) und gleiche Empfangswellen ( $f_1$ ) haben.



Organisatorisch kann nun die Maßnahme getroffen werden, daß Sprechstelle  $A$  (z. B. der Lastverteiler) die Zentralbefehlsstelle wird, die den Verkehr mit den beiden Unterstationen  $B$  und  $C$  oder auch mit mehreren durchführt. Auf den Verkehr der Unterstationen miteinander verzichtet man. Eine derartige Verkehrsart wird *Strahlenverkehr* oder *Zentralverkehr* genannt. Sie stellt die technisch einfachste und hinsichtlich des Frequenzplanes günstigste Lösung dar, um mit einem Frequenz- oder Bandpaar Verbindungswege zwischen mehr als zwei Sprechstellen zu schaffen. Es gibt zahlreiche Fälle, in denen die Verkehrseinschränkung dem Wunsch der Werke entgegenkommt, für die Zentralbefehlsstelle stets die Sprechwege frei zu haben und einen unerwünschten Verkehr untergeordneter Stellen miteinander zu verhindern.

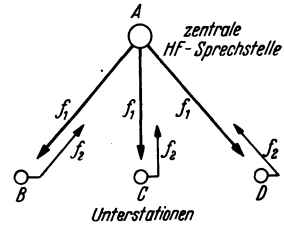


Bild 112. Schema des Strahlenverkehrs.

β) **Wellenwechselverkehr.** Wird ein Untereinanderverkehr aller Sprechstellen innerhalb eines Bezirkes verlangt, so muß eine Gesellschaftsleitung gebildet werden. Hierfür kommt als allgemeinere Ausführungsform in erster Linie der sog. *Wellenwechselverkehr* in Frage (Bild 113). Dabei stehen im Ruhezustand alle Sprechstellen  $A, B, C, D$  z. B. für  $f_1$  auf Rufempfang. Will  $C$   $A, B$  oder  $D$  anrufen, so tauscht  $C$  die Frequenzen und ruft nunmehr mit  $f_1$ , auf der alle anderen Sprechstellen empfangsbereit sind, während  $C$  jetzt auf der Frequenz  $f_2$  den Empfang durchführt. Man kann den Wellenwechsel sowohl sende- als auch empfangsseitig vorsehen<sup>1</sup>. I. a. wird er sendeseitig vollzogen.

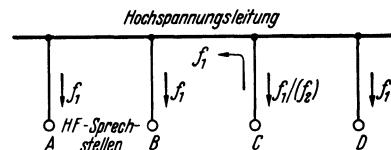


Bild 113. Schema für den Wellenwechsel auf der Sendestelle.

Besondere Maßnahmen sind für ortsveränderliche Sprechstellen zu treffen. Soll z. B. ein tragbares Gerät  $C$  auf einer Strecke mit zwei festen Endsprechstellen  $A$  und  $B$  eingesetzt werden und mit beiden Stellen sprechen können, so müßte es einmal mit  $f_1$ , das andere Mal mit  $f_2$  rufen, da zwei Endgeräte  $A, B$  unter sich i. a. mit festen Wellen verkehren, d. h. das eine würde auf  $f_1$ , das andere auf  $f_2$  empfangen. Die Notwendigkeit zum Wellenwechsel erhöht aber das Gewicht des tragbaren Gerätes, an dem gespart werden muß. Der Wellenwechsel bedingt nämlich den Einbau der Abstimmkondensatoren für beide Wellen, sende- und empfangsseitig, sowie der entsprechenden Umschalteneinrichtungen.

In diesem Fall nimmt man zweckmäßigerweise den Wellenwechsel bei den beiden ortsfesten Sprechstellen vor, obwohl er für diese an sich nicht nötig ist. Dann kann das tragbare Gerät  $C$  als die stets rufende

<sup>1</sup> DRP. 348964, 424840, 452547.

Sprechstelle mit zwei fest zugeordneten Wellen — z. B. Sendewelle  $f_1$ , Empfangswelle  $f_2$  — sowohl mit der Station  $A$  als auch mit  $B$  verkehren, da die beiden stationären Geräte auf  $f_1$  zum Empfang bereit stehen und zum Verkehr unter sich vom Wellenwechsel Gebrauch machen (Bild 114).

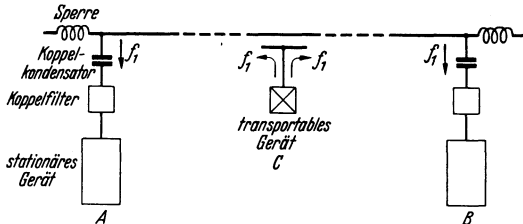


Bild 114. Das Wellenwechselproblem bei transportablen Geräten.

zurück, wenn der Frequenzplan dies erforderlich macht<sup>1</sup>. Ebenso kann nach dem gleichen Verfahren der Verkehr von mehreren Großgeräten mit einem Kleingerät durchgeführt werden, das den Wellenwechsel nicht gestattet.

Der Wellenwechselverkehr stellt insofern eine allgemeine Lösung des beliebigen Verkehrs mehrerer HF-Geräte untereinander dar, als er an keinerlei Voraussetzungen bezüglich der Lage der HF-Sprechstellen an der Hochspannungsleitung gebunden ist.

γ) **Linienverkehr.** Handelt es sich um ein durchgehendes Netz, an dem die einzelnen Stationen, perlenkettenähnlich, aufgereiht sind, so

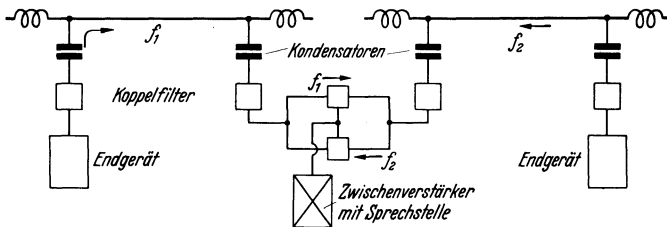


Bild 115. Zwischenverstärker mit Sprechstelle für Linienverkehr.

kann man die hochfrequenten Trägerwellen  $f_1$ ,  $f_2$  der beiden Endstationen ständig über die Leitung schicken und sie in den Zwischenverstärkern für dort beginnende Gesprächsverbindungen mit Sprache modulieren (Bild 115). Bei Leitungen, die Abzweige aufweisen, und bei vermaschten Netzen ist diese als *Linienverkehr* bezeichnete Betriebsart nicht möglich. An den Endstellen bleiben also Send- und Empfangswelle stets ungeändert. Auch an der Zwischenstation findet kein Wellenwechsel statt, sondern die Modulations- und Demodulationseinrichtung wird der einen oder anderen Welle zugeordnet, je nach dem mit welcher der Endstationen der Verkehr erfolgen soll.

Unter der Voraussetzung, daß alle Geräte im Zuge einer Leitung liegen, die sich nicht verzweigen darf, erlaubt die Wellenfestlegung durch

<sup>1</sup> Vgl. Klöckener: Fußnote S. 49.

diese Verkehrsart eine dichtere Frequenzzusammendrängung im Wellenplan als der Wellenwechsel und damit eine sparsamere Ausnutzung des

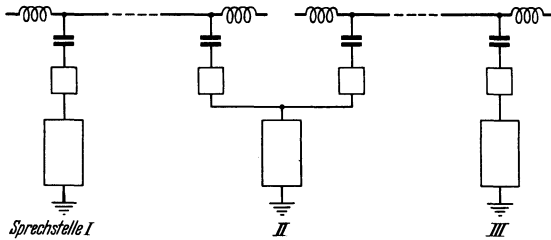


Bild 116. Üblicher HF-Sprechabschnitt.

verfügbaren Wellenbereiches. Auch bei der Kombination der Telefonie mit Schalterstellungsmeldung und -steuerung kann sie gewisse Vorteile bieten (s. S. 64).

e) Der Sprechbezirk als Teil des HF-Netzes.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß sowohl hochfrequenz-

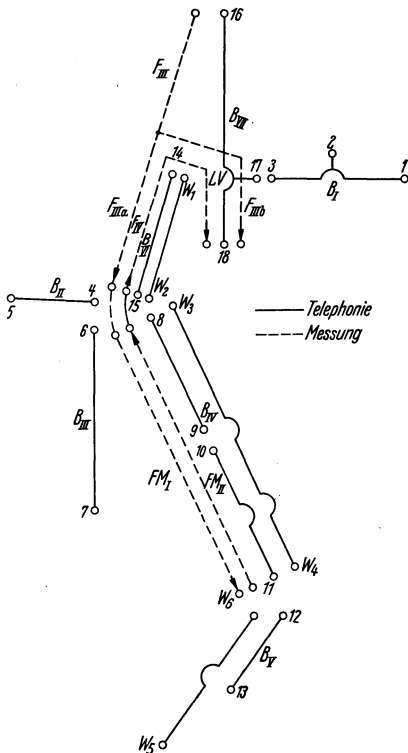


Bild 117. HF-Verbindungen in einem Hochspannungslängsnetz.  $W_{1-6}$  HF-Stationen des Telefonie-Weitnetzes.  $B_{I-VII}$  HF-Bezirksnetz. 1-18 HF-Sprechstellen der Bezirksnetze.  $FM_{I-IV}$  HF-Meßkanäle.

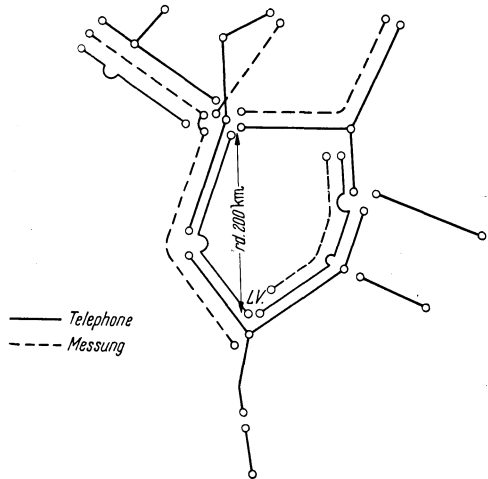


Bild 118. Aufteilung eines Hochspannungs-Ringnetzes in HF-Bezirke.

technische als auch vor allem betriebliche Gründe für die Aufteilung ausgedehnter Hochfrequenznetze in mehrere Bezirke sprechen. Dabei kennzeichnet der Umstand, daß jeweils nur ein einziges Gespräch mit

dem gleichen Frequenzpaar geführt werden kann, eine Zusammenfassung von übermäßig viel Sprechstellen in einem HF-Bezirk als unzuweckmäßig. Beispielsweise ist die Zusammenfassung von etwa 3 bis 4 Hochfrequenzsprechstellen mit beliebigem Untereinanderverkehr bei 1—2 Überbrückungen in einem Sprechbezirk üblich geworden (Bild 116). Handelt es sich um unüberbrückte Zwischenstationen mit nur beschränkten Sprechmöglichkeiten zu den Endstellen, so kommt unter Umständen auch eine entsprechend größere Zahl in Frage.

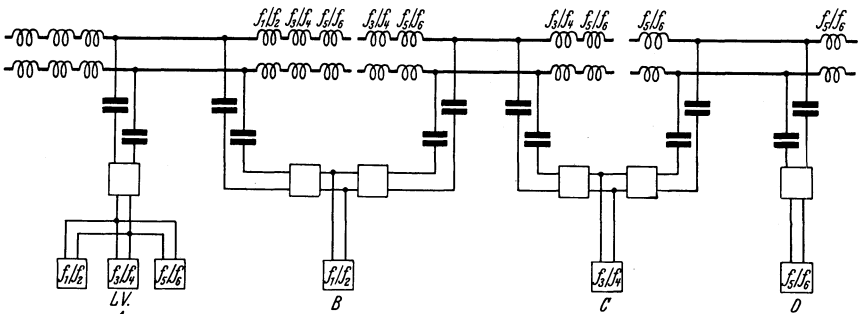


Bild 119. Gemeinsame Ankopplung von sich überlagernden Sprechbezirken.

In der vorstehend geschilderten Weise wird für die verschiedenartigsten Hochspannungsnetze durch entsprechende Aufteilung ein in seinen Sprechbezirken weitgehend vereinheitlichtes Hochfrequenzsprechnetz geschaffen. Dabei ist es dann von untergeordneter Bedeutung, ob das Hochspannungsnetz ein Längsnetz (Bild 117) ist, wobei an einer einzigen langgestreckten Leitung mit unterwegs abgehenden Stichleitungen Kraftwerke und Schaltstationen liegen, oder ein Ringnetz (Bild 118) oder schließlich die Kombination aus beiden: ein Maschennetz, das die Netzform der Zukunft beim allgemeinen Verbundbetrieb darstellen wird.

Entscheidend für die Netzgestaltung ist, wo geographisch die zentrale Befehlsstelle liegt. Sie muß in Störungsfälle meistens die wichtigsten Kraft- und Umspannwerke gleichzeitig und unabhängig voneinander erreichen können. So laufen in diesem Betriebsschwerpunkt *LV* eine größere Zahl von Sprech- und sonstigen Fernmeldekanälen zusammen (Bild 117 bis 119), die aber jeder für sich den gleichen Aufbau aufweisen.

## 2. Die Zusammenschaltung von Sprechbezirken zu HF-Netzen.

Mehrere HF-Sprechbezirke ergeben ein HF-Netz. In diesem müssen höhere Anforderungen an die Einzelabschnitte gestellt werden als innerhalb eines HF-Bezirks.

Damit die Restdämpfung einer zusammengesetzten Verbindung innerhalb genügend enger Grenzen bleibt, ist eine automatische Pegelregelung innerhalb der Einzelabschnitte erforderlich. Darüber hinaus müssen die Rufimpulse und das Sprachband verzerrungsfreier übertragen werden, als im Einzelabschnitt.

Die in *A* der Trägerwelle  $f_1$  aufmodulierte Nachricht wird in *B* demoduliert, um in *C* erneut  $f_3$  aufmoduliert und in *D* demoduliert zu werden (Bild 120). Werden nun in ausgedehnten Netzen zahlreiche Abschnitte hintereinandergeschaltet, so ist es verständlich, daß bei der häufigen Modulation und Demodulation Verzerrungen sich derart summieren können, daß am Ende der Abschnittskette die im zweiten Abschnitt

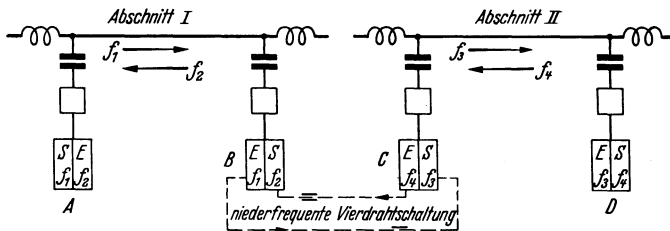


Bild 120. Vierdrahtdurchschaltung von zwei unabhängigen HF-Sprechabschnitten.

vielleicht noch verständliche Sprache unverständlich wird. Für die Durchschaltungen sind daher an die Verzerrungsfreiheit der Einzelabschnitte viel höhere Anforderungen zu stellen, als wenn der Verkehr auf den Einzelbezirk beschränkt bleibt. Die Verzerrungsfreiheit kann im einzelnen nur meßtechnisch geprüft werden, da für das Ohr die Verzerrungen des Einzelabschnittes noch nicht wahrnehmbar zu sein brauchen und trotzdem die Gesamtverbindung stark beeinträchtigen können. In dieser Hinsicht ist die Güte der Filter von entscheidender Bedeutung (vgl. S. 75, Bild 64). Resonanzkreise sind hierfür wegen Beschneidung der Seitenbänder nicht geeignet.

Rufimpulsverzerrungen, die durch die vielfache Umsetzung der Impulse bei Reihenschaltung zahlreicher Abschnitte entstehen, werden durch sog. Impulskorrekturen ausgeglichen (vgl. S. 155).

Die Reichweite solcher aus Einzelabschnitten aufgebauten Weitverbindungen ist beliebig und kann praktisch unabhängig von Dämpfungsänderungen der Leitungsabschnitte gemacht werden, wenn durch die Aufteilung die Abschnittslängen auf etwa 100 km begrenzt werden. Die Verkehrsmöglichkeiten werden durch die Aufteilung nicht beschränkt; im Gegenteil ist gleichzeitig ein Verkehr in mehreren Bezirken möglich, so lange nicht die Gesamtverbindung alle Bezirke beansprucht. Die Anordnung der Bezirke bei der Netzgestaltung ist damit häufig eine Frage der *Wirtschaftlichkeit*.

Ein Nachteil ist bei dem in einigen Ländern bestehenden Frequenzmangel die Notwendigkeit, für jeden neuen Sprechbezirk ein neues Frequenzpaar vorzusehen. Dieser Nachteil erzwingt unter Umständen eine Beschränkung in der Aufteilung auch aus *technischen Gründen*.

Man kann dann einzelne Sprechbezirke mit Durchgangsverstärkern versehen, wenn die normale Geräteleistung nicht zur Überbrückung

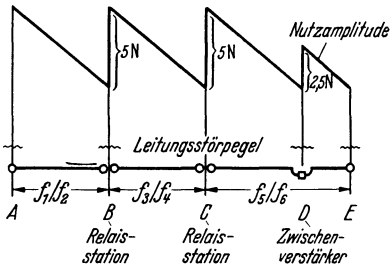


Bild 121. Pegeldiagramm:  
Relaisaufteilung—Zwischenverstärker.

der Entfernung zwischen den Abschnittsendstellen unter ungünstigsten Witterungsbedingungen ausreicht. Werden sie mit Sprechstelle ausgerüstet, so kann diese mit jeder der Endstellen sprechen, oder sich, wie auch jede Relaisstationen, an einem bestehenden Gespräch konferenzmäßig beteiligen. Dagegen kann in jedem Sprechbezirk, der durch Verstärker mit Sprechstelle verlängert

ist, immer nur ein einziges Gespräch geführt werden, im Gegensatz zu mehreren gleichzeitig in den verschiedenen Relaisabschnitten möglichen Gesprächen, wenn man die ganze Strecke relaismäßig aufteilt. Da die Relaisstation die abgesunkene Nutzamplitude wieder um etwa 5 Neper, der Zwischenverstärker sie nur um etwa 2,5 Neper heben kann, ist die Reichweite der Verbindung oder ihr Störpegelabstand bei der relaismäßigen Aufteilung entsprechend größer als beim Einsatz von Zwischenverstärkern (Bild 121). Sie kommt also mehr für Fernverbindungen höchster Anforderung, der Zwischenverstärker mehr für Verbindungsverlängerung in Frage. Weitestgehende Frequenzersparnis und größten Störpegelabstand bei der Netzgestaltung erreicht man mit dem Einseitenbandsystem, wenn das Netz zur Führung unabhängiger Gespräche relaismäßig aufgeteilt wird und die Sprechbezirkverlängerung mit Hilfe von Einseitenbandzwischenverstärkern erfolgt.

### a) Die Technik der Zusammenschaltung.

Bei der Durchschaltung von Sprechverbindungen über mehrere Abschnitte (Relaisbetrieb) wird die Verbindung zwischen den Sprechgeräten an der Stoßstelle der Abschnitte von Hand oder selbsttätig ausgeführt.

Verkehren (Bild 120) im Abschnitt I die Sprechstellen A und B mit dem Wellenpaar  $f_1/f_2$ , im Abschnitt II die Sprechstellen C und D mit  $f_3/f_4$ , so wird der Empfänger von B, der von A den HF-Träger  $f_1$  empfängt, dem Sender von C die Nachricht niederfrequent zuleiten, der sie hochfrequent auf  $f_3$  an D weitergibt. Umgekehrt wird die von D nach C auf HF-Träger  $f_4$  übermittelte Nachricht dem Sender von B niederfrequent weitergegeben, der sie hochfrequent auf  $f_2$  A zuleitet.

Am einfachsten ist es, hierzu den Empfänger von *B* mit dem Sender von *C* direkt niederfrequent zu verbinden und umgekehrt getrennt hiervon den Empfänger von *C* mit dem Sender von *B*. Man spricht dann von einer „Vierdraht-Durchschaltung“, da zu jeder der beiden Sprechverbindungen zwei Drähte benötigt werden.

Üblicherweise ist der Gerätausgang für beide Sprechrichtungen aber zweidrahtmäßig vorgesehen, damit auch über lange Fernsprechzubringerleitungen der Anschluß normaler Tischapparate mit ausschließlich zwei Adern möglich ist. Der „Zweidraht“-Ausgang erfordert eine Gabelschaltung (vgl. Bild 96), damit keine gegenseitige Beeinflussung zwischen Empfänger und Sender eintritt. Zur Herstellung des Brückengleichgewichtes muß, wie wir sahen, an der Gabel die Teilnehmerleitung durch

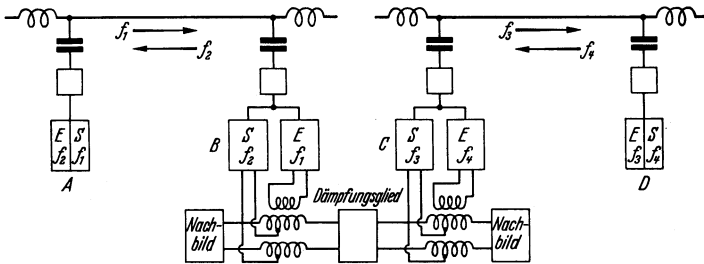


Bild 122. Zweidrahtzusammenschaltung von zwei unabhängigen HF-Sprechabschnitten.

eine künstliche Leitung nachgebildet werden. An der Stoßstelle mehrerer Sprechabschnitte tritt an Stelle der Teilnehmerleitung das andere Hochfrequenzgerät (Bild 122). Ist dieses gut nachbildbar, so ist die Zweidrahtverbindung der Abschnitte durchführbar. Sie schafft einheitliche Verhältnisse niederfrequenzseitig, da die anderen Abschnitte dann einfach wie Niederfrequenzteilnehmer behandelt werden können. Da aber bei mangelhafter Nachbildbarkeit über die Gabelschaltung eine Rückkopplungsmöglichkeit zum Sender in der Gegenrichtung und damit Pfeifgefahr besteht, ist im Hinblick auf die stabilere Sprachübertragung die Vierdrahtdurchschaltung der zweidrahtigen vorzuziehen. Man hat aus diesem Grunde „Vierdrahtautomaten“ geschaffen, um die beliebige selbsttätige Zusammenschaltung zahlreicher HF-Sprechabschnitte auch an den Stoßstellen zu ermöglichen, wo mehrere HF-Kanäle zusammenreffen (vgl. Bild 127 und 129). Besonders wichtig ist dies dann, wenn auch ältere schlecht nachbildbare Geräte an der Zusammenschaltung beteiligt sind. Da sich außerdem auch bei guter Nachbildbarkeit in der *Zweidrahtdurchschaltung* die Restdämpfungen (vgl. S. 178) in jedem Abschnitt im Hinblick auf die Pfeifgefahr der einzelnen Abschnittschleifen nicht auf Null bringen lassen, addieren sich diese bei der Reihenschaltung. Mit Rücksicht auf den Störpegel der Hochspannungsleitungen ist dies bei zahlreichen Abschnitten in Reihe nachteilig. Im Gegensatz

dazu kann bei der *Vierdrahtdurchschaltung* jede Sprechrichtung für sich auf günstige Restdämpfung über alle Abschnitte gebracht werden. Es besteht nur noch die Pfeifgefahr über die Gesamtschleife, die durch entsprechende Restdämpfung an den beiden Gabelenden der Gesamtverbindung vermieden werden muß. Dabei läßt sich aber die Restdämpfung im Hinblick auf den Störpegel genügend klein halten.

Die Anrufautomatik ist heute so durchgebildet, daß es für den Teilnehmer gar nicht in Erscheinung tritt, wenn eine Verbindung aus mehreren Abschnitten zusammengesetzt ist. Hierzu tragen die schon auf S. 77 genannten drei Maßnahmen wesentlich bei: 1. wichtigen Sprechstellen, z. B. dem Lastverteiler, wird die Möglichkeit gegeben, durch Wahl einer besonderen Nummer sich auf besetzte Abschnitte aufzuschalten. 2. Durch Verwendung von Speichern ist es möglich, die Zahl der Rufnummern stark herabzusetzen und 3. kann bei Besetzung von Teilabschnitten der selbsttätige weitere Aufbau der Verbindung ohne Neuwahl bewirkt werden. Er erfolgt, nachdem ein anfangs besetzter Teilabschnitt — gemäß der Aufforderung zum Freimachen durch den sich aufschaltenden Lastverteiler — von den bisher sprechenden Teilnehmern freigegeben worden ist.

### **3. Die Berücksichtigung der Benutzung von Telefoniewellen für andere Fernmeldezwecke bei der Netzaufteilung.**

Bei der Netzgestaltung muß weiterhin darauf Rücksicht genommen werden, daß die Telefoniewellen gleichzeitig für andere Fernmeldezwecke verwendet werden können. Wie auf S. 62 auseinandergesetzt, beeinträchtigt i. a. die Kombination der Sprechwellen mit anderen Fernmeldungen während der Gesprächspausen die Gestaltung des Sprechnetzes nicht. Dagegen beschränkt sich die Zahl der Sprechstellen im Abschnitt auf zwei, wenn eine gleichzeitige Übertragung mit dem Gespräch verlangt wird, sei es, daß es sich um eine Unterlagerungsfernmessung in beiden Richtungen handelt, sei es, daß die Energierichtung von dem einen Ende des Leitungsabschnittes zum anderen für den Streckenschutz auf den Sprachträgerwellen gemeldet wird (vgl. S. 69, Bild 61).

Während bei der Meßwertdauerübertragung, die vielfach nur in einer Richtung vorgenommen wird, stets zu prüfen ist, ob es wirtschaftlich ist, die eine Telefoniewelle für die Unterlagerung heranzuziehen, oder ob zweckmäßiger die Meßwertübertragung auf einer besonderen Trägerwelle durchgeführt wird, scheidet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Energierichtungsmeldung beim Streckenschutz aus. Hier wird immer an jedem Leitungsende ein Sender und Empfänger benötigt, und es ist daher in jedem Falle wirtschaftlich, dazu die Telefoniegeräte zu verwenden, so lange es sich um den Schutz *einer* Drehstromleitung



handelt. Sind zwei Leitungen zu schützen und muß demzufolge die Modulation der Telefoniewellen mit Tonfrequenzen erfolgen, so verursacht die Benutzung eines getrennten Wellenpaares unter gewissen Voraussetzungen keine wesentlich höheren Aufwendungen. Hierfür spricht auch der Wunsch nach erhöhter Schnelligkeit der Abschaltung für die die erforderliche Umschaltzeit vom Telefonieverkehr auf die Selektivschutzmeldung hinderlich ist. Häufig aber wird die Notwendigkeit, Frequenzen zu sparen, auf die kombinierte Lösung drängen. Man kann dabei die Tonfrequenzen für den Schutz ständig die Träger modulieren lassen und die Schutzöne lediglich während des Gespräches abschalten. Dann fällt die Umschaltzeit nur ins Gewicht, wenn der Schutz gerade während eines Gespräches den Kanal verlangt.

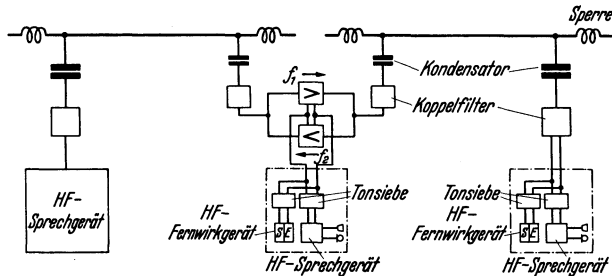


Bild 123. Zusätzliche Fernwirkkanäle mit Tonfrequenz auf mit Zwischenverstärkern ausgerüsteten Sprechabschnitten.

Auch bei Einsatz von Zwischenverstärkern lassen sich, wie in Kap. VI, 4 dargestellt, die Leitungsabschnitte diesseits und jenseits des Verstärkers durch Modulation der von den Endstationen ständig ausgesandten Sprechträgerwellen mit verschiedenen Tonfrequenzen innerhalb jedes Abschnittes zu unabhängigen anderen Fernmeldungen heranziehen (Bild 123).

Zu prüfen bleibt jeweils beim Selektivschutz, ob die Verzögerung in Kauf genommen werden kann, die bei Ausfall der Trägerwelle einer Endstation — zum Beispiel infolge Fehlers in diesem Leitungsabschnitt — durch Einschaltung des Reserve-HF-Erzeugers der Zwischenverstärkerstelle entsteht. Die unverzügliche Einschaltung des Reserveträgers ist unerlässlich, um den Schutz des nächsten Leitungsabschnittes sicherzustellen. Dieser kann hochspannungsseitig ungestört sein, trotzdem die aus dem gestörten Endabschnitt nicht mehr durch den Zwischenverstärker hindurchkommende Schutzträgerwelle ihn als gestört erscheinen läßt. Sind mehrere Zwischenverstärker vorhanden, muß eine selektive Auswahl der Reserveträger stattfinden, da sich sonst Interferenzen zwischen den verschiedenen zugeschalteten Trägerwellen ergeben können. Die Zeit für diese selektive Auswahl erscheint bei dem modernen Schnellschutz nicht mehr tragbar.

## VIII. Automatik.

Nachdem wir die verschiedenen Betriebsarten der Hochfrequenzübertragungen über Hochspannungsleitungen kennengelernt und jeweilig die besonderen Aufgaben der Automatik dafür behandelt haben, wollen

wir diese noch einmal zusammenstellen, um uns über die Bedeutung der Automatik für die EW-HF-Technik klar zu werden. Die Lösung der verschiedenen Aufgaben erfolgt mit den Mitteln der Selbstanschlußtechnik, Relais und Wählern, die i. a. im Automatikteil des Hochfrequenzsprechgerätes zusammengefaßt sind (Bild 124). Die Aufgaben sind jeweilig im folgenden nur grundsätzlich gekennzeichnet. Schaltungen für die einzelnen Lösungen anzugeben, würde über die Ziele des Buches hinausgehen.

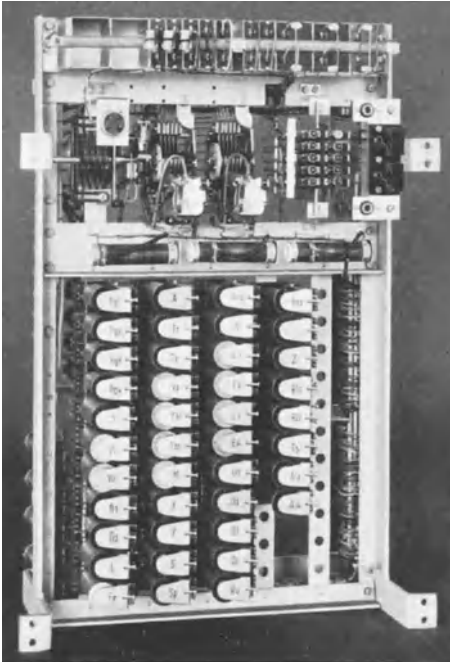


Bild 124. Übliche Hochfrequenzautomatik.

Die Anforderungen an die Automatik der HF-Geräte decken sich zum Teil mit denen, die auch im niederfrequenten Selbstanschlußverkehr zu erfüllen sind. Über-

wiegend aber treten Sonderforderungen hinzu, die die Bedingungen, unter denen Selbstanschlußzentralen sonst arbeiten, übersteigen. Den mit dem niederfrequenten Verkehr übereinstimmenden Forderungen ist unter möglichst Anpassung an diese zu entsprechen, damit Zusammenschaltungen von HF- und NF-Anlagen in wirksamster Weise erfolgen können.

Die Aufgaben der Automatik<sup>1</sup> sind im wesentlichen folgende:

1. Fernsteuerung des Hochfrequenzgerätes über zwei Adern:
  - a) Einschaltung und Ausschaltung.
  - b) Wellenwechsel.
  - c) Verriegelung mehrerer angeschlossener Teilnehmer.
2. Die Steuerung der selbsttätigen Pegelregelung.

<sup>1</sup> Wolman: VDE-Fachberichte 1936. Schweimer: Neue Wahlverfahren im EW-Telefoniebetrieb, AEG-Mitt. April 1938. S. 263.

3. Wahlruf der Hochfrequenzgeräte mit vollständiger Signalgabe:
  - a) in einem HF-Abschnitt.
  - b) bei Zusammenschaltung verschiedener Abschnitte.
4. Übergang auf Selbstanschlußzentralen.
5. Übergang auf Wahlrufanlagen.
6. Wahlweise Umschaltung von Fernsprechen auf andere Fernmeldedienste.

## 1. Fernsteuerung des Hochfrequenzgerätes über zwei Adern.

### a) Einschaltung und Ausschaltung.

Verlangt wird die volle Inbetriebsetzung des HF-Gerätes beim Abheben des Hörers vom normalen Tischapparat. Trotzdem HF-Sender und HF-Empfänger — gegebenenfalls mit Wellenwechsel — in Betrieb genommen werden müssen und trotzdem die Einpegelung, die die Übersteuerung des Empfängers verhindern und schon den Ruf sicherstellen soll, vor Übertragung der Wahlimpulse beendet sein muß, darf vom Teilnehmer nicht mehr gefordert werden, als das Abheben des Hörers und das Aufziehen der Nummernscheibe. Dabei muß einmal die Einschaltung der Senderöhren erfolgen — der Empfänger brennt dauernd — und andererseits verhindert werden, daß ein Ruf hinausgeht, ehe der Sender betriebsbereit ist.

Man kann die Senderöhren auch dauernd brennen lassen, wenn hinreichend langlebige, z. B. indirekt geheizte Senderöhren verwendet werden. Man gewinnt dabei etwa eine Sekunde Anheizzeit, verliert aber an Lebensdauer die Zeit, in der nicht gesprochen wird.

Früher beschäftigte man den Teilnehmer während der Anheizzeit mit Blindwahl. Da man hierdurch die Stellenzahl der Rufnummern erhöht und damit Fehlwahlen begünstigt, ist dies in jedem Fall zu vermeiden.

Besser wirkt ein Speicher, der die nach Abheben des Hörers mit der Nummernscheibe ohne Verzug abgegebenen Impulse speichert. Die Durchgabe erfolgt erst nach seiner Freigabe durch den voll emissionsfähigen Sender z. B. in der Weise, daß man einen zweiten Wähler zum Ablauf bringt, der den Speicherwähler abtastet.

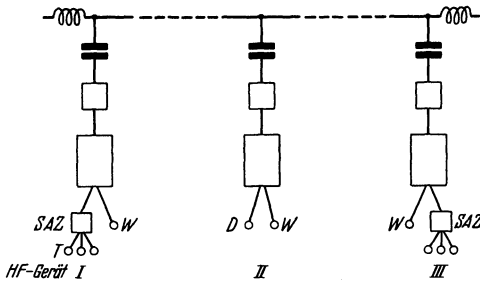
Bei Beendigung des Gespräches wird verlangt, daß das Auflegen des Hörers auf die Gabel durch einen der beiden Teilnehmer das Schlußzeichen über die zwei Adern gibt und die Gegensprechstelle ebenfalls abschaltet. Die wertvolle Hochfrequenzfernleitung soll für neue Gespräche freigemacht werden, auch wenn der andere Teilnehmer vergißt, aufzulegen (Rückauslösung).

Außerdem wird eine vollständige Signalgabe: Freizeichen, Besetzzeichen und Amtszeichen über die zwei Adern gefordert und durchgeführt.

### b) Wellenwechsel.

Die Bedeutung des Wellenwechsels ist in Kap. VII, 1 b,  $\beta$  behandelt worden. Er wird heute i. a. selbsttätig auf der rufenden Sprechstelle durch Abheben des Hörers von der Gabel vorgenommen. In besonderen Fällen (stillgelegter Wellenwechsel wegen Frequenzbeeinflussung) kann er auch in Abhängigkeit von der Rufnummer erfolgen.

An Stelle des Wellenwechsels tritt beim Zwischenverstärker mit Sprechstelle in einem HF-Abschnitt, in dem beide Endstationen ständig ihre Trägerwellen aussenden, die Einschaltung der Besprechungseinrichtung auf eine der Trägerwellen und die Anschaltung des Empfängers



*W* - Warte  
*SAZ* - Selbstanschlußzentrale  
*T* - Teilnehmer der Selbstanschlußzentrale  
*D* - Direktion

Bild 125. Niederfrequenzteilnehmer am HF-Netz.

oder Teilnehmer einer Selbstanschlußzentrale. Diese sollen jeder mit besonderer Nummer erreichbar sein und Gespräche des einen sollen von anderen nicht mitgehört werden können (Geheimsprechen, gegenseitige Verriegelung). Meist sind zwei gegeneinander verriegelte NF-Teilnehmer an das HF-Gerät angeschlossen. Ein Untereinanderverkehr dieser ist nicht möglich. Hierzu ist die Aufstellung einer kleinen Selbstanschlußzentrale (Kleinautomaten) erforderlich. Der Anschluß an diese wird mit Relaisüberträgern durchgeführt.

## 2. Die Steuerung der selbsttätigen Pegelregelung.

Erfolgt die selbsttätige Pegelregelung wie vielfach bei Sprechgeräten, einmalig vor jedem Gespräch und nicht ständig, so werden i. a. Wähler oder Relais oder beide verwendet, sei es um Widerstandskombinationen vor den Empfänger zu schalten oder eine Spannungsteilung durch Veränderung eines Kondensators im Eingangskreis des Empfängers vorzunehmen. Meist wird als Kriterium für die Beendigung der Pegelregelung der Abfall des Anrufrelais benutzt, das zu diesem Zweck unempfindlich geschaltet wird, um nach erfolgter Pegelregelung auf eine höhere Empfindlichkeitsstufe für die Aufnahme der Rufimpulse zurückgeschaltet zu werden (vgl. auch Bild 66 und S. 99).

an die andere, je nachdem mit welcher Sprechstelle die Zwischenverstärkerstation verkehren soll.

### e) Verriegelung mehrerer angeschlossener Teilnehmer.

An das Hochfrequenzsprechgerät werden meist mehrere niederfrequente Teilnehmerapparate angeschlossen (Bild 125), z. B. außer dem Apparat in der Warte einer in der Direktion des Elektrizitätswerkes

Die kontinuierliche Pegelregelung, die bei Dauerübertragungen nötig ist, wird dagegen mit Röhren (s. S. 80), Heißeleitern (s. S. 102) oder einer Widerstandskombination im Gitterkreis vorgenommen (s. S. 123 und Bild 99). Sie benutzt also *nicht* die Mittel der Selbstanschlußtechnik.

### 3. Wahruf der Hochfrequenzgeräte mit vollständiger Signalgabe.

#### a) Wahruf in einem HF-Abschnitt.

Seit etwa 1924 ist grundsätzlich der Wahruf mit Impulsreihen nach Art der Selbstanschlußtechnik in der EW-Hochfrequenztelefonie in Benutzung gekommen, auch da, wo nur zwei Hochfrequenzsprechgeräte mit je einem Teilnehmer miteinander zu verkehren haben, eine Auswahl also nicht nötig wäre.

Die Betätigung des Empfangsrelais durch einfache Trägerraussendung hat nämlich den Nachteil, daß dieses dann auch auf Leitungstörimpulse anspricht, während der Wahruf an sich schon eine gewisse Unabhängigkeit von Störimpulsen gewährleistet. Mit Störspannungen ist auf Hochspannungsleitungen aber stets zu rechnen.

Der Wahruf kann entweder durch unmittelbare Trägertastung oder durch Tastung einer Tonfrequenz erfolgen, mit der der Träger moduliert wird. Hierbei kann diese tonmodulierte Welle wiederum ständig ausgesandt und zerhackt oder impulsweise ausgesandt werden. Den Gleichstromstößen in der Teilnehmerschleife des Senders entsprechen dann Hochfrequenzimpulse auf der Leitung. Für den Empfänger gilt das umgekehrte. Die Zerhackung des Trägerstromes ist nicht mehr möglich, sobald dieser dauernd mit anderen Tonfrequenzen, z. B. unterlagerten beim kombinierten Fernmeldebetrieb, moduliert wird (vgl. S. 70).

Auch bei reinem Sprechbetrieb kann der Tonruf infolge seiner erhöhten Selektivität für Leitungen mit hohem Störpegel von Vorteil sein. Ebenso wird er beim Zwischenverstärker mit Sprechstelle bevorzugt, da die von den beiden Endstationen ausgesendeten Trägerwellen nicht vollständig vom Zwischenverstärker aus in Impulse zerhackt werden können, denn sie werden durch die restlichen an der Verstärkerstelle nicht gesperrten Phasen über diese hinweg weitergeleitet.

Der Tonruf kann im Sprachband liegen, nur muß dafür gesorgt werden, daß während des Gespräches das Rufempfangsrelais nicht durch Sprachamplituden betätigt wird.

Für den Wahruf sind folgende Vorgänge erforderlich:

$\alpha$ ) Belegung der Leitung,  $\beta$ ) Impulsgebung,  $\gamma$ ) Freizeichen und Besetzzeichen,  $\delta$ ) Aufschaltmöglichkeit,  $\epsilon$ ) Rufen des Teilnehmers,  $\zeta$ ) Schlußzeichengabe.

$\alpha$ ) **Belegung der Leitung.** Es ist eine offene Frage, ob es wichtiger ist, die Leitung sofort beim Abnehmen des Hörers durch den Träger-

strom zu belegen („Sofortbelegung“), oder sie solange wie möglich freizuhalten. Im letzten Fall, der nur bei Speicherbetrieb möglich ist, wird vor Belegung der Leitung geprüft, ob der Teilnehmer eine erlaubte Rufziffer richtig gewählt hat. Hierbei kann jederzeit vor dem Ablauf des Speichers noch ein Wahlruf von anderer Stelle mit Erfolg vorgenommen werden. Beide Betriebsarten sind ausgeführt. Keinesfalls darf aber ein Störpegel die Leitung belegen. Man baut deshalb i. a. eine Verzögerungseinrichtung ein, die erst einen Hochfrequenzstrom von längerer Dauer als 300 ms als Zeichen einer Gegenstation wertet.

Bei Sofortbelegung erhalten alle anderen HF-Geräte im gleichen Abschnitt mit dem Erscheinen des Trägerstromes der rufenden HF-Sprechstelle ein Besetztzeichen und werden an der eigenen Wahl gehindert. Damit entfällt die Störmöglichkeit durch die Wahl eines anderen HF-Gerätes während des noch nicht beendigten ersten Wahlvorganges.

**β) Impuls-gabe.** Die Impuls-gabe erfolgt mit der normal ablaufenden Nummernscheibe des gewöhnlichen Teilnehmerapparates bei 0,9 bis 1,1 s Laufzeit. Eine Veränderung des Pausen-Zeichen-Verhältnisses von 0,40/0,60 darf weder durch eine lange Zubringerleitung noch durch die HF-Automatikschaltung eintreten, sondern muß — falls nicht vermeidbar — durch eine Impulsberichtigungsschaltung (Impulskorrektur) wieder beseitigt werden.

**γ) Freizeichen und Besetzzeichen.** Ist der gewünschte Teilnehmer dadurch erreicht, daß der Schrittwähler entsprechend der Rufnummer dieses Teilnehmers auf einen Kontakt aufgelaufen ist, an dem ein Wecker angeschlossen ist, während bei allen anderen Teilnehmern von dem entsprechenden Kontakt ein Besetzzeichen betätigt wird, so wird dessen HF-Gerät eingeschaltet und die Gegenträgerwelle wird z. B. mit dem Weckerton moduliert. Dieses Freizeichen beweist dem rufenden Teilnehmer, daß der HF-Kanal in Ordnung ist („Ruf-rückmeldung“). Erfolgt danach keine Antwort, so kann dies nur noch personelle Gründe haben.

Wird im Abschnitt bereits gesprochen, so bekommt der Teilnehmer, der rufen wollte, ein akustisches oder auch optisches Besetzzeichen. Das letztere erspart vielbeschäftigten Lastverteilern Zeit.

**δ) Aufschalt-möglichkeit.** Der Lastverteiler erhält für den Besetzfall Aufschaltrechte. Er übt sie i. a. durch Betätigen einer Taste entweder als „Ortsaufschaltung“ aus, wenn ein zweiter Teilnehmer des gleichen HF-Gerätes spricht, oder als „Bezirksaufschaltung“, wenn im gleichen Abschnitt bereits andere Geräte im Verkehr sind. In diesem Falle kommt der Aufschaltende bei Zweikanalgeräten mit Wellenwechsel in Verkehr mit dem Teilnehmer, der ursprünglich gerufen hat. Bei der nie ganz vermiedenen oder für diesen Fall unter Umständen bewußt herbeigeführten Abweichung der Trägerfrequenzen entsteht ein Interferenzton, der dann als Aufforderung zum Freimachen des Abschnittes gilt. Bei Abschnitten mit sehr unterschiedlichen Entfernungen der HF-Geräte kann beim Sprechverkehr benachbarter Teilnehmer infolge der unempfindlichen

Einpegelung unter Umständen der sehr entfernt liegende sich aufschaltende Lastverteiler sich nicht mehr den Sprechenden bemerkbar machen. In diesem Falle ist aber die Netzgestaltung auch aus anderen Gründen nicht glücklich und sollte tunlichst geändert werden.

Gegenüber dem Wellenwechselverkehr mit Zweiseitenbandübertragung ist bei dem mit Einseitenbandübertragung und beim Linienverkehr zweier Endstellen mit einer Zwischensprechstelle die Aufschaltmöglichkeit gesicherter und durchgreifender, weil die Interferenztöne wegfallen und der Aufschaltende mit beiden Endstellen nach Wahl sprechen kann.

Die Aufschaltung auf ferne Abschnitte wird durch Wahl einer Aufschalt Nummer erreicht, mit der an der Stoßstelle zum besetzten Abschnitt eine „Fernaufschaltung“ auf diesen herbeigeführt wird.

ε) **Rufen des Teilnehmers.** Das Rufen des Teilnehmers geschieht bei modernen Geräten i. a. mit Wechselstrom, um auch in mit Übertragern abgeriegelte Leitungen hineinrufen zu können. Außer dem Klingelruf können — örtlich gesteuert — noch andere Signalverfahren verwendet werden, z. B. mit Hupe, anderer Glocke bei Sammelruf usw.

ζ) **Schlußzeichengabe.** Das Schlußzeichen wird entweder durch Verschwinden des Trägers oder einen besonderen Schlußimpuls (Bild 126) gegeben. Da die Hochspannungsleitungen mit Hochfrequenzbelegung wichtigen Fernleitungen entsprechen, sollten sie schon beim Auflegen eines der beiden Teilnehmer freigeschaltet werden. Dies ist auch beim Verkehr von Zweikanalgeräten ohne Schwierigkeit durchführbar (Rückauslösung). Sie sind dann nach Einhängen des Hörers durch den einen Teilnehmer, dessen Trägerwelle  $f_1$  verschwindet und dadurch auf der Gegenstation  $f_2$  abschaltet, sofort für neuen Verkehr verfügbar, einschließlich eines zweiten NF-Teilnehmers desjenigen HF-Gerätes, dessen erster Teilnehmer vergessen hat, aufzulegen. Diese Gesprächsauflösung ist nicht immer möglich, wenn einer der Gesprächsteilnehmer über eine Selbstanschlußzentrale an das HF-Gerät angeschlossen ist, da hier die Auflösung vielfach von der ursprünglichen Aufbaurichtung der Verbindung abhängig ist.

#### b) Wahruf bei Zusammenschaltung mehrerer HF-Abschnitte.

Bei Zusammenschaltung mehrerer Hochfrequenzabschnitte wird diese im Zweidraht oder Vierdraht vorgenommen (VII, 2a). Maßgebend für das Verfahren ist die Nachbildbarkeit der HF-Geräte und die zulässige

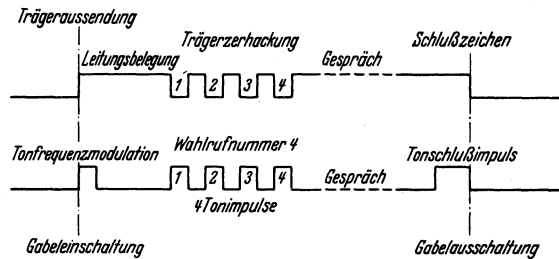


Bild 126.

Wahruf mit Trägerzerhackung bzw. Tonfrequenzmodulation.

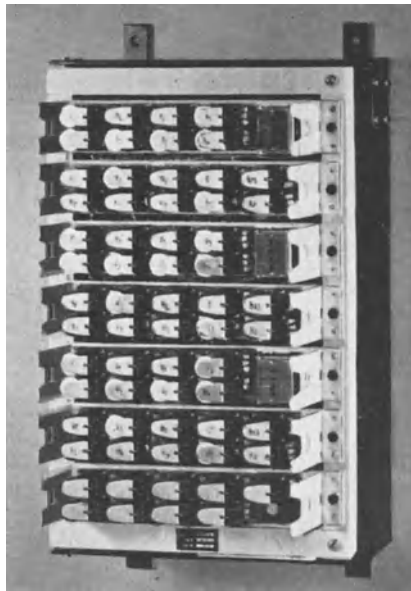
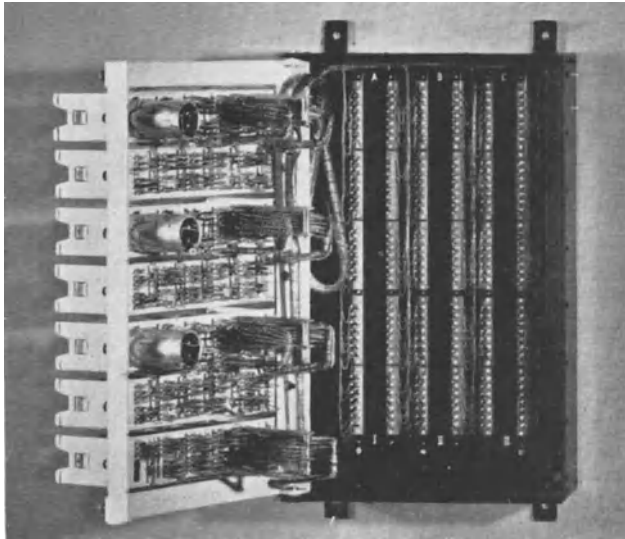


Bild 127. Vierdrahtvermittlungszentrale.

Restdämpfung der Gesamtverbindung. Bei der Vierdrahtdurchschaltung erfolgt die Signalisierung, d. h. also die Prüfung, ob der Abschnitt frei ist, die Belegung, die Durchgabe der Wahlimpulse und des Schlußzeichens meist über besondere Adern.



Sollen mehrere an einem Knotenpunkt zusammenstoßende HF-Abschnitte selbsttätig beliebig im Vierdraht miteinander verbunden werden können, so geschieht dies meist über eine besondere Vierdrahtvermittlungszentrale, einem „Mehrwegeautomaten“ (Bild 127).

Folgende Gesichtspunkte sind hierbei von Bedeutung:

α) Die Impulsweitergabe über die Relaisstation darf keine Veränderungen des Pausen-Zeichenverhältnisses herbeiführen. Das ursprüngliche Verhältnis (0,4/0,6) ist sonst auch hier durch eine Impulsberichtigungsschaltung wieder herzustellen.

β) Die Rufnummernzahl soll möglichst klein sein. Mit Hilfe von Speichern läßt sich heute die beim Betrieb mehrerer Abschnitte in Reihe sonst notwendige große Stellenzahl der Rufnummern auf 1—2 herab-

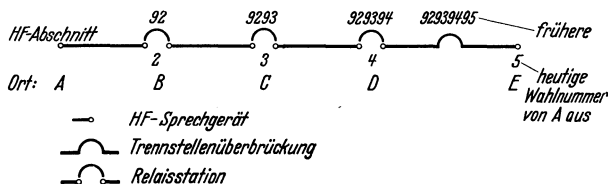


Bild 128. Verkürzung der Rufziffern mit Speichern.

setzen (Bild 128). Dies ist bei abschnittweisem Verkehr wichtig, weil nicht bevorrechtigte Teilnehmer bei Besetzung der einzelnen Teilabschnitte die Wahl wichtiger Rufnummern mehrfach wiederholen müssen. Bei großer Rufnummernzahl führt dies häufig zur Fehlwahl.

γ) Der Einsatz von Speichern erlaubt ferner bei Reihenschaltung mehrerer Abschnitte den Aufbau der Verbindung für den bevorrechtigten Teilnehmer durch einmalige Wahl, auch wenn ein Teilabschnitt besetzt sein sollte (Fernaufschaltung). Nach Freimachung dieses Teilabschnittes auf das Verlangen des sich aufschaltenden Teilnehmers gibt der Speicher die gespeicherte Rufnummer weiter, ohne daß eine Neuwahl erforderlich wird. Beim Relaisbetrieb mit nur zwei HF-Geräten in jedem Abschnitt ist die Aufschaltung ebenso sichergestellt wie beim mit Zwischenverstärkern mit Sprechstelle ausgerüsteten Sprechabschnitt (vgl. S. 112).

δ) Bei diesem Relais- und Zwischenverstärkerbetrieb ist auch ein Sammelruf zur Einleitung eines Konferenzverkehrs in einfacher Weise durchführbar. Beim Relaisbetrieb wird der Teilnehmer an der Stoßstelle durch den Sammelruf entweder im Vierdraht oder im Zweidraht in den durchgehenden Verkehr eingeschaltet, je nachdem wie die HF-Teilabschnitte zusammengeschaltet sind. Bei Sprechabschnitten mit Wellenwechsel dagegen müssen beim Sammelruf sämtliche Sender der gerufenen Stationen blockiert werden, um Interferenztöne zu vermeiden<sup>1</sup>. Die Entblockung des einzelnen Senders erfolgt mit Hilfe z. B. einer Taste nach

<sup>1</sup> DRP. 452547.

Aufforderung durch den Rufenden. Nur diesen hören alle gerufenen Sprechstellen, nicht dagegen die Antwort, welche auf ihrer eigenen Sendewelle übertragen wird.

#### 4. Übergang auf Selbstanschlußzentralen.

Die Meinungen, ob es betrieblich zweckmäßig ist, die HF-Geräte als Teilnehmer von Selbstanschlußzentralen zu schalten, sind geteilt. Auf jeden Fall sollte ein Verkehr unabhängig von den Selbstanschlußzentralen zwischen den wichtigsten Teilnehmern der verschiedenen HF-Geräte, die z. B. jeweilig in der Warte Aufstellung finden, sichergestellt sein. Erhält

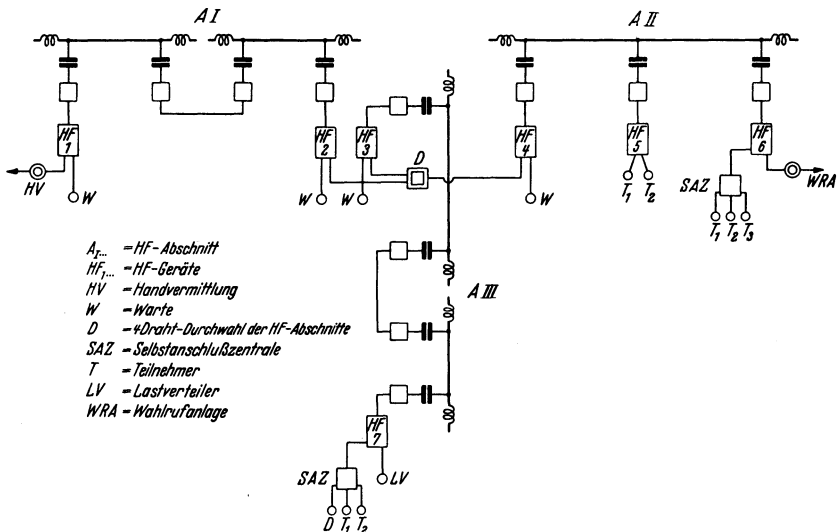


Bild 129. Ausgedehntes HF-Netz mit Übergang auf Selbstanschlußzentralen, Wahlruffanlagen und mit Vierdrahtautomaten zur Verbindung der HF-Abschnitte.

dieser direkt an das HF-Gerät angeschlossene Teilnehmer Aufschaltberechtigung, so ist in einem straff organisierten Betrieb ein Nachteil in der Verbindung von HF-Geräten mit Selbstanschlußzentralen nicht mehr zu erblicken. Für den Störfall der Hochspannungsleitung kann es zweckmäßig sein, alle Hochfrequenzleitungen beim Lastverteiler auf einer Handvermittlung enden zu lassen<sup>1</sup>. Die Anschlußmöglichkeit an jede Art von Vermittlungseinrichtungen mit Hilfe von Relaisübertragern ist bei modernen HF-Geräten ohne weiteres gegeben. Der Einsatz von Impulsberichtigungsschaltungen ist hierbei meist erforderlich, weil Verzerrungen bei der Stromstoßumsetzung durch Relais infolge der unterschiedlichen Ansprech- und Abfallzeiten von diesen unvermeidlich sind<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Heyken: Möglichkeiten und Grenzen der Ausnutzung der Automatik in EW-Fernmeldeanlagen. Elektrizitätswirtsch. 1938 Nr 22 S. 568.

<sup>2</sup> Pfahler: Impulskorrektion. Z. Fernmeldetechn. 1938 Heft 5 S. 67.

Zweckmäßig ist bei großen Automatenzentralen, nur einigen wenigen Automateneteilnehmern die Möglichkeit zum Verkehr mit dem Hochfrequenznetz zu geben, um die Belegungsdichte nicht unnötig zu erhöhen.

### **5. Übergang auf Wahlrufanlagen.**

Der Übergang auf Wahlrufanlagen ist mit Hilfe von Relaisübertragern meist ohne Schwierigkeiten ebenso durchführbar wie der auf Automatenzentralen.

Bei beiden Verbindungsarten 4. und 5. ist es empfehlenswert, die Impulsdurchgabe mit dem Impulsschreiber über die Gesamtverbindung nach Inbetriebnahme zu prüfen (vgl. S. 185).

Im Bild 129 ist als Beispiel für die Verwendung der Automatik im EW-HF-Betrieb ein ausgedehntes HF-Sprechnetzt mit Vierdrahtdurchwahl der verschiedenen HF-Abschnitte sowie mit Übergang auf Selbstanschlußzentralen und Wahlrufanlagen schematisch dargestellt.

### **6. Wahlweise Umschaltung von Fernsprechen auf andere Fernmeldedienste.**

Die wahlweise Umschaltung vom Fernsprechen auf die anderen über die Telefonieträgerwellen vorgenommenen Fernmeldungen hat die Automatik bei den kombinierten Geräten zu erfüllen. Dabei kann die Fernmessung auf Anwahl u. a. mit der Nummernscheibe des gewöhnlichen Fernsprechteilnehmergerätes auf der einen Trägerwelle unter gleichzeitiger Anschaltung des Meßempfängers an den Hochfrequenzempfänger des Sprechgerätes erfolgen (vgl. S. 62). Die Rücksendung der Meßimpulse wird über das Sendetastrelais der Gegenträgerwelle vorgenommen. Hierbei sind die niederfrequenten Sprechgeräte abzuschalten bzw. zu sperren.

Bei der Fernsteuerung bzw. Schalterstellungsmeldung treten hierzu noch die Aufschaltrechte auf ein bestehendes Gespräch z. B. beim Fallen eines Schalters (vgl. S. 63). Die einwandfreie Durchgabe der Meldeimpulse verlangt eine sichere Verriegelung aller im HF-Abschnitt liegenden anderen HF-Geräte wie der niederfrequenten Sprechgarnituren der an der Meldung beteiligten Hochfrequenzstationen. Eine in den Meldegeräten vorgeehene Speicherung sorgt dafür, daß Meldungen ohne Aufschaltberechtigung während eines Gespräches nicht verloren gehen.

Schließlich müssen Umgehungsschaltungen von für den Wahlruf eingebauten Impulskorrekturen verhindern, daß durch diese die Meßwerte bzw. Meldungen gefälscht werden (vgl. S. 62).

Beim HF-Selektivschutz auf den Telefoniewellen darf in Abhängigkeit vom Energierichtungsrelais erst die Ausschaltung der hochfrequenten Trägerwelle bzw. der Tonfrequenzen erfolgen, nachdem das Anregerelais die Telefoniewelle unter Abschaltung der Sprechrichtung ausschließlich

für den Schutz freigemacht bzw. beim Schutz von zwei Drehstromleitungen mit den Tonfrequenzen moduliert hat (vgl. S. 67 und 70).

Beim Fernschreibverkehr mit Tonfrequenzen nach dem Eintonverfahren ist der Aufwand für zusätzliche Automatik sehr gering, da nur an Stelle von Mikrofon und Telefon Fernschreibsender und -empfänger an den Sprechweg anzuschalten und die nötigen Signalisierungen bzw. Verriegelungen vorzunehmen sind (vgl. S. 65).

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung, welche vielfältigen Aufgaben die Automatik der HF-Sprechgeräte zu erfüllen hat. Sie macht daher räumlich und preislich einen nicht unerheblichen Anteil des modernen Hochfrequenztelefoniegerätes aus und gibt ihm gegenüber den älteren Ausführungsformen sein besonderes Gepräge. Doch gehen die Anforderungen bezüglich Schalthäufigkeit, Kontaktbeanspruchung und Ansprechempfindlichkeit bei den geschilderten Ausführungen nicht über die Erfordernisse bei Selbstanschlußanlagen hinaus und sind daher einwandfrei erfüllbar.

Eine Ausnahme hiervon macht i. a. das Empfangsrelais, das bezüglich Empfindlichkeit und Zeichentreue erhöhten Bedingungen genügen muß. Da diese aber unter denen der modernen Telegrafie liegen, sind die üblichen Telegrafienrelais (vgl. Bild 106) in der Lage, ihnen restlos zu entsprechen.

## IX. Die Mehrfachankopplung von HF-Geräten.

Das Zusammentreffen mehrerer HF-Kanäle an einem Ort wirft notwendigerweise die Frage nach einer gemeinsamen Ankopplungsmöglichkeit auf. In den Anfangszeiten der HF-Übertragung auf Hochspannungsleitungen koppelte man die HF-Geräte an die Hochspannungsleitung, indem man die Kapazität des Koppelkondensators in Reihe mit einer entsprechenden Induktivität im Gerät schaltete und in Resonanz auf die zu übertragende Trägerwelle abstimmte. Für eine zweite Trägerstromübertragung in der gleichen Richtung benutzte man einen zweiten Koppelkondensator, den man vielfach auch an eine zweite Phase koppelte (Bild 130).

Dagegen verwendete man bei Zweikanalgeräten für die Gegenwelle des gleichen Gespräches von Anfang an Kunstschaltungen<sup>1</sup>, z. B. Reihen- bzw. Parallelschaltungen von Resonanzkreisen, Brückenschaltungen usw., indem man weitere Niederspannungskondensatoren und Spulen hinzufügte, um beide Gesprächsträgerfrequenzen über den gleichen Hochspannungskondensator mit größtmöglichem Wirkungsgrad ohne gegenseitige Beeinflussung auf die Leitung bzw. in den Empfänger zu bringen. Hierbei

<sup>1</sup> Habann, E.: Untersuchungen über HF-Telefonie auf Starkstromleitungen. Jb. drahtl. Telegr. Bd. 22 (1923) Heft 4 S. 152. — Z. Fernmeldetechn. 1921 S. 153.

ordnete man meist Kombinationen von Durchlaß- und Sperresonanzkreisen (Spannungs- bzw. Stromresonanz) in den Endsprechstellen *A*, *B* und bei den Überbrückungen an (Bild 131; vgl. auch Bild 36 und 75 sowie S. 90).

Die Abstimmung auf den Träger hat bei dem Bestreben, für den Ruf größte Trägerenergie zu übertragen, eine scharfe Resonanzspitze für den Trägerstrom zur Folge. Beim Gespräch müssen aber die durch die Modulation des Trägers sich ergebenden Seitenbänder möglichst gleichmäßig übertragen werden. Da üblicherweise zur Zeit noch beide Seitenbänder über die Hochspannungsleitung geschickt werden, müssen die Frequenzen

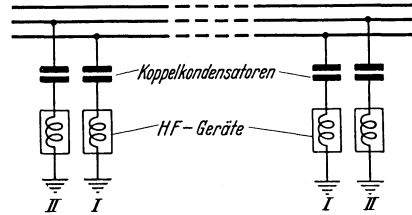


Bild 130. Frühere Mehrfachankopplungsart.

bis 2400 Hz oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz bei der Übertragung formgetreu erhalten bleiben. Die spitze Resonanzkurve der Abstimmkreise schneidet nun aber von den Seitenbändern, wie wir gesehen haben, die vom Träger entferntesten Frequenzen ab (Bild 64). Besonders, wenn bei der Zusammenschaltung einer Reihe von

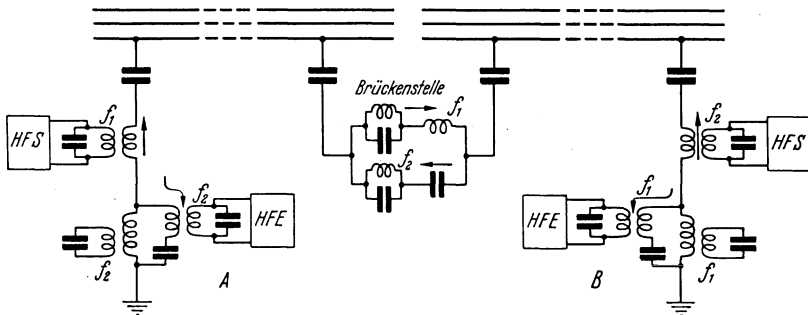


Bild 131. Frühere Resonanzschaltungen für zwei Frequenzen bei Endstationen und Brückenstellen

Sprechabschnitten mehrfache Modulationen und Demodulationen der abgestimmten Trägerwellen in Frage kommen, macht sich die an jeder Stoßstelle erneut auftretende Frequenzbandbescheidung in einer Sprachverschlechterung bemerkbar.

Bei der Behandlung der Sprechgeräte selbst in Teil IV ist darauf hingewiesen worden, daß die Abstimmkreise der Endgeräte heute aus diesem Grunde meist als Bandfilter ausgebildet werden. Der gleiche Gesichtspunkt gilt auch für die Überbrückung von Trennstellen (vgl. S. 38).

Außer der Benutzung von Bandfiltern im HF-Sprechgerät zur Trennung der Frequenzen für das Gegengespräch verwendet man zwecks Übertragung mehrerer Trägerwellen heute auch allgemein Bandfilter zur

Ankopplung. Natürlich sind die Forderungen für Bandbreite und Flankensteilheit bei Trenn- und Koppelfiltern entsprechend den unterschiedlichen Aufgaben verschieden (Bild 132)<sup>1</sup>.

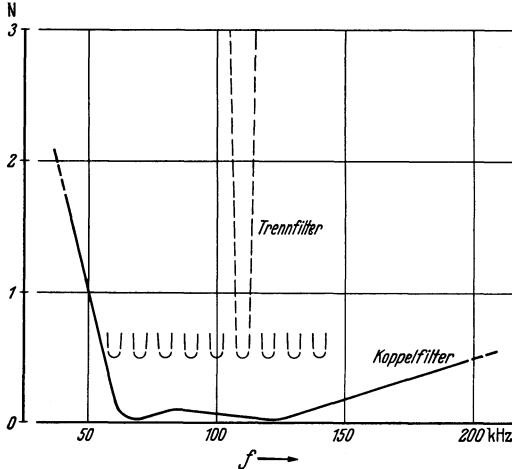


Bild 132. Kennlinien von Trenn- und Koppelfiltern.

Das Ziel beim Koppelfilter ist, einen möglichst breiten Durchlaß für mehrere Trägerfrequenzen zu schaffen, während durch das Trennfilter einzig und allein die zu trennende Trägerfrequenz mit ihren Seitenbändern unverzerrt hindurchgelassen werden soll. Beim Koppelfilter geht die Koppelkapazität in die Bandbreite ein<sup>2</sup>. Will man den Durchlaßbereich des Filters sehr breit machen, benötigt man eine große Koppel-

kapazität. Wie auf S. 17 erwähnt, war früher eine Koppelkapazität von 1000 cm üblich. Diese reicht zum Durchlaß einer größeren Zahl von Trägern aber nicht aus. Hierfür kommen mindestens 2000 cm

Kondensatoren in Betracht. Die i. a. nur unwesentlich höheren Anschaffungskosten rechtfertigen sich durch die Möglichkeit, viele Übertragungskanäle mit einem einzigen Koppelkondensator anzukoppeln zu können (vgl. Bild 119). Je höher die Spannung der Leitung ist, um so wirtschaftlicher wird diese Koppelungsart.

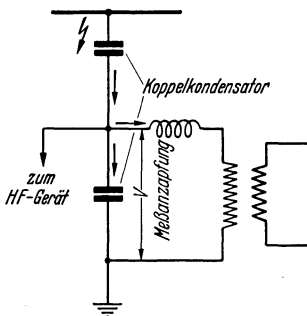


Bild 133. Spannungsmessung mittels Koppelkondensator.

Hierzu kommt die Möglichkeit, mit einem Koppelkondensator großer Kapazität gleichzeitig Spannungsmessungen vorzunehmen (Bild 133). Hierbei wird eine Teilkapazität getrennt herausgeführt und an einen Meßwandler

angeschlossen. Dieser Meßweg ist durch geeignete Sperrmittel für die Hochfrequenzströme zu verriegeln. Bei Kondensatoren mit Meßanzapfung ist besonders darauf zu achten, daß sie induktivitätsfrei sind (vgl. S. 19).

Außer wirtschaftlichen und räumlichen Gründen spricht für die Mehrfachausnutzung der Kondensatoren ferner die Beschränkung in der Zahl der möglichen Störungsquellen.

<sup>1</sup> Schweiz. Pat. Nr. 172221.

<sup>2</sup> Anhang S. 200.

An den Endstellen wird man den Durchlaß der Koppelfilter so breit, wie für mehrere Trägerfrequenzen nötig, machen. Bei vorläufigem Einsatz nur eines einzigen Zweikanalgerätes empfiehlt sich trotzdem die Verwendung von 2000 cm Kondensatoren häufig, um später in der Frequenzwahl frei zu sein. In den Überbrückungen von Trennstellen, wo keine Hochfrequenzenergie abgenommen werden soll, ist der Einsatz von Bandfiltern, die möglichst den ganzen Bereich der auf Hochfrequenzleitungen verwendbaren Trägerfrequenzen durchlassen, grundsätzlich stets angebracht. Die Bandfilter werden dort fest eingebaut und brauchen nicht verändert oder nachgestimmt zu werden, wenn später zusätzliche Frequenzen über die Leitung geschickt werden. Dadurch entfallen die bei Resonanzbrücken häufig zeitraubenden Abstimmarbeiten an den Brückenstellen. Bei gemeinsamer Ankopplung mehrerer von einem Ort ausgehender Sprechwege verschiedener Länge aber wird man die Frequenzwahl möglichst so treffen und die Filter an den Brücken bzw. Endstellen so bemessen, daß die einzelnen Frequenzen nicht über ihren Bestimmungsabschnitt hinauslaufen (vgl. Bild 37, S. 39).

Die gemeinsame Ankopplung aller Kanäle an die gleichen Koppelkondensatoren wird vor allem dann einen durchschlagenden Vorteil gegenüber getrennter Ankopplung bringen, wenn auch die gemeinsame Sperrung aller Trägerfrequenzen mit ein und derselben Sperre möglich ist, weil in diesem Fall die Unterbringungsschwierigkeiten für zahlreiche Resonanzsperrungen fortfallen. Bei der Mehrfachübertragung erweist sich außerdem der Vorteil der Allwellensperre, nicht nachgestimmt werden zu müssen, als besonders wichtig.

Die Gemeinschaftsankopplung braucht die Sicherheit der Übertragung im Vergleich zur getrennten Ankopplung nicht herabzusetzen, wenn man sie zwischenphasig bzw. bei Doppelleitungen zwischensystemig vornimmt (vgl. Bild 42 und S. 44).

## **X. Die Planung von HF-Netzen.**

### **1. Notwendige technische Unterlagen.**

Wenn die Schaffung eines neuen Hochfrequenznetzes in Frage kommt, müssen unabhängig davon, ob das zu beschaltende Hochspannungsnetz schon vorhanden oder ebenfalls erst geplant ist, für die richtige Planung der Hochfrequenzverbindung eine ganze Reihe von Fragen geklärt werden.

Es ist nicht allein nötig, zu wissen, welche Sprech- bzw. Fernmeldeverbindungen zwischen den einzelnen Hochspannungsstationen verlangt werden, sondern auch, wie der Hochspannungsbetrieb vor sich geht, da z. B. die Aufteilung des HF-Netzes gemäß Abschnitt VII nur in Kenntnis der vermutlichen Sprechdichte der einzelnen Verbindungen und ihres

betrieblichen Schwerpunktes richtig durchgeführt werden kann. Ganz besonders wichtig ist eine genauere Kenntnis der Betriebsführung dann, wenn neben der Telefonie gleichzeitig Schalterstellungsmeldung, selektiver Streckenschutz oder andere Fernmeldedienste über hochfrequente Trägerstromkanäle betrieben werden sollen.

Meist werden sich bei größeren Anlagen zweckentsprechende Vorschläge für die Netzgestaltung erst nach ausführlicher mündlicher Erörterung aller Betriebsbedingungen zwischen der Betriebsleitung des Elektrizitätsversorgungsunternehmens und der Herstellerfirma der Hochfrequenzanlage machen lassen. Ist diese zunächst nicht möglich, so muß

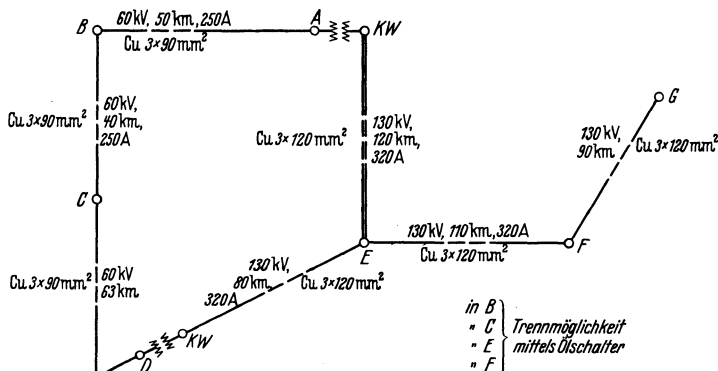


Bild 134. Netzplan für Projektierungen.

wenigstens ein Netzplan wie in Bild 134 vorliegen, in dem sämtliche Hochspannungsleitungen mit Angabe der Spannung, der Leiterwerkstoffe und -querschnitte sowie die kilometrischen Entfernungen aller Leitungsabschnitte und Abzweige eingetragen sind. Außerdem müssen die Verlegungsart der Leitungen einschließlich der Isolatorarten, ihr Normalbelastungsstrom sowie der Kurz- und Erdschlußstrom bekannt sein. Notwendig ist ferner, zu wissen, welche Trennstellen im Zuge der Leitung liegen und welche davon mit Hochfrequenzbrücken auszurüsten sind.

Die Spannungsangabe dient außer für die Frequenzfestlegung — mit Rücksicht auf die Vermaschung der Hochspannungsnetze — zur Bestimmung der Kondensatortypen. Die Kenntnis der Leiterwerkstoffe und -querschnitte sowie der Verlegungsart und Isolatorart einschließlich der kilometrischen Entfernungen und endlich der Brückenstellen sind für die Berechnung der Dämpfung der Trägerstromverbindungen und Schätzung des voraussichtlich erzielbaren Störpegelabstandes wichtig. Die erwartbare Dämpfung wiederum bestimmt die hochfrequenzseitige Aufteilung des Netzes in Sprechabschnitte, sowie gegebenenfalls den Einsatz von Verstärkern. Dazu müssen auch Zahl und Länge etwaiger Abzweige bekannt sein. Für diese sind, sofern sie nicht über Umspanner



angeschaltet sind, bei größerer Länge als wenige hundert Meter Sperren vorzusehen. Der Normalbelastungsstrom und der Stoßkurzschlußstrom sind maßgebend für die Sperrentypen.

Für die Leitungsausrüstung, Kondensatoren, Sperren, Koppelfilter und Schutzeinrichtungen muß ferner die Unterbringungsfrage geklärt werden. Zwischen den Innenraum- und den Freilufttypen besteht bei den Kondensatoren ein beträchtlicher Preisunterschied. Vor der Ausführung der Anlage muß später an Ort und Stelle oder an Hand genauer Pläne, die Grund- und Aufriß zeigen, eindeutig die Aufhängungs- oder Aufstellungsart festgelegt werden. Besondere Beachtung empfiehlt sich, dem anscheinend untergeordneten Klemmen- und Aufhängungsmaterial zu schenken, da z. B. bei Überseemontagen nicht passendes oder nicht vorhandenes Material große Montageverzögerungen mit sich bringen kann. I. a. führen die Elektrizitätswerke die Montage der Leitungsausrüstung selbst aus. Gerade hierbei ist aber weitgehende Beratung und Unterstützung durch die Lieferfirma der Hochfrequenzanlage erforderlich, wenigstens soweit es sich um Erstanlagen handelt.

Für die Speisung der Geräte sind möglichst die vorhandenen Spannungsquellen zu benutzen. Normalerweise werden neuere Geräte mit Netzanschluß betrieben. Da aber gerade bei Ausfall des Netzes die Nachrichtenverbindungen am notwendigsten gebraucht werden, muß dann eine Notstromversorgung an Stelle des Netzes treten. Um diese vorschlagen zu können, müssen die Netzspannung sowie die Spannung und die Kapazität der Stationsbatterien bekannt sein. Wichtig ist dabei, die Spannungsgrenzen zu ermitteln, innerhalb deren die Netzspannung schwankt. Wenn die Schwankung größer als  $\pm 10\%$  ist, müssen i. a. besondere Konstanthalteeinrichtungen vorgesehen werden. Für Selektivschutzkanäle sind Spannungsquellen zur Verfügung zu stellen, die durch einen etwaigen Netzausfall nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Meist benutzt man hierfür umlaufende Maschinen, die ständig aus der Werksbatterie gespeist werden, oder deren Umschaltung vom Netz auf die Werksbatterie schon bei geringer Spannungsabsenkung (15—20%) durch entsprechende selbsttätige Überwachung pausenlos sichergestellt ist.

Ein wirtschaftlicher Betrieb mit Wechselrichtern bei pausenloser Umschaltung vom Netz auf die Notstromversorgung war bislang noch nicht erzielbar.

Niederfrequenzseitig empfiehlt es sich, die wichtigste Sprechstelle ohne Zwischenschaltung von Vermittlungseinrichtungen an das HF-Gerät anzuschließen, um den Trägerstromkanal auch bei Fehlern in der NF-Anlage noch benutzen zu können. Bei Zusammenschluß mit Hand- oder Automatenvermittlungen ist deren Art (Klappen- oder Glühlampenschrank, Selbstanschlußzentrale nach dem Vorwähler- oder Anrufsucherprinzip) sowie die Type, die derzeitige Teilnehmerzahl, die Ausbaufähigkeit und die Batteriespannung anzugeben. Bei Anschluß an

Automatenanlagen müssen die Übergangsbedingungen für die Relaisübertrager durch ein Anschlußschema klargestellt werden. Für entfernt liegende Teilnehmer ist eine eindeutige Angabe des Verbindungsweges (Doppelader, Freileitung oder Kabel, Aderndurchmesser) mit genauer Entfernung erforderlich. Wichtig ist ferner, festzustellen, ob die niederfrequenten Anschlußleitungen hochspannungsbeeinflusst sind oder nicht. Bejahendenfalls kommen sie als Gleichstromweg nicht in Betracht, sondern müssen wegen der Abriegelung durch Übertrager mit Wechselstrom betrieben werden.

Grundsätzlich sollte bei der Planung größerer Hochfrequenznetze angestrebt werden, jede HF-Sprechstelle auf zwei voneinander unabhängigen Wegen für den Störfall erreichen zu können<sup>1</sup>.

## **2. Wirtschaftlicher und technischer Vergleich mit anderen Fernmeldenetzen.**

Fast immer ist es nötig, bei der Planung zu prüfen, ob die Hochfrequenzanlage wirtschaftlich und technisch mit anderen Nachrichtennetzen in Wettbewerb treten kann.

In den seltensten Fällen wird das öffentliche Fernsprechnet als Wettbewerber in Frage kommen (vgl. S. 9). Nur dort, wo Kabelnetze mit Selbstanschlußbetrieb vorhanden sind, ist bezüglich Betriebssicherheit und schneller Herstellung der Verbindung ein Vergleich mit den Hochfrequenzanlagen möglich. Es bleibt aber der Nachteil, daß bei Behebung von Störungen das Überlandwerk auf Dritte angewiesen ist. Außerdem besteht für den Lastverteiler nicht die Möglichkeit, sich auf bestehende Verbindungen im Dringlichkeitsfalle aufzuschalten.

Anders liegt es bisweilen mit der Mietung posteigener Leitungen. Da aber außer der Miete meist ein Baukostenbeitrag für die Errichtung der Verbindungen zu leisten ist, kommt ein Wettbewerb gemieteter Leitungen mit Hochfrequenzverbindungen nur bei kürzeren Verbindungen als etwa 50 km im Durchschnitt in Frage. Vielfach liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze für gemietete Leitungen noch erheblich tiefer.

Soll eine sehr große Zahl von Sprechstellen auf Strecken, die kürzer als 20 km sind, miteinander verkehren, so scheidet die Hochfrequenzübertragung i. a. schon deshalb aus, weil derartige Sprechbedürfnisse meist in vermaschten Mittelspannungsnetzen auftreten. Hier müssen aber einerseits fast immer so zahlreiche Trennstellen überbrückt und dementsprechend häufige Unterteilungen des Netzes vorgenommen werden, daß nicht nur aus technischen, sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen die Hochfrequenzverbindung zum mindesten heute noch nicht in Betracht kommt. Könnte man diese Schwierigkeit bisweilen durch

---

<sup>1</sup> Bloeck: Aufbau und Betrieb von Hochfrequenznetzen. Elektrizitätswirtschaft. Juni 1938 Nr 16 S. 420.

Einsatz von Zwischenverstärkern verkleinern, so bedingen andererseits die meist vorhandenen vielen Abzweige den Einbau zahlreicher Sperren und verteuern damit schon die Errichtungskosten in nicht tragbarem Maße.

Wenn die Maste der Hochspannungsleitung genügend hoch und die Spannweiten nicht zu groß sind, können auch an Stelle der von der Post zu mietenden Leitungen Fernsprechleitungen am Hochspannungsgestänge unter der Hochspannungsleitung verlegt werden. Diese haben den Vorteil, daß die Beseitigung von Störungen ganz in der Hand des Elektrizitätswerkes liegt. Werden sie richtig verlegt und verdreht und mit modernen Schutzeinrichtungen versehen, so stellen sie eine sehr sichere Sprechverbindung dar.

Die Schutzeinrichtungen<sup>1</sup> bestehen (Bild 135) im wesentlichen aus Grob- und Feinableitern zwischen den Sprechleitungen, Schmelzsicherungen im Zuge der Leitung und einem Isolierwandler zu ihrem Abschluß sowie Trennschaltern zwecks Abtrennung der Sprechstelle im Störfalle.

Derartige Verbindungen am Gestänge müssen als Doppelleitung ausgeführt werden, da nur bei Symmetrie zum Hochspannungsfeld Querspannungen und damit Induktionsstörungen in den Sprechapparaten vermieden werden. Zu diesem Zweck wird die Doppelleitung verdreht. Zur Ableitung der von der Hochspannungsleitung hervorgerufenen Ladungen gegen Erde dienen Erdungsdrosselspulen.

Natürlich sind diese Hochspannungstelefonanlagen störgeräuschanfälliger bei Hochspannungsstörungen als Hochfrequenzverbindungen. In Mittelspannungsnetzen mit vielen Sprechstellen ist ihr Einsatz aber häufig wirtschaftlicher und technisch zweckentsprechender als der von Hochfrequenzsprechanlagen.

Ist eine sehr große Zahl von Nachrichtenkanälen zwischen den gleichen Orten zu schaffen, so kann schließlich die Verlegung eines Luftkabels auf Entfernungen unterhalb etwa 100 km in wirtschaftlichen Wettbewerb mit HF-Verbindungen treten, da dann der Geräteaufwand

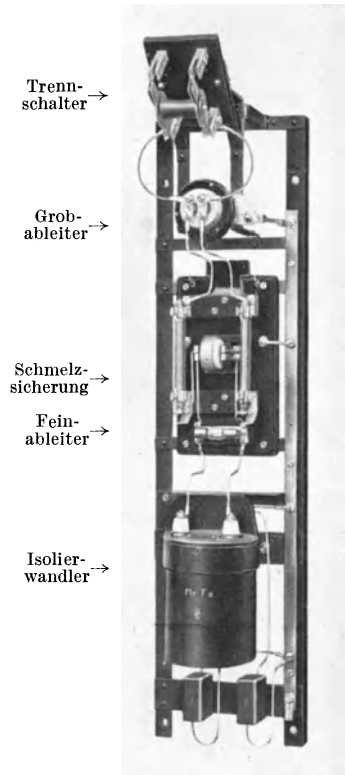


Bild 135. Schutzgestell für am Hochspannungsgestänge verlegte Telefonleitungen (System Siemens & Halske).

<sup>1</sup> Fischer: Fortschritte auf dem Gebiet der EW-Niederfrequenzanlagen. Elektrizitätswirtsch. Sept. 1938 Nr 26 S. 679.

sehr gering sein kann. Hier wird etwa der gleiche Sicherheitsgrad erreicht wie bei der Hochfrequenzübertragung. Eine wirtschaftliche Planung verlangt bisweilen auch die Zusammenschaltung bestehender Sprechverbindungen am Gestänge mit Hochfrequenzsprechanlagen auf den Hochspannungsleitungen, um Weitsprechverbindungen zu schaffen. Die Hochspannungstelefonanlagen werden dann zweckmäßigerweise mit Sendeverstärkern ausgerüstet, die den Sendepiegel genügend hoch über die Geräusche heben (Bild 97). Da die Hochspannungstelefonie vielfach schon Wahlrufanlagen benutzt, ist mit Hilfe geeigneter Relaisübertrager ein Wahlverkehr aus der Hochfrequenzanlage in die Hochspannungstelefonanlage und umgekehrt durchführbar (S. 157).

In Zukunft müssen für Planung von Vielfachübertragungen wahrscheinlich auch Erdseile in Betracht gezogen werden, die als Hochfrequenzkabel ausgebildet sind und mit mehreren HF-Kanälen bestückt werden können. Sie hätten den großen Vorteil, daß die gleichen Frequenzen in Nachbarabschnitten wiederverwendet werden könnten, da eine völlige gegenseitige Trennung möglich ist. Außerdem dürfte ihre Unabhörbarkeit von manchen Werken sehr begrüßt werden. Wirtschaftlich werden sie aber nur bei sehr großer Kanalzahl zwischen zwei Endstationen. Ihre Berücksichtigung bei der Projektierung liegt daher noch in einiger Ferne.

## **XI. Meßgeräte für Hochfrequenzanlagen auf Hochspannungsleitungen.**

Mehr als ein Jahrzehnt war die Beurteilung der Güte der Hochfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen vom subjektiven Eindruck des Hörers abhängig.

Man benutzte zwar einen Frequenzmesser wie in der drahtlosen Technik zur Einstellung der Trägerfrequenzen der Hochfrequenzgeräte und zur Abstimmung der Sperrn. Man maß auch den ankommenden Trägerstrom nach seiner Gleichrichtung im Anodenkreis einer Röhre im allgemeinen mit einem Milliamperemeter und den abgehenden im Leitungskreis mit einem Hitzdrahtinstrument. Damit sorgte man in gewissem Umfang für die Einhaltung der festgelegten Frequenz und hatte einen Begriff von der Betriebsdämpfung der Anlage. Zur Messung der Empfangsspannung wurde von den Herstellerfirmen ein Röhrenvoltmeter verwandt, insbesondere an den Brückenstellen ohne Sprechgeräte, da dort keine Meßmöglichkeit wie in den Endgeräten gegeben war.

Für die Sprachübertragung sind diese Messungen gewiß eine notwendige Voraussetzung, aber sie geben noch keine ausreichende Beurteilungsmöglichkeit für die Sprachgüte. Hierzu muß man sendeseitig den Modulationsgrad (vgl. Anmerkung zu S. 51) der Anlage und

empfangsseitig die Restdämpfung (vgl. Anmerkung zu S. 177) sowie ihren Frequenzgang feststellen können, d. h. die Änderung der ankommenden Tonfrequenzamplituden in Abhängigkeit von der Frequenz, und zwar über den ganzen Frequenzbereich des Sprachbandes, also von etwa 300—2400 Hz.

Erst in jüngster Zeit sind marktgängige tragbare Meßgeräte für die HF-Übertragung über Hochspannungsleitungen geschaffen worden, so daß jetzt objektive Messungen der Hochfrequenz-Fernsprechverbindungen möglich sind. Damit entsteht für die Elektrizitätswerke der Vorteil, sowohl mit Hilfe derartiger Meßeinrichtungen, die z. B. an einer zentral gelegenen Überwachungsstelle aufbewahrt werden, in Störungsfällen eine Fehlereingrenzung vornehmen und den Fehler selbst feststellen zu können, als auch vor allem durch regelmäßige Messung der Verbindungen in gewissen Zeitabständen rechtzeitig Verschlechterungen erkennen und für ihre Behebung vorsorgliche Maßnahmen treffen zu können.

Diese planmäßig wiederholte Messung der Verbindungen wird dort um so nötiger sein, wo viele Sprechabschnitte in Reihe geschaltet sind und damit die Anforderungen an die Sprachqualität so wesentlich gesteigert werden, daß das Ohr als subjektiver Beurteiler für die Güte der einzelnen Glieder der Verbindungskette nicht mehr ausreicht.

Bei der Übertragung über mehrere Relaisabschnitte sind auch die Bedingungen für die Verzerrungsfreiheit der Impulse des Selektivrufes verschärft, so daß eine Nachprüfung mit dem Impulsmesser erforderlich wird. Das gleiche gilt für die Rufimpulse auch bei langen Zubringerleitungen und beim Übergang auf Selbstanschlußzentralen.

Als Meßgeräte für Hochfrequenzübertragungen auf Hochspannungsleitungen kommen in Frage:

1. für Trägerstrommessung:

a) gewissermaßen als Nachbildung des Senders des HF-Sprechgerätes: der Meßsender (Hochfrequenzsummer) und

b) gegebenenfalls ein Sendeverstärker, um eine entsprechend hohe Leistung wie im Sprechgerät zu erzielen,

c) als Nachbildung des HF-Empfängers: das Röhrenvoltmeter,

d) zur Messung der benutzten Trägerfrequenzen, zur Sperrenabstimmung und zur Ermittlung der Frequenz von Störsendern: der Frequenzmesser;

2. für Tonfrequenzmessung:

a) als Nachbildung des Ton- oder Sprachsenders: der Normalgenerator,

b) an Stelle des Ton- bzw. Sprachempfängers: der Pegel- bzw. Dämpfungszeiger,

3. für Impulsmessung:

ein Impulsmesser mit Registrierung.

## 1. Trägerstrommeßgeräte.

### a) Meßsender (Hochfrequenzsummer).

Da der Meßsender gewissermaßen eine Nachbildung des betriebsmäßigen Hochfrequenzsenders sein soll, um

α) die Übertragungseigenschaften von Leitungen zu messen, auf denen HF-Geräte später betriebsmäßig eingesetzt werden sollen und um

β) Sperren abzustimmen oder Empfänger zu prüfen da, wo kein betriebsmäßiger Sender entsprechender Frequenz vorhanden ist, ergeben sich für ihn aufgabegemäß folgende Forderungen:



Bild 136. Meßsender (HF-Summer).

I. Der Frequenzbereich des Meßsenders muß dem gesamten Hochfrequenzübertragungsbereich über Hochspannungsleitungen entsprechen, d. h. von etwa 50—300 kHz gehen, und die Frequenzen müssen stetig einstellbar sein.

II. Seine Leistung muß für die Leitungsmessung in der Größenordnung der betriebsmäßigen Hochfrequenzleistung auf der Leitung liegen, d. h. mindestens 2,5 W betragen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß es für die Messung häufig möglich ist, die Leitung spannungslos zu machen, den Sender direkt anzuschalten und dadurch die Verluste zu vermeiden, die bei betriebsmäßiger Ankopplung an die Spannung führende Leitung entstehen. Der im Bild 136 dargestellte Hochfrequenzsummer gibt z. B. bis 10 W ab.

Die stetig veränderbare Frequenzeinstellung wird mit Hilfe von umschaltbaren Spulensätzen, einem Drehkondensator und zuschaltbaren festen Kondensatoren im ganzen Frequenzgebiet erreicht.

Für die Abstimmung von Sperren und die Überprüfung von Empfängern wird eine Frequenzgenauigkeit von etwa 0,5% verlangt.

Zur Erzielung einer ausreichenden Leistung sind im Röhrenteil i. a. mindestens eine Schwingkreis- und eine Verstärkungsstufe erforderlich, sofern nicht ein besonderer Leistungsverstärker benutzt wird. Es ist zweckmäßig, wenigstens die Ausgangsstufe mit Rücksicht auf Verzerrungsfreiheit als Gegentaktstufe zu schalten.

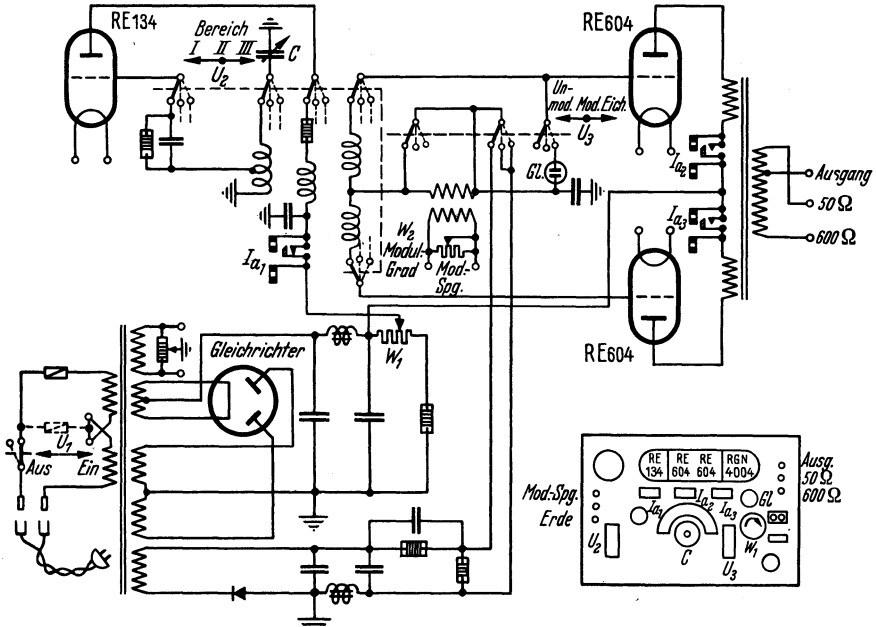


Bild 137. Schaltbild des HF-Summers (30—300 kHz).

Besonders vorteilhaft für Messungen bei Sprachübertragungen bzw. bei mehrfachmodulierten Hochfrequenzübertragungen ist es, wenn der Meßsender mit Tönen im Bereich der Sprachfrequenzen moduliert werden kann. Dann kann auf störverdächtigen Leitungen der Störpegelabstand jeder einzelnen Tonübertragung eindeutig ermittelt sowie der Einfluß von Resonanzsperren, Stichleitungen usw. auf das Modulationsprodukt genau festgestellt werden.

Im Bild 136 ist ein Ausführungsbeispiel und im Bild 137 das zugehörige Schaltbild für einen Hochfrequenzmeßsender gegeben.

Im Röhrenkorb dieses tragbaren Koffergerätes sitzen das Schwingrohr und die zwei Röhren des Gegentaktverstärkers sowie das Gleichrichterrohr für die Stromversorgung. Mit dem links unter dem Schwingrohr sitzenden Umschalter  $U_2$  sind die Schwingkreis-, Anodenkreis- und Gitterkreisspulen des Gegentaktverstärkers in drei Stufen I—III umschaltbar und ergeben mit dem rechts daneben eingebauten einstellbaren

Drehkondensator  $C$  die Frequenzbereiche 30—65 kHz, 65—145 kHz, 145—300 kHz. Die Schwingleistung kann mit dem Widerstand  $W_1$  durch Drehen der neben dem Kondensator angebrachten Knöpfe „Mehrleistung“ geregelt werden.

Mit Hilfe des Umschalters  $U_3$  (zwischen Kondensatordrehknopf und regelbarem Widerstand) kann man die induktiv an den Schwingkreis gekoppelte Gegentaktstufe mit unmodulierter oder mit modulierter Ausgangsleistung betreiben.

An die linken oberen zwei Klemmen legt man in letzterem Fall z. B. die Tonfrequenzspannungen des unter 2. beschriebenen Koffergerätes und stellt mit Hilfe des rechts neben den Klemmen befindlichen Potentiometers  $W_2$  den gewünschten Modulationsgrad bis zu 80% ein, nachdem man eine konstante Trägerfrequenzamplitude durch Drehen des Potentiometers  $W_1$  bis zum Zündeinsatz der darüber angebrachten Glimmlampe  $Gl$  hergestellt hat.

Der Koffer hat ein Netzanschlußgerät für 120 und 220 V, die mit einer Steckerschnur an die rechts unten befindliche Buchse geführt werden.

Zum Unterdrücken der Oberwellen des Röhrensummers benutzt man zweckmäßigerweise „Stromreiniger“, d. h. umschaltbare Filter.

### b) Sendeverstärker.

Da der vorbeschriebene HF-Meßsender schon eine Trägerleistung von 10 W abgeben kann, ist für europäische Hochfrequenzanlagen die Verwendung eines Leistungsverstärkers i. a. überflüssig, weil in den meisten europäischen Ländern die behördlicherseits zugelassene Höchstleistung für HF-Anlagen auf Hochspannungsleitungen 10 W beträgt. Für amerikanische Verhältnisse liegen die Dinge anders, da man dort bei den größeren Entfernungen und den teilweise schwierigeren klimatischen Bedingungen Leistungsverstärker bis zu 50 W benutzt, wie sie beim General Electric-System (s. S. 79) beschrieben worden sind. Hier kämen also zur Nachbildung der betriebsmäßigen HF-Sender entsprechende Leistungsverstärker in Frage.

### c) Röhrenvoltmeter.

Das Röhrenvoltmeter soll den Empfänger ersetzen — sei es, daß er betriebsmäßig noch nicht vorhanden ist, sei es, daß an dieser Stelle überhaupt kein Empfänger zum Einsatz kommt (z. B. an Brückenstellen oder bei der Messung von Sperrern usw.).

Es darf daher innerhalb des Bereiches von 50—300 kHz nicht frequenzabhängig sein und muß den gesamten Empfangsamplitudenbereich überdecken (10 mV—10 V). Mit Hilfe eines zusätzlichen aperiodischen Verstärkers kann nötigenfalls der Spannungsbereich noch bis etwa 10  $\mu$ V



nach unten erweitert werden. Die Eingangskapazität soll möglichst klein sein, um auch bei den höheren Frequenzen eine genügende Genauigkeit zu erzielen. Der Eingangswiderstand liegt in der Größenordnung von etwa  $10\text{ k}\Omega$ .

Als Ausführungsbeispiel wird das Röhrenvoltmeter der Siemens & Halske-AG gezeigt, das in dem Bild 138 und dem Schaltbild 139 dargestellt ist. In der Röhrenwanne sitzen die drei Verstärkerröhren, die mit CR-Kopplung untereinander verbunden sind, sowie das Rohr des Gleichspannungsverstärkers (Re 084 im Schaltbild). Dieser mißt die Gleichspannung, mit der die in dem Dreirohrverstärker verstärkte Wechselspannung über den Doppelweggleichrichter Si den Kondensator  $C_s$  auflädt.



Bild 138. Röhrenvoltmeter.

Die an die links befindlichen Eingangsklemmen gelegte Spannung gelangt über einen symmetrischen Übertrager und den Meßbereichschalter  $S_3$  (linker unterer Drehknopf)

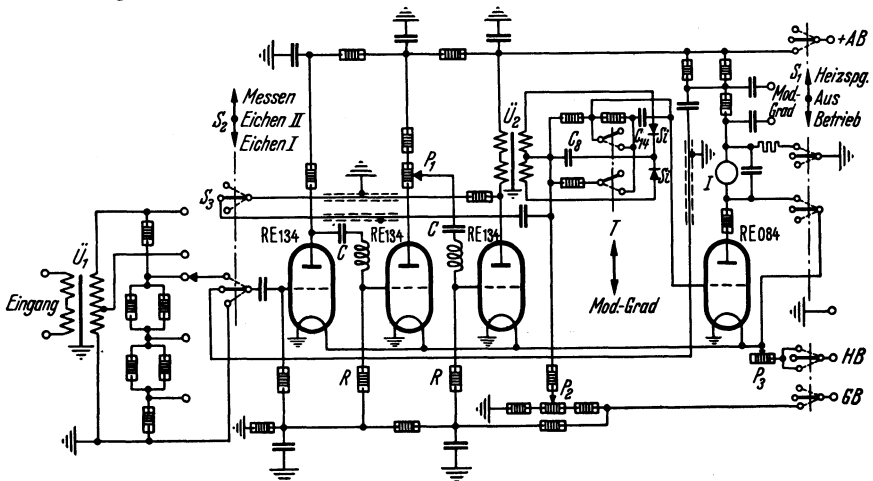


Bild 139. Schaltbild des Röhrenvoltmeters.

auf den Widerstandsverstärker. Im Anodenkreis des Gleichspannungsverstärkers liegt unten in der Mitte der Montageplatte das Meßinstrument  $J$  mit unterdrücktem Nullpunkt, das die durch die Kondensatoraufladung hervorgerufene Stromänderung anzeigt. Diese

Stromänderung ist etwa der Eingangswechselspannung proportional, so daß die Instrumentenskala eine lineare Teilung hat.

Mit dem rechts auf der Montageplatte sitzenden regelbaren Widerstand  $P_3$ , der die Bezeichnung „Heizspannung“ trägt, läßt sich die Heizspannung der Röhren auf den richtigen Wert nach Einschaltung des Instrumentes  $J$  durch den rechts daneben angebrachten Schalter  $S_1$  einregeln. Zur Einstellung einer richtigen Absolutmessung der Eingangsspannung dienen die Stellungen „Eichen 1“ und „Eichen 2“ des Kipp-schalters  $S_2$  rechts neben den Eingangsklemmen, in denen mittels des Potentiometers  $P_2$  der Ruhestrom des Gleichspannungsverstärkers und mittels des Potentiometers  $P_1$  die richtige Verstärkung des Widerstands- und Gleichspannungsverstärkers gemeinsam eingestellt wird.

Das Gerät dient auch zur Messung des Modulationsgrades. Hierzu ist die Taste  $T$  unter der Röhrenwanne zu drücken. Wird dann dem Eingang eine modulierte Hochfrequenzspannung zugeführt, so hat die Spannung an dem Aufladekondensator  $C_{14}$  zeitlich die gleiche Kurvenform wie die Amplitude der Eingangsspannung. Das den arithmetischen Mittelwert der Eingangsamplitude anzeigende Instrument  $J$  mißt somit die Größe des Trägerstromes, während die an den rechts oben befindlichen Klemmen „Modulationsgrad“ auftretende Tonfrequenzspannung proportional den Modulationsschwankungen der Eingangsspannung ist. Bei Einregelung der Trägeramplitude am Ausgang des Widerstandsverstärkers auf einen konstanten Betrag, z. B. durch Änderung der Eingangsspannung, oder durch Regelung des Potentiometers  $P_1$  auf Voll-ausschlag am Instrument  $J$  kann der Modulationsgrad aus einer bei-gegebenen Eichkurve durch Vergleich mit der an den Klemmen „Modu-lationsgrad“ gemessenen Spannung unmittelbar abgelesen werden, sofern man an diese Klemmen den Pegelzeiger des unter 2. beschrie-benen Meßkoffers für Fernmeldeanlagen anschließt.

Die Speisung des Gerätes geschieht aus Batterien, wobei Gitter- und Anodenspannung aus einer Batterie von 100 V entnommen werden können, während die Heizspannung von 3,5—4,5 V z. B. aus parallel geschalteten Taschenlampenbatterien geliefert wird. Bei häufigen Messungen empfiehlt es sich, einen fabrikationsmäßig hergestellten Batteriekoffer zu benutzen.

#### d) Frequenzmesser.

Um festzustellen, ob die Hochfrequenzgeräte die gewünschte Frequenz senden, um die Frequenz von Störsendern zu ermitteln und zur Abstimmung von Montagefiltern und von Hochfrequenzsperrern auf die im HF-Abschnitt benutzten Trägerfrequenzen dient der Frequenzmesser. Er muß deshalb den gesamten Hochfrequenzbereich, der auf Hochspannungsleitungen zur Anwendung kommt, überbrücken, d. h. von 50 bis 300 kHz verwendbar sein. Die Meßgenauigkeit muß etwa 1/100 betragen.

Der Eingangsscheinwiderstand soll in der Größenordnung von 20 k $\Omega$  liegen.

Der veränderbare Frequenzbereich wird z. B. im Resonanzverfahren durch einen Drehkondensator und mehrere auswechselbare Spulensätze hergestellt. Die Kopplung des Resonanzkreises mit dem Meßkreis erfolgt mit einer Koppelpule geringer Windungszahl. Der Meßkreis besteht i. a. aus einem Trockengleichrichter und einem Galvanometer für die Resonanzanzeige.

Die Prüfung von Hochfrequenzempfängern und die Abstimmung von Montagefiltern und Sperrern kann entweder mit Hilfe des Frequenzmessers unter Verwendung eines frequenzveränderbaren ungeeichten Senders, wie für die Sperrmessung in Bild 146 dargestellt, oder sie kann mit dem vorherbeschriebenen geeichten HF-Sender und dem Röhrenvoltmeter vorgenommen werden.



Bild 140. Frequenzmesser.

Als Ausführungsbeispiel wird der Frequenzmesser der Siemens & Halske AG, der im Bild 140 und dem dazugehörigen Schaltbild 141

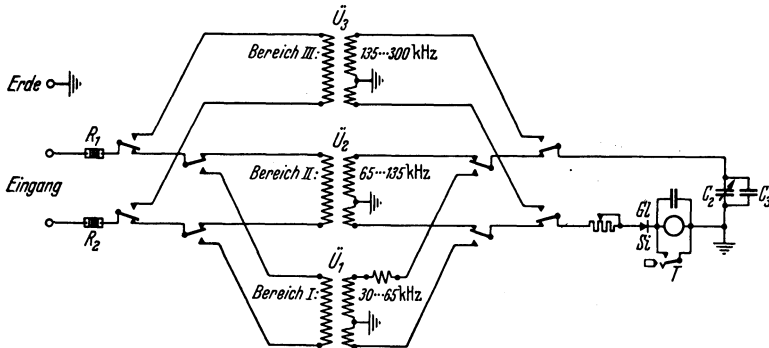


Bild 141. Schaltbild des Frequenzmessers.

dargestellt ist, beschrieben. An die linken unteren Klemmen wird die Eingangsspannung gelegt, und durch den danebensitzenden Schalter werden die drei veränderbaren Induktivitäten eingeschaltet, die zusammen mit dem variablen Kondensator  $C_2$  zuzüglich dem parallelen Festkondensator  $C_3$  die Meßbereiche 30—65 kHz, 65—135 kHz und 135—300 kHz ergeben.

Für den Eingang des Gerätes ist Symmetrie erstrebt, er führt über Hochohmwiderstände  $R_1$ ,  $R_2$  umschaltbar zu den drei symmetrischen Übertragern, deren Sekundärseiten die Induktivitäten der Resonanzkreise bilden. Der die rechte Hälfte der Platte einnehmende Drehkondensator ist ein Präzisionskondensator mit Noniusablesung, dem ein fester Glimmerkondensator parallel geschaltet ist. Links neben dem Drehkondensator sitzt das Anzeigeinstrument, das in den Gleichrichterkreis geschaltet ist. Dieses zeigt jeweilig den größten Ausschlag, wenn die Frequenz der an die Eingangsklemmen gelegten Spannung (z. B. die des zu eichenden HF-Senders) in Übereinstimmung mit der Frequenz des Wellenmessers ist, die durch den Drehkondensator  $C_2$  eingestellt wird.

## 2. Tonfrequenzmeßgeräte.

Da bei vielen Hochfrequenzübertragungen nicht der hochfrequente Trägerstrom an sich den Empfänger betätigt, sondern die ihn modulierenden Sprachfrequenzen, ist es für die Übertragungsgüte, wie bereits eingangs erwähnt, wichtig, festzustellen, welche Restdämpfung das tonfrequente Band besitzt und wie ihr Frequenzgang aussieht. Hierbei ist unter Restdämpfung die Betriebsdämpfung<sup>1</sup> zu verstehen, wenn der Übertragungskanal beiderseits mit einem Wellenwiderstand von 600  $\Omega$  abgeschlossen ist. Bei der Beurteilung der Güte von Sprachübertragungen muß ermittelt werden, ob diese Restdämpfung auch über den ganzen Sprachfrequenzbereich annähernd die gleiche ist. Diese Kennlinie bezeichnet man als Frequenzgang der Restdämpfung (Bild 145).

Unterwegs, z. B. an Brücken- oder Zwischenverstärkerstellen, kann die Pegelmessung interessieren, um festzustellen, wieweit die Tonamplitude abgesunken ist und welchen Störpegelabstand sie noch besitzt.

Für diese Messungen dienen:

a) der Normalgenerator als Ersatz für die Sprach- bzw. Tonfrequenzen,

b) der Pegelzeiger als einfacher Ersatz für das Ohr.

Beide Geräte sind in einem Tonfrequenz-Meßkoffer zu einem handlichen Meßsatz vereinigt.

### a) Normalgenerator (Bild 142 und 143 a u. b).

Der Normalgenerator muß für Pegelmessung

$\alpha$ ) die international festgelegte Normalleistung von 1 mW an 600  $\Omega$  bei einem inneren Widerstand von 600  $\Omega$  abgeben,

$\beta$ ) diese Leistung bei 12 (nach Vorschlägen des CCI<sup>2</sup> festgelegten) Frequenzen von 300—2800 Hz liefern.

<sup>1</sup> Vgl. Anhang S. 202, Gl. (89).

<sup>2</sup> Vgl. Fußnote S. 4.

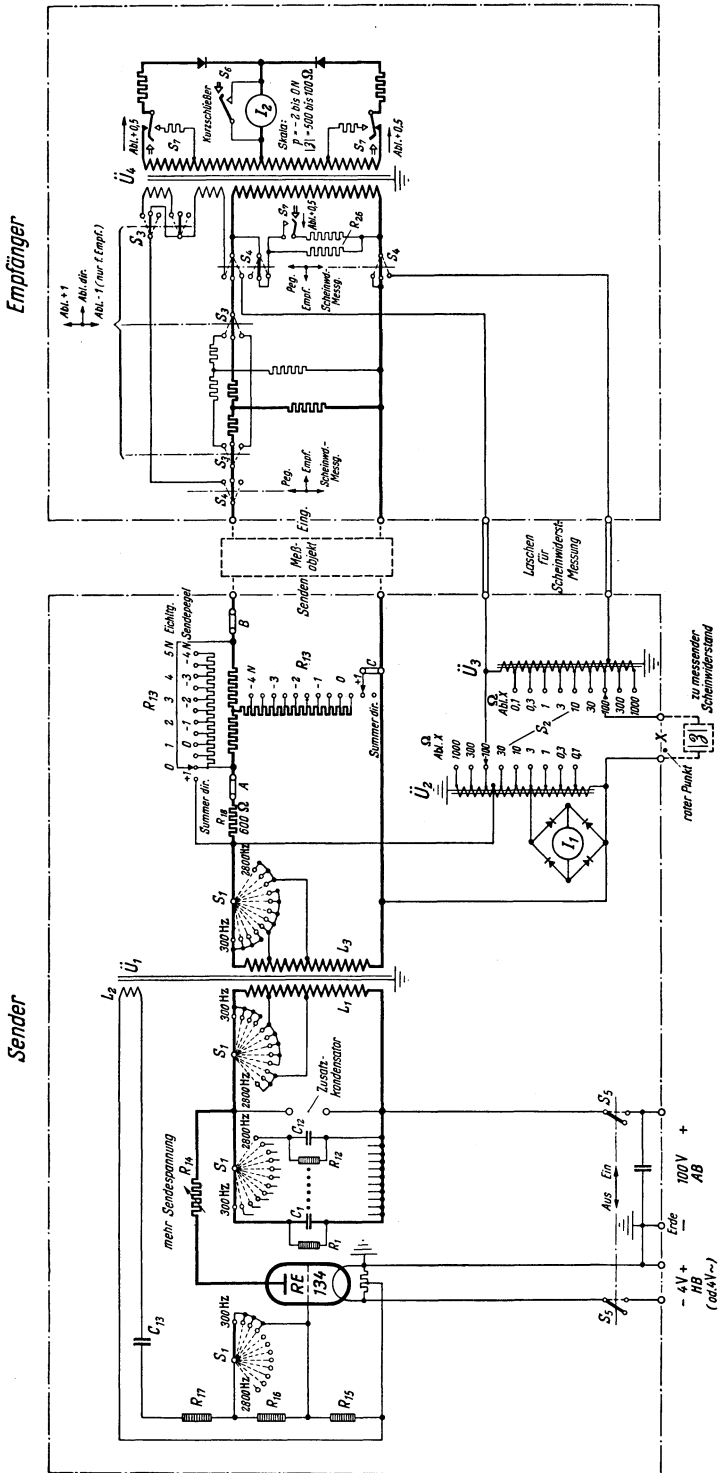


Bild 142. Schaltbild des Tonfrequenz-Meßkoeffers.



Bild 143 a.

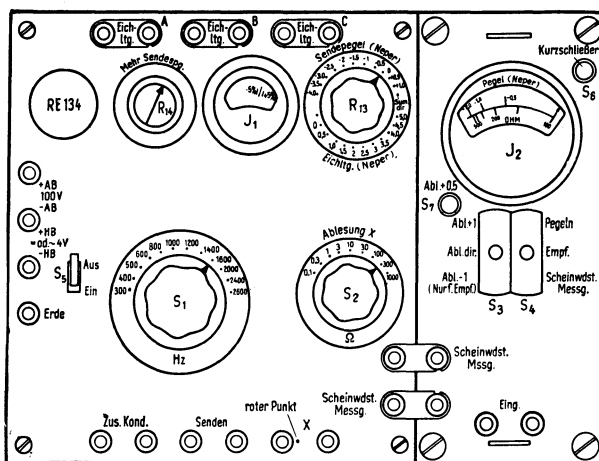


Bild 143 b.

Bild 143 a und b. Tonfrequenz-Meßkoffer.

Die Schwingungserzeugung erfolgt gemäß Bild 142 durch eine Röhre (RE 134) in Rückkopplungsschaltung. Die Umschaltung der

12 Frequenzen geschieht stufenweise durch Änderung der Schwingkreiselemente  $C_1—C_{12}$  und  $S_1, L_1/L_3$ . Um die Leistung grob konstant zu halten, schaltet man zu den Kondensatoren Widerstände ( $R_1—R_{12}$ ) parallel. Zur Feinregelung dient ein veränderbarer Widerstand  $R_{14}$  im Anodenkreis der Schwingröhre. Die Frequenzunsicherheit soll  $\pm 2\%$  nicht überschreiten.

Mit Hilfe des Längswiderstandes  $R_{18}$  von  $600 \Omega$  und der veränderbaren Dämpfung  $R_{13}$  wird der Schwingungserzeuger zum Normalgenerator gemacht, der den vorgeschriebenen Pegel liefert. Beim Pegel 0 Neper, d. h. Leistung 1 mW, gibt der Generator 0,775 V an  $600 \Omega$  ab, beim Pegel +1 Neper, Leistung 7,4 mW, ist die Spannung 2,1 V an  $600 \Omega^1$ . Die Ausgangsspannung darf nicht mehr als  $\pm 3\%$  schwanken. Der Klirrfaktor<sup>2</sup> wird dabei unter 2% gehalten.

Der richtige Sendepegel wird durch ein Meßinstrument  $J_1$  mit vorgeschalteten Trockengleichrichtern jeweilig überwacht. Er kann mit Hilfe eines veränderbaren Dämpfungsgliedes  $R_{13}$  innerhalb weiter Grenzen in Stufen zu 0,5 Neper eingestellt werden.

Der Normalgenerator wird für Zwecke der Restdämpfungsmessung an Stelle des Teilnehmerapparates in den Sprechweg des Hochfrequenzgerätes geschaltet. Er nimmt die linke Seite des Meßkoffers in Bild 143, Schaltbild 142, ein. Unter den verschiedenen Eichleitungen folgen in Bild 143 nebeneinander das Schwingrohr, der Spannungsregler  $R_{14}$ , das Meßinstrument  $J_1$  zur Überwachung des Normalpegels und der Schalter zur Einstellung der verschiedenen Pegel mit Hilfe der veränderbaren Eichleitung  $R_{13}$ . Auf der linken Seite der Platte sitzen die Anschlußklemmen für Heiz- und Anodenspannung, daneben der Schalter  $S_1$  zur Einstellung der 12 Tonfrequenzen und ein Schalter  $S_2$  für Scheinwiderstandsmessung. Am unteren Rande sind neben den Ausgangsklemmen („Sender“) noch Klemmen für einen Zusatzkondensator zur stetigen Frequenzänderung und für den zu messenden Scheinwiderstand angebracht.

*Anmerkung: Pegeldiagrammdarstellung.*

In Anlehnung an den Sprachgebrauch bei Wasserläufen spricht man in der Fernmeldetechnik von Pegeln, wenn man Spannungen oder Ströme an irgendeinem Punkt der Leitung im Vergleich mit den entsprechenden Werten am Anfang der Leitung betrachtet. Als Pegel bezeichnet man den natürlichen Logarithmus des Spannungs- bzw. Stromverhältnisses. Ändert sich der natürliche Logarithmus dieses Verhältnisses um den Betrag 1, so spricht man von der Pegeländerung um 1 Neper. Dämpfungen bewirken eine Pegelsenkung, Verstärkungen eine Pegelhebung. Stellt man den Pegelverlauf längs einer Leitung einschließlich ihrer Ankoppelmittel, Brückenstellen und Verstärker dar (vgl. Bild 111), so erhält man ein „Pegeldiagramm“.

<sup>1</sup> Vgl. Anmerkung S. 178.

<sup>2</sup> Klirrfaktor = Verhältnis  $\frac{\sqrt{J_{a2}^2 + J_{a3}^2 + \dots}}{J_{a1}}$ , wobei  $J_{a1}$  die Amplitude der Grundfrequenz,  $J_{a2}, J_{a3} \dots$  die der Oberwellen darstellt.

Die Pegelhöhe entspricht an jedem Leitungspunkt der Summe aus der bis zu diesem Punkt der Leitung durchlaufenen Dämpfung und Verstärkung, bezogen auf den Anfangspegel. Da bei der Betrachtung von Verhältniszahlen die absolute Höhe des Anfangspegels beliebig ist, kann man den Anfang der Pegelskala willkürlich festsetzen. Man hat dem Pegel Null die Spannung  $U_0$  zugeordnet, die an  $Z = 600 \Omega$  die Leistung 1 mW ergibt. Aus

$$N_0 = \frac{U_0^2}{Z} = 1 \text{ mW} \text{ folgt } U_0 = \sqrt{N_0 \cdot Z} = 0,775 \text{ V}.$$

Als „Spannungspegel“ bezeichnet man daher

$$p_u = \ln \frac{U}{0,775 \text{ V}},$$

wenn  $U$  die Spannung an dem Meßpunkt darstellt [vgl. Anhang Gl. (40) und (41)]. Betrachtet man den Pegelverlauf längs einer Leitung mit gleichbleibendem Scheinwiderstand, so gibt der Spannungspegel zugleich ein Bild über die Leistungsverteilung. Um einen solchen Überblick auch bei zusammengesetzten Übertragungsbildern zu erhalten, deren Scheinwiderstand an verschiedenen Punkten von einander abweichende Werte besitzt, rechnet man praktisch nur mit dem „Leistungspegel“

$$p_l = \ln \sqrt{\frac{N}{N_0}} = \ln \sqrt{\frac{N}{1 \text{ mW}}},$$

wenn man mit  $N$  die Leistung an dem Meßpunkt bezeichnet. Man kann den Leistungspegel auch so auffassen, daß zum Spannungsvergleich diejenige Spannung herangezogen wird, die an  $Z = 600 \Omega$  die gleiche Leistung ergäbe, wie die an dem beliebigen Scheinwiderstand  $Z$  gemessene Spannung  $U$ . Es ist also

$$p_l = \ln \sqrt{\frac{N}{1 \text{ mW}}} = \ln \frac{U \sqrt{\frac{600 \Omega}{Z}}}{0,775 \text{ V}}.$$

Bei einem Scheinwiderstand  $Z = 600 \Omega$  stimmen demnach Spannungs- und Leistungspegel zahlenmäßig miteinander überein. Mißt man dagegen an einem Kabel mit  $Z = 140 \Omega$  eine Spannung  $U = 15 \text{ V}$ , so ist der Spannungspegel

$$p_u = \ln \frac{15 \text{ V}}{0,775 \text{ V}} = 2,96 \text{ N}$$

und der Leistungspegel

$$p_l = \ln \frac{15 \text{ V}}{0,775 \text{ V}} \sqrt{\frac{600 \Omega}{140 \Omega}} = 3,69 \text{ N}.$$

Bei einem HF-Sprachübertragungsweg interessiert besonders die niederfrequente Empfangsspannung im Vergleich mit der niederfrequenten Sendespannung. Die Differenz der entsprechenden beiden Leistungspegel bezeichnet man als „Restdämpfung“. Man mißt die Restdämpfung mit Normalgenerator und Pegelzeiger. Sendet man bei der Messung mit dem Pegel Null, so zeigt der Pegelzeiger unmittelbar die Restdämpfung mit umgekehrtem Vorzeichen an. Ist also der Empfangspegel negativ, so ist die Restdämpfung positiv und umgekehrt.

Für die HF-Übertragung ist maßgebend der Abstand zwischen dem HF-Nutzpegel und dem Störpegel der Leitung, der bei Hochspannungsleitungen in ziemlich weiten Grenzen schwanken kann. Während er auf 100 kV-Leitungen durchschnittlich bei  $-4$  Neper liegt, steigt er auf modernen 220 kV-Leitungen aus Stahlaluminium bis auf  $-1$  Neper an.

Erwünscht ist ein Abstand des Nutzpegels vom Störpegel von etwa 4 Neper (Bild 111), mindestens aber sollte er 2 Neper betragen.



Da der höchste Spannungspegel der behördlich zugelassenen HF-Telefoniegeräte bei etwa  $+4,5$  Neper liegt, normalerweise aber  $3,5$  Neper nicht übersteigt, ergibt sich mit Rücksicht auf genügenden Störpegelabstand für  $100$  kV-Leitungen eine Reichweite von rund  $4$  Neper, bei  $220$  kV-Leitungen dagegen von etwa  $2,5$  Neper. Die größere Reichweite von im allgemeinen  $7,5$  Neper bei Großgeräten ist als Reserve für Notfälle, z. B. Zunahme der Leitungsdämpfung durch Rauhreif, gedacht. Eine Verkleinerung des Störpegelabstandes muß dabei in Kauf genommen werden.

### b) Pegel- bzw. Dämpfungszeiger (Bild 143).

Auf der rechten Seite des Koffers ist der zum Normalgenerator gehörige Empfänger eingebaut, der auch räumlich getrennt vom Normalgenerator am anderen Ende der Hochfrequenzverbindung eingesetzt werden kann. Er wird auf der Empfangsseite des Hochfrequenzkanals an Stelle des Teilnehmers in den Sprechweg geschaltet. Im wesentlichen

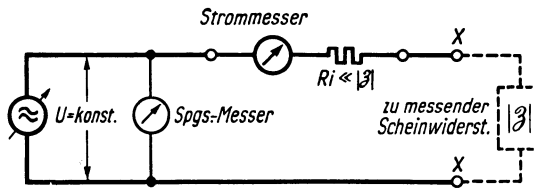


Bild 144. Scheinwiderstandsmessung.

besteht er aus einem empfindlichen Gleichrichter in Doppelwegschaltung mit dem Meßinstrument  $J_2$  (Bild 142 rechte Seite). Zur Anpassung dient der Übertrager  $U_4$ .

Der Empfänger kann sowohl als Pegelzeiger (mit hochohmigem Eingangsscheinwiderstand) als auch als Dämpfungszeiger (mit einem Eingangsscheinwiderstand von  $600 \Omega$ ) benutzt werden.

Gemäß den verschiedenen Meßmöglichkeiten ist die Skala des Meßinstruments  $J_2$  in Pegelwerten und in Ohm geeicht. Der Kurzschließer  $S_6$  (Bild 142) dient zum Schutz des Instruments, während  $S_7$  durch Ausschaltung eines Widerstandes die Empfindlichkeit erhöht. Der Schalter  $S_4$  schaltet entweder auf Pegeln, auf Dämpfungsmessung oder Scheinwiderstandsmessung (Bild 144).

Die Scheinwiderstandsmessung, die eine Strommessung bei konstanter Spannung  $U$  darstellt, ist für Nachbildzwecke bei Zweidrahtschaltungen des Teilnehmers bzw. Zusammenschaltung von HF-Geräten im Zweidraht erforderlich. Hierfür gilt dann die Ohmskala des Instruments. Voraussetzung ist, daß der innere Widerstand des Strommessers vernachlässigbar gegen den zu messenden Scheinwiderstand ist.

Ein Beispiel für das Meßergebnis bei Benutzung des Tonfrequenzmeßkoffers zur Prüfung der Sprachqualität von HF-Übertragungen auf Hochspannungsleitungen zeigt Bild 145. Der verzerrende Einfluß

180 Messungen vor dem Einsatz, zur Abnahme von Hochfrequenzanlagen.

der Sperrren usw. auf die im Seitenband vom hochfrequenten Träger entfernter liegenden Sprachfrequenzen wird durch entsprechende

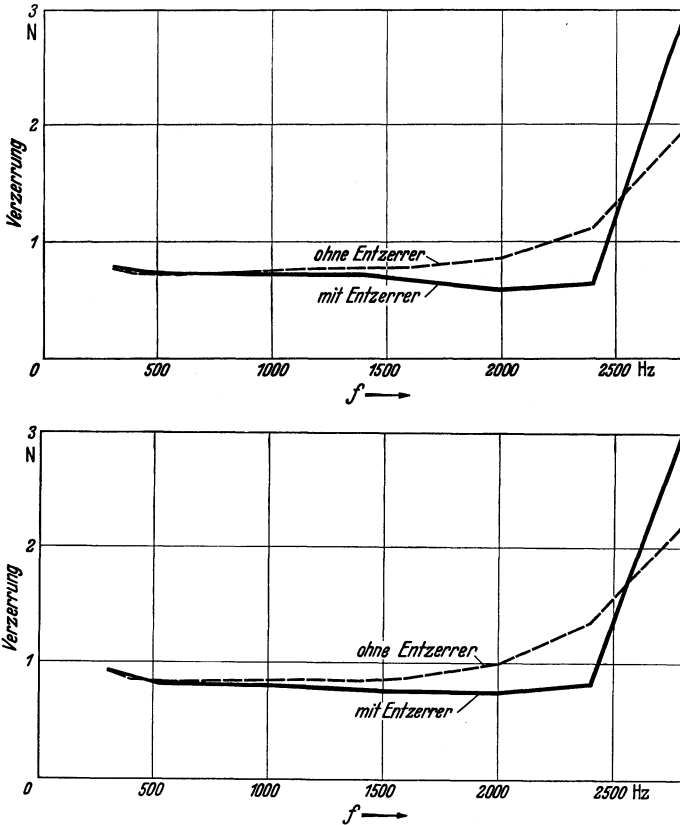


Bild 145. Frequenzgang der Restdämpfung einer Zweikanalsprechverbindung.  
Oben: Richtung I-II; unten: Richtung II-I.

Entzerrer im Eingangskreis des Niederfrequenzverstärkers auf der Sende- und Empfangsseite ausgeglichen (vgl. Bild 65).

## XII. Messungen vor dem Einsatz, zur Abnahme und Überwachung von Hochfrequenzanlagen.

Die Messungen vor dem Einsatz bzw. zur Abnahme und Überwachung von Hochfrequenzanlagen gliedern sich in solche der Übertragungsleitung, weitere der angeschlossenen Hochfrequenzgeräte, Kondensatoren und Sperrren sowie schließlich solche der gesamten Hochfrequenzverbindung.

## **1. Messung der Übertragungsleitung vor dem Einsatz der HF-Geräte oder nach Leitungsänderungen bzw. bei Störungen der schon bestehenden HF-Übertragung.**

Eine Messung der Übertragungsleitung vor dem Einsatz ist immer dann erforderlich, wenn sich die Übertragungseigenschaften nicht klar übersehen lassen, oder wenn sie auf Grund von Erfahrungen oder rechnerischen Überlegungen nicht die für die Übertragung erforderliche Sicherheit mehr zu bieten scheinen.

Wird eine zwischenphasige Ankopplung mit Sperrung der Leitungsphasen hinter der Koppelstelle vorgesehen (Bild 40) und erfolgt die Überbrückung von Trennstellen mit Hilfe von Kondensatoren und Filtern wie in Bild 3, jedoch zwischenphasig unter Abriegelung der Leitungsenden gegen die Trennstelle, so sind die Verhältnisse i. a. klar übersichtlich, sofern keine Stichleitungen von der Übertragungsleitung abzweigen. Andernfalls sind diese wie in Bild 1, jedoch zweiphasig, zu drosseln.

Sollen dagegen aus wirtschaftlichen Gründen Zwischenstationen nicht überbrückt werden, so sind die Verluste, die sich durch Sammelschienen, Transformatoren- und andere Kapazitäten sowie durch Leitungsverzweigung für die Hochfrequenzströme ergeben, nur auf Grund von Erfahrungen abschätzbar. Ist in diesem Falle nun die mögliche Leitungsdämpfung schon aus anderen Gründen, z. B. wegen großer Länge oder wegen Rauhreif im Winter beträchtlich, so ist es zweckmäßig, vor dem Einsatz der Hochfrequenzanlage mit Hilfe eines veränderlichen HF-Senders an dem einen Leitungsende und eines Röhrenvoltmeters am anderen festzustellen, für welche Frequenzen die Verluste im normalen Betrieb am kleinsten werden. Ausgeprägte Maxima und Minima ergeben sich i. a. besonders dann, wenn ungesperrte Stichleitungen von den Sammelschienen der nicht überbrückten Zwischenstationen abzweigen. Auch Umspanner 1:1 haben bisweilen frequenzabhängige Durchlaßbereiche für Hochfrequenzwellen und werden daher zweckmäßigerweise gemessen, bevor man auf Sperren zu ihrer Abriegelung verzichtet. Werden die Umspanner neu beschafft, so sollte bei deren Bau möglichst auf die Hochfrequenzerfordernisse Rücksicht genommen werden.

Dies gilt natürlich nur dann, wenn die Hochfrequenzabschnitte mit den durch den Umspanner getrennten Hochspannungsnetzen zusammenfallen, was jedoch praktisch fast immer der Fall ist.

Kann die Hochspannungsleitung nicht spannungsfrei geschaltet werden, so muß man mit der Messung warten, bis die Koppelkondensatoren angeschlossen sind.

Bei 220-kV-Leitungen, die einen größeren Störpegel aufweisen, empfiehlt sich eine vorherige Messung unter Spannung mit Rücksicht auf den Störpegel auch dann, wenn die sonstigen Verhältnisse klar übersehbar sind. Ebenso sollte man grundsätzlich Hochspannungs-

freileitungen mit längeren Kabelstücken im Leitungszuge messen. Ergeben sich bei Umbau oder Erweiterung der Leitung Störungen der schon bestehenden Hochfrequenzübertragung, so ist eine Messung mit frequenzveränderlichem Sender am Platze, da so Dämpfungsverluste durch Reflexionen i. a. einwandfrei ermittelt werden können.

## **2. Messung an den Hochfrequenzgeräten, Kondensatoren, Sperren usw.**

Die nachstehend unter a bis c angeführten Messungen erfolgen erstmalig nach Inbetriebsetzung der Hochfrequenzgeräte und sind später stets bei Erweiterung bestehender Anlagen sowie nach Behebung von Störungen vorzunehmen. Die Prüfungen zwecks Überwachung der HF-Geräte im Betrieb sollten zweckmäßigerweise regelmäßig, am besten monatlich durchgeführt werden.

### **a) Spannungs- und Strommessung, Messung des Modulationsgrades.**

Zunächst muß an jedem Hochfrequenzgerät festgestellt werden, ob es die im Prüffeld festgelegten Spannungen an Sende- und Empfangsröhren heiz-, anoden- sowie evtl. gitterseitig und im Automatikleil aufweist, ob der herausgehende Hochfrequenzstrom der Geräteleistung entspricht, ob zutreffendenfalls der Sender den verlangten Modulationsgrad besitzt, und ob der Empfänger beim Ansummen mit dem Röhrensummer die verlangte Empfindlichkeit zeigt. Auf die letzte Messung kann zugunsten der Empfängerprüfung durch den Gegensender verzichtet werden, sofern dieser schon eingebaut und betriebsbereit ist.

Moderne Hochfrequenzgeräte haben i. a. einen Vielfach-Meßstellenumschalter, mit dem alle im Geräte erforderlichen Spannungen ohne zusätzliche Meßgeräte geprüft werden können. Hiermit ist bei Auftreten von Störungen fast stets eine weitgehende Fehlereingrenzung möglich.

### **b) Prüfung der Automatik, Pegelregelung und Hochfrequenzdämpfung.**

Bei Sprechgeräten, die mit Automatik und automatischer Pegelregelung ausgerüstet sind, ist deren einwandfreies Arbeiten an Hand einer Relais-tabelle bzw. einer Sondervorschrift über die Prüfung der Pegelregelung zu untersuchen. Für die Automatik ist es besonders wichtig, daß die Netzspannungsschwankungen  $\pm 10\%$  nicht überschreiten. Andernfalls müssen Spannungskonstanthalteeinrichtungen nachträglich eingesetzt werden.

Bei Pegelregelungen, die mit den Mitteln der Selbstanschlußtechnik arbeiten und Dämpfungsglieder vor den Empfänger in Abhängigkeit von der ankommenden Hochfrequenzempfangsenergie schalten, läßt sich im allgemeinen an dem vorgeschalteten Dämpfungsglied unter Berücksichtigung

sichtigung der Reichweite der Hochfrequenzgeräte unmittelbar die hochfrequente Übertragungsdämpfung ablesen.

### c) Frequenzmessung.

Mit dem Frequenzmesser sind die Sende- und Empfangsfrequenzen in der in XI, 1d angegebenen Weise auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Abweichungen von den vorgeschriebenen Frequenzen können nicht nur Unterbrechung der eigenen Hochfrequenzverbindung zur Folge haben, wenn bei Erdung die Abstimmung der Sperren nicht mehr mit den benutzten Trägerfrequenzen übereinstimmt, sondern können auch Nachbaranlagen störend beeinflussen.

### d) Prüfung der Leitungsausrüstung.

*α)* Kondensatoren brauchen nur untersucht zu werden, wenn sie hörbare Geräusche ergeben. In Zukunft wird sich wohl eine Verlustwinkelmessung unter Spannung einführen. Vor Wiederverwendung ausgebauter Kondensatoren empfiehlt sich stets die Verlustwinkelmessung, sei es in der nächsten Hochschule oder nach Rücksendung in der Fabrik des Lieferanten.

*β)* Sperren. Nach längerem Betrieb der Hochfrequenzanlage muß eine Prüfung der Hochfrequenzsperren stattfinden, insbesondere nach gewitterreichen

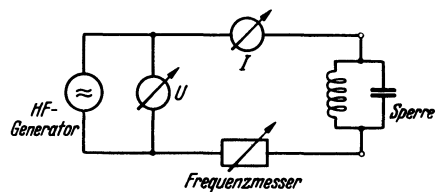


Bild 146. Sperrenmessung.

Sommern, in denen Beschädigungen der Abstimmkondensatoren von Resonanzsperren durch Wanderwellen vorkommen können. Die einfachste Prüfung ist die der betriebsmäßigen Erdung der Leitung hinter den Sperren. Erfährt hierdurch die Betriebsdämpfung keine wesentliche Erhöhung, so sind die Sperren in Ordnung, erhöht sie sich merkbar, so müssen nach Abschaltung der Leitung die Sperren heruntergenommen werden. Danach erfolgt die Einzelprüfung mit einem Sender stetig veränderbarer Frequenz und dem Frequenzmesser. Hierbei wird wie bei der Sperrenabstimmung aus einer Spannungs- und Strommessung der Widerstand ermittelt (Bild 146). Gegebenenfalls muß eine Auswechslung der Abstimmkondensatoren der Sperren vorgenommen werden.

### e) Überwachung der Speisung.

*α)* Erfolgt die Speisung des Gerätes durch Batterien oder Maschinen, so sind diese gemäß den Sondervorschriften zu warten. Bei großen Batterien mit Dauerladung ist besonders darauf zu achten, daß in Zeitabständen von einigen Monaten eine gründliche Entladung stattfindet, weil sonst die Platten zerstört werden können.

β) Bei *Maschinenspeisung* empfiehlt sich die Aufstellung einer Reservemaschine, so daß in Abständen von etwa 6 Monaten die in Betrieb befindliche Maschine herausgenommen und gründlich überholt werden kann, ohne daß die Betriebsbereitschaft des Sprechgerätes oder des Selektivschutzkanals in Frage gestellt wird. Bei Meßwertübertragungen ist die Notwendigkeit einer Reservespeisungsquelle nicht in allen Fällen zu bejahen. Häufig genügt hier der Netzanschluß ohne Notstromversorgung, weil beispielsweise die Meßwertübertragung bei Ausfall des Netzes nicht mehr von Wichtigkeit ist.

#### f) Prüfung der Relais.

Bei der Relaisprüfung sind im übrigen die besonderen Wartungsvorschriften, insbesondere für Prüfung und Reinigung der Relaiskontakte zu beachten, da nur ein vorschriftsmäßig gewartetes Gerät eine einwandfreie Übertragung ergeben kann. An Hand einer Relais-tabelle ist etwa alle drei Monate das sichere Arbeiten der Automatik zu überprüfen. Bei Schwierigkeiten in der Rufübertragung hilft der Impulsschreiber, den Fehler festzustellen (Bild 147); insbesondere ist mit ihm das Pausenzeichenverhältnis und dadurch gegebenenfalls das richtige Arbeiten der Impulskorrektur zu überprüfen.

### 3. Messung der gesamten Hochfrequenzverbindung.

Die Messung zur Prüfung, ob die Übertragung einwandfrei arbeitet, kann erst vorgenommen werden, wenn die vorstehenden Maßnahmen ergeben haben, daß die an der Übertragung beteiligten Hochfrequenzgeräte in Ordnung sind. Danach erfolgt die Messung der Restdämpfung und ihres Frequenzganges, sofern — wie bei Sprechgeräten mit automatischer Pegelreglung — die Hochfrequenz-Betriebsdämpfung direkt abgelesen werden kann. Die Messung der Höhe der Restdämpfung sagt aus, ob die Verbindung lautstärkemäßig genügt, die ihres Frequenzganges kennzeichnet die Güte der Sprachübertragung. Bei den Sprechgeräten muß hierzu der Normalgenerator sendeseitig und der Dämpfungszeiger empfangsseitig angeschaltet werden.

Verzerrungen durch Resonanzsperrern usw. lassen sich teilweise durch Entzerrer im Niederfrequenzteil ausgleichen (Bild 145). Die Restdämpfung soll 1,5 Neper nicht überschreiten, bei Hintereinanderschaltung mehrerer Abschnitte soll sie je Abschnitt nach den CCI-Bedingungen 0,7 Neper sein. Wird sie durch Aufdrehen der Verstärker zu klein gemacht, besteht Pfeifgefahr.

Für die Frequenzgangsmessung muß als Sender ein Rohrsummer, wie oben beschrieben, Verwendung finden, der über den ganzen Sprachfrequenzbereich veränderlich ist (i. a. 12 einstellbare Tonfrequenzen). Dabei soll auf der Empfangsseite sich kein größerer Unterschied zwischen

den Dämpfungswerten der verschiedenen Sprachfrequenzen als 0,5 Neper ergeben.

Bei den mehrfachmodulierten Hochfrequenzgeräten sind sendeseitig die Tonfrequenzgeneratoren vorhanden. Man braucht also auf den Normalgenerator mit veränderlicher Frequenz nur zurückzugreifen,

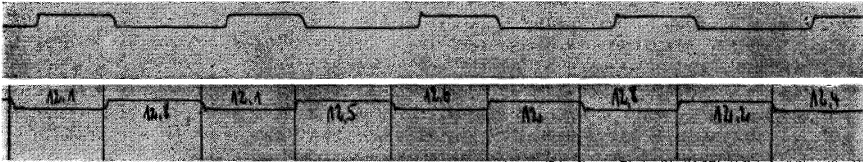


Bild 147. Mit Impulschreiber aufgenommene Rufimpulse.

wenn der Pegel der Tonfrequenzgeber nicht bekannt ist oder diese nicht auf den Normalpegel gebracht werden können.

Handelt es sich nur um Trägerstromtastverbindungen, so genügt es festzustellen, ob der empfangsseitig zur Verfügung stehende gleichgerichtete Strom zum Betrieb des vorgesehenen Relais mit Sicherheit auch dann noch hinreicht, wenn die Leitungsdämpfung sich bei Störungen erhöht. Bei gewissen Übertragungen, z. B. Fernmessung mit schnellen Impulsen oder Fernschreiben tritt hierzu noch eine Messung der Verzerrungsfreiheit. Diese läßt sich praktisch ausreichend mit dem Impulsmesser feststellen (Bild 147) bzw. ergibt sich aus dem Registrierstreifen des Tintenschreibers bei der Fernmessung.

## Schlußwort.

Die im vorletzten Kapitel beschriebenen Meßgeräte werden einen wachsenden Einfluß auf die Hochfrequenznachrichtentechnik für Elektrizitätswerke nicht nur deshalb ausüben, weil diese durch die Messungen der rein subjektiven Beurteilung entzogen und objektiven Maßstäben unterworfen wird. Wichtiger noch ist ihre Anwendung dadurch, daß Überraschungen bei der Inbetriebsetzung von Hochfrequenzanlagen durch nicht erwartete Leitungseinflüsse oder Fremdstörer mehr und mehr vorgebeugt und somit die einheitliche Planung ganzer Landeshochfrequenznetze auf eine immer sicherere Grundlage gestellt wird.

Bei der ständig wachsenden Zahl der Hochfrequenzanlagen und dem dadurch notwendigerweise zunehmenden Frequenzmangel kann nur durch eine über die Einzelinteressen der verschiedenen Elektrizitätsversorgungsunternehmen hinausgehende Planung die günstigste Frequenzverteilung erreicht und mit ihr eine Höchstzahl von Nachrichtenkanälen geschaffen werden. In dieser Beziehung stehen noch viele Anlagen alter Technik der erst durch die neue Technik ermöglichten besseren Frequenzverteilung im Wege. Hier wird deshalb manche Aufräumarbeit erforderlich werden, die nach zehnjährigem Betriebe aber auch wirtschaftlich vertretbar ist.

Bei einem einheitlichen, großzügigen Vorgehen wird der Bedarf an EW-Nachrichtenkanälen mit der neuentwickelten Technik noch auf Jahre befriedigt werden können. Darüber hinausgehende Wege werden, wie angedeutet, vorausschauend beschränkt.

Der Verfasser ist sich darüber klar, daß es bei der schnell fortschreitenden Entwicklung auf diesem Gebiete schwierig ist, stets ein durch praktische Erfahrungen gesichertes Wissen zu vermitteln und gleichzeitig allen berechtigten Entwicklungs- und Anwendungsaussichten gerecht zu werden. Er hat in dieser Beziehung lieber Vorsicht und Zurückhaltung walten lassen, wobei jedoch die Zukunftsmöglichkeiten nicht unerwähnt geblieben sind.

Wenn dieses kleine Buch den Elektrizitätsversorgungsunternehmen ein gewisser Berater bei der Planung und Erstellung neuer Hochfrequenznetze werden würde, hätte es seinen Zweck erfüllt.



## Anhang.

Der rechnerische Anhang soll zur Klärung der im Haupttext verwendeten und teilweise in den Anmerkungen kurz erläuterten Begriffe: des Wellenwiderstandes, der Dämpfung, der Anpassung und Reflexion an Stichelungen sowie der Sperrung und Ankopplung durch Vierpole beitragen.

### Schrifttum zum Anhang.

- <sup>1</sup> Vilbig, F.: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik
- <sup>2</sup> Habann, E.: Hochfrequenztelefonie und -telegrafie auf Leitungen.
- <sup>3</sup> Küpfmüller, K.: Einführung in die theoretische Elektrotechnik.
- <sup>4</sup> Wallot, J.: Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik.

### Ia) Wellenfortpflanzung auf Leitungen.

Wir betrachten eine Leitungsschleife (Bild 148), die aus zwei Phasen  $R$ ,  $S$  einer Hochspannungsleitung gebildet wird. Zwischen diese schalten wir bei geöffneten Leitungsschaltern direkt den Hochfrequenzsender ( $HFS$ )

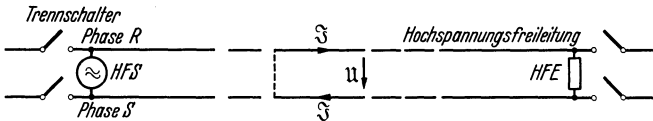


Bild 148.

an einem, den Empfänger ( $HFE$ ) am anderen Ende. Die Leitung sei von einheitlichem Material, gleichartiger Aufhängung über die ganze Länge und ohne Abzweige. Der Abstand der Leiter (wenige Meter) ist in jedem Falle klein gegen die Leitungslänge (durchschnittlich 50 bis 100 km bei 100 kV-Leitungen) und gegen die Wellenlänge der Hochfrequenzträgerströme (1 bis 6 km).

Greifen wir einen genügend kurzen Abschnitt heraus, so ist der Strom  $\mathfrak{S}$  in beiden Leitern dieses Abschnittes in einem beliebigen Zeitpunkt gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet und die Spannung  $\mathfrak{U}$  zwischen beiden Leitern hat einen bestimmten Wert. Strom und Spannung haben in eingeschwungenem Zustand die gleiche Frequenz  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  wie die der Leitung aufgedrückte Hochfrequenzträgerwelle, die wir als sinusförmig annehmen wollen.

Wie in II, 2 auseinandergesetzt, sind mit Strom und Spannung magnetische und elektrische Felder verbunden, die wir unter den oben bezüglich der Leitung gemachten Voraussetzungen als in allen Querschnitten gleich annehmen können.

Wir können daher dem kurzen Abschnitt eine bestimmte Induktivität  $L$  (Henry/km), eine bestimmte Kapazität  $C$  (Farad/km), einen bestimmten Widerstand  $R$  ( $\Omega$ /km) und eine bestimmte Ableitung  $G$  (Siemens/km) zuordnen. Wir setzen voraus, daß diese Leitungsgrößen an jeder Stelle der Leitung den gleichen Wert haben und strom- und spannungsunabhängig sind. Wir können die obige Leitung dann als „homogen“ bezeichnen.

In komplexer Schreibweise erhalten wir damit für Spannung und Strom folgende Beziehungen:

Auf der Längeneinheit ist der Spannungsabfall gleich dem Ohmschen und induktiven:

$$-\frac{\partial \mathfrak{U}}{\partial x} = (R + i\omega L)\mathfrak{I}. \quad (1)$$

Da der Ladestrom der zeitlichen Spannungsänderung und der Kapazität, der Ableitungsstrom der Spannung proportional ist, ergibt sich für die Stromänderung je Längeneinheit:

$$-\frac{\partial \mathfrak{I}}{\partial x} = (G + i\omega C)\mathfrak{U}. \quad (2)$$

Scheidet man eine Veränderliche, z. B.  $\mathfrak{I}$  aus, so folgt aus (1) und (2)

$$\frac{\partial^2 \mathfrak{U}}{\partial x^2} = (R + i\omega L)(G + i\omega C)\mathfrak{U} = \gamma^2 \mathfrak{U}, \quad (3)$$

wenn

$$\gamma = \pm \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \beta + i\alpha \quad (4)$$

gesetzt wird.

Hierbei wird  $\gamma$  als Fortpflanzungskonstante,  $\beta$  als Dämpfungskonstante und  $\alpha$  als Winkelkonstante bezeichnet.

Die Lösung der Differentialgleichung (3) lautet:

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{U}_1 e^{-\gamma x} + \mathfrak{U}_2 e^{+\gamma x}. \quad (5)$$

Setzt man

$$\sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} = \mathfrak{Z}, \quad (6)$$

so ist mit (4)

$$\gamma \cdot \mathfrak{Z} = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} \cdot \frac{R + i\omega L}{G + i\omega C} = R + i\omega L. \quad (7)$$

Damit ergibt sich aus (1) und (7):

$$-\frac{\partial \mathfrak{U}}{\partial x} = \gamma \cdot \mathfrak{Z} \cdot \mathfrak{I} \quad (8)$$

und mit (5)

$$\mathfrak{I} = -\frac{1}{\gamma \mathfrak{Z}} \frac{\partial \mathfrak{U}}{\partial x} = \frac{1}{\mathfrak{Z}} \mathfrak{U}_1 e^{-\gamma x} - \frac{1}{\mathfrak{Z}} \mathfrak{U}_2 e^{+\gamma x}. \quad (9)$$

Man sieht aus (9), daß  $\mathfrak{Z}$  die Dimension eines Widerstandes hat und bezeichnet  $\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}$  als *Wellenwiderstand der Leitung*. Bei den hohen Trägerfrequenzen und den — bei der großen Oberfläche und der *normalerweise* guten Isolation der Leiter — kleinen Werten von

$R$  und  $G$  ist:  $R \ll \omega L, G \ll \omega C,$

und daher praktisch  $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}.$  (10)

Mit den üblichen Induktivitäten  $\left[ L = \frac{\mu_0}{\pi} \left( \ln \frac{a}{\varrho} + \frac{1}{4} \right) \right]$  und Kapazitäten  $\left( C = \frac{\varepsilon_0 \pi}{\ln \frac{a}{\varrho}} \right)$  von Hochspannungsfreileitungen, deren Phasenhalbmesser  $\varrho$

und deren Phasenabstand  $a$  ist, ergibt sich bei zwischenphasiger Ankopplung ein mittlerer Wert für  $Z$  von  $600 \Omega$ . Für einphasige Ankopplung (vergrößertes  $C$ ) sinkt  $Z$  auf rund  $400 \Omega$  und bei Hochspannungskabeln aus dem gleichen Grunde auf etwa den zehnten Teil  $\approx 40 \Omega$ . Dabei ist  $Z$  reell und unabhängig von der Leitungslänge.

Setzt man in (5) und (9) aus (4)  $\gamma = \beta + i\alpha$  ein:

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{A}_1 e^{-\beta x} e^{-i\alpha x} + \mathfrak{A}_2 e^{+\beta x} e^{+i\alpha x}, \quad (11a)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{A}_1}{Z} e^{-\beta x} e^{-i\alpha x} - \frac{\mathfrak{A}_2}{Z} e^{+\beta x} e^{+i\alpha x}, \quad (11b)$$

so kann man mit  $\mathfrak{A}_1 = \mathfrak{C}_v e^{i\omega t}, \mathfrak{A}_2 = \mathfrak{C}_r e^{i\omega t}$  für (11a u. b) schreiben:

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{C}_v e^{-\beta x} e^{i(\omega t - \alpha x)} + \mathfrak{C}_r e^{+\beta x} e^{i(\omega t + \alpha x)}, \quad (12a)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{C}_v}{Z} e^{-\beta x} e^{i(\omega t - \alpha x)} - \frac{\mathfrak{C}_r}{Z} e^{+\beta x} e^{i(\omega t + \alpha x)}. \quad (12b)$$

Aus (12a u. b) erkennt man folgendes: Die Welle ändert sich in ihrer Phase  $\alpha$  nicht, wenn man im Zeitelement  $dt$  um die Strecke  $dx$  fortschreitet, z. B. (Gl. 12a)

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{C}_v e^{-\beta x} e^{i[\omega(t+dt) - \alpha(x+dx)]} + \mathfrak{C}_r e^{+\beta x} e^{i[\omega(t+dt) + \alpha(x+dx)]},$$

falls  $\omega dt \mp \alpha dx = 0,$  (13)

d. h. wenn  $\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{\alpha} = c$  ist, wenn also  $c$  die konstante Geschwindigkeit ist, mit der die Wellen fortschreiten. Um eine Wellenlänge  $\lambda$  ist die Welle fortgeschritten, wenn sich die Phase  $\alpha$  um  $2\pi$  gedreht hat, daher

$$\alpha \lambda = 2\pi \quad (14a)$$

und daraus

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha}. \quad (14b)$$

Da nach (13)  $c = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{2\pi f}{\alpha}$  ist, wo  $f$  die Trägerfrequenz ist, folgt mit (14a):

$$c = \frac{2\pi f}{\alpha} = \frac{2\pi f \lambda}{2\pi} = f \lambda. \quad (15)$$

Hiermit läßt sich, da  $c$  bei den in Frage stehenden Frequenzen auf der Hochspannungsfreileitung angenähert  $3 \cdot 10^5$  km/s ist, die Wellenlänge  $\lambda$  aus der verwendeten Trägerfrequenz  $f$  berechnen:

$$\lambda = \frac{300}{f/\text{kHz}} \text{ km}, \quad (16)$$

für 100 kHz ist also  $\lambda = \frac{300}{100} \cdot \text{km} = 3 \text{ km}.$

Die Gleichungen (11 a u. b), (12 a u. b) für Spannung und Strom zeigen, daß beide sich aus zwei Teilwellen zusammensetzen, von denen die eine in Richtung wachsender  $x$ , d. h. vom Leitungsanfang zum Ende, die andere in entgegengesetzter Richtung läuft.

Die Amplitude von Strom und Spannung wird beim Lauf vom Anfang zum Ende der Hochspannungsleitung nach einer Exponentialfunktion  $e^{-\beta x}$  gedämpft.

Zur rechnerischen Ermittlung der Dämpfungskonstanten  $\beta$  quadriert man die Gleichung (4) und setzt die reellen und imaginären Teile einander gleich:

$$\beta^2 + 2i\alpha\beta - \alpha^2 = RG - \omega^2 LC + i\omega(RC + LG), \quad (17a)$$

$$\beta^2 - \alpha^2 = RG - \omega^2 LC, \quad (17b)$$

$$2\alpha\beta = \omega(RC + LG). \quad (17c)$$

Andererseits ergeben sich aus Gleichung (4) die Beträge

$$\beta^2 + \alpha^2 = \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)}. \quad (18)$$

Aus Summierung von (17b) und (18) erhält man:

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + \frac{1}{2} (RG - \omega^2 LC)}. \quad (19a)$$

Entwickelt man  $\beta$  in Reihen und vernachlässigt die weniger bedeutenden Glieder, so ergibt sich der vereinfachte Ausdruck

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (19b)$$

für Hochfrequenzen. Für diese wird entsprechend die Winkelkonstante zu:

$$\alpha = \omega \sqrt{LC}. \quad (20)$$

Wenn man die Leitungsgrößen  $R$ ,  $L$ ,  $G$ ,  $C$  auf je 1 km Leitungslänge bezieht, so ergeben sich auch  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  für je 1 km Leitungslänge. Die Dämpfung einer Leitung errechnet sich demnach aus der Dämpfungskonstanten  $\beta$ , vervielfacht mit der Leitungslänge  $l$  in km

$$b = \beta l. \quad (21)$$

Der Dämpfungsfaktor besteht nach (19b) aus 2 Gliedern, dem Widerstandsglied und dem Ableitungsglied. Bei normalen Witterungsverhältnissen spielt das Ableitungsglied wegen des mit Rücksicht auf die Hochspannung sehr hohen Isolationsgrades der Leitung keine Rolle. Bei Rauhreif dagegen, wo dielektrische Verluste auftreten, kann sein Betrag auf die Größenordnung des Widerstandsgliedes anwachsen. Es empfiehlt sich deshalb bei rauhreifgefährdeten Leitungen dieses Widerstandsglied — ebenso wie bei langen Leitungen ( $l$  groß) — durch Wahl tiefer Frequenzen kleinzuhalten. Der Hochfrequenzwiderstand  $R$  der Leiter wächst wegen der Stromverdrängung mit der Wurzel aus der Frequenz. Die Ableitung wächst im EW-Hochfrequenzbereich bei Rauhreif annähernd proportional mit der Frequenz.

Mit Rücksicht auf das Anwachsen des Ableitungsgliedes sollte man außerdem auf Rauhreifleitungen die verfügbare Dämpfungsreserve durch geeignete Aufteilung oder Einsatz von Verstärkern in der Größe der normalen Betriebsdämpfung halten.

Da nach (10)  $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ , kann man für normale Witterungsverhältnisse auf Freileitungen (19b) auch schreiben:

$$\beta = \frac{R}{2Z}. \quad (22)$$

Man sieht dann, daß bei Leitungen mit kleinerem Wellenwiderstand die Dämpfungskonstante größer wird. Der Wellenwiderstand von Hochspannungsfreileitungen ist etwa 10mal so groß wie der von Hochspannungskabeln. Ihre Dämpfung ist demnach etwa 10mal so klein wie die der Starkstromkabel.

Größenordnungsmäßig ist für eine Trägerfrequenz  $f = 100$  kHz  $\beta = 5$  mNeper/km für 220 kV-Leitungen. Bei 100 kV-Leitungen kann man mit 10 mNeper/km rechnen.

Zur Ermittlung der Integrationskonstanten  $\mathfrak{U}_1$  und  $\mathfrak{U}_2$  der Gleichungen (11a), (11b) betrachtet man zunächst die Leitung am Anfang bei  $x = 0$ . Die Exponentialglieder werden hierbei zu 1. Aus (11a) folgt:

$$\mathfrak{U}_0 = \mathfrak{U}_1 + \mathfrak{U}_2, \quad (23)$$

aus (11b)

$$\mathfrak{I}_0 = \frac{\mathfrak{U}_1}{Z} - \frac{\mathfrak{U}_2}{Z}, \quad \mathfrak{I}_0 Z = \mathfrak{U}_1 - \mathfrak{U}_2. \quad (24)$$

Aus (23) und (24) ergibt sich durch Summieren bzw. Abziehen:

$$\mathfrak{U}_1 = \frac{\mathfrak{U}_0 + \mathfrak{I}_0 Z}{2} \quad (25)$$

und

$$\mathfrak{U}_2 = \frac{\mathfrak{U}_0 - \mathfrak{I}_0 Z}{2}. \quad (26)$$

Setzt man diese Werte für  $\mathfrak{U}_1$  und  $\mathfrak{U}_2$  in (5) ein, so erhält man

$$\mathfrak{U} = \frac{\mathfrak{U}_0 + \mathfrak{I}_0 Z}{2} e^{-\gamma x} + \frac{\mathfrak{U}_0 - \mathfrak{I}_0 Z}{2} e^{+\gamma x} \quad (27a)$$

bzw.

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{U}_0 \frac{e^{+\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} - \mathfrak{I}_0 Z \frac{e^{+\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}. \quad (27b)$$

Da

$$\frac{e^{+\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} = \text{Cof } \gamma x \quad (28a)$$

und

$$\frac{e^{+\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} = \text{Sin } \gamma x, \quad (28b)$$

folgt aus (27b)

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{U}_0 \text{Cof } \gamma x - \mathfrak{I}_0 Z \text{Sin } \gamma x \quad (29)$$

und aus (9) entsprechend:

$$\mathfrak{I} = \mathfrak{I}_0 \text{Cof } \gamma x - \frac{\mathfrak{U}_0}{Z} \text{Sin } \gamma x. \quad (30)$$

Bezeichnet man Spannung und Strom am Ende der Leitung  $x=l$  mit  $U_e$  und  $\mathfrak{I}_e$  und betrachtet das Leitungsende als Wellenanfang, so ergibt sich entsprechend:

$$\mathfrak{U}_1 = \frac{U_e + \mathfrak{I}_e Z}{2}, \quad (31)$$

$$\mathfrak{U}_2 = \frac{U_e - \mathfrak{I}_e Z}{2}. \quad (32)$$

Damit folgt aus der entsprechenden Entwicklung wie (27) bis (30)

$$U_0 = U_e \operatorname{Cos} \gamma l + \mathfrak{I}_e Z \operatorname{Sin} \gamma l, \quad (33)$$

$$\mathfrak{I}_0 = \mathfrak{I}_e \operatorname{Cos} \gamma l + \frac{U_e}{Z} \operatorname{Sin} \gamma l. \quad (34)$$

und bei Abschluß der Leitung mit dem beliebigen Widerstand  $\mathfrak{R}_e$ :

$$U_e = \mathfrak{I}_e \mathfrak{R}_e. \quad (35)$$

Die Gleichungen (33) und (34) entsprechen den Gleichungen einer Kette von  $l$  hintereinandergeschalteten symmetrischen Elementarvierpolen, von denen jeder das Übertragungsmaß  $\gamma$  besitzt. (Gebilde mit 2 Eingangs- und 2 Ausgangsklemmen ohne innere elektromotorische Kräfte.)

## Ib) Abschlußverhältnisse der Hochspannungsfreileitung.

### 1. Anpassung.

Das Ziel der HF-Übertragung ist, den größtmöglichen Teil der der Leitung aufgedrückten HF-Leistung dem Empfänger zuzuführen. Jede Reflexion, d. h. jedes Zurückfluten von HF-Energie in einer zurücklaufenden Welle bedeutet einen Leistungsverlust für den Empfänger, denn diese Energie verzehrt sich in Joulescher Wärme.

Nach dem Grundgesetz der Schwachstromtechnik erreicht man das Ziel, wenn man den Verbraucherwiderstand  $\mathfrak{R}_e$  dem Wellenwiderstand  $\mathfrak{Z}$  der Leitung anpaßt. Nach Gleichung (10) ist  $\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ .

Der Verbraucherwiderstand  $\mathfrak{R}_e$  ist gemäß (35) gleich dem Verhältnis von Spannung  $U_e$  und Strom  $\mathfrak{I}_e$  am Ende der Leitung:

$$\mathfrak{R}_e = \frac{U_e}{\mathfrak{I}_e} = \frac{u_e + u'_e}{u_e - u'_e} \mathfrak{Z}, \quad (36)$$

wenn man mit  $u_e$  und  $u'_e$  die Spannungen der beiden Teilwellen bezeichnet.

Bezeichnet man mit  $p_e$  den *Reflexionsfaktor* am Leitungsende, der angibt, wieviel Bruchteile der einfallenden Welle am Leitungsende reflektiert werden und setzt man demgemäß

$$u'_e = p_e u_e, \quad (37)$$

so folgt aus (36)

$$\mathfrak{R}_e = \frac{1 + p_e}{1 - p_e} \mathfrak{Z} \quad (38)$$

und

$$p_e = \frac{\mathfrak{R}_e - \mathfrak{Z}}{\mathfrak{R}_e + \mathfrak{Z}}. \quad (39)$$

Macht man  $\mathfrak{R}_e = 3$ , so wird  $p_e = 0$  und  $u'_e$  und  $\frac{u'_e}{3}$  werden ebenfalls gleich Null. Es gibt also in diesem Sonderfalle keine reflektierten Wellen. Man hat es nur mit einer fortschreitenden Welle zu tun wie bei einer unendlich langen Leitung. Die Leistung kommt voll dem Empfänger zugute.

Für Spannung und Strom gelten dann die einfachen Beziehungen

$$U_e = U_0 e^{-\gamma l} \quad \text{bzw.} \quad \left| \frac{U_e}{U_0} \right| = e^{-\beta l}, \quad (40)$$

$$I_e = I_0 e^{-\gamma l} \quad \text{bzw.} \quad \left| \frac{I_e}{I_0} \right| = e^{-\beta l}. \quad (41)$$

Die Gesamtdämpfung  $\beta l = b$  ist bei Ausschluß der Reflexion also

$$b = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{U_0 I_0}{U_e I_e} \right| = \ln \left| \frac{U_0}{U_e} \right| = \ln \left| \frac{I_0}{I_e} \right|.$$

Der Verbraucherwiderstand wird mit Hilfe von Übertragern angepaßt, deren Übersetzungsverhältnis gleich dem Verhältnis der Wellenwiderstände von Leitung und Apparat bzw. der beiden aneinander anzupassenden Leitungen gemacht wird.

Bei geöffneten Trennschaltern läßt sich im Anpassungsfall die Dämpfung messen, wenn man zwischen die zwei Leiter an dem einen Ende den Röhrensummer (vgl. S. 168), an dem anderen das Röhrenvoltmeter (vgl. S. 170) schaltet und später nach Ersatz der Leitung durch ein veränderliches Dämpfungsglied gleichen Wellenwiderstandes auf den gleichen Instrumentenausschlag des Röhrenvoltmeters einstellt.

Betriebsmäßig läßt sich diese Anpassung fast nie voll erreichen, weil parallel zu dem anzupassenden HF-Apparatewiderstand der wechselnde Scheinwiderstand der Hochspannungsstation bzw. der Sperren liegt.

Außer dem *Anpassungsfall* sind zwei Fälle von Bedeutung:

2. der **Leerlauf**.

3. der **Kurzschlußfall**.

2. Bei *Leerlauf* wird  $\mathfrak{R}_e = \infty$  also nach (39)

$$p_e = \frac{\infty - 3}{\infty + 3} = 1. \quad (42)$$

Die reflektierte Spannung  $u'_e$  wird nach Gleichung (37) gleich der einfallenden  $u_e$ . Während die zwei Teilspannungen sich auf den doppelten Wert addieren, heben sich reflektierter Strom  $\frac{u'_e}{3}$  und einfallender  $\frac{u_e}{3}$  auf, da sie gleiche Größe, aber entgegengesetzte Vorzeichen haben.

3. Bei *Kurzschluß* der Leitung wird  $\mathfrak{R}_e = 0$ , also nach Gleichung (39)

$$p_e = \frac{0 - 3}{0 + 3} = -1. \quad (43)$$

Hier heben sich nach Gleichung (36) die Teilspannungen mit entgegengesetztem Vorzeichen auf, während sich die Teilströme zum doppelten Wert addieren.

Diese beiden Fälle sind bei der Hochfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen besonders für *kurze Abzweige von der Hauptleitung* von Wichtigkeit.

Bezeichnet man mit  $\mathfrak{W}_a$  den Eingangswiderstand des Abzweiges, mit  $\mathfrak{U}_a$  und  $\mathfrak{I}_a$  Eingangsspannung und -strom und mit  $u_a$  und  $u'_a$  die entsprechenden Teilwellen, so wird

$$\mathfrak{W}_a = \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{I}_a} = \frac{u_a + u'_a}{u_a - u'_a} \mathfrak{Z}. \quad (44)$$

Nun ist  $u_a$  die am Leitungsanfang reflektierte Spannung gleich der reflektierten Endspannung  $u'_e$  nach ihrem Lauf über die Leitung mit (40) und (37)

$$u'_a = u'_e e^{-\gamma l} = p_e u_e e^{-\gamma l} = p_e u_a e^{-2\gamma l}, \quad (45)$$

da

$$u_e = u_a e^{-\gamma l}.$$

Hieraus folgt:

$$\mathfrak{W}_a = \frac{1 + p_e e^{-2\gamma l}}{1 - p_e e^{-2\gamma l}} \mathfrak{Z}. \quad (46)$$

Bei *offener* Stichleitung mit  $R_e = \infty$  wird nach (42)  $p_e = +1$  und entsprechend Gleichung (28 a u. b)

$$\mathfrak{W}_{al} = \frac{1 + e^{-2\gamma l}}{1 - e^{-2\gamma l}} \mathfrak{Z} = \mathfrak{Z} \cdot \text{Ctg } \gamma l. \quad (47)$$

$\mathfrak{W}_{al}$  wird der *Leerlaufwiderstand* der Stichleitung genannt.

Bei *kurzgeschlossener* Stichleitung (z. B. durch die Sammelschienen bei einer Einführung) wird mit  $\mathfrak{R}_e = 0$  nach (43)  $p_e = -1$

$$\mathfrak{W}_{ak} = \frac{1 - e^{-2\gamma l}}{1 + e^{-2\gamma l}} \mathfrak{Z} = \mathfrak{Z} \text{ Tg } \gamma l. \quad (48)$$

$\mathfrak{W}_{ak}$  wird der *Kurzschlußwiderstand* der Stichleitung genannt.

Aus (47) und (48) folgt

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\mathfrak{W}_{al} \cdot \mathfrak{W}_{ak}} \quad (49)$$

und

$$\text{Tg } \gamma l = \sqrt{\frac{\mathfrak{W}_{ak}}{\mathfrak{W}_{al}}}. \quad (50)$$

Wellenwiderstand  $\mathfrak{Z}$  und Fortpflanzungskonstante  $g = \gamma l$  lassen sich also bei spannungsloser Leitung aus Leerlauf und Kurzschlußwiderstand meßtechnisch ermitteln. Bei wachsender Leitungslänge nähern sich Leerlauf- und Kurzschlußwiderstand einander und dem Wellenwiderstand der Leitung.

Aus den Werten:  $\mathfrak{W}_l = \mathfrak{Z} \text{ Ctg } \gamma l$  und  $\mathfrak{W}_k = \mathfrak{Z} \text{ Tg } \gamma l$  ergeben sich bei kurzen Stichen ( $\beta l = 0$ )

$$\mathfrak{W}_{al} = \mathfrak{Z} \text{ Ctg } \alpha l, \quad \mathfrak{W}_{ak} = \mathfrak{Z} \text{ Tg } \alpha l \quad (51 a)$$

und gemäß (15) mit  $\alpha = \frac{2\pi f}{c}$

$$\mathfrak{W}_{al} = \mathfrak{Z} \text{ Ctg } \frac{2\pi f}{c} l, \quad \mathfrak{W}_{ak} = \mathfrak{Z} \text{ Tg } \frac{2\pi f}{c} l, \quad (51 b)$$



die den in der Anmerkung zu S. 26 zugrunde gelegten Formeln entsprechen. Aus diesen sind dort die kritischen Werte der Leitungslänge für die Energievernichtung durch kurze Stichleitungen sowie die zweckentsprechenden Länge von Abzweigleitungen als Hochfrequenzsperrern errechnet.

### Ic) Dämpfung und Wirkungsgrad der Hochfrequenzübertragung.

Wir haben zur Voraussetzung der vorstehenden Überlegungen gemacht, daß der Hochfrequenzerzeuger zwischen zwei Phasen einer etwa 100 km langen Hochspannungsleitung geschaltet würde. Das Vorhandensein eines dritten Leiters haben wir bewußt vernachlässigt. Wird der HF-Apparatewiderstand gleich dem Wellenwiderstand der Leitung gemacht, so gelten die Beziehungen (40), (41) zwischen Spannung und Strom am Leitungsanfang und -ende mit ziemlicher Annäherung. Die Dämpfung  $b = \beta l = \frac{R}{2Z}$  nach (22) ist entsprechend Anmerkung zu S. 41 für 100 kHz bei einer 100 km langen 100 kV-Leitung etwa gleich 1 Neper. Damit ist, wie gezeigt, die Spannung am Leitungsende auf den „ $e$ “-ten Teil also etwa  $\frac{1}{3}$ , die Leistung auf den „ $e^2$ “-ten Teil, also auf  $\frac{1}{7,4}$  gesunken. Einer Sendeleistung von  $N_0 = 3$  W am Leitungsanfang entspricht eine am Leitungsende empfangene Leistung von rund  $N_e \approx 0,4$  W. Der Wirkungsgrad — starkstromtechnisch gesprochen — von

$$\eta = \frac{N_e}{N_0} = e^{-2\beta l} \tag{52}$$

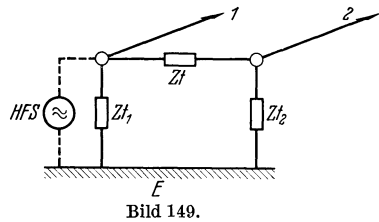
— selbst bei dieser relativ sehr günstigen Leitung — beträgt nur 13%.

### Id) Einphasige Ankopplung.

Wie ändern sich nun die Verhältnisse, wenn man den Hochfrequenzerzeuger anstatt zwischen Phase 1 und 2 zwischen Phase 1 und Erde  $E$  schaltet, also einphasig ankoppelt?

Für diesen Fall hat Wolman eine sehr überzeugende Darstellung gegeben:

Die Hochfrequenzspannung teilt sich im Verhältnis der Teilwellenwiderstände (entsprechend den Teilkapazitäten) auf. Wir wissen bereits, daß der Wellenwiderstand  $Z_t$  zwischen den Phasen 1 und 2 etwa 600 bis 700  $\Omega$ , der zwischen 1 und Erde bzw. zwischen 2 und Erde etwa 350 bis 400  $\Omega$  beträgt. Demnach liegt also etwa  $\frac{2}{3}$  der Gesamtspannung zwischen 1 und 2.



Zur Verdeutlichung des Übertragungsvorganges zerlegt man die aufgedrückte Welle in eine gegen Erde symmetrische zwischen den

Leitern 1 und 2 sowie in eine simultane Welle zwischen Leiter 1, 2 einerseits und Erde andererseits.

Wie Bild 150 zeigt, heben sich die Ströme der symmetrischen und un-symmetrischen Teilwelle im Anfang des nicht gekoppelten, also offenen Leiters 2 auf, da sie gleich groß und entgegengesetzt gerichtet sind. Für die symmetrische Spannungswelle zwischen den Leitern 1 und 2 ist die Erde stromlos. Diese Welle pflanzt sich daher mit der geringen Kupferdämpfung der Leiter fort. Die Teilwelle gegen Erde dagegen erfährt die hohe Erdstromdämpfung (vgl. S. 43). Nach wenigen Kilometern ist sie praktisch verschwunden, nur die gegen Erde symmetrische Teilwelle ist noch vorhanden.

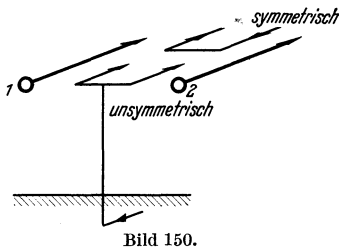


Bild 150.

Empfängt man an einem fernen Leitungspunkt die Spannung wieder bei weiterlaufender Leitung zwischen Phase 1 und Erde, so erhält man im hochohmig an die Leitung gekoppelten Empfänger die Hälfte der dort ankommenden Teilspannung.

Bezeichnet man nach S. 43 den Überschuß der Übertragungsdämpfung über die reine Kupferdämpfung als „Einphasenzusatzdämpfung“, so errechnet sich diese sendeseitig zu  $\beta_{zs} = \ln \frac{2}{3} = 0,4$  Neper und empfangsseitig zu  $\beta_{ze} = \ln 2 = 0,7$  Neper, zusammen also zu  $\beta_z = 1,1$  Neper. Die Zusatzdämpfung liegt also in unserem Fall in der gleichen Größenordnung wie die reine Leitungsdämpfung, und die Gesamtdämpfung bei einphasiger Ankopplung verdoppelt sich damit gegenüber der bei zwischenphasiger Ankopplung. Allgemein gesprochen aber tritt eine additive Konstante in der Größe von rund 1 Neper für Sende- und

Empfangsstelle als Zusatzdämpfung zu der bei zwischenphasiger Ankopplung wirksamen Leitungsdämpfung. Sie ist auch an den Brückenstellen zu berücksichtigen.

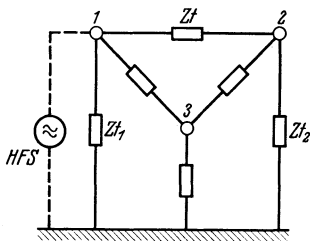


Bild 151.

### Ie) Einfluß weiterer Phasen.

Nach der gleichen Überlegung kann man auch den Einfluß weiterer Phasen auf die Übertragung abschätzen. An der Sendestelle erfolgt wieder eine Aufteilung der Spannung entsprechend den Teilwellenwiderständen, für eine einfache Drehstromleitung z. B. also gemäß Bild 151. Auch hier kann man die Gesamtwellen wieder in zwei Teilwellen zerlegen, von denen die symmetrische sich fortpflanzt, während die mit Erdrückleitung bald verschwindet.

## IIa) Betrachtung von Leitung, Sperr- und Koppelfilter als Vierpole.

Für die vorstehende rechnerische Überlegung war zur Vereinfachung angenommen (Bild 148), daß Hochfrequenzsender und -empfänger direkt an die spannungslose Hochspannungsleitung geschaltet wären. Unter normalen Betriebsverhältnissen sind sie über Koppelfilter mittels Kondensatoren, deren Kapazität den durchgelassenen Frequenzbereich mitbestimmt, an die Hochspannungsleitung angeschlossen (vgl. Bild 29). Die Filter sind als Vierpole anzusehen, ebenso wie auch die Vierpolsperre. Um die Grenzen ihrer Anwendbarkeit auf Hochspannungsleitungen zu erkennen, betrachten wir nachstehend ihre wichtigsten physikalischen Eigenschaften. Bei der homogenen Leitung hatten wir erwähnt, daß sie als aus hintereinandergeschalteten Kettengliedern, die Vierpole darstellen, bestehend angesehen werden kann.

In Anlehnung an Gleichung (33), (34) können wir die Beziehungen zwischen Eingangsspannung bzw. -strom,  $U_1, \mathfrak{I}_1$  und Ausgangsspannung bzw. -strom,  $U_2, \mathfrak{I}_2$ , folgendermaßen schreiben, wenn dieser Vierpol das komplexe Übertragungsmaß (= Fortpflanzungskonstante der Leitung)  $g = b + ia$ , wo  $b$  die Dämpfungskonstante,  $a$  das Winkelmaß bedeutet, und den Kennwiderstand  $\mathfrak{Z}$  (= Wellenwiderstand der Leitung) besitzt:

$$U_1 = U_2 \operatorname{Cof} g + \mathfrak{I}_2 \mathfrak{Z} \operatorname{Sin} g, \tag{53}$$

$$\mathfrak{I}_1 = \mathfrak{I}_2 \operatorname{Cof} g + \frac{U_2}{\mathfrak{Z}} \operatorname{Sin} g. \tag{54}$$

Mit  $g$  und  $\mathfrak{Z}$  ist der symmetrische Vierpol, bei dem man Anfang und Ende beliebig vertauschen kann, eindeutig bestimmt.

Wir können Koppelfilter wie Vierpolsperre als ein sogenanntes Kettenglied zweiter Art (K. W. Wagner) mit zwei Längswiderständen  $\mathfrak{R}_1, \mathfrak{R}_2$  und einem Querwiderstand  $\mathfrak{R}_3$  betrachten.

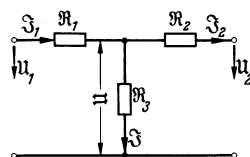
Aus den Kirchhoffschen Sätzen ergibt sich mit den im Bild 152 eingetragenen Bezeichnungen für einen symmetrischen Vierpol, bei dem  $\mathfrak{R}_1 = \mathfrak{R}_2 = \frac{\mathfrak{R}}{2}$ :

$$U = U_2 + \mathfrak{I}_2 \frac{\mathfrak{R}}{2}, \tag{55}$$

$$\mathfrak{I} = \frac{U}{\mathfrak{R}_3} = \frac{U_2 + \mathfrak{I}_2 \frac{\mathfrak{R}}{2}}{\mathfrak{R}_3}, \tag{56}$$

$$\mathfrak{I}_1 = \mathfrak{I} + \mathfrak{I}_2 = \frac{U_2}{\mathfrak{R}_3} + \left(1 + \frac{\mathfrak{R}}{2\mathfrak{R}_3}\right) \mathfrak{I}_2, \tag{57}$$

$$U_1 = U + \mathfrak{I}_1 \frac{\mathfrak{R}}{2} = U_2 \left(1 + \frac{\mathfrak{R}}{2\mathfrak{R}_3}\right) + \mathfrak{I}_2 \mathfrak{R} \left(1 + \frac{\mathfrak{R}}{4\mathfrak{R}_3}\right). \tag{58}$$



Vergleicht man (58) mit (53), so erhält man:

$$\mathfrak{C} \operatorname{of} g = 1 + \frac{\mathfrak{R}}{2 \mathfrak{R}_3} = \mathfrak{A}, \quad (59)$$

$$3 \operatorname{Sin} g = \mathfrak{R} \left( 1 + \frac{\mathfrak{R}}{4 \mathfrak{R}_3} \right) = \mathfrak{B}, \quad (60)$$

Vergleicht man (57) mit (54), so ergibt sich:

$$\frac{1}{3} \operatorname{Sin} g = \frac{1}{\mathfrak{R}_3} = \mathfrak{C}. \quad (61)$$

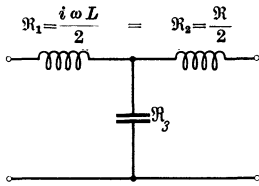


Bild 153.

Damit kann man die Gleichungen für den symmetrischen Vierpol schreiben:

$$\mathfrak{U}_1 = \mathfrak{A} \mathfrak{U}_2 + \mathfrak{B} \mathfrak{I}_2, \quad (62)$$

$$\mathfrak{I}_1 = \mathfrak{C} \mathfrak{U}_2 + \mathfrak{A} \mathfrak{I}_2. \quad (63)$$

Die Determinante der Koeffizienten von (62) und (63) ist mit Einsatz von (59) bis (61):

$$\mathfrak{A}^2 - \mathfrak{B} \mathfrak{C} = \left( 1 + \frac{\mathfrak{R}}{2 \mathfrak{R}_3} \right)^2 - \left( 1 + \frac{\mathfrak{R}}{4 \mathfrak{R}_3} \right) \frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_3} = \mathfrak{C} \operatorname{of}^2 g - \operatorname{Sin}^2 g = 1. \quad (64)$$

Wir setzen bei der Vierpolsperre nach Bild 153 (24c), die eine Drosselkette oder Spulenleitung darstellt, zunächst voraus, daß Spulen und Kondensatoren verlustlos sind.

Wir berechnen das Übertragungsmaß  $g$  und den Kennwiderstand  $3$ . Mit (59) wird

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{C} \operatorname{of} g = 1 + \frac{\mathfrak{R}}{2 \mathfrak{R}_3} = 1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{C}}{2}, \quad (65)$$

wobei

$$\mathfrak{R}_1 = \frac{\mathfrak{R}}{2} = \frac{i \omega L}{2}, \quad \mathfrak{C} = \frac{1}{\mathfrak{R}_3} = i \omega C \quad (66)$$

ist.

Aus (65) folgt  $\mathfrak{C} \operatorname{of} g - 1 = 2 \operatorname{Sin}^2 \frac{g}{2} = \frac{1}{2} \mathfrak{R} \mathfrak{C}$ , woraus

$$\operatorname{Sin} \frac{g}{2} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R} \mathfrak{C}}{4}}. \quad (67)$$

Nach (66) ist

$$\frac{\mathfrak{R} \mathfrak{C}}{4} = -\omega^2 \frac{LC}{4}. \quad (68a)$$

und, wenn man

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad (69)$$

setzt,

$$\frac{\mathfrak{R} \mathfrak{C}}{4} = -\frac{\omega^2}{\omega_0^2}. \quad (68b)$$

(68b) in (65) eingesetzt ergibt

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{C} \operatorname{of} g = 1 - 2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}. \quad (70)$$

Aus (60), (61), (66) und (68a) folgt der Kennwiderstand

$$3 = \sqrt{\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{C}}} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R} + \frac{\mathfrak{R}^2 \mathfrak{C}}{4}}{\mathfrak{C}}} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{C}}} \sqrt{1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{C}}{4}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{1 - \frac{\omega^2 LC}{4}} \quad (71)$$

bzw. mit (68 b) 
$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}.$$

Man erkennt hieraus, daß der Wellenwiderstand reell ist, solange  $\frac{\omega}{\omega_0} < 1$ .

Auch  $\mathfrak{Cof} g$  muß in unserem Beispiel reiner Blindwiderstände eine reelle Zahl sein. Nach der Definition ist aber

$$\mathfrak{Cof} g = \mathfrak{Cof} (b + i a) = \mathfrak{Cof} b \cos a + i \mathfrak{Sin} b \sin a, \quad (72)$$

also komplex.

Für unser Beispiel ist

$$\mathfrak{Cof} g = \mathfrak{Cof} b \cos a, \quad (73)$$

d. h.

$$\mathfrak{Sin} b \sin a = 0. \quad (74)$$

Die Bedingung (74) ist erfüllt, wenn

1.  $\mathfrak{Sin} b = 0$ , d. h.  $b = 0$  und  $\mathfrak{Cof} b = 1$ . Damit folgt aus (73) und (65)

$$\mathfrak{Cof} g = \mathfrak{A} = \cos a. \quad (75)$$

Hierfür war vorausgesetzt, daß  $b = 0$ , d. h. keine Dämpfung vorhanden ist. Oder

2.  $\sin a = 0$ . Das erfordert

a)  $a = 0$ . Damit wird  $\cos a = +1$  und nach (73) und (65)

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{Cof} b \text{ oder} \quad (76)$$

β)  $a = \pi$ , womit  $\cos a = -1$  und nach (73) und (65)

$$\mathfrak{Cof} b = -\mathfrak{A}. \quad (77)$$

Da nun der trigonometrische Cosinus nie einen größeren Betrag als 1, der Hyperbelkosinus nie einen, der kleiner als 1 ist, hat, liegt im Falle (75)  $\mathfrak{A}$  zwischen +1 und -1.

Im Falle (76), (77) ist  $\mathfrak{A} > 1$  und liegt außerhalb dieses Bereiches.

Der erste Bereich (75) wird *Durchlaßbereich*, der zweite (76), (77) *Sperrbereich* der Siebkette genannt. Die Grenzen zwischen den Frequenzen heißen *Grenzfrequenzen*. Im Durchlaßbereich ist die Dämpfung  $b = 0$ , das Winkelmaß  $a$  ändert sich. Der

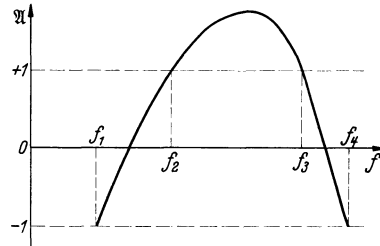


Bild 154.

Kennwiderstand ist im Durchlaßbereich reell, im Sperrbereich wird er imaginär. Im Sperrbereich steigt die Dämpfung mit der Frequenz. Das Winkelmaß bleibt konstant.

Um allgemein die Grenzen zwischen Durchlaß- und Sperrbereich festzustellen, berechnet man  $\mathfrak{A}$  nach (70) für verschiedene Frequenzen  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  und zeichnet die entsprechende Kurve auf. Die Schnittpunkte dieser Kurve mit den zur Frequenzachse im Abstand  $\pm 1$  gezogenen Parallelen ergeben die Grenzen der Bereiche. Im Bild 154 liegen die

Durchlaßbereiche zwischen  $f_1-f_2$  und  $f_3-f_4$ , die Sperrbereiche zwischen  $0-f_1$ ,  $f_2-f_3$  und  $f_4-\infty$ .

Im Falle der *Drosselkette* (Vierpolsperre) hat die Dämpfung  $b$  etwa den im Bild 155 gezeichneten Verlauf. Die Grenzfrequenz  $\omega = \omega_0$  trennt den Durchlaßbereich vom Sperrbereich. Der erstere ist praktisch dämpfungslos. Im letzteren wächst die Dämpfung nach (70)  $\Re\{b\} = 1 - \frac{2\omega^2}{\omega_0^2}$  mit

$$b = 2 \Re\{ \Re\} \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (78)$$

Je höher also  $\omega$  bzw. die Trägerfrequenz  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  liegt, um so größer wird die Dämpfung. Je größer man die im Zuge der Hochspannungsleitung liegenden Längsinduktivitäten  $\frac{L}{2}$  und die mit voller Phasenspannung beanspruchte Querkapazität  $C$  machen kann, um so tiefer liegt

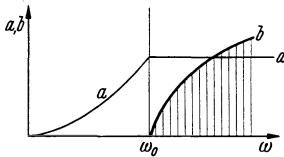


Bild 155.

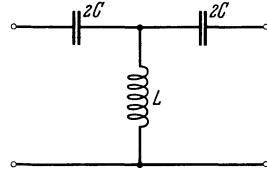


Bild 156.

nach (69) die Grenzfrequenz, bei der der Sperrbereich anfängt. Dies ist für die Allwellenvierpolsperre von Bedeutung. Leider erfordert die einfache Drosselkette zu große Längsinduktivitäten und Querkapazitäten, um als Allwellenübersprechersperre auf Hochspannungsleitungen brauchbar zu sein. Man kann nur Abwandlungen von ihr zur Sperrung breiterer Frequenzbänder benutzen.

Bei der *Kondensator-kette*, die man zur Ankopplung verwenden kann, ist nach Bild 156

$$\Re = \frac{1}{i\omega C}; \quad \Im = \frac{1}{i\omega L}, \quad (79)$$

und damit

$$\frac{\Re \Im}{4} = -\frac{1}{4\omega^2 LC} = -\frac{\omega_0^2}{\omega^2}, \quad (80)$$

wobei

$$\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{LC}}. \quad (81)$$

Damit wird nach (71)

$$\mathfrak{z} = \sqrt{\frac{\Re}{\Im}} \sqrt{1 + \frac{\Re \Im}{4}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}}. \quad (82)$$

Für die Dämpfung  $b$  erhält man die in Bild 157 dargestellte Kurve. Man erkennt hieraus folgendes: Je größer die Koppelkapazität  $\frac{\Re}{2} = 2C$

gemacht wird, um so tiefer liegt die Grenzfrequenz  $\omega_0$  und um so tiefer beginnt der Durchlaßbereich des Koppelfilters.

Man kann die Gleichung (81) für die Grenzfrequenz der Kondensator-kette  $\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$  auch schreiben

$$\omega_0 = \frac{1}{2CZ_0} \quad (83)$$

Hieraus sieht man, daß sich die Grenzfrequenz nicht nur durch Vergrößerung der Koppelkapazität  $2C$  verkleinern und damit der Durchlaßbereich der Kondensator-kette für die anzukoppelnden Frequenzen vergrößern läßt, sondern auch durch die Erhöhung des Kennwiderstandes  $Z_0$  des Filters.

Aus Gleichung (39) und IIc ergibt sich aber, daß die kleinste Betriebsdämpfung erzielt wird, wenn der Kennwiderstand des Filters dem Leitungswellenwiderstand  $Z$  angepaßt wird. Es läßt sich jedoch errechnen, daß eine Fehlanpassung von  $\frac{Z_0\text{-Filter}}{Z\text{-Leitung}}$  bis zu 2 gehen kann, ohne daß man die Betriebsdämpfung um mehr als etwa 0,15 Neper vergrößert. Durch die Fehlanpassung kann man andererseits die untere Grenze der Kondensator-kette bei  $2C = 2000 \text{ cm}$  bis etwa 50 kHz herabdrücken.

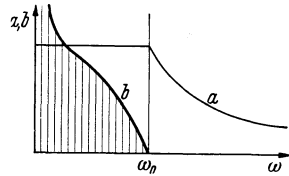


Bild 157.

### IIb) Vierpole mit Verlusten.

Wir haben bei den obigen zwei Beispielen vorausgesetzt, daß es sich bei Spulen und Kapazitäten um *verlustlose* Blindwiderstände handelt. Tatsächlich sind aber Spulen und Kondensatoren mit *Verlustwiderstand* und *Ableitung* behaftet. Damit ergibt sich auch im *Durchlaßbereich* der Filter eine bestimmte *Dämpfung*, die sich nach der genauen Formel für das Übertragungsmaß berechnen läßt.  $\mathfrak{A}$  wird dann komplex. Die Verluste betragen i. a. nur wenige Zehntel Neper.

Bei Abschluß der Filter mit Ohmschen Widerständen treten zusätzliche Dämpfungen auf.

### IIc) Betriebsdämpfung eines Vierpols.

Die Betriebsdämpfung eines Vierpols ist folgendermaßen festgelegt: Ein Generator mit der EMK  $\mathfrak{E}$  und dem inneren Widerstand  $R_i$  arbeitet direkt auf einen Ohmschen Widerstand  $R_a$ . Durch diesen fließt dann ein Strom

$$\mathfrak{I} = \frac{\mathfrak{E}}{R_i + R_a} \quad (84)$$

Dabei wird eine Leistung

$$N = |\mathfrak{S}|^2 R_a = \frac{|\mathfrak{G}|^2 R_a}{|\Re_i + \Re_a|^2} \quad (85)$$

verbraucht, wobei  $|\mathfrak{S}|$  und  $|\mathfrak{G}|$  Effektivwerte sind.

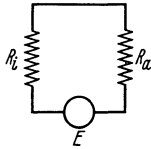


Bild 158.

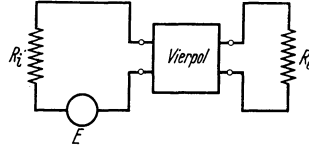


Bild 159.

Im Anpassungsfall  $R_i = R_a$  wird die Leistung am größten, die der Sender abgeben kann:

$$N_1 = \frac{|\mathfrak{G}|^2}{4R_i}. \quad (86)$$

Läßt man nun den Generator auf den Vierpol, der mit dem Nutzwiderstand  $R_e$  abgeschlossen ist, arbeiten, so nimmt  $R_e$  eine Leistung

$$N_2 = |\mathfrak{S}_e|^2 R_e \quad (87)$$

auf.

Das Verhältnis von  $N_1$  zu  $N_2$ , also der maximal abgebbaren zur tatsächlich empfangsseitig aufgenommenen Leistung wird gleich  $e^{2b}$  gesetzt, wobei  $b$  die Betriebsdämpfung bedeutet:

$$e^{2b} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{|\mathfrak{G}|^2}{|\mathfrak{S}_e|^2} \frac{1}{4R_i R_e}. \quad (88)$$

Daraus folgt die *Betriebsdämpfung*

$$b = \frac{1}{2} \ln \frac{N_1}{N_2}. \quad (89^*)$$

Die Betriebsdämpfung im Durchlaßbereich wird bei den Frequenzen am kleinsten, bei denen die Abschlußwiderstände des Filters gleich seinem Wellenwiderstand sind.

Bei den Koppelfiltern ist die Anpassung des Kennwiderstandes des  $Z_0$  des Filters an den Wellenwiderstand  $Z$  der Leitung häufig mit Rücksicht auf die erforderliche Verbreiterung des Durchlaßbereiches (vgl. S. 201) nicht möglich.

\* Pohlmann: Elektr. Nachr.-Techn. (3. 8. 1926).



## Namenverzeichnis.

Arco 6, 27.

Baranowsky 7.

Bloeck 164.

Boddie 7.

Breisig 40.

Brückersteinkuhl 41, 47.

Cooke 7.

Damjanovic 66.

Dreßler 6, 7, 15.

Fallou 7.

Fischer 165.

Fitzgerald 7.

Fuller 6.

Gabriel 7.

Gewecke 6, 15, 42.

Habann 6, 27, 38, 41, 94, 95, 158, 187.

Henning 64.

Herrmann 119.

Heyken 156.

Hitchcock 56.

Hölzer 54.

Jipp 66.

Johnson 7.

Kaden 41, 48.

Keinath 7.

Klößkener 49, 140.

Küpfmüller 187.

Lindemann 7.

Löbner 32.

Löfgreen 7.

Miller, von 4.

Nakamura 6.

Neu 6.

Neugebauer 7, 67, 72.

Pfahler 156.

Pohlmann 202.

Poli 97.

Pütz 6.

Regerbis 17.

Reinauer 7.

Riedel 7, 72.

Rössler 41.

Roloff 58.

Rüdenberg 6, 42, 43.

Ruhmer 6.

Rukop 6.

Sarros 6.

Schleicher 7, 61.

Sporn 6.

Squier 6.

Stäblein 61, 64.

Stone-Stone 6.

Tolson 6.

Urtel 79, 83.

Viltig 66, 79, 83, 187.

Vogel 58.

Wagner 31.

Wallot 33, 187.

Wilde 7.

Wolfe 6.

Wolford 7.

Wolman 7, 148, 195.

## Sachverzeichnis.

- Abhörbarkeit 45, 60.  
Allwellensperre 30, 127, 200.  
Amplitudengrenzer 108, 114.  
Anheizzeit 77, 149.  
Ankopplung 14, 195, 200.  
Anpassung 36, 41, 192, 201.  
Antennenkopplung 14, 93.  
Antennensperren 26, 195.  
Automatik 4, 77, 148.
- Bandbreite 49, 59, 68, 75, 160.  
Bandfilter 32, 75, 126, 159, 200.  
Betriebsdämpfung 202.  
Betriebssperren 29, 30.  
Bezirksaufschaltung 77, 152.  
Blitzseil als Antenne 15.
- Dämpfung 42, 195.  
Dämpfungskonstante 41, 188, 190, 197.  
Dämpfungszeiger 179.  
Dauerübertragung (kontinuierliche) 60, 76.  
Demodulation 75, 80, 90, 115, 140.  
Doppelmodulation 58, 75.  
Drahtlose Übertragungen 11.  
Drosselkette 92, 198, 200.  
„Duplex“-Verkehr 57, 79.  
Durchlaßbereich 32, 181, 199.
- Echoschaltung 68.  
Einfrequenzsprechsystem 53.  
Einkanalgeräte 53, 55, 78.  
Einphasenkopplung 42, 45, 195.  
Einphasenzusatzdämpfung 43, 137, 196.  
Einseitenbandgeräte 113.  
Einseitenbandübertragung 49, 53, 58 ff.  
Eintontelegrafie 65, 102, 158.  
Endstufe 73, 114.  
Endverkehr 68, 107.  
Erdrückleitung 42.  
Erdseil für HF-Vielfachverkehr 10, 166.
- Fehlanpassung 201.  
Fernaufschaltung 77, 153.  
Fernmessung 2, 4, 60 ff., 121, 157.  
Fernschreiber 61, 65.
- Fernsprechnet, öffentliches 8.  
Fernsteuerung 2, 4, 64, 102, 124.  
Flankensteilheit 74, 160.  
Fortpflanzungskonstante 188, 197.  
Freiluftkondensator 16, 17, 163.  
Freizeichen 77, 152.  
Frequenzabstände 49.  
Frequenzbereich 46.  
Frequenzgang 167, 184.  
Frequenzmangel (52), 136, 138.  
Frequenzmesser 172, 183.  
Frequenzschema (5 kHz) 49, 69.  
Frequenzstabilität 87.  
Frequenzwahl 47.  
Fünferalphabet 66.
- Gabelschaltung 55, 76, 120.  
Gegensprechverkehr 76, 136.  
Gesprächsdisziplin 54.  
Grenzfrequenzen 199.
- Handdrehgenerator 93, 97.  
Handumschaltung 55.  
Hartley-Schaltung 79.  
Hautwirkung der HF-Ströme 32, 40, 42, 190.  
Heising-Schaltung 83.  
Heißleiter 103, 151.  
HF-Kabel 10, 166.  
HF-Netz 136, 141, 142, 161.  
HF-Summer 169.  
Hitzdrahtinstrument 166.  
Hochfrequenzgabel 56.  
Hochspannungstelefonanlage 10, 165.
- Impulsfrequenzverfahren 61.  
Impulskorrektur 62, 143, 156, 157.  
Impulsschreiber 157, 185.  
Induktivität einer Hochspannungsfrei-  
leitung 189.  
— einer Sperre 30, 200.  
Innenraumkondensator 15.
- Kabelnetz 8.  
Kapazität einer Hochspannungsfrei-  
leitung 189.

- Kapazität eines Kondensators 17.  
 Kleingerät 104, 109.  
 Klirrfaktor 177.  
 Kondensatorreihe 18, 200.  
 Konferenzverkehr 78, 144.  
 Koppelfilter 36 ff., 75, 100, 160, 197.  
 Koppelkondensator 3, 15 ff.  
 Kurzschlußwiderstand 194.
- Lastverteiler 1, 142.  
 Leerlaufwiderstand 194.  
 Leistungspegel 178.  
 Leitungsabstimmkreise 38, 96.  
 Leitungs-ausrüstung 12, 13, 163, 183.  
 Leitungsbelegung 77, 151.  
 Leitungsgerichtete Übertragung 40.  
 Linienverkehr 107, 112, 138, 140.  
 Lochstreifen 65.
- Maschinengeber 65.  
 Mehrfachankopplung 142, 158.  
 Mehrfachbetrieb 9.  
 Mehrfach modulierbare HF-Geräte 124, 128.  
 Mehrwegeautomat 155.  
 Meßgeräte 166.  
 Meßsender 168.  
 Mischrohr 73, 79.  
 Modulationsgrad 51, 74, 125, 182.  
 Modulationsgradbegrenzer 86.  
 Modulationsvorgang 51.
- Nachbildung 55, 76, 145.  
 Nachwählen 77.  
 Netzgruppenverkehr 8.  
 Netzplan 162.  
 Niederfrequenzfernsprechnetz 8, 119.  
 Normalgenerator 174, 184.  
 Notstromaggregat 100.  
 Nutzpegel 69, 125.
- Ortsaufschaltung 77, 152.
- Pegeldiagramm 137, 177.  
 Pegelregelung 63, 76, 80, 93, 99, 108, 123, 126, 150, 182.  
 Pegelunterschied 49, 59, 76, 114, 120.  
 Pegelzeiger 167, 179.  
 Pfeifen 54, 76, 120, 138, 145.  
 Pick-up 81.  
 Poulsonsches Telegrafonprinzip 81.
- Quarzfilter 58, 75.  
 Quarzsteuerung 124.
- Raureif 41, 48, 190, 195.  
 Räumliche Dämpfung 41, 190.  
 Reflexionsfaktor 192.  
 Reichweite, Großgeräte 92, 99.  
 — Kleingeräte 104, 110.  
 — Weitverbindung 143.  
 — Zwischenverstärker 137.  
 Resonanzabstimmung der Sperren 25, 29, 30.  
 Restdämpfung 178, 180, 184.  
 Ringmodulatoren 59, 114.  
 Röhrenvoltmeter 166, 170, 193.  
 Rückauslösung 101, 149.  
 Rückkopplungssperre 54.  
 Ruf 76, 77, 151.  
 Rufnummernzahl 78, 146, 155.  
 Rufrückmeldung 91, 152.  
 Ruhestromverfahren 67 ff., 71.
- Schalterstellungsmeldung 61, 63, 157.  
 Scheinwiderstandsmessung 120, 179.  
 Scheringbrücke 23.  
 Schutz Einrichtung 10, 165.  
 Schlußzeichen 77, 153.  
 Schwebungsverfahren (Interferenzverfahren) 123, 133.  
 Schwingquarz 133.  
 Seitenbänder 49, 52, 74.  
 Selbstanschlußbetrieb 8, 76, 148, 151.  
 Selektivität (Trennschärfe) 49, 76, 104, 122, 131.  
 Selektivschutz (von Leitungen) 2, 4, 60, 61.  
 — einer Drehstromleitung 67, 102.  
 — zweier Drehstromleitungen 70, 102, 121, 134, 147, 163.  
 Sendeleistung 46, 59, 74, 79, 83, 87, 94, 128, 168.  
 Sendeverstärker 120, 170.  
 Sicherungseinrichtung 35 ff.  
 Siemens-Hell-Schreiber 11, 66.  
 Silimanit 27.  
 Simplexverkehr 55, 79.  
 Sofortbelegung 152.  
 Spannungspegel 178 ff.  
 Speicher 77, 101, 155.  
 Sperrbereich 31, 199, 200.  
 Sperren 3, 25 ff., 183, 200.  
 Sprachqualität 75, 100, 104, 119, 143, 166.  
 Sprachsteuerung 56, 81.  
 Sprachverstärker 73, 79.

- Sprechbezirk 136ff., 141.  
 Sprechdichte 62, 138.  
 Sprechwegumsteuerung 54, 81.  
 Spulenleitung 32, 198.  
 Stichleitung 13, 25, 26, 194.  
 Störpegel 60, 69, 74, 121, 123, 137, 178.  
 Störpegelabstand 60, 69, 74, 114, 121, 144.  
 Stoßbeanspruchung, Kondensator 25.  
 — Sperre 27.  
 Strahlenverkehr 94, 138.  
 Stromverdrängung 32, 40, 42, 190.  
 Stromreiniger 170.
- Tastgeräte 121ff., 127.  
 Tonfrequenz-Meßkoffer 170, 175.  
 Tonfrequenzmessung 167, 184.  
 Tonräder 125.  
 Tonruf 70, 74, 115, 151.  
 Trägerfrequenzersparnis durch Kombination 72.  
 Trägerstrommessung 167, 168ff.  
 Trägertastung 74, 122, 151.  
 Tragbare Meßgeräte 167ff.  
 Tragbares Gerät 93, 97, 104.  
 Trennschalterbrücke 14, 38ff.  
 Tungar-Gleichrichter 82.
- Überbrückung 14, 38, 136ff.  
 Überlagerung 61, 69, 123.  
 Übersprechsperre 30, 31ff., 200.  
 Übertragungsvorgang 40, 187ff.  
 Unterlagerung 61, 103, 109.  
 Unterlagerungsverfahren 68.
- Verbundwirtschaft 1, 4.  
 Verlustwinkel 23, 24, 48.  
 Verriegelung der Teilnehmer 100, 150.  
 Verstärkungsgrad 79, 137.  
 Verzerrung 51, 57, 143, 179.  
 Vielfachausnutzung (Sperren) 60.  
 Vierdrahtdurchschaltung 143, 155.  
 Vierpol 192, 197ff.  
 Vierpolsperre 31, 200.
- Wahlruf (Selektivruf) 3, 94, 151, 153.  
 Wanderwellen 29, 30, 64, 74.  
 Wechselrichter 163.  
 Wellenfortpflanzung 187ff.  
 Wellenlänge 189.  
 Wellenmangel 5, 7, 52ff., 144.  
 Wellenwechsel 3, 94, 139.  
 — festgelegter 140, 150.  
 Wellenwiderstand 188.  
 — für Hochspannungsfreileitung 42.  
 — für Hochspannungskabel 42.  
 Winkelkonstante 188.
- Zeitkonstante 80, 123.  
 Zentralverkehr 139.  
 Zweidrahtverbindungen 119, 145.  
 Zweikanalgeräte 75, 83, 115.  
 Zweikanalsystem 53.  
 Zweipolsperre 27.  
 Zwischenfrequenz 113.  
 Zwischenphasenkopplung 43, 45.  
 Zwischensystemkopplung 44, 45.  
 Zwischenverstärker für Fernbedienung 135.  
 — für Telefonie 110, 117.  
 — Verstärkungsgrad 137, 144.