

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 26

Artikel: Leitungsgerichtete Hochfrequenz-Fernmessung
Autor: Stampfli, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060068>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 12.01.2026

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

Leitungsgerichtete Hochfrequenz-Fernmessung.

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 14. Dezember 1940 in Zürich,

von J. Stampfli, Zürich.

621.317.083.72

Es wird die hochfrequente Uebertragung von Messwerten auf Starkstromleitungen beschrieben. Auf die Erfassung des Messwertes (Impuls-Frequenz-System) wird nicht eingegangen.

L'auteur décrit la transmission en haute fréquence de valeurs de mesure sur lignes à fort courant, sans aborder la question de la reproduction de ces valeurs (système par impulsions de fréquences).

Allgemeines.

Bei Fernmess- und Fernmelde-Einrichtungen wird bei grösseren Entfernungen zwischen Sendende- und Empfangsort der Kostenanteil der Uebertragungsleitung, sei es ein Erdkabel, eine Schwachstromleitung längs Hochspannungsgestängen oder ein Luftkabel, verhältnismässig gross. Man ist deshalb schon vor bald zwanzig Jahren dazu übergegangen, die Starkstromleitungen selbst für die Nachrichtenübermittlung heranzuziehen. Die Lösung besteht darin, dass dem Starkstrom hochfrequente Trägerwellen überlagert werden.

Grundsätzlich kann jede Leitung als Uebertragungsmittel für Trägerströme verwendet werden. Eine Leitung ist für diesen Zweck um so besser geeignet, je grösser deren Leitungsquerschnitt und je besser deren Isolation ist. Ausserdem soll eine solche Leitung zwischen Sendende- und Empfangsort möglichst wenige Abzweige aufweisen. Diesen Anforderungen entsprechen insbesondere die modernen Hoch- und Höchstspannungsleitungen.

Da die Hochspannungsleitung in erster Linie zur Uebertragung von Energie dient, müssen Massnahmen ergriffen werden, damit durch die Fernmelde-Einrichtungen diese Hauptaufgabe nicht gestört wird. Andererseits muss dafür gesorgt werden, dass die Fernmelde-Apparate durch den Starkstrom weder gefährdet, noch beeinflusst werden und dass von der vom Hochfrequenz (HF)-Sender auf die Leitung gebrachten Energie ein möglichst grosser Anteil den Empfänger erreicht.

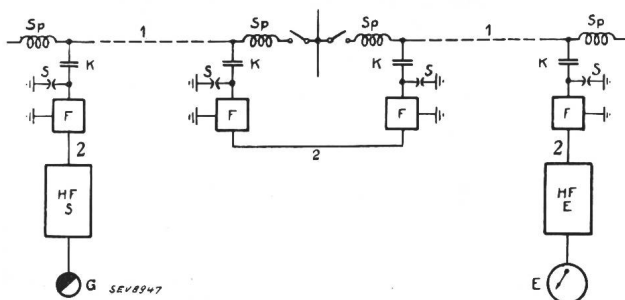


Fig. 1.

Schema einer leitungsgerichteten Hochfrequenz-Fernmelde-Anlage nach Siemens & Halske.

1 Starkstromleiter. 2 HF-Kabel. HFS Hochfrequenz-Sendegerät. HFE Hochfrequenz-Empfangsgerät. F Koppelfilter. K Kopplungskondensator. S Spannungsableiter. Sp Sperren. G Geber. E Empfänger.

Der Anschluss oder die Ankopplung der HF-Energie an die Starkstromleitung (Fig. 1) erfolgt kapazitiv mittels Kopplungskondensator K. Das Abfliessen des HF-Stromes in die Schaltanlage verhindern die Sperren Sp. Das Koppelfilter F hat die Aufgabe, eine möglichst verlustfreie Kopplung der Trägerwellen zu erzielen. Zur Sicherung der Schwachstromapparate gegen Kondensator-

bruch dient der Spannungsableiter S. Mit den Koppelfiltern sind durch HF-Spezialkabel verbunden, einerseits das HF-Sende- und andererseits das HF-Empfangsgerät. Die gesamten Einrichtungen werden als «Hochfrequenz-Kanal» bezeichnet.

Ueberbrückungen.

Liegen auf der Uebertragungsleitung Schaltstationen, so müssen diese durch HF-Ueberbrückungen umgangen werden. Wie Fig. 1 zeigt, besteht eine solche aus vollständigen Kopplungsmitteln und einer HF-Sperre am Ein- und Ausgang der Schaltstation. Ueberbrückungen bringen infolge der Verluste der Sperren für den HF-Kanal eine zusätzliche Dämpfung, so dass zwischen Sendende- und Empfangsort höchstens 2...3 solche zugelassen werden können. Sind mehr vorhanden, so ist Zwischen-Verstärkung erforderlich. Es tritt aber häufig der Fall ein, dass man bei Schaltstationen auf die Ueberbrückungen verzichten kann, weil bei geöffnetem Leitungsschalter der der Messwert-Uebertragung zugrundeliegende Energieaustausch nicht mehr stattfindet.

Ein- und Zweiphasenkopplung.

In Fig. 1 ist die einphasige Kopplung dargestellt, bei welcher die Erde als Rückleitung in den HF-Stromkreis eingeschaltet wird. Bei der Zweiphasen- oder Zwischenphasenkopplung wird gegenüber der Einphasenkopplung für einen HF-Kanal der doppelte Aufwand an Kopplungsmitteln erforderlich. Die Zweiphasenkopplung weist geringere Dämpfung, d. h. kleinere Verluste auf und bietet bei Leiterbruch grössere Sicherheit. Trotzdem wird in Europa mit Rücksicht auf die verhältnismässig kurzen Entfernungen und insbesondere aus wirtschaftlichen Ueberlegungen vorwiegend die Einphasenkopplung gewählt. In Amerika hingegen ist die Zwischenphasenkopplung mehr vertreten. Bei der Beurteilung der Einphasenkopplung ist zu berücksichtigen, dass die nicht angekoppelten Phasen eines Leitungssystems infolge der starken Verkopplung aller Leitungen untereinander und mit Erde bereits in geringer Entfernung vom Leitungsanfang sich an der Strom-Rückleitung beteiligen. Darin liegt auch die Erklärung dafür, dass unter Umständen selbst bei Leiter-Bruch der einzig angekoppelten Phase die Uebertragung nicht gestört wird.

Sperren.

Die Sperre ist eine Resonanz-Drossel; sie wird so bemessen, dass die Trägerwelle in ihr einen möglichst hohen Widerstand vorfindet, während der Widerstand für den 50periodigen Strom sehr gering ist; dieser beträgt ca. 20 Milliohm. Die

Sperren sind gebaut für einen maximalen Betriebsstrom von 400 A. Ueberlastungen mit dem zehnfachen Nennstrom und Stosskurzschluss-Ströme bis 30 000 A sind zulässig. Fig. 2 zeigt eine Sperre für Innenmontage. Für Freiluftmontage wird sie mit einem Ueberwurf versehen.

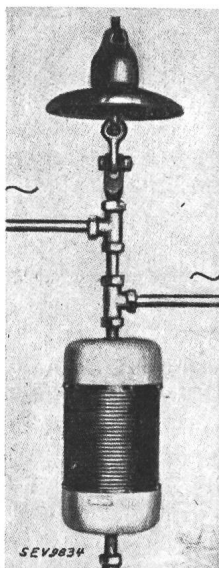


Fig. 2.
Sperre
für Innenmontage.

Kopplungskondensatoren.

Da die Kopplungskondensatoren zwischen Phase und Erde liegen, müssen sie bei Erdschluss für die Betriebsspannung isoliert sein. Die früher verwendeten Porzellankondensatoren wurden in den letzten Jahren durchwegs durch die Oel-Papierkondensatoren verdrängt. Diese bestehen aus ölgetränkten, aufeinandergesetzten Kondensatorwickeln. Sie lassen sich für die höchsten Betriebsspannungen herstellen, so dass nur ein einziges Element pro Ankopplung erforderlich wird. Für Freiluftausführung werden sie mit einem Silimanit-Ueberwurf versehen (Fig. 3).

Die Kondensatoren müssen je nach den vorliegenden Leitungsverhältnissen und Uebertragungsaufgaben eine Kapazität von 1000...2000 cm aufweisen. Diese stellt für die Netzfrequenz einen grossen Widerstand dar, während für die Hochfrequenz der Uebergang in Verbindung mit dem

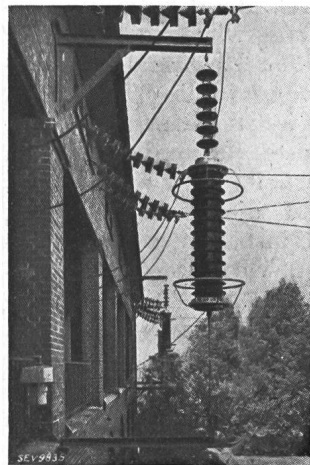


Fig. 3.
Koppelkondensator und
Koppelfilter für Freiluft-
montage.

Koppelfilter nahezu verlustfrei erfolgt. Der 50-periodige Ableitungsstrom beträgt beispielsweise bei einer Kapazität von 1000 cm und einer Spannung von 100 kV gegen Erde ca. 34 mA.

Grobspannungsableiter.

Dieser ist in der Lage, bei Durchschlag des Kondensators den vollen Erdungsstrom aufzunehmen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass selbst bei einem direkten Blitzschlag in den Kondensator die Schutzeinrichtung vollständig ausreicht, die ange-

schlossenen Geräte vor jeder Beschädigung zu bewahren.

Koppelfilter.

Das Koppelfilter (Fig. 3) stellt eine Induktivität dar und wird mit dem Kondensator in Serie geschaltet. Es wird damit ein Resonanzkreis geschaffen, wodurch eine nahezu verlustfreie Kopplung für die benützten Trägerfrequenzen und eine Anpassung des Leitungsscheinwiderstandes an das HF-Gerät erreicht wird. Durch den Einbau des Koppelfilters wird eine grosse Breite des Durchlassbereiches erzielt, so dass über eine einzige Ankopplung mehrere Trägerwellen gelegt werden können. Das an das Koppelfilter angeschlossene HF-Gerät kann in einem Abstand bis zu 500 m aufgestellt werden, was die Disposition der Anlage sehr erleichtert.

HF-Sende- und Empfangseinrichtungen.

Das HF-Sendegerät hat die Aufgabe, den HF-Strom, den sog. Trägerstrom, zu erzeugen und diesen durch die zu übertragenden Mess-, Steuer- oder Regel-Impulse so zu beeinflussen, dass die Nachrichten nach dem gewünschten Empfangsort übertragen und vom HF-Empfangsgerät empfangen werden können. Die Erzeugung des Trägerstromes erfolgt in einem Röhrengenerator. Das für den Elektrizitätswerks-Nachrichtendienst zur Verfügung stehende HF-Frequenzband ist auf den Bereich von 50...300 kHz, d. h. auf die Wellenlängen von 6000...1000 m behördlich beschränkt. Die ausserhalb dieses Bereiches liegenden Wellenlängen sind durch die drahtlosen Dienste und durch den Rundfunk belegt.

Es ist zu unterscheiden zwischen Tastsendern und modulierten Sendern. Handelt es sich nämlich um die Uebertragung von nur einem Messwert, so wird mit dem Fernmess-Impulsgeber direkt der HF-Strom getastet. Sollen dagegen mehrere Messwerte gleichzeitig übertragen werden, so bedient man sich der Modulation mit Zwischenfre-

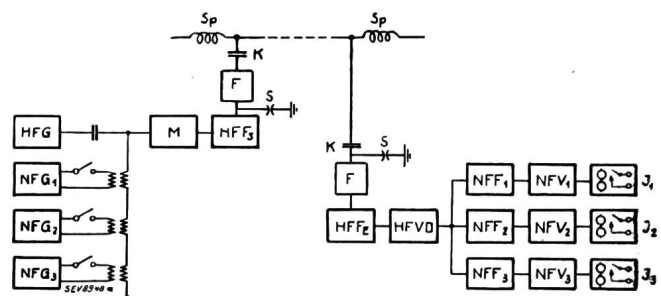


Fig. 4.

Uebersichts-Schaltbild einer Mehrfach-Fernmessanlage.

HFG	HF-Generator	HFV	HF-Verstärker und Demodulator
NFG _{1...3}	NF-Generatoren	NFF _{1...3}	NF-Filter
M	Modulations- und Endstufe	NFV _{1...3}	NF-Verstärker mit Pegelregler und Gleichrichter
HFFs	HF-Sendefilter	J _{1...3}	Impuls-Empfänger
F	Koppelfilter	S	Spannungsableiter
Sp	HF-Sperre		
HFFe	HF-Empfangsfilter	K	Kopplungskondensator

quenzströmen, wie dies ähnlich in der Wechselstromtelegraphie auf Fernsprechleitungen geschieht. Die Tonfrequenzen liegen zwischen 400 und 2400 Hz und können durch Röhrengenerato-

ren oder durch rotierende Tonfrequenzmaschinen erzeugt werden. Die einzelnen Zwischenfrequenzen werden unabhängig voneinander jeweils im Rhythmus der Fernmesszeichen des zugehörigen Gebers getastet und zusammen, durch Reihenschaltung der Spannung, dem Gitter eines Modulationsrohres zugeführt (Fig. 4). Durch ein HF-Sendefilter werden dann die bei jeder Modulation entstehenden Oberwellen des hochfrequenten Trägers von der Hochspannungsleitung zurückgehalten.

Auf der Empfangsseite wird zunächst durch ein Filter die zur Uebertragung der Fernmesszeichen verwendete Hochfrequenz von anderen auf derselben Leitung befindlichen Telephonie-, Mess- oder Störfrequenzen getrennt. Die gesiebte Trägerfrequenz wird in einer HF-Stufe verstärkt und gleichgerichtet. Durch die Gleichrichtung wird die Demodulation erreicht, d. h. es werden die Zwischenfrequenzen der einzelnen Fernmesszeichen wieder zurückgewonnen. Die Trennung der einzelnen Frequenzen erfolgt durch Niederfrequenz (NF)-Filter mit geringer Bandbreite, die jeweils nur eine Tonfrequenz und damit nur einen Messwert hindurchlassen.

Mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln ist man in der Lage, diese Tonfrequenzfilter mit grosser Steilheit zu bauen, so dass alle andern stö-

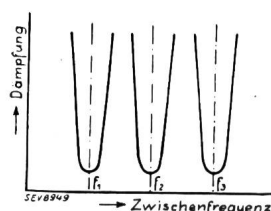


Fig. 5.
Charakteristik eines
Tonfrequenzfilters.

renden Frequenzen zurückgehalten werden (Fig. 5).

Im Niederfrequenz-Verstärker werden die hinter jedem Filter zur Verfügung stehenden Wechselspannungen für sich verstärkt und zum Betrieb eines polarisierten Relais gleichgerichtet.

Da die Energie-Verluste im HF-Kanal durch verschiedene Faktoren, insbesondere durch die Witterung beeinflusst werden, so muss mit einer unter Umständen grossen Veränderung der Dämpfung gerechnet werden. Dies bedeutet, dass die bei konstanter Sende-Leistung am HF-Empfänger ankommenden Ströme Schwankungen unterworfen sind. Das polarisierte Empfangsrelais arbeitet aber auf die Dauer am sichersten bei einem bestimmten Nennstrom. Zur Einhaltung eines konstanten Relaisstromes wurde vor einigen Jahren die automatisch wirkende *Pegel-Regulierung* entwickelt. Diese besteht aus der Parallelschaltung eines Widerstandes und eines Kondensators im Gitterkreis der NF-Verstärkerröhre. Bei Erhöhung der Eingangsspannung über einen bestimmten Wert hinaus tritt durch Steuerung bis in das Gebiet positiver Gitterspannungen Gitterstrom auf, der an dem Gitterableitwiderstand einen Spannungsabfall hervorruft. Zu der Ruhevorspannung tritt dadurch eine zusätzliche Vorspannung, die den Arbeitspunkt der Verstärker-Röhre verschiebt und den Empfänger unempfindlich macht. Diese Pegel-Regulie-

rung arbeitet in einem Bereich von 3 Neper, d. h. die HF-Eingangsspannung kann sich im Verhältnis 1:20 ändern.

Die HF-Leistung eines Senders beträgt 2 ... 10 W, je nach den vorhandenen Verhältnissen und der zu lösenden Uebertragungsaufgaben. Zu den charakteristischen Eigenschaften, in denen die HF-Uebertragung von denen des Starkstroms abweicht, gehören die viel höheren Leistungsverluste, d. h. die viel grössere Dämpfung. Der Spannungsabfall vom Sender zum Empfänger kann nämlich auf 98 % oder noch mehr ansteigen. Man kommt also, auf die Sendespannung bezogen, auf einen Wirkungsgrad von 2 % oder noch weniger; auf die Sendeleistung bezogen ist der Wirkungsgrad noch viel kleiner. Diese grosse Dämpfung ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass für HF der Drahtwiderstand infolge der Hautwirkung ein Vielfaches des Gleichstromwiderstandes ist und dass bei den Sperren Verluste auftreten; ein beträchtlicher Verlust entsteht auch durch die Benutzung der Erde als Rückleitung, und zwar durch den Uebertritt des Rückstromes von der Erde in die nicht angekoppelten Phasen. Bei Rauheis, Nebel und Schneegeköber kommen noch die dielektrischen Verluste hinzu, die die Hauptursache der erwähnten Pegelschwankungen bilden.

Ueber einen HF-Kanal können 3 ... 6 Messwerte, in günstigsten Fällen noch bedeutend mehr, gleichzeitig übertragen werden. Dies hängt ab von der Länge und insbesondere vom *Störpegel* der Uebertragungsleitung. Unter diesem versteht man die Summe der hochfrequenten Störspannungen.

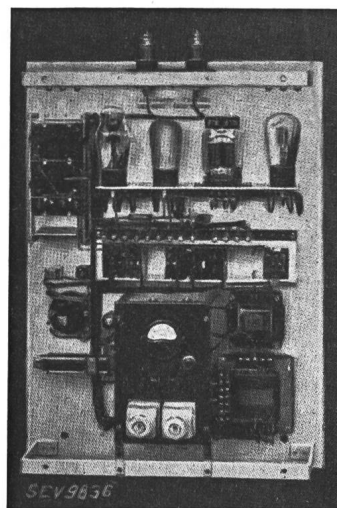


Fig. 6.
HF-Sender
für Trägerastung.

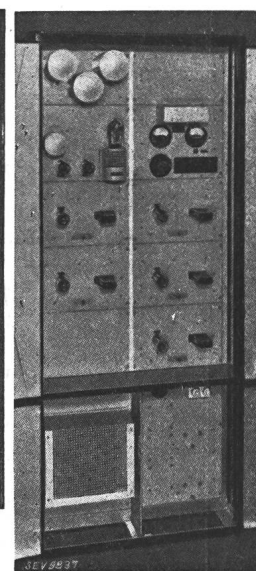


Fig. 7.
HF-Fernmessempfänger.

Diese entstehen durch Schaltvorgänge, Gewitter, bei feuchtem Wetter hauptsächlich durch Teilübergänge und Fehler an den Hochspannungsisolatoren. Bei normalen Verhältnissen liegt die Grösse des Störpegels bei 0,02 V; bei schlechten Leitungsverhältnissen wurden aber schon Störspan-

nungen bis 0,15 V und mehr gemessen. Das Empfangsrelais wird nun so eingestellt, dass in keinem Fall ein Ansprechen durch den Störpegel erfolgt, was einen gewissen Abstand zwischen Stör- und Nutzpegel bedingt.

Bei den HF-Geräten werden ausschliesslich Spezial-Verstärker-Röhren, sog. technische Röhren verwendet. Für diese ist mit einer normalen Lebensdauer von 6000...8000 Stunden zu rechnen. Man hat aber schon sehr oft eine Gebrauchsdauer von 30 000 Stunden und mehr festgestellt. Sämtliche HF-Geräte sind für Netzanschluss vorgesehen, so dass Batterien wegfallen. Fig. 6 zeigt einen HF-Tastsender, während Fig. 7 einen HF-Fernmessempfänger, modulierbar mit sechs und ausgebaut für fünf Tonfrequenzen, darstellt.

Die Erfassung des Messwertes erfolgt nach dem von der Firma Siemens seit 15 Jahren gebauten Impuls-Frequenz-System. Dieses Verfahren hat sich in einer sehr grossen Zahl von Anlagen gut bewährt.

Fig. 8 enthält 3 Kurven ein und derselben Leistung. Die Kurve *a* stammt von einem direkt angeschlossenen Registrierwattmeter, während die Kurven *b* und *c* von zwei über einen Hochfrequenzkanal im Abstand von ca. 100 km parallel angeschlossenen Fernmesswattmetern herrühren. Aus den Kurven geht hervor, dass die Uebertragungstreue sehr hoch ist.

Zum Schluss kann noch hervorgehoben werden, dass sich eine grosse Zahl von Hochfrequenz-Fernmessanlagen in vielen Ländern, auch in der Schweiz,

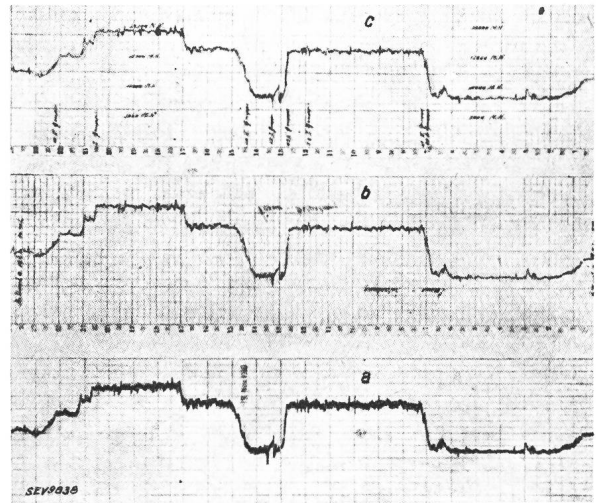


Fig. 8.

Leistungs-Fernmessung.

a Messung des direkt angeschlossenen Registrierwattmeters. *b* und *c* Wiedergabe an Frequenzwattmetern über 100 km durch HF-Kanal.

seit einer Reihe von Jahren in Betrieb befinden und dass damit die besten Erfahrungen gemacht worden sind.

Communications par courants porteurs, influence et mesure de l'amortissement total et de l'impédance caractéristique des lignes.

Communication faite le 14 décembre 1940, à Zurich, en séance de l'ASE,
par J. Schwartz, Baden.

621.395.44

Les communications par courants porteurs ont pris un grand essor depuis une vingtaine d'années. Considérant les applications de ce mode de communication aux grands réseaux d'énergie, on constate que la solution technique à adopter sera déterminée principalement par les fréquences disponibles qu'il s'agit d'utiliser au maximum, par la complexité du réseau de communications projeté, par les conditions géographiques et par l'amortissement des lignes et la sécurité exigée. On décrit une méthode de mesure de l'amortissement des lignes et de leur impédance caractéristique. Subdivisant les profils de pylônes en groupes suivant les modes de couplage adoptés, on trouve que l'impédance caractéristique des lignes varie très peu à l'intérieur d'un groupe.

Les communications par courants porteurs ont pris un grand essor depuis la guerre mondiale et sont certainement destinées à se développer encore beaucoup plus dans un avenir très rapproché. En effet, cette méthode de liaison, primitivement utilisée presque exclusivement comme moyen de communication pour l'exploitation des réseaux de distribution d'électricité a vu son domaine d'application s'élargir rapidement. Citons d'abord la téléphonie à grandes distances sur lignes aériennes et câbles coaxiaux où l'utilisation des courants porteurs permet une grande économie de lignes, puisqu'un seul conducteur peut transmettre jusqu'à 10

Die Fernübertragung mit Trägerströmen hat sich seit etwa 20 Jahren stark entwickelt. Für die Anwendung dieser Art Fernverbindung in den grossen Energieversorgungsnetzen ergibt sich, dass die technisch brauchbaren Lösungen grundsätzlich bestimmt werden durch die verfügbaren Frequenzbänder, die maximal auszunützen sind, durch die Art des Aufbaues eines projektierten Fernverbindungsnetzes, durch geographische Bedingungen und durch die Dämpfung der Leitungen sowie die geforderte Betriebssicherheit. Es wird eine Messmethode zur Dämpfungs- und Wellenwiderstandsbestimmung beschrieben. Die zahlreichen verschiedenen Masttypen und Leiteranordnungen wurden zur Untersuchung, entsprechend der Art der Ankopplung der Leitungen, in vier Gruppen eingeteilt; es ergab sich dabei, dass die Wellenwiderstandswerte der Leitungen innerhalb jeder Gruppe ausserordentlich wenig variieren.

conversations duplex simultanées, en se limitant à la fréquence porteuse maximum de 60 kHz. C'est aussi ce qui a permis l'adoption d'un nouveau standard européen à la conférence d'Oslo en juin 1938; fréquence de coupure 3400 Hz, avec une bande de 4 kHz par canal. Puis, la radio-diffusion sans parasites par ondes porteuses sur lignes téléphoniques. Finalement, la transmission des courants de modulation de télévision, soit pour la liaison entre studios et émetteurs, soit pour l'échange de programmes entre émetteurs éloignés, peut-être un jour pour la diffusion des programmes de télévision à domicile.