Die Telephonie auf grosser Entfernung : einige Grundbegriffe = La téléphonie à longue distance : quelques principes élémentaires

Autor(en): **A.M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **9 (1931)**

Heft 2

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-873631

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bern, 1. IV. 1931 № 2 Jahrgang - Année - Anno IX

Technische Mitteilungen

Herausgegeben von der schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

Bulletin Technique
Publié par l'Administration des Télégraphes et des Téléphones suisses

Bollettino Tecnico
Pubblicato dall' Amministrazione dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

Inhalt – Sommaire – Sommario: Die Telephonie auf grosse Entfernungen. La téléphonie à longue distance. — Automatische Landzentralen im Anschluss an manuelle Hauptämter. Les centraux ruraux automatiques et leur connexion aux centraux principaux à service manuel. — Internationaler beratender Ausschuss für Telegraphie (C. C. I. T.). — Ein bundesgerichtlicher Entscheid aus dem Beamtenrecht. — En marge d'un anniversaire. — Generalpostmeister Heinrich von Stephan. — Briefkasten. Petite correspondance: Redseligkeit und Telephonbetrieb. — Verschiedenes. Divers: Développement de la téléphonie sur la Riviera vaudoise. — Interkontinentaler Telephonverkehr. — Rasche Entwicklung der transatlantischen Radiotelephonie. — Eine andere Meinung. — Cité du Vatican. La station radioélectrique du Vatican. — Une source d'énergie inexploitée. — Zur Haftung der Deutschen Reichspost für Unfälle durch umgebrochene Telegraphenstangen. — Umfang der Verkehrssicherungspflicht der D R P bei einer auf öffentlicher Strasse aufgestellten Fernsprechzelle. — Angabe falscher Anschlussnummern im Fernverkehr als Betrug. — Ein amerikanischer Telephon-Werbefeldzug. — Werbung für das Telephon. — Eine öffentliche Sprechstation in San Francisko. — Beleidigung durchs Telephon — nach der Automatisierung. — Mein Telephon-Doppelgänger. — Orages, éclairs et foudre. — Fachliteratur. Littérature professionnelle. — Personalnachrichten. Personnel. Personale.

Die Telephonie auf grosse Entfernungen.

Einige Grundbegriffe.

Bei der Fernübertragung elektrischer Energie sind zwei von einander sehr verschiedene Systeme zu unterscheiden:

1. Das Starkstromsystem: die Energieübertragung bei hohen Spannungen und einer einzigen Frequenz.
2. Das Schwachstromsystem: Die Energieübertragung bei ganz geringen Spannungen und einem Frequenzbereich von weniger als 100 bis über 10,000 Perioden.

Während mit dem ersten Uebertragungssystem, bei dem es sich um beträchtliche Energien handelt, eine möglichst grosse Leistung angestrebt wird, geht beim zweiten System, wo der Leistungsgrad, obschon er nicht mehr so wichtig ist wie früher, aber immerhin auch nicht ganz vernachlässigt werden darf, die getreue Uebertragung sämtlicher Frequenzen als Hauptzweck voran.

Es ist demnach begreiflich, dass sich die Uebertragung von Telephonströmen auf ganz andere Voraussetzungen gründet als die Uebertragung von höher gespannten Strömen und dass man im Schwachstromgebiet vielfach auf Schwierigkeiten stösst, die der praktischen Ausnützung des Starkstroms nicht oder doch nur in weit geringerem Masse anhaften. Diese blosse Gegenüberstellung lässt deutlich erkennen, dass zwischen den beiden Uebertragungsarten auch wissenschaftlich stark hervortretende Unterscheidungsmerkmale bestehen, und man kann sich der Tatsache nicht verschliessen, dass die Erforschung der Schwachströme, die früher mehr oder weniger als nebensächlich angesehen und daher vernachlässigt wurde, sich heute als ungleich wichtiger darstellt. In den letzten zehn oder zwanzig Jahren haben sich die Verhältnisse in der Tat stark geändert. Das rasch und weit ausgreifende Bedürfnis nach telephonischem Nachrichtenaustausch auch auf grosse Entfernungen hat die Schwachstromtechnik vor neue

La téléphonie à longue distance.

Quelques principes élémentaires.

Pour la transmission à distance de l'énergie électrique il faut distinguer deux systèmes très différents:

1° Le courant fort: transport d'énergie à tensions élevées et à une seule fréquence.
2° Le courant faible: transport d'énergie à tensions basses et fréquences nombreuses allant de moins de 100 à plus de 10,000 périodes.

Tandis qu'avec le 1er système on cherche à obtenir un maximum de rendement puisqu'il s'agit d'énergies considérables, le 2e système, quoique ce même facteur ne joue plus un rôle prépondérant comme autrefois, mais ne puisse tout de même pas être complètement négligé, a pour but principal d'assurer avant tout une transmission fidèle de toutes les fréquences. Il faut tout d'abord obtenir une conversation claire.

On conçoit dès lors que l'étude des lignes de transmission téléphonique doit être établie sur des considérations bien différentes de celles qui sont à la base de l'étude des lignes à tensions élevées et que le courant faible présente des difficultés multiples qu'on ne rencontre pas ou du moins pas dans la même proportion dans la transmission du courant fort. Cette petite comparaison montre déjà qu'il y a, entre les deux problèmes de transmission, des nuances fortement marquées et que l'étude des courants faibles, qui malheureusement a été considérée autrefois comme une partie plus ou moins négligeable du domaine de l'électricité, se présente aujourd'hui différemment. En effet, nous nous trouvons aujourd'hui dans des conditions tout autres qu'il y a quelques 10 ou 20 ans, et le développement rapide de la transmission téléphonique à longue distance a posé des problèmes nouveaux qu'il n'est pas possible de traiter ici à fond, mais que nous voulons chercher à effleurer dans les grandes lignes.

Le système de transmission téléphonique se compose, dans sa forme élémentaire, d'un microphone

Aufgaben gestellt, deren gründliche Besprechung hier allerdings nicht möglich ist, die wir aber dennoch in ihren Umrissen nachstehend erörtern möchten.

In ihrer elementaren Form besteht die Vorrichtung zur telephonischen Uebertragung an beiden Leitungsenden aus einem Mikrophon oder Sender, einem Telephon oder Empfänger und aus einer Gleichstromquelle als Lokalbatterie (LB), wie sie im Anfang der Telephonie verwendet wurde, oder anstatt dieser Einzelbatterien, aus einer allen Sprechstellen gemeinschaftlich dienenden Zentralbatterie (ZB), wie in Figur 1 dargestellt.

Bei beiden Systemen (LB und ZB) ist die Stromquelle dazu bestimmt, zuerst im Sender und dann im Empfänger einen elektrischen oder magnetischen Zustand zu schaffen, der die Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische, oder umgekehrt, die Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische gestattet.

Im Ruhezustand ist beim LB-System die Verbindungsleitung stromlos, während beim ZB-System der eine Leitungsdraht in seinem durch den Sperrkondensator der Abonnentensprechstelle abgegrenzten Teil die Spannung der Zentralbatterie erhält. Beim LB-System dient somit die Verbindungsleitung nur zur Uebertragung der von einer Sprechstelle ausgehenden und nach der andern Sprechstelle fliessenden elektrischen Energie (Wechselstrom); beim ZB-System dagegen, wo nicht jede Sprechstelle ihre unabhängige eigene Stromquelle besitzt, ist es kennzeichnendes Erfordernis, dass die Gleichstromenergie, die von der im Zentralstationsgebäude befindlichen Gemeinschaftsbatterie ausgeht, beiden miteinander in Verbindung stehenden Sprechstellen zufliesse und dort die in Betracht kommenden Organe in Tätigkeit setze. In Wirklichkeit haben wir es also hier mit einer Ueberlagerung von Gleich- und Wechselstrom zu tun. Spricht man in den Sender (Mikrophon), so wird der Gleichstrom moduliert. Diese elektrische Doppelerscheinung ist in Fig. 2 graphisch dargestellt.

Bei der telephonischen Uebertragung sind beide Faktoren, die Gleichstromquelle und die Fortpflanzung des Wechselstromes von einer Sprechstelle zur andern, in Betracht zu ziehen. Für die Stromquelle liegen die Verhältnisse einfach. Beim LB-System genügt, je nach dem Mikrophonkapseltyp des Senders, eine konstante Spannung von 1 bis 2 Volt, und beim ZB-System soll die mittlere Stromstärke für jede Sprechstelle ca. 50 M. A. betragen. Diese Anforderungen sind in einem fachgemäss erstellten und gut unterhaltenen Telephonnetz leicht zu erfüllen, und es wäre unnütz, sich darüber weiter verbreiten zu wollen. Dagegen ist dem zweiten Faktor, der Fortpflanzung des Wechselstromes von einer Sprechstelle zur andern, eingehende Beachtung zu schenken.

Ist bei den beiden in Fig. 1 dargestellten Sprechstellen Tonenergie von Stelle I nach Stelle II zu senden, so muss sich die von I empfangene Energie in II stark genug auswirken, um vom Ohr wahrgenommen zu werden. Doch genügt die Erfüllung dieser Forderung für sich allein nicht; es muss auch Gewähr dafür bestehen, dass die ursprüngliche Form dieser Energie keine allzustarken Aenderungen

ou transmetteur et d'un téléphone ou récepteur à chaque extrémité de la ligne, et d'une source de courant continu, soit d'une batterie locale (B. L.) comme cela se pratiquait au début de la téléphonie, soit d'une batterie centrale (B. C.) et commune à tous les postes comme l'indique la figure 1.

Dans les deux cas (B. L. et B. C.), la source du courant est nécessaire pour produire, dans le transmetteur d'abord, et dans le récepteur ensuite, un état électrique ou magnétique qui permettra la trans-

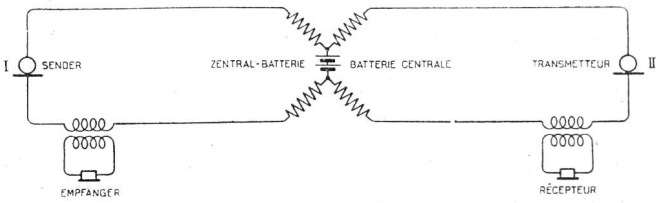

Fig. 1.

formation de l'énergie mécanique en énergie électrique et vice-versa.

Au repos, avec le système B. L., aucun courant ne circule sur la ligne, tandis qu'avec la B. C. l'une des branches du circuit, c'est-à-dire le parcours aboutissant au condensateur de blocage du poste d'abonné, reçoit la tension de la B. C. Il s'ensuit qu'avec le 1er système la ligne de transmission ne sert à transmettre d'un poste à l'autre que l'énergie électrique émise par l'un d'eux (courant alternatif) tandis qu'avec la B. C. il faut nécessairement — puisque les deux postes n'ont pas une source de courant indépendante — que le courant continu de la pile commune de la centrale arrive par la ligne de transmission aux deux postes en communication et fasse actionner les organes entrant en jeu. En fait, il y a donc dans le circuit superposition d'un courant continu et d'un courant alternatif. Si l'on parle dans le transmetteur (microphone), le courant continu est modulé. La figure 2 donne un aperçu graphique de ce double phénomène électrique.

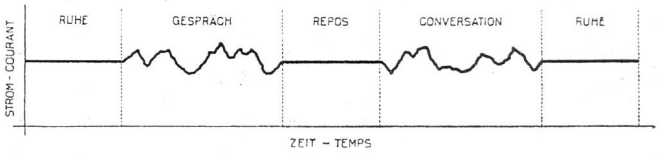

Fig. 2.

Dans la transmission téléphonique, il faut donc considérer ces deux facteurs. Le 1er, soit la source du courant continu, est relativement simple. Dans la B. L. il suffit d'avoir, selon le type de capsule du transmetteur, une source de courant constant de 1 à 2 Volts et dans la B. C. il est nécessaire que chaque poste reçoive un courant moyen de 50 M. A. Ces conditions étant relativement faciles à remplir, en supposant un réseau établi dans des conditions normales et bonnes, il est inutile de s'étendre davantage là-dessus. Nous devons, par contre, considérer avant tout le 2e facteur, c'est-à-dire la propagation du courant alternatif d'un poste à l'autre.

Dans les 2 postes I et II de la figure 1, il faut envoyer de l'énergie phonétique de I à II. En II, l'énergie reçue de I doit être suffisante pour être perçue

(Verzerrung) erleide und dass so die nötige Garantie für getreue Wiedergabe der in I gesprochenen Laute gegeben sei. Das Mikrophon (Sender) in I hat zur Aufgabe, die vor ihm ausgegebene Tonenergie in elektrische Energie umzuwandeln, während dem Empfänger in II die umgekehrte Wirkungsweise zugedacht ist.

Wenn wir die Energieausgabe in I mit P_1, den Energieempfang in II mit P_2, die kilometrische Dämpfung der Verbindungsleitung mit θ und die Länge der Verbindungsleitung mit l bezeichnen, so lässt sich das Verhältnis der beiden Energien wie folgt ausdrücken:

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{2\theta l}$$

Ebenso verhält es sich mit der Stärke des abgehenden und ankommenden Stromes:

$$\frac{J_1}{J_2} = e^{\theta l}$$

oder auch $\frac{E_1}{E_2} = e^{\theta l}$ als Funktion der Spannungen.

Diese Funktion ist durch die Kurve in Fig. 3 dargestellt.

Es ist ohne weiteres begreiflich, dass ein bestimmter, in I abgegangener Strom bei seiner Ankunft in II Aenderungen erlitten hat, die durch die Zusammensetzung der Verbindungsleitung bedingt sind; der Wert θ hängt von der Leitungsbeschaffenheit ab, d. h. er ist Funktion dieser Beschaffenheit.

Die kennzeichnenden Faktoren der Beschaffenheit einer elektrischen Leitung sind:

R der Ohmsche Widerstand
C die Kapazität
L die Selbstinduktion
G die Ableitung (Stromverlust durch das Dielektrikum hindurch).

Diese Faktoren sind, wie in Fig. 4 schematisch dargestellt, längs der elektrischen Leitung gleichförmig verteilt.

Infolge der Kapazität und der Ableitung fliesst ein Teil des von I ausgegangenen Stromes unterwegs, schon vor dem Empfänger in II, also ohne diesen erreicht zu haben, zur Ausgangsquelle in I zurück. Der Strom erleidet weitere Abschwächungen durch die Faktoren R und L, so dass θ Funktion von R, L, C und G wird. Die Wirkungen von L und C ändern mit der Frequenz f. Eine von I nach II übertragene elektrische Welle wird somit je nach ihrer Frequenz verschieden ankommen.

Was die Erscheinung noch mehr kompliziert, ist die Tatsache, dass wir es hier, im Gegensatz zum Starkstrom, mit der Uebertragung von Sprechtönen zu tun haben, deren Periodenzahl in den Grenzen zwischen 200 und 10,000 Perioden in der Sekunde variiert. Die elektrische Welle, als Bild des übertragenen Tones, ist eine Ueberlagerung von Wellen sehr verschiedener Frequenz. Diese Frequenzen pflanzen sich mit verschiedener Geschwindigkeit längs der Verbindungsleitung fort und kommen mit ungleichen Verspätungen und in Phase verschoben mehr oder weniger abgeschwächt

sans peine par l'oreille. Mais cette condition seule ne suffit pas; il faut en outre que la forme primaire de cette énergie ne se soit pas modifiée sensiblement et garantisse ainsi une reproduction claire (sans distorsion) des sons émis en I. Le microphone en I (transmetteur) a pour tâche de transformer l'énergie phonétique en énergie électrique et le récepteur à l'autre extrémité remplit la fonction contraire.

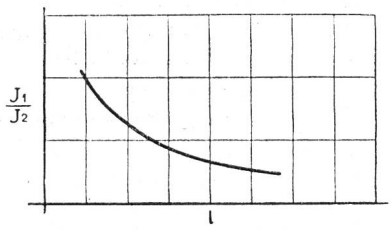

Fig. 3.

Si nous appelons P_1 = la puissance en I
P_2 = la puissance en II
θ = l'amortissement kilométrique du circuit
l = la longueur du circuit,

le rapport des deux puissances $\frac{P_1}{P_2}$

s'exprime par $\frac{P_1}{P_2} = e^{2\theta l}$

Il en est de même des courants reçus

$$\frac{J_1}{J_2} = e^{\theta l}$$

ou encore $\frac{E_1}{E_2} = e^{\theta l}$ en fonction des tensions.

Cette fonction est représentée par la courbe de la figure 3.

Pour un même courant au départ (I), il est facile à comprendre que le courant à l'arrivée (II) varie selon la composition de la ligne : θ dépend, c'est-à-dire est fonction de l'état de la ligne de transmission. Les facteurs qui déterminent l'état électrique d'une ligne sont:

R = la résistance ohmique
C = la capacité
L = la self-induction
G = la perditance (fuite du courant à travers le diélectrique).

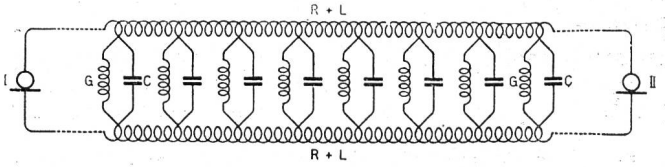

Fig. 4.

Ces facteurs se répartissent d'une façon uniforme sur toute la longueur du circuit électrique comme l'indique schématiquement la fig. 4.

Par le fait de la capacité et de la perditance, une partie du courant émis en I retourne à la source première sans passer par le récepteur en II. Le courant est en outre affaibli par les facteurs R et L de sorte que θ est une fonction de R, L, C et G.

an, so dass das Gesamtbild der in II empfangenen Wellen demjenigen der von I ausgegangenen Wellen nicht mehr genau entspricht. Mit andern Worten, der ausgesandte Strom hat durch den Einfluss der verschiedenen elektrischen Faktoren der Uebertragungsleitung Umgestaltungen erfahren, die am Empfangsorte eine verzerrte Wiedergabe der Sprechlaute bewirken. Diese Verzerrung ist ohne Zweifel die grösste Widersacherin im Ausbau des telephonischen Weitverkehrs. Um ihr zu begegnen, muss darnach getrachtet werden, den Einfluss der Frequenz auszumerzen. Durch Berechnungen lässt sich beweisen, dass zur Erfüllung dieses Zweckes folgende Gleichung bestehen muss:

$$\frac{\text{Selbstinduktion}}{\text{Widerstand}} = \frac{\text{Kapazität}}{\text{Ableitung}}$$

$$\frac{L}{R} = \frac{C}{G}$$

Die Leitung, die dieser Forderung entspricht, gilt als vollkommen. Doch lässt sich dieser Grad mit den gewöhnlichen Kabeln nicht erreichen, weil die Kapazität im Vergleich zur Ableitung meistens überwiegt und die Selbstinduktion gering ist. Das hat zur Folge, dass von den beiden Quotienten $\frac{\text{Selbstinduktion}}{\text{Widerstand}}$ und $\frac{\text{Kapazität}}{\text{Ableitung}}$ der erste kleiner ist als der zweite, oder $\frac{L}{R} < \frac{C}{G}$.

Nun können aber C, G und R nicht ohne gleichzeitige bedeutende Verteuerung der Leitungskosten in günstigem Sinne geändert werden. Zur Herstellung der vollkommenen Leitung bleibt somit die Erhöhung der Selbstinduktion. Diese Aufgabe ist indessen nicht so einfach, denn sie lässt sich nicht dadurch lösen, dass eine Leitung an einer oder mehreren beliebigen Stellen mit Selbstinduktion belastet wird. Die Leitung darf trotz der induktiven Belastung ihr durchgehend gleichmässiges Verhalten nicht verlieren, d. h. sie muss streng homogen bleiben, da sich sonst die bekannten Reflexionserscheinungen geltend machen würden. Von diesem Gedanken ausgehend hat *Krarup* die einzelnen Leitungsdrähte durchgehend mit einem dünnen Eisendraht von hoher magnetischer Permeabilität umwickelt. Durch diesen Eisendraht wird die Selbstinduktion erhöht, jedoch nicht in dem Masse, dass das Verfahren bei der grössern Raumbeanspruchung des einzelnen Leiters und dem dadurch bedingten grössern Kabeldurchmesser in jedem Falle wirtschaftliche Vorteile bieten würde. Da L also gering bleibt, muss, wenn die Gleichung $\frac{L}{R} = \frac{C}{G}$ bestehen soll, R kleiner gemacht werden.

Dem nach seinem Erfinder benannten Krarupverfahren haftet aber, vom Kostenpunkt abgesehen, noch der Nachteil an, dass es der Aufrechterhaltung der selben Permeabilität für alle Frequenzen Schwierigkeiten bietet. Seit einigen Jahren wird nun die Drahtumwicklung nicht mehr aus Eisen, sondern aus Permalloy, einer Mischung von Eisen und Nickel, hergestellt. Diese Legierung besitzt eine hohe magnetische Permeabilität und gestattet somit eine Ver-

Les effets de L et C varient avec la fréquence f. Par conséquent, une onde électrique transmise de I à II arrivera en II différemment suivant la fréquence de cette onde.

Ce qui rend le problème plus ardu c'est le fait que, à l'encontre du courant fort, nous avons affaire ici aux sons de la parole qui varient de 200 à 10.000 périodes par seconde. L'onde électrique, l'image du son transmis, est une superposition d'ondes de fréquences multiples. Celles-ci se propagent avec des décalages inégaux le long du conducteur et arrivent en retard l'une par rapport à l'autre et plus ou moins affaiblies, de sorte que l'ensemble des ondes reçues en II ne ressemble plus à celui du départ (I). Autrement dit, le courant d'émission a subi, par l'influence des différents facteurs électriques composant le circuit de transmission, des déformations, et la parole, à l'arrivée, se trouve déformée: il y a distorsion. C'est sans doute le plus grand ennemi de la transmission à longue distance. Pour l'éviter, il faut arriver à supprimer l'influence de la fréquence. Par des calculs, on arrive à démontrer que, pour remplir cette condition, il faut que

$$\frac{\text{self-induction}}{\text{résistance}} = \frac{\text{capacité}}{\text{perditance}}$$

$$\text{ou } \frac{L}{R} = \frac{C}{G}$$

Le circuit qui réalise cette condition est le circuit parfait. Avec les câbles ordinaires, cette condition n'est pas remplie, car, en règle générale, la capacité domine vis-à-vis de la perditance et la self-induction est assez faible. Le quotient $\frac{\text{self-induction}}{\text{résistance}}$ est donc plus petit que celui de la $\frac{\text{capacité}}{\text{perditance}}$ ou $\frac{L}{R} < \frac{C}{G}$.

C, G et R ne peuvent pas être modifiés à volonté sans renchérir outre mesure les frais d'établissement du circuit. Il ne reste que L, et pour réaliser le circuit parfait, il faut par conséquent augmenter la self-induction.

Ce problème de charge d'une ligne par self-induction n'est pas simple du tout, car l'insertion de la self en un ou plusieurs points quelconques d'un circuit ne saurait le résoudre. Le circuit doit, malgré cette charge, conserver l'allure continue, c'est-à-dire rester homogène; sans cela nous aurions, aux points d'insertion, les effets de réflexion bien connus. Parti de ce principe, *Krarup* a enroulé autour du conducteur un fil de fer à haute perméabilité magnétique. Ce fil de fer augmente la self-induction, mais généralement d'une façon insuffisante, ce qui rend ce procédé peu économique à cause de l'augmentation inévitable du diamètre des conducteurs et partant aussi du diamètre du câble. Puisque L reste petit, il faut, dans l'équation ci-dessus, diminuer R pour obtenir $\frac{L}{R} = \frac{C}{G}$. Ce procédé dit de Krarup, selon le nom de l'auteur, a, outre les frais élevés de construction, encore un défaut, c'est la difficulté de maintenir une perméabilité égale pour toutes les fréquences. Depuis quelques années, on

ringerung des obgenannten Nachteils. Trotz dieser Neuerung wird aber die Verwendung auch des verbesserten Systems auf gewisse Spezialfälle beschränkt bleiben und kaum je allgemein durchdringen.

Pupin hat das Problem, eine höhere Belastung durch den Faktor der Selbstinduktion zu erzielen, auf andere Weise gelöst. Anstatt den Leitungsdraht auf der ganzen Länge mit einer Eisendrahtumwicklung zu versehen, unterteilte er die Leitung in Abschnitte von genau gleicher Länge und schaltete an den Teilpunkten Selbstinduktionsspulen mit streng übereinstimmenden elektrischen Eigenschaften ein und erhielt so, trotz der Belastungsverteilung auf verschiedene Punkte, praktisch homogene Leitungen. Pupin hat bewiesen, dass bei entsprechender Bemessung der Leitungsabschnitte, d. h. des gegenseitigen Spulenabstandes, die so ausgerüstete Leitung praktisch einer auf ihrer ganzen Länge gleichmässig belasteten Leitung entspricht.

Fig. 5 stellt eine mit Selbstinduktionsspulen ausgerüstete Leitung dar.

Die Leitung kann einem elektrischen Filter verglichen werden, das alle elektrischen Wellen durchlässt, deren Frequenz weniger als $f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L\,C\,s}}$ beträgt (s = gegenseitiger Spulenabstand). f_c bedeutet Grenzfrequenz, auch kritische Frequenz genannt, weil die elektrischen Wellen bei höherer Frequenz nur sehr schwer oder gar nicht mehr durchkommen. Da sich, vom wirtschaftlichen Standpunkt aus beurteilt, die Kapazität eines Kabels kaum in grossen Grenzen ändern lässt, kann die Grenzfrequenz als Funktion der Selbstinduktion und des Spulenabstandes s bezeichnet werden. Zur Erzielung einer hohen Grenzfrequenz müssen L und s klein gewählt werden, d. h. die Pupinspulen müssen einen kleinen Belastungswert L besitzen und sich in möglichst geringen Abständen folgen. In der Telephonie verwendet man halbstarke Belastung für die Leitungen mittlerer Länge (bis zu 600—700 Kilometer) und leichte Belastung für die längeren Leitungen, die gewöhnlich aus 4 Drähten bestehen. Durch Erhöhung der Belastung L wird nicht nur die Grenzfrequenz, sondern zugleich auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Ströme herabgesetzt. Bei den langen internationalen Leitungen ist diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit ganz besonders wichtig wegen der abgeglichenen Nachbildung der Endstrecken (Gabel etc.), aus denen ein Teil des ursprünglichen Abgangsstromes wieder zur Ausgangsquelle zurückfliesst und dabei im Empfänger das wohlbekannte Echo verursacht. Da die gute Nachbildung der Spulen und Transformatoren ihre praktischen Grenzen hat, muss immer mit einem teilweisen Stromrückfluss gerechnet werden. Je grösser in einer gegebenen Leitung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist, um so weniger werden sich die Echowirkungen geltend machen, und in vielen Fällen wird man die Einrichtung sogenannter Echosperren entbehren können.

Als das Pupinisierungsverfahren aufkam, d. h. als die ersten Kabel mit Pupinspulen ausgerüstet wurden, waren die Wirkungen dieses Verfahrens nur teilweise bekannt; die Kabel wurden im Anfang

a remplacé le fil de fer par un alliage fer-nickel, dit Permalloy, à très haute perméabilité magnétique afin de réduire les défauts indiqués ci-dessus, mais malgré cela, l'emploi de ce nouveau système restera réservé à quelques cas spéciaux et ne pourra se généraliser.

Pupin a résolu le problème de l'augmentation de la charge par la self-induction d'une autre façon. Au lieu d'entourer le conducteur d'un fil de fer, il a sectionné la ligne en tronçons de longueurs rigoureusement égales, et intercalé, aux points de sectionnement, des bobines de self de qualités électriques exactement identiques, obtenant ainsi, malgré la répartition de la charge sur différents points du circuit, une ligne régulièrement homogène. Pupin a démontré que, par un espacement approprié des bobines de charge, le circuit constitué de cette façon est pratiquement semblable au circuit à charge continue. Un circuit ainsi chargé de selfs est représenté à la fig. 5. Ce circuit peut être assimilé à un

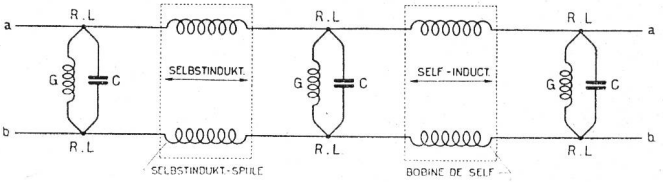

Fig. 5.

filtre électrique qui laisse passer toutes les ondes électriques dont la fréquence est inférieure à $f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L\,C\,s}}$ (s = distance entre les bobines).

On appelle f_c fréquence limite ou de coupure, fréquence propre ou aussi fréquence critique, parce que, au-dessus de cette fréquence, les ondes passent difficilement ou plus du tout. Comme la capacité d'un câble ne peut, commercialement parlant, guère être modifiée dans de grandes proportions, on peut dire que la fréquence de coupure est fonction de la self-induction et de l'espacement des bobines. Pour obtenir une fréquence de coupure élevée, il faut réduire L ainsi que s, c'est-à-dire rapprocher autant que possible les bobines Pupin qui doivent avoir une charge L légère. En téléphonie, on distingue la charge moyenne pour des circuits de moyenne longueur (jusqu'à environ 600—700 km) et la charge légère pour les circuits plus longs, qui sont généralement à 4 fils. Avec l'augmentation de la charge L, on n'abaisse pas seulement la fréquence de coupure, mais également la vitesse de propagation des courants. Cette dernière joue un rôle considérable dans les circuits internationaux à longue distance, principalement à cause du balancement des terminaisons (fourchette, etc.) où une partie du courant d'émission retourne à sa source première et produit dans le récepteur „l'écho" bien connu. Comme le balancement des bobines et transformateurs a des limites pratiques, nous aurons toujours à compter avec un retour partiel du courant. Plus la vitesse de propagation, pour un circuit donné, est grande, moins on sentira les effets d'échos, et dans bien des cas l'installation de suppresseurs d'écho peut être évitée.

„überpupinisiert", weil man durch starke Belastung eine möglichst bedeutende Herabsetzung der Dämpfung erreichen wollte. Das war damals Hauptzweck. Heute, wo man Verstärkereinrichtungen besitzt, kommt diesem Faktor nicht mehr so grosse Bedeutung zu, und man sucht nun eher eine höhere Grenzfrequenz zu erreichen, ein Punkt, der bei der Uebertragung der menschlichen Stimme nicht vernachlässigt werden darf. Um auf einer Telephonlinie eine gute Lautübertragung zu erreichen, muss die Grenzfrequenz höher sein als die rein wirtschaftlich noch angängige Frequenz. Die Grenzfrequenz ist auch für den Ausnützungsgrad der Verstärker mitbestimmend (Pfeifgrenze).

Die in der Schweiz verwendeten Belastungsspulen sind Ringspulen mit einem Kern aus gepresstem Eisenpulver. Seit ungefähr einem Jahr wird an Stelle des Eisenpulvers eine Eisen/Nickel-Mischung (Permalloy) verwendet, was eine bedeutende Herabsetzung des Spulenvolumens gestattet. Um den Kern geht eine Bewicklung aus isoliertem Kupferdraht, dessen beide Enden mit dem Leitungsdraht verlötet sind. Die Telephonleitung kann oberirdisch oder unterirdisch geführt sein. Da die oberirdische Leitung eine geringere Kapazität und eine stärkere Selbstinduktion besitzt als die unterirdische Leitung, so kann, bei verlangter gleicher Uebertragungsstärke, die Belastung der oberirdischen Leitung kleiner sein als diejenige der unterirdischen Leitung, oder es kann, bei gleicher Belastung, mit der oberirdischen Leitung eine bessere Uebertragung erreicht werden als mit der unterirdischen. Doch ist nicht ausser acht zu lassen, dass die oben angegebene Formel der vollkommenen Leitung $\frac{L}{R} = \frac{C}{G}$ oder $L \cdot G = C \cdot R$ den Faktor G enthält, der bei oberirdischer Leitungsführung, d. h. unter dem nicht zu vermeidenden Einfluss der Witterungsunbilden, stark variiert, während L, C und R praktisch konstant bleiben. Da diese 3 Konstanten sich nicht nach den verschiedenen Werten von G ändern lassen, so ergibt sich daraus, dass man bei ungenügender Isolation, d. h. bei erhöhter Ableitung, den Faktor L sollte herabsetzen oder ganz eliminieren können, weil sonst die Pupinisierung schädlich wirkt. Aus diesem Grunde und auch wegen anderer Uebelstände, die den Belastungsspulen auf einer oberirdischen Leitung anhaften, ist die Pupinisierung oberirdischer Leitungen jetzt fast gänzlich aufgegeben worden. Was hier weiter folgt, bezieht sich ausschliesslich auf *Kabelleitungen*.

In der Schweiz werden die Kabeladern nach dem System Dieselhorst-Martin verseilt, d. h. je zwei Leitungen zu zwei nach einer bestimmten Steigung verseilten Drähten werden unter sich wieder verseilt und bilden einen sogenannten Vierer (vier Drähte). Die Fig. 6 zeigt, wie ein so hergestellter Vierer auch als Phantomleitung ausgenützt werden, d. h. zur Bildung einer dritten Verbindung dienen kann.

Die Leitungen I und II, die an ihren beiden Verbindungsstellen A—B und C—D mit ausgeglichenen Transformatoren versehen sind, stellen die Stammleitungen dar. Eine dritte Verbindung E—F

Au début de l'installation des câbles Pupin, où les effets de la pupinisation n'étaient que partiellement connus, on „surpupinisait" les câbles, c'est-à-dire on cherchait par de fortes charges à réduire autant que possible l'amortissement. C'était le but essentiel. Aujourd'hui, ce facteur, grâce aux amplificateurs, ne joue plus un rôle primordial, et on cherche surtout à obtenir une fréquence de coupure plus élevée qui, dans la transmission de la voix, ne doit plus être négligée. Pour avoir une bonne transmission sur une ligne téléphonique, il est nécessaire que le point de coupure soit supérieur aux fréquences commercialement requises. La fréquence de coupure intervient également dans le „sifflement" ou point d'amorçage des amplificateurs.

Les bobines de charge employées en Suisse sont des bobines toroïdales avec noyau en poudre de fer comprimée. Depuis une année environ, la poudre de fer est remplacée par un mélange „fer-nickel", soit une composition de Permalloy, ce qui permet de réduire considérablement les dimensions des bobines. Autour du noyau est bobiné un fil de cuivre isolé dont les extrémités sont soudées au conducteur de ligne. Le circuit de transmission peut être aérien ou souterrain. Comme le circuit aérien a une capacité plus faible et une self-induction plus forte que le circuit souterrain il s'ensuit que la charge de la ligne aérienne, à égalité de transmission, pourra être plus faible que celle d'une ligne souterraine ou, à charge égale, le circuit aérien transmettra mieux que le circuit souterrain. Mais la formule du circuit parfait indiquée plus haut $\frac{L}{R} = \frac{C}{G}$ ou $L \cdot G = C \cdot R$ contient le facteur G qui, sur une ligne aérienne exposée aux intempéries, est très variable, tandis que L, C et R sont pratiquement constants. Comme on ne peut pas varier ces 3 constantes dans la mesure où G se modifie, il s'ensuit qu'en cas d'isolation insuffisante — la perditance grandit — L devrait pouvoir être diminué ou même être presque totalement éliminé, c'est-à-dire que, dans ce cas, la pupinisation devient nuisible. Pour cette raison et aussi à cause d'autres inconvénients que présentent les bobines de charge sur une ligne aérienne, la pupinisation des circuits aériens est aujourd'hui pour ainsi dire complètement abandonnée. Ce qui suit se rapporte donc entièrement aux *circuits en câbles:*

En Suisse, le toronnage des câbles se fait d'après le système Dieselhorst-Martin, c'est-à-dire deux circuits toronnés chacun d'après un pas convenu, sont toronnés ensemble et forment un quad (4 fils). La fig. 6 montre de quelle façon un quad ainsi formé

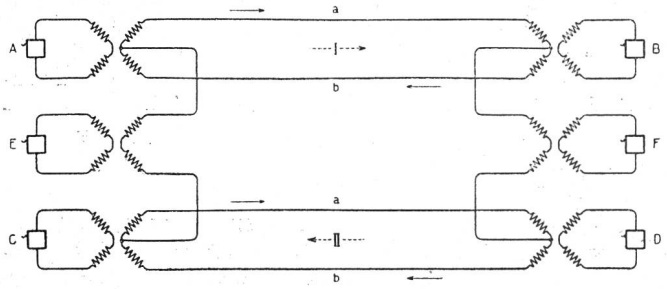

Fig. 6.

ist je im neutralen Punkt an die Transformatoren A—B und C—D angeschlossen und bildet so eine weitere Sprechleitung. Während in den beiden Stammleitungen der Abgangsstrom in der Richtung der beiden mit vollen Strichen angedeuteten Pfeile fliesst und dabei den Draht a für den Hinweg und den Draht b für den Rückweg benützt, wird bei der dritten Verbindung, der sogenannten Phantomleitung, die Leitung I unter Parallelschaltung der Drähte a und b als Hinweg (punktierter Pfeil) und die Leitung II in gleicher Weise als Rückweg beansprucht. Unter der Voraussetzung, dass die beiden Zweige der Sekundärwicklung des Transformators sowie die beiden Drähte a und b der Leitungen I und II vollständig ausbalanciert seien, wird der in den Stammleitungen I und II zirkulierende Strom nicht über E und F fliessen. Wird dagegen auf der Leitung E—F gesprochen, so teilt sich der Strom in den neutralen Punkten der Transformatoren A—B und C—D und durchfliesst im gleichen Sinn die Drähte a und b der Leitungen I und II. Die Leitungen I und II werden Basis- oder Stammleitungen genannt, während der gewonnene dritte Sprechweg E—F als kombinierte oder Phantom-Leitung bezeichnet wird. Da die beiden Drähte a und b bei der Phantomleitung parallel geschaltet sind, hat diese im Vergleich zu einer der beiden Basisleitungen nur halbsoviel Ohmschen Widerstand, während die Kapazität bei den in der Schweiz verwendeten Kabeln, wiederum im Vergleich zur Kapazität einer Basisleitung, 1,6 mal grösser ist. Bei einer Basisleitung ist die Bedingung für ideale Uebertragung C·R und für die Phantomleitung 0,8·C·R. Mit andern Worten: um auf der Phantomleitung dieselbe Dämpfung zu erhalten wie auf jeder der beiden Basisleitungen, muss die Phantomleitung entsprechend schwächer belastet werden. Dadurch erhöht sich die Grenzfrequenz um ungefähr 20%. Werden Stammleitung und Phantomleitung gleich stark belastet, so ist die Dämpfung der Phantomleitung um ungefähr 20% geringer als diejenige der Stammleitung, dagegen besteht Gleichheit der Grenzfrequenz. Anfänglich galt diese Voraussetzung für die Konstruktion unserer Kabel als massgebend, weil dadurch eine geringere Dämpfung der Phantomleitungen erreicht werden konnte; seit einigen Jahren jedoch hat man auf diese Forderung zugunsten einer höhern Grenzfrequenz verzichtet.

Die Belastungsspulen, auch Induktanzspulen genannt, werden gemäss Fig. 7 eingeschaltet.

Wird die Stammleitung, wie in Fig. 7 dargestellt, mit einer Induktanzspule belastet, so ist es für die richtige Wirkung dieser Spule unerlässlich, die Windungen a und b so zu führen, dass ein magnetisches Fluidum bestehen bleibt. Wird dagegen dieselbe Spule vom Strom in der Phantomleitung, also in den parallel geschalteten Drähten a und b durchflossen, so haben die beiden Ströme in a und b die gleiche Richtung und das magnetische Fluidum wird aufgehoben. Die Belastungsspule der Stammleitung ist somit für den Phantomstromkreis wirkungslos, was für diesen eine besondere Belastung nötig macht, und zwar muss diese Belastung so zusammengesetzt sein, dass ihre Wicklung nur für

peut être utilisé en „fantôme" pour une 3e communication.

Les lignes I et II avec les postes A-B et C-D munis de transformateurs équilibrés forment les 2 circuits réels. Un 3e dispositif de conversation E-F est raccordé au point neutre des transformateurs A-B et C-D et constitue ainsi un 3e circuit. Tandis que, dans les 2 circuits réels, le courant d'émission circule d'après les indications des flèches (ligne pleine) en utilisant la branche a pour l'aller et la branche b pour le retour, le 3e dispositif, donc le circuit combiné, utilise le circuit I avec a et b en parallèle pour l'aller (flèche en traits pointillés) et le circuit II de la même manière pour le retour. A la condition que les deux branches de l'enroulement secondaire du transformateur et les deux branches des circuits I et II soient, par rapport au point neutre du transformateur, parfaitement équilibrées, le courant qui circule dans les circuits réels I et II ne passera pas par E et F. Par contre, si l'on parle sur la combinai-

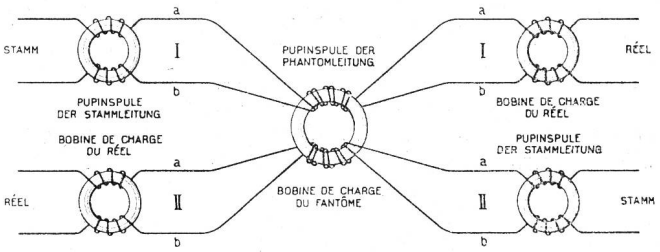

Fig. 7.

son E-F, le courant se divise en deux aux points neutres des transformateurs A-B et C-D et parcourt dans un sens unique les fils a et b des circuits I et II. On appelle les circuits I et II circuits réels ou de base et la combinaison E-F circuit combiné ou fantôme. Comme les deux fils a et b sont utilisés en parallèle, le combiné a deux fois moins de résistance ohmique que chacun des deux circuits réels; et, dans les types de câbles généralement employés en Suisse, la capacité du combiné est d'environ 1,6 fois supérieure à celle d'un des deux réels. La condition de transmission idéale sera: C·R pour le réel et 0,8·C·R pour le fantôme. Autrement dit: pour obtenir le même amortissement sur le réel et sur le fantôme, il faudra moins charger le fantôme et augmenter ainsi la fréquence de coupure d'environ 20%. En maintenant la même charge sur le réel et sur le fantôme, l'amortissement du fantôme restera d'environ 20% au-dessous de celui du réel, mais la fréquence de coupure sera la même. Au début, nos câbles furent construits selon ce dernier procédé pour obtenir des circuits fantômes moins amortis; mais depuis quelques années, ce principe a été abandonné en faveur d'une fréquence de coupure plus élevée.

L'intercalation des bobines de charge, appelées aussi bobines d'inductance, s'opère selon les indications de la fig. 7.

En chargeant le circuit réel d'une bobine d'inductance suivant fig. 7, il est nécessaire, pour que cette charge soit effective, que les enroulements a et b soient faits de façon qu'un flux magnétique subsiste. Par contre, si cette même bobine est traversée par le circuit fantôme, donc par les deux fils

die Phantomleitung zur Wirkung kommt, für die Stammleitung dagegen ohne Einfluss bleibt. Die in der Schweiz für die jeweilige Phantomleitung verwendete Spule besitzt im Vergleich zu den getrennten Spulen den grossen Vorteil, dass die Drähte I a und b und II a und b der Phantomleitung je im gleichen Sinn beeinflusst werden und dass somit in der Leitung elektrisches Gleichgewicht besteht. Diesem Umstand kommt in einem Land, das wie die Schweiz in allen Richtungen von Starkstromleitungen durchkreuzt wird, die zum Teil Erdrückleitung besitzen, grösste Wichtigkeit zu: Die Telephonleitungen bleiben geräuschlos.

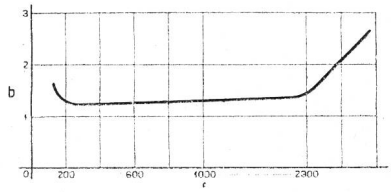

Fig. 8.

Der Vorteil der richtig pupinisierten Leitungen besteht darin, dass alle Frequenzen eines zum voraus festgesetzten Bandes, d. h. bis zur Grenzfrequenz, wie aus Fig. 8 ersichtlich, nach der Formel

$b\,(\text{Dämpfung}) = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ in ziemlich ausgeglichener Weise gedämpft werden, während in einem Kabel ohne Induktanz b Funktion der Frequenz bleibt, d. h. die Gleichstellung $b = \sqrt{\frac{f \cdot R \cdot C}{2}}$ erfüllt.

Mit Worten ausgedrückt: Bei einem pupinisierten Kabel ist die Verzerrung gering, bei einem unbelasteten Kabel dagegen hat man bei erhöhten Frequenzen erhöhte Dämpfung, d. h. es besteht Verzerrung. Eine Mittelstellung kommt dem Krarupkabel zu. Dieses besitzt gegenüber dem Pupinkabel den Vorteil, das Uebertragungsfrequenzband nicht zu begrenzen, aber es haftet ihm der Nachteil der nichtbelasteten Kabel an: Die hohen Frequenzen werden merkbar gedämpft.

Die Kabel mit und ohne Belastung lassen sich durch folgende Formeln kennzeichnen:

Kabel mit Belastung (Induktanz)	Kabel ohne Belastung
$b = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$	$b = \sqrt{\frac{f \cdot R \cdot C}{2}}$
$W = \sqrt{\frac{1}{C \cdot L}}$	$W = \sqrt{\frac{2f}{R \cdot C}}$
$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{R}{f \cdot C}}$

b = Dämpfung
W = Fortpflanzungsgeschwindigkeit
Z = Charakteristik

Die in der Schweiz gültige Uebertragungseinheit b ist das Neper. Was man früher zuerst mit ßl und dann kurz mit b bezeichnete, heisst heute „Neper“

a et b en parallèle, ces deux courants ont le même sens et le flux magnétique s'annule. La bobine de charge du circuit réel n'est donc d'aucune utilité pour le fantôme et ce dernier doit recevoir une charge spéciale. Cette charge doit être combinée de sorte que l'enroulement soit effectif pour le fantôme et n'influence pas le réel. La bobine combinée pour le fantôme telle que nous l'employons en Suisse a, par rapport aux bobines séparées, le grand avantage que, en cas d'aimentation du noyau de fer, les 2 fils Ia et b et IIa et b du fantôme sont influencés de la même manière et que le circuit garde son équilibre électrique. Dans un pays comme la Suisse, sillonnée dans tous les sens de lignes à courant fort, en partie avec retour par la terre, ce dernier facteur garde toute son importance: les lignes restent tranquilles.

L'avantage des lignes convenablement pupinisées consiste dans le fait que toutes les fréquences d'une bande déterminée d'avance, soit jusqu'à la fréquence de coupure, sont amorties d'une façon à peu près égale comme l'indique la formule b (amortissement) = $\frac{R}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ (voir fig. 8), tandis qu'avec un câble sans inductance b reste fonction de la fréquence, c'est-à-dire $b = \sqrt{\frac{f \cdot R \cdot C}{2}}$ (voir fig. 9), autrement dit: un câble pupinisé travaille avec peu de distorsion tandis que dans un câble sans charge, l'amortissement grandit avec les fréquences: il y a distorsion. Le câble Krarup prend une position intermédiaire. Il a l'avantage de ne pas limiter la bande de fréquence de transmission comme le câble Pupin; mais il a le désavantage des câbles sans charge, les fréquences élevées étant passablement amorties.

Les formules à retenir ici pour câbles avec ou sans charge sont indiquées ci-après:

câbles avec charge (inductance)	câbles sans charge
$b = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$	$b = \sqrt{\frac{f \cdot R \cdot C}{2}}$
$W = \sqrt{\frac{1}{C \cdot L}}$	$W = \sqrt{\frac{2f}{R \cdot C}}$
$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{R}{f \cdot C}}$

b = amortissement
W = vitesse de propagation
Z = caractéristique

L'unité de transmission adoptée en Suisse est le Néper. Ce qu'on indiquait autrefois par βl et ensuite par b tout court, porte aujourd'hui la désignation

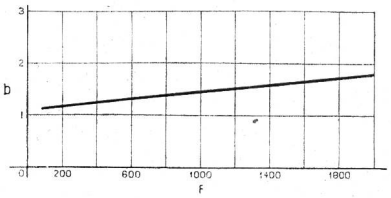

Fig. 9.

(Beispiel: ßl = 1,5; b = 1,5; 1,5 Neper). Diese Werteinheit ist eine logarithmische Einheit der Leistungen $\frac{P_1}{P_2}$, die das System der natürlichen oder Neper'schen Logarithmen zur Grundlage hat, daher die Bezeichnung „Neper".

$$n = \frac{1}{2} \log e \frac{P_1}{P_2}$$

(P_1 = Sendeleistung, P_2 = Empfangsleistung)

Diese Einheit lässt sich auch als Funktion der Ströme und der Spannungen ausdrücken, nämlich

$$n = \log e \frac{J_1}{J_2} \text{ oder } \log e \frac{E_1}{E_2}$$

In Amerika und in England, wo man früher auf die Standardmeile abstellte, hat man der Einheit „Neper" die auf den Brigg'schen Logarithmus gegründete Uebertragungseinheit vorgezogen. Man bezeichnet nun die ehemals TU genannte Uebertragungseinheit mit „Dezibel" nach der Formel $N = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$ oder als Funktion von $\frac{J_1}{J_2}$ oder $\frac{E_1}{E_2}$. In der Annahme, dass Z_1 und Z_2 einerseits und cos $\alpha 1$ und cos $\alpha 2$ anderseits gleichwertig seien, wie das im allgemeinen der Fall ist, erhält man:

$$N = 20 \log_{10} \frac{J_1}{J_2} \text{ oder } N = 20 \log_{10} \frac{E_1}{E_2}.$$

Zwischen den Einheiten „Neper" und „Dezibel" bestehen folgende Beziehungen:

1 Neper = 8,68591 Dezibel
1 Dezibel = 0,115129 Neper

Die durch zweckmässige Einschaltung von Belastungsspulen gegebene Verbesserung der Leitungen genügt immerhin noch nicht, um das Problem des Weittelephonverkehrs zu lösen. Das Mittel wirkt nur in gewissen Grenzen. Vom rein theoretischen Standpunkte aus wäre es zwar möglich, durch Verkleinerung von R, d. h. durch Vergrösserung des Drahtdurchmessers der Leitungen, sowie durch näheres Zusammenrücken der Belastungsspulen die Reichweite der Stimme zu erhöhen; doch würde das zu hohen Kosten führen. Die Lösung des Problems musste auf anderem Wege gesucht werden. Sie liegt in der Verstärkung der Abgangsströme. Die Abgangsleistung ist durch die Uebertragungsapparate eingeschränkt. Wenn die elektrische Welle einen gewissen Weg zurückgelegt hat, ist sie zu schwach, d. h. zu stark gedämpft, um den Empfänger richtig ansprechen zu lassen. Es braucht eine Zusatzleistung, die jedoch keine Aenderung in der Modulation des Stromes bewirken darf. Diese Zusatzleistung, Verstärkung genannt, muss kräftig genug und von Trägheit frei sein. Die anfangs verwendeten mechanischen Relais wurden ihrer Trägheit wegen aufgegeben und durch Lampen zu 3 Elektroden ersetzt. Dank dieser Erfindung ist es dann möglich geworden, dünnadrige und dementsprechend billigere Kabel herzustellen und dabei die Reichweite der Stimme sozusagen nach Belieben zu erhöhen.

Nach der Darstellung in Fig. 10 wird ein aus westlicher Richtung kommender Strom verstärkt

„Néper" (exemple βl = 1,5; b = 1,5; 1,5 Néper). Cette unité est une unité logarithmique des puissances $\frac{P_1}{P_2}$, établie sur le système des logarithmes naturels ou népériens, d'où le nom Néper.

$$n = \frac{1}{2} \log e \frac{P_1}{P_2}$$

(P_1 = puissance transmise, P_2 = puissance reçue). Cette unité peut aussi s'exprimer en fonction des courants et des tensions soit $n = \log e \frac{J_1}{J_2}$ ou $\log e \frac{E_1}{E_2}$.

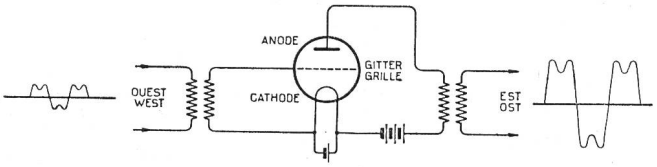

Fig. 10.

En Amérique et en Angleterre où on employait autrefois le mille Standard, on a préféré au Néper l'unité de transmission sur la base des logarithmes décimaux et on appelle l'unité de transmission, autrefois T U, „Décibel", selon la formule

$N = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$ ou en fonction de $\frac{J_1}{J_2}$ ou $\frac{E_1}{E_2}$. En supposant que Z_1 et Z_2, d'une part, et cos α 1 et cos α 2, d'autre part, soient égaux comme c'est généralement le cas, on obtient:

$$N = 20 \log_{10} \frac{J_1}{J_2} \text{ ou } N = 20 \log_{10} \frac{E_1}{E_2}.$$

Entre les unités „Néper" et „Décibel" il y a les relations suivantes:

1 Néper = 8,68591 Décibels
1 Décibel = 0,115129 Néper.

L'amélioration des lignes par l'adjonction de bobines de charge ne suffit cependant pas à résoudre le problème de la téléphonie à longue distance. Ce moyen a des limites pratiques. Du point de vue exclusivement théorique, il serait possible, par la réduction de R — en augmentant le diamètre des circuits — et en rapprochant les bobines de charge, d'accroître la portée de la voix, mais cela entraînerait des dépenses trop élevées. Pour résoudre le problème, il a fallu avoir recours à un autre moyen: à l'amplification des courants émis. La puissance d'émission est limitée par les appareils de transmission. L'onde électrique, après avoir franchi une certaine distance, est trop faible ou trop amortie pour faire fonctionner convenablement le récepteur. Il faut un apport de puissance qui, cependant, ne devra pas modifier la modulation du courant. Cet apport appelé „amplification" doit être sensible et sans inertie. Les relais mécaniques employés au début ont été rejetés à cause de leur inertie et remplacés par la lampe à 3 électrodes. Grâce à cette découverte, il a été possible de construire des câbles à faibles conducteurs, donc relativement bon marché tout en augmentant, presqu'à volonté, la portée de la voix.

Si l'on se rapporte à la fig. 10, un courant arrivant du côté ouest sera amplifié et transmis vers l'est. L'on sait que les électrons de la lampe sont des charges

und in der Richtung nach Osten weitergegeben. Es ist dabei bekannt, dass die Elektronen der Lampe negative Ladungen sind, die von der glühenden Kathode auf die Anode geschleudert werden. Der Elektronenstrom, der den Telephonstrom trägt, d. h. die Stimme übermittelt, geht demnach in der einzigen Richtung von der Kathode zur Anode. Die im entgegengesetzten Sinn fliessenden Ströme werden gleichsam vernichtet, sodass ein telephonischer Gesprächsaustausch bei nur *einer* Lampe nicht durchführbar ist. Man hat deshalb eine Vorrichtung schaffen müssen, die den Strom in beiden Richtungen, also von Westen nach Osten und umgekehrt,

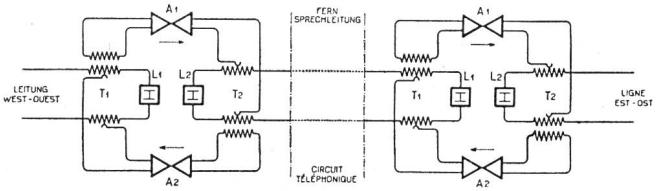

Fig. 11.

durchlässt. Diese Vorrichtung ist in Fig. 11 dargestellt. Sie besteht aus 2 Transformatoren T1 und T2, 2 Verstärkerlampen A1 und A2 und aus 2 künstlichen Leitungen L1 und L2. Da die Lampen A1 und A2 den Strom nur in *einer* Richtung durchlassen, so blockiert A2 den Strom von West und A1 den Strom von Ost. Der Strom von West durchfliesst den Transformator T1, wird durch A1 verstärkt und geht in der Richtung nach Ost weiter. Kommt im andern Sinn ein Strom aus der Richtung von Ost, so durchfliesst er T 2, wird in A2 verstärkt und geht nach Westen ab. Dabei ist wohl zu beachten, dass die künstliche Leitung L2 die Hälfte des verstärkten Stromes absorbiert, da ja die Leitung von West im neutralen Punkt des Transformators T2 einmündet und der Strom sich hier in zwei Hälften teilt, die in entgegengesetzten Richtungen, d. h. der eine Stromteil über die Ostleitung und der andere über die künstliche Leitung L 2, fliessen. Grundsätzlich mit derselben Erscheinung haben wir es zu tun, wenn der Strom auf der Ostleitung ankommt und über A2 und T1 fliesst. Entspricht die künstliche Impedanz nicht der Impedanz der Leitung, so wird der verbleibende Unterschiedsrest verstärkt und verursacht Störungen der Tonwelle, was sich durch das sogenannte Pfeifen auswirkt. Die Bedingung dieser Gleichheit ist schwer zu erfüllen, denn eine künstliche Impedanz entspricht fast nie in allen Punkten der natürlichen Impedanz der Leitung. Je mehr man die Zahl der Verstärker und damit die Zahl der künstlichen Leitungen erhöht, desto stärker macht sich der Gleichgewichtsunterschied von einem gewissen Verstärkungsgrad an bemerkbar. Bei wenig homogenen Leitungen oder bei Leitungen, die starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind (Freileitungen, Luftkabel etc.), werden diese Schwierigkeiten noch grösser. Trotz aller Aufmerksamkeit, die dieser Art von Verstärkern, den sogenannten *Zweidrahtverstärkern*, durch sorgfältige Bedachtnahme auf gleichmässigen Leitungsbau, sehr geringe Abweichungen in der Charakteristik der im nämlichen Verstärkerfeld sich folgenden

négatives projetées par la cathode incandescente sur l'anode. Le train des électrons, porteur du courant téléphonique ou de la voix, ne circule donc que dans une seule direction, soit de la cathode à l'anode. Les courants dans le sens contraire sont pour ainsi dire annihilés de sorte que l'échange de la conversation dans les deux sens n'est pas praticable avec une seule lampe. Il a fallu créer un dispositif permettant au courant de circuler dans les deux sens, soit de l'ouest vers l'est et vice-versa. Ce dispositif est indiqué à la fig. 11.

Il comprend 2 transformateurs T1 et T2, 2 lampes d'amplification A1 et A2 et 2 lignes artificielles L1 et L2. Comme les lampes A1 et A2 ne laissent passer le courant que dans un seul sens, A2 bloque le courant venant de l'ouest et A1 bloque le courant venant de l'est. Le courant venant de l'ouest doit traverser le transformateur T1, est amplifié par A1, repris par T2 et s'en va vers l'est. Dans l'autre sens, une émission venant de l'est passe à travers T2, est amplifiée en A2, passe par T1 et s'en va vers l'ouest. A noter que la ligne artificielle L2 absorbe la moitié du courant amplifié puisque la ligne ouest aboutit au point neutre du transformateur T2 et que le courant se répartit par parts égales dans les deux sens, soit vers la ligne „est" d'une part et vers la ligne artificielle L2. Nous assistons au même phénomène pour le courant venant de la ligne „est" et passant par A2 et T1. Si l'impédance artificielle n'est pas égale à celle de la ligne, le reliquat de puissance est amplifié et provoque des perturbations de l'onde phonétique, des sifflements. Cette condition est difficile à remplir, car une impédance artificielle n'est jamais en tous points égale à l'impédance naturelle de la ligne. Plus on augmente le nombre des amplificateurs et partant aussi le nombre des lignes artificielles, plus la différence d'équilibre se fait sentir à partir d'un certain degré d'amplification. Ces difficultés se multiplient encore lorsqu'on a affaire à des lignes peu homogènes ou exposées à de grands changements de température (lignes aériennes, câbles aériens, etc.). Malgré tous les soins que l'on apporte à ce genre d'amplification, *appelée amplification à 2 fils:* construction de ligne plus uniforme, variation très petite dans la caractéristique des différents tronçons formant une section d'amplification, augmentation de la fréquence de coupure, etc., le nombre des postes d'amplification reste limité à cause de la tendance aux oscillations perturbatrices (amorçage), qui limite l'amplification. Pour éviter la répétition de ces équilibrages à chaque poste d'amplification, cause de perturbations, on a imaginé le système de transmission à sens unique dit à 4 fils qui supprime les lignes artificielles, sauf dans les deux points extrêmes. Si, dans la figure 11, on éloigne la ligne „ouest" avec T1 et

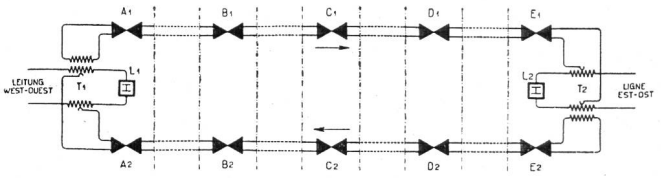

Fig. 12.

Leitungsabschnitte, Erhöhung der Grenzfrequenz etc. gewidmet wird, bleibt die Zahl der Verstärkerstationen doch beschränkt, und zwar wegen der Tendenz zu störenden Schwingungen (Pfeifgrenze), wodurch der Verstärkungsgrad auf ein gewisses, praktisch nicht überschreitbares Mass angewiesen bleibt.

Um die störende Wiederholung dieser in jeder Verstärkerstation nötigen Ausbalancierungen zu vermeiden, hat man das Einweg-Uebertragungssystem eingeführt, das auch *Vierdrahtsystem* genannt wird, und bei dem künstliche Nachbildungen nur an den beiden Endpunkten der Leitung nötig sind. Wenn man beim Zeichnen der Fig. 11 zwischen der Westleitung mit T1 und L1 und der Ostleitung mit T2 und L2 mehr Raum lässt und in die verlängerten Zweige A1 und A2 Zwischenverstärker einschaltet, so kommt man ohne weiteres zur Darstellung des Einwegsystems zu 4 Drähten, wie sie in Fig. 12 wiedergegeben ist.

Die Wirkungsweise dieser Verstärker ist der unter Fig. 11 beschriebenen Methode ähnlich. Da durch den Wegfall der künstlichen Leitungen die Störungsursachen an Zahl bedeutend zurückgehen, kann der Verstärkungsgrad erhöht werden. Der einzige Nachteil dieses Verstärkersystems ist die unerlässliche Inanspruchnahme von 4 anstatt von bloss 2 Drähten. Dieser Nachteil wird aber durch grössere Verstärkung bei geringerem Aderdurchmesser oder doppeltem Verstärkerabstand wieder wettgemacht. Im Betrieb wird der Vierdrahtverstärker besonders auf Leitungen mit schwacher Pupinisierung und dementsprechend höherer Dämpfung verwendet. Diese Art der Leitungsausrüstung verdient, trotz der stärkern Dämpfung, vorab bei grossen Sprechdistanzen, den Vorzug. Es würde indessen zu weit führen, wenn man hier eine Grenzlinie zwischen der gegebenen Verwendung von Zweidrahtverstärkern oder Vierdrahtverstärkern abstecken wollte; der Entscheid hängt von mannigfachen Faktoren ab, über deren mehr oder weniger grosse Wichtigkeit die Meinungen zudem auseinandergehen; Hauptsache bleibt, bei ungefähr gleichen Kosten, immer die Wahrung einer vorzüglichen Lautübertragung und weitgehenden Betriebssicherheit.

In der Schweiz werden die Verstärker, je nach Durchmesser und Pupinisierungsgrad der Leitungen, in Abständen von durchschnittlich 75 oder 150 km eingeschaltet.

Die Fig. 13 zeigt das schweizerische Fernkabelnetz mit den heute bestehenden Verstärkerstationen für Zwei- und Vierdrahtleitungen. Zweidrahtleitungen mit Zweidrahtverstärkern werden für inländische und internationale Verbindung benutzt, deren Länge in der Regel 500 bis 600 km nicht übersteigt, und Vierdrahtleitungen mit entsprechender Verstärkerausrüstung dienen dem Weitsprechverkehr.

Die oben erörterten Massnahmen: Benützung homogener Leitungen zur Sicherung einer getreuen Lautübertragung, Erhöhung der Reichweite der unverzerrten Tonwelle durch Einschaltung von Belastungsspulen und Verstärkern, genügen indessen noch nicht für alle Ansprüche, die an eine gute Telephonleitung gestellt werden; es müssen vielmehr L1 de la ligne „est" avec T2 et L2 et intercale sur les branches A1 et A2 ainsi allongées des amplificateurs intermédiaires, on a sans autre le système à sens unique à 4 fils comme l'indique la fig. 12.

Le fonctionnement de ces amplificateurs est semblable à celui décrit sous fig. 11. Comme, par la suppression des lignes artificielles, les causes perturbatrices sont sensiblement réduites, on peut pousser l'amplification à un plus haut degré. Le seul désavantage de ce genre de dispositif est qu'il exige l'emploi de 4 au lieu de 2 fils. Ce désavantage se trouve par contre compensé par une amplification plus forte, permettant l'utilisation de circuits à plus faible diamètre ou le double espacement des amplificateurs. Dans la pratique, ce système est surtout utilisé pour les circuits à faible pupinisation, donc avec amortissement plus élevé. Mais, malgré l'amortissement plus prononcé qui lui est inhérent, ce système devient en général préférable pour les grandes distances. Il serait trop long de vouloir tirer ici une ligne bien marquée entre les cas où il convient d'utiliser des amplificateurs à 2 ou des amplificateurs à 4 fils; cela dépend de facteurs multiples, sur lesquels les opinions peuvent diverger; l'essentiel est toujours d'obtenir, à frais à peu près égaux, une transmission excellente avec une grande sécurité d'exploitation.

En Suisse, les amplificateurs sont intercalés, suivant le degré de la pupinisation et le diamètre des circuits, à des distances de 75 ou 150 km en moyenne. La figure 13 indique le réseau de câbles suisse avec les stations amplificatrices effectivement installées.

Ces dernières sont équipées d'amplificateurs à 2 fils pour tous les circuits nationaux et internationaux ne dépassant généralement pas 500 à 600 km, et d'amplificateurs à 4 fils pour les longs circuits internationaux.

Les mesures envisagées jusqu'à présent, soit: utilisation de lignes homogènes reproduisant fidèlement la parole émise et augmentation de la portée de l'onde phonétique, sans distorsion, par l'insertion de bobines de charge et d'amplificateurs, ne suffisent cependant pas encore pour des lignes de transmission téléphonique, car il faut en outre assurer le secret des conversations et chercher à obtenir des lignes parfaitement silencieuses. En remplissant la 1re condition, *d'ordre interne*, on va au-devant du 2e problème, *d'ordre externe* (influence perturbatrice des lignes à courant fort), car plus on diminue, par un équilibrage parfait des circuits, la diaphonie entre les circuits, moins ceux-ci seront sensibles aux influences extérieures, soit aux courants forts. Dans un circuit à 4 fils représenté à la fig. 14, il existe une capacité non seulement entre les branches Ia + b et IIc + d, mais aussi entre le fil a et la branche c + d ainsi qu'entre le fil b et la branche c + d, etc. Si nous représentons le quad en coupe verticale, nous obtenons la figure 15.

Pour que ce système soit en équilibre, il faut, lorsque Ia + b sont mis sous courant, qu'aucun courant ne circule sur IIc + d et vice-versa. Pour les mesures électriques, avec un courant ∾ d'une fréquence donnée et stable, les capacités représentent des résistances, de sorte que l'on peut faire

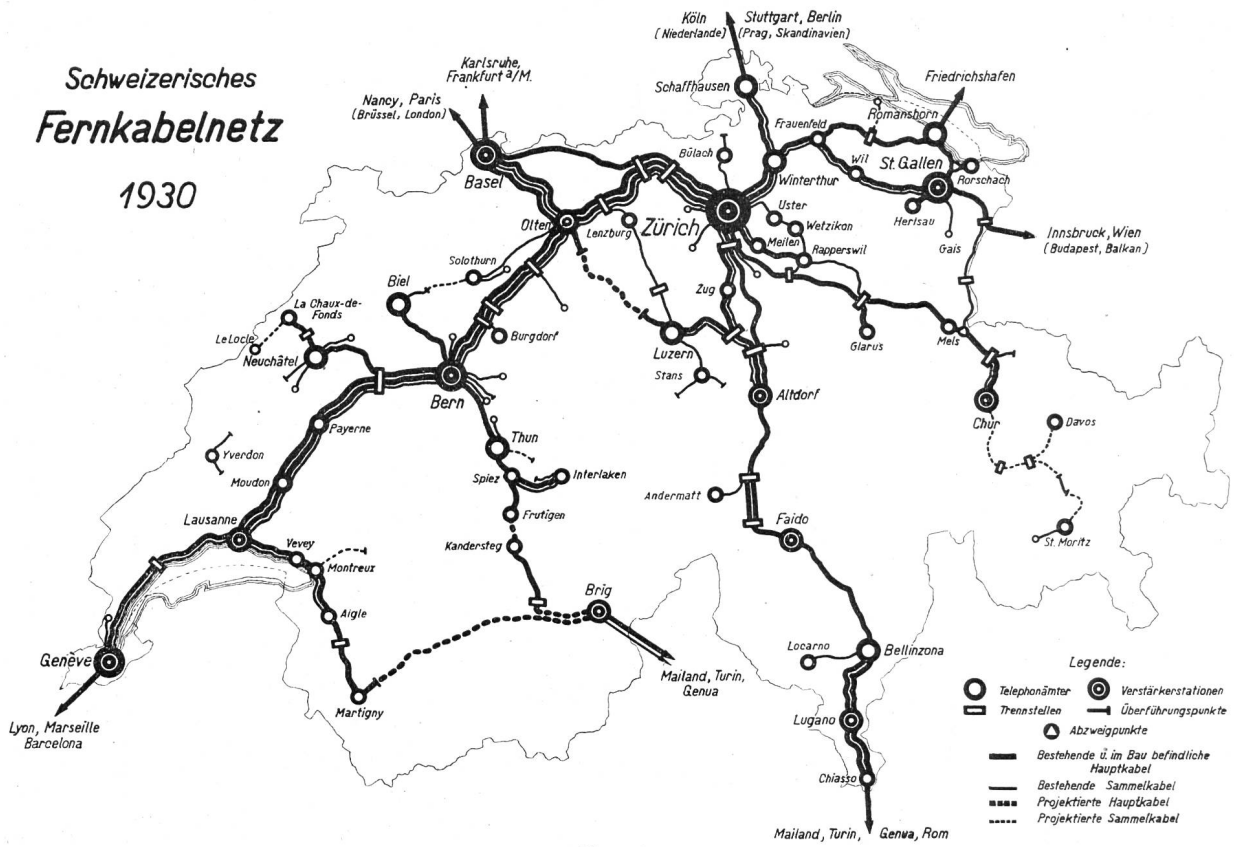

Fig. 13.

noch zwei weitere Forderungen: das strengste Gewahrtbleiben des Gesprächsgeheimnisses und die vollständige Geräuschlosigkeit der Leitung, erfüllt sein. Durch Befriedigung des ersten Anspruchs, der *internen* Verhältnissen entspringt, wird zugleich auch die durch *äussere* Umstände bedingte zweite Aufgabe erleichtert, denn je gründlicher man das Nebensprechen zwischen den einzelnen Telephonleitungen durch Wahrung ihres vollkommenen elektrischen Gleichgewichtes ausschliesst, desto unempfindlicher sind sie auch gegen äussere Einflüsse, d. h. gegen Beeinflussung durch Starkstrom. Auf der in Fig. 14 dargestellten Vierdrahtleitung besteht Kapazität nicht nur zwischen den Leitungen I a+b und II c+d, sondern auch zwischen dem Draht a und der Leitung c+d sowie zwischen dem Draht b und der Leitung c+d usw. Stellt man den Vierer im Vertikalschnitt dar, so ergibt sich die Fig. 15.

Damit in dieser Anordnung Gleichgewicht bestehe, darf, wenn I a+b unter Strom ist, in II c+d kein Strom fliessen, und umgekehrt. Werden elektrische Messungen mit ∼ Strom von gegebener gleichbleibender Frequenz ausgeführt, so stellen die Kapazitäten Widerstände dar; es kann also mit der Wheatstone'schen Brücke gemessen werden. Nach der Anordnung in Fig. 16 ergibt sich die Gleichung

$$x \cdot t = y \cdot s \text{ oder } \frac{x}{y} = \frac{s}{t}$$

oder in Worten ausgedrückt: wenn x gross ist, muss t klein sein, oder, wenn y gross ist, muss s klein sein, und umgekehrt. Da a+b und c+d je eine Leitung bilden, so ist es unerlässlich, dass die usage du pont Wheatstone. D'après les dispositions de la figure 16 on obtient:

$$x \cdot t = y \cdot s \text{ ou } \frac{x}{y} = \frac{s}{t}$$

ou, autrement dit, si x est grand, il faut que t soit petit, ou si y est grand, il faut que s soit petit ou inversement. Comme a + b ou c + d forment chacun un circuit, il faut nécessairement que ces deux branches restent ensemble, mais dans une section de pupinisation, qui se compose généralement de 8 champs, de multiples opérations d'égalisation peuvent être faites par des croisements comme p. ex. Ia contre Ib, IIc contre IId, Ia + Ib contre IIc + IId, etc. Cette méthode dite de croisement est utilisée en Suisse et donne entière satisfaction. En Allemagne, on préfère aux croisements l'adjonction de capacités par des condensateurs, méthode qui donne également d'excellents résultats, mais qui, à notre avis, a certains désavantages que nous ne voulons pas examiner ici en détail. Pour permettre de réduire à un minimum le nombre des croisements ou d'éviter l'adjonction de condensateurs, il faut que le câble en lui-même soit aussi homogène que possible et qu'il ne présente, par conséquent, pas de différences de capacité marquées.

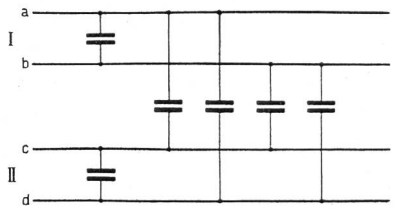

Fig. 14.

beiden zusammengehörigen Drähte beieinander bleiben, doch können auf einer Pupinisierungsstrecke, die sich gewöhnlich aus 8 Pupinfeldern zusammensetzt, mehrfache Ausgleichsmassnahmen getroffen werden durch Abtauschen z. B. von Ia gegen Ib, IIc gegen IId, Ia+Ib gegen IIc+IId usw. Dieses sogenannte Kreuzungsverfahren ist in der Schweiz allgemein gebräuchlich und befriedigt in jeder Hinsicht. In Deutschland zieht man den Kreuzungen den Kapazitätsausgleich mit Kondensatoren vor, ein ebenfalls gutes Verfahren, das jedoch, nach unserer Ansicht, von gewissen Nachteilen nicht frei ist, auf die wir indessen hier nicht näher eintreten wollen. Um die Herabsetzung der Zahl der Kreuzungen möglich, oder die Einschaltung von Kondensatoren unnötig zu machen, muss das Kabel selbst so homogen als möglich sein und darf somit keine merklichen Kapazitätsunterschiede aufweisen.

Zur Vermeidung der von *aussen* kommenden Einflüsse gelten die nämlichen Forderungen. Diese Einflüsse können in zwei Gruppen unterteilt werden:

a. Elektrostatische Beeinflussung, die sehr bedeutend sein kann, wenn eine Schwachstrom-Freileitung in der Nähe einer Hochspannungslinie verläuft. Bei einem unterirdischen Telephonkabel kommt dieser Beeinflussung in der Regel keine grosse Bedeutung zu.

b. Elektromagnetische Beeinflussung, die sich in allen Schwachstromeinrichtungen geltend macht, wenn die Starkstromanlage entweder nicht vollkommen ausbalanciert oder merklichen Intensitätsschwankungen unterworfen ist.

Das radikalste Mittel zur Vermeidung dieser Einflüsse liegt in der möglichst weiten Auseinanderhaltung der beiden Linien, denn die Störwirkung nimmt nicht bloss im direkten Verhältnis, sondern im Quadrat der gegenseitigen Liniendistanz ab. Doch ist dieses Mittel an gewisse Grenzen gebunden, vorab in der Schweiz, wo sozusagen das ganze Land von Starkstromlinien durchkreuzt wird, und wo es hauptsächlich in den engen Tälern unmöglich ist, die feindlichen Brüder ausreichend zu trennen. Durch die Elektrifizierung der Bahnen bei Stromrückleitung durch die Erde ist zu den gewöhnlichen, durch die Kraftübertragungsleitungen geschaffenen Schwierigkeiten noch eine neue hinzugekommen, die unter den in der Schweiz vorliegenden topographischen Verhältnissen die Telephonverwaltung gezwungen hat, ihr ganzes interurbanes Leitungsnetz in unterirdische Kabel zu legen. Wenn es im flachen Land, d. h. auf der schweizerischen Hochebene, im allgemeinen möglich ist, die Schwachstromkabelstränge von den Bahnlinien fernzuhalten, so trifft das für jene Telephonleitungen nicht mehr zu, die in der Richtung Nord-Süd die Alpen über- oder durchqueren und dabei engen wilden Seitentälern oder den Tunnelstrecken der Eisenbahnen folgen. Hier hat man es mit langen Nahverlaufsstrecken zu tun. Welches sind nun die Einflüsse, die eine elektrische Eisenbahnlinie mit Einphasenstrombetrieb, wie das für die Schweiz zutrifft, auf ein Schwachstromkabel unter den in Fig. 17 dargestellten Verhältnissen ausübt?

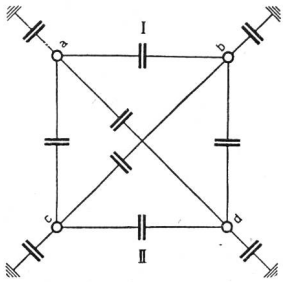

Fig. 15.

Pour les influences *venant du dehors*, les mêmes règles sont de rigueur. Ces influences peuvent être groupées en deux catégories:

a) Influence électro-statique, qui peut être considérable si une ligne aérienne à faible courant se trouve à proximité d'une ligne à haute tension. Pour un câble téléphonique souterrain, ce genre d'influence est en règle générale négligeable.

b) Influence électro-magnétique, qui se fait valoir sur toutes les installations à faible courant si le système à courant fort n'est pas parfaitement équilibré ou présente des fluctuations d'intensité marquées.

Pour éviter ces influences, le moyen le plus radical consiste à éloigner les lignes le plus possible, car l'influence perturbatrice ne diminue pas proportionnellement à la simple distance, mais proportionnellement au carré de la distance. Mais ce moyen a certaines limites, surtout en Suisse, où le pays est sillonné de lignes à courant fort et où, dans des vallées étroites, il est impossible de séparer suffisamment les frères ennemis. L'électrification des chemins de fer avec retour du courant par terre a ajouté aux difficultés causées par les lignes de transport d'énergie une nouvelle difficulté plus importante encore qui, étant donnée la situation particulière de la Suisse, a obligé l'administration des téléphones à mettre sous câbles tout son réseau interurbain. Si dans la plaine, c'est-à-dire sur le plateau suisse, il est généralement possible d'observer la distance voulue entre les câbles à faible courant et les lignes de chemin de fer, il n'en est plus de même des lignes direction sud-nord, franchissant les Alpes, soit en suivant des vallées latérales étroites et sauvages, soit en passant par des tunnels. Là, nécessairement,

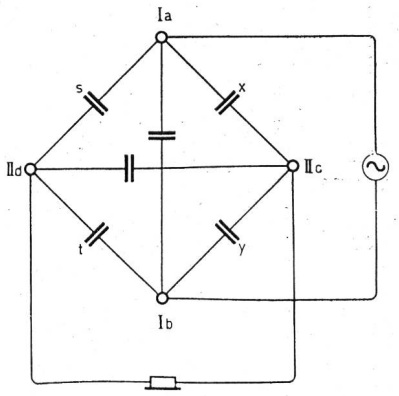

Fig. 16.

Dieser Einfluss kann in 3 Phasen zerlegt werden:

1. Der Strom der Kontaktleitung a (Pfeilrichtung →) beeinflusst b und c in entgegengesetztem Sinn, und zwar beim Kabel ebensogut den Bleimantel als die Leitungen im Innern.
2. Der Schienenstrom b (←) beeinflusst seinerseits das Kabel c (Bleimantel und Leitungen) in der Gegenrichtung von 1.
3. Der im Kabelmantel zirkulierende Strom beeinflusst in entgegengesetztem Sinne die Leitungen im Innern.

Der Einfluss 1 herrscht im allgemeinen vor. Der Einfluss 2 hängt von der Lage ab, die das Kabel mit Bezug auf die Schienen innehat, und der Einfluss 3 ist durch den Grad der Leitfähigkeit des Kabelmantels bedingt. Wenn 1 und 2, wie das im allgemeinen der Fall ist, sich nicht aufheben, so muss darnach getrachtet werden, den dritten Faktor zu Hilfe zu nehmen, d. h. die Kompensation durch den Bleimantel zu bewerkstelligen. Es besteht Gleichgewicht, wenn der im Bleimantel fliessende Strom den im Kabelinnern in entgegengesetztem Sinn zirkulierenden Strom zu kompensieren vermag. Damit diese Kompensation zustande komme, müssen die Verbindungspunkte stossfrei sein, d. h. es soll für vollkommene Kontinuität des Stromflusses gesorgt und darauf geachtet werden, dass der Bleimantel einen möglichst geringen Widerstand biete; nötigenfalls soll dieser durch Kupferdrähte und geeignete Erdungen noch vermindert werden. Da die im Bleimantel und im Kabelinnern fliessenden Ströme in der Regel einen Phasenwinkel von weniger als 180° besitzen, muss des weitern danach getrachtet werden, diesen Winkel durch Anbringen einer Kabelarmatur aus Weicheisen zu korrigieren. Mit diesen Mitteln kann erreicht werden, dass Telephonkabel, die in der Nähe elektrischer Bahnen verlaufen, vollständig geräuschlos bleiben unter der ausdrücklichen Bedingung immerhin, dass die elektrische Ausbalancierung des Kabels mit aller nötigen Sorgfalt durchgeführt worden sei.

Diese Ausführungen zeigen, dass mit der Verwendung von Kabeln die telephonische Uebertragung auf weite Entfernungen grosse Fortschritte gemacht hat. Die anfangs durch allzustarke Belastung entstandenen Fehler sind nach und nach korrigiert worden, um eine höhere Grenzfrequenz zu erzielen und damit auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu steigern. Um bessere elektrische Verhältnisse zu schaffen, geht man heute in der Herabsetzung der Belastung sehr weit. Doch hat diese Methode den Nachteil allzugrosser Kostspieligkeit. Die Spule mit schwacher und die Spule mit mittlerer Belastung (45 oder 177 M. H.) kosten gleichviel, und doch ist der erreichbare Dämpfungsgrad bei schwacher Belastung ungefähr zweimal höher als bei mittlerer Belastung. Es braucht somit bei schwacher Belastung zweimal mehr Verstärker, deren Preis überdies heute ziemlich hoch steht.

Dennoch hat diese Tendenz noch keineswegs ihren Abschluss gefunden, denn in den Vereinigten Staaten geht man darauf aus, die Belastung zugunsten eines breitern Frequenzbandes noch weiter herabzusetzen. Es ist indessen vorauszusehen, dass

on a affaire à des parcours rapprochés et longs. Quelle est maintenant l'influence d'une ligne de chemin de fer à traction électrique monophasée, système que nous avons en Suisse, sur un câble à faible courant selon les dispositions de la figure 17?

Cette influence peut être divisée en 3 phases:

1° Le courant de la ligne de contact a (direction de la flèche →) influence b et c dans le sens contraire et, dans le câble, aussi bien la gaine de plomb que les circuits à l'intérieur.
2° Le courant du rail b (←) influence de son côté le câble c (gaine et circuits) dans le sens contraire à 1.
3° Le courant circulant dans la gaine du câble influence de son côté, dans le sens contraire, les circuits à l'intérieur.

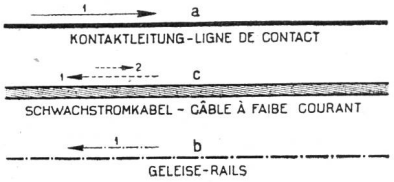

Fig. 17.

L'influence sous 1 est généralement prédominante; celle sous 2 dépend de la position du câble par rapport au rail, et celle sous 3 est liée à la conductibilité de la gaine du câble. Lorsque 1 et 2 ne se compensent pas, ce qui en règle générale est le cas, on tâchera d'avoir recours au 3e facteur, c'est-à-dire à la compensation par la gaine de plomb. Il y a équilibre lorsque le courant circulant dans la gaine de plomb arrive à compenser le courant circulant dans le sens opposé à l'intérieur du câble. Pour que cette compensation puisse se faire, il faut veiller à ce que la continuité électrique aux joints des câbles soit parfaite, et que, pour présenter le moins de résistance possible, la gaine de plomb soit au besoin complétée par des fils de cuivre et pourvue de mises à la terre appropriées. Comme les courants circulant dans la gaine et à l'intérieur du câble ne présentent généralement pas, dans leur phase, un angle de 180° mais moins, il faut en outre chercher à corriger cet angle par une armure en fer doux. Grâce à ces moyens, il est possible de construire, à proximité de lignes de chemins de fer électriques, des lignes en câbles parfaitement silencieuses à la condition toutefois que l'équilibrage du câble ait été fait avec tous les soins nécessaires.

De ce qui précède, il résulte que la transmission téléphonique à longue distance par câbles a fait de grands progrès. Les erreurs initiales commises en chargeant trop les circuits ont été corrigées petit à petit afin d'obtenir une fréquence de coupure plus élevée et partant une vitesse de propagation plus grande. Aujourd'hui, on va très loin dans la baisse de la charge pour obtenir de meilleures conditions électriques. Mais le système actuel a le désavantage de coûter trop cher. Il n'y a pas de différence de prix entre une bobine à charge faible et une bobine à charge moyenne (45 ou 177 M. H.) et cependant l'amortissement avec la charge faible est à peu près le double de celui qu'on obtient par la charge moyenne. Il faut donc deux fois plus d'ampli-

man früher oder später zur Einsicht kommen wird, diese fortwährende Belastungsverminderung sei ein Luxus, der nun lange genug gedauert und dabei Millionen verschlungen habe. Nach allseitiger Einschätzung der Vor- und Nachteile der Pupinisierung und nach Verbesserung dieser Methode bis zur letzten Vollkommenheit dürfte man sich indessen nicht sehr wundern, wenn in einer nicht allzufernen Zukunft dem einfachen unbelasteten Kabel, bei etwelcher Kürzung der Verstärkerfelder, wieder der Vorzug gegeben würde. Ein nichtbelastetes Kabel hat, wie weiter oben ausgeführt, den Fehler, Verzerrungen zu erzeugen. Dieser Fehler lässt sich jedoch im Verstärker korrigieren. Ein Vorteil des unbelasteten Kabels ist auch durch den Umstand gegeben, dass es die Uebermittlung verschiedener Trägerfrequenzen und damit die Einführung der Vielfachtelephonie gestattet, was bei der heutigen raschen Verkehrsentwicklung und der dadurch bedingten Verwendung von je länger je grössern Aderbündeln sehr stark ins Gewicht fällt und hier möglicherweise den wünschbaren Ausweg öffnen könnte. Mit dem Wegfall der Pupinisierung würden sehr viele Uebelstände verschwinden und wir hätten, was wir bedürfen: breite Frequenzbänder, eine grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit und — hoffen wir es — weit billigere Kabel als bei den gegenwärtig befolgten Methoden. *A. M.*

ficateurs qui, à l'heure qu'il est, coûtent toujours assez cher. Et nous ne sommes pas encore au bout de la chaîne, car aux Etats-Unis on a encore la tendance de baisser la charge pour obtenir une bande de fréquence plus large. Mais il est à prévoir que tôt ou tard on se rendra compte que cette baisse constante de la charge est un article de luxe, qui a duré suffisamment longtemps et englouti des millions et des millions de francs. Il ne faudrait point s'étonner si, après avoir goûté tous les avantages et désavantages de la pupinisation, après avoir développé cette méthode jusqu'au dernier perfectionnement, on retournait, dans un avenir non trop éloigné, au câble primitif sans charge, en rapprochant quelque peu les amplificateurs. Un câble sans charge a, comme nous l'avons vu plus haut, le défaut de produire de la distorsion, mais ce défaut peut être corrigé par les amplificateurs. Le câble sans charge a par contre l'avantage de permettre l'introduction de la téléphonie multiple moyennant des fréquences porteuses, ce qui, avec le développement rapide de la téléphonie exigeant de gros faisceaux, pourrait bien ouvrir une nouvelle voie. En abandonnant la pupinisation, nous éliminerions bien des inconvénients et nous aurions ce qu'il faut en téléphonie: des bandes de fréquences larges et une grande vitesse de propagation et — espérons-le — à bien meilleur compte que par les procédés actuels. *A. M.*

Automatische Landzentralen im Anschluss an manuelle Hauptämter.

Von H. Haldi, Bern.

Die Automatisierung bestehender Landzentralen oder die Errichtung neuer automatischer Landnetze erfolgt im Einzugsgebiet von grossen Städten wenn möglich im Anschluss an die Automatisierung des Stadtnetzes. In den übrigen Netzgruppen aber wird oft nicht erst die Systemsänderung im Hauptamt abgewartet, sondern es wird irgendeine günstige Gelegenheit zur Aufhebung des Handbetriebes in den Landnetzen ausgenützt. Besonders, wenn im Hauptamt die vorhandene Einrichtung vollauf befriedigt, ist hier in vielen Fällen eine Aenderung auf Jahre hinaus durchaus nicht gerechtfertigt.

Bei Rücktritt des Bureauinhabers oder bei Verlegung der Zentrale in ein anderes Gebäude wird jeweils geprüft, ob die Umwandlung des Systems möglich ist. In der Regel wird an Hand einer Rentabilitätsberechnung festgestellt, ob es sich lohnt, einzelne Netze vorwegzunehmen. Ist das Ergebnis in jeder Beziehung günstig, so wird auch ein einzelnes Objekt automatisiert, während im übrigen Teil der Gruppe der Handbetrieb noch beibehalten wird. Bei diesem Vorgehen gelangen die Teilnehmer des betreffenden Netzes vorzeitig in den Genuss der durchgehenden Bedienung. Dann kann das Personal der vorgesetzten Bauämter nach und nach herangebildet werden, was bei mittlern und kleinern Aemtern, die bis anhin nur L. B.- oder Z. B.-Betrieb besassen, vorteilhaft ist. Handelt es sich um eine

Les centraux ruraux automatiques et leur connexion aux centraux principaux à service manuel.

(Traduction.)

L'automatisation de centraux ruraux, ou l'établissement de nouveaux réseaux ruraux automatiques a lieu, dans la zone des grandes villes, autant que possible, à la suite de l'automatisation du réseau urbain. Par contre, dans les autres groupes de réseaux, on ne peut pas toujours attendre le changement de système du central principal pour modifier celui des centraux ruraux; en revanche, on profitera d'une occasion propice pour supprimer le service manuel d'un réseau rural. Si les installations du central principal donnent pleine satisfaction, un changement ne s'impose pas pendant de nombreuses années encore.

Lorsque le titulaire d'un central rural désire prendre sa retraite ou que le central doit être transféré dans un autre bâtiment, on examinera s'il y a possibilité de changer le système à cette occasion. On détermine, généralement à l'aide d'un tableau sur le rendement, l'opportunité d'anticiper sur l'automatisation générale. Si les résultats de l'enquête sont en tout point favorables, on n'hésitera pas à automatiser uniquement ce seul réseau, tout en conservant le service manuel pour le reste du groupe. Ainsi, les abonnés du réseau en cause profiteront d'avance de l'avantage du service permanent. D'autre part, le personnel de l'office constructeur préposé peut s'initier petit à petit au nouveau système, ce qui présente de sérieux avantages pour