

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 27 (1936)

Heft: 20

Artikel: Le développement technique de la téléphonie à grande distance par câbles

Autor: Forrer, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057529>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVII^e Année

N^o 20

Vendredi, 2 Octobre 1936

Le développement technique de la téléphonie à grande distance par câbles.

Rapport présenté à la journée de discussion de l'ASE du 23 novembre 1935, à Olten.

Par J. Forrer, Zurich.

621.395.5

La conférence que Monsieur J. Forrer, professeur à l'École Polytechnique Fédérale a tenue devant l'ASE sur le développement technique de la téléphonie par câbles, avait en premier lieu pour but de donner aux techniciens du courant fort un aperçu des progrès énormes réalisés ces dernières années dans ce domaine et d'esquisser les tendances qui se dessinent aujourd'hui. Elle devait en outre servir à resserrer la collaboration et les échanges d'expériences entre techniciens du courant fort et du courant faible. Pour cette raison, le spécialiste y trouvera probablement peu de choses qu'il ne connaisse déjà. (La rédaction.)

Der Vortrag, den Herr Professor Dr. J. Forrer von der Eidgenössischen Technischen Hochschule vor dem SEV über die Entwicklung der Kabel-Fernsprechtechnik gehalten hat, bezweckte vor allem, den Starkstromtechnikern einen Ueberblick zu geben über die grossen Erfolge, welche die Fernmeldetechniker auf diesem Gebiet in den letzten Jahren erzielten und über die Tendenzen, die sich heute abzeichnen. Er bezweckte in höherem Sinn, der gegenseitigen Zusammenarbeit und gegenseitigen Förderung der Starkstrom- und Schwachstrom-Techniker zu dienen. Deshalb wird dem Spezialisten vieles von dem bekannt sein, was der Referent im folgenden zuhanden der Starkstromtechniker ausführt. (Die Redaktion.)

(Traduction)

L'établissement des premières lignes téléphoniques publiques à grande distance remonte, en Europe, à l'année 1920. Jusqu'à cette époque, on utilisait presque exclusivement des lignes aériennes pour franchir des distances allant jusqu'à 1000 kilomètres environ. La nécessité de perfectionner et de multiplier les communications téléphoniques a conduit à remplacer les lignes aériennes par des lignes sous câbles, ce qui devint possible dès que des moyens pratiques d'améliorer leurs qualités de transmission eurent été trouvés et reconnus utilisables. En Suisse, ce remplacement a été souvent motivé par l'électrification des chemins de fer.

En 1893, Heaviside a découvert que l'affaiblissement d'une ligne peut être réduit en augmentant l'inductivité de celle-ci. En 1900 environ, Pupin a établi les premières règles permettant d'obtenir une augmentation artificielle de l'inductivité. En série avec la ligne et à distances régulières, il insérait des inductivités supplémentaires (bobines de charge, pupinisation). Ce procédé fut appliqué au début avec plus ou moins de succès aux lignes aériennes. En Amérique, en Allemagne et en Angleterre, les premiers câbles pupinisés ont été mis en place juste au début de la guerre mondiale: Berlin-Hanovre, Lac de Constance, etc. La mise au point des tubes à vide a également beaucoup contribué au développement de la téléphonie sur lignes pupinisées. L'une des premières applications pratiques a été celle de l'amplificateur téléphonique (répéteur).

L'affaiblissement par unité de longueur d'un câble homogène comportant une résistance R , une inductivité L , une capacité C et une conductance latérale G se détermine par la formule approchée

$$\beta \sim \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

à condition que R soit négligeable par rapport à ωL . La résistance des inductivités supplémentaires augmente la valeur de R et par suite l'affaiblissement. La résistance doit donc être maintenue à une valeur aussi faible que possible. C'est pourquoi, dès le début, les bobines de charge étaient constituées par des noyaux en fer (toroïdes) bobinés, qui présentaient l'avantage de n'exiger qu'un nombre relativement faible de courtes spires, de permettre une bonne symétrie et de limiter l'importance des champs de fuite. Les spires sont enroulées inductivement en série autour du noyau et réparties en nombre égal aux deux fils de la ligne. Les inductivités doivent être toutes identiques dans un tronçon de ligne bien délimité et ne pas se modifier peu à peu sous l'influence d'installations voisines à courant fort. Leurs pertes doivent être aussi faibles que possible et la valeur absolue de l'inductivité doit être peu sensible aux variations de la fréquence, afin d'éviter une modification des qualités de la ligne pupinisée due aux variations de la fréquence. Les forces magnétisantes étant faibles — le courant magnétisant est

de l'ordre de quelques milliampères — la perméabilité à l'origine entre presque seule en ligne de compte. A la suite de longues études détaillées, on a découvert peu à peu des matériaux magnétiques dont la rémanence est suffisamment réduite (faible variation avec la magnétisation due à l'influence de courants forts) et dont la perméabilité est très indépendante de la grandeur de la force magné-

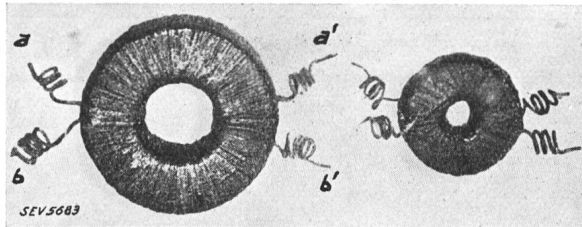


Fig. 1.
Bobine de charge normale, de 177 mH,
à gauche en 1925, à droite en 1934.

sante. On utilisait autrefois des noyaux enroulés de fil de fer doux ou constitués par des tôles spéciales à pertes réduites. Mais, depuis l'introduction du répéteur à 2 fils, on a dû chercher des matériaux plus stables au point de vue magnétique. On utilise actuellement des noyaux constitués par des alliages de fer spéciaux pulvérisés et comprimés avec un liant, ou par des tôles de fer ayant subi une préparation spéciale. Ces nouveaux noyaux satisfont parfaitement aux exigences pratiques. Les perfectionnements du matériel ont permis de réduire les dimensions des noyaux et, partant, le poids et l'encombrement des boîtes. Les figures 1 et 2

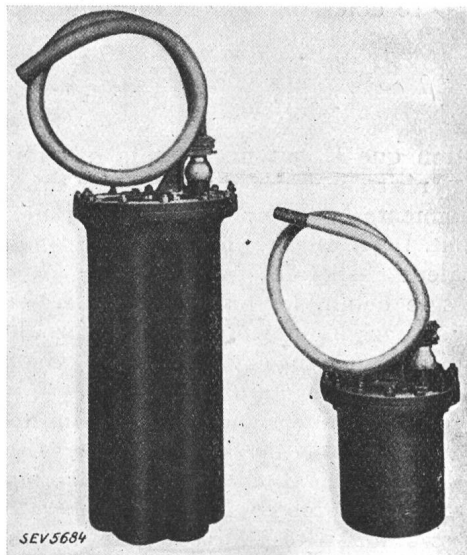
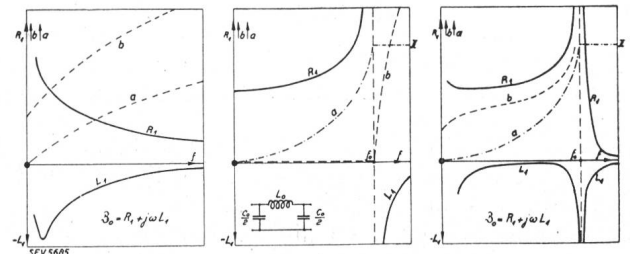


Fig. 2.
Boîte de 200 bobines,
à gauche en 1925, à droite en 1934.

montrent respectivement une bobine normale de 177 mH et une boîte pour 200 bobines, à gauche modèle 1925 et à droite modèle 1934.

Les bobines de charge sont insérées dans la ligne homogène à des distances égales, de telle sorte que

la capacité du câble entre deux bobines consécutives soit autant que possible toujours la même dans toute la ligne. Le caractère homogène de la ligne non chargée est ainsi supprimé et la nouvelle disposition devient une chaîne de quadripôles affectée de pertes et présentant des qualités de transmission tout à fait différentes. L'introduction des lignes pupinisées a donc posé des problèmes



Câble homogène Chaîne de quadripôles Ligne pupinisée
(1 élément)

Fig. 3.
Caractéristiques de transmission
a déphasage, b affaiblissement.

entièrement nouveaux, dont la solution a exigé plusieurs années de travaux (fig. 3).

Afin de pouvoir utiliser aussi parfaitement que possible les conducteurs prévus dans les installations de câbles à grande distance, on prévoit des montages à 4 fils, ce qui permet d'utiliser également les circuits fantômes comme voies de transmission (quarte Dieselhorst-Martin, quarte en étoile, etc.). Pour que les trois voies de ces quartes ne puissent pas s'influencer mutuellement, elles doivent être symétriques, c'est-à-dire que les couplages réciproques doivent être égaux, y compris les couplages avec les groupes voisins et avec l'enveloppe de plomb, surtout lorsque l'on opère avec des inductivités additionnelles relativement importantes, comme cela était le cas au début. Ceci a obligé les fabricants de câbles à livrer dans ce but des câbles extrêmement soignés ne présentant que de faibles couplages réciproques. On a même mis au point des procédés qui supprimaient entièrement les asymétries de couplage; les résultats obtenus n'ont toutefois pas été très satisfaisants, car des modifications peuvent aisément se produire lors de la mise en place des câbles, par suite des contraintes mécaniques. On a d'ailleurs constaté qu'une installation de câbles pupinisés est suffisamment libérée d'influences réciproques lorsque les divers champs de bobines et jeux de bobines sont équilibrés individuellement, c'est-à-dire lorsque les asymétries capacitives des champs et inductives des jeux de bobines peuvent être supprimées. Jusqu'à présent, on est donc généralement obligé d'examiner après leur pose les câbles au point de vue de leurs asymétries de couplages, et de supprimer les asymétries trop accentuées. Les deux méthodes les plus courantes sont l'équilibrage par de petits condensateurs supplémentaires et la méthode par croisement, par laquelle on cherche à disposer les différences naturelles de façon qu'elles s'équilibrent réciproquement. Quant aux asymétries des jeux de

bobines, il est actuellement possible de les éviter en grande partie par une fabrication appropriée. La mise au point de toutes ces questions a exigé de nombreuses années.

Etant une chaîne de quadripôles affectée de pertes, la ligne pupinisée présente des propriétés qui ne la rendent pas toujours apte à la transmission vocale (fig. 3). Elle n'est utilisable que sur la gamme de fréquences limitée

$$0 \text{ à } f_0 \sim \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 C_0}} \text{ pér./s.}$$

où L_0 est l'inductivité d'une bobine et C_0 la capacité d'un champ de bobine (distance d'une bobine à une autre). En dessus de f_0 , l'affaiblissement augmente rapidement et finit par empêcher toute transmission. On voit donc que, pour un câble donné, f_0 peut être influencée aussi bien par une modification de L_0 que par le choix de la distance entre bobines. Pour obtenir une bonne transmission vocale en téléphonie à grande distance, une largeur de bande de 250 à 2500 pér./s. est nécessaire et suffisante. Par un choix approprié de L_0 et de C_0 , on obtiendra donc que la ligne pupinisée permette une transmission sur toute cette largeur de bande. Si l'on considère l'expression de l'affaiblissement β , valable également d'une manière approchée pour la ligne pupinisée à des fréquences qui ne sont pas trop proches de la fréquence critique, on s'aperçoit que pour un câble de propriétés données une grande L_0 correspond à un petit affaiblissement et à une fréquence critique relativement basse, tandis qu'une petite L_0 correspond à un grand affaiblissement et à une fréquence critique élevée. La capacité du câble dépend presque uniquement de l'épaisseur des fils, car elle ne peut être influencée qu'entre des limites relativement étroites lorsque la fabrication est rationnelle. Partant de ce point de vue, on a donné à la ligne sous câble pupinisée une fréquence critique de 2800 à 3600 pér./s. (lignes réelles, resp. lignes fantômes) en employant des fils de 0,9 à 1,5 mm de diamètre, les longueurs des champs de bobines étant de 1800 à 2000 mètres et les inductivités de 150 à 200 millihenrys pour les lignes réelles et de 70 à 110 millihenrys pour les lignes fantômes. Le genre de charge avait déjà été normalisé dans les divers pays avant la création du CCIF (Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance)¹⁾, fort heureusement sans grandes différences entre les divers pays. Ces types de câbles pupinisés permettaient d'atteindre par rapport aux câbles à fils forts non chargés, sans moyens auxiliaires, une augmentation de la portée des transmissions de 25 à 80 km pour les fils minces et de 50 à 160 km pour les fils plus forts, des distorsions beaucoup moins sensibles et une suppression presque complète des bruits parasites, qui rendaient si difficiles les communications à grande distance par lignes aériennes.

Dans ces lignes sous câbles pupinisées, on installa les premiers amplificateurs à un seul tube à vide, mais les résultats furent déplorables, car ce type d'amplificateur n'était pas approprié. Des défauts d'homogénéité dans la résistance apparente provenant de bobines inégales ou subissant des influences extérieures, ou encore provenant de champs de bobines inégaux, provoquaient des réactions — sifflements — à l'amplificateur individuel, et limitaient ainsi le degré d'amplification possible. Des réactions entre plusieurs amplificateurs individuels montés en série dans une même ligne rendaient impossible toute augmentation notable de la portée des transmissions. Vu ces résultats, les amplificateurs à un seul tube à vide furent remplacés par des amplificateurs jumelés, utilisant un tube à vide pour chaque sens de transmission, c'est-à-dire un élément d'amplification séparé, avec des transformateurs différentiels à l'entrée et à la sortie, et avec reproduction artificielle des résistances apparentes des lignes raccordées. C'est la disposition adoptée de nos jours pour les courtes distances jusqu'à 800 km environ, mais avec un matériel sensiblement amélioré. On devra probablement s'en tenir pour l'instant à cette disposition, malgré les nombreux efforts tentés pour trouver des montages plus simples permettant de supprimer les lignes artificielles (fig. 4). Ces derniers ne pouvant donc pas

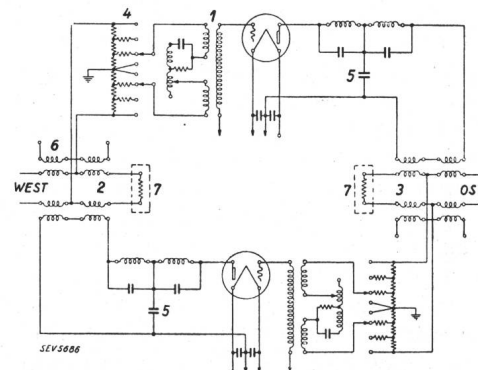


Fig. 4.

Répéteur 22-A-I. Schéma simplifié.

- 1 Transformateur d'entrée Ouest-Est.
- 2 Transformateur de sortie Est.
- 3 Transformateur de sortie Ouest.
- 4 Potentiomètre.
- 5 Circuit-filtre.
- 6 Contrôle.
- 7 Circuit d'équilibrage.

encore être évitées, on a cherché à améliorer les éléments constructifs des lignes pupinisées, surtout les bobines et le montage général des installations de câbles.

La résistance apparente des premières lignes pupinisées dépendait à tel point de la fréquence, qu'il n'était pas possible d'en obtenir une reproduction tant soit peu conforme à la réalité (dans les lignes aériennes, les bobines avaient été supprimées afin d'obtenir à nouveau des conditions plus homogènes). Or, le degré d'amplification du montage à répéteurs, c'est-à-dire sa tendance aux réactions, dépend directement de la fidélité de reproduction de la ligne artificielle. Fig. 5 montre l'al-

¹⁾ Voir Bull. ASE 1928, No. 10, p. 329.

lure, en fonction de la fréquence, de la composante réelle et de la composante imaginaire de la résistance apparente d'une ligne pupinisée présentant un défaut d'homogénéité à une distance $d = 16,5$ longueurs de champ de bobine d'une des extrémités.

Au début, on était satisfait lorsque deux de ces amplificateurs montés en série sur une ligne permettaient un service sans perturba-

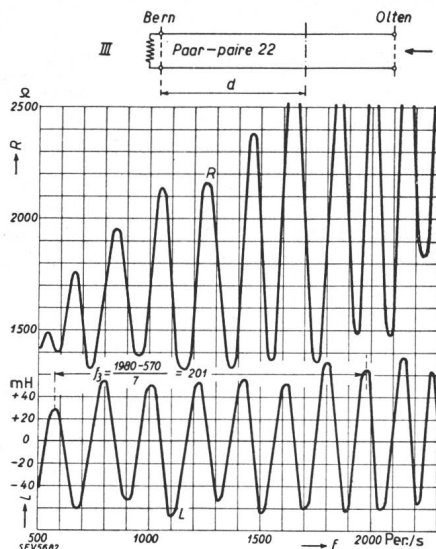


Fig. 5.

tions. En utilisant des fils de 1,4 à 1,5 mm d'épaisseur, la portée des transmissions pouvait être étendue jusqu'à 300 km environ. Au cours de ces dix dernières années, l'amélioration constante des bobines et des câbles, ainsi que des montages extrêmement soignés, ont permis d'établir des lignes pupinisées homogènes et à propriétés stables, permettant sans difficulté l'emploi de 8 répéteurs à 2 fils sur une même ligne. L'application de montages d'essai a pu être sensiblement étendue. Toutefois, par suite de difficultés d'une autre nature, il n'était pas possible de dépasser une portée de 800 km environ, sans d'assez grands frais. La tendance aux réactions augmente avec le nombre des répéteurs; le degré d'amplification de chaque répéteur doit être réduit et l'on atteint finalement un état tel qu'une nouvelle augmentation du nombre des répéteurs ne peut plus présenter d'avantages.

Le répéteur à 2 fils a conduit à l'établissement de nouveaux montages à 4 fils, qui ont permis peu à peu d'atteindre de très grandes distances. Le nombre des éléments amplificateurs est augmenté d'une façon symétrique pour chaque sens de transmission et ces éléments sont répartis le long de deux lignes, de telle sorte qu'entre chaque groupe de deux éléments se trouve une portion de ligne. Les deux transformateurs différentiels sont disposés à l'origine et à la fin de la distance à couvrir. A ces deux endroits, la tendance aux réactions est également limitée, si l'on veille à ce que les lignes d'aller et de retour ne s'influencent pas réciproquement (faible couplage des deux lignes). L'ensemble

du système constitue un grand répéteur à 2 fils (fig. 6). Cette disposition, à première vue très coûteuse, est encore actuellement la seule possibilité de franchir de grandes distances. Par rapport au montage à 2 fils, elle offre des avantages considérables. Chaque amplificateur ne travaillant plus que dans un seul sens de transmission, leur degré d'amplification peut être augmenté, pour autant que le niveau des bruits et les couplages réciproques le permettent. Pour une même distance entre répéteurs, on peut donc utiliser des fils plus minces, ou au contraire utiliser des fils plus épais tout en augmentant la distance entre répéteurs. Le montage de ces répéteurs est simple. L'introduction du montage à 4 fils a permis d'augmenter la portée des transmissions à 1000 km, en utilisant des lignes sous câbles pupinisées avec une fréquence critique de 2800 pér./s. et des conducteurs de 0,9 mm (charge mi-forte). Toutefois, de nouvelles difficultés ont surgi et ont posé de nouveaux problèmes à résoudre.

Aux deux stations terminus, les abonnés sont généralement branchés directement par les lignes publiques au circuit à 4 fils et la résistance apparente de ces branchements d'abonnés varie énormément, aussi l'équilibrage est-il instable, c'est-à-dire qu'il ne peut être adapté qu'à un état moyen. Il en résulte toujours qu'une plus ou moins grande partie de l'énergie qui arrive en fin de ligne retourne en sens inverse jusqu'à la station d'origine. Si la ligne dépasse une certaine longueur et si le délai de transmission t_0 est relativement grand, l'abonné qui parle entendra, après $2t_0$ s par exemple, ses propres paroles comme un écho. Ce premier écho en produit un deuxième un peu moins fort et ainsi de suite. Cet effet d'écho trouble naturellement les communications lorsqu'il a une certaine importance. Le cas limite est une réflé-

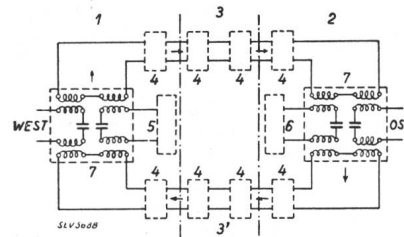


Fig. 6.

Répéteur à 4 fils, répéteurs intermédiaires et terminaux.

- 1 Equipement terminal Ouest.
- 2 Equipement terminal Est.
- 3 Répéteur intermédiaire Ouest-Est.
- 3' Répéteur intermédiaire Est-Ouest.
- 4 Répéteurs à 4 fils.
- 5 Equilibrage Ouest.
- 6 Equilibrage Est.

xion totale. Pour éviter en tous cas cette réflexion et pour ramener l'écho à une valeur minimum, l'équilibrage doit être aussi parfait que possible aux extrémités, par exemple en prolongeant artificiellement l'abonné, ou bien toute la disposition doit être aménagée de telle sorte que le niveau à l'origine (tension à l'origine) soit aussi bas que possible. Pour supprimer entièrement les échos, on

peut monter des supprimeurs d'échos, qui bloquent l'autre sens de transmission lorsque l'on parle dans un sens. Une faible portion de la puissance dans la ligne utilisée est soutirée, renforcée, redressée et utilisée pour actionner un relais qui bloque l'autre sens de transmission, ou pour rendre inopérant un amplificateur de cet autre sens (décalage de la tension positive de grille).

Le délai de transmission, c'est-à-dire le temps nécessaire à une bande de fréquence infiniment étroite ω pour parcourir une ligne présentant une constante de déphasage a

$$t_0 = \frac{da}{d\omega} = \frac{2l}{s\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

est proportionnel à la longueur et inversement proportionnel à la fréquence critique. Pour une longueur déterminée, ce délai trouble les communications, même s'il ne se produit pas d'échos, car le temps qui s'écoule entre l'émission des paroles et sa réception est trop grand. Le délai de transmission d'un train de fréquences ne doit pas dépasser 300 ms pour une communication publique établie. Il atteint par exemple 66 ms pour la fréquence de 800 pér./s. sur une longueur de 1000 km, avec écartement des bobines de 1,8 km et une fréquence critique de 2800 pér./s. (charge mi-forte). Pour la fréquence de 2400 pér./s. et aux mêmes conditions, il est de 122 ms. Comme on le voit, il est possible de réduire le délai de transmission en augmentant la fréquence critique.

L'expression ci-dessus pour le délai de transmission de la ligne pupinisée montre que ce délai dépend beaucoup de la fréquence et qu'il devient infini à la fréquence critique. Les composantes de fréquence élevée atteignent plus tardivement le point de réception que les composantes de fréquence basse. Il en résulte qu'en cas de longues lignes avec grands délais de transmission, les différents sons arrivent complètement séparés en trains d'ondes partiels à la station réceptrice, et que l'intelligibilité peut même devenir nulle. Pour qu'un son soit tant soit peu intelligible, les composantes de fréquences les plus élevées doivent encore s'établir pendant qu'il dure. Ce délai est pratiquement de 30 ms. La durée d'établissement de la fréquence la plus élevée (24 000 pér./s.) ne doit donc pas dépasser ce délai. On entend par durée d'établissement d'un train d'ondes l'écart entre le délai de transmission de la fréquence la plus basse (ω_0) et celui de la fréquence à transmettre (ω), qui détermine la bande utilisée par les fréquences principales qui participent à l'établissement du son. La durée d'établissement est alors

$$\tau = t_0 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right),$$

qui est donc également infiniment grande à la fréquence critique. Ainsi $\tau = 27$ ms pour 2000 pér./s. pour 1000 km de longueur et charge mi-forte (f_0

$= 28\,000$ pér./s.); $\tau = 2,8$ ms pour 8000 pér./s. et 60 ms pour 2400 pér./s.

On cherche donc à obtenir que le délai de transmission et, par conséquent, la durée d'établissement soient aussi identiques que possible pour toutes les fréquences de la bande vocale. Pour cela, on dispose de deux moyens. Par des montages auxiliaires (compensateurs de phase ou correcteurs de déphasage) dimensionnés de façon que les délais pour les basses fréquences aient une valeur maximum, on obtient que le délai de transmission du train d'ondes soit sensiblement égal pour le câble et les compensateurs de phase, du moins pour la bande à transmettre. Ces correcteurs, dus à Küpfmüller, présentent une résistance apparente constante et un affaiblissement nul. On comprend facilement que ce montage permet bien une amélioration au point de vue de l'établissement des trains d'ondes, mais non pas une réduction du délai de transmission. En considérant les expressions de t_0 et τ , on voit qu'une augmentation de la fréquence critique peut être utile; ce procédé a été appliqué au cours de ces dernières années. Pour les transmissions très longues, les lignes sont prévues avec une fréquence critique relativement élevée, atteignant 6500 à 16 000 pér./s. suivant les pays, la bande vocale restant la même. Par le montage de filtres passe-bas aux termineurs, on obtient même que les fréquences supérieures à 2500 pér./s. ne puissent pas traverser, même lorsque l'on ne cherche pas à mieux utiliser les lignes. Pour une charge extra-légère (charge musicale) — écarts entre bobines de 1,8 km et fréquence critique de 7000 pér./s. —, le délai de transmission est de 152 ms pour une longueur de 5000 km et la durée d'établissement de 24 ms (fig. 7).

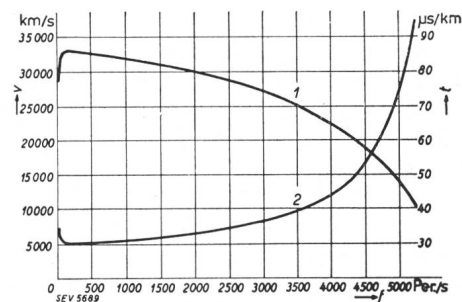


Fig. 7.

Vitesse et durée de transmission pour un circuit réel chargé par des bobines de 44 mH espacées de 1830 m.

- 1 Vitesse de transmission.
- 2 Durée de transmission.

Les expressions de la fréquence critique et de l'affaiblissement montrent que, pour des conditions identiques (mêmes écarts entre bobines), l'affaiblissement augmente avec la fréquence critique; c'est-à-dire que dans les lignes à très grandes distances, les amplificateurs doivent être plus rapprochés. Par unité de longueur, les lignes de transmission à grande distance sont donc plus chères que les lignes courtes. En Allemagne, pour la radiodiffusion et la télévision, ainsi que

pour la superposition de 3 voies sur une même ligne, on a mis au point des circuits ayant une fréquence critique de 16 000 pér./s., qui seraient parfaitement utilisables pour assurer une communication autour de la Terre. Pour une distance de 40 000 km et la fréquence de 2000 pér./s., le délai de transmission serait de 444 ms et la durée d'établissement de 4,5 ms.

Un autre phénomène désagréable qui se présente lors de la transmission vocale à très grandes distances est la distorsion d'affaiblissement, surtout dans les lignes ayant une fréquence critique peu élevée. L'affaiblissement augmentant plus fortement au voisinage de la fréquence critique, les composants de fréquence élevée sont plus affaiblis que les composants de fréquence basse. Il en résulte que les composants à fréquence élevée deviennent de moins en moins perceptibles, à mesure que la longueur de la ligne augmente. On supprime ce désavantage en équipant les amplificateurs (à 2 ou à 4 fils) de dispositifs «antidistorsion», de sorte que les fréquences élevées sont plus fortement amplifiées; à la sortie de chaque amplificateur, toutes les fréquences présentent alors une amplitude à peu près égale.

Pour les lignes ayant une fréquence critique élevée, ces montages peuvent être supprimés; on doit toutefois tenir compte que l'affaiblissement des basses fréquences diminue assez rapidement avec la fréquence. Les sons bas prédominent alors fortement. On doit dans ce cas prévoir des montages égalisateurs appropriés, en série avec la ligne, qui affaiblissent plus fortement les basses fréquences. Ces montages peuvent être constitués par des dipôles simples, des ponts symétriques, des cellules en échelle, etc. Les distorsions de phase et d'amplitude peuvent toujours être ramenées à des valeurs pratiques, comme il vient d'être dit. Il existe cependant des distorsions non linéaires, provoquées par les amplificateurs et les bobines de charge. Il n'est pas possible de les supprimer com-

plètement, mais on peut les ramener à des valeurs qui ne gênent pratiquement pas les communications, en choisissant un matériel approprié.

On a pu ainsi, au cours de ces dix dernières années, établir des circuits téléphoniques à grandes distances à l'aide de lignes pupinisées appropriées, qui permettent de satisfaire pleinement aux exigences du trafic. En utilisant des voies sans fil aux endroits où le montage de lignes sous

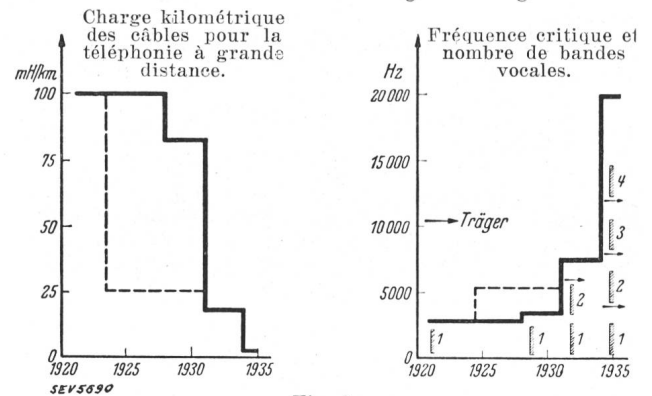


Fig. 8. Développement du réseau allemand de câbles. --- charge légère, pour les communications à grande distance. Les traits verticaux accompagnés de hachures (diagramme de droite) indiquent la position et la largeur des différentes bandes vocales.

câbles se heurtait à de grandes difficultés ou aurait occasionné des frais trop considérables, on a pu entourer la Terre d'un réseau téléphonique plus ou moins serré. Il faut noter que les voies sans fil couplées aux voies par fils sont les parties les plus coûteuses et les moins stables de ce réseau. La tâche de ces prochaines années sera de rechercher des moyens permettant de les remplacer par de meilleurs systèmes. Un système qui semble être parfaitement réalisable consiste à utiliser des circuits sous câbles très simples, permettant la transmission de fréquences extrêmement élevées (10^6 et plus) pour porter les fréquences vocales. Ces systèmes ont déjà dépassé le stade d'expérimentation.

Discussion.

Der Vorsitzende, Herr Direktor M. Schiesser, Präsident des SEV, verdankt Herrn Professor Dr. J. Forrer den Vortrag bestens. Der Referent hat gezeigt, dass das Fernsprechen auf langen Leitungen eine ganz grosse Wissenschaft geworden ist. In der heutigen Fernsprechtechnik ist eine gewaltige Forschungsarbeit verwirklicht, an der alle Gebiete der physikalischen Forschung teilnahmen. Der Vorsitzende eröffnet die Diskussion.

Herr P. E. Schneeberger, Kabelwerke Brugg A.-G.: Herr Professor Dr. Forrer hat in ausserordentlich glücklicher Weise die Entwicklung des Fernsprechens über Kabelleitungen auf grosse Entfernungen dargestellt und es ist der Leitung des SEV zu danken, dass sie in unserm Kreise nun auch den bis heute etwas stiefmütterlich behandelten Schwachstrom zu Worte kommen lässt. Gerade die Entwicklung der Telephonie ist in den letzten Jahren zu einem volkswirtschaftlichen Faktor gewachsen, der nicht nur für den Staat, sondern für die Elektroindustrie im speziellen von grösster Bedeutung ist.

Zum Vortrag selber möchte ich nur kurz einige Worte sagen und den Herrn Referenten bitten, gegebenenfalls die gewünschte Auskunft zu erteilen.

Die Grössenordnung der zu Beginn des Vortrages angeführten Kopplungswerte zwischen den einzelnen Bauelementen darf zwischen

Stamm/Stamm	im Mittel	30 $\mu\mu\text{F}$, max. 100 $\mu\mu\text{F}$
Stamm/Vierer	» »	75 $\mu\mu\text{F}$, max. 250 $\mu\mu\text{F}$
Vierer/Vierer	» »	50 $\mu\mu\text{F}$, max. 100 $\mu\mu\text{F}$

nicht überschreiten. Diese Werte verbürgen eine leichte Durchführung des Ausgleiches der Kopplungsunsymmetrien, insbesondere durch das Kreuzungsverfahren. Die vom Herrn Vortragenden bezeichneten Kopplungen zwischen den Adern und dem Bleimantel haben schon oft zu Diskussionen Anlass gegeben und ich möchte fragen, ob in letzter Zeit dieses Problem abgeklärt worden ist. Es bestehen grundsätzlich zwei Anschauungen: Hat der Ausgleich der Erdsymmetrien eine praktische Bedeutung für die Uebersprechverhältnisse oder nicht?

Eine weitere Frage, die vielleicht mehr allgemeines Interesse hat, betrifft die Verstärkeranlagen. Es würde mich sehr interessieren, etwas über die Organisation der Kontrolle der Verstärker zu hören. Die absolute Stabilität der Röhrenkonstanten ist eine Notwendigkeit für die klare Sprachübermittlung. Es sind ganz gewiss spezielle Vorkehrungen für eine sorgfältige Betriebsüberwachung getroffen worden.

Zum Schluss deutete Herr Professor Forrer noch den Weg in die Zukunft, indem er auf die sog. Breitbandkabel hinwies.

Die Uebertragung hoher und höchster Frequenzen auf Kabelanlagen bedingt grundsätzliche Konstruktionsänderungen. Die Hauptgründe sind die Zunahme der Widerstands- und Ableitungsdämpfungen, welche bei den jetzigen Baustoffen Werte annehmen würden, die eine Uebertragung unmöglich machen. Eine Reihe von Isolationsstoffen mit sehr geringen dielektrischen Verlustwinkeln bei hohen Frequenzen liegen bereits vor. Glaubt Herr Professor Forrer an eine starke Verbreitung des zukünftigen Fernsehens und sind gegebenenfalls die Aussichten für Verteilungsanlagen auf dem Kabelprinzip gegenüber der drahtlosen Uebertragung günstig?

Herr Professor Dr. F. Tank, Eidg. Tec. Hochschule, Zürich: Seit mehr als einem Dezennium stehen sich die Telephonie auf dem Drahtwege, bzw. Kabel, und die drahtlose Telephonie durch den freien Luftraum hindurch als Rivalen gegenüber. Es ist von hohem Interesse, die beiden Uebertragungsmethoden hinsichtlich ihrer besonderen Eigenart und Eignung zu vergleichen. Es ist unschwer zu erkennen, dass gerade dort, wo die Vorzüge der einen Methode liegen, die andere Methode Schwächen aufweist und umgekehrt. Die Kabeltelephonie ist gerichtet, d. h. schlägt einen bestimmten vorgeschriebenen Weg ein, und ist weitgehend störungsfrei, dagegen bereiten die Dämpfung, das Bestehen einer Grenzfrequenz und die im Zusammenhang damit stehenden Phasenverschiebungen dem Durchgang hoher Frequenzen grosse Schwierigkeiten; auch ist das Kabel sehr kostspielig. Die drahtlose Telegraphie besitzt den Vorteil eines absolut trägheitsfreien und in der Kostenfrage überhaupt keine Rolle spielenden Uebertragungsmediums, wogegen sie aber Störungen stark ausgesetzt ist und die Richtmöglichkeiten beschränkt sind. Es ergibt sich daher von selbst der Wunsch, die beiden Methoden irgendwie so zu kombinieren, dass ihre Vorzüge vereinigt sind, ohne dass ihre Nachteile entsprechend gesteigert werden. Eine dahin zielende Lösung stellt ohne Zweifel das Hochfrequenzkabel dar. Die Verwirklichung eines technisch verwendungsfähigen Hochfrequenzkabels bietet eine Reihe grundsätzlicher Schwierigkeiten, vor allem hinsichtlich der Dämpfung. Durch Verwendung der neuen verlustarmen Isolierstoffe sind aber schon erhebliche Fortschritte erzielt worden. Das Hochfrequenzkabel ist zunächst in der Hochfrequenztechnik als Energieleitung vom Sender zur Antenne verwendet worden. Es würde aber bei weiterer Durchbildung ganz allgemein ein ideales Kabel darstellen. Nicht nur wäre es möglich, eine grosse Anzahl von Gesprächen in einwandfreier Qualität gleichzeitig auf einer Leitung zu übertragen, sondern das Hochfrequenzkabel ist vor allem das berufene Kabel für das Fernsehen. Von der Lösung der Kabelfrage wird ganz wesentlich die Entwicklung des zukünftigen Fernsehens abhängen. Wenn auch die Schwierigkeiten gross sind, die sich der Entwicklung eines Hochfrequenzkabels entgegenstellen, so wird zweifellos dafür auch Grosses erreicht sein, wenn seine Verwirklichung gelingt¹⁾.

Herr P. E. Erikson, Int. Standard Electric Corporation, London: Herr Professor Dr. Forrer hat uns ein so klares und vollständiges Bild der Entwicklung der Fernkabeltechnik gegeben, dass es fast unmöglich ist, etwas beizufügen. Selbst für uns ältere Ingenieure, die diese Entwicklung über eine Spanne von etwa 30 Jahren verfolgt haben, gab es nichtsdestoweniger etwas Neues zu lernen. Der Schwachstromtechniker muss stets nach besserer Ausnutzung der Werkstoffe streben, und dies gilt im besondern für Kupferdraht. Bei Freileitungen von — sagen wir — 4 bis 5 mm Drahtstärke waren wir nicht zufrieden, durch Fantomausnutzung drei Sprechkreise aus vier Drähten herauszuholen. Es wurde ein Verfahren entwickelt, das durch die Verwendung von hochfrequenten Trägerströmen die Ueberlagerung von drei bis vier Kreisen auf jeder Freileitung ermöglichte.

Wir sind nun daran, dieses selbe hochfrequente Verfahren auf Kabel anzuwenden. Der Herr Referent erwähnte die Verwendung von ein bis drei Trägerkanälen auf besonders

pupinisierten Leitungen, die so bespult sind, dass sich eine Grenzfrequenz von der Grössenordnung 20 000 Per./s ergibt. In der Diskussion wurden auch die Breitbandkabel koaxialer Konstruktion erwähnt, die entweder zur Fernschübertragung oder zum Gewinn einer sehr grossen Zahl von tonfrequenten Kanälen verwendet werden können.

Es gibt jedoch noch einen Zwischenschritt zwischen den besonders pupinisierten Kabeln mit drei Trägerkanälen und den koaxialen Kabeln, der von Wichtigkeit ist. Versuche wurden kürzlich in Amerika und in Grossbritannien unternommen, die gezeigt haben, dass es bei einem unbespulten (d. h. einem homogenen) Kabel von vielpaarigem Aufbau möglich ist, neun bis zwölf trägerfrequente Telephonkanäle auf Paaren von geeigneter Konstruktion zu bekommen.

Die Hauptaufgabe bei der praktischen Entwicklung der Trägertelephonie auf Kabeln ist jedenfalls: 1. die Auseinanderhaltung der verschiedenen Kanäle in befriedigendem Ausmasse und 2. die Verstärkung der Gesprächströme ohne Verzerrung.

Zum Schluss möchte ich noch darauf aufmerksam machen, dass Sie heute in der Schweiz eines der besten und einheitlichsten Fernkabelnetze Europas haben und, was von besonderem Interesse ist, dass die Kabel ausschliesslich in der Schweiz hergestellt worden sind.

Herr H. Weber, Telegraphen- und Telephonabteilung der PTT, Bern: Es wurde auf den Einfluss der Temperatur (Wechsel der Jahreszeiten) auf die Eigenschaften des Kabels hingewiesen, insbesondere auf die Veränderung der Dämpfungscharakteristik. Diese Veränderung ist bei langen Leitungen so gross, dass die Entzerrungseinrichtungen in den Verstärkern hauptsächlich während den Uebergangszeiten Frühling und Herbst neu eingestellt werden müssen. M. W. sind dafür auch schon automatisch arbeitende Entzerrungsvorrichtungen angewandt worden; in der Schweiz wird diese Aenderung von Hand ausgeführt. Besonders störend sind diese Temperatureinflüsse auf lange Rundfunkübertragungsleitungen, z. B. Wien—Zürich, weshalb diese einer besonders sorgfältigen periodischen Ueberwachung über das ganze Frequenzband bedürfen.

M. H. Jacot, Division des Télégraphes et des Téléphones des PTT, Berne: Monsieur le professeur Forrer a parlé dans son exposé de deux faits importants au sujet desquels l'administration suisse des téléphones a procédé à toute une série d'essais spéciaux. Il s'agit

- 1° de la distorsion linéaire des lignes répétées à 2 fils et de la manière de la compenser au moyen du circuit de contre-distorsion (Entzerrerschaltung) de chaque répéteur,
- 2° du nombre maximum de répéteurs à 2 fils pouvant être branchés en série.

Monsieur le professeur Forrer a cité comme maximum 8 répéteurs à 2 fils en série. Or on se heurte ici à une opposition de ces 2 facteurs. Ou bien on cherche en effet à compenser la distorsion linéaire des lignes en augmentant le gain des répéteurs à 2 fils pour les fréquences supérieures de 1000 pér./s à 2400 pér./s. Mais pour les fréquences proches de la fréquence de coupure du câble il est difficile d'adapter exactement l'équilibreur à l'impédance de la ligne, c'est-à-dire que pour ces fréquences il y aura risque de couplage plus grand, la ligne aura une plus forte tendance à siffler. Il faut donc trouver un réglage moyen de la contre-distorsion qui compense malgré tout le mieux possible la distorsion linéaire de la ligne, tout en gardant une stabilité suffisante pour un grand nombre de répéteurs à 2 fils en série. Dans cet ordre d'idée l'administration a fait des essais sur une ligne de 624 km de Brigue à Schuls avec 7 répéteurs intermédiaires à Martigny, Lausanne, Berne, Olten, Zurich, Coire et St-Moritz. On vit que si sur une pareille ligne on exagère la contre-distorsion, c'est-à-dire si on veut trop compenser la distorsion linéaire de la ligne elle aura une tendance beaucoup plus forte à siffler. Un circuit fantôme de pupinisation H—63 sera meilleur du fait de sa plus haute fréquence de coupure (3600 pér./s) qui permettra de bien adapter l'équilibreur jusque près de la fréquence de coupure du répéteur (2400 pér./s dans notre cas). Il est vrai que dans certains cas on peut brancher 10 répéteurs à 2 fils en série et même

¹⁾ Es mag erwähnt werden, dass für die Zwecke des Fernsehens ein Hochfrequenzkabel vom koaxialen Typ von New York nach Philadelphia verlegt wurde. Ein ebensolches soll zwischen London und Birmingham erstellt werden; man rechnet, auf denselben 200 bis 300 Telephongespräche gleichzeitig führen zu können.

plus sans que la ligne ne se mette à siffler, mais ces répéteurs ont une fréquence de coupure plus basse (2000 pér./s). Ces répéteurs appelés répéteurs sur cordon sont utilisés lorsque dans certains cas la téléphoniste doit connecter ensemble deux lignes interurbaines. Par ex. il n'existera pas de circuit direct Genève—Schuls; on établira la communication en connectant ensemble à Zurich les 2 circuits Genève—Zurich et Zurich—Schuls. Le répéteur sur cordon de Zurich compensera partiellement les affaiblissements des 2 circuits de sorte que l'affaiblissement de la liaison Genève—Schuls sera ramenée à celle d'une ligne directe. Comme il est nécessaire de connecter ensemble toutes sortes de circuits qu'il n'est pas toujours possible de bien équilibrer, et qu'il faut éviter que la liaison ne siffle, on a choisi une fréquence de coupure plus basse pour ces répéteurs. Mais il est évident qu'en connectant un grand nombre de ces répéteurs en série la bande de fréquence effectivement transmise en sera fortement réduite et la qualité de la parole transmise en souffrira.

Monsieur Schneeberger a demandé quelles mesures de maintenance on effectuait sur les circuits et les répéteurs. Monsieur le professeur Forrer a déjà dit que pour les circuits internationaux un règlement international établi par le CCIF était intervenu. Pour chaque ligne une station directrice responsable de la qualité du circuit complet est désignée, ainsi que pour chaque pays traversé une station sous-directrice qui sera responsable du tronçon de frontière à frontière. Ainsi chaque directrice ou sous-directrice sera chargée de localiser et le cas échéant de lever les dérangements dans la section dont elles ont la responsabilité. Ainsi pour la ligne Paris—Vienne, Zurich sera choisie comme sous-directrice pour la Suisse et sera responsable du tronçon Bâle—St-Gall. Comme les lignes à 4 fils sont plus coûteuses que les lignes à 2 fils au point de vue du capital investi, il faut que ces lignes rendent aussi davantage et qu'elles soient par conséquent toujours en parfait état de fonctionnement. Pour cette raison les circuits à 4 fils seront mesurés régulièrement une fois par semaine ou une fois par mois suivant leur longueur. A époques régulières on contrôlera la bande de fréquences transmise de 300 à 2400 pér./s. La stabilité du gain des répéteurs dépend des triodes et particulièrement des variations de leur courant de chauffage. Ces courants sont donc contrôlés une fois par semaine. Le gain des répéteurs est vérifié une fois par mois.

Pour les amplificateurs radiophoniques qui doivent assurer une transmission parfaite de la musique pour une bande de 35 à 7000 pér./s le contrôle est encore plus serré. Le gain de ces amplificateurs qui doit être particulièrement stable est contrôlé toutes les semaines. Chaque samedi les circuits radiophoniques sont mesurés et cela pour les 4 réseaux (Beromünster, Sottens, Europe I et Europe II). Régulièrement le gain est contrôlé pour toute la bande de fréquences de 35 à 10 000 pér./s de manière à s'assurer de l'uniformité des caractéristiques des amplificateurs.

Ces quelques explications supplémentaires donneront un bref aperçu des mesures de maintenance nécessaire à maintenir les réseaux téléphoniques et radiophoniques en parfait état de fonctionnement.

Herr Prof. Dr. J. Forrer, Referent: Zu der von Herrn Schneeberger gestellten Frage nach der Bedeutung der Erdunsymmetrien in den Fernkabeln ist zu sagen, dass sie in den Messwerten, die dem Nebensprechausgleich zugrunde gelegt werden, inbegriffen sind und in ihrer Wirkung auf das Nebensprechen durch den Ausgleich beseitigt werden. Bei Kabeln, die dem Einfluss von Starkstromanlagen ausgesetzt sind, wo also auf den einzelnen Drähten Längsspannungen induziert werden, führen Erdkopplungsunsymmetrien zu Störungsgeräuschen. Der Zusammenhang zwischen Geräuschspannung und Unsymmetrie ist vielfach, auch theoretisch, erörtert worden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass grosse Erdunsymmetrien zu unzulässig starken Geräuschen führen, die bei sonst symmetrischen Verhältnissen durch Ausgleich beseitigt werden können. Dieser hat sich dann nur auf die Erdunsymmetrien zu beziehen, in denen dann auch die Gesamtheit der Kopplungen gegen alle übrigen Drähte im Aderbündel inbegriffen ist. Es hat sich aber gezeigt, dass beispielsweise bei Erdkapazitätsunsymmetrien die unterhalb

eines Minimalbetrages liegen (ca. 500 $\mu\mu\text{F}$ pro Spulenfeld für Stamm- und ca. 1000 $\mu\mu\text{F}$ für Viererleitungen) der für eine weitere Reduktion nötige Aufwand (vermehrter Ausschuss in der Fabrikation und umfangreichere Ausgleichsarbeiten) keinen namhaften praktischen Erfolg mehr verspricht. Die Schweizerische Telephonverwaltung hat sich immer mit den angegebenen Grenzen für die Erdkapazitätsunsymmetrien begnügt; irgendwelche störenden Geräusche finden sich auf ihren Fernkabelanlagen nicht, trotz des teilweise ausserordentlich grossen Einflusses der elektrischen Bahnanlagen.

Im Fernsprechverstärkerbetrieb hat man von Anfang an nur mit den besten Verstärkerrohren gearbeitet, um weitgehende Stabilität der Einrichtungen zu erreichen. Zeitlich stark veränderliche Eigenschaften der diesbezüglichen Einrichtungen würden einen geordneten Betrieb auf langen Kabelleitungen mit verhältnismässig vielen Verstärkern geradezu unmöglich machen. Die Betriebsvorschriften für die Verstärkerämter verlangen vom Ueberwachungspersonal unter andern auch die in regelmässigen Zeitabständen durchzuführende Kontrolle der Rohre, Nachbildungen, Leitungsschnitte, usw., über die eingehend Buch zu führen ist.

Das Hochfrequenzkabel wird bestimmt kommen; die ganze Entwicklung der Mittel für die Nachrichtenübermittlung über grössere Entfernungen geht in diesem Sinne. Der Durchlassbereich der Kabelstromkreise wurde im Lauf der vergangenen Jahre über das nur für die Uebertragung der Sprachfrequenzen nötige Mass hinaus erweitert, um weitere Uebertragungskanäle zu schaffen (siehe Fig. 8 des Referates). Der Vorschlag zur konzentrischen Anordnung von Hin- und Rückleitung ist schon Jahrzehnte alt. Ein Vorläufer des heute in Aussicht genommenen konzentrischen Breitbandkabels ist das im Jahre 1930 ausgelegte Seekabel von Key-West nach Habanna, wo auch bereits ein guttaperchaähnliches Isoliermaterial (Paragutta) verwendet wurde, das ein Mittelding darstellt zwischen den bis vor kurzem gebräuchlichen und den neuesten Hochfrequenzisolierstoffen. Das Hochfrequenzkabel an und für sich ist lediglich eine Frage des Isoliermaterials; möglichst geringe dielektrische Verluste bei hohen und höchsten Frequenzen und geeignete mechanische Eigenschaften sind nötig. Verschiedene Materialien dieser Art sind schon entwickelt. In Amerika sind grössere Kabelstrecken bereits verlegt worden und in England und Deutschland ist man im Begriff, das Breitbandkabel in den Dienst der Nachrichtenübermittlung zu stellen. 200 Fernsprechkanäle, d. h. die entsprechenden Trägerwellen werden als Minimum der Ausnutzung genannt, und es lässt sich übersehen, dass für grössere Entfernungen ein durchaus wirtschaftlicher Betrieb möglich wird. Bestimmte Fragen, wie die Weiterentwicklung der Linienverstärker und die Vereinfachung der Endschaltungen, bedürfen noch des weiteren Studiums.

Es lässt sich voraussehen, dass das Breitbandkabel auch auf dem Gebiete des Fernsehens noch weitgehend zur Geltung kommen wird. Heute werden Kurzwellenbildsender zum Zweck des «Fernsehens zu Hause» erstellt. Mit einer Entwicklung ähnlich wie beim Rundfunk zu rechnen, erscheint etwas gewagt, sofern die Zukunft nicht ganz wesentliche Vereinfachungen und damit bessere und billigere Empfangsapparate bringt. Bei den kurzen Wellen, die für die Verbreitung von Fernsehdarbietungen heute in Frage kommen, stellt sich schon die Forderung der optischen Sicht in den Vordergrund, ein Umstand, der bei unseren schweizerischen Bodenverhältnissen unter Umständen zusammen mit andern Schwierigkeiten Enttäuschungen bringen kann. Man begegnet denn auch vielfach der Auffassung, dass die erste brauchbare und gute Lösung das «Fernsehen im Kino» sein könnte. Der Kino kann mit Wiedergabeapparaturen ausgerüstet werden, die dem Stand der Technik in jeder Beziehung entsprechen. Er würde bedient aus einem Breitbandkabel, das beispielsweise von einem zentralen Studio aus mit erstklassigen Darbietungen beschickt wird. Dieses Verfahren hätte bestimmt den Vorteil, dass dem grösseren Aufwand entsprechend auch mit besseren Bildern gerechnet werden könnte.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern bestens für ihre wertvolle Mitwirkung.