

L'évolution de la technique de la transmission téléphonique en Suisse des origines à nos jours

Autor(en): **Jacot, J. / Valloton, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **37 (1959)**

Heft 9

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875458>

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.

L'évolution de la technique de la transmission téléphonique en Suisse des origines à nos jours

L'abonné au téléphone connaît surtout son poste téléphonique, qui lui permet de se mettre en rapport plus ou moins rapidement avec un autre abonné; il sait que l'opératrice a été remplacée par des installations compliquées concentrées dans des centraux qui établissent les communications automatiquement, d'après les instructions reçues du disque d'appel; il se doute que les abonnés sont reliés par un réseau plus ou moins vaste de fils. Son désir est de pouvoir échanger facilement des conversations, c'est-à-dire sans devoir forcer la voix ou répéter plusieurs fois son message avant d'être compris par son correspondant. Si l'abonné désire échanger une conversation avec un voisin de la même localité, il utilisera le réseau de transmission *local* composé de lignes relativement courtes; si son correspondant habite une localité voisine dans le même district, ce sera le réseau *rural* qui sera mis à contribution, alors que pour des communications avec des abonnés habitant à des centaines ou des milliers de kilomètres, c'est le réseau *interurbain national* ou *international* qui interviendra. D'autre part, l'utilisateur du téléphone ne désire pas seulement pouvoir échanger facilement des conversations avec un correspondant, quelle que soit la distance qui les sépare, mais il souhaite que la communication soit établie très rapidement, c'est-à-dire que les délais d'attente ne soient pas trop longs.

La tâche des administrations des téléphones est de réaliser d'une manière aussi économique que possible ces conditions en établissant leurs réseaux de telle sorte que l'échange des conversations puisse se faire agréablement, malgré la portée toujours plus grande des lignes, et qu'un nombre suffisant de circuits soient à la disposition de leurs clients.

En établissant les réseaux de télécommunication, il faudra veiller aussi à ce que les conversations ne soient pas troublées par des bruits de natures diverses, et surtout qu'on ne puisse percevoir d'autres conversations échangées sur le même faisceau de lignes, afin que le secret en soit garanti.

C'est grâce aux progrès de la technique de la transmission téléphonique qu'on est arrivé à résoudre peu à peu tous les problèmes se rapportant aux lignes et à leurs équipements en profitant des découvertes scientifiques de ces dernières années dans tous les domaines de la physique et de la chimie.

La ligne

Le but d'une ligne téléphonique est de transmettre la parole par des signaux électriques. Les oscillations acoustiques produites par la voix de l'abonné sont transformées par le microphone du poste téléphonique en oscillations électriques, c'est-à-dire en courants

alternatifs de différentes fréquences. A l'autre extrémité, le récepteur rétablit les oscillations électriques en oscillations acoustiques qui sont transmises à l'oreille de l'abonné qui écoute; ces oscillations comprennent les fréquences de 16 à 16 000 Hz environ, mais pour une intelligibilité suffisante du message une bande de fréquences si large n'est pas nécessaire. Actuellement on se contente d'une bande de fréquences de 300 à 3400 Hz qui doit être transmise exempte de distorsion et de perturbations.

Le capital investi dans les installations des lignes est très grand et il est important de trouver des solutions toujours plus économiques pour augmenter le nombre des lignes, augmentation rendue nécessaire par le trafic téléphonique sans cesse grandissant. C'est pourquoi l'on assiste dans le développement des moyens de transmission à trois étapes importantes:

- 1) les lignes aériennes,
- 2) les câbles,
- 3) la téléphonie multiple à courants porteurs.

Types de lignes

Les lignes peuvent être classées selon leur construction en:

- *lignes symétriques* et en
- *lignes dissymétriques*.

Les *lignes symétriques* sont formées de deux conducteurs identiques qui constituent une paire; dans un câble les deux conducteurs sont torsadés en hélice afin de diminuer les phénomènes d'induction électromagnétique avec les circuits voisins. Avec quatre conducteurs on peut former trois circuits, les deux circuits physiques appelés «réels», le troisième circuit appelé «combiné» ou «fantôme», qui est obtenu au moyen des transformateurs ou translateurs de ligne. En combinant à leur tour deux circuits fantômes, on obtient un circuit superfantôme utilisé pour la transmission télégraphique.

Les quatre conducteurs constituent une quarte qui peut être formée de deux façons.

- 1) En torsadant deux paires de conducteurs l'une autour de l'autre, on obtient la quarte à paire combinable. Les deux paires sont câblées séparément avec des pas différents, puis elles sont torsadées ensemble suivant un troisième pas pour constituer la quarte Dieselhorst-Martin. Ce mode de câblage est utilisé dans les câbles interurbains à fréquence vocale.
- 2) On peut disposer les quatre conducteurs de façon qu'ils soient tangents deux à deux, leurs centres se trouvant au sommet d'un carré, et les torsader ensemble avec un pas unique. On obtient ainsi

une *quarte en étoile*; les circuits réels se trouvent sur les diagonales du carré. Ces types de câble sont employés dans les réseaux locaux, ruraux et dans les câbles à paires symétriques non chargées pour la téléphonie à courants porteurs.

Les conducteurs sont isolés les uns des autres par une ou plusieurs bandes de papier sec, enroulées en hélice autour du fil. Chaque spire de papier recouvre plus ou moins bien la couche précédente. Pour que les conducteurs soient centrés très exactement au milieu du tube de papier, on enroule sur le conducteur de cuivre une ficelle de cellulose.

Paramètres des lignes

Les caractéristiques des lignes sont déterminées par les *paramètres primaires*; c'est-à-dire résistance R et inductance L , paramètres longitudinaux, et capacité C et perditance G , paramètres transversaux.

La *résistance*, en courant continu, est proportionnelle à la longueur et inversement proportionnelle à la section et à la conductivité du métal. Elle varie avec la température et augmente avec la fréquence par suite de l'effet pelliculaire où l'on constate une concentration des filets de courants vers la surface des conducteurs. Cet effet est d'autant plus marqué que la fréquence est plus élevée; c'est ainsi qu'aux très hautes fréquences la résistance d'un fil est inversement proportionnelle au diamètre et non pas au carré du diamètre.

Dans un circuit bifilaire, la résistance est supérieure au double de la résistance effective de chaque conducteur par suite de l'*effet de proximité*.

Pour les circuits symétriques, la perte par rayonnement dans les circuits voisins est très importante, particulièrement aux fréquences élevées; ce n'est pas le cas pour les circuits dissymétriques qui ne rayonnent pas d'énergie vers l'extérieur; c'est pourquoi on les utilise spécialement pour transmettre les fréquences élevées.

Dans les lignes symétriques, le coefficient de *self-induction* diminue avec la fréquence, alors qu'il décroît lorsque la fréquence augmente dans les lignes dissymétriques.

La *capacité* joue un rôle prépondérant dans les circuits symétriques; elle est un des éléments les plus nuisibles à la transmission, et l'on a intérêt à la rendre la plus petite possible. Pour éviter les influences par induction des lignes à courant fort et le mélange des conversations qu'on appelle diaphonie, il est en outre indispensable de rendre les deux fils d'un même circuit rigoureusement symétriques par rapport à la terre. On l'obtient en employant des conducteurs très semblables, par une fabrication uniforme des câbles en usine et en procédant à un équilibrage en cours de pose. Dans les câblages en étoile et les lignes aériennes, l'égalité des capacités est obtenue par la disposition géométrique des conducteurs.

Dans les lignes dissymétriques utilisées aux hautes fréquences, il est nécessaire d'avoir une capacité très

faible pour avoir un facteur de permittivité très voisin de 1; on y arrive en utilisant le moins d'isolant possible; dans les paires coaxiales utilisées en Suisse, le facteur est environ 1,09.

Les *perditances* étant en parallèle avec les capacités, les mêmes raisonnements que pour ces dernières leur seront applicables. En outre, la perditance étant l'inverse d'une résistance, il est naturel, que, comme pour celle-ci, nous ayons une partie indépendante de la fréquence – qui joue un rôle important dans les lignes aériennes, où elle varie fortement avec les conditions atmosphériques – et une partie due aux pertes en courant alternatif et correspondant aux imperfections du diélectrique; les pertes d'énergie augmenteront avec la fréquence. Ces pertes sont importantes dans les circuits en câbles; dans les paires isolées au papier, elles sont d'autant plus grandes que le papier est plus épais. Dans les circuits dissymétriques l'isolant choisi donne un angle de perte très faible et indépendant de la fréquence.

Paramètres secondaires

Les *paramètres secondaires* sont l'impédance caractéristique et l'exposant linéique de propagation. On peut les mesurer directement dans les circuits longs et ils interviennent de façon simple dans les calculs.

L'*impédance caractéristique* Z_w d'une ligne est son impédance mesurée à une des extrémités lorsque la ligne est supposée infiniment longue, ou l'impédance d'entrée d'une longueur finie de la ligne terminée à son extrémité par cette même impédance. L'impédance caractéristique ne dépend donc pas de la longueur de la ligne.

Le *tableau I* donne les expressions des paramètres secondaires en fonction des paramètres primaires.

Lorsque les lignes sont bien construites, on peut, en première approximation, négliger la perditance G devant la réactance de capacité $C\omega$ et l'on peut distinguer deux cas particuliers, *a* et *b*.

Le cas *a* est représenté par:

- 1) les lignes aériennes de gros diamètre,
- 2) les câbles chargés, c'est-à-dire les câbles dans lesquels on a augmenté artificiellement l'inductance linéique des paires,
- 3) les circuits en câbles ordinaires utilisés en haute fréquence pour la téléphonie à courants porteurs,
- 4) les paires concentriques utilisées à de très hautes fréquences.

Dans le cas *b*:

l'impédance n'est plus indépendante de la fréquence et n'est plus réelle.

C'est le cas des câbles non chargés à conducteurs de petit diamètre, c'est-à-dire les câbles d'abonnés.

Exposant linéique de propagation

L'exposant linéique de propagation γ , qui est une quantité complexe et se compose de l'affaiblissement linéique α et du déphasage linéique β , permet de déterminer le rendement des lignes de transmission, c'est-à-dire la relation entre la quantité de l'énergie électrique

Tableau I. Paramètres secondaires des lignes homogènes, en fonction des paramètres primaires

		cas particuliers (G négligeable)	
		a) $\omega L \gg R$	b) $R \gg \omega L$
Impédance caractéristique	$Z_w = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$	$Z_w = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z_w = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-j45^\circ}$
Exposant linéique de propagation $\gamma = \alpha + j\beta$	$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$		
Affaiblissement linéique α	$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(RG - \omega^2 LC) + \frac{1}{2}\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)}}$	$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$ α prop. à R et \sqrt{C} et inversement prop. à \sqrt{L}	$\alpha = \sqrt{\frac{R\omega C}{2}}$ α augmente rapidement avec ω
Déphasage linéique β	$\beta = \sqrt{\frac{1}{2}\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)}} = \frac{1}{2}(RG - \omega^2 LC)$	$\beta = \omega \sqrt{LC}$	$\beta = \sqrt{\frac{R\omega C}{2}}$
Vitesse de propagation $v = \frac{\omega}{\beta}$		$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ indépendant de f	$v = \sqrt{\frac{2\omega}{RC}}$ augmente avec ω

émise à l'origine et celle qu'on recevra à l'extrémité de la ligne. Le rendement énergétique d'une ligne de transmission est exprimé par le rapport de la puissance P_2 à l'extrémité de la ligne à la puissance P_1 à l'origine de la ligne, $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, étant entendu que les énergies entrante et sortante sont de même nature, c'est-à-dire des puissances électriques. Ce n'est pas le cas lorsqu'on considère la transmission de la voix de l'abonné qui parle jusqu'à l'oreille de celui qui écoute, car il y aura transformation d'énergie mécanique en énergie électrique et vice versa; ce phénomène est étudié en téléphonométrie.

Le problème le plus important qui se pose pour les ingénieurs des télécommunications est d'obtenir un rendement suffisant dans la transmission d'énergie. Dans la technique de la transmission on exprime ce rendement par le logarithme du rapport de deux grandeurs électriques, puissance, courant ou tension. Suivant que l'on se sert du système des logarithmes naturels ou népériens, ou des logarithmes décimaux, les unités seront exprimées en Népers ou en Bels.

En considérant le cas particulier a on voit que pour diminuer l'affaiblissement il faut augmenter l'inductance de la ligne. Pour les lignes aériennes, il suffit d'augmenter le diamètre des conducteurs pour avoir une portée suffisante; la faible capacité de la ligne n'a que peu d'influence sur l'affaiblissement. Par la mise en câble des circuits, la capacité augmente dans de très fortes proportions et par conséquent l'affaiblissement aussi. Dans cette catégorie nous trouvons

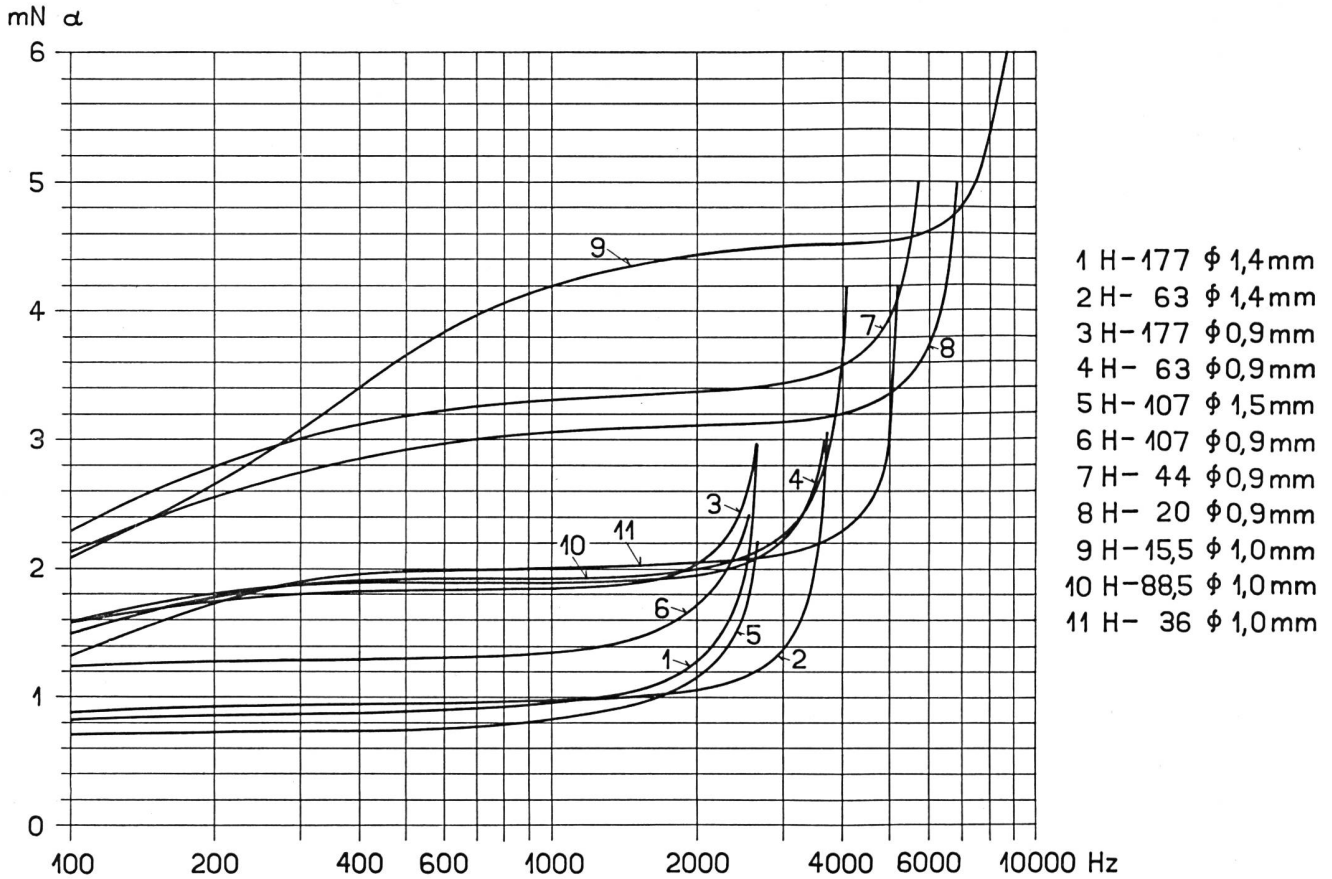
les circuits chargés, les lignes aériennes et les câbles à paires non chargées pour courants porteurs; ces derniers, spécialement construits pour les besoins de la téléphonie à courants porteurs, comprennent 12 quartes étoilées; la capacité entre conducteurs a été réduite et, pour éviter la diaphonie aux fréquences élevées, les quartes sont câblées avec des pas différents.

Le mathématicien anglais *Heaviside* avait déjà indiqué en 1886 une méthode pour diminuer l'effet de la capacité, en augmentant artificiellement l'inductance. En 1901, l'ingénieur *Krarup* mit au point le premier câble téléphonique, réalisant l'idée de *Heaviside*. Ce procédé consiste à enrouler autour de chacun des conducteurs de cuivre un fil ou un ruban de fer doux, qui a pour effet d'augmenter le coefficient de self-induction. Mais ces câbles sont plus chers et la distorsion d'affaiblissement avec la fréquence est plus grande.

En 1900, le professeur serbe *Pupin*, établi aux Etats-Unis, propose de charger les câbles d'une façon discontinue, en insérant à des intervalles réguliers suffisamment petits devant les longueurs d'onde, des bobines d'induction qui portent son nom. Le brevet rapporta à *Pupin* la coquette somme de 455 000 dollars!

Les circuits pupinisés ou chargés ont un pas de pupinisation de 1830 mètres (H) ou 915 mètres (B). La charge a pour effet, tout en diminuant l'affaiblissement, de transformer la ligne en filtre passe-bas ne laissant passer les courants que jusqu'à une certaine fréquence appelée fréquence de coupure. L'accroisse-

Fig. 1. Affaiblissement kilométrique de câbles pupinisés en fonction de la fréquence



ment de la fréquence de coupure augmente la bande des fréquences transmises et par conséquent les conversations téléphoniques seront transmises avec une netteté plus grande (fig. 1).

Le cas *b* est représenté par les câbles non chargés et les circuits locaux aux fréquences vocales.

Dans les *circuits dissymétriques*, l'impédance caractéristique dépend du rapport des diamètres des conducteurs intérieur et extérieur; elle varie entre 70 et 75 ohms.

Puisque les paramètres primaires *R* et *G* sont fonction de la fréquence, la résistance effective est proportionnelle à \sqrt{f} et la perte *G* est directement proportionnelle à *f*; l'affaiblissement linéique varie également avec la fréquence.

Une paire coaxiale n'a pas de fréquence de coupure; elle convient par conséquent très bien pour la transmission de très hautes fréquences, car il est difficile d'utiliser les paires symétriques pour des fréquences très élevées sans prendre de grandes précautions dans leur fabrication, ce qui se traduit par un renchérissement évident.

La paire coaxiale est formée d'un conducteur intérieur cylindrique plein en cuivre de 2,6 mm de diamètre, le conducteur extérieur étant constitué par un ruban de cuivre de 0,25 mm d'épaisseur plié en

forme de cylindre creux autour du conducteur intérieur; le diamètre intérieur de ce cylindre est de 9,6 mm; les bords du ruban sont ondulés de manière que le contact établi lorsque les deux bords se trouvent face à face soit meilleur. Le cylindre de cuivre est maintenu en forme par deux rubans d'acier enroulés en spirale; ceux-ci ont essentiellement pour fonctions de constituer un écran, de réaliser une résistance mécanique suffisante de la paire et de rendre cette dernière assez flexible pour lui permettre d'être enroulée sur des tambours. Le conducteur intérieur est maintenu en place par des disques fendus de polyéthylène qui sont placés sur le conducteur à des distances de 25 mm.

Afin que les caractéristiques des paires coaxiales soient homogènes, il faut que les divers éléments qui les constituent remplissent des conditions d'exactitude et de propreté très grandes et que la fabrication se fasse avec un grand soin. Les câbles coaxiaux comprennent: les quatre paires coaxiales, 4 × 3 quarts étoiles interstitielles avec des conducteurs de 0,6 mm de diamètre isolés au papier pour le bourrage, placées à l'extérieur entre les paires coaxiales, et une paire isolée au polyéthylène avec des conducteurs de 0,9 mm de diamètre placée au centre entre les paires coaxiales. Cette dernière paire sert aux mesures et à la localisation des dérangements du câble.

Les équipements de lignes

La réduction d'affaiblissement obtenue par la charge des circuits s'est encore révélée insuffisante pour permettre l'échange de conversations téléphoniques sur des distances de quelques centaines de kilomètres. Lee de Forest, en inventant la lampe amplificatrice, apporta une solution au problème.

Dans un tube vide d'air, un filament amené à une température élevée émet des électrons captés par une électrode, appelée anode, portée à un potentiel positif. Le courant électronique ainsi produit peut être modifié dans une large mesure par l'effet d'une électrode de grille, placée entre le filament et l'anode. Une tension alternative appliquée à la grille apparaît amplifiée dans le circuit d'anode.

La fabrication industrielle de ces tubes électroniques permet de construire des amplificateurs téléphoniques qui, insérés sur les lignes à des distances régulières, permettent de maintenir les niveaux des signaux vocaux à des valeurs admissibles.

Dans les circuits téléphoniques, on distingue :

- le répéteur à 2 fils, lorsqu'une seule paire est utilisée pour les deux sens de transmission ;
- le répéteur à 4 fils, lorsqu'une paire séparée est réservée à chaque sens de transmission.

Répéteurs à 2 fils

La même paire étant utilisée pour les deux sens de transmission, un amplificateur unidirectionnel ne pouvait pas être utilisé sans quelque artifice. Il a fallu trouver un élément permettant de connecter en parallèle deux amplificateurs de sens opposé, sans que les courants vocaux sortant de l'un d'eux parviennent à l'entrée de l'autre, afin d'éviter les phénomènes d'amorçage. Cet élément très important dans la technique téléphonique porte le nom de transformateur différentiel. Sous certaines conditions de terminaison, il possède la propriété d'empêcher un signal appliqué à une entrée de parvenir à une sortie déterminée. Si les amplificateurs sont connectés à cette entrée, respectivement sortie, aucun courant ne traversera le dispositif, à condition que la ligne et un nouvel élément portant le nom d'équilibreur soient connectés aux deux autres sorties (fig. 2).

Les circuits à amplifier sont en général des lignes homogènes, qui, sous certaines conditions de terminaison, présentent une impédance caractéristique indépendante de leur longueur. Dans les circuits pupinisés, cette impédance est presque constante dans la bande de fréquence moyenne et augmente rapidement à la fréquence de coupure du câble. Il est possible de constituer des réseaux électriques - les équilibreurs - capables de reproduire avec une bonne approximation l'impédance caractéristique moyenne des circuits. Par suite d'inexactitude dans les constantes primaires du câble, la courbe d'impédance du circuit présente quelques irrégularités, impossibles à reproduire. La figure 2 donne un exemple de ces courbes d'impédances. Dans ces conditions, une

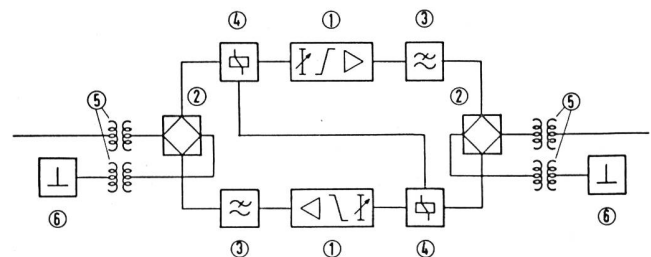
partie des signaux vocaux passent à travers le transformateur différentiel et parviennent à l'entrée de l'amplificateur de sens opposé. Cet effet nuisible produit des phénomènes d'échos et diminue la stabilité. Le gain et le nombre des amplificateurs ne peuvent de ce fait dépasser certaines limites empêchant l'utilisation de cette technique pour des distances supérieures à 500 km par exemple.

Il est nécessaire, d'une manière générale, de terminer les circuits par une impédance aussi voisine que possible de leur impédance caractéristique. On utilise à cet effet des transformateurs désignés généralement sous le nom de translateurs.

Près de la fréquence de coupure, les impédances du circuit et de l'équilibreur s'écartent notablement l'une de l'autre et il importe de diminuer fortement, pour ces fréquences, le gain des amplificateurs. On utilise à cet effet des filtres passe-bas insérés à l'entrée ou à la sortie.

L'affaiblissement d'une paire de câble varie aussi avec la fréquence. Cet effet, appelé distorsion d'affaiblissement, doit être compensé dans l'amplificateur au moyen de correcteurs.

A part les courants vocaux, chaque circuit téléphonique doit pouvoir transmettre des signaux destinés soit à déclencher un appel, soit à diriger des



- ① Amplificateur
- ② Transformateur différentiel
- ③ Filtre passe-bas
- ④ Signaleur
- ⑤ Translateur
- ⑥ Équilibreur

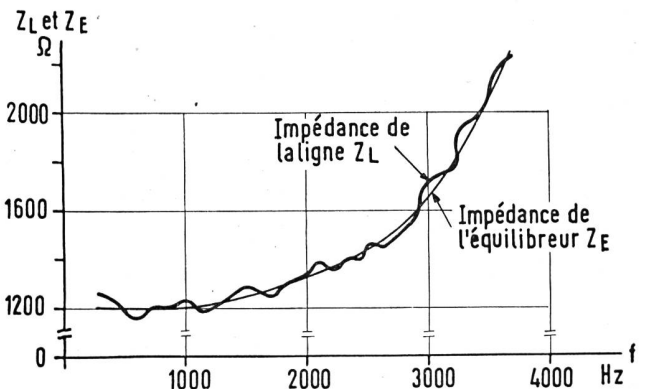


Fig. 2. En haut : schéma de principe d'un répéteur à 2 fils
En bas : courbes d'impédance de la ligne et de l'équilibreur en fonction de la fréquence

organes de commutation sur des positions déterminées. Sur les circuits à 2 fils, on utilise généralement une fréquence de signaux très basse, soit 23 ou 50 Hz. Comme les courants vocaux, ces signaux doivent être régénérés. L'amplificateur est inutilisable à cet effet, et doit être remplacé par un dispositif dit *signaleur*, qui répète le signal au moyen d'un jeu de relais.

L'ensemble constitué par les deux amplificateurs, les différentiels, les filtres passe-bas et le signaleur est désigné par le nom de *répéteur à 2 fils*. Il présentait au début quelques désavantages importants. Le gain dépendait fortement des caractéristiques de la triode ainsi que des tensions d'alimentation. De plus, l'égalisation des distorsions d'affaiblissement du circuit n'était pas aisée. L'invention de la contre-réaction, qui consiste à relier la sortie et l'entrée d'un amplificateur par un «chemin» d'affaiblissement et de phase bien déterminé, a permis d'augmenter considérablement la stabilité de gain, et de diminuer le bruit et la distorsion non linéaire.

Répéteurs à 4 fils

Nous avons vu que si un circuit à 2 fils dépasse une certaine longueur, les irrégularités d'impédance et les réflexions provoquent des phénomènes d'échos et d'instabilité tels, que la qualité est fortement réduite ou même rendue insuffisante. Pour y remédier on utilise la technique des circuits à 4 fils. Deux paires de conducteurs constituent le circuit proprement dit, chaque paire étant utilisée pour un sens de transmission. A chaque extrémité un transformateur différentiel, appelé dans ce cas termineur, permet la liaison normale en 2 fils vers l'abonné. Les répéteurs, du type unidirectionnel, sont attribués à chaque sens de transmission. Leur gain étant assez élevé, le diamètre des conducteurs peut être diminué, ce qui a une grande influence sur le diamètre et le prix des câbles. On choisit aussi une charge plus légère ayant pour effet d'augmenter la bande de fréquences transmise et la vitesse de propagation; il en résulte une meilleure intelligibilité et des phénomènes d'échos moins gênants. Un grand nombre d'amplificateurs peuvent être insérés en série à des distances convenables, la stabilité étant déterminée pratiquement par les conditions de terminaison des termineurs d'extrémités.

Signalisation manuelle à fréquences vocales

Dans les circuits à 4 fils, où le nombre de répéteurs est généralement élevé, il n'est pas indiqué de répéter l'appel, comme c'est le cas dans les circuits à 2 fils. On utilise alors un signal à fréquence vocale, de niveau comparable aux signaux vocaux, qui est en conséquence amplifié comme eux. Depuis l'introduction des circuits à 4 fils, on utilise un signal d'appel d'une fréquence de 500 Hz, interrompu 20 fois par seconde; la durée d'un élément de signal est égale à la durée de l'interruption. Cette modulation à 20 Hz a été prévue pour empêcher le récepteur de signaux de déclencher des appels intempestifs sous

l'effet des courants vocaux. Pour augmenter cette immunité, on a encore introduit un retard d'une seconde dans le temps de fonctionnement du récepteur.

La téléphonie à courants porteurs

Par suite du développement rapide du trafic téléphonique, le nombre de circuits à fréquences vocales se montra vite insuffisant. On chercha donc à créer de nouvelles possibilités sur les liaisons existantes. Sur les câbles à grande distance on choisit une pupinisation assez légère afin d'augmenter la vitesse de propagation. Les circuits ont alors une bande passante d'environ 6 kHz. Comme la bande nécessaire pour transmettre une communication téléphonique de qualité suffisante peut être inférieure à 3000 Hz, on envisagea d'utiliser la bande de fréquence supérieure inoccupée, pour superposer une deuxième voie téléphonique. Il s'est agi alors de trouver un équipement permettant de déplacer le spectre de fréquence d'une conversation téléphonique ordinaire dans une autre bande de fréquences. Cette transposition fut rendue possible, grâce à la technique de la modulation et à l'emploi des filtres électriques.

Les signaux vocaux de fréquence f et un signal constant de fréquence F , supérieure à f , sont reliés séparément à un ensemble de cellules redresseuses, connectées généralement en anneau et portant le nom de *modulateur*. Le signal f subit une inversion de polarité à la cadence de la fréquence F , dite fréquence porteuse. Sans parler de quelques produits de modulation, de faible amplitude et d'importance secondaire, on montre que le signal à la sortie du modulateur comporte deux composantes principales: $F-f$ et $F+f$. Elles sont appelées respectivement bande latérale inférieure et bande latérale supérieure. Par élimination d'une des bandes au moyen de filtres électriques on obtient donc finalement la transposition de la bande de fréquences originale dans un autre spectre de fréquences (fig. 3).

Les filtres électriques sont composés généralement de condensateurs et de bobines de self, ou encore de lamelles de quartz. Combinés suivant des règles bien définies, ces éléments permettent de laisser passer certaines bandes de fréquences sans pertes et d'en supprimer d'autres. Ce sont respectivement les bandes passantes et les bandes affaiblies.

Au moyen de ces appareils et d'une fréquence porteuse de 6 kHz, il fut donc possible de transposer une voie téléphonique de 300 à 2700 Hz dans la bande 3300 à 5700 Hz et de la superposer à la voie ordinaire, dans la bande de fréquences supérieure non utilisée.

Ce système a reçu la désignation «1+1», c'est-à-dire, 1 voie à fréquences vocales + 1 voie à courants porteurs.

Groupes primaires à 12 voies

Bien que très utiles, ces nouveaux circuits étaient nettement insuffisants pour couvrir les besoins toujours grandissants. Déjà en 1938 le Comité Consul-

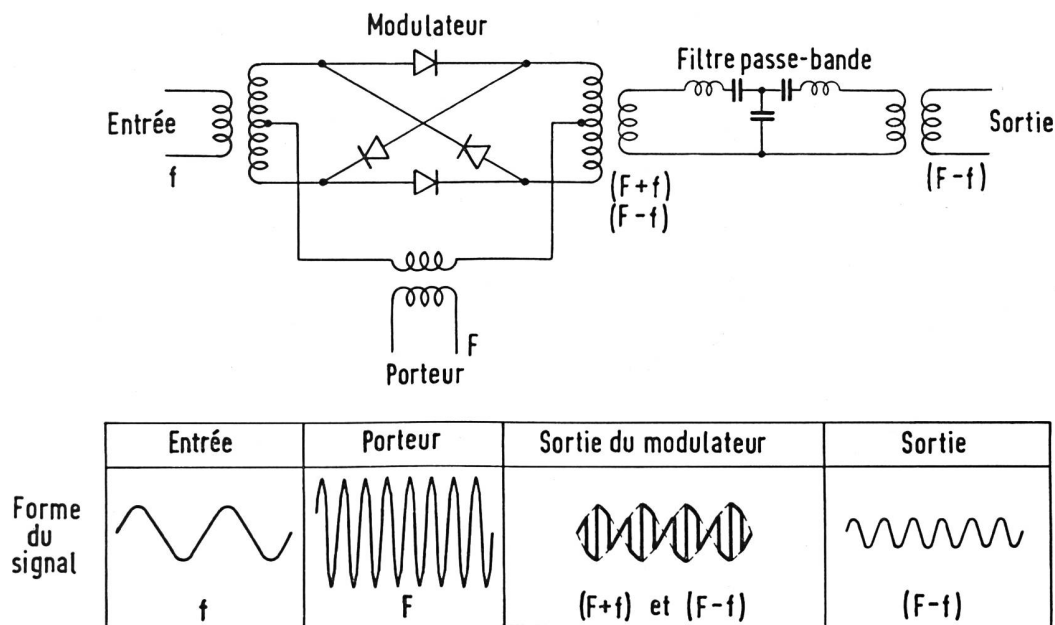


Fig. 3. Schéma du principe de la modulation

tatif International Téléphonique (CCIF) normalisait un système de 12 voies à courants porteurs. Une bande de fréquences de 4 kHz est réservée à chaque voie et permet ainsi la transmission des fréquences de 300 à 3400 Hz nécessaires à l'établissement d'une communication de haute qualité. Dans le groupe primaire de base A, la première voie occupe la bande de 12 à 16 kHz et la douzième la bande de 56 à 60 kHz. Dans le groupe primaire de base B, les voies sont transmises dans l'ordre inverse des fréquences, c'est-à-dire que la première voie occupe la bande de 108 à 104 kHz et la douzième la bande de 64 à 60 kHz.

La transposition des voies téléphoniques dans des positions en fréquences toujours plus hautes conduit rapidement à des difficultés. Les filtres ayant à éliminer une des bandes de fréquences latérales doivent avoir des flancs d'affaiblissement de plus en plus raides. S'il est possible d'obtenir directement les voies du groupe B par l'emploi de filtres à cristaux, il est déjà très difficile d'obtenir les voies du groupe A au moyen de filtres à bobines et condensateurs. On utilise alors la technique de la modulation par étage. Par exemple, toutes les 12 voies téléphoniques sont modulées à 8 kHz et transposées dans la bande de 4 à 8 kHz. Une deuxième modulation individuelle place les voies dans leur position respective. Après cette deuxième modulation, les bandes latérales sont beaucoup plus espacées en fréquence et la réalisation des filtres est simplifiée.

La décomposition des groupes en voies individuelles est effectuée par des moyens similaires. Les courants vocaux très affaiblis sont amplifiés en dernier lieu dans un amplificateur de voie.

Les groupes primaires A et B sont à la base de la plupart des systèmes à grand nombre de voies, aussi

bien sur paires symétriques que sur paires coaxiales ou même sur faisceaux hertziens.

Signalons qu'il est relativement aisé de transformer un groupe A en un groupe B, ou inversement, au moyen d'une modulation de l'ensemble des 12 voies, à l'aide d'une fréquence porteuse de 120 kHz.

Pour les mesures et la localisation de dérangements, chaque groupe primaire est muni d'une onde pilote émise à l'origine, qui accompagne le groupe jusqu'au point où il est décomposé en voies téléphoniques. Suivant la longueur et la complexité de l'acheminement, un récepteur d'onde pilote peut être intercalé à l'extrémité d'arrivée. Il pourra être utilisé pour signaler immédiatement un dérangement ou même éventuellement pour piloter un amplificateur à régulation automatique de niveau.

Systèmes à courants porteurs à 24, 36, 48 et 60 voies

Le nombre des voies d'un système à courants porteurs est une fonction directe de la bande de fréquences effectivement transmise par le câble. Les groupes primaires de base A et B peuvent être combinés pour former des systèmes à 24 voies. Par des modulations de groupes primaires, on transpose des groupes de base A ou B dans des positions de fréquences supérieures. On obtient alors des groupes C (108 à 156 kHz), D (156 à 204 kHz) et E (204 à 252 kHz). En ajoutant ces nouveaux groupes aux systèmes à 24 voies on forme alors des systèmes à 36, 48 et 60 voies.

Amplificateurs de lignes à paires symétriques

L'affaiblissement des circuits en paires symétriques augmente fortement avec la fréquence. Il est donc nécessaire d'intercaler des amplificateurs à des distances variant, suivant le type de la paire et la bande de fréquences transmise, de 18 à 40 km environ. Ils

sont installés dans des maisonnettes, équipées d'installations d'énergie de secours. La transmission simultanée d'un grand nombre de voies par les amplificateurs exige de ces derniers de grandes qualités électriques. Les exigences concernant le bruit et la non-linéarité sont particulièrement sévères. En effet, les plus petites distorsions peuvent apporter des perturbations dans les voies. Ce problème est résolu grâce au taux de contre-réaction très élevé. Les amplificateurs, généralement à trois étages, ont un gain maximum de l'ordre de 7 N. Ils sont complétés par des correcteurs destinés à compenser les variations d'affaiblissement du câble en fonction de la fréquence. Bien que les câbles soient construits spécialement pour la téléphonie à courants porteurs il est tout de même nécessaire de prévoir des réseaux compensateurs de diaphonie, composés de condensateurs et de résistances connectés entre toutes les paires de conducteurs. Ce réseau est placé dans un bâti de tête de câble spécial situé entre le câble et l'entrée des amplificateurs de lignes.

La qualité des câbles s'améliorant comme aussi les performances des amplificateurs, il a été possible d'étendre la bande de fréquences transmise des câbles à 156 kHz, puis à 204 kHz afin de transmettre 48 voies téléphoniques.

Ondes pilotes de lignes

Les câbles, même dans le sol, subissent des variations de température qui, entre l'hiver et l'été, peuvent atteindre une vingtaine de degrés centigrades. A une augmentation de température correspond une augmentation de l'affaiblissement du câble. Les amplificateurs ont, de leur côté, en plus des tubes électroniques, beaucoup de pièces détachées délicates qui sont sujettes à des variations ou dérangements. Pour compenser les variations d'affaiblissement du câble et pour signaler immédiatement tout dérangement survenu dans un appareil, on injecte à l'origine une onde pilote de ligne, de fréquence 60 kHz, qu'il est possible de mesurer dans les stations intermédiaires et de surveiller à l'extrémité au moyen d'un récepteur pilote. Cet appareil, composé en principe d'un filtre, d'un amplificateur, d'un redresseur et d'un voltmètre à contact, indique immédiatement une interruption de transmission et une alarme est déclenchée dans la station.

Signalisation à fréquences vocales

Les systèmes à courants porteurs ne pouvaient être introduits dans le réseau interurbain suisse déjà automatique, qu'à la condition d'attribuer à chaque voie un moyen de transmettre des signaux de sélection. Il a donc été nécessaire de développer un nouveau système de signalisation à fréquence vocale entièrement différent de celui utilisé pour l'exploitation manuelle. Les conditions principales demandées étaient les suivantes :

- fréquence de signalisation dans la bande passante,
- faible distorsion de la longueur des signaux,
- immunité contre les courants vocaux.

On a choisi pour le réseau national une fréquence de signalisation de 3000 Hz, car l'énergie vocale est relativement faible dans cette partie de la bande.

Pour le réseau international semi-automatique, le CCITT a recommandé deux types de signalisation :

- à 1 fréquence de 2280 Hz,
- à 2 fréquences de 2040 et 2400 Hz.

L'équipement de signalisation, désigné sous le terme général de *signaleur*, comprend deux parties distinctes :

- le dispositif d'émission dit «émetteur de signaux»,
- le dispositif de réception dit «récepteur de signaux».

L'émetteur de signaux est constitué généralement par un relais, dont la fonction consiste à émettre le signal à fréquence vocale sur la ligne, sous l'effet d'un courant continu émis par les équipements automatiques.

Le récepteur de signaux est composé d'un circuit de signalisation et d'un circuit de garde. Ce dernier a la tâche de bloquer la voie de signalisation, aussi longtemps que des courants vocaux sont présents sur le circuit téléphonique. Seulement lorsqu'un signal de fréquence pure est émis, le circuit de signalisation fait opérer le relais donnant un signal à courant continu vers les équipements automatiques. Le récepteur est connecté à l'extrémité du circuit par un montage différentiel, empêchant que des signaux envoyés en retour du central automatique entravent son fonctionnement.

En téléphonie à exploitation manuelle, l'opératrice établit et surveille la communication. Un défaut éventuel des circuits est donc très rapidement signalé au personnel chargé de l'entretien. Dans le cas de l'exploitation automatique, un circuit défectueux doit, dans la mesure du possible, être retiré du service automatiquement. Avec la téléphonie à courants porteurs, les défauts affectent le plus souvent un groupe de circuits de 12 voies ou plus. Comme nous l'avons déjà vu, les organes communs à un grand nombre de circuits sont surveillés en permanence par le récepteur d'onde pilote placé à l'extrémité de la liaison. En cas d'interruption, ce récepteur fait opérer des jeux de relais qui bloquent en arrière les circuits affectés par le dérangement, pour éviter qu'ils soient occupés par des abonnés. De plus, une impulsion de libération en avant fait relâcher les circuits et organes de commutation en bon état, afin qu'ils puissent servir à l'établissement d'autres communications.

Sur les mêmes bâtis que les signaleurs, on a aussi placé, jusqu'à ces dernières années, quelques éléments importants :

- le termineur,
- les pertes artificielles variables,
- le filtre passe-bas.

Le termineur, placé à l'extrémité du circuit à 4 fils, permet de raccorder celui-ci aux équipements automatiques conçus pour la technique à 2 fils. Il est complété par un filtre passe-haut destiné à éliminer les signaux à 50 Hz ainsi que leurs harmoniques, dans le cas d'interconnexion avec un circuit à 2 fils.

Les pertes artificielles variables de 0,1, 0,2, 0,4, et 0,8 néper, commandées par relais, sont utilisées pour régler l'équivalent total de plusieurs circuits en cascade à la valeur désirée. Elles évitent l'emploi des répéteurs à 2 fils commutés, dès qu'un circuit à 4 fils intervient dans la liaison.

Le filtre passe-bas est nécessaire pour maintenir la stabilité dans des limites suffisantes, lorsqu'un circuit à 4 fils est connecté à un circuit à 2 fils dont la fréquence de coupure est inférieure à la fréquence transmise par le circuit à 4 fils.

Par l'introduction généralisée des centraux automatiques à 4 fils, les pertes variables et les filtres passe-bas sont supprimés, ce qui procure un gain important aussi bien de place que financier.

Équipements terminaux pour paires coaxiales

Les installations par câbles coaxiaux sont caractérisées principalement par la large bande de fréquences utilisée sur la ligne. Pour grouper les voies téléphoniques d'un système sur paires coaxiales, on utilise les mêmes groupes à 12 voies servant dans la technique à courants porteurs sur paires symétriques. On choisit toutefois le groupe de base B (60 à 108 kHz), comme élément de départ. Par des modulations individuelles de 5 groupes primaires on obtient un groupe de 60 voies situé dans la bande de 312 à 552 kHz, appelé *groupe secondaire de base*. Ces groupes secondaires sont reliés à un répartiteur de groupe où peuvent se faire tous les transferts désirés.

Ils sont ensuite transposés dans leur bande de fréquences définitive au moyen de modulateurs de groupes secondaires et de fréquences porteuses individuelles, sauf le groupe secondaire 2 qui est transmis en ligne dans sa position de base. L'ensemble de 16 groupes secondaires, comprenant 960 voies téléphoniques, forme le système à 4 MHz recommandé par le CCITT.

Si l'on place encore cinq groupes secondaires dans la bande de 4332 à 5564 kHz, on obtient le système à 6,2 MHz. La capacité de deux paires coaxiales est alors de 1260 voies téléphoniques (fig. 4).

Source à courants porteurs

Dans un système de modulation avec bande latérale unique, la fréquence porteuse n'est pas transmise. Il importe donc, dans la démodulation, de créer une fréquence aussi voisine que possible de celle utilisée dans la modulation, si l'on veut éviter un décalage des fréquences vocales de la conversation. Le CCITT recommande un écart maximum de 2 Hz. On utilise comme générateurs de base des oscillateurs à quartz de haute qualité dont le circuit

oscillant est maintenu à température constante au moyen d'un thermostat. La précision obtenue est supérieure à $1 \cdot 10^{-7}$ pendant une période d'un mois. Dans le cas courant la fréquence de base de 100 kHz est amenée, par un diviseur de fréquence, à la valeur de 4 kHz. Les harmoniques de ce signal sont utilisés pour les porteurs de voies. On en tire également les fréquences 12 kHz et 124 kHz, dont les harmoniques sont utilisés pour les modulations de groupes primaires et secondaires. Une grande sécurité est demandée à ces équipements. Les parties les plus importantes sont équipées à double, avec commutation rapide en cas de dérangement.

Ligne coaxiale

La ligne coaxiale doit permettre la transmission d'une très large bande de fréquences, respectivement de 4,1 ou 6,2 MHz. En raison du nombre important de voies qu'elle comporte, une grande sécurité d'exploitation est exigée. Les amplificateurs intermédiaires, placés tous les 9 km environ dans de petites maisonnettes, sont composés, par exemple, de deux amplificateurs travaillant en parallèle. En cas de défaut de l'un d'eux, l'autre prend la charge complète et une alarme est déclenchée dans une station de répéteurs. Les conditions électriques sont très sévères afin que les valeurs du bruit produit dans les voies restent dans les limites admises. L'alimentation des amplificateurs intermédiaires est fournie par le câble, depuis la station principale d'alimentation. On utilise à cet effet la paire coaxiale proprement dite. Des filtres d'aiguillage sont chargés de séparer, à l'entrée et à la sortie des répéteurs, les courants vocaux des courants d'alimentation. Ce système permet des économies importantes dans les stations intermédiaires. Dans les stations principales, une installation d'énergie de grande sécurité fournit le courant nécessaire. En principe deux machines tournent en parallèle à mi-charge et, en cas de défaillance de l'une d'elles, l'autre fournit la puissance totale.

Le câble coaxial est sujet aussi aux variations de température. Des correcteurs, commandés automatiquement ou manuellement, corrigent les variations de niveaux selon les besoins. Les lignes coaxiales sont pourvues d'ondes pilotes de lignes servant au contrôle des niveaux et à l'annonce des dérangements, signalés immédiatement à la station terminale par les récepteurs d'onde pilote connectés en permanence sur la liaison. Le système à 4 MHz comporte les pilotes de lignes de 308 et 4092 kHz et le système à 6 MHz les pilotes 308, 4092,450 et 6200 kHz.

Systèmes à courants porteurs à courtes distances C 5

Dans les systèmes à courants porteurs normalement utilisés, la bande de fréquences de la voie téléphonique, plus l'intervalle entre 2 voies consécutives, est de 4 kHz. La bande interstitielle relativement étroite conduit à des filtres de modulation assez onéreux, mais ceci est compensé par une meilleure utilisation de la bande de fréquences transmise en câble.

Système de téléphonie multiple à 6 Mc/s sur paires coaxiales

Assemblage des 1260 voies téléphoniques

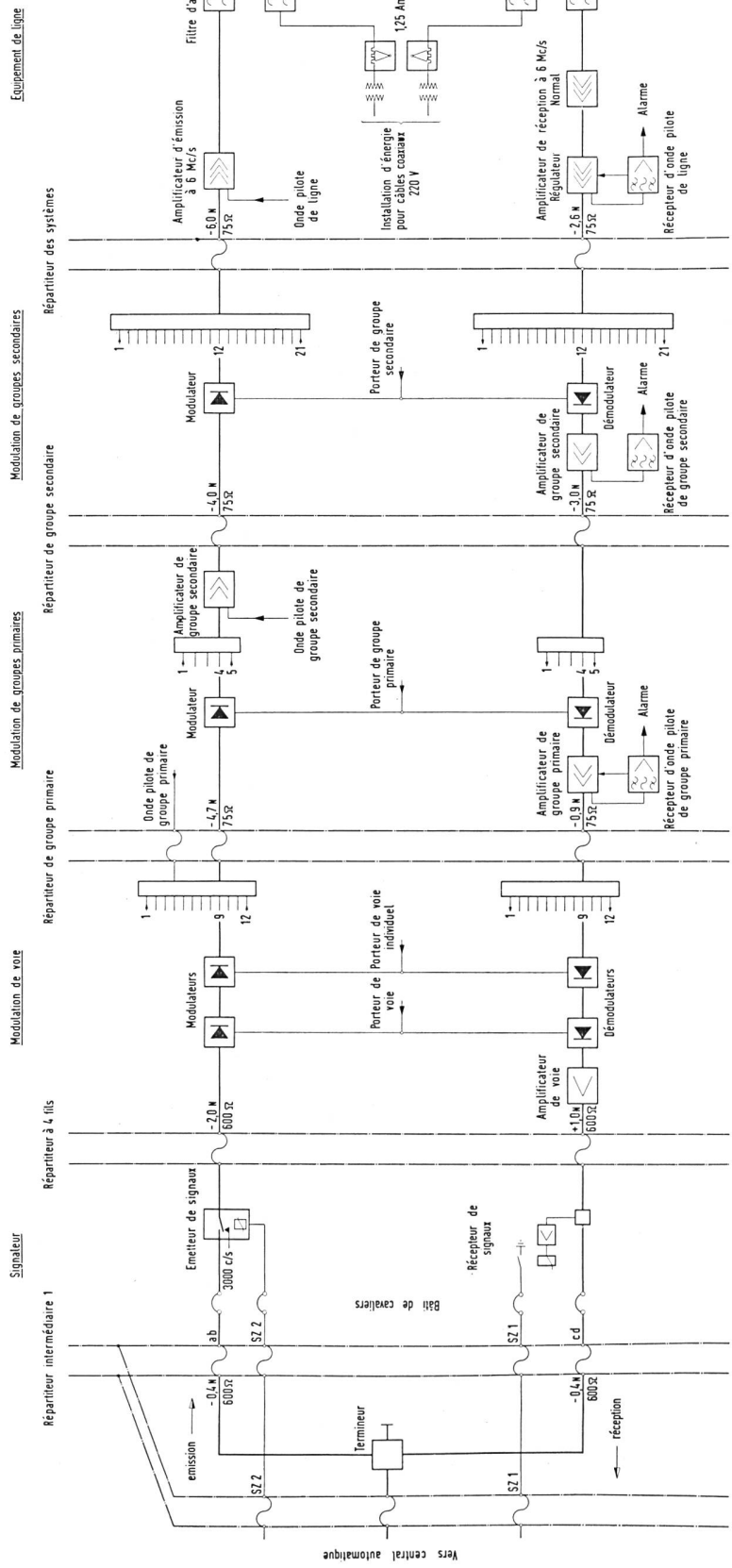


Fig. 4. Schéma de principe de la connexion des voies téléphoniques, des groupes primaires et des groupes secondaires dans un système de téléphonie multiple à 6 MHz sur paires coaxiales

Les frais des équipements terminaux sont fixes alors que les frais de lignes sont proportionnels à la longueur. Pour les courtes distances, les frais de ligne sont négligeables en comparaison de ceux des équipements terminaux. Pour diminuer le prix de revient total on a donc cherché à simplifier au maximum ces équipements. Ce résultat a été obtenu en augmentant l'intervalle de fréquences séparant deux voies adjacentes de 2 kHz, la bande totale utilisée par voie étant de 6 kHz. Les filtres ont pu être simplifiés et un seul étage de modulation est nécessaire. L'intervalle de fréquence entre deux voies étant plus grand, il a été possible d'y introduire facilement la voie de signalisation utilisant la fréquence de 4 kHz. Cette dernière étant en dehors de la bande téléphonique, les perturbations par les courants vocaux ne sont plus à craindre et les signaux sont simplifiés. L'économie ainsi réalisée sur les équipements terminaux a largement compensé la perte due à l'utilisation réduite de la bande de fréquences dans le câble et ce nouveau système est avantageux pour les distances de 20 à 100 kilomètres environ. Il est utilisé sur les câbles basse fréquence aménagés, c'est-à-dire des câbles dont on a éliminé les bobines Pupin. Dans la plupart des cas, on ne dispose que d'un seul câble. Aussi, contrairement à la technique habituelle des courants porteurs sur paires symétriques, le système à courtes distances utilise la même paire dans le même câble, les deux voies de transmission étant réalisées sur des bandes de fréquences différentes. En tenant compte de la diaphonie dans les câbles, du gain maximum possible des amplificateurs et des distances moyennes des faisceaux à établir, on a fixé à 70 kHz la fréquence maximum transmise et à 5 le nombre de voies par système, d'où la désignation C 5.

Ce système est réalisé de la manière suivante: cinq voies téléphoniques sont modulées respectivement par des fréquences porteuses de 12, 18, 24, 30 et 36 kHz. Après sélection de la bande latérale inférieure et assemblage dans un coupleur, la bande transmise dans un sens de transmission est de 8 à 36 kHz. Dans l'autre sens, cette bande est transposée par une modulation de groupe, avec une fréquence porteuse de 78 kHz, dans la bande de 42 à 70 kHz. A l'origine et à l'extrémité de la ligne les deux groupes sont séparés par des filtres d'aiguillage. Pour surveiller la liaison on utilise des ondes pilotes de 18 et 60 kHz. Les récepteurs pilotes aux extrémités ont les mêmes fonctions que ceux des systèmes à 12 voies.

Systèmes à courants porteurs à courtes distances C 8

Nous venons de voir que les porteurs C 5 sont utilisés sur des paires uniques avec bande de fréquences séparées pour les deux sens de transmission. Ils ne sont pas aptes à être utilisés sur des câbles à paires symétriques ou coaxiaux du réseau normal à courants porteurs. Or, il serait aussi utile, pour les courtes distances, de disposer d'équipements termi-

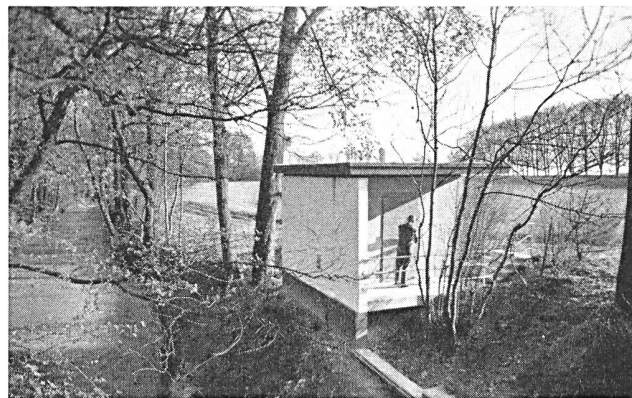


Fig. 5. Station de répéteurs intermédiaire pour câble coaxial

naux plus économiques même s'il faut se résoudre à perdre une partie de la bande de fréquences dans les câbles. Un groupe à 12 voies du type A occupe une bande de 12×4 kHz soit 48 kHz. En utilisant les équipements de voies des porteurs C 5, mais avec d'autres fréquences porteuses, on place 8 voies avec espacement de 6 kHz dans la même bande de fréquences de 48 kHz. Si ce nouveau groupe à 8 voies, désigné en abrégé par C 8, est conçu avec les mêmes impédances et niveaux au répartiteur que le groupe à 12 voies, il est possible de l'utiliser sans aucune difficulté sur le réseau normal des câbles à courants porteurs. Après les essais de prototypes, la phase de fabrication est commencée et les premiers équipements seront mis en service dans le courant de l'année prochaine. Trois systèmes à 8 voies trouveront place sur une face de bâti, qui, contrairement au système à 5 voies actuel, sera équipé entièrement de transistors.

La maintenance des équipements

Les câbles, répéteurs, signaux, équipements terminaux, etc., sont des éléments épars qui ne peuvent guère être utilisés isolément. Après que chaque équipement a été installé et essayé pour lui-même, le personnel des stations de répéteurs est chargé d'établir les connexions aux répartiteurs pour créer le circuit téléphonique. Pour que celui-ci soit de qualité parfaite pour l'exploitation, de nombreux réglages sont nécessaires.

Après sa mise en service, le circuit téléphonique doit être maintenu en bon état de fonctionnement. Ce résultat est obtenu par des mesures en local des éléments ou par des mesures d'ensemble effectuées à une périodicité convenable. Les réglages sont effectués pour compenser les variations de température ou de vieillissement des éléments, dès que les valeurs de référence ne sont plus respectées.

Les services qui exploitent les circuits téléphoniques signalent aux services des répéteurs les dérangements qu'ils constatent dans le fonctionnement de ces circuits. Il appartient alors au personnel de localiser au plus vite l'emplacement du défaut et, après en

avoir déterminé la nature, de remplacer l'élément défectueux.

C'est le rôle de la maintenance d'essayer par des essais préventifs sérieux de diminuer la fréquence des dérangements sur les circuits en procédant à des réglages et des réparations avant qu'ils ne soient inutilisables. Le personnel des stations de répéteurs est conscient de ses responsabilités et, par sa collaboration et son initiative, il est certain qu'il remplit au mieux cette tâche si délicate, indispensable au maintien d'un réseau téléphonique de bonne qualité.

Introduction et évolution des moyens de transmission

Réseaux

Les premiers circuits téléphoniques furent établis sur des lignes aériennes. Lorsque vers 1880 furent créés les réseaux téléphoniques de Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich, leur portée ne dépassait guère 50 km. Les abonnés étaient reliés aux centraux par un seul fil, le retour commun se faisant par la terre. Ce n'est qu'en 1890, lors de l'introduction des centraux à batterie centrale, que les abonnés furent dotés d'une paire de conducteurs individuels. La première ligne interurbaine fut mise en service entre Thalwil et Zurich en 1883; en 1885 on en comptait déjà 34, mais ni les Grisons, ni le Valais, ni le Tessin n'étaient reliés par téléphone avec le reste de la Suisse. Le diamètre des conducteurs utilisés était de 3 à 5 mm.

En 1890 la première liaison fut établie avec Coire, en 1896 la ligne Montreux-Sion fut posée, mais ce n'est qu'en 1900 que deux circuits Bellinzone-Lucerne et Lugano-Zurich relièrent le Tessin au reste de la Suisse.

Les premiers circuits interurbains avec l'étranger, reliant toutefois seulement des localités frontalières, furent établis en 1892. C'est en 1900 que fut posée la première ligne téléphonique entre la Suisse et Berlin et la première ligne internationale Berlin-Bâle-Simplon-Milan transitant par la Suisse fut inaugurée le 1^{er} avril 1914. Elle était constituée de conducteurs de bronze de 4,5 mm de diamètre et était pupinisée tous les 9950 mètres; la traversée du tunnel du Simplon se faisait par câble chargé d'après le système Krarup. Le trafic téléphonique international naissant fut interrompu par la guerre 1914-1918, puis il reprit d'abord très lentement pour s'intensifier si rapidement qu'une grande pénurie de circuits se fit sentir.

Les premiers câbles téléphoniques apparurent en Suisse en 1886 dans les réseaux locaux. A l'origine les conducteurs dans les câbles étaient en fer et ce n'est qu'en 1860 qu'on utilisa des conducteurs en cuivre. L'invention de la presse à plomb par l'ingénieur François Borel, en 1879, marqua une étape décisive pour la technique des câbles. Le premier câble téléphonique avec isolation au papier fut posé dans le tunnel du Gothard; il se composait de 7×2 conducteurs de cuivre de 1,8 mm de diamètre.

En 1905 les administrations italienne et suisse entamèrent des pourparlers pour la pose d'un câble à 7 paires dans le tunnel du Simplon pour remplacer la ligne aérienne du col du Simplon; après avoir pesé les avantages et les désavantages des deux systèmes «Pupin» ou «Krarup» on se décida pour ce dernier et le câble fut mis en service en 1906. C'est le câble Krarup Bâle-Zurich à 24 paires, long de 85 kilomètres, qui marqua le début du réseau suisse des câbles interurbains: 16 circuits furent mis en service le 1^{er} avril 1918, soit 15 jours avant l'ouverture de la deuxième Foire d'échantillons de Bâle.

Les câbles pupinisés ne furent que rarement utilisés pendant les 20 premières années du siècle à cause de la transmission peu satisfaisante de la voix sur de longues distances.

Les CFF ayant décidé d'accélérer leur programme d'électrification, l'administration des TT se trouva placée vers 1918 devant l'obligation de déplacer les nappes aériennes qui longeaient généralement les voies ferrées, car l'influence des courants de traction aurait rendu les lignes téléphoniques presque inutilisables. On décida donc de remplacer les artères aériennes par des câbles souterrains et de construire une canalisation en tuyaux dans laquelle on pourrait tirer les câbles. Deux artères principales furent créées: l'artère Ouest-Est Genève-Lausanne-Berne-Olten-Zurich-Saint-Gall et l'artère Nord-Sud Bâle-Olten-Zurich-Arth-Lucerne-Altdorf-Gothard-Bellinzone-Lugano-Chiasso. La première étape en fut terminée en 1928. Le réseau des câbles interurbains basse fréquence se développa à un rythme accéléré jusqu'en 1939; la deuxième guerre mondiale, à cause de la pénurie de matières premières, mit un terme provisoire à l'extension de notre réseau à fréquences vocales.

Equipements de lignes

Les premières démonstrations pratiques de répéteurs par les ingénieurs de la Western furent faites en 1920 à Zurich. En 1922, 10 répéteurs à 2 fils furent installés à Altdorf. Puis comme le trafic international prenait toujours plus d'importance, on installa des répéteurs à 4 fils à Bâle et Zurich. Actuellement il y a 19 stations de répéteurs; la figure 6 illustre le développement des répéteurs en Suisse.

Les premiers répéteurs à 2 fils livrés par la Bell Telephone Mfg Co. à Anvers étaient composés d'éléments très robustes et, partant, volumineux; sur un bâti à deux faces de 2,75 m de haut on ne pouvait monter que 8 répéteurs. Les triodes avaient une durée de vie remarquable mais consommaient 1 A. La figure 7 montre les principaux éléments de ces premiers répéteurs dont un grand nombre sont encore en service. En 1934, grâce aux progrès réalisés dans la fabrication des pièces détachées, un nouveau type de répéteur à 2 fils fut introduit avec un encombrement beaucoup plus réduit. En effet, il était possible d'en placer 10 sur une seule face du bâti, ce qui

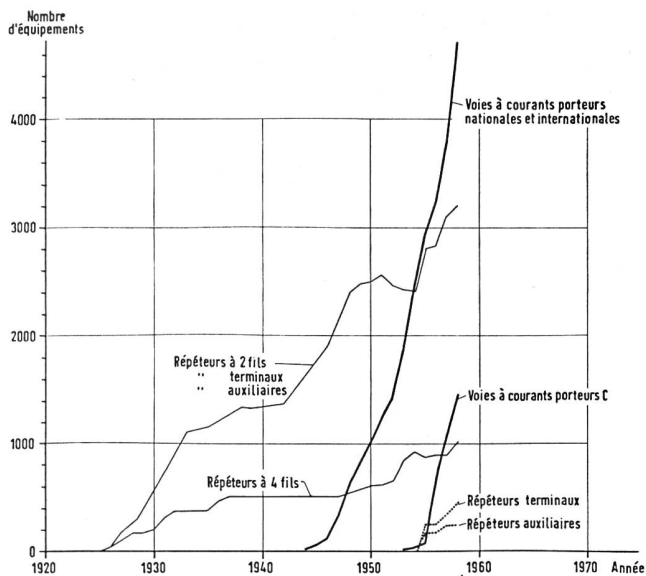


Fig. 6. Développement annuel du nombre de répéteurs et de voies à courants porteurs

représentait une diminution de volume de 60%. La consommation de la triode fut réduite à 0,25 A.

En 1939 l'application de la contre-réaction aux répéteurs à 2 fils eut pour conséquence une légère augmentation du volume. Pour tous ces types de répéteurs, les translateurs et les équilibreur étaient montés sur des bâtis séparés; dans les stations de répéteurs ne desservant qu'un seul câble, on a estimé plus rationnel de combiner les divers éléments en un dispositif unique. Le transformateur différentiel sert également de translateur de ligne. Par un enroulement dissymétrique, il élève l'impédance de l'équilibreur qui est composé alors d'éléments beaucoup moins volumineux. Grâce à ces transformations, le volume total n'est plus que de 11% de celui de l'ancien répéteur à 2 fils. Dans le dernier modèle, les tubes électroniques sont remplacés par des transistors. Ces éléments, dont on attend de grands services dans la technique des télécommunications, se distinguent principalement par leur consommation extrêmement réduite et par une durée de vie présumée très longue.

Un répéteur à 2 fils peut aussi être intercalé à volonté par une opératrice qui établit une communication au moyen de deux circuits interurbains, afin d'assurer une bonne qualité de transmission. Ces répéteurs à 2 fils connectés dans les circuits cordons sont appelés *répéteurs sur cordons*. Chaque circuit amplifiable est doté d'un équilibreur individuel. Dans le service automatique interurbain, un problème semblable fut résolu par le *répéteur commuté*; celui-ci est connecté dans la liaison au moyen de chercheurs. Le gain est réglé par pas de 0,1 N au moyen de 4 pertes artificielles intercalées par autant de relais.

Répéteurs à 4 fils

Les premiers répéteurs à 4 fils à deux étages d'amplification furent installés à Bâle et Zurich en 1925; ils étaient semblables, au point de vue construction, aux répéteurs à 2 fils et occupaient plus de volume; en effet on ne comptait que 5 répéteurs par bâti double face. Leur développement eut lieu parallèlement à celui des répéteurs à 2 fils: composantes de volume réduit, application de la contre-réaction. Le dernier type encore utilisé aujourd'hui sur les circuits à 4 fils possède des qualités électriques très poussées; 12 unités sont logées sur une face de bâti.

Répéteurs universels

Pour éviter la multiplicité des types, on a réalisé en 1951 un répéteur dit «universel». Il se compose d'un amplificateur unidirectionnel à un étage, monté dans un boîtier, enfichable dans un des 60 alvéoles que comprend une face de bâti. Le volume n'est que le 8% de celui de l'ancien répéteur à 4 fils, d'où une économie de place considérable. Par l'adjonction ou la suppression des termineurs, il est possible de l'utiliser soit comme répéteur à 2 fils, soit à 4 fils terminal ou de transit.

Téléphonie à courants porteurs

Déjà à l'époque des circuits aériens les ingénieurs désirèrent accroître le nombre des circuits sans augmentation exagérée de la capacité des nappes aériennes, grâce à la téléphonie multiple à courants porteurs. En Suisse, c'est dans les années 1920 et

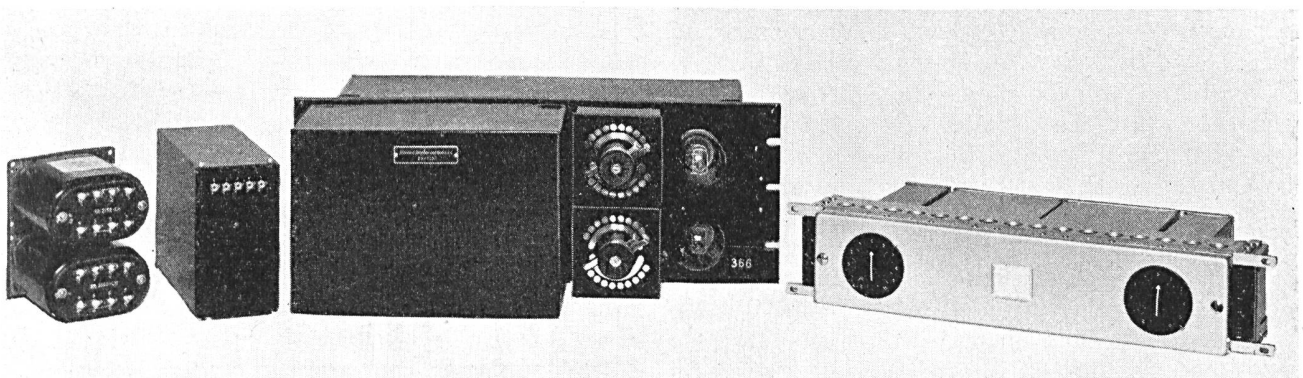


Fig. 7. Evolution du matériel des stations de répéteurs
A gauche: répéteur à 2 fils d'ancien type, accompagné d'un équilibreur et d'une paire de translateurs
A droite: répéteur à 2 fils moderne combiné

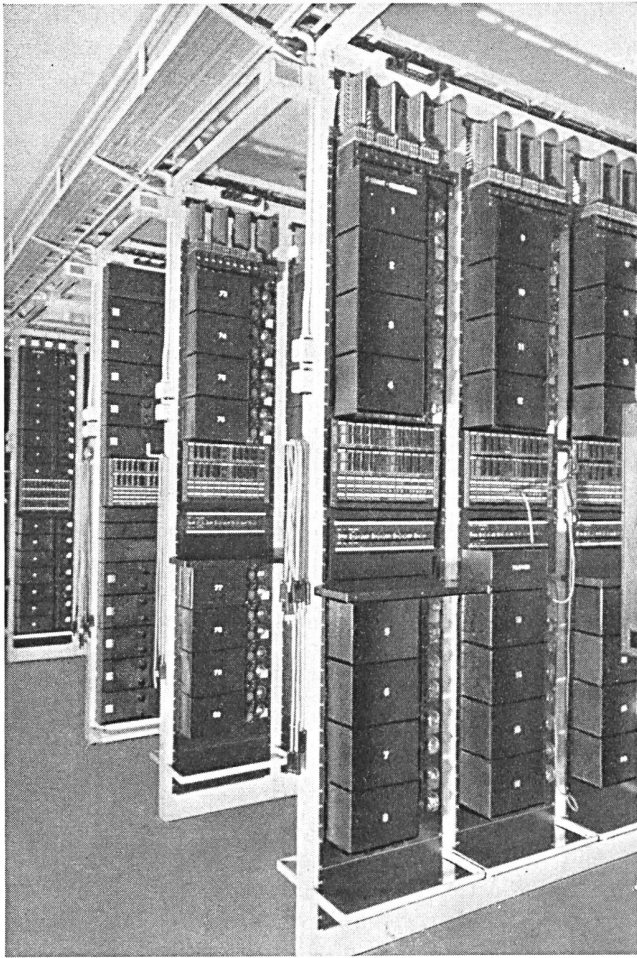


Fig. 8. Vue d'une ancienne station de répéteurs

1921 que les premiers essais furent faits sur la ligne aérienne reliant Bâle à Berne pour ajouter, par modulation à haute fréquence, comme on disait alors, une deuxième communication à la voie à fréquences vocales existante. Ces essais ne furent pas très satisfaisants et il fallut attendre jusqu'en 1942 pour qu'à la suite d'essais, concluants cette fois-ci, avec des systèmes à courants porteurs à 12 voies sur des paires déduplinées de câbles interurbains existants, l'administration se décide à utiliser aussi ce nouveau mode de transmission pour obtenir les nombreux circuits nécessaires à l'écoulement du trafic. C'est l'Institut des courants faibles de l'E.P.F. qui construisit les deux premiers équipements terminaux à 12 voies basés sur les recommandations du CCIF. Des paires furent déduplinées dans deux câbles entre Berne et Zurich et dotées de cinq amplificateurs intermédiaires à large bande (12 à 60 kHz).

Entre temps, en 1937, six systèmes porteurs 1+1 furent mis en service entre Bâle et Zurich et permirent de constituer six nouveaux circuits à 4 fils. D'autres circuits supplémentaires furent établis plus tard entre Lugano et Zurich. Mais les résultats satisfaisants obtenus avec le système à 12 voies encourageaient l'administration à persévérer dans cette direction pour réaliser les circuits qui lui manquaient.

Le développement de cette technique prit dès lors un essor extraordinaire qui se poursuit toujours. Sur la base des premiers essais, la maison Hasler S. A. à Berne fabriqua ses premiers groupes à 12 voies du type à double modulation qui étaient mis en service sur l'artère Berne-Zurich en 1945. Des équipements du même type fournis par la maison Siemens furent installés à peu près à la même époque entre Zurich et Lausanne.

Peu après, un système dérivé de la technique américaine fit son apparition en Suisse: le système K, livré par la Standard Téléphone et Radio S. A., Zurich.

Au début on utilisait comme moyen de transmission des paires déduplinées dans les câbles à fréquences vocales. C'est ainsi que de 1946 à 1951 on construisit le réseau spécial de câbles à 12 quartes étoiles pour systèmes à courants porteurs comprenant les artères Lausanne-Berne-Olten-Zurich-Saint-Gall, Zurich-Coire, Berne-Lucerne-Zurich et Olten-Bâle. Entre Genève et Lausanne et Lausanne et Sion, des paires déduplinées dans les câbles à fréquences vocales existants sont utilisées pour des systèmes à courants porteurs à 24 voies par paire. Dans les premiers câbles on ne transmettait que 24 voies par paire, mais dans les derniers on va jusqu'à 48.

Le volume occupé par les équipements a fortement diminué au cours des années; de 12 voies par bâti double on a passé à 24 voies par simple face et dernièrement la maison Philips a présenté un équipement où 48 voies occupent une face de bâti, ce qui représente une économie de volume de 87% en 12 ans.

Dans les pays voisins, les réseaux de circuits à grande vitesse de transmission sur paires coaxiales se développaient aussi et il était naturel que certains de ces faisceaux touchent notre pays. C'est ainsi que l'Autriche et la France envisagèrent une extension de leurs réseaux à paires coaxiales en construction vers la Suisse. Le câble Berne-Neuchâtel-Morteau-

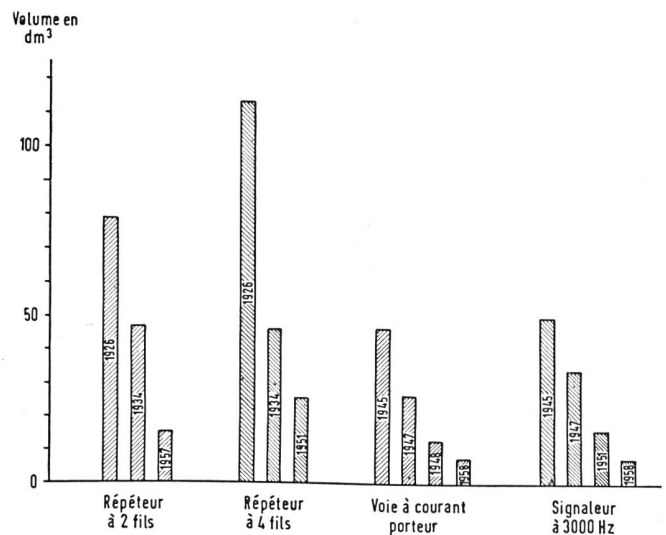


Fig. 9. Evolution de volume en dm³ de divers types d'équipements au cours des années

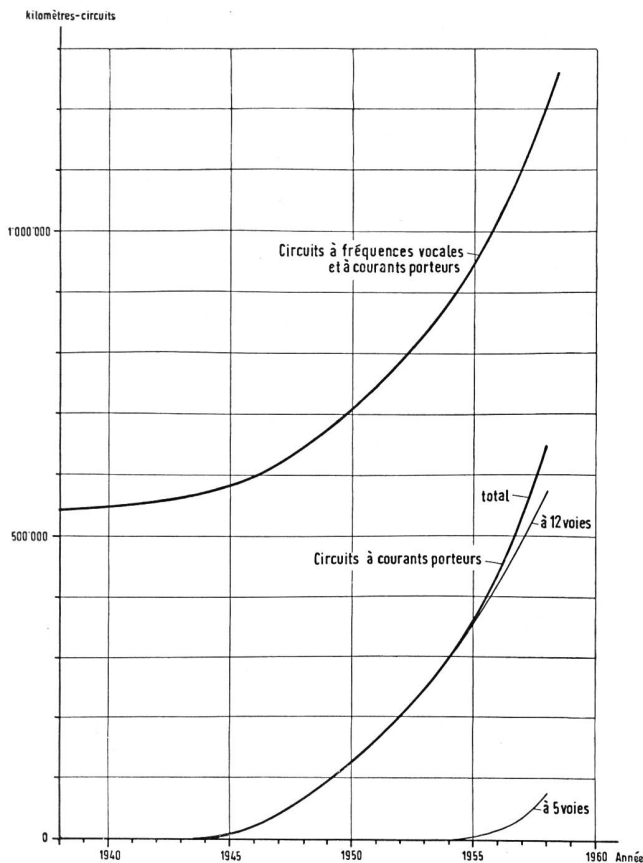


Fig. 10. Augmentation annuelle du nombre de kilomètres-circuits des réseaux interurbains et ruraux

Besançon fut mis en service en 1953, comme d'ailleurs le câble Saint-Gall-Feldkirch-Innsbruck. Le câble coaxial Zurich-Lugano via le Gothard, terminé en 1955, fut prolongé jusqu'à Côme et Milan en 1956. Par les câbles coaxiaux Strasbourg-Bâle et Bâle-Zurich la liaison Nord-Sud en câbles coaxiaux de l'Angleterre vers la Sicile est réalisée en 1958. La même année a été établi le premier tronçon de l'artère Ouest-Est, par la pose du câble Genève-Lausanne, qui est le premier à être équipé d'amplificateurs à 6 MHz permettant de transmettre soit 1260 voies, soit un signal de télévision.

Les faisceaux hertziens à ondes dirigées en modulation de fréquence étant effectivement des moyens de transmission à large bande, il est naturel qu'ils remplacent dans certains cas les câbles à large bande et qu'on les exploite avec des systèmes à courants porteurs. Une première liaison à 24 voies fut mise en service en 1951 entre Berne et Lugano, avec deux stations relais au Jungfrauoch et au Monte Generoso. En 1955 Genève et Zurich furent reliées également par un faisceau à 24 voies avec station de relais à Chasseral et à l'Uetliberg. A fin 1958 une liaison à grande capacité fut mise en service entre Berne et Genève via Chasseral, permettant de transmettre de 240 à 600 voies téléphoniques dans la bande des radiofréquences de 4000 MHz.

Sur les courtes distances, la téléphonie multiple par courants porteurs fut introduite en 1954 par une installation d'essais de 4 systèmes à 5 voies entre Zurich et Wohlen. Le développement de ce nouveau type d'équipement fut extrêmement rapide, puisqu'à la fin 1958, 292 systèmes à 5 voies étaient en service, représentant 1460 nouveaux circuits téléphoniques.

Les prototypes des systèmes C 8 ont été acceptés par l'administration à fin 1958 et l'on compte avec la mise en service des premiers équipements transistorisés pour 1960.

Mentionnons encore, pour terminer, quelques réalisations dans le domaine de la basse fréquence où, par l'introduction des centraux à 4 fils, il a été nécessaire de transformer les circuits 2 fils en 4 fils au moyen d'un amplificateur terminal 2 fils/4 fils appelé aussi dédoubleur. Ces équipements transistorisés remplaceront dans une certaine mesure les répéteurs à 2 fils intermédiaires.

En 1958 enfin, des essais ont été faits avec un répéteur intermédiaire à 2 fils d'un type nouveau,

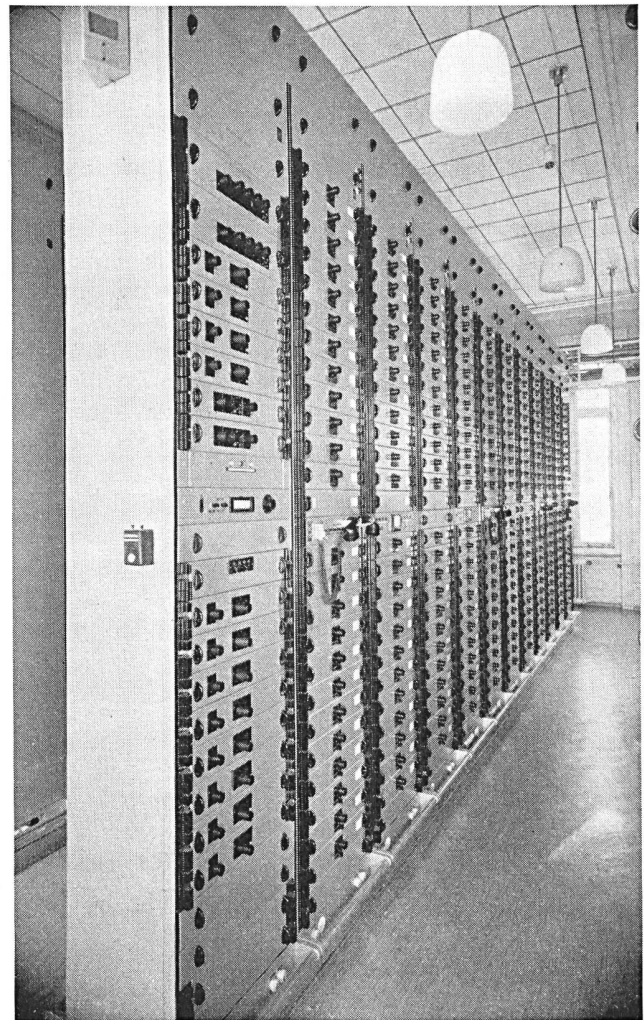


Photo Hasler S. A., Berne

Fig. 11. Vue d'une station de répéteurs moderne. Bâties à courants porteurs et de groupes primaires

qui se présente sous la forme particulière d'une impédance négative et permet d'utiliser dans les réseaux ruraux des conducteurs de petit diamètre.

Conclusion

C'est grâce aux progrès rapides réalisés dans la technique de la transmission que l'échange de conversations entre deux abonnés quelconques de la terre est devenu possible. Sans l'évolution technique des lignes et de leurs équipements, survenue surtout au cours de ces dix dernières années, il n'eût pas été possible d'établir des réseaux locaux, ruraux et

interurbains capables d'écouler le trafic sans cesse croissant dans les meilleures conditions de transmission et d'exploitation.

Le développement de nos réseaux ne s'arrêtera pas en si bon chemin et dans les années à venir la technique continuera à progresser, permettant ainsi de créer des circuits toujours plus économiques.

Nous exprimons l'espoir que même le lecteur profane saura apprécier le travail immense réalisé par notre administration depuis les débuts du téléphone jusqu'à nos jours.

H. ABRECHT, Bern

Vom ersten Telephonapparat zur modernen Teilnehmeranlage

1. Die Entwicklung der Telephonapparate

«Wenn» -, so sagte eines Tages *Alexander Graham Bell* zu seinem Gehilfen *Watson* -, «wenn es mir gelänge, die Stärke eines elektrischen Stromes so zu ändern, wie die Luft beim Sprechen ihre Dichte ändert, so wäre damit die Möglichkeit geschaffen, die Sprache telegraphisch zu übertragen».¹ Es gelang ihm durch eine Anordnung, deren Grundgedanke die induktive Sprachübertragung war. Das System arbeitete ohne Stromquelle. Vor den Polschuhen eines permanenten Magneten wurden Eisenmembranen eingespannt. Die Wicklungen der Polschuhe waren miteinander verbunden. Die durch die Sprache hervorgerufenen Schallwellen versetzten die Membrane des Sendeapparates in Schwingungen, wodurch in den dazugehörigen Spulen Induktionsströme erzeugt wurden. Diese Ströme gelangten über die Leitung zur Spule des Empfangsapparates und bewirkten dort eine Änderung des magnetischen Feldes. Dadurch wurde die Membrane zum Schwingen gebracht, die wiederum Schallwellen in Form von Verdichtungen und Verdünnungen der Luft erzeugte. Der gleiche Apparat diente somit als Sender und Empfänger (Fig. 1). Die ersten Telephonapparate

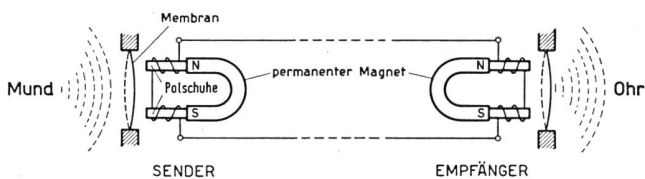


Fig. 1. Prinzip des ersten Telephons von Alexander Graham Bell

unterschieden sich in ihrer äusseren Form wesentlich von den heutigen. Sie waren auch weniger leistungsfähig, und es konnten nur verhältnismässig bescheidene Entfernungen überbrückt werden, was sich in der Folge natürlich als ungenügend erwies.

¹ E. Eichenberger, Amerikanische Erfinder, Morse-Bell-Edison, Bern 1935, S. 51.

Erst durch die Verwendung eines batteriegespeisten Mikrophons gelang es, Gespräche über grössere Entfernungen zu führen. Mikrophone dieser Art, die die Sprachschwingungen in elektrische Ströme von wechselnder Stärke umwandelten, wurden im Jahre 1878 gleichzeitig sowohl von *Thomas Alva Edison* als auch von Professor *David Edward Hughes* erfunden. Wegleitend für die weitere Entwicklung wurde das Mikrophon von Hughes. Durch eine sinnvolle Zusammenschaltung aller notwendigen Einzelteile wie Telephon, Mikrophon, Batterie, Induktionspule, Wecker, Rufinduktor entstand schliesslich die Telephonstation, wie sie im Prinzip heute noch verwendet wird. Am Ende jeder Telephonleitung wurde nun eine solche Station angeschlossen, die über die Zentrale mit jeder anderen Station verbunden werden konnte. Im Laufe der Jahre sind natürlich diese Stationen sowohl in konstruktiver als auch vor allem in übertragungstechnischer Hinsicht stark verbessert worden. Mit der Einführung des Zentralbatteriesystems in der Schweiz, im Jahre 1908, wurde die Mikrophonbatterie in der Teilnehmerstation nicht mehr benötigt, was nicht nur zur Erhöhung der Betriebssicherheit beitrug, sondern auch den Aufwand für den Unterhalt wesentlich herabsetzte. Eine weitere Verbesserung der Apparate wurde mit der Einführung der Anti-side-tone- oder Geräuschdämpfungsschaltung erreicht. Dadurch machten sich die Mikrophongeräusche im eigenen Telephonhörer viel weniger stark bemerkbar, als dies bei den früheren Stationen der Fall war. Anstelle der separat montierten Mikrophon- und Hörersysteme trat bei neueren Apparaten das Mikrotelephon oder der Handapparat, der im Laufe der Jahre ebenfalls verschiedene Änderungen erfahren hat. So werden heute anstelle der fest montierten Mikrophone und Hörer auswechselbare Mikrophon- und Hörerkapseln verwendet, die ebenfalls wesentlich zur Vereinfachung des Unterhaltes beitragen. Man versuchte, die Form des Mikrotelephons der günstigsten Lage beim Sprechen