

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

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 23 (1945)

Heft: 5

Artikel: Principes de la téléphonie à courants porteurs

Autor: Jacot, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873197>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 09.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZ. TELEGRAPHEN- UND TELEPHON-VERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES ET DES TÉLÉPHONES SUISSES

BOLLETTINO TECNICO

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI



Inhalt — Sommaire — Sommario: Principes de la téléphonie à courants porteurs. — Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? [II. Teil]. Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb? [II^e partie]. — Der optische Nummernanzeiger. L'indicateur optique de numéro. — Neuerungen auf dem Gebiete der Nachrichtentechnik in der Schweiz für das Jahr 1941. — Le développement du téléphone à la lumière de la statistique (Suite et fin). — Verschiedenes. Divers. — Fachliteratur. Littérature professionnelle. — Totentafel. Nécrologie. — Personalnachrichten. Personnel. Personale.

Principes de la téléphonie à courants porteurs.

Par H. Jacot, Berne.

621.395.44

Introduction.

Ces dernières années, et en particulier avant la guerre mondiale, on développa sur une échelle de plus en plus grande des équipements de téléphonie à courants porteurs pour subvenir d'une manière économique aux besoins toujours grandissants de lignes interurbaines à grande distance. En Suisse on étudia également la possibilité d'augmenter le nombre des lignes sans avoir à poser de nouveaux câbles et c'est ainsi qu'un premier pas fut réalisé dans cette voie en 1937 par la mise en service du système à courants porteurs à une voie entre Bâle et Zurich, dans lequel on superpose une voie portée à la voie basse fréquence sur les fantômes à 4 fils extra légers à charge H-20; cette installation a donné toute satisfaction tant au point de vue entretien très minime qu'au point de vue des dérangements constatés. Durant la guerre, du fait de l'augmentation constante du trafic et de la pénurie grandissante de matières premières on est arrivé tout logiquement à étudier la possibilité d'appliquer encore davantage la téléphonie à courants porteurs sur notre réseau de câbles à condition qu'on puisse l'adapter spécialement à cet effet.

Comme plusieurs de ces équipements vont être mis en service prochainement ou le sont déjà, il nous a paru utile d'en rappeler ici les principes élémentaires à l'usage des lecteurs qui n'ont pas l'occasion d'approfondir la matière dans la littérature assez vaste qui a déjà été publiée dans toutes les langues sur ce sujet, et qui par leurs obligations professionnelles sont appelés directement ou indirectement à s'en occuper. Comme le cercle de ces lecteurs possède par la force des choses des degrés d'instruction très divers, nous nous efforcerons de présenter les choses aussi simplement que possible. Pour les lecteurs plus avertis il leur sera facile d'obtenir la littérature disponible sur

ce sujet. D'autre part, il n'est pas dans nos intentions de donner des descriptions détaillées des circuits des systèmes, mais seulement d'en étudier les principes fondamentaux, sauf dans les cas où les principes en sont par trop différents.

Historique.

Les courants téléphoniques sont transmis sur les circuits métalliques aériens ou en câbles dans le même spectre de fréquences que les courants vocaux eux-mêmes. Or, les circuits aériens par exemple ou les câbles non chargés peuvent retransmettre des fréquences beaucoup plus élevées que la plus haute fréquence audible nécessaire à une bonne intelligibilité de toute conversation téléphonique. Le but de la téléphonie par courants porteurs est de retransmettre les courants vocaux au moyen de fréquences différentes des courants vocaux produits par l'abonné, de les transposer, autrement dit, dans un spectre de fréquences plus élevé et de superposer ainsi plusieurs voies de transmission téléphonique sur un circuit métallique. Un résultat analogue, mais dans des proportions plus réduites avait déjà été obtenu, en utilisant le circuit „fantôme“ d'une quarte constituée par deux circuits métalliques. En prenant les points milieu côté ligne des bobines translatrices des circuits réels, on crée un troisième circuit sur lequel on peut échanger des conversations téléphoniques sans influencer en rien les deux circuits réels. Mais dans ce cas le spectre des fréquences transmis est le même que celui des circuits réels.

Déjà avant 1900 on eut l'idée de transmettre des courants vocaux au moyen de courants de fréquences plus élevées, dont l'intensité était variée en fonction de l'intensité des courants transmis par le microphone, et conjointement de reconvertir à l'autre extrémité de la ligne ces courants hautes fréquences en

fréquences audibles. Des essais furent faits en Europe et aux Etats-Unis d'Amérique dans les années 1910 en appliquant des principes analogues à ceux utilisés dans la télégraphie et la téléphonie sans fil.

Le fait de pouvoir transmettre plus d'une conversation téléphonique sur un même circuit métallique fut immédiatement apprécié, mais ce n'est qu'à partir de 1918 que les systèmes de téléphonie à courants porteurs furent réalisés sur une base vraiment commerciale, et ce fut surtout par l'emploi d'éléments nouveaux et plus simples dans les modulateurs par exemple, que l'on put songer à utiliser les porteurs en plus grand.

Terminologie.

Le procédé qui consiste à faire varier l'amplitude d'un courant à haute fréquence en fonction des courants vocaux est appelé „modulation“. Le procédé correspondant qui consiste à récupérer les courants vocaux à partir des courants à haute fréquence transmis à l'autre extrémité de la ligne est appelé „démodulation“. L'élément qui permet de réaliser la modulation est appelé „modulateur“ et celui qui permet de réaliser la démodulation, le „démodulateur“. Comme en général le modulateur et le démodulateur se trouvent réunis sur une même unité, le modulateur-démodulateur, on trouve en particulier dans la terminologie anglaise l'abréviation „modem“ qui désigne l'unité complète chargée de la modulation et de la démodulation d'une voie ou d'un groupe de voies. Le courant haute fréquence au moyen duquel les courants vocaux sont transposés dans un spectre de fréquences supérieures, est appelé „porteur“ car on peut se figurer qu'il porte effectivement les courants vocaux le long du circuit métallique, comme le font les ondes hertziennes à travers l'espace. Les „bandes latérales de modulation supérieure et inférieure“ se trouvent à la sortie du modulateur comme on le verra dans la théorie de celui-ci.

Un „filtre“ est un réseau composé de capacités et de selfs inductances qui laisse passer certaines fréquences et supprime les autres, c'est-à-dire que, pour celles-ci, l'affaiblissement est très grand. On distin-

Des „amplificateurs de lignes à large bande“ sont placés à intervalles réguliers le long de la ligne et amplifient les courants émis par les diverses voies téléphoniques; dans ces amplificateurs on applique en général le principe de la „contre réaction“ qui consiste à ramener de la sortie vers l'entrée de l'amplificateur une partie de la tension ou du courant amplifié dans des conditions de phase et d'amplitude bien déterminées. Ceci a pour effet d'améliorer les caractéristiques de l'amplificateur au point de vue stabilité du gain, coefficient de distorsion non-linéaire, des tensions de bruit, etc.

Fonctionnement de la téléphonie à courants porteurs. Modulation.

Dans un circuit téléphonique ordinaire à fréquences vocales, le courant de la batterie d'alimentation traverse le microphone à granules de charbon et le récepteur électro-magnétique (téléphone). Le courant continu de la batterie est modulé par l'action de la parole sur le microphone; en effet les variations de résistance des granules de charbon sous l'effet des variations de pression transmises par l'air entre l'abonné qui parle et le diaphragme, produiront des variations identiques de l'amplitude du courant transmis sur la ligne. Ces variations de courant seront cause des variations correspondantes de l'attraction exercée par l'aimant du récepteur et seront transformées en vibrations acoustiques intelligibles, par le diaphragme du récepteur. Nous récupérerons pour ainsi dire la parole originale émise par le microphone au récepteur. Dans ce cas, on peut déjà parler de modulation et de démodulation.

Si, entre le microphone et le milieu transmetteur (ligne) qui transmet le courant modulé, on intercale une bobine d'induction ou un transformateur, on élimine le courant continu de sorte que sur la ligne on ne trouvera plus que les variations de courant alternatif qui correspondent aux courants vocaux. Au récepteur, on peut remplacer la batterie locale par un aimant permanent dont l'effet final sera le même.

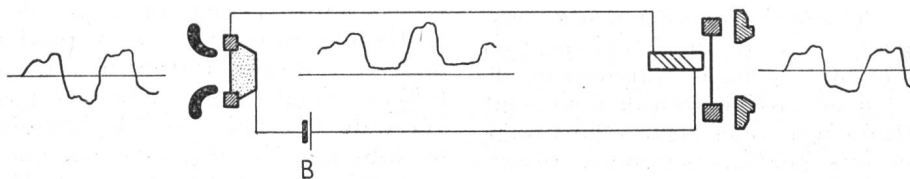


Fig. 1.

gue: le „filtre passe bas“, le „filtre passe haut“, le „filtre passe bande“ et le „filtre coupe bande“. Si certains éléments du filtre sont remplacés par des cristaux de quartz, on aura des „filtres à cristaux“ qui présentent de grands avantages au point de vue de la qualité. Ces filtres à cristaux ont été utilisés la première fois dans les systèmes à courants porteurs construits en Amérique.

L'ensemble des éléments nécessaires à la transposition des fréquences vocales dans un autre spectre de fréquences, et vice-versa, est groupé dans „l'équipement terminal“.

Si maintenant on remplace dans la figure 1 la batterie B par un générateur haute fréquence, les variations de résistance du microphone à charbon produiront des variations correspondantes dans l'amplitude du courant à haute fréquence, ou courant porteur. La figure 2 représente schématiquement un tel dispositif.

Côté réception la batterie locale a été remplacée par un détecteur. Les condensateurs des circuits accordés empêchent une interférence entre les circuits à haute fréquence et les circuits ordinaires à fréquence vocale. La transmission dans le cas de la

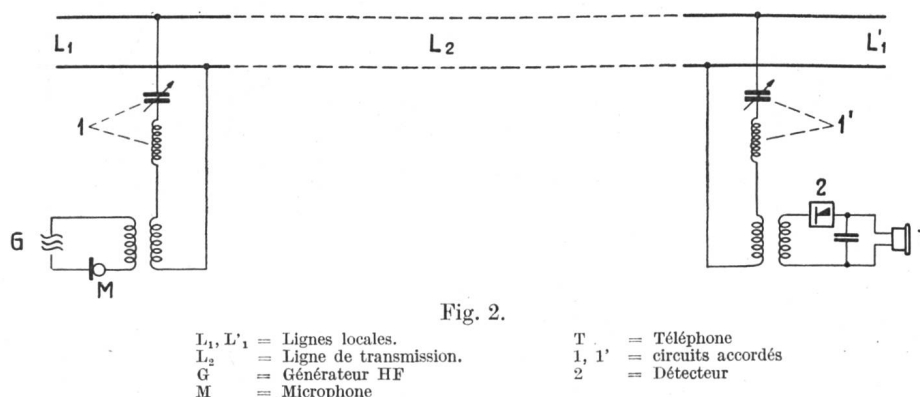


figure 2 ne peut avoir lieu que de gauche à droite; pour pouvoir réaliser une transmission en sens opposé il faudrait disposer d'un courant porteur de fréquence différente à celui déjà utilisé. En général, dans les systèmes porteurs dont nous nous occuperons, on utilise un circuit différent pour chaque sens de transmission de sorte que l'on peut sans autre utiliser les mêmes fréquences porteuses pour les deux sens. L'aiguillage des courants vocaux se fait côté basse fréquence comme pour les circuits à quatre fils ordinaires.

Pour comprendre le fonctionnement d'un modulateur on peut se borner à considérer le cas d'un courant sinusoïdal; le cas d'un courant vocal de forme plus complexe peut être traité en principe de la même manière. Nous expliquerons le principe de la modulation d'une manière moins abstraite et plus accessible à tout le monde que par une analyse mathématique.

La variation en intensité d'un courant alternatif de 1000 c/s par exemple peut être déduite de la projection d'une droite tournant autour d'une de ses extrémités à une vitesse de 1000 tours par seconde. Ceci est illustré à la figure 3. L'échelle des temps est indiquée en ordonnées; la fréquence est bien de 1000 c/s.

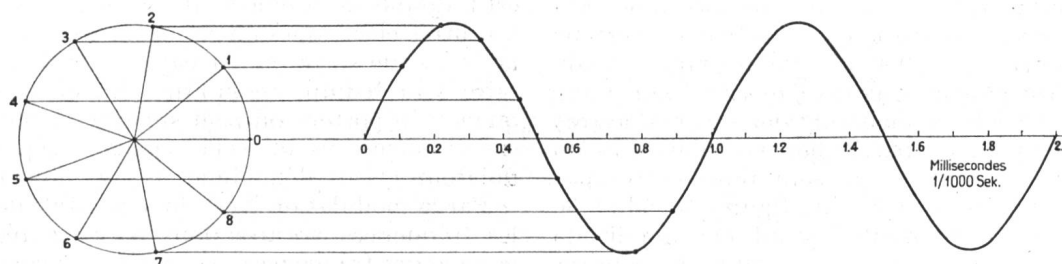


Fig. 3.

Si maintenant on veut moduler ce courant de 1000 c/s par un autre courant de 10 000 c/s par exemple, on peut s'imaginer que la droite représentant le porteur tourne à raison d'une vitesse constante de 10 000 tours par seconde mais en même temps la longueur de la droite change suivant l'amplitude du courant modulé (1000 c/s). La figure 4 montre une construction identique à celle de la figure 3 mais répétée à des intervalles de temps de $1/10\,000$ de seconde. La droite OA représente l'amplitude du porteur, la droite OD est fixe alors que

les droites DB et DC de longueur égale tournent en sens opposé autour du point D à une vitesse de 1000 tours/sec.; DB et DC feront toujours des angles égaux avec OD. Le point A est obtenu en complétant le parallélogramme. Si on considère les droites DB et DC comme des vecteurs, c'est-à-dire des grandeurs auxquelles est attachée une idée de direction, la somme des deux vecteurs est donnée par la droite AD. La droite OD tourne toujours à la vitesse de 10 000 tours/sec. alors que les deux bras BC et BD continuent à tourner à la vitesse de 1000 tours/sec. par rapport à la droite OD. Le bras DB tourne dans le même sens que OD à raison de 1000 tours/sec. plus vite que OD, autrement dit à 11 000 tours/sec. De même CD tourne dans le sens contraire de OD et à 1000 tours/sec. moins vite, c'est-à-dire à 9000 tours/sec.

En effectuant la projection des vecteurs en rotation comme on l'a fait à la figure 3 on obtient la figure 5. A la figure 5a on a de nouveau représenté le courant à moduler qui dans l'exemple a une fréquence de 1000 c/s. En 5b on a le résultat du courant de 1000 c/s modulé par un porteur de 10 000 c/s, c'est-à-dire la projection du point A de la figure 4. La figure 5c représente le courant d'une fréquence de 11 000 c/s soit $f_0 + f$ si f_0 est la fréquence du

porteur, et f la fréquence du courant à moduler. La figure 5d représente le porteur d'une fréquence de 10 000 c/s et la figure 5e le courant d'une fréquence égale à $f_0 - f$ c'est-à-dire 9000 c/s. L'échelle des temps est indiquée en millisecondes en dessous.

Une construction plus simple que la figure 4a est donnée par 4b avec une seule droite AB' tournant par rapport à OD. La longueur de OB' varie d'une manière à peu près identique à la longueur de la droite OA de la figure 4a, avec la différence que OB' n'est plus alignée avec OD. Cela signifie que lorsque

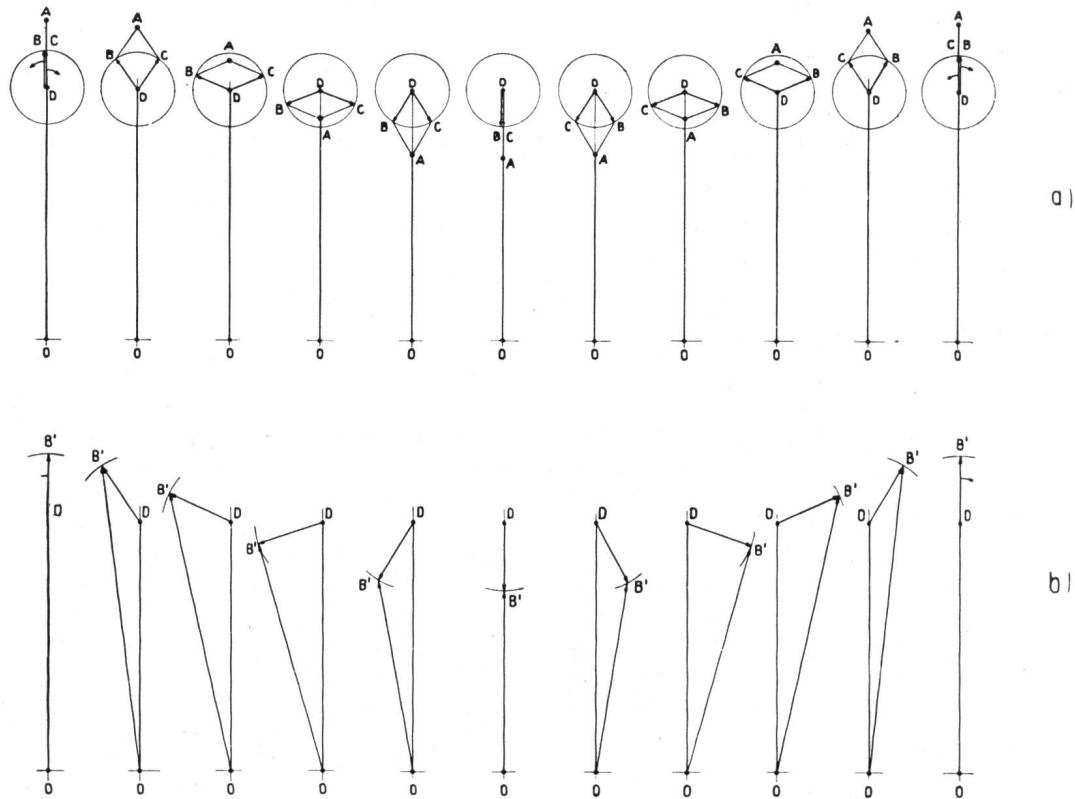


Fig. 4.

la droite OD se met à tourner à raison de 10 000 tours/sec., la droite OB' sera alternativement en avant ou en arrière de OD. L'onde qui s'obtient par la projection du point B', varie bien quant à son amplitude de la manière requise, mais à cause des déviations de OB' par rapport à OD, les courants instantanés de l'onde modulée ne passent pas par zéro, en même temps que l'onde porteuse. Or le fait de moduler un courant au moyen de courants vocaux par exemple ne peut pas déplacer en général le moment où le courant passe par zéro. L'explication de ce phénomène réside dans le fait que lorsqu'on module un courant alternatif quelconque par un porteur d'une fréquence de 10 000 c/s par exemple, l'onde résultante n'est plus un courant sinusoïdal pur d'une fréquence de 10 000 c/s, mais contient encore d'autres composantes ayant en particulier des fréquences de 11 000 c/s et de 9000 c/s qui sont représentées par exemple aux figures 5c et 5e. Les figures 5c, 5d et 5e représentent les composantes ayant une amplitude invariable dont la combinaison donne le courant modulé représenté en 5b.

Les produits de modulation dont les fréquences sont respectivement $f_0 + f$ et $f_0 - f$ sont appelés „bande latérale supérieure“ et „bande latérale inférieure“ de modulation. Pour pouvoir, au moyen de la démodulation, reproduire le courant original à l'autre extrémité, il suffit de transmettre une seule des bandes latérales de modulation. Il n'est pas non plus nécessaire de transmettre en ligne le porteur, celui-ci pouvant être ajouté localement à l'autre extrémité à la démodulation, à condition que sa fréquence soit la même que celle utilisée pour le modulateur.

Pour une bonne transmission commerciale de la parole on peut se contenter d'une bande de fréquences allant de 300 à 2400 c/s et dans les circuits modernes de meilleure qualité de 200 à 3600 c/s. Si on module ces bandes de fréquences avec un porteur de 10 000 c/s, nous aurons dans le deuxième cas une bande latérale inférieure de modulation de 6400 c/s (10 000 — 3600) à 9800 c/s (10 000 — 200) et une bande latérale supérieure de modulation allant de 10 200 c/s (10 000 + 200) à 13 600 c/s (10 000 + 3600). Ces fréquences occuperaient donc une bande de 7200 c/s qui est le double de la plus haute fréquence transmise. Par les filtres électriques on supprime l'une de ces bandes latérales, de sorte que la bande de fréquences nécessaire sera réduite de moitié. En changeant la fréquence du porteur on peut superposer plusieurs voies sur un même circuit; celles-ci seront séparées au modulateur et au démodulateur au moyen de filtres.

Par la modulation il est donc possible de transposer les fréquences vocales dans d'autres régions de la gamme des fréquences qui peuvent encore être transmises par les systèmes de transmission considérés (lignes aériennes, circuits en câbles, etc.).

Au début, la modulation et la démodulation étaient uniquement effectuées par des circuits contenant des lampes amplificatrices. La méthode la plus simple est la modulation par la grille (figure 6).

Le courant à moduler entre en A, tandis que le porteur entre en C, étant directement appliqué à la grille de la lampe. La tension de polarisation de grille est plus grande que dans le cas d'un amplificateur, d'où il en résulte qu'il n'y aura que peu de porteur à la sortie en B en l'absence de courant à moduler. On peut considérer que le courant vocal appliqué

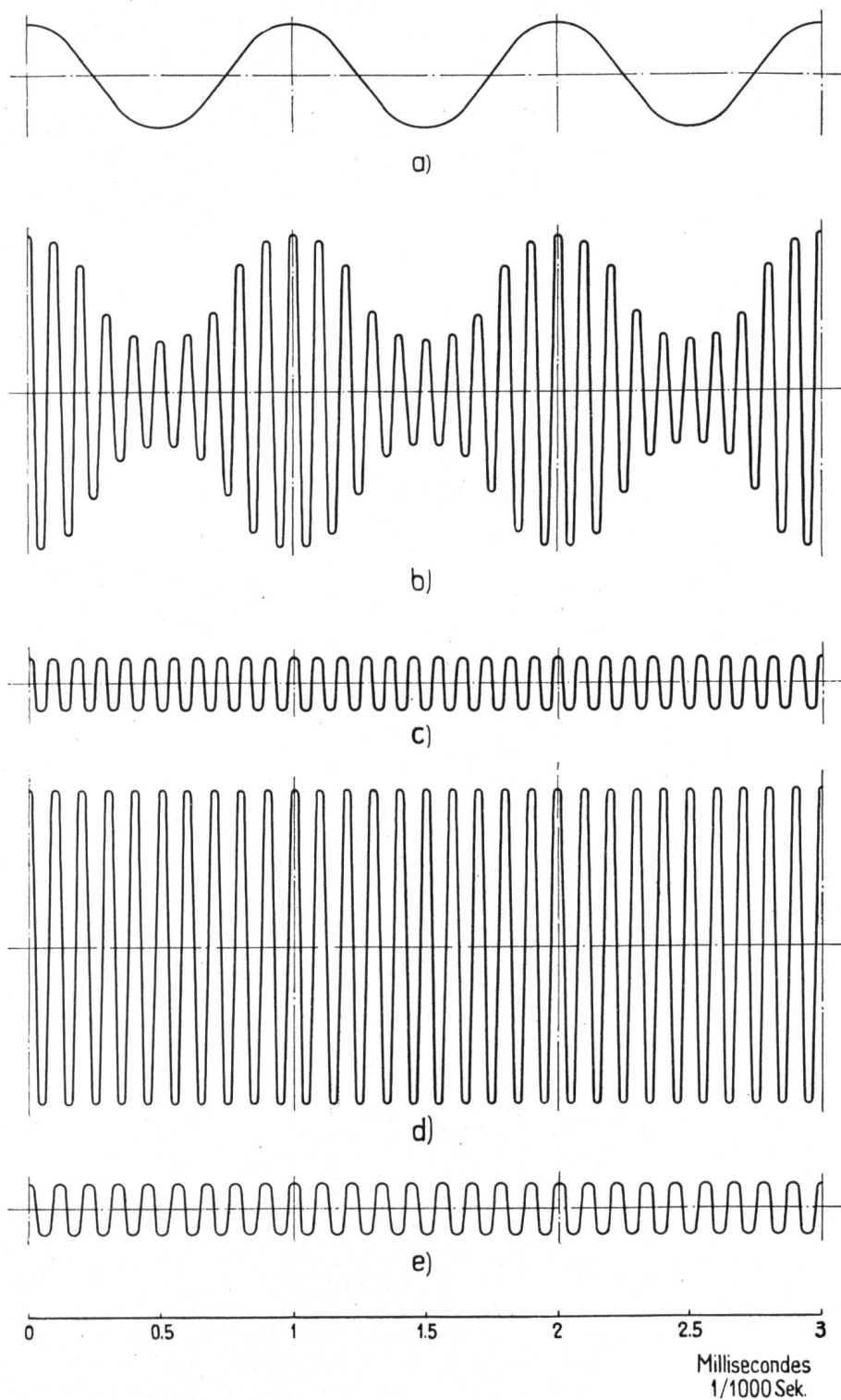


Fig. 5.

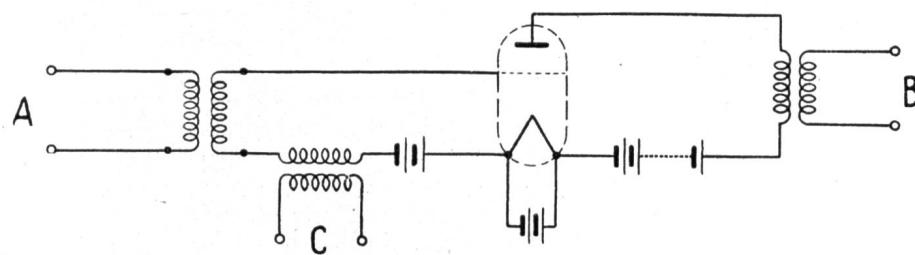


Fig. 6.

en A et dont les variations sont relativement lentes, s'ajoute au porteur et varie la tension de polarisation de grille effective. Ainsi, durant les demi-ondes négatives du courant vocal, la tension de grille augmente, ce qui réduit encore la quantité de porteur à la sortie B, tandis que pour les demi-ondes positives la tension de sortie du porteur augmente puisque la tension de polarisation de grille se rapprochera de celle utilisée dans un amplificateur normal. Le courant porteur variera donc bien dans le rythme du courant vocal. A la sortie de ce système de modulation on trouvera non seulement le porteur et les deux bandes latérales de modulation, mais encore des composantes indésirables des fréquences vocales

originales (f_0 et f) leurs harmoniques supérieurs ($2f$, $2f_0$, $3f$, $3f_0$, etc.) ainsi qu'une série de tons combinés ($f_0 \pm f$, $2f_0 \pm f$, etc.). Dans la plupart des cas, la fréquence du porteur f_0 est beaucoup plus élevée que la fréquence des courants vocaux f . Par des filtres appropriés on ne laisse passer sur la ligne qu'une bande de fréquences limitée dans le voisinage du porteur de sorte que les harmoniques des courants vocaux qui sont trop bas, et les harmoniques du courant porteur ainsi que les tons combinés supérieurs $2f_0 \pm f$, etc. qui sont trop élevés, sont éliminés. On n'utilise donc que le porteur de fréquence f_0 , et l'une des deux bandes latérales de modulation $f_0 + f$ ou $f_0 - f$.

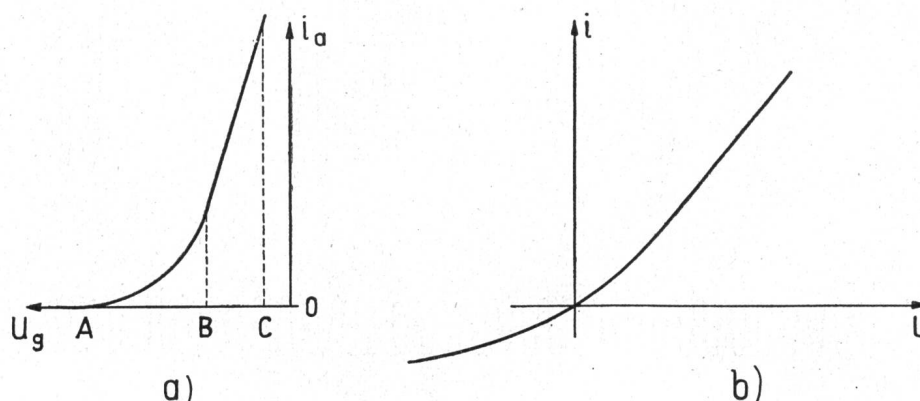


Fig. 7.

ainsi que des harmoniques du porteur et des fréquences des bandes latérales. Si l'on considère la caractéristique d'une lampe amplificatrice, une triode par exemple, et qu'on exprime le courant d'anode i_a en fonction de la tension de polarisation de grille U_g , on peut distinguer deux régions différentes: une région incurvée AB et une région plus ou moins droite BC dans la région où la lampe est en général utilisée comme amplificatrice. Nous avons vu que la polarisation de grille dans le cas du modulateur était plus grande que dans le cas de l'amplificateur de sorte que nous nous trouverons sans autre dans la région incurvée AB. La lampe amplificatrice ne suivra donc plus une loi linéaire dans cette région. Dans un tel élément non-linéaire on peut représenter la relation entre le courant et la tension par une progression géométrique dans laquelle interviendront le carré, le cube, etc., de la tension. Elle est de la forme: $i = a_0 + a_1 \cdot e + a_2 \cdot e^2 + a_3 \cdot e^3 + \dots$. En exprimant que cette tension est constituée par deux ondes sinusoïdales de fréquences f_0 (porteur) et f (fréquence vocale) et en appliquant les règles du calcul trigonométrique, on peut transformer les expressions contenant les carrés, les cubes ou les puissances supérieures des fréquences; on trouvera à la sortie du modulateur, comme nous l'avons déjà expliqué d'une manière plus simplifiée auparavant, une série de fréquences qui n'existaient pas à l'origine. C'est ainsi que l'on aura une composante de courant continu (que l'on peut supprimer facilement par des condensateurs ou des transformateurs), des composantes avec les fréquences $2f$, $2f_0$, $f_0 - f$, $f_0 + f$, $3f$, $3f_0$, $2f_0 \pm f$, $2f \pm f_0$, etc. Par la non-linéarité de l'élément de commutation on aura outre les fréquences

Le circuit du démodulateur sera identique, mais avec la différence qu'à l'entrée A, arrivera la bande latérale de modulation et à la sortie B on retrouvera la bande des fréquences vocales.

Différents types de modulateurs à lampes amplificatrices ont été développés; c'est ainsi qu'au lieu d'une seule lampe on en utilise deux en montage push-pull, ce qui a pour effet de supprimer presque entièrement le porteur à la sortie du modulateur.

Puisque dans la modulation on utilise la partie non-linéaire de la caractéristique d'une lampe, on peut se servir de tout autre élément dans lequel la relation entre le courant et la tension obéit à une loi non-linéaire. Tel est le cas des cellules redresseuses composées par exemple de disques recouverts d'un côté d'une mince couche d'oxydure de cuivre, sur laquelle vient s'appliquer une rondelle de métal mou (plomb) que l'on serre par une tige filletée isolée. Au contact des deux substances se forme une couche d'arrêt très mince qui aura une résistance différente suivant le sens où le courant la traverse. La relation entre le courant et la tension d'un tel élément est donnée à la figure 7b.

On peut considérer aussi que les cellules redresseuses agissent comme des commutateurs qui laisseront passer le courant à moduler ou le bloqueront suivant la polarité de l'onde du courant porteur. Cette commutation s'effectuera très rapidement à la fréquence du courant porteur à condition que sa tension soit plus élevée que celle du signal à moduler afin qu'il demeure le facteur opérant de la commutation. Le modulateur de ce type le plus communément utilisé peut être dérivé d'un montage identique au pont de Wheatstone, ce qui permet d'éliminer

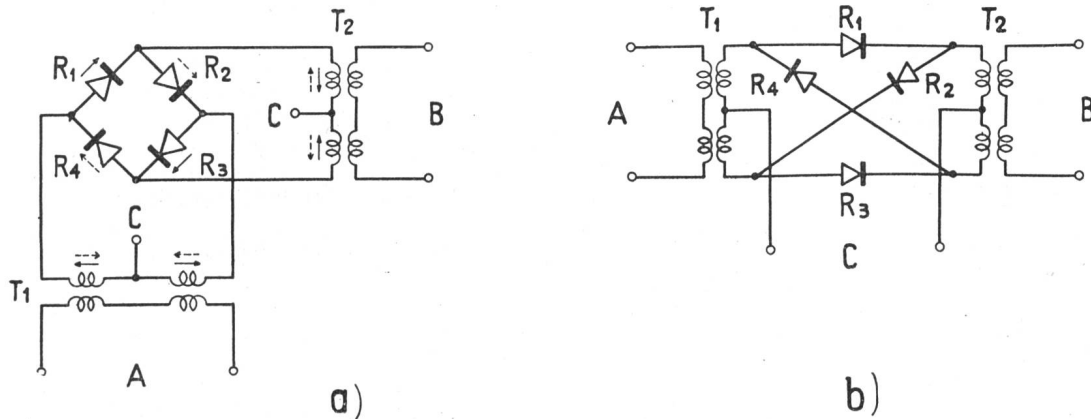


Fig. 8.

presque complètement le porteur à la sortie du modulateur. Un tel modulateur est appelé modulateur en boucle ou en circuit fermé (Ringmodulator).

La figure 8a montre le montage en pont de Wheatstone, tandis que la figure 8b montre le circuit équivalent comme on le trouve dans les schémas. Si les demi-enroulements des transformateurs T_1 et T_2 sont tout à fait identiques et que les résistances des cellules redresseuses R_1 , R_2 , R_3 et R_4 sont égales, le porteur sera tout à fait éliminé de la sortie. Afin de supprimer encore plus complètement le porteur, on ajoute un potentiomètre réglable dans une des branches du modulateur. On peut comparer la modulation par des redresseurs à une coupure mécanique effectuée à la cadence du courant porteur, mais dans le cas du modulateur en circuit fermé on aura encore une inversion de phase dans le circuit parcouru par le courant à moduler. Ceci peut se représenter en croisant périodiquement les fils au moyen d'un commutateur (figure 9).

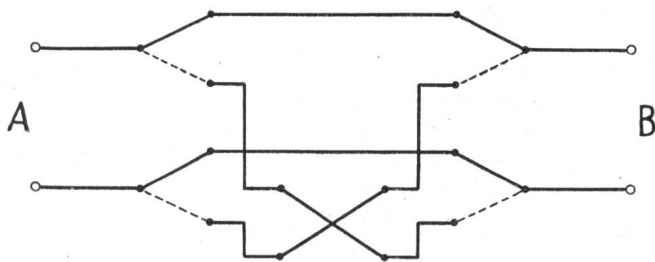


Fig. 9.

En A nous aurons l'entrée du courant à moduler et en B la sortie du courant modulé par le porteur correspondant à la coupure et l'inversion de phase (ce qui revient dans l'exemple mécanique à croiser périodiquement les fils) au moyen du commutateur.

Admettons maintenant que les redresseurs R_1 et R_3 laissent passer le courant porteur alors que les redresseurs R_2 et R_4 au contraire bloquent ce courant, le courant circulera dans le sens des flèches en trait plein: à l'instant suivant correspondant à une coupure et inversion de phase, le courant circulera dans le sens indiqué par les flèches en trait pointillé; autrement dit, les cellules R_2 et R_4 laisseront passer le porteur alors que les cellules R_1 et R_3 le bloqueront. En indiquant ces divers intervalles de temps par des lignes verticales, on aura l'image représentée

à la figure 10. Lorsqu'on effectue la modulation par un courant sinusoïdal, au lieu d'avoir des angles très aigus, ceux-ci seront beaucoup plus arrondis.

Le courant à la sortie du modulateur ainsi constitué ne contiendra ni le porteur ni le courant basse fréquence qui a été modulé. On peut démontrer aussi que nous aurons à la sortie, outre les deux bandes latérales de modulation, d'autres produits provenant des harmoniques tant du courant porteur que du courant basse fréquence ainsi que divers produits de combinaisons (ce qui correspond à ce qu'on a déjà trouvé auparavant).

Afin de supprimer autant que possible le porteur à la sortie du modulateur, on connecte très souvent un potentiomètre par lequel on peut équilibrer exactement le circuit du modulateur. Un autre modèle de modulateur, que l'on rencontre aussi dans certains systèmes de courants porteurs, est donné à la figure 11.

C'est grâce à l'introduction des modulateurs avec redresseurs secs que la téléphonie à courants porteurs a pu prendre un tel essor, car ces éléments sont beaucoup plus simples et surtout meilleur marché et en outre leur entretien est presque nul; dans les modulateurs avec lampes amplificatrices il faut tenir compte de la consommation de courant ainsi que de l'usure des lampes; l'encombrement est aussi beaucoup plus grand.

Les modulateurs avec redresseurs secs peuvent être réalisés pour pouvoir fonctionner d'une manière satisfaisante jusqu'à des fréquences de 100 kc/s. Pour les fréquences supérieures à celle-là, il faut tenir compte de la capacité des éléments.

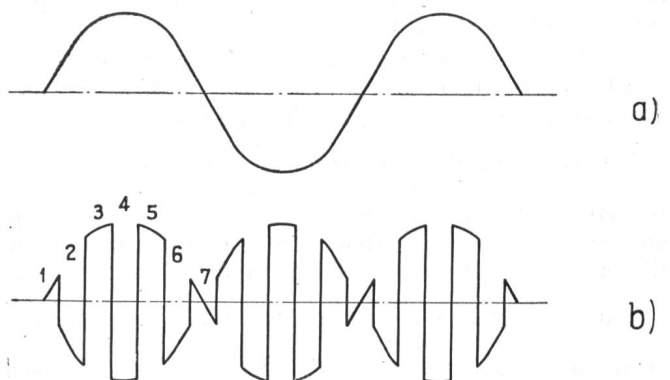


Fig. 10.

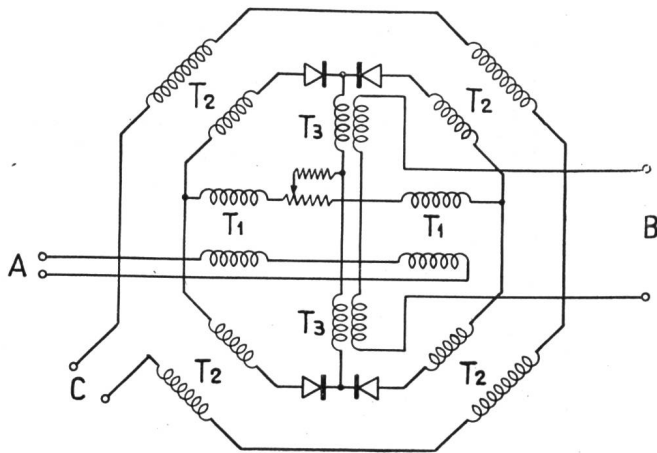


Fig. 11.

Double modulation.

Au moyen des modulateurs, il est donc possible de transposer la bande des fréquences vocales dans le spectre voulu des fréquences. Dans la pratique on rencontre pourtant certaines difficultés pour les fréquences supérieures dans la construction des filtres qui sont nécessaires à l'élimination d'une des bandes latérales de modulation.

Si on désigne par Δf la bande de fréquences comprise entre les deux fréquences extrêmes des deux bandes latérales de modulation, et par f la fréquence du porteur considéré, on peut donner une mesure de la qualité du filtre et en particulier de la raideur de sa courbe d'affaiblissement par le rapport $\frac{\Delta f}{f}$. Si on veut retransmettre pour chaque voie une bande de fréquences allant de 200 c/s à 3600 c/s, Δf sera égal à $2 \times 0,2 \text{ kc/s} = 0,4 \text{ kc/s}$. Si la fréquence du porteur est de 56 kc/s (voie supérieure d'un système à 12 voies) on aura :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{0,4 \text{ kc/s}}{56 \text{ kc/s}} \approx 0,007 = 7\text{‰}$$

Pour la voie inférieure, on aura avec un porteur d'une fréquence de 12 kc/s une valeur égale à 3,3‰. On voit par conséquent que ce rapport varie très fortement avec la fréquence du porteur puisque l'espacement entre les voies doit rester constant. Une valeur de 7‰ représente une condition très sévère pour la fabrication des filtres au point de vue de la stabilité des éléments sous l'effet des changements de température et du vieillissement des éléments ainsi que pour la fabrication en série.

La difficulté d'obtenir une pente très raide de la courbe d'affaiblissement du filtre provient de la résistance effective des bobines de self employées dans les filtres. C'est donc le rapport $\frac{\omega L}{R}$ qui est le facteur principal, et dans les meilleures bobines il n'atteint en général qu'une valeur de quelques centaines d'ohms, alors qu'il en faudrait quelques milliers pour maintenir le rapport $\frac{\Delta f}{f}$ dans des limites acceptables pour des fréquences de l'ordre de 100 kc/s par exemple.

On peut remédier à cet inconvénient de deux manières :

1° On conserve la fabrication ordinaire des filtres au moyen des éléments utilisés jusqu'à présent dans la fabrication des filtres, mais au moyen d'une modulation supplémentaire on peut réduire la grandeur du rapport $\frac{\Delta f}{f}$. C'est un procédé qu'on utilise déjà dans la technique des transmissions radiophoniques.

2° En utilisant des matières piézo-électriques (cristaux de quartz par exemple) on peut constituer des filtres électriques dans lesquels ces éléments auront une valeur $\frac{\omega L}{R}$ très élevée (20 000 par exemple) et l'on obtient ainsi des valeurs du rapport $\frac{\Delta f}{f}$ suffisamment petites. Mais du moment que l'on utilise des filtres à quartz, on est limité dans la fréquence d'oscillation des lamelles de quartz, de sorte que l'on est amené ici aussi, mais pour une raison toute différente, à utiliser une double modulation afin de transposer toutes les voies vers une région de fréquences plus élevées qu'on modulera par groupe de 12 au moyen d'un porteur de 120 kc/s par exemple, en utilisant ensuite la bande latérale inférieure de modulation, ce qui transposera toutes les voies dans la gamme des fréquences de 12 à 60 kc/s.

Dans le premier cas, si l'on veut transmettre une bande de fréquences vocales s'étendant de 200 c/s à 3600 c/s, on module d'abord chaque voie au moyen d'un porteur d'une fréquence de 8 kc/s. On obtient ainsi une valeur de 5‰ environ pour la raideur de la courbe d'affaiblissement des filtres de bande de cette pré-modulation (rapport $\frac{\Delta f}{f}$). La bande latérale inférieure de modulation est utilisée, la bande supérieure étant éliminée. Si l'on module cette bande par les 12 porteurs avec des fréquences de 20 à 64 kc/s et qu'on considère le cas le plus défavorable qui est celui du porteur supérieur, on aura pour le rapport $\frac{\Delta f}{f}$ une valeur de 0,14 environ, soit donc 14‰, c'est-à-dire $\frac{8,8}{64}$. Par la double modulation, on arrive donc à transmettre sur toutes les voies une même bande de fréquences très large avec un minimum d'espacement entre les voies voisines.

Filtres.

Les filtres sont à côté des modulateurs les éléments les plus importants utilisés dans la téléphonie multiple. Les filtres électriques sont des réseaux composés généralement d'inductances et de capacités qui laissent passer, sans les affaiblir d'une manière notable, les courants alternatifs sinusoïdaux de certaines fréquences et affaiblissent au contraire les courants de toutes les autres fréquences. On aura donc dans chaque filtre une „bande passante“ et une „bande affaiblie“. Les filtres les plus couramment utilisés sont :

a) Le „filtre passe bas“ qui laisse passer les fréquences en dessous d'une certaine fréquence (fréquence de coupure) et qui affaiblit toutes les autres fréquences au-dessus.

b) Le „filtre passe haut“ qui laisse passer les fréquences au-dessus d'une certaine fréquence (fréquence de coupure) et qui affaiblit toutes les autres fréquences situées en dessous.

c) Le „filtre passe bande“ qui laisse passer les fréquences entre deux fréquences de coupure données et qui affaiblit les fréquences situées en deçà et au delà.

d) Le „filtre coupe bande“ qui laisse passer les fréquences situées en deçà et au delà de deux fréquences de coupure et qui affaiblit les fréquences situées entre celles-ci. Ce dernier type de filtre n'est pas d'un usage courant dans la téléphonie multiple.

Dans les systèmes à courants porteurs on utilise des filtres à l'émission pour éliminer des produits de modulation, les fréquences qui ne sont pas nécessaires à la transmission; cela est nécessaire afin de pouvoir utiliser au mieux la bande de fréquences disponible pour la transmission de toutes les voies. Les fréquences situées en dehors de la bande des fréquences utile pourraient aussi provoquer des perturbations dans les autres voies; celles-ci peuvent être perçues de diverses manières à la réception: les fréquences vocales d'une voie peuvent passer dans le même spectre de fréquences dans une autre voie où elles seront perçues comme diaphonie intelligible, ou bien encore les fréquences d'une voie peuvent passer dans une autre voie transposées dans le spectre des fréquences et donner lieu à de la diaphonie inintelligible.

À la réception, les filtres sont nécessaires pour séparer les diverses bandes les unes des autres.

Par des capacités et des inductances seules, on peut déjà éliminer certaines fréquences, et constituer ainsi des filtres; une capacité en parallèle ou une inductance en série constitue un filtre passe bas, tandis qu'une capacité en série ou une inductance en parallèle constitue un filtre passe haut; la coupure ne sera pas nette et il ne sera pas possible de réaliser si simplement un filtre passe bande. Pour cela il faut en effet utiliser des circuits résonnants série ou parallèle. Ce fait est déjà connu de la technique radiophonique, où au moyen de circuits résonnants ou sélectifs on peut éliminer les fréquences des deux côtés de la fréquence de résonance; suivant que le circuit sera plus ou moins sélectif, la coupure sera plus ou moins nette, mais la bande non affaiblie ne sera pas très large. Or, pour les filtres de bonne qualité il faut que la coupure soit très brusque et que la pente de la courbe d'affaiblissement soit aussi raide que possible. Ceci est particulièrement important dans les filtres passe bande afin que l'écart des fréquences non affaiblies de deux bandes passantes voisines ne devienne pas trop grand, ou qu'il n'y ait pas chevauchement d'une bande sur l'autre. Par des combinaisons de capacités et d'inductances et de circuits résonnants, on peut constituer des réseaux qui rempliront toutes les conditions voulues d'une coupure très nette et d'un affaiblissement aussi petit que possible dans la bande passante. Divers auteurs ont donné des méthodes pour le calcul des divers filtres, et il n'entre pas dans nos intentions de les résumer toutes ici.

Les filtres se composent d'un certain nombre de cellules, qu'on peut relier les unes à la suite des autres; celles-ci doivent remplir certaines conditions afin que les impédances soient bien adaptées pour éviter autant que possible les phénomènes de ré-

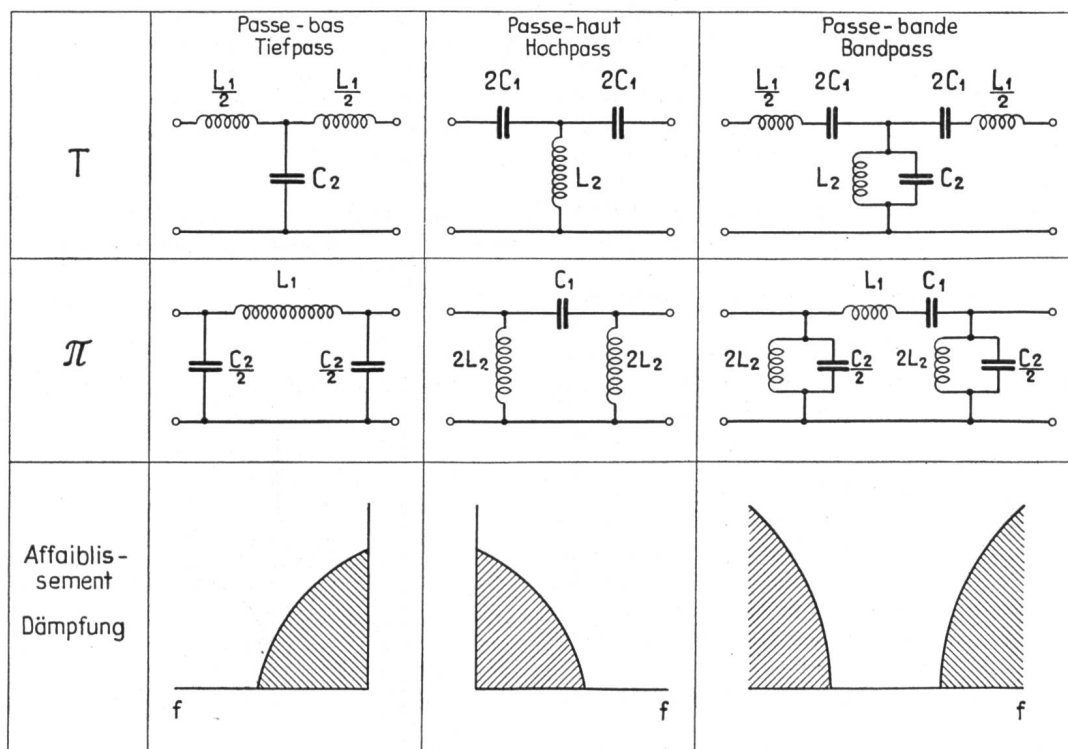
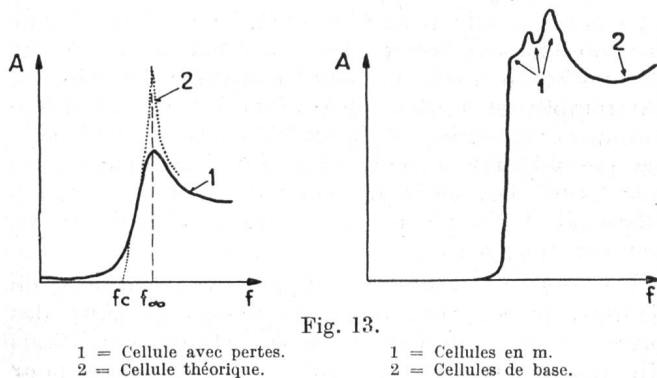


Fig. 12.

flexion produisant des irrégularités dans la courbe d'affaiblissement. On peut dériver les cellules d'un type appelé „cellule de base“ ou „cellule fondamentale“; ces cellules peuvent avoir une forme en T ou en π . La figure 12 donne ces structures pour les filtres passe bas, passe haut et passe bande.

Ces types de cellules sont appelés à „K constant“, car on peut démontrer que si Z_1 et Z_2 sont les impédances des bras série et shunt, on aura $K^2 = Z_1 \cdot Z_2$ où K est réel; Z_1 et Z_2 sont donc des imaginaires pures et de signe contraire et le produit de l'impédance série par celle du bras shunt est toujours, pour une cellule donnée, constant et réel. On remarque que l'affaiblissement ne croît que très lentement à partir de la fréquence de coupure et si l'on veut obtenir des affaiblissements très élevés au voisinage de ces fréquences, il faudrait multiplier beaucoup le nombre des cellules ce qui ne serait pas économique et introduirait, du fait des imperfections des éléments, un affaiblissement appréciable dans la bande transmise.



L'Américain Zobel a donné une méthode très simple permettant de déduire de ces cellules à K constant d'autres cellules dérivées qui présentent pour certaines fréquences des pointes d'affaiblissement permettant en les plaçant judicieusement de diminuer considérablement le nombre des cellules d'un filtre. A cet effet il introduit un paramètre „m“ dont la valeur est comprise entre 0 et 1. Il obtient ainsi des cellules dérivées en „m“ que l'on peut combiner pour obtenir l'allure de la courbe d'affaiblissement voulue.

Jusqu'à présent, on a supposé que les éléments qui composent le filtre sont exempts de pertes, mais en général les inductances ont toujours une certaine résistance et les condensateurs une certaine perte; il en résultera que l'affaiblissement ne sera pas nul dans la bande passante et que dans les filtres en „m“ dérivés, les pointes d'affaiblissement ne seront pas infinies comme elles devraient l'être théoriquement, mais seront limitées. Cela pose certains problèmes dans la construction des filtres auxquels on peut remédier dans une certaine mesure, comme on l'a déjà vu au moyen de la double modulation. La figure 13 donne la courbe d'affaiblissement théorique d'un filtre passe bas ainsi que celle d'une cellule constituée d'éléments avec pertes, et enfin l'effet d'une suite de cellules en „m“.

Nous n'avons donné ici qu'une idée des principes qui déterminent le fonctionnement des filtres et la

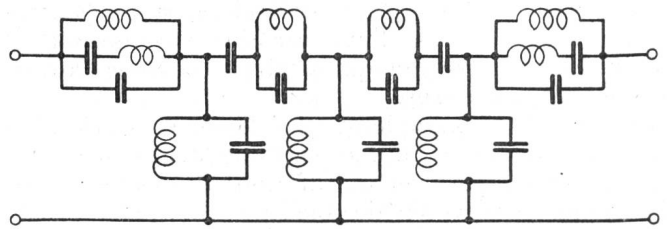


Fig. 14.

complexité des problèmes qui se posent pour les réaliser en pratique. A titre d'exemple, nous donnons le schéma d'un filtre passe bande tel qu'il est utilisé dans un système à courants porteurs; les diverses cellules, comme on le voit, sont assez différentes des cellules de base (figure 14).

Filtres à cristaux.

On peut construire des filtres électriques ayant une coupure très brusque, en utilisant des cristaux piézo-électriques comme par exemple ceux qui sont constitués de quartz cristallin. Un tel cristal équivaut en effet à une combinaison de résonateur et de bouchon, ce qui permet d'obtenir un affaiblissement très grand dans une bande étroite. Dans les filtres ordinaires avec bobines d'inductance, c'est la résistance effective des bobines utilisées, donc le rapport $\frac{\omega L}{R}$ qui est cause de l'augmentation lente de l'affaiblissement. Or, avec des cristaux de quartz, la valeur $\frac{\omega L}{R}$ du circuit électrique équivalent peut aller jusqu'à 20 000, alors que pour les meilleures bobines d'inductance on ne dépasse guère 200 ou 300.

Quand une lame de cristal piézo-électrique est placée dans un champ électrique variable, les variations de ce champ provoqueront des changements de dimensions du cristal. Inversement, si on fait varier les dimensions du cristal, on obtiendra une charge électrique. Mais le cristal est un système mécanique ayant plusieurs fréquences de résonance et grâce aux propriétés piézo-électriques que nous ve-

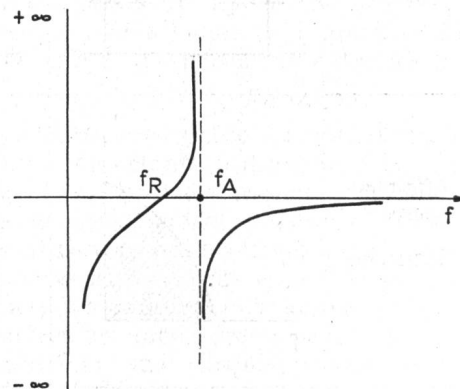
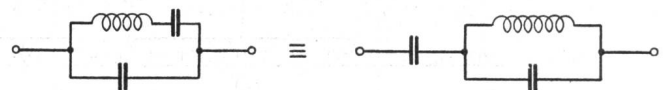


Fig. 15.

nous de voir, il est possible de coupler ce système de résonance mécanique à un circuit électrique. En taillant le cristal suivant des axes bien définis, on obtient une résonance pour une fréquence bien déterminée. La lamelle de quartz vibrera seulement pour cette fréquence-là. Si une telle lamelle de quartz est introduite dans un circuit parcouru par un courant alternatif dont la fréquence est voisine de la fréquence de résonance du quartz, on peut la considérer comme équivalente aux réseaux électriques suivants (figure 15), dont le graphique de réactance est donné en dessous. Une valeur positive de la réactance correspond à une inductance pure, alors qu'une valeur négative correspond à une capacité. Le point f_R où la réactance coupe l'axe des fréquences correspond à la fréquence de résonance, alors que la fréquence pour laquelle elle devient infinie correspond à l'autre résonance f_A . Des éléments pareils sont utilisés dans les filtres en forme de treillis, tels qu'ils sont représentés à la figure 16a; la figure 16b donne le circuit en pont équivalent.

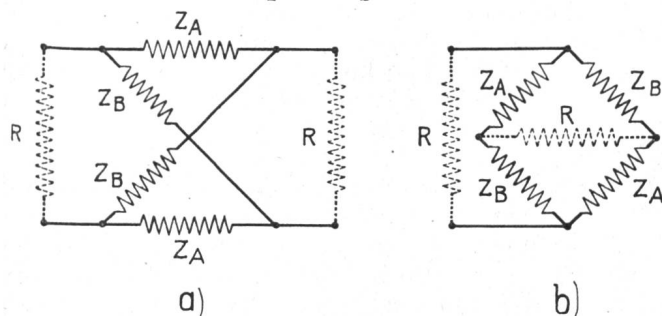


Fig. 16.

Dans un tel réseau, l'affaiblissement est nul si Z_A et Z_B sont de signes contraires, autrement dit si l'un des bras est une inductance pure et l'autre une capacité pure. Au contraire, pour avoir un affaiblissement très grand, il faut que $Z_A = Z_B$ c'est-à-dire que les inductances ou les capacités des deux bras soient égales. Ces conditions peuvent être réalisées au moyen de cristaux de quartz constituant les bras

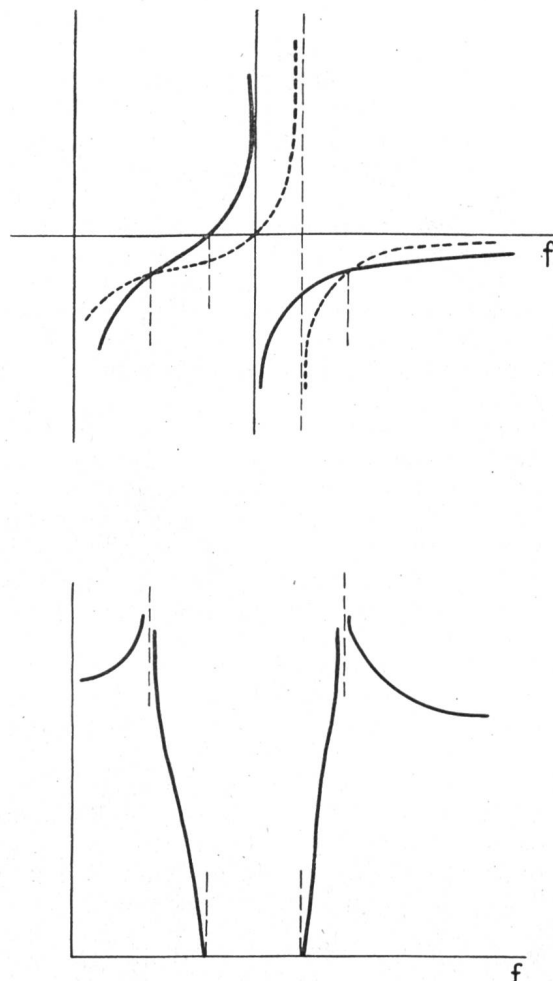


Fig. 17.

Z_A et Z_B , à condition que la fréquence d'anti-résonance d'un bras coïncide avec la fréquence de résonance de l'autre, c'est-à-dire que le point f_A d'un bras corresponde au point f_R de l'autre. Ceci est illustré à la figure 17 où l'on a indiqué également la courbe d'affaiblissement qui en résulte. (à suivre)

Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? *)

Von F. Sandmeier, Bern. 621.315.2.004.6

II. DIE UNTERSUCHUNG DER KABEL- SCHÄDEN.

1. Gang der Untersuchung.

Der Gang der Untersuchung richtet sich naturgemäß ganz nach den Umständen. Wenn z. B. bei Bauarbeiten vom Unternehmer gemeldet wird, es sei durch die Unvorsichtigkeit eines Arbeiters ein Kabel beschädigt worden, bedarf es weiter keiner Untersuchung. Ähnlich verhält es sich bei Terrainbewegungen, bei Rutschungen, Felssturz usw., kurz in allen Fällen, in denen der Schaden offen zutage tritt.

Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb? *)

Par F. Sandmeier, Berne. 621.315.2.004.6

II. RECHERCHES SUR LES DÉTÉRIORATIONS DE CABLES.

1. Procédé des recherches.

Le procédé qui est à la base des recherches dépend entièrement des circonstances. Si, p. ex., un entrepreneur signale au cours de travaux de construction que, par inadvertance, un de ses ouvriers a endommagé un câble, des recherches ne sont dans ce cas nullement nécessaires. Il en est de même si la détérioration est due à des mouvements de terrain, à des éboulements, des chutes de rochers, etc., soit dans tous les cas où le dommage est visible. Mais lorsqu'un

*) I. Teil siehe Techn. Mitt'". Schweiz. Telegr.- u. Teleph.-Verw. 1944, Nr. 5, S. 187—201 u. Nr. 6, S. 231—237.

* I^e partie voir Bull. techn. Adm. suisse télégr. et téléph. 1944, No 5, p. 187 à 201 et No 6, p. 231 à 237.