

PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

LA DEMODULATION COHERENTE

On nomme « modulation » le fait d'utiliser un signal A (dit « modulant ») pour agir sur une caractéristique (amplitude, fréquence, phase, largeur d'impulsion) d'un signal B (dit « porteur »), obtenant ainsi un signal C (dit « modulé »).

En général, on procède ainsi quand le signal A doit être envoyé par un canal qui ne le transmet pas (ou mal). Par exemple, pour passer les 1 et 0 d'un programme d'ordinateur par une ligne téléphonique, on utilise un « modulateur », qui fait correspondre au « zéro » une fréquence F_1 , et au « un » une fréquence F_2 , toutes deux compatibles avec les lignes téléphoniques.

De même, alors que l'on ne saurait envoyer le signal issu d'un microphone, même fortement amplifié, dans une antenne, car il n'y produirait pas d'ondes, on l'utilise pour agir sur l'amplitude d'une porteuse haute fréquence qui, appliquée à l'antenne, y provoque l'émission d'ondes modulées en amplitude, permettant de véhiculer dans l'espace le signal issu du microphone. L'opération de « modulation » (qui est une sorte de « codage ») est pratiquement toujours suivie de l'opération inverse, la « démodulation », consistant à extraire du signal modulé le signal modulant. Mais, fréquemment, cette « démodulation » porte un autre nom.

L'HABITUDE DE LA MODULATION D'AMPLITUDE

Dans le cas de la réception d'une onde modulée en amplitude, une des solutions les plus simples pour en extraire le signal modulant consiste à redresser le signal, puis à filtrer la tension redressée par un filtre passe-bas, suivant le schéma bien connu de la figure 1.

La fonction de filtrage passe-bas est simplement réalisée par l'association en parallèle du résistor R et du condensateur C.

Ainsi, lorsque l'on applique en e le signal modulé (fig. 2a), on recueille en s le signal de la fi-

gure 2b, à condition que la constante de temps RC soit :

- grande par rapport à la période du signal modulé ;
- petite par rapport à celle du signal modulateur.

En général, ce compromis ne pose guère de problèmes : dans la FI d'un récepteur, on a généralement un signal por-

teur de 455 kHz, et la fréquence modulante maximale est théoriquement 4,5 kHz.

Le problème est plus ardu en télévision, où la FI est souvent de l'ordre de 30 MHz, la fréquence modulante maximale pouvant aller à 6 MHz.

Mais, dans un cas comme dans l'autre, on utilise la mé-

thode de redressement du signal modulé, suivi de filtrage. C'est devenu tellement courant que, dans ces cas, on ne parle plus de « démodulation », mais de « détection ». Paradoxalement, ce mot de « détection », qui signifie que l'on cherche à détecter un signal modulé dans un signal modulé, est devenu synonyme de « redressement ».

ON PEUT FAIRE BEAUCOUP MIEUX QUE DE REDRESSER LE SIGNAL

Le but de ces propos est d'indiquer un meilleur moyen d'extraire le signal modulant

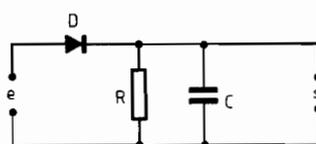


Fig. 1. - Pour « démoduler » un signal modulé en amplitude, on utilise, le plus souvent, une « détection », opérée par redressement puis filtrage de la composante à la fréquence porteuse.

d'un signal modulé en amplitude. On a tellement pris l'habitude de considérer que « la détection, ça ne pose aucun problème », que l'on est un peu surpris quand on va y voir de plus près.

Une diode, malheureusement, n'est pas tout à fait ce que l'on espérait (« du mica dans un sens, du cuivre dans l'autre »). Si l'on peut réellement dire qu'elle bloque parfaitement le courant inverse, en revanche, elle ne devient conductrice que sous une tension directe minimale (le « seuil »), au-delà de laquelle la qualité de la diode s'améliore, comme le montre la figure 3.

Le seuil, a , est de l'ordre de 0,4 V pour les diodes au silicium classique ; on le réduit à 0,25 V pour les diodes « Schottky ». En quoi va-t-il nous gêner ?

Tout simplement par le fait que, quand le signal modulé appliqué au montage de la figure 1 a une amplitude de crête inférieure à a , le système ne donne aucune tension de sortie. Or, le signal modulé peut présenter un « taux de modulation » de 100 %, ce qui signifie que l'amplitude du signal peut aller de zéro jusqu'au double de la valeur moyenne (correspondant à l'absence de modulation).

Donc, quand on arrivera aux moments où l'amplitude crête du signal modulé tombe en dessous de a , il y aura une disparition de signal détecté, tant que le signal modulé n'aura pas récupéré une amplitude de crête supérieure à a . Autrement dit, le signal de sortie en s va être affecté d'une importante distorsion.

POURQUOI CELA MARCHE-T-IL QUAND MEME ?

On peut alors se demander comment il se fait que les récepteurs AM donnent, quand même, de très bons résultats. Cela tient au fait que l'on applique, généralement, à la dé-

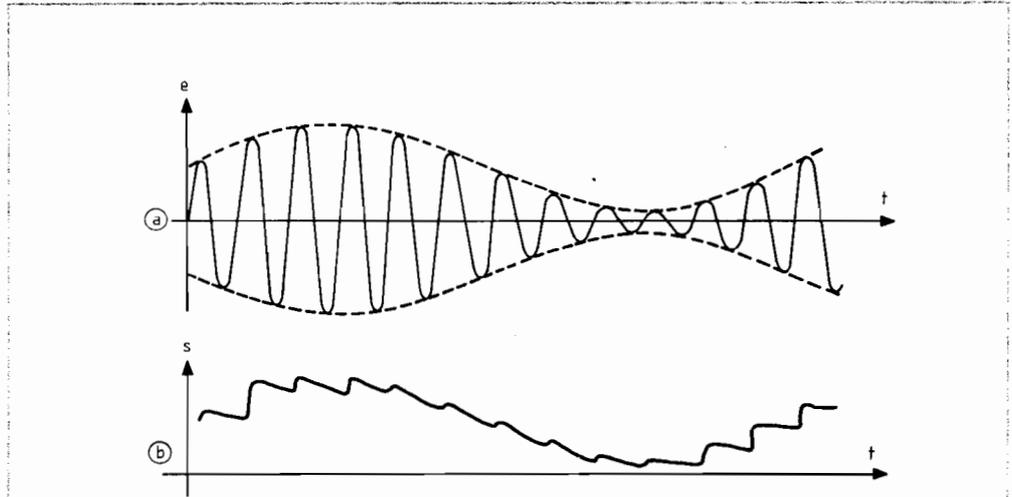


Fig. 2. - Un signal (a) modulé en amplitude, appliqué au circuit de la figure 1, donne, en sortie, une tension (b) reproduisant à peu près l'enveloppe du signal modulé.

tection, une tension de signal modulé assez importante, et surtout à la limitation du taux de modulation des émetteurs. En effet, les règlements de la radiodiffusion interdisent formellement la « surmodulation » (taux de modulation supérieur à 10 %, conduisant à une amplitude du signal qui peut dépasser le double de la valeur moyenne, mais se maintient à zéro pendant une

partie de la période du signal modulant).

En effet, quand un émetteur fait de la surmodulation, il devient brusquement fort gênant pour les émetteurs des canaux voisins, car ses bandes latérales ont tendance à s'écarter abusivement, indépendamment de la distorsion du signal reçu par l'auditeur, même si son système de détection est parfait.

Donc, on fait tout pour éviter cela, et, par sécurité, on limite la modulation à un taux qui reste toujours inférieur à 100 % (et même, quelquefois, à 90 % pour plus de sûreté, surtout quand on travaille « en direct »).

Cela explique que, jusqu'à présent, personne ne s'est plaint du système de modulation en amplitude, si ce n'est de la limite de fréquence modulante (théoriquement 4,5 kHz) imposée par les règlements, pour limiter la largeur du canal occupé par l'émetteur.

Et puis, il faut bien dire que, de nos jours, on a tellement délaissé la AM pour la FM qu'on trouve presque normal d'avoir une qualité sonore assez médiocre lors de la réception des stations AM.

UN « MODULATEUR AM » ASSEZ PARTICULIER

La modulation d'amplitude ne sert pas qu'à transmettre des sons par radio. On la rencontre dans de nombreux appareils de mesure, par exemple dans les « capteurs de dépla-

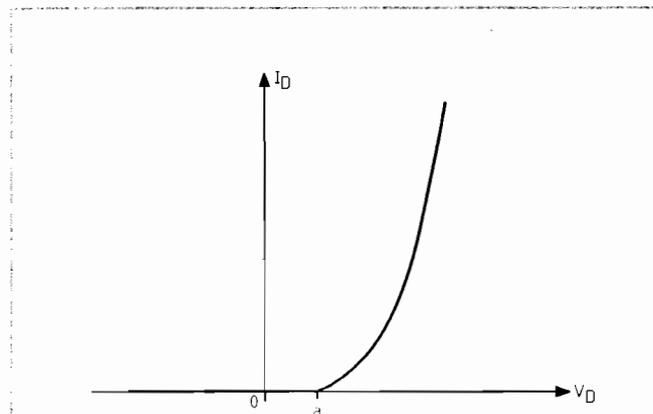


Fig. 3. - Une diode, malheureusement, a un « seuil », a , tension directe minimale au-dessous de laquelle le courant direct ne peut passer (il est de l'ordre de 0,3 à 0,4 V pour une diode au silicium classique). Au-delà de ce seuil, la variation de l'intensité n'est pas proportionnelle à celle de la tension.

cement » qui utilisent un « transformateur différentiel ».

Non, ne vous affolez pas ! il s'agit de quelque chose de très simple, dont la figure 4 indique le principe.

Un enroulement dit « inducteur », A, reçoit une tension alternative, e , et provoque une induction magnétique dans un noyau N. Ce dernier est mobile et peut être déplacé d'un mouvement de glissement suivant la ligne en traits mixtes.

Ce noyau passe dans deux autres bobinages B et C. Quand sa position est bien symétrique par rapport à B et C, les tensions u_1 et u_2 , induites dans les deux bobinages, sont égales. Vu la façon dont les bobinages sont branchés (en opposition), on recueille alors, sur la sortie, une tension : $v = u_1 - u_2 = 0$

Le noyau est généralement taillé en cônes aux deux bouts, pour que son déplacement fasse varier progressivement les tensions induites u_1 et u_2 . Si on le déplace vers la gauche, par exemple, u_1 va augmenter d'amplitude et u_2 diminuer.

La tension de sortie ne sera plus nulle, elle sera en phase avec u_1 . Etant donné la forme pointue des extrémités du noyau, plus ce dernier sera glissé vers la droite, plus la tension induite dans C augmentera, pendant que celle qui est induite dans B diminuera. On aura donc, si le noyau se déplace vers la gauche, une tension de sortie v dont l'amplitude va croître.

Si la forme des bouts du noyau est correcte, on peut faire en sorte que cette croissance soit proportionnelle au déplacement du noyau.

L'ALTERNATIF... ÇA N'A PAS DE SENS

Et que se passera-t-il si nous déplaçons le noyau vers la droite ? Cette fois, c'est u_2 qui va augmenter d'amplitude, pendant que celle de u_1 dimi-

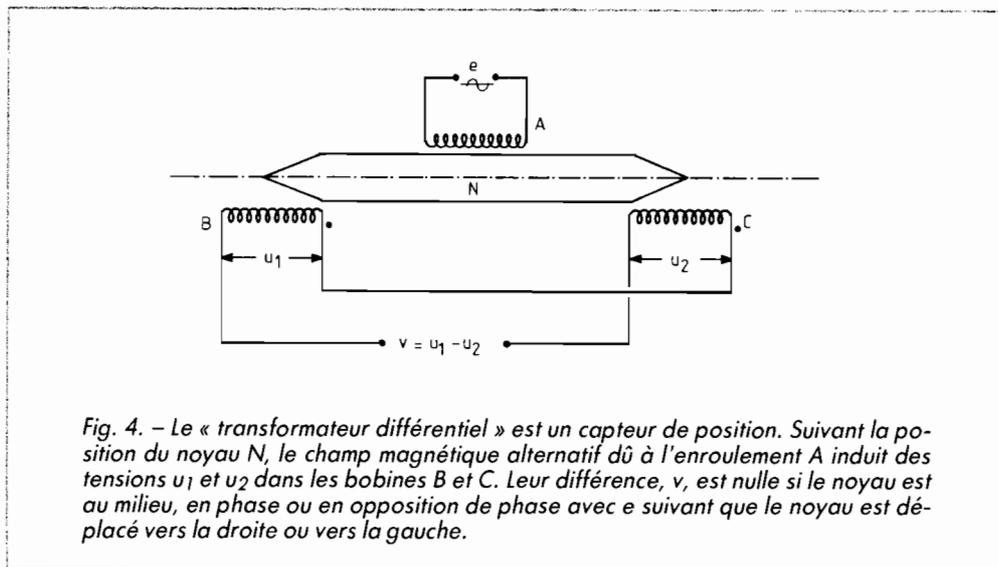


Fig. 4. - Le « transformateur différentiel » est un capteur de position. Suivant la position du noyau N, le champ magnétique alternatif dû à l'enroulement A induit des tensions u_1 et u_2 dans les bobines B et C. Leur différence, v , est nulle si le noyau est au milieu, en phase ou en opposition de phase avec e suivant que le noyau est déplacé vers la droite ou vers la gauche.

nue. La tension v apparaît donc de nouveau, mais, cette fois, elle devient plus proche de $-u_2$. Pourquoi le signe - ? Parce que la tension v est obtenue en faisant la différence $u_1 - u_2$, et que c'est u_2 qui est plus grande.

Cette distinction pourra paraître subtile. Une tension alternative, par définition, cela change de sens tout le temps. Alors, l'affecter d'un signe - ne doit pas la modifier. D'ailleurs, un bon voltmètre, branché en sortie, va nous montrer une valeur croissante de l'amplitude de v , que le noyau se déplace vers la gauche ou vers la droite.

Oui, c'est vrai, l'alternatif, « cela n'a pas de sens » (comme un béréty). Mais cela a une **phase**. L'auteur, quand il était très petit et très ignorant (maintenant, il n'est plus petit) l'a vérifié avec dépit.

En effet, disposant d'un transformateur qui avait deux secondaires indépendants, de 6 V rms chacun, il voulut les mettre en série, pour avoir du 12 V. Pensant que « l'alternatif n'a pas de sens », il les mit en série n'importe comment, et obtint... une tension nulle ! Encore heureux qu'il n'ait pas essayé de les mettre en parallèle n'importe comment !

Bien sûr, si vous utilisez un simple voltmètre pour voir

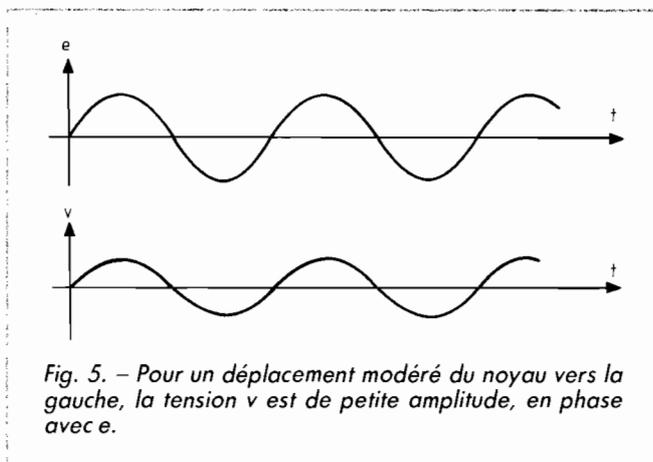


Fig. 5. - Pour un déplacement modéré du noyau vers la gauche, la tension v est de petite amplitude, en phase avec e .

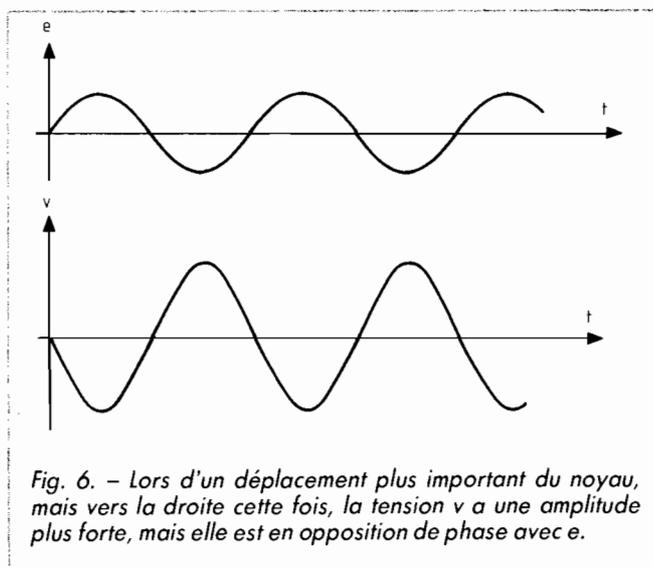


Fig. 6. - Lors d'un déplacement plus important du noyau, mais vers la droite cette fois, la tension v a une amplitude plus forte, mais elle est en opposition de phase avec e .

comment varie v , vous ne pourrez pas dire si le noyau se déplace vers la gauche ou vers la droite. Mais, si vous utilisez un oscilloscope pour examiner la tension v , et si vous avez pris la précaution de le synchroniser « en extérieur » par la tension e , vous verrez immédiatement ce qu'il en est. Ce sera encore plus caractéristique si votre oscilloscope est à deux canaux, l'un servant pour la tension « de référence », e , l'autre pour v .

En effet, dans le cas d'un petit déplacement du noyau vers la gauche, par exemple, vous allez voir les formes d'ondes de la figure 5 : en (a), la référence, e , et en (b) la tension v . On voit que cette dernière est « en phase » avec e , étant positive en même temps qu'elle, négative quand e est négative.

A l'inverse, si vous avez déplacé le noyau assez nettement vers la droite (fig. 6), la tension v sera en « opposition de phase » avec e , car elle est négative quand e est positive et vice versa.

D'autre part, l'amplitude de v est plus forte que dans le premier cas, car le déplacement du noyau, à partir de la position médiane qui donne $v = 0$, vers la droite, est plus grand que ne l'avait été le déplacement

vers la gauche dans le cas de la figure 5.

Il est essentiel, si l'on n'examine que la tension v , de synchroniser l'oscilloscope par la tension e , en utilisant l'entrée « synchro extérieure ». Si, comme dans le cas des figures 5 et 6, on examine à la fois la tension e et la tension v , il suffira de bien choisir la source de synchronisation, en la commandant bien par le canal qui reçoit la tension e , et non par celui qui est relié à la tension v .

**« MAIS...
CET INSTRUMENT
N'EST PAS
UN
MODULATEUR ! »**

Voilà certainement ce qu'objecteront plusieurs lecteurs, car on ne voit pas ici de « signal modulant ». En fait, ce « signal » est remplacé par une commande mécanique : le déplacement du noyau. Faites osciller ce dernier du côté gauche, sans qu'il passe par la position médiane qui annule v , et la sortie v sera modulée en amplitude de la façon la plus classique. Evidemment, la fréquence de modulation sera très basse.

L'oscilloscope permet de voir parfaitement ce qui se passe, de matérialiser sur son écran le changement de phase de v quand le noyau passe par la position médiane. Mais nous pourrions souhaiter « exploiter » la tension v plus simplement, pour en tirer une information sur la position du noyau, car c'est bien là le but de notre « capteur ».

Nous avons vu qu'un voltmètre ne suffit pas. S'il est très bon, la valeur lue, en fonction de la position du noyau, variera comme le montre la courbe de la figure 7. A droite comme à gauche, la lecture est proportionnelle à la valeur efficace de v , donc la valeur absolue du déplacement du noyau (représenté par l'abscisse x) par rapport au point médian, qui correspond à $v = 0$.

Mais, que la tension v soit en phase ou en opposition de phase avec e , cela, le voltmètre « ne veut pas le savoir ». Et si l'on utilisait une détection, un circuit du genre de celui de la figure 1 ? Ce serait pire encore. Nous avons vu plus haut, en effet, que ce circuit, en raison du « seuil direct » de la diode, ne commence à réagir qu'au-delà d'une amplitude minimale du signal modulé. Donc, avec un tel circuit, la tension détectée varierait en

fonction de x , déplacement du noyau, comme le montre la figure 8.

En fait, notre capteur est un « multiplicateur », car il fournit, à sa sortie, une tension v qui est proportionnelle au produit de e par x . Mais il ne faut pas oublier que x peut être positif, nul ou négatif. Quand x est positif, v est en phase avec e , et, si l'on a $x < 0$, v est en opposition de phase avec e .

**LE BON VIEUX
« PONT DE
WHEATSTONE
A TREFLE
CATHODIQUE »**

Cette difficulté rappellera sans doute quelque chose aux lecteurs qui, comme l'auteur, ont manipulé l'électronique avant la révolution de 48 (précisons : 1948, avènement de Sa Majesté le Transistor), ou dans les quelques années qui ont suivi.

On utilisait, pour mesurer les valeurs de résistances, le bon vieux pont de Wheatstone, qui est, comme le montre la figure 9, un ensemble des deux diviseurs de tension (diviseur P-Q et diviseur X-R. Si l'on ajuste les valeurs de résistan-

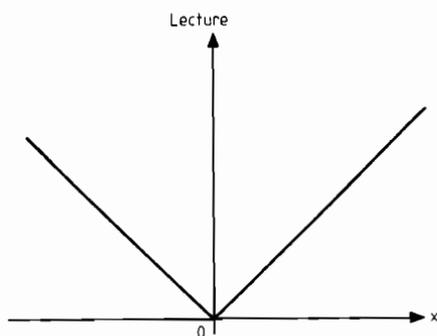


Fig. 7. — Si on lit la valeur efficace de la tension v sur un voltmètre, la lecture est bien proportionnelle à la valeur absolue du déplacement x , mais elle n'en indique pas le sens.

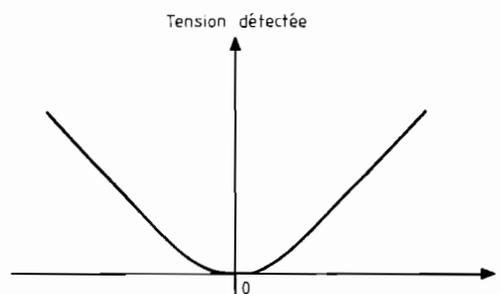


Fig. 8. — Si, au lieu d'utiliser un voltmètre alternatif parfait, on emploie un circuit de « détection », du type de celui de la figure 1, pour lire la tension v du capteur de la figure 4, on voit que la tension détectée est loin d'être proportionnelle au déplacement.

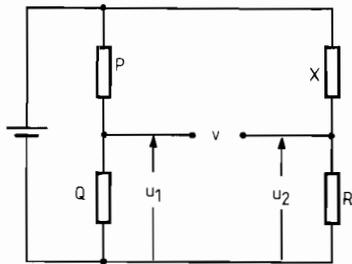


Fig. 9. - Dans un pont de Wheatstone, à l'équilibre, c'est-à-dire quand $PR = QX$, les tensions u_1 et u_2 sont égales, la tension v est nulle. Comme le pont est alimenté par une tension continue, v est positive ou négative suivant le sens du déséquilibre. Les choses se compliquent quand le pont est alimenté par une tension alternative.

ces de telle sorte que ces diviseurs aient le même rapport de division, autrement dit en réalisant :

$$Q/(P + Q) = R/(R + X) \text{ (qui équivaut à : } P/Q = X/R)$$

On rend égales les tensions u_1 et u_2 , donc on annule la tension v . Avec un rapport P/Q pouvant prendre les valeurs 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10, 100 et 1 000 et R constituée de « boîtes à décades », on réglait le tout pour annuler la tension v ; on pouvait alors connaître la valeur de résistance du résistor X .

Avec un pont alimenté en continu, comme dans le cas de la figure 9, il était très facile de savoir dans quel sens il fallait agir sur la valeur de R pour se rapprocher de l'« équilibre » du pont (l'annulation de v). Car, avec R trop grand, v était négatif, tandis que pour R trop petit, v était positif.

Mais on avait vite remplacé, dans les ponts de mesure, la tension continue v de la figure 9 par une tension alternative. On se trouvait alors exactement devant le même problème que dans le cas du capteur de déplacement de la figure 4 : l'amplitude de la tension v ne renseigne plus sur le sens de déséquilibre du pont.

On appréciait, dans ces anciens instruments, la tension v en l'amplifiant, en la détectant, et en l'appliquant à un « trèfle cathodique » (ou « œil magique »), tube à vide dans lequel la tension appliquée à une électrode faisait diverger plus ou moins des zones fluorescentes sur un petit écran.

Tous ceux qui ont manipulé cet engin se rappellent son grand défaut : on ne savait pas vraiment dans quel sens il fallait faire varier R pour se rapprocher de l'équilibre du pont, équilibre qui se manifestait par une divergence maximale des « pétales » du trèfle cathodique. On ne le trouvait que par tâtonnements.

Bref, il apparaît que, là comme dans le cas du capteur de la figure 4, il est nécessaire de disposer d'un moyen plus « évolué » que la simple détection classique pour traiter certains signaux.

LA MODULATION PAR « MULTIPLIEUR ANALOGIQUE »

Nous allons voir un troisième exemple, encore plus important, dans lequel il est aussi nécessaire de disposer d'un

système plus perfectionné que la « détection » classique pour effectuer la « démodulation » d'un signal.

Il existe des circuits intégrés merveilleux, malheureusement totalement inaccessibles aux amateurs, car on ne peut les acheter au détail (et, même si on y arrivait, leur prix est élevé) : les multiplieurs analogiques.

Un tel engin se schématise comme l'indique la figure 10. Nous n'avons pas représenté, sur cette figure, les alimentations du circuit, très analogues à celle d'un amplificateur opérationnel.

La propriété essentielle de ce circuit est la suivante : quand on applique des tensions x et y aux deux entrées, tensions comprises chacune entre -10 V et $+10$ V, la tension de sortie S est égale à :

$$S = xy/10$$

le coefficient $1/10$ étant là pour que, même si $x = y = 10$ V, la sortie ne dépasse pas 10 V.

Un modèle classique de multiplieur est le 8013 de Intersil, dont l'emploi ravirait des milliers d'électroniciens amateurs, mais qui est hélas ! du domaine du rêve. On peut cependant réaliser quelque chose qui s'approche un peu (en beaucoup moins bien) des performances de ce multiplieur, au moyen d'un circuit monté avec les « amplificateurs opérationnels de trans-

conductance », type LM 3080 et LM 13600. Ces circuits sont heureusement utilisables par les amateurs, car des détaillants en vendent, et ils ne sont pas chers.

Revenons à notre multiplieur, et supposons que nous avons appliqué, sur l'entrée x , une tension alternative sinusoïdale d'à peu près 7 V rms, pour qu'elle ne dépasse pas ± 10 V cr/cr.

Appliquons à l'entrée y une tension nulle : la tension de sortie S restera constamment nulle. Si l'on applique en y une tension légèrement positive, la sortie S fournira une tension alternative, en phase avec celle que l'on applique en x , d'amplitude proportionnelle à y . Si la tension appliquée en y est négative, la sortie en S sera une tension alternative, en opposition de phase avec celle qui excite x , et d'amplitude proportionnelle à la valeur absolue de y .

UNE MODULATION AM CLASSIQUE... ET UNE QUI L'EST MOINS

Appliquons maintenant à l'entrée y (fig. 11) une tension modulante, à fréquence basse par rapport à celle du signal porteur, appliqué à l'entrée x . Nous commencerons par une tension faite de la somme d'une composante continue u_0

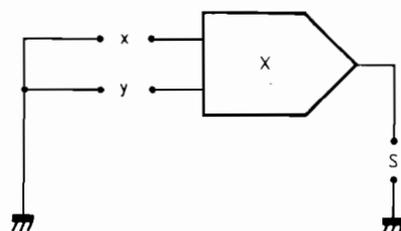


Fig. 10. - Le circuit multiplieur analogique (comme le 8013 Intersil, par exemple) reçoit deux tensions d'entrée x et y , et il fournit une tension de sortie S proportionnelle au produit xy .

et d'une composante alternative suffisamment faible pour que y ne devienne jamais négatif.

La tension de sortie présentera, sur un oscilloscope, l'aspect classique d'un signal modulé en amplitude. Si la tension y arrive à « effleurer » la valeur zéro (comme dans le cas de la figure 11), le taux de modulation sera de 100 %. Répétons que, pour arriver à ce résultat, il faut que la tension y reste toujours de même sens, et c'est pourquoi nous avons appliqué à l'entrée y la somme de u_0 et d'une composante alternative.

Pour ceux qui aiment les formules, nous dirons que le signal de sortie est de la forme :

$$S = (1 + n \cos(\Omega t)) \cdot \cos(\omega t)$$

où n est le « taux de modulation », de 0 à 1 (ou de 0 à 100 %), Ω la « pulsation » du signal modulant (produit de sa fréquence par 6,28) et ω la pulsation de la porteuse.

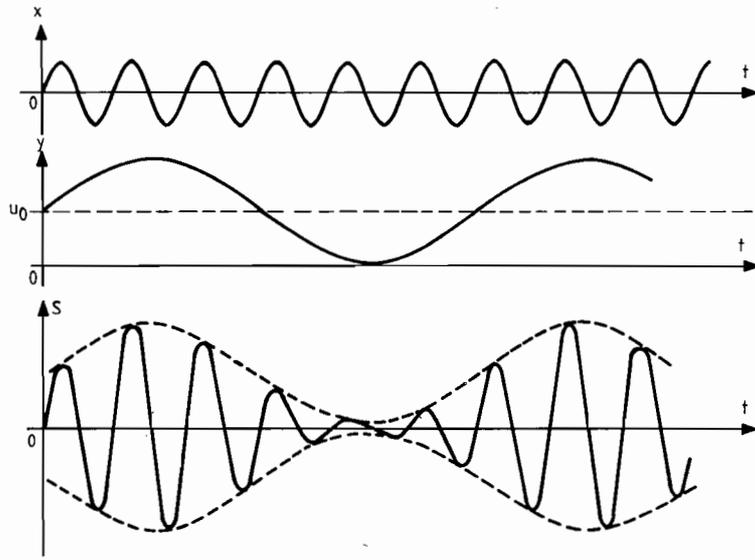


Fig. 11. - La tension x appliquée au multiplieur est la « porteuse ». On applique en y la somme d'une tension sinusoïdale et d'une composante continue, u_0 ; ainsi, y reste toujours positif. La sortie S est alors modulée normalement en amplitude, toujours en phase avec la tension x. Le taux de modulation est, ici, voisin de 100 %.

S.N.C. 80, Bd. BOISSON 13004 MARSEILLE

Tél. : 91.85.58.00 - Fax : 91.49.61.10

TRANSMETTEUR PAR TELEPHONE

4 numéros de téléphone modifiable - message personnalisé.

PRIX : 1400 F

VIDEO DE SURVEILLANCE

Moniteur 12 cm. Caméra CCD étanche. Alimentation 40 mètres de câble. Complet.

PROMO : 2500 F

ALARME VOITURE BRAVO

Commande Radio (2). Blocage moteur - Clignotants - Ultrasons - Chocs 2 contacts pour coffre / capots. Blocage portières - Consommation. Sirène avec batterie - Diode LED.

EXCEPTIONNEL : 1650 F

BARRIERE INFRAROUGE

Encastrable Portée 50 m 12 ou 24 V pour alarme ou portail automatique.

PRIX : 780 F

INFRAROUGE PASSIF

24 zones - 140" - 20 m 9 à 16 vdc.

CMS technologie -15 mA **PROMO : 420 F**

Par 5 pcs **300 F**

INFRAROUGE PASSIF

30 m pour couloir 9 à 16 vdc.

PROMO : 420 F

ALARME VOITURE BRAVO

Idem que ci-contre mais tout dans le boîtier sirène.

PRIX EXCEPTIONNEL : 1750 F

Module pour fermeture auto des vitres.

PRIX : 260 F

RECEPTEUR RADIO Télécommande

1 voie **460 F**

2 voies **590 F**

Boîtier étanche **200 F**

REPONDEUR TELEPHONE

Enregistreur. Interrogation à distance.

PRIX : 1100 F

PORTAIL AUTOMATIQUE

A bras ou à Verins. Kit complet. (2 moteurs, 1 centrale, 1 électroserrure, 1 récepteur, 2 télécommandes) accessoires. Manuel de pose.

PRIX DE LANCEMENT : 7600 F

Emetteur supplémentaire. **PRIX : 220 F**

Flash 220 V **220 F**

Antenne **112 F**

Emetteur 4 voies. **PRIX : 310 F**

ATTENTION Tous les prix indiqués ci-dessus sont des prix PROMOTIONNELS T.T.C. Matériel neuf, GARANTIE UN AN Pièces et main d'œuvre. Veuillez vous référer à cette annonce pour obtenir ces PRIX PREFERENTIELS.

TOUTE COMMANDE NE POURRA ETRE HONOREE QUE SI ELLE EST ACCOMPAGNEE DE SON PAIEMENT, UN CONTRE REMBOURSEMENT NE PEUT ETRE ENVISAGE QUE POUR LA FRANCE METROPOLITAINE. Les frais de port PTT ou SERNAM sont à prévoir en sus. Pour tous les produits 30 F. Pour les AUTOMATISMES port 200 F.

REMISES POUR COMMANDES GROUPEES - RECHERCHONS REVENDEURS TOUTES REGIONS.

UNE MODULATION PLUS « VICIEUSE »

Que se passera-t-il si nous appliquons à y une tension alternative pure, sans composante continue ? La figure 12 nous l'indique. Du temps zéro au temps t_0 , y étant positive, nous avons en S une tension modulée en amplitude, en phase avec la tension en x .

Du temps t_0 au temps t_1 , nous avons de nouveau une tension modulée, mais, cette fois, la sortie S est en opposition de phase avec la tension en x .

Pour ceux qui estiment que le résultat est analogue à celui du cas précédent, qu'ils aillent y voir de plus près : en une période du signal modulant (dans la figure 11), nous avons un seul maximum d'amplitude de la tension en S , et un seul minimum (presque nul), alors que, dans le cas de la figure 12, le signal modulé présente deux maxima d'amplitude pour une période de signal modulant.

D'autre part, l'« enveloppe » du signal modulé (ligne en pointillé) va « effleurer » l'axe horizontal (axe des temps) au moment où y passe par une valeur quasi nulle.

Enfin, on voit nettement l'inversion de phase du signal modulé à chaque annulation de la tension y .

Dans le cas de la figure 12, l'enveloppe du signal (ligne en pointillé) croise franchement l'axe des temps au lieu de l'effleurer.

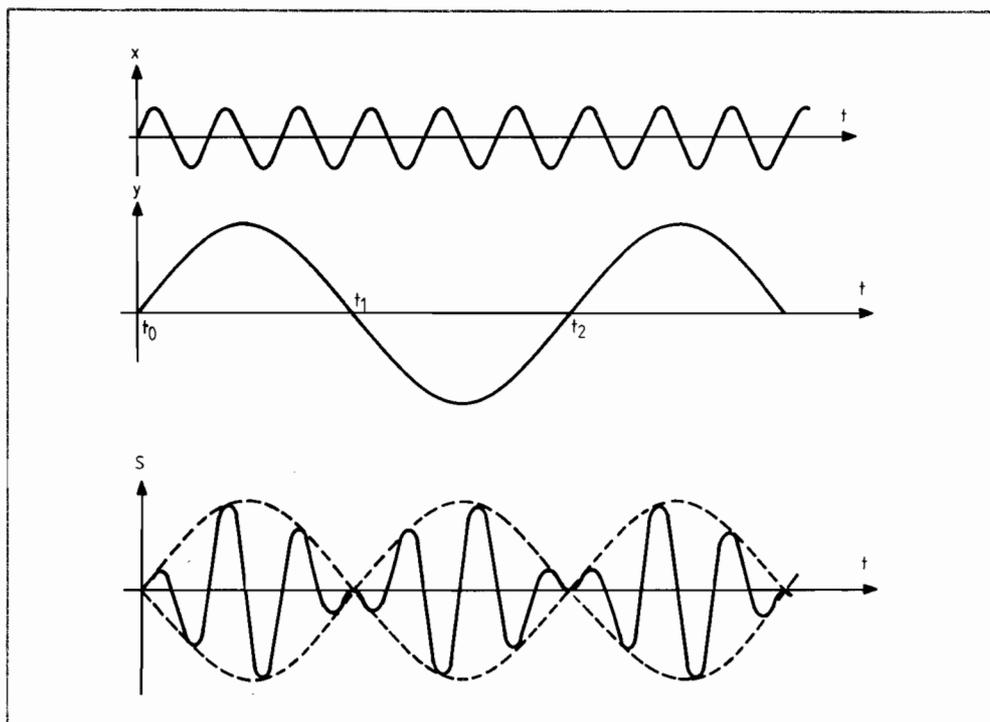


Fig. 12. - Si, maintenant, la tension y est purement sinusoïdale, tantôt positive, tantôt négative, la sortie S est devenue ce que l'on appelle un « signal modulé avec suppression de porteuse ». La phase du signal S s'inverse chaque fois que la tension x change de sens.

On pourrait dire, en quelque sorte, que le premier maximum d'amplitude, dans le cas de la figure 12, est un maximum « positif », correspondant à un signal en S dont la composante à fréquence élevée est en phase avec la tension en x , alors que le second maximum d'amplitude de la tension en S correspond à un

« maximum négatif », en raison de la phase du signal modulé.

Une telle modulation est dite « à porteuse supprimée », car, tant que l'on maintient à zéro le signal modulant appliqué en y , la tension en S reste nulle. On l'emploie dans les télécommunications. C'est, en particulier, le mode de modulation

utilisé pour la sous-porteuse « différence des canaux » dans les émissions stéréophoniques en modulation de fréquence.

En additionnant la porteuse à ce signal, on retrouverait le signal modulé normal de la figure 11.

(A suivre)

J.-P. OEHMINCHEN

**LE HAUT-PARLEUR
SUR MINITEL
36 15 code HP**