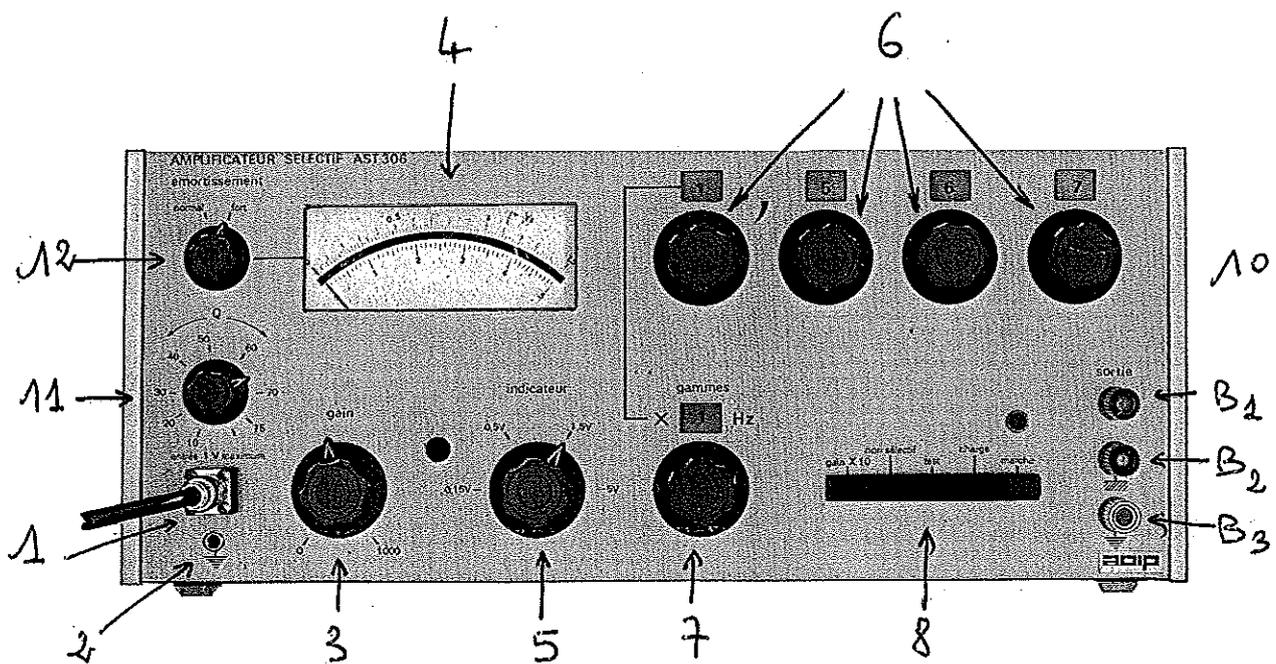


mesures pour laboratoire et recherche

acoustique et
vibrations

amplificateur sélectif type AST 306



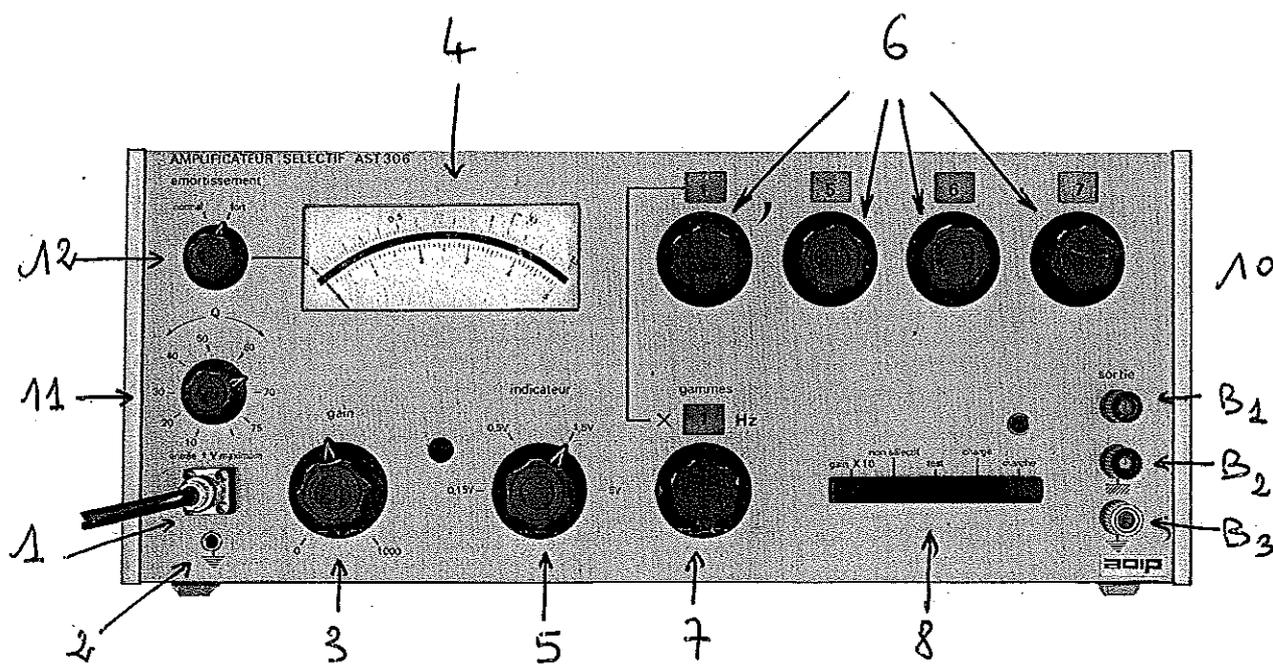
entièrement transistorisé

domaine de fréquences : 10 Hz à 100 kHz

mesures pour laboratoire et recherche

acoustique et
vibrations

amplificateur sélectif type AST 306



entièrement transistorisé

domaine de fréquences : 10 Hz à 100 kHz

Services Commerciaux
45, rue Eugène-Oudiné
B.P. 301-75 PARIS-XIII^e
TÉL. (1) 707-59-79

AOIP présente :

L'AMPLIFICATEUR SELECTIF AST 306

Dans les domaines de l'acoustique et des vibrations, le rôle d'un amplificateur sélectif est particulièrement important : c'est pourquoi nous avons choisi aujourd'hui d'analyser un tel appareil, de conception nouvelle et présentant des performances particulièrement appréciables pour les utilisateurs.

Parmi la vaste étendue de ses applications, citons quelques exemples de son emploi comme :

- Analyseur d'harmoniques et distorsionmètre,
- Voltmètre électronique sélectif,
- Appareil de mesure de vibration,
- Filtre d'alimentation pour pont ou autre montage,
- Fréquence-mètre basse fréquence,
- Appareil de O dans les mesures par méthode d'opposition (ponts et potentiomètres à courant alternatif),
- Amplificateur des capteurs de mesure.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'AMPLIFICATEUR SELECTIF AST 306

A. - Préliminaires.

1) L'amplificateur sélectif est un appareil dont le gain G présente en fonction de la fréquence une bande de transmission privilégiée. Pour une fréquence f_0 , appelée fréquence d'accord, le gain passe par un maximum G_m .

Par convention, on appelle bande passante la largeur de la courbe correspondant à l'ordonnée $G_m/\sqrt{2}$ (Fig. 1), (soit un affaiblissement de 3 dB).

La sélectivité est d'autant plus grande qu'à fréquence d'accord constante la bande passante est plus étroite. On peut la caractériser par le rapport

$$\sigma = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

f_0 fréquence d'accord
 f_1, f_2 fréquences pour lesquelles

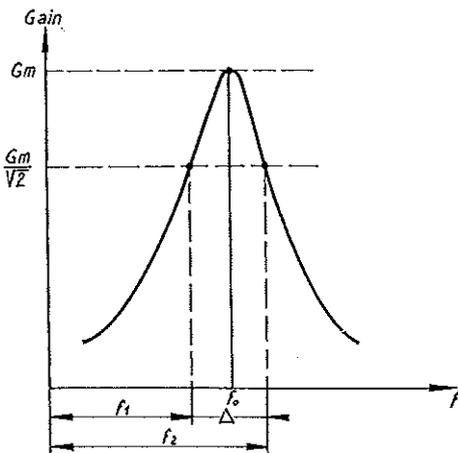
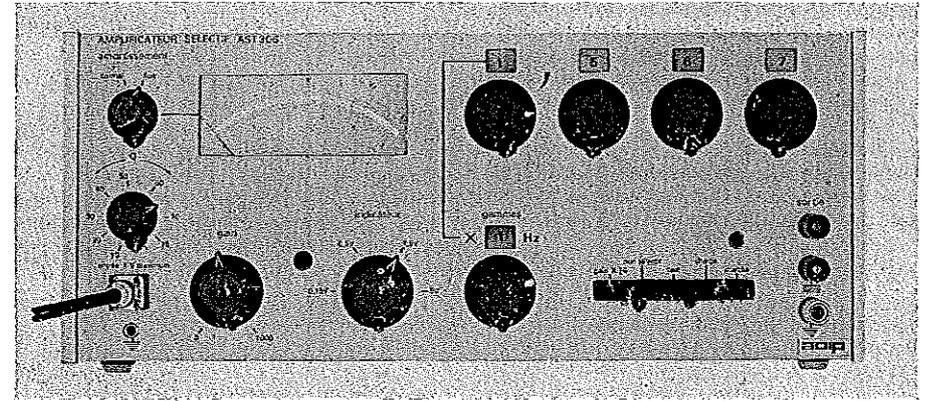


FIG. 1. — Courbe de sélectivité. Fréquence de résonance f_0 , bande passante Δ .



$$G = G_m \cdot \sqrt{2} \quad (\text{Fig. 1})$$

lorsque ce rapport est supérieur à 10, on a

$$f_0 \approx \frac{f_1 + f_2}{2}$$

2) On peut obtenir la sélectivité dans un amplificateur en insérant dans la chaîne d'amplification un filtre passe bande passif comprenant inductances, capacités et résistances. Les résistances sont en réalité celles des inductances ; variables avec la fréquence, elles rendent impossible la réalisation d'une sélectivité constante dans une large bande de fréquences.

Pour pallier cet inconvénient, on est amené à ne faire appel qu'à des résistances et des capacités, mais la sélectivité réalisable est totalement insuffisante.

Il est par contre possible d'insérer ce filtre dans une chaîne de retour.

3) Le principe de la contre-réaction de tension consiste à ramener à l'entrée une fraction k de la tension de sortie U_s en opposition de phase. La tension d'entrée effective sera $U_e - kU_s$, U_e étant la tension d'entrée appliquée à l'amplificateur.

On aura donc pour un gain G

$$U_s = G (U_e - kU_s) = \frac{GU_e}{1 + kG}$$

et le gain avec contre-réaction sera

$$g = \frac{G}{1 + kG} = \frac{U_s}{U_e}$$

Le gain g est sélectif en fonction de la fréquence s'il présente un maximum pour une fréquence f_0 donc si $1 + kG$ est un minimum pour cette fréquence.

Il suffit d'annuler k pour une certaine fréquence, donc de choisir comme élément de contre-réaction un pont équilibré à la fréquence f_0 .

La tension de sortie U_s d'un pont de fréquence possède l'allure de la courbe de la figure 2 en fonction de la fréquence pour une tension d'entrée constante U_e . Si l'on insère un tel pont entre la sortie et l'entrée, il y aura contre-réaction donc, baisse du gain pour toutes les fréquences, sauf pour f_0 , fréquence d'équilibre du pont.

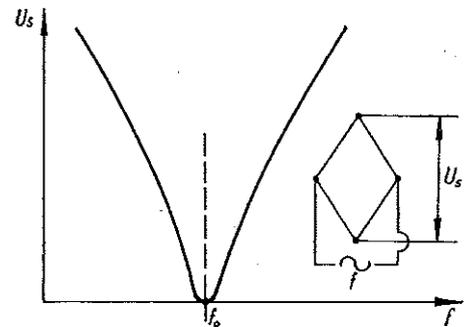


FIG. 2. — Allure de la tension de sortie U_s d'un pont de mesure de fréquences f_0 - fréquence d'équilibre.

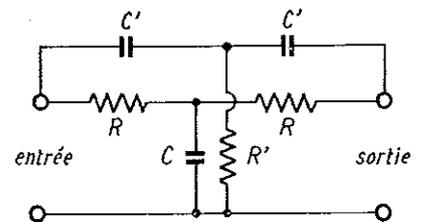


FIG. 3. — Schéma de principe d'un pont de fréquences en double T.

Dans l'AST 306, le pont est du type en double T (figure 3 avec $R = R'$ et $C = 4C'$) dont la tension de sortie s'annule pour :

$$2 R^2 C^2 \omega^2 = 1$$

d'où la fréquence d'accord

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi RC} = \frac{\sqrt{2}}{\pi RC}$$

4) Les différentes gammes s'obtiennent par commutation des capacités, alors que la modification de la fréquence d'accord s'effectue dans une même gamme par la variation des résistances R et R', matérialisées par des résistances à couche métallique de faible tolérance. On utilise le code 1-2-4-8 pour faire varier R et R' dans un rapport de 1 à 10.

5) Performances. Le pont en double T permet d'obtenir une sélectivité semblable à celle fournie par un circuit résonnant de coefficient de surtension

$$Q = \frac{L\omega}{R} \text{ de l'ordre de } 80 \text{ à } 100.$$

La figure 4 donne la réponse d'un circuit résonnant pour diverses valeurs de

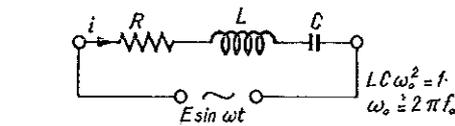
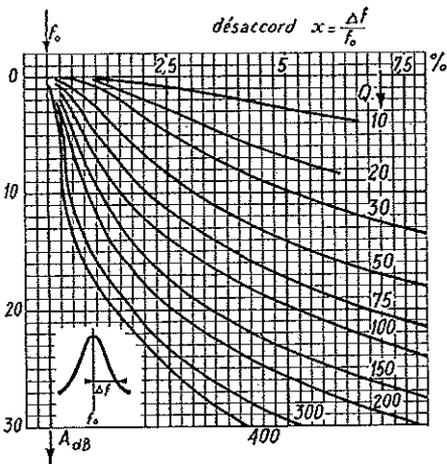


FIG. 4. — Courbes de sélectivité d'un circuit résonnant pour diverses surtensions Q.

surtension. L'écart relatif de fréquence

$$x = \frac{\Delta f}{f_0}$$

par rapport à la fréquence de résonance a été porté en abscisse

$$(f_2 - f_1) = 2 \Delta f$$

L'ordonnée représente la diminution relative du courant exprimée en décibels à partir du maximum correspondant à la résonance.

Pour des surtensions Q supérieures à 10 et des désaccord f/f_0 de quelque %, on a sensiblement

$$\frac{\text{courant pour } f_0}{\text{courant pour } (f_0 \pm \Delta f)} = \sqrt{1 + (2Q \Delta f)^2}$$

exemple :

$$\text{pour } \frac{\Delta f}{f_0} = 0,5 \% \text{ et } Q = 100, \text{ on}$$

trouve $y = \sqrt{2}$, soit un affaiblissement de 3 dB.

Lorsque le désaccord est important, il n'est plus possible d'assimiler le filtre en double T à un circuit résonnant de surtension constante. La sélectivité de ce pont est définie à la fois par ses éléments et la charge sur laquelle il est fermé. La figure 5 montre quelques courbes tracées pour différentes fréquences d'accord de l'amplificateur.

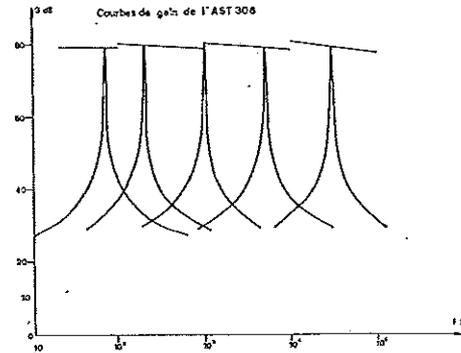


FIG. 5. — Courbes de gain de l'AST 306

La sélectivité du pont en double T est excellente jusqu'au 3^e harmonique, mais aux fréquences plus élevées pour lesquelles les capacités jouent un rôle de courts-circuits, seules les résistances sont à considérer et l'affaiblissement tend vers une valeur limite de 56 dB pour l'AST 306.

6) Avantages de l'appareil.

— La fréquence d'accord est réglable dans chaque gamme par 3 commutateurs et 1 potentiomètre assurant le recouplement.

— La consommation de puissance est insignifiante, l'entrée de l'appareil présentant une impédance de 1 MΩ.

— L'amplitude de la tension de sortie se règle d'une manière souple sans réaction sur la consommation.

— Le facteur de surtension est identique dans tout le domaine des fréquences.

— L'introduction de l'appareil dans un circuit ne perturbe pas celui-ci, l'appareil fonctionnant à sélectivité constante, alors que la moindre charge aux bornes d'un filtre nuit à la sélectivité.

7) Sélectivité.

Une forte sélectivité est intéressante pour l'élimination des tensions indésirables, mais tout glissement

de fréquence de la source entraîne une chute de gain importante.

Pour $Q = 200$, un désaccord de 3 % entraîne une perte de niveau de l'ordre de 4 dB, soit 36 % environ par rapport à la valeur correspondant à l'accord. Une résonance trop floue entraînant une sélection insuffisante, il faut choisir une solution de compromis. La sélectivité de 75 a été choisie sur l'AST 306, valeur qui permet d'éviter également les dangers d'accrochage, une très forte sélectivité équivalant à une bande passante étroite donc à un faible amortissement favorisant les oscillations auto-entretenues.

CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL STANDARD

Utilisation en amplificateur sélectif.

Etendue de mesure.

10 Hz - 110.000 Hz en 4 gammes :

- 10 - 110 Hz
- 100 - 1.100 Hz
- 1.000 - 11.000 Hz
- 10.000 - 110.000 Hz

La fréquence d'accord est définie par trois commutateurs et un potentiomètre permettant une définition minimale de 5.10⁻⁴.

Sélectivité. Fixe et égale à 75 ± 5, ce qui correspond à un affaiblissement de 40 dB sur l'harmonique 2.

Gain.

60 dB ± 2 dB à la fréquence d'accord de 10 à 10.000 Hz.

60 dB ± 4 dB à la fréquence d'accord de 10.000 à 110.000 Hz.

Note : Ce gain peut être porté respectivement à 80 ± 2 dB et 80 ± 6 dB par le jeu d'un commutateur situé sur la face avant de l'appareil.

Impédance d'entrée.

1 MΩ - 10 pF sans cordons d'entrée.

1 MΩ - 120 pF avec le cordon d'entrée livré avec l'appareil.

Puissance de sortie. Tension maximum de sortie sur résistance supérieure ou égale à 100 Ω ; 4 V efficaces (taux de distorsion < 0,3 %) jusqu'à 30 kHz.

Puissance de sortie maximum 0,25 W.

Après 30 Hz et jusqu'à 110 Hz la tension maximum de sortie décroît linéairement jusqu'à 1 V efficace.

L'impédance interne de l'ampli est inférieure à 100 Ω.

Taux de distorsion sur charge de 1.000 Ω (pour une tension de sortie égale au 3/4 de la tension maximale de sortie donnant un taux de distorsion de 0,3 %) inférieur ou égale à 0,2 % quelle que soit la fréquence.

Bruit de fond. Ramené à l'entrée = < 1 μV pour G = 80 dB et entrée fermée sur R ≤ 10 kΩ.

• Bruit de fond à 50 Hz :

— appareil branché sur secteur ≤ 2 μV quelle que soit la résistance d'entrée

— appareil fonctionnant sur batterie
 $\leq 1 \mu\text{V}$ bruit de fond
 $< 1 \mu\text{V}$ pour $G = 60 \text{ dB}$ et entrée fermée sur $R \leq 10 \text{ k}\Omega$.

Tension et entrée admissible. La tension d'entrée admissible pour ne pas saturer l'appareil doit rester inférieure ou égale à 1 V efficace. Toutefois, l'appareil peut supporter sans dommage une tension alternative de 120 V efficaces.

Taux de rejetion de mode commun à 50 Hz $> 120 \text{ dB}$ - pour un déséquilibre de ligne de 1.000Ω l'appareil étant accordé sur 50 Hz et la tension de mode commun branchée entre le pont froid de l'entrée et le châssis.

Influence des variations du secteur. Aucune influence de variation de $\pm 20 \%$ du secteur sur le gain ou la fréquence d'accord, consommation sur le secteur de 6 watts.

Précision sur l'affichage de la fréquence.
 $\leq 0,5 \%$ de 10 à 40 kHz,
 $\leq 1,2 \%$ de 40 à 110 kHz.

Indicateur de tension de sortie. 4 gammes 0,15 - 0,5 - 1,5 - 5 volts efficaces. précision :

2 % de la pleine échelle pour les fréquences variant de 10 à 30.000 Hz,
 3 % de la pleine échelle pour les fréquences variant de 30 kHz à 110 kHz.

Fonctionnement sur batterie.
 Autonomie après 15 heures de charge des batteries sur résistance de sortie $\geq 1.000 \Omega$: 12 heures.

Autonomie après 15 heures de charge des batteries sur résistance de sortie de 10Ω : 4 heures.

UTILISATION EN AMPLIFICATEUR LARGE BANDE

Gain.
 Ajusté à $40 \pm 2 \text{ dB}$ pouvant être porté à $60 \pm 2 \text{ dB}$ de 10 Hz à 110 kHz.
 Stabilité de gain dans la bande de fréquence 20 Hz - 80 kHz $\pm 0,5 \text{ dB}$.

Taux de distorsion.
 $\leq 0,5 \%$ pour résistance de charge supérieure ou égale à 100Ω .
 $\leq 1 \%$ pour résistance de charge inférieure à 100Ω .

(Le taux de distorsion est mesuré pour une tension d'amplitude 3 V efficaces).

Bruit de fond. Ramené à l'entrée pour $G = 60 \text{ dB}$ et $G = 40 \text{ dB}$ $< 15 \mu\text{V}$ efficaces.

Impédance d'entrée. Les autres caractéristiques sont les mêmes que pour l'amplificateur sélectif.

- Puissance de sortie,
- Tension d'entrée maximum,
- Taux de rejetion en mode commun,
- Influence de la tension du secteur,
- Fonctionnement sur batterie interne.

EXEMPLES D'APPLICATIONS PARTICULIEREMENT INTERESSANTS

Analyseur d'harmonique - distorsiomètre.
 Le but est de mesurer les composantes d'une tension alternative complexe. La courbe de la figure n° 6 montre la sélectivité moyenne de l'appareil. Comme elle a été tracée à 1 kHz, il est facile d'appliquer une règle de proportionnalité pour obtenir le taux de sélection d'une tension vis-à-vis d'une autre.

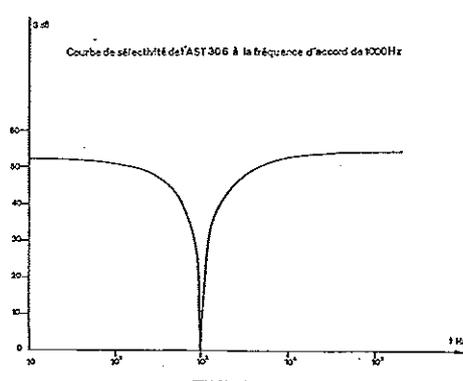


FIG. 6.

La fréquence d'accord est représentée par le nombre 1. On lit par exemple un affaiblissement de :

- 42 dB sur l'harmonique 2
- 47 dB sur l'harmonique 3
- 51 dB sur l'harmonique 8

On peut également lire la sélection vis-à-vis de fréquences plus basses. Pour une fréquence représentée par le nombre 0,3, on lit un affaiblissement de 47 dB. En d'autres termes, si l'appareil est accordé sur 1.500 Hz, la fréquence $0,3 \times 1.500 = 450 \text{ Hz}$ sera affaiblie de 47 dB.

— Cherchons l'affaiblissement de l'harmonique 5 lorsque l'appareil est accordé sur l'harmonique 4 d'une certaine tension complexe. L'harmonique 4 est représenté par l'unité, l'harmonique 5 sera représenté par le nombre $5/4 = 1,25$ et l'affaiblissement lu sur la courbe est de 30 dB.

— Soit à chercher l'affaiblissement sur l'harmonique 4 lorsque l'appareil est accordé sur l'harmonique 5. L'unité correspond alors à l'harmonique 5 et l'harmonique 4 sera représenté par le nombre $4/5 = 0,8$. L'affaiblissement lu est de 33 dB, ce qui correspond à un rapport de réduction de l'ordre de 45.

En conclusion, lorsque les tensions à mesurer sont de même ordre, un écart de 20 % est suffisant pour une bonne mesure.

L'erreur de mesure peut être appréciable lors de la mesure d'une composante de faible amplitude en présence d'autres composantes de forte amplitude

et lorsque l'écart de fréquence est insuffisant pour profiter de la sélectivité de l'appareil.

Soit une tension de fréquence 500 Hz aux composantes suivantes :

— fondamental	10 V	500 Hz
— harmonique	2 0,15 V	1.000 Hz
»	3 0,3 V	1.500 Hz
»	4 0,1 V	2.000 Hz
»	5 0,05 V	2.500 Hz

Désignons par A_{pq} l'affaiblissement de l'harmonique q lorsque l'amplificateur est accordé sur l'harmonique p .

L'affaiblissement lu sur la courbe pour le fondamental lorsque l'appareil est accordé sur l'harmonique 2 (ce dernier représente la fréquence unité sur le graphique) est :

$$A_{21} = 42 \text{ dB} = 20 \text{ Log } r_{21}$$

r_{21} étant le rapport de réduction, d'où $r_{21} = 126$.

Il reste donc, en présence de l'harmonique 2, le fondamental dont l'amplitude a été divisé par 126, soit une tension parasite

$$10 \text{ V} / 126 = 0,08 \text{ V.}$$

On montre que pour les voltmètres à redresseur, l'application de 2 tensions égales de fréquences différant d'au moins 10 % conduit à une déviation supérieure de 26 % seulement à celle due à une seule tension.

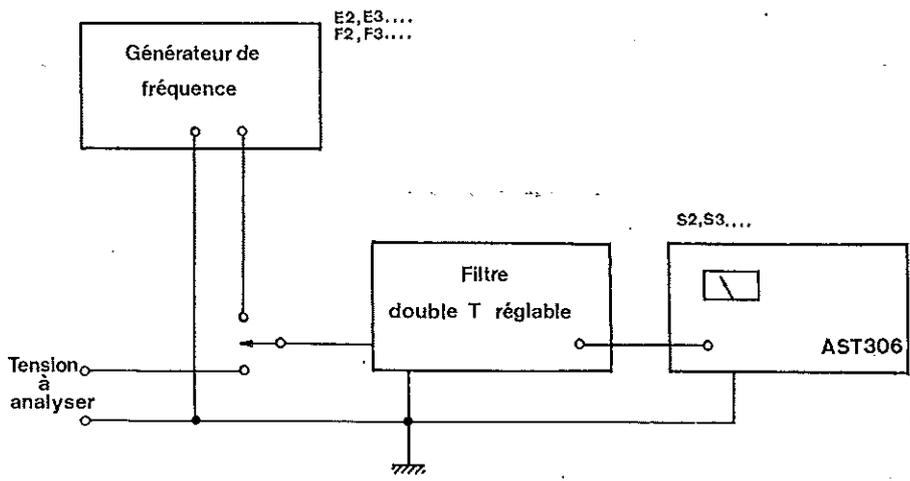
Lorsque la 2^e tension n'est que la moitié de la première, l'écart n'est plus que de 5 %, alors que la deuxième tension n'étant égale qu'à 20 % de la première, l'erreur engendrée est de 2 % seulement.

En conclusion, l'analyse harmonique effectuée sera bonne à condition que les tensions de très forte amplitude par rapport à celles à mesurer soient réduites au cinquième environ de ces dernières.

Dans l'exemple numérique précédent, ce rapport est de $0,08/0,16 = 0,5$ et l'erreur peut atteindre facilement 10 %.

Pour les autres harmoniques, il n'y a pas de problèmes de sélection à proprement parler. Pour l'évaluation exacte de ces divers taux, on recourra, s'il y a lieu, à la courbe des gains en sélectif, celui-ci variant en effet légèrement avec la fréquence d'accord.

FIG 7. — Mesure des harmoniques par méthode de substitution avec l'AST 306



Lorsqu'on veut mettre en évidence une composante de faible taux, en présence d'un fondamental très important, le mieux est d'affaiblir le fondamental au moyen d'un filtre passe-haut de courbe de transmission connue en fonction de la fréquence afin de pouvoir connaître l'affaiblissement des autres composantes si faible soit-il dans la bande passante.

On peut également supprimer le fondamental au moyen d'un pont de fréquences, tel que le pont en double T utilisé dans l'amplificateur sélectif A.O.I.P. Comme l'impédance d'entrée de celui-ci est de $1\text{ M}\Omega$, le filtre sera fermé sur $1\text{ M}\Omega$ pour le relevé de sa courbe de transmission propre.

Au lieu de tracer la courbe de réponse du filtre, on peut procéder par substitution (fig. 7). On commence par régler l'accord de l'amplificateur. On ajuste ensuite les résistances du filtre en double T de façon à réduire la tension de sortie au minimum. Le fondamental de fréquence f est alors pratiquement éliminé.

On accorde l'amplificateur sur la fréquence $2f$ (harmonique 2) et on lit la tension de sortie S_2 . On substitue à la tension à analyser sans changer le gain, un générateur G réglé sur $2f$. On ajuste cette fréquence jusqu'à ce que la tension de sortie soit maximale et l'on règle ensuite le niveau de sortie de G de manière que l'indicateur indique une tension S_2 comme précédemment. La tension E_2 du générateur est alors celle de l'harmonique 2.

On procède de la même manière pour les autres composantes.

Le taux de chaque harmonique s'obtient en faisant le quotient $\frac{E_n}{E_1}$ si

l'on suppose que le taux de distorsion est suffisamment faible pour que la tension fondamentale soit représentée par E_1 . Valeur lue pour la fréquence fondamentale f avant introduction du filtre supprimant f .

Le taux de distorsion s'écrit

$$D = \frac{\sqrt{\frac{E_2^2}{2} + \frac{E_3^2}{3} + \dots + \frac{E_n^2}{n}}}{E_1}$$

L'analyse des fréquences de fréquences égales à un multiple entier de 50 Hz doit tenir compte du bruit de l'appareil dû au réseau d'alimentation si l'on ne travaille pas avec les batteries internes.

Au-delà de 250 Hz, le bruit des harmoniques de 50 Hz est pratiquement noyé dans le bruit global. Etant donné que la tension utile s'ajoute de façon quadratique à celle de bruit, cette dernière est pratiquement étouffée par une tension utile 4 fois plus forte.

Voltmètre électronique sélectif.

L'emploi de l'amplificateur en voltmètre sélectif se justifie chaque fois que la tension à analyser a des composantes indésirables.

Un voltmètre non sélectif recueille sans distinction toutes les tensions parasites et de plus la tension de bruit est bien plus élevée, cette dernière étant une fonction croissante de la largeur de bande.

Pour chaque fréquence, on effectuera des corrections sur la base de la courbe de gain de l'amplificateur. En moyenne, une tension de 1 mV à l'entrée donnant entre 800 et 1.200 mV en sortie.

Préamplificateur d'oscilloscope.

L'appareil est tout indiqué pour l'observation de phénomènes à une fréquence donnée. Son rôle est alors double : élimination des tensions indésirables et amplification des tensions utiles. Ses qualités sont particulièrement précieuses dans les endroits (laboratoires par exemple) où les sources parasites sont nombreuses.

Fréquence-mètre.

La tension à étudier est branchée à l'entrée, on cherche l'accord par la déviation maximum de l'indicateur. La tension à mesurer ne doit pas excéder 1 volt efficace sinon il faut utiliser un diviseur à l'entrée de manière à travailler au $\frac{3}{4}$ du gain maximum.

Appareil de mesure de vibration - tachymètre.

Pour l'analyse d'une vibration, on recourt à un capteur transformant la grandeur mécanique à observer en tension électrique. Le rendement obtenu avec un capteur piézo-électrique est en général moins bon qu'avec un capteur dynamique, électromagnétique, à jauges, etc., en raison de la faible résistance d'entrée pour cet usage.

Une vitesse de rotation peut être mesurée moyennant un capteur transformant en impulsions électriques le passage d'une pièce du système tournant.

Il est possible de mesurer le nombre de lames du collecteur d'une machine à courant continu telle qu'une génératrice tachymétrique. La tension continue fournie par celle-ci est éliminée par un condensateur. La tension résiduelle alternative est périodique. Cette tension est due aux imperfections de la commutation.

On accorde l'appareil sur la fréquence F de cette tension. Le quotient F/n donne le nombre de lames, n étant le nombre de tours par seconde.

Il est possible en résumé de mesurer la fréquence d'un phénomène physique périodique dans la gamme d'utilisation de l'appareil, à condition de disposer d'un capteur adéquat.

Amplificateur de microphone et de capteur.

Dans les mesures acoustiques, l'amplificateur rend de grands services pour l'amplification et le filtrage des tensions microphoniques.

Note sur l'emploi en régime transitoire.

En régime transitoire, l'appareil se comporte en gros comme un circuit résonnant simple. Le coefficient de sur-

$$\text{tension } Q = \frac{L\omega}{R} = 75 \text{ d'où une cons-}$$

$$\text{tante de temps } T = \frac{L}{R} = \frac{75}{\omega} \text{ . En}$$

admettant que le régime permanent soit établi au bout d'un temps θ de l'ordre de $3T$, on a pratiquement :

$$\theta = \frac{225}{\omega} = \frac{36}{f}$$

En conclusion, aux fréquences basses, la tension de sortie ne s'établit qu'au

bout d'un intervalle de temps de l'ordre de plusieurs secondes. Aussi est-il déconseillé de procéder à des enregistrements de phénomènes variables non périodiques en sélectif.

En régime périodique, l'emploi est possible pour une composante de fréquence fixe à amplitude variable.

En dehors de l'appareil décrit dans cet article, signalons deux autres variantes fabriquées par l'A.O.I.P.

A) - APPAREIL A SELECTIVITE VARIABLE

Entre le régime de fonctionnement en non sélectif et le régime sélectif déjà défini, il est possible de prévoir d'autres courbes de sélectivité intermédiaire en ne renvoyant sur l'entrée de contre-réaction de l'amplificateur qu'une partie de la tension de sortie du filtre en double T.

On peut ainsi réaliser des sélectivités s'échelonnant entre 100 et 10 (Fig. 8).

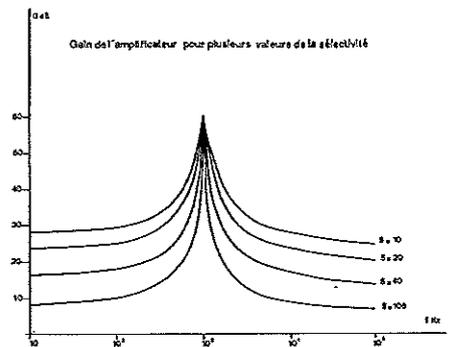


FIG. 8. — Gain de l'amplificateur pour plusieurs valeurs de sélectivité.

B) - APPAREIL A GAMME DE FREQUENCES 1 Hz - 10.000 Hz.

Il est possible de réaliser à la demande du client un appareil allant de 1 Hz à 10.000 Hz en 4 gammes.

Le gain dans la gamme 1 Hz - 10 Hz sera de 60 ± 3 dB ou 80 ± 3 dB, la sélectivité restant égale à 75.

M. GUILBARD, Ingénieur E.S.E.
A.O.I.P. Division Mesures.