

SOURCE ULTRASONORE



les ultrasons par piézoxydes

CE sujet est immense. Il fera l'objet de plusieurs « articles d'applications » dans notre revue. Présentement nous nous proposons de définir un outil de base, générateur électronique universel d'oscillations ultrasonores, capable de commander divers transducteurs.

Quand votre stylo à encre de Chine s'encrasse, ou vos bijoux vieillissent, ou encore quand vous voulez éloigner ou décimer mouches ou moustiques, sans parler d'un bon signal d'alarme, le plus strident qui soit, quand vous voulez moduler une lumière ou traiter une fièvre musculaire, pensez aux ultrasons.

On fait tout (ou presque), avec ces vibrations.

Le nettoyage par ultrasons a pris depuis quelque temps une extension remarquable. Il suffit d'immerger les objets à nettoyer (pas forcément métalliques comme on le croit généralement), comme les bijoux, pièces de montres, monnaies anciennes, contacts électriques, instruments de chirurgie, etc., dans les bains convenables, excités par des vibrations dont la fréquence varie entre 10 et 50 kHz. Les plus utilisés sont les bains de solvants volatiles. Les puissances en jeu vont de 50 W à 50 kW. Dans les cuves de puissance, utilisées dans les grosses installations industrielles, les parois sont garnies de transducteurs piézoélectriques ou magnétostrictifs.

Nombre de pièces dans

l'industrie des semi-conducteurs-cristaux délicats ou autres, métaux amorphes, sont percés ou taillés par abrasion aux ultrasons.

Il y a des « fers à souder » ultrasonores. Les éléments chauffants ordinaires étament par exemple, l'aluminium ou autres métaux récalcitrants, au fer à souder ordinaire, en présence d'ultrasons. Les couches d'oxyde, dont nous parlions dans un article précédent sur le wrapping, sont éliminées cette fois-ci par une corrosion due au phénomène de cavitation en surface, le même qui permet le nettoyage dans les cuves dont nous venons de parler.

Les ultrasons peuvent devenir dangereux : on peut, par exemple, à l'aide d'ultra-

sons intenses, détruire des bactéries en suspension dans un liquide. Les cellules animales et particulièrement les globules sanguins, éclatent littéralement à partir de certaines puissances. A l'aide d'ultrasons on peut détruire des petits animaux : grenouilles, poissons, souris, ou les faire fuir, sans parler d'un effet foudroyant sur les moustiques et autres insectes.

Il y a toute une série d'applications savantes : des inventeurs comme Hohecorne modulent à l'aide de cavités résonnantes un faisceau laser et permettent l'écriture par le dit faisceau sur les nuages ou autres « écrans ». Les médecins français ont obtenu un brillant succès mondial avec les installations d'ultrasono-

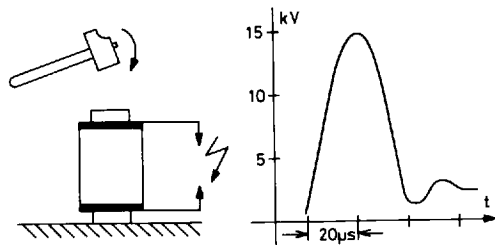


Fig. 1

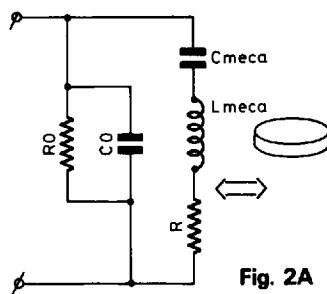


Fig. 2A

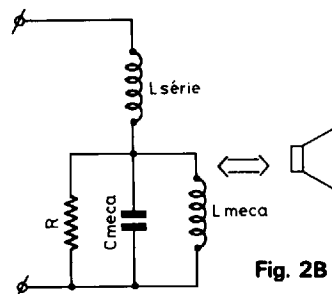


Fig. 2B

graphie, permettant avec moins de risques que les rayons X, l'investigation de toutes les parties du corps humain.

Holographie ultrasonore, étude non destructive des matériaux, lignes à retard, sonars, téléphonie militaire sous-marine, ne sont qu'une partie d'une liste qui ne fait que noircir les journées et blanchir les têtes des documentalistes.

Mais pour les amateurs de montages électroniques, il y a des applications moins sophistiquées.

Le haut-parleur à piezoxyde, sans bobinage, existe. Nous en avons fait une sirène qui vous sera présentée plus bas. Un tel haut-parleur, oscillant en résonance, produit au moins un excellent signal de détresse. Une batterie de céramiques judicieusement couplées, pour une réponse la plus plate possible, en fréquence, pourrait remplacer bien des haut-parleurs acoustiques.

Par rapport au travail que représentent les fers magnétostrictifs, fabriquer une céramique revient des centaines de fois moins cher. Les prix « grand public » pour des corps piezoélectriques à caractéristiques rigoureusement contrôlées et de toutes les dimensions se trouvent, entre autres, chez RTC. Radiotechnique, par exemple.

LE PIEZOXYDE ÉLÉMENT DE CIRCUIT

Concrètement, la réponse en tension, à un choc mécanique, est celle de la figure 1. Un

simple coup de marteau produit des dizaines de kilovolts, mais ne tombe pas dans un piège « archi-encombré » : beaucoup de naïfs ont imaginé pouvoir disposer d'électricité en maintenant sous pression un tel piezoxyde. Tout ce que produit le choc du marteau, ou une pression quelconque, ce sont des charges électriques s'accumulant sur des surfaces. Une simple pression, statique, sans déplacement, ne représente aucun travail mécanique. Il n'y aura donc pas d'énergie fournie. Il ne faut pas s'attendre à en trouver à la sortie. Par contre, à courant nul nous sommes en présence de tension et même de très haute tension, obtenue facilement. Les allume-gaz piezoélectriques fournissent, par l'étincelle, de l'énergie. Il y a un déplacement par choc mécanique et énergie fournie au primaire.

Du point de vue électrique le schéma équivalent d'une céramique piezoélectrique est celui de la figure 2 a, où R_0 représente les pertes diélectriques du transducteur. Elle se mesure en régime dynamique et n'a rien à voir avec la résistance, presque infinie qu'on pourrait mesurer entre les électrodes à l'arrêt, étant beaucoup plus petite.

À côté, figure 2 b nous avons représenté le circuit électrique équivalent d'un haut-parleur à bobine mobile dans le champ magnétique statique d'un aimant permanent. Il a rendu et rend service en haute fidélité. Vit-il ses dernières années, malgré les brevets récents ou vieux visant à éliminer ses résonances ? Pour les piezoxydes ces résonances mécaniques sont, généralement, multiples et répètent en fréquence plusieurs fois la courbe de la figure 3, concernant une seule résonance mécanique. Un disque céramique, par exemple, possède deux résonances principales, suivant l'épaisseur (axiale) et suivant son diamètre (radiale), auxquelles s'ajoutent des résonances de couplage axial-radial ainsi que diverses résonances de torsion.

Tout montage mécanique, comme la fixation à une cuve, que montre la figure 4, entraîne des modifications des résonances.

Un détail technique important est la température Curie. On connaissait une température limite pour les matériaux magnétiques, qui faisait perdre toutes propriétés utiles aux fers des transformateurs, par exemple. Cette tempé-

ture critique, pour les matériaux préoxydes en zirconate-titanate de plomb, que la RTC fournit, se situe entre 285 et 300 °C. Une limite supérieure raisonnable est la moitié de cette température, pour un fonctionnement continu. Ceci nous mène vers les températures maximales des montages transistorisés. Du point de vue théorique, on peut donc considérer que dans ces montages, la céramique fait partie de la famille. Quoique plus robuste en tension, elle doit être traitée avec la même « fraîcheur ».

APPLICATION

La source ultrasonore que nous avons construite est prévue pour fonctionner avec tout piezoxyde. Elle fournit 60 Vcc de 3 à 60 kHz en onde pure, carrée, ou modulée en fréquence, en signaux carrés toujours. Son nom, nous l'avons trouvé après l'avoir essayée pendant trente secondes en sirène d'alarme à céramique piezoélectrique. C'est la partie de base de toute utilisation de puissance ; qu'il s'agisse de transmissions à grande distance à modulation de phase ou par tout ou rien, de faire fonctionner une cuve de nettoyage par ultrasons ou de faire résonner une alarme.

SCHEMA GENERAL

Sur la figure 5 on distingue quatre parties : l'étage de puissance classe B, l'oscillateur

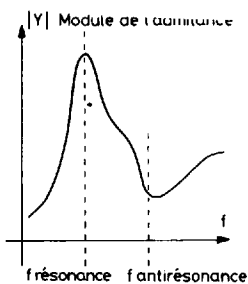


Fig. 3

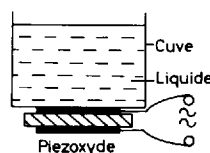


Fig. 4

modulé ou pas, utilisant, des inverseurs CMOS, l'alimentation de puissance et pour finir, l'alimentation de l'oscillateur.

L'étage de puissance classe B (formé par T_3 , T_4 et les doubles transistors T_1 et T_2) peut commuter sur une charge Z , si elle était résistive et non pas piezoélectrique, plus de 5 A. La connexion en parallèle des transistors constituant T_1 et T_2 peut sembler barbare, mais le fonctionnement par tout ou rien permet ce genre de montage. Il suffit d'un bon courant de base fourni par T_3 ou T_4 , pour être sûr que les deux transistors arrivent en saturation.

Dans les alimentations stabilisées ou même dans les amplificateurs de musique on trouve normalement des résistances d'émetteur lors de la mise en commun. Cela pour égaliser les courants dans les deux ou trois transistors qui composent le transistor final.

L'égalité des courants d'émetteur s'obtient par une contre-réaction en courant desdits transistors, à l'aide de résistances d'émetteur et a pour effet, compte-tenu de la

tension collecteur-émetteur (commune à tous les transistors), l'égalité des puissances dissipées.

Dans le cas présent T_1 et T_2 fonctionnent soit bloqués soit saturés et il n'est même pas question de faire circuler quelque courant de « polarisation » pendant les demi-périodes d'arrêt.

La dissipation thermique se trouve ramenée à la valeur correspondant au fonctionnement saturé, les transistors ne dissipant pas plus que de simples diodes.

Les 60 W annoncés correspondent de ce fait à la puissance maxi de notre transfo d'alimentation et nullement à la puissance de l'étage final. Avec un meilleur transformateur d'alimentation on doit pouvoir supporter au moins :

$$P_{MAX} \text{ transistors} \\ = 60 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 240 \text{ W}$$

le quadruple de la puissance annoncée.

Les transistors T_3 , T_1 forment un Darlington et, en somme, un NPN.

T_4 , T_2 forment un PNP de puissance, classique, lui aussi.

L'étage final est donc du type complémentaire.

L'oscillateur qui mène cet étage final au résultat recherché utilise encore une fois le CD 4069 AE ou MM 74C04, hexuple-inverseur en CMOS voué à une brillante carrière internationale.

En réalité, il y a deux oscillateurs, le N° 1 et le N° 2. C_6 , P_2 font fonctionner l'oscillateur maître. R_3 , C_5 et P_1 font partie d'un oscillateur asservi au premier, qui subit, à travers T_5 , une modulation de fréquence. Sommairement, on pourrait donner le rôle d'oscillateur BF au premier et HF au second.

En réalité, si la fréquence de l'oscillateur N° 1 est supérieure à celle du N° 2, il n'y a plus de modulation de fréquence, l'oscillation est en onde carrée « pure », si l'on peut encore appeler pure une onde qui traîne une bonne quinzaine d'harmoniques impairs significatifs.

Nous avons prévu un réglage de fréquence pour chaque oscillateur, ce qui confère à l'ensemble une souplesse extraordinaire, le même géné-

rateur pouvant fournir le nécessaire pour le fonctionnement d'une sirène en pim-pom de police et l'attaque de cuves de nettoyage par ultrasons.

Pour calculer, ou prévoir, la fréquence de l'oscillateur maître nous nous sommes servis de la relation :

$$T = 2,25 RC$$

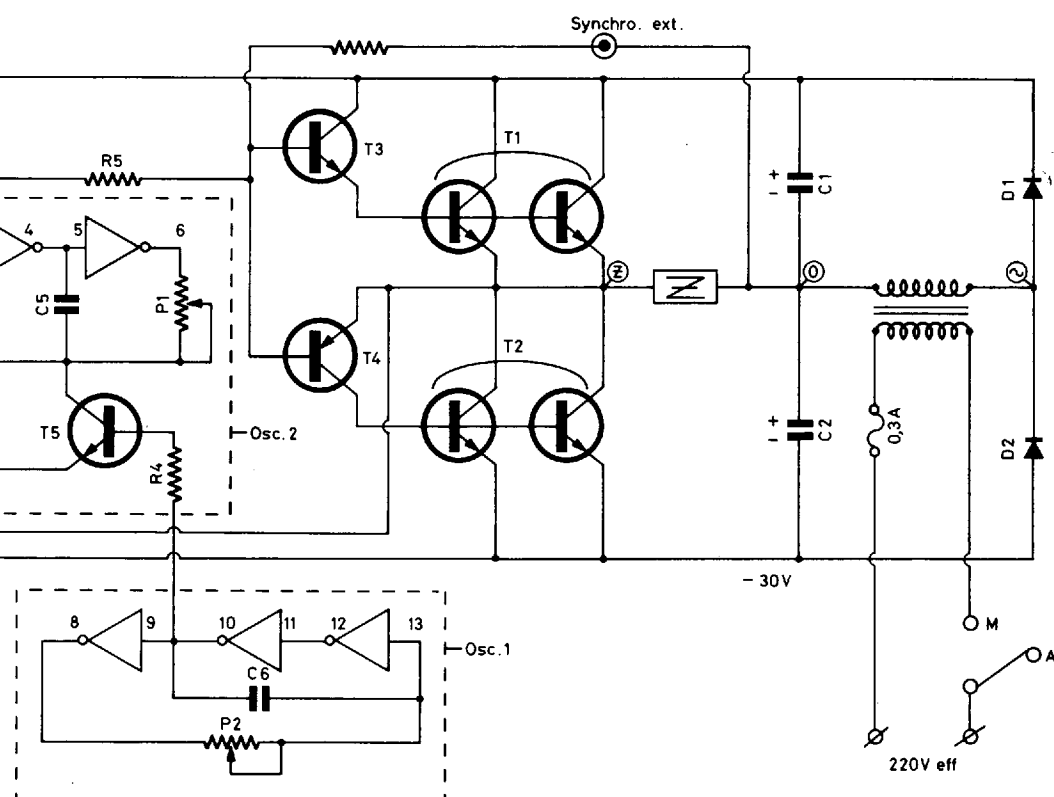
où T est la période de l'oscillation ainsi obtenue, R la résistance du rhéostat P_2 et C n'est autre que C_6 .

La résistance R_3 est loin d'être indispensable. Nous l'avons utilisée pour des raisons de circuit imprimé. Elle améliore considérablement la stabilité en fréquence, rendant vaines les variations de tension d'alimentation.

Mais l'oscillateur N° 2 qui contient cette résistance n'a pas besoin, à la limite, d'une telle stabilisation en fréquence, compte tenu de la modulation-fréquence qu'on lui impose.

L'alimentation de puissance : comme nous l'avons vu, pour l'étage final classe B, on aurait pu faire mieux. Mais elle trouve parfaitement sa

Fig. 5



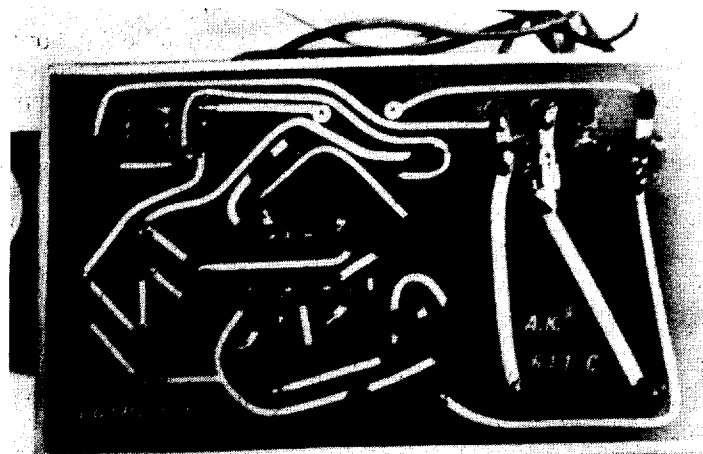


Photo 2. - Côté cuivre du circuit imprimé.

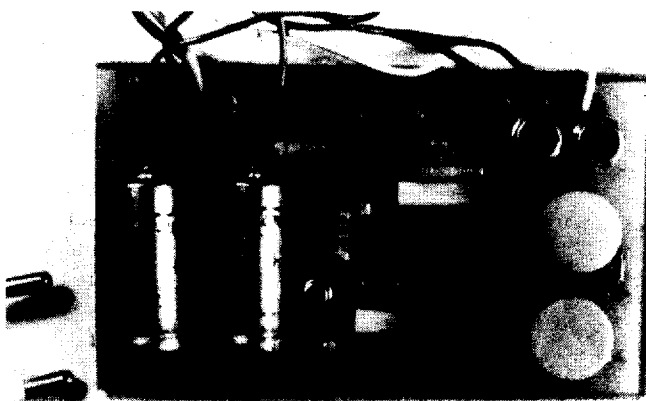


Photo 3. - Le côté pièces du circuit imprimé. Si les électrolytiques d'alimentation (à gauche) peuvent être aussi grands que l'on veut, les deux condensateurs de droite, doivent être les plus petits possibles pour une moindre capacité parasite par rapport à la masse.

place dans un engin universel comme le nôtre. Si vous décidez d'utiliser le système uniquement pour une cuve de nettoyage, forcez sans crainte l'alimentation jusqu'à la limite de claquage en tension des transistors T_1 ou T_2 .

Le transformateur est réalisé à partir de deux circuits en tôle de silicium orientée, il est capable de fonctionner sans saturation au-delà de 1,7 Tesla. Il s'agit de circuits U38, une seule paire en C. Le bobinage contient 1646 spires en émail de $\varnothing = 0,4$ mm au primaire et 135 spires à $\varnothing 2,5$ pour le secondaire. Il peut fournir au moins 75 VA dans

les conditions : 220 V_{eff} primaire/18 V_{eff} secondaire.

Le redressement est minable. D_1 , D_2 font fonction de redresseurs monoalternance, ce qui offre une copieuse ondulation résiduelle 50 Hz.

Sérieux s'abstenir. Utilisez éventuellement un transformateur de 48 V_{eff} secondaire, 200 W de puissance maxi transmise, et un simple pont de diodes. N'oubliez pas un point milieu à ce secondaire (24 V + 24 V) pour faire office de masse « O » V.

Les diodes doivent supporter aux moins 2 A/60 V, comme les nôtres.

L'alimentation de l'oscillateur : malgré sa renommée de faible consommateur d'énergie, l'hexuple inverseur en oscillation nécessite au moins le courant de la TTL, fonction de la fréquence d'oscillation. Cela pour la simple raison, que charger et décharger un condensateur demande d'autant plus d'énergie que la fréquence de fonctionnement est grande.

Tout se passe comme avec une 2 CV, voiture économique quand elle est bien réglée et lancée, mais aussi consommatrice qu'une autre, quand il faut démarrer en trombe (front montant) pour s'arrêter

tout aussi brutalement (front descendant), trois mètres plus loin, et cela à une fréquence allant de 3 à 50 kHz.

Nous avons besoin d'au moins 10 mA/5 V pour alimenter correctement les oscillateurs.

C'est ce que nous avons réalisé avec un montage flottant, qui demande ce courant à l'étage de sortie classe B, lui-même.

Le circuit R_1 , R_2 , DZ_1 , DZ_2 assure une tension relative-ment stable, de 6 à 10 V_{CC} au circuit intégré, quelque soit la position $9 + V_{CC}$ ou $-V_{CC}$, de la sortie Z. Ce point, chaud, monte et descend à ± 30 V à

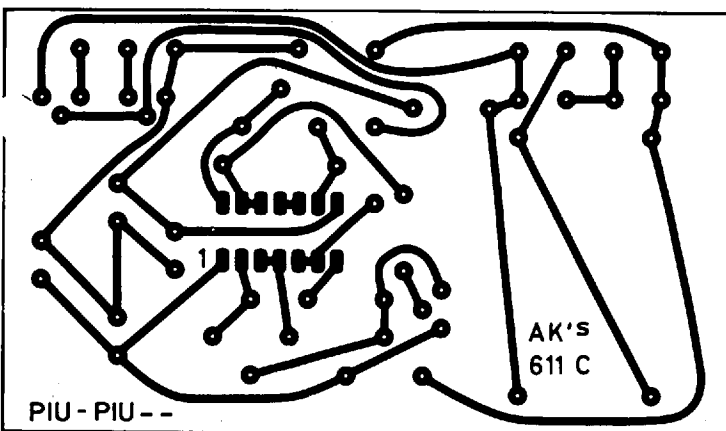


Fig. 6

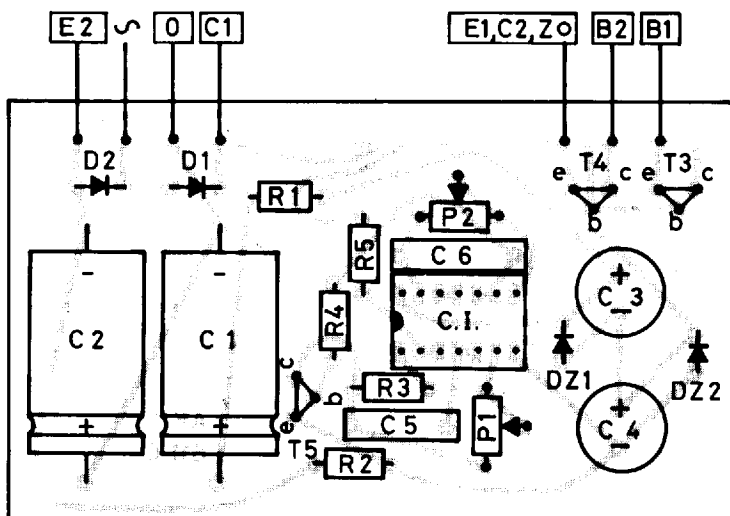


Fig. 7

LISTE DE COMPOSANTS

D_1 , D_2 : ESK 1/10 Semikron
 C_1 , C_2 : 470 μ F/40 V électri-ques

C_3 , C_4 : 100 μ F/10 V électroly-tiques

C_5 , C_6 : 10 nF/15 V, papier
 R_1 , R_2 : 2,2 k Ω ; 1/2 W ; 10 %
 R_3 : 15 k Ω ; 1/2 W ; 10 %
 R_4 : 470 k Ω ; 1/2 W ; 10 %
 R_5 - R_6 : 6,8 k Ω ; 1/2 W ; 10 %

P_1 : 100 k Ω , ajustable

P_2 : 1 M Ω ajustable

T_1 : 2 x 2 N3054, Bases, Emetteurs, Collecteurs en parallèle

T_2 : 2 x 2 N 3054, Bases,

Emetteurs, Collecteurs en parallèle

T_3 : 2 N 1711

T_4 : 2 N 2905

T_5 : 2 N 2222

DZ_1 , DZ_2 : 5 V1

CI : CD 4069 AE

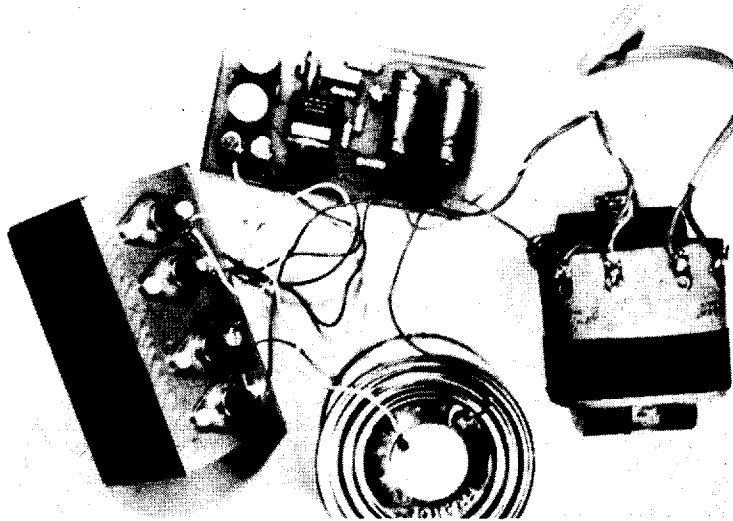


Photo 4. - Expérience sur table de la cuve de nettoyage et vue du radiateur artisanal, fabriqué à partir d'un reste de tringle sur lequel les transistors se montent isolés par des micas, même s'ils sont reliés, en suite, deux par deux.

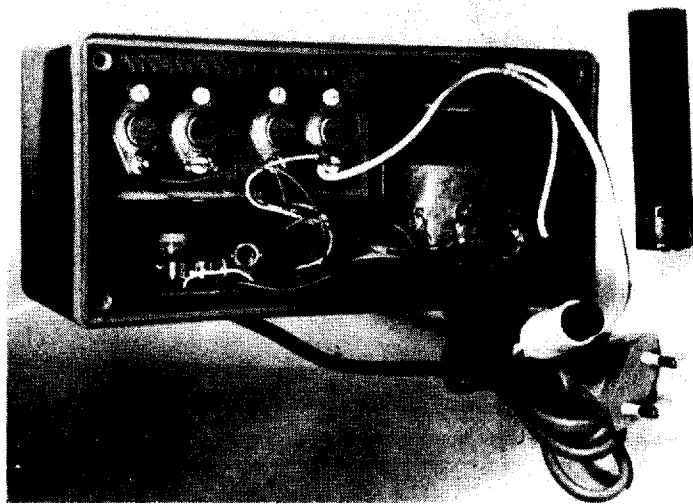


Photo 5a. - Vue interne de l'appareil radiateur collé à la résine époxy. Remarquez la sortie par prise de haut-parleur. Oscillogrammes pour un fonctionnement en onde « pure » (pas de modulation fréquence).

la fréquence d'oscillation. De ce fait, Dz_1 ou Dz_2 n'est pas en service, leur voisine assurant la stabilisation de tension nécessaire.

Si vous n'aimez pas, il vous faudra un transformateur de $3-4 V_{eff}/100 \text{ mA}$ secondaire. Redressement par pont et filtrage vous assureront 5 à $7 V_{CC}$, de quoi alimenter le CI entre les bornes 7 et 14.

Cet enroulement doit avoir, lui aussi, un point milieu, à relier à la borne de sortie Z, donc $2 + 2 V_{eff}$.

L'ensemble des alimentations ressemble beaucoup à un couteau à 15 lames et acces-

soires, mais pour compliqué qu'il soit, il réussit à faire marcher le tout sur un seul enroulement de $18 V_{eff}$, sans point milieu, alors qu'un transformateur dans la version classique aurait dû avoir deux enroulements à point milieu, $48 V_{eff} - 5 \text{ A}$ et $4 V_{eff} - 100 \text{ mA}$.

A partir du schéma de principe nous avons réalisé le circuit imprimé que montre la figure 6, la disposition des composants étant celle de la figure 7, adjacente. Pour les détails de câblage se reporter aux photos correspondantes.

C_3 et C_4 se montent debout,

il y a peu de place sur le circuit imprimé. Si vous choisissez un autre type de condensateur, il est essentiel qu'il fasse au moins $100 \mu\text{F}$ et qu'il occupe le minimum de place, pour une moindre capacité parasite par rapport à la masse.

MISE AU POINT

La masse générale, transducteurs et source ultrasonore, est le point 0.

Les transistors T_1 et T_2 sont montés sur un radiateur artisanal - morceau de tringle ou

déchet, par micas isolants. Les connexions, communes deux par deux, définissant l'émetteur, base, collecteur, sont à relier aux points correspondants, $E_{1,2}$; $B_{1,2}$; $C_{1,2}$ de la figure 7. Ce montage se trouve collé avec de la résine époxy à la paroi de la boîte BME.

La masse de ce montage, comme nous pouvons le remarquer sur la vue interne de l'appareil, se trouve être l'une des bornes secondaires du transformateur d'alimentation. La sortie se fait sur une fiche femelle de haut-parleur.

Avant la mise en marche il

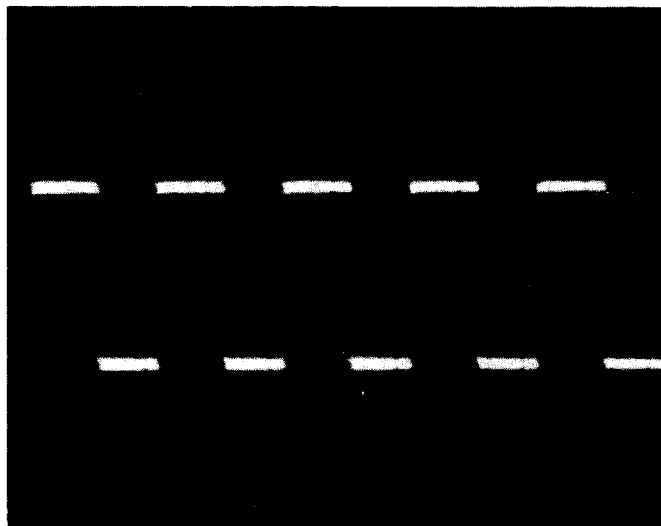


Photo 5b. - Verticale : 20 V/cm, horizontale : 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

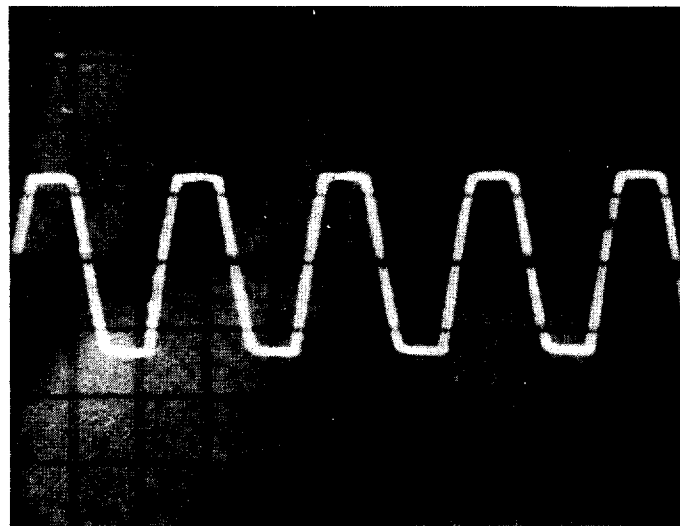
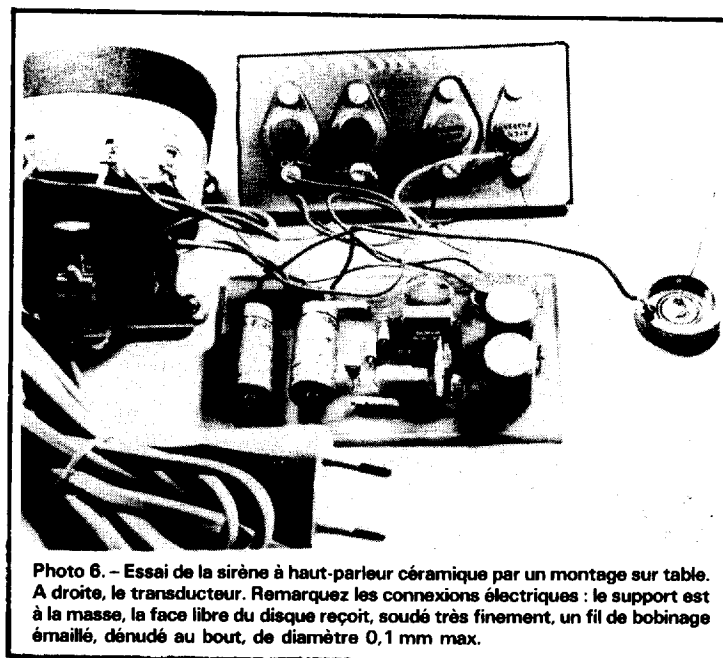


Photo 5c. - Verticale : 20 V/cm, horizontale : 5 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

faut placer les ajustables en milieu de course. On branche une résistance de $1\text{ k}\Omega$ /au moins 10 W , à la sortie, pour les essais en puissance. Attention à l'échauffement de cette résistance, car elle sera n'importe comment surchargée. Il faut vérifier, à l'aide d'un voltmètre alternatif ou d'un oscilloscope, que l'on atteint correctement les limites des tensions d'alimentation. Vérifier l'échauffement des transistors finaux, (on entend un petit sifflement dû aux micas ou même à un contact douteux de la charge), ils ne doivent pas chauffer. Augmentons la fréquence à l'aide de P_1 ou P_2 . Pas question de brancher un haut-parleur ! Il faut se contenter du chant des composants mal soudés.

Comme la fréquence augmente, les pertes de commutation dans l'étage final ne sont plus négligeables par rapport à la période, comme en témoignent les deux photos de formes d'onde à la sortie. A basse fréquence (8 à 10 kHz), les temps de montée et de descente, pendant lesquels les transistors commutateurs dissipent une puissance importante, sont négligeables par rapport à la période. En faisant



sa moyenne sur une période, la puissance résultante est minime, de l'ordre de grandeur de la puissance dissipée par les transistors en saturation, sur les paliers des carrés.

A dix fois cette fréquence (80 à 100 kHz), la situation n'est pas la même. Les descentes et montées occupent sensiblement le tiers de la période. La consommation en puissance devient le tiers de la puissance de sortie et l'échauffement s'explique.

Le manque relatif de vitesse de commutation est dû à l'étage final, car les fronts du circuit CMOS sont au maximum de 150 ns.

Compte-tenu que la cuve que nous avons utilisée fonctionnait en résonance vers 40-50 kHz, nous n'avons pas changé de transistors, ni constaté d'échauffement excessif. Il reste bon à savoir qu'il y aura échauffement en haut de la gamme de fréquences (au-delà de 60 kHz).

SIRÈNE D'ALARME A PIEZOXYDE

Sa constitution est décrite par la figure 8. Un support mou en antimoine contient une membrane d'aluminium qui permet l'oscillation d'une pastille de piezoxyste PXE5 $\varnothing 10 \times 0,2$ à travers un diaphragme. Le transducteur est fourni tel que par le fabricant, collé, positionné. Pour le faire fonctionner il suffit de lui appliquer la tension électrique alternative entre le support, la masse et la face opposée au diaphragme de la pastille céramique. Cette face est argentée. Avec le temps, elle peut avoir un peu noirci, par oxydation.

Le constructeur conseille un fil conducteur maintenu par un ressort, en contact avec la surface, comme dans les vieux détecteurs à galène. Or, nous avons eu à faire à un vieux exemplaire dont la surface s'était quelque peu oxydée ; par précaution et pour ne pas avoir à chercher à chaque fois le contact, nous l'avons soudé.

Procurez-vous d'abord un fil émaillé de bobinage de $\varnothing 0,05$ à $0,1$ et dénudez à l'acide les deux extrémités. Pour sou-



Photo 7. - De telles « cuves de nettoyage par ultrasons » conviennent.

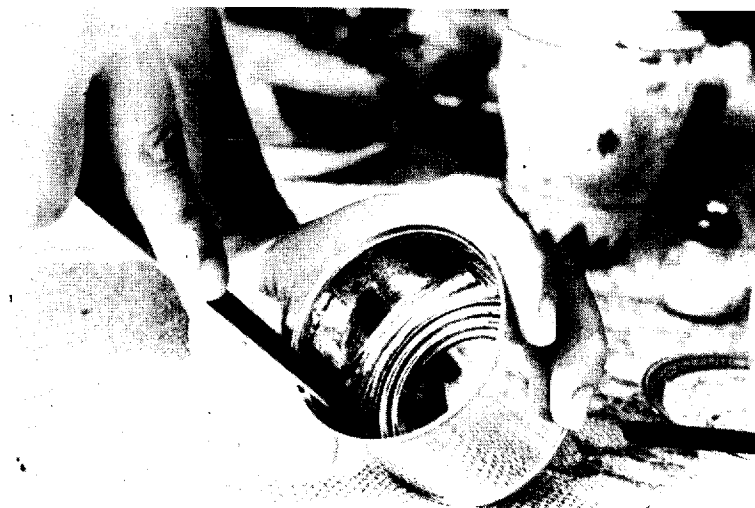


Photo 8. - Après avoir bien adouci les bords.



Photo 9. - On laboure le fond de la boîte, pour permettre le contact par des aspérités et le relief, lors du collage, à l'araldite non conductrice, ordinaire, du disque piezoxyde.

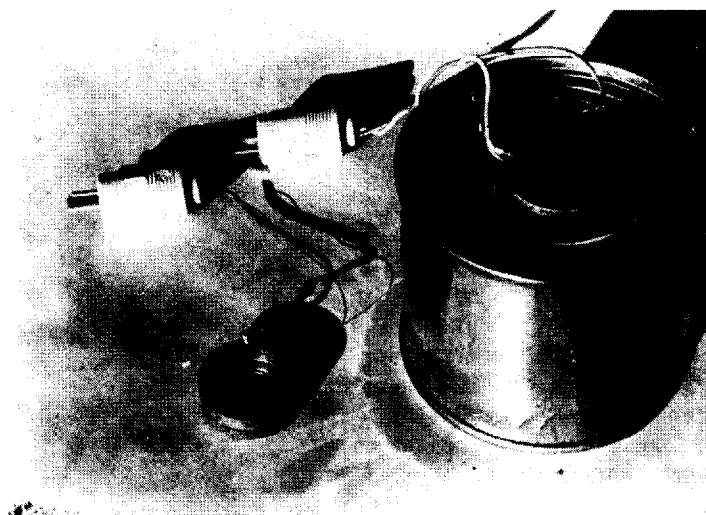


Photo 10. - Deux idées, deux transducteurs prêts à fonctionner. La cuve à nettoyage est présentée le fond en l'air. Remarquez le disque céramique collé avec contact électrique à la boîte-masse.

der, procédez vite et, surtout n'y laissez que le stricte nécessaire de soudure. Bien brosser le fer et choisissez la plus fine panne en votre possession. Ne laissez pas le temps de chauffer au disque PXE.

Ce fil n'a aucune qualité mécanique, par sa minceur il est destiné à faciliter les vibrations. Pour ne pas l'arracher lors des manipulations, le choisir beaucoup plus long que le fil du contact de masse, rigide et enrouler la différence au tour de ce dernier avant de souder le tout à une fiche mâle de haut-parleur. Inutile de rappeler qu'il faut respecter la condition de masse que vous aurez adoptée pour la fiche de la source ultrasonore.

Brancher ensuite le générateur. Par les potentiomètres P_1 et P_2 chercher la résonance sonore. Ce transducteur, quel que soit sa fixation mécanique ultérieure, présentera un mode résonnant vers 3 kHz. La combinaison assurant la modulation de fréquence qui rappelle le mieux le son charmeur des cars de police, est vite trouvée. Evitez les essais en présence d'oreilles de bébés. Il y a au moins 60 W en jeu, car la résistance dynamique, R_o , est basse. Gare aux oreilles sensibles.

Une sirène traditionnelle est moins puissante, de moindre rendement sonore (celle-ci

profite en plus de la résonance) et coûte cinq fois plus cher !

CUVE DE NETTOYAGE PAR ULTRASONS

Il serait impossible de trouver une cuve qui puisse résonner à la même fréquence que le piezoxyde. Pour faire une cavité résonnante comme en hyperfréquence il faudrait des cuves géantes. Si une cuve rigide, résonnante, est difficilement réalisable, une cuve dont les parois minces transmettraient la moindre vibration est toute trouvée.

La plus efficace est, une simple boîte de conserves. Coller le disque à deux faces

argentées sur le fond de la boîte n'est pas simple et demande une certaine adresse, pour réaliser en même temps, le bon contact électrique nécessaire.

Il y a, certes, la colle conductrice, mais elle est hors de prix. Pour pouvoir utiliser l'araldite ménagère, il faut créer des aspérités au fond de la boîte, qui puissent percer la couche isolante de colle par endroits pour garantir le bon contact, si le fond de la boîte ne s'y prête pas, utiliser une grille en cuivre, provenant d'un ustensile à thé par exemple, interposée et immergée dans la colle araldite.

Quand le disque est bien ancré au fond, soudez les contacts, l'un sur la boîte elle-même, qui sera à la masse, pour vous éviter tout contact

désagréable avec les 60 V_{cc} ultrasonores en présence de liquides.

Le deuxième contact, sur la surface libre ou disque est à faire comme nous le montre la photo des transducteurs.

Une fiche de haut-parleur mâle, sans oublier de respecter la borne de masse, et le tout est prêt à fonctionner.

Branchez le générateur. Vous tomberez peut être sur une oscillation sonore. Montez la fréquence. Comment savoir si l'oscillateur est bien placé à la résonance du disque ? Il y a l'oscilloscope ou le milliampèremètre alternatif haute fréquence, bien entendu, mais il y a aussi un moyen plus simple : Comme pour la sirène, à la résonance le « son » émis par la cuve est maximum.

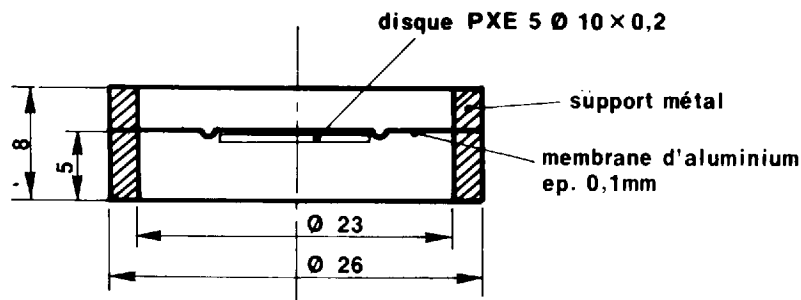


Fig 8



Photo 11. - Deux millimètres de solvant au fond de la cuve font d'elle un excellent outil pour déboucher les plumes à encre de Chine récalcitrantes.



Photo 12. - Une simple éraflure rouille à vue d'œil en présence d'ultrasons et solvant !

Chiens ou mouches, par exemple, le reçoivent. D'après la mauvaise mine de votre chien vous pourrez trouver très rapidement (SPA oblige) le maximum, avec le solvant dans la cuve, bien entendu !...

Plus simplement, pour

savoir si vous êtes en ultrasons ou si l'oscillateur a décroché, appuyez avec un objet isolant sur le disque, sans forcer. Si vous entendez en réponse un grincement c'est gagné.

Attention, à un phénomène désagréable, en nettoyant vos

objets. Nous avons remarqué qu'une égratignure sur la paroi de la cuve changeait de couleur vers la rouille, à vue d'œil. Les ultrasons procèdent comme un oxydant ou un catalyseur. Ne vous étonnez donc pas si au lieu d'une ferraille à puri-

fier vous sortez un objet tout rouillé du bain !

Nous finissons sur cette remarque et vous promettons d'autres applications et utilisations de la source ultrasonore dans nos prochains numéros.

André DORIS