

électronique

n° 29

janvier 1991

21 FF/150 FB/7,80 FS
mensuel

elext

sinus numérique
le son bit par bit
lasers et musique
amplificateur 35 W l'Aurock
AVEC DESSIN DE CIRCUIT IMPRIMÉ

explorez l'électronique

ZZZZ...



M 2510 - 29 - 21,00 F



SOMMAIRE ELEX N°29

R · U · B · R · I · Q · U · E · S

8 · **éditorial**

6 · **ELEXPRIME : courrier des lecteurs**

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

4 · **Rési&Transi : bande dessinée**

9 · **Dis donc, les CD...**

45 · **Dis donc, la distorsion...**

10 · **fascinant laser**

21 · **le disque audio numérique**

36 · **les condensateurs de lissage**

40 · **le dépannage des lecteurs de cassettes**

41 · **la ronfle**

R · É · A · L · I · S · A · T · I · O · N · S

14 · **sinus numérique**

18 · **amplificateur à modulation de largeur d'impulsion**

26 · **silicium hurlant**

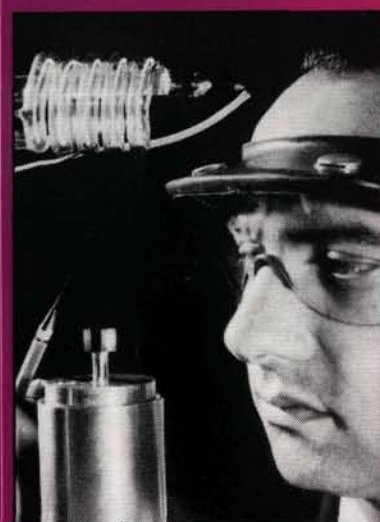
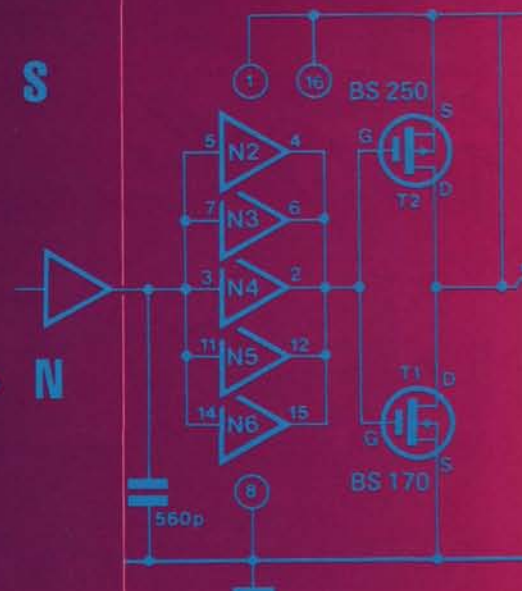
29 · **l'Aurock : amplificateur 35 W**

35 · **alimentation de bidouillage**

M · O · D · É · L · I · S · M · E

46 · **triage automatisé**

50 · **réservoir pour modèles réduits**



Annonces : BÉRIC p. 8 -- CIF p. 7 -- DIFECO p. 13 -- ELECTRON SHOP p.25 -- MAGNÉTIK France p. 52 --
MMP p. 44 -- NICE COMPOSANTS p. 25 -- PUBLITRONIC pp. 13, 53, 54, 56 -- SELETRONIC pp. 2, 7, 53, 54



Bonjour Elex

Merci d'abord pour les beaux journaux que tu m'envoies, simples et précis.

Voici ma question : (double)

* Où puis-je trouver des potentiomètres rotatifs linéaires (1 k Ω) avec repérage de la position centrale ? (style bouton de balance sur les préamplis hifi).

* Encore plus fort : qui fabrique des ressorts de rappel en position centrale pour potentiomètres rotatifs ?

Bravo et Bye Bye

Eric Marchal
54000 NANCY

Si c'est pour en faire des manches de radio-commande, autant les prendre tout faits. Si c'est pour en faire autre chose, autant les prendre dans des manches de radio-commande (ce n'est pas la valeur courante de 5 k Ω qui va vous gêner ?). Voir peut-être chez Lextronic, page 62, du dernier numéro d'ELEX (n°28, 12-90).

Je désire réaliser le récepteur d'ondes courtes décrit dans ELEX n°25 page 21. La première partie est simple mais je n'ai pas trouvé à ce jour de tore de ferrite T50-6 (marque AMIDON). Les établissements C[...] à M[...] les-M[...] ne possèdent pas ce matériel.

Où peut-on se procurer des tores de ferrite ?

Peut-on les remplacer par un simple mandrin LIPA ?

Si oui quelles en sont les caractéristiques ?

Dans l'attente de ces renseignements, je vous prie d'agréer, Messieurs, l'assurance de ma considération distinguée.

Jean-Claude SIVIGNON
71200 LE CREUSOT

Commençons par la fin, si vous voulez bien. Rien ne garantit que le fonctionnement sera identique avec un bobinage sur mandrin LIPA. Le plus proche du tore serait un pot sans entrefer. Il vaut mieux s'en tenir à la solution retenue par les concepteurs, à moins d'être équipé pour mesurer et comparer différents types d'inductances. D'autre part, les tores AMIDON sont ce qu'il y a de plus courant.

Un de nos annonceurs, BÉRIC à Malakoff, tient en stock toutes sortes de composants HF dont il est le spécialiste. Nous vous recommandons de consulter sa « bobinothèque » : une page de publicité parue dans la revue ELEKTOR du mois d'octobre 1990 (n°148). Profitons-en pour signaler que ce même revendeur, en réponse à notre appel de l'année dernière, propose pour 900 F un oscilloscope de mesure dont les caractéristiques ont déjà été l'objet de plusieurs encarts publicitaires dans ELEX.

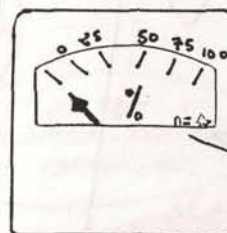
Cher elex,

Il y a des circuits sensibles qui ne devraient pas tomber entre toutes les mains, le sifflet pour chien en est un exemple. S'il est vraisemblable que les jeunes lecteurs d'elex auront de la peine à en augmenter la puissance (le choix de portes logiques est bienvenu, l'alimentation du montage étant limitée à 15 V) d'autres plus malins n'auront pas de peine à le transformer en arme redoutable pour les nombreux animaux de la nature avec les dégâts que cela laisse supposer (ponte perturbée, abandon de nids, bagarres, etc). Il y a parmi les hommes (surtout les agriculteurs céréaliers quel paradoxe) de véritables ennemis de la nature et qui ne veulent plus

d'arbres ni de haies sur des hectares et qui se moquent bien des animaux qui y vivent et, de plus sont prêts, j'en ai des exemples, à saboter la nature là où elle ne les gêne pas. Pour vous racheter, je vous propose d'améliorer le radio chauve-souris de façon à le rendre à large bande et si possible directif pour détecter d'éventuels saboteurs. Sinon bravo pour tout et la BD rési et transi du n°26 est géniale.

Pierre AXEL
PARIS

(Reçu avec une page découpée dans un hebdomadaire, qui relate des fraudes dans les courses de chevaux. La fraude consistait à « doper » le cheval ou à l'affoler complètement au moyen d'un émetteur à ultra-sons dissimulé dans des jumelles.)



On me donne ce cadran, dont je vous fais le dessin grandeur nature. A quel point il sert ? dans le coin Ω ... Au des 2 sorties dont une marquée du signe $\sim$. Aucune autre marque

Laurent Bertet
74300 CABARIOT

Les symboles du coin inférieur droit indiquent qu'il s'agit d'un appareil à cadre mobile (le U renversé représente l'aimant permanent) pour la mesure de courant continu. Commencez par mesurer sa résistance en continu à l'ohmmètre. Si elle est infinie, l'appareil est hors d'usage. Prenez ensuite une pile ou une alimentation stabilisée et connectez-la aux bornes du galvanomètre par l'intermédiaire d'un potentiomètre de 10 k Ω ou d'une boîte de résistances. Réduisez la résistance progressivement, jusqu'à obtenir la déviation totale de l'aiguille. Une mesure de tension et un petit calcul selon la loi d'Ohm ($I = U/R$) finiront de vous renseigner sur les caractéristiques de votre milliampèremètre. Quant à ce que vous pouvez en faire, voyez les anciens numéros d'elex : n°2 de juillet 1988, et n°9 de mars 89 par exemple.

L'électronique est une passion qui démange et qui provoque des crises de "manque" lorsque la littérature tant désirée se fait attendre dans la boîte aux lettres. C'est pourquoi, bien qu'abonné à ELEX, je n'ai pu résister à l'impulsion irraisonnée d'acheter le n°27 chez mon marchand de journaux. Si l'autre, le vrai, arrive tout de même par la poste, je me dépêcherai de noter sa date d'arrivée [...] pour l'envoyer au livre Guiness des records. Sinon je ne pourrai que me féliciter d'avoir cédé à mon impérieuse pulsion pour la somme, modique il est vrai, de 21 F, évitant ainsi l'insigne désagrément de voir s'ouvrir une béante lacune dans le splendide continuum de ma collection élexéenne.

Mais laissons ces vétilles et poursuivons dans le registre du "passionnel" ci-dessus évoqué. Ayant jadis fréquenté les milieux psychologico-philosophiques, non sans m'être, pendant ce temps, détourné avec dédain des basses matières technologiques, j'ai conservé l'habitude de me poser des questions saugrenues et intempestives, dont celle-ci, que je vous livre sans autre forme de procès :

« À quand la Florence Arthaud de l'électronique » ? J'ai bien une lointaine cousine ingénieur dans le béton armé, je connais des femmes professeur de mathématiques et même de logique. J'ai ouï dire qu'il existait des chauffeuses de poids lourd, et même des pilotes de chasse, mais je conserve l'impression persistante que le virus electronica ne touche pas la gent féminine. Vous me direz si je me trompe. En attendant je peux vous faire part de mon expérience personnelle d'animateur de club électronique : La seule fille qui ait résisté plus de deux mois a terminé en confectionnant des colliers de résistances à 1%, fort jolies au demeurant.

Le constat est accablant. Alors qu'il me soit permis de m'exclamer et de m'interroger [...] : Cela est-il dû à la prostaglandine et autres substances hormoneuse chargées d'enzymes gloutons qui circulent à notre insu dans nos canaux médullaires ? Ou bien est-ce parce que l'électronique est un camp retranché gardé par des "machos" dont, soit dit en passant, ELEX ne serait qu'un sordide organe de propagande ?

En d'autres termes, le virus electronica est-il inné ou acquis ? Les prédispositions aux circuits imprimés sont-elles inscrites dans les tortillons de l'acide désoxyribonucléique ? (est-ce bien raisonnable de le croire ?) Sinon quel sacré démon culturel et réactionnaire peut en être l'origine ?

En attendant fiévreusement des éléments de réponse de votre part et si possible de celle des lecteurs, ou mieux, des lectrices, il ne me reste plus qu'à me consoler en lisant ce sacré n°27 que j'ai payé deux fois et en priant le ciel pour que mes préoccupations méta-électroniques ne viennent pas troubler la sérénité de ma lecture.

La prochaine fois je vous parlerai d'électronique.

Gérard LEGAUX
77240 VERT SAINT-DENIS

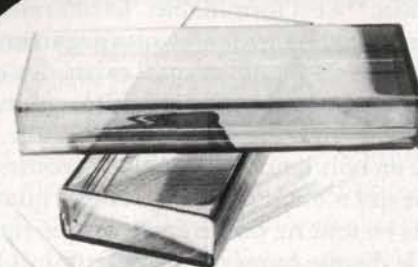


Selectronic

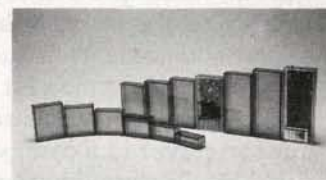
BP 513 59022 LILLE Tél. : 20.52.98.52

HE 222

coffrets



TOUS LES MOIS DANS



HEILAND

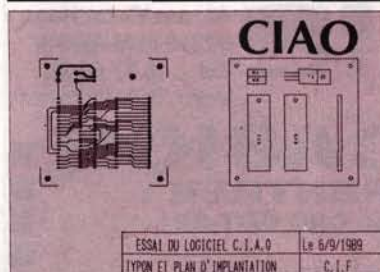
4 modèles disponibles en MAKROLON (transparent, fumé, spécial infrarouge...)

EN VENTE CHEZ VOTRE REVENDEUR HABITUEL

Liste des revendeurs et documentation sur simple demande

LES COFFRETS DE CEUX QUI
AIMENT LA PERFECTION

LOGICIEL DE DESSIN DE CIRCUITS IMPRIMÉS



Pour PC XT, AT et compatible équipés de cartes vidéo HERCULES ou EGA. Sortie sur imprimante et table traçante. Prise en main instantanée. Mylar et plan d'implantation.

861 F/TTC

MEMO
Aide-Mémoire des Electroniciens assisté par ordinateur.

RAPIDE

- Recherche des composants par nom ou par racine du nom.
- Recherche des équivalences transistors ou CIs en quelques secondes.

EFFICACE

- Base de données de 5.200 composants, comprenant :
 - 3.200 composants référencés avec fiches techniques et brochages en français.
 - 2.000 équivalences de circuits analogiques avec nom des fabricants.
 - Mise à jour des bases par abonnement annuel sans obligation

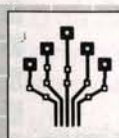
PRECIS

- Paramétrage possible des équivalences transistors.
- Equivalences des CIs analogiques broche à broche ou par fonction. Diodes, Thyristors, Régulateurs, Ampli OP TTL.

515 F/TTC

Remplace à lui seul
2.200 F de documentation

Abonnement annuel (4 envois
env. 3.000 nouveaux composants) 480 F/TTC
Forfait port et emballage 25 F



C.I.F.
Circuit imprimé français

11, rue Charles-Michels
92220 BAGNEUX
Service R.P.
Télex : 631 446 F
Fax : 16 (1) 45 47 16 14
Tél. : 16 (1) 45 47 48 00

ERGONOMY - Distributeur exclusif pour la Belgique et le Luxembourg
415, bd de l'Humanité 1190 BRUXELLES Tél. : 02.378.27.00 - Fax : 02/332.09.12

éditorial

*Ils** ont raison quand ils disent que le « compact disc ** » est formidable. Ils ont raison certes, mais pour un peu, leurs fantasques arguments finiraient par nous faire oublier qu'il existe des musiciens qui font de la musique sans électricité, qui montent sur une scène pour emboucher un tuyau en tôle, ou gratter une caisse en bois tendue de quelques cordes, qu'il y en a même qui n'ont d'autre instrument que leur voix. Et ce qu'ils en font ne doit rien au disque numérique, alors que le disque numérique, lui leur doit tout. L'ouïe n'est pas un sens objectif ; l'oreille n'est pas un organe autonome. Bien que dépourvue de "paupière", sa faculté d'adaptation est grande. Plus forte encore est son aptitude à la complaisance. Mieux : elle écoute ce que son cerveau lui commande d'écouter et, comble de subtilité, elle s'applique à reconnaître ce que d'autres* cerveaux lui ont savamment suggéré d'écouter. Au besoin, ce qu'elles n'entendent pas, elles se l'inventent. N'en croyez pas vos oreilles !

* Ils sont par exemple les préposés au rayon Hi-Fi des grandes surfaces.

**Qu'il soit compact importe relativement peu. D'ailleurs, en français, on place ce genre d'épithète après le substantif ; ce serait donc plutôt un « disque compact » qu'un « compact disque ». On ne dit pas « une rouge maison »... Nous préférons parler de « disque audio numérique ». Disque, parce que c'est un disque en effet, audio parce qu'il n'est pas vidéo, puisqu'il sert à reproduire des sons et non des images, et numérique parce qu'il ne contient, en fin de compte - c'est le cas de le dire - que des nombres.



Le document reproduit ci-dessous est le fac-simile d'une note que la société Selectronic joint à son kit du « module ohmmètre+ampèremètre » afin d'informer ses clients d'une rectification apportée par ses soins à la puissance de dissipation des shunts dans ce circuit. Si nous le publions ici (au lieu de l'incorporer à la rubrique ELEXCUSE quasi disparue) c'est parce qu'il est réjouissant à beaucoup d'égards.

D'abord il (nous) rappelle que nous ne sommes pas parfaits, ce que nous avons parfois tendance à oublier compte tenu des éloges souvent immodérés que nous recevons par courrier.

Ensuite il confirme que nous ne sommes pas complètement nuls, malgré ce que nous écrivent certains et ce qu'en pensent d'autres sans oser le dire. Non, nous ne sommes pas complètement nuls (ouf !) puisqu'on s'intéresse à nos réalisations au point d'en faire des produits commerciaux (sous forme de kits qui se vendent bien d'ailleurs, mais ne le dites à personne, puisqu'il n'y a que Selectronic qui s'en soit aperçu jusqu'à présent. Laissons-en leur le « monopole »).

Ce qui est vraiment remarquable, en somme, c'est qu'il existe des revendeurs d'électronique qui, bien qu'ils subsistent comme vous et moi la loi de la jungle, s'emploient néanmoins à faire régner aussi la loi d'Ohm quand les circonstances les y incitent. Merci.

BERIC 43, rue Victor Hugo
92240 MALAKOFF
Tél. : 46.57.68.33
Métro : Porte de Vanves

L'OCCASION DE LA RENTRÉE : Oscilloscope CRC OCT-361

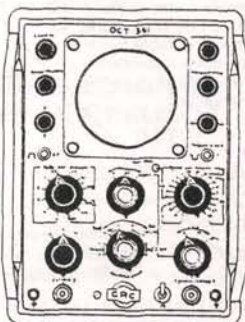
- **Ampli vertical :**
Bande passante : 0-9 MHz à 3 dB
Sensibilité max : 5 mV
Sensibilité min : 20 V
Entrée continue ou alternative.
Ligne à retard permettant de voir le front de l'impulsion.
- **Base de temps :**
Relaxée - déclenchée
Durées limites : 3 s à 40 ns.
Réglage progressif des durées.
Loupe électronique x 5
Durées étalon : 1 s à 0,2 µs.
- **Ampli horizontal :**
Bande passante : 0-1 MHz.
Sensibilité max : 1 V/div.
Sensibilité min : 100 V/div.
Atténuateur progressif.
- **Synchro :** Intérieure : 0-9 MHz.
Extérieure : en mode CC, Alt, HF.
- **Calibrateur :** 1 kHz carré, 2 volts.
- **Alimentation :** 220 V alt. ; 6 à 12 V continu.

Avec documentation technique :

900,00 F

+ Port SNCF à l'arrivée - Quantité limitée.

Règlement à la commande • Expéditions SNCF : facturées suivant port réel
• BP 4 MALAKOFF • Fermé dimanche et lundi - Heures d'ouverture : 9 h-12 h 30 - 14 h-19 h sauf samedi 8 h-12 h 30 - 14 h-17 h 30 • Prix TTC port en sus. Expédition rapide. En C.R., majoration 20 F + CCP Paris 16578.99.



Selectronic

KIT MODULE OHMÈTRE + AMPÈREMÈTRE

(décrit dans ELEX n° 25)

Quelques précisions pour ne pas dérouter l'utilisateur.

Il est vrai que nos amis de chez ELEX n'ont pas toujours le composant idéal dans leurs tiroirs.

En ce qui concerne les shunts, en partant de la formule qui donne la PUISSANCE dissipée par une résistance en fonction du courant qui la traverse : $P = RI^2$

Nous trouvons :

Calibre	Shunt proposé (1%)	P réelle à dissiper	Shunt fourni (1%)
2 A 0,2 A 20 mA	R34 = 0,1 E/10W R38 = 1 E/10W R36 = 10 E	0,4 W 0,04 W 0,004 W	0,1 E/25W 1 E/0,5 W 10 E/0,5 W

A la vue de ces chiffres, le seul problème vient de R34 que nous tenons en stock en 25W.

Il suffit de soier les oreilles de fixation, de la positionner habilement sur le circuit imprimé et d'effectuer les liaisons à l'aide de deux morceaux de fil rigide.

Quant à R38, qu'ELEX a "prévu" en 10 W, c'est de toute évidence parce que le technicien n'avait que ce modèle là sous la main au moment où il a fait la maquette.

SELECTRONIC.

B.P. 513
59022 LILLE CEDEX

Télex : 820939
Télécopie : 20.52.12.04
Tél. : 20.52.98.52

Dis donc...

Transi : Pourquoi les disques compacts sont meilleurs que les autres ? Un laser ou une aiguille, je ne vois pas la différence...

Rési : La différence, c'est que le disque compact est numérique.

T. : Numérique, numérique... la musique, c'est des vibrations, non ?

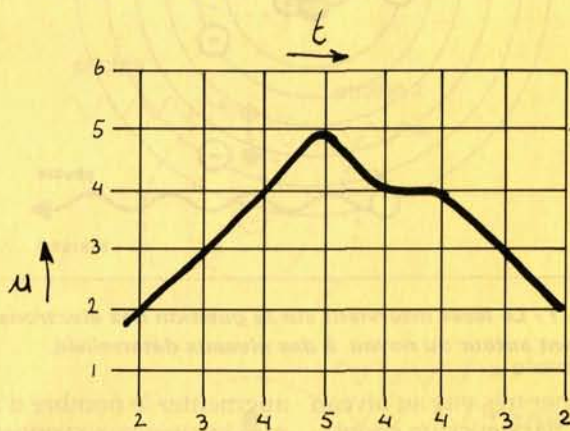
R. : Bien sûr, mais si tu pouvais examiner à la loupe ce qu'il y a sur un disque compact, tu n'y trouverais qu'une interminable succession de chiffres, comme dans un livre de comptes. Des nombres, des données, rien d'autre !

T. : ...

R. : Numérique, ça veut dire qu'on mesure la tension, comme avec un voltmètre. Un coup on mesure, un coup on note la valeur. Puis on remesure, et on note encore... Et on recommence, encore et encore... Mesurer, noter, mesurer, noter !

T. : C'est ce que l'on appelle l'échantillonnage ?

R. : Oui, ou « conversion analogique-numérique ». Ça se passe vite, très vite. Mais pour t'expliquer le principe, on va y aller lentement. Sur cette grille, je trace un signal musical comme ceci :



T. : C'est du rock ou de la *house music* ?

R. : Les chiffres de l'échelle verticale donnent l'échelle des amplitudes. Les chiffres sous la grille sont les échantillons de tension relevés à intervalles réguliers : 2 3 4 5 4 4 3 2...

T. : Et qu'est-ce qu'on en fait ?

R. : Ce sont ces données-là qu'on met sur le disque compact.

T. : Imprimées ?

R. : Non. On les grave sous forme de données binaires. Cinq, par exemple donnera 0101. C'est un rayon laser qui se charge de la gravure d'une matrice chez le fabricant de disques compacts, et c'est le rayon laser qui se charge de relire la copie de cette matrice que tu achètes sous forme de CD chez le marchand.

T. : Bien, je comprends, mais comment fait-on de la musique ensuite à partir de cette suite de nombres ?

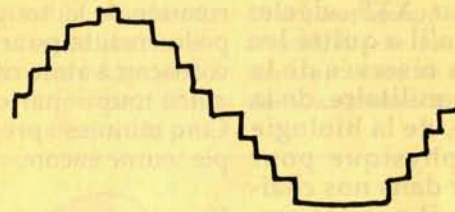
R. : On les convertit.

T. : Et ça donne quoi, quand on convertit 2 3 4 5 4 4 3 2 ?

R. : Eh bien rien, car mon exemple est un peu grossier, mais si les échantillons de tension sont assez rapprochés, on retrouve, en les juxtaposant, la forme d'onde initiale.

T. : Et comment juxtaposes-tu des échantillons de tension ? Il me semble que des nombres, c'est des nombres, et ça ne fait pas une tension alternative...

R. : Tu n'as pas tort. Quand on juxtapose les échantillons de tension on obtient une espèce de courbe en marche d'escalier comme ceci :



R. : C'est une succession de tensions continues qui évoluent doucement d'échantillon en échantillon.

T. : Je n'ai peut-être pas une oreille très fine...

R. : Mais si, mais si...

T. : Ça m'étonnerait tout de même que je n'arrive pas à distinguer tes escaliers d'une vraie sinusoïde pure.

R. : Tout dépend du filtrage. D'abord, l'écart entre d'une part les escaliers résultant de l'échantillonnage et d'autre part le signal utile est beaucoup plus grand, en réalité, que ce que j'ai représenté ici. Ensuite, si le filtrage est bien fait, si la fréquence d'échantillonnage est assez élevée par rapport à la plus haute fréquence du signal utile...

T. : Ça fait beaucoup de si...

R. : Il a fallu ruser pour y arriver. Avec une cadence d'échantillonnage de 44,1 kHz et quelques astuces dont je t'épargne le détail, on y est arrivé.

T. : C'est sûr que moi, des signaux de 44 kHz, je ne risque pas de les entendre !

R. : Ben oui, mais ce n'est pas tout. Avec 44 kHz d'échantillonnage, chaque alternance d'un signal de 20 kHz ne sera échantillonnée, au mieux, que deux ou trois fois !

T. : Il n'y a pas de quoi faire une alternance d'onde sinus avec seulement deux ou trois échantillons. C'est du carré.

R. : D'où l'importance du filtre passe-bas qui supprime énergiquement les harmoniques de ce carré dont la fondamentale est à 20 kHz.

T. : Et dont il ne restera donc qu'une sinusoïde. Bien joué !

fascinant laser

une introduction à la technologie de la lumière concentrée

Le mot laser porte en lui toute la magie technologique de la dernière moitié du XX^e siècle. Depuis qu'il a quitté les domaines réservés de la recherche militaire, de la médecine, de la biologie et de la physique pour s'installer dans nos chaînes audio, il a certes perdu une partie de ce pouvoir d'évocation, mais nous n'en savons pas beaucoup plus sur lui qu'auparavant. Trente ans après son invention, en Californie, par Théodore H. Maiman, le laser continue d'enrichir les disciplines les plus diverses et les recherches se poursuivent dans des domaines encore peu connus. Nous n'allons pas faire de vous des spécialistes du laser, mais nous avons la prétention de servir aux lecteurs d'ELEX curieux et attentifs, une occasion de se faire une idée un peu plus claire du principe de fonctionnement du laser.

Parmi les mots anglais *light amplification by stimulated emission of radiations* qui ont fourni l'acronyme LASER, le rôle de l'adjectif *stimulated* est prédominant. Les lasers sont des sources de rayonnement mettant en oeuvre une technique spéciale d'émission, dite « stimulée » par opposition à celle des sources usuelles de lumière, qui est dite « spontanée ». Si vous n'arrivez pas jusqu'au bout de cet article, retenez au moins qu'en gros, un tube laser fonctionne comme ces extraordinaires toupies qu'utilisent les jon-

gleurs dans les cirques. L'artiste imprime un bref et vigoureux mouvement de rotation à la toupie qu'il pose ensuite pour aller se consacrer à autre chose, une autre toupie par exemple. Cinq minutes après, la toupie tourne encore...

Un peu de physique pour commencer. Non, ne partez pas ! Nous ne parlerons pas de la constante de Boltzmann ni d'aucune loi de Gauss, c'est promis et juré.

Tout atome est fait d'un noyau, à charge positive, autour duquel gravitent des électrons, à charge négative. Leurs orbites sont en quelque sorte verrouillées, et plus l'orbite d'un électron est éloignée du noyau, plus la charge de cet électron est forte (figure 1). Si l'on apporte de l'énergie à l'électron, en l'échauffant par exemple, ou en le soumettant à un rayonnement lumineux, sa charge augmente, ce qui le contraint à changer d'orbite. Plus tard il pourra retrouver son niveau d'origine, et ce faisant, il restituera l'énergie sous forme... d'énergie, c'est-à-dire de chaleur ou de lumière (= émission d'un photon). Normalement, l'instant où l'atome passe de l'état excité (ne riez pas, c'est le terme qu'utilisent les physiciens) à l'état désexcité (cf. supra) est aléatoire. D'où la notion d'émission de lumière **spontanée**. Dans le cas du laser au contraire, le processus est **contrôlé**, et fonctionne sur des matières dont les atomes sont caractérisés par des niveaux d'énergie excités « métastables », c'est-à-dire des orbites transitoire-

ment stables que les électrons ne quittent pas spontanément et par hasard, mais seulement une fois qu'ils sont soumis à un rayonnement lumineux d'une longueur d'onde déterminée et appropriée. Ainsi, au lieu de

le photon inducteur du photon induit : il s'agit donc d'un phénomène d'amplification. En pratique, pour l'obtenir -c'est-à-dire pour faire fonctionner un laser- il faut procéder à ce qu'on a appelé un pompage : il faut

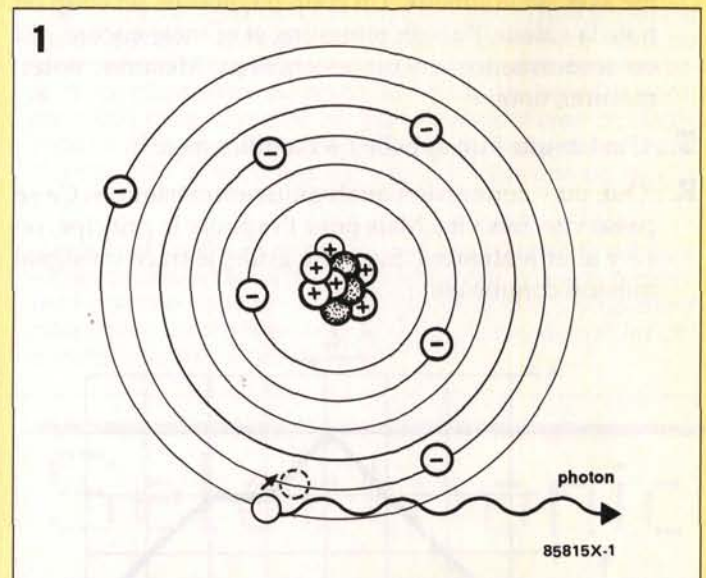


Figure 1 - Le laser intervient sur la position des électrons qui gravitent autour du noyau à des niveaux déterminés.

retourner très vite au niveau initial par émission spontanée, l'énergie se trouve stockée* à un niveau intermédiaire, disponible pour une émission stimulée. La couleur de la lumière obtenue dépend de l'écart (différence d'énergie) entre les niveaux. Dans le cas de l'émission induite (stimulée), l'atome est soumis à un champ électromagnétique d'une fréquence donnée, qui provoque la désexcitation de l'atome et donc l'émission d'un photon (figure 2). Ce photon est émis **en phase** avec le champ inducteur (et à la même fréquence) et dans la même direction. Après l'émission induite, rien ne permet de distinguer

augmenter le nombre d'atomes excités par rapport au nombre d'atomes désexcités, de façon à provoquer une réaction en chaîne lors de l'émission des photons. Chaque photon émis doit rencontrer le plus possible d'atomes excités, ce qui provoquera l'émission (figure 2) de photons d'autant plus nombreux, qui à leur tour...

Pour obtenir un nombre suffisant de rencontres entre photons et atomes excités, il faut que le parcours des photons dans le milieu utile

* analogie : il y a entre l'émission de lumière spontanée et le laser la même différence qu'entre un arc et une arbalète.

soit assez long, ce qu'on obtient par des réflexions successives dans deux miroirs. L'un des miroirs est aussi parfaitement réfléchissant que possible, l'autre légèrement transparent, pour laisser sortir le faisceau que l'on veut utiliser. Ce dispositif rappelle celui des tuyaux sonores et celui des cavités résonantes des ondes radio-électriques courtes que l'on voit notamment sur les antennes paraboliques. Comme quand vous chantez dans la douche et que votre voix, répercutée à l'infini par les parois nues acquiert soudain un timbre de basse profonde... Pour exciter le milieu dans lequel se produit l'effet

laser, par exemple le barreau de cristal de rubis rose à partir duquel T.H. Maiman a réalisé le premier laser en 1960, il l'a entouré d'un tube à éclats (néon) (figure 3). La lumière de ce tube se charge du pompage optique en excitant les atomes du cristal. On parle de lampe de pompage. La réaction en chaîne commence toute seule, dès que les premiers électrons retournent d'eux-mêmes à leur niveau initial. Elle est favorisée ensuite par les deux miroirs qui se renvoient les photons émis, lesquels excitent au passage les électrons qu'ils rencontrent. L'amplification stimulée est amorcée. Les photons qui se déplacent dans l'axe longi-

tudinal du barreau d'émission sont renvoyés d'un miroir à l'autre jusqu'à ce qu'ils aient assez d'énergie pour traverser le miroir de sortie*. Les photons qui se déplacent dans d'autres directions que l'axe longitudinal ne sont pas réfléchis et ils quittent rapidement le barreau, sans avoir atteint un niveau d'énergie suffisant (fig. 3). C'est ainsi que l'on obtient, en quelque sorte par sélectivité, la finesse extrême du faisceau laser. La couleur rouge extrême si caractéristique du laser à cristal de rubis résulte de longueur d'onde particulière de la lumière émise (694,3 nm pour être précis). C'est aussi dans la finesse du fais-



Une photographie célèbre : l'inventeur du laser, T.H. Maiman, au cours de ses travaux dans les années 1960.

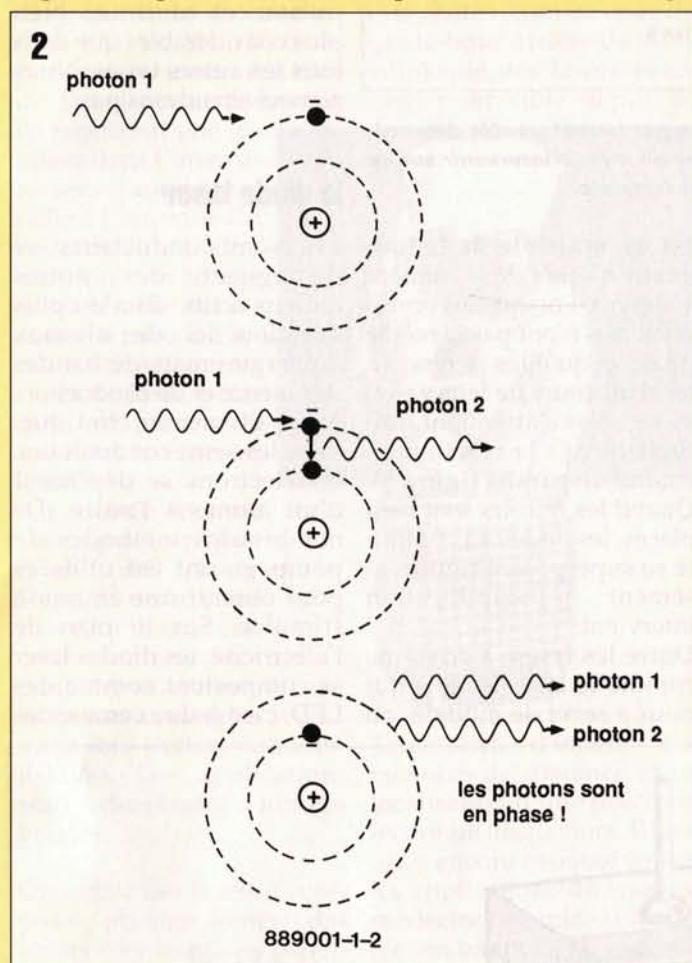


Figure 2 - Illustration du principe de la réaction en chaîne des photons sur des atomes excités.

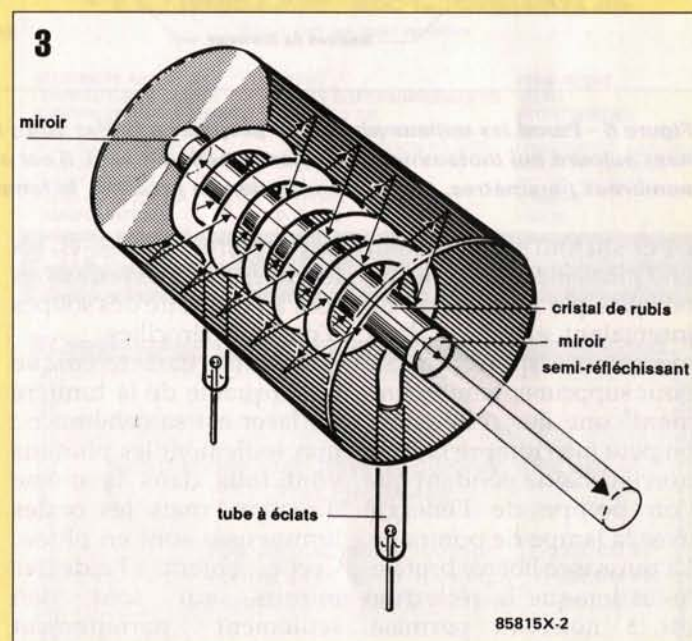


Figure 3 - Schématisation du laser à rubis. Le cristal de rubis est un milieu propice parce que ses atomes une fois excités par le pompage se maintiennent dans cet état.

ceau que réside le secret de sa puissance. La quantité d'énergie n'est pas si forte que ça, mais concentrée sur une surface aussi réduite que le μm^2 elle est est concevable avec des barreaux aux dimensions modestes. En pratique, les surfaces consi-

dérées ne sont effectivement que de l'ordre du μm^2 , soit 10^{-8} cm^2 , de sorte que la puissance à fournir passe dans un domaine compris entre 10^{-2} W et 10^4 W , des valeurs tout à fait réalistes pour un laser à émission continue. La puissance obtenue n'est jamais qu'une petite fraction de la puissance fournie au dispositif de pompage. La plus grande part de l'énergie perdue est transformée en chaleur dans la matière active. Pour limiter l'échauffement de celle-

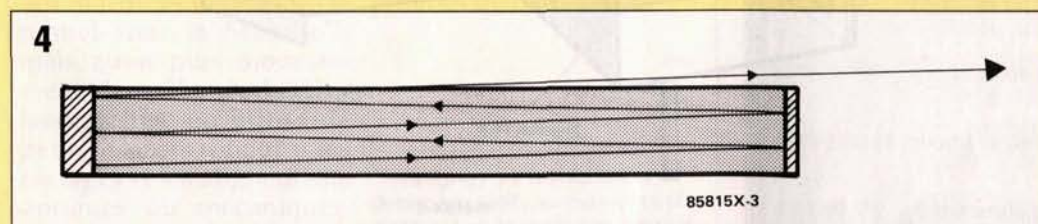


Figure 4 - Va et vient des photons entre les deux miroirs parfaitement parallèles. Celui de droite est semi-transparent. Les photons le traversent pour former le faisceau laser.

* analogie : le lancer du marteau en athlétisme

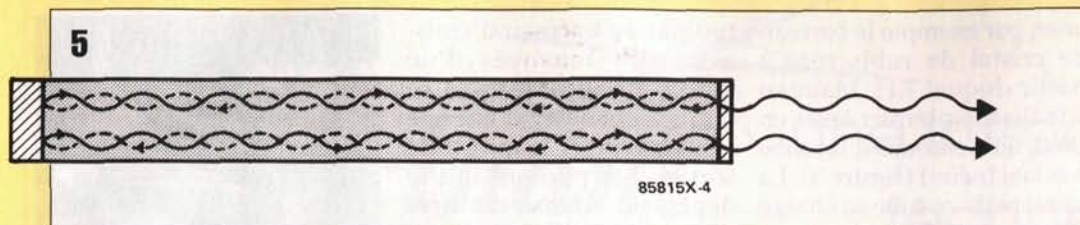


Figure 5 - La réaction en chaîne s'arrête quand les photons ne sont plus renvoyés d'un miroir à l'autre, mais quittent le milieu « par la bande ». Les ondes déphasées s'atténuent.

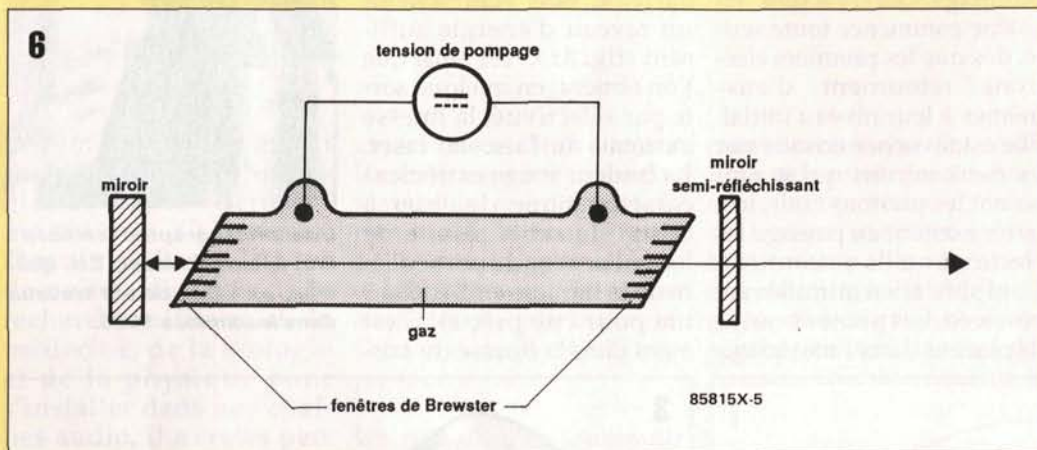


Figure 6 - Parmi les milieux physiques propices à l'effet laser, les gaz jouent un rôle déterminant aujourd'hui (notamment le mélange hélium-néon). Il est aisé en effet d'intervenir sur de nombreux paramètres, tels la composition, la pression, la température etc.

ci, et surtout pour obtenir une puissance plus grande, on opère par impulsions. En intercalant entre les deux miroirs un dispositif spécial pour supprimer temporairement* une des réflexions, on peut interrompre la réaction en chaîne pendant que l'on pompe de l'énergie avec la lampe de pompage. La puissance libérée brutalement lorsque la réflexion est à nouveau permise, atteint pendant une durée très courte (de 5 à 50 ns) des valeurs gigantesques. Des kilowatts, voire des mégawatts, mais pendant quelques nanosecondes seulement ! Il ne s'agit plus alors d'émission continue, mais d'émission déclenchée (à ne pas confondre avec l'émission stimulée qui est le principe fondamental du laser, alors que l'émission déclenchée n'est qu'un mode de fonctionnement). La lumière émise par le laser est monochromatique, elle n'a qu'une seule longueur d'onde qui ne dérive tout au plus que d'un billardième (10^{-14}) par rapport à sa valeur nominale.

La lumière blanche et les lumières colorées ordinaires sont au contraire des soupes d'ondes hétéroclites. Une autre caractéristique remarquable de la lumière du laser est sa cohérence : non seulement les photons vont tous dans la même direction, mais les ondes lumineuses sont en phase. Ceci est obtenu à l'aide des miroirs qui sont non seulement parfaitement parallèles (figure 4), mais également écartés l'un de l'autre par une distance qui

est un multiple de la longueur d'onde de la lumière à obtenir. Lorsque les ondes réfléchies n'ont pas la même phase et qu'elles se rencontrent au cours de leur va-et-vient, elles s'atténuent mutuellement : la réaction en chaîne disparaît (figure 5). Quand les miroirs sont bien placés, les ondes au contraire se superposent rigoureusement : l'amplification intervient. Outre les lasers à cristaux, comme le laser à rubis qui nous a servi de modèle, ou

le laser à grenat d'yttrium et d'aluminium (YAG) qui a un meilleur rendement car la puissance requise pour le pompage est plus faible, il existe des lasers à solides non cristallins, des lasers à gaz (figure 6), des lasers à liquides et des lasers à colorants. Le principe reste en gros le même, surtout pour ce qui concerne les lasers à gaz. Grâce à la nature même de l'état gazeux, l'amplification peut être obtenue par toute une variété de procédés d'excitation : décharges électriques, détente, pompage optique, réactions chimiques... Le renouvellement rapide du gaz et son homogénéité permettent d'obtenir des puissances continues bien plus considérables que dans tous les autres types. Nous ne nous étendrons pas.

la diode laser

Les semi-conducteurs se distinguent des autres milieux actifs : ils n'est plus question ici de niveaux d'énergie, mais de bandes de valence et de conduction. Nous savons en effet que, dans les semi-conducteurs, les électrons se déplacent d'un atome à l'autre. De nombreuses méthodes de pompage ont été utilisées pour obtenir une émission stimulée. Sur le plan de l'électricité, les diodes laser se comportent comme des LED, c'est-à-dire comme des

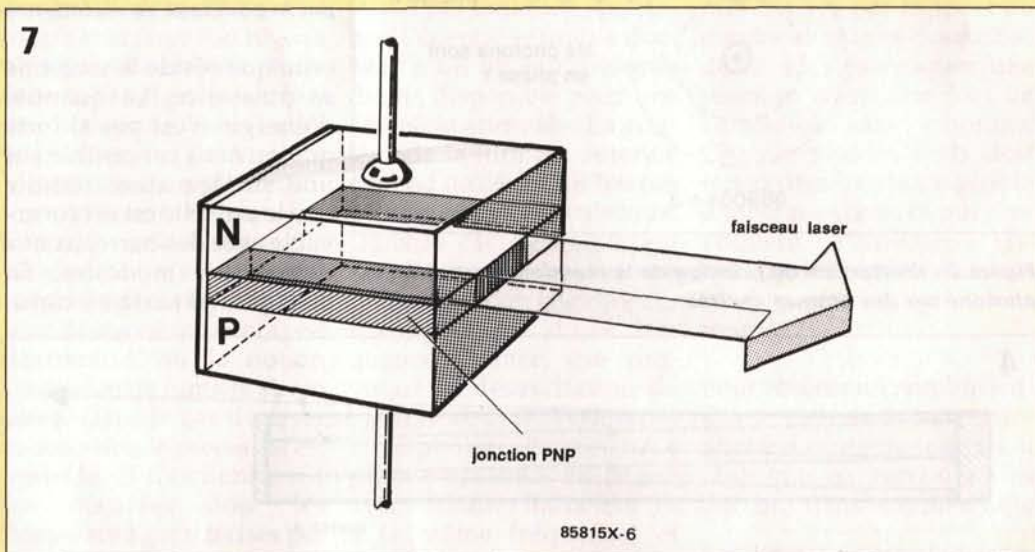
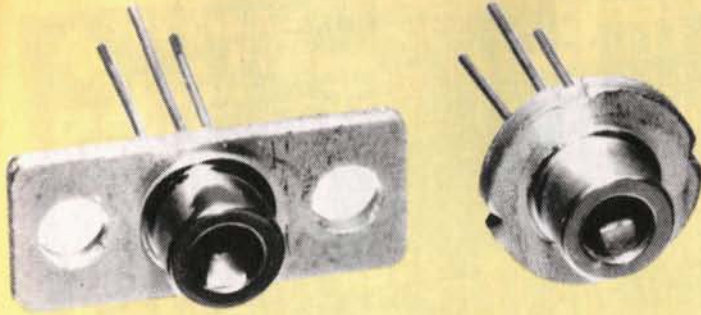


Figure 7- Illustration du principe du laser à semi-conducteur. Ici les électrons ne se contentent plus de changer de niveau, ils se déplacent d'un atome à l'autre.

* un tel dispositif est connu sous le nom de cellule de Kerr



diodes ordinaires polarisées en sens direct. Il circule un courant ; une chute de tension a lieu entre les bornes du composant : ce sont entre 2 et 3 V pour une diode laser. Une partie de l'énergie est utilisée pour pomper des électrons dans la jonction PN à un niveau d'énergie stable, ou, plus exactement, dans la bande de conduction. De là, les électrons pourront retourner à la bande de valence et, ce faisant, ils émettront une lumière dont l'intensité sera proportionnelle à l'intensité du courant direct. Ceci est un avantage considérable des lasers à semi-conducteurs sur les autres types de laser, puisqu'il est permis de moduler le faisceau laser.

Au début, on ne savait pas trop quoi faire du laser. Depuis, on a compris tout l'intérêt de cette lumière qui peut être acheminée en faisceau pratiquement sans pertes, vers l'utilisation. Les applications sont désormais innombrables.

On utilise des lasers à rubis pour photographier des objets très lointains (satellites distants de 1500 km !), pour asservir des engins de guerre (l'IDS de Reagan), des machines de forage (le tunnel sous la Manche*), mais aussi plus modestement, dans d'innombrables laboratoires, on utilise de petits lasers pour les réglages et les alignements optiques ou mécaniques. Les lasers sont utilisés à grande échelle désormais pour les travaux de soudage

et d'usinage de matériaux aussi divers que l'acier et les étoffes. On utilise aussi le laser, par exemple, pour l'équilibrage des pièces tournantes : un laser commandé en mode déclenché, usine la pièce pendant qu'elle tourne !

On a déposé sur la Lune des cataphotes (comme ceux du garde-boue arrière de votre vélo) que des lasers prennent pour cible depuis la



Terre afin d'établir des mesures de distance et de localisation d'une précision inconnue jusqu'alors. Il faudrait encore évoquer toutes les applications du laser en médecine, en micro-chirurgie, en biologie, en spectroscopie, en interférométrie... Une énumération que nous gâcherions en évoquant les pitreries de J.-M. Jarre !

85815

* ces lignes ont été écrites le 1^{er} décembre 1990, au moment précisément où la radio annonçait le gigantesque courant d'air qui accompagna le perçage du tunnel de service

Grâce à notre bouchon miracle, dimensions 26 cm de diamètre d'ouverture, 17 cm de hauteur, poids + de 2,5 kg (qui comprend plus de 1 000 COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES) vous avez immédiatement sous la main, une grande variété de composants professionnels miniaturisés aux indices de tolérance les plus rigoureux, à récupérer précieusement pour vos montages de haute technicité. Voici la liste.



Dans la limite des stocks disponibles

RÉSISTANCES AJUSTABLES
COMMUTATEURS A CLAVIER
RÉSISTANCES COUCHE CARBONE
RÉSISTANCES COUCHE MÉTALLIQUE
RÉSISTANCES VITRIFIÉES
TRANSISTORS
CIRCUIT INTÉGRÉS
POINTS REDRESSEURS
TRANSFORMATEURS

DIODES
DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES
3 MM ET 5 MM
CONDENSATEURS CHIMIQUES
CONDENSATEURS NON POLARISÉS
VISSERIES
CÂBLES
SUPPORTS POUR CIRCUITS
INTÉGRÉS

RÉGULATEURS
RELAIS
POTENTIOMÈTRES
FUSIBLES
CONDENSATEUR AJUSTABLE
BARRETTES A SOUDER
MOTEUR MINIATURE
BORNIERES
COSSES

DIFECO SARL - B.P. 60 - 35404 SAINT-MALO Cedex
Pour toute commande joindre le règlement - Port PTT à votre courrier soit 159^F

SERVICE DES PLATINES PUBLITRONIC

Les platines sont gravées, percées, étamées et sérigraphiées.

Platines d'expérimentation ELEX

Format 1 : 40 mm x 100 mm	23,00 FF
Format 2 : 80 mm x 100 mm	38,00 FF
Format 3 : 160 mm x 100 mm	60,00 FF

ELEX n°5 novembre 1988

EPS 886087	Traceur de courbes de transistors	47,60 FF
EPS 34207	Testeur de thyristors et de triacs	28,60 FF

ELEX n°7 janvier 1989

EPS 50389	Interphone à 2, 3 ou 4 postes	16,00 FF
-----------	-------------------------------	----------

ELEX n°17 décembre 1989

EPS 86799	Testeur d'amplis op	30,45 FF
EPS886077	Mini-clavier	120,60 FF

ELEX n°22 mai 1990

EPS 86765	modules de mesure : l'afficheur	43,00 FF
-----------	---------------------------------	----------

ELEX n°23 juin 1990

EPS 86766	modules de mesure : l'atténuateur	34,00 FF
-----------	-----------------------------------	----------

ELEX n°24 juillet 1990

EPS 86767	modules de mesure : le redresseur	55,60 FF
-----------	-----------------------------------	----------

ELEX n°25 septembre 1990

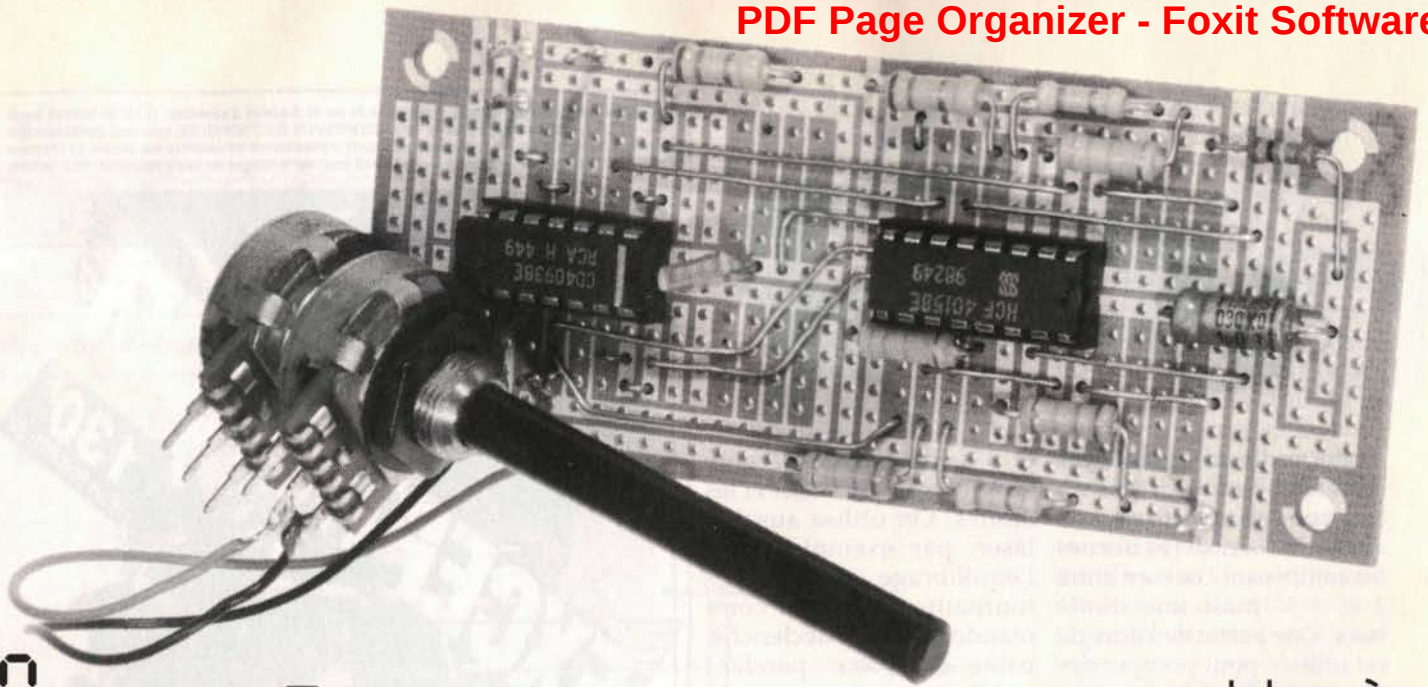
EPS 86768	modules de mesure : A et Ω-mètre	47,00 FF
-----------	----------------------------------	----------

ELEX n°25 octobre 90

EPS 886126	modules de mesure : spécial auto	49,00 FF
------------	----------------------------------	----------

ELEX n°28 décembre 90

EPS 87636	commande de train électrique	51,00 FF
-----------	------------------------------	----------



un registre à décalage bouclé sur lui-même

Qu'est-ce qu'ils lui trouvent donc de si particulier, à ce fichu sinus ? Ils n'en ont que pour lui, tous ces électroniciens, ces techniciens, ces spécialistes du poudrière de distorsion. Qu'a-t-elle donc de si extraordinaire, cette forme d'onde, pour qu'ils ne veuillent que d'elle pour l'injecter à leurs appareils de mesure ? « Pur sinus ! et alors ? »

Ne nous énervons pas. Il n'est pas facile d'expliquer cela en deux mots et en termes simples, à moins de brandir des épouvantails du genre *série de Fourier* ou $\Omega\phi$ (prononcer : oméga phi). Nous allons essayer de satisfaire votre curiosité en douceur. C'est pourquoi le thème du sinus sert de *leitmotiv* à plusieurs articles publiés par ELEX notamment le mois dernier ainsi que dans ce numéro-ci. Vous avez vu la page de couverture bien

SINUS

sûr, mais avez-vous jeté un coup d'oeil à la bande dessinée de ce mois ? Pas simple... et pourtant la caractéristique essentielle d'une onde sinusoïdale est précisément sa simplicité. C'est même le mouvement périodique le plus simple qui soit, et la fonction sinusoïdale est à la base de tous les mouvements vibratoires. Toutes les ondes non sinusoïdales peuvent être considérées comme un conglomerat d'ondes sinusoïdales dont les fréquences sont un multiple entier d'une même onde

NUMÉRIQUE

elle-même sinusoïdale, appelée la fondamentale. Même les bruits et les timbres les plus tordus ne sont jamais qu'une superposition de sinusoïdes de différentes amplitudes. Qu'il y ait dix, cent, mille ou dix mille sinusoïdes en même temps ne change rien au principe.

C'est donc la simplicité de la sinusoïde qui lui vaut son

succès. C'est elle qui permet d'étudier le comportement d'un circuit à une fréquence

donnée : injectez la sinusoïde à l'entrée d'un amplificateur et relevez le signal à la sortie. En le comparant à l'onde d'entrée vous mettez en lumière les déformations éventuelles provoquées par un ou plusieurs étages de l'appareil. L'avantage de la sinusoïde est de permettre un diagnostic précis pour une fréquence donnée et cette fréquence seulement. Si vous injectez des ondes de forme plus complexe, votre signal d'entrée comportera par définition plusieurs fréquences superposées qui en constituent le spectre harmonique et en déterminent le timbre. Il sera difficile de distinguer dans le signal de sortie celles des composantes harmoniques qui auront été déformées. Voilà en gros pourquoi l'onde sinusoïdale est LA référence.

Les astuces pour s'en faire une représentation « concrète-

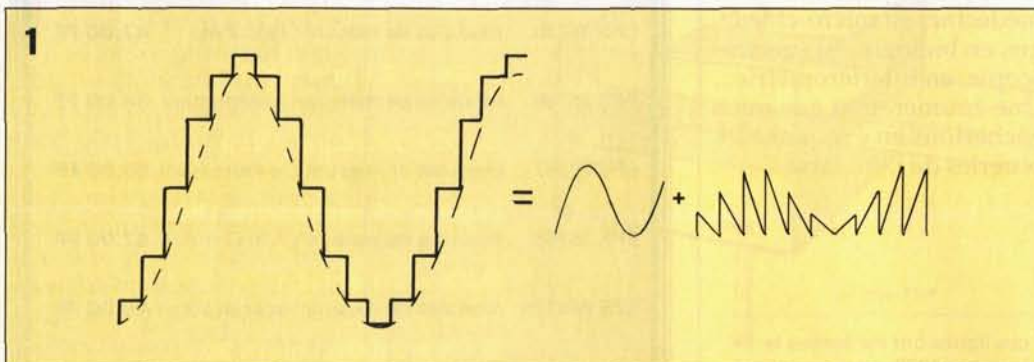


Figure 1 - La sinusoïde obtenue par juxtaposition d'échantillons de tension continue peut se décomposer en une sinusoïde pure doublée d'une tension en dents de scie de la fréquence des échantillons. L'écart important entre les deux fréquences facilite le filtrage.

te » sont nombreuses. Rési a construit pour Transi, un pendule qui oscille au-dessus d'une feuille de papier. Celle-ci se déroule et le pendule y trace une ligne... sinusoïdale, bien sûr. Une autre manière de représenter la sinusoïde est de s'imaginer la grande roue d'une foire. Si l'on se place de côté, on voit la roue tourner et avec elle les balancelles. Si l'on se place derrière la grande roue ou devant, peu importe pourvu que l'on soit dans l'axe, on ne perçoit plus le mouvement de rotation, mais le mouvement ascendant puis descendant des balancelles. L'observateur attentif remarquera une accélération apparente du mouvement au milieu de la course verticale, tandis qu'il lui semblera que les nacelles ralentissent quand elles arrivent en haut ou en bas. Ceci correspond à l'arrondissement de la courbe sinusoïdale quand elle est tracée sur le papier. Ce tracé sinueux évoque d'ailleurs bien le mouvement de va-et-vient d'un balancier qui lui aussi ralentit avant de changer de direction.

Venons-en à présent à la source de signaux sinusoïdaux en électronique. Il n'est pas si facile que ça de produire une sinusoïde pure avec des circuits électroniques. Ceux-ci ont une fâcheuse tendance à produire des harmoniques. Un des circuits analogiques les plus répandus pour produire ce genre de signaux est l'oscillateur en pont de Wien dont nous avons déjà parlé. Il n'est pas possible de le faire osciller dans de bonnes conditions à une fréquence basse. L'augmentation du taux de contre-réaction, nécessaire pour entretenir l'oscillation, déforme l'onde. Une autre méthode consiste à filtrer un signal carré ou triangulaire pour le débarrasser de ses harmoniques et ne garder que la fondamentale, sinusoïdale. La solution

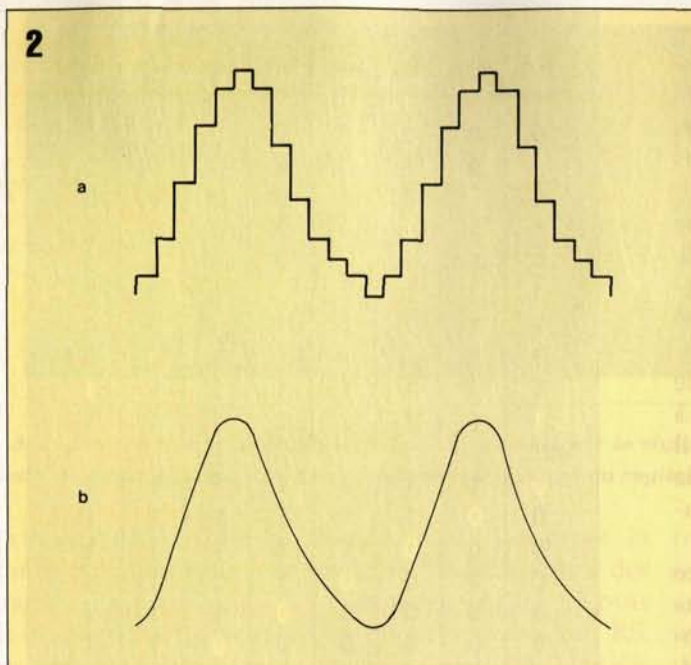


Figure 2 - Si la progression des valeurs numériques n'épouse pas parfaitement celle des échantillons de tension analogique, la forme d'onde résultante n'est pas un sinus.

n'est pas élégante, d'autant plus qu'il faut un filtre dont la fréquence de coupure soit synchronisée avec celle de l'oscillateur. Et ça, ce n'est pas commode...

Au cours des dix dernières années, l'électronique numérique a permis d'attaquer le Mont Sinus par un autre versant, celui de la conversion numérique/analogique. Nous voilà enfin dans le vif du sujet. Restons-y ! Le principe de la conversion analogique/numérique con-

siste à relever la valeur instantanée d'une tension et de la stocker sous forme de donnée numérique. Comme la tension varie, il importe de suivre ses variations. Aussitôt la conversion achevée, il faut en faire une autre. La valeur de la tension a changé, le nombre correspondant sera donc différent du premier. Il s'agit maintenant de suivre le plus vite possible l'évolution de la courbe, afin que la progression des nombres rende

compte fidèlement de la progression de la tension électrique.

Comme nous considérons une onde sinusoïdale périodique, il suffit de connaître la progression de la tension pendant une seule alternance, puis de la reproduire ensuite. Une fois que nous avons établi la suite des nombres dont la progression rend compte de celle de la tension au cours d'une seule alternance à une fréquence donnée, nous pouvons ranger ces nombres dans une mémoire. Ensuite, il suffit de les lire et de les convertir un à un en une tension électrique d'amplitude proportionnelle. On reconstitue ainsi la tension analogique à partir de données numériques.

Même sans loupe, on voit bien que la tension ainsi obtenue ne progresse pas très... progressivement, mais saute au contraire d'une valeur numérique « continue » à la suivante. D'où l'importance de faire se succéder les échantillons numériques à la plus grande vitesse possible. Plus les « marches » de l'escalier sont larges, plus elles seront hautes. Moins la conversion est rapide, plus elle est imprécise. Plus les échantillons numériques sont nombreux, plus il faut les relire rapidement, et plus il faut de mémoire pour les stocker. Il s'agit donc, une fois de plus, de trouver un juste milieu.

La pratique montre que des compromis satisfaisants peuvent être obtenus avec des moyens modestes. Prenons une oscillation sinusoïdale que nous découpons en 16 tranches. La fréquence à laquelle se succéderont ces tranches est donc seize fois supérieure à la fréquence de l'onde sinusoïdale elle-même. C'est ce que montre la figure 1 ci-contre. On y voit l'onde sinusoïdale en pointillés, et les marches d'escalier obtenues avec la succession d'un certain nombre de

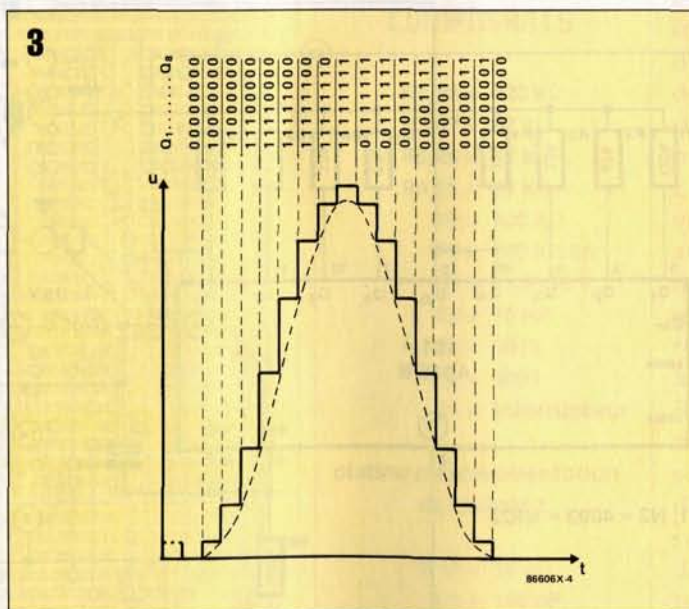


Figure 3 - Le passage par zéro de l'onde sinusoïdale correspond à l'instant où le registre à décalage contient autant de 1 que de 0 (voir page suivante)

valeurs de tension que l'on fait se succéder à une cadence appropriée. Cette fréquence de succession des échantillons numériques vient se superposer à la sinusoïde sous la forme d'une onde en dents de scie. Si le rapport entre les deux fréquences est de 1:16 comme nous l'avons dit, nous aurions 16 kHz pour la dent de scie si la sinusoïde est à 1 kHz. Dans un tel cas, il suffit d'un filtre très simple pour se débarrasser des parasites de conversion. Plus l'écart est grand entre la fréquence utile et la plus basse des fréquences à supprimer, plus il est aisé de faire le tri. Le problème devient insoluble quand les fréquences se rapprochent. Or, c'est ce qui arrive quand la progression des échantillons numériques n'épouse pas celle de l'onde à produire, comme le montre la figure 2. Le nombre de marches n'a pas changé, mais l'onde n'est plus aussi parfaitement sinusoïdale qu'elle devrait

l'être du fait du décalage de certaines marches. Il importe donc de surveiller la précision de la conversion des échantillons numériques en tensions analogiques. « Mais qui va s'en occuper ? » demande une voix angoissée.

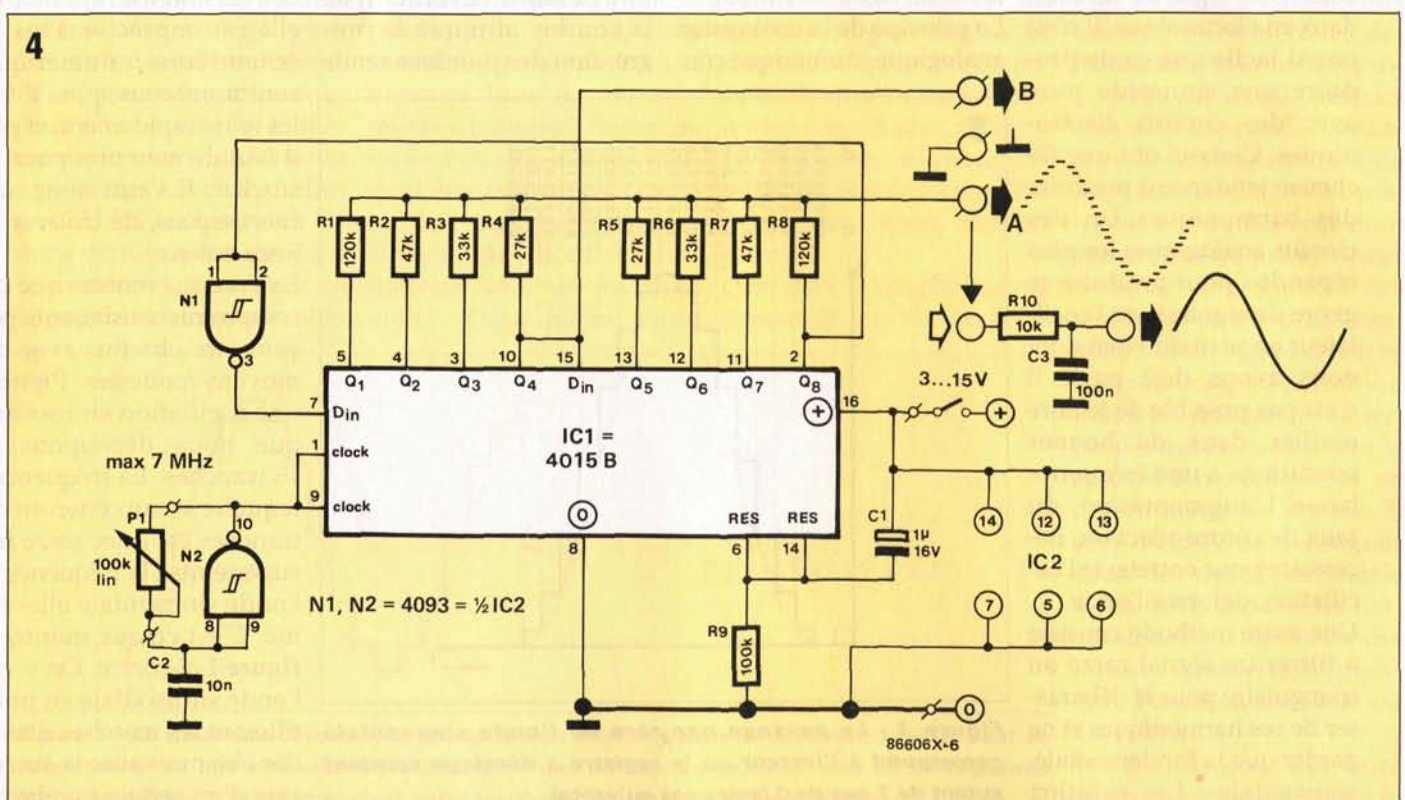
« L'ordinateur... » répondit l'écho. Oui, le microprocesseur du lecteur de disques compacts TONY par exemple, ou celui du clavier YenAMAHAr ou encore du synthé de musique : gROLAND. Même dans le saxophone MIDI de

marque kAiKAI il y a un processeur. Ils sont partout et ils s'en tirent plutôt bien, les μP . Ces appareils produisent tous des sons selon un principe qui s'apparente à celui de notre générateur (patience, on y arrive). Ici, nous n'utiliserons pas de microprocesseur, mais un registre à décalage, un composant qui n'est plus tout à fait un inconnu des lecteurs d'ELEX.

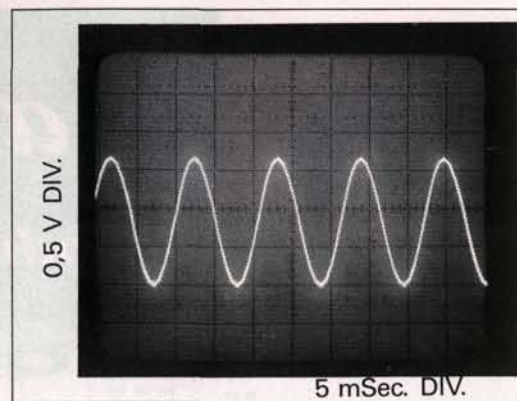
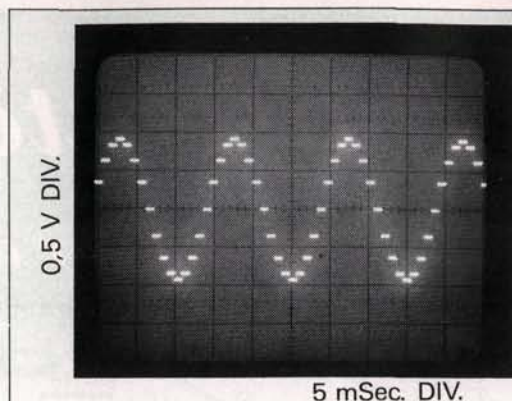
Le registre à décalage utilisé dans le générateur de la figure 4 peut-être comparé à un tuyau transparent, ouvert aux deux extrémités, dans lequel on ne cesse d'engager des billes d'un côté pendant qu'elles en ressortent de l'autre. Les unes sont noires, ce sont les niveaux bas, les autres sont blanches, ce sont les niveaux hauts. Chaque nouvelle bille engagée à l'entrée en chasse une autre à l'extrémité opposée. De l'extérieur, nous « voyons » les billes contenues dans le tube. Sur le schéma du registre à

	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1	1	1
etc...	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 1 - Deux opérateurs NAND, un registre à décalage et quelques composants passifs ! Et avec ça on fait un générateur de sinus numérique. La progression des valeurs des résistances R1 à R8 correspond au saut d'une valeur numérique discrète à la suivante comme indiqué sur la figure 4. Le signal au point B est un signal carré en phase avec les passages par zéro de la sinusoïde. L'amplitude du signal de sortie filtré par R10 et C3 est égale à 70% de celle du signal au point A.



décalage, ce sont les sorties Q1 à Q8 qui nous montrent les billes. Selon la configuration de ces sorties, nous « voyons » comment s'agencent les niveaux 1 et 0. Au rythme du signal d'horloge appliqué à la broche 9 d'IC1, le niveau logique présent sur la broche 7 du registre à décalage est chargé, un peu comme si une nouvelle bille était introduite dans le tube. Imaginons par exemple que le niveau logique sur cette broche soit haut en permanence. Avec chaque impulsion d'horloge appliquée à la broche 9, le bit 1 de la broche 7 va progresser de sortie en sortie, comme le montre le **tableau** ci-contre pour former un mot binaire de plus en plus grand. À l'inverse, quand l'entrée broche 7 se voit appliquer un niveau logique bas, le mot binaire diminue au fur et à mesure que le zéro progresse de sortie en sortie. C'est ce que montre la deuxième moitié du tableau. Sur le schéma de notre générateur, les sorties sont toutes interconnectées par un réseau de résistances. Quand une sortie est au niveau haut, elle fournit un courant



Les deux photographies d'écran d'oscilloscope montrent le signal sinusoïdal sans filtrage (à gauche) et après suppression de la fréquence d'horloge du registre à décalage (à droite).

qui circule à travers cette résistance et donne naissance à une tension qui s'ajoute à celle qui règne au même instant sur les autres résistances. Plus il y a de sorties au niveau logique haut, plus la tension globale est forte. Si toutes nos résistances avaient la même valeur, la progression d'une marche à l'autre de notre forme d'onde en escalier serait linéaire. Or nous voulons obtenir une onde sinusoïdale dont nous savons qu'elle ne progresse pas de façon uniforme : la pente s'arrondit quand on approche des crêtes, puis elle devient de plus en plus raide vers le passage par zéro de l'alter-

nance. C'est pourquoi la progression de la valeur des résistances R1, R2, R3 puis R4, et, en sens inverse, R5, R6, R7 et enfin R8, a été déterminée de façon à épouser celle d'une onde sinusoïdale.

De cette façon, nous obtenons une demi-période qui ne commence pas, vous l'aurez remarqué, au passage par zéro, mais avec un décalage de quart de période. Le moment est venu de répéter l'opération, en l'inversant, afin d'obtenir un cycle complet. Quand la dernière sortie, c'est-à-dire Q8 change de niveau logique (une fois dans le sens 1 → 0, la fois suivante dans le sens 0 → 1) l'en-

trée du registre à décalage se voit appliquer, par l'intermédiaire de N1, le niveau inverse. Ainsi le registre à décalage, après s'être rempli bit par bit de 0 se remplit-il inexorablement de 1... puis de 0 etc (cf. **figure 3**). Avouez qu'en électronique les choses apparemment les plus complexes prennent parfois une tournure déconcertante de simplicité.

Contrairement à ce qui se passe avec les oscillateurs analogiques, la tension de sortie de ce circuit est constante même quand la fréquence baisse. Le facteur déterminant est bien sûr la tension d'alimentation, qui, pour les circuits CMOS, peut être comprise entre 3 et 15 V. Quelle marge !

Les valeurs de composants P1 et C2 qui déterminent la fréquence de l'oscillateur d'horloge ont été calculées de telle façon que l'onde sinusoïdale reste dans le domaine des fréquences audio. En modifiant leur valeur, vous pouvez diminuer ou augmenter considérablement la fréquence (jusqu'à environ 7 MHz). Nous finirons par une remarque sur le filtre de sortie composé de R10 et C3, composants optionnels, à l'aide duquel on supprime la composante d'horloge dans le signal de sortie. Il faut tenir compte de la diminution de l'amplitude du signal de sortie à mesure que la fréquence de l'oscillateur augmente.

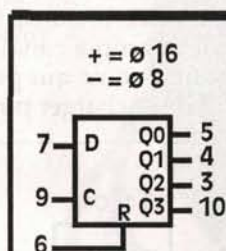
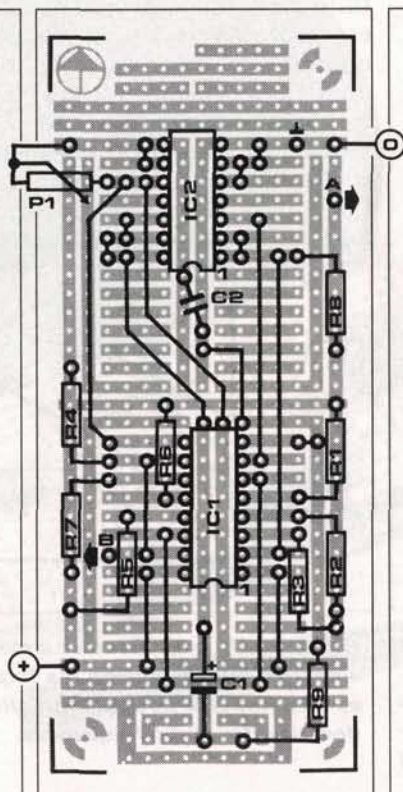


DIAGRAMME
FONCTIONNEL
DU 4015



LISTE DES COMPOSANTS

- R1, R8 = 120 kΩ
- R2, R7 = 47 kΩ
- R3, R6 = 33 kΩ
- R4, R5 = 27 kΩ
- R9 = 100 kΩ
- P1 = 100 kΩ lin.
- C1 = 1 μF/16 V
- C2 = 10 nF
- IC1 = 4015
- IC2 = 4093
- S1 = interrupteur

platine d'expérimentation
de format 1

- *R10 = 10 kΩ
- *C3 = 100 nF

* cf. texte



amplificateur

à modulation de largeur d'impulsion

la quadrature du sinus

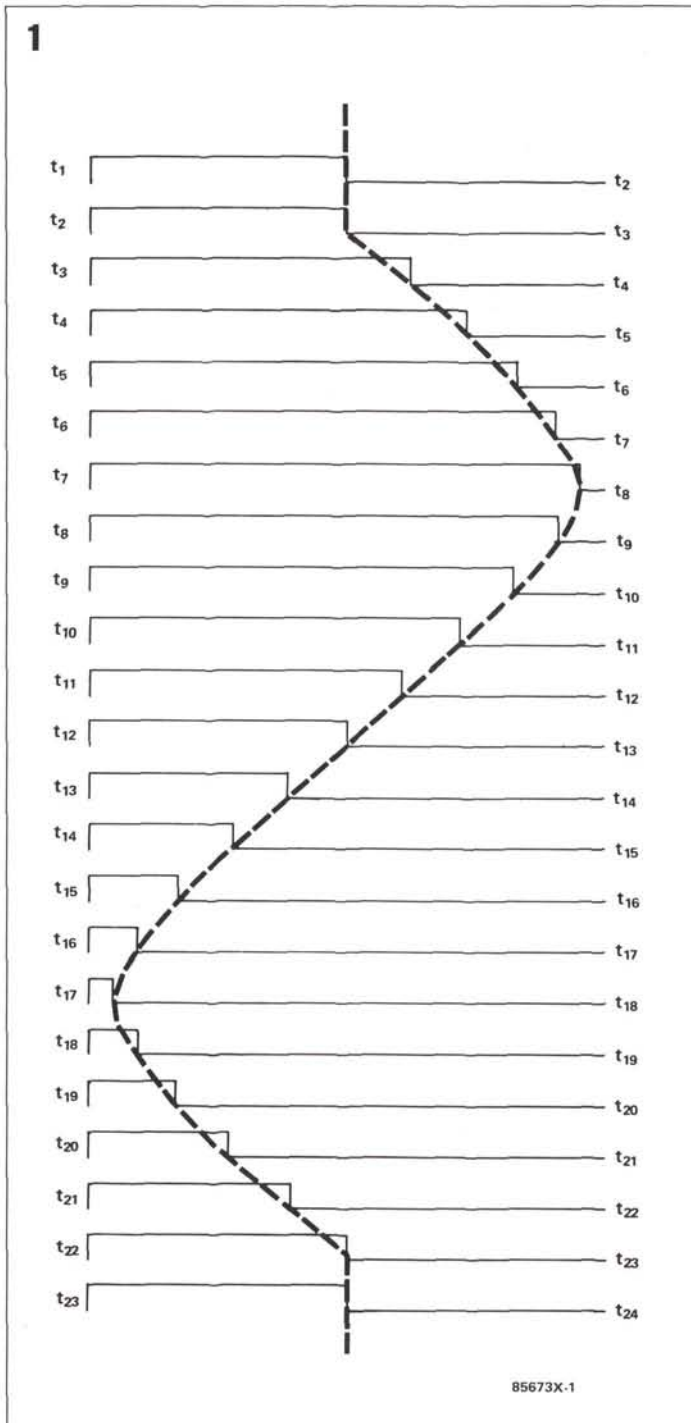


Figure 1 - La fréquence des impulsions est invariable. Il s'agit d'une porteuse modulée. La largeur des impulsions est asservie aux variations de l'amplitude du signal analogique modulateur. En sortie de l'amplificateur à modulation de largeur d'impulsions, c'est un filtre passe-bas qui extrait le signal amplifié du signal logique.

La modulation de largeur d'impulsion n'est pas une notion nouvelle pour ceux d'entre vous qui s'initient à l'électronique avec ELEX. Nous en avons déjà fait mention à propos d'un circuit publié dans le n°24 p.16 : le bien nommé *giga-phone*. Il était logique que nous revenions sur ce sujet dans le cadre d'un numéro où nous jetons des ponts entre l'analogique et le numérique. La figure 1 ci-contre illustre le principe de la MLI. Le signal sinusoïdal agit sur un signal carré de fréquence fixe de façon à moduler son rapport cyclique, c'est-à-dire la durée de ses impulsions. Le rapport cyclique du signal logique est la mesure de l'amplitude instantanée du signal sinusoïdal. Si nous considérons par exemple l'instant t_7 , nous observons que l'amplitude de l'onde sinusoïdale est presque à sa valeur de crête de polarité positive : aussi l'impulsion est-elle très longue par rapport à la pause. A l'instant t_{17} en revanche, l'onde atteint sa

valeur de tension la plus négative ; maintenant les proportions sont inversées : l'impulsion elle-même est très brève, mais la pause dure beaucoup plus longtemps. Quand la tension alternative passe par zéro, le rapport cyclique est neutre : 50% d'impulsion et 50% de pause (t_1, t_2, t_{22}, t_{23}). C'est ainsi que la succession rapide de signaux numériques à MLI des lignes t_1 à t_{24} produit une onde sinusoïdale. C'est simple.

un amplificateur qui oscille

Le synoptique de la figure 2 et le schéma de la figure 3 confirment la simplicité du circuit. Commençons par considérer qu'il n'y a pas de signal à l'entrée. Après la mise sous tension, C2 n'est donc pas chargé. La sortie de N1 est au niveau bas, de même que la sortie commune aux tampons N2 à N6. Dans ce cas, T2, le transistor à effet de champ à canal P, est conducteur, ce qui permet à C2 de se charger puis-

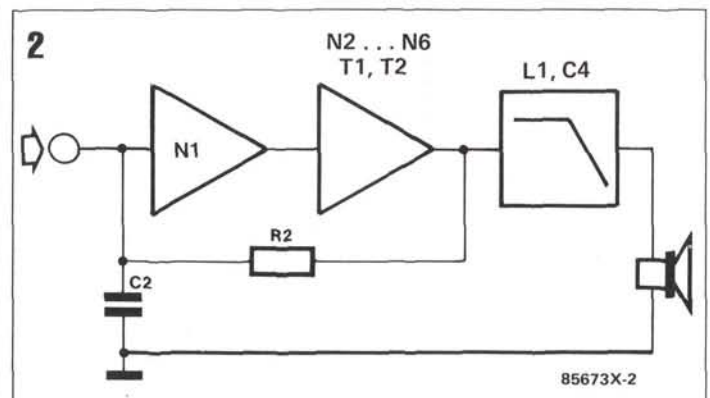


Figure 2 - Un amplificateur à modulation de largeur d'impulsions produit lui-même les impulsions (dont la fréquence exacte importe peu, puisqu'elle est située loin au-delà du domaine des audio-fréquences).

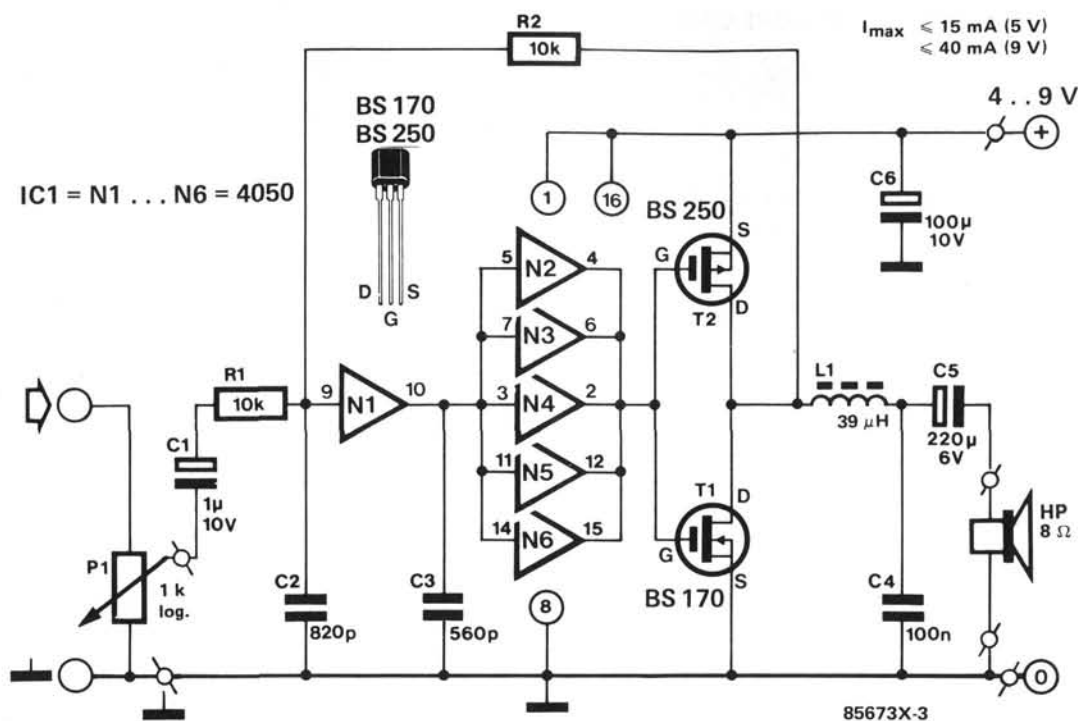


Figure 3 - Génialement simple ! Le modulateur de largeur d'impulsion fait appel à des circuits logiques utilisés en mode linéaire. Le premier tampon voit son seuil de commutation varier en fonction de la valeur instantanée de l'amplitude du signal d'entrée. Les deux FET font office de commutateur à seuil fixe C'est à travers eux que C2 se charge et se décharge tour à tour.

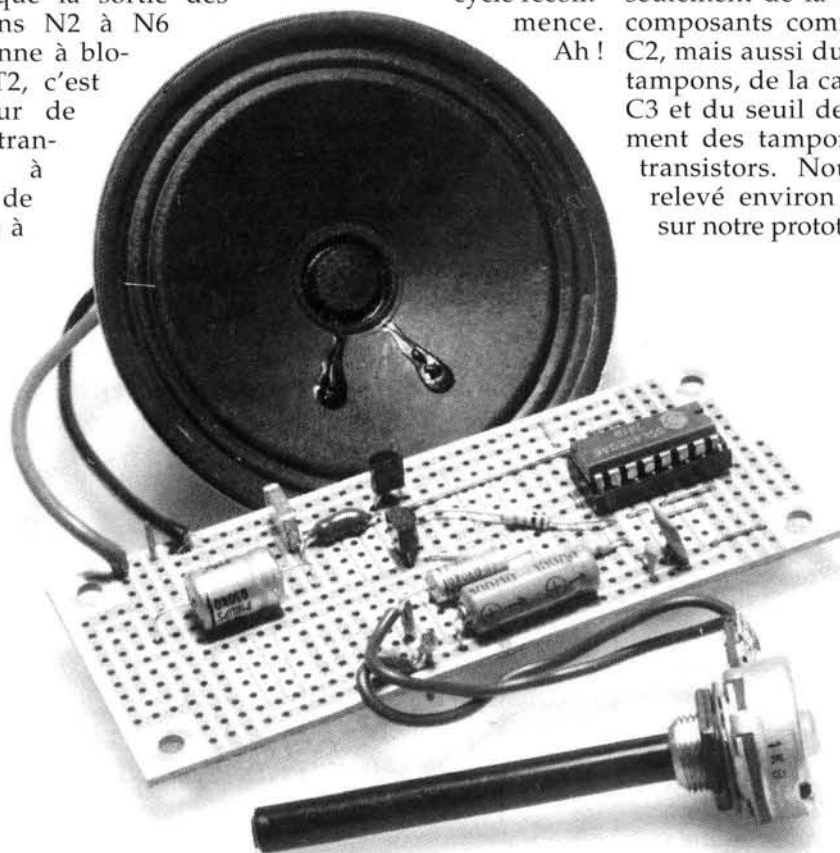
qu'un courant circule à présent depuis la ligne d'alimentation à travers T2 et R2 jusqu'à ce condensateur. Une fois que le potentiel sur l'armature positive de C2 atteint un niveau suffisant pour que la sortie des tampons N2 à N6 parvienne à bloquer T2, c'est au tour de T1, le transistor à effet de champ à

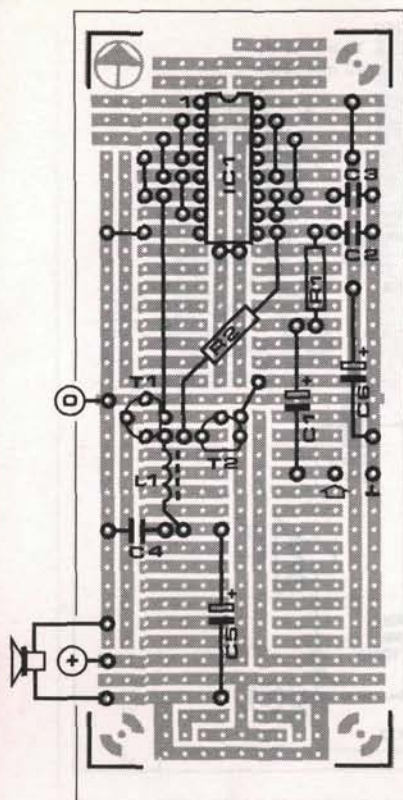
canal N, de conduire. Maintenant le condensateur C2 se décharge à travers R2 et T1 vers la ligne de masse. Quand C2 est déchargé, T1 se bloque et c'est de nouveau T2 qui conduit. Le cycle recommence.

Ah !

Vous dites que c'est un oscillateur ? Eh bien, oui, c'est un oscillateur, et il produit des impulsions dont la fréquence ne peut être indiquée avec précision, car elle dépend non seulement de la valeur de composants comme R2 et C2, mais aussi du gain des tampons, de la capacité de C3 et du seuil de basculement des tampons et des transistors. Nous avons relevé environ 500 kHz sur notre prototype.

Nous voici donc en présence de nos impulsions, il reste à en moduler la largeur. C'est le signal BF à amplifier qui va s'en charger. La tension d'entrée, dosée par P1 et débarrassée de sa composante continue par C1, est appliquée à l'entrée du tampon N1 dont elle va déplacer le seuil de commutation en fonction de sa propre amplitude. La fréquence d'oscillation ne change pas, puisque nous n'agissons pas sur les seuils de basculement des transistors, mais les impulsions seront allongées ou raccourcies en fonction de la polarité du signal d'entrée. Sur la figure 1 nous avons indiqué ce qui se passe avec une onde sinusoïdale. En pratique, la progression de la modulation de la largeur des impulsions est régulière, contrairement à ce que laisse supposer la schématisation de la figure 1 et la grossièreté des pas de l'allongement ou du raccourcissement des impulsions. Il s'agit néanmoins d'un signal logique qu'il nous appartient de ramener dans le domaine de l'analogique, maintenant qu'il a été amplifié. Ce sont R1 et C4





Liste des composants

R1, R2 = 10 k Ω
 P1 = 1 k Ω log.
 C1 = 1 μ F/10 V
 C2 = 820 pF
 C3 = 560 pF
 C4 = 100 nF MKT
 C5 = 220 μ F/6 V
 C6 = 100 μ F/10 V

L1 = 39 μ H

T1 = BS170

T2 = BS250

IC1 = 4050

Divers :

HP = mini HP 8 Ω

pile de 4,5 V ou 9 V
 platine d'expérimentation
 de format 1

support de circuit intégré à
 16 broches

qui forment le filtre passe-bas qui extrait le signal modulé (la sinusoïde de la figure 1 par exemple) du signal modulé (les impulsions de fréquence invariable).

Le condensateur C5 débarasse le signal de sortie de sa composante continue de sorte que le haut-parleur soit attaqué par une tension purement alternative, qui n'est autre que le signal d'entrée amplifié...

la réalisation

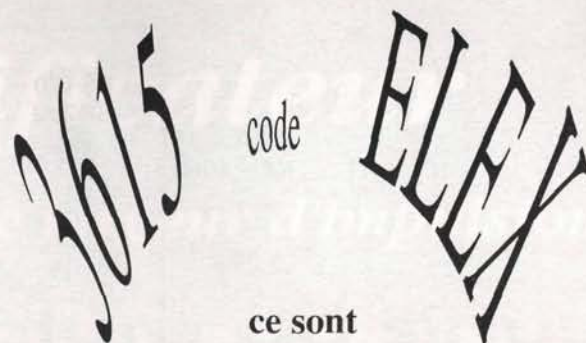
La tension d'alimentation de ce circuit pourra être comprise entre 4 et 9 V. On pourra donc utiliser, pour l'alimenter, tout aussi bien des piles plates de 4,5 V que des piles compactes de 9 V. En l'absence de modulation, le courant est de 4 mA environ sous 4,5 V. La capacité d'une pile plate suffira donc largement pour des essais prolongés. La puissance de sortie maximale n'a rien de renversant, puisqu'elle n'est que 0,3 W sous 9 V. Le montage mérite néanmoins qu'on s'y intéresse. D'ailleurs, pour le monter, il suffit d'une platine d'expérimentation de petit format, de quelques composants faciles à trouver et bon mar-

ché, et d'une dose raisonnable de patience et d'habileté. Essayez-le ! Vous ne risquez pas grand-chose, mais serez peut-être surpris du résultat que vous obtiendrez en y branchant par exemple la sortie de votre baladeur.

Un détail pratique : la valeur exacte de la self d'amortissement L1 n'est pas critique. Si vous ne trouvez pas de bobine de 39 μ H, vous pourrez peut-être récupérer une petite sur un vieux poste de radio, avec un noyau de ferrite d'une dizaine de millimètres ou même plus long. Si vous avez sous la main un petit barreau de ferrite (environ 1 cm), vous pouvez y enrouler 25 à 30 spires de fil de cuivre émaillé fin, et vous aurez une self convenable.

Le montage fonctionne aussi si vous prenez une bobine à air pour L1 : enroulez 50 spires de fil de cuivre sur un crayon à papier, et le tour est joué. Ne vous étonnez pas, dans ce cas, que la radio ne votre baladeur ne fonctionne plus comme il faut : du fait de l'absence de noyau dans la bobine, le fil de liaison de l'amplificateur au HP rayonne comme une antenne d'émission.

85673



ce sont

le service abonnements,
 le catalogue PUBLITRONIC
 (livres et circuits imprimés),
 la base de données de
 composants,
 le sommaire,
 les jeux.

C'est aussi
 la **TABLE DES**
MATIÈRES
 où figurent tous
 les articles parus dans
ELEX

depuis sa création en 1988,
 regroupés par thèmes :

RÉALISATIONS

- 1 - mesure, labo
- 2 - domestique
- 3 - HF & Radio
- 4 - photo
- 5 - audio & musique
- 6 - auto, moto & vélo
- 7 - jeux, bruitage et modélisme

RUBRIQUES & SÉRIES

- 8 - théorie
- 9 - composants
- 10 - expérimentation
- 11 - les tuyaux d'ELEX
- 12 - périscope
- 13 - divers
- 14 - bande dessinée :
 les bidouilles de Rési & Transi

la technique du disque audio numérique

Laser, laser, laser... on n'entend plus parler que de lui ! Jusque dans les supermarchés où l'on rencontre des gens qui poussent leur caddie vers les caisses à la sortie en discutant de convertisseur analogique-numérique et d'*oversampling* après avoir longuement hésité entre un modèle en promotion à tant de bits, mais sans fonction « *shuffle* », et tel autre qui corrige mieux les erreurs et d'ailleurs « il rend mieux dans le classique » et « la télécommande tient mieux dans la main... ».

Que s'est-il donc passé depuis 1983, date de l'apparition du disque compact, pour que le diamètre de la tranche de musique en conserve passe brusquement de 30 cm à 12 cm et que nous nous sentions tous obligés de renouveler notre discothèque ?

« Brusquement », c'est beaucoup dire, car les années de mise au point ont été longues, de même que les tractations commerciales à l'échelle mondiale (tous les constructeurs ont adopté le même système, fait unique dans l'histoire des techniques audio-visuelles !). Il est permis de douter du fait que la technique elle-

même a été le facteur déterminant de ce coup commercial extraordinaire à l'échelle planétaire. N'empêche que cette technique est passionnante et méritait qu'on y jette un élexéen coup d'oeil.

un disque rond, rond, rond

Si l'on vous dit : « Charles Cros », vous répondrez « hareng saur », mais si l'on vous dit : « Berliner, 1887 », que répondrez-vous ? Ce cher Émile Berliner est un inventeur qui dès cette date utilisait **un sillon sur un disque** pour y graver des vibrations sonores, alors que d'autres inventeurs, comme Edison, préféraient le cylindre pour support de gravure. Malgré les poussières et malgré les rayures et tous les inconvénients qu'on leur a connus, les disques « analogiques » auront donc tenu près d'un siècle avant de céder la place au disque « numérique » sous nos yeux, nos oreilles et nos portefeuilles ébahis, en l'espace de moins d'une décennie. Et encore, diront certains, le disque numérique est **encore** un disque, avec tout ce que cela

implique d'inconvénients mécaniques. La révolution numérique sera achevée pour de bon — c'est le cas de le dire — le jour où les disques s'arrêteront et où les informations seront stockées dans des circuits intégrés que l'ordinateur pourra lire directement, sans le truchement d'une mécanique quelconque, fût-ce un rayon laser. Tiens, le revoilà, celui-là...

Nul n'ignore plus aujourd'hui que le faisceau laser, pour impressionnant qu'il puisse être, ne joue qu'un rôle d'intermédiaire dans la technique du disque audio ou vidéo numérique. L'information codée sous forme de séries de nombres est stockée sur le disque compact sous une forme que le rayon permet de lire, tout comme l'aiguille du phonographe permettait de lire sur le disque analogique les variations d'amplitude du sillon gravé dans le vinyle.

Alors que tout le monde sait en gros de quoi il s'agit, on a pourtant bien du mal à comprendre comment le rayon peut lire des nombres (si

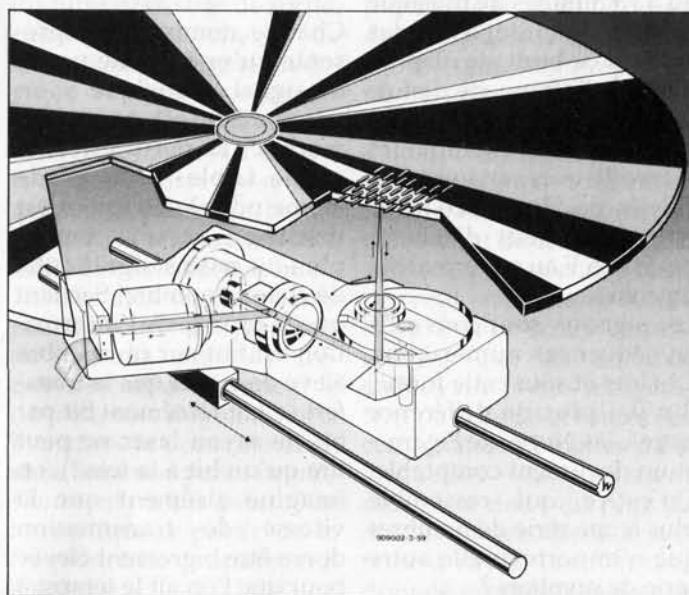
tant est que l'on ait réussi à comprendre comment des ondes sonores ont pu être transformées en suites de nombres). C'est donc sur ce problème particulier que nous vous proposons de nous pencher.

Commençons par quelques chiffres pour nous fixer les idées. La portion utile d'un disque compact de 120 mm est un anneau de 33 mm sur lequel on a réussi à caser quelque 20000 pistes concentriques. Ainsi, si l'on compte par milliers les « sillons » sur un disque numérique, on se souviendra que la spirale du disque analogique ne comptait qu'environ 1000 tours.

L'épaisseur du disque est de 1,2 mm, un détail dont l'importance apparaîtra plus tard dans notre tour d'horizon des caractéristiques du disque numérique.

Sur 50 μm (lire : microns), c'est-à-dire l'épaisseur d'un cheveu, on case 30 pistes. Un cheveu ! Les données numériques sont converties en grandeurs binaires (des 0 et des 1) que matérialisent sur le disque des reliefs que l'on appelle *pit* si l'on est anglophone, ou *alvéole* si l'on est francophone. Nous verrons dans un instant qu'une telle alvéole ne représente pas directement un bit, mais une séquence de bits. Une alvéole mesure 0,5 μm de large, l'écart entre deux pistes est de 1,6 μm .

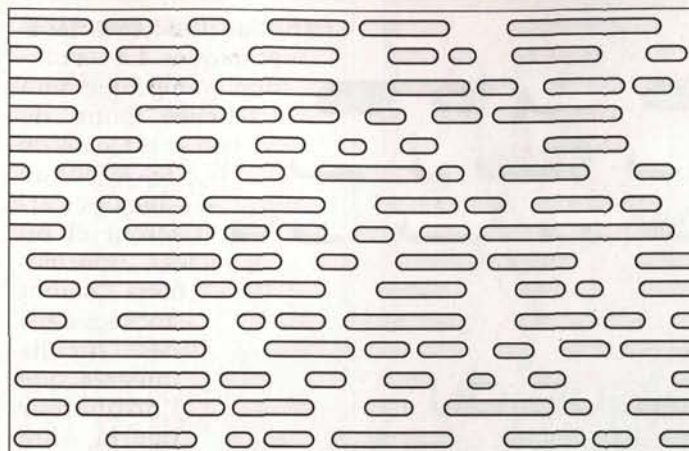
Figure 1 - Le principe opto-mécanique de la lecture du disque audio numérique par un rayon laser.



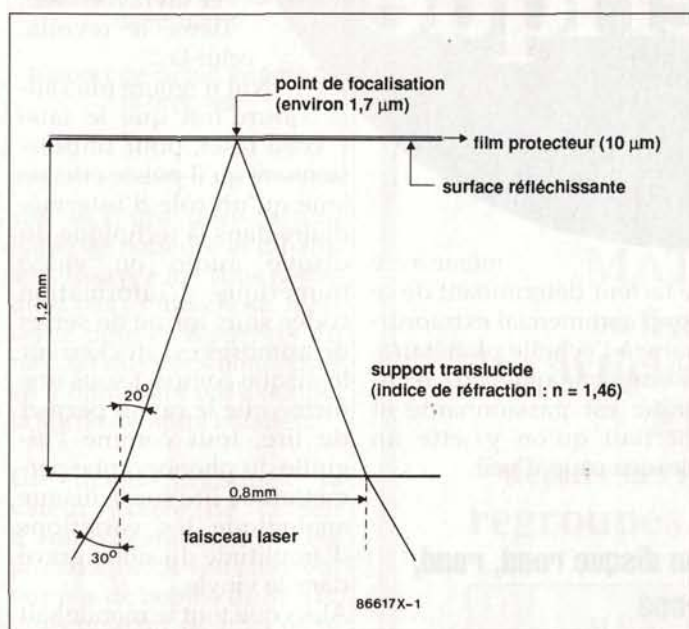
L'écart entre deux bits successifs correspond à $0,3 \mu\text{m}$. L'un dans l'autre, cela donne une capacité de sept milliards de bits environ par disque compact, dont une seule face est utilisée. Profitons de l'évocation de ce détail pour signaler à nos lecteurs une erreur souvent commise. Les disques compacts ne s'usent pas, et ils sont beaucoup moins fragiles, quand on les manipule, que les disques analogiques. Il faut les ménager quand même. Et il faut surtout en ménager les deux faces ! D'un côté il n'y a rien d'imprimé, et c'est par là que le rayon laser lit les informations. Cette face du disque est parfaitement lisse. La couche réfléchissante qui porte les alvéoles se trouve de l'autre côté, là où sont imprimées les informations relatives au contenu du disque. Autrement dit, si les traces de doigts sont certes néfastes sur la partie lisse non imprimée du disque, il n'en est pas moins que les rayures sont dangereuses aussi du côté imprimé. En effet, une rayure de la couche d'aluminium détruit des alvéoles, alors que la même rayure sur la face lisse n'endommage que le support en plastique transparent.

Revenons à nos informations numériques. Sur un disque numérique de 12 cm, on dispose donc d'environ 7000 000 000 de bits avec lesquelles on peut coder jusqu'à 75 minutes de musique en stéréophonie, avec des niveaux de bruit, de diaphonie, de pleurage, de distorsion qui laissent rêveur celui qui écoute par exemple les merveilleuses sonates pour clavier de Domenico Scarlatti qu'il vient d'acheter pour 12,5 F au supermarché du coin.

Les signaux sont convertis en séquences numériques. Dès lors et sous cette forme, il n'y a plus de différence entre « les Noces de Figaro » et un document comptable. Qu'est-ce qui ressemble plus à une série de nombres que n'importe quelle autre série de nombres ?

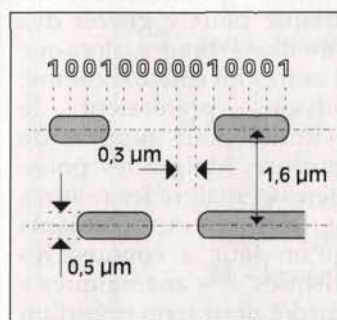


Ce croquis a été fait à partir d'une micrographie de la surface gravée d'un disque compact audio. La profondeur des alvéoles est de $1 \mu\text{m}$. Contrairement à ce que l'on entend souvent, les alvéoles sont bien disposées en spirale (pas de $1,6 \mu\text{m}$).



Le disque audio numérique est une invention astucieuse à bien des égards. Un des détails les plus inattendus est la focalisation du faisceau par le support du disque lui-même. En traversant la couche de plastique, le faisceau devient de plus en plus fin. Les alvéoles, non représentées ici, se trouvent dans la couche réfléchissante.

Chaque nombre ne représente qu'une infime partie du signal analogique. Si un tel nombre est perdu ou modifié, la perte est elle-même faible. Il en va de même pour le bit, qui n'est lui-même qu'une partie, plus ou moins signifiante, de chaque nombre. Sachant que le codage de l'information est fait sur un nombre élevé de bits et que le transfert se fait forcément bit par bit (le rayon laser ne peut lire qu'un bit à la fois !), on imagine aisément que la vitesse de transmission devra être bigrement élevée pour que l'on ait le temps, à



Le changement de luminosité du faisceau laser, réfléchi tantôt par les alvéoles tantôt par la surface du disque, correspond aux "1" du signal binaire. Les cotes des alvéoles donnent une idée de la finesse extrême du rayon laser.

l'autre bout de la chaîne de transmission, de reconstituer le signal analogique : 1,5 million de bits par seconde, c'est la vitesse que l'on a retenue, et elle est assez élevée pour passer, outre les données numériques relatives au signal utile pour deux voies audio, des informations annexes sur le contenu du disque, et surtout des informations supplémentaires utilisables en cas d'erreur de transmission.

Il a beau ne jouer qu'un rôle d'intermédiaire, ce rayon laser doit faire un sacré travail. Et il le fait bien. Non seulement il va très vite – ce qui est d'ailleurs le propre de la lumière – mais il est très fin. Le système est conçu de telle sorte que la focalisation du rayon dans le support translucide du disque (et c'est là que l'épaisseur de 1,2 mm a son rôle à jouer) résulte en un point de $1,7 \mu\text{m}$ de diamètre, comme le montre la figure 1. Le faisceau lumineux émis par une diode spéciale est envoyé sur le disque par un dispositif électro-optique qui le focalise et le dirige avec précision vers les alignements d'alvéoles qui défilent à une vitesse de 1,3 m/s. Le rayon laser a un diamètre de 0,8 mm quand il atteint la surface du disque. De sorte qu'un grain de poussière, même assez gros – par exemple 0,5 mm – ne le gêne pas vraiment. Il passe suffisamment de lumière autour d'un tel obstacle pour que la lecture puisse se poursuivre. Pour qu'une rayure compromette la lecture, il faut déjà qu'elle soit très large, à moins qu'elle n'ait endommagé le support sur l'autre surface (voir ci-dessus).

to pit or not to pit

Le rayon réfléchi repart par le chemin qui l'a amené, mais cette fois vers un circuit de réception qui convertit en bits l'information fournie par les alvéoles. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, le codage

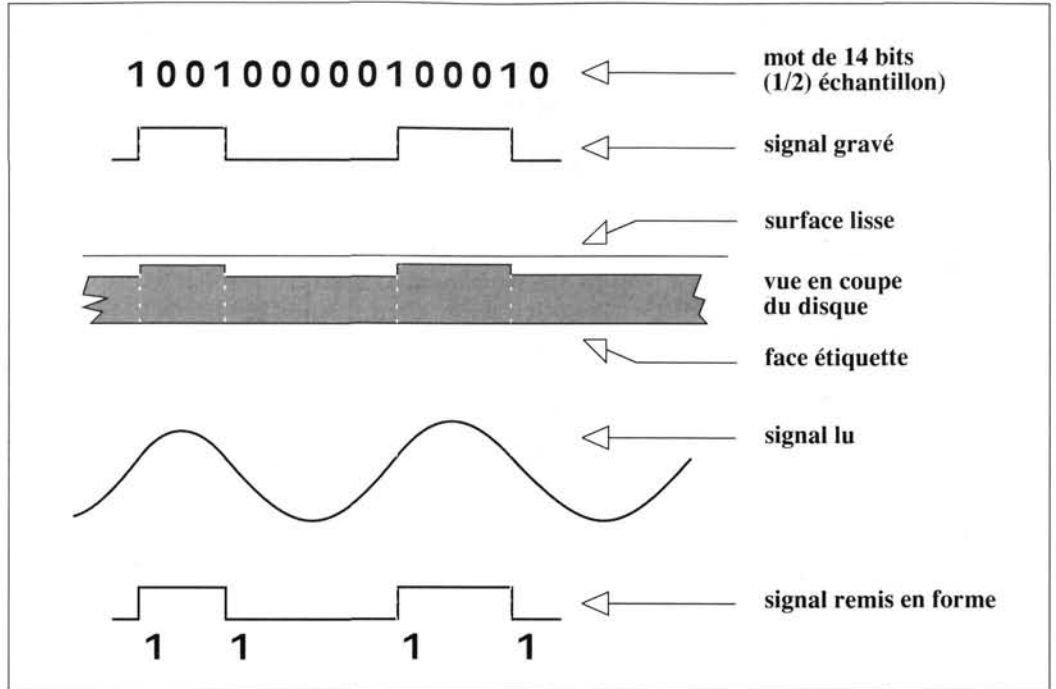
n'est pas direct : ce n'est pas « alvéole = "1", pas d'alvéole = "0" ». Le début et la fin d'une alvéole correspondent chacun à un "1", les intervalles entre les alvéoles comme les alvéoles elles-mêmes correspondent à des "0". La longueur d'une alvéole indique par conséquent le nombre de "0" entre les deux "1" qui marquent l'un son début l'autre sa fin. La longueur de l'intervalle entre deux alvéoles correspond au nombre de "0" successifs entre le "1" qui marquait la fin de la dernière alvéole et le "1" qui marquera le début de l'alvéole suivante.

Pour graver la matrice, on envoie le signal codé dans un laser de gravure qui impressionne un disque de verre recouvert d'une pellicule photosensible. Le développement fait apparaître de petits creux qui peuvent non seulement être lus, mais aussi dupliqués par galvanoplastie et pressage, tout comme on le faisait pour le disque analogique.

En lecture le signal électrique de lecture est obtenu à partir des écarts de luminosité du faisceau laser réfléchi tantôt par la surface du disque ("0" entre deux alvéoles) tantôt par le fond des alvéoles ("0" pendant les alvéoles). Le signal brut ne donne d'abord que les "1" ; ensuite les processus de correction et de décodage restituent les impulsions calibrées du signal numérique et enfin le signal analogique.

l'analogique n'est plus ce qu'il était

La conversion de signaux acoustiques (vibrations de l'air) en signaux mécaniques (vibration d'une aiguille et d'une membrane) a fasciné des générations d'auditeurs. Puis le passage des signaux mécaniques aux signaux électriques a soustrait le phénomène de la conversion à nos regards curieux (il reste heureusement les oscilloscopes). Une nouvelle



Le principe de la transformation du mot binaire en signaux électriques. Le signal pseudo-sinusoïdal obtenu à la lecture est transformé en impulsions par amplification et écrêtage.

étape a été franchie avec la conversion des signaux électriques en « signaux » numériques. La dématérialisation des phénomènes physiques est totale et l'analogique n'est décidément plus ce qu'il était.

Et pourtant, c'est pour mieux revenir à l'analogique que l'on a fait tous ces efforts : une fois que le rayon laser a lu l'information sur le disque, tous les circuits concernés dans le lecteur de disques (désormais ce n'est guère plus qu'un seul circuit intégré « mille-pattes ») s'acharnent à recoller les échantillons numériques pour en faire un signal analogique conforme au modèle « naturel ». Celui-ci avait été découpé en tranches numériques à raison de 44 100 échantillons par seconde, soit environ 10% d'échantillons en plus que ce qu'il faut pour arriver à produire une fréquence de 20 kHz que l'on considère comme la limite supérieure de la bande audio.

Le convertisseur analogique-numérique est un circuit qui, à une cadence de 44,1 kHz, analyse la valeur instantanée d'un signal quelconque et la transforme en un nombre codé sur 16 bits, ce qui permet à ce

nombre de prendre n'importe quelle valeur entre 0000000000000000 et 1111111111111111, c'est-à-dire entre 0 et 65 535. La transmission numérique de signaux analogiques se ferait donc au soixante-cinq-mille-cinq-cent-trente-cinquième près ?

Oui, si les convertisseurs sont assez précis, ce qui n'est pas le cas. C'est pourquoi les constructeurs ont recours à une astuce remarquable d'ingéniosité. Ils ont multiplié la vitesse de conversion d'abord par deux, puis par quatre, par rapport à la vitesse d'échantillonnage. Ceci facilite aussi notablement la construction du filtre passe-bas de sortie, celui qui est chargé de débarrasser le signal analogique de son « enveloppe » numérique. En effet, si nous convertissons à 44,1 kHz, il faut que le filtre passe-bas, qui laisse passer la bande audio sans atténuation de 0 à 20 kHz, soit hermétique à 22 kHz. Pas facile : soit le filtre sera hermétique, mais ne passera pas les fréquences utiles comme il le devrait, soit il se comporte bien dans le domaine utile, mais aura une pente insuffisamment raide pour être hermétique à partir de la fréquence de coupure souhaitée !

Si en revanche nous convertissons à 44,1 kHz $\times 4$, c'est-à-dire 176,4 kHz, l'écart entre la fréquence analogique la plus élevée et les parasites numériques est beaucoup plus grand : la pente du filtre passe-bas pourra être beaucoup plus douce, puisqu'il n'aura à être hermétique que vers 132 kHz. Les concepteurs de filtres poussent un *ouf* de soulagement.

Toute la technique numérique a progressé grâce à la mise en oeuvre d'astuces de ce type. C'est ainsi que le codage et le décodage bénéficient d'une fiabilité extraordinaire malgré la complexité de la tâche, grâce à des procédés de correction. En voici un : chaque valeur numérique de 16 bits est divisée en deux portions de 8 bits, lesquelles sont converties à leur tour en un mot de 14 bits. Les 8 bits ne permettent de coder que 256 valeurs, alors que les 14 bits peuvent en produire 16385. Il reste donc 16129 combinaisons que les données codées sur 14 bits n'exploitent pas. Ce sont toutes les combinaisons binaires dans lesquelles apparaissent moins de deux ou plus de dix "0" consécutifs. Si le système à rayon laser lit une donnée erronée, il est vrai-

semblable, du fait du système de codage des alvéoles, que ce mot appartient à l'une des combinaisons inutilisées. L'erreur est facile à détecter, et il suffit de rejeter la valeur numérique transmise. C'est ainsi que les 6 bits apparemment inutilisés servent à détecter les erreurs de transmission.

ne pas mettre tous ses bits dans le même panier

Une autre trouvaille : les codes croisés. Au lieu de transmettre les mots binaires de 14 bits dans l'ordre naturel, ils le sont selon un ordre différent (cf. encadré) qui redistribue le risque d'erreur et en atténue par conséquent l'effet sur le signal résultant. Prenons le cas d'une rayure qui altère les alvéoles en un point du disque. Si les données étaient dans leur ordre naturel, la perte affecterait la conversion à un point sans doute plus nettement perceptible que si les données sont redistribuées dans l'espace, ce qui équivaut à réduire la durée de la perturbation. Il s'agit donc tout simplement d'une mise en pratique pleine de bon sens du vieux dicton qui recommande de ne pas mettre tous ses oeufs dans le même panier.

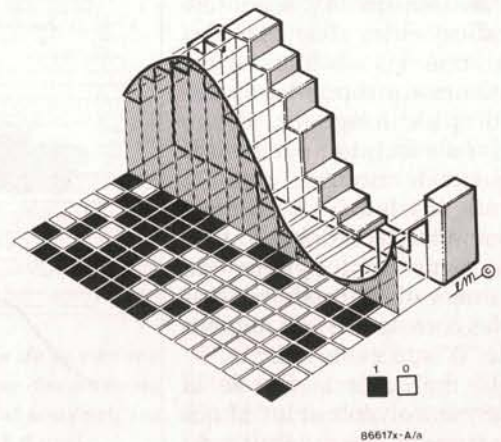
Une fois isolée, l'erreur sera corrigée grâce au système du codage sur 14 bits d'informations à 8 bits que nous avons déjà mentionné. Les lecteurs modernes de disques audio numériques sont capables de corriger plusieurs milliers d'erreurs successives avant que des mesures d'urgence soient prises, comme par exemple la répétition automatique de la dernière valeur lue correctement jusqu'à ce que la transmission normale ait repris. Et entre temps, vous l'auditeur n'y aurez vu que du feu !

86617

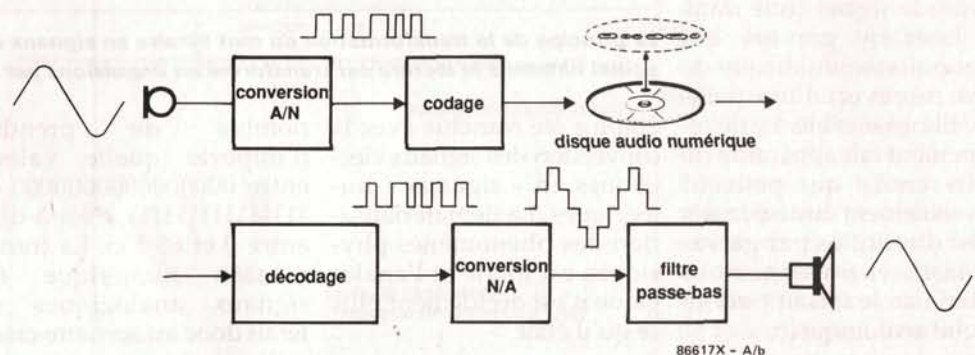
conversion analogique-numérique

Le médecin se contente de deux relevés quotidiens de la température de ses malades pour en dresser une courbe. Il considère à juste titre que les échantillons relevés à cette cadence rendent compte de l'évolution de la fièvre. Chaque échantillon pris séparément n'a aucun intérêt. C'est la succession des relevés qui permet de suivre le phénomène physique. Une augmentation de la cadence des prises de température n'apporterait pas d'information supplémentaire, tandis qu'une réduction risquerait d'ignorer les écarts plus courts que l'intervalle entre deux échantillons.

La conversion analogique-numérique telle qu'elle est appliquée aux signaux audio



86617x - A/a



86617X - A/b

fonctionne de la même façon. Les valeurs numériques mesurées rendent compte de l'amplitude du signal électrique alternatif au moment de la mesure. Cette valeur est codée sous forme de bits ("1" ou "0") parce que c'est là le moyen le plus simple et le plus efficace pour traiter des grandeurs numériques avec des signaux électriques. Sur le croquis de la sinusoïde numérisée, les mots binaires comptent 7 bits. La valeur du premier est 0100001 de gauche à droite ; le deuxième mot binaire est 1011010, le troisième 1100111, et ainsi de suite. La progression de valeur binaire en valeur binaire rend compte de la progression de l'onde sinusoïdale.

La fréquence à laquelle on convertit un signal analogique, c'est-à-dire la fréquence à laquelle se succèdent les échantillons, doit être au moins deux fois supérieure à la plus haute fréquence du signal à échantillonner, ceci afin de garantir qu'il y ait plus d'un échantillon par alternance du signal converti. Lors de la conversion numérique-analogique, quand on restitue le signal analogique à partir des échantillons numériques, il faut filtrer les fréquences au-dessus de la moitié de la fréquence d'échantillonnage afin qu'elles ne viennent pas interférer avec les fréquences du signal converti.

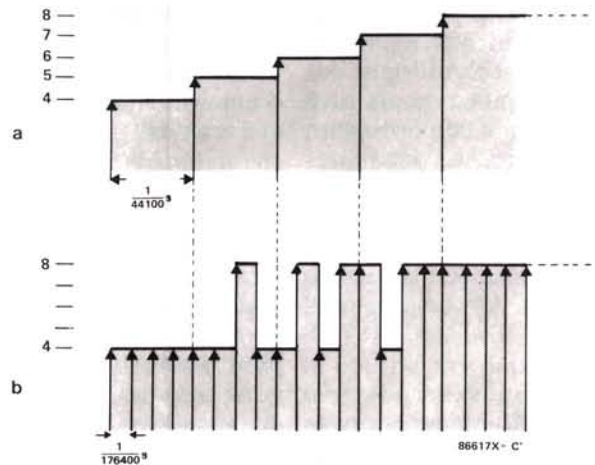
la dynamique

La dynamique est l'écart d'amplitude entre le signal le plus faible et le signal le plus fort d'un système. Sur le disque analogique, les bruits de friction de l'aiguille contre les bords du sillon, les vibrations du moteur, les craquements provoqués par les poussières etc. forment un bruit de fond qui couvre les signaux utiles de faible amplitude. A l'opposé, la largeur maximale du sillon limite l'amplitude des signaux les plus forts. Entre ces extrêmes, il y avait un écart de 1 à 1000 en termes de tension, soit 60 dB en termes de puissance. Or le rêve de la haute-fidélité est d'atteindre des dynamiques bien supérieures. Amplifier n'est pas la panacée, puisqu'en amplifiant les signaux utiles, on amplifie en même temps les bruits, les parasites, le souffle, les craquements...

Avec le disque numérique, les choses ont changé sensiblement : l'écart entre l'amplitude la plus faible (0000000000000001) et l'amplitude la plus forte (1111111111111111) est passé à 65535, soit 96 dB en théorie. En pratique, on se contente de 90 dB, ce qui est une performance.

Le sur-échantillonnage

La notion d'oversampling est une trouvaille des concepteurs de Philips où le CD a été inventé et mis au point, et qui permettait de convertir des données codées sur 16 bits à l'aide de convertisseur à 14 bits, en augmentant la fréquence de conversion : le facteur d'imprécision introduit par l'absence de 2 bits est de 4, il a donc fallu que la fréquence de conversion passe de 44,1 kHz à 176,4 kHz. Si l'on compare un signal échantillonné à 44,1 kHz (sur 16 bits) progressant en cinq étapes de 4 à 8, à ce signal après conversion sur 14 bits, on perd toutes les valeurs intermédiaires entre 8 et 4 (facteur 4 de réduction de la précision). Cependant la multiplication par 4 de la fréquence de conversion permet de recréer les nuances par interpolation. Les convertisseurs N/A à 16 bits ont également recours au sur-échantillonnage.



Les codes croisés (de prétexte)

Soit une série de 42 données à transmettre, extraites d'un calendrier de 6 lignes de 7 colonnes.

Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
27	28	29	30	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Avant de le transmettre, nous recomposons le tableau en le lisant non plus de haut en bas, ligne par ligne, mais en commençant en bas à gauche puis en remontant (dans le sens horaire) par diagonales successives.

25	18	26	11	19	27	4
12	20	28	27	5	13	21
29	Lu	28	6	14	22	30
Ma	29	7	15	23	31	Me
30	8	16	24	Je	1	9
17	Ve	2	10	Sa	3	Di

Erreur de transmission : la troisième ligne a été perdue

25	18	26	11	19	27	4
12	20	28	27	5	13	21
29	Lu	28	6	14	22	30
Ma	29	7	15	23	31	Me
30	8	16	24	Je	1	9
17	Ve	2	10	Sa	3	Di

Voilà ce qui manque dans le tableau reconstitué :

Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
27	28	29	30	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

A l'exception du "Lu", toutes les autres données manquantes peuvent être reconstituées aisément à l'aide d'un algorithme de correction aussi simple que :

$\text{nombre_manquant} = \text{nombre_précédent} + 1$

Nice COMPOSANTS DIFFUSION

J E A M C O

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

CONNECTIQUE INFORMATIQUE — KITS — SONO

MESURE — OUTILLAGE — MAINTENANCE

LIBRAIRIE TECHNIQUE

12 rue Tonduti de L'Escarène 06000 NICE

Tél: 93.85.83.78 Fax: 93.85.83.89

ELECTRON-SHOP CLERMONT-FERRAND

20-23, AV. DE LA REPUBLIQUE 63100 CLERMONT-FERRAND

TEL. composants : 73.92.73.11 - TEL. sono, haut-parleur:

73.90.99.93 FAX : 73.90.85.30

LE SPÉCIALISTE DES COMPOSANTS ET DES KITS

10 000 références en stock permanent, uniquement des marques sélectionnées.

KITS : WELLEMANN — TSM — PLUS — STARKIT — JOKIT

HP : MONACOR — FOCAL — DAVIS — VISATON — AUDAX

MESURES : BECKMAN — MANUDAX — MONACOR — ELC — GOLDSTAR — FLUKE

COFFRET : TEKO — ESM — RETEX — ORBITEC

COMPOSANTS ACTIFS ET PASSIFS de qualité dans de grandes marques TEXAS — MOTOROLA — THOMSON — SIEMENS — INTERSIL — HITACHI etc. . . .

Pas de catalogue mais expéditions en CR + 58,50F ou chèque bancaire + 15F port.

Le dernier cri en matière de synthèse sonore, c'est de ne plus rien synthétiser du tout. On échantillonne les sons naturels avec un processeur et un convertisseur, on les stocke dans des mémoires sous forme de données que le processeur relit ensuite pour les convertir en sons... Artificiels ou naturels ? On ne sait plus très bien.

Ces techniques sont très répandues, mais les appareils ne sont ni bon marché, ni faciles à utiliser. Il reste la possibilité de produire des sons avec des moyens électroniques plus classiques, analogiques ou logiques, mais en tous cas sans ordinateur. Les résultats obtenus peuvent se laisser entendre : c'est ainsi que nous vous proposons ici un appareil à la fois utile parce qu'il permet d'obtenir des sons au

timbre métallique impossible à obtenir autrement, et instructif parce qu'il permet de trafiquer les timbres et d'expérimenter sans risque et à moindre frais.

On pourra l'utiliser comme gag dans une table de mélange, pour une discothèque, ou pour la sonorisation de films, de diaporamas ou de pièces de théâtre (on peut produire des sons de gong chinois aussi bien que de sonailles africaines, le bruit du marteau sur une enclume, des cliquetis d'armes qui s'entrechoquent, de barres de fer que l'on heurte...) ou encore comme accessoire sonore sur une batterie dans un orchestre, pour animer un stand, attirer l'attention de passants, ou encore pour personnaliser le timbre d'une sonnette de porte d'entrée...

timbres métalliques

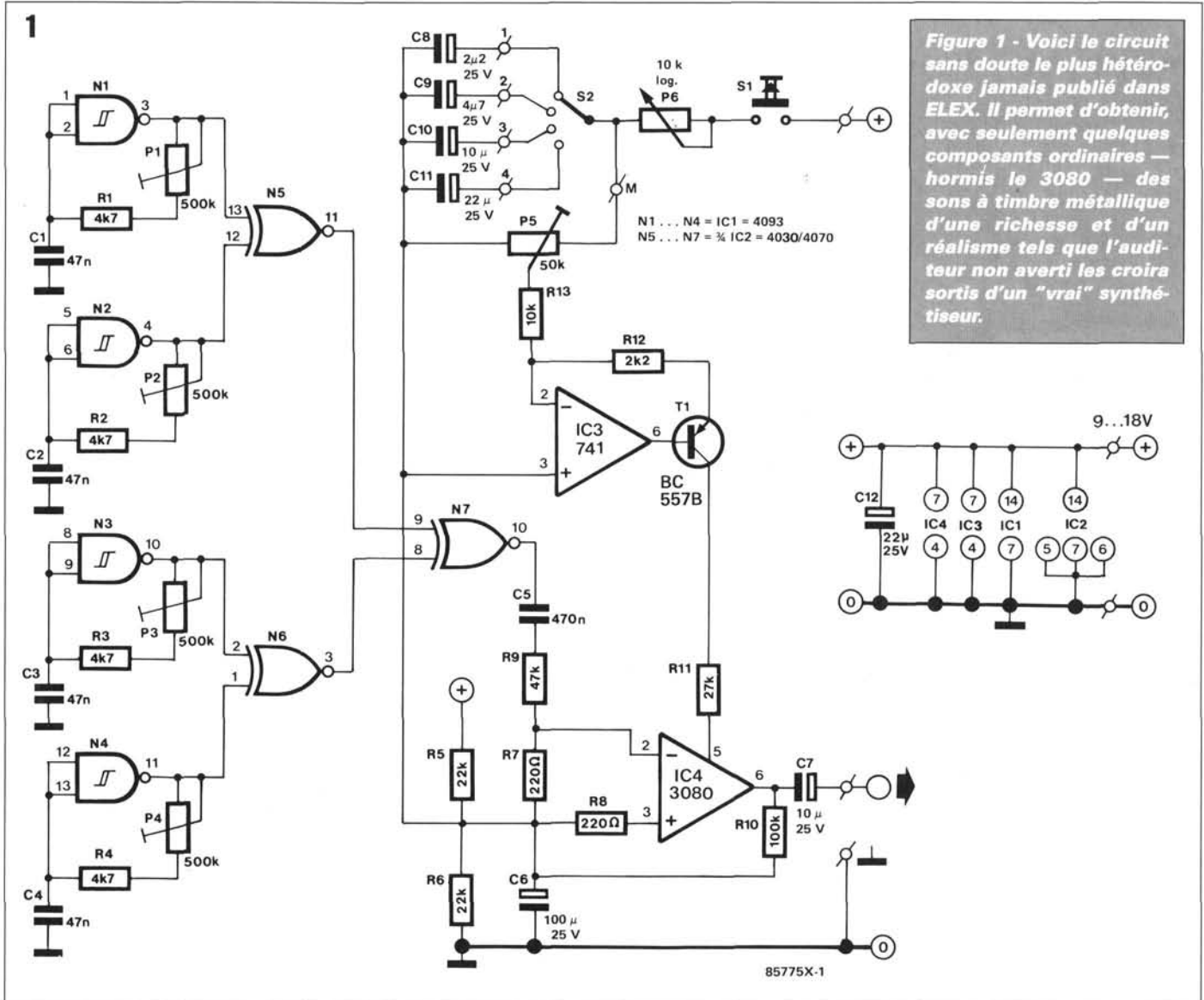
silicium

Le schéma de la figure 1 paraît simple, cela ne l'empêche pas de produire des effets sonores vraiment étonnants. Pour l'étudier, on le décomposera en deux parties : d'une part les générateurs, ceux qui produisent le son, d'autre part le modulateur, qui le met en forme. Les générateurs, ce sont les opérateurs N1 à N7 qui forment un complexe plutôt inhabituel. Le modulateur, c'est un amplificateur commandé en tension et monté

autour d'un composant assez spécial lui aussi : l'OTA 3080.

les générateurs

Si vous n'avez pas identifié la fonction des circuits construits autour de N1, N2, N3 et N4, vous avez au moins noté qu'ils sont rigoureusement identiques. Il s'agit de générateurs de signaux carrés dont la fréquence peut être modifiée sur une plage très étendue,



sons de cloches hurlant

à l'aide P1, P2, P3 et P4. Jusque là, rien de bien extraordinaire, mais vu ce qui suit, cela ne durera pas.

A quoi peuvent bien servir N5, N6 et N7 ? Ce sont des portes NON-OU exclusif. Les opérateurs N5 et N6 combinent deux à deux les signaux de sortie des quatre oscillateurs, puis N7 combine les signaux résultants, issus de N5 et N6. Même le plus chevronné des électroniciens aura du mal à imaginer, sur le plan sonore, ce qui sort de N7... à moins de bénéficier d'une solide expérience en matière de synthèse sonore, ou encore d'avoir pratiqué le modulateur en anneau. La combinaison logique EXNOR de signaux de fréquence quelconque donne naissance à un complexe sonore dans lequel apparaissent de nouvelles fréquences qui n'entretiennent entre elles que des rapports inharmoniques, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas des multiples entiers ni les unes des autres, ni des fréquences à partir desquelles elles sont produites. On obtient ainsi une masse harmonique étonnamment riche et instable, qui sert de pâte sonore pour produire des sons métalliques.

Si l'on mélangeait les quatre signaux carrés avec des moyens conventionnels, par exemple un mélangeur, on obtiendrait certes un timbre assez complexe, mais dont l'intérêt serait négligeable comparé à celui que l'on obtient avec des opérateurs

EXNOR. Précisons pour ceux d'entre nos lecteurs qui savent ce qu'est un modulateur en anneau* et s'en sont peut-être déjà servi pour produire des sons, que les sons obtenus avec notre *métal hurlant* y ressemblent assez.

inharmoniques

Les courbes de la **figure 2** essaient de rendre compte, tant bien que mal, du principe de ce circuit. On y voit que les deux signaux **simples** des sorties de N1 et N2 produisent un signal complexe et instable en sortie de N5. Il est inutile de chercher à pousser plus loin la tentative de description, le meilleur moyen de vous faire une idée de ce que ça donne, c'est d'essayer. Les possibilités de réglage offertes par les potentiomètres P1 à P4 sont si vastes que l'on ne parvient à les épuiser qu'en plusieurs heures de manipulation.

Et encore, nous n'avons pas parlé de l'enveloppe ! Le

générateur d'enveloppe est assez rudimentaire, mais il permet d'obtenir des résultats satisfaisants. Il s'agit de faire apparaître le son (produit par les générateurs) plus ou moins brutalement — c'est ce que l'on appelle l'attaque (*attack*) — puis d'en faire chuter l'amplitude (*decay*), de l'entretenir un peu (*sustain*), avant de le laisser s'éteindre enfin (*release*). Du temps des synthétiseurs analogiques, on a adopté l'acronyme ADSR (*attack-decay-sustain-release*) pour désigner les générateurs d'enveloppe, nous avons gardé le terme.

Ici le générateur comporte un bouton poussoir, actionné par l'utilisateur quand il veut produire un son. Appuyons sur S1 ; cela permet à un courant de circuler à travers P6. Un des condensateurs, choisi à l'aide de S2 en fonction de la durée de l'enveloppe souhaitée, se charge. Ce courant de charge du condensateur est dosé par P6 qui détermine ainsi la durée de la phase initiale de l'enveloppe. Plus la charge est rapide, plus le son paraîtra percussif (= attaque brève).

Quand on relâche le bouton S1, le condensateur choisi par S2 va se décharger à travers P5. Selon la capacité du condensateur, cette décharge durera plus ou moins longtemps. En conséquence de quoi soit l'amortissement du son résultant sera rapide,

soit il se prolongera par une résonance qui s'éteindra lentement (le *silicium hurlant* est capable de produire d'excellents sons de cloche, par exemple. Les initiés savent que ce qui caractérise ces sons est la présence, dans leur spectre harmonique, de fréquences inharmoniques).

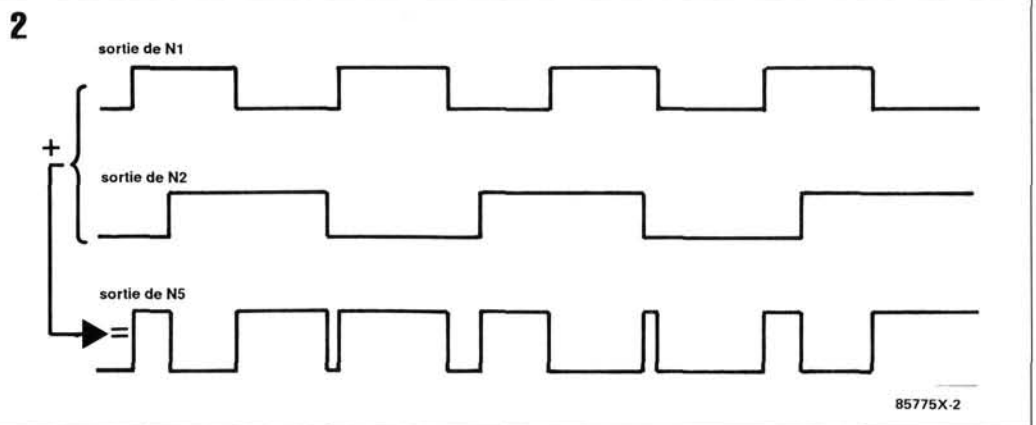
Le réglage de P5 n'agit pas directement sur la forme de la courbe enveloppe, mais détermine le taux de modulation. L'idéal est de régler P5 de telle sorte que l'amplitude du son atteigne son apogée quand l'enveloppe elle-même est à son apogée.

Si le taux de modulation est insuffisant, l'amplitude du signal de sortie n'exploite pas toute la plage de modulation (**fig. 3**) et s'il est trop élevé, la courbe enveloppe sera écrêtée. Ce réglage pourra être fait à l'oreille par approximations successives.

TA 3080

Vous l'avez sans doute remarqué, IC4 n'est pas un amplificateur ordinaire. Il a bien une entrée inverseuse et une entrée non inverseuse, ainsi qu'une sortie, mais cette entrée sur le côté ?...

Il s'agit d'un amplificateur opérationnel à transconductance (ou OTA pour *operational transconductance amplifier*), un nom ronflant pour désigner un amplifica-



*le modulateur en anneau est un circuit réalisé autrefois à l'aide de transformateurs spéciaux (en anneau), puis à l'aide de circuits électroniques à semi-conducteurs, produisant, à partir de deux fréquences d'entrée, un signal de sortie composé de la somme et de la différence arithmétiques entre les deux fréquences d'entrée. Ce circuit HF a été détourné dans les années 60 par les adeptes de la musique électronique, à l'initiative de compositeurs comme Stockhausen. Sur certains synthétiseurs (de musique) analogiques on trouvait un module *ring modulator*.

Figure 2 - Ce diagramme donne une bien piètre image de l'extraordinaire effet obtenu quand on mélange des signaux carrés de fréquences quelconques à l'aide d'une fonction NON-OU exclusif. Ce mélange est opéré en trois points du circuit *silicium hurlant*. Chaque fois que les niveaux logiques d'entrée d'un opérateur EXNOR sont différents l'un de l'autre, sa sortie passe au niveau haut...

teur opérationnel dont le gain est commandé par un courant injecté dans une entrée prévue pour cela (ici la broche 5). L'intensité du courant de commande détermine l'amplitude de la tension de sortie. C'est à l'aide de ce composant que nous modulons l'amplitude du signal issu de N7 en lui

imposant notre courbe ADSR comme courbe d'amplitude. Or comme celle-ci est une **tension de commande**, il nous faut la convertir en un **courant**. Ce dont se chargent IC3 et T1 qui forment une source de courant variable, elle-même commandée par la tension de charge et de décharge du

condensateur choisi par S2. Nous avons fini notre tour du schéma. Il reste à dire un mot du réseau de polarisation que forment R5 et R6, et nous passerons à la réalisation. Nous l'avons déjà vu en d'autres circonstances : un diviseur de tension comme celui que forment R5 et R6 est là pour créer un

potentiel de référence (une masse artificielle), à mi-chemin de la tension d'alimentation unique et du potentiel de la masse, afin de tirer le meilleur parti possible des amplificateurs opérationnels IC3 et IC4.

Il est inutile de donner des indications sur le réglage de P1, ni sur celui de P2, P3 et P4. Tout l'intérêt du circuit réside dans la liberté de jouer sur ces réglages. Il en va de même pour P6 et S2. Pour ce qui concerne P5, il faut chercher la position du curseur dans laquelle le volume du son soit le plus fort possible quand on appuie sur S1 ; il faut veiller aussi à ce que, lorsque l'on relâche le bouton, le volume du son se mette à diminuer aussitôt.

Nous avons indiqué des résistances variables pour P1 à P4 sur le plan d'implantation des composants. Pour commencer, cela suffira. Si le circuit vous plaît bien, vous ne tarderez pas à les remplacer par des potentiomètres à axe, plus faciles à manipuler. Si vous adoptez *silicium hurlant* pour un usage régulier, vous aurez même intérêt à prendre des potentiomètres à course rectiligne pour ces quatre organes de réglage. Cela permet de mieux doser les effets, notamment parce qu'avec les deux mains et un peu d'entraînement, vous pourrez manoeuvrer les quatre boutons en même temps.

Pour alimenter le circuit, une pile de 9 V suffit, mais l'effet est meilleur encore avec deux piles de 9 V en série (18 V) ou une alimentation stabilisée délivrant une tension de cet ordre. Le gain de l'amplificateur de puissance que vous utiliserez avec ce circuit pourra être modeste, puisque l'amplitude du signal de sortie de *silicium hurlant* est de quelques volts (cela dépendra bien sûr de la tension d'alimentation et du bon réglage de P5).

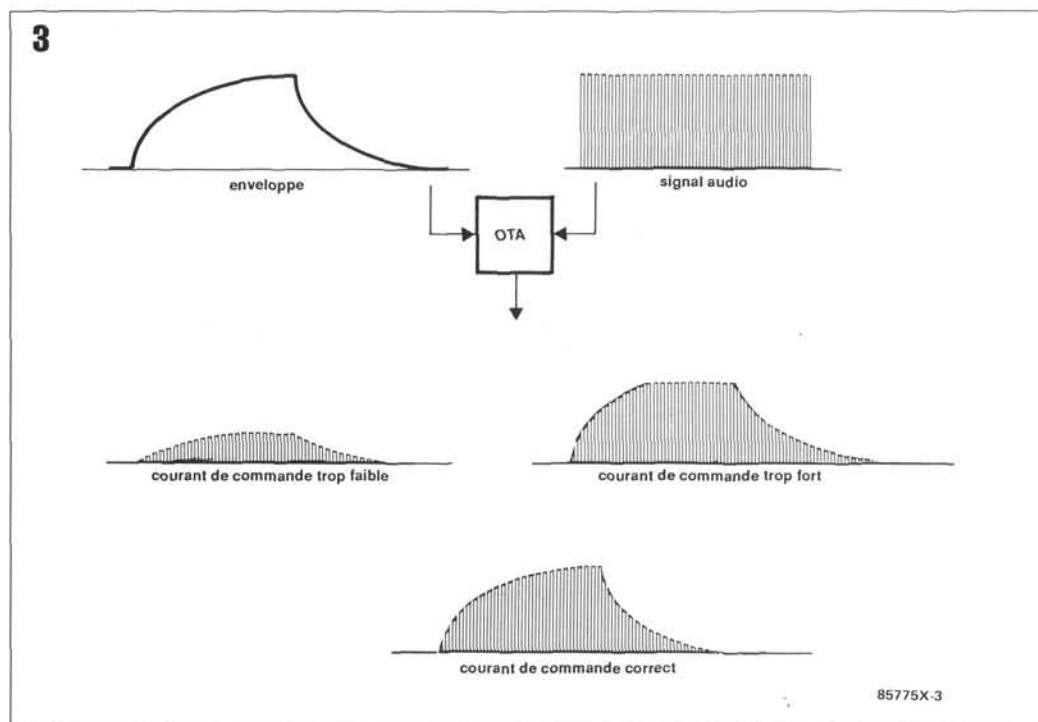
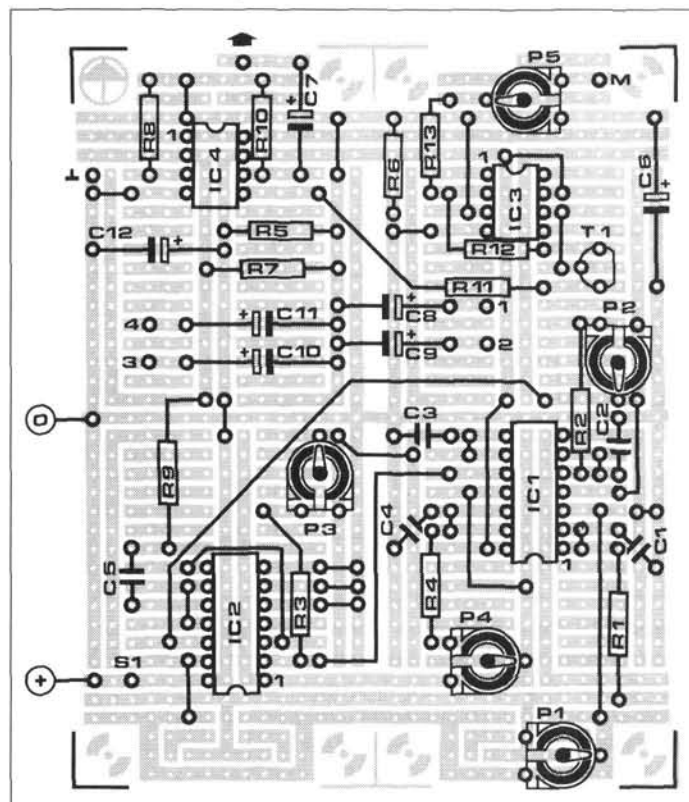


Figure 3 - Pour que la pâte harmonique produite à l'aide des opérateurs EXNOR paraisse naturelle, il importe de lui donner les contours d'un signal percussif. Lorsque le circuit est bien réglé, le dosage de la courbe enveloppe est optimal et l'effet sensiblement plus convaincant.



Liste des composants

- R1, R2, R3, R4 = 4,7 k Ω
- R5, R6 = 22 k Ω
- R7, R8 = 220 Ω
- R9 = 47 k Ω
- R10 = 100 k Ω
- R11 = 27 k Ω
- R12 = 2,2 k Ω
- R13 = 10 k Ω
- P1 à P4 = 500 k Ω var.*
- P5 = 50 k Ω var.
- P6 = 10 k Ω log.
- C1 à C4 = 47 nF
- C5 = 470 nF
- C6 = 100 μ F/25 V
- C7, C10 = 10 μ F/25 V
- C8 = 2,2 μ F/25 V
- C9 = 4,7 μ F/25 V
- C11, C12 = 22 μ F/25 V
- T1 = BC557B
- IC1 = 4093
- IC2 = 4070/4030
- IC3 = 741
- IC4 = 3080
- S1 = poussoir
- S2 = commutateur
- 1 circuit/4 positions
- platine d'expérimentation
- de format 2

*cf. texte

condensateurs réservoirs

la solitude du condensateur entre deux pulsations

Plus ils sont gros, mieux c'est !

Voilà ce que se disent bien des bricoleurs électroniques ignorant tout de la fonction exacte de ces condensateurs de lissage. Ils sont pourtant indispensables sur toute ligne d'alimentation et ne doivent donc pas être dimensionnés au petit bonheur la chance. Le condensateur-réservoir est là pour compenser l'effet (désastreux sur la tension) des appels de courant si brusques que l'alimentation n'est pas capable d'y répondre, ou encore pour remplir le vide que laisse une tension pulsée obtenue par exemple à partir d'une tension alternative redressée.

Le condensateur de lissage est un composant dont l'efficacité n'apparaît pas forcément à première vue, mais cela n'est pas une raison pour en sous-estimer le rôle ou, pire encore, le supprimer comme on est parfois tenté de le faire. Pour qu'il puisse exercer son rôle de **réservoir** (c'est bien un **réserve** d'énergie que constitue la charge du condensateur, mais cette énergie n'est utilisable que durant une fraction de seconde lorsque la ligne d'alimentation fléchit, en raison par exemple d'un appel de courant), il importe que le condensateur concerné soit placé à proximité immédiate du circuit consommateur. On aura compris qu'il s'agit d'éviter de cette manière les effets (désastreux sur la tension) de la résistance (jamais entièrement nulle) qui présentent les lignes qui acheminent le courant. C'est la dure loi de l'Ohm Blanc.

On trouve des condensateurs réservoirs non seulement sur les circuits d'alimentation à partir d'une tension alternative redressée, mais aussi avec les circuits de régulation. Dans ce dernier cas le condensateur réservoir amortit le choc que représentent les brusques appels de courant, avant que le circuit de régulation ait eu le temps d'y répondre, comme le fait un château d'eau ou un bassin de régulation dans un circuit hydraulique.

type	tension min	d'entrée max	tension de sortie (V)
7805	7,5	20	5
7806	8,6	21	6
7808	10,6	23	8
7810	12,7	25	10
7812	14,8	27	12
7815	18	30	15
7818	21	33	18
7824	27,3	38	24

Le condensateur que l'on trouve entre les lignes d'alimentation de la plupart des circuits intégrés, notamment les circuits intégrés logiques, joue un rôle équivalent, mais à une échelle réduite, de celui que joue le gros condensateur de lissage des alimentations : sa fonction est d'empêcher que les appels de courant du circuit intégré (de très courte durée, mais d'une intensité souvent très forte) provoquent un affaissement de la tension d'alimentation, d'où naîtraient des parasites susceptibles d'aller perturber le fonctionnement d'autres circuits inté-

grés. Aussi personne ne s'étonnera du caractère primordial que revêt la position d'un tel condensateur par rapport au circuit intégré qu'il alimente : il faut qu'il soit monté le plus près possible des broches d'alimentation du circuit intégré. Ce n'est donc pas seulement pour économiser de la place que l'on a fabriqué des supports pour circuits intégrés avec condensateurs incorporés, mais aussi et surtout pour en augmenter l'efficacité. Mais revenons à

le condensateur à sa valeur de crête, celui-ci commence aussitôt à se décharger, parce qu'il a du courant à fournir au circuit de consommation en aval.

Un peu moins d'un centième de seconde plus tard, la tension de sortie du redresseur est heureusement de nouveau à son apogée, et le condensateur rechargé à bloc. Pour une capacité donnée du condensateur de lissage, plus le circuit en aval aura demandé de courant, plus la tension sur le condensateur baisse entre deux crêtes de la tension pulsée.

À la tension d'alimentation continue se superpose ainsi une tension alternative dont la fréquence n'est autre que celle de la tension alternative en amont du redresseur. Dans le cas des 50 Hz de notre réseau électrique domestique, cela donne un ronflement caractéristique.

La tension d'ondulation résiduelle présentera une amplitude d'autant plus forte que la capacité du condensateur sera insuffisante pour couvrir les appels de courant entre deux pulsations. C'est donc au choix du condensateur (et accessoirement à son emplacement) qu'il appartient de brider au mieux l'amplitude de cette ondulation résiduelle.

Plus l'intensité du courant est forte, plus la capacité devra être élevée si l'on veut réduire ou supprimer l'ondulation résiduelle. La formule suivante permet de dimensionner un condensateur de lissage pour un redresseur double-al-

nos gros condensateurs, comme celui de la figure 1...

naissance et amplitude du ronflement

Nous voyons sur la figure 2 pourquoi la capacité des condensateurs de lissage doit être si forte : le temps pendant lequel le courant n'est pas fourni directement par la ligne d'alimentation, mais par le condensateur, c'est-à-dire le temps qui passe entre deux sommets de la tension pulsée, ce temps est long. Quand la tension pulsée a chargé

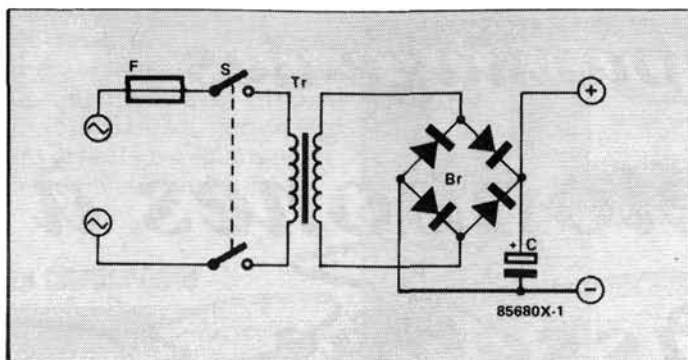


Figure 1 - Le circuit d'alimentation non régulé le plus courant, avec un transformateur, un fusible, un interrupteur et un redresseur. Pour faire de la tension pulsée une tension continue, il faut un condensateur de lissage qui fournisse le courant pendant que la tension redressée s'effondre. La capacité de ce condensateur est élevée d'une part en raison de la longueur considérable du laps de temps entre deux bosses, et d'autre part en raison de la valeur relativement élevée de l'intensité des courants à fournir. N'oublions pas, néanmoins, que si le condensateur se décharge lentement, il ne se charge pas plus vite ; c'est pourquoi on le dédouble parfois avec un condensateur de faible capacité, moins long à se charger, et capable par conséquent de filtrer les parasites de très courte durée et de fréquence élevée.

tenance sans faire appel à des notions compliquées :

$$C = 3,7 \cdot \frac{I}{U_{\text{ond}}}$$

où C est la capacité du condensateur exprimée en microfarads (μF), I le courant consommé en mA et U_{ond} l'ondulation résiduelle tolérée en V. Il s'agit de retenir pour ce dernier paramètre l'amplitude crête à crête de la tension de ronflement, à décompter de la valeur de la tension continue.

Sur un redresseur mono-alternance, il manque une pulsation sur deux et la capacité devra par conséquent être doublée pour compenser l'allongement de la durée de la solitude du condensateur entre deux pulsations.

Maintenant, voici un exemple de calcul. Prenons l'alimentation d'un amplificateur de $2 \times 25 \text{ W}$ (en régime sinusoïdal) qui doit fournir 5 A sous 30 V (continu). À pleine charge, l'ondulation résiduelle ne doit pas dépasser 2 V. Formulons vite fait, bien fait :

$$C = 3,7 \cdot \frac{5000}{2} \mu\text{F}$$

soit 9250 μF , une capacité très voisine de celle d'un condensateur courant de 10000 μF . Ainsi dimensionné, notre condensateur de lissage devrait maintenir

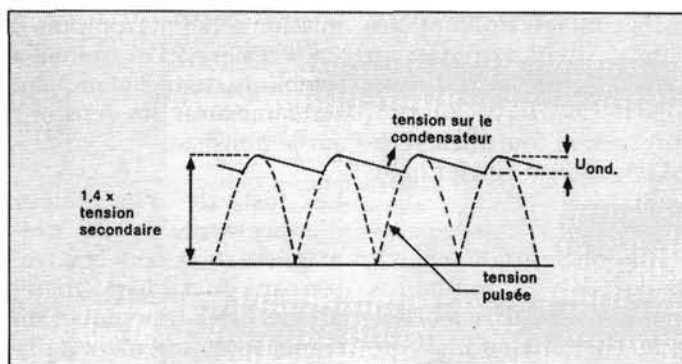


Figure 2 - Cette courbe de tension en dit long sur l'importance du condensateur de lissage. La tension redressée telle qu'elle pulse en sortie d'un redresseur n'est pas capable de faire face à la demande de courant des circuits alimentés, puisque cette tension revient aussi souvent à zéro qu'elle atteint sa valeur de crête. Grâce au condensateur de lissage et à sa charge, les vallées entre deux crêtes de tension sont comblées. Plus la capacité du condensateur est forte par rapport à l'intensité du courant consommé, moins l'amplitude de l'ondulation résiduelle U_{ond} sera forte. Hors charge, cette tension de ronflement disparaît ou diminue.

l'ondulation résiduelle à une amplitude de 2 V quand l'intensité du courant est à 2 A. Il va de soi que si le courant est moins fort, l'ondulation résiduelle sera d'autant moins forte.

Le facteur (ici 3,7) n'est pas toujours le même selon les auteurs. On le trouve tantôt à 10 chez les pessimistes, tantôt à 2 chez les optimistes, sans parler des valeurs intermédiaires.

D'autres praticiens comptent tout simplement 1000 μF par ampère de courant de sortie.

Sur les alimentations dotées de régulateurs électroniques intégrés, il faut aussi s'assurer du fait que la tension d'entrée du régulateur reste en toutes cir-

constances (c'est-à-dire aussi sous pleine charge) supérieure au seuil minimum imposé par le fabricant du circuit intégré. Un régulateur ordinaire de type 7805 (tension de sortie de 5 V) ne fonctionne correctement que si sa tension d'entrée est égale ou supérieure à 7,5 V. Supposons que nous disposions pour l'alimenter d'un transformateur de 8 V/1,2 A. Le régulateur (dûment refroidi) aura à fournir 1 A au circuit alimenté. Quelle est la capacité du condensateur de lissage ?

D'abord il nous la valeur de crête de la tension alternative, soit environ 1,4 fois la tension efficace du secondaire du transformateur :

$$8 \text{ V} \cdot 1,4 = 11,2 \text{ V}$$

Soustrayons le seuil de conduction des diodes, soit deux fois 0,7 V :

$$11,2 \text{ V} - (2 \cdot 0,7 \text{ V}) = 9,8 \text{ V}$$

Pourquoi 2 et non 4 fois 0,7 V ? Seules deux des diodes conduisent, les deux autres sont bloquées.

Le régulateur exige au moins 7,5 V disions-nous ; la tension sur le condensateur de lissage peut donc accuser une baisse de 2,3 V. C'est la valeur de U_{ond} de notre formule de calcul de la capacité du condensateur :

$$9,8 \text{ V} - 7,5 \text{ V} = 2,3 \text{ V}$$

$$C = 3,7 \cdot \frac{1000}{2,3} \mu\text{F}$$

soit 1600 μF . La valeur normalisée la plus proche est 2200 μF . Quelques centaines de microfarads supplémentaires ne feront pas de mal : prenez dans ce cas un condensateur de 2500 μF ou 3300 μF , par exemple. La valeur indiquée sur le condensateur est assez approximative, et la capacité diminue à la longue. Il vaut donc mieux ménager une marge. Ne soyez pas trop radin non plus avec la marge de sécurité que vous laisserez pour la tenue en tension : si vous avez calculé 9,8 V comme c'est le cas ici, ne vous contentez pas d'un condensateur donné par 10 ou 12 V de tenue en tension, mais prenez-en un qui supporte au moins 16 V.

85680

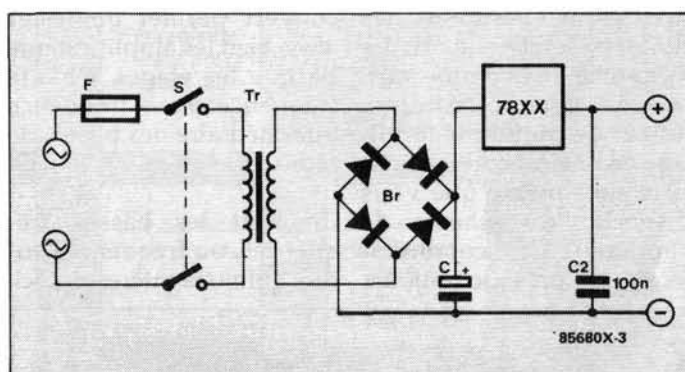


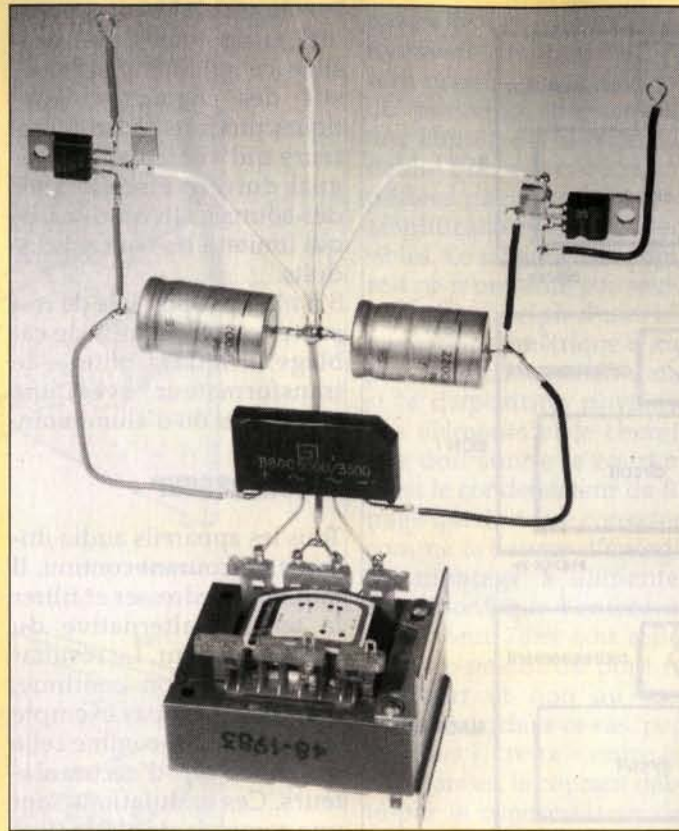
Figure 3 - Le circuit d'alimentation stabilisée le plus courant, avec un transformateur, un fusible, un interrupteur, un redresseur et un régulateur intégré. Ce dernier est parfaitement capable de stabiliser la tension pulsée issue du redresseur à condition toutefois que l'ondulation résiduelle n'abaisse pas la tension d'entrée en-dessous de son seuil d'entrée minimum. Nous avons indiqué dans le tableau quels sont ces seuils. La capacité du condensateur de lissage sera déterminée en fonction de ce paramètre, et en tenant compte de la tension de crête (1,4 fois la tension efficace donnée par le fabricant du transformateur), du seuil des diodes et de l'intensité du courant à fournir.

Même des électroniciens chevronnés peuvent se trouver poussés au désespoir par les ronflements dans les haut-parleurs reliés à des amplificateurs de construction maison. Cet article envisage les différentes causes possibles et quelques remèdes. Les règles qui y sont exposées ne s'appliquent pas seulement à la construction de l'AurocK, l'amplificateur décrit dans ce numéro, mais à toutes les réalisations qui font intervenir de petits signaux analogiques.

Pourquoi un amplificateur aux caractéristiques fabuleuses devrait-il aller rejoindre dans la caisse à bidouilles les transformateurs grillés qui attendent que vous récupériez quelques mètres de fil et les saladiers de haut-parleurs d'où vous comptez extraire un aimant ? Parce que vous n'auriez pas su éliminer une « ronfle » épouvantable. Ce genre de déception peut vous gâcher une bonne partie du plaisir de la construction électronique. Ne désespérez pas, il y a toujours quelque chose à faire.

alternatif

La cause du mal est unique : il s'agit du secteur alternatif qui alimente tous nos appareils. La tension du secteur est une tension alternative à 50 Hz (périodes par seconde) que nous transformons en une tension continue, comme en réclament nos montages. Malheureusement, le secteur est omniprésent : tous les conducteurs reliés au secteur produisent des champs électriques à 50 Hz, ou des champs magnétiques quand ils sont parcourus par un courant. Tous les corps conducteurs qui se trouvent dans une maison (raccordée au secteur) sont soumis, par couplage capacitif ou inductif, à ces champs électriques et magnétiques. De ce fait, ils deviennent tous des sources de bruit potentielles. Pour vous en rendre compte, touchez du doigt l'entrée



la ronfle

d'un oscilloscope. Vous serez surpris de voir sur l'écran une sinusoïde (déformée) de plusieurs volts d'amplitude. Vous imaginez sans peine que les circuits audio qui sont reliés plus directement au secteur sont le siège de tensions alternatives encore plus importantes. Le transformateur en

particulier : non seulement il est relié au secteur, ce qui en fait une source de champs électriques, mais en plus il fonctionne par le jeu de champs magnétiques, ce qui ne peut qu'aggraver la situation. Comme on ne peut guère se passer du 220 V, il faut se protéger des ses effets néfastes.

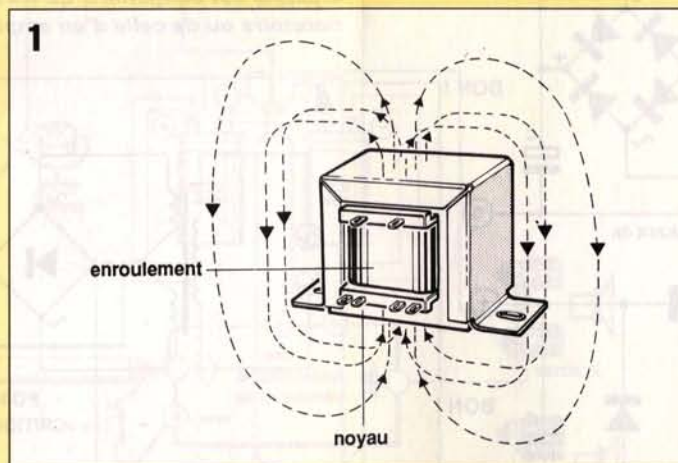


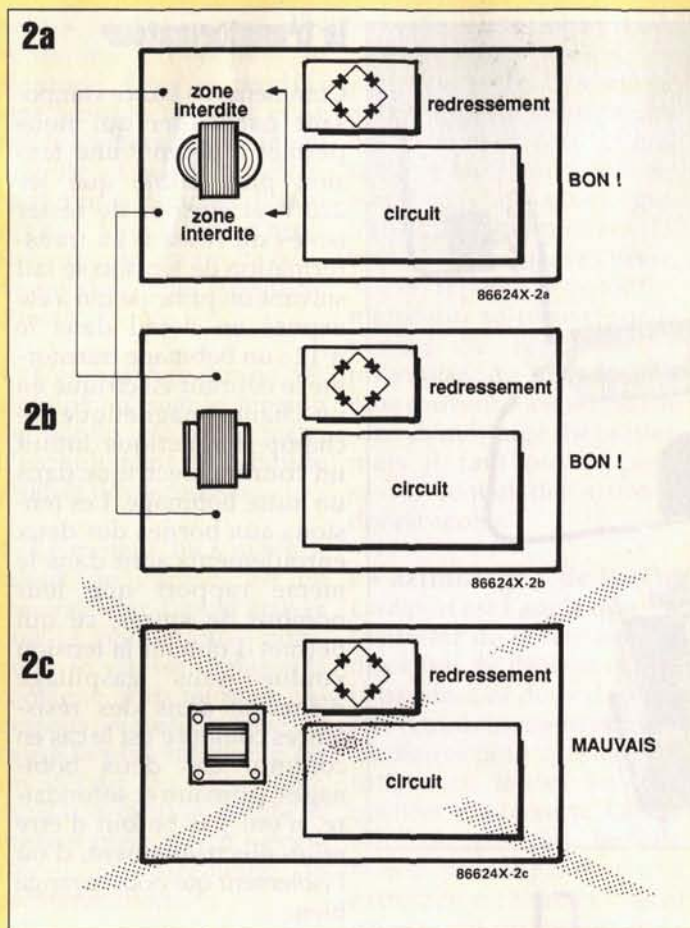
Figure 1 - Tous les transformateurs, sauf ceux à noyau torique, émettent un champ magnétique parasite. Les conducteurs qui se trouvent à proximité se comportent alors comme des secondaires supplémentaires et la tension induite risque d'être amplifiée.

le transformateur

Commençons par ce composant particulier qui nous permet d'obtenir une tension plus faible que les 220 V et surtout de rester isolés du réseau. La transformation de tension se fait suivant un principe qui a été exposé en détail dans le n°12 : un bobinage transforme le courant électrique en un champ magnétique, ce champ magnétique induit un courant électrique dans un autre bobinage. Les tensions aux bornes des deux enroulements sont dans le même rapport que leur nombre de spires, ce qui permet d'obtenir la tension voulue sans gaspillage d'énergie dans des résistances comme c'est le cas en continu. Les deux bobinages, primaire et secondaire, n'ont pas besoin d'être reliés électriquement, d'où l'isolement qui nous arrange bien.

Jusqu'ici tout va bien. Ou plutôt tout irait bien si le transformateur n'avait pas de fuites. Dans les transformateurs ordinaires, le champ magnétique n'est pas entièrement contenu dans les tôles du circuit magnétique, il s'en « échappe » une fraction en dehors du noyau et en-dehors des enroulements. Tous les conducteurs qui se trouvent à proximité du transformateur sont le siège de courants alternatifs induits, d'autant plus intenses que la distance est plus faible. D'autre part, les fuites magnétiques se font principalement suivant certaines directions (figure 1). Pour minimiser l'importance des courants induits, il faut veiller à l'orientation du transformateur par rapport au châssis. La disposition la plus favorable est celle de la figure 2a, celle de la figure 2b est acceptable. Dans tous les cas, il faut éviter de disposer le transformateur parallèlement au circuit imprimé (figure 2c).

Les autres précautions à prendre concernant le câblage : les fils qui transportent



le courant alternatif doivent être aussi courts que possible, ce qui limitera l'intensité des champs magnétiques produits ; les conducteurs qui véhiculent un signal doivent être éloignés des sources alternatives, ce qui limitera les courants induits.

S'il n'est pas possible de respecter ces impératifs de câblage, il faudra blinder le transformateur avec une tôle d'acier ou d'aluminium.

le redresseur

Tous les appareils audio utilisent du courant continu. Il faut donc redresser et filtrer la tension alternative du transformateur. Le résultat est une tension continue, mais elle n'est pas exempte d'ondulations, comme celle de piles ou d'accumulateurs. Ces ondulations sont une composante alternative superposée à la tension continue. La composante alternative est plus importante quand le montage ne redresse qu'une alternance comme sur la figure 3a. Il faut éviter ce type de redresseur et utiliser l'un des mon-

tages à deux alternances des figures 3b et 3c.

L'ondulation liée au redressement est limitée et presque éliminée par un filtrage énergique. La capacité du condensateur de filtrage est déterminée par l'intensité maximale du courant consommé. Dans le cas où le redresseur est suivi d'un régulateur, comme dans les alimentations de laboratoire, il faut prévoir 1000 μF par ampère. Dans le cas des amplificateurs, il faut porter cette valeur à 2200 μF par ampère pour compenser l'absence de régulation.

Les étages préamplificateurs ne doivent pas être soumis aux variations de tension provoquées par la consommation des étages de puissance. Il est indispensable, pour les découpler, de les alimenter par l'intermédiaire d'un régulateur tripolaire de la série 78xx ou 79xx.

le câblage de puissance

Quel que soit le diamètre des fils qui transportent le courant, leur résistance n'est

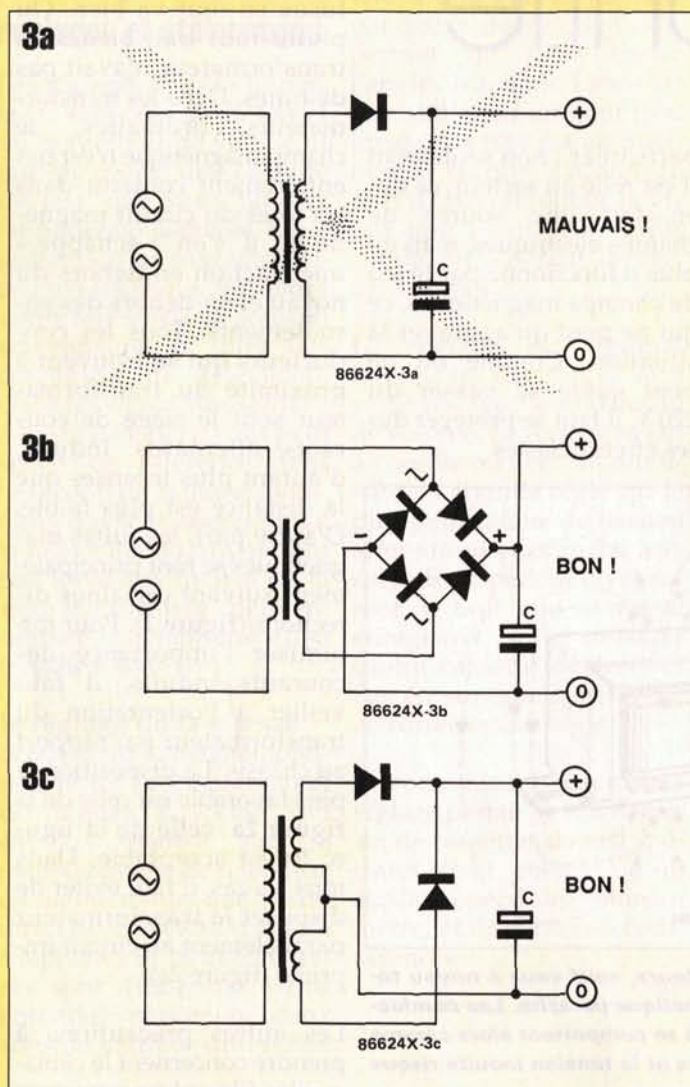
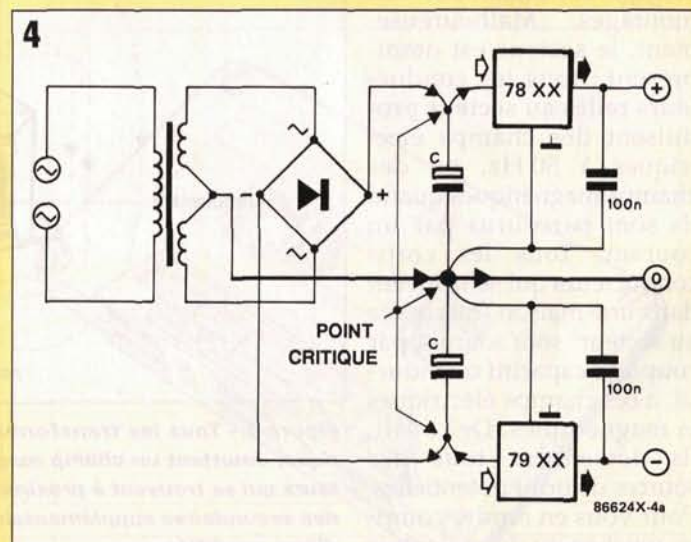


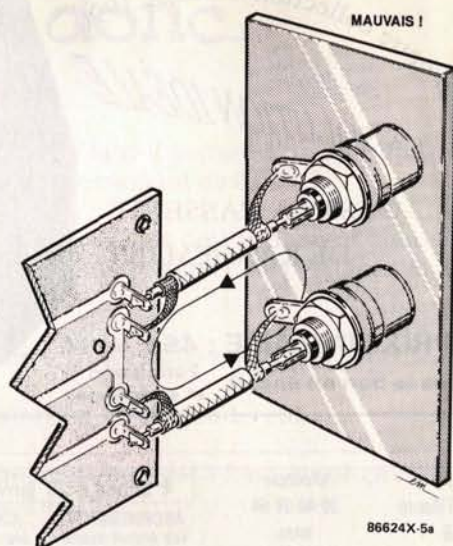
Figure 2 - De ces différentes façons de disposer l'un par rapport aux autres un transformateur et des circuits imprimés, l'une est interdite, une est acceptable, une seule est conseillée.

Figure 3 - Le redressement monoalternance ne convient absolument pas pour les applications audio. Que l'alimentation soit simple ou symétrique, il faut recourir au redressement à double alternance (b ou c).

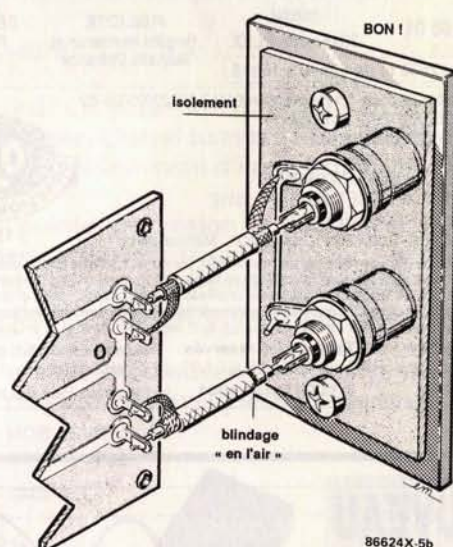
Figure 4 - Cette configuration physique des organes d'un redresseur est obligatoire, qu'il s'agisse d'une alimentation de laboratoire ou de celle d'un amplificateur BF.



5a



5b



pas nulle. Les courants relativement importants qui sont nécessaires aux étages de puissance provoquent des chutes de tension variables qui peuvent être amplifiées par les étages préamplificateurs les plus sensibles. Le schéma de la figure 4 ne représente pas seulement le principe d'une alimentation symétrique d'amplificateur, il représente aussi la disposition physique des éléments et le chemin que doit suivre le courant. C'est le condensateur de filtrage qui doit être considéré comme la source d'énergie du montage à alimenter. Imaginons que l'entrée du régulateur 78xx soit reliée au pôle positif du pont redresseur et non au condensateur : dans ce cas, pendant les « creux » entre les alternances, le courant débité par le condensateur devrait parcourir une longueur de fil supplémentaire avant de parvenir au régulateur. Toute longueur de fil supplémentaire représente une résistance et une inductance, donc une chute de tension supplémentaires. Comme ce courant est variable en intensité, c'est une source de bruit supplémentaire.

Ce raisonnement est valable

aussi pour la liaison de masse. Le potentiel de la broche de masse du régulateur est le potentiel de référence. Les courants consommés par l'amplificateur provoquent une chute de tension dans la section de fil comprise entre le pôle négatif du condensateur et le point marqué 0. Si la broche de masse était reliée à ce point, son potentiel changerait par rapport à celui du condensateur, ce qui provoquerait de variations de tension de sortie au gré des variations de l'intensité consommée.

Ces deux points critiques justifient que tous les départs de courant d'alimentation (+ et -) se fassent depuis le condensateur, de même il faut que tous les retours à la masse, y compris celui de la broche de référence des régulateurs, se fassent au même point, le point commun des condensateurs. C'est ce qu'illustre la photo. Pour les alimentations simples (par opposition aux alimentations symétriques), oubliez simplement la partie inférieure de la figure 4, mais respectez la disposition de la partie supérieure.

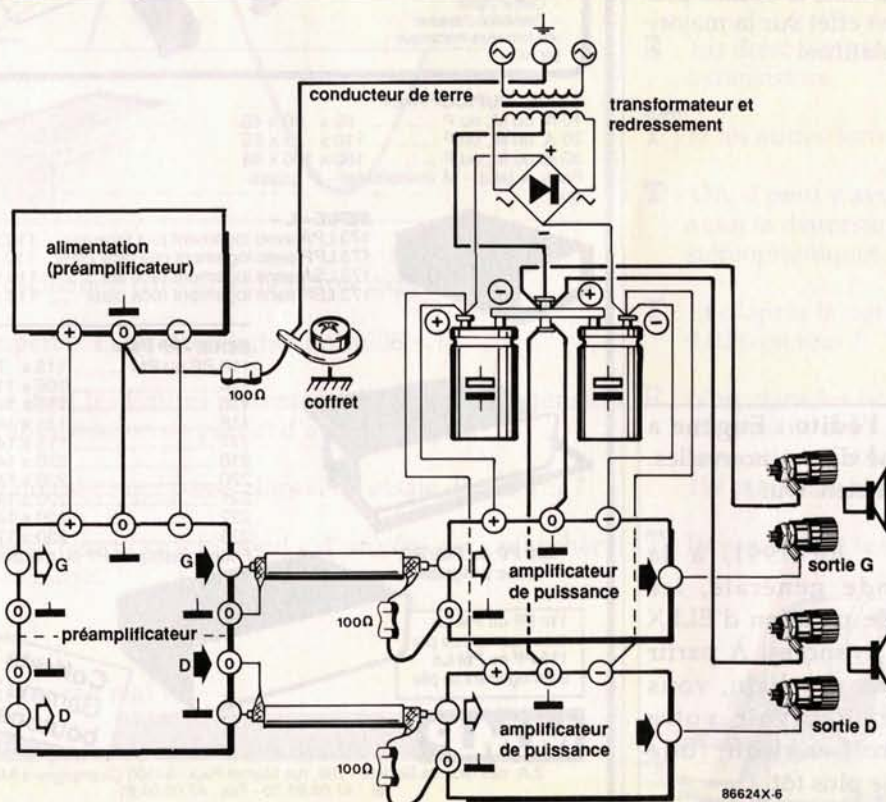
le câblage des signaux

Vous avez intérêt à installer tous vos appareils audio dans des coffrets métalliques pour éviter les rayonnements électriques et magnétiques de l'extérieur. Ce coffret métallique pose un

Figure 5 - Les douilles d'entrée et de sortie des signaux doivent être raccordées par du fil blindé, mais pas n'importe comment. La boucle de masse constitue un secondaire de transformateur, prêt à transformer en tensions parasites tous les champs magnétiques qui peuplent notre environnement. Les douilles doivent toujours être isolées du coffret.

Figure 6 - Bouquet final : tous les détails de construction sont rassemblés ici. Les liaisons en gras sont celles des points critiques, elles doivent être faites en fil de forte section. Dzing !

6



autre problème pour les douilles cinch (RCA) d'entrée et de sortie des signaux : il faut que leur connexion de masse reste isolée de la masse du coffret. En effet, le blindage du fil de liaison, déjà raccordé à la masse du préamplificateur ou de l'amplificateur, formerait, s'il était relié à celle du coffret, une **boucle de masse**. Cette boucle conductrice se comporterait comme une spire secondaire et capterait le champ magnétique émis par le transformateur d'alimentation. La tension qui naît aux bornes du blindage se trouve en série avec la tension du signal et s'y ajoute pour être amplifiée par le reste du montage. Le défaut serait le même si vous reliez ensemble les blindages de deux douilles montées sur une plaquette isolante (figure 5a). La disposition convenable est celle de la figure 5b, où la boucle de masse est interrompue puisqu'une seule douille est raccordée à l'amplificateur.

Dans le cas d'un préamplificateur avec de nombreuses entrées, vous ne raccorderiez qu'un blindage, celui de l'entrée la plus sensible (microphone ou tourne-disque). Tous les autres blindages resteront « en l'air » du côté des douilles et vous court-circuitez les masses au plus court par des fils séparés.

Les connexions des haut-parleurs, bien qu'elles véhiculent des signaux, doivent être considérées comme des lignes d'alimentation, du fait de la puissance mise en jeu. Vous ramèneriez donc directement au point de masse de l'alimentation les connexions de masse des haut-parleurs, sans les relier à aucun autre point.

cohabitation

L'amplificateur de puissance et le préamplificateur cohabitent souvent dans un même coffret, avec les problèmes que posent les deux alimentations et les boucles de masse. Si vous le pouvez, utilisez deux alimentations

distinctes qui ne seront reliées que par les blindages des fils de sortie (figure 6). Les signaux de sortie du préamplificateur seront acheminés jusqu'à l'étage de puissance par un câble blindé (ou deux en stéréo) dont le blindage est relié à la masse de puissance par une résistance de 100 Ω . Ces résistances interdisent la circulation des courants induits dans la boucle de masse et suppriment tout ronflement. Elles ne nuisent pas au fonctionnement de l'ensemble car les liaisons où elles sont insérées sont des liaisons de tension et non de courant : c'est leur potentiel qui sert de référence, alors que les courants consommés retournent à l'alimentation par un fil distinct.

La dernière mesure à prendre est de relier la masse du préamplificateur à la terre et à la masse du coffret par une résistance de 100 Ω , ce qui permet de fixer le potentiel de tout l'appareil. Les seuls ronflements à craindre maintenant peuvent provenir de la table de lecture de disques. Pour les supprimer, il faut relier ensemble les masses des deux appareils, par un fil séparé fixé sous une vis de chacun des boîtiers, ou dans la douille prévue à cet effet sur la majorité des platines.

86624

PS de l'édito : Eugène a redonné de ses nouvelles. Tout va bien. Ouf !

re-PS : En 1991, à la demande générale, les dates de parution d'ELEX seront avancées. À partir du mois prochain, vous devriez recevoir votre numéro environ une semaine plus tôt.

pour conserver et classer votre collection d'ELEX 1990

LA SOLUTION IDEALE

C'EST LA CASSETTE DE RANGEMENT

PRIX UNITAIRE : 46 F + 25 F

Utilisez le bon en encart Forfait port et emballage



ELEX les Trois Tilleuls BP59 59850 NIEPPE ☎ 20 48 68 04	télécopie 20 48 69 64 téléc 132 167 minitel 3615 code ELEX	4^e année n°29 janvier 1991 ABONNEMENTS voir encart avant-dernière page PUBLICITÉ Brigitte Henneron et Nathalie Defrance	ADMINISTRATION Jeanine Debuysier et Marie-Noëlle Grare DIRECTEUR DELEGUE DE LA PUBLICATION Robert Safie
--	--	---	---

de 8h30 à 12h30 et de 13h15 à 16h15

Banque : Société Générale - Armentières n°01113-00020095026-69
CCP PARIS 190200V libellé à «ELEX»
Société éditrice : Editions Castella
SA au capital de 1 000 000 F
siège social : 25, rue Monge 75005 PARIS
RC PARIS 378 000 699 SIRET 00033 APE : 5112
principal associé : VISLAND S.A.R.L.
Directeur Général et directeur de la publication : Marinus Visser

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957, art. 40 et 41 et Code Pénal art. 245)

Dépôt légal : janvier 1991 **Tous droits réservés pour tous pays**
n° ISSN : 0990-737X **© ELEKTUUR 1991**
n° CPPAP : 70184

Maquette, composition et photogravure par GBS - BEEK (NL)
imprimé aux Pays-Bas par NDB - Leiden



NOUVEAU

«C1»

- Dimensions : 84 x 58 x 26.
- Coffret clipsé.
- Possibilité d'assurer une fermeture mécanique par vis.



SERIE «PUPICOFFRE»

10 A, ou M, ou P	85 x 60 x 40
20 A, ou M, ou P	110 x 75 x 55
30 A, ou M, ou P	160 x 100 x 68

Face A (alu) - M (métallisée) - P (plastique).

SERIE « L »

173 LPA avec logement pile face alu	110 x 70 x 32
173 LPP avec logement pile face plast.	110 x 70 x 32
173 LSA sans logement face alu	110 x 70 x 32
173 LSP sans logement face plast	110 x 70 x 32

SERIE « PP PM »

110 PP ou PM	115 x 70 x 64
114	106 x 116 x 44
115	115 x 140 x 64
116	115 x 140 x 84
117	115 x 140 x 110
210	220 x 140 x 44
220	220 x 140 x 64
221	220 x 140 x 84
222	220 x 140 x 114
235	230 x 175 x 48

Faces plastiques PP ou métallisées PM

220 PP ou PM/PG avec poignée

110 PP ou PM Lo avec logement de pile
115 PP ou PM Lo avec logement de pile

MMP

Z.A. des Grands Godets - 799, rue Marcel Paul - 94500 Champigny-s/Marne
Tél. : 47.06.95.70 - Fax : 47.06.04.01

Coffrets plastiques Gamme standard de boutons de réglage.

Dis donc...

Transi : ... que faut-il penser d'un amplificateur dont le taux de distorsion est de 0,02% ?

Rési : ... 0,02% ? C'est déjà rudement bien. En tous cas, moi je ne pense pas que tu la perçoives, la distorsion, à ce taux-là.

T : Et comment est-ce que je le sais si je l'entends ou pas ?

R : La distorsion, ça s'entend... euh..

T : Oui, quand l'ampli est à fond et que ça craque et que ça sature à mort.

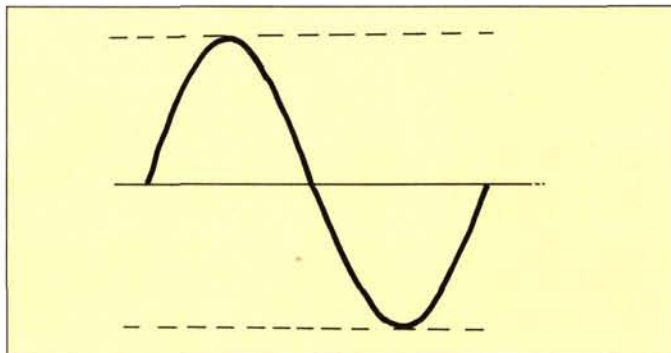
R : Eh bien, tu vois bien que tu l'entends !

T : Oui mais on parlait de ...

R : D'accord ! On parle de 0,02%, mais en principe c'est la même chose. Quand tu enregistres une cassette et que tu règles mal le niveau d'enregistrement...

T : ... Les pointes de tension deviennent si fortes qu'elles ne passent plus, je connais ça, tu me l'as déjà expliqué. Quand les étages de puissance essaient de sortir de la plage définie par leur tension d'alimentation...

R : Arrête, c'est impossible ! Ils ne PEUVENT pas sortir de cette plage, c'est physiquement IMPOSSIBLE. Regarde. Voici une sinusoïde :



R : L'oscillation dans sa plus simple expression.

T : Superbe. Et les deux lignes pointillées ?

R : Ce sont les limites justement : la plage de la tension d'alimentation de part et d'autre du zéro.

T : Et qu'est-ce qui passe alors si on essaie d'en sortir ?

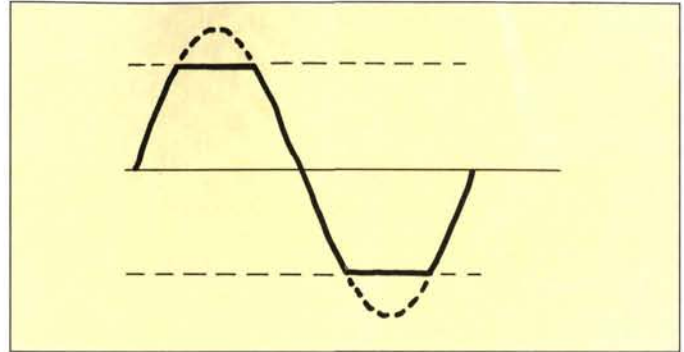
R : On se heurte au « plafond » d'un côté, au « plancher » de l'autre.

T : Aïe !

R : Tu t'es fait mal ?

T : Non pas moi, mais la sinusoïde.

R : Hmm... Voilà ce que donne l'amplificateur saturé :



T : Ce n'est plus un amplificateur, c'est un rabot !

R : C'est de la distorsion. Cette modification de la forme d'onde fondamentale...

T : ... Toujours une sinusoïde ?

R : Oui, bien sûr... donne naissance à des harmoniques qui se superposent au signal d'origine et en transforment le timbre.

T : Comment s'y prend-on pour indiquer cette distorsion en pourcentage, puisqu'il faudrait tenir compte d'un signal d'entrée donné, pour un niveau de sortie précis ? Et d'ailleurs ça fait plus que 0,02% ce que tu me montres là !

R : La distorsion, dans un amplificateur, peut avoir des causes multiples, et on désigne par ce terme tout ce qui modifie le signal d'origine. Pas seulement la saturation de l'étage de sortie ! Il y a par exemple la distorsion de croisement, dont il est question d'ailleurs dans ce numéro.

T : Ah ?

R : Lis donc l'article sur l'Aurock, l'amplificateur de 35 W à transistors.

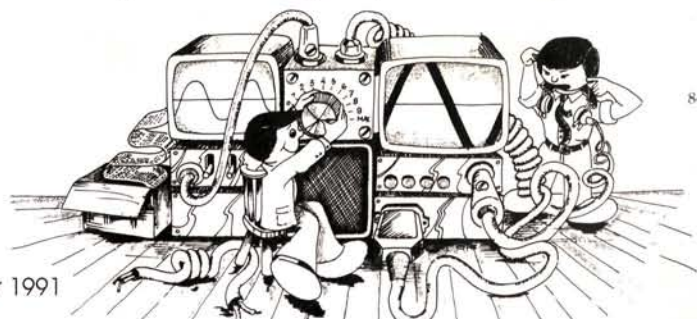
T : Et les autres formes de distorsion ?

T : Oh, il peut y avoir de la distorsion de phase, et il y a aussi la distorsion d'intermodulation, quand les voies stéréophoniques se chevauchent et...

T : Et d'après la notice de l'amplificateur ça ne ferait que 0,02% en tout ?

R : Non, dans les fiches techniques des amplificateurs, la distorsion dont il est question exclut les effets de la saturation. On la mesure à des puissances modestes, 1W ou même moins.

T : Ils pourraient le signaler, tu ne trouves pas ?



84803

Le gros problème du modéliste n'est pas de construire un réseau, c'est d'y faire circuler des trains. Plus le réseau s'agrandit et plus s'accroît le nombre de manoeuvres à accomplir pour régler la circulation et établir les itinéraires. Quand le réseau est étendu, que les aiguillages sont nombreux, il devient difficile de voir leur position et de la corriger éventuellement. C'est vrai surtout dans les triages, où les rames à l'arrêt cachent les aiguilles. Dans la réalité aussi, c'est le facteur humain qui provoque les catastrophes. Un montage simple et peu coûteux en composants permet d'automatiser l'établissement d'itinéraires.

le facteur humain

Comme dans les chemins de fer grandeur nature, nous allons nous attacher à diminuer l'importance du facteur humain, faute de pouvoir l'éliminer complètement. Comme la manoeuvre de chaque aiguille représente un risque d'erreur, nous allons essayer de diminuer le nombre de manoeuvres à exécuter. Les grands tableaux synoptiques, avec des voyants et des boutons innombrables sont impres-

s i o n -
nants à voir
mais peu effi-
caces et difficiles à
manipuler.

Pour diriger un wagon ou un ensemble de wagons vers une voie donnée en partant d'un endroit donné, il faut généralement placer plusieurs aiguillages dans la bonne position. Plus les possibilités sont nombreuses, plus il y a d'aiguilles et plus il y a de risques d'erreurs. Supposons que notre rame est à l'entrée du triage et qu'il n'y ait, pour l'orienter vers chacune des voies de garage, qu'un bouton à actionner. Le risque lié au facteur humain se réduirait alors à une erreur sur le choix de la voie.

la matrice

Le montage que nous proposons ici n'est pas un circuit à proprement parler, mais plutôt une méthode pour résoudre vos problèmes de triage. L'exemple retenu est celui du triage « à la butte ». Toutes les gares

trriage

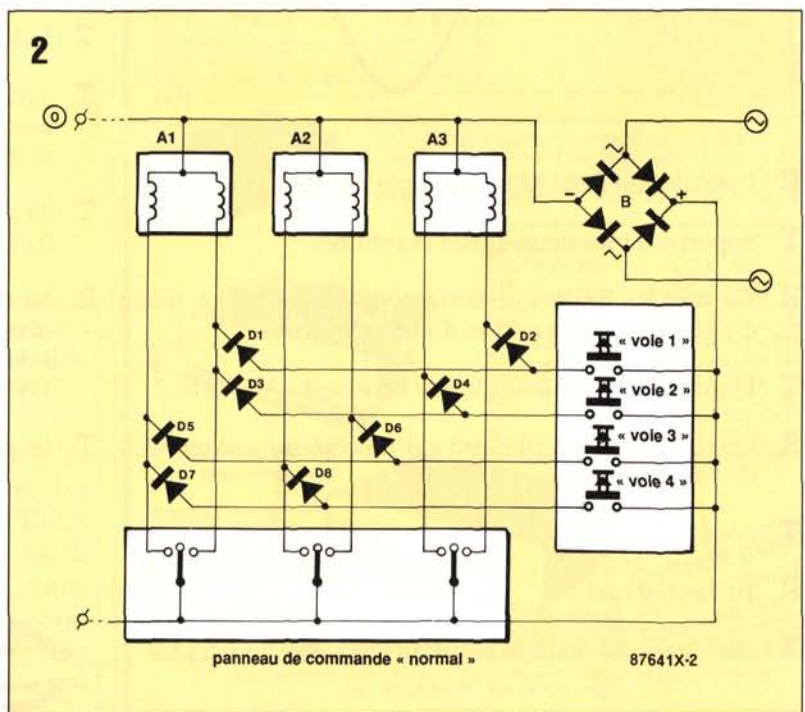
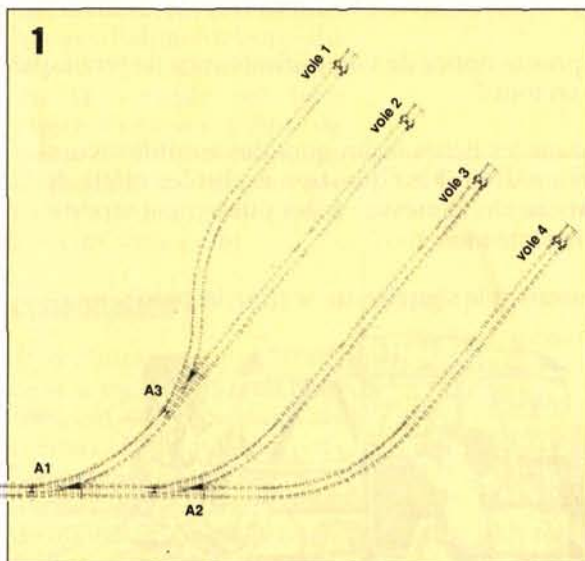
de triage un peu importantes utilisent ce principe pour composer les trains de marchandises. Le fonctionnement est simple : les wagons dételés sont poussés en haut d'une butte de quelques mètres de dénivellation. Passé le point culminant, le premier wagon de la rame amorce la descente par gravité et prend assez de vitesse pour rouler jusqu'à une voie de garage, en suivant l'itinéraire fixé par la position des aiguillages. C'est ainsi qu'une rame se constitue, wagon par wagon, sur chacune des voies du triage. Un petit triage pourrait être représenté par le schéma de la figure 1. Les quatre voies de garage sont desservies par trois aiguillages, et la butte se trouve à gauche de l'aiguille A1.

Si le wagon qui dévale la butte est destiné à la voie 1, les aiguilles A1 et A2 doi-

vent être « déviées » et la position de l'aiguille 2 est indifférente. Pour la voie deux, l'aiguille 1 doit être déviée, l'aiguille 3 droite, et ainsi de suite. La matrice à diodes nous permet, par pression sur un seul bouton par voie de garage, de placer d'un coup toutes les aiguilles qui conduiront un wagon de la butte à la voie choisie.

La figure 2 représente le principe du câblage pour les trois aiguilles de la figure 1. En haut figurent les trois aiguilles avec chacune ses deux bobines de commande (des électro-aimants) ; tout en bas, ce sont les inverseurs « normaux » qui permettent la commande individuelle des aiguilles. Jusque-là, tout est normal et rien n'est automatique. Pour vous rassurer sur la durée

Figure 1 - (ci-dessous) Exemple simple de triage à la butte. Figure 2 - (ci-contre) Quelques poussoirs supplémentaires et quelques diodes permettent de manoeuvrer d'un coup toute une série d'aiguillages.



automatisé

de l'interruption du trafic provoquée par les travaux, disons tout de suite que rien de ce qui existe ne demande à être changé. Tout le dispositif continuera de fonctionner comme avant. La matrice de diodes et les poussoirs par voie sont rajoutés sans aucune suppression.

Tout le circuit (pour cet exemple à quatre voies) se résume à quatre poussoirs

et huit diodes. Appuyons sur le poussoir de la voie 1, les diodes D1 et D2 sont conductrices, les bobines de droite des aiguilles A1 et A2 sont alimentées et les aiguilles déviées. L'itinéraire est établi. Toutes les autres diodes sont polarisées en inverse et restent bloquées, les autres poussoirs et les autres bobines ne sont soumis à aucune tension.

Ce qui précède est vrai à une seule condition, mais

d'importance : le tout doit être alimenté en courant continu.

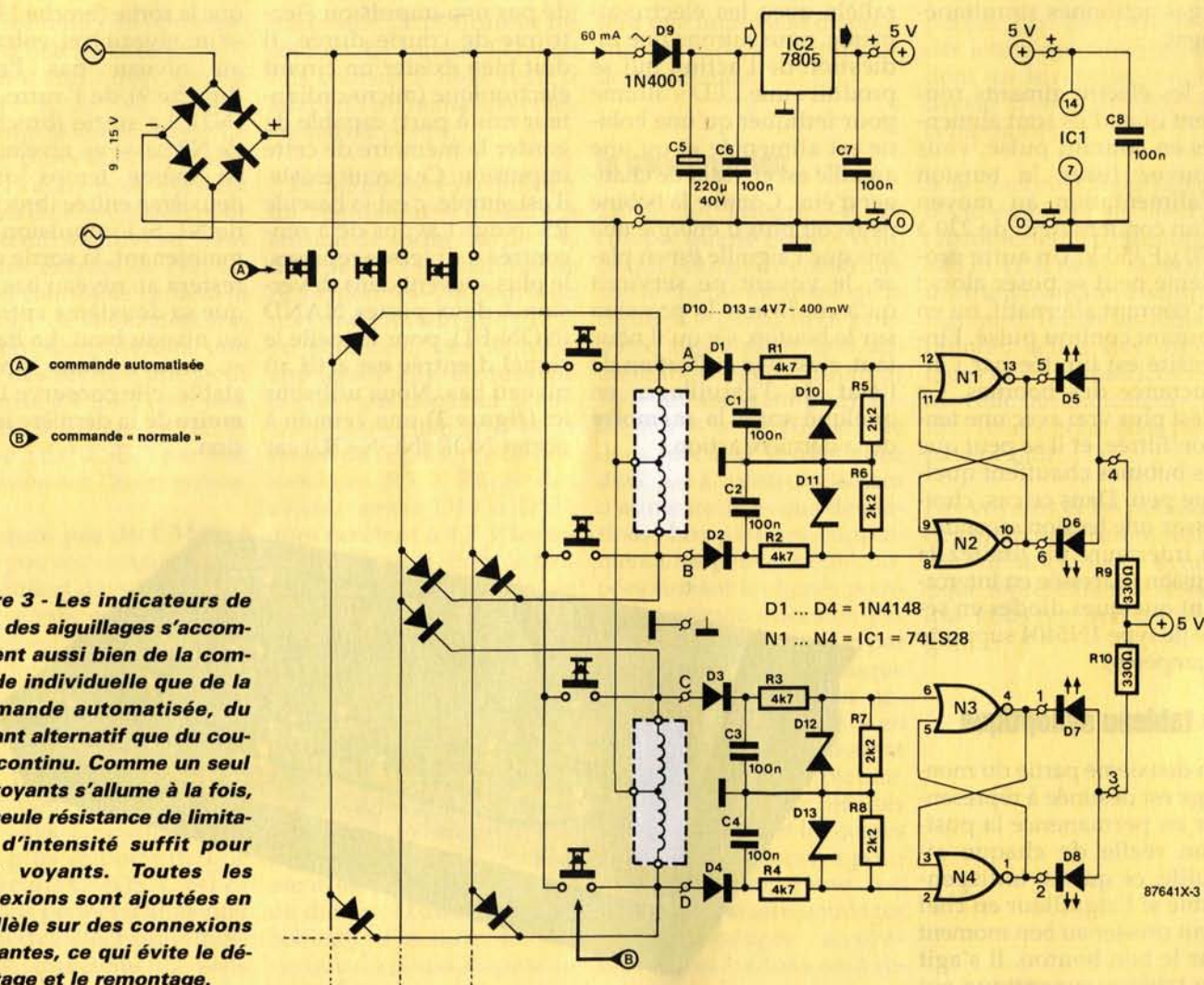
tension continue

La plupart des accessoires de réseau ferré miniature fonctionnent en courant alternatif, c'est pourquoi la sortie « accessoires » des transformateurs délivre simplement une tension alternative. C'est pour adapter le montage à ce cas le plus courant que le schéma comporte un redresseur en pont, au-dessus des boutons de

commande de voie. Sans le redresseur, le courant aurait pu passer par la ligne commune des poussoirs (horizontale) et actionner les autres aiguilles pendant les alternances négatives.

Les électro-aimants d'aiguillage sont presque toujours prévus pour du courant alternatif, mais heureusement ils fonctionnent sans différence notable en courant continu. Le courant continu pulsé débité par le pont redresseur sans condensateur de filtrage est ce qui ressemble le plus à du courant alternatif (imaginez une série de demi-sinusoïdes positives). Nous nous contenterons donc de ce redresseur

3



ment sommaire. Pour déterminer la taille du pont, comptez 500 mA par bobine alimentée. Dans le cas de trois aiguilles actionnées simultanément, il faut un pont capable de délivrer au moins 1,5 A, par exemple un B80C1500. Il vaut mieux choisir un modèle plus puissant que ce qui est strictement nécessaire, pour la sécurité d'abord, et aussi pour envisager les extensions ultérieures du réseau. D'autre part, il faut que le transformateur soit capable, de son côté, de fournir l'intensité nécessaire. Ce n'est pas forcément le cas, puisque jusque-là les aiguillages étaient manœuvrés un par un. Si le transformateur existant est surchargé, vous vous en rendrez compte à la baisse d'intensité de l'éclairage. Il faudra alors équiper le réseau d'un transformateur supplémentaire, dont l'intensité secondaire sera calculée avec la même règle : 0,5 A multiplié par le nombre maximal d'aiguillages actionnés simultanément.

Si les électro-aimants ronflent quand ils sont alimentés en courant pulsé, vous pouvez lisser la tension d'alimentation au moyen d'un condensateur de 220 à 470 μ F/50 V. Un autre problème peut se poser alors : en courant alternatif, ou en courant continu pulsé, l'intensité est limitée par l'inductance des bobines. Ce n'est plus vrai avec une tension filtrée, et il se peut que les bobines chauffent quelque peu. Dans ce cas, choisissez une tension secondaire inférieure ou limitez la tension redressée en intercalant quelques diodes en série (le type 1N5404 supporte 3 ampères).

le tableau synoptique

La deuxième partie du montage est destinée à représenter en permanence la position réelle de chaque aiguille, ce qui est indispensable si l'aiguilleur en chef veut presser au bon moment sur le bon bouton. Il s'agit du tableau synoptique qui



rassemble tous les voyants des aiguillages. Il fait appel à un peu plus d'électronique que la simple matrice à diodes. Si nous connectons simplement des LED en parallèle avec les électro-aimants, nous aurons une indication de l'action qui se produit : une LED s'allume pour indiquer qu'une bobine est alimentée et qu'une aiguille est en train de changer d'état. Comme la bobine ne reçoit plus d'énergie une fois que l'aiguille est en place, le voyant ne servirait qu'à confirmer la pression sur le bouton. Ce qu'il nous faut, c'est une indication de l'état de l'aiguillage, en quelque sorte la mémoire de la dernière action.

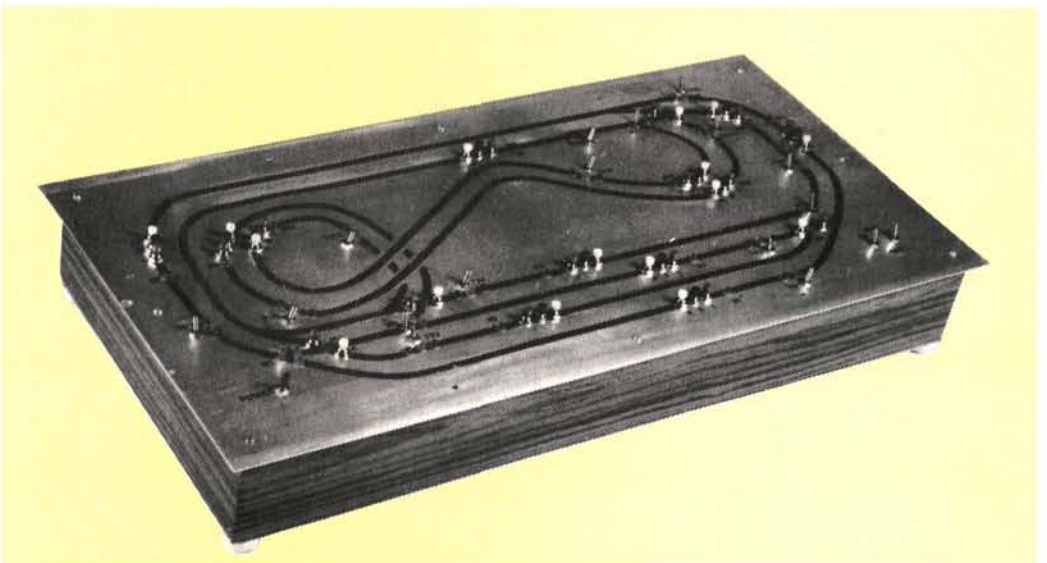
la bascule RS

L'aiguillage ne connaît que deux positions, chacune excluant l'autre. Le passage de l'une à l'autre est commandé par une impulsion électrique de courte durée. Il doit bien exister un circuit électronique (micro-ordinateur mis à part) capable de garder la mémoire de cette impulsion. Ce circuit existe, il est simple, c'est la bascule RS. Nous l'avons déjà rencontrée à diverses reprises, le plus souvent dans sa version à deux portes NAND (NON-ET), pour laquelle le signal d'entrée est actif au niveau bas. Nous utilisons ici (figure 3) une version à portes NOR (NON-OU) car

nos signaux de commande sont positifs.

Vous reconnaissez dans la partie gauche de la figure 3 le schéma de la figure 2 pour ce qui est des commandes, la rangée de boutons A (horizontale) pour les commandes automatisées, la rangée de boutons B (verticale) pour les commandes individuelles des aiguilles. Les sections supplémentaires sont les bascules RS d'une part et l'alimentation du circuit logique d'autre part.

Chaque bascule RS utilise deux portes NOR dont la table de vérité peut se résumer à ces quelques mots : pour que la sortie soit au niveau bas, il faut et il suffit que l'une des entrées soit au niveau haut. Dans l'état représenté par le schéma, les sorties sont à un niveau quelconque. Supposons qu'une impulsion positive se présente sur l'entrée (broche 12) de N1. Cette impulsion est suffisante pour que la sortie (broche 13) passe au niveau bas, entraînant au niveau bas l'entrée (broche 9) de l'autre porte (N2). La sortie (broche 10) de N2 passe au niveau haut, en même temps que la deuxième entrée (broche 11) de N1. Si l'impulsion cesse maintenant, la sortie de N1 restera au niveau bas puisque sa deuxième entrée est au niveau haut. La bascule se trouve dans un état stable, elle conserve la mémoire de la dernière impulsion.



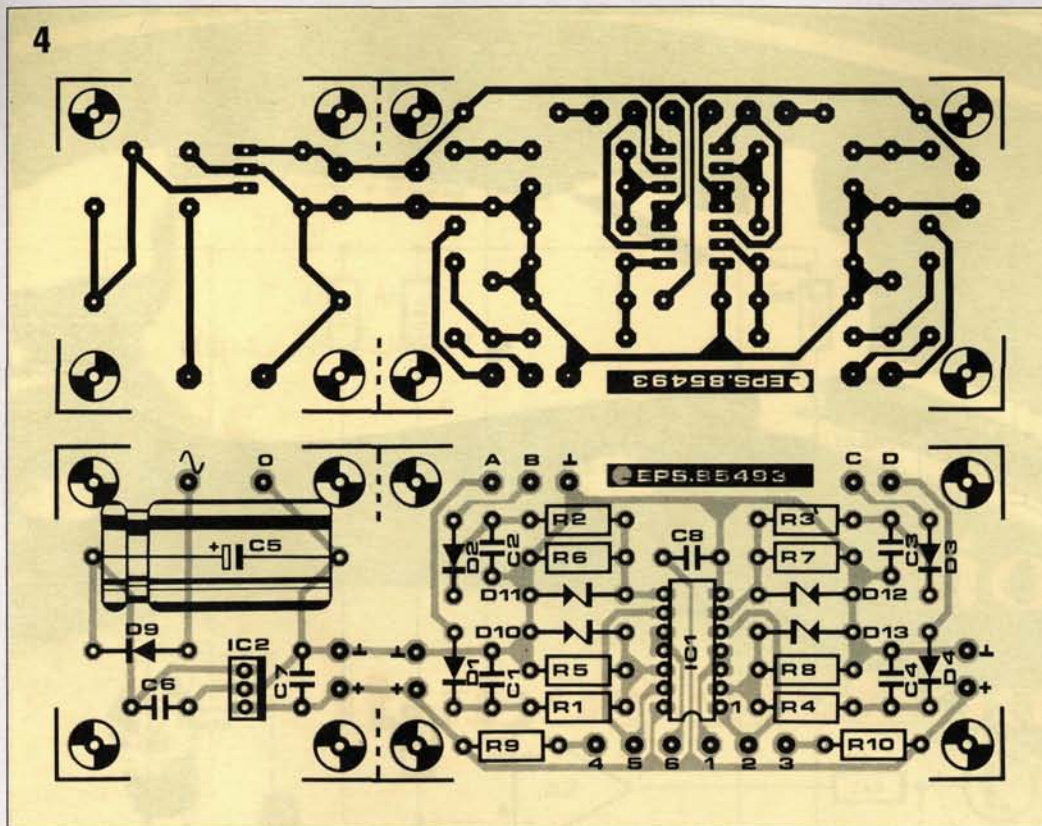


Figure 4 - Le circuit imprimé permet de loger un indicateur pour deux aiguillages et une alimentation pour 8 à 10 indicateurs. La mise en parallèle des modules est facilitée par la présence de picots aux deux extrémités de la platine. Le régulateur doit être muni d'un petit radiateur, d'autant plus important que la tension d'entrée sera élevée.

Pour obtenir un changement d'état de la bascule, il faut et il suffit que l'entrée (broche 8) de N2 reçoive une impulsion positive. Le même processus se reproduira : l'autre porte prendra le relais de l'impulsion pour maintenir au niveau haut une des entrées de N2. Ce nouvel état stable gardera la mémoire de la dernière impulsion. Considérons une seule des sorties, elle peut être mise à 1 (SET) par une impulsion sur une entrée, et remise à 0 (RESET) par une impulsion sur l'autre entrée.

pourquoi pas du CMOS?

Vous pouvez constater sur le schéma et dans la liste des composants que le circuit intégré est un 74LS28 alors que nous utilisons habituellement un CD4001 quand nous avons besoin de portes NOR. L'avantage des circuits TTL (et TTL-LS) est qu'ils peuvent drainer en sortie des courants beaucoup plus importants que les circuits CMOS. C'est ce qui nous permet d'alimenter les diodes électroluminescentes directement, sans

transistor amplificateur de courant. La logique TTL une fois choisie, il nous reste à adapter l'alimentation et les signaux d'entrée.

L'alimentation est confiée à un régulateur tripolaire à tension de sortie fixe de 5 V, de type 7805 – un habitué de nos colonnes –, encadré de ses condensateurs de filtrage habituels. Les signaux appliqués aux entrées ne doivent pas dépasser la tension d'alimentation. C'est la raison de la présence des résistances R5 à R8 et des diodes zener D10 à D13 : elles écrêtent à 4,7 V les signaux d'entrée, dont la tension est de 12 à 16 V. Les diodes D1 à D4 protègent le circuit contre les tensions négatives.

Tensions négatives ? L'alimentation n'est pas alternative ! L'alimentation pourrait aussi bien être alternative, si vous commandez vos aiguillages individuellement, sans utiliser la matrice de diodes. D'autre part, les bobines, au moment de l'ouverture du poussoir, produi-

sent une impulsion de polarité opposée à l'impulsion de commande.

la construction

Le circuit intégré 74LS28 compte quatre portes NOR, ce qui permet de construire sur le circuit imprimé de la figure 4 un indicateur pour deux aiguilles et une alimentation. Le régulateur 7805 est suffisant pour alimenter 8 à 10 circuits de deux bascules. Vous n'aurez donc pas à construire autant d'alimentations que de platines. Les platines supplémentaires peuvent être coupées suivant les lignes pointillées et raccordées en parallèle sur l'alimentation par les picots disposés à chaque extrémité. N'effectuez jamais les raccordements en soudant les fils directement dans les trous de la platine. Il faut utiliser pour cela des picots à souder et les cosses adéquates, de façon à pouvoir modifier l'une ou l'autre liaison sans soudages ni dessoudages acrobatiques. Les liaisons sont re-

liste des composants de la matrice à diodes

toutes les diodes 1N4001
pont redresseur B80C1500*
transformateur 16 V/1,5 A*
poussoirs unipolaires à fermeture

liste des composants du tableau synoptique

R1 à R4 = 4,7 kΩ
R5 à R8 = 2,2 kΩ
R9, R10 = 330 Ω
C1 à C4, C6 à C8 = 100 nF
C5 = 220 μF/40 V
D1 à D4 = 1N4148
D5 à D8 = LED
couleur au choix
D9 = 1N4001
D10 à D13 = zener
4,7 V/400 mW
IC1 = 74LS28
IC2 = 7805

transformateur : voir texte

* ou plus puissant, voir texte

pérées par des chiffres et des lettres qui se correspondent sur le schéma et sur le dessin d'implantation des composants.

Si le nombre d'aiguillages et d'indicateurs le justifie (10 indicateurs consomment 600 mA), il faudra installer un transformateur supplémentaire. Toutes les alimentations, celles des aiguillages et de la matrice comme celle des indicateurs, seront reliées entre elles par le pôle négatif.

Les voyants et les poussoirs de commande seront installés sur un tableau synoptique représentant le réseau, que vous réaliserez à votre goût.

87641

arrêt
au
stand

réservoir pour modèle réduit



« ... et voici les trois voitures de tête qui abordent les deux derniers virages de la Grande Boucle le spectacle est grandiose Mesdames et Messieurs la tension est à son comble dans les tribunes on jubile le bolide rouge de notre champion national est toujours en tête c'est prodigieux Mesdames et Messieurs la victoire est là à portée de mais euh que se passe-t-il alors que les concurrents c'est incroyable viennent d'aborder la dernière ligne droite oh c'est impossible c'est incroyable la disgrâce oh la honte Mesdames et Messieurs le spectacle est il s'arrête sur le bord de la piste c'est fini c'est fini c'est la fin l'impossible l'inimaginable l'explicable la catastrophe que s'est-il passé... »

La réponse aux questions angoissées de ce commentateur sportif apoplectique est simple : une panne d'électricité. S'il avait regardé la LED rouge à côté du transformateur d'alimentation du circuit-de-modèles-réduits-électriques-de-voitures-de-course, il aurait vu qu'elle était déjà allumée bien avant les derniers virages. Ce qui indiquait que la voiture rouge n'avait aucune chance d'arriver au bout de la course à cette vitesse avec « le peu d'essence qui lui restait dans le réservoir ». Encore un tour ?

circuit 24

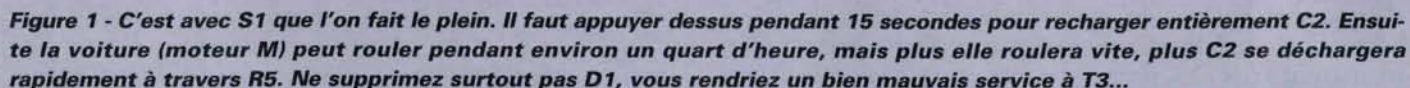
Depuis leur apparition dans les années 60, les mini-circuits de voitures de course téléguidées n'ont pas connu un succès égal. Ils restent

néanmoins une valeur sûre sur les listes de cadeaux du Père Noël et sur les carnets de commande des marchands de jouets. Ces circuits, et surtout les voitures qui y circulent, imitent fort bien leurs modèles. Cependant grâce à l'électronique, il est possible de pousser cette ressemblance beaucoup plus loin encore.

Normalement, les voitures sont alimentées en permanence, parce qu'on utilise pour cela un transformateur lui-même relié au réseau domestique d'alimentation électrique. C'est économique, certes, mais ennuyeux à la longue. Nous avons donc imaginé un dispositif qui permette d'assigner à chaque concurrent une quantité d'énergie électrique limitée. En faisant cela, nous mettons les modèles réduits

dans une situation comparable à celle des vrais bolides de course : leur réservoir ne peut contenir qu'une quantité définie de carburant qu'il leur faut consommer avec le meilleur rendement possible. Ce « réservoir électronique » se vide d'autant plus vite que le régime du moteur est élevé. Il pourra être adapté à n'importe quel circuit existant, à condition qu'il soit possible de l'insérer entre le transformateur d'alimentation et les rails conducteurs de la piste.

Examinons le schéma (figure 1). Pour faire le plein d'essence, il faut appuyer sur S1 pendant un certain temps. C'est l'arrêt au stand. Sur les prototypes que nous avons essayés, un plein permet de circuler pendant 17 à 20 minutes, à vitesse modé-

réservoir pour modèles réduits • *elex* n°29 • janvier 1991 51

ler pour se rendre au stand et faire le plein. Une fois que le niveau de tension sur l'entrée broche 5 d'A2 sera tombé sous le seuil de 1,2 V, ce sera le tour de la sortie du deuxième comparateur de repasser au niveau bas. Ce sera la panne sèche : T3 se bloque et le courant qui circulait à travers le moteur ne peut plus s'écouler vers la masse.

C'est ce qui venait précisé-ment de se passer dans le circuit au moment où vous avez commencé à lire cet article. L'as tousse...

l'astuce

Vous vous demandez sans doute comment il se fait que plus la voiture roule vite, plus le réservoir se vide rapidement. Cherchons ensemble du côté de l'alimentation du moteur. Le courant de service que nous fournit le transformateur d'alimentation (relié aux points A et B du schéma de la figure 1) du circuit est alternatif. Nous le redressons à l'aide des diodes D2 à D5 avant de l'appliquer au moteur. De là il passe par T3 -quand celui-ci est conducteur- puis il revient, par la masse et par R10 au transformateur par le redresseur... Vous remarquerez que la résistance R5, reliée d'autre part au condensateur C2, aboutit précisément au point où R10 rejoint le redresseur. Or, plus la voiture roule vite, plus il circule de courant, plus le potentiel sur ce point devient négatif.

Mais oui ! La tension qui règne sur ce point passe sous les 0 V de la masse et devient négative. C'est ainsi que l'on obtient une chute de tension plus forte sur R5, et par conséquent, une accélération de la décharge de C2.

Le lecteur vraiment attentif s'interroge sur la fonction de R10. Eh bien, c'est grâce à elle précisément que le point commun entre R5 et les anodes de D3 et D5 peut devenir négatif par rapport à la masse. Quant à ceux qui se demandent si le « réservoir électronique » est utilisable aussi bien avec les circuits alimentés en continu qu'en alternatif, nous leur disons oui. C'est même pour obtenir cette compatibilité que nous avons prévu le redresseur.

réalisation

Tous les composants tiennent sur une petite platine d'expérimentation que l'on pourra donc monter dans un coffret de toute petite taille. Réfléchissez bien néanmoins avant de commencer, car le circuit devra vraisemblablement être construit en deux exemplaires (un par piste). Il est préférable que les voitures aient chacune leur propre réservoir, n'est-ce pas ? Il serait donc judicieux de monter deux ou plusieurs réservoirs dans le même coffret. Faites les essais, en tous cas, avant de procéder à la mise en boîte. Il n'y a aucun réglage à faire, mais il faut veiller à

Liste des composants

- R1, R4 = 10 k Ω
- R2 = 68 k Ω
- R3, R6 = 1 k Ω
- R5 = 2,2 M Ω
- R7 = 2,2 k Ω
- R8, R9 = 470 Ω
- R10 = 1,8 Ω /5 W
- C1 = 100 nF
- C2 = 470 μ F/25 V
- D1 = 1N4001
- D2 à D5 = 1N5404
- D6 = LED rouge
- D7 = LED verte
- T1 = BC557
- T2 = BC547
- T3 = BD679
- IC1 = LM358
- Divers :
- S1 = poussoir
- radiateur pour T3 (par exemple SK13 ou KL105)
- pile de 9 V
- platine d'expérimentation de format 1

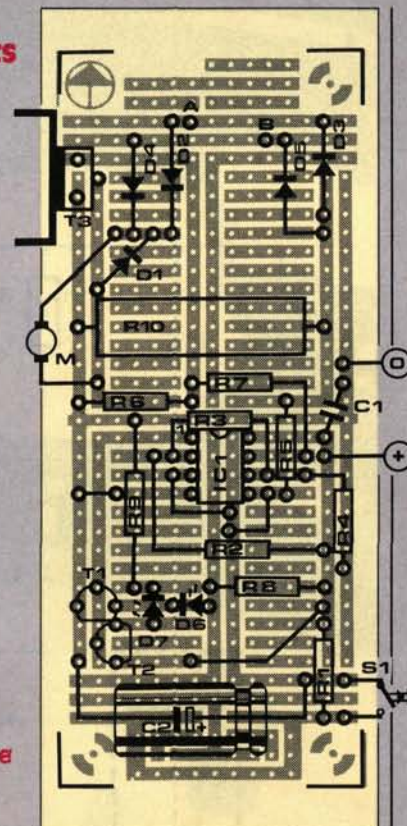


Figure 2 - Ce circuit est à réaliser en autant d'exemplaires qu'il y a de pistes sur le circuit à équiper. Placez les LED rouge et verte bien en évidence avec S1 en un point du circuit que vous appellerez le stand et où la voiture devra s'arrêter pour faire le plein.

ce que la résistance R10 que vous utiliserez soit capable de dissiper au moins 5 W, ce qui n'est pas négligeable. Ménagez un petit écart entre le corps de cette résistance et la surface de la platine.

Avant de monter T3, coudez-en la broche centrale (c'est le collecteur) comme indiqué sur le plan d'implantation des composants sur la figure 2. Câblez soigneusement les liaisons entre le transformateur (courant de service), le réservoir électronique et la piste (points de connexion du moteur M sur la schéma de la figure 1). Le deuxième réservoir sera relié au même

transformateur (points A et B) mais ses points de connexion du moteur seront reliés aux extrémités de la deuxième piste.

Bonne course !

85776

MAGNETIC-FRANCE

Circuits Intégrés, Analogiques, Régulateurs Intégrés, Interfaces, Micro-Processeurs, Mémoires RAM Dynamiques Statiques, Eprom et Eeprom, Quartz, Bobinage, Semi-Conducteurs Transforiques, Filtres, Ligne à retard, Leds, Supports de CI, Ponts, Opto-Electronique, etc.
Et de nombreux KITS.

Bon à découper pour recevoir le catalogue général
Nom _____
Adresse _____
Envoi : Franco 35 F - Vendu également au magasin

11, Place de la Nation, 75011 Paris **43 79 39 88**
Télex 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h
Fermé le Lundi.