

électronique

n°47

septembre 1992

23 FF/168 FB/7,80 FS
mensuel

elec

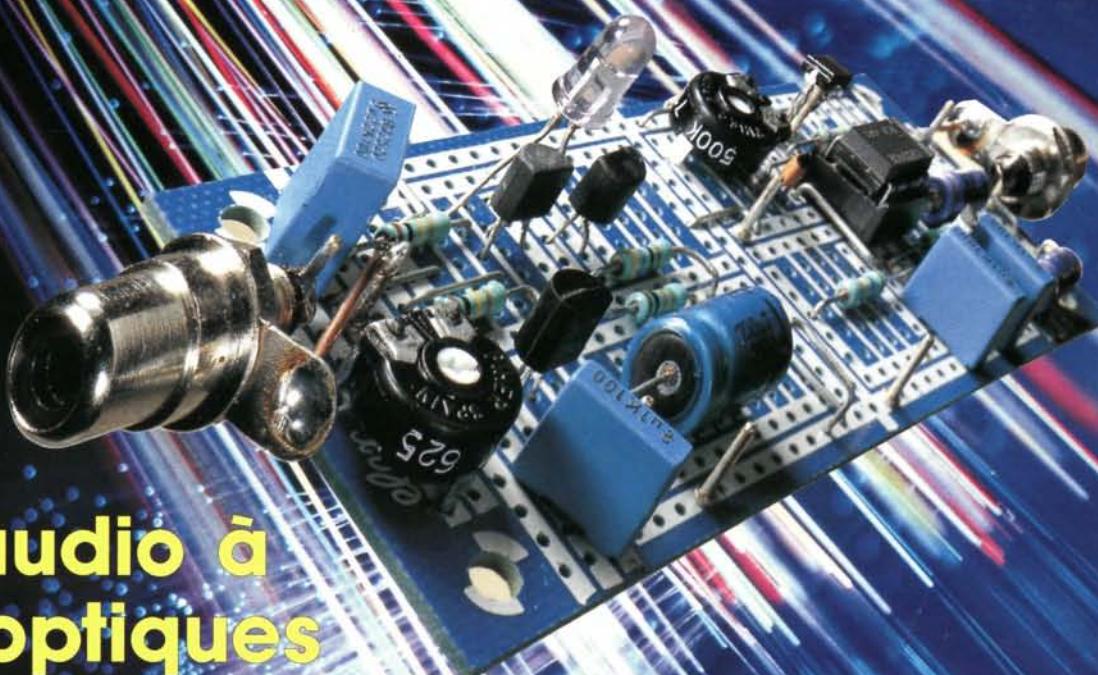
le refroidissement
des semi-conducteurs

module de réception BLU
avec circuit imprimé

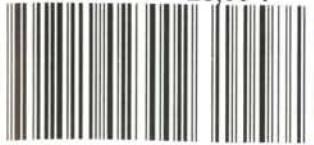
horloge pour
le scrabble ou le rami
avec circuit imprimé

explorez l'électronique

ligne audio à
fibres optiques



M 2510 - 47 - 23,00 F



PEDALE INTERRUPTEUR "TREADLITE"

Pédales interrupteur à double détent (Mi-course et fin de course). (2 micro-switches 7A/250V). Avec patin anti-dérapant. Matériel professionnel pour usage intensif. Idéale pour télécommande de perceuse, etc... La pédale 103.3831 100,00 F

FILTRE SECTEUR 10 A

Matériel professionnel. Entrée sur embase CEE. Sorties sur cosses FAST-ON. Le filtre... 103.3830 110,00 F

VENTILATEUR PROFESSIONNEL PAPST

220 V. Dim. 80 x 80 x 38 mm. Parfaitement silencieux. (24 dBA). Sans comparaison avec les ventilateurs standard.

Le ventilateur ... 103.3813 250,00 F 140,00 F

RELAI STATIQUE 10A/240 V

Tension de commande : 3,8 à 28 V DC. Commutation au zéro de tension. Matériel professionnel. Sorties sur fast-on.

Le relais statique 103.3785 100,00 F

MOTEUR PAS A PAS BIPOLAIRE

De puissance. 200 pas/tour. 1 A / phase - 4 fils. Fourni avec fiche technique détaillée. Le moteur

..... 103.4302 190,00 F

TOURNEVIS DE PRECISION

Set de 6 tournevis pour l'électronique. 4 à lame + 2 cruciformes. Embout au molybdène. Manche ergonomique avec bout rotatif. Fourni avec support de rangement. Le set de 6 tournevis 103.3784 66,00 F

CARTES ALIMENTATION EN KIT

Qualité professionnelle. Tensions de sorties redressées, filtrées, régulées. Sorties flottantes. Voyants LED de contrôle. E/S sur borniers à vis. Kits fournis complets avec c. imp. Dim. : 115 x 95 x 40 mm

Alim. ± 12 V / 0,6 A ou 24 V / 0,6 A
Alim. ± 5 V / 1,1 A ou 10 V / 1,1 A
Alim. 5 V + 12 V / 0,6 A
Alim. 5 V + 8 V / 1,1 A

Le kit 103.8742 155,00 F
Le kit 103.3711 175,00 F
Le kit 103.8743 155,00 F
Le kit 103.3708 175,00 F

3616 SELECTRO

VOILA LE CODE D'APPEL DU SERVEUR MINITEL SELECTRONIC que vous pouvez consulter à partir du 4 juin 1992 !

Il comprend :

- Un service d'assistance et de renseignements techniques
- Un forum BUS-I2C et COMM'net
- Un service des dernières nouveautés et promotions
- Un service de petites annonces classées. Etc...

**OFFRE N°1**

Vous commandez : 1 MACHINE A INSOLER MI-1016
1 MACHINE A GRAVER BB-4

TOTAL TTC

2200,00 F
1495,00 F
3695,00 F

NOUS VOUS OFFRONS :

- 1 jerrycan 5 l de perchlo suractif
 - 2 sachets de détachant pour perchlo
 - 1 sachet de 10 gants de protection
 - 1 bac AR-23
 - 6 plaques EPOXY 1 face 200x300 présensibilisé
 - 10 sachets de révélateur positif
 - 1 flacon 1/2 litre étain chimique
 - 1 stylo DALO
- (Ensemble d'une valeur de 691,70 F TTC)

LE TOUT OFFRE N°1 103.3750
Forfait PORT (Transporteur) et EMBALLAGE en sus 150,00 F



3695,00 F

OFFRE N°2

Vous commandez : 1 MACHINE A INSOLER EN KIT BC-6
1 MACHINE A GRAVER BB-2

TOTAL TTC

1068,00 F
1300,00 F
2368,00 F

NOUS VOUS OFFRONS :

- 3 sachets de perchlo en poudre
 - 2 sachets de détachant pour perchlo
 - 1 sachet de 10 gants de protection
 - 6 plaques EPOXY 1 face 150x200 présensibilisé
 - 3 plaques EPOXY 1 face 100x150 présensibilisé
 - 10 sachets de révélateur positif
 - 1 stylo CIF
 - 1 bac AR-23
- (Ensemble d'une valeur de 430,00 F TTC)

LE TOUT OFFRE N°2 103.3640
Forfait PORT (Transporteur) et EMBALLAGE en sus 150,00 F



2368,00 F

TOUJOURS DES OPPORTUNITES ET PROMOTIONS CHEZ SELECTRONIC !

Envoy de notre lettre d'informations sur simple demande.

CONDITIONS GENERALES DE VENTE : Voir nos publicités annexes.

VENTE PAR CORRESPONDANCE BP 513 - 59022 LILLE CEDEX

TEL : 20 52 98 52 - FAX : 20 52 12 04

Selectronic
la passion de l'électronique!

SOMMAIRE ELEX N°47

6 ► elexprime : le courrier des lecteurs

56 ► mots croisés

56 ► petites annonces gratuites

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

4 ► Résti & Transi : bande dessinée

52 ► système K : le multivibrateur bistable
avec circuit imprimé

9 ► le refroidissement des semi-conducteurs
comment choisir un radiateur

14 ► la fibre optique

24 ► la modulation
les principes de la modulation
de fréquence et d'amplitude

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

20 ► une ligne audio sous verre

30 ► un module BLU pour récepteur OC
avec circuit imprimé

34 ► une horloge pour jeu de scrabble ou de rami
avec circuit imprimé

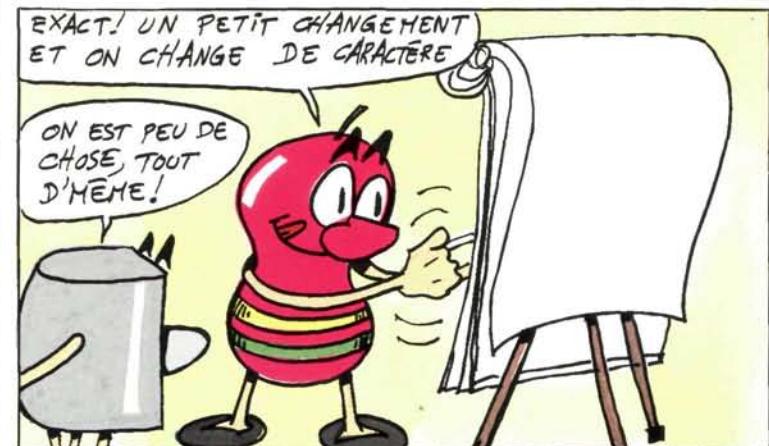
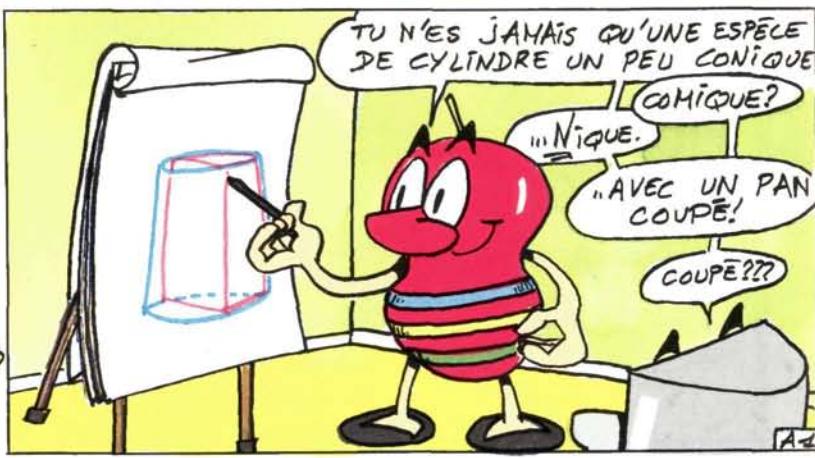
40 ► un interrupteur crépusculaire
avec circuit imprimé

44 ► un lecteur expérimental
de codes à barres

Annonceurs : ARQUIÉ COMPOSANTS pp. 8 et 29 – BÉRIC p. 28 – B.H. ÉLECTRONIQUE p. 29 – CIF p. 59 – COMPOSANTS DIFFUSION p. 29 – COMPOSIUM p. 29 – ELECTRON SHOP p. 29 – ELECTRONIQUE DIFFUSION pp. 7 et 57 – EUROCOMPOSANTS p. 28 – HB COMPOSANTS p. 28 – J.REBOUL p. 29 – LAYO FRANCE p. 29 – LOISIRS ELECTRONIQUES p. 29 – MAGNÉTIC FRANCE p. 23 – MICROPROCESSOR p. 29 – PUBLITRONIC pp. 58, 63, 61 et 62 – SAINT-QUENTIN RADIO p. 28 – SÉLECTRONIC pp. 2, 60, 61, 62 et 64 – SVE ELECTRONIC p. 29 – TSME p. 29 – URS MEYER p. 29

LES BIDOUILLES DE

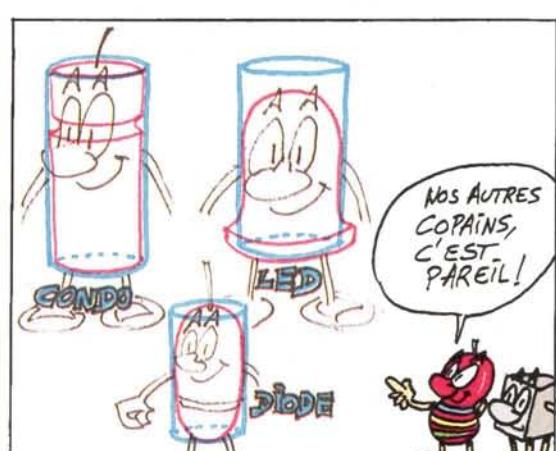
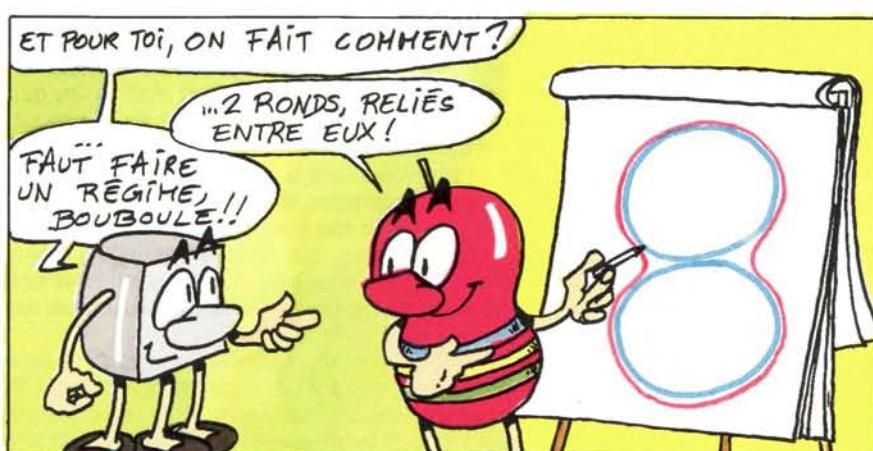
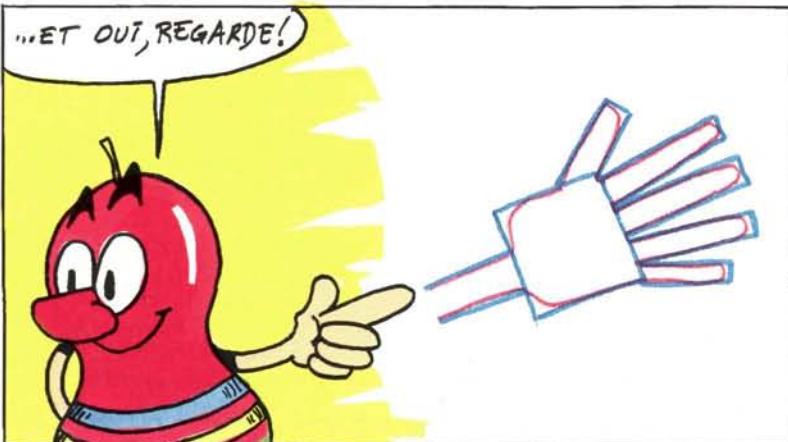
DIS DONG...



RESI & TRANSI[®]



DESSINS : YVON DOFFAGNE - COULEURS : COOKY F.



MON COUP DE CHAPEAU
Analogique antichoc alternatif
Articles très intéressants, ainsi que la moyenne de la revue. Peut-être un peu trop de gadgets mais ils sont bien expliqués, donc motivant.

MON COUP DE SAVATE
CAO "conception assistée par ordinateur"
Après lecture : rien compris en informatique. Il faudrait peut-être commencer par le début pour les ignorants comme moi.

Joël Guillemot

 Le propos de l'article sur la conception assistée par ordinateur était plus de vous ouvrir des horizons que de vous initier à la micro-informatique. Beaucoup de revues spécialisées le font, certaines le font bien. Il n'était pas non plus de recopier le mode d'emploi du logiciel. Notre but est atteint si nous avons pu éveiller votre curiosité, si nous avons démythifié ces grands mots, ou si quelqu'un a pu trouver une utilisation intelligente à cette machine dont il s'est équipé sans trop savoir ce qu'il allait en faire. Si la micro-informatique vous tente, le dessin de circuit peut être une raison de passer à l'acte. Il vous faudra malgré tout apprendre, sans nous, comment manipuler la machine, les disquettes, les fichiers... LAYO FRANCE, qui diffuse le logiciel (programme) de dessin de circuits que nous avons présenté (ELEX n°42 mars 1991), annonce maintenant un logiciel de dessin de schémas, avec les "ponts" nécessaires entre le schéma théorique et le dessin du cuivre. Les versions de démonstration permettent de réaliser entièrement de petits projets, et d'apprendre comment travaillent les professionnels. Cela contrairement aux logiciels "d'amateurs", qui ne sont guère plus que des planches à dessin électroniques.

Dans le dernier numéro, j'ai bien reçu votre appel. Bien que les mots croisés ne soient pas indispensables à l'électronique, ça détend 5 minutes. La preuve : je viens de passer plus de deux heures pour concocter cette

grille. Elle n'est pas très géniale à mon avis, je ferai mieux la prochaine fois si vous remettez un petit SOS. PS : Pour mon convertisseur 12 V/220 V (voir elexprime n°43) mea culpa. Maintenant il fonctionne très bien. Celui du n°23 n'est pas assez puissant pour un fer à souder et une lampe. SVP ne supprimez pas ELEXPRIME que je ne vois pas ce mois-ci (46).

Michel DE MARCHI
03700 BRUGHEAS

 Merci d'avoir répondu à ce SOS que d'ailleurs nous renouvelons ici. Votre grille se trouve page 56. C'est un bon début, continuez et signez vos définitions ! ELEXPRIME est de retour. Pour vous plaît...

Pouvez-vous me venir en aide ?

J'ai entrepris la réalisation du compresseur de micro Elex N° 39 décembre 91, mais ça ne fonctionne pas. N'y a-t-il pas une erreur ? un rectificatif ?

Une erreur de composants, C6-C13-C14 etc. sont des 2,2 µF énormes pour être implantés sur le C.I ? Peut-on s'en servir avec un micro courant de sono et une table de mixage ? [...]

M. François ROSSI
81400 CARNAUX

 Il n'y a pas d'erreur sur la valeur des condensateurs, mais vous avez peut-être récupéré des composants dont la tension d'isolement est inutilement élevée pour cette application. Si vous avez renoncé à les planter, ce peut être une raison suffisante pour que le montage ne fonctionne pas.

Les étages d'entrées sont prévus pour des microphones à électret. Si vous voulez utiliser des micros dynamiques, il faudra supprimer les résistances R1 et R20 qui servent à l'alimentation des électrets. Si vous voulez utiliser un signal déjà pré-amplifié, comme celui d'une sortie de table de mixage, il faut l'appliquer à l'une des entrées auxiliaires à "haut" niveau, A1 à A3 ou B1 à B3.

Bravo pour cette revue et mille excuses [...] Au risque de me faire "allumer", je tiens à vous préciser que j'enseigne l'électronique et que bon nombre de mes élèves lisent ELEX... Je vais donc commencer mon petit exposé.

1) Avis favorable

- Articles réalisés avec beaucoup de soins, de clarté et de précision.
- De très bonnes analogies
- Dessins superbement réalisés
- Très peu d'erreurs

2) Avis réservé

- Réponse aux lecteurs parfois très acides. Vous êtes même très durs quelquefois.
- Certains schémas utilisent trop de composants discrets.
- Pas assez de montages en liaison avec l'informatique (liaison circuit -> PC).

3) Pas d'avis défavorable

4) Idée :

Serait-il possible de créer des fiches cartonnées 21 x 29,7, que l'on pourrait ranger dans un classeur ELEX. ces fiches serviraient de pense-bête et seraient, en fait, le résumé d'un article paru dans ELEX. Par exemple, une fiche sur le transistor présenterait :

- les divers types (PNP et NPN)
- l'emploi du transistor (commutation et ampli)
- les formules de base
- les principaux montages (émetteur commun, collecteur commun...)
- les brochages courant
- le numéro d'ELEX dans lequel le transistor est plus précisément étudié;

Ces fiches seraient classées [...]

Je voulais souligner aussi l'intérêt que je porte aux personnages qui ont contribué au développement et autres découvertes sur l'électricité et l'électronique. Un rapide historique et une photographie aideraient à mieux connaître les responsables de notre passe-temps favori. Par exemple, je n'ai jamais pu savoir qui est ou était Karnaugh. Pouvez-vous m'aider ? [...]

M. Alain TARAUD
44400 REZÉ

 Puisqu'il semble que vous souhaitez vous faire "allumer", vous ne couperiez pas à un petit jeu de mots sur votre patronyme : pensez-vous que l'enseignement de l'électronique est la bonne filière pour un taraud ? Votre idée de fiches est intéressante, mais le résultat serait plutôt un livre qu'un magazine. Dans le genre, Publitronic propose L'électronique ? Pas de panique ! Chaque chapitre est suivi d'un résumé, et le livre se termine sur un appendice qui reprend dans l'esprit de vos propositions les caractéristiques de quelques composants parmi les plus courants (transistors, zeners, LED...).

Quant aux inventeurs et précurseurs, ils nous intéressent aussi, comme le prouvent les quelques biographies résumées que nous avons déjà publiées. Malheureusement les sources sont rares et maigres : nous n'avons rien trouvé sur M. Karnaugh*, ni dans le Robert ni dans l'Encyclopédia Universalis. Nous lançons donc un appel à toutes les bonnes volontés.

L'utilisation de composants discrets dans les montages est un parti pris sur lequel vous devriez être d'accord avec nous. C'est en examinant le rôle de chaque composant qu'on comprend le mieux le fonctionnement de l'ensemble et le fonctionnement du circuit intégré qui remplit la même fonction. Quand vous aurez réfléchi et que vous serez d'accord, vous allez être enchanté par le montage que nous proposerons le mois prochain (ou le mois suivant si le beau temps persiste) : une alimentation à circuit intégré 723 (un vieux de la vieille) qui permet de remplacer n'importe quel régulateur de la série 78xx, mais aussi des modèles plus puissants (plusieurs ampères) et des modèles à faible différence de tension entrée-sortie.

Si nous gardons nos distances, dans ELEX au moins, vis-à-vis de la micro-informatique, c'est un autre parti pris. Il existe des revues spécialisées que nos lecteurs lisent avec profit, une fois armés des notions principales d'électronique. Tout ce que nous pouvons ajouter, c'est que les micro-ordinateurs ne sont jamais à l'aise quand ils se trouvent au contact du monde extérieur. Quelle que soit l'application envisagée, il faut impérativement séparer les alimentations et isoler les lignes d'entrée et de sortie par des relais ou des opto-coupleurs : les conditions de la vie réelle sont rarement celles du laboratoire.



* Mais non, papi, il ne s'agit pas de Sadi...

Electronique - Diffusion

R.C. ROUBAIX B 378 280 978

SA CAPITAL 1.500.000 F

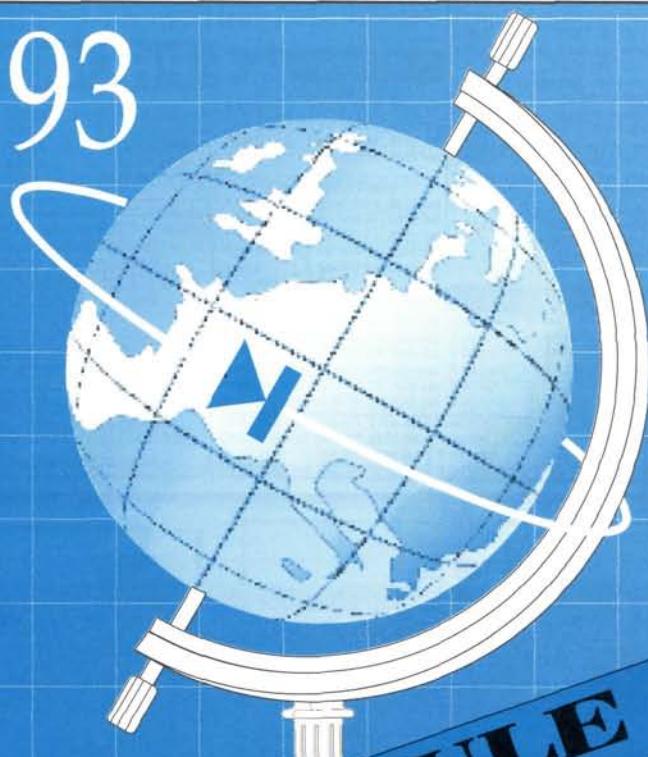
LUNEL
LILLE

ROUBAIX
DUNKERQUE

ARRAS
DOUAI

CATALOGUE ECOLE

92/93



NOUVELLE FORMULE 92/93
ENCORE PLUS DE REFERENCES - TOUJOURS MOINS CHERS
* CE CATALOGUE RESERVE AUX ECOLES EST EXPEDIE GRATUITEMENT SUR SIMPLE DEMANDE A:
ELECTRONIQUE DIFFUSION, 15 RUE DE ROME, 59100 ROUBAIX, TEL. 20.70.23.42

**TOUT UN MONDE D'ÉLECTRONIQUE
AU SERVICE DE L'ECOLE**

acquie composants

SAIN T SARDOS 82600 VERDUN SUR GARONNE
TÉL 63 64 46 91

CIRCUITS IMPRIMÉS

PRESENS. POS. 200 X 300
LIVRE AVEC RÉVÉLATEUR
No 8571 EPOXY 1 FACE 58.00 F

TRANSFERTS

MECANORMA
PRECISER LA RÉFÉRENCE
No 218 LE RUBAN 21.50 F
No 219 LA FEUILLE 14.50 F

DIODES ZENERS

3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5
8.2 9.1 10 11 12 15 18 VOLTS
No 550 0.4W 10 De M. Val. 5.00 F
No 580 1.3W 10 De M. Val. 8.00 F

FUSIBLES 5X20

0.1 0.25 0.5 1 1.6 2 2.5 3 3.15 4 5 A
No 1700 RAPIDES 10 M. Val. 5.00 F
No 1720 LENTS 10 de M. Val. 10.00 F
No 1750 PORT-FUS. Clés 5 3.70 F
No 1760 P-F. CHASS. les 2 6.00 F

POTENTIOMÈTRES

DE 100 ohms à 2 Mohm (PRECISER LA
VALEUR DÉSIRÉE)
HORizontaux PETIT MODELE
No 1150 AJUST. les 5 5.00 F

VERTICAUX PETIT MODELE

No 1250 AJUST. les 5 5.00 F
No 1350 15 T. HORIZ. 6.00 F
No 1460 15 T. VERTICAL 13.00 F

POT. AXE 6 les 2 7.50 F

RESISTANCES

5% SERIE E12 De 1ohm à 10Mohm
(PRECISER LA VALEUR)
No 1000 1/4 W .10 de M. Val. 1.00 F
No 1001 1/2 Watt pièce 0.30 F
No 1002 1 WATT Pièce 0.50 F

MULTIMÈTRES

No 3650 MANUDAX M3650 699.00 F
No 4650 MANUDAX M4650 1034.20 F

BORNIERS POUR CI

No 1922 2 PLOTS 2.50 F
No 1923 3 PLOTS 3.00 F

CI INTEGRES

No 371 TL 071 3.70 F
No 372 TL 072 3.50 F
No 374 TL 074 5.00 F
No 381 TL 081 2.80 F
No 382 TL 082 5.40 F
No 384 TL 084 4.00 F
No 202 SS/ 202 56.00 F
No 411 LM 311 3.00 F
No 424 LM 324 1.60 F
No 356 LF 356 6.20 F
No 357 LF 357 5.50 F
No 386 LM 388 13.00 F
No 486 SL 486 35.00 F

40 VOLTS

No 4001 B 1.20 F 4066 B 1.50 F
No 4011 B 1.20 F 4068 B 2.00 F
No 4012 B 1.60 F 4069 B 2.00 F
No 4017 B 2.50 F 4071 B 1.80 F
No 4020 B 2.60 F 4082 B 1.80 F
No 4028 B 3.50 F 4502 B 3.60 F
No 4029 B 3.50 F 4510 B 3.40 F
No 4030 B 1.90 F 4511 B 4.00 F
No 4033 B 4.50 F 4518 B 3.50 F
No 4040 B 2.90 F 4521 B 8.00 F
No 4043 B 4.00 F 4528 B 3.00 F
No 4046 B 5.50 F 4538 B 4.30 F
No 4047 B 3.00 F 4543 B 5.00 F
No 4049 B 2.50 F 4553 B 14.00 F
No 4050 B 2.10 F 4584 B 4.50 F
No 4060 B 2.50 F

25 VOLTS

No 4002 B 1.20 F 4067 B 1.50 F
No 4013 B 1.20 F 4068 B 2.00 F
No 4014 B 1.20 F 4070 B 1.80 F
No 4016 B 1.30 F 4077 B 1.60 F
No 4017 B 2.50 F 4081 B 2.00 F
No 4024 B 4.00 F 4093 B 2.00 F
No 4027 B 2.00 F 4098 B 3.10 F
No 4028 B 3.50 F 4502 B 3.60 F
No 4029 B 3.50 F 4510 B 3.40 F
No 4030 B 1.90 F 4511 B 4.00 F
No 4033 B 4.50 F 4518 B 3.50 F
No 4040 B 2.90 F 4521 B 8.00 F
No 4043 B 4.00 F 4528 B 3.00 F
No 4046 B 5.50 F 4538 B 4.30 F
No 4047 B 3.00 F 4543 B 5.00 F
No 4049 B 2.50 F 4553 B 14.00 F
No 4050 B 2.10 F 4584 B 4.50 F
No 4060 B 2.50 F

CONTACT LYRE

No 1008 8 BR. les 10 4.50 F

No 1014 14 BR. les 10 7.50 F

No 1016 16 BR. les 5 5.00 F

No 1026 28 BR. les 2 3.10 F

CONTACT TULIPE

No 1108 8 BR. les 5 6.00 F

No 1114 14 BR. les 5 11.00 F

No 1116 16 BR. les 3 8.20 F

No 1126 28 BR. les 2 11.00 F

No 1140 40 BR. les 2 12.00 F

TRANSISTORS

No 610 2N 1711 les 10 18.00 F

No 619 2N 2219 les 5 10.00 F

No 620 2N 2222 les 10 15.00 F

No 946 2N 2646 les 2 16.00 F

No 625 2N 2905 les 10 20.00 F

No 630 2N 2907 les 10 15.00 F

No 633 2N 3055 les 2 12.00 F

No 688 BC 108B les 10 16.00 F

No 698 BC 109B les 10 16.00 F

No 699 BC 109C les 10 16.00 F

No 638 BC 238B les 20 11.00 F

No 640 BC 307B les 20 11.00 F

COND. CHIM.

RADIAUX

63 VOLTS

No 3701 1 uF 0.50 F

No 3702 2.2 uF 0.50 F

No 3703 4.7 uF 0.50 F

No 3705 10 uF 0.50 F

No 3707 22 uF 0.70 F

No 3710 47 uF 0.85 F

No 3718 100 uF 1.30 F

No 3724 220 uF 2.30 F

C MOS

No 4001 B 1.20 F 4066 B 1.50 F

No 4011 B 1.20 F 4068 B 2.00 F

No 4012 B 1.60 F 4069 B 2.00 F

No 4017 B 2.50 F 4071 B 1.80 F

No 4020 B 2.60 F 4082 B 1.80 F

No 4028 B 3.50 F 4502 B 3.60 F

No 4029 B 3.50 F 4510 B 3.40 F

No 4030 B 1.90 F 4511 B 4.00 F

No 4033 B 4.50 F 4518 B 3.50 F

No 4040 B 2.90 F 4521 B 8.00 F

No 4043 B 4.00 F 4528 B 3.00 F

No 4046 B 5.50 F 4538 B 4.30 F

No 4047 B 3.00 F 4543 B 5.00 F

No 4049 B 2.50 F 4553 B 14.00 F

No 4050 B 2.10 F 4584 B 4.50 F

No 4060 B 2.50 F

CERAMIQUES

DE 4.7 pF à 10 nF

(PRECISER LA VALEUR DÉSIRÉE)

No 840 10 de M. VAL. 3.00 F

LCC JAUNES

DE 1nF à 100nF

(PRECISER LA VALEUR DÉSIRÉE)

No 882 10 de 22nF 3.00 F

No 883 10 de 33nF 5.00 F

No 884 10 de 47 nF 5.00 F

No 891 10 de 100nF 7.00 F

No 892 5 de 220 nF 7.00 F

HAUTE LUMINOSITÉ

DE 13.00 F

No 5015 Verte 05 HL les 5 13.00 F

LED'S

DE 5.00 F

No 003 ROUG.03 les 10 5.00 F

No 005 ROUG.05 les 10 5.00 F

No 013 VERT.03 les 10 6.00 F

No 015 VERT.05 les 10 6.50 F

No 023 JAUN.03 les 10 6.00 F

No 025 JAUN.05 les 10 6.50 F

BICOLORES

DE 4.00 F

No 033 ROUG/VERT 3mm 4.00 F

No 035 ROUG/VERT 5mm 3.50 F

QUARTZ

DE 6.00 F

No 903 3.2768 Mhz 6.00 F

No 904 4.0000 Mhz 6.00 F

RADIATEURS

DE 4.00 F

No 1520 POUR TO220 4.00 F

REGULATEURS

DE 2.00 F

No 105 78.05 0.1A 5V 2.00 F

No 095 78L05 0.1A 5V 2.50 F

No 106 7806 1.5A 6V 3.00 F

No 108 7808 1.5A 8V 5.00 F

No 109 7809 1.5A 9V 3.00 F

No 112 7812 1.5A 12V 6.00 F

No 117 LM 3177 VAR. 3.50 F

PROMOTIONS...

CONDITIONS DE VENTE:

- PAR CORRESPONDANCE UNIQUEMENT. NOS PRIX SONT TT C

- ENVOIS EN RECOMMANDÉ URGENT SOUS 24 HEURES DU MATERIEL DISPONIBLE.

- PAIEMENT A LA COMMANDE. PAR CHEQUE, MANDAT OU CCP

+ 36 F D'FRAIS DE PORT ET D'EMBALLAGE. - PORT GRATUIT AU DESSUS DE 600 F

- PAR CARTE BLEUE: DONNER LE NUMERO. LA DATE DE VALIDITE ET SIGNER

- CONTRE REMBOURSEMENT: JOINDRE UN ACOMpte DE 10% (TAXE PTT EN PLUS)

- NOUS ACCEPTONS LES BONS DE COMMANDE DE L'ADMINISTRATION.

TOUS NOS COMPOSANTS SONT GARANTIS NEUFS ET DE GRANDES MARQUES

RECEVEZ LA LISTE COMPLETE DE TOUS NOS ARTICLES ET PRIX :
- SANS COMMANDE : SUR SIMPLE DEMANDE ENJOIGNANT UNE ENVELOPPE
TIMBREE A 4.00F AVEC VOTRE ADRESSE
- AVEC COMMANDE : GRATUITEMENT SUR SIMPLE DEMANDE DE VOTRE PART.

Je croyais qu'elle s'intéressait au facteur....



En fait, c'est **elex**
qui elle attendait.

**ABONNEZ-LA
ABONNEZ-VOUS !**

Utilisez la carte en fin de magazine

Disponible chez PUBLITRONIC
et chez ses revendeurs

Laplace et bien d'autres choses tout aussi intrigantes...? Si la réponse à cette question est affirmative, voici le livre qu'il vous faut.
Il regroupe pas moins de 2 000 formules, 400 figures et schémas, 100 tableaux dont 14 inédits de l'auteur, donne toutes les unités de mesure et comporte un index de 1 200 entrées.
En résumé, une véritable banque de données organisées par discipline et classées par ordre de difficulté croissante, un ouvrage indispensable pendant tout le cycle d'études... et bien après. Une référence solide...
Et tout cela pour 62 FF seulement!!!

Disponible chez PUBLITRONIC
et chez ses revendeurs

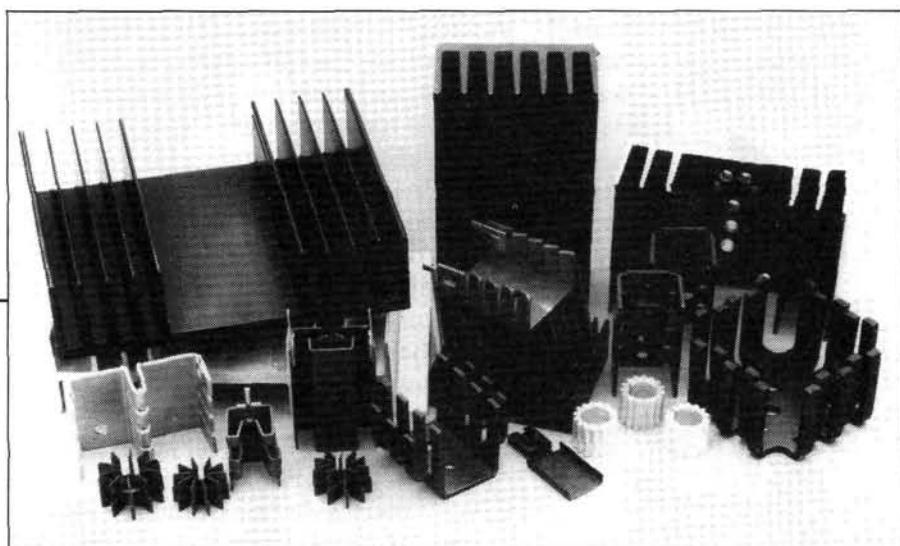
Dans beaucoup de montages électroniques, certains des composants peuvent s'échauffer plus ou moins fortement. C'est dans les alimentations et les amplificateurs que cet échauffement est le plus sensible. Pour éviter la surchauffe des composants qui produisent cette chaleur, on les monte souvent sur un radiateur, qui doit avoir des dimensions suffisantes pour évacuer tout l'excédent d'énergie. Des dimensions suffisantes, mais quelles dimensions précisément ? Nous allons essayer de répondre à cette question.

La plupart des composants électroniques dégagent de la chaleur quand ils sont traversés par un courant électrique. Ce n'est pas une catastrophe en soi, au moins tant que la température ne s'élève pas trop. Beaucoup de composants, surtout les semi-conducteurs, risquent de laisser leur vie en cas de surchauffe. C'est pour prévenir ce risque que les transistors de puissance et certains circuits intégrés sont prévus pour être montés sur un radiateur, lequel doit être capable d'évacuer rapidement la chaleur. Avant de nous pencher sur le fonctionnement des refroidisseurs, voyons ce qu'est la chaleur et comment elle se propage. Les sciences physiques en vigueur actuellement nous apprennent que toute matière est constituée de molécules qui maintiennent ensemble des forces statiques. Si vous regardez le papier de ce magazine, vous pouvez supposer que les molécules qui le constituent sont rangées régulièrement côte

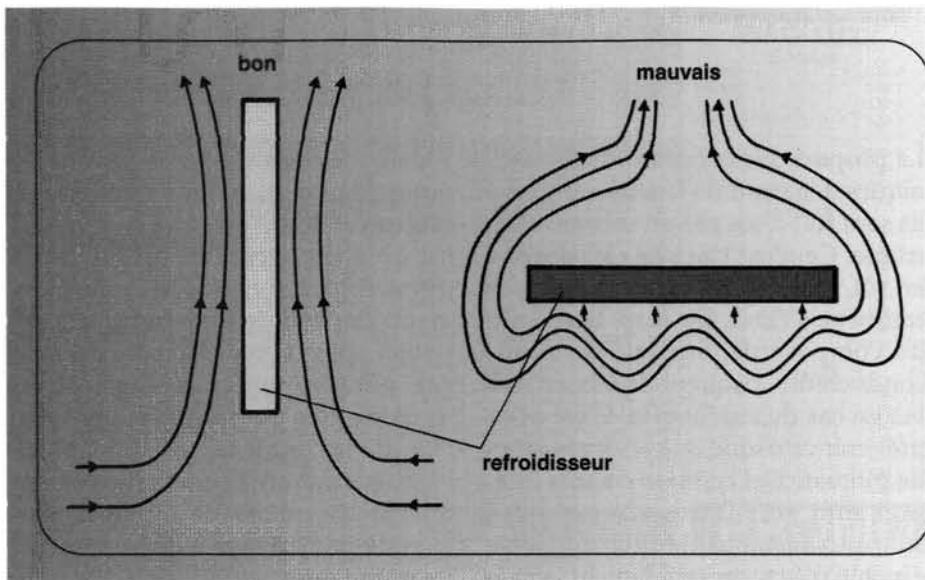
à côté ; rien n'est plus faux. Les molécules ne sont pas fixes, mais seulement à peu près fixes. On a établi qu'elles oscillent autour d'un point fixe. La vitesse des mouvements dépend de la température de l'objet ; plus la température est élevée, plus les molécules s'agitent. Si nous posons un doigt sur un objet chaud, les molécules de la peau s'agitent davantage, l'agitation est interprétée comme de la chaleur par le système nerveux.

L'espace dans lequel les molécules peuvent se mouvoir est limité par la présence des molécules voisines. L'agitation des molécules s'accompagne de chocs avec les voisines. Quand la molécule qui reçoit le choc a une vitesse inférieure à celle de la molécule qui produit le choc, une partie de l'énergie cinétique se transmet : la molécule la plus lente accélère, la plus rapide se ralentit. En d'autres termes, l'énergie se transmet d'une molécule à l'autre.

Le refroidissement des semi-conducteurs



la loi d'Ohm de la chaleur



Le mouvement de convection est ralenti par un radiateur horizontal ; la surface supérieure se trouve en contact avec une masse d'air pratiquement immobile. Si vous ne savez pas dans quelle position votre montage fonctionnera, ou si vous êtes obligé d'installer le radiateur à l'horizontale, prévoyez une forte marge de sécurité.

Cette propagation de la chaleur est comparable à la circulation du courant électrique, c'est pourquoi nous parlerons de conduction thermique, comme nous parlons de conduction électrique. La propagation de la chaleur d'un point à un autre ne se produit que s'il existe une différence de température entre eux, de la même façon que le courant électrique ne naît que s'il y a une différence de potentiel. Plus la différence de température est importante, plus la quantité de chaleur transmise est importante, tout comme l'intensité du courant électrique est propor-

tionnelle à la différence de potentiel. Le transport d'un endroit à l'autre d'une quantité d'énergie donnée en un temps donné est considéré comme un courant de chaleur, il est exprimé en watts, ou joules par secondes (la quantité d'énergie s'exprime en joules, un joule en une seconde est un watt). Ce qu'on appelle intensité dans le cas du courant électrique (le nombre d'électrons qui se déplacent en une seconde) est remplacé pour la chaleur par la puissance (P_W).

Les similitudes entre le courant électrique et le courant thermique ne s'arrêtent pas là. La propagation de la chaleur est limitée par la résistance du matériau, comme celle du courant électrique par la résistance du conducteur. Tous les matériaux ne laissent pas aussi facilement leurs molécules se déplacer et propager leur énergie. La résistance que doit vaincre le courant de chaleur s'appelle résistance thermique (nous y reviendrons).

La chaleur peut se déplacer d'une autre façon : par convection. Dans la convection, les molécules d'air qui viennent au contact d'un objet chaud commencent à s'agiter, l'air devient plus chaud. Comme on peut le constater en regardant une montgolfière, l'air chaud s'élève au dessus de l'air froid. L'air réchauffé au contact de l'objet chaud s'élève et laisse la place à de l'air froid qui va, à son tour, recevoir de l'énergie et laisser sa place. C'est ainsi que naît un courant d'air ininterrompu qui transporte de l'énergie. Le courant ne s'arrêtera que lorsque l'objet aura

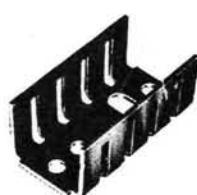
la même température de son environnement.

Le dernier mode de transport de la chaleur est le rayonnement (infra-rouge). Un objet à haute température rayonne de l'énergie sous la forme d'oscillations électro-magnétiques (chaleur et éventuellement lumière visible, comme dans le cas d'une lampe à incandescence). Ce rayonnement réchauffe les objets environnants (l'air aussi) et refroidit l'objet qui le produit.

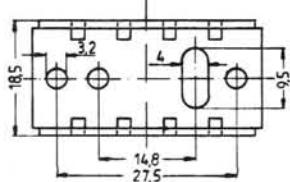
le radiateur

Le refroidissement des transistors et des circuits intégrés nous mettra en présence des trois modes de transport de la chaleur que nous avons vus : la conduction, la convection et le rayonnement. À l'intérieur du boîtier du semi-conducteur, la chaleur est transmise par conduction de la puce à la languette de refroidissement. C'est toujours par conduction que la chaleur se répartit uniformément dans toute la languette. C'est ensuite par convection que la languette transmet sa chaleur à l'environnement. Le courant d'air est plus vif si la languette est disposée verticalement, car les molécules d'air peuvent lécher toute la surface chaude (voir la figure 1). La surface de la languette est importante aussi. Plus la surface est importante, plus il y a de molécules d'air en contact avec le refroidisseur, meilleur est le refroidissement. C'est pour augmenter la surface de contact que beaucoup de radiateurs sont munis d'ailettes. Cette forme augmente fortement la sur-

Le type ICK35, qui sert à notre exemple de calcul, peut servir aussi bien pour le boîtier TO220 des régulateurs des séries 78xx et 79xx que pour le boîtier TO126 de certains transistors de moyenne puissance.



**ICK35
20 K/W
(TO220)**



Les résistances thermiques en série s'ajoutent comme les résistances électriques : le flux de chaleur doit les traverser toutes pour passer de la source de chaleur jusqu'à l'air, comme le courant électrique doit circuler à travers toutes les résistances.

face d'échange sans augmenter exagérément l'encombrement. Le matériau qui sert à la fabrication des radiateurs est le plus souvent l'aluminium. Comparé au cuivre, il est presque aussi bon conducteur de la chaleur, tout en étant moins cher. La surface anodisée noir mat améliore un peu le rayonnement des infrarouges, beaucoup l'esthétique ; en fait la principale qualité de l'aluminium anodisé (noir ou jaune) est sa résistance aux atmosphères agressives.

résistance thermique

Comme nous le disions, la propagation de la chaleur se heurte à une certaine résistance, la résistance thermique, désignée par R_{th} . L'unité de résistance thermique est le degré Celsius par watt ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) ou le kelvin par watt (K/W). Le degré Celsius et le kelvin sont des unités identiques, au début de l'échelle près. L'échelle kelvin commence au zéro *absolu*, équivalent à -273°C : la glace fondante est à 0°C , ou à 273 K. Dans nos calculs, seules interviennent des dif-

férences de température, il est donc indifférent que les températures soient exprimées en degrés Celsius ou en kelvin. Autant nous habituer à travailler avec des kelvin, qui sont l'unité officielle du système international (SI).

Pour un transistor monté sur un radiateur, la résistance thermique R_{th} est celle que rencontre le flux de chaleur depuis la « puce » de silicium jusqu'à l'air ambiant. Elle est constituée par la mise en série de plusieurs résistances thermiques : entre la pastille de silicium et la languette métallique, entre la languette et le radiateur, entre le radiateur et l'air (voir la figure 2). Les trois résistances sont désignées par les abréviations suivantes, qu'il vaut mieux utiliser sans les traduire, telles qu'on les trouve dans les notes des fabricants.

$R_{th j-c}$ désigne la résistance entre la jonction (j) et le boîtier (case en anglais).

$R_{th c-h}$ désigne la résistance entre le boîtier (c) et le radiateur (heatsink en anglais)

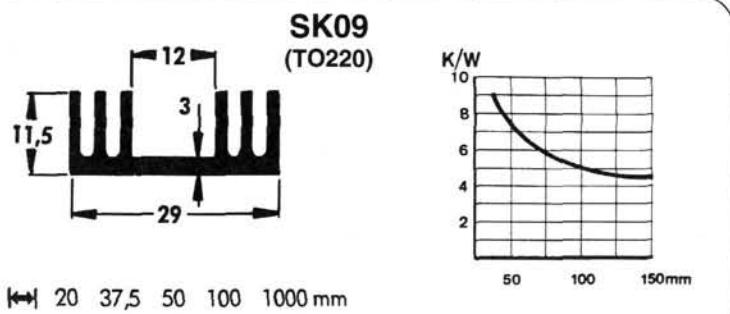
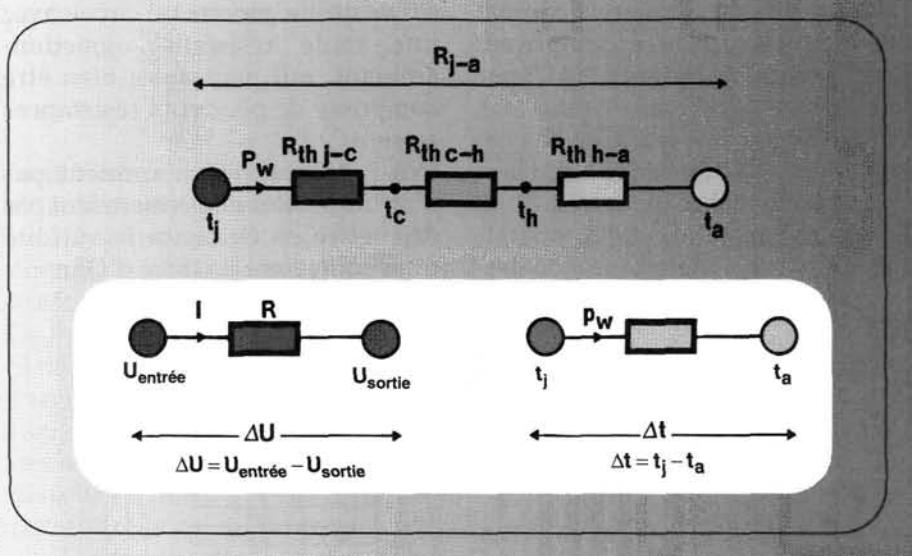
$R_{th h-a}$ désigne la résistance entre le radiateur (h) et l'air ambiant (a). Nous pouvons trouver aussi d'autres résistances, comme celle de boîtiers qui ne comportent pas de languette de refroidissement : $R_{th j-a}$ désigne la résistance entre la jonction et l'air ambiant. La résistance thermique des semi-conducteurs fait partie des données présentes dans tous les recueils de caractéristiques. La seule qui nous intéresse est celle des composants de puissance. Par ailleurs les bons revendeurs de composants sont capables de vous indiquer la résistance thermique des radiateurs qu'ils vous fourgurent.

la loi d'Ohm thermique

Nous avons constaté que les flux de chaleur pouvaient, par beaucoup de points, se comparer à des courants électriques. Nous savons que le courant électrique circule à travers une résistance quand il règne une différence de potentiel (U) à ses bornes. Nous pouvons calculer l'intensité de ce courant grâce à la loi d'Ohm.

$$I = U/R$$

Le radiateur SK09, qui a comme équivalent le ML35 chez d'autres fabricants, peut équiper la plupart des régulateurs de tension dans les applications courantes. La courbe caractéristique montre qu'il est inutile de l'utiliser dans des longueurs supérieures à 100 mm. On peut considérer que la résistance thermique de la longueur supplémentaire, du fait de la section relativement faible, empêche la chaleur de se propager au-delà des 100 mm.



Pour un flux de chaleur, la comparaison peut continuer, en remplaçant la différence de potentiel (ΔU) par une différence de température (Δt), l'intensité par une quantité de chaleur (P_W) et la résistance électrique (R) par la résistance thermique (R_{th}). La figure 3 résume cette comparaison. La partie « thermique », le des-

sin de droite, montre un circuit avec une seule résistance, jonction-ambiant, qui peut aussi bien être composée de plusieurs résistances en série.

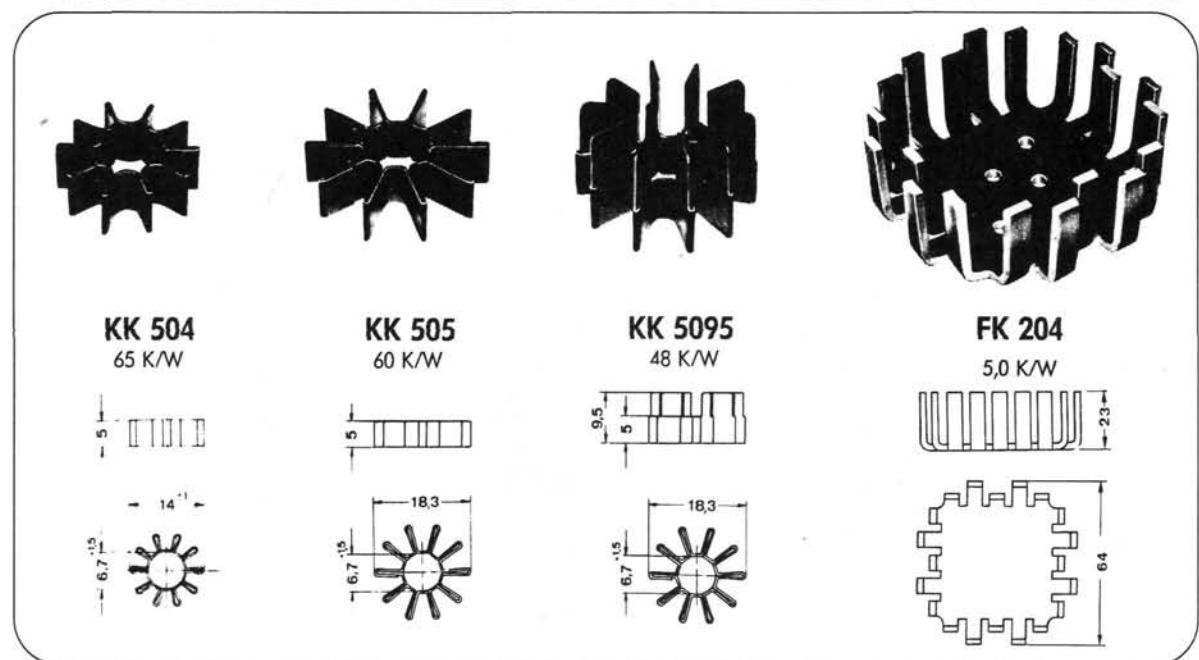
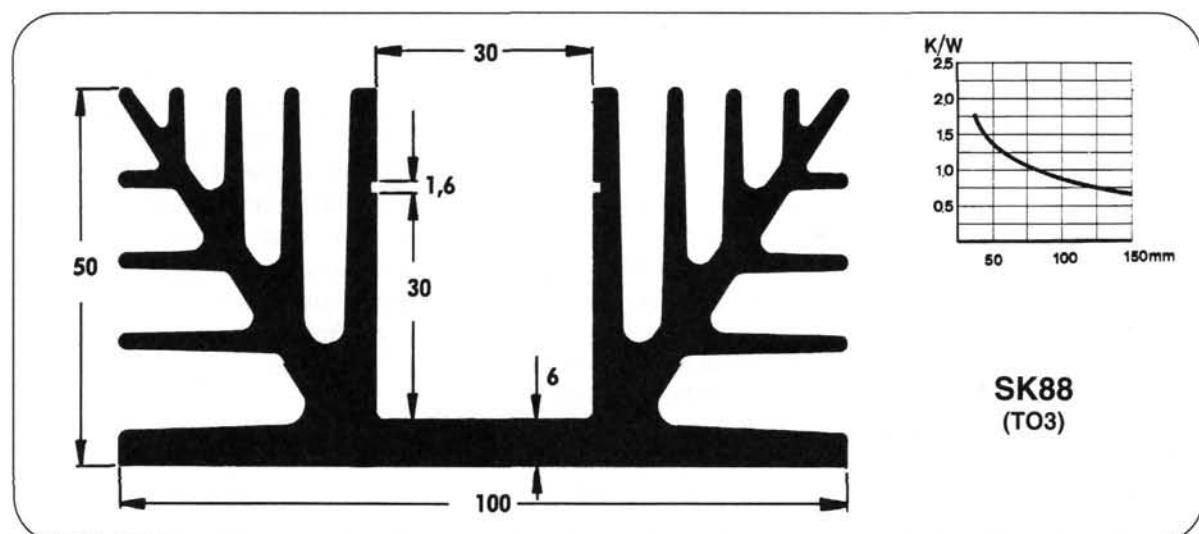
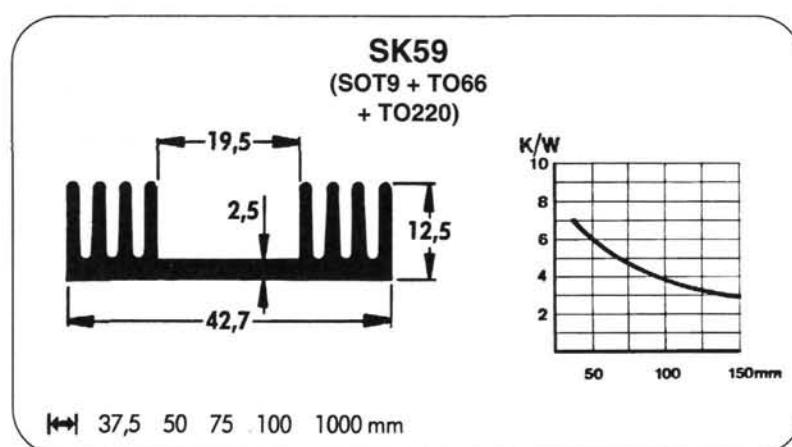
Ces comparaisons n'auraient pas d'utilité si elles ne permettaient pas de mettre en évidence la validité d'un équivalent de la loi d'Ohm :

$$P_W = \Delta t / R_{th}$$

Cette loi est aussi importante pour décrire la circulation de la chaleur que la loi d'Ohm pour décrire le rapport entre les tensions et les courants. Elle permet d'effectuer tous les calculs nécessaires à la détermination des dimensions des radiateurs.

exemple pratique

Rien ne remplace un exemple pratique. Prenons (nous le rendrons puisque rien ne peut le remplacer) celui d'un régulateur de tension de type 7812 en boîtier TO220 (figure 4). Le recueil de caractéristiques donne comme courant maximal 1 A, comme température de jonction maximale 125°C , et deux résistances thermiques : 4 K/W entre la jonction et le boîtier ($R_{th j-c}$), 50 K/W entre la jonction et l'air ambiant ($R_{th j-a}$).



Les résistances thermiques ne décroissent, au-delà d'une certaine longueur, que si la section est suffisante. C'est pour la même raison que les ailettes sont plus minces aux extrémités : plus on s'éloigne de la source de chaleur (le composant) moins il y a d'énergie à transporter. On peut comparer la distribution des épaisseurs à celle des sections de câbles dans une installation électrique. Après les papillons, des étoiles et une tulipe. Ce dernier modèle est destiné à des boîtiers TO3 peu sollicités. Les étoiles s'adaptent aux boîtiers TO5, lesquels n'ont jamais de forte puissance à dissiper.

Nous supposons que la tension d'entrée est de 22 V, que le régulateur doit donc « évacuer » 10 V. Premier calcul : le régulateur n'a pas de radiateur, combien pouvons-nous lui demander de courant dans ces conditions ? Calculons la puissance qu'il peut dissiper sans atteindre la limite de température de la jonction. Supposons que la température ambiante est de 25°C, ce qui est raisonnable, avec le temps qu'il fait (il en irait autrement si le régulateur devait être installé dans un coffret fermé ou dans une voiture abandonnée au soleil).

$$P = \frac{t_j - t_a}{R_{th\ j-a}}$$

$$P = \frac{125 - 25}{50} = \frac{100}{50} = 2W$$

La puissance est le produit de l'intensité par la tension, la tension est connue, elle est égale à 10 V. Le courant est de :

$$I = P/U = 2/10 = 200 \text{ mA.}$$

Sans radiateur, le régulateur pourra donc débiter 200 mA si la tension d'entrée est de 22 V. Pour utiliser complètement ses capacités, c'est-à-dire un courant de 1 A, il faut soit réduire la tension d'alimentation, soit augmenter les possibilités de refroidissement. Si nous abaissons la tension d'entrée jusqu'au minimum autorisé de 14,6 V (selon le databook), le calcul donne un courant maximal de 0,77 A. Il n'est pas raisonnable de travailler dans ces conditions car la moindre baisse de tension du côté entrée sera transmise inévitablement à la sortie. De plus, nous n'avons toujours pas à notre disposition l'intensité nominale. Il faut donc installer un radiateur. Commençons par un modèle ICK-35, assez courant (figure 5), avec une résistance thermique de 20 K/W. Recommençons les calculs avec une tension d'entrée de 22 V :

$$P_W = \frac{t_j - t_a}{R_{th\ j-c} + R_{th\ c-h} + R_{th\ h-a}}$$

$$P_W = \frac{t_j - t_a}{R_{th\ tot}}$$

Posons $R_{th\ c-h} = 1 \text{ K/W}$, la résistance thermique totale est de 25 K/W et nous obtenons :

$$P_W = \frac{100}{25} = 4 \text{ W}$$

La différence de tension entre l'entrée et la sortie est toujours de 10 V, donc l'intensité maximale est de :

$$I = P/U = 4/10 = 400 \text{ mA}$$

Si nous ramenons la tension d'entrée à son minimum (14,6 V), la dissipation de 2,6 W rentre dans la limite des 4 W que nous permet le refroidisseur choisi. Vous pouvez reprendre le calcul pour constater que le refroidissement est encore suffisant pour une tension d'entrée de 16 V.

Prenons le problème dans l'autre sens pour le dernier exemple : la tension d'entrée est fixée à 22 V, le courant doit être de 1 A, quel radiateur faut-il prévoir ? La puissance P_W à dissiper est de $10 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 10 \text{ W}$. La résistance thermique totale doit être de :

$$R_{th\ h-a} = \frac{t_j - t_a}{P_W} = \frac{100}{10} = 10 \text{ K/W}$$

Comme toutes les résistances thermiques sont fixées, nous ne pouvons que faire une soustraction pour connaître celle du refroidisseur :

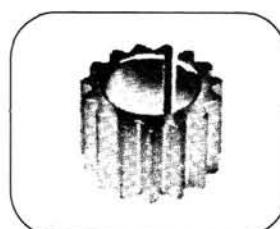
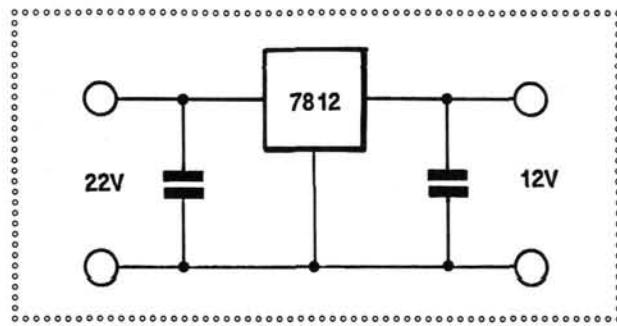
$$R_{th\ h-a} = R_{th\ j-a} - R_{th\ j-c} - R_{th\ c-h}$$

$$R_{th\ h-a} = 14 - 4 - 1 = 5 \text{ K/W}$$

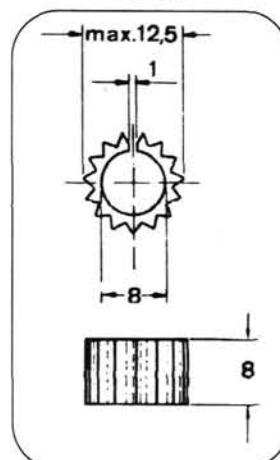
Si nous choisissons un profil SK 09, sa longueur devra être de 100 mm au moins (voir la courbe donnée par le fabricant). Si nous préférons le profil SK59, une longueur de 70 mm sera suffisante.

À vous maintenant de faire quelques calculs pratiques, en gardant à l'esprit que la température ambiante peut s'élever bien au-dessus des 25°C pris comme exemple. Si vous prévoyez votre radiateur trop petit, vous ne faites pas courir de risque au régulateur, qui limite lui-même sa dissipation à une valeur tolérable. S'il s'agit d'un amplificateur, au contraire, vous avez intérêt à prévoir une marge de sécurité.

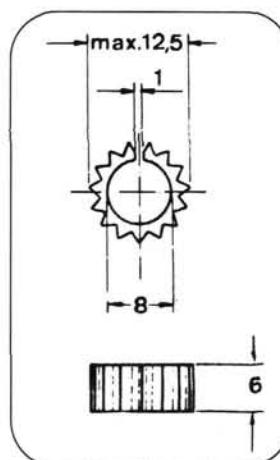
87680



SK58
55 K/W



SK56
63 K/W



télécommunications optiques

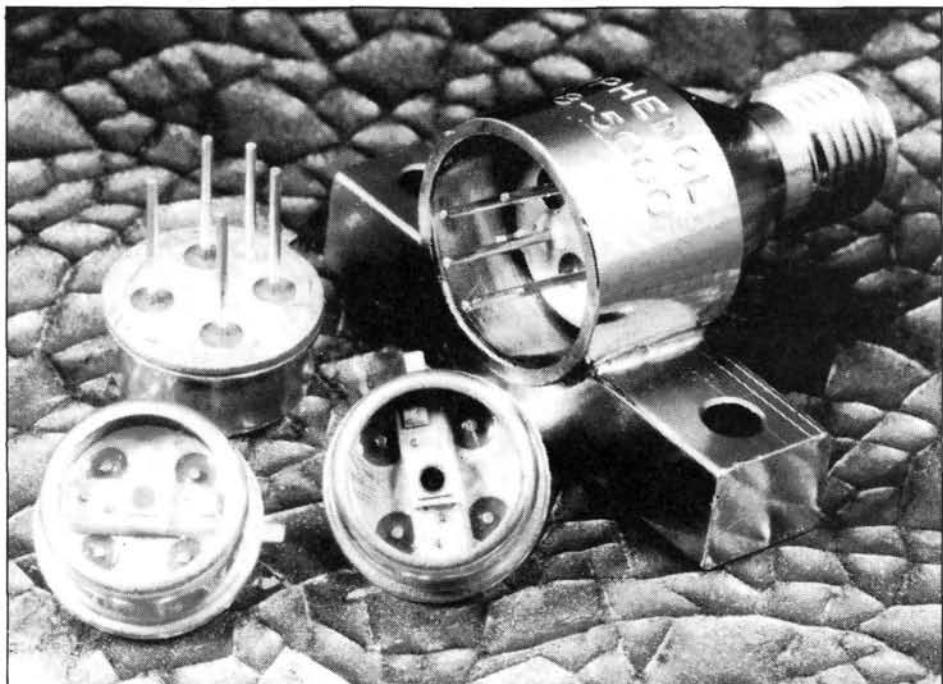
La société moderne ne se conçoit pas sans le téléphone qui, bien qu'il ait grandi depuis, ressemble encore beaucoup à ce qu'il était lorsque Graham Bell le mit au monde, en 1876. Un microphone et un écouteur sont toujours reliés par des fils de cuivre à un écouteur et à un microphone. L'énergie acoustique est transformée en un signal électrique par l'émetteur, signal qui parvient, par l'intermédiaire des fils, au récepteur où il est à nouveau traduit en énergie acoustique. L'introduction de fibres optiques n'a pas changé beaucoup de choses au principe... Le verre, matériau dont elles sont faites, serait-il devenu conducteur ? Il l'a toujours été, de la lumière en tout cas. Le verre ne peut évidemment pas servir de moyen de transport à des signaux électriques, mais son comportement vis-à-vis de la lumière est intéressant, il la transmet et c'est heureux, puisque s'il l'arrêtait, nos intérieurs seraient aussi sombres la nuit que le jour. C'est de cette banale propriété que font usage les fibres optiques : à une extrémité de la fibre optique l'énergie acoustique est traduite en un signal optique, à l'autre a lieu la restitution du son.

son porté par les photons

L'idée d'utiliser la lumière pour transporter des informations sonores est presqu'aussi vieille que le téléphone "électrique". Elle a de plus germé dans le même cerveau. En 1880, Bell réussit à faire porter la voix humaine par un faisceau lumineux (figure 1), vers un récepteur situé à quelque distance. La pièce centrale de l'émetteur était un miroir sur lequel était concentré un faisceau de lumière solaire. Le miroir, placé à l'extrémité d'une sorte de tuyau acoustique, était mû (ébranlé) par les vibrations sonores transmises par ce tuyau. Ceci n'était bien sûr pas sans

(*)Rayonnement électromagnétique auquel l'œil est sensible. La "lumière" qui circule dans les fibres optiques n'est cependant pas toujours visible.

(1)L'explication du phénomène date de 1905 (Einstein), il fallait donc bien qu'il soit connu avant.



fibres optiques

Pour communiquer à distance, nos ancêtres n'avaient rien trouvé de mieux que de se faire de grands signes : signaux de fumée de l'autre côté de l'Atlantique ou télégraphe aérien de Chappe et grands bras animés mécaniquement de ce côté-ci. Puis vint le téléphone et l'on n'eut plus besoin de lumière pour faire passer les messages... Jusqu'à ce que... Nous nous proposons de vous éclairer brièvement sur ce retour en force des radiations électromagnétiques de très petite longueur d'onde (ELEX n° 44, page 12, entre micro-ondes et nano-ondes) sur les voies de la communication.*

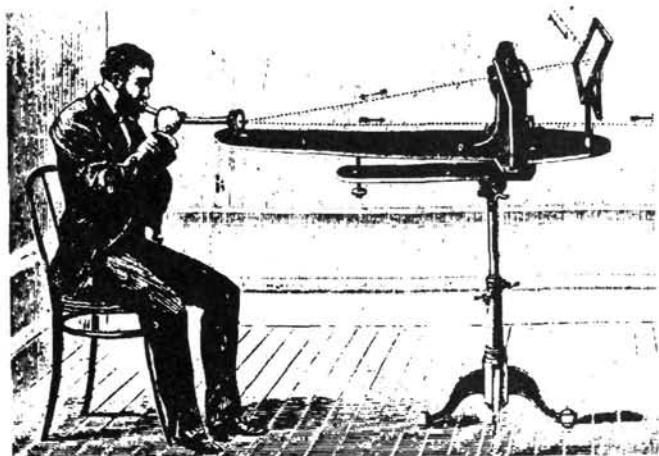
Figure 1 - L'idée de faire porter la voix (et toutes sortes d'informations) par la lumière ne date pas d'aujourd'hui : Graham Bell avait déjà prouvé avec son photophone que quelque chose de cet ordre était réalisable.

conséquence pour le faisceau réfléchi (**figure 1**) dont les radiations intermittentes arrivaient sur une surface photoconductrice. Celle-ci voyait sa conductibilité électrique varier en fonction de la lumière reçue¹. Il suffisait alors de la placer dans un circuit électrique, en série avec un téléphone, où elle provoquait des variations de courant, traduites en sons par l'écouteur.

Le photophone de Bell (de la famille des radiophones) avait une portée de 213 m. Il eut cependant peu de succès. Seules certaines armées utilisèrent, jusqu'à la seconde guerre mondiale, des émetteurs-récepteurs optiques, application directe de sa découverte. Leur portée maximale était d'environ 14 km. Que le photophone ne fonctionne pas bien si le milieu de propagation est l'atmosphère n'est guère étonnant : qu'on pense aux obstacles que représentent par exemple le brouillard et la pluie. Même si l'invention des lasers permit aux communications optiques de faire des pas de géant, il devint vite urgent de trouver un conducteur capable d'en transporter les signaux sans trop de déformation et d'atténuation sur de plus longues distances. La mise au point de guides de lumière faciles d'emploi et aussi (voire plus) fiables que les conducteurs métalliques a ouvert, depuis 1972, une ère nouvelle aux télécommunications.

communications par fibres optiques

Il est clair que les transmissions par fibres optiques n'utilisent plus le procédé mis au point par Bell des tremblements d'un miroir occasionnés par les vibrations sonores, et la lumière solaire comme support de communication. Les sources de lumière en usage actuellement sont beaucoup mieux adaptées à ces fins,

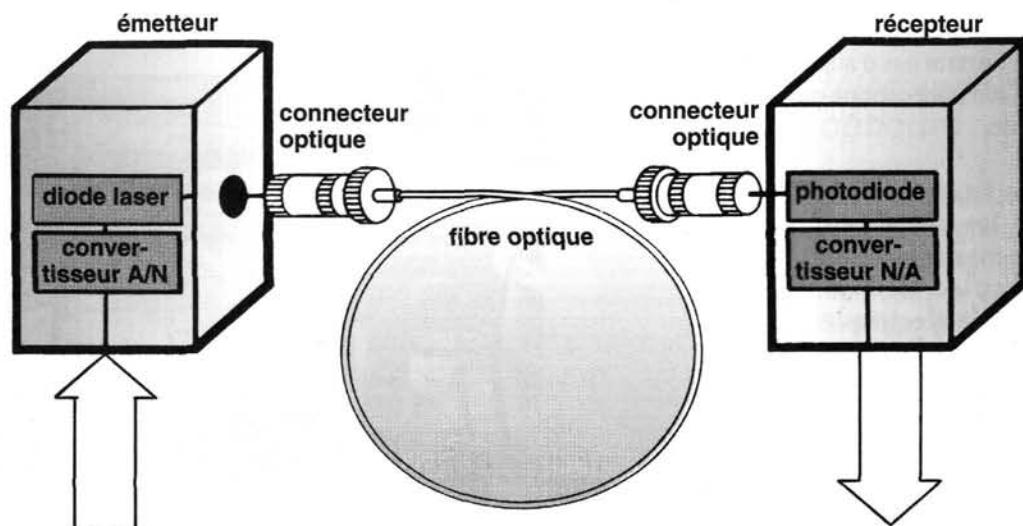


et plus faciles d'emploi. Nous voulons parler des diodes laser (voir ELEX numéro 29, page 12), sortes de LED qui, compte tenu de leur faible encombrement, produisent une grande quantité de lumière, qui plus est en faisceaux de très petit diamètre. Ces faisceaux ne transportent cependant encore aucune information², il ne sont pas encore modulés. Pour moduler la lumière émise, on peut se servir de modulateurs externes utilisant des effets électro-optiques³ ou acoustico-optiques (comme dans l'expérience de Bell), ou moduler le courant que reçoit l'émetteur. Il va de soi que les informations transmises le seront mieux si elles sont épelées. Voilà qui est trop simple pour ne pas nécessiter des explications. Si l'on décompose ce que l'on dit en plus petites unités : « Il a dit unités, grand-père, u, n, i, t, é, s, pas nullité », on peut, quelquefois, se faire mieux comprendre. Pour passer des informations sur un rayon de lumière, c'est aussi plus facile si on les numérise. L'information sonore est traduite en variations de tension aux bornes d'un microphone, ce que tout lecteur d'ELEX connaît. Cette tension variable est une grandeur analogique, qui varie continûment, comme le relief d'un pays. Pour représenter un relief, on peut le numériser, en prenant par exemple des repères à 0 m, puis à 50 m d'altitude jusqu'à 4800 et quelques mètres pour l'Europe et en attribuant à tous les points ayant une altitude com-

prise entre 0 et 50 m une couleur, une autre couleur à tous les points compris entre 50 et 100 m etc. Un vumètre à LED, mettons en cinq l'une à côté de l'autre, peut donner une autre idée de ce que nous voulons dire : si une LED allumée a pour valeur 1 et une LED éteinte une valeur 0, lorsque la musique donne à plein et qu'elles sont toutes allumées, vous pouvez "lire" 11111, si l'appareil joue avec moins de puissance, vous aurez 11000. Chaque nombre composé de 0 et de 1, de 00000 à 11111 correspond à une puissance ou à un intervalle de puissances. Ce système est assez fruste puisqu'il ne donne ici que six nombres. On procède de manière analogue, quoiqu'un peu plus précise, avec la tension aux bornes du microphone. Un dispositif la mesure, la compare simultanément par exemple à plusieurs tensions de référence et, périodiquement, communique ses résultats numérisés (succession de 0 et de 1 à la sortie de ses comparateurs, pour poursuivre notre exemple) au système chargé de les exploiter. Ce que nous venons de décrire est un dispositif de Conversion Analogique Digital, pardon, Numérique (ADC, *analog-digital converter*). Si les mesures sont suffisamment rapprochées dans le temps, le résultat est une succession de nombres qui donnent une représentation assez fidèle du signal analogique de départ. Si ces nombres sont constitués de sept chiffres (0 ou 1),

(2) Ou une information très rudimentaire, un peu comme les yeux de Socrate après sa mort : « Socrate es-tu mort ? Si oui, cligne des yeux. »

(3) Effet Kerr par exemple qui permet d'enregistrer le son des films sonores : les propriétés optiques de certains diélectriques (=isolants) sont modifiées lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. L'intensité de la lumière (constante à l'entrée) après la traversée d'un tel milieu, suit les variations (les modulations) du champ électrique. Une cellule de Kerr est donc une sorte de condensateur qui peut laisser passer la lumière à travers son diélectrique. L'intensité de la lumière qui en sort est fonction de la tension à ses bornes.



par exemple, on dit que l'information est "codée sur sept bits" et chaque nombre correspond à une tension.

Cette succession de 0 et de 1 (succession de bits), manifestés par la présence ou l'absence d'une tension, permet de commander de façon très simple la diode laser. Celle-ci va clignoter, s'éteindre pour les 0 et s'allumer pour les 1. La lumière clignotante se déplace dans la fibre optique jusqu'au récepteur situé à l'autre extrémité, où un détecteur photosensible (photodiode, par exemple) permet de reconstituer le signal électrique numérique, qu'un convertisseur numérique-analogique (DAC⁴) restitue, presqu'identique au signal audio de départ, dans un circuit contenant un écouteur (fig.2).

La figure 3 donne une idée de la façon dont les choses se passent entre analogique et numérique. À des intervalles rapprochés (symbolisés par la distance entre les marches), le signal analogique (ligne courbe a) est mesuré (échantilloné, en b) et son niveau traduit en un nombre (c). Pour la clarté du dessin, les nombres sont représentés (sept petits carrés, soient sept bits par nombre) dans la projection du niveau (marche de l'escalier) auquel ils correspondent. En fait, tous les petits carrés symbolisant les 0 et les 1 devraient se succéder sur une seule file. Ces bits électriques commandent ainsi la diode laser qui les traduit en bits lumineux. Ils éclairent ensuite une diode photoconductrice dans le circuit de laquelle se trouve

Figure 2 - Au départ, le signal électrique qui transporte l'information commande une diode émettrice de lumière. L'information, devenue lumineuse, circule dans un conducteur optique et atteint une photodiode qui la restitue électriquement. Comme une information est mieux transmise si elle est "épelée", les signaux analogiques sont d'abord numérisés, traduits en une succession de 0 et 1, absence ou présence de tension, absence ou présence de lumière.

un convertisseur numérique-analogique, produisant à partir d'eux le signal en marches d'escalier (d). Après filtrage, ce signal analogique un peu anguleux s'arrondit en une réplique de l'original (a).

pourquoi numérique ?

Ce que nous avons déjà suggéré doit vous permettre de donner un début de réponse à cette question. Il y a d'autres façons d'utiliser la lumière pour transporter des informations, comme nous le verrons dans un montage proposé dans ce même numéro (voir aussi la note 3). Le problème, quand l'information module directement l'intensité lumineuse du

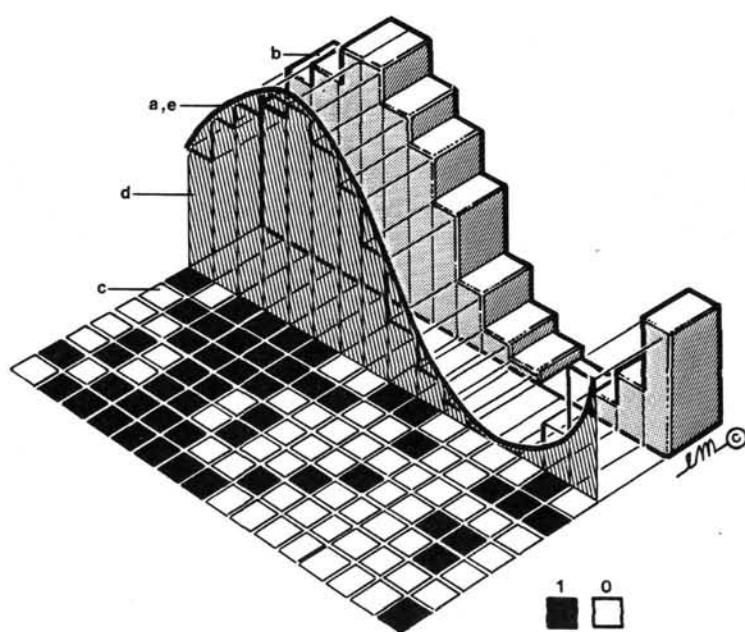
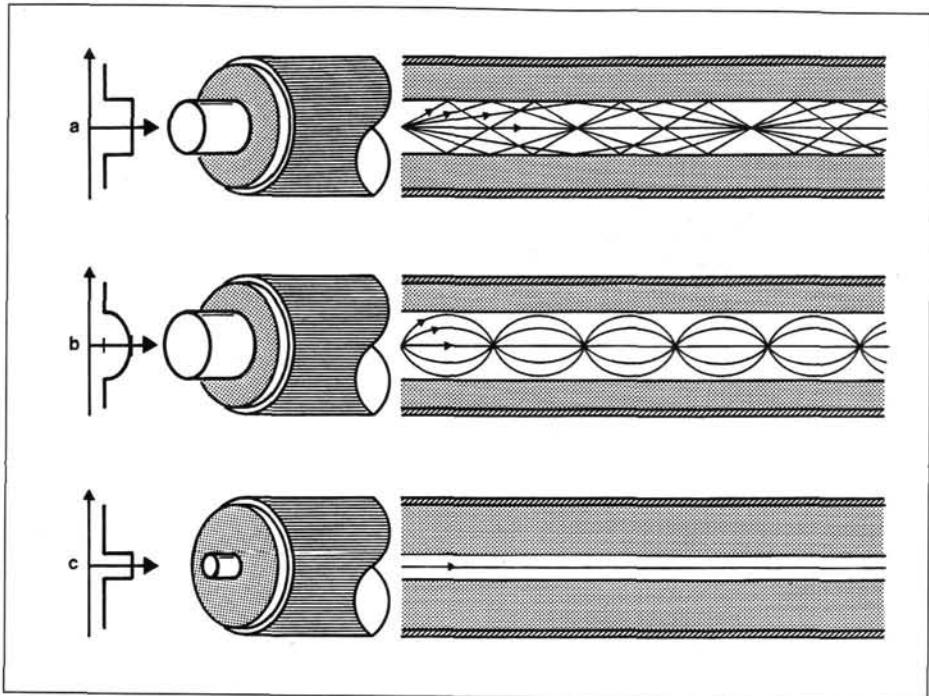


Figure 3 - Représentation graphique de la numérisation d'un signal analogique (trait sinuieux). La première mesure donne 0100001 (à gauche) et la dernière correspond à 1000010. Le signal restitué à la réception a une forme anguleuse que des filtres permettent d'arrondir.

Figure 4 - Il existe trois types de fibres. Dans les fibres b et c (multimode à gradient d'indice, et monomode) les rayons lumineux partis simultanément d'une extrémité arrivent simultanément à l'autre. Dans les fibres de type a (fibre multimode à saut d'indice), les rayons qui suivent l'axe de la fibre arrivent avant les rayons qui se réfléchissent sur les parois. Le signal à l'arrivée est plus long qu'au départ, défaut qui s'aggrave avec la distance.



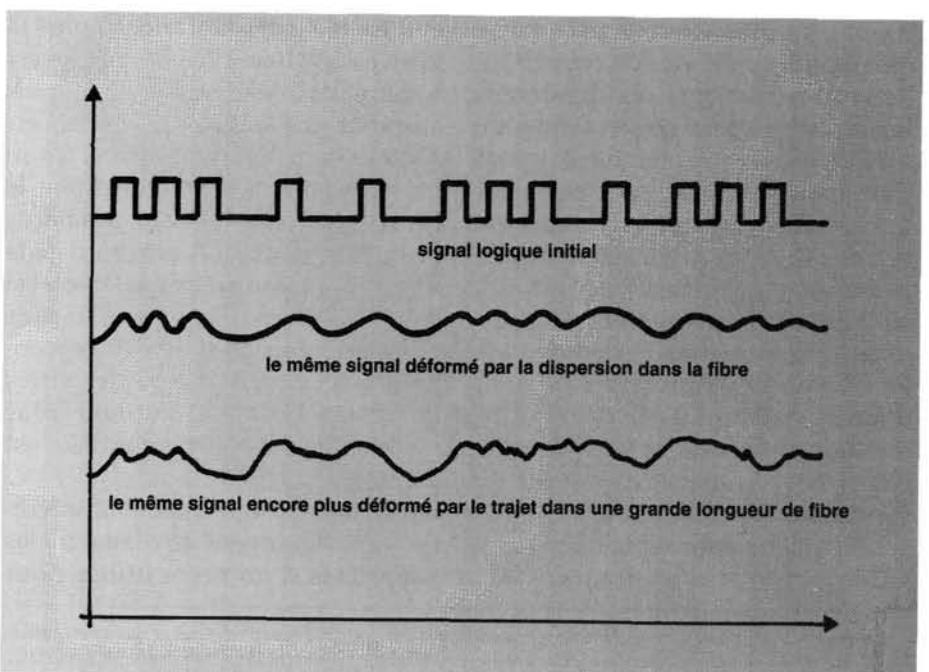
faisceau, est qu'elle ne tient pas la distance. Pourquoi ? Pour le savoir, il nous faut regarder la façon dont la lumière se déplace dans une fibre optique.

La lumière peut prendre différents chemins pour traverser un guide de lumière, comme on le voit sur la figure 4a. Il n'est pas difficile de comprendre qu'un rayon réfléchi de nombreuses fois parcourt un chemin plus long que celui qui traverse la fibre en suivant son grand axe, en ligne droite. Si le chemin parcouru est plus long, la traversée dure naturellement plus longtemps et le rayon qui se déplace en se réfléchissant sur les parois sort du guide après le rayon qui a pris le chemin le plus court. S'il ne s'agissait que de s'éclairer, ça n'aurait bien sûr aucune conséquence, mais il s'agit d'informations. Le retard a pour effet de les étirer. Pour une information numérisée dont le 1 dure 1 ms au départ, avec une différence de trajet pour les différents rayons de 1 μ s, le 1 à la sortie de la fibre optique s'est étendu à 1,001 ms (les rayons directs arrivent 1 ms après le départ et les rayons en zig-zag avec 1 μ s de retard, l'objectif est donc éclairé pen-

dant 1,001 ms). Plus la distance parcourue est longue, plus le retard augmente et plus l'information s'étire. Pour des données aussi simples que 0 et 1, le mal n'est pas bien grand tant que la lumière arrive à destination. Si le signal à transmettre est analogique, il n'en va plus de même, ses déformations, augmentant avec la distance, le rendent rapidement inintelligible.

On parle pour ces déformations de dispersion. Une trop grande dispersion peut aussi déformer un message numérisé au point de le rendre incompréhensible, si les bits se succèdent à une cadence élevée, lorsque leur débit est très important (figure 5). Pour éviter ce genre de problème, des fibres optiques dans lesquelles le temps de propagation de tous les rayons est le même ont

Figure 5 - Si les différents rayons lumineux, directs ou réfléchis, qui transitent par une fibre optique ne la parcourrent pas dans le même temps, le signal qu'ils transportent subit des déformations. On prévient cet effet, dit de dispersion, en utilisant, si la distance à franchir le rend nécessaire, des fibres spéciales (voir 4b).



(5) Lorsque vous faites un "dégradé" sur un dessin, vous obtenez un "gradient linéaire" de couleur, un affaiblissement graduel, continu de la couleur, comme dit Le Petit Robert.

(6) L'indice de réfraction d'un milieu est égal au rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à la vitesse de la lumière dans ce milieu. Il est donc toujours supérieur ou égal à 1 (très peu supérieur dans le cas de l'air qui peut ainsi servir de référence).

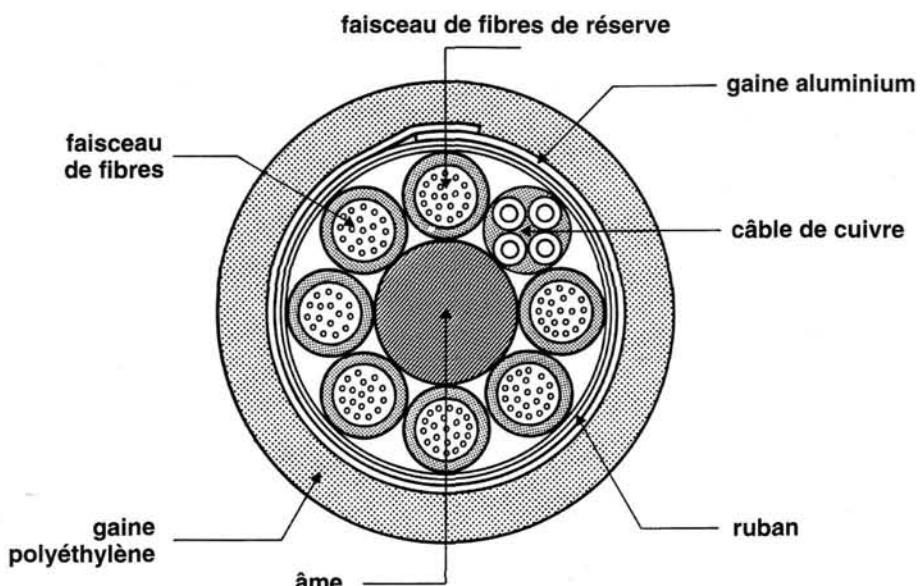


Figure 6 - Vue en coupe d'un câble optique tel qu'en posent les TELECOM. Il comporte évidemment plus d'une fibre et même le câble électrique encore nécessaire pour l'alimentation des répéteurs.

été mises au point. Les types de fibres et de propagations sont représentés sur la figure 4. La plus simple est bien sûr la fibre dite monomode dans laquelle le rayon lumineux n'a, comme son nom l'indique, qu'un mode de propagation, rectiligne. Le très petit diamètre de son cœur de verre ($5 \mu\text{m}$) pose cependant des problèmes de connexion, il est en effet difficile de viser juste. En 4b, nous avons une fibre dite multimode (de propagation) à gradient d'indice⁵ dont le diamètre est dix fois plus grand. Dans cette fibre, les rayons se propagent plus vite à la périphérie qu'au centre : l'indice de réfraction⁶ de la fibre diminue régulièrement lorsqu'on s'éloigne de son centre, de sorte que les rayons lumineux y sont continûment déviés. Qu'ils prennent le chemin des écoliers ou la voie directe, tous les rayons arrivent en même temps à destination. Ces deux sortes de fibres permettent donc des débits d'information beaucoup plus élevés que les fibres dites à saut d'indice (4a, formées de deux verres d'indices différents, le manteau et le cœur). Les techniques de fabrication sont aujourd'hui au point et les prix relativement abordables. Le verre garde cependant sa fragilité. Un

emballage approprié protégeant mécaniquement les fibres semble avoir résolu ce problème comme tendent à le prouver les nombreux câbles (figure 6) déjà posés dans le monde.

atténuation

À côté de la dispersion, un autre facteur vient entraver la progression des informations, l'atténuation. Le verre ne conduit pas la lumière sans en absorber un peu. Pour s'en rendre compte, il suffit de prendre une vitre et d'en regarder la tranche : plus la vitre est grande, plus la tranche est sombre. La lumière est d'autant plus absorbée que la distance à parcourir dans le verre est importante. Comme elle se propage en ligne droite, le rayon que l'on voit sur un des bords de la vitre vient de l'autre bord. Si la distance parcourue par le rayon est courte, il arrive à la parcourir sans que l'atténuation soit trop perceptible. Ceci n'empêche pas les vitres de rester visibles, d'autant plus visibles que leur qualité est médiocre.

Sur quoi repose la qualité d'un verre ? Son homogénéité d'abord : les propriétés d'un verre utilisé pour

véhiculer des informations doivent être autant que possible les mêmes en tous points, faute de quoi on assiste à des phénomènes de diffusion ou de dispersion. On assiste ensuite à des phénomènes d'absorption de la lumière par des impuretés dont la concentration peut être très faible. On réussit aujourd'hui à fabriquer des fibres de verre de quelques kilomètres aussi transparentes que des vitres de quelques millimètres d'épaisseur⁷. Le problème maintenant est de les raccorder. La façon la plus simple, qui n'est bien évidemment pas la meilleure, consiste à utiliser des connecteurs spéciaux (figure 7) qui ajustent mécaniquement leurs extrémités de façon à réduire au maximum les pertes. Une autre méthode, dont les résultats sont meilleurs, consiste à les souder. Cette méthode n'est pas seulement difficile à mettre en œuvre à cause du très petit diamètre des fibres, mais parce que la soudure risque de modifier leurs propriétés optiques. Malgré la qualité des verres obtenus et celle des connexions, des pertes subsistent. Pour les compenser on dispose sur les lignes des amplificateurs (répéteurs) tous les 25 km. C'est bien sûr un inconvénient. Il ne faut cependant pas oublier que les lignes électriques souffrent aussi de phénomènes d'atténuation, les fils ont une impédance (pas seulement une résistance) qui provoque des chutes de tension. Pour couvrir de longues distances, le signal qui s'affaiblit doit être périodiquement régénéré, et les répéteurs existent là aussi. Si on compare les lignes cuivre aux lignes optiques, il semble que dans ce domaine, les transmissions optiques s'en sortent à leur avantage et ce n'est pas leur seul point fort. Poursuivons la comparaison.

(7)Mentionnons pour mémoire leurs usages médicaux qui permettent des explorations et des interventions très fines : l'œil peut grâce à leurs propriétés pénétrer dans l'organisme avec un minimum d'effraction.

Figure 7 - Pour connecter les fibres optiques l'une à l'autre et avec les diodes émettrices et réceptrices, on dispose de raccords spéciaux qui garantissent un minimum d'atténuation en centrant correctement les différents éléments et en les maintenant bien serrés. Vous voyez ici les extrémités du câble optique ainsi que la diode laser et la photodiode.

Les lignes téléphoniques traditionnelles fonctionnent depuis belle lurette à la satisfaction générale. Nous en voulons pour preuve le fait que les humoristes semblent depuis quelques années ne plus s'y intéresser. Alors pourquoi changer et en quoi ces recherches permettent-elles de sensibles améliorations ?

Pour commencer, la matière première de la fabrication du verre est le sable (ordinaire) beaucoup moins cher et beaucoup moins rare que le cuivre. Les câbles de fibres optiques sont aussi beaucoup plus légers que leurs homologues métalliques, c'est une des qualités qui les fait apprécier en aéronautique. Cependant même si leur légèreté était secondaire, les liaisons optiques, insensibles à la plupart des parasites, garderaient la préférence des constructeurs d'avion. Elles n'engendrent ni champs magnétiques ni champs électriques et sont insensibles à ceux qu'elles peuvent rencontrer. Les variations de température ne les affectent pas et leur inertie chimique est très grande. Comme elles ne transportent pas de courants, on peut les utiliser dans les milieux où les normes de sécurité sont les plus draconiennes. Les lignes de transmission peuvent se côtoyer sans interférer : inutile de tendre l'oreille, si la transmission est optique, vous n'entendrez jamais sur votre ligne ce que disent les personnes qui communiquent sur une ligne parallèle. Ceci permet de réduire au minimum la distance entre les "fils". Il n'existe pas non plus, en dehors des nœuds de communication, des répéteurs et des extrémités, où les signaux sont à nouveaux électriques, de possibilités d'écoute : la ligne elle-même est inviolable et les informations qu'elle transporte ne transpirent pas. Un de leurs plus grands avantages cependant est qu'elles permettent, par unité de temps, le transport de beaucoup plus d'informations que leurs homologues électriques. Elles peuvent ainsi, concurrentiellement aux transmissions par satellites, convoyer,

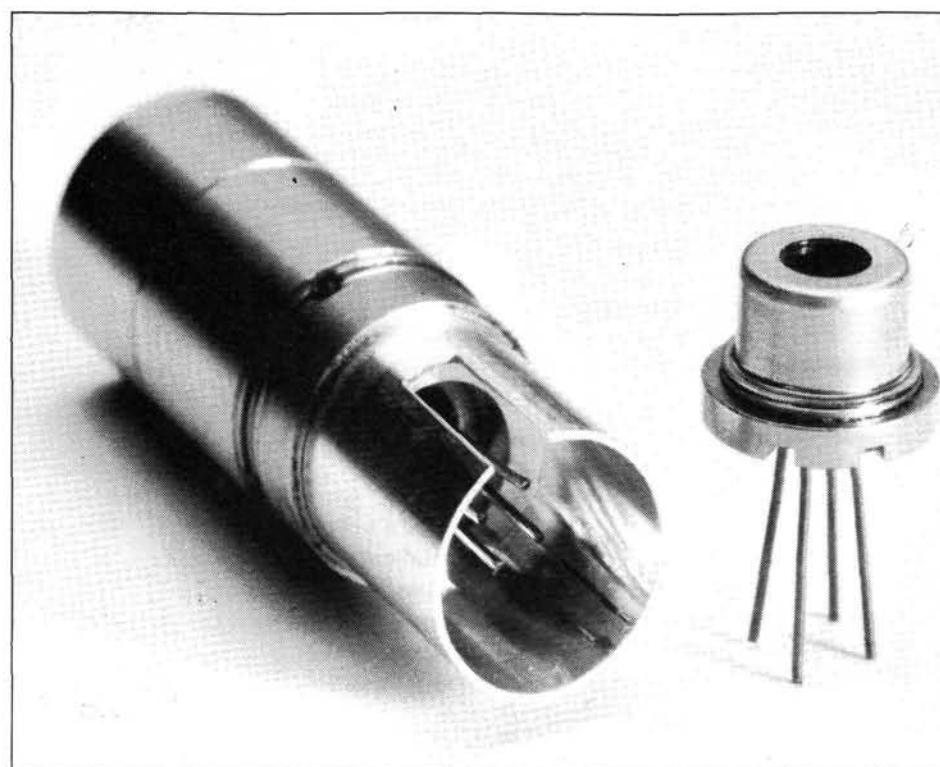
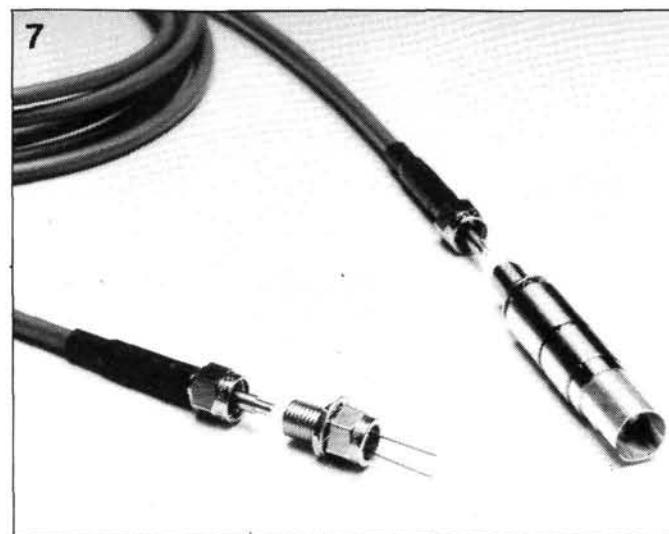
outre un grand nombre de nos importants dialogues téléphoniques, des données informatiques à vitesse très élevée ou des signaux vidéo qui nécessitent, vous devez vous en douter, beaucoup de 0 et de 1 pour être numérisés.

perspectives

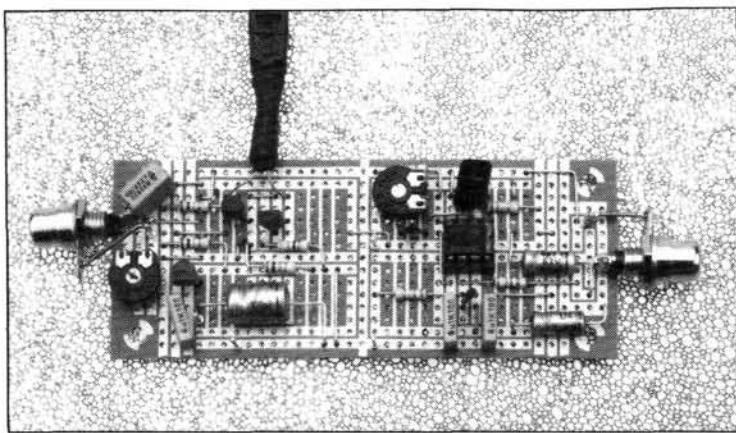
L'optique est amenée à concurrencer l'électronique dans de nombreux domaines. Au cours des prochaines décennies, les fibres optiques remplaceront progressivement les câbles électriques sur tout le réseau téléphonique, mais ce n'est pas tout : pour augmenter la vitesse et la capacité de calcul de leurs machines, les

fabricants d'ordinateurs en ont changé l'architecture. Elles traitent les informations non plus les unes à la suite des autres, mais en parallèle. Ceci pose aussi des problèmes de transmission que l'optique permet de résoudre plus efficacement : absence d'interactions parasites entre les "courants de photons" et circulation des données à la vitesse de la lumière. On ne s'est d'ailleurs pas arrêté là et le projet de remplacer les électrons par des photons à tous les stades du calcul fait son chemin⁸. Les homologues optiques des transistors existent déjà, et des ordinateurs fonctionnant en tout optique sont à l'étude. La "photonique", c'est peut-être pour bientôt.

87693



⁽⁸⁾La Recherche, novembre 1988, page 1374 et suivantes.



ligne audio sous verre

Bien que l'objectif du circuit ne soit qu'une approche expérimentale des transmissions par fibre optique, ses performances sont très acceptables : distorsion <0,1%, rapport signal/bruit >80 dB. Son entrée accepte des signaux de niveau « ligne ». Des signaux d'un niveau inférieur peuvent bien sûr lui être injectés (microphone) mais le rapport signal/bruit diminuera avec le signal jusqu'aux environs de 10 dB. Ce rapport dépend aussi de la longueur de la fibre optique utilisée, qui ne devra pas excéder 10 à 15 m pour que la qualité de la transmission reste bonne.

Avant d'attaquer la description du circuit, quelques remarques concernant les méthodes de modulation. Un signal audio, comme celui que nous nous proposons de transmettre, est de nature analogique. Son transport nécessite une onde porteuse, ici la

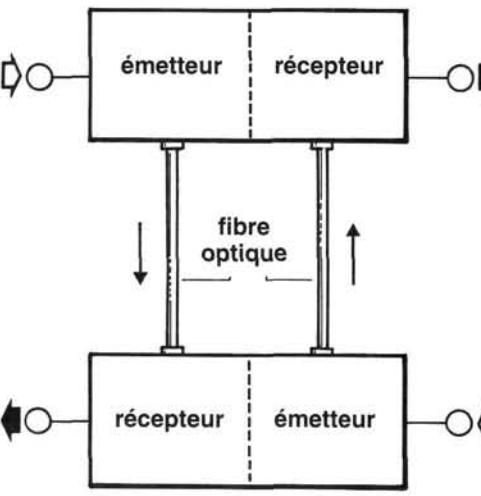
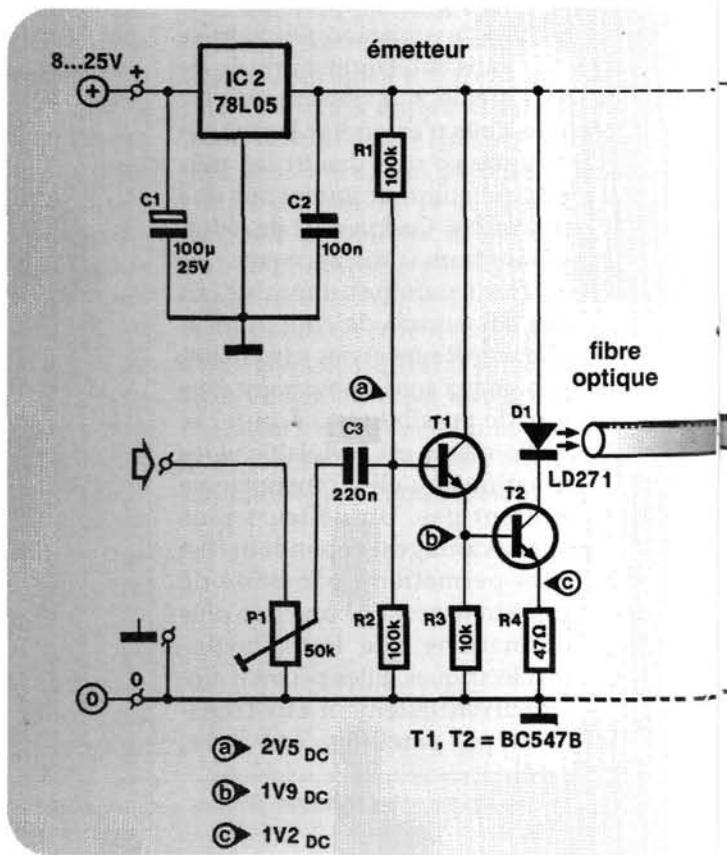
lumière. Trois formes de modulation sont alors possibles, trois façons pour le signal audio de basse fréquence d'influencer l'onde porteuse. Dans un ordre décroissant de qualité et de complexité⁽¹⁾, nous avons :

1. – **Modulation par impulsions codées** (PCM, Pulse Code Modulation), technique utilisée par exemple pour les enregistrements audio-numériques dont les lecteurs laser permettent la lecture (ELEX numéro 29). Ce procédé

nécessite des conversions très rapides d'analogique à numérique (ou *digital* en anglais) et de numérique à analogique, sans parler de phototransistors à temps de réponse très court. C'est, comme vous pouvez le lire dans ce même numéro, la méthode utilisée généralement pour les transmissions optiques. Elle dépasse, techniquement et financièrement, les limites fixées pour l'instant à une revue comme celle-ci.

(1) Ceci permet aussi de donner un début de réponse à la question pataphysique : « Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ? »

Figure 1 - Pour une communication sur deux voies, deux « combinés » sont évidemment nécessaires.



2. - Modulation de fréquence, c'est la FM : son insensibilité aux variations d'amplitude la protège d'un grand nombre de perturbations et la rend particulièrement propre aux transmissions par fibres optiques. Elle demande certes un peu plus d'électronique que le procédé suivant, mais pas excessivement. C'est la technique adoptée pour un montage décrit dans un numéro précédent (octobre 91, page 18) qui peut en principe être adapté au présent exercice. Voyons les modifications de détail à lui apporter, pour les lecteurs qui voudraient l'utiliser ici : une seule LED émettrice est nécessaire (court-circuitez les autres) et remplacez R12 par $180\ \Omega$, c'est tout. Vous constaterez que le guide de lumière laisse passer le signal beaucoup mieux que ne le fait l'air et sur une plus longue distance.

3. - Modulation d'amplitude (AM), c'est la technique utilisée pour cette prise de contact avec les fibres optiques. Elle permet de fabriquer un circuit simple et peu gourmand en courant. La distorsion et le rapport signal/bruit sont certes ici moins bons qu'en modulation de fréquence, des choix judicieux permettent cependant de les maintenir dans des limites acceptables. Répétons-le : malgré

d'honnêtes performances, il s'agit surtout d'un circuit d'expérimentation. Voyons-en les détails.

Le circuit comprend un émetteur et un récepteur. Il est possible d'établir la communication dans les deux sens, comme on le voit sur la figure 1. Il suffit pour cela de doubler le circuit de la figure 2. Pour un système à une seule voie, on sépare l'émetteur du récepteur en découplant la platine suivant le pointillé (figure 3). Le fonctionnement de l'appareil est très simple : la sortie de l'émetteur est une LED dont le rayonnement varie en intensité avec l'amplitude du signal présent à l'entrée. Avec une longueur d'onde de 950 nm, D1 émet dans le proche infrarouge (800 nm pour le rouge visible) pour lequel la photodiode D2 du récepteur a une sensibilité maximum. Un transistor, monté en source de courant, commande D1. Une telle source est bien sûr nécessaire, puisque l'intensité du rayonnement de la LED est directement proportionnelle à celle du courant qui la traverse. Le transistor T1, monté en collecteur commun (émetteur suiveur), complète cet étage de sortie en lui donnant une impédance d'entrée suffisante. Le point de fonctionnement de T2 est choisi de telle façon que le courant qui traverse D1

elex-abc

modulation par impulsions codées (PCM)

On dit qu'il n'y a pas à proprement parler ici d'onde porteuse : une absence d'émission d'une certaine durée correspond à un 0 et une émission d'une même durée correspond à un 1. Le signal à transmettre est donc numérisé, codé par un convertisseur analogique-numérique contenu dans l'émetteur, en une succession de 0 et de 1. S'il est codé sur sept bits (un bit est une information élémentaire, 0 ou 1) par exemple, à chaque ensemble de sept bits successifs correspond une tension à la sortie du décodeur (convertisseur) numérique-analogique, contenu dans le récepteur qui reconstitue ainsi le signal analogique de départ (ou l'opération inverse avait été réalisée).

modulation de fréquence

On module en fréquence lorsqu'on fait varier la fréquence de l'onde porteuse (HF, de Haute Fréquence) au rythme du signal à transmettre. La fréquence du signal à transmettre est évidemment basse (c'est le signal BF, signal de Basse Fréquence) comparée à celle de l'onde modulée qui varie ainsi sur un (relativement) petit intervalle, son excursion. Le rapport de la moitié de l'excursion à la fréquence du signal modulateur est appelé indice de modulation.

modulation d'amplitude

L'amplitude des variations d'une grandeur électrique est son écart maximum par rapport à une valeur moyenne. Si l'on ajoute à une onde porteuse de haute fréquence un signal de basse fréquence (modulateur), l'amplitude du signal résultant, signal modulé, est égale à la somme des amplitudes des deux signaux. On dit que la porteuse est modulée en amplitude par le signal BF. L'onde porteuse avant modulation est rigoureusement périodique ce qui n'est évidemment pas le cas du signal modulateur dont l'amplitude varie au rythme de la parole ou de la musique.

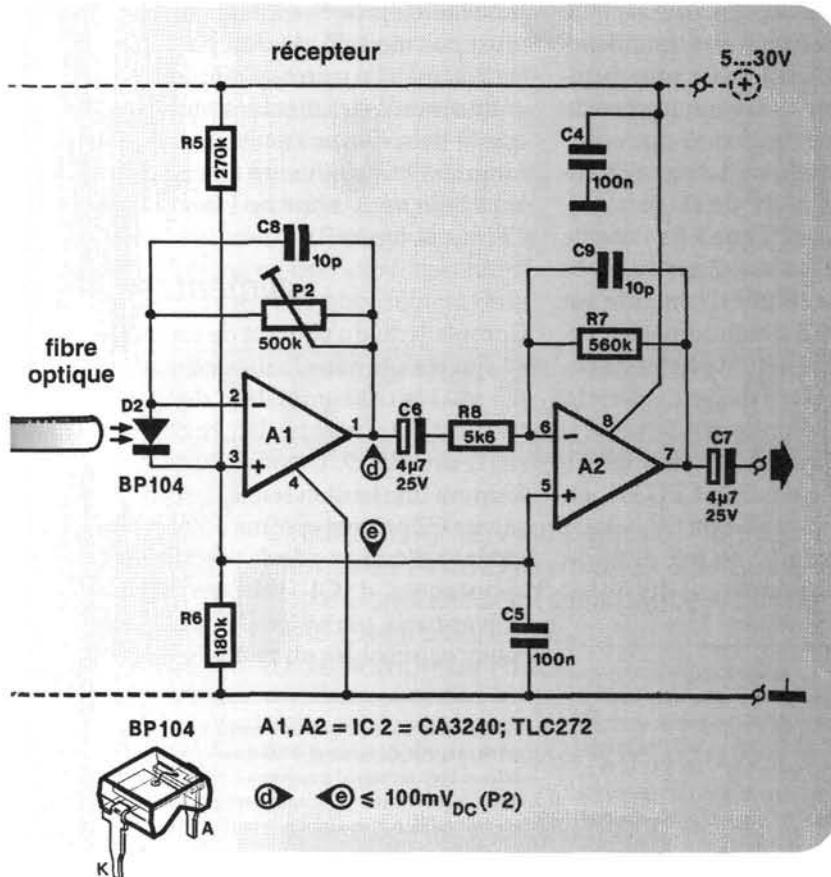
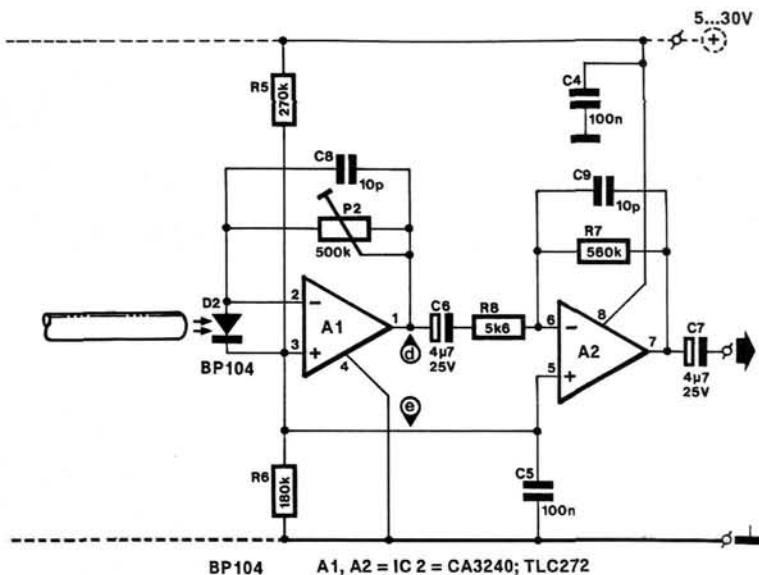


Figure 2 - Il est difficile de faire plus simple. Les potentiels des points a, b, c sont des tensions mesurées par rapport à la masse au repos, en l'absence du signal. Le potentiomètre P2, permet de régler le potentiel à la sortie de A1 par rapport à la "masse artificielle" (potentiel qui règne sur l'entrée non inverseuse), toujours en l'absence de signal, après la mise sous tension de l'émetteur.



(LD271) au repos soit de 25 mA. Trois potentiels statiques, potentiels présents en l'absence de signal à l'entrée, mesurés aux points a, b et c sont indiqués sur la figure 2. Cette polarisation des transistors permet aux variations d'amplitude du signal injecté d'être transmises sans déformations : elle est suffisamment élevée pour que les alternances négatives du signal ne bloquent pas les transistors et suffisamment basse pour leur éviter la saturation lors des alternances positives. Le potentiomètre P1, monté en diviseur de tension, permet d'atténuer au besoin les signaux de trop grande amplitude (signaux de niveau « ligne », de quelques centaines de millivolts). Pour les signaux plus faibles, provenant d'un microphone ou de la sortie d'enregistrement d'un amplificateur par exemple, on doit évidemment régler P1 au minimum, ou s'en passer. Comme d'habitude, le condensateur de découplage C3 élimine une éventuelle composante continue. Notons enfin que la distorsion dépend beaucoup de l'amplitude du signal et augmente considérablement dès qu'elle dépasse 100 mV. Si la distorsion est inférieure à 0,1% pour un signal de 50 mV, elle passe à 0,25% pour un signal de 100 mV et atteint 1% si l'amplitude dépasse 200 mV. Il ne faut pas non plus que le signal soit trop faible puisque nous avons vu que le rapport signal/bruit diminuait avec son amplitude. L'intensité du rayonnement de la diode varie donc maintenant en fonction de l'amplitude du signal injecté à travers C3 dans l'émetteur, voyons comment le récepteur réagit.

Le récepteur est composé d'un ensemble amplificateur-photodiode (D2-A1), suivi d'un étage d'amplification des basses fréquences (A2). Un diviseur de tension (R5/R6) permet de fabriquer une masse artificielle et de se passer ainsi d'une alimentation symétrique. La photodiode est câblée d'une manière choquante, en court-circuit aux entrées de A1. On utilise ainsi une partie de sa caractéristique où la relation entre le courant qu'elle laisse passer et la lumière qu'elle reçoit est pratiquement linéaire : le courant augmente (ou diminue) en proportion directe de l'intensité lumineuse et le coefficient qui relie ces deux grandeurs est constant. Il en résulte une différence de tension entre les entrées de l'amplificateur opérationnel que celui-ci va tenter de réduire. La conséquence est que plus la diode est éclairée, plus la tension qui règne à la sortie de l'amplificateur baisse. Pour éviter la saturation⁽²⁾ de celui-ci, son gain est limité par P2. Ce potentiomètre permet de régler le point de fonctionnement du circuit (qui dépend aussi du point de fonctionnement de l'émetteur, c'est-à-dire de la quantité de lumière produite par la LED D1, en l'absence de modulation). Le taux d'amplification de A1 est fixé de façon à compenser l'atténuation du signal

(2)Un amplificateur est saturé lorsque sa sortie ne rend plus compte des variations de son entrée. Par exemple, un amplificateur alimenté entre 0 et 15 V dont le gain est de 100 est saturé dès que le signal entrant approche 15/100 V ou 0 V. Si le signal présent à l'entrée varie hors de l'intervalle 0 V, 15/100 V, la sortie ne répond plus : elle reste bloquée aux environs de 0 V ou de 15 V.

par le guide de lumière (voir au paragraphe suivant comment procéder). Le signal en sortie de A1, débarrassé de sa composante continue par C6, est à nouveau amplifié sélectivement par A2 (environ 100 fois).

réglages

On adapte pour commencer la sensibilité du circuit au niveau du signal entrant. Les signaux de niveau « ligne » (bornes cinch) sont donc atténués par le diviseur de tension P1 (curseur à la moitié ou au quart de sa course). Si c'est un microphone qui est raccordé à l'entrée, ou la sortie magnétophone d'un amplificateur (prise DIN⁽³⁾), le signal est injecté tel quel à travers C3, avec P1 au minimum (curseur tourné au maximum dans le sens des aiguilles d'une montre, sur la figure 3). S'il y a le choix entre sortie DIN et sortie cinch, on préférera la seconde qui donne un meilleur rapport signal/bruit.

Le réglage du récepteur n'intervient qu'après l'établissement de la liaison optique avec l'émetteur. Il se fait au moyen de P2 dont le curseur est positionné en fonction de la tension continue mesurée entre les points d et e (figure 2). Cette tension, lorsque le faisceau en provenance de l'émetteur n'est pas modulé, ne doit pas dépasser 100 mV. Le gain de l'amplificateur d'entrée doit être d'autant plus grand que la liaison avec l'émetteur est plus longue. On l'augmente en ramenant le curseur vers la broche 1 de A1 (vers C8, sur la figure 3).

alimentation

Compte tenu du courant de repos élevé qui circule dans la diode émettrice (25 mA) la consommation de l'émetteur est importante. Un régulateur (IC1, un 78L05, L pour 100 mA) lui fournira une tension stable. Le condensateur C2 permet comme à l'accoutumée, d'éviter les oscillations spontanées d'IC1, tout en filtrant d'éventuels parasites de haute fréquence, nuisibles au reste du circuit.

(3)À ce propos, la prise DIN (entrée d'enregistrement et sortie de lecture) d'un magnétophone délivre bien un signal de niveau « ligne » en sortie mais son entrée (correspondant à la sortie magnétophone d'un amplificateur) est très sensible.

liste des composants

R1, R2 = 100 k Ω

R3 = 10 k Ω

R4 = 47 Ω

R5 = 270 k Ω

R6 = 180 k Ω

R7 = 560 k Ω

R8 = 5,6 k Ω

P1 = 50 k Ω , ajustable

P2 = 500 k Ω , ajustable

C1 = 100 μ F/25 V

C2, C4, C5 = 100 nF

C3 = 220 nF

C6, C7 = 4,7 μ F/25 V

C8, C9 = 10 pF

T1, T2 = BC 547B

D1 = LD 271

D2 = BP 104

IC1 = 78L05

IC2 = CA 3240 ou TLC 272

(double amplificateur opérationnel CMOS)

**platine d'expérimentation
de format 1**

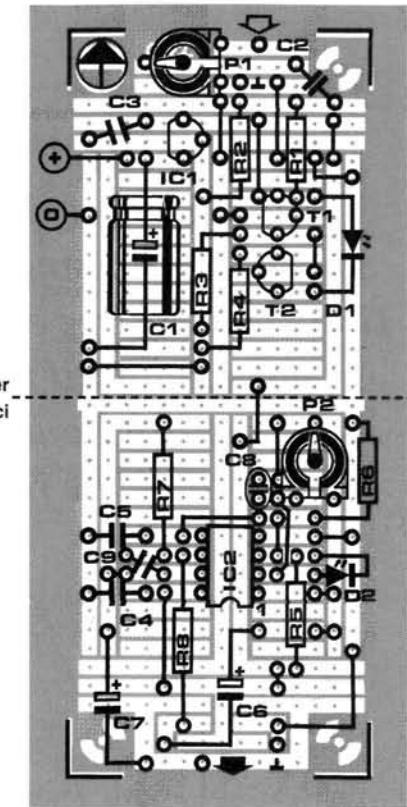


Figure 3 - Pour une liaison simple, l'émetteur et le récepteur sont séparés suivant le pointillé. Pour deux stations complètes, émission et réception à chaque extrémité, chaque « combiné » est composé d'une platine entière.

parasites

tous les cas, la diode émettrice doit être compatible avec le phototransistor et, le cas échéant, avec les clips ou les connecteurs. Vous évitez d'autre part une atténuation trop importante au départ et à l'arrivée en coupant la fibre proprement et bien perpendiculairement à son grand axe, et en polissant les surfaces de coupe (finition au grain de 600).

(4) « Je t'en supplie, baisse un peu l'abat-jour, il y a de la friture sur la ligne. »

Comme le signal est modulé en amplitude, il est très sensible aux parasites apportés par la lumière ambiante. Les lampes à incandescence en particulier, qui chauffent plus qu'elles n'éclairent et produisent donc un important rayonnement infrarouge, feront entendre leur voix. Pour une bonne réception, un abat-jour ne suffit pas⁽⁴⁾, il est essentiel que les diodes, émettrice et réceptrice, et la fibre soient isolées optiquement (fibre gainée et manchons aux extrémités).

87688

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 Cl, 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 43793988

Télex 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h

Fermé le Lundi.

Nous avons déjà rencontré la notion de modulation dans un grand nombre de montages ; chaque fois, faute de place, nous n'avons pu donner des procédés mis en œuvre que des descriptions sommaires et incomplètes. Le petit article qui suit ne sera pas exhaustif non plus puisqu'il faut de volumineux traités pour venir à bout de chaque type de modulation. Notre but est de fixer les idées sans trop entrer dans les détails.

La modulation dans les ondes des informations

C'est d'abord au sujet de la transmission de signaux sans fil que nous avons rencontré la notion de modulation. Il s'agit dans ce cas de modifier le signal de sortie d'un émetteur de façon à y incorporer un autre signal, que nous appellerons de l'information. Le signal de sortie de l'émetteur est une onde, c'est-à-dire une oscillation sinusoïdale caractérisée par une fréquence et une amplitude. La logique veut que les seules altérations possibles du signal portent soit sur l'amplitude, soit sur la fréquence. Nous nous en tiendrons à ces deux types essentiels

de modulation, en laissant aux gros ouvrages spécialisés la distinction entre les nombreux types dérivés.

la porteuse

Pour transmettre de la parole, de la musique, des données informatiques, en un mot ce que nous appelons « de l'information », c'est comme pour le pain, il faut une **porteuse**. On dit couramment porteuse pour **onde porteuse**. Si l'onde porteuse peut se propager dans l'espace, c'est une onde électromagnétique, qui peut provenir aussi

bien d'une source de lumière que d'une source de tension électrique à une fréquence suffisamment élevée. Nous avons donné des indications plus détaillées sur les ondes en général dans elex n°39 de mai 1991, page 12. L'article *ligne audio sous verre* de ce numéro propose une réalisation expérimentale dans laquelle la lumière est modulée en amplitude. Cet article-ci se limitera à la modulation des ondes électromagnétiques, lumière exclue. La tension alternative appliquée à l'antenne est produite par l'émetteur. Cet appareil n'est rien d'autre en fait qu'un générateur de tension alternative de puissance suffisante. La tension alternative produite est sinusoïdale, elle est caractérisée par sa fréquence et son amplitude et complètement décrite par la formule suivante :

$$U_{hf} = U_{max} \sin(2\pi f t)$$

Dans cette formule, U_{hf} désigne la valeur de la tension à l'instant t , U_{max} l'amplitude maximale, f le temps, π le rapport de la circonference d'un cercle à son diamètre (3,14159). Si nous dessinons la courbe de cette tension en fonction du temps, nous obtenons quelque chose qui ressemble à la figure 1.

La formule fait référence à deux variables, l'amplitude maximale U_{max} et la fréquence f . C'est en agissant sur l'une ou l'autre de ces deux variables qu'on imprime une modulation à la tension.

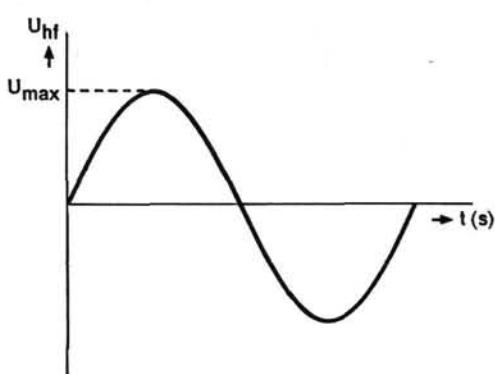


Figure 1 - L'onde produite par un émetteur est de forme sinusoïdale. L'amplitude maximale est désignée par U_{max} .

la modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude résulte, comme son nom l'indique, d'une altération de l'amplitude maximale U_{max} . Le procédé le plus simple consiste à arrêter et à remettre en service l'émetteur. À l'arrêt, l'amplitude est nulle, en marche elle est maximale. L'inconvénient de ce mode de modulation est que le code transmis ne peut prendre que deux valeurs, 0 ou 1. Il ne convient que pour le morse, les télex ou la transmission de données informatiques. Pour les informations analogiques, comme la musique ou la parole, cette méthode est inutilisable. Pour transmettre ce genre de signaux, il faut que l'amplitude maximale de l'onde porteuse soit modifiée proportionnellement à celle du signal. Si nous modulons l'émetteur avec un signal sinusoïdal, les variations de U_{max} doivent être sinusoïdales aussi. Cet effet est souvent obtenu en faisant varier la tension d'alimentation de l'étage de sortie : cette tension n'est-elle pas l'un des facteurs déterminant le gain ? La fabrication d'une source de tension dépendan-

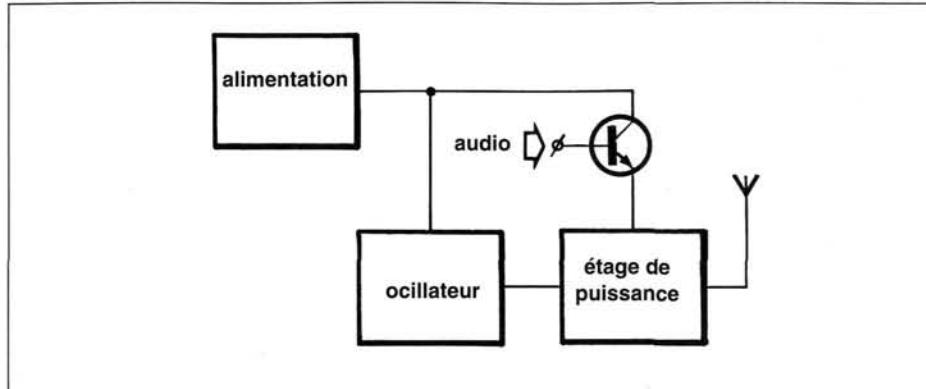


Figure 2 - Un transistor monté en série dans le circuit d'alimentation de l'étage de sortie est le procédé le plus simple pour moduler un émetteur en amplitude.

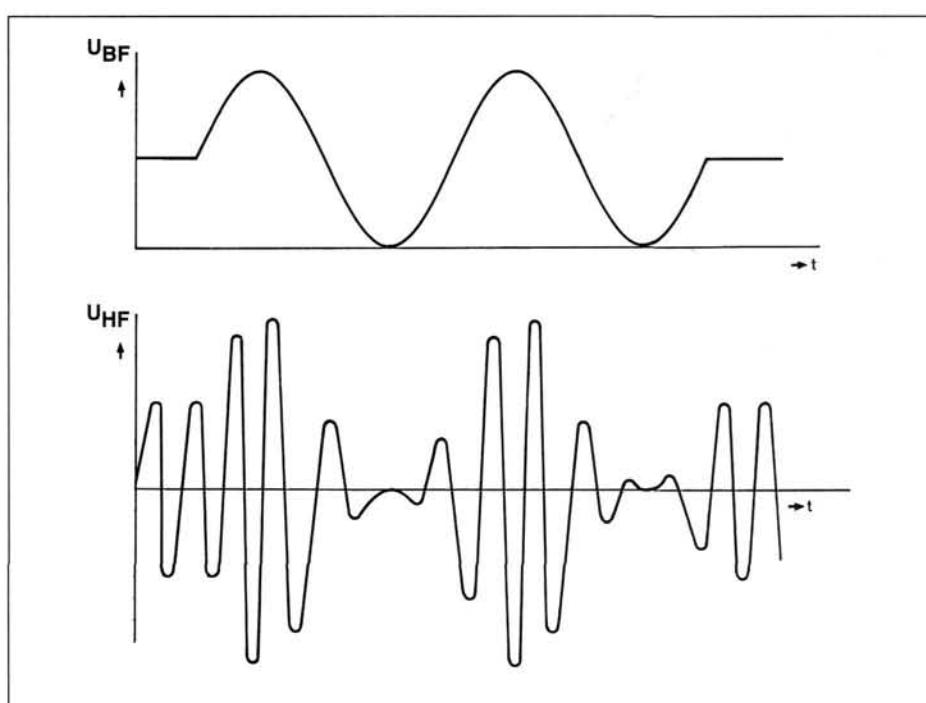


Figure 3 - L'amplitude de la tension de sortie suit fidèlement la forme de la tension à basse fréquence.

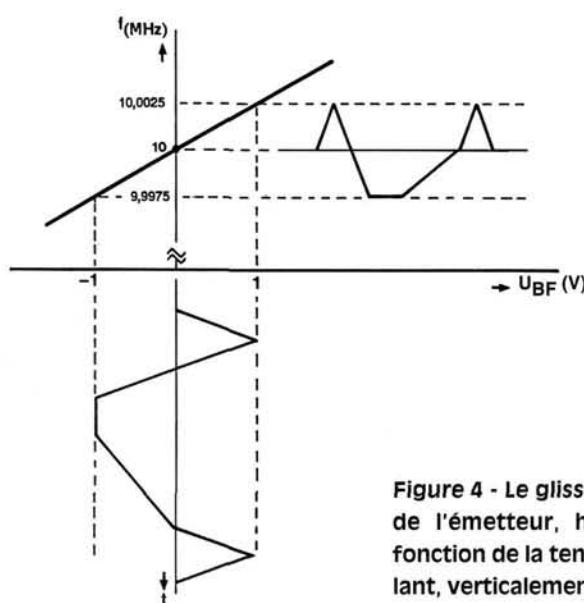


Figure 4 - Le glissement de fréquence de l'émetteur, horizontalement, en fonction de la tension du signal modulant, verticalement.

te d'un signal audio semble difficile, mais elle est simple en réalité. Il suffit pour cela de disposer un transistor en série dans la ligne d'alimentation du transistor de l'étage final, et de le piloter au moyen du signal audio (voir la figure 2). L'espace collecteur-émetteur est rendu plus ou moins conducteur par la tension à basse fréquence, ce qui fait varier la tension d'alimentation de l'étage de sortie.

Le signal produit par ce genre de montage est visible sur la figure 3. L'amplitude de la tension de sortie est proportionnelle à la tension du signal à basse fréquence.

La démodulation d'un signal modulé en amplitude est l'affaire

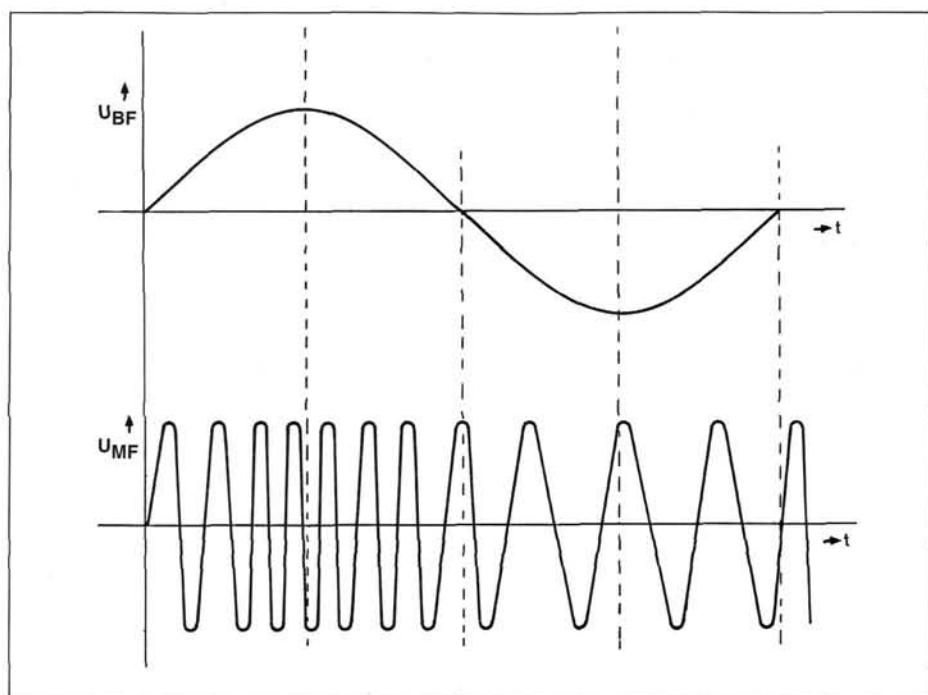


Figure 5 - En haut le signal à basse fréquence, en bas une représentation simplifiée de l'onde modulée en fréquence. Le rapport entre les deux longueurs d'onde n'est pas réaliste, mais il permet d'illustrer le principe.

la modulation de fréquence

d'un détecteur, qui se résume le plus souvent à une simple diode. En modulation de fréquence, l'amplitude reste constante et c'est la fréquence qui varie en fonction du signal modulant. Prenons un exemple pour essayer de comprendre le principe.

Supposons que la fréquence de l'émetteur est de 10 MHz, qu'il est modulé par une tension sinusoïdale de fréquence 1 kHz et de 1 V d'amplitude maximale. Dans ce cas la fréquence de l'émetteur doit varier autour de 10 MHz, les variations seront de forme sinusoïdale à une fréquence de 1 kHz. Les limites de cette variation doivent être fixées : par exemple la fréquence sera de 10,0025 MHz pour une tension de 1 V du signal modulant, et

de 9,9975 MHz pour une tension de -1 V. La figure 4 représente sous forme graphique la correspondance entre une valeur de la tension du signal modulant et la fréquence de l'émetteur.

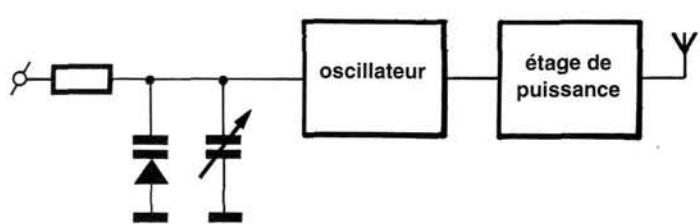
Un oscilloscope de caractéristiques convenables* permettrait de voir deux courbes comme celles de la figure 5. L'influence de la tension modulante sur la fréquence est fortement exagérée pour rendre le principe plus évident. En réalité la fréquence de la porteuse est environ dix mille fois supérieure à celle du signal modulant (100 MHz pour 10 kHz), et la variation de fréquence est très faible en valeur relative. Comme pour la modulation d'amplitude, la question qui se pose est : « Comment ? » Pour y

répondre, nous supposerons que l'émetteur est doté, comme les récepteurs, d'un condensateur variable pour la détermination de la fréquence de l'oscillateur. Une diode à capacité variable est connectée en parallèle sur ce condensateur ; il s'agit d'une diode spéciale (figure 6) qui se comporte comme un condensateur de capacité variable en fonction de la tension appliquée à ses électrodes. Si cette diode reçoit le signal à basse fréquence, sa capacité varie, ce qui modifie la capacité de l'assemblage condensateur-diode et par conséquent la fréquence d'accord de l'oscillateur.

La modulation de fréquence connaît une variante dite modulation de phase. Elles se ressemblent comme deux sœurs, la variation de fréquence est remplacée par une variation de phase. En fait, des variations de fréquence résultent des variations de phase, tout comme des variations de phase résultent des variations de fréquence. Pour le récepteur, il n'y a pas de différence entre la modulation de fréquence et la modulation de phase : le démodulateur ne reconnaît les différences de fréquence que par les différences de phase. La modulation de phase est utilisée principalement dans des émetteurs pilotés par quartz, parce qu'il est difficile de faire varier leur fréquence dans des proportions suffisantes. En effet, la fréquence d'un oscillateur à quartz est déterminée par les caractéristiques physiques du cristal, plus que par les conditions électriques du circuit. Nous ne nous étendrons pas sur les procédés de modulation de phase, tous plus compliqués que ceux que nous venons de voir.

La modulation de phase et la modulation de fréquence permettent de

Figure 6 - La modulation de fréquence est obtenue par la mise en parallèle d'une diode à capacité variable sur le circuit oscillant.



*En anglais : *suitable* (private joke, hello Jan).

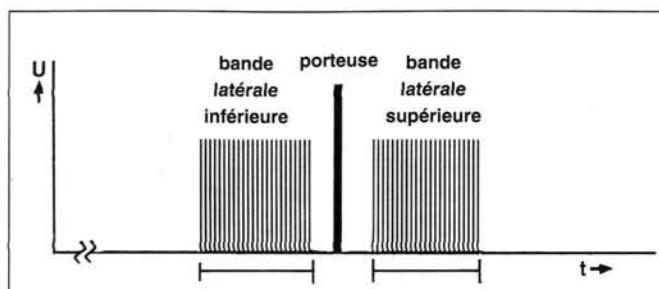
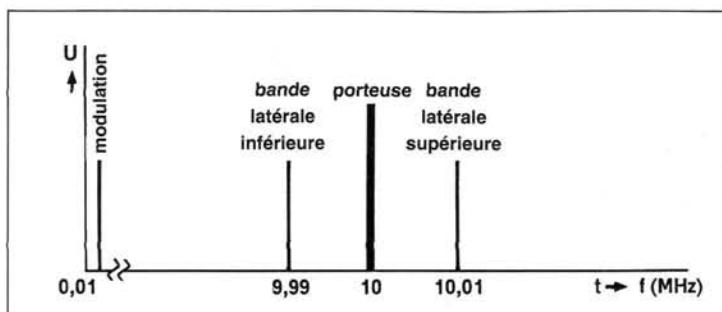
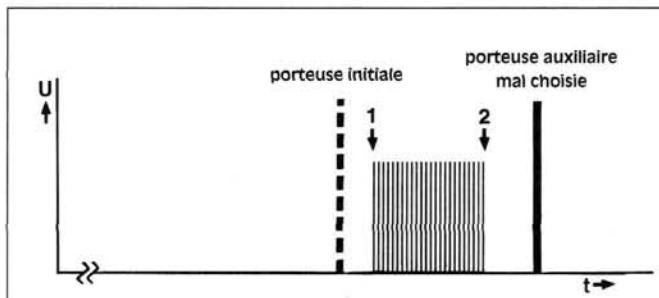


Figure 7 - La modulation produit deux bandes de fréquences supplémentaires, dites bandes latérales.

Figure 8 - Dans le procédé de modulation d'amplitude aussi, le spectre des fréquences occupées s'élargit, de part et d'autre de la porteuse, d'une bande latérale.

Figure 9 - Dans une réception en BLU, le signal audio qui résulte du mélange avec une porteuse auxiliaire mal choisie subit une sorte d'effet de miroir.



transmettre toutes les sortes de signaux. S'il s'agit d'informations logiques codées par deux états seulement, comme les signaux de télex, de morse ou numériques, on ne parle plus de modulation de fréquence (FM) mais de « codage par glissement de fréquence » ou FSK (*Frequency Shift Keying*). Dans ce mode de modulation, la fréquence varie, mais elle ne peut prendre que deux valeurs. La fréquence émise dépend de la valeur instantanée du signal à transmettre. Par exemple, pour une valeur zéro du signal numérique, la fréquence est de 10 MHz, pour une valeur un, la fréquence est de 10,01 MHz.

modulation et mélange

Les procédés de modulation n'agissent pas seulement sur la fréquence ou l'amplitude du signal de sortie de l'émetteur, il se produit aussi un mélange de fréquences. Le mélange de fréquences est un phénomène physique exploité par ailleurs dans les récepteurs, le **battement** : si on superpose deux signaux de fréquence différente, on produit un certain nombre d'autres signaux de plus faible amplitude. Leur fréquence est particulière : l'un d'eux a une fréquence égale à la somme des deux fréquences originales, un autre a une fréquence égale à la différence entre les deux. Prenons un exemple chiffré : supposons que nous mélangions un signal à 10 MHz avec un signal à 12 MHz. Nous obtenons deux autres d'amplitude appréciable : l'un de fréquence 2 MHz, l'autre de fréquence 22 MHz.

Ce phénomène physique n'est pas limité aux ondes électromagnétiques, vous pouvez produire des battements avec deux instruments de musique imparfaitement accordés sur lesquels vous jouez la même note. Avec une oreille un peu exercée, vous entendez un son grave, qu'on appelle le battement, de fréquence égale à la différence entre celles des deux notes. En principe, la somme des deux fréquences est audible aussi, mais comme son amplitude est très faible, notre cerveau la prend en compte comme un des harmoniques qui contribuent à former le timbre de l'une des notes (le timbre de l'instrument est caractérisé entre autres par la quantité d'harmoniques qu'il contient). Les battements se produisent aussi pour des différences importantes entre les fréquences : vous entendez un son à 100 Hz et un autre à 900 Hz si l'un des instruments joue à 400 Hz et l'autre à 500 Hz.

Revenons à notre émetteur : si nous le modulons en amplitude ou en fréquence, nous superposons deux signaux et nous donnons naissance à des fréquences de battement. La conséquence est que le signal de sortie ne comportera pas une fréquence, mais quatre : la porteuse, le signal modulant, leur somme et leur différence. Chiffres : une porteuse à 10 MHz modulée en amplitude par un signal à 10 kHz. Le signal de sortie comporte les fréquences suivantes : 10 kHz, 10 MHz, 9,99 MHz

et 10,01 MHz. Le spectre du signal de sortie est représenté par la figure 7. Cette représentation est théorique, car la composante à 10 kHz n'est pas transmise par les étages de puissance à haute fréquence.

La représentation du spectre produit par la modulation de fréquence est beaucoup plus compliquée car dans ce cas la porteuse se déplace, et avec elle les bandes latérales. En fait c'est toute la plage qui glisse à la fréquence du signal audio.

bande latérale unique

La modulation en bande latérale unique (BLU ou *SSB pour Single Side Band*) est une variante de la modulation d'amplitude. Nous avons vu que la modulation d'amplitude produit des bandes de fréquence latérales, représentées à droite et à gauche de la porteuse sur la figure 7. Il s'agit bien de bandes et non de fréquences isolées car le signal modulant ne contient pas une fréquence unique. Le spectre d'une porteuse modulée en amplitude par de la parole ou de la musique est représenté par la figure 8. Si nous regardons ce spectre attentivement, nous constatons que toute l'information du signal audio est contenue dans les bandes latérales et que la porteuse est inutile. Cela peut sembler en contradiction avec la nécessité d'une porteuse, énoncée plus haut. En fait, les bandes latérales se situent dans la même plage de fréquences que la porteuse, donc elles sont capables de produire les

champs électromagnétiques nécessaires à la propagation ; elles sont en quelque sorte leur propre porteuse. Si on essaie ses lunettes après cette constatation émouvante et qu'on regarde mieux, on s'aperçoit que les bandes latérales elles-mêmes sont redondantes : elles portent toutes les deux la même information. Si nous supprimons la porteuse inutile et une des bandes latérales, nous diminuons l'occupation du spectre des fréquences et nous laissons de la place pour un plus grand nombre d'émetteurs. Allons plus loin : l'émission de la porteuse et de la bande latérale demandaient de l'énergie que nous pouvons économiser maintenant. Le but n'est pas tant d'économiser de l'énergie que d'augmenter la portée de l'émetteur sans augmenter sa puissance. Un étage de puissance de 100 W pour la BLU est forcément moins lourd et moins cher que l'étage de 400 W nécessaire pour obtenir la même portée en modulation d'amplitude.

pour permettre au détecteur de reconstituer le signal à basse fréquence. La fréquence de l'oscillateur local peut être supérieure ou inférieure à la fréquence reçue. Si c'est le mauvais choix qui est fait, le signal audio subit une sorte d'effet de miroir, les fréquences hautes sont rendues par des basses et inversement. La figure 9 montre ce qui risque de se passer : on a émis la bande supérieure, sans la porteuse représentée en pointillés gras. La fréquence de la porteuse auxiliaire a été choisie, à tort, supérieure à celle de la bande reçue. La ligne repérée 1 correspond à des fréquences proches de la porteuse, donc aux plus basses du signal audio ; la ligne 2 représente les fréquences les plus éloignées de la porteuse originale, donc les plus hautes du signal audio. Leur position est inversée par rapport à la porteuse auxiliaire et la ligne 1 sera restituée comme une fréquence haute puisqu'elle est éloignée de la porteuse.

la modulation

L'émetteur en BLU est un peu plus compliqué que l'émetteur en MA de la figure 2, mais il s'agit du traitement de petits signaux et non de signaux de puissance. L'organe essentiel est un mélangeur équilibré. Ce circuit mélange le signal modulant et la porteuse en n'en produisant que les bandes latérales (inférieure et supérieure). La porteuse et le signal audio sont supprimés par des filtres. Le spectre du signal produit par le mélangeur équilibré ressemble à celui de la figure 8, soustraction faite de la porteuse. Un filtre à bande très étroite le débarrasse ensuite de l'une des deux bandes latérales ; n'importe laquelle puisque les deux portent la même information.

Du côté du récepteur, il importe cependant de savoir laquelle des bandes latérales a été transmise. La détection d'un signal en BLU suppose que le signal soit mélangé avec une porteuse produite localement,

les autres types de modulation

Quoiqu'on vous en dise, il n'existe que deux sortes de modulation, deux façons d'altérer une onde porteuse : en agissant sur sa fréquence ou en agissant sur son amplitude. Toutes les formes de modulation dérivent de l'une de ces deux-là. Par exemple, le système dit PCM, pour *Pulse Code Modulation*, n'est pas un type de modulation mais un type de codage. Le signal à transmettre est d'abord codé sous la forme d'impulsions, puis le train d'impulsions sert à moduler la porteuse en amplitude ou en fréquence. Ne vous laissez donc pas égarer par les appellations mystérieuses qui pourraient laisser supposer qu'il existe d'autres caractéristiques d'une tension sinusoïdale que son amplitude et sa fréquence.

87706

EURO-COMPOSANTS

4, route Nationale - B.P. 13

08110 BLAGNY

tél. 24 27 93 42 - fax 24 27 93 50

KITS
COMPOSANTS
CAPTEURS
MESURE
OUTILLAGE
ACCESOIRES

Spécialistes de la vente par correspondance

Liste de nos promotions sur simple demande

CATALOGUE 1992 CONTRE 40 F

ST QUENTIN RADIO

6, rue de St Quentin
. 75010 PARISTél. : (1) 40 37 70 74
Fax : (1) 40 37 70 91

• • • •

COMPOSANTS ACTIFS - PASSIFS

• • • •

Catalogue 30 F par correspondance
15 F au comptoir

Votre spécialiste en composants,
appareil de mesure, outillage, accessoires,
kits, librairie technique

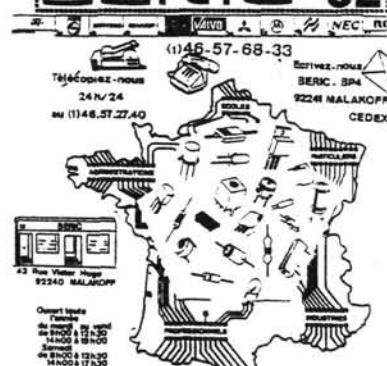
HB Composants

7 bis, Rue du Dr Morere
91120 PALAISEAU

Tél. : 69 31 20 37 - Fax : 60 14 44 65

Horaires : du Lundi au Samedi de 10 h à 13 h
et de 14 h 30 à 19 h

BERIC 1992



COMPOSANTS DIFFUSION
12, rue Tondutti de l'Escarène
06000 NICE
Tél. : 93.85.83.78 - Fax : 93.85.83.89

KITS - COMPOSANTS - OPTO
CAPTEURS - RELAIS - CONNECTIQUE
COFFRETS - SONO - ALARMES
OUTILLAGE - MESURE - ETC...

PROMOTIONS PERMANENTES

Liste contre enveloppe timbrée à 4,00 F
avec votre nom

T.S.M.E. Z.A. DES GROSSINES
17320 MARENNE
TÉL. : 46 85 37 60
FAX : 46 85 20 02
VENTE COMPTOIR ET CORRESPONDANCE
KITS ELECTRONIQUES TSM
COMPOSANTS ACTIFS/PASSIFS
MESURES - LIBRAIRIE
OUTILLAGE - PRODUIT CIF
CATALOGUE 148 PAGES
CONTRE
30,00 F EN CHÈQUE

16, rue de
Pontarlier
Tél 81 83 25 52
Fax 81 82 08 97
à BESANÇON

P microprocessor

Composants
CI - kits
Aérosols
HP etc

Venez graver vos CI en 15 mn !
Un LABOTEC est à votre disposition !

Composants électroniques/Micro-Informatique

J. REBOUL

PLACE DU MARCHÉ (29 RUE DE BOUCHERIES)
25000 BESANÇON/FRANCE

TÉL : 81.81.02.19

FAX : 81.82.16.79

MAGASIN INDUSTRIE : 72, RUE TRÉPILLON
BP 1525 BESANÇON
TÉL : 81.50.14.85 FAX : 81.53.28.00

COMPOSIUM

CHOLET ELECTRONIC
6, rue Nantaise
Tél : 41.58.63.64
VANNES
35, rue De La Fontaine
Tél : 97.47.46.35
Fax : 97.47.55.46

MORLAIX
16, rue Gambetta
Tél : 98.88.60.53
QUIMPER
33, rue Régulaires
Tél : 98.95.23.48
Fax : 98.95.91.29

4 SPÉCIALISTES PRÉTS À SE METTRE
EN 4 POUR VOUS SERVIR
GRAND PUBLIC AU PROFESSIONNEL.

**Composants Electroniques -
Kits - Appareils
de mesure - Haut-Parleur -
Sonorisation -
Jeux De Lumière**

ELECTRON SHOP

20-23 Avenue De La République
CLERMONT-FERRAND

Tél : 73.92.73.11

LES CARRÉS D'ADRESSES

COMPOSANTS ▲ OUTILLAGE ▲ CATALOGUES ▲ KITS ▲ MATÉRIEL

SVE ELECTRONIC
LE SERVICE N°1
TOUS VOS COMPOSANTS
11000 PRODUITS EN STOCK

ACTIFS, PASSIFS PRODUITS FINIS
MESURE HAUT-PARLEURS
LIBRAIRIE HIFI SONO
COFFRETS CONNECTIQUE

LYON 3
60Crs DE LA LIBERTÉ
78.71.75.66
FAX 78.95.12.18



Composants électroniques
Dépositaire de grandes marques
Professionnel et grand public
RADIO - TÉLÉVISION - VIDÉO - INFORMATIQUE

B.H. ELECTRONIQUE

164 à 166 av. Ar. Briand - 92220 BAGNEUX
Tél. (1) 46 64 21 59 • Fax (1) 45 36 07 08

SPÉIALISTE DES COMPOSANTS JAPONAIS

arquie composants

SAINT-SARDOS
82600 VERDUN SUR GARONNE
Tél : 63 64 46 91 Fax: 63 64 38 39

Spécialisé vente par correspondance
Qualité + Prix+Rapidité

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Liste de tous nos prix et promotions contre une
enveloppe timbrée à 4 FR, avec votre adresse

PRINTS ELEKTOR EPS - LIVRES
SOFTWARE ESS - REVUES - CASSETTES DE
RANGEMENT - JEUX DE COMPOSANTS

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES - HP VISATON
KITS VELLEMAN OUTILLAGE - MESURE -
LITTÉRATURE - CB - RÉCEPTEURS

URS MEYER ELECTRONIC SA

Avenue Robert 12
CH - 2052 FONTAINEMELON
Tél : 038 / 53 43 43

**URS MEYER
ELECTRONIC**

We did it again
SCHÉMA III

pour les utilisateurs de Layo 1, voici notre dernier-né :
Le célèbre logiciel américain de saisie de schémas
(120 000 utilisateurs professionnels aux USA...)
Version limitée 2 000 lignes de données et 2 600 des 30 000
symboles disponibles pour 271,50 F Ht (Manuel/tutorial en
français : 189,71 F Ht). Nettoie au format LAYO.

Et ça continue

En raison de vos réactions massivement enthousiastes,
nous maintenons notre offre

Fête 80 %

Information sur cette offre
Minitel : 3617 LAYO Rubrique LOGI

LAYO FRANCE

Château de Garamache - Vallée de Sauvebonne
83400 HYÈRES
Tél. : 94.28.22.59 - Fax : 94.48.22.16
Minitel 3614 Layo France

À GENÈVE
Loisirs électroniques

Servette  **LESA S.A.**

composants, instruments, outillage, kits
13, rue de la Servette - CH-1201 GENEVE
Tél. 022/734 29 30 - Fax 022/733 10 41

adaptateur BLU pour récepteur à ondes courtes

Si vous écoutez les ondes courtes, vous pouvez vous demander si les ronflements que vous captez ici ou là entre les stations « normales » sont des parasites ou des signaux émis par des stations particulières. Il s'agit bien de signaux, mais ils sont émis suivant une variété de modulation d'amplitude dite à bande latérale unique. Vous ne pouvez pas les écouter, à moins de disposer d'un récepteur adapté à la BLU (SSB en anglais, pour Single SideBand), ou de doter votre récepteur de l'adaptateur dont la description suit.

La superposition d'informations (musique, parole, morse) à une onde radio est possible suivant deux modes principaux : la modulation de fréquence et la modulation d'amplitude. Ces deux types de modulation connaissent plusieurs variantes ; dans la catégorie modulation d'amplitude, l'émission en **bande latérale unique** est très utilisée pour augmenter la portée d'un émetteur de puissance donnée.

porteuse et bandes latérales

La transmission d'informations par radio fait appel à une porteuse. Son rôle est, comme son nom l'indique, de transporter l'information de l'émetteur au récepteur. Le récepteur, de son côté, s'accorde sur la fréquence de la porteuse à recevoir. Pour transporter de l'information, la porteuse doit être modulée, d'une façon ou d'une autre.

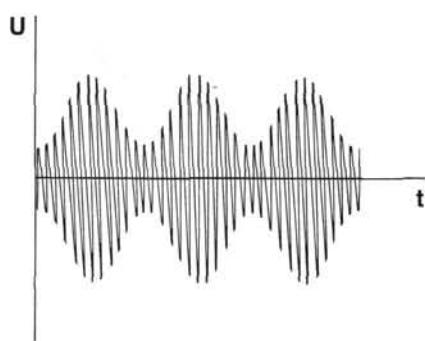


Figure 1 - Aspect d'une onde à haute fréquence modulée en amplitude par un signal sinusoïdal.

La modulation en **bande latérale unique** est l'une de ces façons de superposer de l'information à une onde. La **figure 1** est un rappel du principe de la modulation d'amplitude. L'amplitude de la porteuse (une onde à haute fréquence) varie en fonction de celle du signal modulant, un signal à basse fréquence. Si nous traçons une ligne qui suit les crêtes du signal à haute fréquence, nous obtenons une nouvelle courbe (ici une sinusoïde) qui reproduit le signal à transmettre. Voilà pour la modulation d'amplitude « ordininaire » ; il existe une autre manière de représenter un signal à basse fréquence. Pour les mathématiciens (que les autres nous excusent ou fassent un petit effort), l'onde modulée en amplitude est décrite par l'équation suivante :

$$U_{AM} = U_p(t_p) + m \cdot U_p(t_p + t_i) + m \cdot U_p(t_p - t_i)$$

L'onde modulée en amplitude a trois composantes ; la première est $U_p(t_p)$, c'est la porteuse. Son amplitude est U_p , sa fréquence f_p . Les deux autres

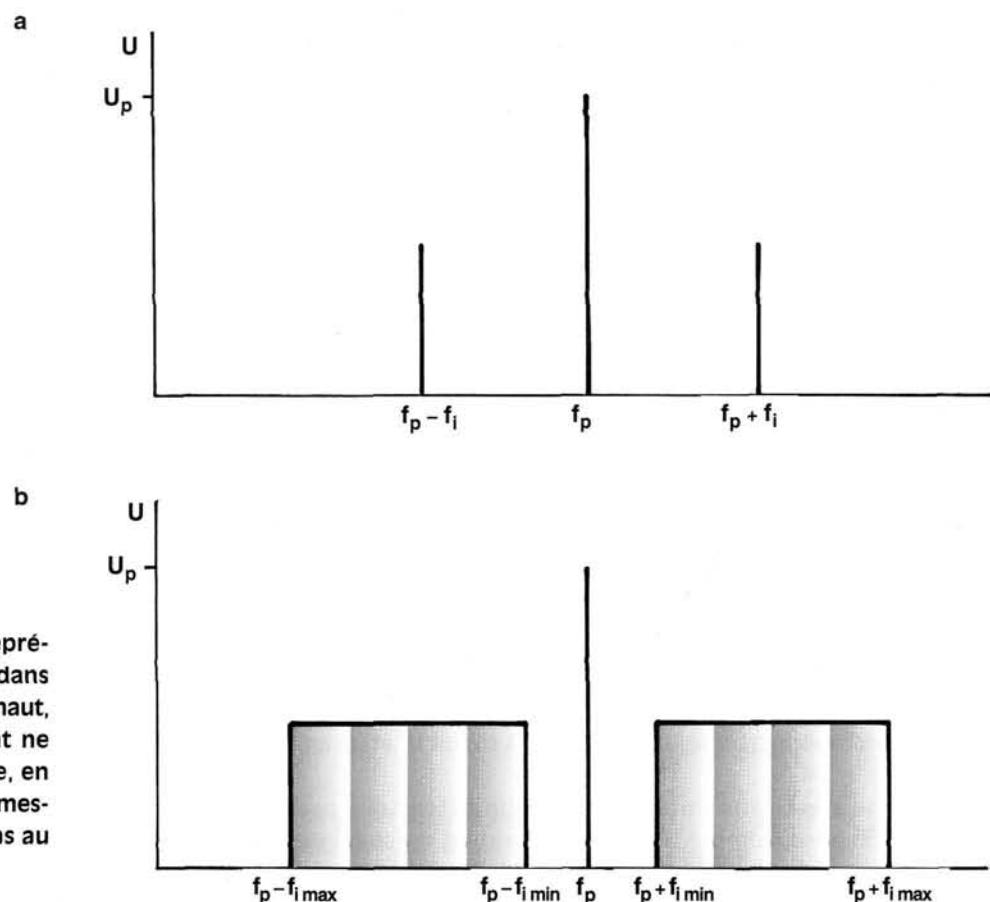


Figure 2 - Ces deux graphiques représentent les fréquences présentes dans un signal modulé en amplitude. En haut, dans le cas où le signal modulant ne comporte qu'une seule fréquence, en bas, dans le cas, plus réaliste, où le message à transmettre ne se limite pas au sifflement de la mire.

composantes se ressemblent fort, à un signe *moins* près. Leur amplitude commune est égale à $m \cdot U_p$; m représente ici l'amplitude du signal modulant. La seule différence entre elles est la fréquence. Pour l'une de ces composantes, elle est égale à celle de la porteuse augmentée de celle du signal modulant ; pour l'autre à celle de la porteuse diminuée de celle du signal modulant. Reportons ces résultats sur un graphique : celui de la **figure 2a**. La position de chaque segment sur l'axe horizontal représente la fréquence, la longueur l'amplitude relative de chaque composante de l'onde modulée en amplitude : la **porteuse**, la fréquence **somme** et la fréquence **différence**. Ce graphique représente un cas particulier, celui où le signal modulant a une fréquence unique et constante. S'il s'agissait d'un signal musical, il serait produit par un instrument à une seule note, au timbre très pauvre, sans harmonique, une sinusoïde pure. Ce cas ne se présente guère que pour des émissions de morse ou des transmissions de données. Pour les messages qui nous intéressent, parole ou musique, le

signal à transmettre comporte plus d'une fréquence. Le graphique de la figure 2a doit donc être remplacé par celui de la figure 2b : le spectre comporte, en plus de la porteuse, non pas deux fréquences, somme et différence, mais toute une bande de fréquences. Ces deux bandes ne sont plus représentées par des segments, mais par des rectangles.

Les deux rectangles s'appellent des bandes latérales, peut-être parce qu'elles se trouvent sur les côtés. Comme leur fréquence est soit supérieure, soit inférieure à celle de la porteuse, la même logique conduit à appeler l'une bande latérale inférieure ($f_p - f_i$), l'autre bande latérale supérieure ($f_p + f_i$). Si nous revenons à la formule exposée plus haut, nous constatons que la bande inférieure, par exemple, contient :

$m \cdot U_p(f_p - f_i)$ soit toutes les caractéristiques du signal modulant, sa fréquence (f_i) et son amplitude (m). Il en est de même pour la bande latérale supérieure. Le terme $U_p(f_p)$, par contre, ne contient aucune information propre au signal modulant. Cela nous permet de conclure qu'une bande latérale est suffisante pour

transporter l'information : il s'agit aussi d'une onde à haute fréquence avec un message superposé.

Si nous pouvons organiser un émetteur de telle façon qu'il ne transmette qu'une bande latérale, nous avons un émetteur en BLU. Le fait qu'une bande latérale comporte toute l'information nécessaire n'est pas en soi une raison pour émettre en BLU, car la modulation dans l'émetteur et la démodulation dans le récepteur sont un peu plus compliquées que pour la modulation d'amplitude. Le grand avantage de la modulation en BLU est que la puissance est utilisée au mieux. En modulation d'amplitude, c'est au moins la moitié de la puissance qui est consacrée à émettre une porteuse sans aucune information. Une moitié de la puissance restante est utilisée par chacune des bandes latérales. Dans le cas de l'émission en bande latérale unique, toute la puissance est utilisée à transmettre l'onde qui contient l'information. C'est intéressant pour qui dispose d'une puissance limitée mais veut malgré cela établir des liaisons à longue ou très longue portée : radioamateurs, bateaux en mer, etc. Il est

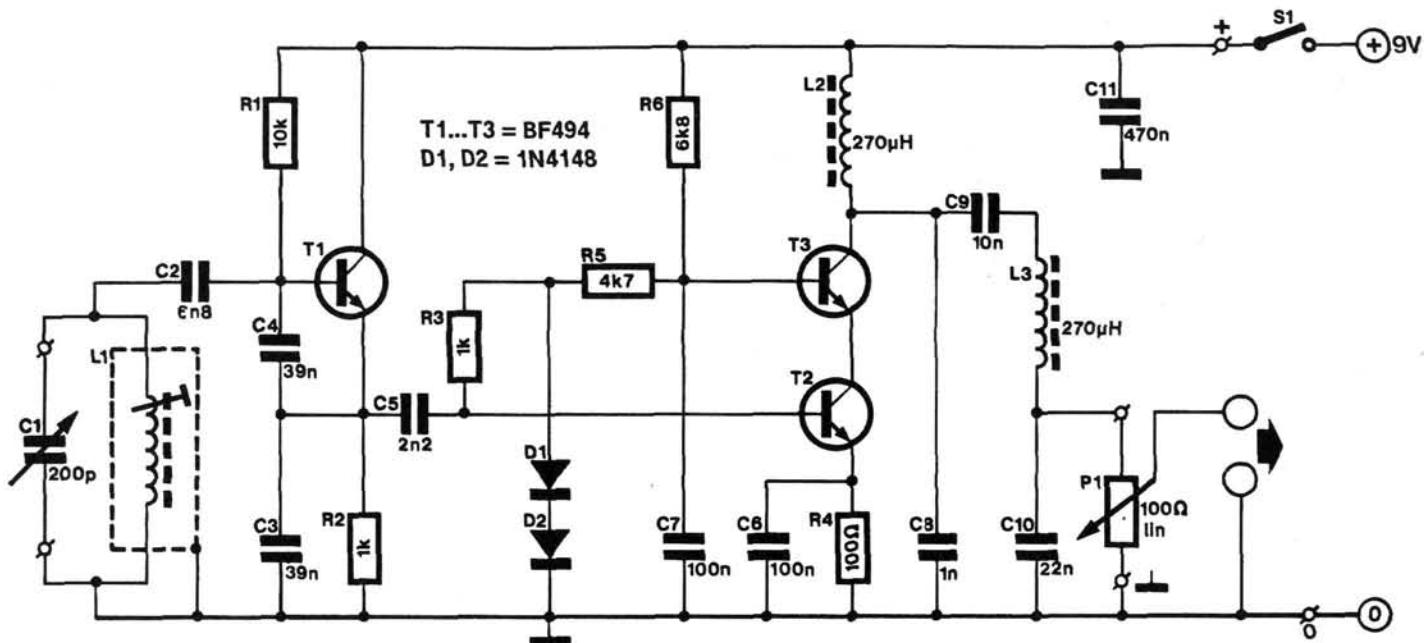


Figure 3 - La simplicité même : un oscillateur à circuit LC et un amplificateur à montage cascode.

évident que c'est sans importance quand on dispose, comme les postes en grandes ondes, de quelques centaines de kilowatts à l'antenne, quand ce n'est pas de 2 MW (deux mille kilowatts, oui ! France Inter ou Europe 1 par exemple). Vous ne trouverez donc les émetteurs en bande latérale unique que sur les ondes courtes.

recevoir ou pas

La réception d'une onde en BLU ne pose pas de problème, elle est possible avec n'importe quel récepteur. Ce qui diffère fondamentalement, c'est la démodulation. La plupart des récepteurs pour les ondes courtes ne sont équipés que d'un détecteur simple, pour la modulation d'amplitude. Avec ce détecteur, les signaux en BLU ne sont restitués que comme un ronflement ou un grondement sourd, où rien n'est compréhensible. Pour recevoir ces signaux, il fallait imaginer quelque chose d'autre que de changer de récepteur : puisque le détecteur de notre récepteur refuse de fonctionner sans une porteuse et une deuxième bande latérale, ne soyons pas chiens, donnons-lès lui. Le principe est simple ; le détecteur ne connaît de la porteuse que ce qui lui en arrive sous forme de fréquence intermédiaire (dans un superhétérodyne), il nous suffit donc

d'injecter une pseudo-porteuse à l'aide d'un oscillateur accordé sur la fréquence intermédiaire du récepteur. Rappelons que dans un récepteur à changement de fréquence, ou superhétérodyne, la porteuse captée par l'antenne est transformée en une fréquence intermédiaire fixe, laquelle est amplifiée par des amplificateurs accordés. La fréquence intermédiaire que nous allons compléter s'ajoutera à celle que produit le signal modulé en bande latérale unique. Le mélange produira en même temps la deuxième bande latérale. Vous allez voir que le détecteur est assez simple pour s'y laisser prendre.

l'adaptateur

Vous avez pu conclure de ce qui précède que l'adaptateur se résume à un oscillateur. Il est temps de nous pencher sur le schéma de la figure 3. Tout ce qui se trouve à gauche de C5 est l'oscillateur proprement dit. Sa fréquence est fixée aux environs de 455 kHz par le circuit résonnant L1/C1. C'est la fréquence intermédiaire la plus usitée, mais pas la seule. Si votre récepteur est bon, sa fréquence intermédiaire est indiquée sur le coffret, ou au moins dans la notice qui l'accompagne. Le signal produit par l'oscillateur est ensuite amplifié par un étage cascode constitué par T2 et T3. Le montage cascode en haute fréquence date des tubes de nos papys : le transistor T2 ne voit pas de variation de tension sur son collecteur, il ne voit que des variations d'intensité. Comme il n'y a pas de variation de tension base-collecteur, la capacité apparente entre les électrodes est minimisée, de même que son influence sur le comportement du transistor. Ce montage revient à l'honneur dans les commandes de transistors de puissance pour les alimentations à découpage ou la régulation de vitesse de moteurs. Dans ces montages, où se produisent des commutations à fréquence relativement élevée, les capacités parasites ralentissent le processus. Le moindre gain en vitesse de blocage et de mise en conduction se traduit par quelques points de rendement en plus et quelques watts de dissipation en moins.

Le montage cascode, par son bon comportement en haute fréquence, est tout indiqué pour le rôle d'amplificateur que nous lui donnons ici. Les inductances L2 et L3 filtrent le signal amplifié, le potentiomètre P1 permet de régler son amplitude. La sortie du montage est clairement indiquée par la flèche, mais le mode d'injection dans le récepteur l'est moins. La méthode utilisée est caractéristique des hautes fréquences. Tout comme on mesure la fréquence

ce au dip-mètre sans aucun contact, tout comme la Téléphonie fonctionne Sans Fil, nous allons injecter notre prothèse de porteuse sans aucune connexion. Il nous suffira d'entourer le récepteur d'un fil de câblage isolé (une ou deux spires suffisent) dont les deux extrémités seront raccordées à la sortie de notre adaptateur.

le câblage et le réglage

Le câblage ne posera pas de problème avec le circuit imprimé de la figure 4. Le potentiomètre P1 et le condensateur variable C1 sont extérieurs à la platine, ils seront raccordés par des fils. L'inductance L1 sera bobinée sur un mandrin de type 7A1S de marque NEOSID. Il s'agit d'une sorte de *kit* dont le détail est donné par la figure 5. Vissez d'abord le noyau dans le mandrin. Attention : le ferrite est friable ; n'utilisez que des tournevis spéciaux en matière plastique ou un modèle maison que vous fabriqueriez avec une chute d'époxy, une lime et un peu de patience (la lame d'un tournevis doit remplir complètement la fente de la vis, si vous ne voulez pas faire de dégâts). Le mandrin comporte cinq broches, en deux rangées. Les deux extrémités du bobinage seront soudées aux broches de la rangée de deux. Les 53 spires de fil de cuivre émaillé de 0,2 mm de diamètre seront bobinées aussi régulièrement que possible, faute de quoi le chapeau en ferrite ne pourrait plus être enfillé sur le mandrin. Une fois le bobinage réalisé, il sera soudé en place sur le circuit imprimé, suivi par le blindage métallique.

Le réglage de l'adaptateur se fait avec C1 en position médiane et le potentiomètre P1 au maximum. Sans alimenter l'adaptateur, réglez le récepteur sur une station quelconque en modulation d'amplitude. Mettez l'adaptateur sous tension. Avec un peu de chance, le récepteur se met à siffler. Si vous n'avez pas cette chance, réglez le noyau de L1 jusqu'à ce que le sifflement commence. Conti-



C1 = 200 pF variable
 C2 = 6,8 nF
 C3, C4 = 39 nF
 C5 = 2,2 nF
 C6, C7 = 100 nF
 C8 = 1 nF
 C9 = 10 nF
 C10 = 22 nF
 C11 = 470 nF
 L1 = 53 spires de fil émaillé Ø 0,2 mm sur mandrin NEOSID 7A1S
 L2, L3 = 270 μ H
 D1, D2 = 1N4148
 T1, T2, T3 = BF494
 S1 = interrupteur unipolaire

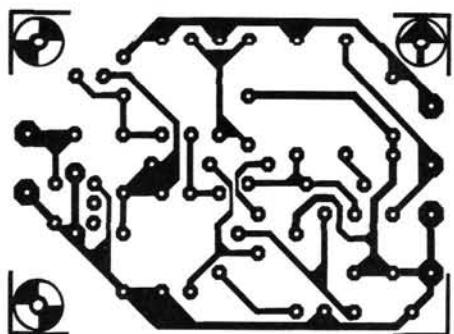
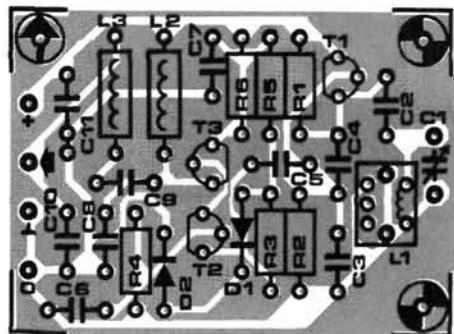


Figure 4 - Le dessin du circuit imprimé et l'implantation des composants de l'adaptateur.

nuez de visser le noyau jusqu'à faire cesser le sifflement. Si vous continuez de visser, le sifflement recommence. Le bon réglage se situe à l'endroit où le sifflement cesse, revenez-y.

Vous pouvez maintenant rechercher un émetteur en BLU, que vous reconnaîtrez à son grondement sourd. Mettez l'adaptateur sous tension, il reste à placer correctement la porteuse auxiliaire au moyen du condensateur variable. En effet, suivant que la bande latérale émise est la bande supérieure ou la bande inférieure, il faut placer la porteuse au-dessus ou en-dessous de la fréquence intermédiaire. Pour cela tournez C1 jusqu'à ce que le son soit aussi naturel que possible. Cela ne marche pas à tous les coups, mais assurez-vous : sur les récepteurs BLU du commerce aussi, il arrive qu'on n'entende rien d'autre qu'une voix fluette et déformée, à la Donald Duck.

87662

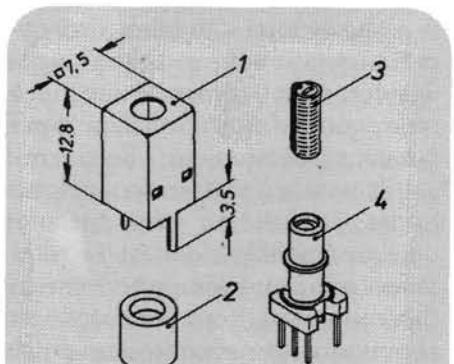


Figure 5 - Les éléments du mandrin 7A1S :

1. blindage
2. chapeau en ferrite
3. noyau
4. mandrin



sévère mais juste

Au rami comme au scrabble, certains joueurs s'éternisent tandis que leurs partenaires s'impatientent. Un arbitre impartial serait bien utile pour garder son intérêt au jeu.

minuterie de rami

C'est pas une vie que la vie qu'on vit ! Quand un collaborateur d'ELEX rentre chez lui après une longue journée passée au clavier ou avec un fer à souder, il a envie de tout autre chose que d'électronique : un bon livre, une petite bière, ou n'importe quoi. Malheureusement, il est sollicité à propos de tout et de rien. Que la partie de rami s'éternise parce que certains joueurs ne savent pas se décider, on lui demande une minuterie ; quoi de plus normal, puisqu'il fait dans l'électronique ? Encore une soirée passée à griffonner quelques bouts de schéma et à bricoler quelques montages d'essai. Le résultat est assez intéressant pour mettre fin aux protestations pendant le jeu et pour donner naissance à un article dans le magazine.

le schéma

Commençons par voir ce que le montage doit faire : produire un signal sonore après un délai réglable de 30, 60 ou 120 secondes, dont le décompte sera indiqué par une LED, sans toutefois le moindre gaspillage d'énergie car l'alimentation se fera par piles ; le mode d'emploi restera

forcément très simple. Le résultat, représenté par le schéma de la figure 1, est-il conforme à ces exigences ? S'il semble un peu plus compliqué que ce que laisse attendre la description qui précède, c'est parce que les gens de notre laboratoire ont une tendance au perfectionnisme assez difficile à combattre. Attaquons par le haut à gauche et voyons où nous emmènent les techniciens fous...

Les portes NAND N1 et N2 forment une bascule RS (*Reset-Set*). Elles font partie d'un circuit intégré de type 4093, qui contient quatre NAND à *trigger de Schmitt*. Si le 4093 est un circuit CMOS, c'est pour minimiser la consommation du montage. La touche S2 permet de mettre (*Set*) la bascule à 1, sortie 3 au niveau haut, sortie 4 au niveau bas ; la touche S2 remet la bascule dans l'état opposé (*Reset*). Les résistances R1 et R2 rappellent les entrées au niveau haut tant qu'aucune touche n'est actionnée. Le condensateur C1 effectue une remise à zéro à la mise sous tension : comme il est déchargé, il applique un niveau bas à l'entrée « stop ». Il lui faut un certain temps (quelques millisecondes) pour se charger à travers R2 et « relâcher » la touche.

Nous pouvons donc être sûrs que le circuit sera toujours remis à zéro à la mise sous tension.

La troisième porte, N3, fonctionne en oscillateur. C'est un montage classique, mise à part la présence de R3 et D2. Le principe est simple : lorsque la sortie (broche 10) est à 1, le condensateur C2 se charge à travers le potentiomètre P1. Il arrive un moment où la tension de C2 dépasse le seuil de commutation de l'entrée (broche 9) ; à ce moment, comme les deux entrées sont au niveau haut (nous supposons que la bascule RS est à 1), la sortie passe à l'état bas. Le condensateur se décharge maintenant à travers P1, bien sûr, mais aussi à travers R3 et D1, qui est polarisée en sens passant. La tension de C2 décroît, rapidement parce que la valeur de R3 est faible, jusqu'à devenir inférieure au seuil de commutation bas. La sortie bascule, le condensateur recommence à se charger, et ainsi de suite. Ils nous ont réinventé l'oscillateur. Normalement, le multivibrateur astable délivre un signal de sortie symétrique, dont les temps d'impulsion et de pause sont égaux. Celui-ci fait exception à la règle, du fait de la présence de D1

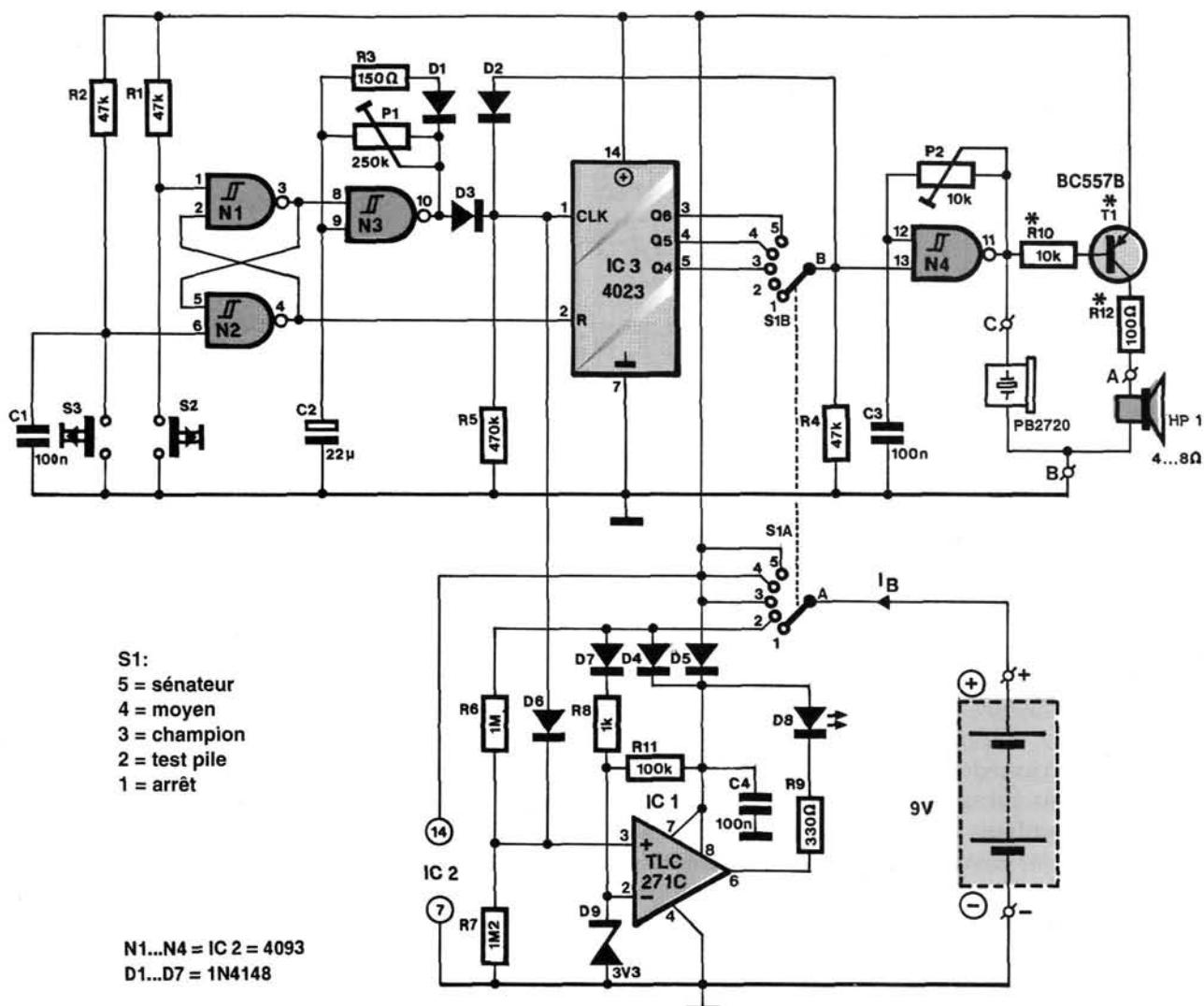


Figure 1 - Le schéma de la minuterie. Deux oscillateurs (N3 et N4), un compteur (IC3), une bascule RS (N1/N2) font le travail. La fonction de l'amplificateur opérationnel un peu particulier est expliquée dans le texte.

et R3. La charge par P1 est beaucoup plus lente que la décharge par R3 ; la sortie se trouve donc le plus souvent au niveau 1, avec de brèves impulsions négatives.

La fréquence de l'oscillateur est fixée par P1 et C2. Les valeurs relativement importantes du schéma déterminent une période de 2 secondes, ou une fréquence de 0,5 Hz. C'est insuffisant, même pour un champion, et il va falloir diviser la fréquence du signal de sortie de l'oscillateur. Le compteur-diviseur qui suit ne prend en compte que les fronts descendants du signal appliqué à l'entrée d'horloge (*CLK pour clock*), alors pourquoi tout ce travail pour donner des impulsions brèves ? Simplement pour économiser les piles. L'impulsion est appliquée, en même temps qu'au compteur, à une

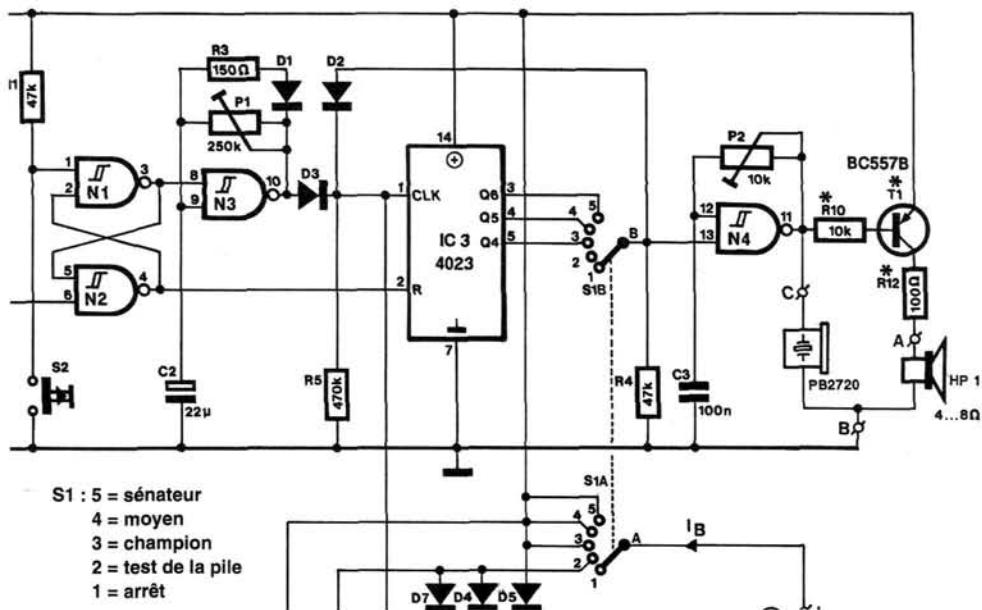
LED qui indique que le décompte est en cours. Un éclair toutes les deux secondes est suffisant et consomme moins de courant qu'un éclairage permanent du voyant.

le compteur

Le diviseur est nécessaire pour obtenir les temps de 30, 60 et 120 secondes que nous avons prévus. Le signal de l'oscillateur est appliqué par la diode D3 à l'entrée d'horloge. En marche normale, l'entrée de remise à zéro (broche 2) est maintenue au niveau bas par la deuxième sortie (broche 4) de la bascule RS. On dit de cette sortie, qui prend le niveau opposé à celui de la première, qu'elle est *complémentée*. Une pression sur la touche départ (S2) libère donc à la fois le compteur et l'oscillateur. Une

pression sur la touche arrêt (S3) bloque l'oscillateur et remet le compteur à zéro.

Un compteur, ou diviseur, est constitué d'une série de bascules D, ou diviseurs par 2, montés en cascade. Le 4024 en comporte 7 dont les sorties, Q0 à Q6, sont disponibles à l'extérieur. Nous supposons plus haut que l'entrée (broche 8/N3) était au niveau haut. Si elle est au niveau bas, la sortie (broche 10) est bloquée au niveau logique 1, donc l'oscillateur est arrêté. C'est un moyen commode de commander le fonctionnement de la minuterie par la sortie de la bascule RS. Au démarrage de l'oscillateur et du compteur, toutes les sorties d'IC3 sont à zéro. La première impulsion d'horloge fait passer à 1 la sortie de la première bascule. Question des observateurs



bip

La dernière porte ET-NON (N4) disponible dans le circuit intégré 4093 est utilisée pour construire un oscillateur comparable au premier (N3). Ce deuxième oscillateur délivre un signal symétrique, à une fréquence notablement plus haute que le demi-hertz du premier : elle est réglable entre 1000 Hz et 5000 Hz. Son fonctionnement est autorisé ou inhibé, comme celui du premier, par l'état logique de la deuxième entrée de la porte. Dès que la sortie du compteur qui a été choisie passe à l'état haut, l'oscillateur démarre et commande le transistor T1. Le courant de collecteur traverse le haut-parleur connecté aux points A et B à la fréquence déterminée par P2, le signal électrique est transformé en signal acoustique. La résistance R12 de 100 Ω est indispensable pour limiter l'intensité. Sans elle, le courant pourrait être fatal au transistor (calcul rapide : 9 volts, 8 ohms, 1 ampère 1 pp !).

Quelques considérations annexes : le circuit consomme environ 0,3 mA quand le haut-parleur se tait, environ 45 mA quand il se manifeste. C'est beaucoup, apparemment, mais il faut remarquer que cet état ne dure que quelques secondes. Vous pouvez réduire la consommation, en même temps que le volume sonore, en remplaçant le haut-parleur, le transistor et les deux résistances par un résonateur piézo. Vous le connecterez directement à la sortie de l'oscillateur N4, aux points B et C.

l'amplificateur opérationnel mystérieux

Nous en venons enfin au seul composant analogique de ce montage, l'amplificateur opérationnel IC1. Son seul rôle est de commander la LED D8, ce qui peut sembler luxueux. En fait la LED a deux rôles, qu'elle joue en fonction de la position du commutateur S1A. Pour éviter la mauvaise surprise que serait une panne d'alimentation au milieu d'une partie, nous avons prévu un test de la tension de la pile. C'est ici

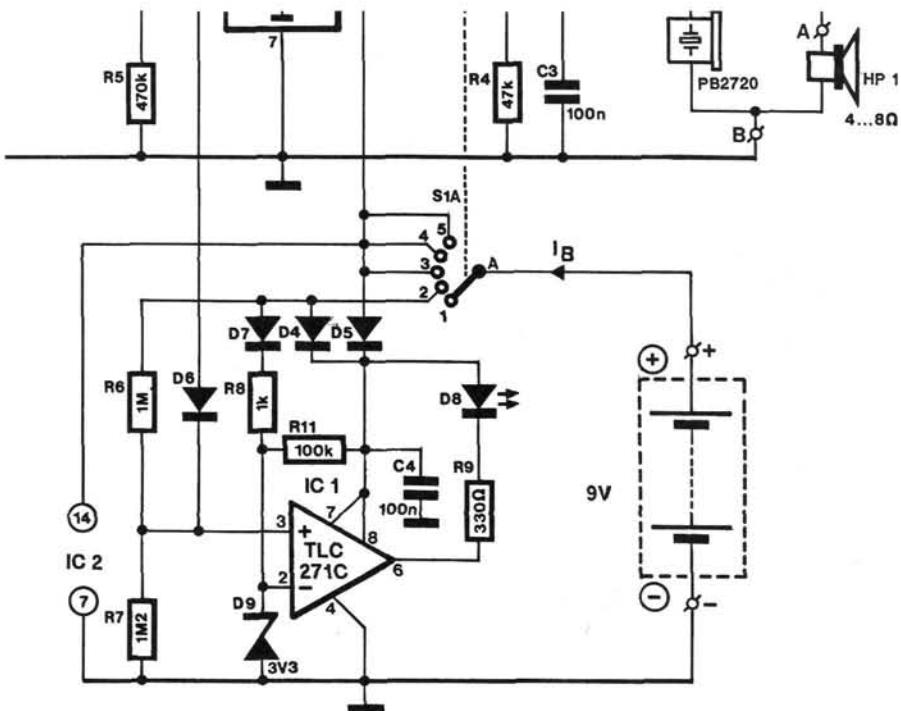
pointilleux : comment la diode D3, orientée comme elle l'est sur le schéma peut-elle transmettre une impulsion négative ? Réponse du technicien un peu excédé par toutes ces questions, mais qui sait se dominer : la diode maintient l'entrée au niveau haut, c'est la résistance R5 qui produit l'impulsion négative en rappelant l'entrée au niveau de la masse dès que la sortie de l'oscillateur passe à zéro.

Ah bon. Mais la résistance R3 consomme du courant presque tout le temps ? Oui mais pas beaucoup, vu qu'elle fait un demi-mégohm. On continue ? Oui mais pourquoi une diode ? Une liaison directe aurait fait le même travail sans résistance. On verra plus tard. La sortie Q0 vient de passer à un, les autres restent à zéro. La deuxième impulsion fait passer à un la sortie Q1 et remet à zéro la sortie Q0. Les impulsions se succèdent, jusqu'à ce que la seizième fasse passer à un la sortie Q4. Comme la fréquence de l'oscillateur a été fixée à 0,5 Hz environ, il s'est écoulé 30 secondes depuis la pression sur la touche départ. Au bout de soixante secondes, c'est au tour de Q5 de passer à un ; au bout de 120 secondes (64 impulsions) au tour de Q6.

Nous disposons maintenant d'impulsions électriques qui indiquent la fin des temps prévus. Il reste à les utiliser pour commander un signal sonore. Comme vous le voyez sur le schéma, le commutateur à cinq positions S1B permet de choisir le

temps de réflexion entre « champion » (30 s), « moyen » (60 s) et « sénateur » (120 s). Le commutateur relie la sortie choisie à l'entrée d'horloge par l'intermédiaire de la diode D2. Cette diode applique un niveau haut à l'entrée d'horloge, quel que soit le niveau de la sortie de l'oscillateur. Les diodes D2 et D3 évitent aux sorties de se trouver en court-circuit, elles constituent avec R5 une porte OU câblée. L'entrée d'horloge est à un si la sortie de l'oscillateur est à un ou si celle du compteur est active. Le compteur est bloqué dans la position qu'il a atteinte, jusqu'à ce que l'ensemble soit remis à zéro par une pression sur la touche *ad hoc* (S3). Nous avons créé deux fonctions de mémoire : la bascule RS garde en mémoire la dernière pression sur une touche, le compteur garde en mémoire le dernier comptage.

Pendant le délai de trente secondes, la LED s'allumera 16 fois, mais vous ne pourrez compter que 15 éclairs. La seizième impulsion, interrompue par le basculement de la sortie Q4, est si brève qu'elle n'est guère perceptible qu'à l'oscilloscope. La LED est alimentée par l'intermédiaire de l'amplificateur opérationnel IC1, car le circuit intégré CMOS, même s'il peut le faire, n'est pas destiné à alimenter des charges de puissance. Nous examinerons l'étage optoélectronique en détail plus tard, après la partie musicale du montage.



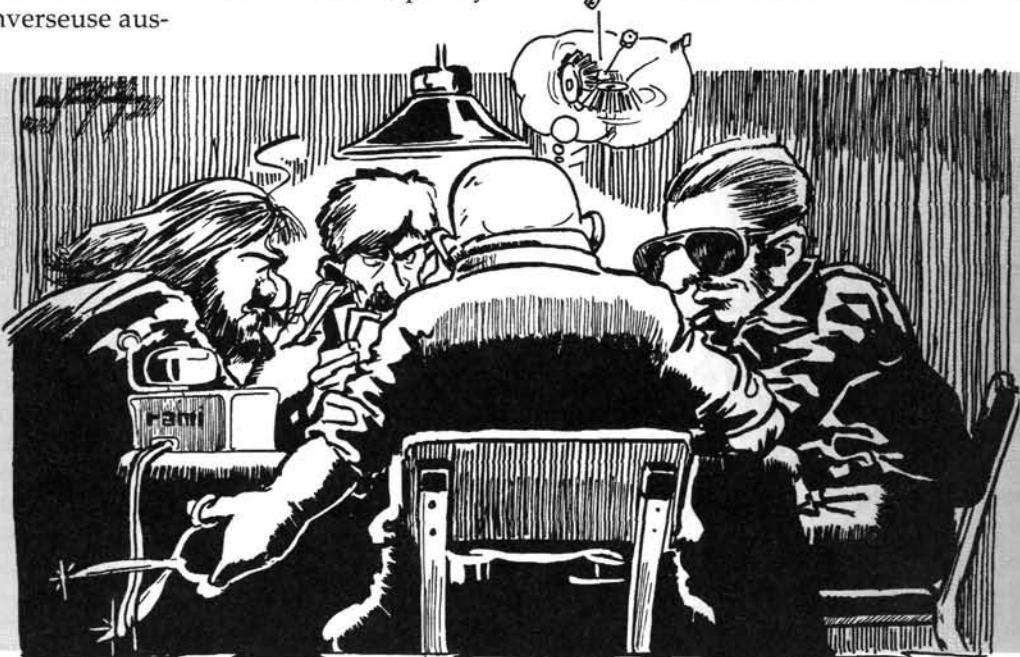
qu'intervient, monté en comparateur, l'amplificateur opérationnel. Sa sortie est à l'état haut tant que le potentiel de l'entrée non inverseuse (broche 3) est supérieur à celui de l'entrée inverseuse (broche 2). Une différence de potentiel de quelques millivolts est suffisante pour faire basculer la sortie d'un état à l'autre. Les deux tensions à comparer sont issues de la pile : la première est stabilisée à 3,3 V par la diode zener D9, c'est la tension de référence ; la deuxième est fournie par le diviseur R6/R7, elle est à peu près égale à la moitié de la tension de la pile. À peu près signifie ici que le rapport de division est proche de 1/1, mais la tension délivrée est toujours exactement proportionnelle à celle de la pile. Nous avons donc une tension constante et une autre qui diminue avec celle de la pile. Le courant qui traverse la diode zener est limité par la résistance R8 à une dizaine de milliampères, nécessaires pour une stabilité acceptable de la tension de référence. Avec une pile neuve, la tension de l'entrée non-inverseuse est de 5 V environ, bien au-dessus de la tension de référence. Dans ces conditions, la sortie de l'amplificateur est au niveau haut et la LED éteinte. Au fur et à mesure que la pile se décharge, sa tension baisse et celle de l'entrée non-inverseuse aus-

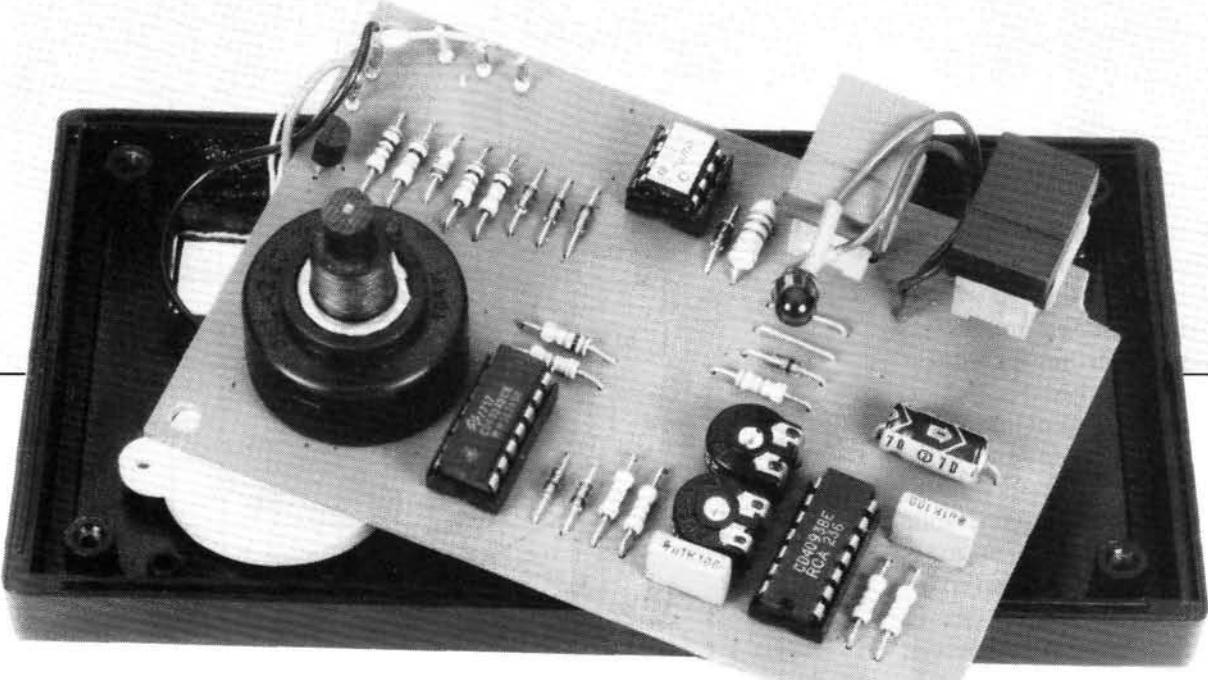
si. Si la tension a diminué jusqu'à 5,5 V, le diviseur n'applique plus que 3,3 V ou moins à l'entrée de mesure, la sortie passe au niveau bas et la LED s'allume.

Comme le montre le câblage du commutateur S1A, le test de pile se situe entre la position arrêt et les trois positions de marche. Il est obligatoire et automatique à la mise en marche de la minuterie, regardez simplement si la LED s'allume au passage.

Le deuxième rôle de l'amplificateur opérationnel est de rendre visibles les impulsions de l'oscillateur. Elles sont transmises par D6 à l'entrée non-inverseuse, pour y être

comparées à une tension de référence. La tension de référence est toujours fixée par la diode zener D9, mais elle est différente de celle qui servait à la mesure de tension. Pour maintenir une diode zener à sa tension nominale, il faut y faire circuler quelques milliampères, comme dans le cas de la mesure de tension. Cette consommation permanente en pure perte est incompatible avec le cahier des charges que nous nous sommes fixé. La résistance R11, cent fois plus grande que R8, ne laisse passer qu'une fraction de milliampère. La diode D9, sous-alimentée, se comporte plutôt comme une résistance variable en fonction de la ten-





sion que comme une référence de tension. La tension à ses bornes n'est plus de 3,3 V, mais de 2 V environ. C'est sans importance pour le fonctionnement du montage, il suffit que la tension de l'entrée inverseuse soit un peu supérieure à celle de la masse. Chaque impulsion négative du compteur permet à R7 de ramener à la masse le potentiel de l'entrée non-inverseuse, ce qui fait passer à zéro la sortie de l'amplificateur opérationnel et provoque un éclair de la LED.

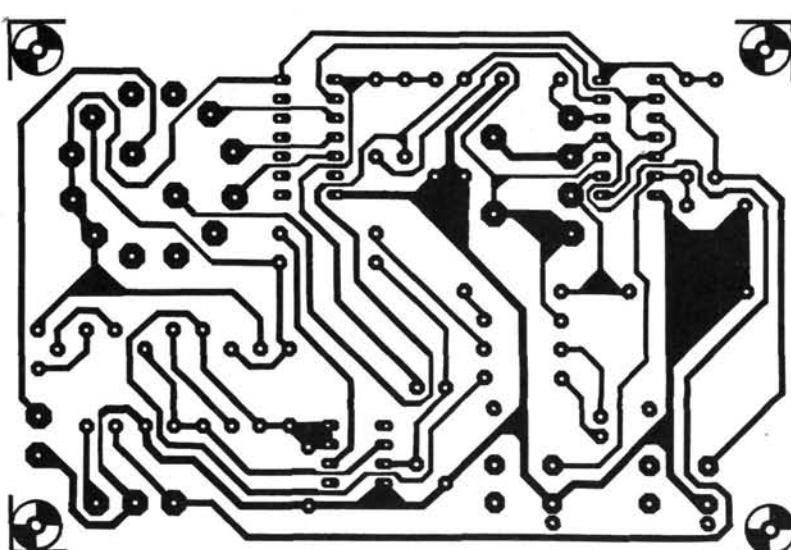
division du travail

La double utilisation de l'amplificateur opérationnel est astucieuse mais elle n'est possible qu'au prix de cer-

taines précautions. Tout d'abord, il ne faut pas que l'oscillateur soit en fonctionnement pendant la mesure, sinon les impulsions transmises par D6 viendraient la perturber. Ce petit problème est réglé par le câblage particulier du commutateur S1A et des diodes D4, D5 et D7. Dans la position "test de pile", le diviseur de tension R6/R7 est alimenté directement par la pile, l'amplificateur opérationnel par la diode D4, la diode zener par D7 et R8. La résistance R11, du fait de sa forte valeur, n'a pas d'influence appréciable sur l'intensité du courant qui traverse la diode zener. La diode D6 empêche que la tension du diviseur parvienne au circuit intégré IC3 et que la

liste des composants	
R1, R2, R4 = 47 kΩ	
R3 = 150 Ω	
R5 = 470 kΩ	
R6 = 1 MΩ	
R7 = 1,2 MΩ	
R8 = 1 kΩ	
R9 = 330 Ω	
R10 = 10 kΩ (*)	
R11 = 100 kΩ	
R12 = 100 Ω (*)	
P1 = 250 kΩ variable	
P2 = 10 kΩ variable	
C1, C3, C4 = 100 nF	
C2 = 22 μF/16 V	
D1 à D7 = 1N4148	
D8 = LED	
D9 = zener 400 mW 3,3 V	
T1 = BC557B (*)	
IC1 = TLC271C	
IC2 = 4093	
IC3 = 4024	
S1 = commutateur 2 circuits 6 positions Lorlin	
S2, S3 = touches 1 contact à fermeture (Digitast)	
BZ1 = résonateur piézo PB2720 ou	
HP1 = haut-parleur 4 à 8 Ω (*)	
1 coupleur de pile	

(*) version haut-parleur



résistance R5 vienne fausser le rapport de division.

Dans les autres positions, en marche normale, le diviseur R6/R7 n'est pas alimenté, la résistance R7 joue son rôle de rappel au zéro pour l'entrée non-inverseuse. L'amplificateur opérationnel est alimenté par D5, alors que D7 bloque le passage du courant vers R6 et R8. La diode zener se contente des 9 centièmes de millampère que laisse passer R11.

Pour en terminer avec la description du schéma, il reste à indiquer la fonction de la broche 8 de l'amplificateur opérationnel, de type TLC271C. Il est destiné à fonctionner sur une alimentation simple, de tension comprise entre 3 et 16 V, avec un très faible courant, autrement dit sur des piles. De plus, la consommation de courant est « programmable » : si la broche 8 (*bias select*) est reliée à la masse, la consommation est de 1 mA ; si elle est reliée à une tension comprise entre 0,8 et 9,2 V, la consommation

est ramenée à 150 µA (0,15 mA) ; enfin, si la tension de la broche 8 est supérieure à 10 V, la consommation tombe à 10 µA (ce qui n'est pas possible avec une pile de 9 V).

construction

Nous avons de plus en plus souvent la faiblesse de céder aux pressions de ceux qui réclament des dessins de circuits imprimés. C'est encore le cas pour ce montage : le circuit imprimé de la **figure 2** permet la réalisation sans difficulté. L'implantation des composants est représentée par la **figure 3**. Le commutateur prévu est de marque Lorlin ; il n'existe pas en cinq, mais en six positions. Il suffit pour l'adapter de décaler l'ergot de la bague qui se trouve sous l'écrou de fixation. Si vous ne trouvez ni le commutateur Lorlin ni les touches Digitast, même après avoir changé de fournisseur, vous pouvez utiliser d'autres modèles, fixés sur le coffret et raccordés par des fils. Montez les

circuits intégrés sur des supports et veillez à la polarité du transistor : il s'agit d'un PNP de type BC557 et non d'un NPN de type BC547. Le raccordement de la pile et du haut-parleur (ou résonateur) se fait par l'intermédiaire de picots à souder, jamais en soudant les fils directement sur le circuit imprimé. Si vous vous conformez au plan d'implantation, tout devrait fonctionner dès la mise sous tension.

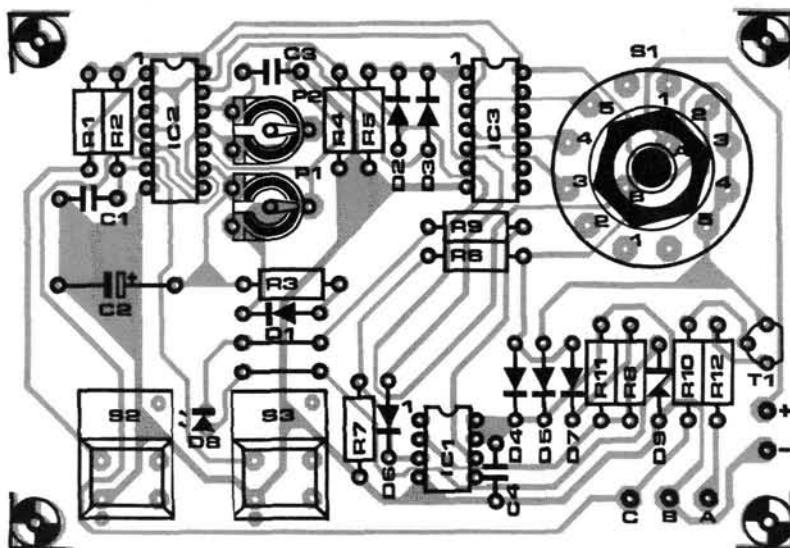
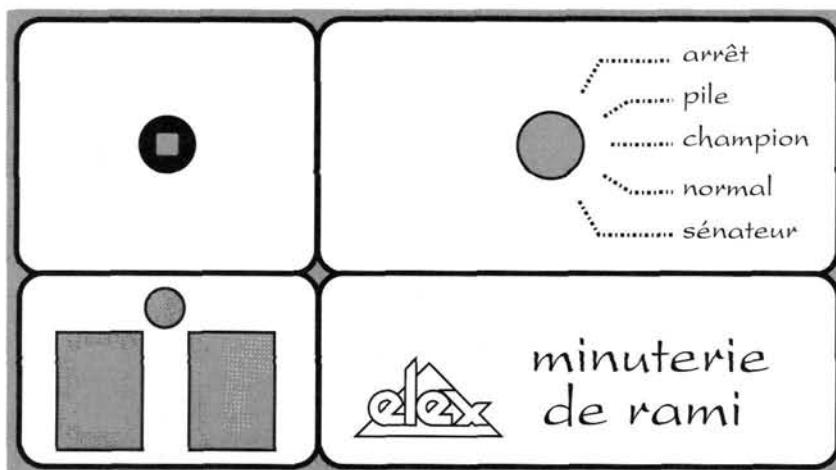
Si vous utilisez un résonateur, vous pouvez supprimer R10, R12 et T1 ; si le haut-parleur a une impédance de 100 Ω, vous pouvez remplacer la résistance R12 par un pont de câblage. La **figure 5**, enfin, donne une idée de face avant pour cette minuterie, utilisable aussi bien au rami que pour d'autres jeux.

les réglages

Le réglage est l'affaire de quelques minutes et ne demande pas d'appareil de mesure. Prenez une montre quelconque, numérique ou à aiguilles, pourvu qu'elle ait une trottaine. Appuyez sur S2 et attendez le signal sonore. Réglez P1 jusqu'à ce que le délai soit de 30 secondes. Il est évident que nous ne cherchons pas la précision au dixième de seconde, puisque le temps sera le même pour tous les joueurs.

Le potentiomètre P2 permet de régler la fréquence de l'oscillateur N4, à votre goût si vous utilisez un haut-parleur, ou en accord avec la fréquence propre du résonateur piézo. Cet accord est nécessaire pour obtenir le volume maximal.

87722



Figures 3, 4 et 5 — La photographie du prototype ci-contre montre que le câblage est facile puisqu'il ne comporte presque pas de fils, donc presque pas de risque d'erreurs. Aucune connexion extérieure n'est nécessaire, sauf pour la pile et le haut-parleur ou le résonateur. N'oubliez pas les deux ponts ! Vous pouvez adapter à votre convenance la face avant de notre minuterie, à condition de respecter la position des perçages pour les touches, le commutateur et la LED, imposée par le dessin du circuit imprimé. Les composants sont au large sur la platine. Montez la LED au bout de ses fils à une hauteur telle qu'elle dépasse à peine le couvercle du coffret.

interrupteur crépusculaire

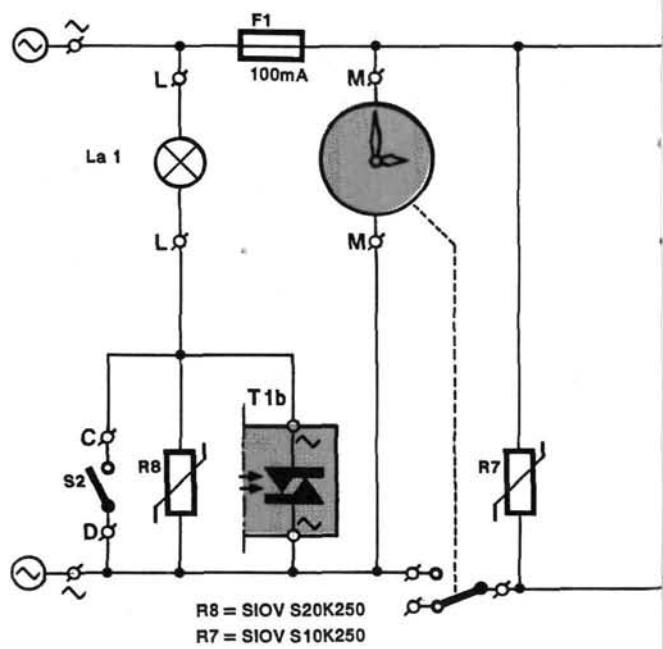
un simulateur de présence
mécano-opto-électronique

Pour peu qu'on veuille bien considérer les circuits électroniques ou la mécanique comme quelque chose de vivant (sinon pourquoi insulterait-on un ordinateur qui ne fait pas ce qu'on en attend, pourquoi donnerait-on des coups de pied à une voiture qui ne veut pas démarrer ?), ce montage est un exemple de symbiose.

Tout comme dans les exemples de symbiose naturelle, il y a ici deux dispositifs de nature différente qui cohabitent et collaborent : un peu d'électronique et une minuterie électro-mécanique. Le résultat est un interrupteur crépusculaire aux propriétés particulières.

Figure 1 - Le circuit n'est en fait qu'une extension astucieuse d'une minuterie électro-mécanique. La résistance particulière repérée « LDR » est une résistance dont la valeur varie en fonction de la lumière qu'elle reçoit (Light Dependent Resistor) ; c'est cette photo-résistance qui renseigne le reste du circuit sur l'intensité de l'éclairage ambiant.

Les propriétés particulières de cet interrupteur crépusculaire tiennent à sa construction et à son fonctionnement : quand la nuit arrive, l'électro-nique allume automatiquement la lumière extérieure, ensuite de quoi la minuterie mécanique l'éteint au bout d'un certain temps. Quelle est l'utilité de ce système ? Simple : en allumant la lumière, intérieure ou extérieure, quand la nuit tombe, puis en l'éteignant à l'heure d'aller se coucher, il laisse croire que quelqu'un est dans la maison. Un observateur extérieur plus ou moins bien intentionné, mais pas complètement débile, ne s'aventurerait pas à cambrioler une maison occupée. Vous pouvez donc profiter en paix de vos vacances ou de votre soirée à l'extérieur.



la symbiose

Comme le montre le schéma de la **figure 1**, la minuterie électro-mécanique est « encerclée » par le montage électronique. L'organe le plus important de la partie électronique est le circuit intégré IC1 de type 555. Dans cette application, il n'est utilisé ni comme temporisateur, ni comme multivibrateur astable, mais comme bascule RS. Nous en parlerons plus loin, après avoir examiné un composant nouveau dans les colonnes d'ELEX : un opto-triac, c'est-à-dire un opto-coupleur dans lequel le transistor commandé par la lumière est remplacé par un triac, sensible à la lumière lui aussi. Le schéma de la figure 1 montre ce composant en deux parties séparées, T1a et T1b. En réalité, la LED et le triac sont abrités dans le même boîtier. Cette représentation, commode pour le dessinateur, permet aussi de distinguer les deux fonctions du composant.

Vous ne serez pas étonné de constater que le principe de fonctionnement est similaire à celui des opto-coupleurs ordinaires : quand la LED (T1a) s'allume, le triac (T1b) conduit. L'utilité du dispositif est la même que celle des opto-coupleurs : garantir l'isolement entre l'électronique de commande et les organes de puissance. Cet isolement supprime en grande partie le risque de chocs électriques. Il reste

qu'une partie du montage est soumise à la tension du secteur et que la prudence s'impose : l'ensemble doit être mis hors d'atteinte par un coffret isolant.

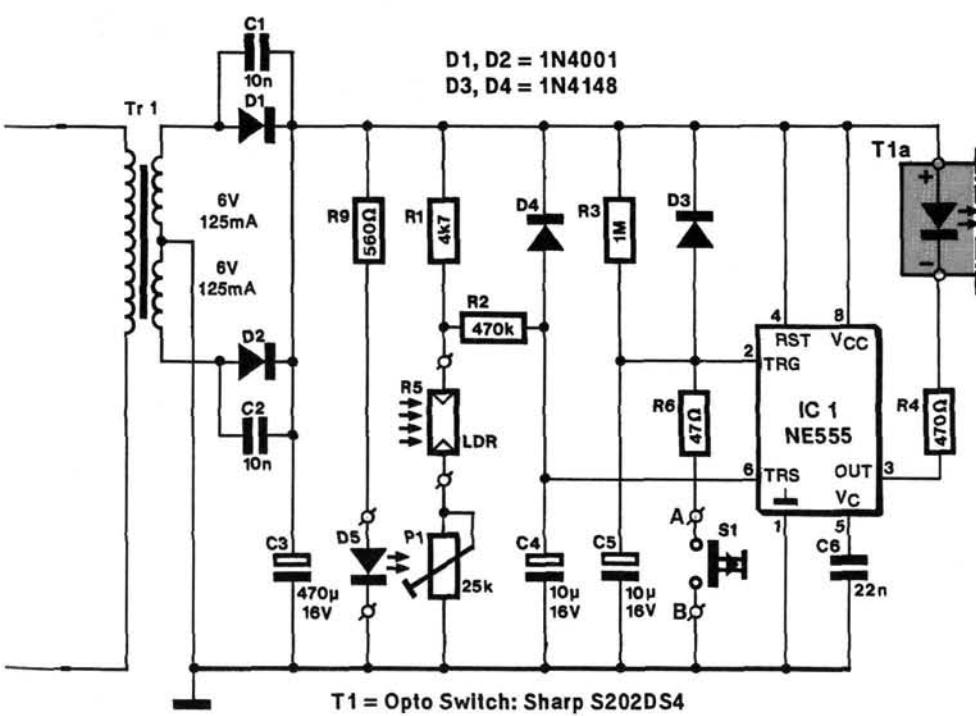
Revenons à l'opto-triac ; si nous n'avons pas utilisé un opto-coupleur ordinaire, c'est pour une raison évidente : un transistor ne peut pas commander de tension alternative. Un triac le peut, il est même conçu pour cela, c'est donc le composant idéal pour commuter la tension du secteur. Passons aux détails du fonctionnement.

Une minuterie, électro-mécanique ou pas, permet de fixer le moment de la fermeture aussi bien que le moment de l'ouverture du circuit. Dans notre interrupteur crépusculaire, le réglage de la minuterie sera fait une fois pour toutes, l'électronique se charge du reste. Nous fixons la fermeture du circuit à un moment quelconque dans l'après-midi, avant que la nuit tombe, l'ouverture à l'heure du coucher. Comme le moteur de la minuterie tourne en permanence, la séquence se répétera chaque jour, aussi longtemps que le montage sera alimenté. Question : puisque nous avons ce commutateur, pourquoi ne pas lui faire commander l'éclairage, pourquoi ajouter de l'électronique ? Parce que la minuterie

mécanique ne « voit » pas quand la nuit tombe. Avec la minuterie seule, l'allumage se produirait chaque jour exactement à la même heure. C'est le genre de chose que remarque aisément un carouleur au fric-frac. Si l'allumage se produit à une heure un peu différente chaque jour, au moment où la lumière baisse, cela semble beaucoup plus naturel et peut compliquer le repérage. Dans tous les cas, l'automatisme sera moins évident, ce qui est notre but.

La lampe ne doit pas s'allumer au moment où se ferme l'interrupteur de la minuterie, mais seulement quand l'électronique en donne l'ordre, quand la lumière du jour a suffisamment baissé. Ce fonctionnement est assez facile à déduire du schéma de la figure 1. La lampe (La1) est connectée en série avec le triac et ne peut donc s'allumer que s'il est conducteur. Plus exactement, la lampe ne peut s'allumer que si deux conditions sont remplies. La première est que le contact de la minuterie soit fermé, la deuxième est que le triac soit conducteur. Commençons par le début : la mise sous tension. Elle se produit quand la minuterie ferme le contact ; à ce moment, un réseau RC (R3/C5) empêche l'entrée de déclenchement (broche 2, trigger) du circuit intégré IC1 de passer immédiatement au niveau logique haut. Si le déclenchement se produisait, la lampe s'allumerait dès la mise sous tension.

C'est le moment d'examiner l'utilisation particulière que nous faisons du circuit intégré 555, bien connu comme temporisateur ou oscillateur. Pour remplir ses fonctions habituelles, il comporte entre autres deux comparateurs dont le seuil de basculement est fixé par un diviseur de tension interne ; l'un au tiers (broche 2), l'autre aux deux-tiers (broche 6) de la tension d'alimentation. Ces comparateurs commandent une bascule RS intégrée elle aussi sur la « puce ». Cette bascule a comme étage de sortie une paire de transistors complémentaires capables de conduire un courant important, pour ne pas dire imposant : 200 mA (deux cents). Un interrupteur crépusculaire comporte un organe de puissance en sortie, un comparateur pour traiter le signal du capteur, et une



bascule RS pour éviter les clignotements aux alentours de la condition de basculement du comparateur. Toutes ces fonctions sont remplies par le 555, dans un boîtier à huit broches. Sans lui, nous aurions dû faire appel à un comparateur, à une bascule, et à un étage de puissance séparés.

Le maintien de la broche 2 au niveau bas pendant un certain temps maintient la sortie (broche 3) au niveau haut, ce qui empêche la LED de l'opto-triac de commander l'allumage de la lampe. La situation ne change pas aussi longtemps que la LDR (R5) reçoit assez de lumière. La faible résistance de la LDR éclairée maintient l'entrée du comparateur à un niveau inférieur aux deux tiers de la tension d'alimentation. Tout change dès que l'éclairage de la LDR passe en-dessous d'un seuil fixé par le potentiomètre P1. La tension de la broche 6 passe alors à une valeur supérieure aux deux tiers de la tension d'alimentation, ce qui provoque le basculement du comparateur et la mise à 1 de la bascule RS. Le résultat final est l'allumage de la lampe, puisque la sortie passe au niveau bas et qu'un courant traverse la LED de l'opto-triac.

Comme la bascule RS est mise à 1, la lampe reste alimentée quelles que soient les variations de l'éclairage ambiant. Elle ne s'éteindra qu'au bout du temps programmé par la minuterie : le contact s'ouvrira et coupera l'alimentation du transformateur, celle du circuit intégré, celle de la LED, donc celle de la lampe. Le moteur de la minuterie, connecté directement au secteur, continue de tourner et le processus se répétera demain, à la tombée de la nuit pour l'allumage, à l'heure programmée pour l'extinction.

les autres composants

Comme le principe de fonctionnement repose sur la minuterie, la LDR et l'opto-triac, nous avons laissé de côté les autres composants, qui jouent un rôle accessoire*. C'est à leur tour de venir sous les feux de la rampe. Si les deux résistances R8 et R9 ont droit à une représentation particulière, c'est parce qu'elles ont des caractéristiques particulières. Il s'agit de varistances, ou *Voltage Dependent Resistors*, dont la valeur dépend de la tension. Leur

résistance, très forte normalement, tombe à une valeur très faible dès que la tension à leurs bornes dépasse une valeur donnée. Les types S10K250 et S20K250 (fabriqués par Siemens) sont prévus pour une tension nominale de 250 V efficaces. Toute pointe de tension supérieure à la valeur crête de cette tension efficace met la varistance pratiquement en court-circuit. Le temps de réponse est extrêmement court, ce qui empêche la pointe de tension de provoquer des dégâts plus loin dans le circuit. Le rôle des varistances dans le montage est de protéger le triac des pointes de tension que véhicule le secteur, surtout lors des commutations de charges importantes ou inductives, ou encore de charges inductives importantes. Le nombre qui suit le S chez Siemens indique le diamètre de la pastille d'oxyde de zinc qui constitue la varistance. Plus ce diamètre est grand, plus le composant peut dissiper d'énergie ; c'est pourquoi R7, qui n'a guère à supprimer que les pointes de commutation du transformateur Tr1 de 1,5 VA, est plus petite que R8.

Ce petit transformateur, Tr1, est chargé d'alimenter l'électronique sous une tension simplement filtrée de 9 V environ. Il est alimenté par le contact de la minuterie. La tension du secondaire double est redressée par les diodes D1 et D2, puis filtrée par C3. Les condensateurs C1 et C2 bloquent les parasites que produit la commutation des diodes.

La LED D5 que nous trouvons ensuite sert simplement à indiquer que le montage est sous tension, elle permet de voir d'un coup d'œil si le contact de la minuterie est fermé ou ouvert. Le diviseur de tension constitué par R1, la LDR R5 et le potentiomètre P1 permet de déterminer la sensibilité du montage à la lumière, autrement dit le niveau d'éclairage qui sera considéré comme crépuscule par l'automate. Le potentiomètre P1 permet de décider si la lampe s'allumera pour un niveau d'éclairage relativement important ou seulement quand il fera déjà noir. Le réglage doit être fait en fonction de l'exposition du capteur à la lumière ; plus la résistance de P1 est faible, plus il fera noir quand la lampe s'allumera.

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 4,7 kΩ
R2 = 470 kΩ
R3 = 1 MΩ
R4 = 470 Ω
R5 = LDR
R6 = 47 Ω
R7 = VDR S10K250
R8 = VDR S20K250
R9 = 560 Ω
P1 = 25 kΩ, variable

C1,C2 = 10 nF
C3 = 470 µF/16 V
C4,C5 = 10 µF/16 V
C6 = 22 nF

D1,D2 = 1N4001 à 1N4007
D3,D4 = 1N4148
D5 = LED
IC1 = NE555
T1 = opto-triac SHARP S202DS4
S1 = poussoir à fermeture
S2 = interrupteur secteur unipolaire
Tr1 = transformateur 2 × 6 V 1,5 VA
F1 = fusible 100 mA avec porte-fusible

bornes à vis pour circuit imprimé
minuterie à 1 contact à fermeture

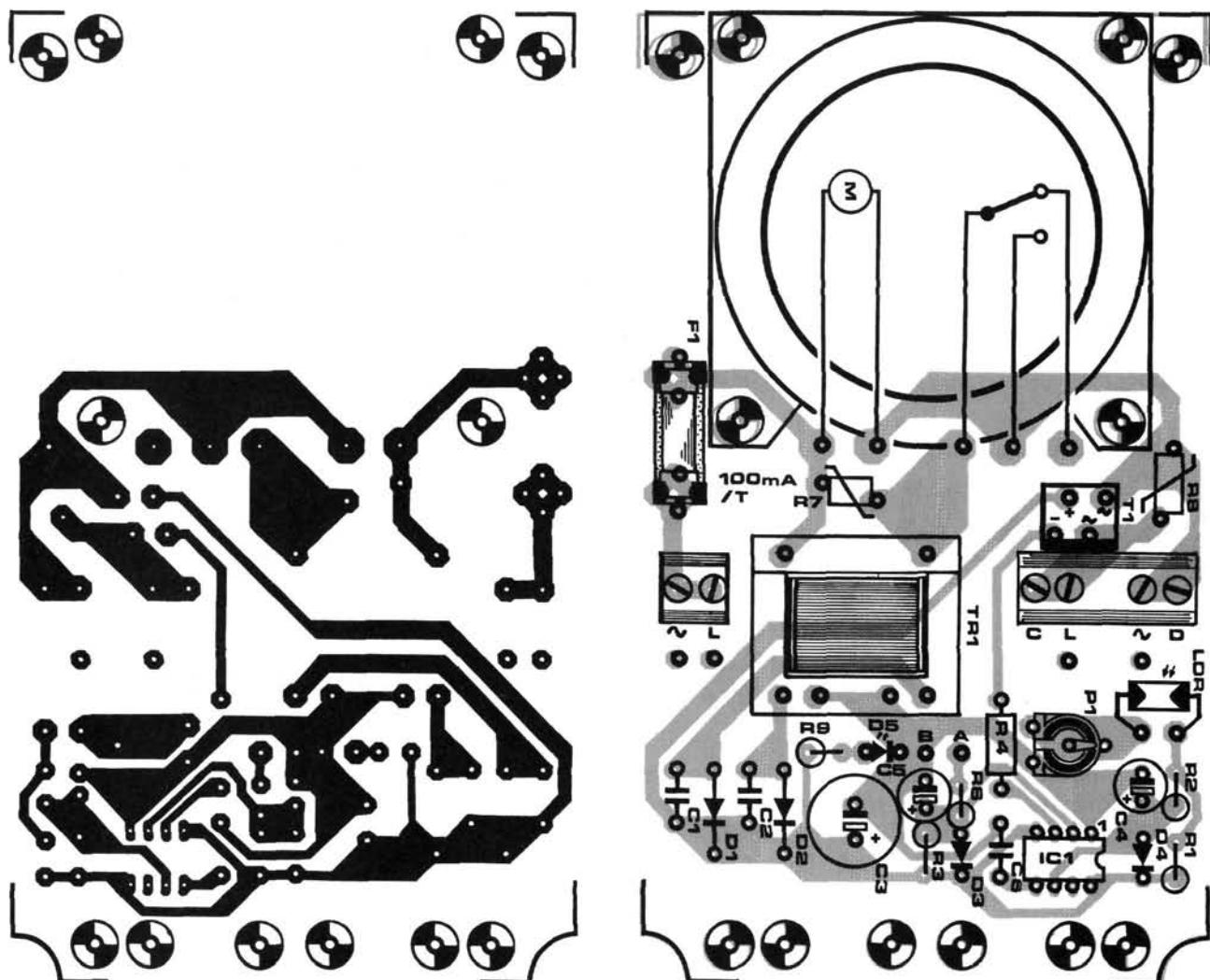
elex-abc

varistance

La varistance, désignée aussi par **VDR** (*Voltage Dependent Resistor*), peut se comparer à une diode zener, à cette différence près qu'elle a les mêmes propriétés dans les deux sens. Elle peut donc être utilisée pour « nettoyer » des tensions alternatives. Au moment de l'entrée en conduction, c'est dans les fils d'alimentation que se produit la chute de tension. Comme la résistance est faible, les intensités atteignent pendant une fraction de seconde un certain nombre de kilo-ampères.

La tension de seuil est beaucoup moins précise que celle de la diode zener, ce qui interdit d'utiliser la varistance pour régler une tension. Il existe des varistances de toutes tensions, à partir d'une dizaine de volts, et de différentes puissances, en fonction de la taille de la pastille.

*Il n'y a pas de petits rôles, il n'y a que de petits appointements. Le premier lecteur qui nous communiquera le nom de l'auteur gagne notre considération.



construction et installation

La résistance R2 constitue avec C4 un circuit de retard. Ce réseau évite que le montage réagisse à des variations brèves de l'éclairage, comme le passage en rase-mottes d'une compagnie de perdreaux ou d'un chat volant. La diode D4, comme D3, évite que les condensateurs appliquent aux entrées du circuit intégré une tension supérieure à la tension d'alimentation, au moment de la déconnexion du transformateur par la minuterie.

Les derniers composants à examiner sont le poussoir S1 et l'interrupteur S2. L'interrupteur permet d'allumer la lampe indépendamment de la minuterie et de l'éclairage ambiant. Le poussoir, au contraire, permet d'éteindre avant que la minuterie coupe le courant, par exemple après qu'une averse d'orage ait suffisamment fait baisser l'éclairage ambiant ou à votre retour du cinéma.

Il va sans dire que la réalisation et l'installation demandent le plus grand soin. Cela va encore mieux en le disant, surtout pour un montage qui est relié au secteur. Prenez toutes les mesures de sécurité nécessaires, plus quelques autres.

La platine à circuit imprimé de la figure 2 est assez grande pour laisser entre les pistes soumises à la tension du secteur les distances d'isolement indispensables. Comme la minuterie sera montée aussi sur la platine, vous n'aurez pas à faire courir de fils dangereux sur de grandes longueurs et l'ensemble sera assez compact pour être enfermé dans un coffret isolant. Le câblage des composants ne pose pas de problème si vous respectez les polarités. Le coffret laisse sortir deux cordons à deux fils, l'un pour l'entrée, l'autre pour la sortie de la tension du secteur. Les photos ne montrent pas le cadran de la minuterie, tout simplement parce que le réglage est fait une fois pour toutes et qu'il ne nous a pas

paru utile de pratiquer une découpe dans le couvercle du coffret. Vous pouvez être d'un autre avis et monter la minuterie à l'extérieur, ou découper le coffret. Mais dans ce cas veillez à isoler toutes les parties reliées au secteur et établissez les liaisons avec du fil de résistance mécanique suffisante. Il n'y a pas de choix possible pour la touche, l'interrupteur, ni la LDR : tous doivent être accessibles de l'extérieur. L'interrupteur S2 demande un isolement soigné puisqu'il est soumis au 220 V. La LDR sera exposée à la lumière par un trou dans le coffret, si possible fermé aux doigts par une chute de plexiglas. Naturellement, le réglage du potentiomètre doit se faire hors tension. Toujours pour votre sécurité, il faut fixer la platine dans un coffret isolant, sans vis métalliques qui dépassent. Si les vis traversent, il vaut mieux qu'elles soient en nylon. Les cordons secteur seront munis d'un dispositif anti-traction, comme un noeud par exemple.

886026

L'idée de ce montage vint à un de nos collaborateurs alors qu'il se trouvait derrière les barreaux. Il avait passé toute une nuit à essayer de tromper le lecteur optique commandant l'ouverture de la porte d'un coffre, en vain. Le matin, la police l'avait coffré, et depuis, il ne pense plus qu'à ça. Nous vous livrons tel quel le produit d'une de ses cogitations. Le montage fonctionne, mais il n'a rien perdu de son caractère expérimental. Si nous le publions ici, c'est bien plus pour ses vertus pédagogiques que pour son efficacité pratique.

lecteur de code à barres

montage expérimental codé

Les codes à barres⁽¹⁾ sont partout, comme l'informatique dont ils sont d'ailleurs une manifestation explicite : ne se présentent-ils pas en effet sous la forme rigoureusement binaire d'une succession de noirs et de blancs, c'est-à-dire de 0 et 1 ?

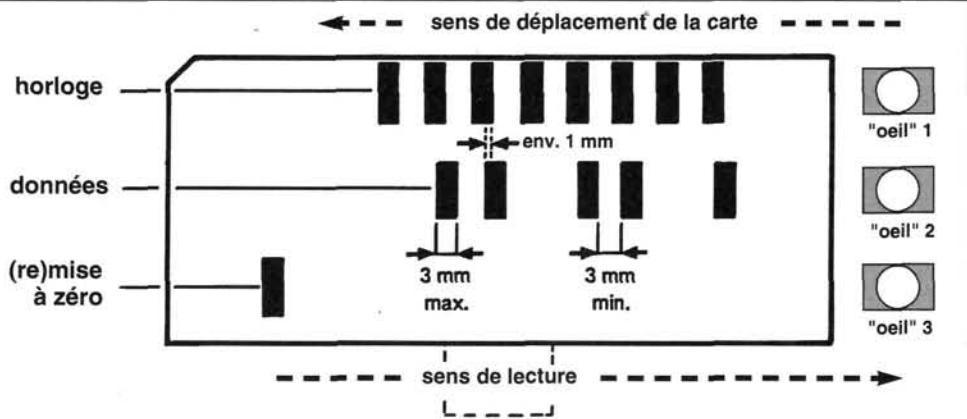
carte à barres

Il s'agit bien ici d'un lecteur de code à barres. Simplifié, certes, mais code à barres quand même. Le montage proposé pourrait servir à commander par exemple une serrure dont la clef serait donc une carte sur laquelle sont dessinées, dans un certain ordre, des bandes les unes sombres, les autres claires. La figure 1 ci-dessous montre le modèle de carte que nous avons utilisé pour notre prototype. Le code à proprement parler est inscrit dans la rangée du milieu

que nous nommons ligne de données. Les bandes sombres, d'une largeur bien déterminée, représentent des 0 et les bandes claires, des 1. Quand la carte se déplace devant le lecteur, les bandes défileront devant un "œil" électronique. Par ailleurs, pour faire comprendre au circuit qu'il a affaire à des bits⁽²⁾ de données, lui permettre de les situer et de reconnaître où l'information (les données) commence, la carte-clé comporte une autre série de barres, régulièrement espacées, que nous appelons bits d'horloge (rangée du haut) sur lesquels les bits de données sont synchronisés. Les barres du signal d'horloge sont lues par un autre œil. Le circuit de lecture est conçu de façon à repérer sur la ligne des données la couleur présente peu de temps après le passage du signal d'horloge de noir à blanc. Ainsi,

deux des trois "yeux" du lecteur sont mobilisés en même temps mais pour des tâches différentes : le premier regarde l'horloge et le second les données. Grossièrement dit – les choses ne se passent pas tout à fait ainsi – si l'œil qui regarde les données voit noir, juste après le passage d'un pavé noir devant l'œil de l'horloge, le circuit de décodage qui suit reçoit l'information "zéro", s'il voit blanc, c'est un "un" qui est transmis au décodeur. Lors de chaque transition "noir-blanc" de la ligne d'horloge, il y a lecture et transmission du bit correspondant de la ligne des données. Forts de cette connaissance, vous pouvez donc maintenant décoder l'information contenue sur la carte de la figure 1. En lisant de gauche à droite, vous voyez à la verticale de la première transition noir-blanc de la ligne d'horloge, "blanc"

Figure 1 - Vous avez là un logiciel, celui que nous avons utilisé pour nos expérimentations. Il comporte trois types d'information à savoir, de haut en bas : les bits d'horloge régulièrement espacés, les bits de données, synchronisés sur les bits d'horloge et le bit de ponctuation dont la fonction est de mettre le circuit au repos. Respectez les valeurs données pour la largeur des pavés et leur synchronisation.



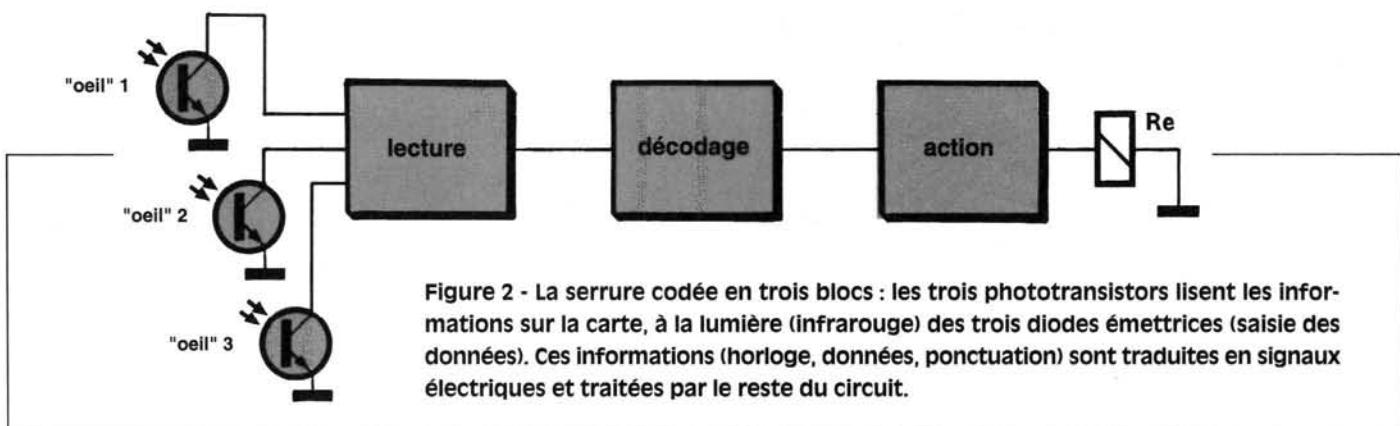


Figure 2 - La serrure codée en trois blocs : les trois phototransistors lisent les informations sur la carte, à la lumière (infrarouge) des trois diodes émettrices (saisie des données). Ces informations (horloge, données, ponctuation) sont traduites en signaux électriques et traitées par le reste du circuit.

sur la ligne de données, puis "noir", à la seconde et à la troisième transition... donc 10010010.

La carte est pourvue d'un troisième ligne, celle du bas, qui ne contient qu'un pavé, nous pourrions dire un pavé de ponctuation, chargé de mettre à zéro le dispositif, avant la lecture. Cette troisième ligne défile devant un troisième oeil.

trois blocs

Malgré les apparences, ce circuit, aux ramifications certes nombreuses, se laisse décomposer (**figure 2**) en trois ensembles : lecteur, décodeur et opérateur. Le lecteur capte l'information contenue sur la carte, comme nous l'avons dit plus haut, et la traduit en signaux électriques. Le décodeur reçoit les signaux du lecteur, les compare au code qu'il a mémorisé et donne l'ordre à l'opérateur d'agir en conséquence : si l'information reçue correspond au code, l'opérateur exécute la manœuvre pour laquelle il a été conçu, sinon, il reste coi. Le contenu des trois boîtes est détaillé sur la **figure 3**, de gauche à droite, dans le même ordre, celui que nous allons suivre pour le commenter. L'entrée du circuit, le lecteur de carte, est constitué des capteurs IC6 à IC8 qui sont des cellules à réflexion et non des optocoupleurs, comme les

symboles peuvent le laisser supposer. Ces cellules contiennent une diode émettrice de rayons infrarouges (LED infrarouge) et un phototransistor, récepteur éventuel du rayonnement émis par la diode. Les rayons arrivent au récepteur par réflexion sur une surface correctement disposée au voisinage de l'ensemble. La quantité de rayonnement reçu par le phototransistor dépend des qualités et de la distance à laquelle la surface réfléchissante se trouve, et de son orientation. Le graphique de la **figure 4** montre l'intensité du courant de collecteur du transistor en fonction de la distance et de la couleur de la surface de réflexion. Comme l'appareil n'est pas censé mesurer une distance, il faut rendre ce dernier paramètre aussi constant que possible : la carte glissera donc entre deux plaques resserrées, parallèlement au plan des cellules.

Les variations du courant de collecteur des phototransistors dépendront donc des variations de couleur du support qui circulera devant elles. Grâce aux résistances R2, R6 et R10, ces variations de courant seront traduites en variations de tension. Si nous admettons que la réflexion est idéale⁽³⁾ (réflexion totale sur une tache blanche et absorption aussi complète du rayonnement par une tache noire), la tension de collecteur sera, pour le noir, à peu près égale à la tension de l'alimentation (courant quasiment nul) et pour le blanc peu éloignée de 0 V (saturation).

Montrons pour commencer une tache noire à une cellule.

[NOIR] Le phototransistor est quasiment bloqué. En conséquence, la tension sur l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel qui

suit (A1, A2) est de 9 V (à 1pp). Sur l'entrée inverseuse, cette tension divisée par le pont de résistances (R3 et R4) n'apparaît qu'une fois que le condensateur de 100 nF est chargé. Elle est alors d'environ 8,5 V, toujours inférieure à la tension qui règne sur l'entrée non inverseuse, et la sortie de l'amplificateur opérationnel reste donc égale à sa tension d'alimentation (à 1 pp).

[BLANC] Nous avons décalé la carte et la cellule à vu blanc. Le phototransistor conduit presque instantanément et la tension sur l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel tombe aux environs de 0 V. Sur l'entrée inverseuse, la tension commence aussi à diminuer, plus lentement il est vrai, au rythme auquel le condensateur se vide. La sortie de l'amplificateur, passée brusquement à 0 V, y reste (elle ne peut pas devenir négative puisque l'amplificateur opérationnel est alimenté entre 0 V et 9 V). En principe, compte tenu des approximations habituelles, lorsque le condensateur s'est vidé, aucun changement ne devrait survenir. Les deux entrées sont à 0 V, que voulez-vous qu'il arrive ? Ce qui doit arriver : comme la tension sur le collecteur n'est jamais tout à fait nulle, lorsque le condensateur est à peu près vide, la tension sur l'entrée inverseuse est à peine inférieure à celle qui règne sur l'autre entrée de l'amplificateur opérationnel. Le diviseur de tension remplit toujours sa tâche, il ne faut pas l'oublier, la sortie repasse à "un" (à peu près 9 V).

Résumons-nous : la tension à la sortie des amplificateurs opérationnels (A1 et A2) passe à 0 V quand les cellules voient la carte passer du noir

(1) De l'anglo-américain *barcode* que l'on n'a pas plus de raisons de traduire par "code-barre" que l'on en aurait de traduire par exemple *sailboat* par "bateau-voile".

(2) *Bit*, de l'anglais *binary digit* : unité élémentaire d'information (donnée) ne pouvant prendre que deux valeurs distinctes, représentées généralement par les chiffres 0 et 1.

(3) La réflexion n'est évidemment pas parfaite



elex-abc

NON-OU (NOR)

C'est l'opérateur logique OU suivi d'un inverseur. Il a donc au minimum deux entrées et sa sortie n'est à un que si toutes les entrées sont à zéro. Elle est à zéro dans tous les autres cas. Il suffit qu'une seule de ses entrées passe à un pour que la sortie passe à zéro.

ET-NON (NAND)

C'est l'opérateur logique ET suivi d'un inverseur. Sa sortie n'est donc à zéro que si toutes les entrées sont à un. Il suffit qu'une seule entrée passe à zéro pour que la sortie passe à un.

bascule (flip-flop)

Une bascule est un dispositif qui permet de conserver une information. C'est donc un dispositif à mémoire. La bascule utilisée dans ce montage (N10 et N11 de la figure 3 ci-contre) est une bascule RS. Une de ses entrées (broche 10) est utilisée pour METTRE (en anglais, to Set) sa sortie à un, une autre entrée (broche 2), pour REMETTRE (to Reset) sa sortie à zéro. Prenons les choses à leur commencement en désignant les entrées et les sorties par le numéro de leurs broches. Nous avons trois états connus : les entrées 12 et 2 sont à un et la sortie 11 est à zéro. L'état de la sortie 11 est aussi celui de l'entrée 1, donc la sortie 3 est à un, comme l'entrée 13. Si l'entrée 12 passe à zéro, la sortie 11 passe à un et cet état reste stable. Pour faire rebasculer la sortie 11 à zéro, il n'y a qu'une solution, appliquer un zéro sur l'entrée 2. Toutes les bascules RS ne fonctionnent pas de la même façon, certaines nécessitent un niveau haut sur leur entrée S, pour que leur sortie passe à un. Nous aurions eu ce cas, si au lieu d'opérateurs ET-NON, nous avions utilisé des opérateurs OU-NON.

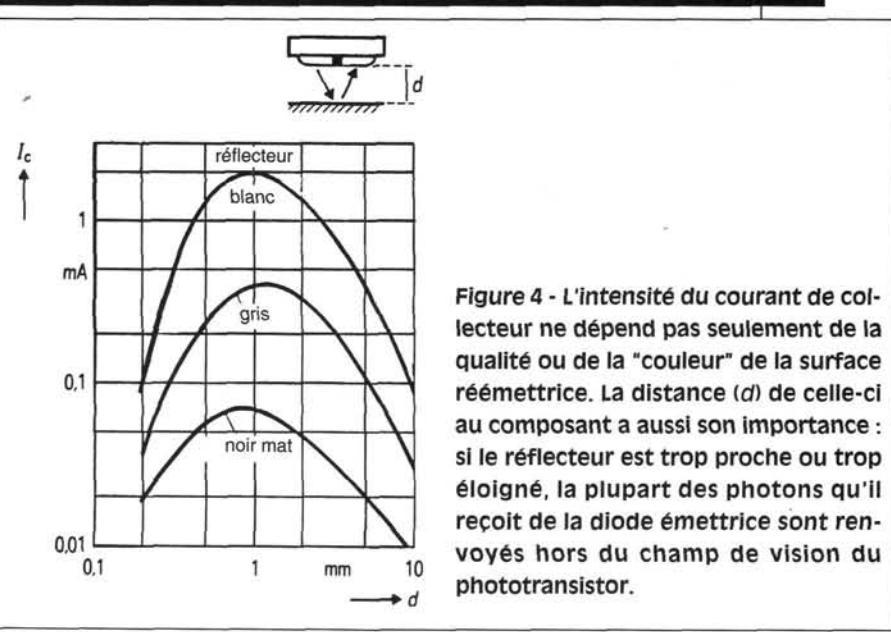
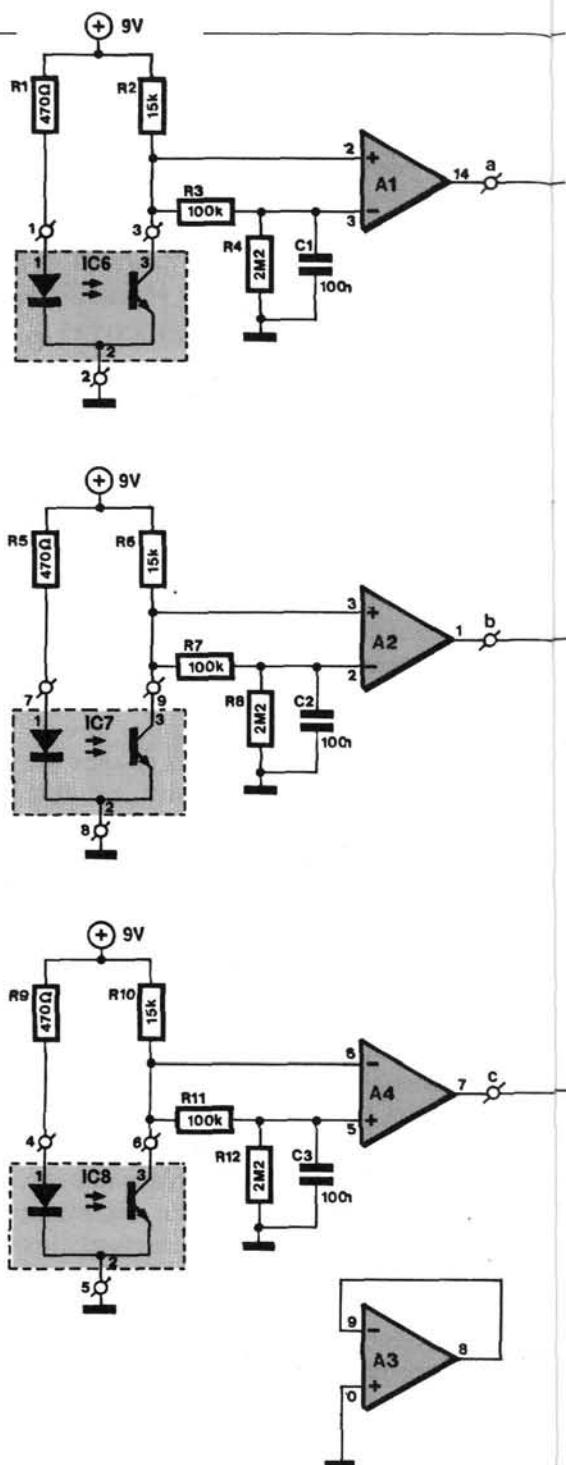
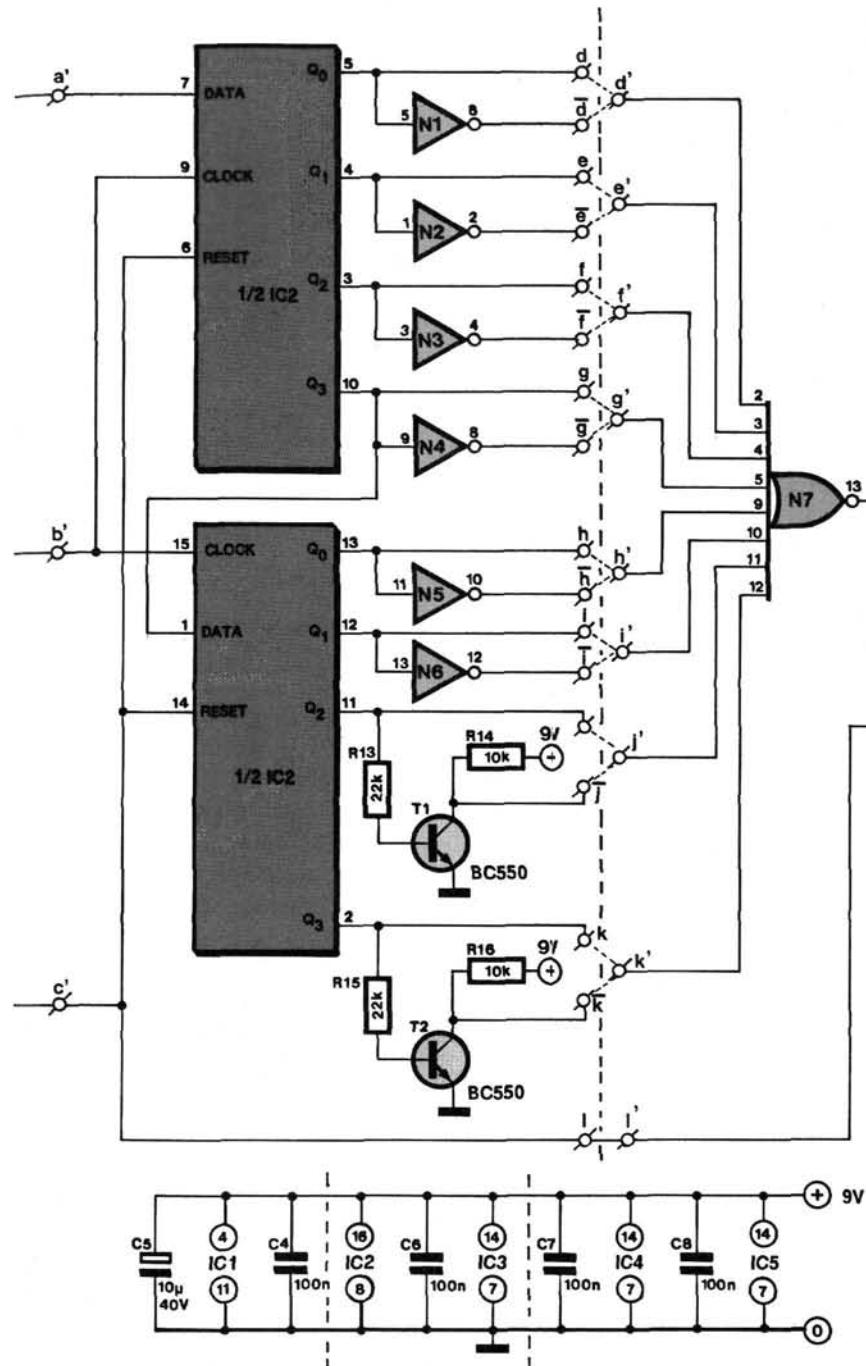


Figure 4 - L'intensité du courant de collecteur ne dépend pas seulement de la qualité ou de la "couleur" de la surface réémettrice. La distance (d) de celle-ci au composant a aussi son importance : si le réflecteur est trop proche ou trop éloigné, la plupart des photons qu'il reçoit de la diode émettrice sont renvoyés hors du champ de vision du phototransistor.



au blanc. Cet état persiste jusqu'à ce que le condensateur présent sur l'entrée inverseuse soit vidé. Si la cellule voit à nouveau un pavé noir, avant que le condensateur ne soit vidé, la sortie de l'amplificateur repasse évidemment à un. Voyez la figure 5 des oscillosogrammes, pris à la sortie des amplificateurs A1 et A2, lorsque la carte de la figure 1 passe devant les capteurs. Celui du dessus est le signal d'horloge (sortie de A1), l'autre représente les données. Que vient faire A3 dans cette galère ? Le LM 324 contient quatre amplificateurs dont trois sont utilisés. Cette



A1...A4 = IC1 = LM324
 IC2 = 4015
 N1...N6 = IC3 = 4069
 N7 = IC4 = 4078
 N8...N11 = IC5 = 4011
 IC6, IC7, IC8 = SFH900

Re = relais 9V

Figure 3 - De la saisie des données à leur traitement, puis à l'exécution de l'ordre qu'elles contiennent (ouvrir ou fermer le relais) le chemin se laisse suivre aisément.

façon de câbler A3 a une seule raison : en laissant ses broches en l'air, nous courrions le risque de le voir osciller spontanément, ce qui pouvait perturber ses petits camarades.

de série à parallèle

Le cœur du circuit est composé d'un double registre à décalage. Chaque moitié de ce circuit intégré reçoit les 0 et les 1, à la suite les uns des autres, et les range, au fur et à mesure de leur arrivée, sur ses sorties. Un registre à décalage (*shift register*) reçoit les bits d'information en série,

à la queue leu leu, et les renvoie en parallèle, sur un seul front, les uns à côté des autres : il a donc en principe une seule entrée et autant de sorties que l'information à stocker contient de bits. Son fonctionnement est vraiment simple. Quand le niveau logique de son entrée d'horloge (broche 9 ou broche 15) passe de 0 à 1 (ce que l'on désigne par "front montant", ou "flanc positif"), le circuit prend en compte le niveau présent sur son entrée de données : la donnée passe en Q₀. Au front montant suivant de l'horloge, la donnée présente à l'entrée D (pour *Data*,

données) passe de même en Q₀, la donnée auparavant en Q₀ devient celle de Q₁, celle de Q₁ elle-même devenue la donnée de Q₂, qui a cédé la sieste à Q₃ : les données se décalent pour laisser la première place (Q₀) à la dernière rentrée. Nous nous arrêtons là puisque les deux registres du circuit intégré utilisé n'ont que quatre bits chacun. En résumé : si quatre bits se succèdent sur l'entrée de données d'un registre à décalage, en synchronisation avec l'horloge, nous aurons, après quatre fronts montants de celle-ci, les quatre bits présents simultanément sur les

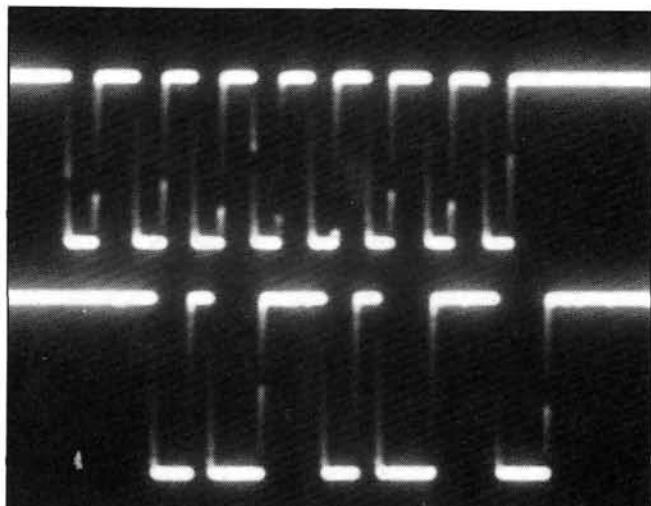
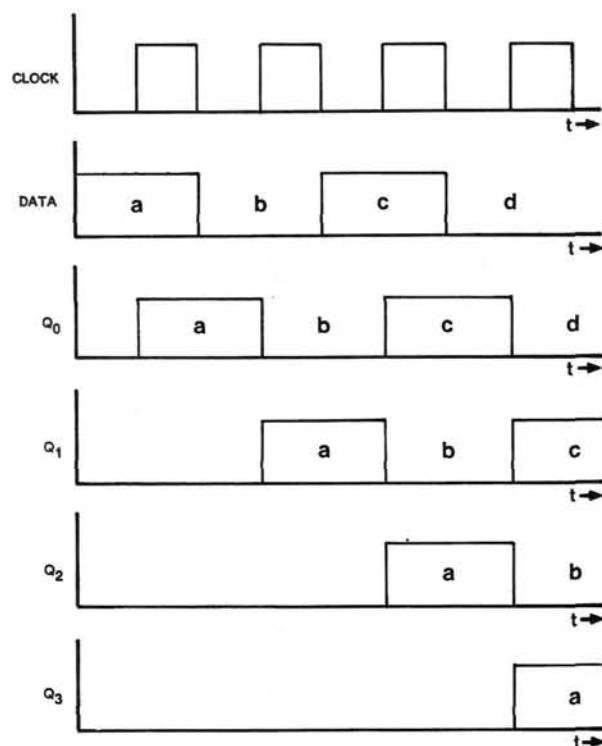


Figure 5 - Signaux aux sorties des amplificateurs A1 et A2 pendant la lecture de la carte de la figure 1.

Figure 6 - L'information présente sur l'entrée série (data) d'un convertisseur série-parallèle passe sur la première sortie Q_0 et toutes les données déjà présentes sont décalées d'une position lors du flanc montant du signal d'horloge appliquée à l'entrée clock.



quatre sorties, le premier rentré, en Q_3 et le dernier, en Q_0 . La figure 6 vous raconte cette histoire à sa façon, qui est celle d'un chronogramme. L'information présente sur la carte est cependant codée sur huit bits. Ceci va nous obliger à revenir à la figure 3. Les deux registres à décalage bénéficient de la même horloge et le second registre reçoit ses données (broche 1, data) de la sortie Q_3 (broche 10) du premier. Ceci veut dire qu'au cinquième front montant de l'horloge, qui leur est commune, la première donnée entrée sur la broche 7 arrive sur la broche 13. Après huit coups d'horloge, les huit bits (ça fait un octet) rentrés les uns à la suite des autres (en série) sur l'entrée de données du premier registre se retrouvent sur les sorties, les uns à côté des autres (en parallèle) en ordre de bataille. Ils peuvent être utilisés tels quels ou inversés, puisque sur chaque sortie du registre nous avons disposé des inverseurs, intégrés, de N1 à N6, ou transistorisés, T1 et T2.

décodage

La carte est lue : l'information qu'elle contient, codée sur huit bits, est présente aux sorties de nos deux registres réunis en un seul. Nous allons maintenant la traiter c'est-à-dire forger la serrure qui y corres-

pond. Pour cela rendez-vous à la figure 7, sur la droite, à l'opérateur OU-NON (NOR) à huit entrées. La sortie d'un tel opérateur logique est à zéro si l'une au moins des entrées est à un. Si toutes les entrées sont à zéro, et dans ce cas seulement, la sortie de l'opérateur est à un. C'est l'état dans lequel nous la voulons. Pour l'obtenir, il suffit d'établir les bons ponts entre ses entrées et huit des seize sorties, inversées ou non, du registre. Il faut, en fait, s'arranger pour que TOUTES les lignes d'entrée de N7 soient basses QUELLE QUE soit la configuration de 0 et de 1 à la sortie du registre à décalage après la lecture de la carte. Autrement dit, il faut disposer les ponts d à k de telle sorte que les 0 en sortie du registre à décalage soient transmis tels quels, mais que les 1 soient inversés. Pour la carte de la figure 1, dont le code est 10010010, l'inversion des niveaux haut est obtenue en reliant k' , h' et e' à \bar{k} , \bar{h} et \bar{e} . Les autres entrées de N7 sont bien sûr reliées aux sorties directes du registre IC2, k correspondant au premier bit lu et d , au dernier (figure 7).

opérateur

La lecture d'une carte contenant le code fait donc passer la sortie de N7 à l'état haut et celle de l'opérateur ET-NON qui suit à 0. Ce niveau bas

appliqué sur l'entrée S (broche 12) de la bascule RS à ET-NON (N10, N11) met sa sortie à 1 jusqu'à ce que l'entrée R (broche 2 de N9) de remise à zéro passe elle-même à zéro. La bascule commande le déblocage du darlington de sortie T3, qui se saturre et permet au courant d'alimenter la bobine du relais. La lueur de la LED D2 témoigne, en sus, que le code de la carte coïncide avec celui du circuit. Ce que commande le relais est laissé à l'imagination de l'utilisateur, qui peut en relier les contacts à l'ouvre-porte d'une serrure électrique, par exemple.

remise à zéro

Le darlington est passant aussi longtemps que la bascule RS n'a pas été remise à zéro, par un zéro appliqué sur son entrée R (broche 2 de N11). C'est la troisième et dernière "rangée" de la carte-clé qui permet de fabriquer ce zéro. Cette bande ne contient qu'un pavé, le pavé de ponctuation, avons-nous dit, lu par la cellule IC8 et traduit en impulsion par A4. Cet amplificateur est câblé différemment de A1 et A2. Les entrées inverseuse et non inverseuse sont interverties de telle sorte que le comparateur produise un niveau haut lorsque le capteur a vu un pavé noir, au lieu d'un zéro comme A1 et A2.

liste des composants

R1, R5, R9 = 470 Ω

R2, R6, R10 = 15 k Ω

R3, R7, R11 = 100 k Ω

R4, R8, R12 = 2,2 M Ω

R13, R15, R18 = 22 k Ω

R14, R16 = 10 k Ω

R17 = 270 Ω

C1 à C4 = 100 nF

C6 à C8 = 100 nF

C5 = 10 μ F/40 V

D1 = 1 N 4148

D2 = LED rouge

T1, T2 = BC 550

T3 = BC 517

IC1 = LM 324

(quadruple amplificateur opérationnel de faible puissance)

IC2 = 4015

(double registre statique à décalage sur 4 bits ;
convertisseur série-parallèle)

IC3 = 4069

(sextuple inverseur)

IC4 = 4078

(opérateur OU-NON à huit entrées)

IC5 = 4011

(quadruple opérateur ET-NON
à 2 entrées)

IC6 à IC8 = SFH 900

(optocoupleur à réflexion)

1 relais 9 V

3 plaques d'expérimentation de format 1(*)

Matériel pour le lecteur (*)

(*Voir le texte

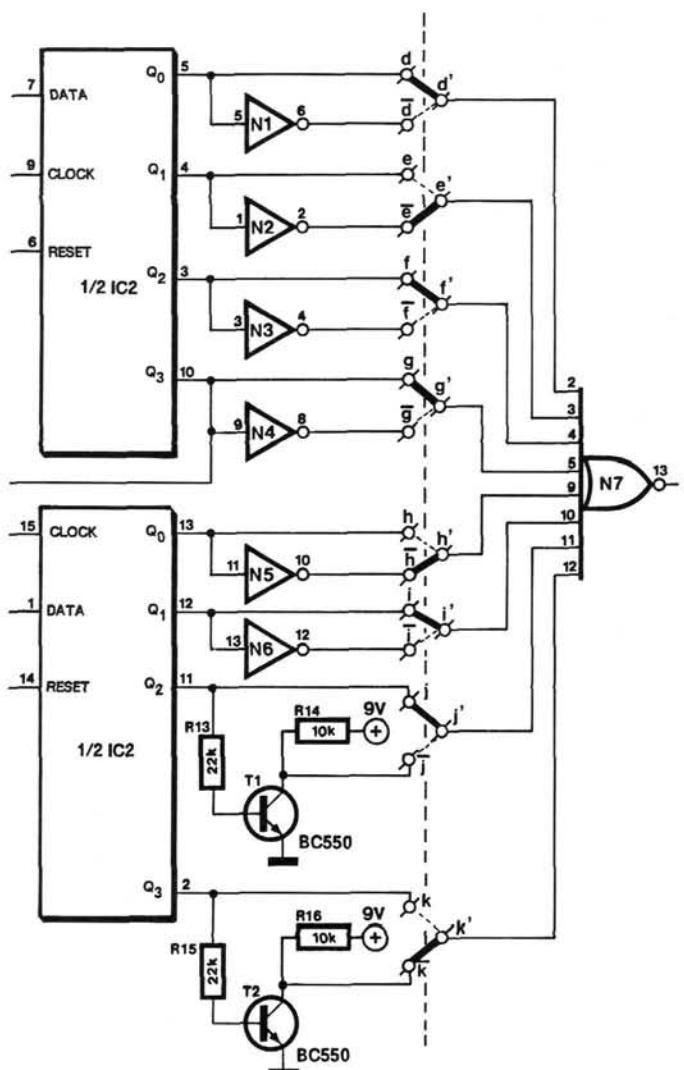


Figure 7 - La position des ponts k à d (k correspond au premier bit du mot de code) pour que le circuit réponde à la carte de la figure 1.

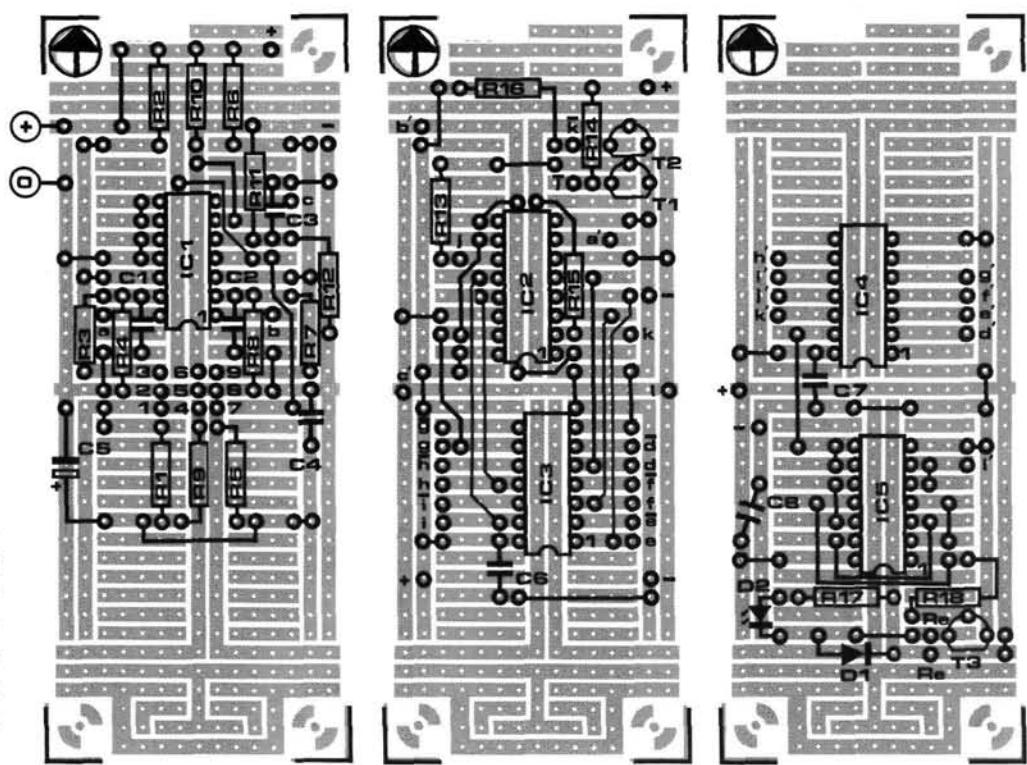
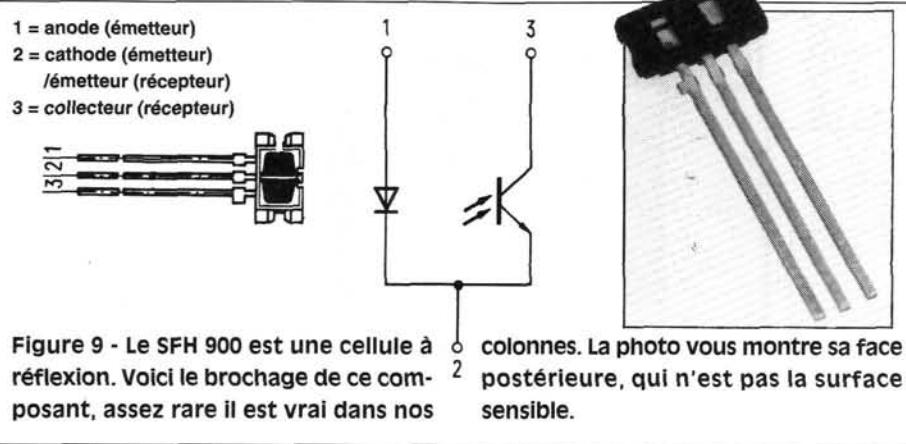


Figure 8 - Le circuit, à l'exception des capteurs et de l'agent d'exécution (le relais) tient sur trois plaques d'expérimentation de format 1. Chaque plaque contient une des portions délimitées par des pointillés sur la figure 3.



L'impulsion de remise à zéro concerne aussi bien directement les sorties du double registre qu'elle attaque sur les broches 6 et 14, que, par l'intermédiaire de l'inverseur N9, la bascule de commande du relais. Lorsque la lecture de la carte est terminée, le circuit est à nouveau prêt à recommencer.

trois platines

Un montage de cette importance ne tient évidemment pas sur une seule plaque d'expérimentation. Comme vous le voyez sur la figure 8, il en faut trois. Ces trois surfaces correspondent aux portions délimitées par des pointillés de la figure 3. Il est possible, comme le montre la photo du prototype, d'utiliser deux plaques d'expérimentation, de format 1 et 2 respectivement, à condition de ne pas oublier de couper les pistes au milieu de la plaque double. La chose vaut aussi pour l'implantation des composants sur une seule plaque de format 3, où les coupures individualiseront trois modules de format 1. Effectuer les coupures après le câblage, est permis, quoique dangereux. Si certaines liaisons facilitent en effet les relations entre les différentes parties, d'autres sont plus problématiques.

Pour le reste, la construction est assez simple. Si vous respectez l'implantation que nous proposons, sans oublier les ponts de fil, il n'y a pas de raison que ça cafouille.

Les derniers contrôles effectués (soudures collées, liaisons mal-tà propos...) les trois modules peuvent être reliés entre eux et le code "entrée" au moyen de ponts de fils entre IC4 et IC2 ou IC3 (aux entrées ou aux sorties de IC3, suivant qu'une inversion est ou non nécessaire) du point d au point k. Il est conseillé, pour commencer, de suivre le modèle de la figure 7 et de reproduire la figure 1 qui y correspond.

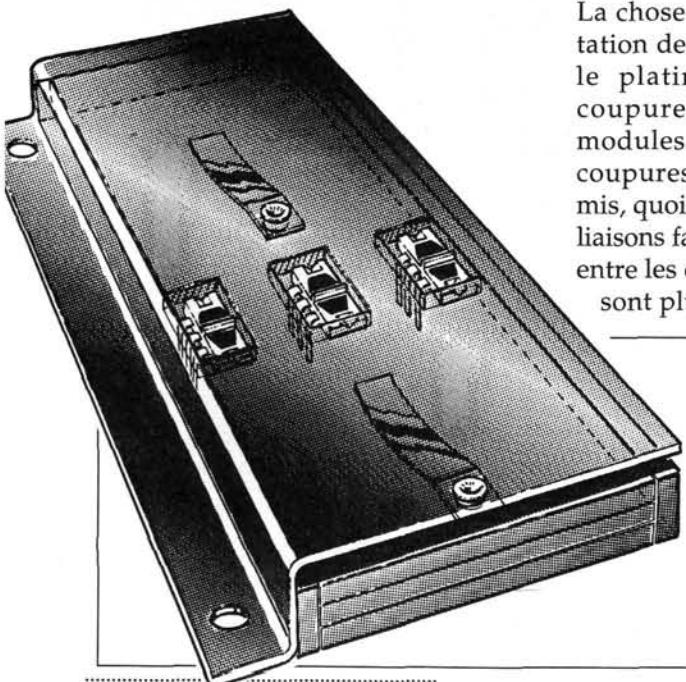
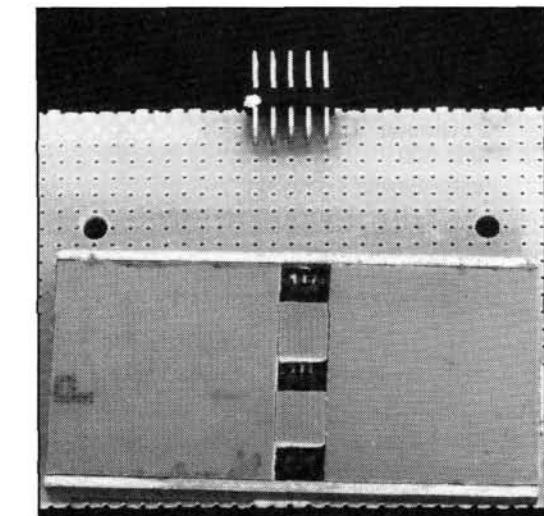
construction du lecteur

Il est temps de parler du lecteur de carte : de "percer" le trou de la serrure. Ce n'est heureusement pas très difficile, quoique cela fasse appel aux qualités (innées mais inégalement développées chez tout un chacun) de mécanicien serrurier.

Commençons par le capteur, cellule à réflexion que nous n'avons pas encore rencontrée dans ELEX. Vous trouverez le brochage et la photo du SFH 900 (il existe d'autres types de cellules à réflexion) sur la figure 9. Les deux représentations que nous en donnons permettent de distinguer la face active et ses deux surfaces lisses et brillantes (9a), de la face postérieure (9b), plus métallique.

Voyons maintenant le lecteur dans son ensemble. Il est constitué de trois plaques de câblage de 6 cm sur 3 cm, d'une plaque d'aluminium de 6 cm sur 6 cm, d'une plaque de fixation (plaqué d'essai pastillé, par exemple) et de colle (colle à deux composants, colle au cyano-acrylate...) vis, écrous, entretoises etc. Vous

Figure 10 - La construction mécanique du lecteur doit être réalisée avec soin. Il y a trois plaques : la plaque inférieure, percée pour permettre le passage des broches qui seront soudées sur une quatrième plaque pastillée, et les deux plaques supérieures, permettant de régler la distance des capteurs à la carte. La tôle d'aluminium, qui permet de voir, par transparence sur notre dessin, la face sensible des capteurs, est pourvue de deux ressorts (visibles aussi par transparence). Ces ressorts évitent à la carte des déplacements verticaux nuisibles à la lecture. Il ne faut évidemment pas que la tôle soit transparente !



pratiquerez sur une des trois plaques de câblage trois entailles pour le passage des broches des capteurs (attention aux courts-circuits). La **figure 10** servira de modèle et la carte de la **figure 1** permettra de déterminer leur position : il faut bien sûr que les pavés noirs passent devant les capteurs. Quand ceux-ci sont bien positionnés, on les fixe provisoirement avec du ruban adhésif. Puis on règle la distance entre leur surface sensible et celle sur laquelle circule la carte. La distance optimale est de 1 mm, on perce donc les deux plaques de câblage restantes de trois trous aux dimensions des capteurs. Avec un peu de chance, lorsque ces plaques sont posées autour des cellules, la face sensible de celles-ci est à 1 mm du bord de la plaque supérieure. Si la distance est plus grande, on rehausse un peu les composants pour la diminuer, puis on colle. Cet empilement, dans lequel les capteurs sont inclus, est à son tour posé sur une plaque solide. Utilisez de préférence une plaque pastillée sur laquelle vous soudez les broches des cellules et le connecteur du câble reliant le lecteur au reste du circuit. Pour terminer, pliez une tôle d'aluminium aux dimensions de l'ensemble à la façon dont la **figu-**

re 10 le représente (ne cherchez pas d'aluminium transparent comme notre dessinateur !). La tôle doit laisser, entre elle et la plaque qu'elle protège, un espace suffisant pour que la carte y glisse facilement. Deux lames de ressort peuvent d'ailleurs maintenir cette dernière appliquée de façon que sa distance aux capteurs reste constante. Si vous êtes vraiment perfectionniste, pour appliquer la carte, utilisez des rouleaux, et pourquoi pas, un moteur, commandé par une cellule à fourche, les entraînant à vitesse constante.

la carte

Nous avons déjà beaucoup parlé de la carte, de l'information qu'elle contenait, de son alphabet (qui compte deux lettres, 0 et 1), du **logiciel** (*software*) en somme. C'est du concret, non ? Est-ce **matériel** ? Pas au sens où les informaticiens utilisent ce mot : ce n'est pas *hard*, dur, comme ce dont nous allons parler maintenant, le matériel, *the hardware* (cf. l'ancien français *hardir*, rendre, devenir dur). Dur, c'est le cas de le dire, la carte doit tenir le coup et pour cela, être en carton fort, ou mieux, en plastique ou en métal. Sur ce support on peut

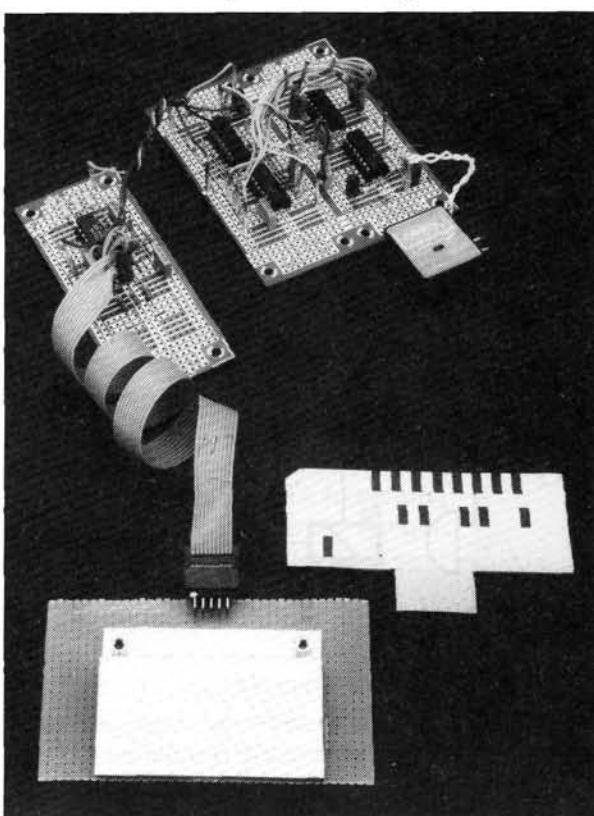
coller un papier clair qui réfléchisse bien la lumière, le *chromo-lux* convient parfaitement (disponible chez le papetier du coin). Si vous utilisez une carte métallique dont la surface est polie, vous pouvez éventuellement vous en passer. Les pavés noirs sont réalisés en ruban adhésif noir mat, les crayons qu'ils soient feutres, gras ou à bille ne conviennent pas. On obtient certes de belles bandes noires, mais elles réfléchissent trop et la différence avec les taches blanches n'est pas suffisante. Pour la largeur des bandes servez-vous des indications de la **figure 1**. Pour les essais, il suffit de recopier directement les lignes d'horloge et de remise à zéro, voire la ligne de données, si vous codez le circuit comme sur la **figure 7**. Dans tous les cas, respectez les cotes de la **figure 1** (largeur des pavés et distance entre la fin d'un pavé noir de la ligne d'horloge et le début d'un pavé de code).

Si vous éprouvez des difficultés pour la fabrication de la carte, essayez avec une photocopie de la **figure 1**, quoique le résultat ne soit pas garanti. La qualité du papier et celle du lecteur ont en effet une grande importance.

pour finir et avant de commencer

Avant que vous ne vous mettiez en chantier, il ne nous semble pas inutile de vous mettre en garde. Le prototype a fini par donner satisfaction, après de sérieuses difficultés pour fabriquer un lecteur fiable : la mécanique et l'électronique qui environnent les capteurs et IC1 ont été la cause de quelques soucis, c'est le moins que l'on puisse dire. En effet, si les impulsions ne sont pas produites au bon moment, les sorties du registre prennent des valeurs qui ne sont pas les bonnes et N7 ne voit jamais le code. C'est pourquoi nous attirons une dernière fois votre attention sur le caractère expérimental d'une telle réalisation dont par conséquent il ne faut pas trop attendre en pratique.

87707



système

K

le multivibrateur bistable

pourquoi ?

Une bascule RS réalisée en composants discrets, garantie sans aucun circuit intégré.
Comme nous l'avons annoncé dans l'épisode précédent, nous nous intéressons aujourd'hui à la bascule bistable. À l'heure actuelle, cette fonction est presque toujours remplie par des circuits intégrés, des portes NON-OU (NOR) ou NON-ET (NAND). Tout comme pour la bascule astable, nous cherchons à mieux comprendre la fonction en réalisant une bascule discrète, c'est-à-dire construite avec des transistors au lieu de circuits intégrés.



L'habitant des lieux est le seul à pouvoir, de l'intérieur, appuyer brièvement sur un deuxième bouton qui ramène la sonnette au silence. Rien de compliqué non plus pour remplacer la pollution sonore par un voyant lumineux plus discret. Notre bricoleur est certes quelqu'un d'astucieux, mais il est à plaindre : il ne connaît rien aux semi-conducteurs, et il va bricoler son montage avec un relais. Voyons comment fonctionne cette bascule à relais, représentée en figure 1.

Une pression sur le bouton alimente la bobine du relais et la sonnette prise en parallèle. Le « truc » est de câbler le contact du relais en parallèle sur le poussoir S1. Après une pression sur le bouton, peu importe que le doigt reste ou non, le relais s'alimente lui-même par son contact. On parle de relais auto-entretenue. La seule façon de changer l'état du montage est d'ouvrir le circuit de la bobine par une pression sur le poussoir à ouverture S2. Comme le courant ne circule plus à travers

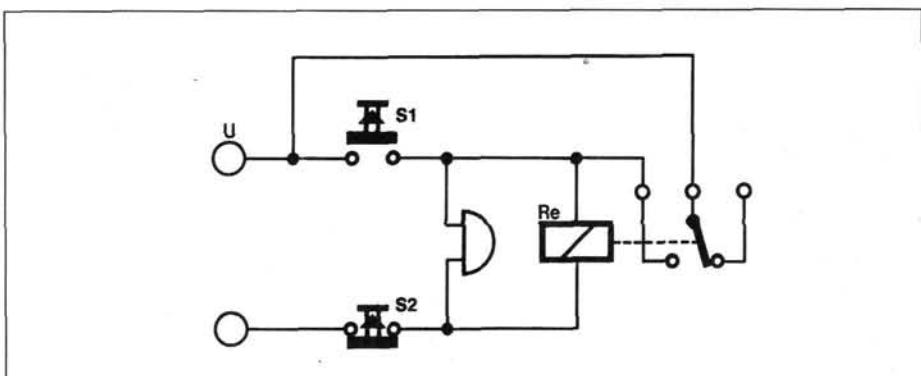


Figure 1 - Un relais permet de construire un circuit auto-entretenue simple : le contact est câblé en parallèle sur le poussoir. Lors du relâchement de S1, l'ensemble reste alimenté par le contact du relais, en position travail.

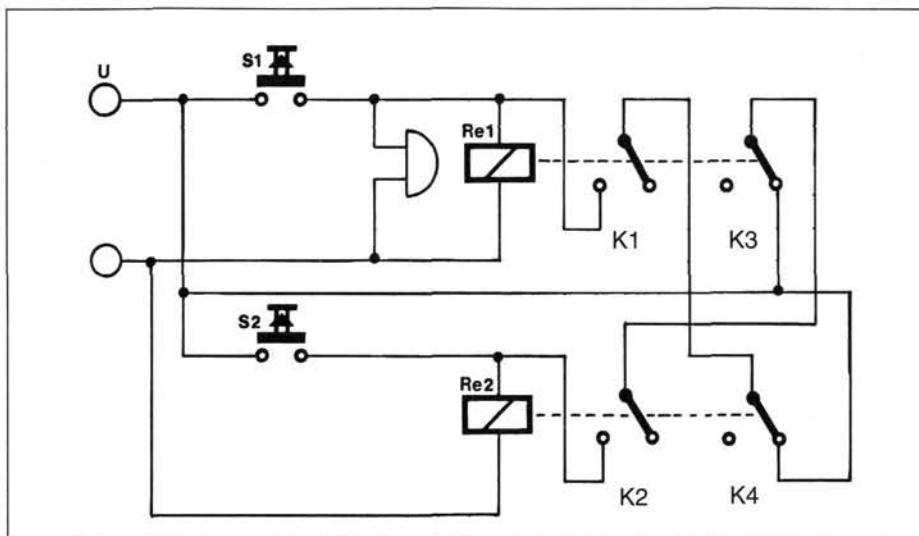
Figure 2 - Les deux parties de ce montage sont exactement équivalentes, à la sonnette près. Une pression sur un des poussoirs actionne le relais correspondant et relâche l'autre.

cause fugitive, effet permanent

la bobine, le contact est relâché. Une pression supplémentaire sur S2, ou dix, ou cent, ne peut rien changer, il faudra une pression sur S1 pour remettre en fonction la sonnette et le relais. La remarque la plus importante sur ce montage est qu'une action brève, sur S1 ou S2, suffit à changer durablement l'état du circuit.

doigts et niveaux logiques

Les poussoirs de la figure 1 sont actionnés au doigt. Le doigt de l'électronique est le courant. Nous allons donc remplacer les interrupteurs et les doigts par des transistors, qui sont capables de faire circuler du courant à la demande. Nous les avons déjà comparés à des interrupteurs dans le dernier épisode : au lieu de la pression d'un doigt, c'est un courant de base qui les rend conducteurs. Ce courant circule si la tension a atteint une valeur minimale que nous appelons le niveau logique 1. Toujours dans le schéma de la figure 1, il existe deux sortes de contacts : l'un, ouvert au repos, est dit à fermeture ; l'autre, fermé au repos, est dit à ouverture. Les électromécaniciens et automaticiens ont l'habitude de ces contacts O ou F, toujours disponibles sur les relais et les auxiliaires d'automatisme. Les électroniciens, quant à eux, préfèrent ne travailler qu'avec des contacts identiques, à fermeture. Si nous devions réaliser le circuit de la figure 1 sans poussoir à ouverture, la fonction de S2 devrait être remplie par des contacts de relais supplémentaires. Le schéma serait celui de la figure 2. Les deux poussoirs sont à fermeture, mais le relais est maintenant flanqué d'un deuxième, et tous les deux sont à deux contacts inverseurs (K1 et K3, K2 et K4). Si on fait abstraction des contacts K3 et K4 supplémentaires, il ne s'agit que d'une répétition du montage de la figure 1. En fait, chacun des relais a un de ses contacts pris en série dans le circuit de la bobine de l'autre,

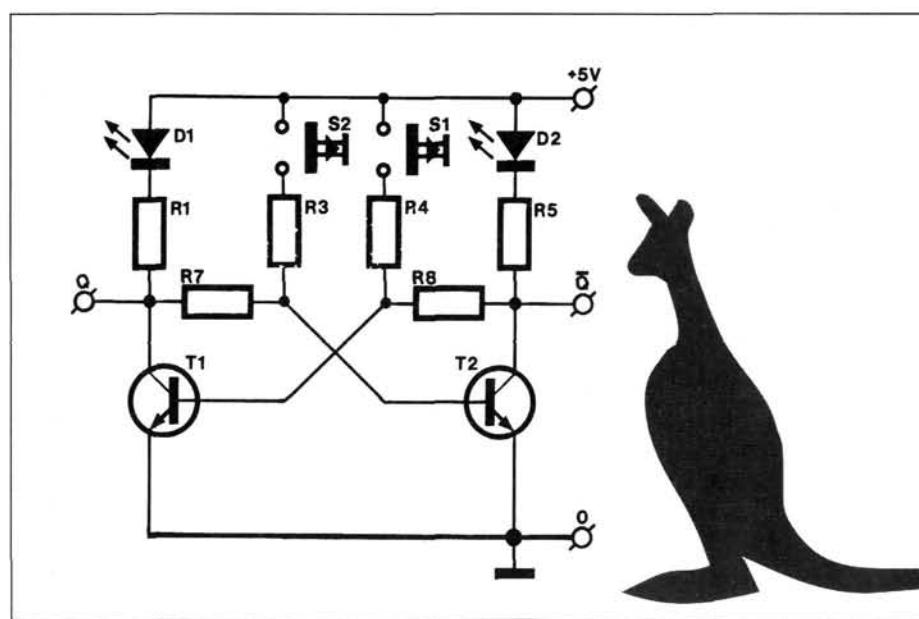


comment ?

ce qui leur interdit d'être actionnés tous les deux en même temps, puisque chaque fois qu'un relais est actionné, il désactive l'autre. Ce couplage croisé ressemble à celui des transistors du multivibrateur astable du dernier épisode. Rien d'étonnant à ce que le montage à transistors qui remplacera ces deux relais prenne l'aspect que nous lui voyons sur la figure 3. Le schéma ne comporte pour l'instant que les composants strictement nécessaires au fonctionnement en bascule bistable. Nous verrons qu'il en faut encore d'autres. Cette bascule peut être mise à un, ce qu'en anglais on appelle *set*, ou remise à zéro, *reset*. Elle s'appelle donc bascule RS, et ce sont les lettres R et S qui désignent les entrées.

Le transistor, dans ces montages de bascules, est toujours utilisé comme un commutateur, qui remplace les contacts de relais. Le contact est fermé, c'est-à-dire que le courant passe par l'espace collecteur-émetteur, quand une tension de 0,7 V au minimum est appliquée à la base. Dans cet état, si le courant de collecteur n'est pas excessif, on peut considérer que la tension de collecteur est nulle. Dans l'état bloqué, la tension de collecteur est égale, à un poil près, à la tension d'alimentation. Voilà donc défini le rôle de T1 et T2 : ce sont deux interrupteurs. La tension de chaque collecteur est appliquée par une résistance (R7 et R8) à la base du transistor opposé. Supposons T1 conducteur. La tension de son collecteur est basse, trop basse pour faire conduire T2. Comme ce transistor-ci

Figure 3 - Version simplifiée d'une bascule RS à transistors. La platine proposée correspond à cette version minimale quand aucun des ponts en fil n'est mis en place.



est bloqué, la tension de son collecteur, même déduction faite du seuil de tension de la LED, est suffisamment haute pour faire conduire T1. Nous avons donc bien fait de supposer T1 conducteur, car il l'est. Pour changer cet état de choses provisoirement immuable, nous appuyons sur S2 : la base de T2 est portée au potentiel de l'alimentation par R3. La tension de collecteur de T2, qui conduit à présent, s'effondre, de sorte que T1 se bloque. Une fois T1 bloqué, la tension de son collecteur augmente suffisamment pour faire conduire T2, même si nous relâchons S2. Le circuit a basculé : c'est le deuxième transistor qui se substitue à l'action manuelle pour bloquer T1. Les niveaux logiques sur les collecteurs des transistors sont inversés ; ils resteront dans cet état jusqu'à ce qu'une

de la bascule RS au diviseur de fréquence

pression sur S2 les inverse à nouveau. Comme le montage est parfaitement symétrique, l'appellation R ou S des entrées est indifférente. Dans la pratique, on n'utilise le plus souvent qu'une des deux sorties symétriques ; on repère alors les entrées comme suit : celle qui provoque la mise à 1 de la sortie utilisée est dite Set, celle qui la remet à zéro est dite Reset. Dans les recueils de caractéristiques, les entrées sont désignées par SET et RESET. La barre qui coiffe les symboles (lisez "set-barre") indique que l'entrée est active au niveau bas. La première application de la bascule RS, mémoriser des états logiques fugitifs, n'est pas la seule. Pour mettre en pratique une autre application, nous allons compléter le

schéma, c'est-à-dire mettre en service les composants qui étaient restés isolés jusqu'ici. Les deux entrées vont être réunies pour n'en faire qu'une. Le montage fonctionne maintenant comme l'interrupteur d'une lampe de chevet : la première pression allume la lampe, la deuxième l'éteint, et ainsi de suite. La figure 4 montre l'état de la lampe au fur et à mesure que se succèdent les pressions sur le bouton : les mouvements du bouton sont deux fois plus nombreux que les changements d'état de la lampe. Si nous considérons la cause et l'effet comme des signaux périodiques, la division par deux de la fréquence est évidente.

Cette division de fréquence est possible aussi avec notre bascule bistable.

Figure 4 - Un interrupteur de lampe de chevet utilisé comme diviseur de fréquence. L'installation des ponts en fil donne les mêmes propriétés à notre platine d'essais.

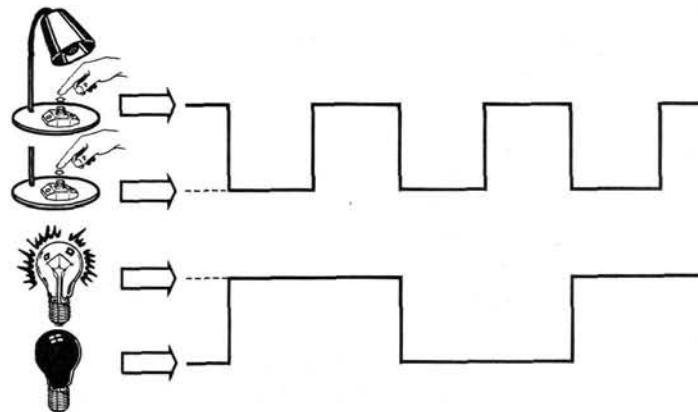


Figure 6 - Le circuit complet, avec la conversion du bistable en diviseur par 2.

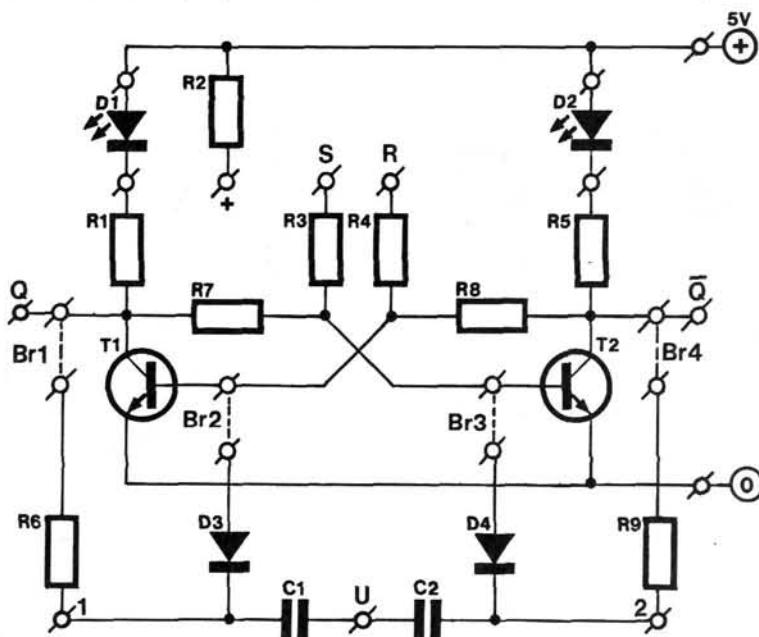
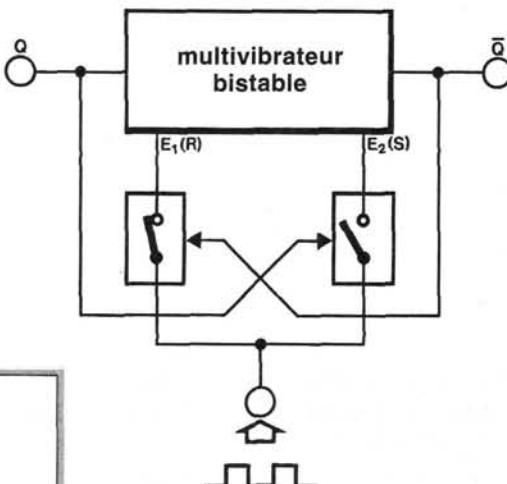


Figure 5 - La transformation théorique du multivibrateur bistable en diviseur par 2. La sortie active ferme un interrupteur qui conduira le signal d'entrée à la base du transistor opposé.



liste des composants

R1,R5 = 220 Ω
R2,R6,R9 = 4,7 k Ω
R3,R4,R7,R8 = 10 k Ω

C1,C2 = 1 nF

D1 = LED rouge
D2 = LED verte
D3,D4 = 1N4148

fiches bananes et picots à souder

Il suffirait pour cela d'ajouter un inverseur, commandé par les sorties, qui changerait à chaque fois l'entrée vers laquelle est dirigée l'impulsion suivante (**figure 5**). Nous avons adopté une solution plus simple (**figure 6**) : les diodes connectées aux bases des transistors sont orientées de telle façon qu'elles ne peuvent conduire du courant que vers la masse. Une impulsion négative sur la cathode peut faire basculer le circuit puisqu'elle bloque le transistor correspondant. Cette impulsion négative est sans effet sur celui des transistors qui est déjà bloqué. Une impulsion positive sur les cathodes est sans effet aucun puisque la diode ne laisse pas passer de courant dans ce sens-là. Les résistances entre les collecteurs et les cathodes (R6 et R9) servent à fixer le potentiel des diodes en l'absence de signal d'entrée.

Pour comprendre le fonctionnement, nous allons faire une supposition, comme dans le cas précédent. Nous considérons T1 conducteur, sa tension de collecteur est nulle, ou assez basse pour être considérée comme un niveau logique bas, transmis à la cathode de D3 par R6. L'anode voit une tension de 0,6 à 0,7 V, correspondant au seuil de la jonction base-émetteur. La diode D3, polarisée ainsi, est donc conductrice. L'autre transistor, T2, est bloqué ; sa tension de collecteur est à peine inférieure à la tension d'alimentation.

La cathode de D4 est portée par R9 au même potentiel que le collecteur de T2 tandis que son anode est portée au potentiel de la masse par R7 : la diode D4 est donc bloquée.

Le front descendant d'une impulsion d'entrée appliquée au point U sera transformé par les condensateurs C1 et C2 en une courte impulsion de tension inférieure à celle de la masse. Cette impulsion de tension négative est appliquée aux deux cathodes. Puisque D4 est bloquée, l'impulsion n'a pas d'effet sur elle. Par contre, comme D3 est polarisée en sens passant, et que nous appliquons une tension négative à sa cathode, l'impulsion sera transmise à la base de T1. La tension de la base sera « tirée » en-dessous du seuil de 0,6 V, T1 va se bloquer et le circuit basculera. Comme le circuit a basculé, les rôles de T1 et T2 sont inversés. La prochaine impulsion provoquée par un front descendant à l'entrée bloquera T2 et fera entrer T1 en conduction. Les diodes font que les fronts montants, ou impulsions positives, restent sans effet sur le circuit.

Il ne resterait pas grand chose de toute cette théorie si elle ne s'appuyait pas sur un peu de pratique. Pour expérimenter avec votre platine câblée conformément à la **figure 7**, commencez par l'enficher sur la platine de base équipée de l'alimentation 5 V décrite dans le n°39 de décembre 1991. Lais-

sez de côté pour l'instant tous les ponts en fil. L'une des deux LED s'allume, rien ne permet de prévoir laquelle. Vous pouvez maintenant faire basculer le montage, c'est-à-dire allumer l'autre LED, en raccordant brièvement à la masse l'une des entrées (R ou S). Quand vous aurez mis en évidence ce fonctionnement, vous pourrez connecter les ponts en fil et un interrupteur à l'entrée U pour faire fonctionner la bascule en diviseur de fréquence. La source de signaux sera par exemple la platine à multivibrateur astable du mois dernier : vous obtiendrez sur la platine de division un clignotement de fréquence deux fois plus basse que celle du multivibrateur astable.

Appliquez à l'entrée le signal à 100 Hz que délivre accessoirement l'alimentation 5 V. Le clignotement des LED est trop rapide pour être visible mais vous le rendrez audible en connectant à une sortie l'un ou l'autre amplificateur muni d'un haut-parleur (comme celui du n°38 de novembre). Vous pourrez entendre un son à 50 Hz en sortie, à 100 Hz en entrée.

Le prochain épisode nous permettra de montrer comment combiner entre elles quelques-unes des platinas du système K, pour construire des circuits plus compliqués.

86724

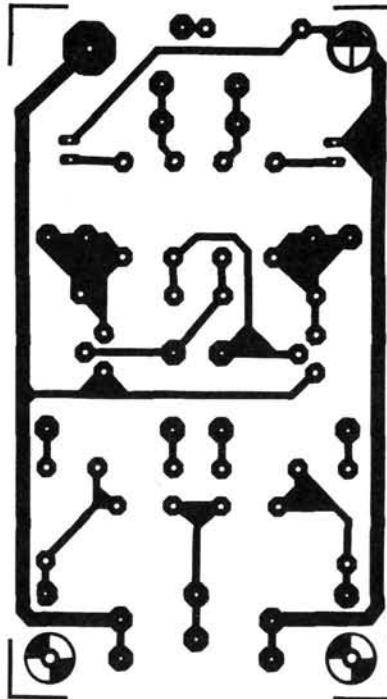
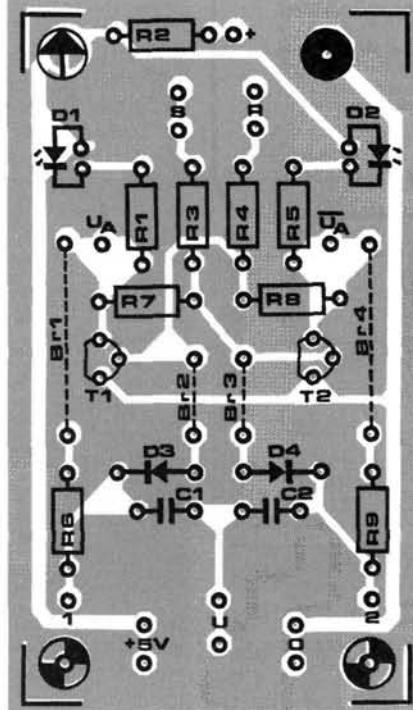
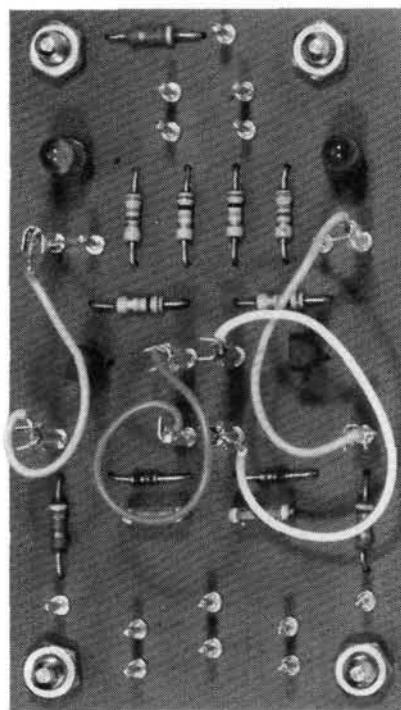


Figure 7 - Le circuit imprimé et le câblage du multivibrateur bistable. Les ponts en fil sont représentés par des pointillés.

CATALOGUE KITS 92-93

Electronique - Diffusion

R.C. ROUBAIX B 378 280 978

SA CAPITAL 1.500.000 F

Parce qu'il faut un début à tout...



70F

DISPONIBLE CHEZ
ELECTRONIQUE DIFFUSION
15, RUE DE ROME
59100 ROUBAIX - TEL. 20.70.23.42

100 KITS ELECTRONIQUES
Faciles et amusants (Suite)