

électronique

n°57

juillet 1993

23 FF/168 FB/8,20 FS

mensuel

elet

**terre, masse, zéro :
le retour**

**le calcul des
composants**
(suite)

**connaître
et utiliser
l'oscilloscope**
(suite)

explorez l'électronique

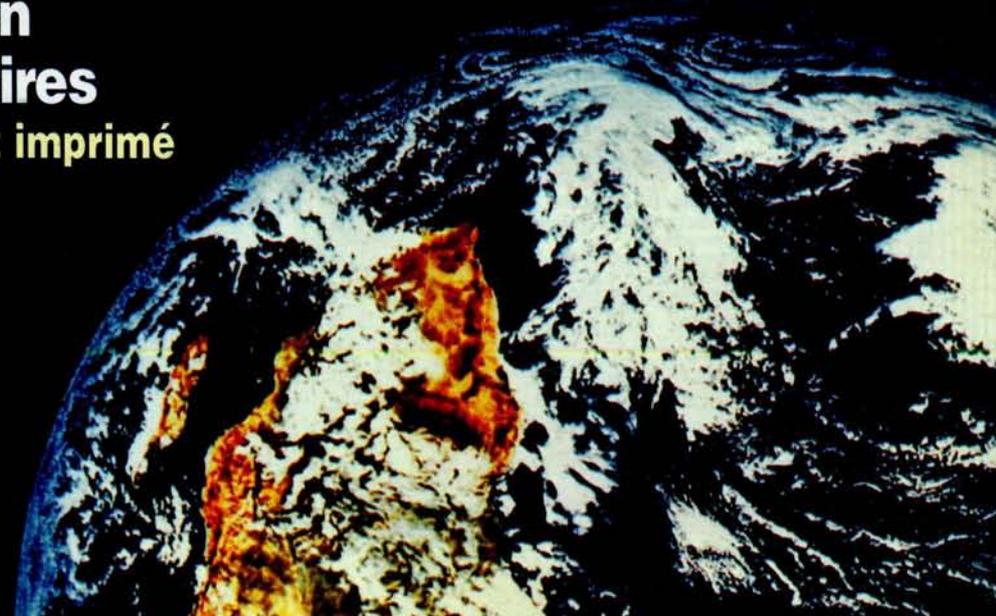
mini-enceintes actives pour baladeur :

le caisson de graves

avec dessin de circuit imprimé

**mini-alimentation
à panneaux solaires**

avec dessin de circuit imprimé



M2510 - 57 - 23,00 F



VIDEO

CABLE PERITEL PROFESSIONNEL

Ce câble est le seul permettant d'exploiter toutes les possibilités de la prise péritelvision, en particulier sur les magnétoscopes de dernière génération et les lecteurs laser disc video qui sortent en RVB. Les coax et blindés sont à blindages séparés
- 6 coax 75 Ω vidéo
- 4 blindés BF
- 4 tensions de commutation

Le mètre 101.3415 37,94F HT 45,00F TTC
les 10 m 101.3417 303,54F HT 360,00F TTC

PLUS QUE JAMAIS ETONNIFIANT !

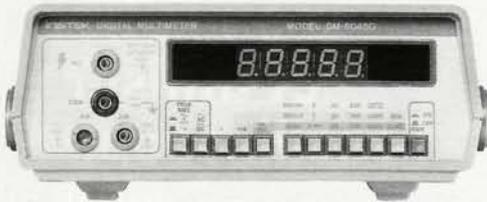
- 1 x quartz 3,2768 MHz - 4 x DL-470
- 1 x cordon spécial péritelvision - 1 x 68705
- 1 x alim secteur 12 V - 1 x quartz 4,000 MHz

L'ensemble 101.3298 119,00F TTC
Par 10 seulement 115,00F TTC

MESURE

MULTIMETRES PROFESSIONNELS DE LABO
La haute précision devient vraiment abordable !

DM-8045 G

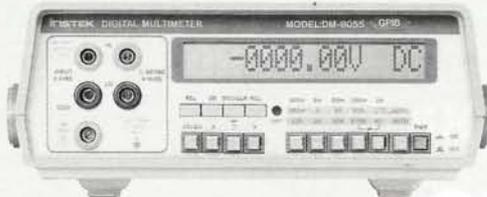


20.000 points / 4 1/2 digits

- * 6 fonctions : DCV, ACV, DCA, ACA, W, et test de diodes.
- * Mesures en EFFICACE VRAI (true RMS) en alternatif ou DC+AC
- * Précision de base : 0,03%
- * Mesure jusqu'à 1200 V et 20 A
- * Zéro automatique
- * Circuit de protection sur toutes les gammes
- * Haute résolution : 10 µV, 10 nA, et 0,01 Ω
- * Affichage LED de 13 mm

DM-8045G 101.5580 2445,19F HT 2900,00F TTC

DM-8055



Multimètre 7 fonctions / 200.000 points (5 1/2 digits) intelligent

- * Précision de base : 0,006% !
- * Mesure des résistances en 2 ou 4 fils
- * Mémoire des MAX / MIN
- * Mesures automatiques à intervalles programmables
- * Mesures relatives
- * Mesure des dBm
- * Changement de gamme automatique ou manuel
- * Haute résolution : 1 µV, 1 mΩ, 1 nA
- * Affichage LCD 13 mm

En option: Interface IEEE-488

DM-8055 101.5582 5269,81F HT 6250,00F TTC
Interface IEEE 101.5583 1475,55F HT 1750,00F TTC

Pour ces 2 appareils, documentation détaillée en français sur simple demande

MIC-39



TRUE RMS
696,00F TTC

La version EFFICACE VRAIE du célèbre MIC-37 !
Mêmes performances et même qualité que notre MIC-37 mais mesures en mode efficace vrai (TRUE RMS) en alternatif.

MIC-39 101.3943 586,85 F HT 696,00 F TTC

3616 SELECTRO

Voilà le code d'appel du serveur Minitel SELECTRONIC. Il vous offre :
- un service d'assistance et de renseignements techniques
- les dernières nouveautés et promotions
- des informations, des petites annonces classées Etc...
- TELECHARGEZ UN ASSEMBLEUR 68705 POUR PC
- TESTEZ VOS CONNAISSANCES EN ELECTRONIQUE ET GAGNEZ UN SUPERBE MULTIMETRE !



Selectronic
CATALOGUE GENERAL



TOUT LE RESTE SE TROUVE DANS LE
CATALOGUE GENERAL SELECTRONIC 1993
Envoi contre 25.00 F en timbres-poste

LA PROMO DU MOIS

FIATLUX

(Voir notre catalogue page 13/19)

Système miniature d'allumage de lampes à détection de passage infra-rouge, pour minuteries, etc...
800 W max.
Dimensions : 85x56x35 mm
Kits fournis avec boîtier percé

Version murale 102.9346 220,00F 165,00 F TTC
Version plafonnier 102.9353 230,00F 172,50 F TTC

DIODE LASER

TOLD-9200 TOSHIBA

Puissance optique utile : 2 mW / 3 mW max
Livrée avec fiche individuelle de paramètres.
Sans optique de collimation.

TOLD-9200 102.7968
PRIX SPECIAL 379,43F HT 450,00 F TTC



ALIMENTATIONS

ALIMENTATION A DECOUPAGE POUR PC

Superbe bloc d'alimentation de puissance pour PC, CB, ou toute autre utilisation.
Avec ventilateur de refroidissement et connectique normalisée PC

ENTREE : 115 / 220 V - 50 Hz
SORTIES : + 5 V / 20 A
+ 12 V / 12 A
- 12 V / 1 A

Dimensions : 15 x 14 x 24 cm
Poids : 3 kg

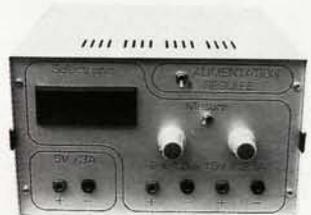
Le bloc 101.4129
PRIX FOU ! 109,19F HT 129,50F TTC



ALIMENTATION MULTI-TENSIONS ECONOMIQUE

2 sections variables 1,5 à 15 V / 2,5 A
1 sortie 5 V / 3 A
Toutes sorties flottantes permettant la mise en série ou parallèle.
(30 V / 2,5 A ou 15 V / 5 A)
De qualité professionnelle et spécialement conçue pour l'enseignement, l'amateur, le labo, etc...

Le kit complet avec face avant autocollante gravée et boîtier 101.7225 666,10 F HT 790,00 F TTC



ALARME



MODULES OPTIONNELS POUR TOUT SYSTEME D'ALARME

PA-1 EMETTEUR-RECEPTEUR CODÉ POUR TÉLÉ-ALARME.

- Vous prévient à distance d'une tentative de vol sur votre véhicule (également utilisable sur alarme domestique)
- Utilisable sur toute centrale (pour CA-6000, nous demander le schéma d'adaptation)
- Alimentation : 12 V continus
- Portée : environ 3 km (selon antenne et environnement)



PA-1 101.4470 581,79 F HT 690,00 F TTC

ST-1 ANTENNE "STRIP-LINE"

Spécialement étudiée pour le PA-1, si vous n'avez pas ou ne désirez pas utiliser l'antenne de votre auto-radio. Montée sur support auto-collant 3M. Longueur 42 cm

ST-1 101.4510 71,67 F HT 85,00 F TTC

CS-01 SIRENE D'HABITACLE MODULEE

- Sirène pour tout véhicule et alarme domestique.
- Auto-alimentée par accu incorporé et auto-protégée.
- Alimentation : 12 V continus
- Se déclenche en même temps que l'alarme principale et sur tentative de sabotage.
- Son très perçant. Niveau sonore : 110 dBA à 1 m
- Dimensions : 11 x 7 x 4 cm



CS-01 101.4512 333,90 F HT 396,00 F TTC

MW-100 DETECTEUR HYPER-FREQUENCES

CE QUE VOUS ATTENDEZ POUR COMPLETER VOTRE INSTALLATION !

- IDEAL pour protéger les cabriolets, ou pour laisser ouvert une vitre ou votre toit ouvrant en été !
- Le RADAR ne sera pas déclenché par un courant d'air ou un changement de température, mais uniquement par une intrusion !
- Système à codage d'impulsions pour éviter les fausses alarmes.
- Alimentation 12 V continus
- Sortie de déclenchement négative (par mise à la masse)
- Compatible avec toute centrale (pour CA-6000, nous demander le schéma d'adaptation)



MW-100 101.4520 412,31 F HT 489,00 F TTC



VENTE PAR CORRESPONDANCE
B.P. 513 - 59022 LILLE CEDEX - TEL: 20.52.98.52 - FAX: 20.52.12.04

lecture

Rési & Transi : bande dessinée	4
Le calcul des composants : suite	6
Astuce : connecteur de fortune	8
« Alors, sagace ? »	12
terre, masse et zéro : le retour ?	17
Connaître et utiliser les fusibles	47
Petites Annonces Gratuites	16

au sommaire d'alex 57, juillet 1993

- 9 un indicateur de (sur-)régime pour l'auto
- 18 une oreille indiscreète
avec dessin de circuit imprimé !
- 22 une alimentation solaire
avec dessin de circuit imprimé !
- 28 un indicateur de balance stéréophonique
avec dessin de circuit imprimé !
- 32 un décodeur de tonalité
avec dessin de circuit imprimé !
- 36 un caisson de graves actif
avec dessin de circuit imprimé !
- 50 un interphone expérimental à un seul fil
avec dessin de circuit imprimé !
- 53 un circuit de protection de la batterie

réalisations

Annonceurs: AG ELECTRONIQUE p. 31 -
B.H. ÉLECTRONIQUE p. 35 - COMPOSIUM p. 35 -
J.REBOUL p. 31 -
LAYO FRANCE p. 35 - MAGNÉTIK FRANCE p. 55 - MEDELOR p. 19 -
MICROPROCESSOR p. 35 -
PUBLITRONIC pp. 60, 61 et 62 -
SÉLECTRONIC pp. 2, 61, 62, 63 et 64 -
TSME p. 31 - URS MEYER ELECTRONIC SA p. 31 -



LES BIDOUILLES DE

DIS DONC...

T'ES DRÔLEMENT FORT, TOI!

Moi? oui, BIEN SÛR! MAIS POURQUOI TU DIS ÇA?

ÇA FAIT 5 ANS QUE JE TE POSE DES QUESTIONS, ET TU ES TOUJOURS CAPABLE D'Y RÉPONDRE!

EH...EH... C'EST QUE J'AI TOUTE L'ÉQUIPE D'ELEX DERRIÈRE MOI

AH BON?

EH OUI. TOUT CE QUI EST ÉDITÉ DANS NOTRE BELLE REVUE A ÉTÉ CONÇU, PENSÉ, ÉTUDIÉ, CONSTRUIT, EXPÉRIMENTÉ DERRIÈRE CETTE PORTE. TU VEUX VOIR?

OEUF CORSE!

NOS LECTEURS SONT LOIN D'IMAGINER CE QUE REPRÉSENTE LE TRAVAIL EN AMONT DU REDACTEUR QUI ÉCRIT L'ARTICLE. ET TOI?

DOF! MOI, LE TRAVAIL... J'SUIS UN PEU HOLLANDAIS SUR LES BORDS...

D'ABORD, L'ÉQUIPE IMAGINE LE MONTAGE QUI VA ÊTRE DÉCRIT. PUIS, IL EST ÉTUDIÉ PAR LES TECHNICIENS DU LABO. THÉORIQUEMENT D'ABORD...



...PUIS, TECHNIQUEMENT ET "PHYSIQUEMENT" ENSUITE.

DIS DONC, ILS SONT VACHEMENT NOMBREUX!

Y'A PAS QU'UN SEUL ARTICLE PAR REVUE!

C'EST ÉGALEMENT ICI QU'ON CONÇOIT CES SUPERBES D'ESSAIS DE CIRCUITS IMPRIMÉS. (AUTREFOIS À LA MAIN, AUJOURD'HUI À L'ORDINATEUR) PUIS ON FABRIQUE DES PROTOTYPES ET ON LES TESTE.

...LA TOTALE, QUOI!

ILS SONT D'AILLEURS TESTÉS ET RETESTÉS! VOIRE SOUMIS À DES CONDITIONS EXTRÊMES. NOUS NOUS REFUSONS LE DROIT À L'ERREUR... DU MOINS ON ESSAIE.

ET ÇA VOUS RÉUSSIT MIEUX QU'À LA SNCF!

TOUT CELA A UN PETIT CÔTÉ INTERNATIONAL, PUISQU'UN ARTICLE PEUT-ÊTRE CONÇU D'ABORD EN ANGLAIS, EN NÉERLANDAIS, EN ALLEMAND OU EN FRANÇAIS, PUIS TRADUIT ET ADAPTE ENSUITE DANS CHACUNE DES AUTRES LANGUES.



C'EST LA TOUR DE BABELEX, HA PAROLE!

RESI & TRANS



DESSINS : YVON DOFFAGNE - COULEURS : COOKY F.



ÇA DOIT CÔTER HORRIBLEMENT CHER TOUT ÇA?

OUI, ET NOTRE PIRE ENNEMIE, C'EST LA PHOTOCOPILEUSE!

HURK?! MOI??!

PARMI NOS LECTEURS, LES PROFS DE TECHNO SONT NOMBREUX. LEURS ÉLÈVES DEVRAIENT L'ÊTRE AUSSI. OR, L'ÉDUCATION NATIONALE N'ACCORDE PAS AUX PROFS LES BUDGETS QUI LEUR PERMETTRAIENT D'ACHETER UNE REVUE (OU UN ALBUM) POUR 2 OU 3 ÉLÈVES : ALORS, ILS N'EN ACHÈTENT QU'UNE SEULE ET ILS LA PHOTOCOPIENT À N'EN PLUS FINIR!!



QUOI?? MAIS ON VA FINIR SUR LA PAILLE, NOUS? ÇA DEVRAIT ÊTRE INTERDIT!

CE L'EST! MAIS ILS N'ONT PAS VRAIMENT LE CHOIX.



AU FOND, SI JE TE SUIS BIEN, ILS NE PRENNENT QU'UN SEUL ABBONNEMENT, ALORS QU'ILS ONT PLUSIEURS CLASSES D'AU MOINS 20 ÉLÈVES CHAQUE?

ET OUI. ET ÇA POURRAIT D'AILLEURS NOUS CÔTER LA VIE, NOUS QUI LEUR FOURNISSONS LA MATIÈRE DE LEUR BOULOT!



À CE POINT LÀ ??



INUTILE DE DIRE QUE NOTRE TIRAGE EST "LIMITE!"

SI LES PROFS JOUAIENT LE JEU, NOTRE TIRAGE SERAIT MULTIPLIÉ PAR 10!! ON FERAIT DU MEILLEUR TRAVAIL, SANS AVOIR LE COUTEAU SUR LA GORGE!!

« DÉJÀ QU'ON EST BONS! »



C'EST PAS LA MODESTIE QUI T'ÉTOUFFE, HEÏN? TU POSES LES QUESTIONS ET C'EST QUAND MÊME MOI QUI RÉPONDS, NON?

TOI... ET L'ÉQUIPE, NON? ET TOC...



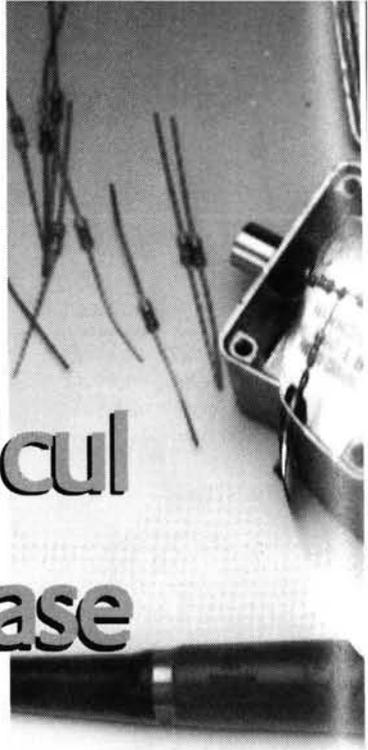
ON PEUT EN TOUS CAS ÊTRE CONTENTS DE TRAVAILLER POUR UN TEL MAGAZINE. IL N'A PAS D'ÉQUIVALENT DANS LE MONDE

RAPPELÉZ-VOUS QUE LA MÈRE DE NAPOLEON DISAIT TOUJOURS : "POURVOU QU'ÇA DOURE!!"

À PART ELEKTOR, MAIS C'EST POUR LES SPÉCIALISTES!

V'LA QU'ELLE SE PREND POUR L'ÉTITIA BUONAPARTE, MAINTENANT!

EH, OH! OISEAU DE MAUVAISE AUGURE! LA FERME!!



L'application du théorème de Thévenin, conséquence du théorème de superposition, lui-même application directe des lois de Kirchhoff, permet de remplacer simplement un réseau ne contenant que des éléments passifs linéaires (en gros, des résistances) et des sources de tension, aux bornes duquel règne une différence de potentiel, par un seul générateur de force électromotrice E_{th} et une seule résistance R_{th} , en série avec lui. Quelques exercices, dont un "vrai" montage, nous familiariseront avec lui.

bases de calcul ou calculs de base

théorèmes de superposition et de Thévenin (suite)

Nous avons terminé, dans une précédente livraison, par le circuit de la **figure 1**: avez-vous trouvé l'intensité I du courant qui traverse la résistance $R7$? Supprimons-la, comme sur la figure 2, pour la remplacer par un voltmètre (de résistance intérieure infinie) et mesurer la force électromotrice du générateur de Thévenin équivalent au circuit. Puisqu'aucun courant ne traverse le voltmètre, aucun courant ne traverse les résistances $R5$ et $R6$ qui ne donnent lieu à aucune chute de tension. La différence de potentiel $V_A - V_B$ est exactement celle que le voltmètre aurait mesurée aux bornes de $R3$. Nous n'allons pas calculer le courant qui traverse les résistances $R1$ à $R3$ pour la connaître: la chute de tension aux bornes de $R3$ est la même que celle que provoquent les autres résistances, puisque $R3$ est égale à leur somme. Elle est donc égale à la moitié des 40 V que fait régner le générateur aux bornes de leur ensemble. Cette différence de potentiel de 20 V est la force électromotrice du générateur équivalent de Thévenin du réseau vu des points A et B. Voyons sa résistance intérieure R_{th} .

Nous remplaçons la source de tension, comme sur la figure 3, par sa résistance intérieure

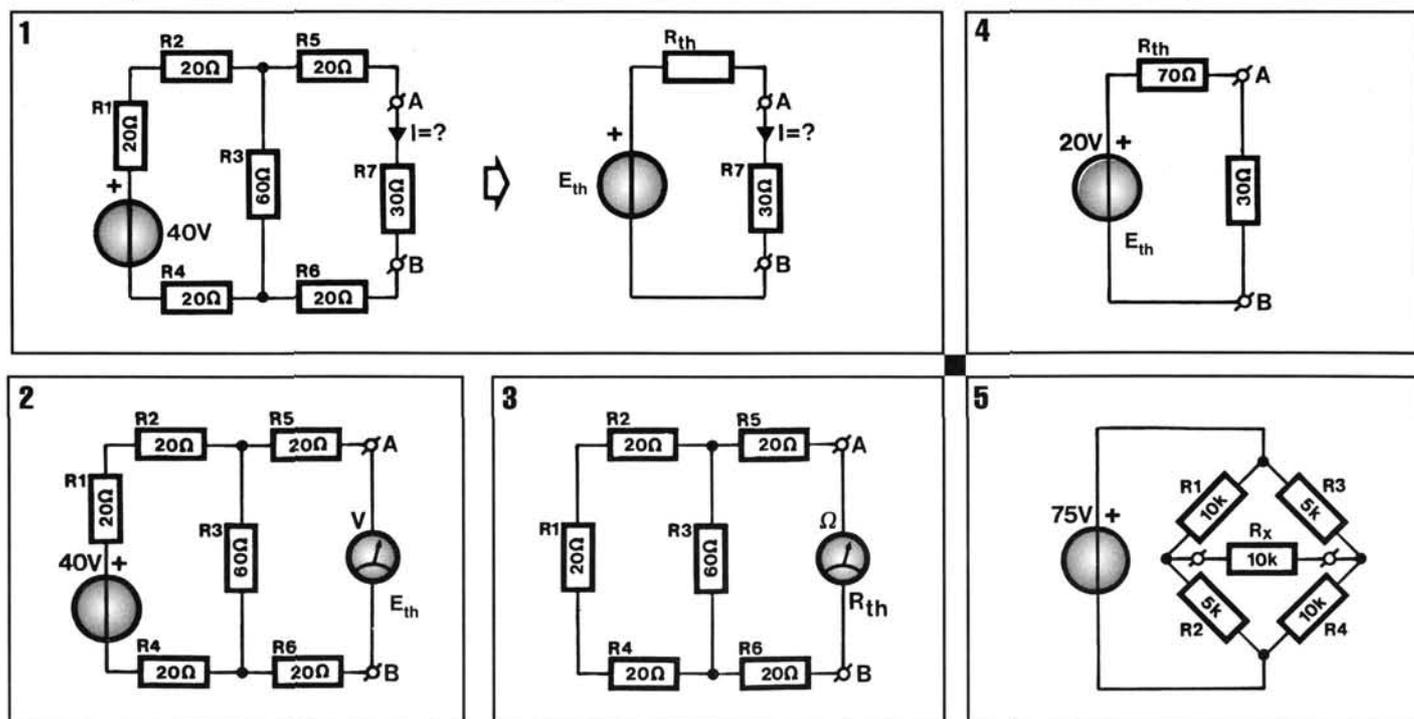
re (nulle ici) et nous évaluons la résistance du réseau R_{th} vue des points A et B. Les résistances $R1$, $R2$ et $R4$ sont en série et leur résistance équivalente de $3 \cdot 20 \Omega = 60 \Omega$ est en parallèle à $R3$ (plus haut, elle était en série, mais nous n'avions pas le même point de vue): la résistance équivalente à deux résistances égales en parallèle est égale à la moitié d'une des résistances, donc 30Ω . Cette résistance équivalente est en série avec $R5$ et $R6$, et R_{th} est donc égale à $30 + 2 \cdot 20 \Omega = 70 \Omega$.

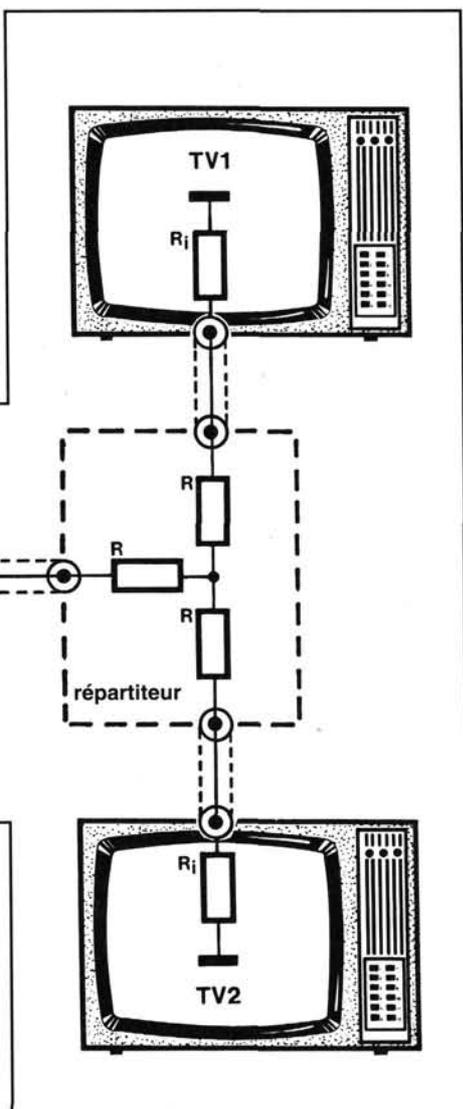
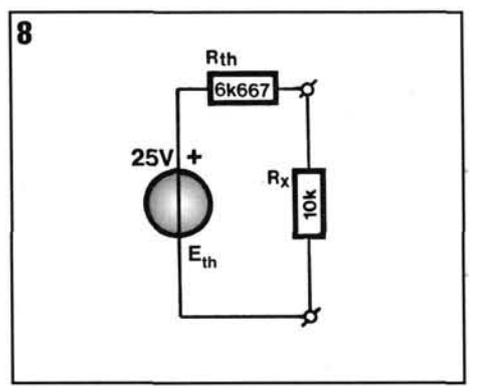
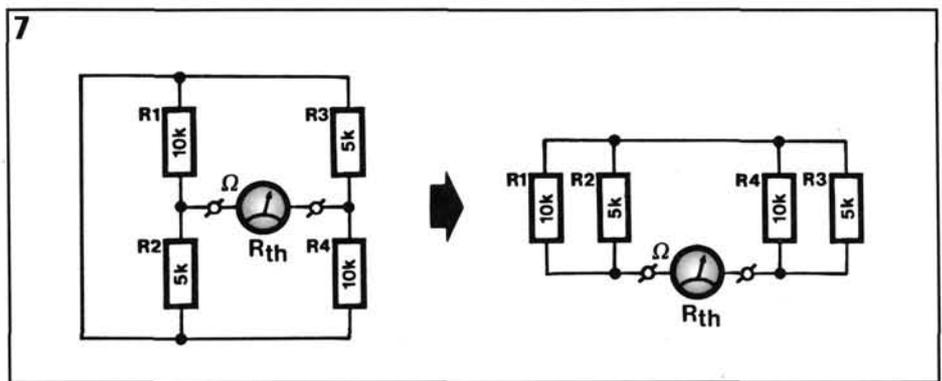
Nous pouvons remplacer le réseau de la figure 1 par celui de la figure 4 et brancher à ses bornes ce que nous voulons, la résistance $R7$ par exemple: l'intensité du courant

qui la traverse n'est pas difficile à calculer. Il est égal à $E_{th}/(R_{th} + R7)$ soit $20/100 = 0,2$ A.

dernier exemple

S'il fallait reprendre la démarche depuis les lois des mailles et des nœuds pour calculer l'intensité du courant qui traverse la résistance R_x du circuit de la **figure 5**, on aboutirait à un système de trois équations à trois inconnues. Le théorème de Thévenin va encore là nous faire gagner du temps et du papier. Remplaçons, comme sur la figure 6, la branche intéressée par un voltmètre. Les tensions indiquées devraient vous paraître évidentes après un peu de réflexion*. Le





générateur de Thévenin (borne positive au nœud R3/R4) a donc une force électromotrice E_{th} de 25 V. Il faut peut-être un peu plus de temps et un autre dessin (figure 7) pour déterminer R_{th} après avoir court-circuité la source de tension. Une calculette vous indiquera une résistance de 6,666667 k Ω et le bon sens 7 k Ω . Le courant qui traverse R_x n'est alors plus difficile à évaluer sur la figure 8. Il est égal à $E_{th}/(R_{th} + R_x)$ soit à 1,5 mA.

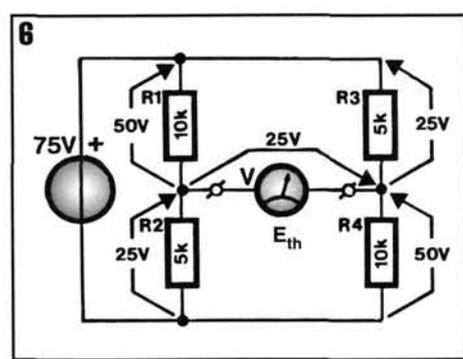
Souvent appliqués en électronique, les théorèmes de Thévenin et de superposition n'ont pas toujours à faire à des circuits qui se présentent sous une forme, a priori, aussi simple que ceux des figures 1 et 5. Il faut, le plus souvent, une ou plusieurs interprétations du montage suivant les conditions dans lesquelles il est amené à fonctionner. Voyez cependant sur la figure 9 un problème qu'ils permettent de traiter directement.

application au calcul d'un répartiteur d'antenne

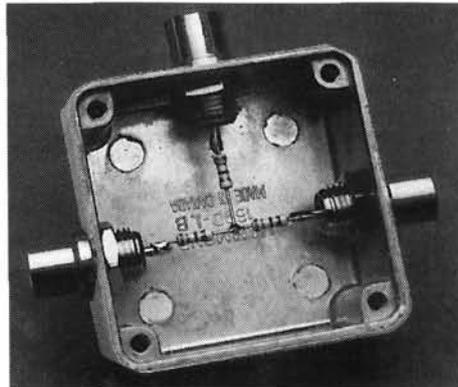
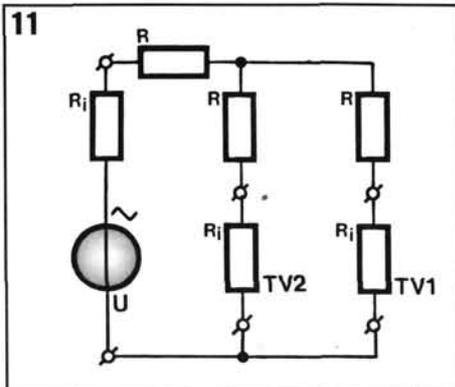
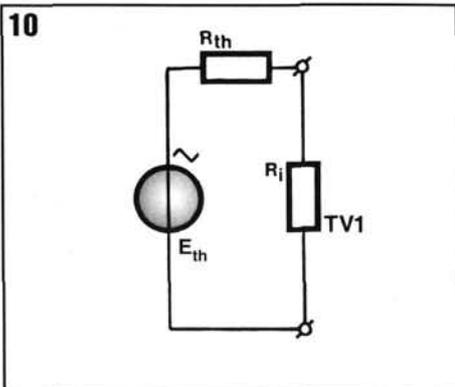
Nous allons appliquer le théorème de Thévenin au problème de la répartition de

l'énergie d'un seul générateur, une antenne de télévision ou de radio, entre plusieurs récepteurs (figure 9). Nous parlerons, pour simplifier, de résistances de sortie et d'entrée alors qu'il s'agit en fait d'impédances: l'impédance caractéristique d'un câble coaxial vidéo par exemple, câble de descente d'antenne, est de 75 Ω , "résistance" qui n'est pas accessible à l'ohmmètre et qui dépend de la fabrication du câble et de ses conditions d'utilisation, mais non de sa longueur. L'impédance d'entrée des récepteurs de télévision ou celle de sortie des antennes est du même ordre. Lorsque l'énergie de haute fréquence disponible à la sortie du câble est suffisante, il est possible, pour un maximum de trois récepteurs, d'utiliser un simple répartiteur à résistances comme celui représenté sur le cliché. Dans les autres cas, des amplificateurs sont nécessaires.

Il s'agit de donner aux résistances une dimension telle que chaque récepteur, aussi bien TV1 que TV2, reçoive la même quantité d'énergie: c'est ce qu'en principe nous obtiendrions si nous câblions les récepteurs en parallèle sans autre précaution. Le répartiteur doit cependant satisfaire à une autre condition: il est nécessaire, pour une réception optimale, que la résistance du circuit, R_{th} , vue par TV1 ou TV2, soit égale à la résis-



* Si vous avez de la peine à comprendre, supprimez R3 et R4 et appliquez la loi d'Ohm au circuit constitué par le générateur et les deux autres résistances. Vous constaterez que la tension aux bornes de R2 est égale à $75 \cdot R2 / (R1 + R2)$.



tance d'entrée de ces appareils. Cette condition n'est pas réalisée par un câblage direct en parallèle où chaque récepteur voit le reste du circuit sous $75 \Omega/2$. Sur le schéma de la figure 10, R_{th} doit être de 75Ω et le générateur de Thévenin équivalent avoir une force électromotrice E_{th} moitié de la différence de potentiel d'entrée. Sur la figure 11 la représentation simplifiée du répartiteur de la figure 9 nous montre que nous avons en fait trois branches identiques si, pour déterminer R_{th} , nous remplaçons la source de tension par un court-circuit (puisque sa résistance intérieure est nulle). La résistance d'entrée de chaque récepteur, par construction comme nous l'avons dit plus haut, est en effet égale à la résistance de sortie du générateur, celle du câble en fait. Nous pouvons en conclure que les résistances R seront identiques puisque chaque résistance R_i du générateur et des

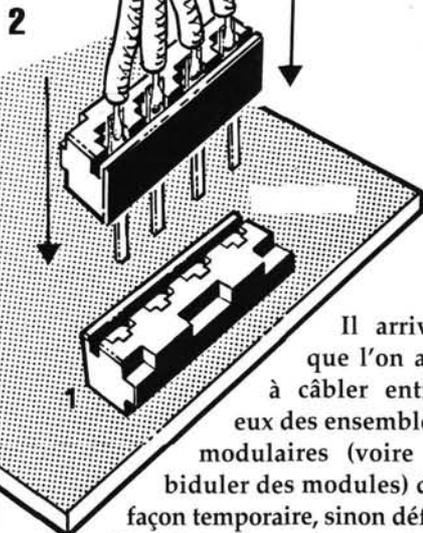
récepteurs, est de 75Ω . Ces données sont suffisantes pour que nous puissions calculer R . Partons de la branche qui contient TV1 et évaluons la résistance du circuit vue de ce récepteur que nous écartons pour l'occasion: nous remplaçons TV1 et sa résistance R_i par un ohmmètre imaginaire qui mesure R_{th} , le générateur est en outre court-circuité. L'ohmmètre voit deux résistances identiques en parallèle (R et R_i du générateur et les mêmes résistances pour TV2), en série avec la résistance R de la branche TV1. Nous pouvons écrire: $R_{th} = 1/2(R_i + R) + R$
d'où: $R_{th} = 1/2R_i + 1,5 R$
Nous savons que R_{th} et R_i sont de 75Ω . Nous pouvons donc calculer R :
 $1,5 \cdot R = (75 - 75/2)$
 $R = 25 \Omega$
Nous connaissons maintenant la valeur des résistances du répartiteur et pouvons vérifier

que la force électromotrice du générateur équivalent de Thévenin qui alimente chaque récepteur est bien égale à la moitié de celle du générateur de départ. Remplaçons sur la figure 11 TV1, donc sa résistance R_i , par un voltmètre. Puisque la résistance intérieure du voltmètre est infinie, aucun courant ne parcourt la branche dans laquelle il se trouve et la tension mesurée est celle qui règne aux bornes de la branche TV2 qui est bien égale à la moitié de U la tension d'entrée. Dernier problème vite réglé, celui du choix des résistances: il n'y a aucun problème à prendre pour R la valeur de la série E12 la plus proche de 25Ω , soit 27Ω puisque les autres "résistances" ne sont pas connues avec une plus grande précision. Ce répartiteur est bien sûr monté dans un boîtier métallique. 896142

astuce

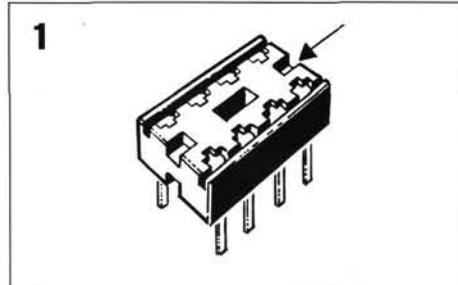


connecteur de fortune

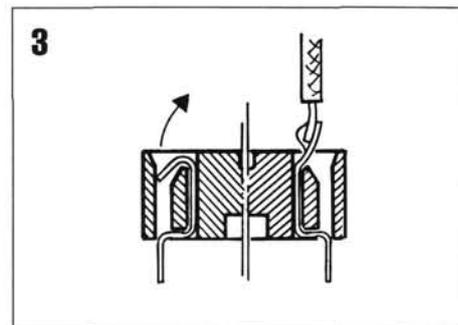


Il arrive que l'on ait à câbler entre eux des ensembles modulaires (voire à biduler des modules) de façon temporaire, sinon définitive. Comme on n'est pas forcément riche ou que l'on a pas sous la main le connecteur idoine, on câble comme on peut, avec les moyens du bord: ce n'est, en général, ni pratique ni joli ni fiable. Un support de circuit inté-

gré aurait pu pourtant, il n'est d'ailleurs pas trop tard, venir à notre secours, à peu de frais*. Commençons par couper en deux le support comme en (1). Une des deux parties est ensuite soudée sur le circuit imprimé où elle est promue "fiche femelle". Pour transformer l'autre en connecteur mâle, il suffit de souder (ce n'est pas toujours facile) les fils là où, normalement, viennent s'insérer les broches du circuit intégré. Si l'on a à faire à des contacts "lyres", il est même possible, avec une pince très fine,



de sortir prudemment le ressort comme en (3) pour s'en servir de languette à souder. Il n'y a plus qu'à enficher, avec précaution et à l'endroit, si l'on a pas prévu de détrompage (2). 87630



* Il est même possible d'avoir pour rien, si l'on est bien placé, des supports à contacts "lyres" à la sortie de certaines usines dont ils ont été bannis au profit de contacts "tulipes", moins affectés par les vibrations.

pour économiser le carburant

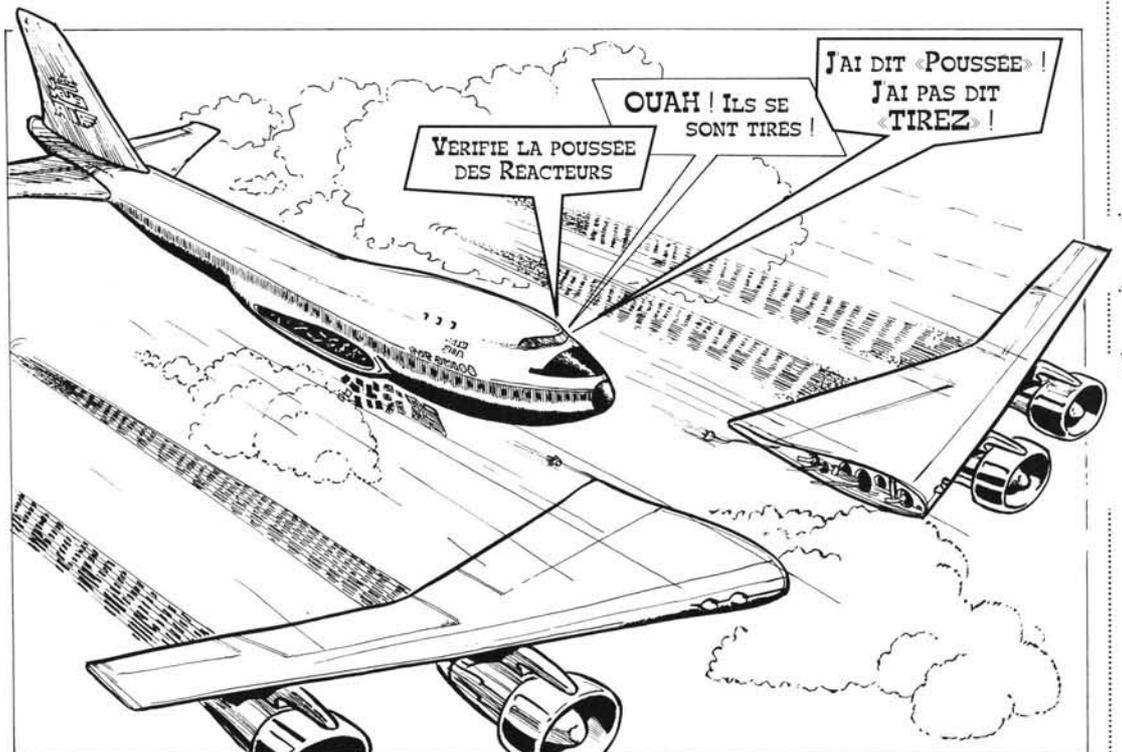
copilote économe

Comme chacun l'a appris pendant ses premières leçons de conduite, il faut changer de vitesse dès que le moteur a atteint un régime suffisant. Rester sur un rapport trop court avec un moteur qui hurle à un régime élevé ne sert qu'à augmenter la consommation d'essence. Le circuit dont la description suit ne manquera pas de vous indiquer le bon moment pour passer la vitesse supérieure. Un bon moyen d'éviter l'inflation de vos dépenses de carburant.

Il suffit de se reporter à la notice du constructeur pour être convaincu que le changement de vitesse à temps permet des économies de carburant substantielles. Il faut maintenir strictement le régime entre les deux limites permises pour éviter que le moteur soit surchargé. Il est rare en pratique que l'on impose au moteur un régime suffisamment élevé pour le détériorer. Il en va autrement pour ce qui est des régimes trop bas. Ce style de conduite est beaucoup plus fréquent. Les conséquences sont des efforts excessifs sur les segments des pistons et les paliers du vilebrequin, si

bien que le moteur doit, après quelque temps, subir des réparations onéreuses. C'est un dilemme pour qui veut économiser son essence en changeant de vitesse à temps : on craint toujours de détériorer le moteur en le faisant trop tôt, à un régime trop bas. Passer la vitesse trop tard consomme de l'essence, la passer régulièrement trop tôt risque de détruire le moteur au bout de quelques mois. Heureusement les constructeurs indiquent dans les notices livrées avec leurs chars à quel régime et sous quelle charge il faut passer au rapport supérieur. La plupart des conducteurs essaient d'estimer le

régime à l'oreille, mais c'est une méthode plutôt imprécise. On s'en aperçoit si on monte un compte-tours et qu'on compare le régime réel avec la vitesse estimée. Conduire avec les yeux fixés sur le compte-tours n'est pas le meilleur moyen de rester en sécurité. Voilà pourquoi nous avons équipé ce copilote économe d'un indicateur de régime qui détourne peu l'attention, sous la forme d'une paire de diodes électro-luminescentes. Une LED verte brille tant que le régime est inférieur à celui du passage obligatoire à la vitesse supérieure. Aussitôt que ce régime est atteint, la LED verte s'éteint et une rouge



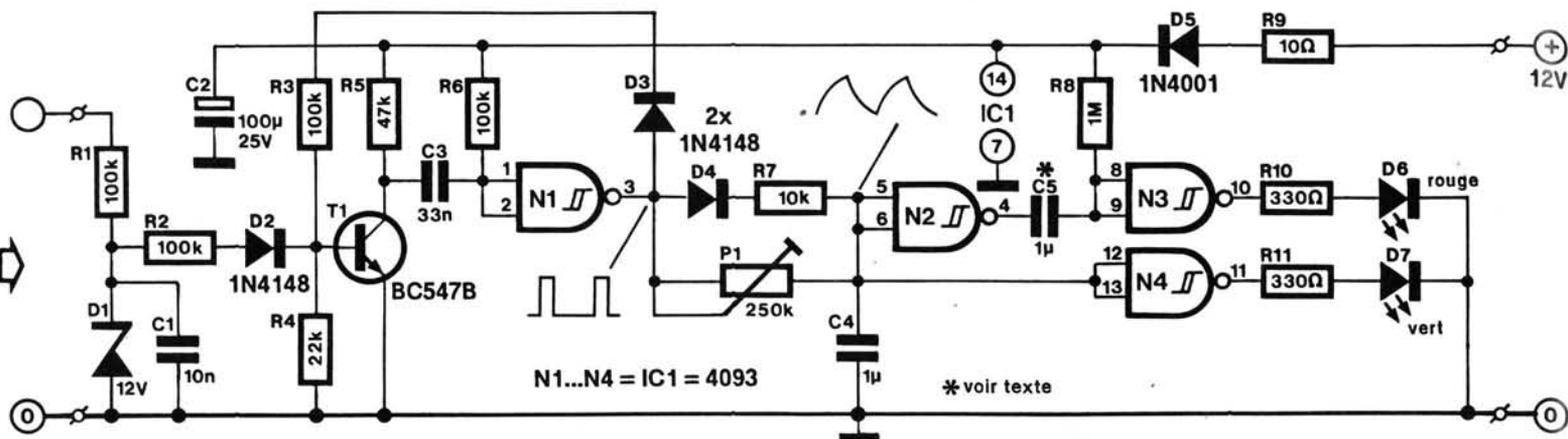
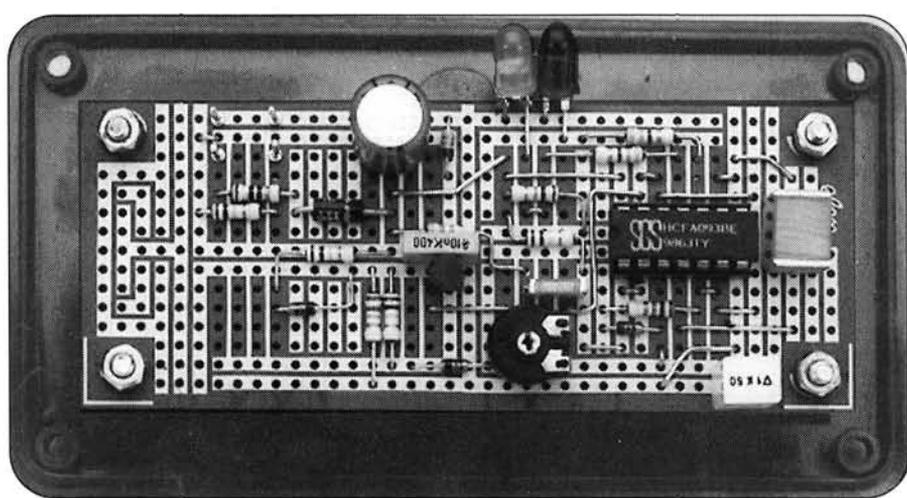


Figure 1 - Nous voyons de gauche à droite sur ce schéma : une protection contre les surtensions, un monostable rapide, un détecteur d'impulsions et un affichage par deux LED, dont l'une est dotée d'une temporisation.



liste des composants

- R1, R2,
- R3, R6 = 100 kΩ
- R4 = 22 kΩ
- R5 = 47 kΩ
- R7 = 10 kΩ
- R8 = 1 MΩ
- R9 = 10 Ω
- R10, R11 = 330 Ω
- P1 = 250 kΩ ajustable

- C1 = 10 nF
- C2 = 100 μF/25 V
- C3 = 33 nF
- C4, C5 = 1 μF

- T1 = BC547B
- D1 = zener 12 V 0,4 W
- D2, D3, D4 = 1N4148
- D5 = 1N4001
- D6 = LED rouge
- D7 = LED verte

- IC1 = 4093a

s'allume pour vous signaler qu'il faut passer une vitesse au-dessus. Cette LED rouge s'éteint au bout d'une dizaine de secondes pour que vous ne soyez pas gêné si, par exemple, vous roulez longtemps à grande vitesse sur l'autoroute. Le copilote est très économe mais pas trop envahissant.

le circuit

Le copilote, comme un compte-tours, tire ses informations des contacts du rupteur, du côté basse tension de la bobine d'allumage. Comme les contacts sont le siège, en plus de la basse tension qui nous intéresse, de fortes pointes inductives, il faut protéger le circuit d'entrée. C'est le rôle de la diode zener D1 et de la résistance R1. La diode zener court-circuite les pointes négatives éventuelles et écrête tout ce qui dépasse 12 V. Le condensateur C1 court-circuite les perturbations trop rapides pour la diode zener (du genre feignasse, il faut bien le dire) qui pourraient détruire le reste du circuit.

Les impulsions positives qui naissent à chaque ouverture des contacts parviennent à la base du transistor T1 par l'intermédiaire de R2 et D2. Ce transistor est polarisé par R4 de telle façon qu'il soit bloqué au repos. Dès qu'une impulsion positive du rupteur parvient à sa base, T1 conduit jusqu'à disparition de l'impulsion. L'entrée en conduction de T1 ramène brusquement le potentiel de son collecteur de 12 V à 0 V. Au moment du blocage, la tension repasse de 0 V à 12 V. De ce créneau de 12 V, seuls les fronts sont transmis par C3 à la porte N1. Ce filtrage est dû à la valeur relativement faible du condensateur C3. Puisque les deux entrées de la porte N1 sont « rappelées » à 12 V par R6, sa sortie est au niveau bas, proche de 0 V. Cette porte à entrées à *trigger de Schmidt* est montée, comme les trois autres, en inverseur.

Au moment où les contacts du rupteur se séparent, une courte impulsion négative apparaît aux entrées de N1. Cette impulsion négative à l'entrée produit une

impulsion positive à la sortie. Par l'intermédiaire de D3 et R3, la base de T1 reçoit cette impulsion positive, ce qui accélère le passage du blocage à la saturation. Comme le rupteur s'ouvre et se ferme sans cesse, la sortie de N1 produit une série d'impulsions (la figure 1 n'en montre que deux). La valeur de C3 est choisie de façon à ne produire que des impulsions très courtes. Leur largeur est indépendante de la largeur des impulsions du rupteur. Comme les entrées de N1 sont maintenues au niveau haut par une résistance de rappel, les impulsions ne peuvent être que positives, correspondant aux fronts montants du signal du rupteur. Le circuit

les indicateurs lumineux

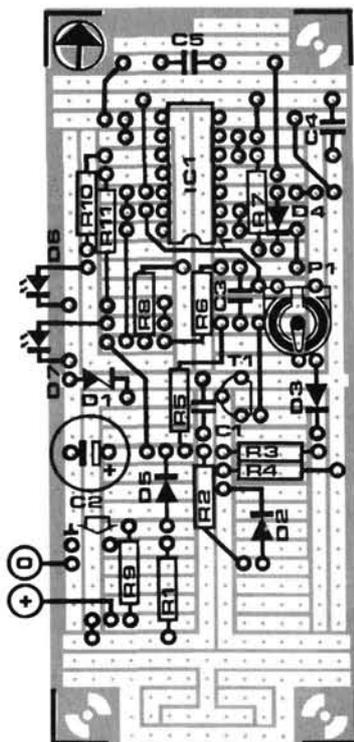


Figure 2 - Le circuit tient sur une platine d'expérimentation de petit format. Naturellement, les LED doivent être visibles de l'extérieur.

autour de T1 et N1 se comporte donc comme un multivibrateur monostable : les impulsions qui apparaissent à la sortie de N1 sont toujours de la même largeur, mais leur nombre dépend directement du régime du moteur.

tension continue variable

Les impulsions délivrées par N1 servent à charger et à décharger le condensateur C4. Les courtes impulsions positives chargent effectivement le condensateur à travers D4 et R7, mais pendant que la sortie de N1 est basse, le condensateur se décharge à travers le potentiomètre P1. Il est évident que la tension mesurée aux bornes du condensateur sera d'autant plus élevée que le nombre d'impulsions par seconde sera plus grand. En d'autres termes : la tension sur le condensateur est proportionnelle au nombre d'impulsions du rupteur à chaque seconde, donc au régime du moteur. La courbe au-dessus de la broche 5 sur le schéma ne représente que la composante alternative de la tension sur C4. Le condensateur se charge en fait à un niveau moyen de tension continue. C'est cette tension continue qui nous intéresse ; la composante alternative en dents de scie n'est qu'une sorte de houle à sa surface.

La tension continue ondulée est appliquée directement aux entrées de N4. Tant qu'elle est suffisamment basse (à bas régime) la sortie de N4 est au niveau haut. Par conséquent, la LED D7, alimentée par R11, reste allumée aussi longtemps que le régime est bas. Si le régime dépasse un seuil déterminé, et que, par suite, la tension à l'entrée de la porte N4 dépasse un seuil déterminé, la LED D7 s'éteint. La tension sur le condensateur C4, en plus du pilotage de la LED D7, sert aussi à décider si la LED D6 s'allume ou non. Si N3 était connectée directement au condensateur comme N4, D6 s'allumerait et s'éteindrait exactement au même moment que D7. Il n'y a pas de liaison directe entre C4 et l'entrée de N3, mais un circuit composé de N2, C5 et R8. L'inverseur N2 fait en sorte que l'état de D6 soit opposé à celui de D7 : D6 est allumée quand D7 est éteinte et vice-versa. La LED verte D7 est allumée pour un régime bas et s'éteint quand le régime est assez élevé pour que vous passiez la vitesse supérieure. C'est à ce moment que la LED rouge D6 s'allume.

La LED rouge ne reste pas allumée indéfiniment, grâce au circuit C5/R8. Au repos (moteur arrêté), l'entrée de N3 est maintenue au niveau haut par R8, sa sortie reste donc au niveau bas, et D6 est éteinte. Dès que la sortie de N2 bascule de +12 V à 0 V (du fait de l'augmentation de régime au-delà d'un seuil déterminé), l'impulsion négative est transmise à la porte N3 par le condensateur C5. L'armature droite du condensateur, initialement à 0 V comme la gauche, va devenir progressivement positive puisqu'elle est reliée au pôle positif par la résistance R8. Quand la tension sur C5, et sur les entrées de N3, atteint un certain seuil, la sortie retombe à zéro et la LED rouge D6 s'éteint. Les valeurs sont choisies pour que le temps d'allumage soit d'une dizaine de secondes. La porte N3,

avec son réseau RC en entrée, fonctionne donc en monostable, comme N1/T1, mais avec des temps très différents, du fait des valeurs des composants R et C.

La fonction de D5 n'a rien à voir avec les monostables, elle évite simplement que le circuit parte en fumée au cas où vous le brancheriez à l'envers.

construction et réglage

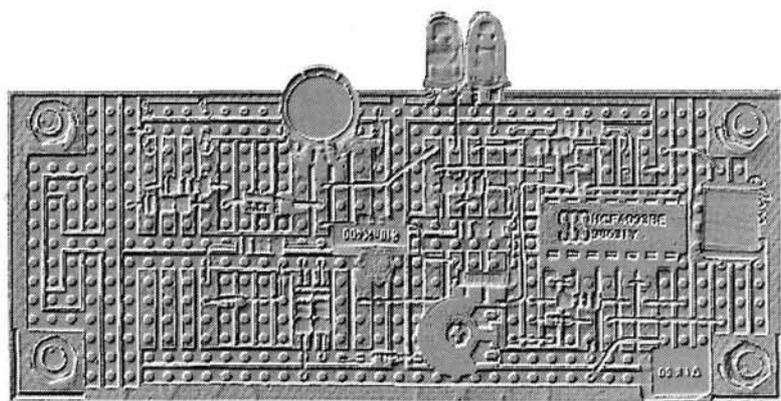
Le circuit se monte parfaitement sur une platine d'expérimentation. La disposition des composants est celle de la figure 2. Soudez d'abord les composants les moins sensibles à la chaleur, puis les semi-conducteurs.

Quel que soit le coffret que vous aurez choisi, il faut que les LED soient bien visibles, et pas derrière des fenêtres plus ou moins transparentes et plus ou moins réfléchissantes. Le coffret sera placé à un endroit tel que les LED soient visibles sans que le conducteur ait à détourner les yeux. Il vaut mieux que son attention se porte sur la route et la conduite que sur le tableau de bord.

Pour l'étalonnage, l'idéal est de disposer, provisoirement, d'un compte-tours étalonné. Vérifiez dans la notice de la voiture le régime auquel il faut changer de rapport. Lancez le moteur au régime prévu et réglez P1 jusqu'au point où la LED verte (D7) s'éteint et la rouge (D6) s'allume. Ensuite faites descendre et remonter le régime. Au régime prévu, la LED verte doit s'éteindre, la rouge s'allumer.

Si vous n'avez pas de compte-tours qui vous permette de régler le copilote à l'arrêt, il faudra le faire en roulant et en vous fiant à la vitesse affichée par le tachymètre. Il va sans dire qu'il vaut mieux être deux pour mener le réglage à bien ; vous risqueriez votre vie à conduire en bricolant et la mort à bricoler en conduisant.

896062



mesures à l'oscilloscope

Après une première prise de contact avec l'oscilloscope, sa structure et son mode d'emploi, quelques expériences démontreront l'étendue des possibilités de cet appareil de mesure. Il n'est pas tout à fait indispensable de posséder un oscilloscope pour profiter de cet article puisque nous avons fait les expériences pour vous, comme nous l'avons dit la dernière fois, avec un appareil à une seule voie dont les performances peuvent même satisfaire un professionnel.



deuxième partie : utilisation

Pour apprendre à se servir d'un oscilloscope, il n'y a pas de mystère, il faut s'en servir. Son utilisation permet en outre de découvrir de nombreux phénomènes intéressants. Nous l'appliquerons à l'étude d'une alimentation élémentaire, de signaux produits à l'aide de réseaux RC et CR, puis nous verrons comment la mise hors circuit du générateur de balayage permet la comparaison de deux signaux (méthode de Lissajous).

Voici la liste des quelques composants utilisés pour ces manipulations :

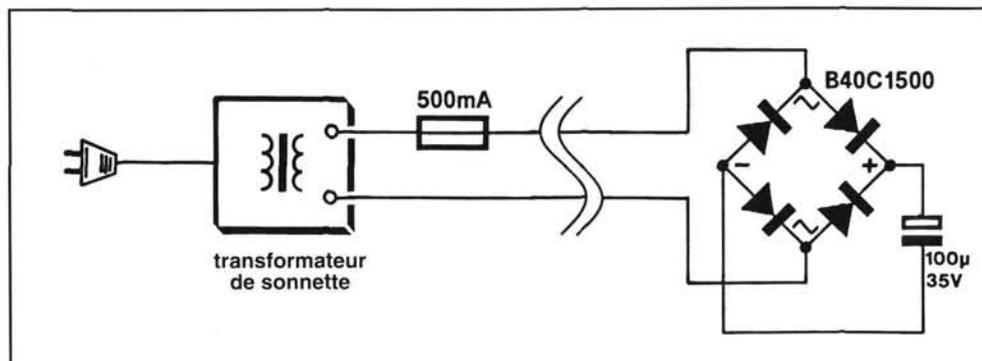
- un transformateur de sonnette aux normes VDE 0551 (pour des raisons de sécurité) 12 V efficaces au secondaire;
- un pont redresseur du type B40C1500 (1,5 A/100 V);
- deux condensateurs électrolytiques de 100 μ F/35 V et 1000 μ F/35 V;
- quelques résistances 1/2 W (330 Ω , 470 Ω , 560 Ω);
- une résistance de 10 k Ω ;
- un potentiomètre de 100 k Ω ;
- deux condensateurs de 100 nF et 220 nF;
- un transistor PNP (BC557 par exemple);
- une diode 1N4148;
- une platine d'expérimentation ou une plaque de connexion sans soudures;
- quelques câbles équipés de pinces crocodile.

préparation et réglages préliminaires

L'oscilloscope va servir ici à l'étude de l'alimentation décrite sur la figure 1. Il est bien entendu qu'en dehors du branchement du primaire du transformateur - il est d'ailleurs recommandé de le laisser à quelque distance de l'aire d'expérimentation - aucune intervention ne se fera directement sur le secteur. Un des fils de liaison entre le secondaire et la platine d'expérimentation est pourvu d'un fusible de 500 mA, inséré de façon provisoire, mais non sans isolement, pour limiter les dégâts en cas de court-circuit accidentel.

Qu'allons-nous mesurer pour commencer ? Une différence de potentiel alternative de 50 Hz que nous pouvons injecter sans

l'atténuer (12 V efficace) à l'oscilloscope. La sonde utilisée est celle, dite sonde de tension passive, livrée en principe avec l'appareil, dont l'inverseur est en position 1:1 (ou X1) : elle divise le signal injecté par 1. Puisque la fréquence du signal est de 50 Hz nous pouvons régler la période de balayage (base de temps) de façon à pouvoir afficher plusieurs périodes du signal : une période dure 1/50 s = 20 ms. Le commutateur est positionné sur 5 ms/division : deux alternances du signal sinusoïdal observé s'étaleront horizontalement sur quatre carreaux. Le déclenchement (*trigger*) sera automatique (*Aut*) et *Interne* (sur le *Torg*, "marche", "ms", "interne" sont enfoncés). Choisissons un calibre de 5 V/division pour commencer, nous augmenterons la sensibilité s'il y a lieu pour obtenir avec le



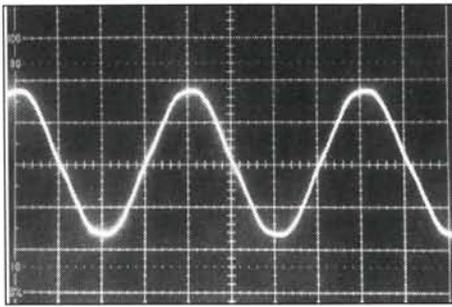


Figure 2a – Oscillogramme de la tension de sortie du transformateur.

même signal une plus forte déviation verticale. Le "zéro" est réglé au milieu de l'écran, c'est-à-dire qu'en l'absence de signal ou si l'entrée Y est court-circuitée à la masse (ce que permet, lorsqu'il est présent, le bouton poussoir marqué *Gnd* pour *Ground*, masse) la ligne horizontale est positionnée au milieu de l'écran grâce au potentiomètre de cadrage vertical (*Y-Pos* ou bouton repéré par une double flèche verticale). Cette ligne est nette et sa luminosité n'est pas excessive (mise au point *focus* et luminosité *beam intensity*, *brightness*, qui correspondent aux symboles situés à la droite de l'écran du *Torg*). Sa position et sa luminosité peuvent un peu varier dans le temps lorsque l'appareil est plus chaud, il suffira de les rectifier. Ces réglages ne sont évidemment ni définitifs ni obligatoires mais ils permettent un langage commun.

mesure d'une différence de potentiel alternative

La connexion de masse de la sonde est reliée à une borne d'entrée (alternatif) du pont redresseur, la pointe de touche à l'autre. Une sinusoïde doit normalement s'afficher sur l'écran. Si vous enfoncez maintenant le bouton *Déclenchement* (*Trig.*) vous devez régler le niveau de déclenchement à l'aide du potentiomètre *Niveau* (*Level*) de façon à obtenir une image stable (changez "pour voir" la pente de déclenchement à l'aide de l'inverseur *Slope* ou (\pm) ou marqué d'un créneau sur le *Torg*). Vous

Figure 1 – Circuit de base utilisé pour les expériences décrites. Maintenir, pour des raisons de sécurité, le transformateur à distance de l'aire d'expérimentation, et monter un fusible sur un des fils du câble de liaison.

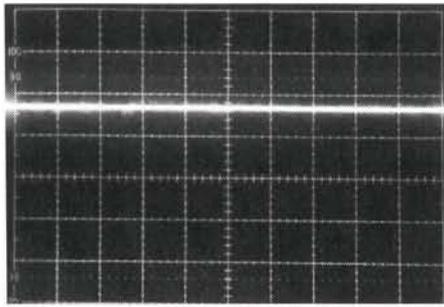


Figure 2b – Image de la tension hors charge aux bornes du condensateur de lissage.

vous pouvez aussi déplacer la courbe horizontalement avec le potentiomètre de cadrage horizontal. L'oscillogramme de la figure 2a correspond lui à un calibre 10 V/division. Vous pouvez obtenir la même courbe avec une sonde X10 qui divise le signal par 10 si vous vous placez sur le calibre 1 V/division. Déplacez-la de façon à pouvoir mesurer facilement son amplitude crête à crête qui est de 35 V. Cette amplitude crête à crête correspond à une tension maximale de $35/2 = 17,5$ V. Or une mesure au multimètre (attention, en alternatif) vous indiquerait quelque chose comme 12,5 V (la tension moyenne est même de 0 V). Que ceux qui connaissent l'explication de tous ces mystères la donnent aux autres qui la trouveront de toute façon ici : la différence de potentiel à un instant donné est inférieure, égale ou supérieure à 0 V. Qu'elle soit inférieure ou supérieure à 0 V n'est qu'une question de point de vue (celui d'un transistor ou d'une diode par exemple). Le point de vue d'une résistance R, si nous établissons cette différence de potentiel variable à ses bornes est toujours le même : -17 V ou +17 V font toujours 17 V et un courant de $17/R$ ampères, dans un sens ou dans l'autre cependant, ce qui peut avoir son importance. Il n'y a que peu souvent 17 V aux bornes de la résistance. On définit donc le courant efficace que cette tension de 35 V crête à crête, ou 17,5 V maximum ferait circuler dans la résistance comme l'intensité du courant continu qui aurait pour elle la même efficacité : qui provoquerait le même dégagement de chaleur s'il circulait pendant la même durée. La tension efficace, qui correspond à ce courant efficace, est inférieure à la tension maximale. Elle se calcule et, pour une tension sinusoïdale de fréquence constante, elle est égale à la tension maximale divisée par $\sqrt{2}$ (ou multipliée par l'inverse $1/\sqrt{2} = 0,707 = \sqrt{2}/2$). La tension efficace à la sortie du transformateur est donc de $17,5/\sqrt{2} = 12,5$ V comme le multimètre nous l'a indiqué. Appuyez maintenant sur l'inverseur marqué AC/DC (dernier pous-

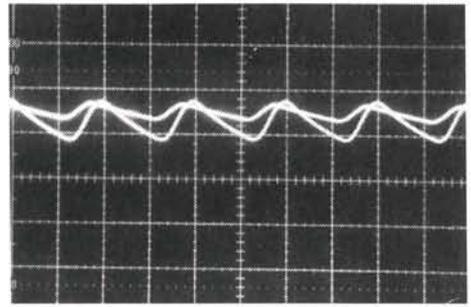


Figure 2c – Évolution de la tension aux bornes du condensateur lorsque l'alimentation débite sur une charge : le cliché présente deux oscillogrammes superposés qui permettent la comparaison, l'un concerne une charge de 82 Ω , l'autre de 220 Ω .

soir en bas et à droite sur le *Torg*) : ça n'a aucun effet ici puisque la tension sinusoïdale est seule en cause, elle n'est pas décalée par une composante continue (*Offset* = décalage). Il n'en est plus de même dans l'expérience suivante.

mesure d'une tension constante

La sonde est maintenant déconnectée et le mode de déclenchement automatique, sinon l'écran reste vide (sans signal il n'y a pas de déclenchement "normal" donc pas de balayage). La connexion de masse de la sonde est reliée à la borne (-) du condensateur et sa pointe de touche à la borne (+). Le cliché de la figure 2b montre le résultat de cette manipulation. Si vous n'avez pas de décalage de la trace c'est que le condensateur d'entrée de la voie Y est en circuit : il ne laisse pas passer de signal continu. Appuyez sur la touche AC/DC (alternatif/continu) pour passer en position DC (au-dessus de la borne de masse sur le *Torg*). Pourquoi mesurons-nous un peu moins de 17,5 V ? Parce que le condensateur se charge à la tension crête, diminuée de la chute de tension due aux diodes du pont redresseur. La différence de potentiel est évidemment maximale aux bornes du condensateur puisque le circuit n'est pas chargé. Poursuivons.

chargez !

Si une résistance (470 Ω , 1/2 W) est connectée en parallèle aux bornes du condensateur, la tension, toujours continue, n'est plus aussi constante. La figure 2c montre les deux graphes obtenus quand l'alimentation débite sur deux charges différentes de 82 Ω et de 220 Ω (2 W et 1 W : puisque la puissance qu'elles doivent dissiper sous

une tension U est de U^2/R , ce qui ne les empêche pas de chauffer). Plus la résistance est petite, plus la charge est importante donc plus l'alimentation débite de courant et plus le condensateur se vide entre deux crêtes de tension.

commutation ac/dc et amplificateur vertical

Nous avons donc une tension alternative, l'ondulation, superposée à une tension continue. C'est la tension alternative qu'il est ici intéressant d'examiner. La touche

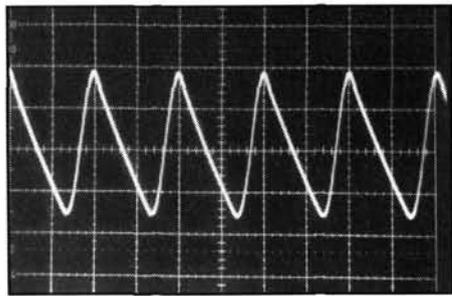


Figure 2d – En position AC, seule apparaît sur l'écran l'ondulation (pour une charge de 220Ω) qu'il est alors possible d'observer plus en détail en augmentant la sensibilité verticale de l'appareil.

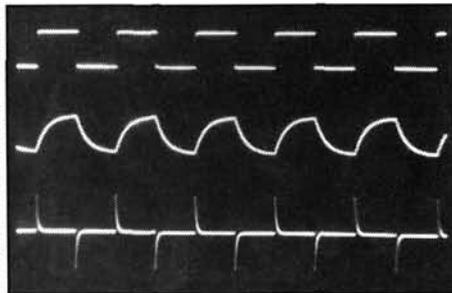


Figure 2e – Sur un seul cliché sont réunies, de haut en bas, les traces obtenues à la sortie du générateur de signaux rectangulaires, aux bornes du condensateur du réseau intégrateur et de la résistance du réseau différentiateur.

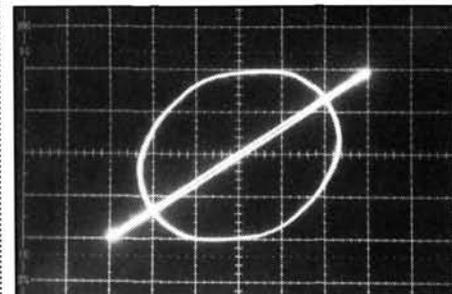


Figure 2f – La trace oblique correspond à un déphasage quasiment nul entre les signaux appliqués aux plaques de déviation X et Y. Si les signaux sont en quadrature (déphasage de 90°), la trace est circulaire.

AC/DC en position AC met en circuit un condensateur (en série) qui élimine la composante continue du signal. Seule reste affichée la composante alternative (non sinusoïdale) qui reprend toutes les 10 ms la même valeur (sa fréquence est donc de 100 Hz). L'augmentation de la sensibilité verticale de l'oscilloscope à $0,5 \text{ V/division}$ permet de mesurer son amplitude crête à crête, de 2 V dans notre expérience lorsque l'alimentation débite sur une résistance de 220Ω (figure 2d). Nous n'aurions pas pu l'observer en position DC puisqu'alors la trace aurait disparu de l'écran. Pour des résistances plus élevées, l'ondulation diminue, pour des résistances plus petites (pas trop quand même sinon le fusible saute), elle augmente.

constantes de temps

La vitesse à laquelle un condensateur se décharge (ou se charge) est proportionnelle à sa capacité et à la résistance du circuit dans lequel il se décharge. Nous venons de le voir, le courant de charge répétitif (flanc montant de l'ondulation), uniquement limité par les diodes et la résistance R_T des enroulements (vue du secondaire) du transformateur était plus rapide que sa décharge (flanc descendant) sur les résistances de charge R_c que nous avons choisies. Si le produit $R_T \cdot C$ avait été supérieur au produit $R_c \cdot C$, le flanc montant de charge aurait duré plus longtemps que le flanc descendant de décharge: le produit RC est donc homogène à un temps. On l'appelle constante de temps du circuit RC, elle

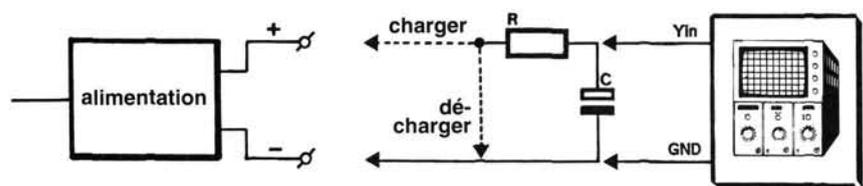


Figure 3 – Montage qui, associé à un voltmètre et un chronomètre, permet une mesure en fonction du temps de la différence de potentiel aux bornes d'un condensateur chargé à travers une résistance sous une tension constante.

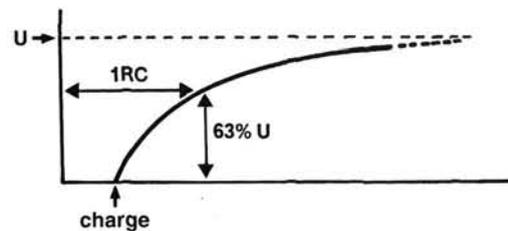


Figure 4 – Évolution en fonction du temps de la différence de potentiel entre les armatures d'un condensateur chargé sous une tension constante. Au bout d'une durée égale à une constante de temps la différence de potentiel atteinte est de 63% de la tension maximale.

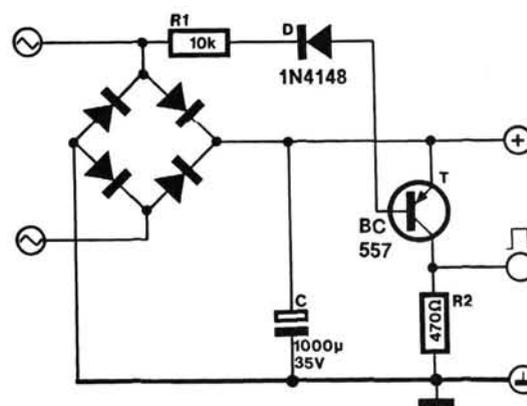


Figure 5 – Un générateur de signaux rectangulaires élémentaire. La fréquence du signal qu'il produit est due à celle du secteur.

s'exprime en secondes, si la capacité est donnée en farads et la résistance en ohms. Pour simplifier, on la désigne parfois par la lettre grecque "tau" (τ).

La mesure suivante est celle d'un intervalle de temps relativement long qui nécessite un chronomètre. Le circuit est constitué comme celui de la figure 3, c'est-à-dire qu'aux bornes du pont redresseur nous câblons un circuit RC constitué d'une résistance de 10 k Ω et d'un condensateur de 1000 μ F/35 V. Sa constante de temps est de $10^4 \cdot 10^{-3}$ secondes soit 10 s. La sensibilité verticale est de 2 V/division, la trace est déplacée vers la première ligne en bas de l'écran, ce qui n'est possible que parce que nous avons choisi le mode automatique de déclenchement, et le condensateur d'entrée de l'oscilloscope est court-circuité (position DC). Si le condensateur de 1000 μ F n'a pas été chargé au préalable, nous observons à la mise sous tension du circuit que la trace monte, d'abord rapidement puis de plus en plus lentement: après 10 s, soit une constante de temps, la tension aux bornes du condensateur est de 63% de la tension maximale ($17,5 \cdot 0,63 = 11$ V). Il faut prendre cette mesure "au vol" puisque la trace continue de monter: après deux constantes de temps elle est à 86,3% de son maximum, après trois, à 95%, quatre, 98%, cinq, 99% etc. En fait si la trace atteint 11 V après 10 s exactement, en supposant qu'il n'y ait pas d'erreur sur la mesure, c'est une chance, puisque la capacité d'un condensateur électrochimique n'est généralement connue qu'à 20% près et celle d'une résistance de la série E12 à 10%. Une autre valeur pour terminer cette expérience: après $0,7 \tau$ la tension aux bornes du condensateur est de la moitié de la tension maximum. La lenteur du phénomène ne permet pas d'obtenir sur l'écran de l'oscilloscope la courbe de la figure 4, essayons autre chose.

Sur la figure 5, l'alimentation de départ est accommodée en générateur de créneaux de fréquence 50 Hz. Câblez-le, reliez la masse de la sonde à celle du circuit et observez la forme des signaux en différents points.

Ce générateur de signaux rectangulaires va ensuite alimenter le réseau, dit intégrateur, de la figure 6a. Le condensateur C a une capacité de 220 nF, un potentiomètre permet de faire varier la résistance R entre 0 et 100 k Ω . Lorsque R est très petite, les charges et les décharges successives du condensateur sont pratiquement immédiates: la forme du signal est identique à celle qui est obtenue à la sortie du générateur. Si R augmente, il n'en est plus de même, les fronts montants des créneaux s'arrondissent à l'image de la courbe de la

figure 4 et les fronts descendants s'incurvent. Pour une résistance maximale, l'ondulation est en dents de scie: augmenter R, c'est augmenter la constante de temps du réseau intégrateur. Le condensateur se charge et se décharge alors de plus en plus lentement et si la constante de temps devient très supérieure à la durée de la charge, l'amplitude de l'ondulation diminue.

Si les positions de R et C sont interverties, ce qui ne change rien pour le générateur qui voit toujours une résistance en série avec un condensateur, nous obtenons un réseau différentiateur. Le condensateur est remplacé par une capacité de 1 μ F/35 V et le signal est observé aux bornes de la résistance. Lorsqu'elle est maximale, c'est à un signal rectangulaire que nous avons à faire. La tension n'évolue cependant plus entre 0 V et le maximum de la tension d'alimentation, mais s'est décalée vers le bas de sorte que sa valeur moyenne est nulle: elle évolue entre moins la moitié et plus la moitié de la tension d'alimentation. Il faut donc décaler la trace vers le haut pour voir tout le signal. Si l'on diminue maintenant la valeur de R, les créneaux diminuent de largeur jusqu'à n'être plus représentés que par des impulsions très fines en forme d'aiguilles. L'effet est encore plus net avec un condensateur de 100 nF.

Les deux types de réseaux, RC intégrateur, ou CR différentiateur, se rencontrent fréquemment dans les filtres. Le réseau différentiateur est aussi utilisé pour la propriété qu'il a de sélectionner la composante variable d'un signal redressé dont il fait un signal alternatif. Le cliché de la figure 2e donne, de haut en bas, les oscillogrammes obtenus à la sortie du générateur de créneaux et à celles des réseaux intégrateur et différentiateur qu'il a alimentés.

mesures sans base de temps

Les plaques de déviation horizontale ont été jusqu'à maintenant laissées à la discrétion du générateur de balayage de l'oscilloscope. Or il est possible de les utiliser pour comparer deux signaux sinusoïdaux de fréquence différente, ou de même fréquence, mais déphasés l'un par rapport à l'autre. Il peut être intéressant par exemple de connaître le déphasage entre l'intensité et la tension qu'occasionne un composant. Comment accéder à l'intensité? Tout simplement en ramenant sa mesure à celle d'une tension puisque l'intensité du courant qui traverse une résistance est proportionnelle à la différence de potentiel entre ses extrémités. Nous alimentons donc les

plaques X comme sur la figure 7a avec un signal proportionnel à l'intensité et les plaques Y avec la tension alternative de 50 Hz.

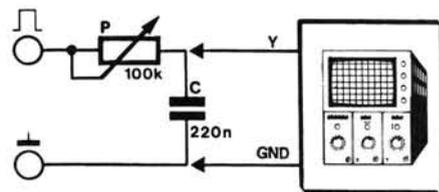


Figure 6a - Une résistance et un condensateur pour un réseau intégrateur.

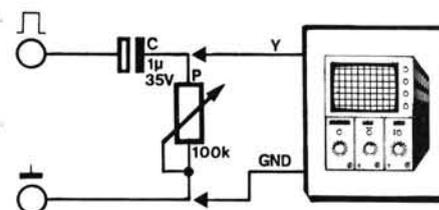


Figure 6b - Un condensateur et une résistance pour un réseau différentiateur.

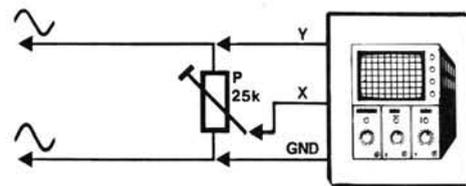


Figure 7a - Une résistance, à 50 Hz n'introduit pas de déphasage entre la tension et l'intensité. En HF et au-delà, les imperfections du composant (petite capacité et/ou petite self) peuvent se manifester.

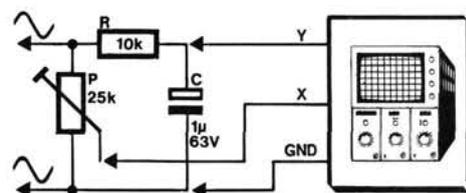


Figure 7b - Les signaux appliqués aux plaques X et Y sont déphasés de 90°.

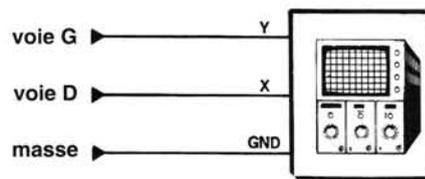


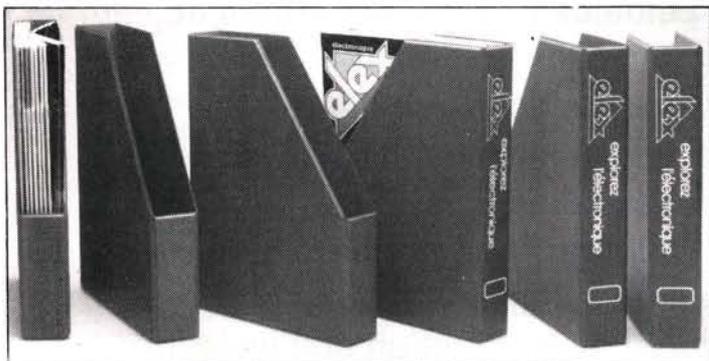
Figure 8 - Comparaison entre les signaux des deux voies d'un dispositif audio stéréophonique.

pratiques

élégantes

pas chères

les cassettes
de rangement



PRIX UNITAIRE : 49 F

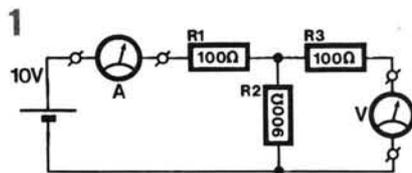
FORFAIT PORT 1 CASSETTE : 15 F
ET EMBALLAGE 2 CASSETTES OU PLUS : 30 F

» Alors, sagace ? «

Une minute pour la lecture du voltmètre et autant pour celle de l'ampèremètre.

Puisque le voltmètre est excellent, sa présence équivaut, pour le circuit à son absence : aucun courant ne le traverse et ne traverse R3. Ce qu'il mesure est la même chose que ce qu'il mesurerait aux bornes de R2. La différence de potentiel* U_{R2} aux bornes de R2 est proportionnelle à cette résistance et au courant I qui la traverse ($U_{R2} = R2 \cdot I$).

Le courant nous est donné par cet excellent ampèremètre dont la résistance est très très petite comparée à celle du circuit dans

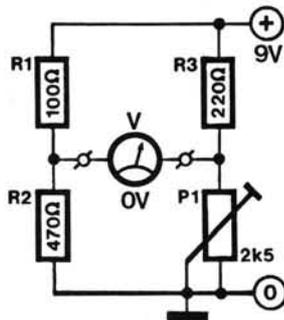


lequel il se trouve : $I \cdot (R1 + R2) = 10 V$. La somme des résistances R1 et R2, en série, a la bonne idée de faire 1 kΩ et l'intensité du courant est donc de 10 mA. Ce courant traverse R2 de 900 Ω (0,9 kΩ) et y donne lieu à une chute de tension de $0,9 \cdot 10 = 9 V$. Nous aurions pu, et vous pouvez le faire, trouver U_{R2} sans connaître le courant qui traverse la résistance en appliquant la

"formule" des diviseurs de tension : $U_{R2} = 10 \cdot R2 / (R1 + R2)$: il suffit d'appliquer judicieusement la loi d'Ohm. La bonne réponse est donc B.

Cette formule des diviseurs de tension ne vous sera pas très utile si le pont de résistances (dit de Wheatstone) de la figure 2 vous intéresse. Il s'agit de régler le curseur de P1 de façon que la différence de potentiel aux bornes du voltmètre soit de 0 V.

2



Quelle est la réponse ?

- A. - 210 Ω
- B. - 640 Ω
- C. - 1030 Ω
- D. - 1640 Ω

* c'est la force électromotrice du générateur équivalent de Thévenin étudié ailleurs dans ce numéro d'ELEX

896064

3615
code
ELEX

c'est encore Elex

à l'écoute des pinsons

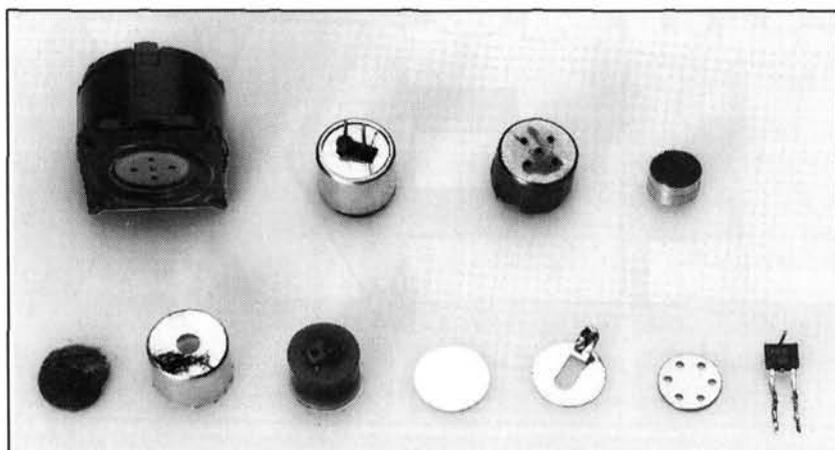
extension d'oreille à succursales multiples



Qui désire savoir ce qui se passe dans plusieurs nids sans se donner la peine de grimper aux arbres et surtout sans en déranger les occupants doit avoir l'ouïe bien affilée (au moins autant que celle de l'oie de Louis*). À défaut, il s'équipera d'une prothèse, comme celle-ci qui comprend un poste central d'écoute et un ou plusieurs minuscules microphones avec leur préamplificateur. Capter les chants d'oiseaux n'est évidemment pas la seule utilisation possible.

Les interphones sont certes pratiques mais il n'est pas forcément nécessaire qu'ils permettent de communiquer dans les deux sens. Témoin ces installations à sens unique qui servent d'extension aux oreilles maternelles. Les chasseurs de sons ne pratiquent pas non plus l'échange d'informations avec leur gibier. De même la surveillance acoustique de machines, ou de locaux contre les prédateurs, ne nécessite pas d'intervention verbale de l'auditeur. Les interphones ont en outre l'inconvénient de ne pas posséder de

microphone à proprement parler puisqu'ils se servent, le plus souvent, du même transducteur pour prendre le son que pour le restituer, infidèlement donc. Dans la présente installation les microphones sont faits pour collecter les sons et c'est un haut-parleur qui les restitue : à chacun son métier. Tous les exemples d'application à sens unique donnés plus haut lui seront accessibles. Vous pourrez même l'inclure, mais c'est vous faire offense que de vous penser capable de telles bassesses, dans un « divin échec » pour vaches (ceci dit pour les amateurs d'énigmes, lire Sun Tzu** pour la solution).



* Merci Raymond (Devos assurément).

** Sun Tzu, *The Art of War* XIII, 6 - Oxford University Press, 1963.

Figure 1 - Quelques microphones à électret, en entier sur la rangée du haut, démonté sur celle du bas. Le boîtier relativement petit, contient même un transistor à effet de champ monté en source-suiveuse (adaptation d'impédance) à sa sortie.

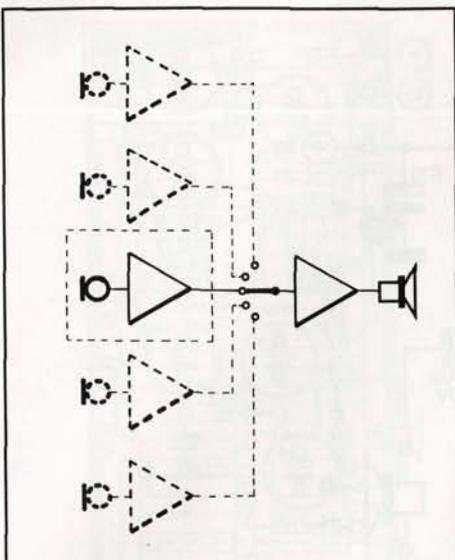


Figure 2 - Vue d'ensemble du montage: un commutateur permet de sélectionner un des microphones suivi de son préamplificateur dont le signal attaque un amplificateur audio de puissance exploitable par le haut-parleur.

microphone(s) à électret

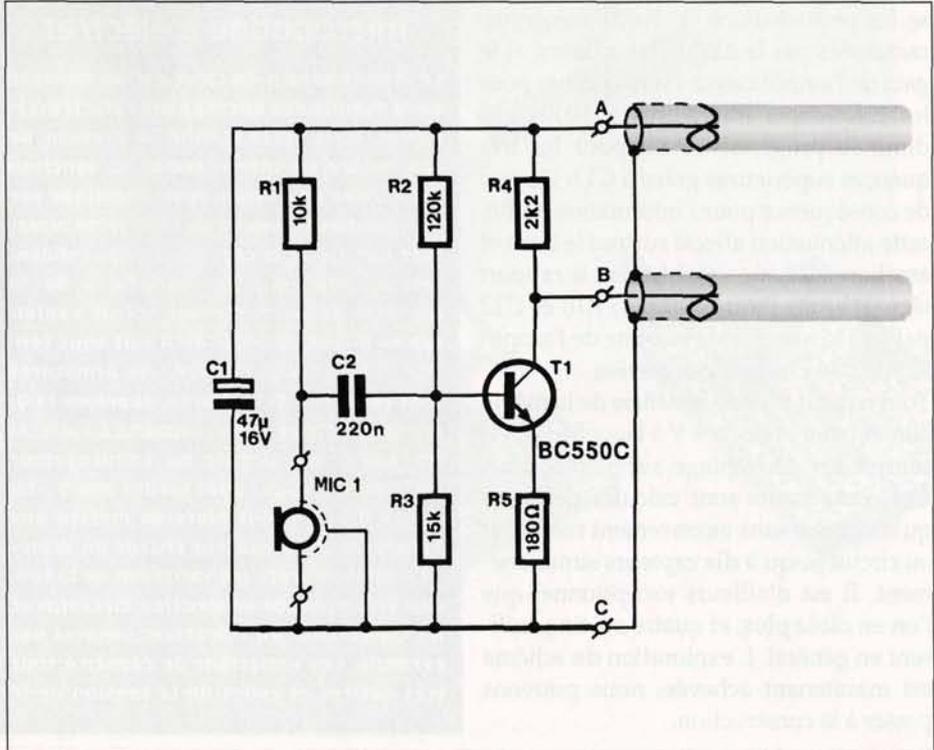
Les capteurs d'une oreille à succursales multiples comme celle-ci doivent satisfaire à deux exigences: de taille, besoin de petits microphones; de sensibilité, autant ne pas tendre une oreille trop dure. Ensuite, les capteurs seront reliés au centre d'écoute par des câbles, éventuellement longs (et de toute façon légers donc fins). Ceci peut également poser des problèmes. Le choix de microphones électrostatiques à **électret** s'impose puisqu'ils sont commercialisés, sous la forme de minuscules capsules, à des prix dérisoires. La **figure 1** en montre quelques exemplaires dont l'un, démonté, dévoile son contenu. C'est un condensateur chargé par construction (voir l'abc) constitué de deux disques de métal séparés par un diélectrique. Le diélectrique est la membrane à proprement parler du microphone puisque c'est lui qui se déforme sous la pression des sons. La capsule contient en outre un transistor, un FET, lequel ramène l'impédance de sortie très élevée du microphone (quelques mégohms) à une valeur acceptable. Petit par la taille, il est grand par ses qualités: les performances de ce petit instrument sont en général fort acceptables. Il est cependant nécessaire que ses possibilités soient exploitées convenablement. La sensibilité du dispositif, par exemple, dépend beaucoup de l'amplificateur de tension qui le suit et précède le haut-parleur. C'est une affaire que nous réglerons

plus loin. Reste la liaison entre la sortie du capteur et le centre d'écoute. Les problèmes que peut poser sa longueur ne sont pas négligeables. L'impédance de sortie du capteur n'est pas vraiment basse (jusqu'à quelques kilohms) et l'amplitude du signal plutôt faible. Les ronflements et autres bruits parasites induits dans un câble long risquent de prendre des proportions plutôt fâcheuses. L'unique remède consiste à faire suivre le microphone d'un petit pré-amplificateur qui élève le niveau du signal avant sa propagation. Ce qui vient d'être dit est résumé sur la **figure 2** où nous trouvons un ou plusieurs microphones avec leurs préamplificateurs qu'un commutateur permet de choisir à partir du poste d'écoute qui comprend un amplificateur et un haut-parleur. Voyons cela de plus près.

un transistor et un amplificateur

Tous les composants du circuit sont présents sur la **figure 3**. Le préamplificateur suit le microphone à gauche, l'amplificateur précède le haut-parleur à droite. Les deux parties sont reliées entre elles par un câble blindé à deux conducteurs. Le pré-amplificateur ne comprend qu'un seul transistor, un BC550C, dont le gain en tension à vide est fixé aux environs de dix. Le choix des résistances de cet étage (émetteur commun à rétro-action par résistance d'émetteur) est, comme dans bien des cas, le résultat d'un compromis. Pour maintenir au plus bas l'influence du ronflement

capté par le câble de liaison, il est conseillé de donner au préamplificateur une résistance de sortie (R4) aussi petite que possible. Cependant, si l'on diminue trop R4, et donc R5, l'intensité excessive du courant qui traverse T1 pose quelques problèmes (de consommation entre autres). Avec les résistances données, le courant de repos est fixé à 2 mA et l'impédance de la sortie à 2 k Ω . Revenons à l'entrée, sur la résistance R1 qui pose peut-être question: en son absence, le transistor à effet de champ contenu dans le microphone ne pourrait bien sûr pas remplir sa fonction, faute d'alimentation ou faute de limitation de courant. Ainsi préamplifié, le signal peut gagner le poste d'écoute par l'intermédiaire d'un câble blindé bifilaire connecté aux points A, B et C. Pour ne pas compliquer les choses plus que nécessaire, nous avons équipé cette station d'un amplificateur de puissance intégré de type LM1895N. C'est un amplificateur basse fréquence à faible bruit contenu dans un boîtier DIL à huit broches. Conçu pour délivrer, sous des tensions d'alimentation relativement faibles (de 3 V à 10 V), une puissance tout à fait raisonnable, il est idéal pour fonctionner dans un montage alimenté par des piles. Les dimensions des composants qui l'entourent sont prévues pour un fonctionnement sous 9 V. Tel qu'il est câblé, il permet de disposer en sortie d'une puissance d'environ 1 W sur un haut-parleur de 8 Ω voire plus sur un haut-parleur de 4 Ω . Voyons cela de plus près.



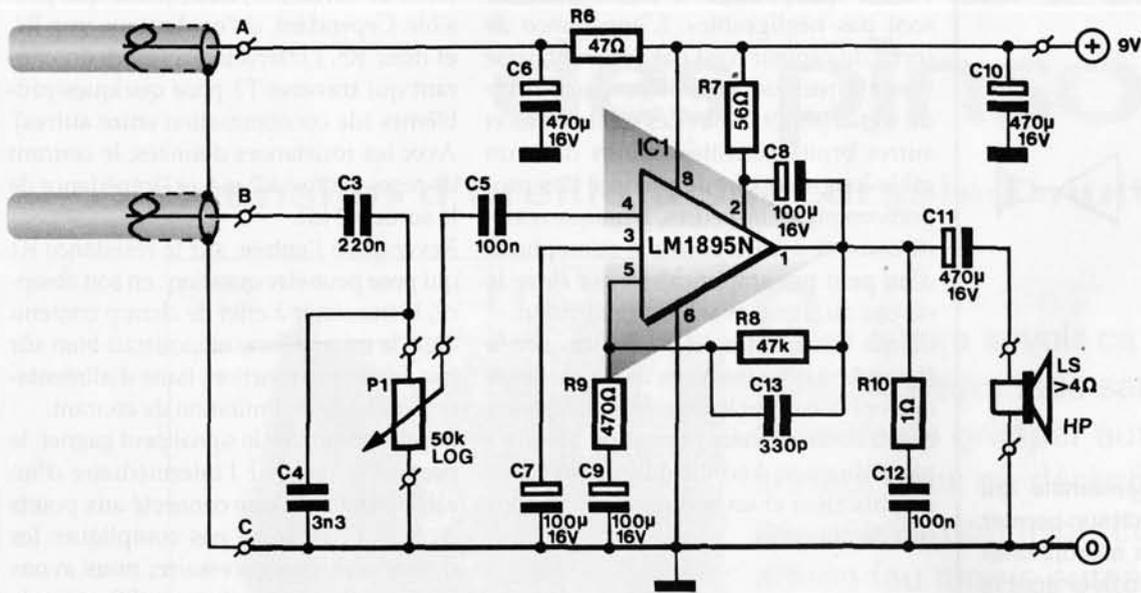


Figure 3 - Par souci de clarté, le schéma ne présente qu'un microphone et son préamplificateur: un transistor câblé en émetteur commun à rétroaction par résistance d'émetteur. L'amplificateur de puissance audio intégré est un circuit spécialisé dans les applications alimentées par pile.

construction

Pour commencer, le gain en tension est déterminé par le rapport entre les résistances du réseau de contre-réaction, R8 et R9. Il est donc de 100, ce qui, avec le gain de l'étage précédent, porte le total à 1000 entre le microphone et le haut-parleur. C'est plus que suffisant. Et si c'est trop, un potentiomètre en entrée nous permettra de régler le volume. À ses bornes, le condensateur C4 court-circuitera à la masse les perturbations de haute-fréquence ramassées par le câble. Par ailleurs, si le gain de l'amplificateur est maximum pour les fréquences inférieures à 10 kHz, il diminue progressivement pour les fréquences supérieures grâce à C13. De peu de conséquence pour l'information audio, cette atténuation affecte surtout le bruit et améliore bien sûr sensiblement le rapport signal/bruit. Pour terminer, R10 et C12 pallient le manque de stabilité de l'amplificateur aux fréquences élevées. Tout ce petit monde bénéficie de la même alimentation, pile de 9 V à laquelle R6/C6 fournit un découplage supplémentaire. Ces composants sont calculés de façon qu'on puisse sans inconvénient raccorder au circuit jusqu'à dix capteurs simultanément. Il est d'ailleurs exceptionnel que l'on en câble plus, et quatre ou cinq suffisent en général. L'exploration du schéma est maintenant achevée, nous pouvons passer à la construction.

On ne trouve sur la figure 4 qu'une platine d'expérimentation de format 1 sur laquelle sont rassemblés les composants des deux circuits, amplificateur et préamplificateur. Les quelques ponts de fil pré-

sents n'en compliquent pas excessivement le câblage. Une ligne en pointillé entre C12 et C1 marque la limite des deux parties du circuit qu'il faudra séparer à la scie (chien fidèle).

elex-abc

microphone à électret

Le microphone à électret est un membre de la famille des microphones électrostatiques. Dans cette famille, le preneur de son assure en même temps la fonction d'armature de condensateur. Mobilisée par les vibrations sonores de l'air, cette armature fait varier la capacité de son condensateur. Pour que les variations de la capacité du condensateur soient exploitables il faut bien sûr qu'il soit sous tension. S'il est sous tension, ses armatures sont chargées. Si la charge, appelons-la Q, est constante et que la capacité C varie, la tension U aux bornes du condensateur varie aussi puisque nous savons que $Q = CU$ ou $U = Q/C$. Il suffit alors de mettre aux bornes du condensateur chargé un dispositif qui interprète ces variations de la tension en amplitude en fonction du temps et les convertisse en vibrations sonores par exemple. Les variations de capacité sont très petites et celles de la tension ne le

sont pas moins. Le dispositif doit donc être assez sensible. Il comprend en général un transistor à effet de champ (le FET est inclus dans la capsule des microphones à électret) commandé en tension dont la très grande impédance évite au condensateur de perdre sa charge. Il faut bien sûr que cette charge existe. Pour l'obtenir, on utilise une source de tension extérieure ou on fabrique un condensateur avec un matériau dans lequel la charge est « gelée ». Le principe de fabrication du matériau est simple: lorsqu'il est en fusion, on le soumet à un champ électrique. Ses molécules polarisées s'orientent selon les lignes du champ et y restent lorsqu'il se retrouve à l'état solide. Un électret est un solide qui a cette propriété de conserver à ses molécules (polarisées) l'orientation qu'elles ont prises lorsqu'en fusion, le solide était soumis à un champ électrique. (Voyez l'apparente contradiction entre les termes: solide en fusion, gaz liquide, liquide congelé.)

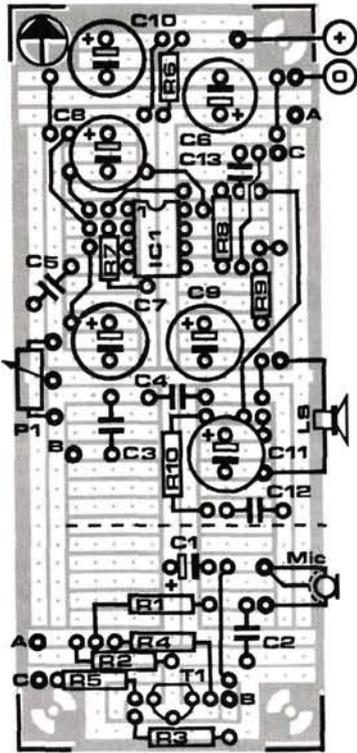


Figure 4 - Les deux parties du montage, sur la même platine, seront séparées à la scie suivant la ligne en pointillé. Utiliser un câble bifilaire blindé pour les liaisons A-A, B-B et C-C. Les condensateurs électrochimiques sont des modèles "radiaux".

Il n'est bien sûr pas indispensable de câbler le préamplificateur en suivant le modèle de la figure 4. Sa réalisation dépend de son utilisation. On peut souhaiter, dans un certain nombre de cas, que l'instrument n'occupe qu'un minimum de volume. Il est possible par exemple de câbler "en l'air" sans utiliser de platine. Les composants sont alors soudés les uns aux autres par leurs broches en un petit paquet compact. Si l'on veille à l'isolement (gaine thermorétractable), si l'on ne se mélange pas les broches, celles de l'électret, en particulier, du condensateur au tantale et du transistor, si le câble est bien branché, ça doit marcher ou plutôt siffler (Larsen) si le microphone n'est pas suffisamment éloigné du haut-parleur. Parlons du câble de liaison entre la sortie du préamplificateur et l'entrée du poste d'écoute. Ses deux fils relient, l'un, les points A, l'autre, les points B, son blindage enfin, les masses, aux points C. Si vous utilisez plusieurs microphones séparément, comme sur la figure 1, le commutateur de sélection coupe ou établit la liaison entre les points B, avec le contact fixe à

l'entrée de l'amplificateur (armature gauche de C3). Les lignes A-A et C-C sont permanentes et la commutation ne s'en occupe pas, moyen très simple de prévenir des ronflements et des claquements parasites.

Les essais terminés vous passerez à la finition: choix de coffret, décoration... Nous vous abandonnons là puisque d'un point de vue purement technique, il n'y a plus rien à dire. L'aspect de l'installation dépend bien sûr de l'usage qui en est fait. Si vous placez le poste d'écoute dans la chambre de bébé par exemple, et tendez les microphones aux oiseaux, ne donnez pas aux choses un aspect effrayant. Ne placez le poste d'écoute dans la chambre de bébé que si les sons captés sont agréables et/ou susceptibles d'enrichir ses gazouillis. À user donc avec précaution, modération ou après consultation d'autorités compétentes.

Nous finirons par l'alimentation. Le montage, nous l'avons dit, a été conçu pour le plein air. Ce n'est cependant pas parce qu'il est prévu pour fonctionner avec des piles qu'une alimentation par le secteur, abaissée, redressée, stabilisée correctement ne lui convient pas. Dans un cas comme dans l'autre, il lui faudra 9 V continus, 2 mA par microphone (s'il y en a plusieurs en fonctionnement simultané, ça fait assurément plusieurs fois 2 mA) et un peu moins de 10 mA pour le poste principal.

896019

liste des composants

capteur

- R1 = 10 k Ω
- R2 = 120 k Ω
- R3 = 15 k Ω
- R4 = 2,2 k Ω
- R5 = 180 Ω

- C1 = 47 μ F/16 V tantale
- C2 = 220 nF

T1 = BC550C

Mic 1 = capsule microphone à électret

poste d'écoute

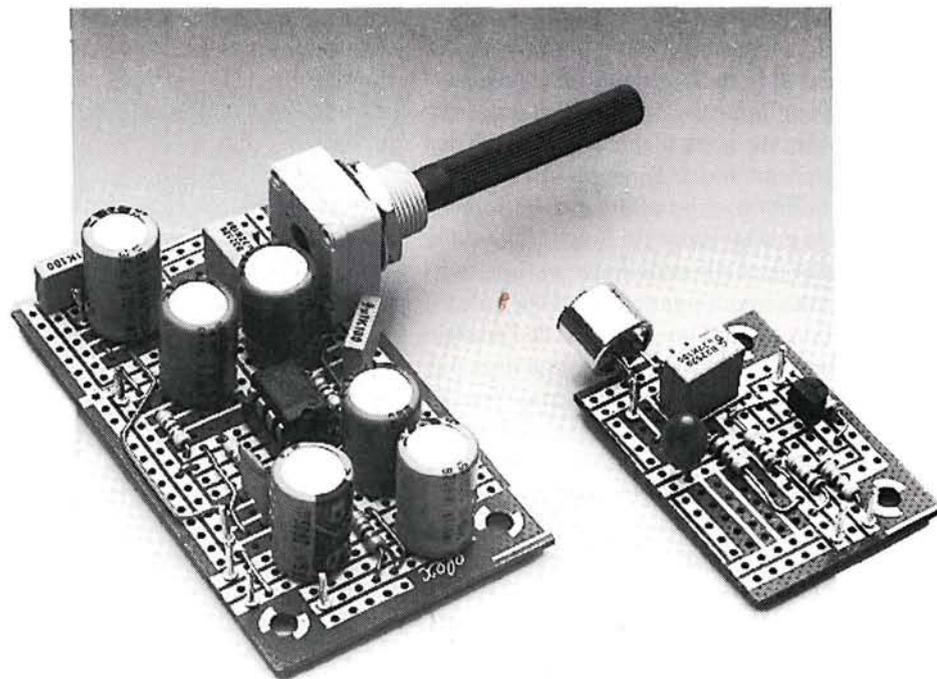
- R6 = 47 Ω
- R7 = 56 Ω
- R8 = 47 k Ω
- R9 = 470 Ω
- R10 = 1 Ω
- P1 = 50 k Ω log

- C3 = 220 nF
- C4 = 3,3 nF
- C5, C12 = 100 nF
- C6, C10,
- C11 = 470 μ F/16 V radial
- C7, C8,
- C9 = 100 μ F/16 V radial

IC1 = LM1895N

LS = haut-parleur 4 Ω et plus

platine d'expérimentation de format 1



Dès 1959, pour alimenter en électricité leurs satellites (Vanguard, Ranger, Tiros, Telstar...), les Américains les équipèrent de photopiles: dispositifs capables de transformer directement l'énergie électromagnétique (la "lumière") dont le soleil n'est pas chiche, en énergie électrique. Les coûts de production de ces photopiles sont aujourd'hui suffisamment bas pour que les particuliers, qui ne peuvent pas s'envoyer en l'air de façon aussi spectaculaire, puissent quand même en profiter. Nous ne pouvons cependant pas nous attaquer à la construction d'une station solaire, même élémentaire, constituée d'un chargeur solaire de batterie, le jour, batterie qui, la nuit, alimente une lampe, sans avoir une idée des phénomènes mis en jeu et de la façon de les exploiter.

Si l'on excepte l'énergie nucléaire, celle des marées et la chaleur de la Terre (géothermie), la plupart des sources d'énergie disponibles sur notre planète sont dues à des transformations de l'énergie solaire (nous ne parlons pas des effets gravitationnels causés par la masse du Soleil, celle de la Lune et la rotation de la terre). Les combustibles fossiles par exemple, pétrole ou charbon, ne font que restituer de l'énergie solaire stockée il y a très longtemps par des organismes vivants. D'autres formes d'énergie, celle, hydraulique, des cours d'eau ou, éolienne, des vents, ne serait pas présente en l'absence du soleil: sans soleil, il n'y aurait pas d'évaporation donc pas de pluie, il n'y aurait pas non plus de gaz (gazeux), donc pas d'atmosphère. Pour simplifier, en l'absence de soleil, les éléments ne pourraient pas se déchaîner pour faire tourner les moulins qui n'existeraient pas puisqu'il n'y aurait pas de vie (au moins sous les formes que nous lui connaissons).

mini station solaire

Le soleil dispense à la Terre (atmosphère comprise) un flux de radiation dont l'intensité est de $1,4 \text{ kW/m}^2$. L'atmosphère en absorbe ou en réfléchit un tiers environ. Plus prosaïquement, sous nos latitudes, une surface de 1 m^2 , convenablement orientée, pourrait recevoir du soleil une énergie de l'ordre de 1 MWh par an (400 kJ/cm^2): comment l'exploiter? On le fait évidemment sans s'en apercevoir puisque les murs, la toiture, les fenêtres d'une maison transmettent une quantité significative de cette énergie. Une baie vitrée par exemple peut laisser passer jusqu'à 85% du flux lumineux incident, ce qui est intéressant l'hiver (effet de serre). Il est ainsi possible de concevoir un local d'habitation de façon que ses habitants profitent au mieux de cette énergie gratuite pour satisfaire une partie de leurs besoins. Des systèmes de captage permettent de la mieux domestiquer, pour se chauffer ou chauffer son eau s'ils sont héliothermiques (du grec *helios*, le Soleil) ou produire de l'électricité par effet photovoltaïque. Comme la plomberie n'est pas encore une spécialité d'ELEX nous allons nous intéresser au second type. L'effet photovoltaïque est connu depuis le siècle dernier, au moins depuis Becquerel (pas Henry, son père). Étonnante famille que la famille Becquerel: le grand-père, Antoine invente la pile impolarisable à deux liquides en 1829, le père, Edmond, dix ans plus tard, présente à l'Académie des sciences un « mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires », le fils, Henry, découvre la radioactivité en 1896: trois générations de physiciens dont le nom pourrait être, aujourd'hui, associé à trois (voire quatre, puisqu'Edmond participa à la mise au point de couples thermo-électriques) sortes de "piles". Il est vrai cependant qu'après Edmond, l'effet photovoltaïque reste une curiosité de laboratoire jusqu'en 1877 où Adams et Day découvrent que la

conductibilité électrique du sélénium augmente dans des proportions considérables lorsqu'il est éclairé: cette propriété sera par la suite exploitée pour la réalisation de posemètres, destinés aux photographes, et Bell en tirera parti avec son photophone. Ces effets de la lumière sur la matière donneront lieu à de nombreuses études dans le dernier quart du dix-neuvième siècle. On en découvrira les lois, mais il faudra attendre Einstein et l'hypothèse de la « quantification de l'énergie lumineuse » (1905) pour en avoir une explication convaincante.

Jusqu'alors, pour les uns, la lumière était formée de grains (théorie corpusculaire des philosophes grecs de l'antiquité et de Newton) pour les autres, elle était due aux vibrations d'un milieu omniprésent (l'éther, celui des poètes et des physiciens, qui n'existe plus depuis Maxwell, pas celui des pharmaciens) et se propageait par ondes (théorie ondulatoire de Huygens en 1690). Le prestige de Newton est tel que la théorie corpusculaire domine jusqu'au dix-neuvième siècle mais un certain nombre d'expériences, auxquelles sont associés les noms prestigieux de Fresnel (1850), Foucault et Maxwell, amènent, dans la seconde moitié de celui-ci, à la rejeter au bénéfice de la théorie ondulatoire. Or, en 1905, Einstein démontre qu'on ne peut expliquer les effets photoélectriques que si la lumière est constituée de *quanta*, grains d'énergie qu'on appellera par la suite photons, associés à une onde. L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de l'onde associée. Un photon d'énergie suffisante, absorbé par un matériau donné, est susceptible d'en libérer un électron lié, donc de créer une paire électron-trou, puisque la place laissée libre par l'électron se comporte vis à vis d'un autre électron comme une charge positive. Certains effets photoélectriques sont dits externes puisque les électrons sont libérés de la substance (effet

photoémissif), les autres sont dits internes puisque les électrons qui ont acquis de l'énergie restent dans la substance (effets photovoltaïques et photoconductivité). C'est à ces derniers effets que font appel les photorésistances, phototransistors et photodiodes. Les piles solaires appartiennent à cette dernière famille.

piles solaires

Les piles (ou cellules) solaires (ne) sont (que) des diodes aux bornes desquelles on mesure une tension si elles sont éclairées. Bien qu'elles se présentent différemment selon les fabricants (figure 1) elles sont toutes constituées de jonctions P-N. Si l'on expose au soleil la jonction d'une diode (n'importe quelle diode pourvu que son boîtier soit transparent), un voltmètre de forte impédance branché à ses bornes (borne plus de l'appareil de mesure à l'anode) y mesurera une différence de potentiel de quelques centaines de millivolts.

Pour obtenir une puissance suffisante, la diode doit offrir à la lumière une surface beaucoup plus importante qu'une simple diode de redressement au silicium. La surface d'une seule cellule atteint donc plusieurs dizaines de centimètres carrés. On distingue en gros trois types de cellules suivant qu'elles sont fabriquées à partir de silicium monocristallin, polycristallin ou amorphe (du grec *morphê*, forme, à ne pas confondre avec *Morpheus* "qui reproduit les formes" dans les songes, sommeil). Une cellule en forme de disque est en principe découpée dans un seul cristal de

silicium (silicium monocristallin). Son rendement (rapport de la puissance rendue à la puissance reçue) est supérieur à celui qu'offre une cellule découpée dans un lingot de silicium polycristallin (14 à 15% pour les premières, contre 12% pour les secondes). Cependant, la forme carrée qu'il est possible de donner à la seconde permet un gain de surface qui compense ce défaut. De plus un cristal de silicium est long et difficile à fabriquer, donc beaucoup plus cher qu'un lingot. Les cellules faites de silicium polycristallin se reconnaissent à leur forme, le plus souvent carrée et à leur aspect : des taches de formes diverses, visibles depuis leur surface, trahissent l'irrégularité de leur cristallisation. Le lingot dans lequel elles sont découpées est en effet composé d'une multitude de cristaux de tailles diverses empilés les uns sur les autres.

On trouve encore sur le marché des piles solaires au rendement relativement faible (3 à 6%) utilisées principalement pour alimenter les calculettes ou des installations de faible puissance. Une mince couche semi-conductrice d'un dérivé du silicium dit amorphe (ou vitreux, c'est-à-dire non cristallisé) y est déposée sur des plaques de verre préalablement recouvertes d'oxyde d'étain. Outre leur faible rendement (on vise 10%), ces photopiles n'ont pas dans le temps une très bonne stabilité de fonctionnement. Cependant, si on ne les fait pas travailler dans des conditions trop difficiles, elles peuvent durer, et leur prix de revient est relativement modeste.

Quelques mots sur le rendement de ces piles solaires. Une pile solaire qui a un

rendement de 15% et reçoit du soleil une puissance de 10 W pourrait fournir 1,5 W. C'est dire que tous les photons qu'elle reçoit ne provoquent pas les déplacements voulus d'électrons, certains n'apportent que de la chaleur (qu'il faut parfois veiller à dissiper). Ce rendement est d'autre part un rendement optimal, qui correspond à une température et une charge données. À une extrémité de son fonctionnement, en circuit ouvert pour commencer, la force électromotrice, maximale, croît en fonction de l'éclairement mais décroît avec la température. À l'autre, en court-circuit, l'intensité du courant, maximale, sera de même proportionnelle à l'éclairement, mais croîtra avec la température.

Il existe bien sûr d'autres types de cellules et d'autres modes de fabrication que ceux que nous avons cités. Les plus performantes dites « en cascade » sont faites de plusieurs jonctions qui leur permettent d'utiliser une plus forte proportion de photons du rayonnement reçu et d'atteindre, en laboratoire, des rendements supérieurs à 30%. Si le silicium joue dans ce domaine un rôle dominant, on parle beaucoup dans les laboratoires d'arséniure de gallium, sel qui ne se trouve assurément pas dans toutes les cuisines. Les cellules solaires à l'arséniure de gallium en couche mince monocristalline, dont le coût de fabrication est très élevé, sont encore, pour la plupart, réservées à l'industrie spatiale.

mesures

Une précision pour commencer : comme la force électromotrice d'une pile solaire est relativement faible (0,4 à 0,6 V si elle est éclairée), on en branche en principe plusieurs en série pour fabriquer un générateur ; l'intensité du courant débité est, elle aussi, assez petite de sorte que l'on met plusieurs séries de piles en parallèle pour y remédier. Un panneau solaire est

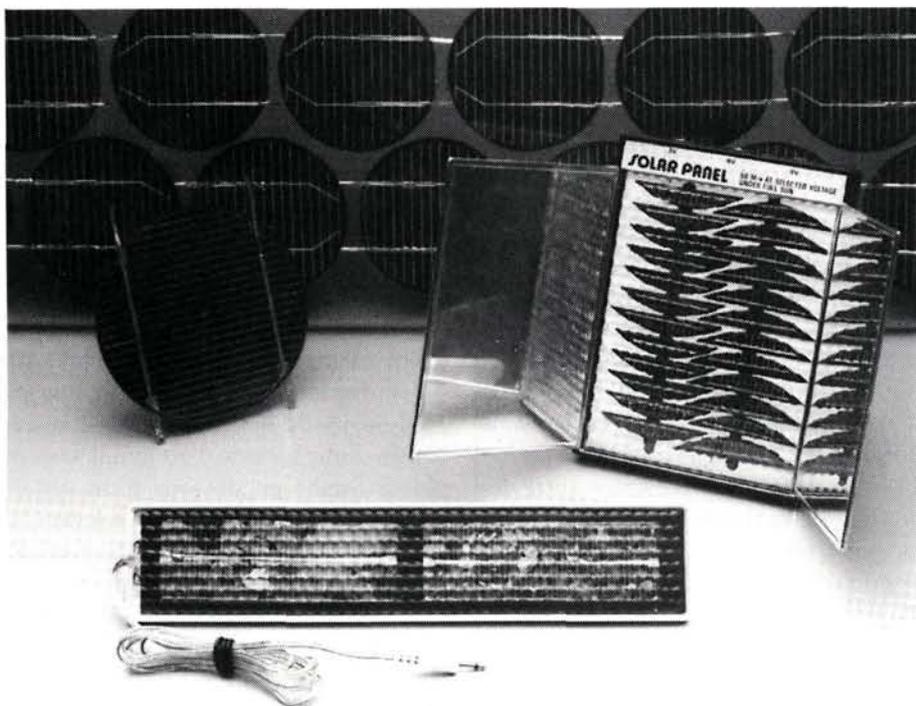


Figure 1 - Quelques modèles de panneaux solaires. Les cellules, vu leur forme circulaire, sont des tranches de silicium monocristallin. Celles en forme de demi-lune sont en principe meilleur marché (déchet) pour un rendement qui n'est pas inférieur.

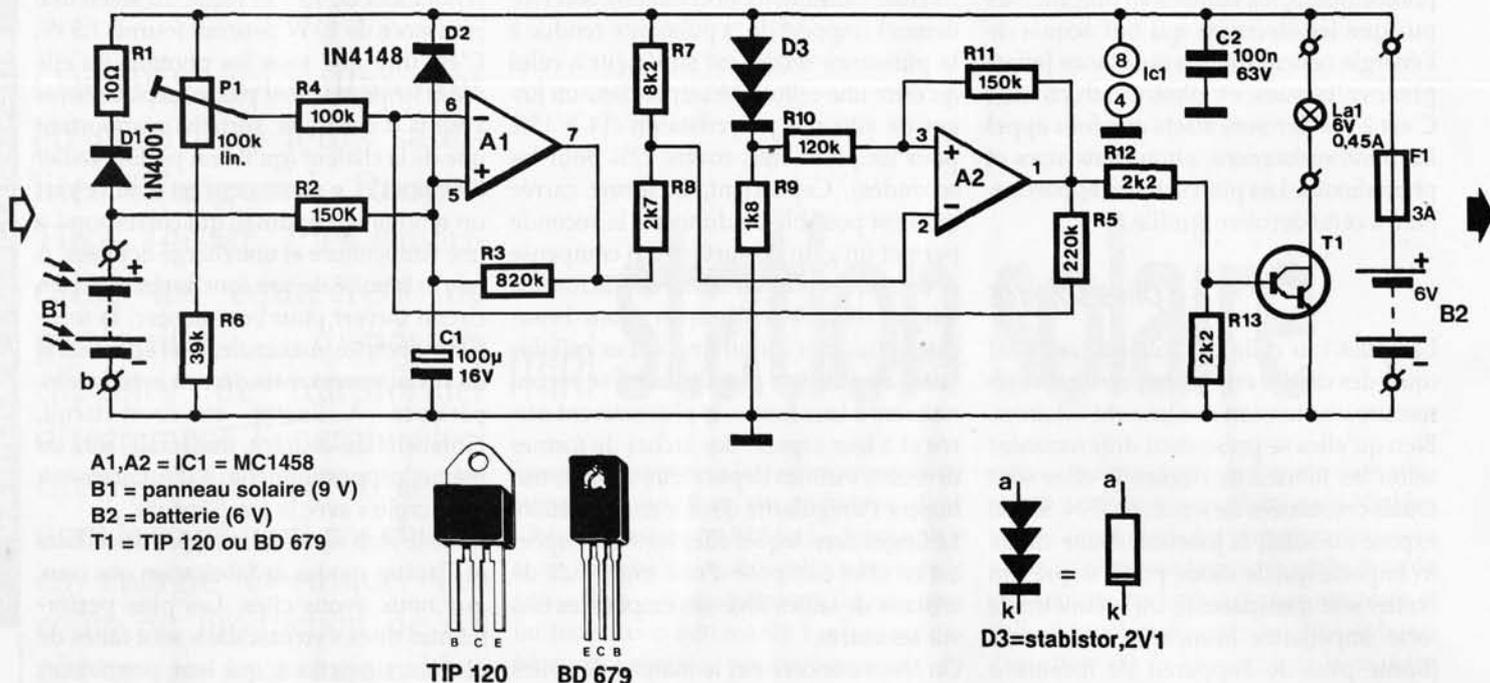


Figure 2 – De jour, la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique par les piles B1 permet la charge d'une batterie d'accumulateurs, B2. À la tombée du jour, la tension disponible aux bornes des piles solaires chute et le comparateur A1 met la lampe La1 sous tension: les accumulateurs fonctionnent en générateur et l'alimentent. Si la tension aux bornes des accumulateurs descend en dessous d'un certain seuil, un deuxième comparateur, A2, provoque l'ouverture du circuit de la lampe.

donc constitué de batteries de piles. Avant de brancher ce panneau aux bornes d'un circuit comme celui de la figure 2, il est nécessaire d'en connaître les caractéristiques. Si elles ne sont pas fournies, comment les mesurer? La meilleure méthode consiste à exposer le panneau en plein soleil et à le faire débiter sur différentes charges connues. On mesure alors l'intensité du courant débité dans chaque charge et la différence de potentiel à ses bornes. C'est ce que nous avons fait pour les cellules destinées à alimenter notre prototype. Les résultats rassemblés dans le tableau 1 ont permis de tracer les courbes de la figure 3. Il va de soi que la tension U_{Rc} , mesurée aux bornes de chaque résistance R_c , est toujours proportionnelle au courant I_{Rc} qui la traverse, même si les résultats des mesures ne permettent pas de s'en convaincre: imperfection des instruments, tolérances sur la valeur des résistances (10%), inconstance de l'éclairement du à l'interposition de petits nuages entre le soleil et le panneau, maladresse de l'expérimentateur, qui aurait pu se passer de mesures imprécises d'intensité en appliquant simplement la loi d'Ohm. Bref, une fois notées sur le tableau la résistance, la différence de potentiel à ses bornes, l'intensité lue sur l'ampèremètre (ou calculée, $I = U/R$), on peut y ajouter, dans une quatrième colonne, la puissance

(U^2/R ou $U \cdot I$) délivrée. Cette puissance, maximale ici lorsque le générateur débite sur une résistance de 100 Ω , est dite "puissance crête". Nous en retrouvons le point (surdimensionné) sur les graphes de la figure 3.

Une fois que l'on s'est fait une idée de l'intensité du courant que peut débiter le panneau (ou une pile isolée) et de la tension disponible à ses bornes, on peut en déduire les groupements optimaux à réaliser: en série, pour obtenir une tension voulue, et en parallèle pour un courant donné.

le circuit

Avant toute chose, lorsque l'on veut fabriquer ce type de chargeur de batterie, il faut empêcher que la batterie se décharge dans le chargeur. En l'absence de lumière, la tension aux bornes du chargeur est inférieure à celle de la batterie d'accumulateurs. Comme le chargeur n'est constitué que de diodes et que le courant de décharge serait direct pour elles, une autre diode, D1 sur la figure 2 est chargée de le bloquer. Une résistance R1 limite l'intensité du courant de charge des accumulateurs: il ne leur en faut pas trop s'ils sont petits. Leur courant de décharge est aussi limité, à trois ampères, par un fusible: en

cas de court-circuit qui pourrait les endommager s'il durait.

Le but du circuit est de permettre, le jour, la charge des accumulateurs à travers D1, R1 et le fusible. Rassurez-vous, le reste n'est pas là pour meubler. Il est à la fois allumeur de réverbère et mouchette de chandelle: à la brune, il assure la mise sous tension de la lampe et l'éteint quand les accumulateurs n'en peuvent plus. Les cellules ne délivrent pas seulement du courant aux accumulateurs, elles jouent aussi le rôle de capteur. Voyons les choses de plus près.

Pour mener à bien ses travaux de mesure le circuit dispose d'une paire de comparateurs de tension, A1 et A2. Le premier reçoit l'information binaire "jour-nuit" à laquelle il répond par la mise sous ou hors tension de la lampe. Le second reçoit ses ordres de la batterie d'accumulateurs et éteint la lampe si la tension disponible, de 6 V en fonctionnement normal, descend au-dessous de 4,3 V (si la tension aux bornes d'une batterie d'accumulateurs au plomb tombe en dessous d'un certain seuil, elle peut ne jamais s'en relever). La tension disponible à la sortie du panneau solaire, appliquée à l'entrée non inverseuse de A1 par l'intermédiaire de R2, est comparée à une tension de référence, réglable, puisqu'elle est prélevée sur le curseur de P1. La présence de C1 permet

Tableau 1 - Les mesures de la tension (U) aux bornes de différentes charges (R_c), et de l'intensité du courant (I) débité par la batterie de piles solaires du prototype, pour un ensoleillement maximum, permettent d'en déterminer la puissance crête (U-I), ici de 900 mW.

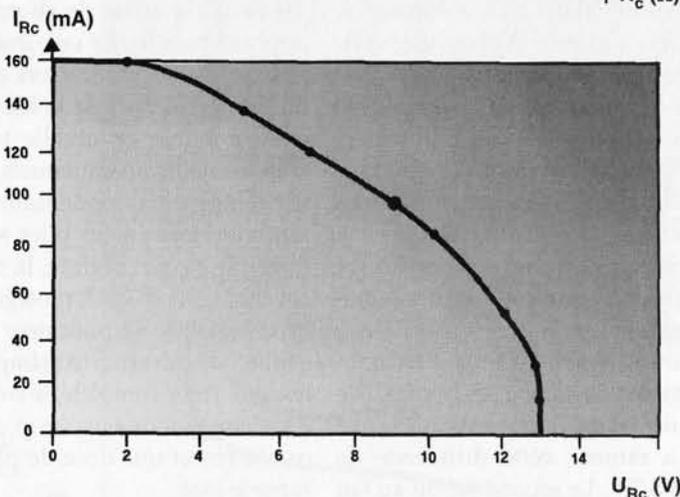
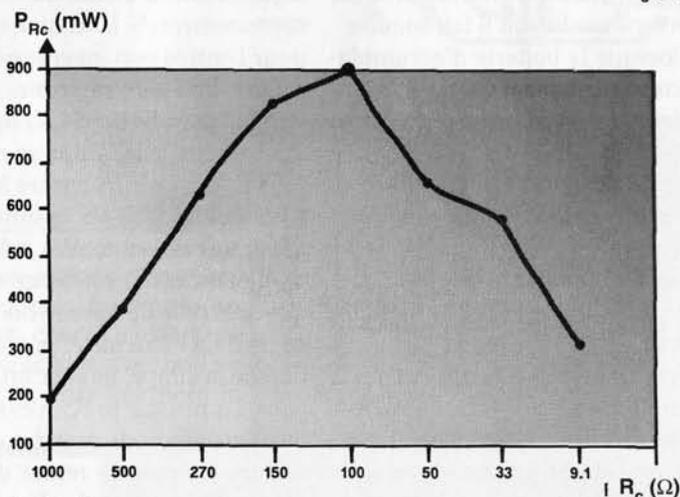
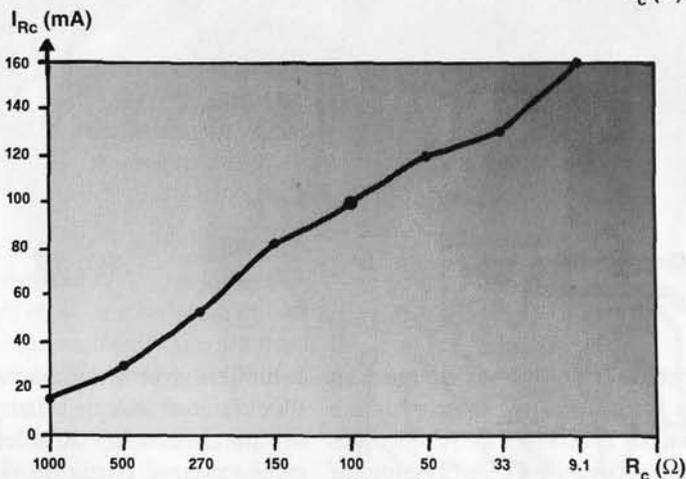
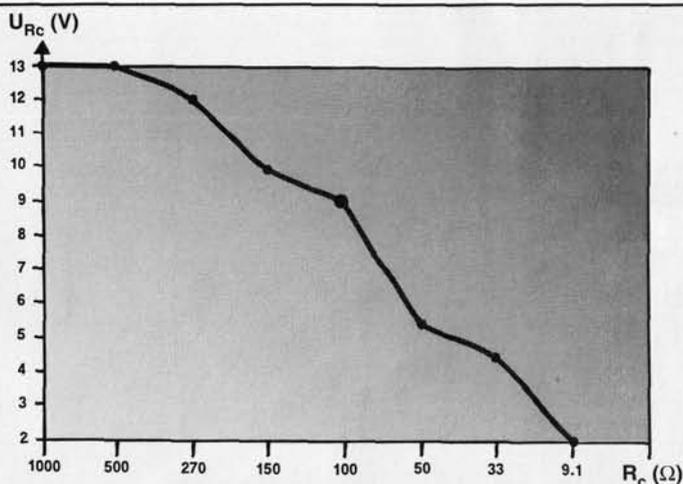
R_c (Ω)	U (V)	I (mA)	U-I (mW)
1000	13	15	195
500	13	30	390
270	12	53	636
150	10	83	830
100	9	100	900
50	5,5	120	660
33	4,5	130	585
9,1	2	160	320

Figure 3 - Le résultat des mesures du tableau 1 exposé sous forme de graphiques.

à l'entrée de mesure de conserver un certain temps son niveau en cas de courtes variations de luminosité dues à des passages nuageux par exemple. Le réglage de P1 dépend de la latitude et des saisons : son curseur n'aura pas la même position à l'équateur et au pôle, en été et en hiver.

Une fois P1 réglé, il n'y a pas à craindre que la sortie de A1 hésite sur le niveau à prendre si la tombée du jour est progressive (ce qui amènerait la lampe à clignoter ou à luire faiblement) : la résistance R3 confirme à l'entrée de mesure du comparateur que sa sortie a basculé dans un sens ou dans l'autre. Grâce à cette résistance, qui ramène sur l'entrée une fraction de la tension de sortie, le niveau de tension pour lequel la sortie bascule dans un sens est différent de celui pour lequel elle bascule dans l'autre. La différence entre ces deux niveaux, appelée tension d'hystérésis, évite la confusion.

Lorsqu'il fait assez sombre, la tension sur la broche 5 de A1 descend en dessous de celle de référence appliquée sur la broche 6. La sortie du comparateur tombe aux environs de 0 V. Nous avons donc aux bornes du pont diviseur R7/R8 une différence de potentiel proche de la tension d'alimentation dont l'entrée inverseuse de A2 voit environ 1/4. C'est cette tension qui servira de tension de référence au second comparateur. L'autre entrée, non inverseuse, de A2 mesure la tension aux bornes de l'accumulateur qu'elle voit amputée de 2,1 V soustraits par D3. Cette triple diode, qu'on appelle pour l'occasion "stabistor", serait remplacée par une diode de zener si la chute de tension exigée était plus importante. Si la batterie d'accu-



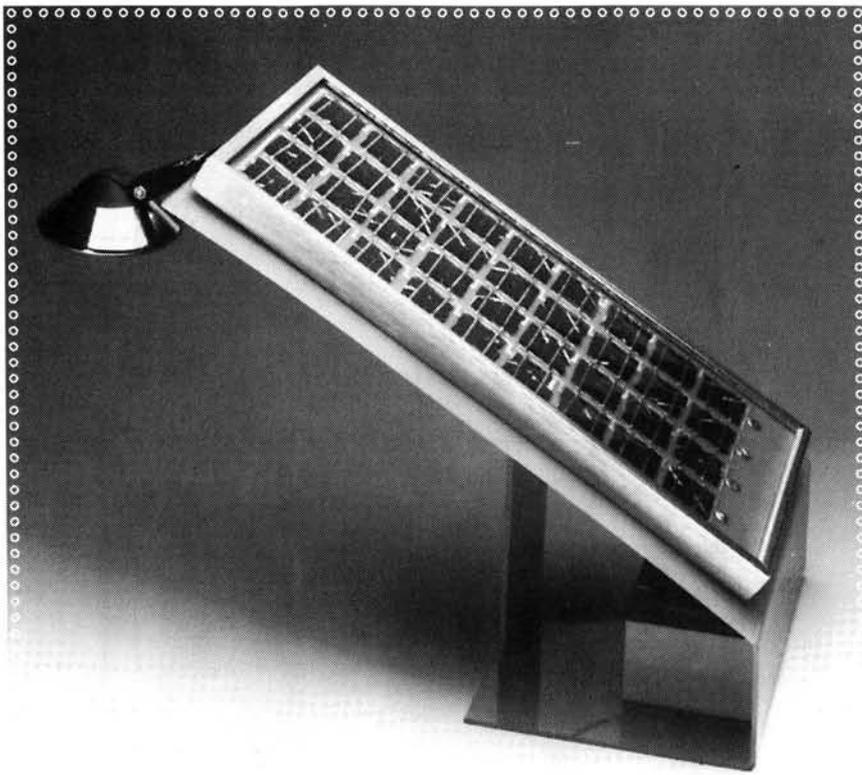


Figure 4 - Le prototype résulte de la combinaison d'un panneau solaire, d'une batterie d'accumulateurs de modélisme, d'une lampe halogène de moto et du circuit décrit ici. Si le plan du panneau est perpendiculaire à la direction des rayons du soleil, son exposition est meilleure. Une inclinaison du support de 45° sur l'horizontale est une bonne indication sous nos latitudes.

Figure 5 - Le choix vous est donné entre cette implantation sur une platine d'expérimentation et une autre sur circuit imprimé.

le montage

Pour le montage, vous avez le choix entre l'implantation des composants sur une platine d'expérimentation de format 1 (figure 5) et un circuit imprimé. Pour le stockage de l'énergie, une batterie d'accumulateurs au plomb de 6 V comme on en trouve en modélisme ou sur certains deux roues, nous semble préférable au cadmium-nickel.

La capacité de la batterie doit être suffisante pour alimenter la lampe pendant la durée désirée. C'est cette capacité que les fabricants indiquent sur leur emballage en ampères-heure (Ah) et non une intensité. Quelle capacité doit-elle avoir pour alimenter une ampoule de 2,7 W comme celle que donne la liste des composants (6 V/0,45 A) pendant dix heures? Dix fois 0,45 A soit 4,5 Ah.

Sa charge doit répondre à des critères semblables. Si nous prenons par exemple une batterie de 6 V/6 Ah, qui supporte une intensité maximale de 1,8 A (0,3 x 6) elle ne pourra pas être chargée, si elle est vide (ce qu'elle ne doit jamais être sous peine d'y succomber), en moins de 6/1,8 h (3 h 20 mn) sous 6 V et 1,8 A. Il faut cependant tenir compte de pertes: une règle empirique veut que la charge soit de 1,5 fois la décharge, ce qui en porterait la durée à 5 h.

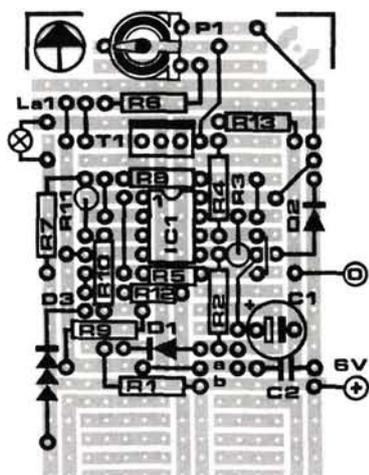
Dans le cas présent, l'intensité du courant fourni par les piles solaires est loin d'être aussi élevée. La charge sera donc considérablement plus longue. Comme une journée n'a que 24 h et que la décharge doit être un peu moins exigeante que la charge, il vous faudra peut-être choisir une batterie de plus faible capacité et une lampe de moindre puissance que celles que nous avons prises. Il n'est pas non plus nécessaire que la décharge se poursuive pendant tout le temps de non-charge, c'est pourquoi on peut aussi prévoir un inter-

multateurs (de 6 V) est bien chargée, on mesure à ses bornes une tension de 6 à 6,5 V, donc sur la broche 3 de A2 quelques 4 V, tension supérieure à celle présente sur l'entrée inverseuse lorsqu'il fait sombre. De nuit, lorsque la batterie d'accumulateurs est convenablement chargée, la tension sur l'entrée non inverseuse de A2 est supérieure à celle présente sur l'entrée inverseuse: la tension à la sortie du comparateur est alors suffisante pour que même divisée par deux sur la base de T1 (par R12 et R13) elle permette à ce darlington de conduire et à la lampe (La1) d'être alimentée.

La lampe ne continuera d'éclairer que si la tension sur l'entrée inverseuse de A2 reste inférieure à celle de l'entrée non inverseuse. Ce ne sera plus le cas si la tension d'alimentation chute aux environs de 4,3 V ou si la sortie de A1 bascule: cette dernière condition n'est évidemment remplie que si le panneau solaire retrouve un fournisseur de photons assez efficace.

Tel qu'il vient d'être décrit le montage n'est pas sans défaut. Le premier, celui des comparateurs en boucle ouverte, qui commutent pour un oui ou un non, est corrigé par R11 qui transforme A2 en comparateur à hystérésis: si sa sortie met la lampe hors tension lorsque la batterie d'accumulateurs a moins de 4,3 V à ses bornes, elle ne rebasculera dans l'autre sens que si une recharge a ramené cette différence de potentiel à 5,7 V. Le second est dû au fait que la disparition de la lumière fait naître

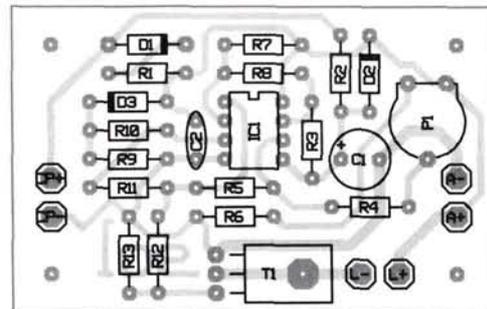
la lumière, avec le clignotement qui risque d'en résulter: lorsque la lampe s'allume, à la suite du coucher du soleil, les cellules reçoivent une partie au moins de son rayonnement. Si la tension qui en résulte pour l'entrée non inverseuse de A1 suffit à faire basculer sa sortie, la lampe va s'éteindre. La sortie de A1 basculera dans l'autre sens et la lampe se rallumera. Le remède consiste ici encore à boucler, par l'intermédiaire de R5, la sortie du dispositif sur une de ses entrées, celle de référence. La tension de référence est alors plus élevée et celle de mesure doit, pour que la sortie de A1 bascule et provoque l'extinction de la lampe, monter un tantinet plus haut. La résistance R5 n'évite pas seulement au circuit de prendre quelques rais de lumière pour le retour du soleil, elle prévient les effets de clignotement que pourrait provoquer une instabilité de la tension d'alimentation lors de l'allumage ou de l'extinction de la lampe. On pare ensuite à une éventuelle tendance des amplificateurs opérationnels à osciller par le câblage d'un condensateur, C2. Pour terminer, lorsque les piles solaires fonctionnent à plein régime, la diode D2, en collaboration avec R2, protège l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel contre une élévation trop importante de la tension. Ainsi complété, le circuit fera face à ses obligations sans (trop de) défaillance, s'il reçoit une dose de photons suffisante le jour.



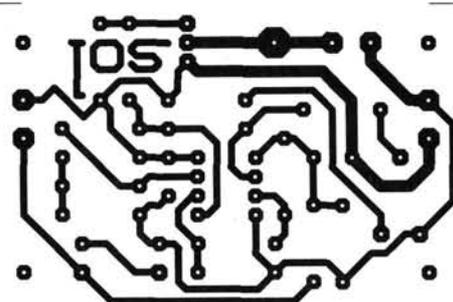
rupteur de mise hors tension manuelle de la lampe (ou une temporisation). Un chargeur d'accumulateurs au plomb délivre en principe une tension constante un peu plus élevée que la sienne. Dans le cas présent, il serait bon que la tension de charge moyenne soit comprise entre 7 et 9 V. Compte tenu de la faible puissance crête du chargeur (900 mW dans le cas du prototype) il n'est pas nécessaire qu'elle soit limitée, d'où l'absence de régulation. Comme vous le savez sans doute, il n'est pas bon que la tension aux bornes d'un accumulateur au plomb (2 V, une batterie

de 6 V en contient donc trois) descende en dessous d'un certain seuil. Si le seuil indiqué par le fabricant est de 1,75 V, supérieur à celui que nous avons prévu (1,4 V) la dimension des composants autour de A2 devrait en principe y être adaptée: ceci peut ne pas aller sans poser quelques problèmes. Vous pouvez par exemple remplacer R8 par une résistance variable de 4,7 k Ω (et une résistance talon de 1 k Ω) pour obtenir une tension de référence réglable à l'entrée inverseuse de A2. Une alimentation de laboratoire, réglable en tension, branchée à la place de la batterie, après déconnexion du panneau solaire, devrait alors vous permettre de déterminer la résistance pour laquelle la sortie de A2 bascule vers le bas lorsque la tension d'alimentation descend en dessous de 5,25 V si la tension minimale aux bornes de chaque élément de votre batterie est de 1,75 V.

Le réglage de P1, pour terminer, n'est pratiquement possible que si vous laissez C1 de côté. En effet, si ce condensateur est présent, la lampe ne réagit que quelques dizaines de secondes après l'occultation (provoquée) du soleil (C1 joue le même rôle qu'un lac en automne qui garde la mémoire de l'été un peu de temps après sa fin).



Ne cherchez pas le fusible sur le circuit imprimé, pas plus que sur la platine d'expérimentation. Sa place est au plus près de l'accumulateur. Vous le monterez dans un porte-fusible comme ceux des auto-radios. Le darlington T1 se passe de radiateur car il est saturé et n'a à conduire qu'un courant relativement faible, une fois le filament de l'ampoule un peu chaud.



liste des composants

- R1 = 10 Ω
- R2, R11 = 150 k Ω
- R3 = 820 k Ω
- R4 = 100 k Ω
- R5 = 220 k Ω
- R6 = 39 k Ω
- R7 = 8,2 k Ω
- R8 = 2,7 k Ω
- R9 = 1,8 k Ω
- R10 = 120 k Ω
- R12, R13 = 2,2 k Ω
- P1 = 100 k Ω , ajustable

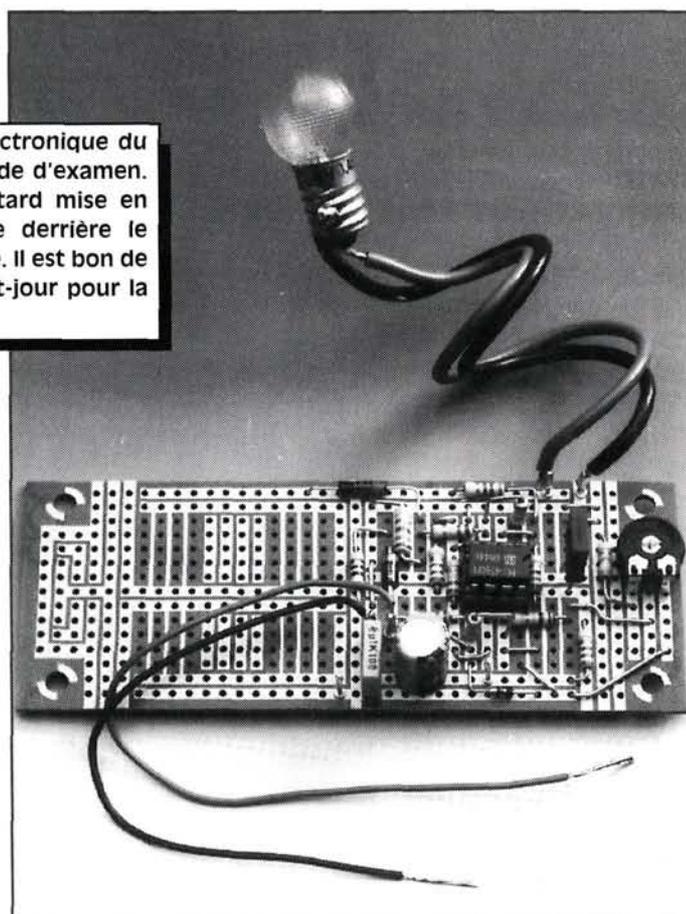
- C1 = 100 μ F/16 V
- C2 = 100 nF

- T1 = TIP120 ou BD679
- D1 = 1N4001
- D2 = 1N4148
- D3 = stabistor 2,1 V/400 mW
- IC1 = 1458

double amplificateur opérationnel d'usage général

- La1 = lampe 6 V/0,45 A*
- B1 = batterie de piles solaires 7 à 9 V
- B2 = batterie d'accumulateurs (au plomb) 6 V
- F1 = Fusible (éventuellement) 3 A, avec son support

Figure 6 - L'électronique du circuit en période d'examen. Elle sera plus tard mise en boîte et collée derrière le panneau solaire. Il est bon de prévoir un abat-jour pour la lampe.



balance stéréo

indicateur d'équilibrage

Appartiendriez-vous à cette catégorie de personnes qui ont toujours l'impression que le potentiomètre d'équilibrage (la balance) des deux voies d'une installation stéréophonique n'est jamais dans la bonne position et qu'une enceinte donne toujours plus que l'autre ? Si oui, nous avons quelque chose pour vous, un "peson" qui vous l'indiquera en toute objectivité.

Pratiquement toutes les installations stéréophoniques disposent d'un potentiomètre de réglage de la balance grâce auquel il est possible d'équilibrer leurs deux voies, c'est-à-dire d'augmenter le volume du son sur l'une et de le diminuer en proportion sur l'autre, si la différence entre les deux n'est pas nulle lorsque les deux signaux reçus sont identiques. La reproduction d'un enregistrement stéréophonique n'est en effet bonne que si l'auditeur perçoit les sons en provenance de chaque enceinte avec la même intensité s'ils ont été émis à l'origine avec la même intensité. La position de ses oreilles par rapport aux enceintes et le réglage du volume de chacune au même niveau sont bien sûr déterminants. Nous supposons que l'auditeur a deux oreilles fonctionnellement identiques et ne nous préoccupons que de l'équilibrage des enceintes que nous considérerons en rapport à celui de deux tensions. Si ces tensions sont égales, l'équilibrage sera réalisé et une LED s'allumera. Si la tension aux bornes d'une enceinte est supérieure à celle mesurée aux bornes de l'autre, une seconde ou une troisième LED, suivant le côté vers lequel penche la balance, le signalera. Des objections du côté de la grosse caisse au fond à droite ? Vous avez parfaitement raison. Le réglage s'effectue donc idéalement lorsque l'amplificateur est en monophonie pour que les signaux qui alimentent chaque voie soient parfaitement identiques. Des signaux stéréophoniques peuvent cependant fournir une bonne indication de l'équilibrage. Il est en effet rarement question d'une très grande différence de niveau entre les deux voies.

de l'ouvrage pour des amplificateurs opérationnels

Comparaison de tensions ? C'est affaire d'amplificateurs opérationnels et, comme on le voit sur la figure 1, de plusieurs. La comparaison à proprement parler n'en nécessite qu'un, A3, mais avant de nous en occuper, parlons de son alimentation, commune à celle de ses associés.

Les amplificateurs sont alimentés entre 0 et + 15 V. Or le dispositif réclamerait plutôt une alimentation symétrique. Symétrique, asymétrique, tout cela n'est qu'une question de point de vue*, ou de référence. Si l'alimentation choisie ne nous fournit pas une tension de référence à mi-chemin entre les tensions maximale et minimale, nous la fabriquerons et l'appellerons "référence artificielle" même si elle se comporte en tous points comme une "référence naturelle". Par rapport à ce "0 V", l'ancien + 15 V s'appellera + 7,5 V, et l'ancienne référence, le "0 V" de l'alimentation, - 7,5 V.

La nouvelle référence, fournie par le pont diviseur R9/R10, est appliquée à l'entrée non inverseuse d'A6. Elle se retrouve à la sortie de cet amplificateur qui ne la modifie pas : sa sortie bouclée sur son entrée inverseuse lui donne un gain unitaire et il joue le rôle d'adaptateur d'impédance. Le point A est relié aux entrées non inverseuses de A1, A2 et A3 par l'intermédiaire de R8, D1 à D4, R2 à R4 si bien que les sorties de ces amplificateurs évoluent de part et d'autre de la nouvelle tension de référence. Les autres, A4 et A5, même si cela ne se voit pas d'emblée, puisque leur entrée non inverseuse n'est pas reliée au

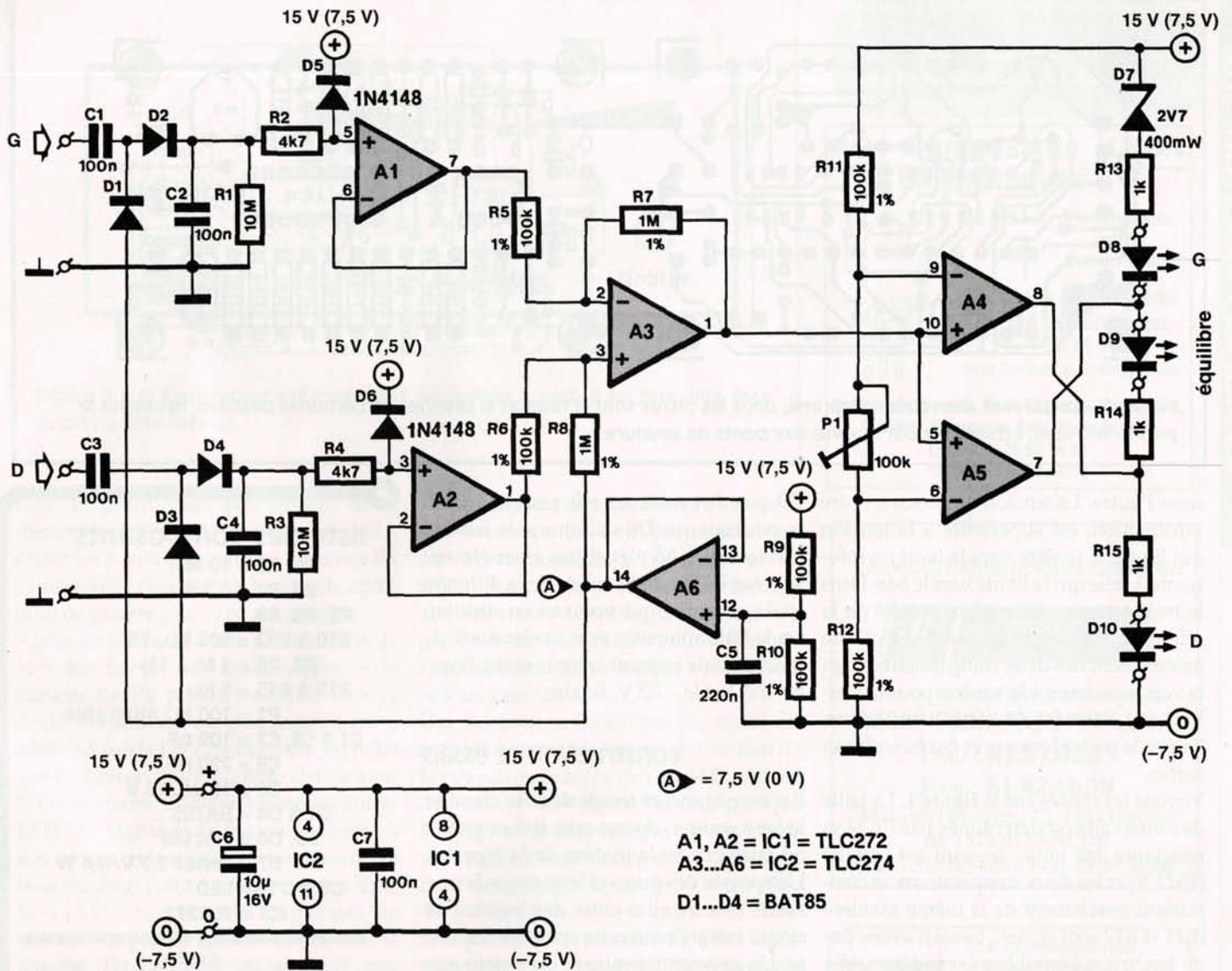
point A, travaillent aussi autour de cette référence que leur restitue la sortie d'A3.

Nous pouvons maintenant nous attaquer au rôle des autres composants, à partir de l'entrée. Les signaux alternatifs en provenance des deux voies n'atteignent pas tels quels les amplificateurs d'entrée, câblés comme A6 en adaptateurs d'impédance. Ils sont déjà débarrassés de leur composante continue par les condensateurs de découplage C1 et C3, puis redressés par les diodes D1 à D4 et lissés par les condensateurs C2 et C4. Les entrées non inverseuses d'A1 et A2 voient donc deux tensions continues dont les niveaux dépendent des signaux qui arrivent des voies gauche et droite. Ces tensions se retrouvent sur les broches 7 et 1, donc aux entrées d'A3 pour y être comparées.

Le niveau de la tension à la sortie du comparateur, ou plutôt de l'amplificateur de différence A3, dépend de la différence entre la tension présente sur son entrée non inverseuse et la tension de sortie d'A1. Regardez bien le schéma : l'entrée non inverseuse d'A3 ne voit que les 10/11 de la tension de sortie d'A2 aux bornes de R8. Cette division est indispensable puisque si A3 amplifie onze fois la tension de sortie d'A2, le gain n'est que de dix pour celle d'A1.

La sortie d'A3 rend donc ainsi compte de la différence entre les tensions d'entrée du circuit. Si cette différence est nulle, la dif-

* "Premier dans son village ou dernier à Rome", disait le grand Jules. Dans le même ordre d'idée, le *ground floor* des Britanniques (notre rez-de-chaussée), est au même niveau que le *first floor* des New-Yorkais. Une chute du troisième étage est plus dangereuse en Angleterre qu'aux États-Unis.



férence de potentiel mesurée entre les broches 1 et 14 d'IC2 (qui contient A3 et A6) est nulle. Si le signal en provenance de la voie droite est d'un niveau supérieur à celui de la voie gauche, la différence de potentiel est positive, et négative si la voie gauche est prépondérante. Nous mesurons toujours par rapport au "0 V" décalé de 7,5 V sur celui de l'alimentation.

discriminateur à fenêtre

Nous disposons donc d'une information fiable sur la différence entre les deux niveaux. Il ne reste plus qu'à la communiquer aux LED qui la diffuseront. Trois LED pour trois niveaux de tension, mais une seule sortie pour les distribuer : il en faut au moins deux pour cerner le problème, nous utiliserons donc un discriminateur à fenêtre. Un seul comparateur permettrait d'allumer deux LED, l'une lorsque le niveau de son entrée serait supérieur à la référence, l'autre lorsqu'elle

serait inférieure. En cas d'égalité, ben-ri-que ! À moins qu'on ne trouve le moyen de les allumer ou de les éteindre les deux en même temps, en cas d'équilibre. C'est là tout le problème. À l'équilibre la tension devrait être telle que la sortie du comparateur ne bascule ni dans un sens ni dans l'autre. Nous risquerions d'user le soleil à rechercher la solution de ce problème qu'il est possible, avec moins de précision, de résoudre avec deux comparateurs. Si au lieu d'une seule tension d'équilibre nous en avons une infinité, comprises entre deux seuils haut et bas très proches l'un de l'autre, nous pourrions sans difficulté allumer la troisième LED. Ces deux seuils définissent une fenêtre, un intervalle qui cerne la tension prise pour référence. Lorsque le déséquilibre entre les deux voies est tel que le niveau de tension qui en témoigne évolue sur cet intervalle, il est impossible, même aux oreilles les mieux exercées, de le détecter.

Figure 1 – Les amplificateurs opérationnels font des comparateurs de tension (quasi-) parfaits. Ils peuvent cependant servir à autre chose, notamment ici, où A1, A2 et A6 fonctionnent en adaptateurs d'impédance et A3 en amplificateur de différence. Pour améliorer la lisibilité du texte, les mesures des tensions sont données par rapport aux deux références utilisées : le "0 V" de l'alimentation et, entre parenthèses, celui, dit "artificiel" des signaux, mesuré au point A.

Les deux comparateurs en boucle ouverte en forment un seul, avec une sorte d'hystérésis, c'est ça que nous appelons discriminateur à fenêtre. L'autre avantage de ce double comparateur est qu'il a deux sorties. Il a, comme nous l'avons dit, à détecter trois états. Dans deux cas, les sorties des deux amplificateurs opérationnels témoignent de la même manière que le déséquilibre est rompu dans un sens ou

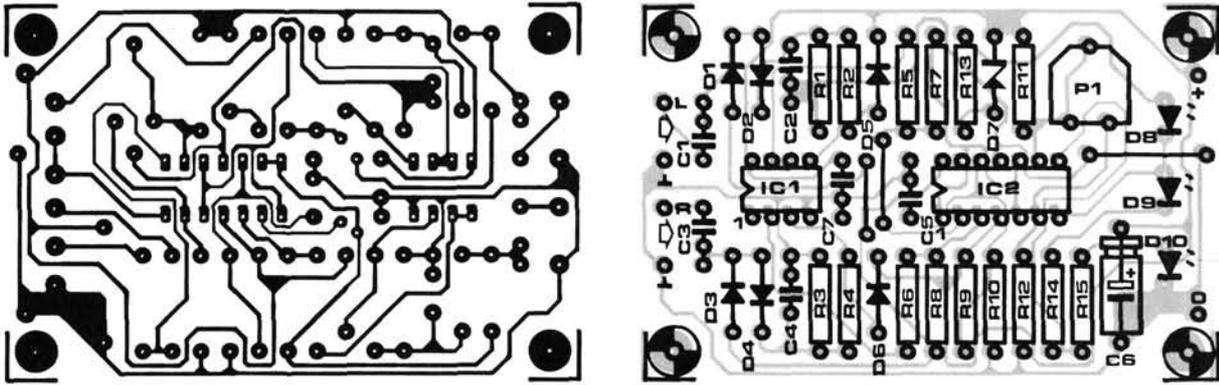


Figure 2 – La gravure d'un circuit imprimé, dont les pistes sont si fines et si proches de certaines pastilles, nécessite le plus grand soin. Attention pour la suite aux ponts de soudure !

dans l'autre. La tension de mesure, notre information, est supérieure à la tension qui limite la fenêtre vers le haut ou inférieure à celle qui la limite vers le bas. Dans le troisième cas, la tension, proche de la référence, est comprise entre les seuils de basculement des deux comparateurs. L'un la voit supérieure à la tension pour laquelle il fait basculer sa sortie vers le bas, l'autre la voit inférieure et fait basculer sa sortie.

Voyons les choses sur la **figure 1**. La taille de l'intervalle est déterminée par P1. Si sa résistance est nulle, le seuil est unique (15/2 V) et les deux comparateurs se comportent exactement de la même manière (R11 et R12 sont égales). Nous n'avons pas de fenêtre et l'équilibre est indétectable. Réglons-le à 2,7 k Ω par exemple : le seuil supérieur est ainsi fixé à +0,1 V, l'autre à -0,1 V (ou 7,6 et 7,4 V par rapport au pôle négatif de l'alimentation). À l'équilibre, lorsque la sortie de A3 est à 0 V, à 0,1 V près par excès ou par défaut, celle de A4 est à près de -7,5 V puisque le niveau de son entrée non inverseuse est inférieur à celui de son entrée inverseuse. Celle d'A5 en revanche est à +7,5 V : la LED D9 s'allume. En cas de déséquilibre significatif au bénéfice de la voie gauche, la tension à l'entrée non inverseuse des deux amplificateurs opérationnels est alors inférieure à -0,1 V (si l'on considère que -0,2 V est inférieur à -0,1 V). Leurs sorties, à -7,5 V (potentiel du pôle négatif de l'alimentation), permettent la circulation d'un courant à travers D7, R13 et D8, qui s'allume. Entre l'anode de D9 et la cathode de D10, la différence de potentiel est assez proche de 0 V, insuffisante en tout cas pour que les LED éclairent. Si la voie droite domine trop, les sorties des deux comparateurs passent à un peu moins de 7,5 V (toujours par rapport au point A). Pour

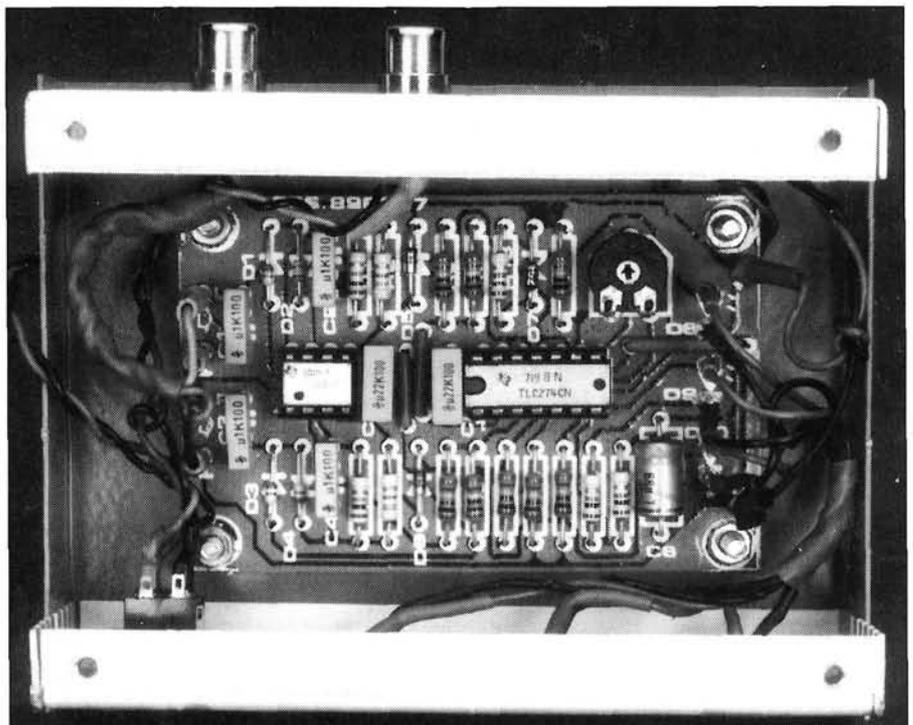
D9, pas de problème, elle reste éteinte. Il se pourrait que D8 s'allume si la tension de blocage d'A5 n'était pas assez élevée : la zener D7 limite les effets de la différence de potentiel qui pourrait en résulter. Seule D10, alimentée avec sa résistance de limitation de courant entre la sortie "haute" d'A4 et le -7,5 V, éclaire.

construction et essais

Il n'est pas encore temps de faire chauffer le fer à souder. Avant cela, il faut graver ou faire graver la platine de la **figure 2**. L'étrécissement des pistes et le passage de plusieurs d'entre elles entre des broches de circuit intégré rend cette opération délicate. Un examen minutieux du dessin aux étapes de la fabrication qui le nécessitent et d'éventuelles corrections avant le pas-

liste des composants

- R1, R3 = 10 M Ω
- R2, R4 = 4,7 k Ω
- R5, R6, R9,
- R10 à R12 = 100 k Ω , 1%
- R7, R8 = 1 M Ω , 1%
- R13 à R15 = 1 k Ω
- P1 = 100 k Ω ajustable
- C1 à C4, C7 = 100 nF
- C5 = 220 nF
- C6 = 10 μ F/16 V
- D1 à D4 = BAT85
- D5, D6 = 1N4148
- D7 = zener 2,7 V/0,4 W
- D8 à D10 = LED
- IC1 = TLC272
- double amplificateur opérationnel linéaire CMOS
- IC2 = TLC274
- quadruple amplificateur opérationnel linéaire CMOS



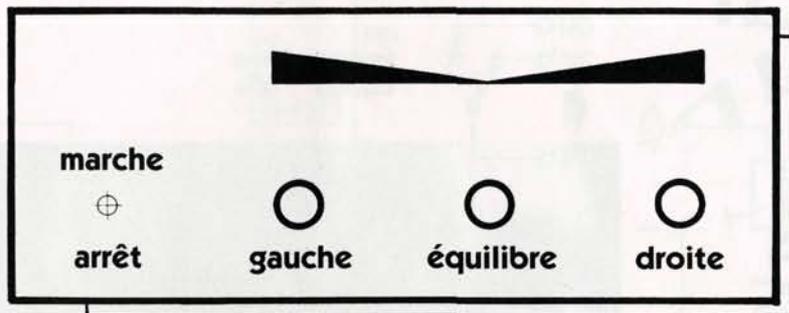


Figure 3 - Si l'indicateur est logé dans un boîtier à part, il lui faut une face avant comme celle-ci.

sage au perchlore permettront de la mener à bien. Il faudra veiller plus tard à éviter les ponts de soudure, à monter les composants polarisés à l'endroit, après quoi on pourra procéder aux essais.

Après avoir branché une alimentation de 15 V aux bornes du circuit, on tourne le curseur de P1 presque en butée vers la droite (résistance un peu supérieure à zéro). La diode D9 s'allume pour signaler que tout est en ordre, ou reste éteinte dans le cas contraire. Comment tester les autres LED? Le signal de 50 Hz qu'on injecte à une entrée en la touchant simplement du bout du doigt suffit à créer le déséquilibre. Si la LED concernée ne s'allume pas, on ramène un peu le curseur de P1 vers la gauche. En l'absence de résultat, une enquête s'impose pour rechercher la panne et en éliminer la cause.

réglage et mode d'emploi

Si l'indicateur a passé avec succès ses premiers examens, on peut le mettre en boîte et éventuellement loger sous le même emballage une alimentation stabilisée de 15 V qui lui délivre 15 mA. Il lui faut bien sûr une face avant et la figure 3 peut servir de modèle. Cependant, si l'amplificateur n'est pas trop compact, l'indicateur trouvera à se loger à l'intérieur et bénéficiera de son alimentation. Il est hélas assez rare que l'on y trouve toute faite la tension de 15 V nécessaire. Un régulateur 7815 permet heureusement de la fabriquer à partir d'une tension inférieure à 30 V. Quelle que soit la solution adoptée, on recherche dans l'amplificateur un signal stéréophonique, dont les deux composants sont sous l'influence du potentiomètre de balance, à injecter aux entrées de

l'indicateur. Le plus accessible est celui que reçoivent les haut-parleurs. Il est cependant possible de se brancher en amont, en parallèle sur les entrées des amplificateurs de sortie, si l'on ne craint pas de mettre les doigts à l'intérieur de l'appareil: solution à exclure s'il est encore sous garantie.

Une adaptation du niveau du signal est éventuellement nécessaire, en fonction de la puissance de sortie de l'amplificateur et du réglage du volume sonore, puisque l'indicateur ne supporte pas sur son entrée une tension supérieure à 5 V efficaces. Pour des amplificateurs de 10 W ou plus, cette adaptation se fera grâce à un diviseur de tension constitué de deux résistances par voie: une de 10 k Ω en parallèle sur l'entrée de l'indicateur, l'autre, de 100 k Ω , entre cette entrée et la sortie de l'amplificateur. Après ce branchement, on passe au réglage de la sensibilité. On commence par placer le curseur de P1 dans la même position que lors des essais préliminaires (un peu avant la butée, à droite). L'amplificateur en position mono fournit un signal identique aux deux voies. On règle le potentiomètre d'équilibrage jusqu'à ce que la LED D9 s'allume. Plus la résistance de P1 est petite plus la sensibilité de l'indicateur est grande. Comme nous l'avons vu plus haut, il ne faut pas qu'elle le soit trop. Si l'amplificateur fonctionne maintenant en stéréophonie, les LED devraient clignoter en rapport avec les variations normales du relief sonore. Il n'est pas interdit de diminuer la sensibilité, en augmentant la résistance de P1, donc la largeur de la fenêtre, pour obtenir une indication fixe, même en stéréophonie, de l'équilibrage des deux voies. 896087

LES CARRÉS D'ADRESSES
 kits Δ composants Δ outillage
 matériel Δ catalogues

AG Composants Electroniques LYON



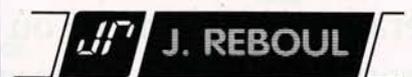
Professionnel
 et
 Grand Public

51, Cours de la Liberté
 13, Bld des Brotteaux
 Fax : 78 71 76 00

Vente Comptoir et Correspondance

Composants Japonais, Radio TV, Vidéo, kits, Mesure,
 Outillage, Accessoires, Sono, Hauts-Parleurs
 Lyon 3^{ème} 78 62 94 34
 Lyon 6^{ème} 78 52 43 90

Composants électroniques/Micro-Informatique



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

TÉL. : 81.81.02.19

FAX : 81.82.16.79

MAGASIN INDUSTRIE : 72, RUE TRÉPILLOT
 BP 1525 BESANÇON
 TÉL. : 81.50.14.85 - FAX : 81.53.28.00

TSME

Z.A. DES GROSSINES
 17320 MARENNES
 TÉL. : 46 85 37 60
 FAX : 46 85 20 02

VENTE COMPTOIR ET
 CORRESPONDANCE

KITS ELECTRONIQUES TSM
 COMPOSANTS ACTIFS/PASSIFS
 MESURES - LIBRAIRIE
 OUTILLAGE - PRODUITS CIF
 CATALOGUE 148 PAGES
 CONTRE
 30,00 F EN CHÈQUE

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

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

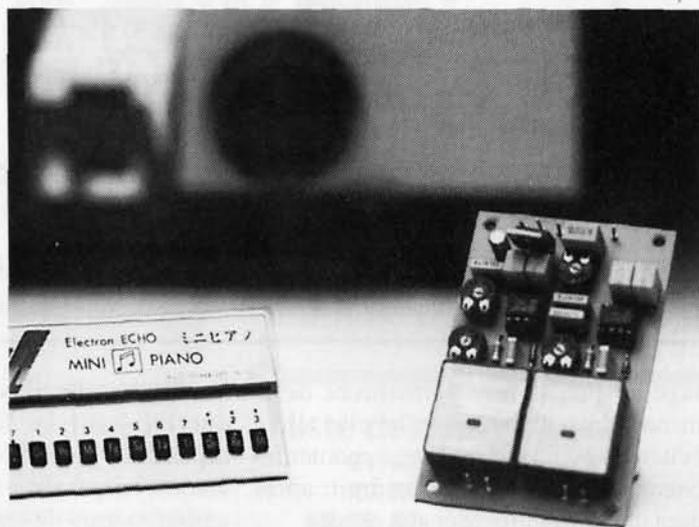
URS MEYER ELECTRONIC SA
 Avenue Robert 12
 CH - 2052 FONTAINEMELON
 Tél : 038 / 53 43 43

URS MEYER ELECTRONIC

décodeur de tonalité

Les montages que propose ELEX sont, le plus souvent, complets et tout ce qui y est éventuellement relié aux entrées et aux sorties est défini. Il n'en sera pas de même ici où nous ne vous proposerons que la description d'une interface. « Une interface, nous dit le

Robert, est la limite commune à deux ensembles ou appareils ». À la chasse par exemple, l'interface entre l'homme et le gibier est le chien. Il est possible de dresser cet animal de telle façon qu'il réponde à un coup de sifflet d'une certaine fréquence pour exécuter certain ordre. Le présent circuit ne chasse pas, il mobilise un relais lorsqu'il perçoit sur son entrée un signal d'une fréquence donnée. Comme il a été conçu à l'origine pour des fréquences sonores, on l'appelle décodeur de tonalité, même s'il peut répondre à des fréquences beaucoup plus élevées. Nous vous en suggérerons quelques applications surprenantes.



commutation au ton

Il y a bien des applications à imaginer dans lesquelles un ton ou une combinaison de tons commande certains dispositifs. Il suffit de penser aux effets des sifflets des maîtres de manœuvre de l'ancienne marine ou à ceux des sirènes... ou de la maréchaussée. Ces applications mettent en œuvre des cellules de notre cerveau ou, en électronique, des circuits qui changent le niveau logique de leur(s) sortie(s) en fonction de la fréquence simple (ou composite) du signal que reçoit leur entrée. On parle en principe de "tonalité" ou de "ton" ou de "fréquence vocale" lorsque la fréquence du signal appartient au domaine des sons que produit le langage articulé. Sa partie la plus utile (aux maîtres chanteurs, mais trop limitée pour les chanteurs), appartient elle-même à la bande à Bell, celui du téléphone (3400 Hz). Prenons l'exemple du téléphone à touches qui numérote en DTMF (pour *Dual Tone Multi Frequency*, l'autre méthode de numérotation, en voie de disparition, est dite par impulsions). Lorsque vous appuyez sur une de ses touches, le poste envoie vers le central un signal composite, mélan-

ge de deux signaux de fréquence différente. L'une correspond à la colonne, l'autre à la ligne sur lesquelles se situe la touche. À la touche [3] correspondent par exemple les fréquences de 1477 Hz (colonne) et de 697 Hz (ligne). Le [6] est dans la même colonne et sur une ligne différente à laquelle correspond la fréquence de 770 Hz : la fréquence du signal qu'il produit est donc composée de 1477 Hz et de 770 Hz. Le central, équipé de filtres qui séparent les deux composantes de chaque signal, reconnaît le chiffre composé par l'abonné en fonction des deux fréquences qu'il détecte.

Comme nos objectifs ne sont pas aussi compliqués que ceux du téléphone, le décodeur utilisé est aussi plus simple, puisqu'il ne reconnaît qu'une seule fréquence déterminée grâce à quatre composants extérieurs. Il s'agit du NE567 (compatible avec le XR-L567). Comme vous le voyez sur la figure 1, nous l'avons simplement doublé pour que le montage puisse commander deux relais et réagir à deux signaux de fréquence différente.

* La fréquence est en fait détectée par une boucle à verrouillage de phase, la fameuse PLL (*Phase Locked Loop*), dont nous reparlerons peut-être à une autre occasion. Cette chose n'est simple qu'une fois qu'on la comprend et il faut de nombreuses pages pour l'expliquer.

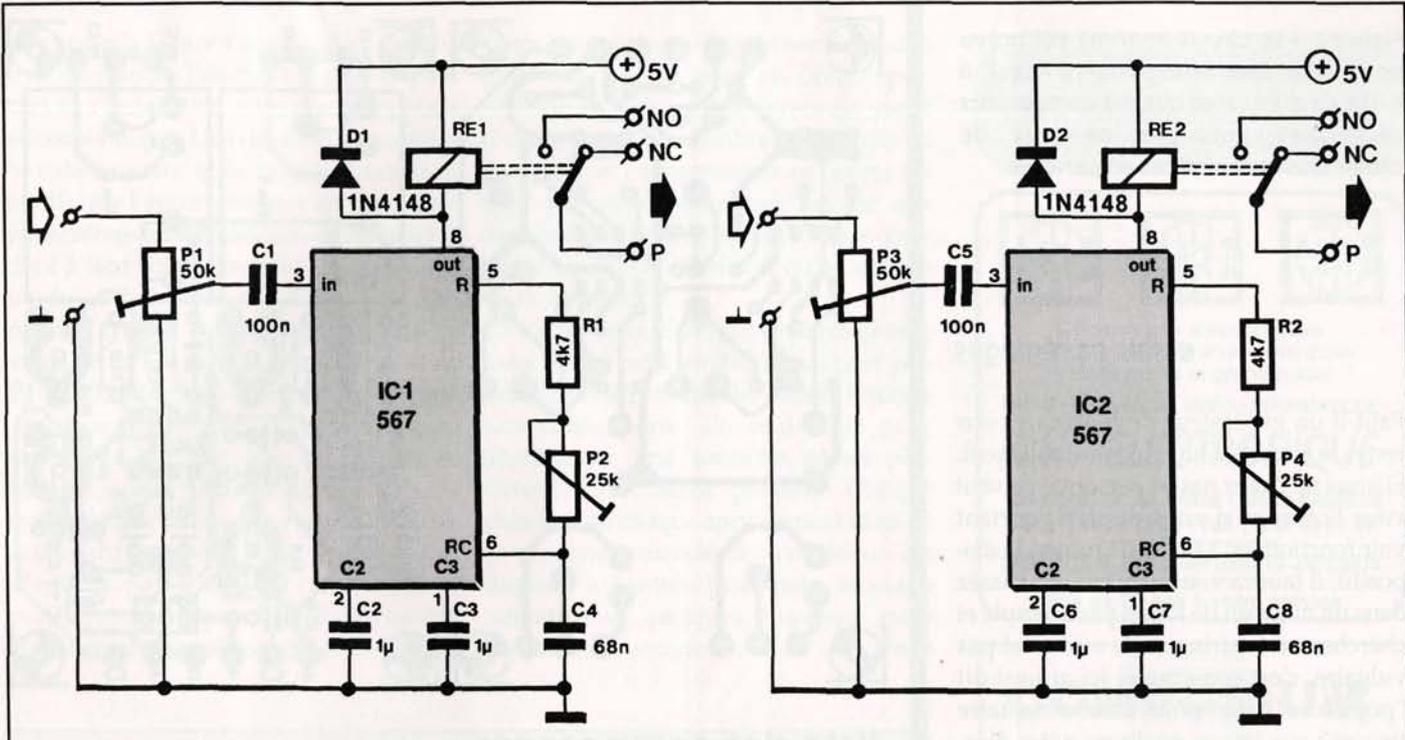
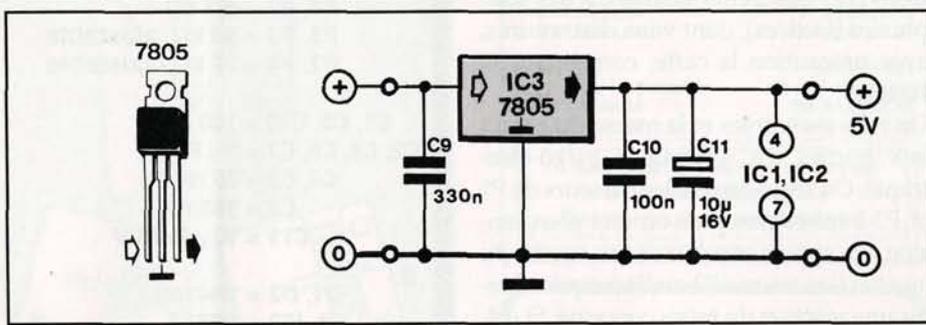


Figure 1 - Le 567 contient toutes les fonctions nécessaires à la détection d'une fréquence.

comparaison de fréquences

Nous ne donnerons qu'une vue globale du fonctionnement d'un décodeur de tonalité, sans rentrer dans les détails. Sachez déjà qu'il contient un oscillateur commandé en courant (CCO *Current Controlled Oscillator*), dont la fréquence est déterminée par les composants câblés sur ses broches 5 (résistance) et 6 (résistance et condensateur). Tout se passe comme si* le circuit comparait à la fréquence du signal



reçu sur sa broche 3 celle de son oscillateur. Si les deux fréquences sont identiques, le transistor NPN de sortie du circuit est saturé. Par son collecteur, accessible sur la broche 8, un courant circule, courant qui, dans le cas présent, alimente la bobine d'un relais.

Un régulateur de tension, IC3, complété par un adaptateur secteur bon marché, fournira au montage les 5V dont il a besoin. Nous en avons assez dit pour passer à la suite.

Un potentiomètre (P1 ou P3) permet d'adapter l'amplitude du signal d'entrée aux possibilités du décodeur. Si cette amplitude est trop élevée, il risque de manquer de sélectivité et de réagir à des signaux de fréquence différente de celle prévue. Il ne faut cependant pas que la tension du signal d'entrée soit inférieure à 25 mV efficaces. Le condensateur suivant est destiné à bloquer une éventuelle composante continue qui saturerait le transistor d'entrée du circuit et l'empêcherait de détecter la composante alternative du signal. Les condensateurs C2 et C3 sont là, l'un pour constituer un filtre passe-bas nécessaire au fonctionnement du circuit, l'autre, pour éliminer avant la sortie des composantes alternatives qui n'ont pas à s'y trouver.

montage

Le circuit de la figure 2 devrait vous faciliter les choses une fois que vous l'aurez gravé. La présence d'une alimentation unique pour tous les composants détruit la symétrie de l'ensemble de sorte qu'il n'est pas possible de couper la platine si l'on ne désire utiliser qu'un décodeur. Il n'est pas interdit cependant de ne câbler que la moitié des composants nécessaires. Veillez dans tous les cas à les mettre à leur place, et dans le bon sens, s'ils sont polarisés, comme C11 ou les indispensables diodes de roue libre D1 et D2. En cas d'inversion vous risqueriez d'avoir quelques problèmes pour les essais et réglages que nous allons maintenant aborder.

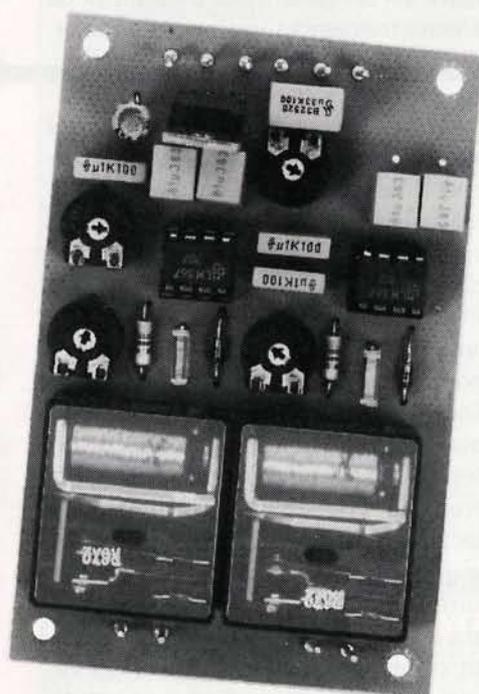


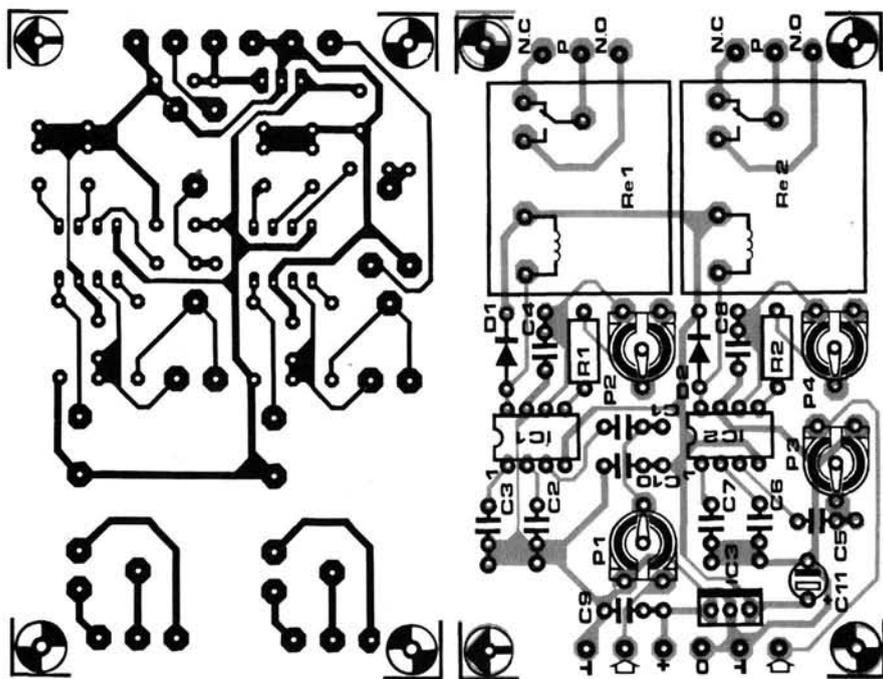
Figure 2 - Le circuit imprimé est prévu pour deux décodeurs. Pour un seul, il suffit de n'installer que les composants nécessaires; pour plus de deux, de câbler plusieurs platines en parallèle.

essais et réglages

Faut-il un générateur de fonctions pour tester le circuit? Oui, incontestablement. Si vous ne l'avez pas, si personne ne veut vous l'offrir et si vous désirez pourtant voir fonctionner, sans vous ruiner, le dispositif, il faudra vous débrouiller. Passez dans un magasin de jouets par exemple et cherchez un bastringue (le mot n'est pas vulgaire, c'est son emploi ici qui est dit "populaire") qui pour trois ou quatre thunes vous jouera quelques notes électroniques, au choix. Dans le genre vous trouverez des petits pianos ou des téléphones (factices), dont vous découvrirez, avec précaution la carte, comme sur la figure 3.

On relie les entrées et la masse du circuit aux bornes du résonateur piézo-électrique. On règle ensuite les curseurs de P1 et P3 à mi-course puis on met sous tension. On appuie ensuite sur une touche du jouet et l'on tourne P2 ou P4 jusqu'à obtenir une réaction du relais concerné. Si celle-ci se fait attendre, on ramène les curseurs des potentiomètres de niveau (P1 et P3). La réaction des relais doit être franche et sans bavure, des bruits de crécelle signaleraient un mauvais réglage du niveau. Lorsqu'on a plus ces crépitements de mauvais augure** la modification de la position des curseurs des potentiomètres de fréquence pourra donner le résultat attendu. On les règle bien sûr l'un après l'autre de façon qu'ils répondent à deux sons de hauteur différente. Il se peut, puisque le jouet produit des notes qui sont loin d'être dépourvues d'harmoniques, qu'un seul décodeur réagisse à deux sons, l'un de la moitié haute du clavier, l'autre de la moitié basse. S'il vous arrivait de régler le circuit de façon qu'il ne réponde qu'à des notes du milieu du clavier, cette gêne serait supprimée. L'autre inconvénient de ces jouets est que lorsque l'on insiste sur une de leurs touches, ils ne

** Un z'augur était un monsieur ou l'objet dont s'occupait ce monsieur, le vol de z'oiseaux par exemple qui lui permettait de prédire l'avenir. Le vol des oiseaux, ou l'avenir, sont par la suite devenus indéchiffrables.



liste des composants

R1, R2 = 4,7 kΩ
 P1, P3 = 50 kΩ, ajustable
 P2, P4 = 25 kΩ, ajustable

C1, C5, C10 = 100 nF
 C2, C3, C6, C7 = 1 μF
 C4, C8 = 68 nF
 C9 = 330 nF
 C11 = 10 μF/16 V

D1, D2 = 1N4148
 IC1, IC2 = NE567
 décodeur de tonalité
 IC3 = 7805

Re1, Re2 = relais 5 V

adaptateur secteur



Figure 3 - Un générateur de signaux de diverses fréquences: un jouet d'enfant!

maintiennent pas la note. La note ne se répète que si l'on renouvelle la pression après avoir laissé la touche revenir. On y pare en appuyant plusieurs coups répétés de façon à obtenir un signal d'amplitude assez constante pour permettre le réglage.

exemples d'application

À quoi peut bien servir un tel circuit? Relié à un récepteur téléphonique, il pourrait servir d'interface téléphone-installations domestiques et permettre à distance la commande d'un dispositif, la remise en route du chauffage ou de la climatisation, par exemple, quelques heures avant que les occupants du logis ne rentrent: il suffirait de le programmer pour qu'il réponde à l'une ou l'autre des notes émises par un téléphone à touches. Le problème est

alors de concevoir un dispositif qui décroche automatiquement, et, éventuellement, d'obtenir l'agrément de la compagnie du téléphone. La solution du premier problème n'est pas hors de votre portée, celle du second l'est sans doute un peu moins. On peut aussi l'associer à un récepteur de radio et lui envoyer sa note par les ondes. Dans le même ordre d'idée, certaines applications se passeront de relais: puisqu'il est possible sur une note, ou un « top » de faire commuter la sortie, deux décodeurs permettront de synchroniser le fonctionnement de deux dispositifs logiques distants l'un de l'autre. Autre application, le *fondue-enchaînée* paru dans le numéro de décembre 1992: le circuit commandé par un magnétophone pourrait vous permettre d'automatiser vos soirées de présentation de diapositives.

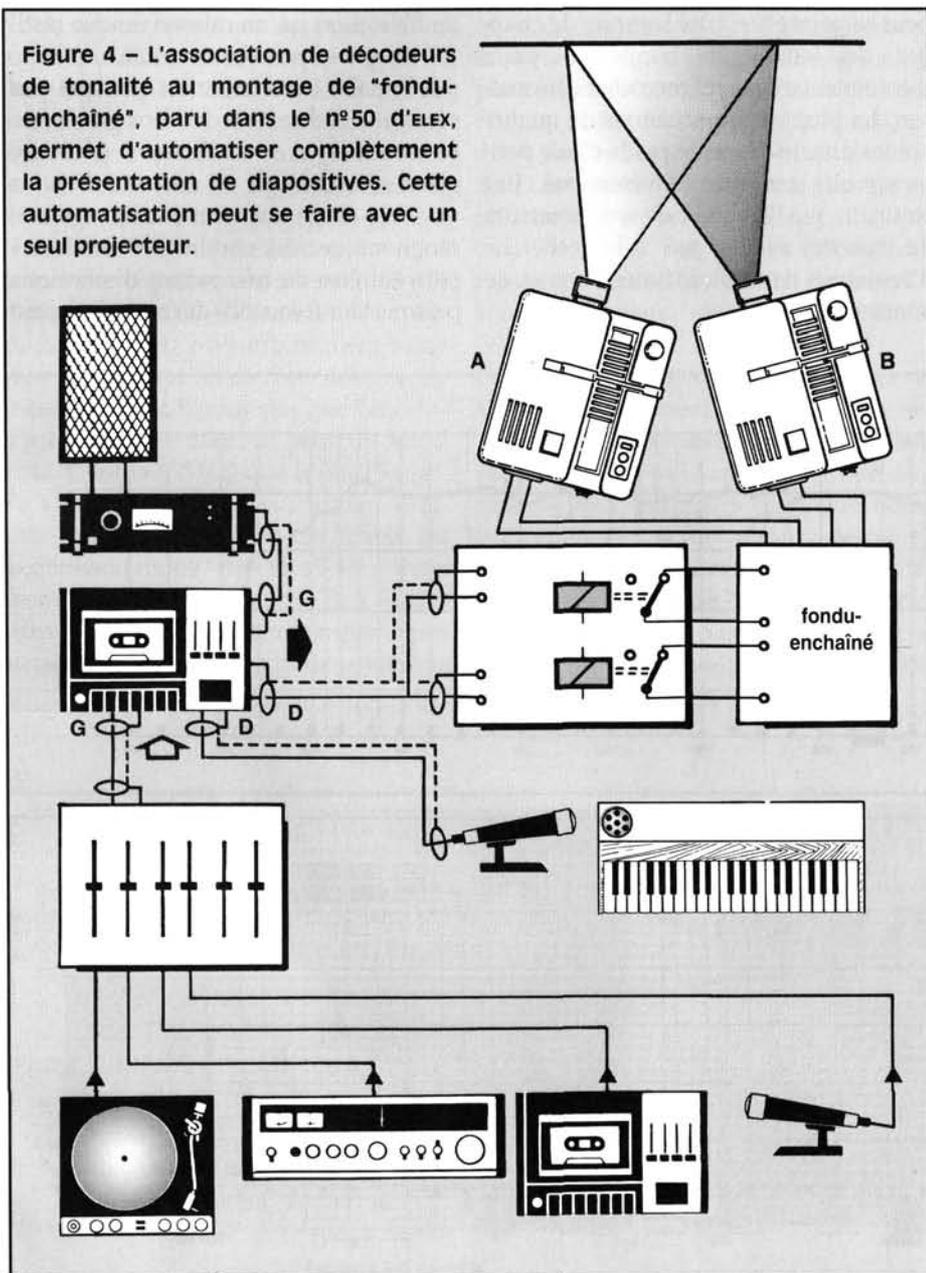
Voyez sur la **figure 4** comment se présentent les choses: l'élément le plus important de l'installation est le magnétophone stéréophonique. Une de ses voies restitue le commentaire et la musique associée, tandis que l'autre transmet les notes pré-enregistrées aux décodeurs, qui commandent à leur tour la marche du circuit de fondu-enchaîné. Le dessin parle de lui-même (il omet peut-être de dire, mais vous l'avez deviné, qu'il faut, à l'aide de P1 et P3, adapter les entrées de chaque décodeur au niveau du signal de sortie du magnétophone). Il est bien sûr possible de ne commander de cette façon qu'un projecteur et une lampe par exemple. L'utilisation du magnétophone ne se limite d'ailleurs pas à la seule commande de projecteurs de diapositives. Il est possible d'enregistrer des séquences de "bips" de

"tops" auxquels, en votre absence ou sans que vous ayez à vous en préoccuper, répondront, à des instants que vous aurez choisis, un certain nombre d'appareils ou de fonctions. Le magnétophone (même s'il n'est pas stéréophonique), associé aux décodeurs transmettra les ordres programmés: n'est-ce pas là ce qu'on appelle un ordinateur?

En voulez-vous d'autres? Un microphone, associé à un petit amplificateur, peut permettre de télécommander sans fil l'ouverture d'une porte. Un seul câble pour sélectionner une sonnette parmi plusieurs? C'est aussi possible. Chaque chambre ou chaque appartement dispose de sa sonnerie associée à un décodeur. On dispose, à l'entrée principale, le piano miniature et quelques étiquettes pour identifier les occupants.

896123

Figure 4 - L'association de décodeurs de tonalité au montage de "fondu-enchaîné", paru dans le n°50 d'ELEX, permet d'automatiser complètement la présentation de diapositives. Cette automatisation peut se faire avec un seul projecteur.



LES CARRÉS D'ADRESSES

kits Δ composants Δ outillage
matériel Δ catalogues



Composants électroniques
Dépositaire de grandes marques
Professionnel et grand public

RADIO - TÉLÉVISION - VIDÉO - INFORMATIQUE

B.H. ÉLECTRONIQUE

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

SPECIALISTE DES COMPOSANTS JAPONAIS

plus de 20 ans à votre service

COMPOSIUM

CHOLET	ELECTRONIC	MORLAIX
6, rue Nantaise		16, rue Gambetta
Tél. 41.58.63.64		Tél. 98.88.60.53
Fax 41.58.21.14		Fax 98.63.84.55

VANNES		QUIMPER
35, Rue De La Fontaine		33, rue Régualres
Tél. 97.47.46.35		Tél. 98.95.23.48
Fax 97.47.55.46		Fax 98.95.91.29

4 SPÉCIALISTES PRETS A SE METTRE
EN 4 POUR VOUS SERVIR
GRAND PUBLIC AU PROFESSIONNEL.

Des milliers d'ingénieurs et de professeurs considèrent le tandem de FCAO logique et d'autoroutage

Schéma III - Layo

Comme étant le meilleur sur le marché.
Pour vous permettre de les maîtriser à cent pour cent nous vous proposons une K7 d'apprentissage pas à pas.
Prix : Layo I E : 180 F, schéma III E : 255 F, K7 vidéo 275 F.
Toutes ces versions sont opérationnelles à 100 %.

Layo France, Château Garamache-Sauvebonne,
83400 Hyères

Tél. : 94 28 22 59, Fax : 94 48 22 16,
Minitel 3617 code LAYO

à BESANÇON

NOUVELLE ADRESSE

29, Bd J.F. Kennedy
Tél. : 81 80 72 13 - Fax : 81 80 72 24

P microprocessor

Composants Electroniques
Point traçage CIAO-LABOTEC - Perçage

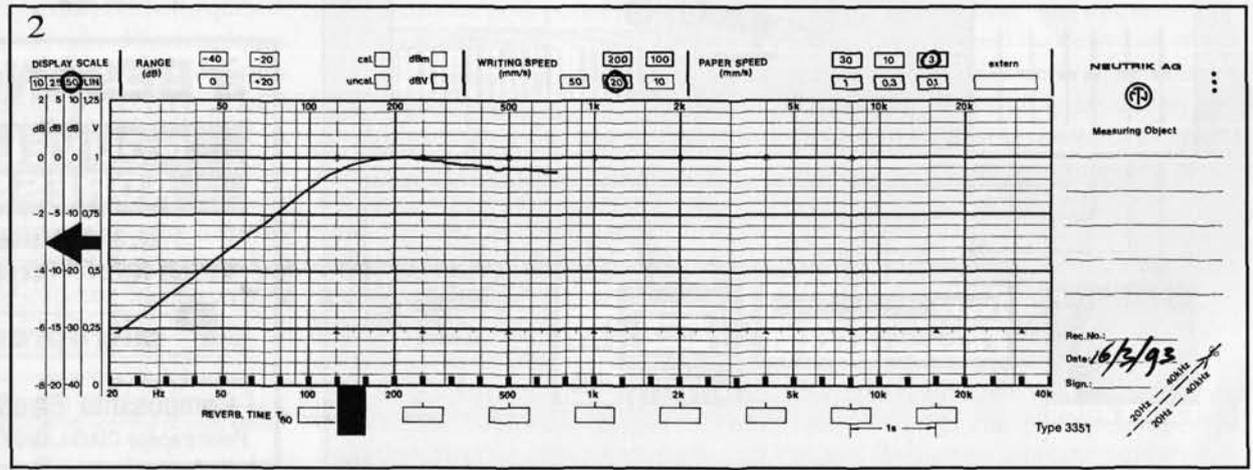
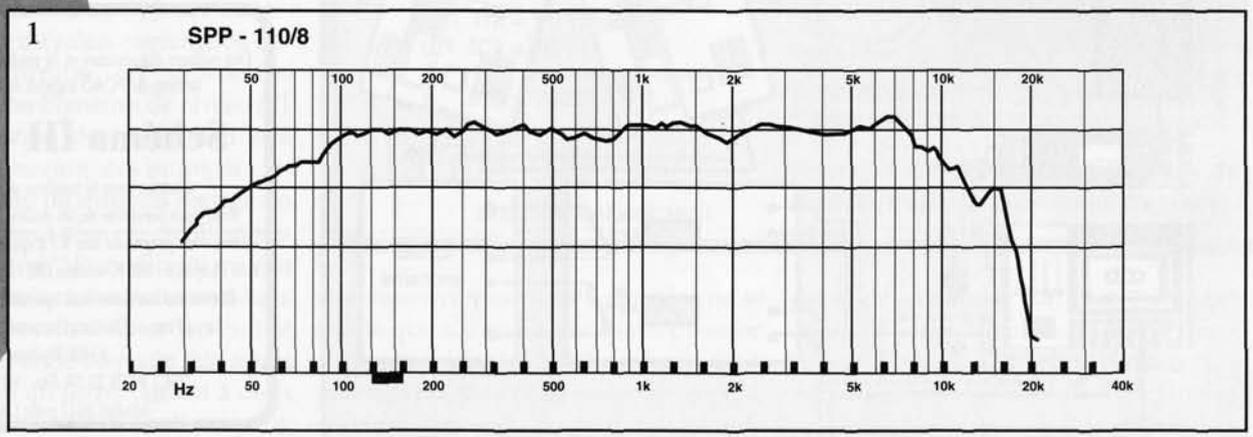
caisson de raves

actif, bien sûr

Lors de la description des mini-enceintes actives, nous avons laissé entendre (une fois le volume baissé) qu'elles pourraient être suivies par un caisson de graves. Le voici, trapu et puissant comme il convient pour accompagner les mini-enceintes : l'amplificateur incorporé est de 55 W. L'ensemble est une véritable installation Hi-Fi

stéréophonique miniature. L'existence devient intenable pour les fondus de la haute-fidélité. La première raison tient à la somme astronomique qu'il faut lâcher pour devenir propriétaire du moindre matériel de haut de gamme. Même l'audiomaniaque bien assis qui peut se permettre, côté banque, de changer de temps en temps sa paire d'enceintes se l'entend reprocher côté maison. La plupart des enceintes de qualité ont les dimensions et le poids d'une petite armoire remplie de vêtements. Pas étonnant que l'amateur de son (amateurs de matériel exclus) soit à la recherche d'enceintes de faibles dimensions et de bonne qualité sonore.

Il existe un système qui s'est taillé un beau succès grâce à son faible encombrement : la combinaison satellites/caisson de graves. Deux enceintes nommées satellites se chargent de la restitution de la partie haute et moyenne (médium) du spectre audible, alors qu'un caisson unique restitue les graves pour les deux canaux. Comme l'oreille humaine n'est presque pas sensible à la direction des sons graves, un caisson unique est suffisant. Il peut être glissé sous un banc ou une armoire sans que cela altère notablement l'image stéréophonique ; les enceintes « satellites » peuvent être de très petites dimensions puisque leur fréquence de fonctionnement



est assez élevée, si bien que les haut-parleurs peuvent être quasiment invisibles, avec un son de qualité. Nous avons déjà publié (ELEX n°55 mai 1993) la description d'enceintes actives d'une qualité remarquable. Elles conviennent pour sonoriser un petit local, une chambre de jeune ou l'atelier du bricoleur. Malheureusement, leur volume ne leur permet pas de restituer correctement les fréquences graves. C'est pour constituer une véritable chaîne Hi-Fi que nous avons étudié ce caisson de graves, actif comme les mini-enceintes. L'amplificateur qui l'équipe ne délivre pas moins de 55 W.

un caisson compact

La mise au point d'une enceinte acoustique ne se borne pas à l'installation d'un haut-parleur dans une boîte quelconque. Nous allons examiner les différentes contraintes l'une après l'autre.

Pour commencer, nous avons choisi un haut-parleur de petites dimensions capable de reproduire correctement les fréquences basses. La **figure 1** montre la courbe caractéristique du haut-parleur Monacor SPP-110/8. Le fabricant annonce comme fréquences de coupure (-3 dB) 50 Hz en bas et 8000 Hz en haut. La fréquence de 50 Hz est suffisamment basse pour une restitution correcte des graves. Encore faudrait-il pour cela que l'enceinte ait le volume minimal prescrit, soit 5 litres. C'est là (55 Hz) que le bas blesse*. Ce volume n'est pas exactement celui d'un mini-caisson. Alors, au diable les recommandations du fabricant, nous avons construit une enceinte de 2 (deux) litres de volume. Nous ne pouvons pas diviser impunément par deux le volume

de l'enceinte : la fréquence de coupure de 50 Hz (un peu optimiste de toute façon) se trouve maintenant décalée à 120 Hz. À moins de trouver une bonne solution électronique à ce petit problème, nous pouvons dire adieu à la restitution correcte des graves.

deux courbes

La **figure 2** représente la courbe de notre enceinte de 2 litres, elle montre la coupure inférieure à 120 Hz dont nous nous plaignons. Nous préfererions la voir aux environs de 50 Hz. Pour cela, nous avons recours à un filtre correcteur dont la courbe caractéristique est celle de la **figure 3**. Les fréquences inférieures à 120 Hz sont fortement amplifiées, les fréquences supérieures sont restituées sans changement (gain unitaire). L'atténuation des fréquences inférieures à 50 Hz est sans importance : de toute façon elles ne seront pas restituées correctement. Le rôle du filtre est en fait de compenser l'atténuation due à l'enceinte trop petite. Si un signal à 50 Hz est atténué de moitié par l'enceinte, le filtre fait en sorte qu'il soit d'abord amplifié deux fois. L'association de l'enceinte et du filtre permet de faire la somme des deux courbes, pour obtenir celle de la **figure 4**.

Pour donner aux signaux inférieurs à 120 Hz le supplément d'amplitude nécessaire, l'amplificateur doit disposer d'un supplément de puissance. C'est une des raisons pour lesquelles celui que nous avons prévu a une puissance, respectable, de 55 W. L'autre raison est la sensibilité relativement faible de l'oreille dans cette plage de fréquence. Notre oreille est nettement moins sensible aux fréquences

basses qu'aux autres. Il faut donc davantage de pression acoustique (et de puissance électrique) aux basses fréquences pour produire la même impression. Cette particularité est déjà prise en compte au moment de l'enregistrement de la musique en studio. Les ingénieurs du son enregistrent à un niveau plus élevé que le reste les fréquences basses qui sembleraient trop faibles.

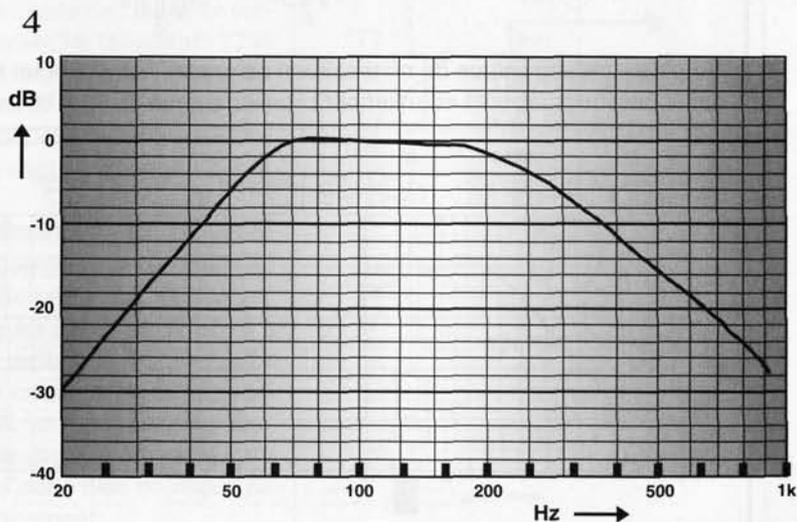
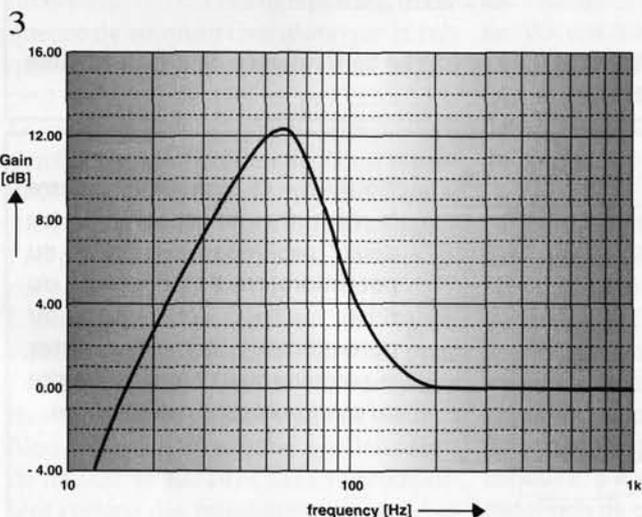
Figure 1 - La courbe caractéristique donnée par le fabricant s'étend de 50 Hz à 8000 Hz à -3dB.

Figure 2 - Quelles que soient les dimensions de la boîte dans laquelle on enferme le haut-parleur, la bande passante se réduit du côté des fréquences les plus basses. Dans le coffret miniature que nous avons choisi, la limite inférieure passe à 120 Hz.

Figure 3 - Un filtre de correction permet d'amplifier davantage les basses, pour compenser l'atténuation de l'enceinte. La courbe du filtre doit reproduire en miroir la courbe de réponse de l'enceinte.

Figure 4 - Les mesures pratiques sur l'enceinte munie du filtre de correction montrent que la restitution des graves est grandement renforcée. La limite inférieure se trouve maintenant aux alentours de 57 Hz (-3dB). La limite supérieure n'a pas beaucoup d'importance puisque cette partie de la courbe est recouverte par celle des mini-enceintes qui fonctionnent comme des satellites.

* Pas touche, correcteur ! C'est rien que des jeux de mots laids, et 55 Hz, pour ce qui est d'être bas, ça se tient un peu la, non ?



5

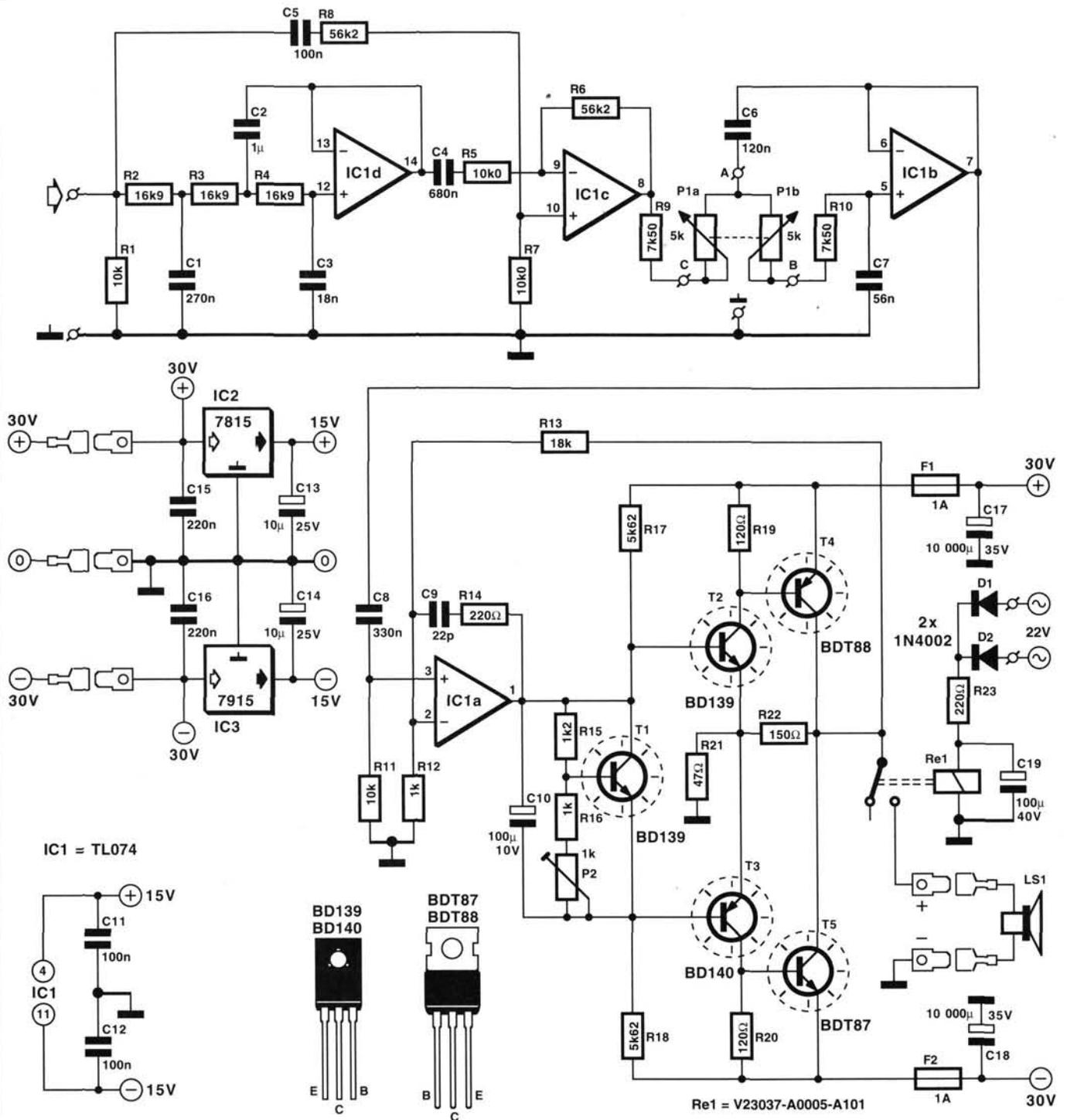


Figure 5 - L'électronique du mini-caisson de graves comporte un filtre actif dont la courbe de fréquence peut être adaptée par le potentiomètre P1 et un amplificateur baraqué de 55 W de puissance.

6

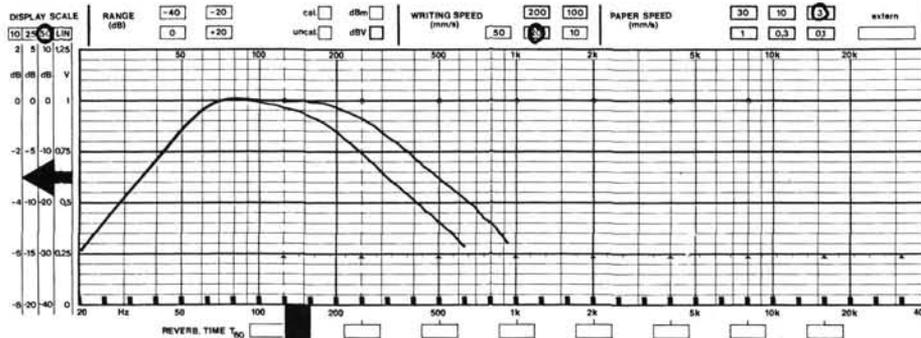


Figure 6 - Ce graphique montre la restitution du caisson pour les deux positions extrêmes du potentiomètre P1 de réglage du filtre. Le réglage du potentiomètre permet d'ajuster le recouvrement entre la courbe du caisson et celle des satellites.

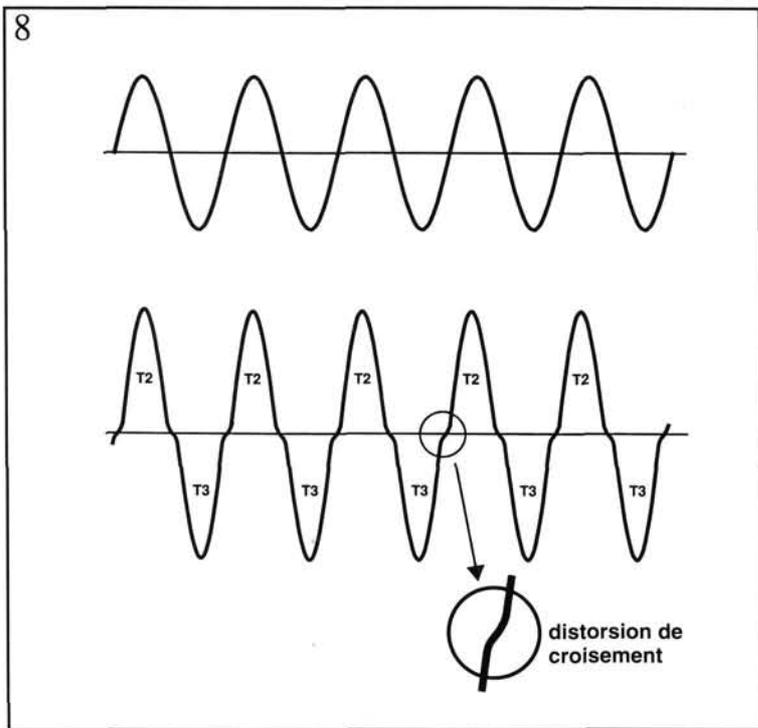
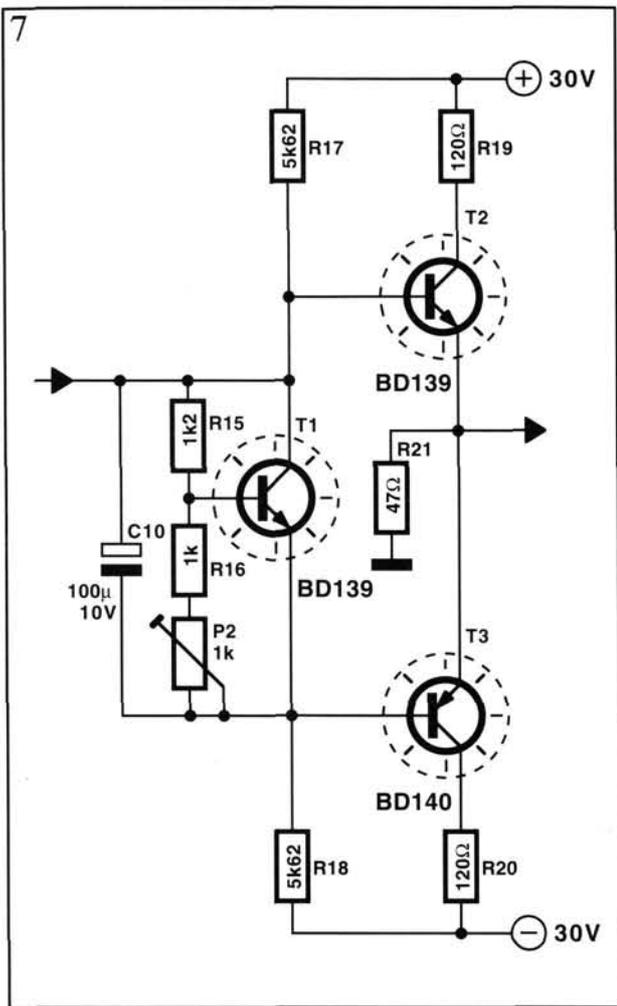


Figure 7 - Pour simplifier la représentation de l'étage de sortie, et faciliter la compréhension du fonctionnement, les transistors T4 et T5 ne sont pas représentés.

Figure 8 - Pour qu'un transistor commence à conduire, il faut d'abord que la tension base-émetteur dépasse un seuil donné. C'est à cause de ce seuil que se produit la distorsion de croisement. Cette distorsion se reconnaît dans la forme du signal aux deux coudes qui encadrent le passage par zéro.

le schéma

La figure 5 vous permet de faire connaissance avec le schéma de la partie électronique du caisson de graves. L'amplificateur de puissance, sur lequel nous reviendrons, comprend le circuit intégré IC1a et les transistors T1 à T5. Nous allons commencer par le filtre correcteur. Il est constitué des trois autres amplificateurs opérationnels, IC1b, IC1c et IC1d.

Le filtre entier comporte deux sections passe-bas. La première (IC1d-IC1c) est un filtre passe-bas du troisième ordre, à fréquence de coupure fixe, alors que la fréquence de coupure de la deuxième section peut être déplacée quelque peu grâce à P1. La courbe caractéristique du filtre pour les deux positions extrêmes de P1 est reproduite sur la figure 6. Le signal quitte le filtre par la broche 7 d'IC1 pour attaquer l'amplificateur de sortie à travers le condensateur C8.

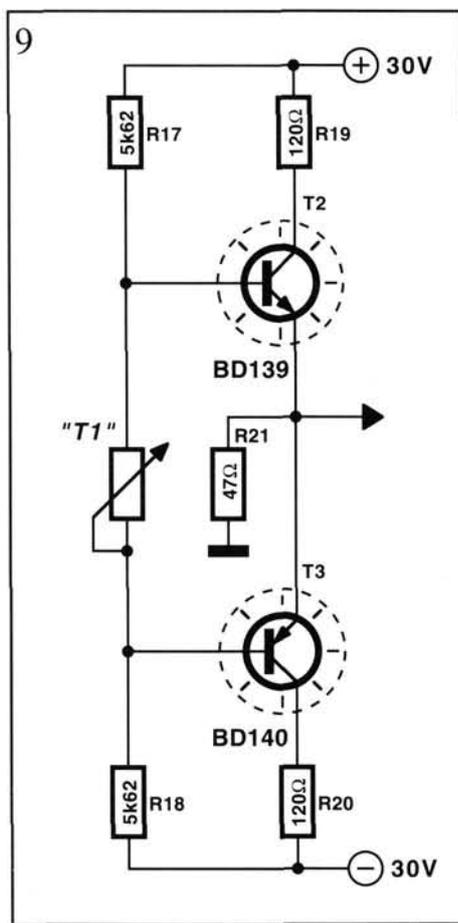
L'amplificateur de sortie est une combinaison savante de circuit intégré, pour l'étage d'entrée (IC1a) et de transistors discrets (T1 à T5) pour l'étage de sortie.

Nous pouvons considérer que les paires de transistors T2/T4 et T3/T5 se comportent comme des transistors uniques. Les

deux premiers, T2 et T3 ont pour tâche de piloter les gros costauds que sont T4 et T5. C'est nécessaire car ces derniers, s'ils sont capables de « passer » de la puissance, ont un gain en courant relativement faible. Les premiers, s'ils sont limités en puissance, ont un plus grand gain en tension à fort courant.

Pour rendre le schéma plus compréhensible, nous écartons simplement les transistors de sortie T4 et T5, qui ne font que « répéter » ce que disent T2 et T3. La figure 7 montre ce qui reste de l'étage de sortie. Voyons comment les transistors T2 et T3 réagissent à un signal sinusoïdal. Quand la sinusoïde est à zéro volt, les deux bases voient cette tension nulle, les deux transistors sont bloqués. Au début

Figure 9 - Le transistor T1 est remplacé par un potentiomètre pour plus de clarté. Ce potentiomètre permet de fixer la tension entre les bases de T2 et T3 à une valeur telle qu'ils soient sur le point de conduire. De cette façon, le signal à amplifier ne doit plus dépasser le seuil pour que les transistors commencent à conduire. Il n'y a donc plus de risque de distorsion de croisement.



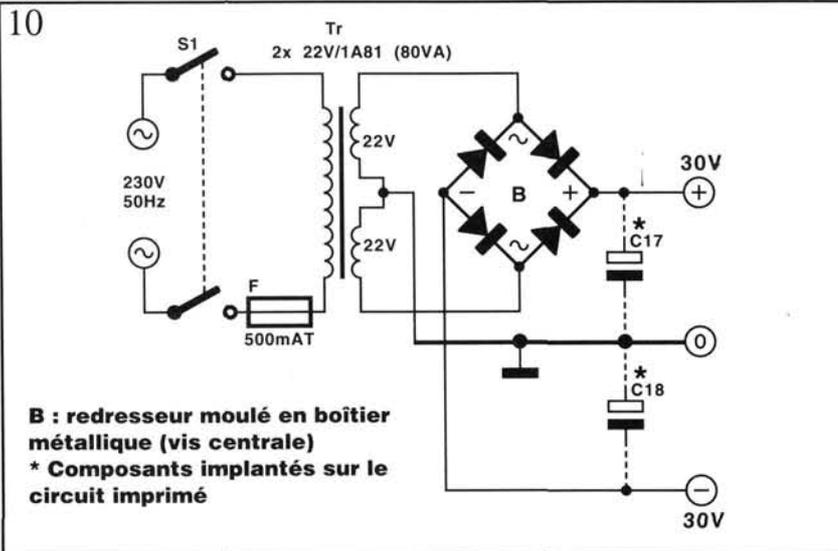


Figure 10 – L'alimentation n'est pas logée sur le circuit imprimé, elle devra être construite à part, ce qui ne pose pas de gros problème puisqu'elle ne comporte qu'un transformateur et un pont redresseur.

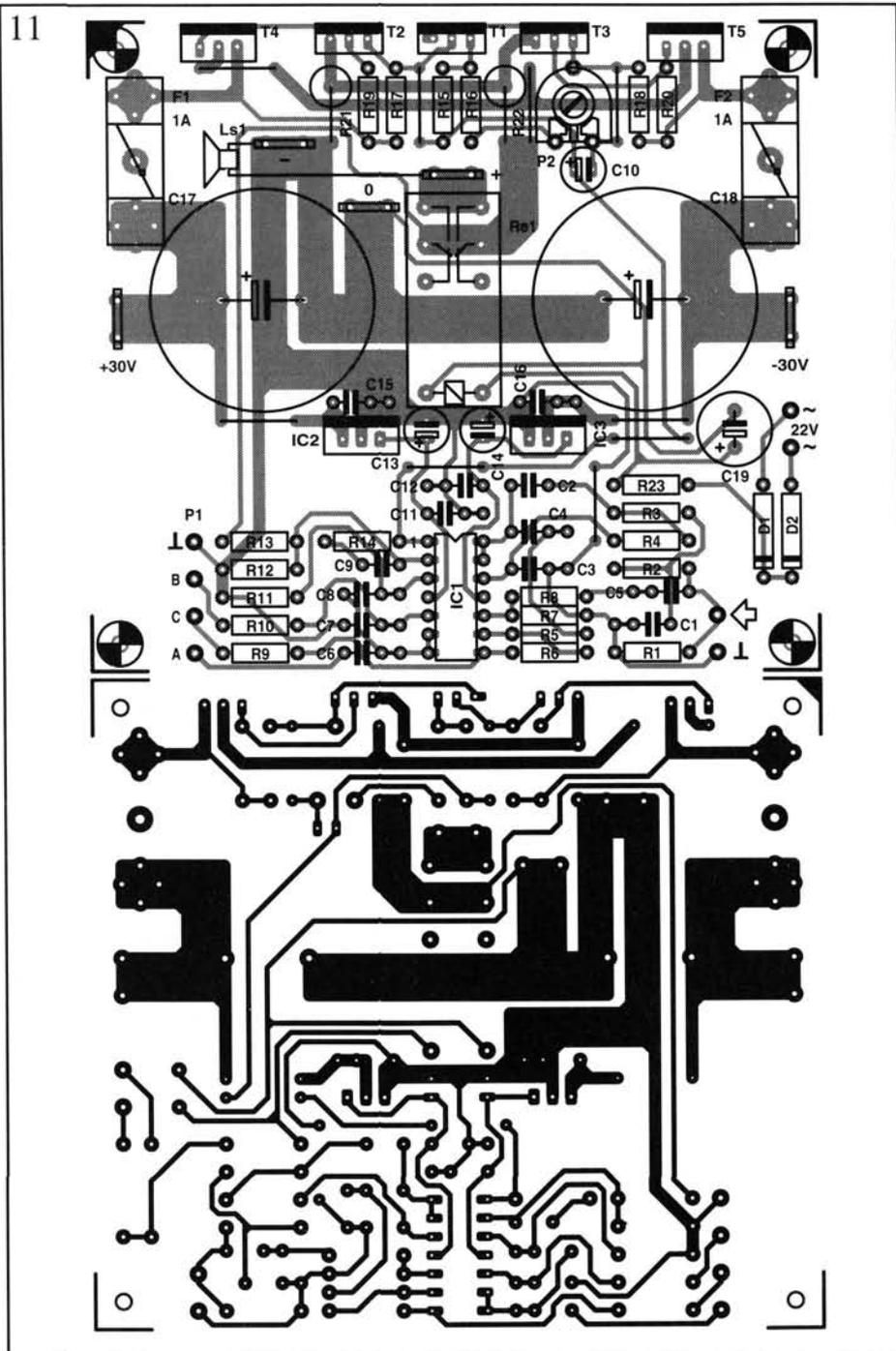
Figure 12 – Le poids du circuit imprimé équipé impose ces haubans ou jambes de force. Ils serviront aussi à immobiliser les fils de connexion.

Figure 11 – Le circuit imprimé est disponible tout prêt aux sources habituelles : Publitronic ou certains revendeurs. Pour les composants, Publitronic ne peut rien pour vous, voyez votre revendeur et nos annonceurs.

de l'alternance positive, la tension croît jusqu'à faire conduire T2, cependant que T3 reste bloqué. Notez que la conduction de T2 ne commence qu'au moment où la tension de base atteint 0,6 V. Pendant l'alternance négative, T2 reste bloqué, alors que T3 conduit après que la tension a dépassé le seuil de -0,6 V. La figure 8 montre, en haut, le signal sinusoïdal appliqué aux bases, en bas le signal obtenu sur les deux émetteurs réunis et la résistance R21. Les petites cassures au passage par zéro rendent évidente la distorsion que subit le signal.

Pour éliminer cette **distorsion de croisement**, nous avons besoin du transistor T1. Puisque le potentiomètre P1 permet de déterminer dans quelle mesure le transistor conduit, nous simplifierons en considérant le transistor lui-même comme un potentiomètre (figure 9.) Il est possible maintenant, grâce à ce potentiomètre, de donner aux deux bases une faible tension dite de polarisation. En fixant pour T2 une tension de +0,6 V et pour T3 une tension de -0,6 V, nous faisons en sorte qu'un faible courant de repos circule à travers ces deux transistors. Maintenant, dès que la tension de la sinusoïde dépasse 0 V, en plus ou en moins, le transistor correspondant commence à conduire, car ils sont tous les deux « au bord » de la conduction. Puisque les transistors n'ont plus de retard à l'entrée en conduction, la distorsion de croisement est supprimée.

L'utilisation d'un transistor au lieu d'un simple potentiomètre permet de compenser les effets de la température sur le comportement des transistors de l'étage de sortie. Une baisse de la température provoque une diminution de l'intensité à tra-



Laisse tomber ton Larousse, correcteur ! Mon pote le Robert atteste aussi *maous* et *mahous*.

liste des composants

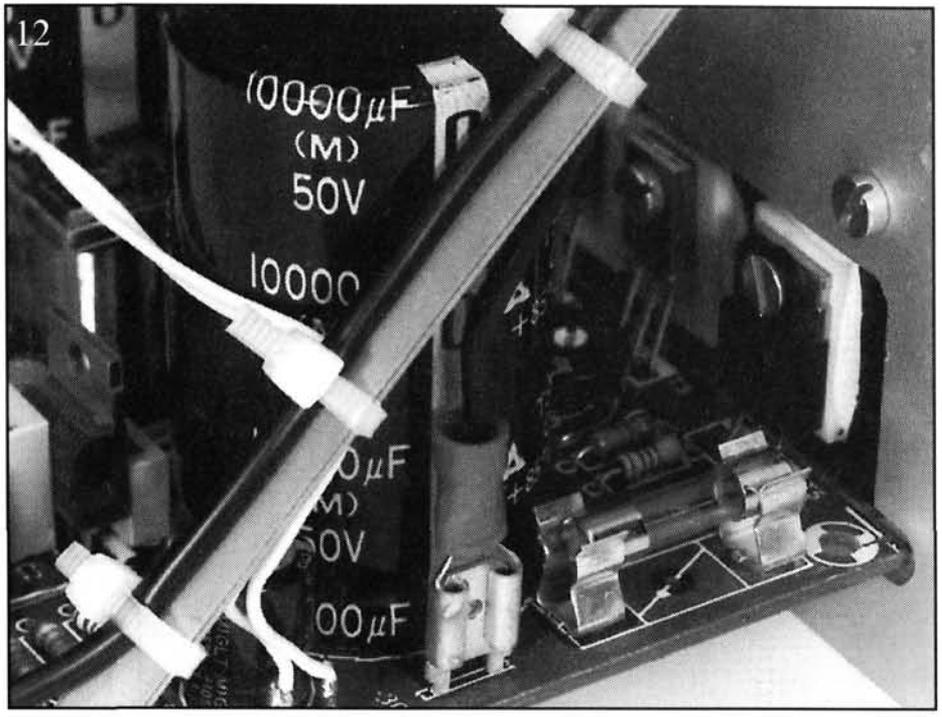
- R1,R11 = 10 k Ω
- R2 à R4 = 16,9 k Ω 1%
- R5,R7 = 10,0 k Ω 1%
- R6,R8 = 56,2 k Ω 1%
- R9,R10 = 7,50 k Ω 1%
- R12,R16 = 1 k Ω
- R13 = 18 k Ω
- R14,R23 = 220 Ω
- R15 = 1,2 k Ω
- R17,R18 = 5,62 k Ω 1%
- R19,R20 = 120 Ω
- R21 = 47 Ω /5 W
- R22 = 150 Ω /5 W
- P1 = 5 k Ω linéaire stéréo
- P2 = 1 k Ω ajustable

- C1 = 270 nF
- C2 = 1 μ F/63 V MKT
- C3 = 18 nF
- C4 = 680nF
- C5,C11,
- C12 = 100 nF
- C6 = 120 nF
- C7 = 56 nF
- C8 = 330 nF
- C9 = 22 pF
- C10 = 100 μ F/10 V radial
- C13,C14 = 10 μ F/25 V radial
- C15,C16 = 220 nF
- C17,C18 = 10000 μ F/35 V radial pour CI
- C19 = 100 μ F/40 V radial

- D1,D2 = 1N4002 à 1N4007
- T1,T2 = BD139
- T3 = BD140
- T4 = BDT88
- T5 = BDT87
- IC1 = TL074
- IC2 = 7815
- IC3 = 7915

- Re1 = V23037-A0005-A101
(24 V/1100 Ω)
- HP1 = SPP-110/8 Monacor
radiateur pour T1 à T5, max. 1,5 K.W,
par exemple Fischer SK71/75 SA
- F1,F2 = fusibles 1A
avec porte-fusible pour circuit imprimé

- embase CINCH pour châssis
- transformateur ILP 31015 2x22 V/1,81 A
- embase secteur avec porte-fusible
(0,5 AT) et interrupteur (classe 2)



vers les transistors T2 et T3. Comme T1 est sensible, lui aussi, à la température, le courant qui le traverse diminue, ce qui corrige la tension de polarisation de T2 et T3 ; le résultat est que le courant de repos est constant, aussi bien dans les transistors pilotes T2 et T3 que dans les transistors de sortie T4 et T5, quelles que soient la température ambiante et celle du radiateur. Revenons au schéma complet de la figure 5. Nous voyons que le haut-parleur est raccordé à la sortie de l'amplificateur par le contact d'un relais. La bobine du relais est alimentée, à partir du transformateur,

par une résistance qui, avec le condensateur en parallèle, introduit un retard. Le contact se ferme un certain temps après que le transformateur ait été mis sous tension, il s'ouvre un certain temps après que le transformateur ait été mis hors tension. Ces retards évitent les *plops* désagréables à l'oreille et dangereux pour le haut-parleur. Si une alimentation peut être spartiate, celle du caisson de graves est spartiate : un transformateur, un pont de diodes et deux condensateurs maousses* (C17 et C18). L'alimentation des amplificateurs opéra-

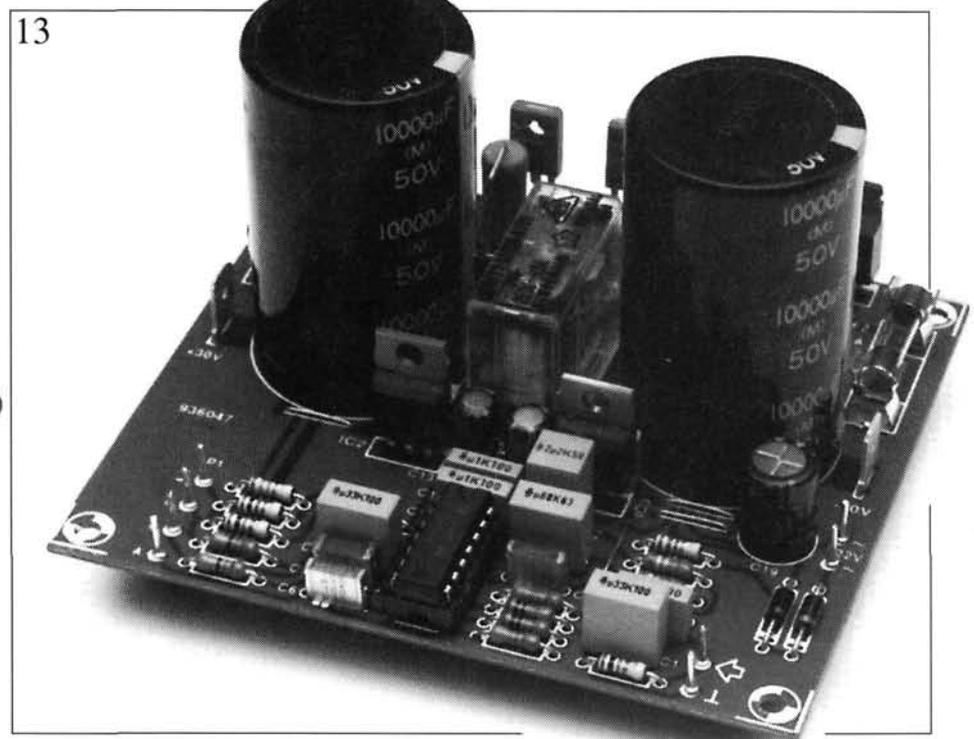
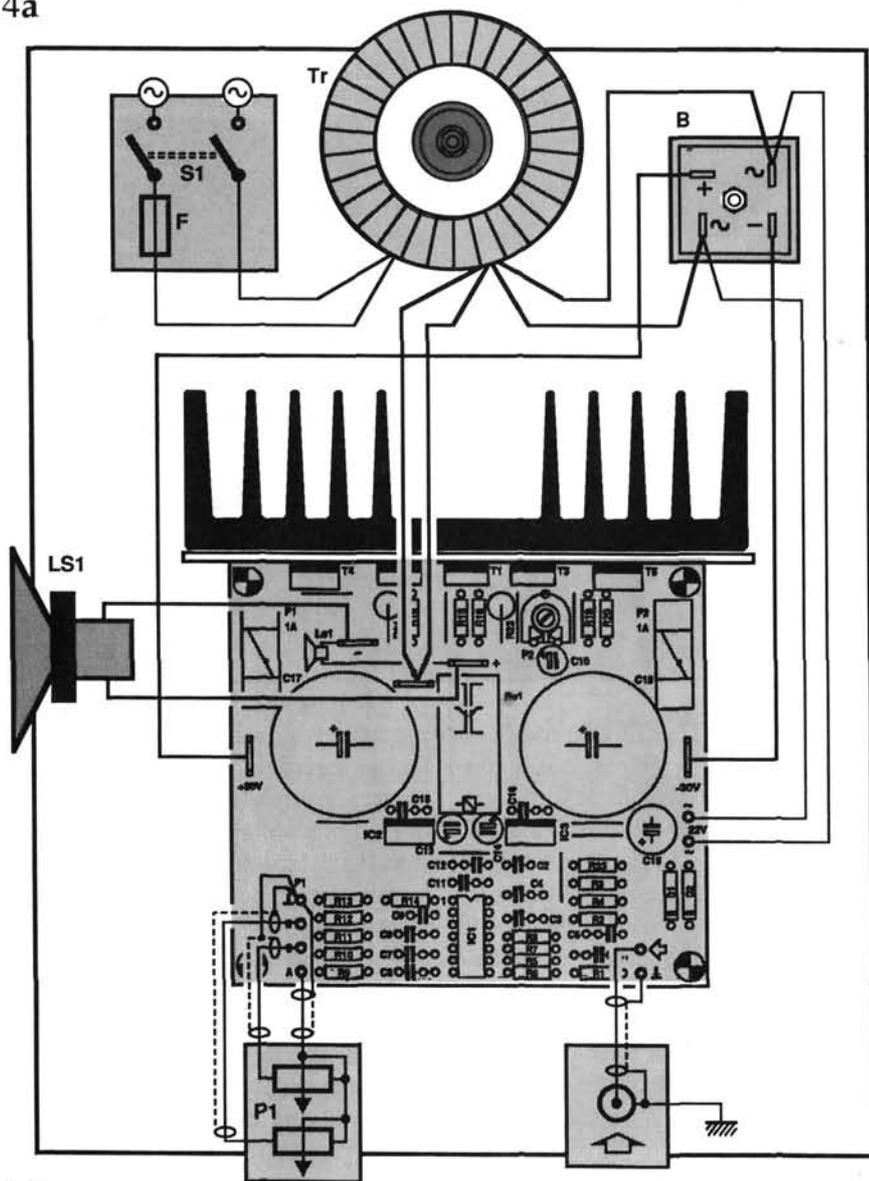


Figure 13 - Le circuit imprimé est terminé, mais pas la construction ; il reste à l'installer sur la face arrière et à installer la face arrière sur le caisson. Repérez au passage la position de la résistance de puissance R21, montée debout, qu'on aperçoit à l'arrière-plan entre le condensateur de 10 millifarads et le relais.

14a



14b

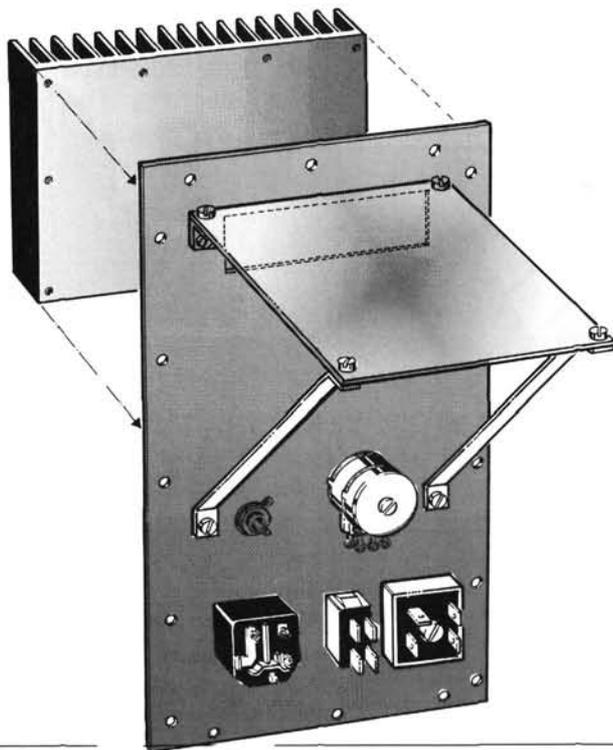


Figure 14a – Ce plan de câblage n'est pas très compliqué. Il doit être respecté si vous voulez obtenir un fonctionnement correct et la sécurité maximale.

Figure 14b – La réalisation mécanique suivant ce croquis ne doit pas poser davantage de problèmes que le câblage électrique.

Figure 15 – Pour obtenir une étanchéité aussi bonne que possible à l'air, il faut obturer tous les interstices, notamment autour de la prise secteur, avec un mastic aux silicones ou une colle thermique.

Figure 16 – Le radiateur doit être fixé solidement à la plaque arrière de l'enceinte. Les transistors seront fixés ensuite sur le radiateur, par une ouverture *ad hoc* dans la plaque d'aluminium. Ils seront isolés électriquement par des plaquettes en céramique et de la graisse conductrice de la chaleur.

Le pont redresseur est dimensionné très généreusement (25 A!), ce qui lui permet de se contenter de la plaque arrière comme refroidisseur.

Figure 17 – Toute l'électronique du caisson de graves, exception faite du transformateur d'alimentation, est fixée sur la plaque arrière en aluminium. N'oubliez pas de monter les deux tiges de maintien.



tionnels doit être stabilisée pour éviter les ronflements dans le signal audio. La stabilisation est confiée tout simplement aux deux régulateurs de tension intégrés IC2 et IC3.

Pour éviter qu'un courant excessif circule dans les cas extrêmes (surcharges de longue durée), deux fusibles de 1 A (F1 et F2) sont prévus dans les lignes d'alimentation.

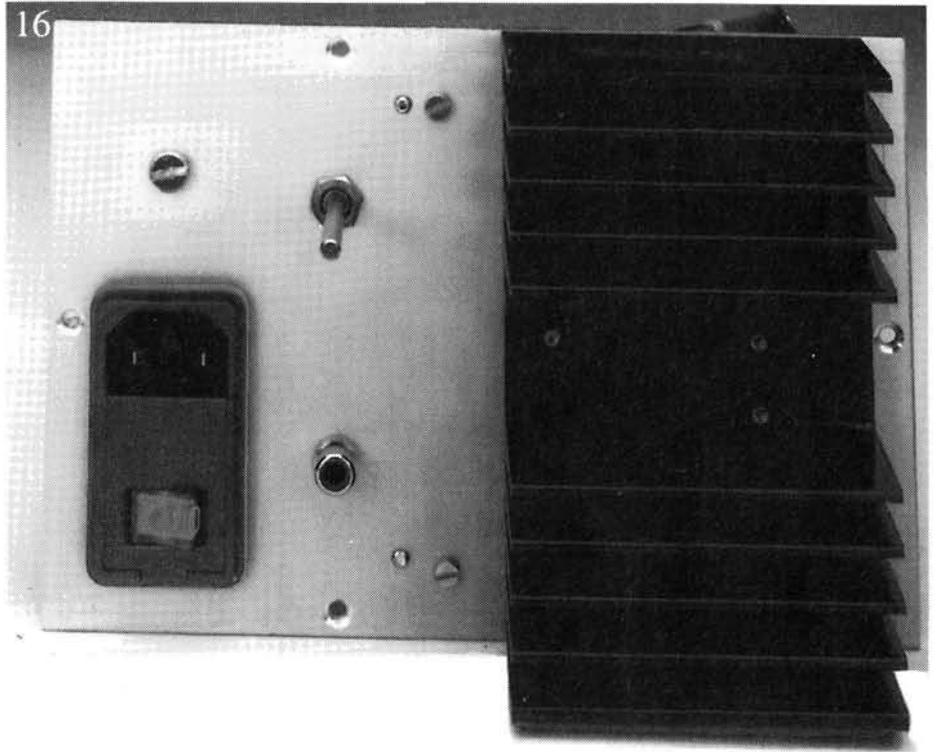
la construction de l'électronique

Le circuit imprimé de la **figure 11** est dessiné sur mesure pour le caisson. Il est disponible tout prêt chez Publitronic et chez certains revendeurs de composants.

Vous avez tout intérêt, surtout pour ce circuit, à câbler par couches successives de bas en haut. Commencez par les résistances et les ponts en fil pour finir par les condensateurs de l'alimentation C17 et C18. Les raccordements à « fort courant » ne sont pas confiés à des picots ordinaires, mais à des languettes de 5 mm ou de 6,3 mm qui recevront les cosses *fast-on* correspondantes ; voir le gros plan de la **figure 12**. Les fils de raccordement de l'alimentation et du haut-parleur auront une section de 1 mm² au moins.

Toujours pour éviter les ronflements induits, il faudra utiliser du fil blindé pour les potentiomètres P1. Le blindage (ou les blindages, si vous utilisez trois longueurs de fil simple) sera relié à la masse du côté circuit imprimé. Le signal d'entrée, lui aussi, sera véhiculé depuis l'embase CINCH par un fil blindé, aussi court que possible, car l'entrée est très sensible au bruit. Une fois le circuit imprimé entièrement câblé (**figure 13**), vous pouvez le monter sur la plaque d'aluminium qui constitue le dos du caisson.

La **figure 14** montre comment les différents éléments, redresseur, embase secteur, potentiomètre, radiateur, s'interconnectent électriquement (a) et s'assemblent mécaniquement (b). Comme le pont redresseur dissipe pas mal (lecteurs belges, comprenez : *assez bien*) de chaleur à fort courant, il est nécessaire de l'installer contre la plaque d'aluminium qui fait office de radiateur. Le caisson répond aux critères d'isolation de la classe 2, le fil de terre n'est pas indispensable. Vous pouvez donc utiliser une embase secteur du genre « magnétophone ». Comme l'enceinte doit être absolument hermétique, il faut obturer avec du mastic aux silicones (**figure 15**) les interstices autour de l'embase.



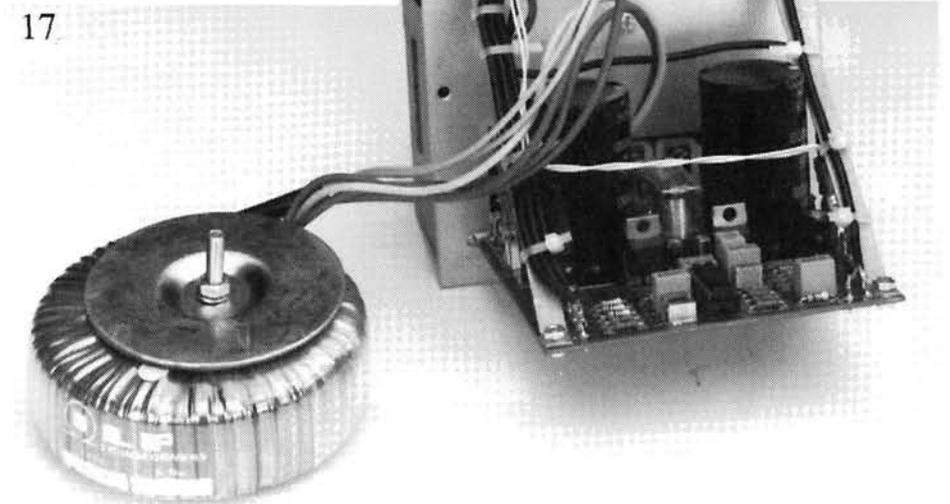
Le radiateur des cinq transistors est fixé solidement sur la plaque arrière (**figure 16**). Les transistors doivent avoir un contact thermique aussi bon que possible avec la radiateur. Ils traversent donc la plaque d'aluminium par une découpe rectangulaire. Ils doivent être isolés électriquement par des plaquettes spéciales en céramique et reliées thermiquement par de la graisse conductrice.

Comme le montre la **figure 14**, un des côtés du circuit imprimé est fixé par deux équerres à la plaque arrière. Le côté opposé est fixé par deux barrettes métalliques (aluminium ou fer) à 45°. Vous pouvez immobiliser les différents fils en les attachant aux barrettes par des colliers en nylon.

Une fois toutes ces liaisons électriques et mécaniques réalisées, nous avons un ensemble solide prêt à être installé dans la boîte.

dessine-moi un caisson

Le plan de la **figure 18** donne toutes les indications



18

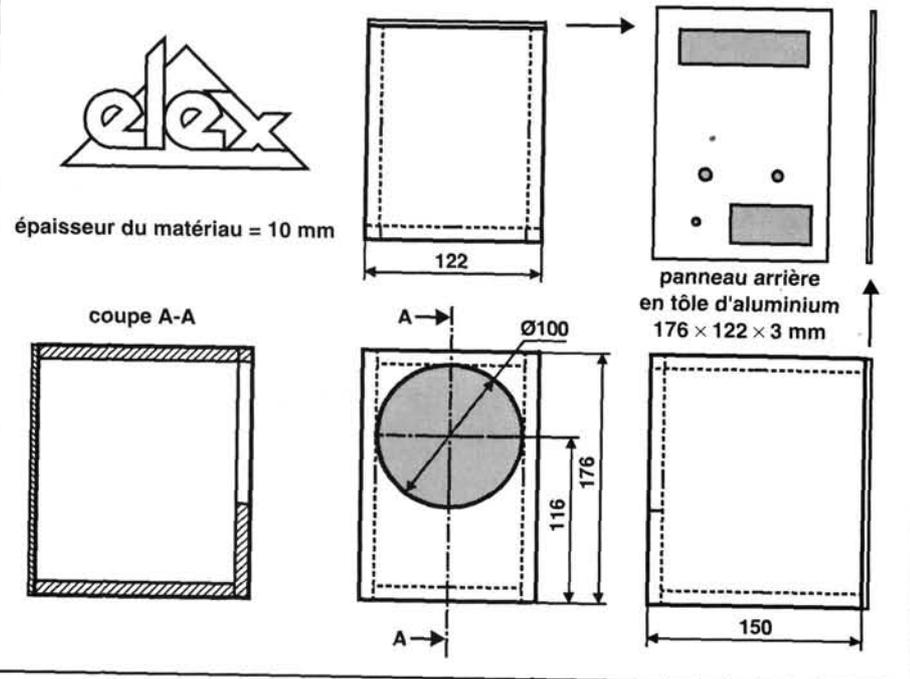
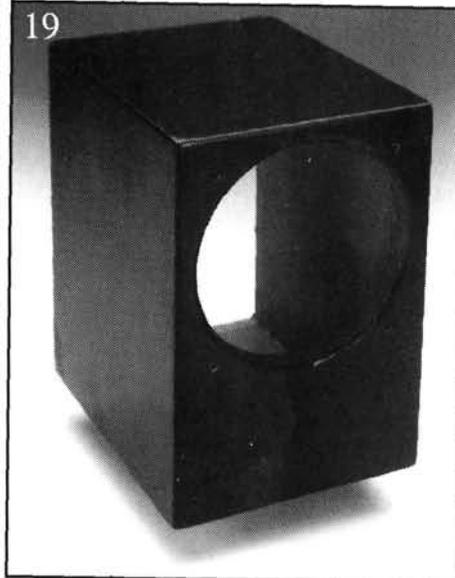


Figure 18 – Il faut impérativement s'en tenir à ces dimensions si vous voulez obtenir la qualité de restitution souhaitée. L'austérité frappe tout le monde : le dessinateur a été un peu chiche pour ce qui est des cotes, mais toutes celles qui ne sont pas indiquées se déduisent des autres.

19



nécessaires à la découpe des panneaux et à la construction du caisson. Nos exemplaires sont construits en panneaux de particules (copeaux pressés), mais le contreplaqué convient parfaitement. Le panneau de particules présente l'avantage d'être très facile à travailler tout en étant suffisamment rigide. Commencez par débiter les différents panneaux. Suivant votre habileté et le temps que vous décidez d'y consacrer, vous choisirez l'assemblage à plat ou à onglet. Ce dernier assemblage est plus solide et plus esthétique. Même s'il est invisible une fois le caisson peint, vous saurez, vous, que vous avez fait du beau travail. Les différents panneaux seront collés à la colle à bois, et

maintenus par des serre-joints pendant le temps du séchage. Vous pouvez éventuellement utiliser des pointes fines que vous n'enfoncerez pas complètement. Une fois la colle sèche, vous pourrez ou bien couper leur couper la tête et les enfoncer au chasse-pointe sous la surface du bois, ou bien les retirer. Dans les deux cas, le trou sera obturé à l'enduit.

Avant de peindre la boîte, ou de la vernir si elle est en contre-plaqué, il faut la poncer, enduire toutes les irrégularités de surface, puis la re-poncer. Procédez au pinceau, à la bombe ou au pistolet, suivant votre goût et votre équipement, de toute façon dans un local ventilé car les solvants sont toxiques. Que vous ayez

20



Figure 20 – Le haut-parleur, comme celui des mini-enceintes déjà décrites, est de marque Monacor. Il offre, dans son registre, des performances tout aussi étonnantes, compte tenu de sa taille. Le diamètre de l'aimant est à peine inférieur à celui de la membrane.

Figure 21 – Les dimensions du haut-parleur, du transformateur et du circuit imprimé permettent à celles de l'enceinte d'être très réduites : le baffle est à peine plus grand qu'un livre de poche.

Figure 22 – Comme le caisson de graves ne restitue que les graves, il doit accompagner les mini-enceintes décrites dans le numéro 55 d'ELEX.

distorsion de croisement

Cette distorsion n'existe que dans les amplificateurs en classe B, qui ont un courant de repos négligeable, et de toute façon inférieur au courant dans la charge. Le croisement en question s'appelle crossover en anglais. Il s'agit du moment où le courant de sortie cesse d'être fourni par le transistor d'une branche (positive par exemple) et commence à être fourni par le transistor de l'autre branche (donc négative). La distorsion se produit quand l'un des transistors cesse de conduire avant que l'autre ait pris le relais. La distorsion de croisement est supprimée par un courant de repos qui maintient les transistors prêts à conduire.

décibel (dB)

Le décibel est le dixième d'un bel, comme le déci (pour décilitre) est un dixième de litre de fendant en Suisse. Le bel est une « unité » dont le nom vient de l'inventeur du téléphone, Graham Bell. Le décibel a été inventé par les téléphonistes pour qui il simplifie énormément de calculs. Mathématiquement parlant, le décibel est le logarithme d'un rapport. Il indique le rapport entre une valeur de tension ou de puissance et une valeur préalablement choisie comme référence. Pour les tensions, le nombre de décibels est égal à : $20 \times \log U1/U2$, pour les puissances à $10 \times \log P1/P2$.

fréquence de coupure

La fréquence de coupure est celle du point à -3 dB. C'est celle pour laquelle un filtre commence à produire son effet, le signal d'entrée est atténué de 3 dB, soit divisé par 2 pour la puissance, soit divisé par $\sqrt{2}$ pour la tension.

filtre passe-bas

Un filtre passe-bas ne laisse passer que les fréquences inférieures à la fréquence de coupure qui le caractérise. En fait, les fréquences supérieures ne sont pas totalement supprimées, mais fortement atténuées.

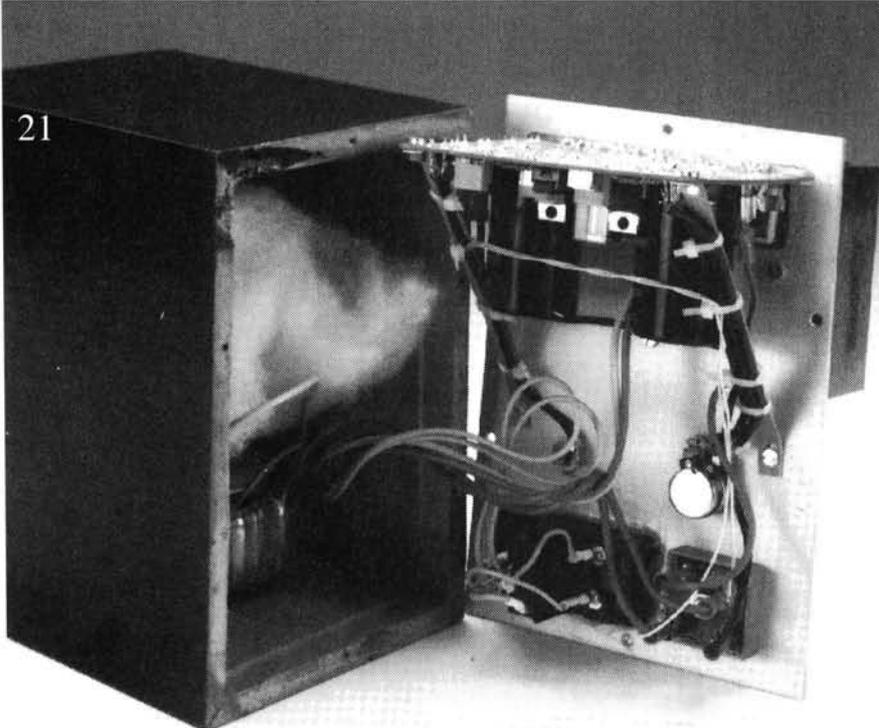
amplificateur opérationnel

Un « ampli op » est un circuit analogique complet qui peut être réalisé aussi bien en composants discrets que sous la forme de circuits intégrés. Ils sont caractérisés par un gain très important et des entrées différentielles.

courant de repos

C'est le courant qui traverse les transistors de l'étage de sortie quand l'amplificateur est au repos, que le signal d'entrée est nul.

21



choisi le vernis ou la peinture, il est recommandé de poncer la première couche avant d'appliquer la deuxième.

Quand votre enceinte aura son aspect définitif (figure 19), vous l'équiperez de son haut-parleur (figure 20). L'enceinte, comme l'électronique, est accordée à ce modèle précis de haut-parleur. Il est donc déconseillé d'en utiliser un autre, même de dimensions et de caractéristiques proches. Le transformateur d'alimentation est du type toroïdal pour deux bonnes raisons : d'abord son encombrement réduit lui permet de se loger dans le caisson ; ensuite, ses pertes magnétiques sont très faibles et il risque moins d'induire des ronflements dans le circuit de l'amplificateur.

Avant la mise en service définitive, il faut régler le courant de repos de l'étage de sortie. Pour cela, vous tournerez le potentiomètre P2 à fond en sens antihoraire pour lui donner sa résistance maximale. Remplacez le fusible F1 par un milliampère-

remètre, alimentez l'amplificateur et lisez l'intensité du courant consommé. Pour ces manipulations, il faut que l'entrée soit court-circuitée. Tournez P2 jusqu'à ce que l'intensité ait augmenté de 5 mA. L'amplificateur est réglé, vous pouvez monter le tout dans le caisson.

Le transformateur est vissé au fond de la boîte, le circuit imprimé vient se loger en haut. Il reste à garnir l'intérieur de laine de verre (figure 21) et à visser le fond. Un cordon de mastic entre le chant de la boîte et la plaque d'aluminium n'est pas superflu pour garantir l'étanchéité. De même, vous colmaterez l'embase CINCH après avoir soudé les fils, pour interdire complètement le passage de l'air.

les essais

Naturellement, vous êtes curieux, comme nous, de savoir quel son produit le caisson de graves, associé aux deux

22



**Vous êtes près
de vos sous ?
Alors venez plus
près de nous !**

**11 x
elex**

=

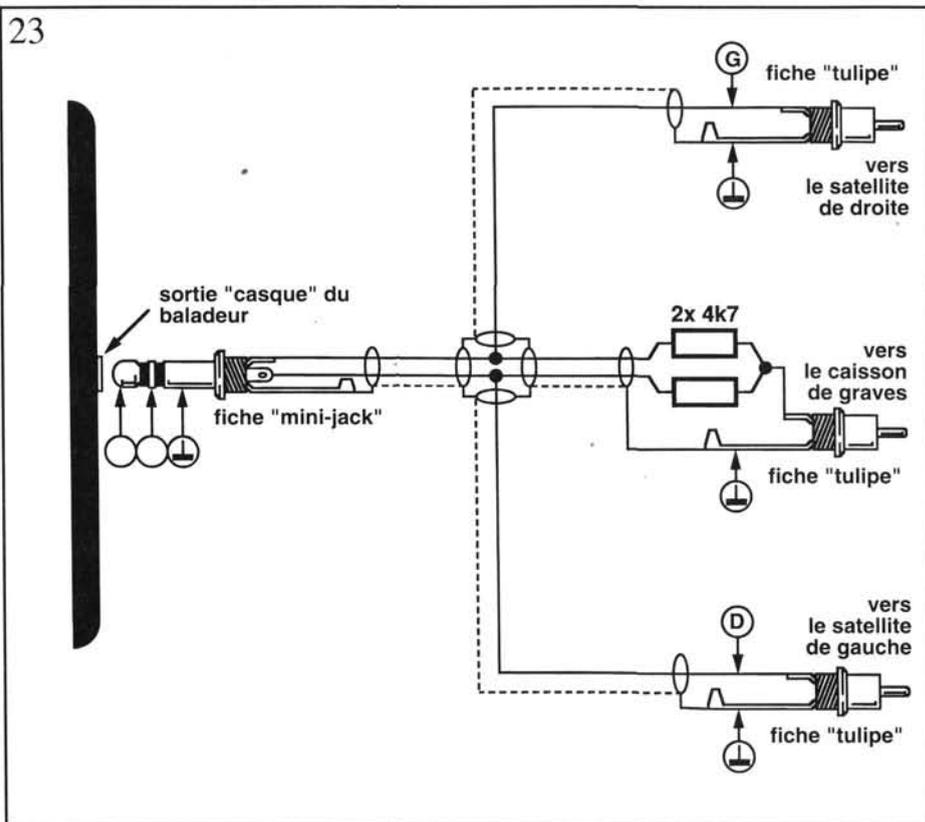
**219
francs**

**Mais oui !
Ça met
le numéro**

**à moins de
20 francs
(au lieu de 23)**

Abonnez-vous !

23



mini-enceintes. Vous pouvez le raccorder tout simplement à une des deux voies, gauche ou droite, car la partie grave du message sonore est située le plus souvent dans le milieu de l'image stéréophonique. Autrement dit, les deux canaux comportent le même signal grave. Si vous voulez être tout à fait totalement complètement sûr à 100% de ne rien perdre du message sonore des deux canaux, vous pouvez les additionner avec le circuit simple de la figure 23. Le caisson de graves reproduit la partie basse du signal des deux canaux, cependant que les satellites constituent l'image stéréophonique. Pour les tests d'écoute, les satellites étaient disposés à la hauteur des oreilles (à terre pour les farfadets), séparés d'environ 2 mètres. Le caisson de graves était posé au sol au milieu. Même les plus sceptiques (dont le Schtroumpf grognon) ont été convaincus par le son d'un disque compact : une bonne image stéréophonique et un bon rendu des graves.

adaptations

Le potentiomètre P1, qui règle la fréquence de coupure du filtre, doit normalement être en position médiane, mais vous pouvez adapter le rendu en fonction du local où le caisson est installé. Le volume du caisson n'est pas réglable, l'équilibre entre lui et celui des satellites se fait par le réglage du volume des satellites. Si vous éprouvez quelques difficultés, vous pouvez

remplacer les composants suivants des satellites : R1 prend la valeur de 5,23 kΩ, R2 devient 1,50 kΩ et C1 passe à 12 nF. Dans ces conditions, l'ensemble raccordé comme sur la figure 23, le potentiomètre de volume des satellites (P1) doit être réglé à mi-course.

Figure 23 - Le caisson de graves peut être raccordé, au choix, au canal droit ou au canal gauche du baladeur, car en général le spectre grave est partagé également entre les deux voies. Les scrupuleux, pour ne rien perdre, raccorderont l'entrée aux deux sorties par le circuit sommateur sommaire à deux résistances représenté ci-contre.

936047

24

ELEX		
230V ~	50Hz	
No. 936047X		
F = 500mAT		

Figure 24 - Comme la tension du secteur est présente dans le coffret, il est plus prudent de le munir d'une étiquette d'identification.

masse, moins, référence, commun, neutre, terre : le retour

Parfois pris l'un pour l'autre, ces termes ne désignent pas la même chose. Un passage en revue, de la masse de référence à la terre, qui sont parfois en relation, nous amènera à parler du secteur (la basse tension) et du régime de neutre le plus courant des installations alimentées directement par un réseau de distribution public, le régime TT (neutre à la Terre, masse à la Terre). Commençons

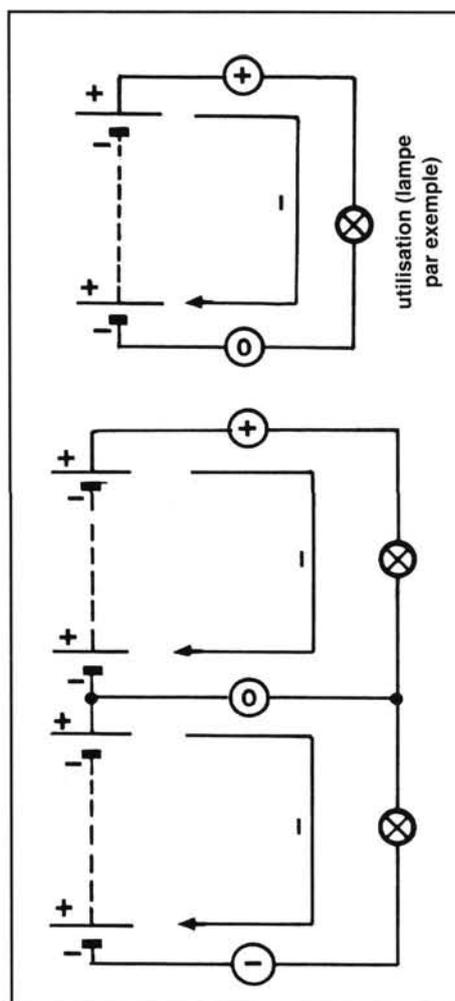
par le plus facile, le moins, dont nous ne pouvons pas parler sans parler du plus et du générateur. « Un générateur de courant continu est un appareil qui entretient entre deux pièces métalliques A et B, appelées bornes ou pôles, une différence de potentiel de signe constant. Cette différence de potentiel est due à l'accumulation de charges positives (déficit en électrons) sur la borne positive (A par exemple) et à l'accumulation de charges négatives (excès d'électrons) sur la borne dite négative (B). Cette différence de potentiel entraîne l'existence d'un champ électrique entre A et B, donc de forces sur des charges situées entre A et B, donc la possibilité de mouvement de ces charges (si elles sont mobiles), c'est-à-dire un courant électrique dans des corps conducteurs ». Or, on lit partout que sur la borne positive règne une tension et que la borne négative est le zéro volt ou la masse du circuit. On prend même parfois les choses à l'envers lorsqu'on prétend que, sur une borne repérée "plus", règne une tension nulle, et que la tension est négative sur la borne moins: c'est ainsi que l'on parle généralement de la partie négative des alimentations symétriques comme celle de la figure 1b. Pourquoi? Par convention tout simplement. Il n'est pas inintéressant de mesurer toutes les différences de potentiel par rapport à une référence, toujours la même, à laquelle on attribue arbitrairement le potentiel zéro. Ce potentiel n'existe pas. Un potentiel ne peut s'envisager que par rapport à un autre potentiel. De même, une tension est une différence de potentiel, on ne parle ou on n'exprime de tension en un point d'un circuit que par rapport à une référence. Cette référence, dans le cas d'une alimentation simple, c'est la borne négative, dans le cas d'une

alimentation symétrique, c'est la borne commune aux deux alimentations qui la constituent. « Et la masse dans tout ça? » C'est le nom donné à cette référence ou 0 V que l'on appelle plus précisément « masse électronique » ou « masse fonctionnelle » pour ne pas la confondre avec la masse, celle du châssis que nous allons voir.

masse des châssis

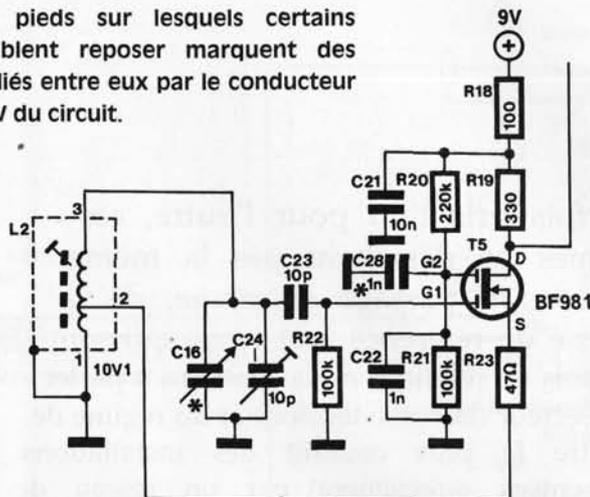
De nombreux appareils sont enfermés dans un châssis de métal (blindage, terme que les bons auteurs suggèrent de remplacer par « écran électromagnétique ») destiné à les isoler des influences extérieures (champs électromagnétiques) ou à isoler l'extérieur de leur influence. Ce châssis sert souvent de référence de potentiel aux filtres d'entrée-sortie et aux câbles blindés (coaxial ou audio). Il est alors relié, par une liaison aussi courte que possible, à la borne de sortie du bloc d'alimentation, et c'est cette liaison qui fait de cette masse mécanique une masse électrique. Dans l'industrie, sur un même site, toutes les masses doivent être au même potentiel. Cette obligation, légale, concerne la sécurité des personnes, technique, celle des installations. Les masses sont donc reliées entre elles et reliées, individuellement (en dérivation sur un conducteur, en principe vert-jaune), à la terre par une prise unique ou par des prises qui ne sont pas susceptibles de présenter entre elles de différence de potentiel. Nous y reviendrons.

Figure 1 - Dans un cas, la référence des potentiels correspond à la borne négative du générateur; dans l'autre, alimentation symétrique, à la borne commune des deux générateurs en série.



On rencontre aussi le terme de "masse" mécanique dans des situations où le châssis ne joue pas le rôle d'écran électromagnétique (blindage) à proprement parler. Dans l'industrie automobile, une des bornes de la batterie est reliée à la carrosserie. Dans ce cas, la caisse n'est pas là pour protéger la machine des perturbations électromagnétiques mais sert de liaison commune, de conducteur (ou de masse) de référence. Il n'y a qu'un fil à tirer pour alimenter les différentes utilisations puisque le retour est assuré par la tôle. C'est une façon d'économiser (ou de ne pas gaspiller inutilement) du câble que connaissent aussi les cyclistes. Aujourd'hui, sur pratiquement tous les véhicules, c'est la borne négative de la batterie qui est à la masse mais il n'en a pas toujours été ainsi : les heureux possesseurs de Mini (Austin) s'en souviennent avec nostalgie, surtout s'ils ont essayé d'y installer un autoradio dont le moins était à la masse, ils ont peut-être alors eu droit à un court-circuit ou à une inversion de polarité puisque, sur ces voitures, la caisse était reliée à la borne positive de la batterie. Pour éviter ce genre d'incident, il est toujours conseillé, lors de l'installation d'un appareil sur un véhicule automobile, de vérifier si l'une des deux lignes d'alimentation continue est au boîtier de l'appareil. La seule liaison de ce type qu'il est parfois recommandé d'établir concerne les parasites. Elle est éventuellement assurée par un condensateur, câblé entre la masse intérieure de l'appareil (le 0 V) et le coffret (châssis) en contact avec le "commun" du véhicule (la carrosserie, reliée de nos jours au pôle négatif de la batterie). Il suffit de choisir le condensateur de façon que son impédance soit aussi petite que possible à la fréquence des parasites. Une liaison de la carrosserie avec la terre est parfois nécessaire, à l'arrêt bien sûr, pour permettre aux charges accumulées par frottement (triboélectricité) de circuler sans dommage : entre un camion qui a roulé sous un vent poussiéreux sec par exemple, et la pompe qui le ravitaille (ou qu'il ravitaille) en carburant la différence de potentiel peut être de plusieurs dizaines de kilovolts : une étincelle de décharge, dans ces moments-là, risque de mettre le feu aux vapeurs. Pour écarter ce danger, il suffit de mettre la citerne à la terre, de façon même rudimentaire. Sur les aéroports, c'est entre l'avion et le camion citerne qu'une liaison électrique est établie avant la distribution de carburant (qu'on appelle d'ailleurs "avitaillement").

Figure 2 - Les pieds sur lesquels certains composants semblent reposer marquent des points qui sont reliés entre eux par le conducteur de référence, le 0 V du circuit.



Nous pouvons dire qu'en général la masse est la liaison commune aussi bien à l'alimentation qu'aux signaux d'entrée et de sortie et qu'elle est souvent reliée électriquement au châssis. Ce châssis n'est pas toujours présent mais ce n'est pas parce que l'appareil bénéficie d'une coque de matière plastique qu'il est forcément absent : il suffit d'ouvrir un ordinateur pour constater que l'écran électromagnétique est là.

Voyons comment se présente la masse sur les schémas. Les \perp qui la symbolisent et sur lesquels les schémas semblent reposer ne signifient pas que les lignes qu'ils terminent sont à raccorder au châssis. Ils permettent uniquement de simplifier le dessin. Prenez celui de la figure 2 (extrait du récepteur VHF décrit dans un numéro précédent) : si nous devions réunir par un trait continu tous les composants sous lesquels le symbole de masse est représenté, à la ligne de référence (le 0 V), le schéma perdrait en lisibilité et ça n'apporterait rien à sa compréhension (voyez les condensateurs C28 ou C21). Ce symbole est utilisé dans toute la littérature pour représenter les liaisons de masse fonctionnelles. On en utilise un autre, une sorte de balai peigné en brosse (figure 3 repères D) pour représenter une liaison avec la masse mécanique, celle du châssis. Il existe un troisième symbole pour représenter la "terre" sur laquelle nous allons maintenant nous poser.

terre

De quelle terre s'agit-il ? De celle qui a la Lune pour satellite : la Terre. C'est un assez mauvais conducteur sur lequel circulent de nombreux mythes que nous ne répéterons pas. Elle a servi en tant que tel

(on l'appelle dans ce cas « terre fonctionnelle ») comme support de transmission "sans fil" pendant la Grande guerre. On l'utilisait (on l'utilise peut-être encore dans certains pays) comme conducteur de retour de téléscripteur en courant continu... Tout cela fait partie du passé ou relève de l'anecdote (alimentation d'une île en courant électrique par un seul conducteur, l'autre étant la mer, utilisée comme « terre fonctionnelle » par exemple).

Dans l'industrie, la terre sert de poubelle à des perturbations électromagnétiques, dites de mode commun parce qu'elles affectent de la même manière tous les conducteurs. La mise à la terre, dans ce cas, n'est pas nécessaire à la protection des personnes et des biens : inutile donc, lorsque vous prenez l'avion, de faire demander au commandant de bord où est la prise de terre. Ce qui importe, dans un avion ou une usine, c'est qu'il n'y ait pas de différence de potentiel dangereuse entre deux masses accessibles simultanément pour les personnes (les masses de deux machines voisines par exemple) ou entre les masses des équipements interconnectés pour les matériels. La règle en ce domaine c'est « équipotentialité », toutes les masses au même potentiel et une seule "terre" pour tous : toutes les terres d'un même site doivent être interconnectées.

Dans les installations domestiques et pour les transformateurs de distribution haute/basse tension (schéma TT), la terre sert à évacuer les courants de fuite et de défaut. Ici, deux prises de terre : celle de l'utilisateur (souvent absente), à laquelle sont reliées les masses de ses appareils, et celle du poste de distribution HT/BT à laquelle est relié le neutre. La distribution du courant y est dite monophasée : sur les

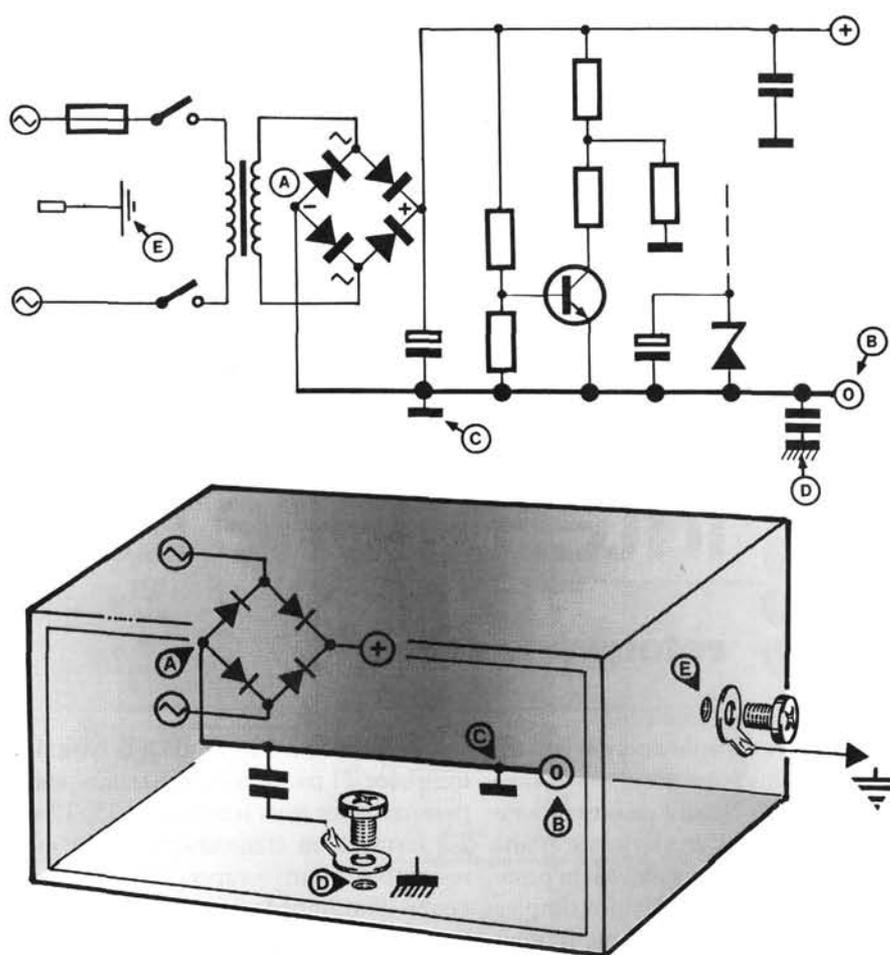


Figure 3 – Les points A, B et C sont au même potentiel, celui de la référence, 0 V ou masse fonctionnelle du circuit. Le point D est à la masse du châssis ou masse mécanique. Le point E est raccordé à la terre (lorsqu'elle existe) par un câble, le "vert-jaune", et aux autres masses (mécaniques) du même site.

prises, une phase et le neutre entre lesquels on mesure une différence de potentiel efficace de 230 V. Lorsque l'on branche un appareil sur la prise, le fil de phase et celui de neutre sont parcourus par le même courant. Ce courant circule cependant du compteur vers l'utilisation dans l'un, et de l'utilisation vers le compteur dans l'autre. Si les deux fils, parallèles, traversent une bobine fermée sur un instrument de mesure (pince ampèremétrique par exemple) leurs effets inducteurs s'annulent et l'instrument de mesure ne détecte pas de courant. Si l'utilisateur vient accidentellement en contact avec la phase (défaut), sans être isolé de la terre, un courant le traverse, uniquement limité par sa résistance (1 kΩ sous 230 V) et celle du sol. Le circuit se referme, par l'utilisateur et le sol, sur la prise de terre du transformateur HT/BT: il existe alors un déséquilibre entre l'intensité du courant qui parcourt le fil de phase et celle qui parcourt celui de neutre. Ce déséquilibre fait que l'intensité du courant induit dans

la bobine n'est plus nulle. Au lieu d'un appareil de mesure, ce courant, à partir d'un certain seuil, peut déclencher un dispositif de coupure: nous avons alors à faire à un DDR, un Dispositif à courant Différentiel Résiduel. Si toutes les masses, la caisse du réfrigérateur, comme celle du four électrique ou de la baignoire (oui, rapport au décès de Claude François), sont connectées (en dérivation et non en série) à une même prise de terre (par l'intermédiaire de la borne de terre de leur cordon), un contact accidentel entre elles et la phase met en jeu le même processus. En absence de terre, c'est l'utilisateur qui, en contact avec l'équipement en défaut, est sonné. Si la masse mécanique de l'appareil est reliée à la terre, et, par son intermédiaire, au neutre du secondaire BT du poste de distribution, l'utilisateur n'a plus rien à craindre. « Et si au lieu de la masse des équipements le conducteur de

phase vient en court-circuit avec celui de neutre? » Il n'est pas là question de terre: l'intensité du courant atteint vite des valeurs telles que le fusible concerné fond ou qu'un disjoncteur (le "thermique") se déclenche.

en résumé

Nous avons rencontré le conducteur de référence, le 0 V, appelé aussi la **référence** ou **masse fonctionnelle** ou **masse électronique**, système de conducteurs qui sert de référence de potentiel aux autres, ceux des signaux d'un circuit électronique. La masse proprement dite est celle du **châssis**, coffret métallique qui peut servir de blindage, c'est-à-dire d'**écran électromagnétique** lorsqu'il isole les circuits et/ou l'extérieur des perturbations électromagnétiques (les parasites). C'est la **masse mécanique** dite aussi **masse de sécurité**. Le châssis peut être en contact électrique avec le 0 V, on parle alors de mise à la masse, de même lorsque toutes les masses mécaniques d'une installation font cause commune et sont ainsi portées au même potentiel.

Dans une installation domestique (régime de neutre dit TT), les masses accessibles à l'utilisateur sont en principe reliées à la terre, même si elles n'appartiennent pas à un matériel électrique (baignoires par exemple, depuis l'accident de Clo-Clo) individuellement et directement par la borne de terre de leur cordon d'alimentation*. Au niveau du transformateur de distribution (HT/BT), c'est le neutre qui est à la terre. S'il n'y a pas de prise de terre à la maison, lors d'un défaut d'isolement (court-circuit plus ou moins franc entre le conducteur de phase et la masse d'un appareil), c'est l'utilisateur (non ou mal isolé de la terre) qui assure le retour lorsqu'il entre en contact avec la masse de l'appareil en défaut. Ceci concerne les appareils dits en protection "de classe I". En classe II, double isolation (tondeuses à gazon et autres outils de jardin par exemple), il n'y a pas de mise à la terre des masses: même si la prise du cordon est pourvue d'une borne de terre, celle-ci n'est pas reliée.

L'ouvrage d'Alain Charoy *Parasites et perturbations des électroniques, deuxième tome (Terres, Masses, Câblages)* aux Éditions Radio (DunodTech) jette une lumière éclatante sur les notions abordées dans cet article.

* Le cas échéant: ne cherchez pas de cordon de branchement sur la baignoire, elle n'en est en principe pas pourvue, mais vous pouvez trouver, dessous, une tresse de masse si sa coque est métallique.



L'installation d'un interphone suppose en général que vous tiriez un câble à deux fils ou plus entre les différents postes. L'interphone que nous décrivons ici se contente d'un seul fil. N'importe quel autre aussi, direz-vous. Soit, mais celui-ci **fonctionne** avec un seul fil.

interphone radin

retour à la terre

Cet interphone se prête à toutes sortes d'utilisations, mais il est conçu d'abord comme un téléphone de campagne. C'est surtout dans ce genre d'applications que se fait sentir l'inconvénient d'avoir deux fils à tirer entre les différents postes. Nous n'avons pas supprimé cette contrainte, mais nous l'avons divisée par deux. Le système retenu permet de connecter par un seul fil un nombre illimité, du moins en principe, de postes identiques. La boucle sera constituée d'un simple fil fin isolé. La deuxième connexion, qui reste nécessaire, sera assurée par la terre : un petit piquet métallique dans le sol, voire une pointe dans un arbre. Hormis les économies de fil et le gain de temps lors de l'installation, ce système présente un gros avantage : la consommation est quasiment nulle au repos, tant que personne ne parle. L'alimentation par des piles est donc possible sans que vous ayez à en trimballer tout un stock.

le circuit

Si vous plantez dans la terre à quelques mètres de distance deux piquets métalliques, vous pouvez mesurer entre eux une résistance de quelques kilohms à quelques dizaines de kilohms. Si vous éloignez les piquets de quelques dizaines ou centaines de mètres, la résistance ne varie pratiquement pas. La résistance électrique de la terre peut être considérée comme nulle, ce que nous mesurons, c'est la résistance des connexions, nos piquets et le contact entre eux et la terre. Cela éta-

bli, il n'est guère difficile de concevoir un circuit d'interphone qui prenne en compte cette résistance. Il suffit de prévoir une amplification en tension suffisante et une impédance suffisamment élevée du poste en position *écoute*. Ces principes simples devaient encore être traduits en un circuit pas trop compliqué. La simplicité est notre enseigne, mais c'est encore plus valable pour un projet comme un interphone ; si le montage est trop compliqué, le plaisir de la construction disparaît d'autant plus vite qu'il y a un nombre important de postes à réaliser.

La **figure 1** montre que nous avons su limiter l'importance du schéma. Chaque poste ne comporte que trois transistors, quelques composants passifs, un petit haut-parleur et un triple inverseur. Voyons d'un peu plus près comment ça marche. Le poste, avec l'inverseur S1ABC dans la position représentée, est en mode *écoute*. Le signal, qui arrive par la ligne

aux points j-k, est appliqué à la base du transistor T1 par le contact S1A. En position *écoute* les trois transistors, T1, T2 et T3, forment un étage amplificateur qui ressemble à un « super émetteur-suiveur ». Son impédance d'entrée est très élevée (quelques mégohms), ce qui supprime en grande partie l'inconvénient de la résistance de la liaison de masse par la terre. Le haut-parleur est connecté, par S1C, entre l'émetteur du transistor de sortie (T3) et la masse.

Les suspicieux et les coupeurs de cheveux en cinq ne manqueront pas d'objecter que l'étage amplificateur n'a guère de chance de fonctionner puisqu'il n'y a aucune tension continue de polarisation de la base de T1. C'est vrai, mais ils ont tort. Tant que l'appareil n'est pas appelé, la base de l'émetteur-suiveur ne reçoit pas de tension de polarisation, les trois transistors sont bloqués, si bien que le courant de repos est négligeable. Les choses changent



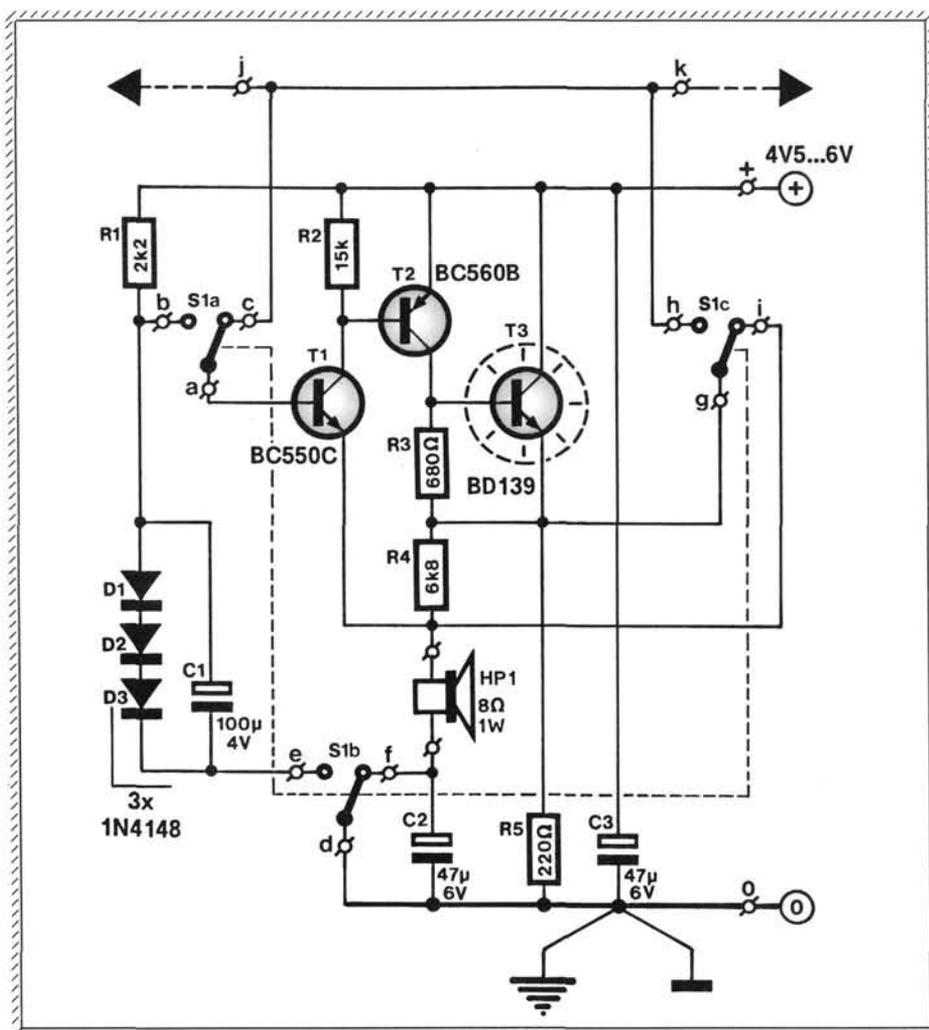


Figure 1 – Le schéma de l'interphone est particulièrement simple : il ne comporte que trois transistors et quelques composants passifs.

la construction

L'électronique d'un poste tient à l'aise sur une demi-platine d'expérimentation de format 1, **figure 2**, ou sur le petit circuit imprimé de la **figure 3**. Le petit nombre de composants met la réalisation à la portée des moins expérimentés, à condition qu'ils sachent faire des soudures correctes. Comme d'habitude, il faut veiller à l'orientation des composants polarisés, c'est-à-dire tous sauf les cinq résistances. Le radiateur de T3 peut être une plaquette d'aluminium de 2 cm de côté. Le haut-parleur et l'inverseur *écoute-parole* ne sont pas montés sur le circuit imprimé. Les connexions à établir par fils sont suffisamment repérées par les lettres du schéma. Le point 0 est commun, comme le montre le schéma, au pôle négatif de l'alimentation (masse du circuit électronique) et à la terre.

Comme la consommation est minimale, l'alimentation par piles est possible. Il s'agira, au choix, de trois ou quatre piles de 1,5 V ou d'une bonne vieille pile plate de 4,5 V. Si l'installation comporte un ou plusieurs postes à l'intérieur, les blocs secteur sont utilisables aussi.

Le coffret de chaque poste sera choisi en fonction des dimensions du haut-parleur et des piles ou accumulateurs. Le choix est assez grand parmi les modèles du marché, sans compter la possibilité de réaliser vous-même une boîte sur mesure. Vous prévoyez deux douilles banane de 4 mm pour le raccordement à la ligne (j) et à la terre (0).

quand le poste est appelé par un autre car, comme nous allons le voir, la ligne transporte tout à la fois le signal et la tension continue de polarisation nécessaire au fonctionnement. Tout devient évident si nous basculons l'inverseur S1 sur *parole*. Les trois transistors se transforment en amplificateur de microphone, cependant que le haut-parleur devient le microphone.

Le changement de position de l'inverseur agit principalement sur le premier transistor, T1. Alors qu'il était monté en émetteur-suiveur dans la position *écoute*, sa base est maintenant connectée au diviseur de tension que constituent la résistance R1 et les diodes D1 à D3. En fait les trois diodes polarisées en direct fixent une tension de référence, et la base est court-circuitée à la masse pour les tensions alternatives par le condensateur C1. Nous avons donc un transistor monté en base commune qui amplifie le signal du haut-parleur raccordé à l'émetteur. Le signal amplifié est récupéré sur le collecteur de T1 et amplifié par T2 et T3 avant d'être injecté sur la ligne par l'intermédiaire de S1c.

La contre-réaction nécessaire à la stabilité de l'amplificateur de microphone est assu-

rée par la résistance R4 de 6,8 kΩ, connectée entre la sortie (l'émetteur de T3) et l'entrée (l'émetteur de T1). Le gain global, ou facteur d'amplification, est déterminé par le rapport de R4 à la résistance interne du haut-parleur. Avec les valeurs du schéma, il prend une valeur importante, de 850 environ.

Voilà pour ce qui est de l'émission, mais il reste toujours à savoir comment la tension de polarisation est appliquée à la base de T1, en position *écoute*. Vous aurez sans doute compris qu'en position *émission* la ligne ne reçoit pas seulement le signal amplifié par T3, mais aussi la tension continue de l'étage de sortie puisqu'il n'y a pas de condensateur interposé. Cette tension continue est égale à la tension de seuil des trois diodes D1 à D3, diminuée de la tension de seuil base-émetteur de T1, augmentée de la tension aux bornes de R4. La valeur qui en résulte est donc, indépendamment de la tension d'alimentation, de quelque 1,5 V. Elle est suffisante pour faire conduire le transistor T1 du poste récepteur (ou de tous s'ils sont plusieurs) sans déterminer à travers le haut-parleur un courant d'intensité inutilement élevée.

l'utilisation

Le mode d'emploi n'occupera pas toute une page : il n'y a aucun réglage et la communication peut commencer dès que deux postes sont raccordés. Elle continue s'il y a plusieurs postes, bien sûr. Dès qu'un poste parle, tous les autres postes alimentés et raccordés écoutent, il n'est pas possible de choisir son interlocuteur ni de tenir des conversations secrètes.

Pour couvrir de grandes distances (le maximum est de 100 mètres), la connexion de terre doit se faire avec des piquets de tente ou même, si étrange que cela puisse paraître, avec une broche (de charpentier) d'une dizaine de centimètres enfoncée dans un arbre. Le contact électrique est assuré par la sève abondante dans l'aubier juste sous l'écorce. Une pointe plus longue ne servirait à rien d'autre qu'à endommager l'arbre. La résistance de la connexion sera d'autant plus faible que le sol sera humide.

Pour les applications en plein air prévues, il est possible de tirer profit des clôtures de parcs, à condition qu'elles ne soient pas court-circuitées à la terre par des piquets métalliques. Si vous trouvez des clôtures en fil métallique lisse monté sur des isolateurs, ce n'est pas un coup de chance, au contraire : il s'agit de clôtures électriques destinées à donner aux animaux (vaches, chevaux) qui s'y frottent une secousse électrique de quelques kilovolts. Même les jeunes veaux se tiennent à distance, ne soyez pas plus bêtes qu'eux. Attention aussi aux ruraux, qui sont quelquefois susceptibles sur les questions de propriété.

896098

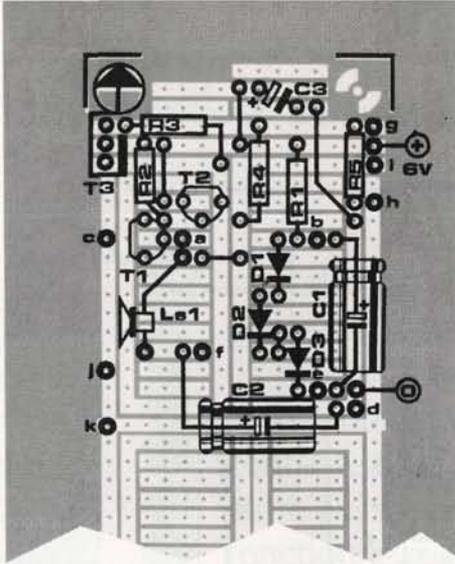


Figure 2 - Vous pourrez réaliser deux postes sur une platine d'expérimentation de format 1.

Figure 3 - Le circuit imprimé n'est pas plus encombrant que la moitié de la platine d'expérimentation. La disposition des picots A à I reproduit celle du triple inverseur, pour faciliter le câblage.

liste des composants pour 1 poste

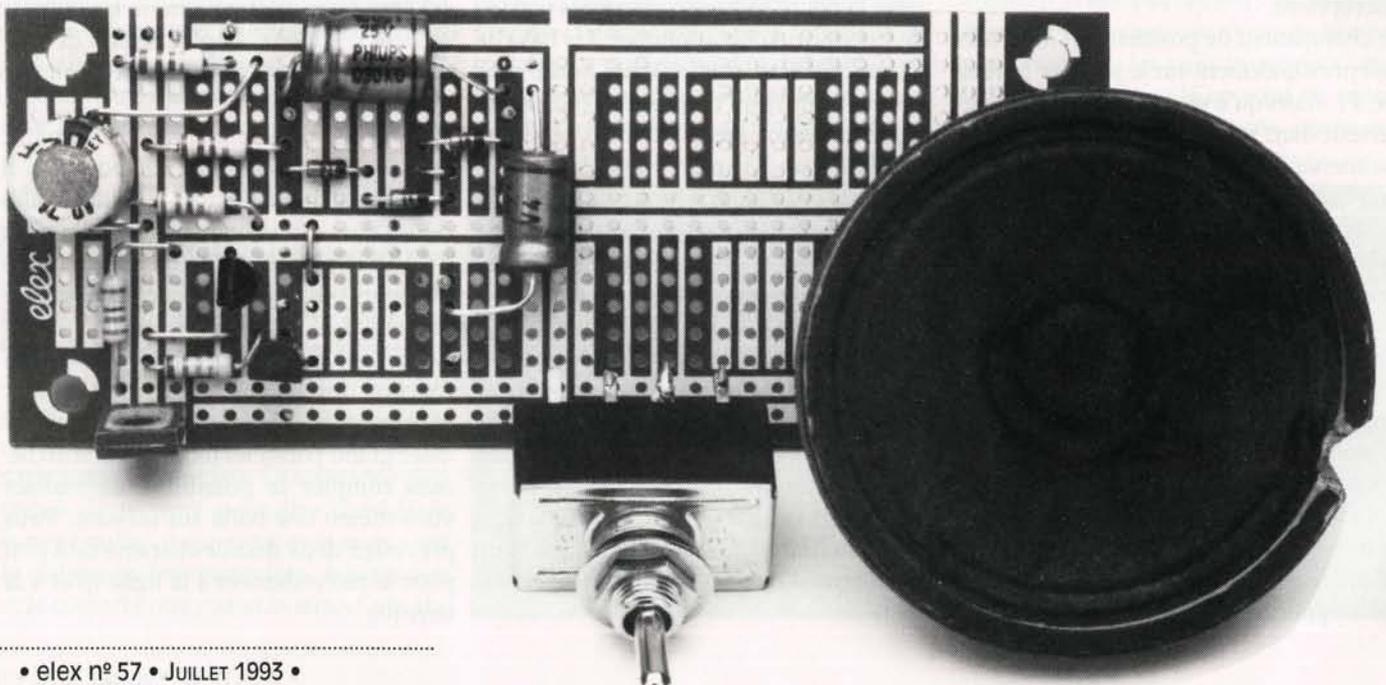
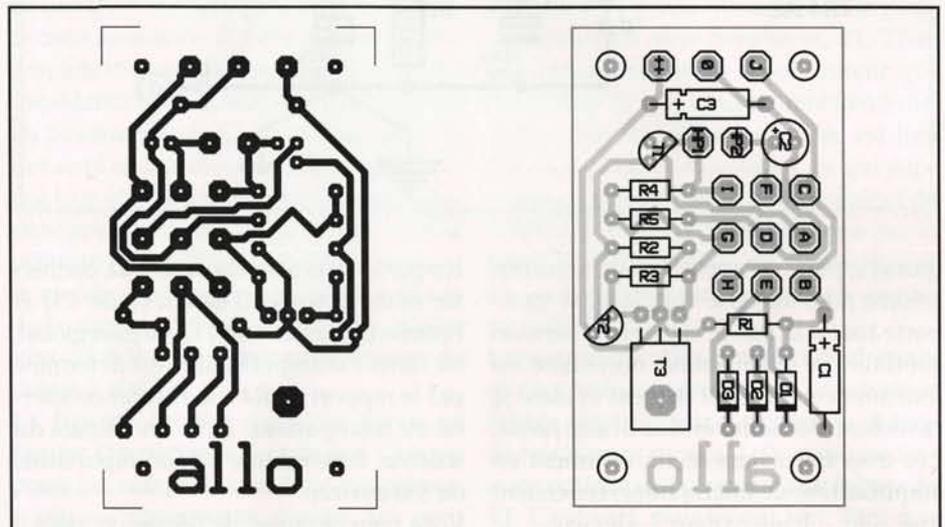
- R1 = 2,2 kΩ
- R2 = 15 kΩ
- R3 = 680 Ω
- R4 = 6,8 kΩ
- R5 = 220 Ω

- C1 = 100 μF/4 V axial
- C2 = 47 μF/6 V radial
- C3 = 47 μF/6 V axial

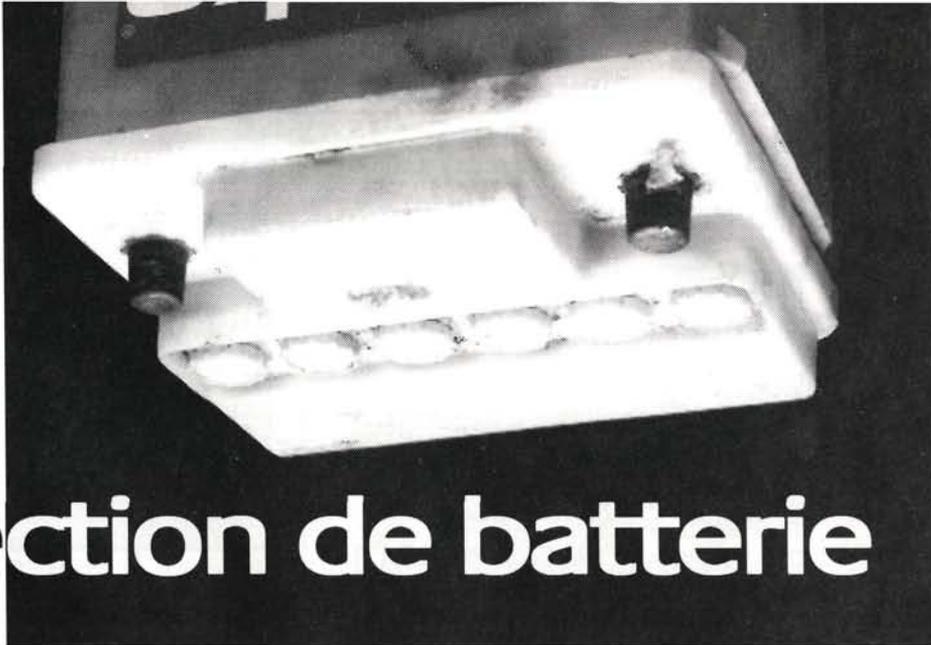
- D1, D2, D3 = 1N4148
- T1 = BC550C
- T2 = BC560B
- T3 = BD139

- S1 = triple inverseur
- HP1 = haut-parleur 8 Ω/1 W.

1 platine d'expérimentation format 1 ou 1 circuit imprimé.



protection de batterie



Abandonner sa voiture les lanternes allumées peut parfois poser des problèmes au redémarrage. A l'arrêt, les ressources d'une batterie ne sont pas inépuisables. Après avoir roulé de jour en feux de croisement, sous une violente averse par exemple, omettez de couper vos feux une fois le beau temps revenu, et vous verrez... Le présent montage a pour but de couper l'alimentation dès que la batterie donne des signes de faiblesse.

L'exemple des feux de croisement a été choisi au hasard. Mais il est assez parlant. Une batterie neuve peut les alimenter pendant quelques heures sans s'épuiser, mais si un récent démarrage laborieux l'a déjà passablement fatiguée et si la distance parcourue n'a pas été assez longue pour une recharge suffisante, elle ne tiendra pas longtemps.

La chose vaut aussi pour ces batteries de voitures que l'on utilise pour améliorer son confort lorsque l'on campe. Si c'est la batterie de "la" voiture, celle qui tracte la caravane, qui sert de centrale d'énergie universelle on s'étonne, au moment du retour, qu'il faille pousser le véhicule pour le faire démarrer. La batterie ne donnait pourtant pas de signes de faiblesse la veille au soir : pas de signes visibles. La

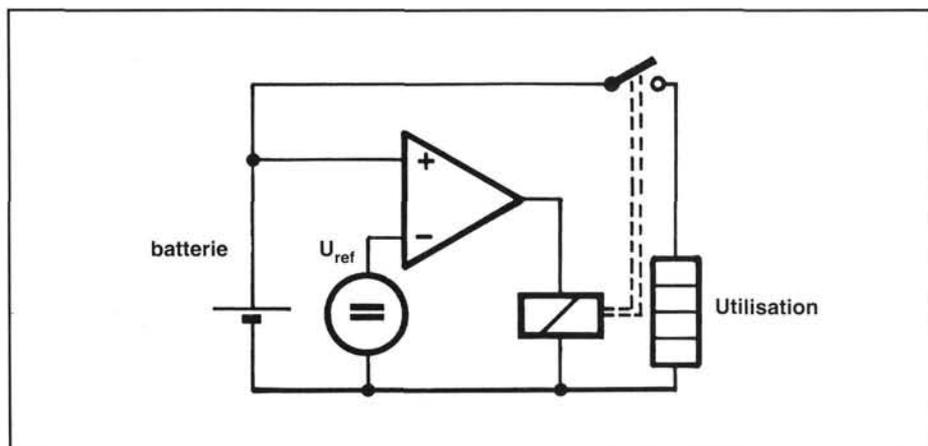
différence de potentiel aux bornes d'une batterie en service est en effet pratiquement constante pendant la plus grande partie de la décharge. Ce n'est que vers la fin qu'elle commence à baisser puisque sa résistance intérieure, très faible jusque là, se met assez vite à augmenter. Le commencement de la fin est donc signalé par une baisse de tension. Si l'on veut garder un minimum d'énergie pour la voiture, il est urgent de couper les vivres aux projecteurs, à la sono, au sèche-cheveux, au grille-pain etc. Si l'on ajoute qu'il est dangereux pour une batterie de se vider au-delà d'un certain seuil (compter 1,75 V par élément, soit puisqu'il y en a six pour une batterie dont la tension nominale est de 12 V, 10,5 V) l'intérêt du présent montage est encore accru.

simple comme 723

La figure 1 présente succinctement les fonctions nécessaires au dispositif. Il est difficile de faire plus simple. Une mesure de la tension disponible aux bornes de la batterie est appliquée à l'entrée non inverseuse d'un comparateur qui voit sur son autre entrée une tension stable, la consigne. Aussi longtemps que la tension mesurée est supérieure à cette tension de référence, la bobine du relais, ouvert au repos, est alimentée et celui-ci ferme le circuit. Lorsque la batterie commence à donner des signes d'épuisement, la mesure de la tension à ses bornes diminue. Lorsqu'elle est inférieure à la consigne, la sortie du comparateur bascule et le courant qui traverse la bobine du relais, pratiquement nul, n'est plus suffisant pour maintenir à l'intérieur de celle-ci un champ magnétique suffisant : ses contacts ouvrent le circuit.

Nous avons donc besoin d'un comparateur de tension, d'une tension de référen-

Figure 1 – La différence de potentiel aux bornes de la batterie est comparée à une tension de référence. Si elle est supérieure à cette tension, la sortie du comparateur alimente un relais qui ferme le circuit. Avant que l'utilisation ait consommé toute l'énergie disponible, la tension aux bornes de la batterie diminue, devient inférieure à la tension de consigne. La sortie du comparateur bascule alors et le relais qui n'est plus alimenté ouvre ses contacts.

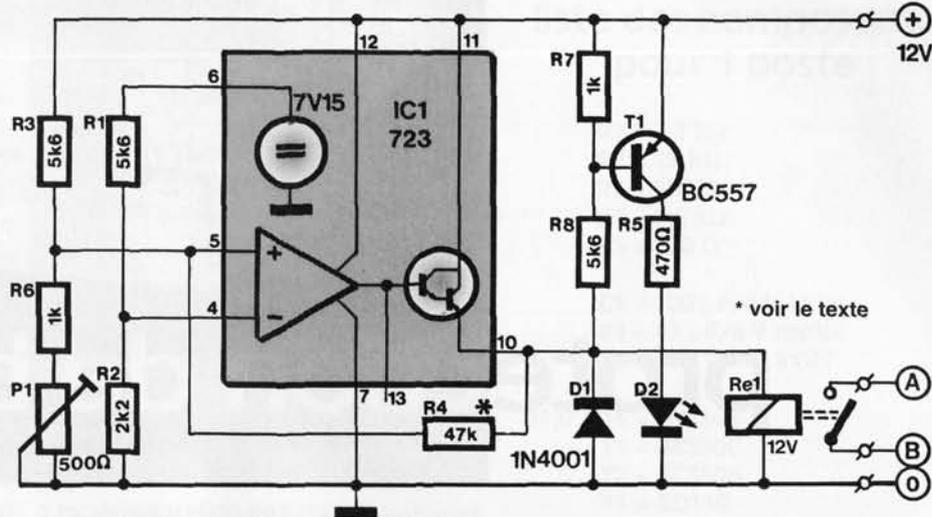


liste des composants

- R1, R3, R8 = 5,6 k Ω
- R2 = 2,2 k Ω
- R4 = 47 k Ω
- R5 = 470 Ω
- R6, R7 = 1 k Ω
- P1 = 500 Ω , ajustable

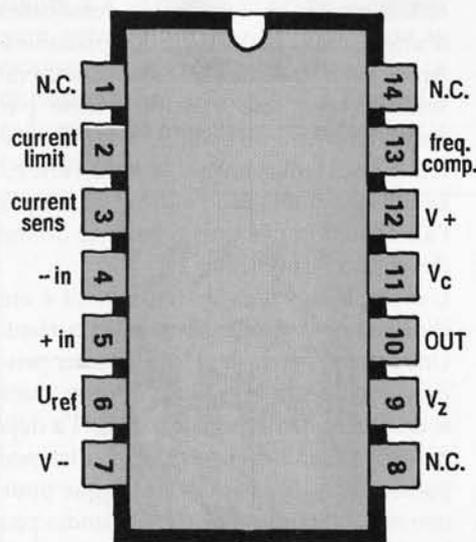
- D1 = 1N4001
- D2 = LED clignotante
- T1 = BC557
- IC1 = 723
- régulateur de tension de précision

- Re1 = relais-carte 12 V
- (Siemens V23127 B0002-A101 par exemple)



ce et d'une commande de relais. Où trouver tout cela, et même un peu plus ? Dans un μA 723, le fameux régulateur de tension de précision à quatorze broches (figure 2). Ce circuit contient une source de tension constante, fabriquée à l'aide d'une diode zener compensée en température et d'une source de courant constant, un amplificateur d'erreur, un transistor de puissance et un circuit de limitation de courant. Nous ferons usage des deux premières fonctions comme vous pouvez le voir sur la figure 3, laissant de côté les deux autres pour aujourd'hui. Commençons par le comparateur dont les deux entrées sont raccordées à deux diviseurs de tension. La tension de référence de 7,15 V disponible sur la broche 6 est appliquée à l'entrée inverseuse, après avoir été ramenée à 2 V aux bornes de R2. L'autre entrée voit une fraction de la tension d'alimentation, de 15 à 20% suivant la position du curseur de P1.

Aussi longtemps que la tension aux bornes de la batterie est suffisamment élevée, l'entrée non inverseuse du comparateur est à un potentiel supérieur à celui de l'entrée inverseuse. En conséquence, le darlington intégré, commandé par la sortie de l'amplificateur, est saturé et un courant d'intensité suffisante traverse la bobine du relais qui ferme le circuit entre les points A et B. En revanche, dès que la tension de mesure passe en dessous de celle de consigne, la sortie du comparateur bascule puisque le potentiel sur la base du darlington n'est plus suffisant pour que celui-ci conduise. Il se bloque et le relais qui n'est plus alimenté ouvre le circuit. Que se passe-t-il alors pour le transistor T1 ? Lorsque le darlington conduit, la dif-



férence de potentiel aux bornes de la bobine du relais est pratiquement de 12 V. L'intensité du courant qui traverse la branche de dérivation R7-R8 est nulle et le PNP est bloqué : la LED (clignotante) D2 reste éteinte. Si le darlington se bloque, un courant traverse la branche de dérivation, trop petit pour activer le relais mais suffisant pour que le transistor conduise (sa base est à environ 10 V par rapport au "0 V", ou - 2 V par rapport à son émetteur). Si T1 conduit, D2 alimentée clignote et signale que la batterie a besoin d'une recharge. Le rôle de protection de D1 ne mérite pas que l'on s'y attarde trop : lorsque le darlington se bloque, la bobine du relais se transforme en générateur dont la force électromotrice auto-induite serait assez élevée pour détruire le transistor. La diode limite à 0,6 V la différence de potentiel à ses bornes et permet au courant de s'épuiser par effet joule.

Voyons R4 maintenant. Cette résistance ramène sur l'entrée de mesure de l'ampli-

Figure 2 - Le 723 est un régulateur de tension aux multiples facettes qui en permettent de multiples utilisations.

Figure 3 - Le comparateur reçoit sur une de ses entrées une mesure de la différence de potentiel aux bornes de la batterie, sur l'autre une fraction de la tension de référence que fabrique le 723. En sortie, une LED (clignotante) témoigne à peu de frais que la batterie a besoin d'une recharge.

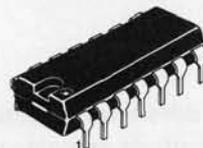
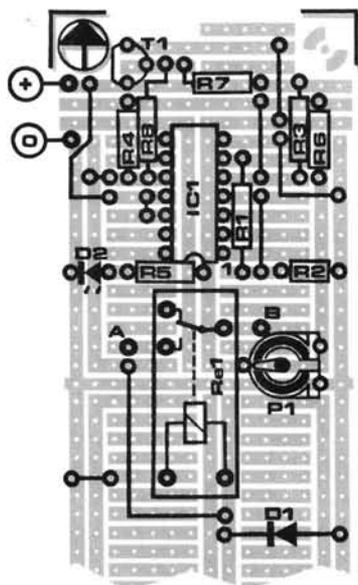


Figure 4 – Tant que les dimensions du relais ne sont pas trop importantes, il peut sans problème être câblé sur la même platine que les autres composants.



installation et mode d'emploi

Comme les fonctions essentielles sont intégrées, le câblage des différents composants sur une platine d'expérimentation ou un circuit imprimé est l'affaire de quelques instants. Voyez-en l'implantation sur la **figure 4**. Il n'est bien sûr pas obligatoire d'y installer le relais, ni de prendre celui que nous proposons. Si son pouvoir de coupure de 8 A (en continu) ne permet pas les applications auquel vous le destinez, prenez un relais pour automobile, plus adapté à de fortes intensités (15 A). Installez-le alors sur une platine qui supporte des courants élevés.

Pour le reste, tout dépend de l'utilisation du circuit. Le mieux est de l'installer au plus près, des phares par exemple, si c'est leur extinction qu'il doit commander. Dans ce cas, la LED clignotante ne sera plus disposée sur la platine mais au voisinage du tableau de bord de façon à rester visible.

Logé dans un boîtier étanche, le circuit n'en sera que plus universel. Prévoyez alors deux paires de bornes chaume (ou des cosses *fast-on*) pour la batterie et l'utilisation : le point B est connecté à la masse (point 0), la batterie entre "0" et "+" et l'utilisation entre "+" et "A". Pour le réglage de P1, le mieux est d'utiliser une alimentation réglable (le pire, de vider la batterie). On baisse progressivement la

tension et on règle P1 de façon que le relais commute juste à 11 V par exemple. On ramène ensuite progressivement la tension et le relais doit fermer le circuit lorsque l'on arrive aux environs de 12 V.

Une dernière remarque: en service, l'appareil tire environ 40 mA puisqu'il faut compter alors avec la consommation du relais. La LED est beaucoup moins gourmande et c'est à elle qu'il faut attribuer les quelques 15 mA que la batterie fatiguée débite. Cette intensité est assez négligeable pour qu'on ne s'en inquiète pas.

896002

MAGNETIC-FRANCE

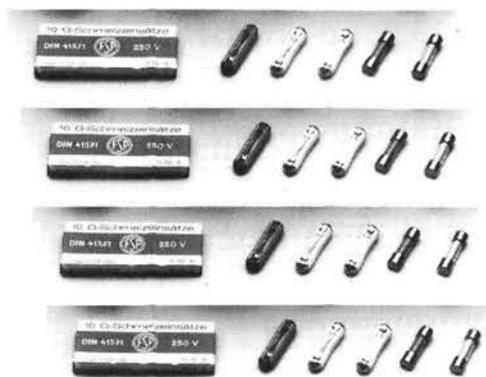
Circuits intégrés, Analogiques, Régulateurs intégrés, Interfaces, Micro-Processeurs, Mémoires RAM Dynamiques Statiques, EPROM et EEPROM, Quartz, Bobinage, Semi-Conducteurs Transforiques, Filtres, Ligne à retard, Leds, Supports de CI, Ponts, Opto-Electronique, etc.
Et de nombreux KITS.

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

11, Place de la Nation, 75011 PARIS **43793988**
Télex 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h
Fermé le Lundi.

coupe - circuit :

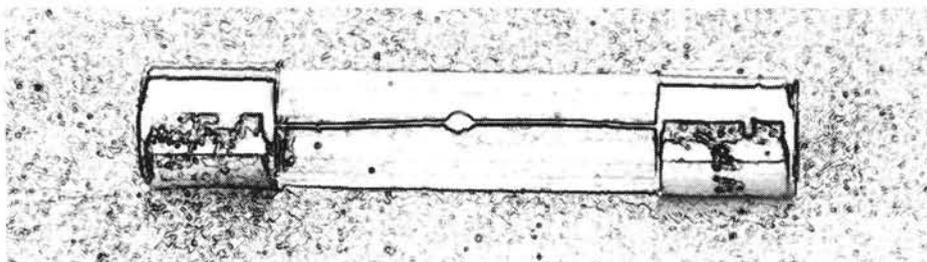
Un coupe-circuit offre à un circuit électrique une certaine sécurité lorsque l'intensité du courant dépasse une valeur donnée pendant un temps déterminé. Ceci ne vaut évidemment que si ses caractéristiques, tension d'utilisation, intensité nominale et rapidité de réaction, sont adaptées à son objectif.



De quoi protègent les coupe-circuit? Des surintensités. Un conducteur est fait pour supporter, sans que cela nuise au câble qui le contient, un courant d'une certaine intensité, dite intensité admissible. On parle de surintensité lorsque le courant la dépasse. Plus la surintensité est élevée, moins longtemps le conducteur pourra la supporter. A quoi peut-elle être due? À un court-circuit ou à une surcharge. Un court-circuit est provoqué par la mise en contact accidentelle de plusieurs conducteurs, défaut causé par exemple par la détérioration d'un isolant ou une erreur de câblage; une surcharge se produit dans un circuit dont les conducteurs sont sains lorsque les récepteurs en fonctionnement sont trop nombreux ou demandent momentanément trop (courant de démarrage d'un moteur ou appel de courant lors de la charge d'un condensateur par exemple). En cas de surintensité, les conducteurs chauffent, ce qui peut donner lieu à leur destruction, voire à des incendies... si rien n'est fait pour la limiter. En réseau basse tension, la limitation des surintensités, comme celle de la vitesse sur les routes, est fixée par une réglementation (norme NF.C 15-100 et décret du 14 janvier 1962) qui a force de loi. Dans une installation, différentes protections (disjoncteurs, fusibles, etc.) sont prévues pour limiter leurs effets destructeurs et éventuellement séparer les parties défectueuses des autres. On distingue dans ce domaine des coupe-circuit à usage domestique (gf) et à usage industriel (gI, gII, et aM pour accompagnement-moteur). Ces cartouches, qui se caractérisent par leur tension d'utilisation, leur taille et leur pouvoir de coupure⁽¹⁾ ne concernent pas directement l'électronicien amateur qui en a d'autres à son usage.

En quoi les fusibles peuvent-ils concerner l'électronique? Prenons l'exemple d'une ali-

quel type de fusible choisir ?



mentation dépourvue de protection contre les surintensités : en cas de court-circuit accidentel, ses transistors de sortie mourront de mort violente. La présence d'un fusible, moins onéreux et moins difficile à remplacer qu'un transistor, évite un dépannage qui peut prendre du temps. Les fusibles sont là, en premier lieu, pour que l'appareil satisfasse aux normes de sécurité, en second pour limiter la casse. Ils ne remplissent cependant leur fonction à la satisfaction générale que si leur intensité nominale⁽²⁾ est de l'ordre de celle du courant qu'il doivent normalement transporter. Un fusible de 100 mA ne tiendra pas longtemps s'il est dans un circuit normalement parcouru par un courant de 250 mA. Il faut, en second lieu, tenir compte d'appels de courant importants, lors de la mise sous tension par exemple : le fusible doit pouvoir les supporter. En d'autres termes, dans certaines applications, la protection ne doit pas réagir trop vite aux surintensités.

(1) Le pouvoir de coupure d'un appareillage de sectionnement, de commande ou de protection est la possibilité qu'a cet appareil de couper le courant de court-circuit présumé. On l'exprime en kA efficaces.

(2) L'intensité nominale est l'intensité maximale permanente du courant qui traverse un dispositif sans l'échauffer dangereusement.

rapides ou temporisés

La réaction du fusible sera donc, suivant le circuit dont il assure la protection, rapide ou lente. Que veulent dire ces adjectifs? Un fusible rapide, c'est une idée assez répandue, sauterait dès que le courant dépasserait son intensité nominale alors qu'un fusible lent, dans les mêmes conditions, se donnerait un délai de réflexion avant de réagir. Ceci n'est pas tout à fait vrai puisqu'un fusible rapide peut aussi supporter sans destruction, pendant un certain temps, un courant supérieur à son courant nominal. Voyons ce qui se passe précisément pour un coupe-circuit en cas de surintensité.

comportement du fusible

Les coupe-circuit utilisés en électronique très basse puissance se présentent le plus souvent sous la forme de tubes de verre terminés à leurs extrémités par des manchons métalliques. Leur filament est fait d'un métal (ou d'un alliage) bon conducteur (argent par exemple, dont l'oxyde conduit encore mieux). Une fois choisi le matériau, la résistance du filament est déterminée par son diamètre et sa longueur. Parcouru par un courant, il dissipe une certaine puissance⁽³⁾ par effet joule. En temps normal, les échanges avec le milieu extérieur, le tube de

fusible ou ...

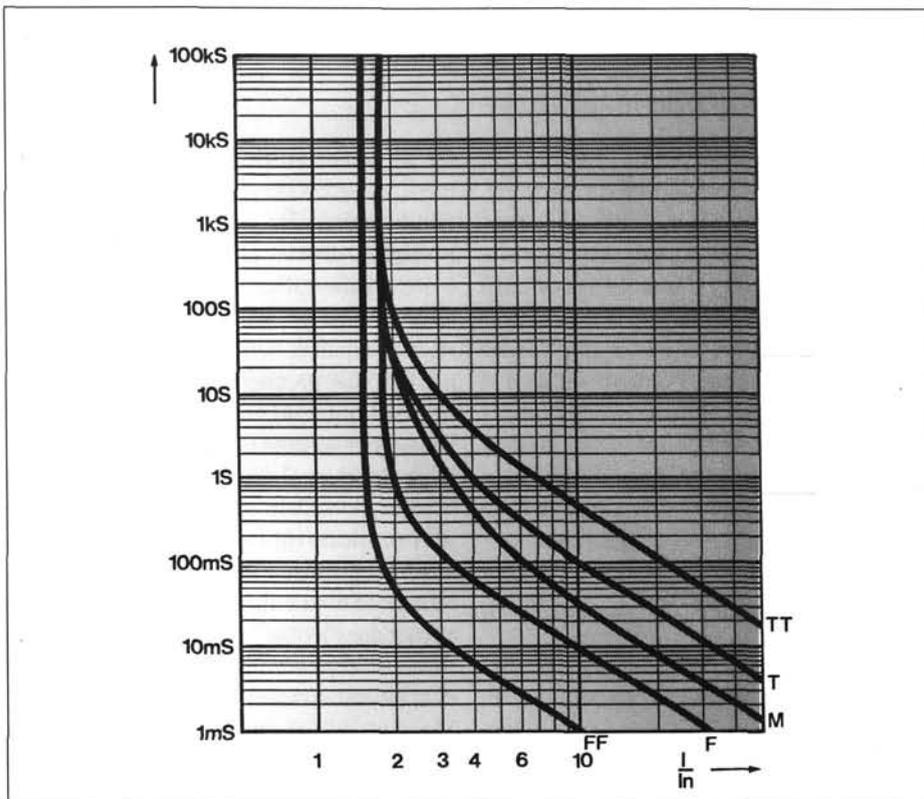


Figure 1 - Les courbes de fusion, en coordonnées logarithmiques cachent (ou montrent?) les caractéristiques des différents fusibles utilisés en très basse tension. En abscisse sont exprimés les rapports entre l'intensité du courant que subissent les fusibles et leur intensité nominale; en ordonnée le temps qu'ils mettent à couper.

verre, les manchons, le support, ne permettent pas une augmentation de température trop importante: un équilibre thermique s'instaure puisque l'énergie reçue par le filament est instantanément consommée par le milieu.

Un certain nombre de facteurs jouent un rôle pour que cet équilibre persiste. En premier lieu viennent l'intensité du courant qui traverse le filament et sa résistance. Nous laisserons ce dernier facteur de côté et supposons qu'il reste constant pour simplifier. Il faut ensuite considérer les échanges d'énergie entre le fil et son environnement. Si, comme nous l'avons vu plus haut, le milieu dissipe instantanément l'énergie reçue, le filament ne s'échauffe pas.

Autre facteur à prendre en compte, la capacité thermique (ou calorifique) du fil, gran-

deur proportionnelle à sa masse et à sa capacité thermique massique (sa chaleur spécifique⁽⁴⁾). Pour augmenter la température du métal jusqu'à sa température de fusion, il faut "charger" cette sorte de "condensateur thermique" ce qui peut prendre un certain temps, d'autant plus petit que la puissance, donc l'intensité du courant, sera plus importante. Ceci veut dire que la rapidité avec laquelle le fusible sautera sera fonction de l'intensité du courant.

relation temps-intensité

La fusion du filament dépend principalement de l'intensité du courant et du temps pendant lequel il passe. N'importe quel type de coupe-circuit a besoin d'un certain temps pour opérer, d'autant plus petit que l'intensité du courant est plus grande. Le **figure 1** exprime, logarithmiquement, cette relation entre les deux facteurs pour différents types de fusibles. Sur l'axe vertical sont exprimées les durées pendant lesquelles le courant doit circuler pour que le fusible fonde; sur celui des abscisses le rapport de l'intensité de ce courant I à l'intensité nominale du fusible (I_n , qui est indiquée sur son emballage). Il est facile de voir que lorsque l'intensité du courant est égale ou

même un peu supérieure à l'intensité nominale du fusible ($I/I_n = 1$), celui-ci ne saute qu'après un temps proprement infini. Il faut attendre qu'elle atteigne 1,5 fois I_n pour entrer dans la zone active. Les cinq courbes correspondent à cinq types de fusibles: ultra-rapides (FF), rapides (F, de l'anglais *fast* ou de l'allemand *flick*), normaux ou moyens (M), lents (T comme Temporisé), ou très lents (TT). Il est clair que pour couper le circuit en un temps donné, un fusible lent doit subir un courant beaucoup plus intense qu'un fusible rapide. Supposons par exemple que nous disposions de fusibles de 500 mA d'intensité nominale. Si ceux-ci doivent couper après 50 ms, l'intensité du courant pour un fusible FF sera de l'ordre de $2 I_n$ (1 A), ou supérieure à $4,5 I_n$ (2,25 A) pour un fusible F, à $8,5 I_n$ (4,25 A) pour le type M. Un fusible de type T ne sautera dans le même temps que si le courant dépasse $15 I_n$ (7,5 A) ou $30 I_n$ (15 A) si c'est un fusible TT.

lequel choisir?

Nous savons maintenant que la différence entre un fusible lent et un fusible rapide est cachée dans ces courbes de fusion qui indiquent, en fonction de l'intensité du courant qui les parcourt, le temps qu'ils tiennent

⁽³⁾ Des problèmes avec "puissance" et "énergie"? L'énergie, c'est ce que l'on paye, les kWh que les compteurs enregistrent, elle est proportionnelle au temps (t) et à la puissance (P) consommée. Un pétard de 14 juillet neuf contient toujours la même énergie (Pt), mais si vous en brisez mécaniquement l'emballage pour répandre la poudre, vous donnez à cette énergie le temps de se dépenser, vous perdez en puissance.

⁽⁴⁾ La capacité thermique massique d'un corps est l'énergie (ou la chaleur) qu'il faut apporter à un kilogramme de ce corps pour, dans certaines conditions (pression et volume constants...), augmenter sa température de 1°C (1 K si vous insistez).

avant de sauter. Le choix dépend bien sûr de l'intensité admissible par le circuit qu'ils ont à protéger. Voyons-le sur un exemple. Supposons un appareil dont l'intensité nominale est de 100 mA. À la mise sous tension cependant, il va supporter pendant 50 ms un courant de 600 mA, dû en grande partie au transformateur et au condensateur de lissage de l'alimentation. Il a d'autre part pendant son fonctionnement à supporter des pointes de courant de 3 A d'amplitude dont la durée est de 5 ms. De la première donnée, nous pourrions tirer la conclusion que l'intensité nominale du fusible à choisir est de 100 mA ; de la seconde, que le fusible serait du type M qui supporte $6 I_n$ pendant 100 ms ; de la troisième, que ce type ne convient pas puisqu'il ne supporterait les pointes de courant de $30 I_n$ que pendant 3 à 4 ms. Nous prendrons donc un fusible temporisé (T). Il est évident qu'il n'y a pas de protection contre les appels de courant à la mise sous tension (ce qui est heureux !) ni contre les impulsions susdites. Le circuit doit donc être conçu pour y faire face.

pratique

Nous pouvons écrire que le choix du bon fusible est déterminé par le comportement du courant dans le circuit à protéger. Encore faut-il le connaître et c'est rarement évident. Peu de gens possèdent l'appareillage nécessaire à la mesure de toutes les pointes de courant qu'il a à subir. Rares sont ensuite les détaillants qui disposent d'une panoplie de fusibles complète. Tous offrent le

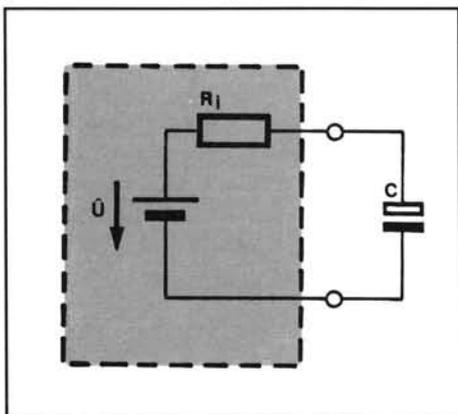


Figure 2 - On évalue au pire l'amplitude de l'impulsion de courant que subit le pont redresseur et sa durée lors de la charge du condensateur de lissage, en remplaçant l'ensemble transformateur-pont redresseur par un circuit constitué d'une source de tension continue dont la force électro-motrice est égale à la tension crête (\hat{U}) du secondaire et la résistance intérieure celle du transformateur.

choix entre fusibles retardés et rapides, peu stockent des fusibles normaux (M), très lents (TT) ou très rapides (FF). Il faudra faire avec, à l'aide de quelques règles empiriques adaptées à la solution des problèmes les plus courants. Passons-les en revue.

protection au primaire

Lorsque le transformateur qui alimente un dispositif n'est pas protégé en court-circuit, son primaire doit comporter un fusible temporisé. La norme lui impose une intensité nominale qui ne doit pas être supérieure à 1,25 fois celle du primaire. Pour un transformateur de 220 VA, alimenté au primaire sous 220 V, le courant nominal est de 1 A efficace. Celui du fusible ne sera pas supérieur à 1,25 A. Une telle valeur est parfois trop petite et il arrive qu'il saute avec régularité. Elle est pourtant obligatoire et il est tout à fait déconseillé de l'augmenter.

protection au secondaire

La protection au secondaire est particulièrement recommandée lorsqu'il y a plus d'un enroulement qui ne délivrent pas la même puissance. Supposons qu'un seul soit en surcharge, la coupure ne s'effectuera au primaire que longtemps après que l'intensité au secondaire aura dépassé une valeur dangereuse, trop tard le plus souvent pour éviter les dégâts.

On commence par choisir un fusible rapide d'intensité nominale égale à celle du secondaire. S'il saute à la première mise sous tension, en l'absence de défaut, on le remplace par un fusible temporisé. On choisira évidemment le fusible temporisé d'emblée si le secondaire du transformateur alimente un pont redresseur suivi par une batterie de condensateurs, comme nous l'avons vu plus haut. Il est possible d'évaluer, au pire, l'intensité et la durée de l'impulsion de courant due à la charge des condensateurs de lissage à la mise sous tension. On remplace, comme sur la figure 2 le secondaire du transformateur et le redresseur par un circuit constitué d'une source de tension conti-

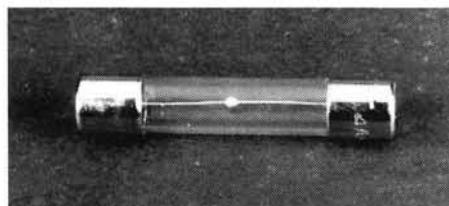


Figure 3 - Vu leur prix, ces petits tubes de verres sont sans doute les plus utilisés des fusibles.

nue de force électro-motrice égale à la tension crête \hat{U} ($U \cdot \sqrt{2}$) et de résistance intérieure celle du transformateur (on néglige les diodes). L'amplitude de l'impulsion, très surévaluée, est alors de \hat{U}/R_i et sa durée inférieure à cinq fois la constante de temps $R_i \times C$.

en continu

Qu'ils soient au primaire ou, éventuellement, au secondaire, les fusibles sauvent les meubles dans les situations dangereuses, puisqu'ils sont en principe suffisants pour éviter les incendies. Il se peut qu'en plus ils assurent une protection efficace de l'appareil sur lequel ils sont installés, mais ce n'est pas leur rôle premier. Pour plus de sécurité, il arrive que l'on en rajoute, comme dans l'alimentation dont il était question en début d'article, en aval donc du redresseur ou de la régulation. Dans ces cas-là, lorsque la tension continue est tout ce qu'il y a de plus stable, on utilise des fusibles rapides dont l'intensité nominale est identique à celle du circuit dans lequel ils sont placés. S'ils sont suivis de condensateurs de forte valeur, ou si le circuit contient des bobines, selfs de choc ou relais, on peut supposer qu'ils réagiront trop rapidement et des fusibles temporisés sont alors préférables.

présentation

Les fusibles tubulaires sous verre sont les plus courants. Qu'ils soient rapides ou retardés, ils existent en suffisamment de calibres pour satisfaire à la plupart des utilisations. Ils sont en outre relativement bon marché et ne devraient jamais manquer dans une boîte à outils, au moins dans les calibres utilisés par les appareils que l'on a sous la main. Celui de la figure 3 est un fusible retardé. On le reconnaît à la petite boule d'étain de son filament qui, à la manière d'un radia-

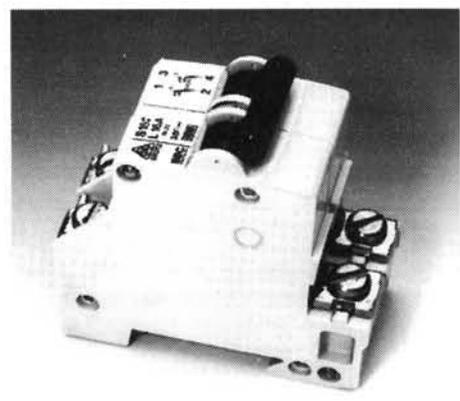


Figure 3 - Un disjoncteur a assurément bien des avantages sur un fusible. Cependant, même si ses dimensions sont réduites, il reste d'un prix élevé.

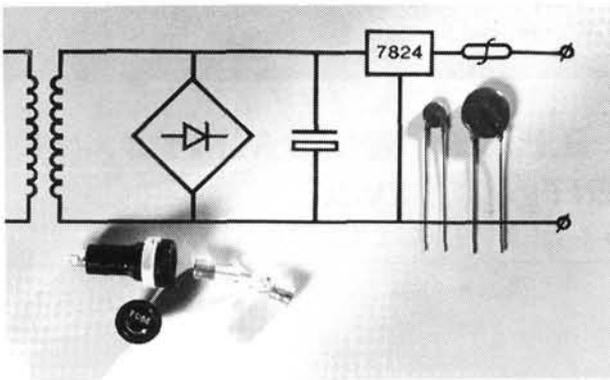


Figure 4 - Dans de nombreux cas, une résistance à coefficient de température positif (CTP) ou un MultiFuse™, qui n'aurait pas les mêmes défauts (rapidité de réaction accrue, résistance de "disjonction" plus élevée et surtensions supportées), peut avantageusement remplacer un fusible.

du nouveau ?

teur, augmente la surface d'échange: il dissipe une plus grande puissance et le fil atteint ainsi plus lentement son point de fusion. On obtient un résultat semblable lorsque le filament est en hélice. Certains tubes sont remplis de sable qui agit comme extincteur et empêche ou réduit la formation d'un arc électrique entre les deux tronçons de fil restant après la coupure d'un courant important.

Le plus gros inconvénient des fusibles utilisés en électronique est qu'ils ne sautent qu'une fois. Si l'on en a pas de rechange, il est exclu qu'on les court-circuite à l'aide de papier d'aluminium ou de fil de cuivre, surtout si l'on ignore la raison pour laquelle ils ont coupé⁽⁵⁾. On peut envier les électriciens et leurs dispositifs réarmables, disjoncteurs thermiques ou électromagnétiques, disjoncteurs etc. (figure 4). Mais les intensités auxquelles ces dispositifs travaillent sont sans commune mesure avec les nôtres. Il existe cependant de petits appareils de coupure adaptés aux courants faibles. Ils ont l'inconvénient d'être considérablement plus chers: le fusible reste encore "la" solution de protection, à moins que...

Depuis quelques années, la maison Bourns fabrique un nouveau (?) composant qu'elle appelle MultiFuse™, « une protection réarmable contre les surintensités ». C'est une sorte de résistance à coefficient de température constamment positif. Ce qui veut dire que lorsque sa température augmente, sa résistance augmente. De moins d'un ohm à la température ambiante (20°C), elle atteint plusieurs kilohms si le courant qui la traverse est suffisant pour lui faire atteindre sa température de "disjonction" ou si elle est chauffée par une source extérieure. Puisque sa résistance augmente, elle limite le courant. Sa réaction serait, relativement à celle des résistances céramiques à coefficient de température positif (les CTP), beaucoup plus rapide et beaucoup plus importante (résistance plus élevée). On sait d'autre part qu'une CTP, en cas de surtension, est détruite et se comporte en court-circuit, défaut que n'aurait pas le composant de Bourns. C'est du moins ce qu'on lit au recto d'un prospectus. Au verso, où l'on trouve les spécifications, le fabricant indique une tension V_{max} « tension maxi que le MultiFuse peut supporter sans détérioration » qui semble contredire cette assertion.

Contrairement à celle du fusible, la résistance de disjonction du MultiFuse n'est pas infinie. Elle permet la circulation d'un cou-

rant, inoffensif, qui la maintient en équilibre au-dessus de sa température de disjonction. Si le courant est fortement réduit ou si l'alimentation est coupée, le composant retrouve sa température et sa résistance de repos. On dit qu'il est réarmé. Les CTP, déjà bien utilisées en téléphonie (protection des lignes, régulation du courant) et dans d'autres domaines où les limitations de courant sont nécessaires, semblent avoir trouvé là un perfectionnement qui leur manquait pour remplacer un jour ou l'autre les fusibles dans bon nombre de leurs utilisations.

quelques remarques pour terminer

Vous pouvez déduire de ce qui précède que, pour des appareils alimentés à partir du secteur, un coupe-circuit de protection est, dans de nombreux cas, inévitable si l'on veut respecter les normes de sécurité. Une certaine latitude est cependant laissée à son choix, voire à son remplacement (sauf indication contraire du fabricant qui peut avoir ses raisons), à condition de ne pas substituer à un fusible rapide un autre temporisé. Attention aussi à la tension d'utilisation: ne jamais mettre un fusible marqué "30 V" pour couper le secteur.

896070

(5) Comme le faisaient certains anciens pour détecter les pannes: ils court-circuitaient le fusible et attendaient que le composant responsable du malaise se mette à fumer!

