

électronique

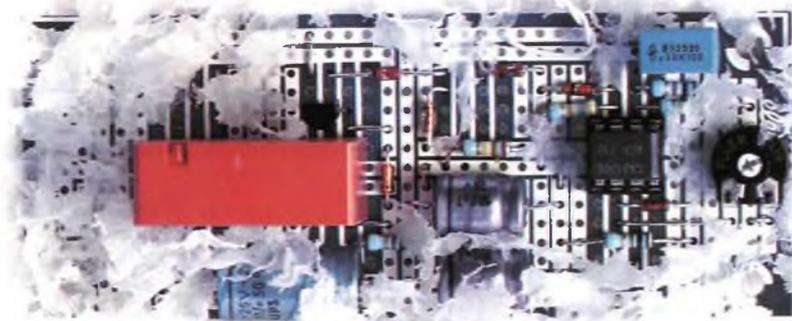
n°50

décembre 1992  
23 F/168 FB/7,80 FS  
mensuel

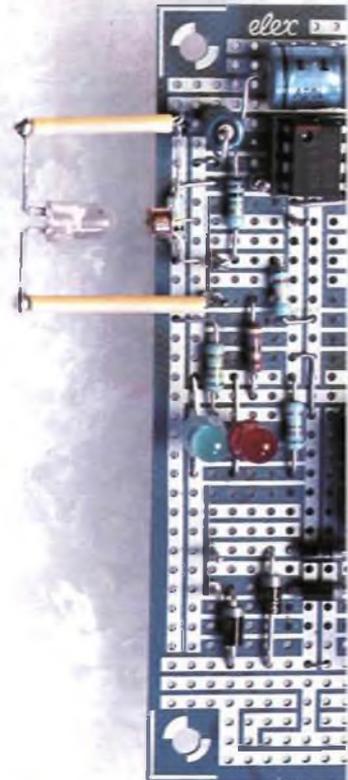


**fondu-enchaîné**  
avec circuit imprimé

**éclairage de secours**  
**thermostat mini-maxi**  
**détecteur de courrier**

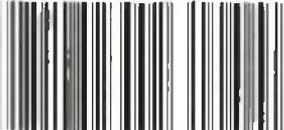


**brouillage et parasites en HF**  
**l'isolation des transistors**  
**les circuits résonants**



explorez l'électronique

M2510 - 50 - 23,00 F



## SOMMAIRE ELEX N°50

- 27 ♦ petites annonces gratuites
- 32 ♦ table des matières 1992

## I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

- 4 ♦ Rési & Transi : bande dessinée
- 36 ♦ brouillage et pollution électro-magnétique
- 41 ♦ isoler les transistors
- 44 ♦ les circuits résonants
- 49 ♦ les enregistreurs de vol

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

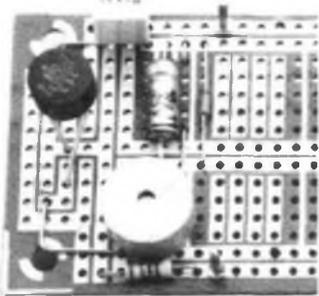
- 8 ♦ une sonnette futée (dite cloche intelligente) avec dessin de circuit imprimé
- 12 ♦ un thermostat à minima et maxima avec dessin de circuit imprimé
- 16 ♦ une sonnerie téléphonique
- 18 ♦ un fondu enchaîné pour diapositives avec dessin de circuit imprimé
- 24 ♦ un éclairage de secours
- 28 ♦ une mini-alarme
- 34 ♦ une carte de vœux électronique
- 51 ♦ un feu bicolore pour boîte à lettres
- 54 ♦ un central téléphonique domestique
- 58 ♦ un élévateur de tension



Il est nécessaire avant de commencer de dire quelques mots sur les signaux téléphoniques que nous allons utiliser. Lorsque le combiné est raccroché, on mesure à ses bornes une tension continue de 50 V. Lorsqu'il est décroché, cette tension passe à 10 V et un signal alternatif de 440 Hz dont l'amplitude est de quelques dixièmes de volts lui est superposé : la tonalité. Raccrochons dans l'attente d'un appel. Lorsque quelqu'un sonnera, à la tension continue de 50 V se superposera une autre tension, alternative cette fois, de 100 V crête à crête et de fréquence 25 Hz.

Comme la sonnerie se fait attendre, nous pouvons nous distraire par quelques calculs simples. Un calcul rapide donne une tension de

$50+100 = 150$  V au moment d'un appel. C'est en effet un calcul rapide mais faux. La tension culmine à 100 V puisqu'une tension alternative de 100 V crête à crête varie entre  $\pm 50$  V. Si nous la superposons à une tension continue de 50 V le résultat variera entre  $(50-50)$  V et  $(50+50)$  V. Qu'en est-il de la tension efficace ? Ce n'est pas la somme des deux tensions efficaces, 50 V pour la composante continue et  $(50\sqrt{2})/2$  pour la composante alternative, c'est la racine carrée de la somme des carrés de ces deux valeurs, soit 61 V. La sonnerie se répète toutes les 5 s, sa durée est de 1,7 s et sa fréquence de 25 Hz. Tout est dit sur ce qui doit apparaître entre les points A et B de la figure 1. Nous n'avons cependant besoin que du signal alternatif de 25 Hz. Si nous gardions la composante continue, notre sonnerie auxiliaire serait toujours commandée. Que faire pour l'éliminer ? Ouvrir le circuit au moyen d'un condensateur puisque la résistance de ce type de composant diminue quand la fréquence augmente ; et lorsque la fréquence est nulle, le condensateur ne laisse rien passer : sa résistance est infinie. Le signal alternatif, au contraire, est transmis, même si C1 en limite l'intensité, puisqu'il est aussi là pour ça comme nous le verrons plus loin.



## sonnerie de téléphone

Ne toucher au téléphone que comme un vulgaire abonné est peut-être au-dessus de vos forces. C'est pourtant à quoi vous devrez vous résoudre, à moins de disposer d'un réseau intérieur, si vous respectez les termes du contrat que vous avez conclu avec les TELECOM. Le présent article n'a d'autre but que de décrire une sonnette, qui pourrait éventuellement personnaliser votre récepteur, si vous

obtenez tous les agréments nécessaires pour la raccorder au réseau. Considérez donc ceci comme une fiction et, si par malheur la fantaisie vous prenait de passer aux applications, tenez compte des informations que nous donnons pour votre sécurité, celle des lignes et éventuellement, celle de votre compte bancaire.

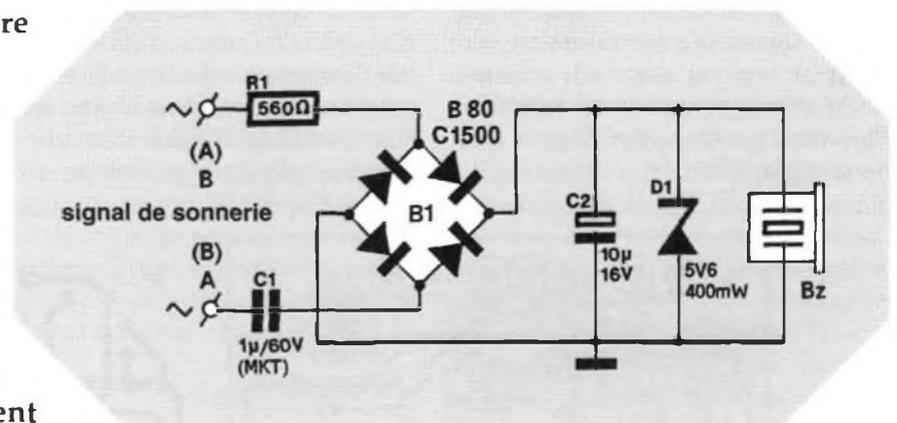


Figure 1 - Un condensateur pour limiter le courant et supprimer la composante continue du signal, un pont redresseur, un condensateur de lissage, une zener pour stabiliser la tension aux bornes d'un résonateur piézoélectrique à oscillateur intégré : il n'en faut pas plus pour exploiter le signal de sonnerie du téléphone.

Poursuivons sur la figure 1. Le signal alternatif de sonnerie arrive donc sans trop d'encombre au pont redresseur B1 (la résistance R1 est une résistance de protection), il est ensuite lissé par le condensateur C2 et sa tension est stabilisée par la diode zener D1 à 5,6 V pour la simple raison que nous avons choisi un résonateur piézoélectrique à oscillateur intégré dont la tension de service, continue, est de 5 V.

Revenons à C1. Si ce composant oppose au passage d'un courant continu une résistance infinie, il se comporte en court-circuit pour un courant alternatif dont la fréquence est très très grande. Ce n'est pas le cas d'un signal de 25 Hz comme celui de la sonnerie et la résistance du condensateur à son passage (son impédance) est de quelques 6 kΩ. Si vous en doutez, faites le calcul : l'impédance Z (résistance en alternatif) d'un condensateur de capacité C, pour un signal de fréquence f, est, en ohms, égale à  $1/(2\pi fC)$ . Cette impédance a aussi son utilité puisqu'en son absence, le courant de régulation de la zener pourrait dépasser sa valeur limite maximale et celle-ci bien sûr rendre l'âme.

### câblage et mise en place

Nous vous proposons ci-contre un plan d'implantation sur une platine d'expérimentation, non sans vous mettre en garde contre les risques d'incompatibilité entre redresseurs de même type mais différents quant au brochage. Utilisez le pont redresseur que vous avez sous la main mais vérifiez que son brochage correspond à celui du plan d'implantation de la figure 2. Si ce n'est pas le cas,



procédez aux modifications qui s'imposent. Vous n'êtes naturellement pas obligé de prendre une platine d'expérimentation (il ne manquerait plus que ça) surtout si vous désirez réduire au maximum le volume de l'ensemble pour le caser par exemple dans une prise de téléphone. Un petit morceau de plaque pastillée fera tout aussi bien. Le plus difficile dans toute cette affaire est de raccorder le montage à la prise du téléphone ou au combiné lui-même. C'est difficile parce qu'il n'y a pas deux mais au moins trois fils, donc trois possibilités de branchement. Trois seulement parce que le montage n'est pas polarisé. Deux permettent de faire fonctionner la sonnerie auxiliaire. Si vous avez l'audace de tirer deux fils depuis la prise, tirez-les depuis les deux bornes supérieures du côté gauche. 87696

**liste des composants**

R1 = 560 Ω

C1 = 1 μF/60 V

C2 = 10 μF/16 V

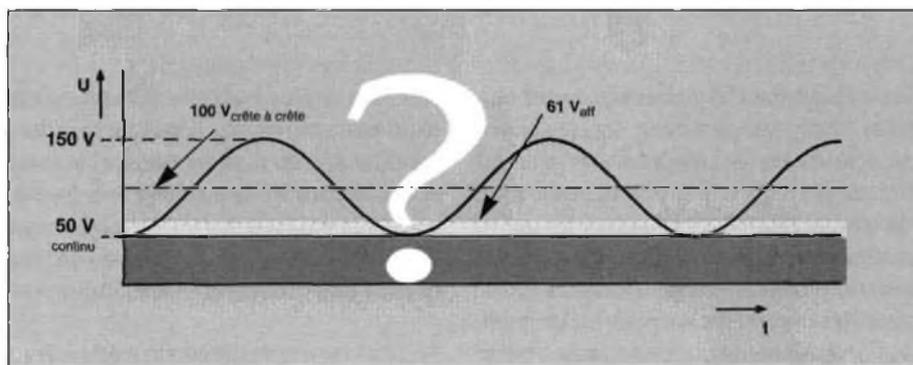
D1 = zener 5,6 V/400 mW

B1 = pont moulé B80C1500

Bz1 = ronfleur piézoélectrique (à oscillateur intégré) alimenté sous 5 V

platine d'expérimentation de format 1

Figure 2 – Il est possible, suivant le pont moulé de redressement dont vous disposerez, que l'implantation ci-dessous ne convienne pas. Elle pourra vous servir de modèle.



## JACKSON DIFFUSION ELECTRONIQUE

F 74140 EXCENEVEX - Tél. : 50 72 86 58

1N4148 les 20 = 3,00  
 1N4007 les 10 = 3,50  
 BC546B les 20 = 9,00  
 BC547B les 20 = 9,00  
 BC547C les 20 = 9,00  
 BC549C les 20 = 9,00  
 BC550C les 20 = 9,00

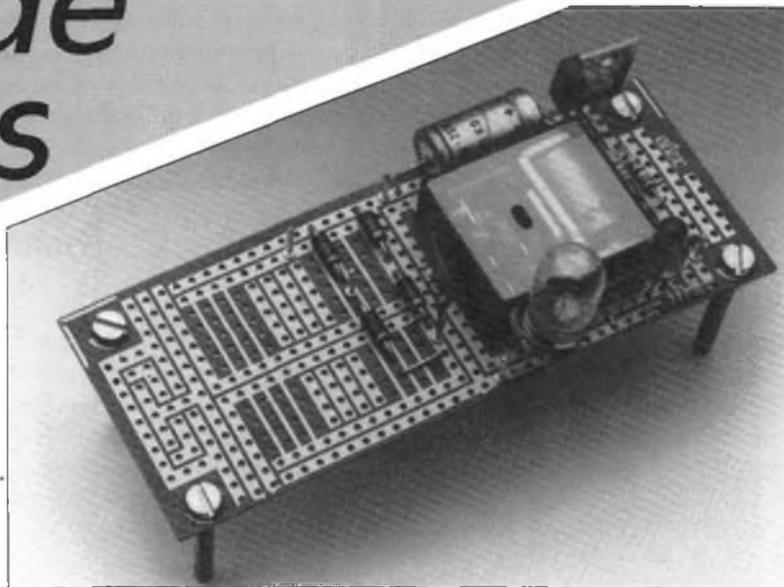
2N2222 plast = 1,20  
 2N1711 = 1,80  
 NE555 = 1,40  
 LM311 = 2,40  
 LM324 = 1,60  
 UA741 = 1,70  
 OPTO 4N35 = 2,50

CMOS4001 = 1,20  
 CMOS4011 = 1,60  
 CMOS4030 = 1,90  
 TDA2002 = 7,20  
 TDA2003 = 7,20  
 TDA2005 = 15,50  
 TDA2030 = 7,50

SONDE LOGIQUE affichage sonore et lumineux de niveau logique de circuits TTL, CMOS, etc... YL32 = 146,40 F  
 MULTIMETRE ANALOGIQUE 20 K /V, 19 pages, ACV : 0 à 1000V,  
 DCV : 0 à 1000 V, DCA 0 à 10 A, OHM 0 à 10 M Y105 = 220,00 F

Paiement à la commande par chèque, mandat ou CCP + 28,00 F de participation aux frais de port et d'emballage.

# Éclairage de secours



*Si le général saute, les particuliers sont perdus. Un malheureux fusible suffisait déjà autrefois pour déclencher la panique. Aujourd'hui, plus de semblables accidents : depuis la disparition de Jean Lumière, les pannes de courant ne sont plus ce qu'elles étaient. Tous les bâtiments publics, même ceux qui sont privés, sont équipés de blocs de secours, qui trouvent l'obscurité d'une maigre clarté lorsqu'elle naît, accidentellement ou volontairement. Comment ces dispositifs fonctionnent, nous l'ignorons. De notre ignorance naît la lumière puisqu'elle nous conduit à vous en proposer une mouture de notre crû.*

Était-ce bien nécessaire ? En cas de panne, les bougies et les allumettes sont prévues ; une lampe de poche accrochée quelque part... Oui, mais où ? La dernière fois, elle était à côté du compteur. Si vous arrivez à mettre la main dessus, preuve qu'un éventuel emprunteur l'aura exceptionnellement rangée à sa place, encore faut-il que ses piles soient bonnes. Or il y a si longtemps qu'aucune panne ne s'était produite, qu'elles risquent d'être mortes d'ennui. Pour plus de sécurité, c'est d'une lampe de poche "rechargeable" que vous faites usage. Vous croyez peut-être qu'un outil aussi intéressant reste en place bien longtemps ? Et si personne ne s'en est emparé, êtes-vous sûr de le retrouver dans l'obscurité ? Toutes ces solutions manquent d'efficacité, puisqu'elles nous laissent dans l'ombre tant que nous n'avons pas découvert l'éclairage de secours. Si, par contre, la panne de secteur elle-même provoquait l'allumage d'une lampe... C'est ce que nous allons voir.

## relais assuré par relais

En fait nous avons exploité et amélioré l'idée de la lampe de poche rechargeable. À la base de cet éclairage de secours nous avons une ampoule, alimentée en très basse tension (12 V) par une batterie au plomb ou au cadmium-nickel. Le dispositif contient en outre un chargeur adapté en principe aux types d'accumulateurs les plus courants. Ce n'est évidemment

pas tout, puisqu'il faut prévoir une mise sous tension automatique, nous nous servons tout simplement d'un relais. Voyons sur la **figure 1** les autres composants du système.

Sur la droite, on reconnaît l'alimentation. Elle ne brille pas par son originalité, puisqu'elle comprend un transformateur, un pont de diodes (D1 à D4) et un condensateur de lissage, C1. À la place du transformateur, rien n'empêche de mettre un bloc secteur, la sécurité électrique de l'ensemble en sort renforcée. La présence d'un bouton poussoir entre le transformateur et le pont de diodes peut surprendre. Sa fonction est cependant importante, puisqu'il permet de simuler la panne de courant et donc de tester la bonne marche du bloc : à quoi sert en effet de disposer d'une roue de secours si elle n'est pas gonflée lorsqu'on en a besoin ? – Une vérification s'impose. Continuons, en laissant de côté R1, D5 et Re1 pour nous intéresser à IC1. Ce circuit intégré est un régulateur de tension de type LM317 dont le rôle est justement de gonfler les batteries. Il peut travailler, suivant le type d'accumulateurs qu'il a à charger, soit en régulateur de tension, soit en source de courant constant. Le choix des résistances R2, R3 et R4, ainsi que la position du pont de câblage mobile en d/e ou c/e permettent de l'adapter. Nous y reviendrons.

Plus loin sur la gauche, se tient le circuit de secours à proprement parler. Il comprend la lampe La1, son alimentation et

l'inverseur formé par les contacts du relais. En temps normal, la lampe est hors circuit, puisque le pôle plus de la batterie est relié par l'intermédiaire de Re1 au chargeur (point e). Vous en savez vraisemblablement assez pour deviner maintenant le fonctionnement du circuit. Lorsque le secteur est en forme, le relais est alimenté par l'intermédiaire de R1 et D5. Il maintient alors le contact entre Re1 et e, de sorte que la batterie se charge en continu. Dès que la tension du secteur disparaît, Re1 est rappelé et ferme la portion du circuit contenant la lampe, qui s'allume. Comme nous l'avons dit plus haut, le bouton poussoir S1 permet de vérifier, ce qu'il est bon de faire de temps en temps, que le dispositif de secours réagit comme prévu à une coupure. La LED D5, accompagnée de sa résistance de limitation de courant, témoigne en outre du fonctionnement du secteur, tout en indiquant que le relais est en position "charge".

### toutes sortes d'accumulateurs

Nous avons à dessein prévu le montage pour qu'il fonctionne avec tous les types d'accumulateurs, donc éventuellement avec une batterie de cyclomoteur. Nous recommandons cependant les "piles" rechargeables au cadmium-nickel, puisqu'elles ne nécessitent aucun entretien. Le chargeur peut faire face aux deux cas, moyennant quelques petites modifications. - Pourquoi tant

d'histoires, une batterie est une batterie et... Qu'ils soient au plomb ou au cadmium-nickel, les accumulateurs ne sont pas chargés de la même façon. S'ils sont au plomb, ils se chargent à tension constante, alors qu'au cadmium-nickel, ils nécessitent un courant constant dont l'intensité dépend de leur capacité.

Si vous disposez donc d'une batterie de 12 V au plomb, le LM317 sera câblé en stabilisateur de tension. Ceci est réalisé par le pont de câblage d-e et les résistances R2 et R3 telles que nous les donnons sur le schéma (respectivement, 1,2 kΩ et 120 Ω). Pour approcher autant que possible de la tension de 13,5 V, il sera peut-être nécessaire de modifier la valeur de R3 par le câblage de R4 en parallèle. Le choix de R4 est expérimental, c'est-à-dire que vous adapterez cette résistance en fonction des indications fournies par un multimètre branché entre d et b.

Pour transformer le LM317 en source de courant constant, on supprime simplement R2 et R4 tout en reliant e à c (au lieu

de d précédemment). Le choix de R3 permet d'adapter l'intensité du courant de charge au modèle de pile cadmium-nickel dont on dispose.

- Comment calculer R3 ?

- On prend comme point de départ un courant dont l'intensité est de 1/50 de la capacité nominale de l'accumulateur, exprimée en A/h. Le régulateur maintenant (par construction) aux bornes de la résistance une tension de 1,25 V, nous avons :

$$R3 = 1,25 / (1/50 \text{ de la capacité de l'accumulateur})$$

Une pile bâton Ni-Cd, par exemple, a une capacité de 0,5 A/h (il en faut 9 ou 10 en série pour 12 V), la résistance sera donc de :

$$1,25 / 0,01 = 125 \Omega$$

soit 120 Ω, valeur normalisée la plus proche qui correspond, par hasard, à celle choisie pour une charge à tension constante.

### construction

Nous avons câblé ce bloc de secours sur une platine d'expérimentation de format 1. Le transformateur n'en est pas seulement absent à cause de ses dimensions relativement grandes, mais surtout pour des raisons de sécurité. Si vous le montez dans le même coffret que la platine, prenez un modèle surmoulé, protégé en court-circuit (classe II), et câblez-le séparément sur une plaquette pastillée. Autour des broches d'arrivée du

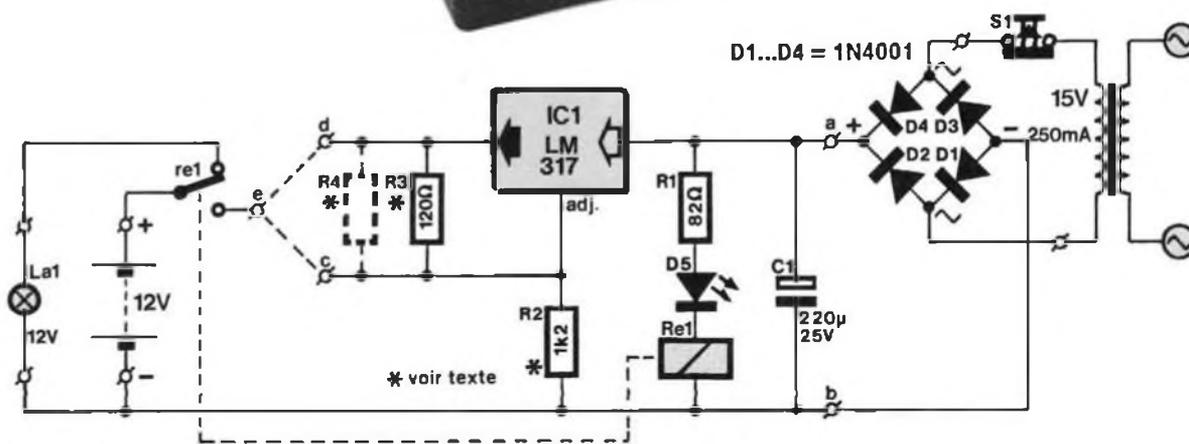


Figure 1 - Ce montage a deux fonctions, sélectionnées par le relais : charger une batterie d'accumulateurs, lorsque la tension du secteur lui parvient ; utiliser la batterie pour alimenter une lampe à incandescence, lorsque le secteur défaille.



**Hé oui !!!  
encore moins cher !!!  
MEMO FORMULAIRE**

En 8 chapitres, allant de la biologie à la vie pratique en passant, dans l'ordre alphabétique, par la chimie, l'électricité-électronique, les mathématiques, la physique, la technologie et les unités, cet ouvrage constitue une mine inépuisable de renseignements.

Bien que plus spécialement destiné aux élèves des lycées et aux étudiants, ce formulaire, d'une conception inédite et originale, intéressera cependant sans aucun doute de nombreux lecteurs d'Elex, auxquels il servira bien souvent de référence.

Vous êtes-vous jamais demandé quelle était bien... cette "maudite" formule de développement, l'aire d'un secteur sphérique, la signification des différents facteurs d'une transformée de

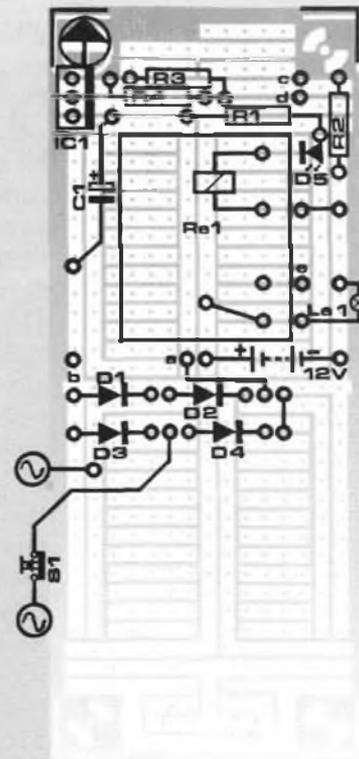
Laplace et bien d'autres choses tout aussi intrigantes... ? Si la réponse à cette question est affirmative, voici le livre qu'il vous faut.

Il regroupe pas moins de 2 000 formules, 400 figures et schémas, 100 tableaux dont 14 inédits de l'auteur, donne toutes les unités de mesure et comporte un index de 1 200 entrées.

En résumé, une véritable banque de données organisées par discipline et classées par ordre de difficulté croissante, un ouvrage indispensable pendant tout le cycle d'études... et bien après. Une référence solide...

**Et tout cela pour 62 FF seulement!!!**

**Diffusé par PUBLITRONIC**



**liste des composants**

- R1 = 82 Ω
- R2 = 1,2 kΩ  
(n'existe que pour une batterie au plomb)
- R3 = 120 Ω pour une batterie au plomb  
pour batterie Cd-Ni, voir le texte
- R4 = voir le texte

C1 = 220 μ F/25 V

- D1 à D4 = 1N4001
- D5 = LED rouge
- IC1 = régulateur de tension à 3 broches  
et à tension de sortie ajustable

- Re1 = relais 12 V (V23127-A002-A101 par exemple)
- La1 = lampe à incandescence, 12 V
- S1 = bouton poussoir fermé au repos

**Transformateur 15 V/250 mA, surmoulé et protégé en court-circuit**

**Platine d'expérimentation de format 1**

secteur, éliminez le cuivre dans un rayon de 6 mm. Utilisez un bon cordon et fixez-le de façon qu'il résiste à la traction. Un adaptateur secteur peut évidemment fournir les 15 V désirés, mais comme il est déjà équipé d'un redresseur, il se branche entre les points a (+) et b (-) de la platine. Le bouton de test S1 est bien sûr déplacé en conséquence.

Le câblage de la platine elle-même ne présente pas de difficultés. Nous avons dit ce qu'il fallait au sujet de R2, R3, R4 et des ponts de câblage. Il n'y a pas grand-chose à y ajouter sinon que pratiquement tous les modèles de relais 12 V, pour montage à plat sur circuit imprimé, conviennent si leur brochage est universel.

- La lampe ?

- Celle d'une voiture se prête tout à fait à ce genre d'application. Il va cependant de soi que sa puissance sera fonction de la capacité de la batterie et de la durée de fonctionnement souhaitée. Une lampe de 21 voire de 45 W conviendra à une grosse batterie au plomb ; il faudra vraisemblablement se limiter à 5 ou 10 W si l'on ne dispose que d'accumulateurs Cd-Ni. Dans ce dernier cas, un bon réflecteur transformera la lampe en un projecteur

des plus corrects.

Il est difficile de vous conseiller pour le coffret. Chacun a certainement sa petite idée dans ce domaine et il ne nous est pas possible d'envisager toutes les solutions. Un coffret en plastique contenant juste la platine et les (petits) accumulateurs, pourvu d'une prise pour l'adaptateur secteur, d'un trou pour le poussoir de test, d'un autre pour la LED, et

ce sera presque terminé. Il reste ensuite à monter une douille et un réflecteur, improvisé ou non, pour la lampe. Les bricoleurs que les travaux mécaniques ne rebutent pas, pourront certainement donner à l'ensemble l'allure d'une veilleuse "esthétique et fonctionnelle" (comme on dit dans les catalogues). Il est nécessaire, cela va sans dire, de trouver au bloc de secours une place qui permette de tirer le plus grand profit de sa source lumineuse, en cas de panne.

Un dernier conseil technique pour conclure : quelques LM317 ont une fâcheuse tendance à se mettre à conduire à l'envers. La conséquence en est qu'à la coupure du secteur, la batterie maintient le relais collé, si bien que la lampe n'est jamais alimentée. Si le modèle que vous utilisez présente ce défaut, remplacez le pont de câblage d-e ou c-e par une diode de type 1N4001 (cathode tournée vers e). L'incident ne se reproduira pas.

# isoler les transistors

**montage sans problème**

*Pourquoi de nombreux amateurs ont-ils des sueurs froides dès qu'ils lisent dans la description d'un montage que les transistors doivent être montés isolés sur le radiateur ?*

Si vous souhaitez, comme c'est la saison, une vie longue et prospère à vos *chers* semi-conducteurs, il est important de leur assurer un refroidissement convenable. C'est vrai pour les transistors de sortie de votre amplificateur, mais aussi pour ceux de votre alimentation régulée, pour les thyristors de puissance, les triacs, etc. Le refroidissement est assuré par le montage des transistors sur un dissipateur de dimensions suffisantes pour évacuer dans l'air ambiant l'énergie dissipée en chaleur.

## *pourquoi isoler ?*

Les boîtiers les plus courants pour les transistors de moyenne et forte puissances sont : le TO-126 (par exemple pour les BD139 et BD140 que nous utilisons souvent) ; le TO-220 (comme pour les BD243 et BD244 de l'étage de sortie de notre ampli *mi-fi* de septembre 91, ELEX n°36) ; enfin le TO-3 (qui abrite entre autres le brave 2N3055). Le point commun à tous ces boîtiers est que le collecteur est relié à la partie métallique, qu'il s'agisse du corps du boîtier ou d'une simple languette. Si nous jetons un coup d'œil au schéma d'un amplificateur de puissance (pourquoi pas l'ampli *mi-fi* cité plus haut ?), nous constatons qu'il comporte des transistors complémentaires. Le collecteur de T6 est relié

directement à la tension d'alimentation positive, celui de T7 à la masse. Si nous montons ces deux transistors directement sur le même radiateur, ce qui est la solution la moins onéreuse\*, nous obtenons un magnifique court-circuit.

## *préparation*

Avant de pouvoir monter les transistors, il faut vous procurer le matériel nécessaire, si vous ne l'avez pas déjà : le radiateur (nous reviendrons sur le calcul) ; un petit stock de plaquettes de mica adaptées au type de transistor à monter ; des canons isolants (pour vis M3) ; des rondelles-freins (éventail ou *grover* et des rondelles plates ; de la graisse conductrice de la chaleur et pour finir (si vous montez des TO-3) des cosses à souder.

Certains radiateurs sont pré-perçés pour les boîtiers les plus courants ; si ce n'est pas le cas des vôtres, il faudra empoigner la perceuse. Un support de perçage ou une perceuse à colonne est indispensable si vous voulez obtenir un perçage d'équerre. Vous pouvez utiliser la plaquette de mica comme gabarit pour pointer vos trous. N'oubliez pas, si le radiateur est fixé au dos d'un coffret, de percer aussi la paroi !

Les boîtiers TO-3 sont montés à l'extérieur ; les connexions de base et d'émetteur traversent le radiateur et la paroi du coffret. Les boîtiers TO-126 et TO-220 se montent à l'intérieur. Il faut donc découper dans la paroi arrière une ouverture suffisamment grande pour que le boîtier vienne se loger à plat contre le radiateur.

## *montage*

La figure 1 montre le montage d'un TO-3. Elle appelle peu de commentaires. Les canons isolants évitent le contact électrique entre la vis et le radiateur, car la vis est en contact avec le collecteur du transistor. C'est par la cosse à souder et par l'intermédiaire de la vis que le collecteur est raccordé au reste du montage. L'utilisation de graisse conductrice de la chaleur est fortement recommandée sur les surfaces de contact entre la plaquette de mica et les pièces métalliques. Son rôle est de combler les irrégularités des surfaces métalliques et d'éviter la présence d'air entre elles ; l'air est en effet un mauvais conducteur de la chaleur. Essayez de ne pas maculer vos vêtements, cette graisse aux silicones est pratiquement impossible à enlever.

\*Le *poils* étant pris ici, plaisamment, au double sens étymologique de la physique et de la phynance.

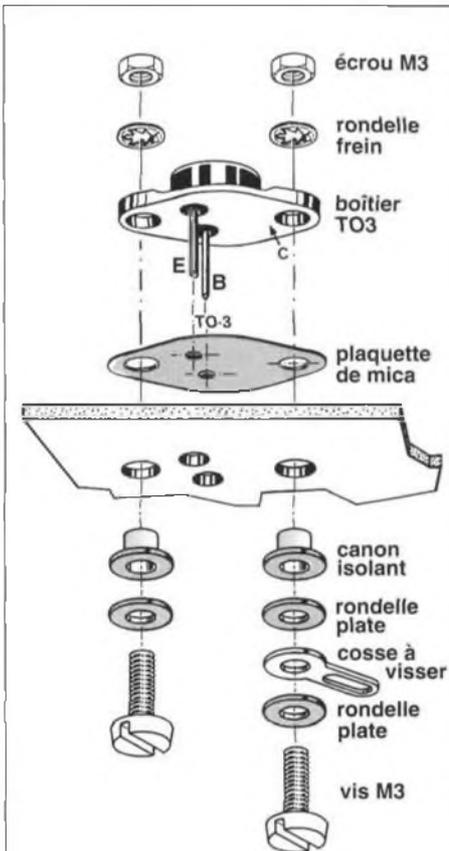


Figure 1 - Le principe du montage isolant d'un transistor TO-3.

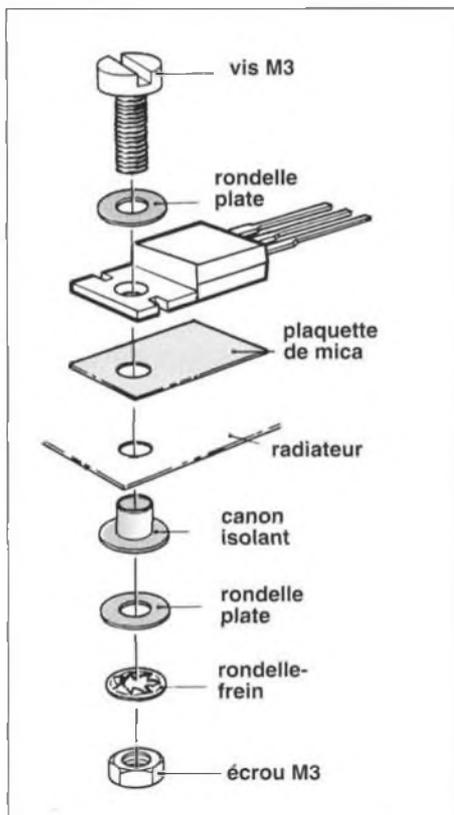


Figure 2 - Les boîtiers plats TO-126 et TO-220 sont plus simples à monter, parce qu'un seul trou suffit. La vis est portée au potentiel du collecteur; vous pouvez l'éviter en montant le canon isolant de l'autre côté.

Une fois tous les transistors montés, vérifiez à l'ohmmètre l'absence de contact entre eux et le radiateur. Vous pouvez maintenant souder les fils et les raccorder au circuit imprimé. La gaine thermo-rétractile contribue, en plus de l'isolement, à améliorer la tenue mécanique des fils. Terminé.

Le montage des transistors en boîtier TO-220 est encore plus simple. Vous n'avez pour cela qu'un seul trou à percer, voyez la figure 2. La seule remarque à faire est que la vis de fixation est toujours au potentiel du collecteur. Cela peut être indésirable quelquefois; dans ce cas, vous placerez le canon isolant de l'autre côté par le trou du transistor, la vis sera complètement isolée. Contrairement au TO-220, le boîtier TO-126 a un corps isolant sur lequel est rapportée une languette métallique. Vous pouvez donc monter le TO-126 sans canon isolant.

### F-pack

De nombreux semi-conducteurs de puissance sont maintenant livrés en boîtier dit F-pack. Cette exécution particulière (repérée par la lettre F après la désignation du type) est complètement isolée, autrement dit vous pouvez oublier tout ce qui concerne les canons isolants et les plaquettes de mica. Elle est cependant réservée aux usages professionnels et rien ne laisse présager que ces boîtiers (SOT-186 et SOT-199) seront disponibles pour l'amateur dans un avenir proche. Gardez le contact, nous vous tiendrons au courant.

### le calcul des radiateurs

Le calcul de la dissipation et de l'évacuation de la chaleur dans les semi-conducteurs fait appel à la notion de résistance thermique, exprimé en °C/W ou en K/W (degrés Celsius ou kelvin par watt).

Le tableau 1 donne deux valeurs de résistance thermique pour chaque type de boîtier. La première,  $R_{th\ j-a}$ , correspond à la résistance thermique entre le cristal de silicium (la jonction) et l'air ambiant; c'est cette valeur qui doit être prise en compte si le semi-conducteur est utilisé sans radiateur.

La deuxième valeur,  $R_{th\ j-mb}$ , correspond à la résistance thermique entre la jonction et le radiateur (*mounting base*). C'est cette

valeur que nous prenons en compte pour le montage sur un radiateur. Voyons d'abord si un radiateur est absolument nécessaire. Calculons la température du semi-conducteur  $T_j$  quand il dissipe le maximum de puissance :

$$T_{j-a} = P \cdot R_{th\ j-a}$$

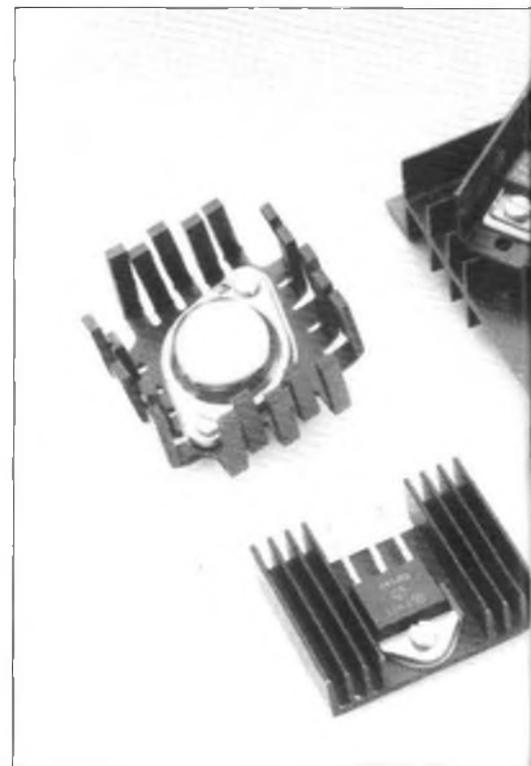
P représente la puissance dissipée par le semi-conducteur, la résistance thermique est celle de la première colonne du tableau 1. Attention :  $T_{j-a}$  est la différence de température entre la jonction et l'air ambiant; il faut donc ajouter la température ambiante (25°C) à la valeur calculée.

$$T_j = T_a$$

Exemple : un transistor en boîtier TO-39 dissipe 1 watt. Le calcul donne, avec les valeurs du tableau,  $T_{j-a} = 200^\circ\text{C}$  et  $T_j = 225^\circ\text{C}$ . Comme la température d'un semi-conducteur au silicium ne doit absolument pas dépasser 200°C (et devrait même rester nettement inférieure à ce maximum), le refroidissement est nécessaire. La même puissance dans un boîtier TO-3 ne porterait la température qu'à 65°C, ce qui est acceptable.

### montage en série

Le chemin suivi par la chaleur peut être comparé à un circuit électrique qui comporterait les différentes résistances thermiques montées en série. C'est ce que représente la figure 3 dans le cas où un radiateur est nécessaire. Il faut remarquer que le semi-conducteur est conçu comme une source de courant thermique.



Nous relevons la valeur de  $R_{th\ j-mb}$  dans le tableau 1. Le symbole  $R_{th\ mb-h}$  représente la résistance thermique entre le boîtier et le radiateur (*heatsink*). Elle dépend de la façon dont le transistor est monté, isolé ou non, avec ou sans graisse conductrice de la chaleur. Le tableau 2 donne les résistances thermiques  $R_{th\ mb-h}$  boîtier-radiateur pour un transistor TO-3. Elles sont utilisables aussi, à peu de chose près, pour d'autres types de boîtiers.

Le montage en série de la **figure 3** répond à l'équation suivante :

$$T_{jmax} - T_a = P \cdot (R_{th\ j-mb} + R_{th\ mb-h} + R_{th\ h-a})$$

avec :

$T_{jmax}$  température maximale du semi-conducteur ; cette valeur figure dans les recueils de caractéristiques. Elle est le plus souvent de 175°C à 200°C ; pour respecter une certaine marge de sécurité, il vaut mieux adopter une valeur de 100 à 150°C.  $T_a$  est la température ambiante ; nous supposons qu'elle est de 25°C, mais dans un coffret fermé elle peut atteindre ou dépasser les 50°C.

$R_{th\ h-a}$  est la résistance thermique propre du radiateur ; elle est donnée (en °C/W ou K/W) par le fabricant.

C'est cette valeur que nous devons déterminer ; nous écrivons donc l'équation comme suit :

$$R_{th\ h-a} = T_{jmax} - T_a / P - R_{th\ j-mb} - R_{th\ mb-h}$$

Le remplacement des différents symboles par leur valeur donne la résistance thermique maximale du radiateur ; vous pouvez vous transporter chez votre revendeur et choisir un radiateur convenable.

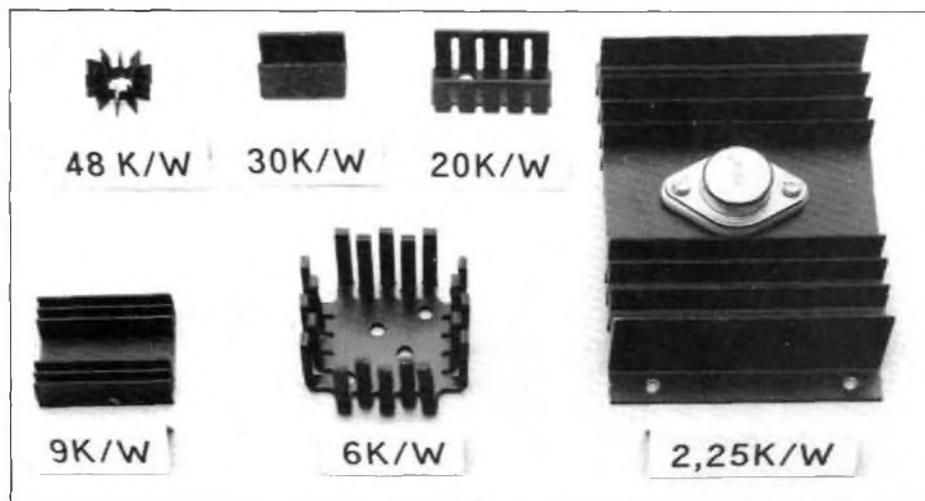
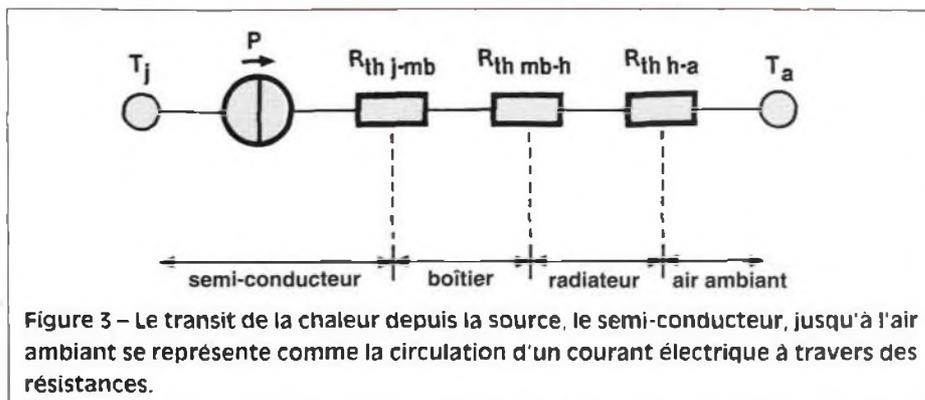


tableau 1

boîtier	$R_{th\ j-a}$ (°C/W)	$R_{th\ j-mb}$ (°C/W)
TO-18	500	200
TO-92	250	150
TO-39	200	12,5
TO-126	100	5
TO-220	70	2
TO-3	40	1,5

tableau 2

$R_{th\ j-mb}$ (°C/W)	non isolé	isolé
sans pâte	0,6	1,0 à 1,25
avec pâte	0,1	0,3 à 0,5

Exemple de calcul : vous devez dissiper 3 W dans un boîtier TO-220. Il faut absolument un radiateur. Nous lisons la résistance thermique entre la jonction et le radiateur sur le tableau 1 :

$R_{th\ j-mb} = 2^\circ\text{C/W}$  ; comme nous utilisons une plaquette de mica et de la graisse conductrice, la résistance thermique entre le boîtier et le radiateur (tableau 2)  $R_{th\ mb-h}$  est de  $0,3^\circ\text{C/W}$ . La puissance P est de 3 W et nous voulons limiter à 100°C la température de jonction pour une température ambiante de 25°C. Le calcul donne :

$$R_{th\ h-a} = (100 - 25) / 3 - 2 - 0,3 = 22,7^\circ\text{C/W}$$

Le radiateur devra avoir une résistance thermique égale ou inférieure à 22,7°C/W (K/W).

Un certain nombre de radiateurs courants sont représentés sur la **figure 4** avec leur résistance thermique caractéristique, de 48 K/W pour une petite étoile TO-3 à 2,25 K/W pour un TO-3.

886084

« L'œuf est à la poule comme les associations en parallèle ou en série de condensateurs et de bobines sont à la haute fréquence », nous dit un bon auteur, plus féru d'électronique que d'aviculture.

C'est vrai que de ces couples "capa-self", les récepteurs et les émetteurs radio ou télé en sont pleins, comme un poulailler de poules. Désirez vous savoir comment ils fonctionnent ?

# circuits résonnants

Les bobines et les condensateurs sont utilisés pour filtrer. Ce sont les composants par excellence pour la séparation des signaux de fréquences différentes. Étranges composants d'ailleurs, dont le comportement n'est pas du tout le même selon qu'ils sont alimentés en alternatif ou en continu. Ils opposent au passage du courant une résistance - on parle alors plus volontiers d'impédance - laquelle varie avec la fréquence. En continu, l'impédance d'un condensateur est infinie tandis que celle d'une bobine se réduit à la résistance du conducteur. Plus étrange encore est le résultat de leur association. Qu'un condensateur soit associé, en série ou en parallèle, à une bobine, et nous avons à faire, à certaines fréquences, à un phénomène bizarre : la résonance. Avant d'en arriver là, commençons par étudier les diviseurs de tension constitués de résistances, de bobines et de condensateurs.

## diviseurs de tension dépendants de la fréquence

Le plus simple des diviseurs de tension (figure 1) ne contient que deux résistances (pures). Il est facile, en appliquant la loi d'Ohm, de connaître le résultat de la division, sans avoir à tenir compte de la forme du signal d'entrée. Quelles que soient la tension et sa fréquence, le rapport entre l'amplitude de la tension de sortie et celle de la tension d'entrée ne change pas, comme l'indique la formule inscrite sur la figure. La réponse en fréquence du dispositif est toujours la

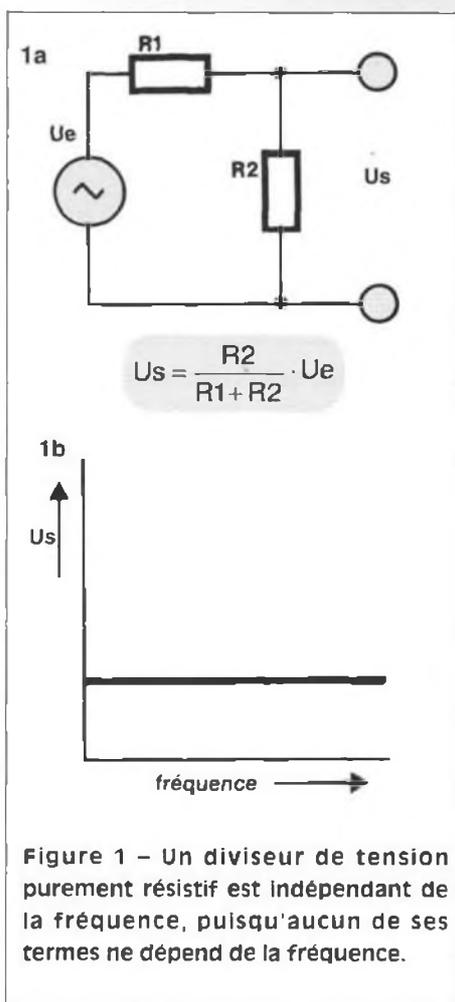


Figure 1 - Un diviseur de tension purement résistif est indépendant de la fréquence, puisqu'aucun de ses termes ne dépend de la fréquence.

même : l'atténuation de la tension de sortie ne subit aucune variation si la fréquence du signal d'entrée est modifiée. La courbe de réponse en fréquence est plate. Remplaçons maintenant  $R_2$  par un condensateur,  $C_1$  sur la figure 2. Si le signal d'entrée est continu (ce qu'il n'est ni à la mise sous tension ni à la coupure du courant), le condensateur ne se manifeste pas : le diviseur de tension divise par 1, la résistance représentée par  $C_1$  est infinie ; on peut l'enlever, le résultat sera

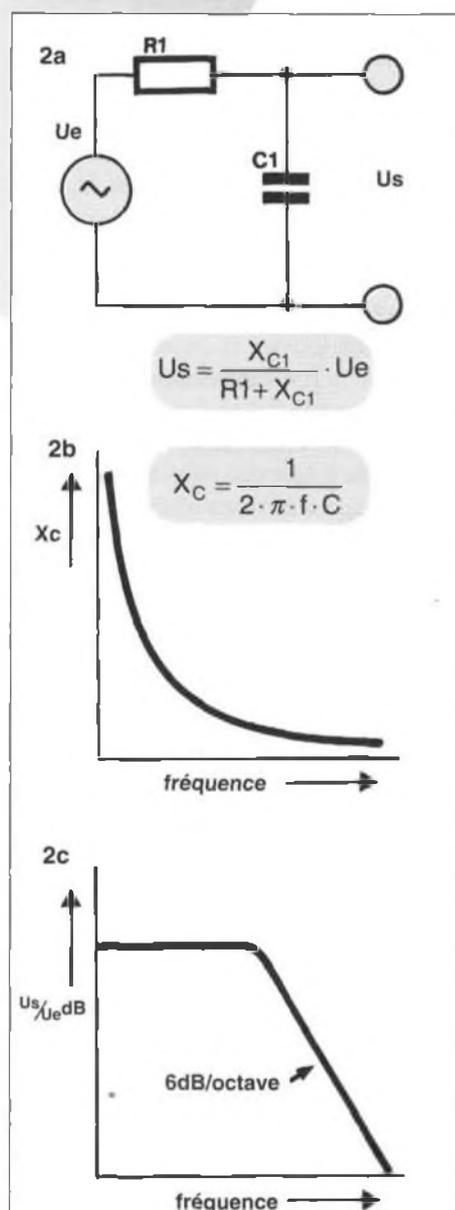


Figure 2 - En remplaçant  $R_2$  par un condensateur, on obtient un diviseur de tension dépendant de la fréquence puisque l'impédance  $X_c$  du condensateur varie avec elle.

# capacités et inductances en série ou en parallèle

toujours le même. Alimentons maintenant le circuit avec une tension alternative dont nous faisons varier la fréquence. Plus la fréquence augmente, plus la tension de sortie diminue. Nous savons pourquoi : la résistance opposée par le condensateur au passage du courant diminue en raison inverse de la fréquence. Ceci revient à dire que plus la fréquence augmente, plus le condensateur a tendance à se comporter en court-circuit : son impédance  $X_C$  devient très petite quand la fréquence devient très grande (figure 2b). Nous avons ainsi un diviseur de tension dépendant de la fréquence. Quand la fréquence augmente, le rapport entre l'amplitude de la tension de sortie et celle de la tension d'entrée correspond au tracé de la courbe 2c.

Cette courbe mérite un commentaire. En premier lieu, sa partie horizontale correspond à des fréquences auxquelles l'impédance du condensateur est encore assez élevée pour ne pas avoir d'influence notable sur le signal. À partir d'une certaine fréquence, dite fréquence de coupure, il n'en est plus de même, les effets du condensateur sont pris en compte : à cette fréquence, la tension de sortie est égale à celle du signal d'entrée divisée par la racine carrée de 2. Vous avez remarqué, sur la courbe 2c, que la grandeur en ordonnée n'était pas la tension de sortie, mais le rapport de l'amplitude de la tension de sortie à celle de la tension d'entrée. Ce rapport, cette comparaison, entre les deux tensions est d'autre part affecté d'une unité, ce qui n'est pas commun pour un rapport : il est donné en **décibels**. Nous n'avons pas en ordonnée le rapport lui-même, mais son logarithme. Pour les abscisses, c'est l'échelle qui est logarithmique. Cette utilisation des logarithmes (se reporter au n°22 d'ELEX) a toutes sortes de raisons. Elle permet surtout de rendre les phénomènes plus évidents et d'en donner une représentation graphique plus commode. À droite de la

courbe 2c, vous lisez l'indication « 6 dB/octave ». Ceci, qui concerne la partie oblique de la courbe, veut dire que chaque fois que la fréquence double (= change d'un octave), la tension de sortie est divisée par deux ( $20 \log 2 = 6$ ). On appelle le dispositif de la figure 2, filtre passe-bas, puisqu'il laisse passer, sans (trop) les atténuer, les signaux dont la fréquence est inférieure à la fréquence à laquelle correspond le coude de la courbe. À cette fréquence, l'atténuation est de 3 dB, ce qui revient à diviser par  $\sqrt{2}$  l'amplitude de la tension d'entrée pour connaître celle de la sortie. C'est pourquoi on la désigne généralement par « fréquence de coupure à -3 dB ». La tension à la sortie de ce filtre peut être calculée grâce à la formule placée à proximité du schéma. Les choses sont cependant assez compliquées, mathématiquement, pour ne pas dire complexes, à ce niveau. Elles nécessitent quelques précautions, puisque la tension de sortie n'est pas en phase avec la tension d'entrée : la formule ne donne que l'amplitude de la tension de sortie en fonction de celle de la tension d'entrée. Les tensions instantanées ne sont pas dans le même rapport, car elles sont déphasées l'une par rapport à l'autre. Nous laisserons de côté les savants calculs qui permettent d'en rendre compte.

Remplaçons maintenant le condensateur par une bobine. Ce faisant (auquel "t" coupe les ailes), nous ne modifions pas seulement le schéma du montage (figure 3), mais aussi la fonction du circuit : nous avons à faire à un filtre passe-haut. La courbe de réponse en fréquence s'explique par le fait qu'une bobine a une impédance d'autant plus élevée que la fréquence du signal qui la traverse est plus grande, comme on le voit en 3c. Ici encore, la formule qui accompagne le schéma n'est applicable que si l'on tient compte en même temps du déphasage que le circuit introduit.

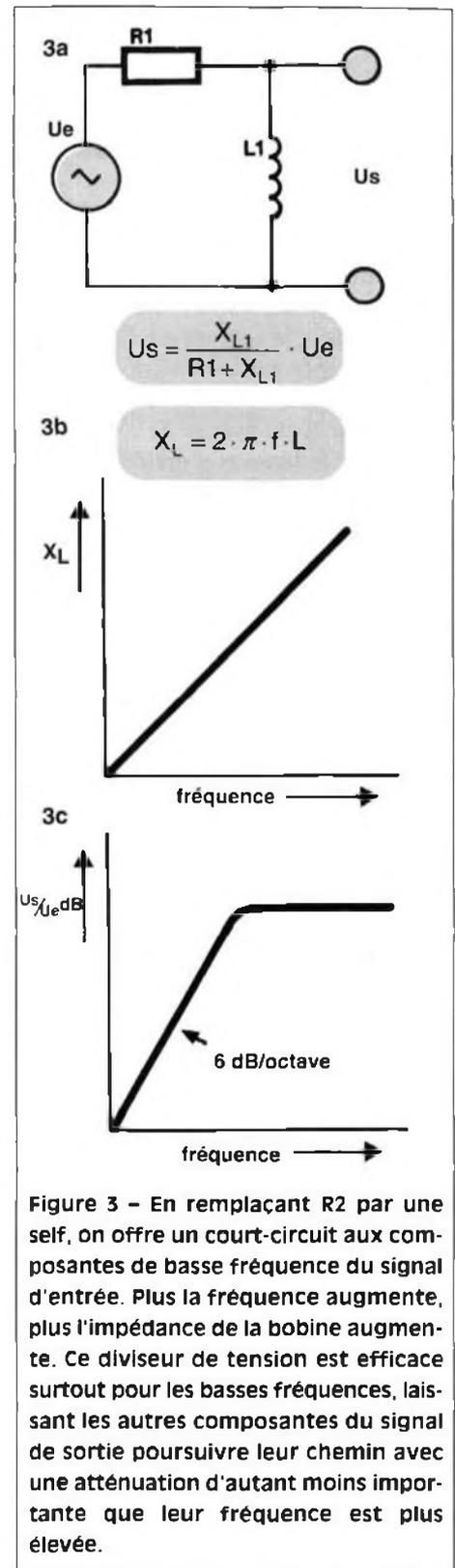


Figure 3 - En remplaçant R2 par une self, on offre un court-circuit aux composantes de basse fréquence du signal d'entrée. Plus la fréquence augmente, plus l'impédance de la bobine augmente. Ce diviseur de tension est efficace surtout pour les basses fréquences, laissant les autres composantes du signal de sortie poursuivre leur chemin avec une atténuation d'autant moins importante que leur fréquence est plus élevée.

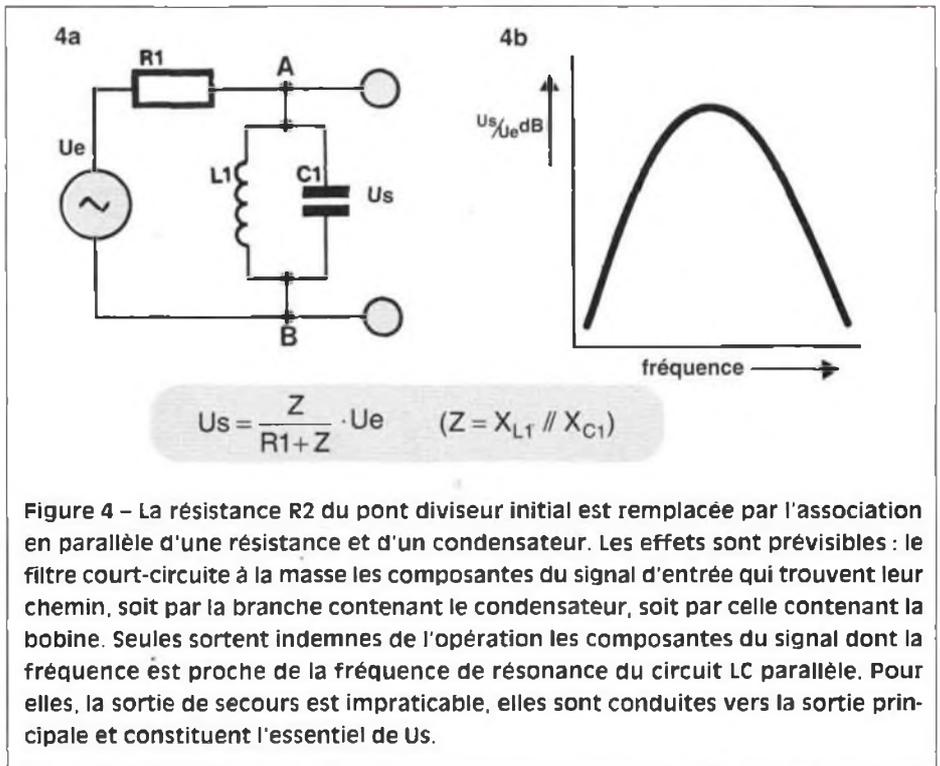
## circuit parallèle

Compliquons un peu les choses en câblant, à la place du condensateur ou de la bobine, l'association en parallèle des deux. Comme vous le voyez sur la figure 4, la "formule" ne change guère, puisque nous remplaçons seulement R2 du premier pont ou  $X_C$  et  $X_L$  des suivants, par Z. Cette impédance Z s'exprime certes en ohms, mais ne peut pas, là non

plus, être remplacée par une simple résistance, à cause du déphasage qu'elle introduit entre l'entrée et la sortie. Dans la branche de dérivation contenant le condensateur, le courant est déphasé de 90°, en avance sur la tension, alors que dans la branche contenant la bobine, si le courant est déphasé aussi de 90°, c'est en retard sur la tension. Comme les deux tensions, aux bornes du condensateur et aux bornes de la bobine, sont en phase, puisque ces composants sont en parallèle, le courant dans la bobine est déphasé de 180° sur le courant de la branche contenant le condensateur. Nous pouvons dire aussi que, lorsque le courant traverse la bobine de B vers A, il circule de A vers B dans la branche contenant le condensateur. De plus, il est maximal dans les deux branches au même instant, bien que de sens opposé. De ce qui précède, il ressort que le courant circulant de A vers B est égal à la différence des courants circulant dans les branches contenant, respectivement, la bobine et le condensateur (figure 5).

Si nous comparons un circuit composé de deux résistances câblées en parallèle au précédent, nous voyons, dans le premier cas, que le courant est la somme des courants traversant chaque branche, dans le second, qu'il est la différence des courants traversant respectivement la bobine et le condensateur. En alternatif, l'impédance d'un circuit contenant deux résistances en parallèle est inférieure à celle du circuit où les résistances sont remplacées respectivement par une bobine et un condensateur d'impédance égale à chacune des résistances (pour une fréquence donnée).

Si maintenant, toujours pour une fréquence donnée, l'impédance de la branche capacitive est égale à celle de la branche inductive, l'intensité des courants circulant dans chaque branche est la même. L'intensité du courant circulant dans la dérivation est donc nulle (différence de deux courants de même intensité ou somme de deux courants opposés de même intensité). À cette fréquence, dite fréquence de résonance, l'impédance de la dérivation est théoriquement infinie. Les signaux de fréquence inférieure ou supérieure sont alors (partiellement, rien de parfait en ce bas monde) court-circui-



**Figure 4** – La résistance R2 du pont diviseur initial est remplacée par l'association en parallèle d'une résistance et d'un condensateur. Les effets sont prévisibles : le filtre court-circuite à la masse les composantes du signal d'entrée qui trouvent leur chemin, soit par la branche contenant le condensateur, soit par celle contenant la bobine. Seules sortent indemnes de l'opération les composantes du signal dont la fréquence est proche de la fréquence de résonance du circuit LC parallèle. Pour elles, la sortie de secours est impraticable, elles sont conduites vers la sortie principale et constituent l'essentiel de Us.

tés par ce circuit, qui ne laisse poursuivre son chemin (comme si de rien n'était avec la même restriction que plus haut) qu'au signal à la fréquence duquel il se comporte en bouchon. C'est ce dont rend compte la courbe de réponse en fréquence 4b où l'on reconnaît, sur un versant, les effets d'un passe-bas (2c), sur l'autre, ceux d'un passe-haut (3c) : nous avons à faire à un filtre passe-bande.

Retirons notre circuit bouchon de la circulation, pour le considérer plus à l'aise en supposant, pour commencer, le condensateur chargé à une certaine tension. Lorsque nous raccordons le condensateur chargé à la bobine, la tension aux bornes des deux composants est la même (ou l'opposée) ; le courant, d'abord nul, croît au fur et à mesure que le condensateur se décharge dans la bobine. Lorsque le condensateur est déchargé, le courant est maximum dans le circuit et le condensateur se recharge dans l'autre sens, puis se décharge à nouveau. Il y a, entre le condensateur et la bobine, un échange périodique d'énergie : lorsque l'énergie emmagasinée dans le condensateur est maximale, elle est minimale dans la bobine, et réciproquement. D'autre part, lorsque la charge du condensateur diminue, l'intensité du courant augmente dans le circuit. Les échanges pourraient ainsi se poursuivre indéfiniment, si les composants étaient parfaits, c'est-à-dire sans résistance. Il y a bien évidemment des pertes et les oscillations s'amortissent assez rapidement, si elles ne sont pas entretenues, comme

celles d'un pendule déplacé de sa position d'équilibre.

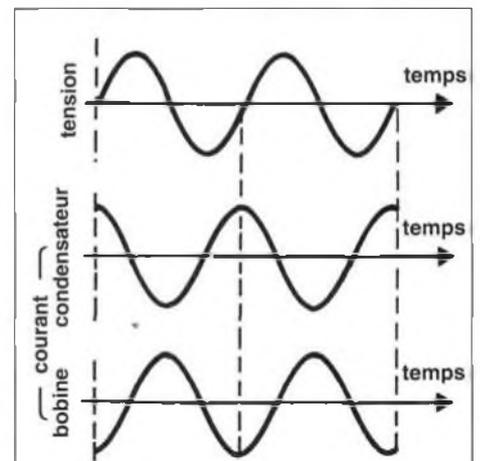
La fréquence du courant qui circule ainsi, et n'est bien sûr pas continu, est une caractéristique du circuit que l'on appelle sa fréquence propre. Elle est égale à sa fréquence de résonance  $f_{res}$ , facile à calculer, puisque dans ce cas, l'impédance de la bobine d'inductance L est égale à celle du condensateur de capacité C. Puisque nous avons :

$$X_C = X_L$$

$$2 \pi f_{res} L = 1 / (2 \pi f_{res} C)$$

nous pouvons calculer  $f_{res}$ ,

$$f_{res} = 1 / (2 \pi \sqrt{LC})$$



**Figure 5** – Tension aux bornes du circuit LC parallèle et courant circulant dans chaque branche, en fonction du temps.

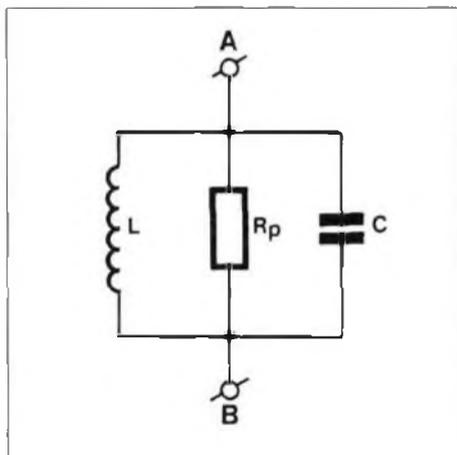


Figure 6 – Le circuit LC parallèle, tel qu'il est en réalité. La résistance est due aux imperfections des composants.

### le circuit n'était pas idéal

Revenons à la figure 4 où nous avons vu en 4b, que le diviseur de tension ne laissait passer que les signaux d'une certaine fréquence, atténuant plus ou moins les autres. Ceci n'est pas étonnant, puisque la dérivation n'est pas praticable à l'heureux élu auquel elle présente un obstacle, une impédance très grande.

En réalité, tout condensateur présente une résistance de fuite, en parallèle avec lui, de même qu'une bobine, comme tout conducteur qui se respecte, a une résistance. Un artifice mathématique permet de présenter les choses comme sur la figure 6, où Rp symbolise toutes les résistances, même celle de la bobine (en fait en série avec elle). Plus la résistance de la bobine est élevée, plus Rp est petite, et plus la réponse en fréquence du filtre est amortie.

Expliquons-nous : à cause de Rp, même à la fréquence de résonance, un certain courant circule entre A et B. Le diviseur de tension existe donc, ce qui nous donne une courbe de réponse en fréquence un peu plus aplatie que celle souhaitée (figure 7).

Ce n'est pas tout. Le signal à la sortie du dispositif est bien sûr exploité. On peut mettre par exemple en sortie un transistor qui l'amplifie (figure 8). Ce transistor représente, comme Rp, une nouvelle charge en parallèle qui vient encore amortir la réponse.

\* Ici, un filtre ne laisse pas "passer" le "marc", c'est-à-dire les signaux de fréquence indésirables, vers le reste du circuit. Il laisse pourtant mieux passer le "marc" que le "jus", signal intéressant, vers la masse.

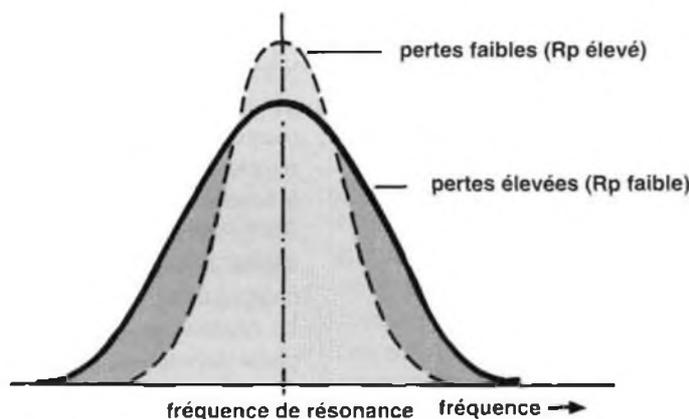


Figure 7 – La présence d'une résistance Rp, en parallèle avec la bobine et le condensateur, amortit la réponse du filtre qui est d'autant moins sélectif que cette résistance est moins élevée. On doit la prendre en compte dans tous les filtres LC parallèle où elle est d'autant plus petite (plus elle est petite, plus la courbe s'écrase) que la résistance ohmique de la bobine est plus grande.

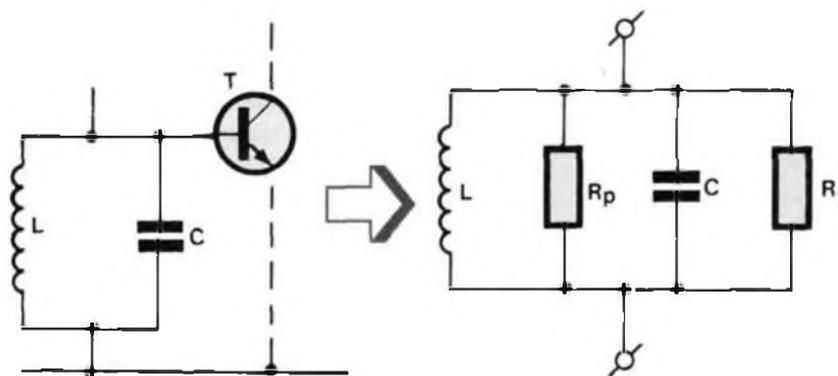


Figure 8 – Il ne faut pas négliger les dispositifs situés en aval du filtre qui introduisent des résistances en parallèle à celui-ci et atténuent sa réponse en fréquence.

### bande passante

Le circuit LC parallèle est pratiquement toujours utilisé comme filtre passe-bande.

Son rôle est donc de ne laisser passer qu'une partie du spectre des fréquences, court-circuitant le reste. Son utilisation la plus connue constitue le premier étage

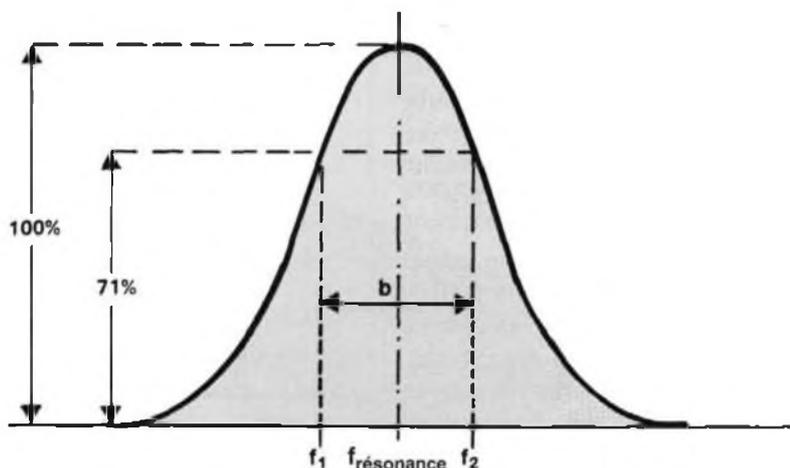
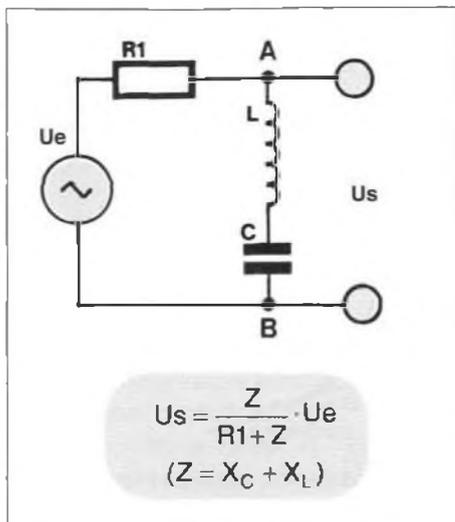


Figure 9 – La différence entre les fréquences de coupure haute (f2) et basse (f1) s'appelle bande passante à -3 dB. Une bande passante b étroite correspond à un dispositif sélectif. Les 3 dB correspondent à une division de la puissance par 2, soit à une division de la tension par la racine de 2. (Diviser par  $\sqrt{2}$  c'est multiplier par 0,71 à 1pp.)



$$U_s = \frac{Z}{R_1 + Z} \cdot U_e$$

$$(Z = X_C + X_L)$$

Figure 10 – Le filtre LC série est le complémentaire du filtre parallèle : c'est un filtre coupe-bande.

d'un récepteur de radio. Lorsque l'appareil est accordé sur une fréquence, seul le signal y correspondant doit parvenir à l'amplificateur qui suit. L'antenne en capte d'autres que le filtre évacue pour éviter qu'ils n'atteignent cet étage, faute de quoi la plus grande confusion peut régner. Il va de soi que le filtre est d'autant plus efficace que le domaine des fréquences qu'il laisse passer est plus étroit\*. Dit d'une autre manière : plus sa réponse en fréquence est amortie, plus large est le domaine des fréquences qu'il laisse passer sans les atténuer ou en les atténuant à peine. Dans ce contexte on parle volontiers de son coefficient de qualité, le facteur Q. Cette grandeur donne une idée précise de la forme de la courbe de réponse en fréquence, de la bande passante en particulier. Voilà un terme qui demande une définition : la bande passante est l'intervalle de fréquence dans lequel l'atténuation de la tension est inférieure à 71%. Sur la figure 9, c'est la portion de la courbe comprise entre f1, dite fréquence de coupure basse, et f2, dite fréquence de coupure haute. On la désigne par b et l'on a :

$$b = f_2 - f_1$$

Le taux de 71% correspond à un facteur de  $1/\sqrt{2}$  soit à une atténuation de 3 dB (le n°22 d'ELEX vous en dit plus et nous aurons peut-être l'occasion d'y revenir). Le facteur Q d'un circuit peut être mesuré à l'aide d'un Q-mètre et calculé comme suit :

$$Q = f_{res} / (f_2 - f_1) = f_{res} / b$$

**circuit série**

Il est aussi possible de mettre le condensateur et la bobine en série (figure 10). Le

filtre n'a plus du tout les mêmes effets : il laisse alors passer toutes les fréquences, hormis la fréquence de résonance. C'est pour cette raison qu'on l'appelle filtre coupe-bande ou filtre éliminateur ou réjecteur de bande. Pour en comprendre le fonctionnement, regardons comment se comportent le courant, la tension et leur déphasage, dans ses différents composants.

Le courant, pour commencer : il est en phase dans tous les composants. Plus précisément, le courant de charge du condensateur traverse simultanément la bobine et la résistance. Il n'en est pas de même pour les tensions aux bornes des composants, puisque, dans le cas du condensateur, le courant est déphasé de 90° en avance sur elle, et de 90° en retard dans le cas de la bobine. Les tensions sont donc déphasées entre elles de 180° (figure 11). La tension de sortie du circuit de la figure 10 est, bien entendu, la somme des tensions aux bornes des composants. Comme elles sont en opposition de phase, elles se retranchent.

Que se passe-t-il maintenant si l'on fait varier la fréquence du signal présent à l'entrée du circuit ? En basse fréquence, l'impédance de la bobine est quasiment négligeable devant celle du condensateur, c'est alors ce dernier qui limite le courant dans la dérivation. En haute fréquence, c'est le contraire qui se produit : le condensateur équivaut à un court-circuit, tandis que l'impédance de la bobine limite le courant. La courbe de réponse en fréquence du circuit de la figure 10 a la forme représentée sur la figure 12. Le circuit série a, exactement comme son homologue parallèle, une fréquence de

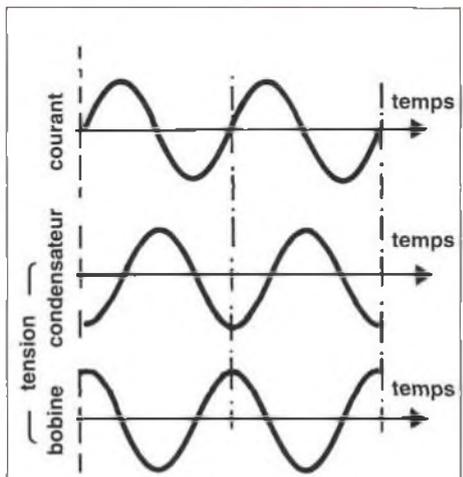


Figure 11 – Allure de la tension aux bornes des composants, et du courant dans la dérivation, à la résonance, en fonction du temps.

résonance, que la même formule permet de calculer. La grande différence entre les deux est, qu'à cette fréquence, le filtre série se comporte comme un court-circuit, limité par les imperfections des composants, alors que le filtre parallèle a une très grande impédance, limitée pour les mêmes raisons. Comme on le voit sur la figure 11, à la résonance, les tensions aux bornes des composants sont exactement opposées : la tension aux bornes de l'ensemble est donc nulle alors que le courant qui traverse la dérivation est maximal.

Il n'est donc pas difficile de calculer l'impédance de la dérivation : si la tension est nulle, si le courant est maximal, point de doute possible, l'impédance est nulle. Nous n'avons à faire à rien d'autre qu'à un court-circuit : le signal n'atteint plus la

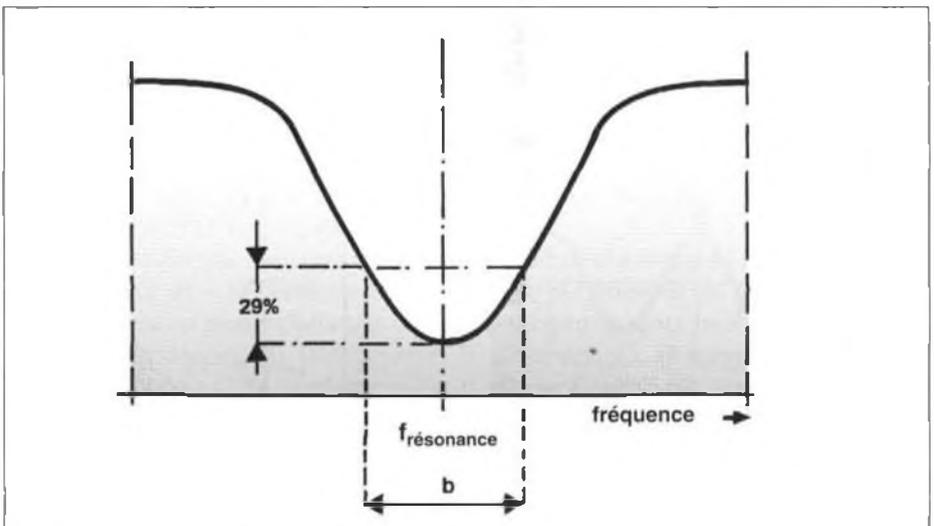


Figure 12 – Les composantes du signal de fréquence inférieure ou supérieure à la fréquence de résonance passent (presque) sans encombre. Le "marc" ici, ce sont les signaux proches de la fréquence de résonance.

# enregistreurs de vol

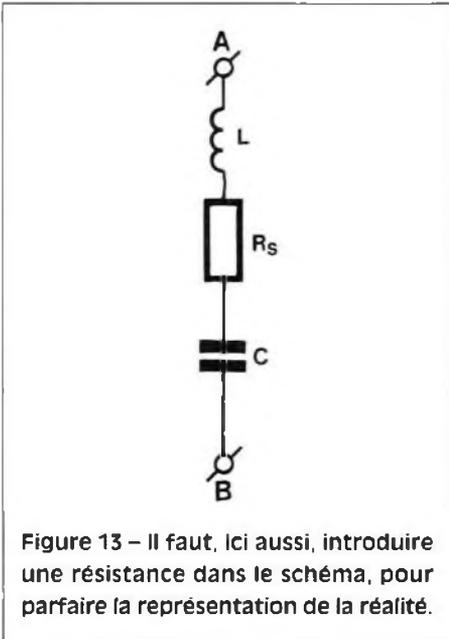


Figure 13 – Il faut, ici aussi, introduire une résistance dans le schéma, pour parfaire la représentation de la réalité.

sortie. Nous l'avons déjà dit, la situation n'est telle que nous l'avons décrite que si les composants, parfaits, ne présentent pas de résistance ohmique\*\*. Ce n'est pas le cas le plus courant. Il faut donc tenir compte des pertes, symbolisées par la résistance  $R_s$  de la figure 13. Le court-circuit à la résonance n'est plus franc et massif, de sorte que la réponse en fréquence présente un minimum un peu plus élevé. Le facteur  $Q$  donne ici aussi une idée de la forme de la courbe et les mêmes paramètres sont utilisés pour son calcul.

## en HF seulement ?

En introduction nous disions que condensateurs et bobines étaient des composants de haute fréquence. Ce n'est qu'en partie vrai puisqu'il est aussi possible de fabriquer des filtres avec eux pour des circuits fonctionnant en basse fréquence. Leurs valeurs et leurs dimensions sont alors respectables. On leur préfère cependant des filtres constitués de résistances et de condensateurs (les circuits RC) qui épargnent de la place pour un résultat sensiblement identique. Une exception cependant pour le découplage des baffles, où la place ne manque pas, qui utilise des circuits LC, les circuits RC ayant alors un trop mauvais rendement.

87690

\*\* Une résistance ohmique est bien sûr une résistance qui n'obéit qu'à la loi d'Ohm et non une "résistance exprimée en ohms".

## les témoins de l'accident étaient sous la queue de l'avion

Figure 1 – Un avion de ligne embarque deux "boîtes noires" qui doivent témoigner, en cas d'incident ou d'accident, l'une (ci-contre et page suivante), des derniers dialogues à l'intérieur de la cabine de pilotage, entre les membres de l'équipage, ainsi qu'entre l'équipage et les ingénieurs du contrôle de la navigation aérienne (Cockpit voice recorder), l'autre (ci-dessous), des données techniques concernant les dernières 24 heures de vol (Flight data recorder).

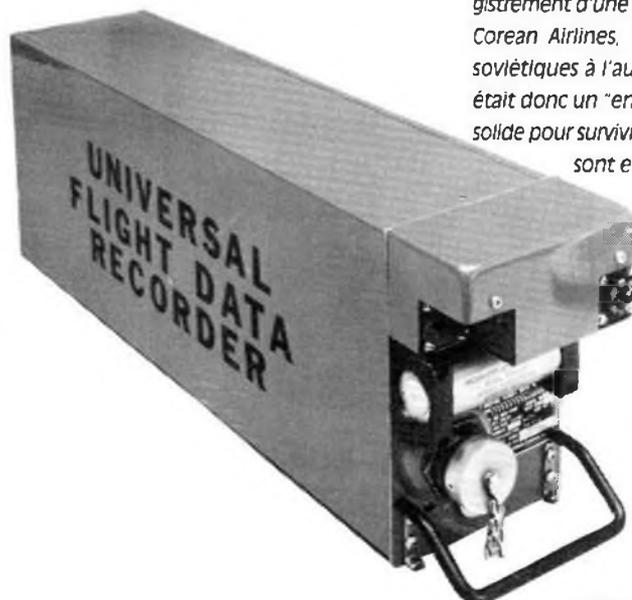
Retrouvera-t-on les boîtes noires ? Telle est la question qui se pose après chaque catastrophe aérienne. Qu'un missile descende un Jumbo-jet, quelque part entre le Japon et la Sibérie orientale, qu'un avion cargo perde ses réacteurs et s'écrase sur un quartier populaire d'Amsterdam, le commentaire est invariable : « On recherche activement les boîtes noires ».

Une boîte noire, est un dispositif dont "on" ne connaît ni le fonctionnement ni la structure



ni la composition\*. "On" ne s'intéresse qu'à ce qui en sort. Un téléviseur, par exemple, est une boîte noire pour un utilisateur qui ne touche pas à l'électronique ; une carte électronique est une boîte noire pour le dépanneur qui la remplace lorsqu'elle est en panne, sans savoir comment elle fonctionne. Pour la presse, les boîtes noires n'existent que lors des catastrophes : « Les Russes ont dernièrement remis aux Américains l'enregistrement d'une des boîtes noires de l'avion des Korean Airlines, descendu par leurs ancêtres soviétiques à l'automne de 1983 ». Cette boîte était donc un "enregistreur". Il fallait qu'elle fût solide pour survivre à une telle catastrophe : elles

sont en effet conçues pour résister à des accélérations mille fois supérieures à celle de la pesanteur. Leurs entrailles pèsent alors mille fois leur poids : telle pièce, qui accuse un gramme sur la balance, pèse un kilogramme au moment du choc le plus violent que les boîtes sont faites pour encaisser. Elles supportent aussi relativement bien la chaleur, puisqu'elles tolèrent



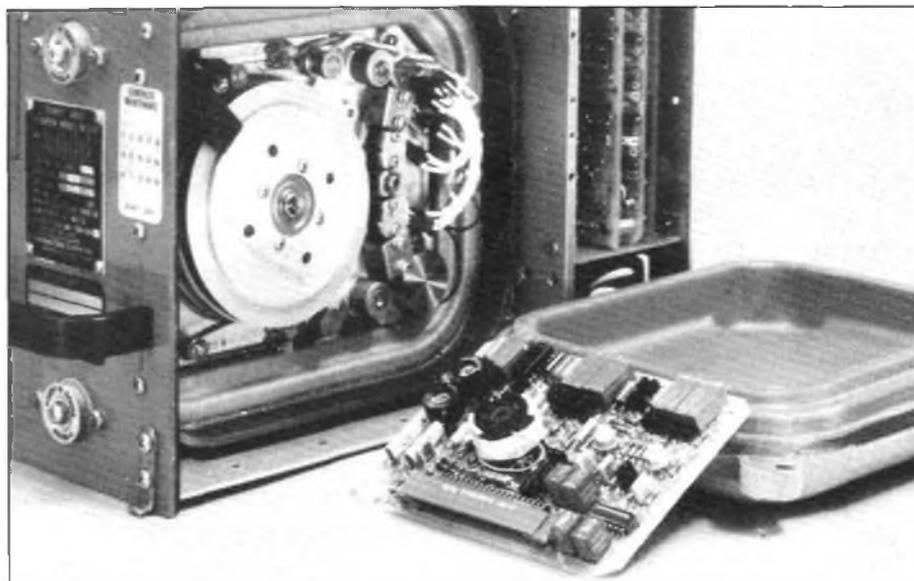


Figure 2 - Un magnétophone un peu particulier enregistre des données numériques exploitables par ordinateur. Les informations stockées doivent être fiables et leur emballage, résistant aux chocs et au feu, ne pas se perdre dans la nature. Outre leur couleur rouge vif, qui en facilite la découverte à terre, un émetteur d'ultrasons permet de les localiser en cas d'immersion (le cylindre sous la poignée - cf photos de la page précédente).

me. La bande tourne en continu en boucle fermée, aussi ne garde-t-elle automatiquement que les dernières 30 mn d'enregistrement. Les données concernant le vol sont conservées sur un support identique, un peu plus conséquent cependant, puisqu'il permet 25 heures d'enregistrement. Un accident peut être précédé de multiples incidents techniques dont on conserve ainsi la trace. La bande est enroulée sur les deux bobines de l'enregistreur qui fonctionne en continu, avec retour automatique au début lorsqu'il a terminé (auto reverse). Lorsque toutes les pistes ont été utilisées, l'enregistrement se poursuit sur la première, recouvrant les données stockées 25 heures auparavant. Pour une longueur de bande de 273 m par exemple et quatre pistes, la vitesse, plutôt lente, est de 12 mm/s. Ces 12 mm contiennent un nombre impressionnant d'informations numérisées, issues donc d'un ordinateur. Autrefois, dans les années cinquante, les données, gravées sur une feuille de métal, étaient en petit nombre, cinq en tout sans doute : à côté de l'heure, figuraient la pression atmosphérique en altitude, la vitesse du vol, son accélération verticale (chute ou ascension) et la route suivie par l'avion. Les organismes internationaux régissant la navigation aérienne exigent aujourd'hui jusqu'à 180 paramètres.

Des appareils aussi compliqués et aussi fiables ont bien sûr leur prix. Compte tenu cependant des informations qu'ils apportent et de la diminution des risques d'accident dont leur exploitation est la conséquence, leur coût, de l'ordre de deux cent mille francs, est tout à fait négligeable. 68732

\* Dictionnaire de Mathieu, Kastler et Fleury - Masson-Eyrolles

Figure 3 - Sur les bobines du magnétophone enregistrant les conversations du poste de pilotage, une bande magnétique sans fin contient chaque fois la dernière demi-heure de dialogues. Tout est mis en œuvre pour que le coffre-fort qui contient ces données précieuses résiste aux chocs, à l'incendie ou à une immersion prolongée.

rent, sans détérioration majeure pour les messages qu'elles contiennent, une température de 1100° C pendant une demi-heure. Il est en effet possible d'en maintenir le contenu à l'abri de la chaleur pendant un certain temps, grâce à des parois doublées, remplies d'une mousse synthétique imbibée d'un liquide. L'évaporation du liquide, comme celle de la sueur à la surface de votre peau, consomme de l'énergie et permet d'éviter une trop rapide élévation de la température à l'intérieur. De plus, pour limiter au maximum les contraintes auxquelles les enregistreurs peuvent être soumis en cas de catastrophe, on les installe vers la queue de l'avion (en dessous), partie qui, statistiquement, se conserve le mieux. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ces dispositifs ne disposent pas d'une alimentation propre, ils sont branchés sur le réseau du bord, de telle sorte que les enregistrements s'interrompent automatiquement dès que l'avion est privé d'électricité, donc de commandes : à sa mort clinique en quelque sorte.

Les mesures de conservation sont optimales, que demander de plus ? Il ne sert à rien de faire de bonnes conserves si elles se perdent dans la nature. Deux mesures permettent donc de les

retrouver : leur couleur rouge vif les signale aux équipes de recherche à terre ; en cas d'immersion, un émetteur d'ultrasons, monté à l'extérieur de chaque boîte, permet à des sondes spécialisées de les localiser jusqu'à 6000 m de fond.

Comme les journaux nous l'ont répété, les boîtes noires sont au nombre de deux. L'une contient un dispositif qui enregistre les paramètres techniques du vol, c'est le Flight data recorder, l'autre est un magnétophone comme nous les connaissons, ou Cockpit Voice Recorder, qui enregistre les conversations tenues dans la cabine de pilotage et les dialogues avec les ingénieurs du contrôle du trafic aérien.

L'enregistreur des voix de la cabine de pilotage fonctionne comme un magnétophone à cassette à bande sans fin. La vitesse de la bande, de 5 cm/s, est d'ailleurs à peu de chose près la même. Le support d'enregistrement n'est cependant pas aussi fragile que celui sur lequel vous enregistrez vos interprètes favoris : ruban de métal, il ne se laisse pas déchirer et résiste à la chaleur. Il faut qu'il en soit ainsi, puisqu'il contient les témoignages à chaud, quelquefois même, les dernières paroles des acteurs du dra-



# feu bicolore pour boîte aux lettres

vert : attendre – rouge : courir

*Pour certains, le courrier est une drogue : le courrier à recevoir. Ils sont en manque, avant le passage du facteur. Après ça va mieux, ou plus mal, si la lettre attendue n'est pas arrivée. Au lieu de courir à la boîte au moindre bruit, un de nos lecteurs s'est assis, la tête entre les mains, pour concevoir ce circuit qui le dispense enfin de quelques pas.*

Courir à la boîte aux lettres ou attendre sous son parapluie le passage du facteur ! Il est loin le temps où ce fonctionnaire, de tous le plus aimé, venait déposer le courrier à la cuisine et prendre son canon. Beaucoup d'enfants, disait-on, lui ressemblaient, allez savoir pourquoi. Aujourd'hui, il ne fait plus signe qu'à la boîte aux lettres, au rez-de-chaussée des immeubles ou au bout du jardin pour les plus vernis. La boîte elle-même n'en montre rien. À moins d'être pourvue d'un mouchard...

## bascule RS dans les coulisses

Comment ça marche ? Le dispositif est très simple. La boîte aux lettres contient un phototransistor, qui détecte son ouverture. On peut éventuellement accompagner le capteur d'une LED, si la luminosité n'est pas suffisante pour le faire commuter. Nous y reviendrons. Un câble à deux (ou trois) conducteurs relie le détecteur (et la LED) à un témoin lumineux, judicieusement placé dans l'appartement. Il faudra peut-être enterrer des fils, éventuellement leur ménager un passage dans l'encadrement d'une porte ou d'une fenêtre. Le circuit de signallement ne comporte guère plus qu'un 555 et deux LED : une verte, allumée avant le passage du facteur, une rouge, signalant la présence du courrier.

Le 555 n'est pas nouveau venu dans ces colonnes où il a déjà trouvé de nombreuses applications. Conçu d'abord comme temporisateur analogique (*timing circuit*), il peut trouver d'autres applications. Nous l'employons ici comme bascule RS améliorée.

La figure 1 illustre son fonctionnement dans deux cas. Il s'agit chaque fois d'une représentation simplifiée du dispositif où les entrailles du 555 sont schématisées. Les niveaux logiques présents à l'intérieur du circuit sont donnés dans les deux situations que nous allons voir.

En 1a, le courrier a été relevé, le circuit remis à zéro (*reset*), le phototransistor est dans l'ombre : aussi longtemps que dure cet état, l'entrée inverseuse de déclenche-

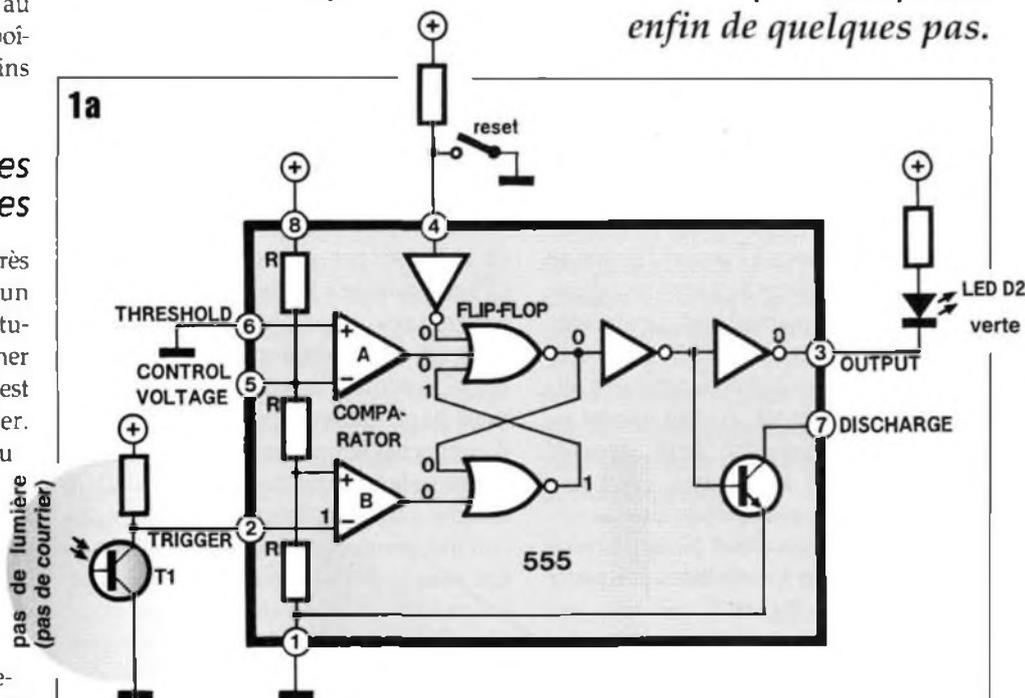


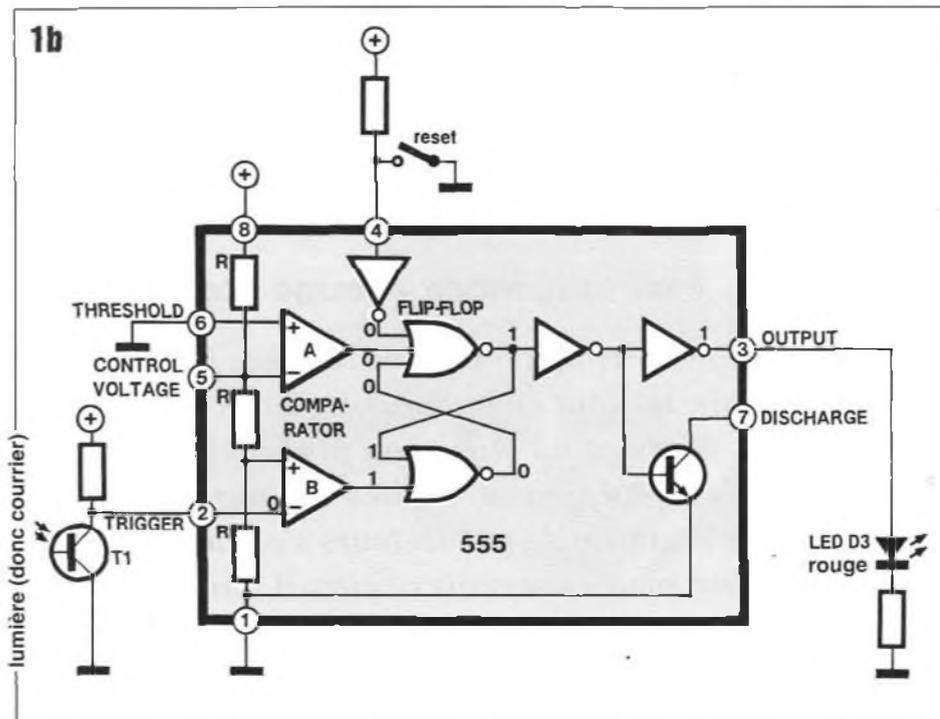
Figure 1 – Un détour par l'intérieur du 555 permet d'en comprendre le fonctionnement. En 1a, le circuit est en position d'attente, la LED rouge est allumée ; en 1b, elle est éteinte et la LED verte signale une ouverture de la boîte aux lettres, correspondant à un éclairage même transitoire du phototransistor. Le 555 "enregistre" ici le dépôt du courrier.

ment (*trigger*) du comparateur B est maintenue au niveau de la tension d'alimentation. Cette tension, supérieure à celle qui règne sur l'entrée non inverseuse, a fait passer la sortie du comparateur à zéro. La sortie de la bascule (*flip-flop*) câblée ensuite reste aussi à zéro, comme la broche 3 du 555 : la LED D2 verte, traversée par un courant, est allumée.

En 1b (*veuillez tourner la page*), le courrier a été déposé, de sorte que le phototransistor T1, éclairé, même fugitivement, a pu se débloquent. La tension sur l'entrée inverseuse du comparateur B est tombée bien au-dessous du tiers de la tension d'ali-

mentation qui règne sur l'entrée non inverseuse (pont diviseur  $R/3R$ , interne au circuit intégré) : la sortie est passée à un – qu'elle soit retombée tout de suite à zéro, n'importe pas. Cette sortie est l'entrée *set* de la bascule qui "s'met" aussi à un. La broche 3 du circuit intégré passe donc à un, permettant à la LED D3, rouge, de s'allumer, tandis que la LED verte s'éteint. Pour retrouver la situation représentée en 1a, il ne suffit pas que le phototransistor se retrouve dans l'ombre, à nouveau bloqué, il faut encore mettre à un l'une des trois entrées de remise à zéro de la bascule (POUR QUE LA SORTIE D'UN OPÉRATEUR OU-

## détection d'arrivée du courrier



boîtier séparé. Il est possible aussi d'utiliser le transformateur de sonnette (8 V au secondaire) à condition de remplacer IC2 par 7808 par exemple.

Le montage tient sur une platine de format 1 dont l'implantation vous est donnée sur la figure 3 : le câblage prendra peut-être moins de temps que n'en demandera le montage du capteur dans la boîte. La figure 4 propose deux solutions : si vous désirez que le circuit s'enclenche, même lorsque le courrier arrive dans la boîte en l'absence de lumière extérieure, D1 est aussi nécessaire que T1. La boîte que nous utilisons diffère peut-être de celle dont vous disposez mais les indications données vous permettront de l'adapter à vos besoins.

Commencez par ouvrir le couvercle, puis percez une fente à la face supérieure de la boîte. À l'intérieur de celle-ci, de chaque côté de la fente, fixez la LED et le phototransistor, bien en face l'une de l'autre. Sur

NON PASSE À ZÉRO, IL SUFFIT QU'UNE DE SES ENTRÉES SOIT À UN ; LA SORTIE N'EST À UN QUE SI TOUTES LES ENTRÉES SONT À ZÉRO. La remise à zéro a lieu lorsque l'on met l'entrée de remise à zéro (broche 4) à zéro en actionnant le poussoir marqué *reset*. Les entrées de l'amplificateur A sont fixées, l'une (*control voltage*) au 2/3 de la tension d'alimentation par le pont diviseur interne au circuit, l'autre (entrée dite "seuil", *threshold* non inverseuse) à la masse, pour nos besoins : il reste passif, puisqu'ainsi sa sortie ne change jamais d'état. Nous pouvons tirer le rideau sur les coulisses et revenir dans la salle (figure 2) où tout est transparent.

Il ne reste, sur la figure 2, qu'à parler des *impedimenta* et de quelques accessoires. La tension d'alimentation, pour commencer, est redressée par un pont de diodes (D4 à D7) et stabilisée à l'aide d'IC2, qu'accompagnent ses inséparables condensateurs C2 et C3. À l'opposé sur la figure, un filtre (R3/C1) adoucit les effets des commutations du phototransistor, tout en étouffant d'éventuelles impulsions parasites. La LED D1, en option, forme avec T1 une cellule à fourche qui rend le fonctionnement du circuit indépendant de la lumière du jour. Un simple transformateur fournissant 100 mA sous 15 V au circuit suffira. Pour plus de sécurité, vous le placerez dans un

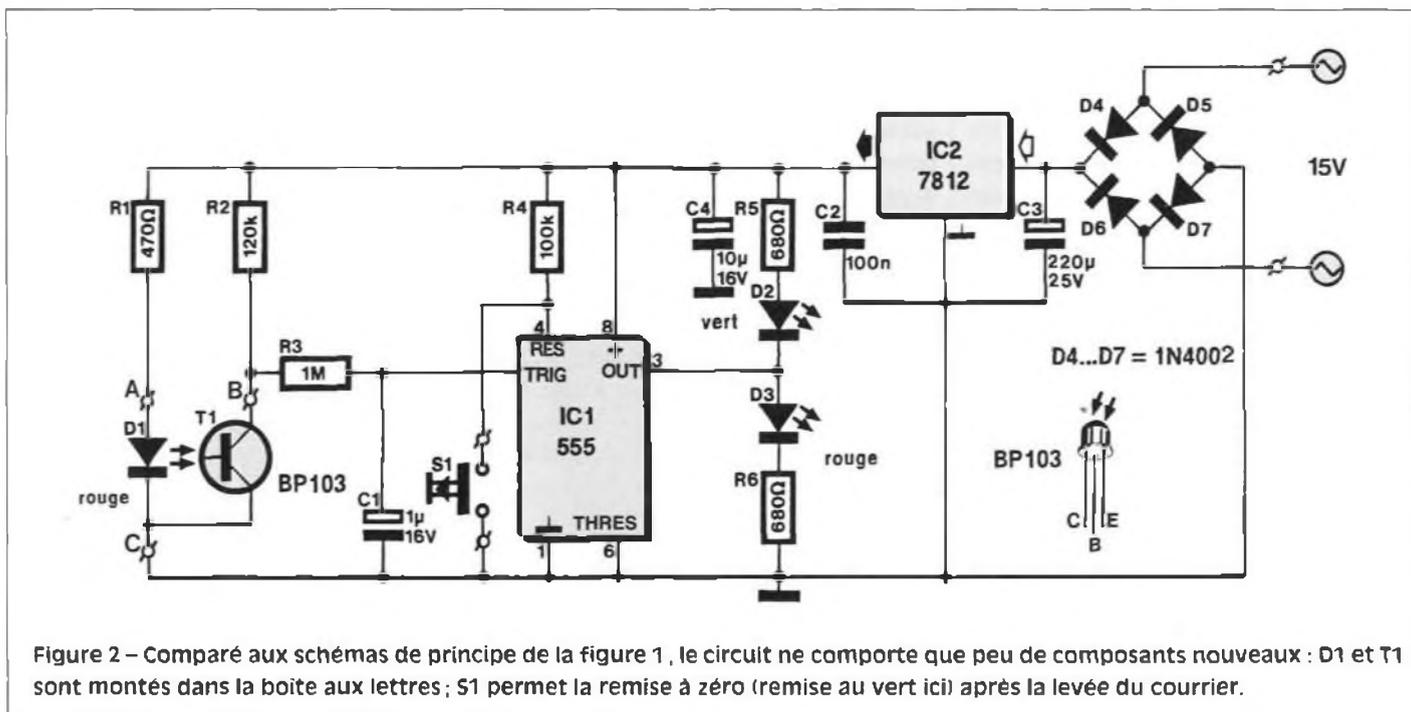
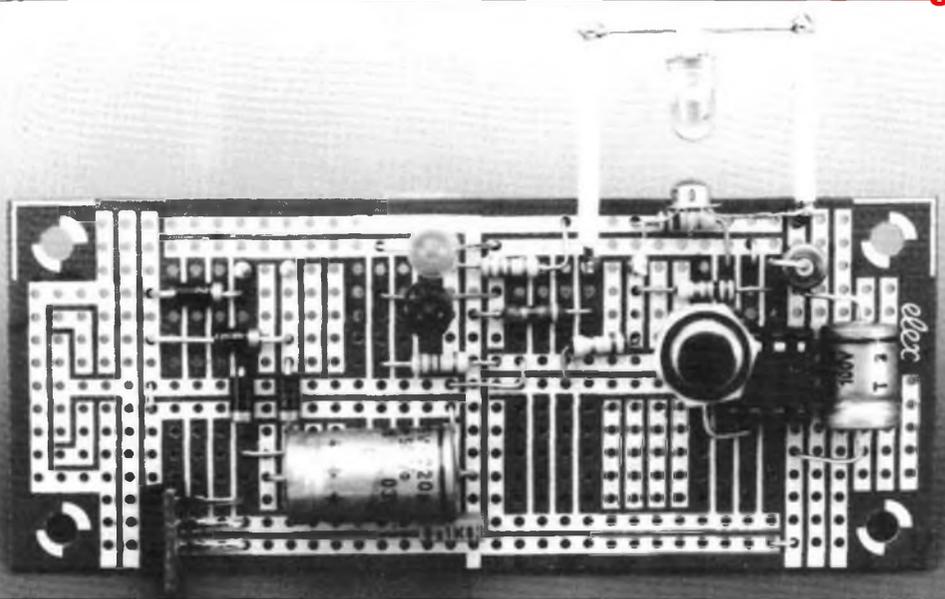


Figure 2 – Comparé aux schémas de principe de la figure 1, le circuit ne comporte que peu de composants nouveaux : D1 et T1 sont montés dans la boîte aux lettres ; S1 permet la remise à zéro (remise au vert ici) après la levée du courrier.



le couvercle maintenant, collez ou vissez, à votre guise, une petite lame opaque (métal, bois, matière plastique), qui vient exactement dans la fente lorsque la boîte est fermée. Cette lame, sorte de gâche optique, coupe le faisceau lumineux de la LED qui éclaire le phototransistor. Dès que le facteur ouvre la boîte, le transistor est débloqué sous l'effet du courant de photons qui bombarde sa surface photosensible : il n'est plus "occulté". La LED rouge, placée à l'intérieur de la maison, s'allume pour vous avertir. À condition bien sûr que le câblage de l'interrupteur optique D1/T1 ait été réalisé correctement et que les points A, B et C de la platine soient reliés aux broches du transistor et de la diode que nous indiquons.

Si vous trouvez cette option trop compliquée à réaliser, ou si vous n'en avez pas l'utilité, la dernière opération se limitera à percer un petit trou dans la boîte. Lorsque

le transistor y sera collé - à condition de se trouver dans l'obscurité lorsque la boîte est fermée et à la lumière lorsqu'elle est ouverte - relié par deux fils aux points B et C de la platine, l'indicateur fonctionnera à votre entière satisfaction.

Nous terminerons par un bref mode d'emploi. Dès que vous verrez la LED verte s'éteindre et la rouge s'allumer, vous bondirez de votre chaise et courrez à la boîte : vous aurez peut-être encore le temps de voir le facteur pour lui confier le courrier à expédier. Rentrez ensuite tranquillement chez vous et enfoncez le bouton de remise à zéro, de façon que la LED verte s'allume à nouveau, et que la rouge s'éteigne. Reprenez votre faction jusqu'au prochain passage du facteur... Bonne garde! 886079

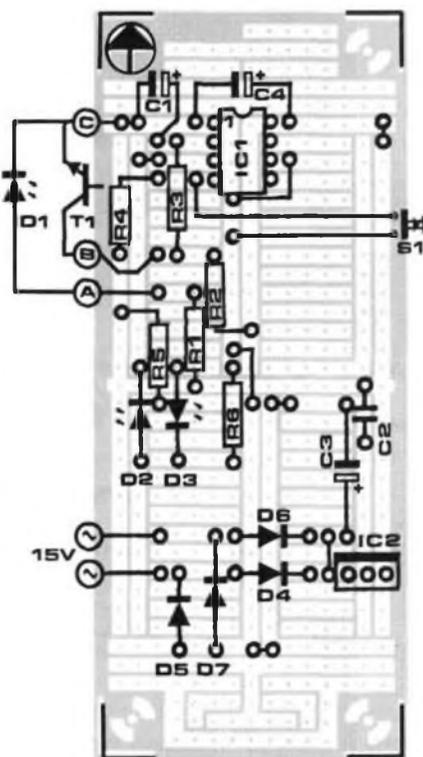


Figure 3 - L'interrupteur optique (D1, T1) se trouve bien sûr là où il doit détecter le passage, ici du courrier. Notez que la tension d'alimentation du circuit est alternative, puisqu'il s'occupe de son redressement, fournie par un transformateur (éventuellement de sonnette si vous adaptez le régulateur à sa tension) qui lui est extérieur.

### liste des composants

- R1 = 470 Ω
- R2 = 120 kΩ
- R3 = 1 MΩ
- R4 = 100 kΩ
- R5, R6 = 680 Ω

- C1 = 1 μF/16 V
- C2 = 100 nF
- C3 = 220 μF/25 V
- C4 = 10 μF/16 V

- IC1 = 555 temporisateur analogique
- IC2 = 7812 régulateur de tension positive
- T1 = BP 103-3

- D1, D3 = LED rouge
- D2 = LED verte
- D4 à D7 = 1N4001

S1 = bouton poussoir ouvert au repos

Platine d'expérimentation de format 1

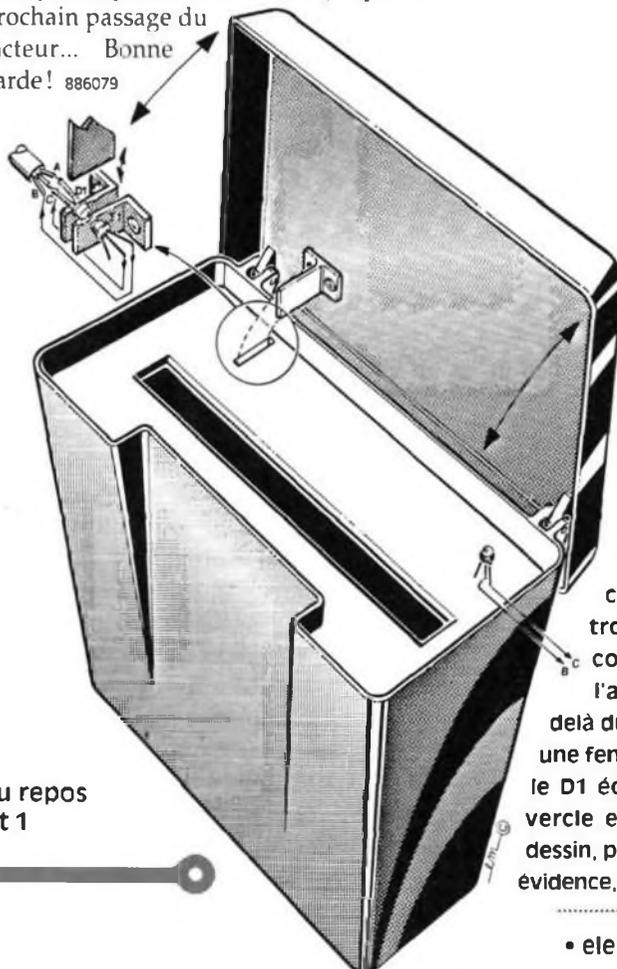


Figure 4 - Deux solutions pour équiper la boîte d'un interrupteur optique : l'une toute simple, utilisable si l'intérieur de la boîte est assez obscur et l'extérieur suffisamment éclairé, consiste à creuser un petit trou après avoir soulevé le couvercle pour y coller T1 ; l'autre, utilisable même au-delà du cercle polaire, nécessite une fente sur les bords de laquelle D1 éclaire T1 lorsque le couvercle est levé. La diode D1 du dessin, pour une meilleure mise en évidence, n'est pas encore en place.

le principe à connaître

Vous dites ? Vous ne saisissez pas tout à fait ce que le titre signifie ? C'est simple, nous nous proposons de fabriquer une tension de plus et moins 9 V ( $\pm 2U_p$ ) à partir de la tension continue de 4,5 V ( $U_p$ ) disponible aux bornes d'une pile plate par exemple.

Vous avez l'impression que nous voulons vous mener en bateau : nous sommes pourtant loin du premier avril. Vous pensez qu'un doubleur de tension nécessite un transformateur donc une tension alternative en entrée. Vous avez raison. C'est pourquoi nous ne disons pas que nous voulons "transformer" mais "convertir" : notre dispositif est un convertisseur de tension continu-continu. Son principe est presque aussi vieux que Matthieu Salé, un peu moins à vrai dire, mais de toutes façons très simple.

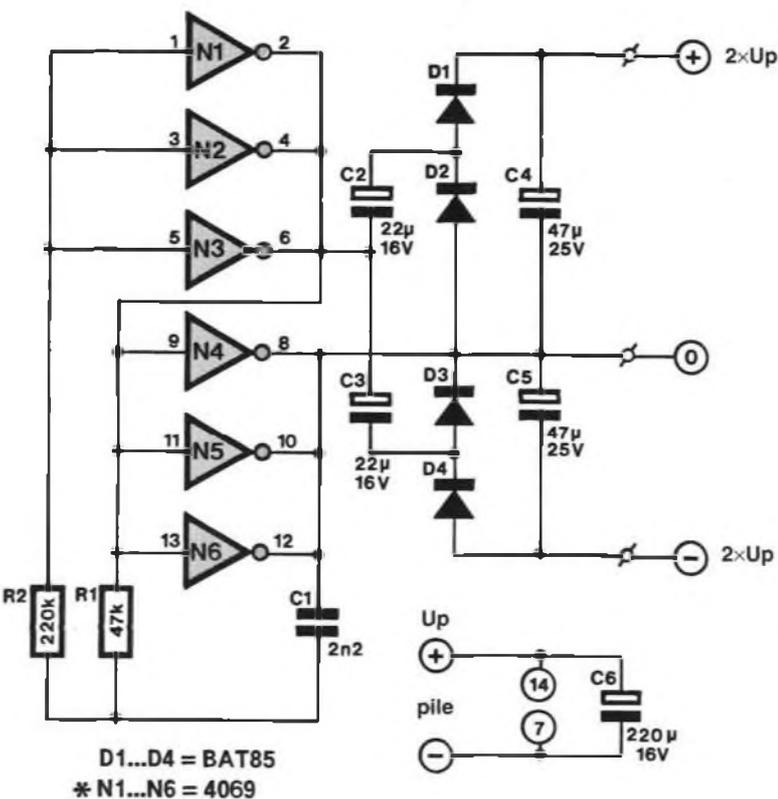
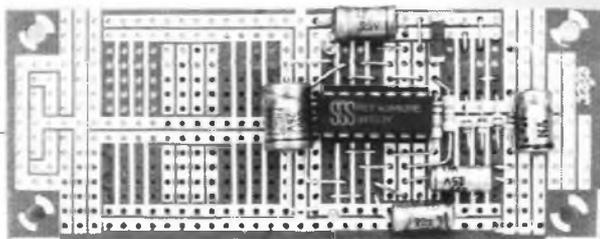
Donc rien de nouveau sous le soleil. Tout tourne autour d'un oscillateur dont le signal de sortie est quadruplé par une cascade double de redresseurs-lisseurs de telle façon que la tension de sortie soit symétrique et deux fois supérieure à la tension d'entrée. Si nous utilisons par exemple une banale pile plate de 4,5 V comme source de tension, le convertisseur nous fournira en sortie, sans charge, plus et moins 9 V. Les inconvénients du dispositif sont de taille : l'intensité du courant disponible en sortie est réduite (3 mA, dans la situation décrite plus haut) ce qui en limite considérablement les applications. Même si une extension nous permettra de la porter à quelques dizaines de milliampères,

c'est peu, mais suffisant pour alimenter par exemple des amplificateurs opérationnels de faible puissance. Le but de l'opération est cependant plus didactique que pratique.

Encore un mot avant d'entreprendre l'étude du schéma : la façon dont nous procédons pour élever la tension fait que la référence de la tension de sortie est à un niveau différent de celle de la tension d'entrée. Le circuit ne pourra pas être utilisé pour la conversion de signaux logiques vers  $\pm 10$  V comme le font les adaptateurs de niveau TTL/RS232 (entre minitel et ordinateur) par exemple.

le schéma

doubleur de tension symétrique à pile de  $+U_p$  à  $\pm 2U_p$



élevateur de tension

Ce qui saute aux yeux à la vue de la figure 1 c'est le nombre relativement important d'opérateurs logiques (N1 à N6). Pour faciliter la compréhension, la figure 2 les présente d'une manière différente. La configuration est la même, le dessin, plus explicite, met en évidence un générateur de tension alternative carrée dont la seule particularité est de comporter plusieurs portes en parallèle. Nous n'avons pas procédé de la sorte parce que nous disposions d'inverseurs à ne savoir qu'en faire mais pour "tamponner" l'oscillateur, lui donner de la "pêche" (c'est le *persicum* {*pomum*} des pugilistes). Le courant disponible à la sortie d'un seul inverseur est en effet dérisoire, en câblant plusieurs ainsi nous pouvons assurer quelque 3 mA à une éventuelle charge. C'est peu, nous verrons plus loin qu'il est possible de grossir cette ficelle jusqu'à la corde pour fournir quelques dizaines de milliampères. Nous empilerons littéralement les circuits intégrés pour obtenir ce résultat. Le circuit employé, le 4069 (ou 74HC04 ou 40106 suivant la tension d'alimentation), contient en effet les six opérateurs N1 à N6. Pour multiplier leur nombre, nous pouvons en souder d'autres à cheval sur le dos du premier. Nous y reviendrons.

Figure 1 - Prenez une pile de 4,5 V pour alimenter le circuit intégré. En sortie, vous pourrez mesurer, si la résistance d'entrée de votre voltmètre est assez grande (donc s'il ne représente pas une charge trop importante), une tension symétrique peu éloignée de 9 V.

L'autre particularité de l'oscillateur concerne ses deux sorties. Nous prendrons la tension disponible à sa sortie "normale", accessible sur les broches 8, 10 ou 12, comme référence, tandis que le signal présent sur la broche 6 sera redressé et doublé deux fois au moyen de redresseurs-lisseurs montés en cascade. Voyons le processus en détail : au branchement de la pile, un signal alternatif carré apparaît sur chacune des sorties. Ces tensions sont en opposition de phase puisque la première est inversée par rapport à la seconde par N4 et ses deux comparses : les niveaux logiques présents au même instant sur les broches 6 et 8 sont inversés l'un de l'autre. Lorsque l'une est à un, l'autre est à zéro et réciproquement (la référence ici est la même que celle de la pile). Exactement comme nous les avons représentés sur la figure 2.

Reprenons l'oscillateur, sur la figure 2. Supposons la sortie de N4 au niveau logique un (les sorties de N5 et N6 sont évidemment au même potentiel). Le condensateur C1 se charge bien sûr jusqu'à ce que le niveau au point de jonction de R1, R2 et C1 soit à zéro. À cet instant, l'entrée de N3 (N1 et N2) passe à zéro, entraînant sa sortie à un, donc celle de N4 à zéro : le condensateur se charge à travers R1 dans l'autre sens jusqu'à ce que l'entrée de N3 repasse à l'état haut. Le niveau présent à l'entrée de N4 s'inverse alors, et sa sortie prend le même état que l'entrée de N3, le condensateur se charge dans l'autre sens et tout recommence comme devant. Le rôle de R1 et R2 est vite expliqué : la constante de temps du circuit R1C1 détermine la fréquence  $f$  des oscillations du générateur ( $f \approx 1 / (2,2R1C1)$ ), d'autant moins influencée par R2 que cette résistance de limitation du courant, est plus grande.

Nous disposons donc déjà d'une tension double de celle de l'alimentation qu'il nous faut maintenant redresser puisqu'elle est alternative. Reprenons la figure 1. Le circuit de redressement et de gonflage comprend, pour les alternances positives C2, C4, D1 et D2 ; pour les alternances négatives, leurs symétriques, C3, D3, D4 et C5. Reprenons, après avoir branché notre pile de 4,5 V, au moment où nous avons un état bas sur la sortie de N3 (et un état haut sur celle de N4). Comme le circuit est un CMOS, nos états hauts correspondent à peu de chose près à la tension d'alimentation. Le condensa-

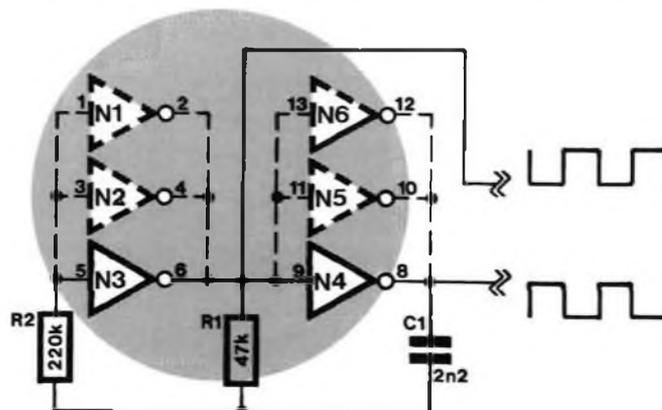


Figure 2 – Cette présentation permet de mieux distinguer le générateur de signaux rectangulaires et les deux sorties que nous en utilisons.

### les composants

teur C2 va donc se charger, par l'intermédiaire de la diode D2, à 4,5 V. Dès que les sorties des inverseurs changent d'état (celle de N3 passe à un et celle de N4 à zéro), la diode D2 se bloque. À ses bornes la tension n'est plus seulement celle qui régnait aux bornes du condensateur, il s'y ajoute en effet le "un" logique de N3. Nous pouvons dire que la sortie de N3 "soulève" le potentiel de l'armature négative du condensateur de 4,5 V (par rapport à la référence). En bonne arithmétique, nous avons  $1+1=2$ , soit  $4,5\text{ V}+4,5\text{ V}=9\text{ V}$ . C'est sous cette tension de 9 V que le condensateur C4 va se charger par l'intermédiaire de la diode D1. Nous aurons donc en sortie (en l'absence de charge) une fois l'opération terminée, 9 V de tension entre la référence et l'armature positive de C4. C'est de l'acrobatie, comme au cirque, où deux artistes de 1,80 m, montés l'un sur les épaules de l'autre, font un géant de 3,60 m (à une tête près).

Les mêmes choses, au signe près, se produisent dans l'autre partie du circuit lors des alternances négatives, de sorte que nous ne pourrions que nous répéter. Pour que les choses soient claires, nous obtiendrions un résultat semblable (en tension) en branchant deux piles de 9 V en série (le "plus" de l'une au "moins" de l'autre) : par rapport au point commun choisi comme référence de tension, nous mesurerions plus 9 V d'un côté et moins 9 V de l'autre.

Un point cependant à noter : la référence ici n'est pas fixe, elle oscille si nous la mesurons par rapport à celle de l'alimentation. C'est un zéro baladeur qui ne vaut 0 V que par rapport aux tensions de sortie.

Il nous fallait limiter les chutes de tension au minimum, c'est pourquoi nous n'avons pas choisi les diodes habituelles pour D1 à D4, mais des diodes Schottky du type BAT85. Leur tension de seuil est en effet inférieure à celle des diodes 1N4148 équivalentes (0,3 V au lieu de 0,6 V). De cette façon la tension de sortie approche mieux du quadruple désiré de la tension d'entrée. Ensuite, comme nous l'avons dit plus haut, pour obtenir un courant de sortie plus conséquent, il est possible de multiplier les inverseurs tout simplement en les empilant les uns sur les autres (en parallèle donc). Il suffit de poser le premier sur le second puis le second sur le troisième etc. (ou le troisième sur le second et l'ensemble sur le premier si vous préférez) en soudant ensemble les broches de même rang. Dans certains cercles d'électroniciens, on appelle ces sortes d'édifices des *piggy-back*\*.

Concernant maintenant la source de tension, la pile de 4,5 V n'est bien sûr pas obligatoire. On peut alimenter le circuit sous 9 V ou sous 12 V, sachant que cette dernière tension est un maximum. Pour des tensions inférieures à 6 V (3 V au minimum) remplacez les 4069 par des 74HC04 qui ont une capacité de commande plus élevée (attention, pas de 74LS ; un 74HCT peut par contre convenir). Pour les tensions supérieures à 6 V, le 4069 ou le 40106 font l'affaire à condition, si vous choisissez le 4069, que ce circuit soit tamponné : il doit donc être de

\*Nous vous laisserons choisir une traduction de ce vocable. Rien à voir par exemple avec le Tour de cochon, la Tour de Nesles, ni avec le juge de Jeanne d'Arc. - À califourchon ? - Pourquoi pas.

A doubleur de tension

## LOGIC LAB EXPLORER

Logiciel de simulation logique à la portée de tous.  
(Décrit dans ELEKTOR 167)

- Puissant (Analyseur 16 voies)
  - Rapide
  - 100% graphique
  - Ultra convivial
- Et ce n'est pas tout...



**LOGIC LAB EXPLORER.. 103.3500 590,00F seulement**  
FICHE TECHNIQUE DETAILLÉE SUR SIMPLE DEMANDE

**ETONNIFIANT !**  
DE + EN +  
POUR DE MOINS EN MOINS

- 1 Quartz 3,2768 MHz
- 4 DL 470
- 1 Cordon de liaison PERITEL spécial pré-câblé
- 1 68705
- 1 Alim. secteur 12 V
- 1 Quartz 4,000 MHz
- 1 68705

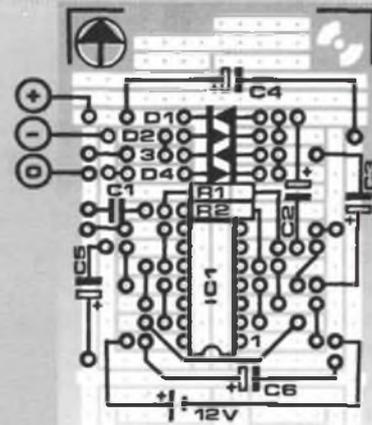
**LE TOUT POUR 119,00 F**  
EST-CE BIEN RAISONNABLE ?

L'ensemble..... 103.3298 **119,00F**  
Par 10 jeux..... **115,00F** seulement !  
Le coffret D 30..... 103.3296 **33,00F**

**STYLO LASER 1mW**  
Rouge - 670 nm - Portée moy. : 100 m

LE STYLO-LASER..... 103.2221 **1193,00 F**

BP 513 - 59022 LILLE - Tél. : 20.52.98.52  
FAX 20 52 12 04 - TELEX 820939



### Liste des composants

R1 = 47 kΩ  
R2 = 220 kΩ

C1 = 2,2 nF  
C2, C3 = 22 µF/16 V  
C4, C5 = 47 µF/25 V  
C6 = 100 µF/16 V

D1 à D4 = BAT85  
IC1 = 74HC04 ou 4069\*

Platine d'expérimentation de format 1

\*voir le texte

type B. On trouve encore souvent des 4069 dont les sorties ne sont pas tamponnées, ces 4069UB ne vont pas ici.

### construction

Le circuit n'occupe qu'une moitié de platine d'expérimentation de format 1, comme vous pouvez le constater sur la figure 3. Il n'y a pas grand chose à dire à ce stade des opérations, en dehors de la litanie : « N'oubliez ni les ponts de câblage ni la polarisation des composants tels que diodes et condensateurs électrochimiques ». La routine enfin. La construction de la tour est un peu plus inhabituelle. Il est d'abord conseillé d'utiliser un support et de faire les essais avec un seul circuit ; ensuite, de ne pas souder toutes les broches en même temps. Commencer par les broches 1, puis passer aux broches 8, revenir aux broches 2 etc. Entre chaque soudure, laisser aux circuits le temps de se refroidir.

dir. Toutes ces précautions ne sont pas inutiles, les circuits ne supportant pas d'être chauffés trop longtemps.

Une remarque pour terminer. Comme nous l'avons dit plus haut, l'intensité du courant disponible en sortie est assez petite. Plus la charge sera élevée, plus la tension baissera, jusqu'à se mettre à genoux. Si vous ne mesurez pas ce que nous annonçons, ne vous reprochez pas trop vite une erreur de montage. Commencez par vérifier les dimensions de la charge (résistance d'entrée de votre volt-mètre par exemple).

886117

Figure 3 - Un tel convertisseur ne vaut pas que l'on se donne la peine de lui graver un circuit imprimé. C'est un dispositif "expérimental" destiné à introduire quelques trucs utiles. L'alimentation est représentée aux bornes de C6 sous la forme d'une "pile" de 12 V.

