PDF Page Organizer - Foxit Software

électronique

elex

n° 7
janvier 1989
nivôse CXCVIII
146 FB/7,80 FS
mensuel

explorez l'électronique

- **initiation à l'électronique analogique et numérique**
- **bande dessinée originale en couleurs**
- **interphone à 3+1 postes**

LES ONDES

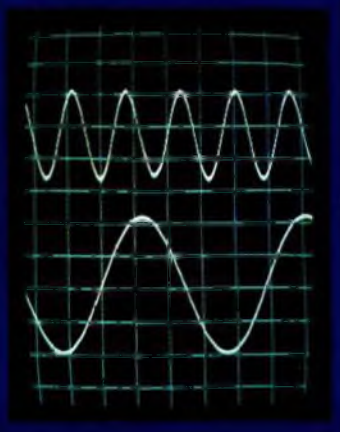
M 2510 - 7 - 20,00 F
3792510020001 00070

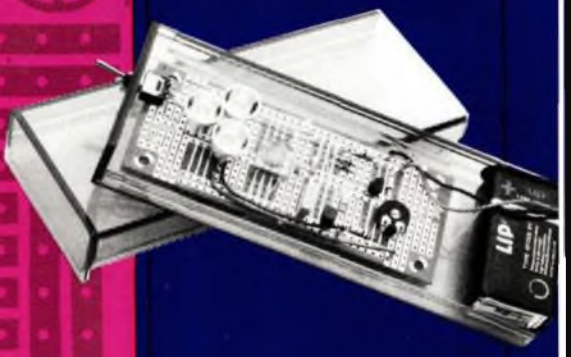
PDF Page Organizer - Foxit Software

elex

BP 53
59270 BAILLEUL

SOMMAIRE ELEX N°7





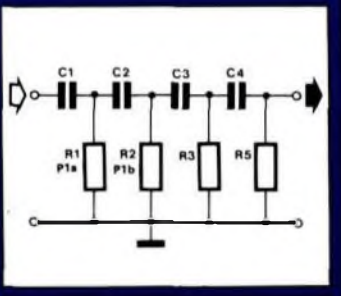
R U B R I Q U E S

11 - les symboles illogiques d'ELEX
30 - histoire de rire
46 - drôle d'étoile

RÉSI et TRANSI
6 - Dis donc, les ondes

P R A T I Q U E

28 - le pied à coulisse
20 - fabriquer des circuits imprimés
26 - construire un moteur expérimental



I N I T I A T I O N

42 - analogique anti-choc 2ème épisode
50 - la logique sans hic ! (7)

4 - les ondes
12 - diviseur de tension calculé en BASIC
16 - charge et décharge: le circuit RC
24 - le déphasage
31 - le condensateur de lissage

R É A L I S A T I O N S

8 - indicateur de gel
13 - sirène
18 - oscillateur RC
29 - arbitre électronique
34 - interphone à 2, 3 ou 4 postes
39 - lampe de poche pour labo photo

PDF Page Organizer - Foxit Software

ONDES

Les tensions alternatives, voilà un chapitre inépuisable. Ce n'est donc pas en une petite page d'ELEX que nous en viendrons à bout. Retenons toutefois que dans toutes les tensions alternatives, une seule chose est invariable : le changement continuel de polarité. Autrement dit, non seulement la valeur d'une tension alternative change tout le temps, mais en plus ce changement s'effectue selon une courbe (plus ou moins) symétrique de part et d'autre de la ligne (imaginaire) du zéro.

La tension alternative part du zéro effectue un certain parcours dans le domaine des valeurs de tension positives et revient à zéro.

De là elle repart pour décrire le même parcours, mais cette fois dans le domaine des valeurs de tension négatives. Ce sont les alternances positives et négatives.
Pour définir les ondes, on fait appel à trois caractéristiques distinctives.
La principale de ces caractéristiques est **la forme d'onde**. La forme d'onde est le tracé du parcours effectué par la tension tour à tour dans le domaine des valeurs positives et négatives. Les ondes sinusoïdales (reconnaissables aisément à leur tracé sinueux) sont la forme la plus utilisée, avant tout pour la distribution d'énergie.

Pour décrire un signal d'une forme d'onde donnée, on dispose de deux caractéristiques fondamentales qui sont la fréquence et l'amplitude.

Nous verrons plus tard pourquoi et comment il se fait que les ondes sinusoïdales jouent un rôle si important. Les photos de la **figure 1** montrent l'évolution dans le temps d'une sinusoïde et de quelques autres formes d'onde importantes.
La fréquence indique le nombre de répétitions du cycle alternatif en une seconde. Une fréquence de 50 Hz (1 hertz = 1/seconde) correspond à 50 périodes (chaque période ou cycle comprenant une alternance positive et une alternance négative) par seconde. Si la forme d'onde considérée est sinusoïdale, nous savons d'après l'indication «50 Hz» que la tension, partant du zéro central, s'éloigne progressivement vers des valeurs positives, atteint une valeur positive de crête, puis revient vers le zéro central pour partir «en miroir» vers des valeurs négatives et enfin revenir vers le zéro central, ce cycle étant répété 50 fois par seconde. **Attention : L'indication «50 Hz» ne nous renseigne ni sur la forme d'onde, ni sur la valeur de crête (tour à tour positive et négative) atteinte par la tension alternative. Elle indique uniquement le nombre de cycles par seconde.**
Pour les fréquences élevées, on remplace les zéros par des lettres repères.
1 kHz = 1000 Hz (1 kilohertz)
1 MHz = 1000 kHz
(1 mégahertz)
1 GHz = 1000 MHz
(1 gigahertz)
Les mégahertz et gigahertz sont en usage, entre autres, dans les domaines du radar et de la radiodiffusion. La formulation
1 Hz = 1/s
nous fait comprendre que la fréquence représente l'inverse d'un temps, ici le temps T (période) que dure une ondulation.
$f = 1/T$

Comme une tension alternative est en changement permanent, il est difficile de spécifier des valeurs de tension.

L'écart entre l'axe 0 V et le point de la courbe alternative qui en est le plus éloigné s'appelle l'**amplitude**. Pour

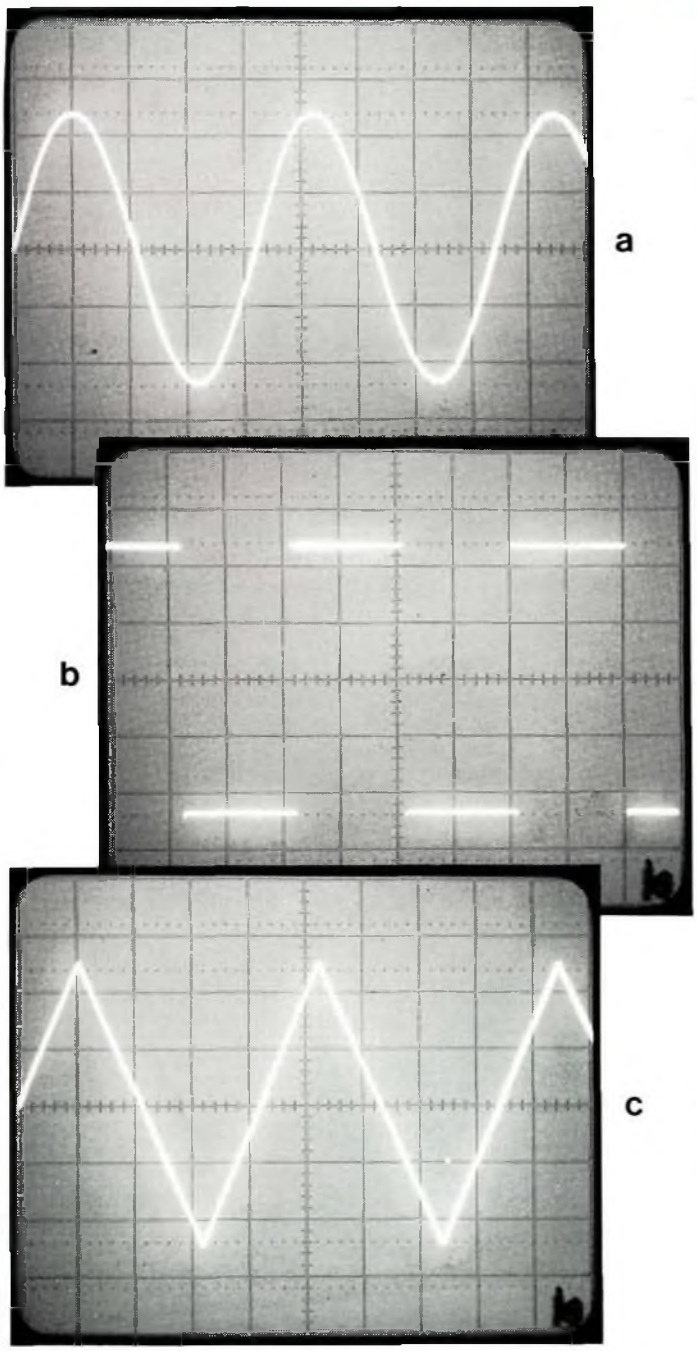
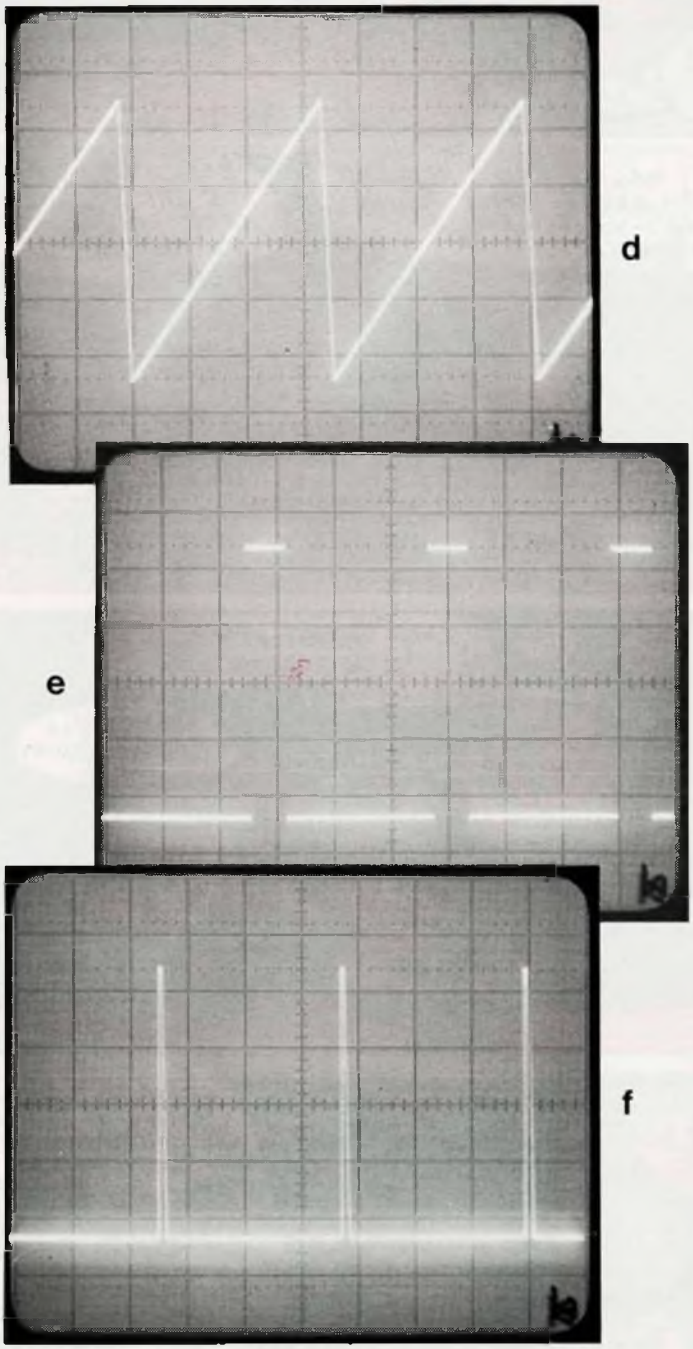


Figure 1 Oscillogrammes de tensions alternatives de formes diverses :
a. sinusoïde
b. carré
c. triangle

PDF Page Organizer - Foxit Software



d. dent de scie
e. rectangle
f. impulsions triangulaires

fixer cette notion, pensez par exemple à l'amplitude du mouvement de va-et-vient d'une balançoire, ou encore celui des vagues sur l'eau. Les fanas d'athlétisme trouveront peut-être une analogie intéressante entre les phénomènes de tension continue ou alternative d'une part, et d'autre part les techniques de lancer du poids ou du javelot opposées à celles du lancer du marteau ou du disque. L'opposition et la symétrie entre alternances positives et négatives nous semble bien mise en lumière par la comparaison entre les tensions alternatives et . . . l'action d'une pompe à vélo (alternance aspiration-refoulement). Dans le premier numéro d'ELEX, Résі et Transi s'entretenaient du problème des tensions alternatives et continues, page 16, et Résі comparait la tension à un train qui reliait PARIS, MARSEILLE et BORDEAUX. Partant de Paris, passant par Marseille et arrivée à Bordeaux, la tension continue continue (c'est le cas de la dire) vers Paris et de là repart sur Marseille, alors que la tension alternative rebrousse chemin, repasse par Marseille, etc . . . A vous maintenant de chercher les analogies qui vous permettront de fixer dans votre esprit la distinction entre tensions alternatives et continues.

Revenons aux indications de tension pour les signaux alternatifs. Il est courant aussi de spécifier l'écart entre les points extrêmes de la courbe de tension, sous la dénomination de **tension crête à crête**. Mais ces définitions ne sont pas optimales puisque ces valeurs ne sont vraies qu'à un instant donné. En plus de cela, la valeur instantanée est tout bonnement nulle deux fois par cycle alternatif. Ceci n'est pas sans conséquence sur la puissance fournie par notre tension alternative.

Une tension alternative de 310 V d'amplitude par exemple fournit beaucoup moins de puissance qu'une tension continue de 310 V, qui délivre sa puissance en permanence. Une tension continue, pour être équivalente à une tension alternative de 310 V par exemple, ne serait que de 220 V. On appelle **tension efficace** cette tension continue équivalente (par la puissance fournie).

L'amplitude d'une tension sinusoïdale est supérieure de 41% ($\sqrt{2} - 1$) à la tension efficace, précisément 310 V d'amplitude pour 220 V de tension efficace. Une raison de plus d'être prudent quand vous approchez la tension du secteur !

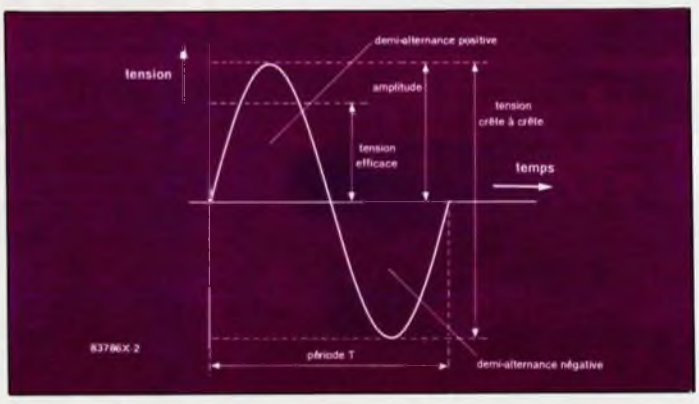


Figure 2. Illustration des différentes caractéristiques de la tension. Les tensions sont représentées verticalement, le temps de gauche (début) à droite (fin).

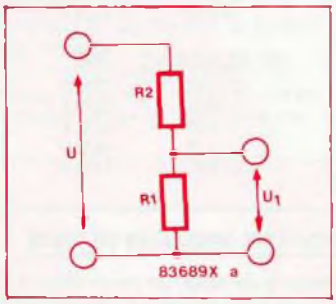
PDF Page Organizer - Foxit Software

DIVISEUR DE TENSION CALCULÉ EN BASIC

Le diviseur de tension composé de deux résistances a déjà été présenté, détaillé, analysé et utilisé à plusieurs reprises dans ce magazine. Pas étonnant puisqu'il est l'un des éléments de base du grand «mécano» électronique. En voici à présent une nouvelle approche, destinée plus spécialement à ceux d'entre vous qui n'ont pas pour l'électronique une passion exclusive, mais qui savent s'intéresser à d'autres disciplines plus ou moins apparentées. Ici, c'est bien entendu d'informatique qu'il va être question.

Avant d'entrouvrir notre première lucarne sur le monde des ordinateurs, reprenons rapidement le problème de la division de tension. La fraction de tension aux bornes de la résistance R1 est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$U1 = U \frac{R1}{R1 + R2}$$



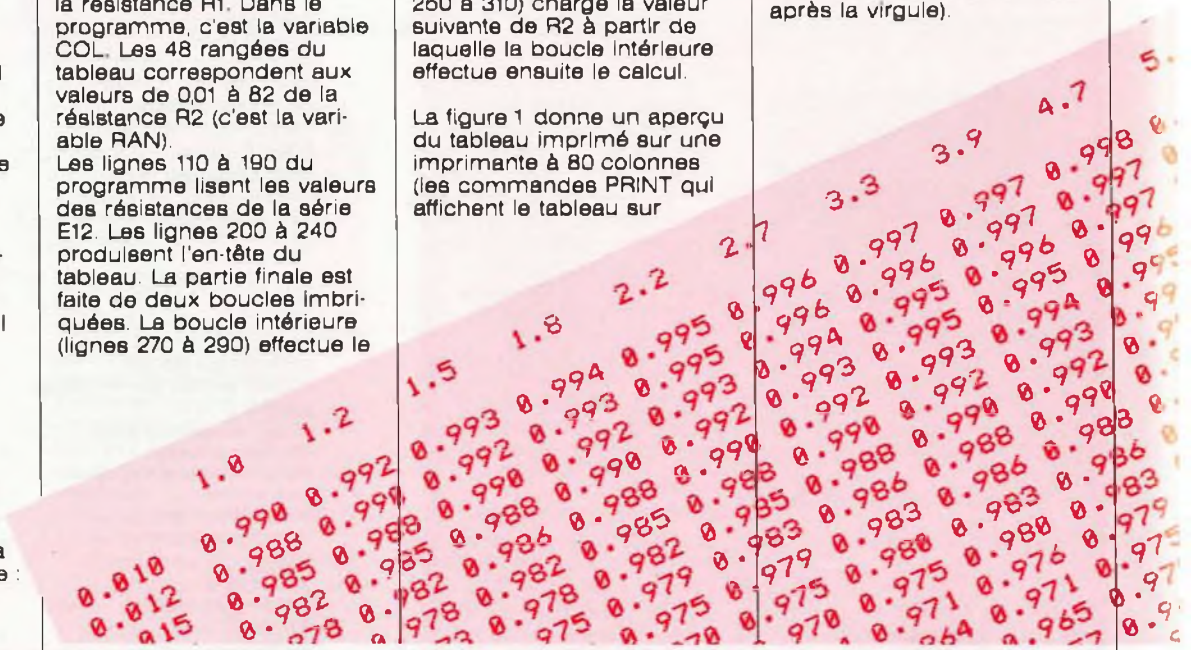
La fraction :

$$\frac{R1}{R1 + R2}$$

donne le rapport entre les tensions et indique donc le facteur d'atténuation de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée du diviseur.
Le programme en BASIC que nous vous proposons ci-contre produit un tableau des rapports obtenus avec des résistances de la série E12. Ce tableau comporte donc 12 colonnes, à raison d'une par valeur de la série E12 de 1 à 8,2 pour la résistance R1. Dans le programme, c'est la variable COL. Les 48 rangées du tableau correspondent aux valeurs de 0,01 à 82 de la résistance R2 (c'est la variable RAN).
Les lignes 110 à 190 du programme lisent les valeurs des résistances de la série E12. Les lignes 200 à 240 produisent l'en-tête du tableau. La partie finale est faite de deux boucles imbriquées. La boucle intérieure (lignes 270 à 290) effectue le calcul proprement dit (ligne 280) pour une ligne du tableau imprimée aussitôt. La boucle extérieure (lignes 250 à 310) charge la valeur suivante de R2 à partir de laquelle la boucle intérieure effectue ensuite le calcul.

La figure 1 donne un aperçu du tableau imprimé sur une imprimante à 80 colonnes (les commandes PRINT qui affichent le tableau sur l'écran doivent être remplacées par des instructions équivalentes qui imprimeront le tableau : par exemple LPRINT).
Si vous ne pouvez ou ne voulez pas afficher ou imprimer le tableau sur 80 colonnes, modifiez les lignes 250 (nombre de lignes du tableau), 210 et 270 (choix des colonnes). Il importe que les limites choisies pour la ligne 210 soient les mêmes que celles choisies pour la ligne 270. Si le modèle d'ordinateur dont vous disposez n'accepte pas de variables à 3 caractères, il faudra penser à adapter celles du programme (COLonne et RANgée).

Et si votre bécane ne connaît pas la pourtant classique instruction PRINT USING, il faudra modifier la ligne 280 (en rajoutant éventuellement un sous-programme pour limiter le nombre de chiffres après la virgule).




```
100 REM diviseur de tension
110 R = 48
120 DIM E12(R)
130 FOR RAN = 1 TO R
140 READ E12(RAN)
150 NEXT RAN
160 DATA .01,.012,.015,.018,.022,.027,.033,.039,.047,.056,.068,.082
170 DATA .10,.12,.15,.18,.22,.27,.33,.39,.47,.56,.68,.82
180 DATA 1.0,1.2,1.5,1.8,2.2,2.7,3.3,3.9,4.7,5.6,6.8,8.2
190 DATA 10,12,15,18,22,27,33,39,47,56,68,82
200 PRINT '' '';
210 FOR COL = 25 TO 36
220 PRINT USING ''#.#'';E12(COL);:PRINT'' '';
230 NEXT COL
240 PRINT
250 FOR RAN = 1 TO 10
260 PRINT USING ''##.###'';E12(RAN);:PRINT'' '';
270 FOR COL = 25 TO 36
280 PRINT USING ''#.###'';E12(COL)/(E12(RAN)+E12(COL));:PRINT'' '';
290 NEXT COL
300 REM
310 NEXT RAN
```

PDF Page Organizer - Foxit Software

SIRÈNE

UN PEU D'HISTOIRE POUR DÉBUTER !

L'animal fabuleux de la mythologie grecque à tête et torse de femme et à queue de poisson qui passait pour attirer les navigateurs sur les écueils par la douceur de son chant, est devenu au cours du 19.f5-è$_{me}$ siècle un engin bruyant destiné à nous avertir d'un événement important ou à attirer notre attention sur un danger ou sur une menace.

C'est en 1820 qu'un certain **Cagniart de la Tour** donna ce nom à un appareil de son invention, qui émettait des sons dans l'eau. Le lien initial entre cet engin et la sirène de la mythologie s'est relâché progressivement car depuis lors on désigne sous le même nom les puissants appareils destinés à produire un signal sonore utilisé d'abord sur les navires et dans les ports et par la suite dans diverses installations et à bord de certains véhicules.

A l'origine, une sirène produisait des sons par l'émission intermittente de jets de vapeur ou d'air comprimé.

LA SIRÈNE ÉLECTRONIQUE

L'électronique est venue bouleverser bien des techniques, dont celle des sirènes. La sirène que nous vous proposons ici est basée sur un circuit intégré CMOS, quelques résistances et condensateurs ainsi que sur deux transistors de puissance destinés à donner du "souffle" à l'appareil. Elle est capable soit de produire l'avertissement classique à deux sons de hauteur différente ou bien d'imiter la fameuse sirène Kojak utilisée par la police américaine.

DIAGRAMME FONCTIONNEL

Le diagramme de la **figure 1** comporte trois fonctions (blocs A, B et C) ainsi qu'un réseau RC. Le bloc A est un multivibrateur astable qui produit une onde carrée à très basse fréquence (quelques hertz). Le réseau RC transforme ce signal carré en signal en dents de scie. Le multivibrateur astable du bloc B produit également une onde carrée de fréquence sensiblement plus élevée puisqu'elle est comprise entre 0,5 kHz et 1 kHz. Finalement, le bloc C amplifie le signal résultant.

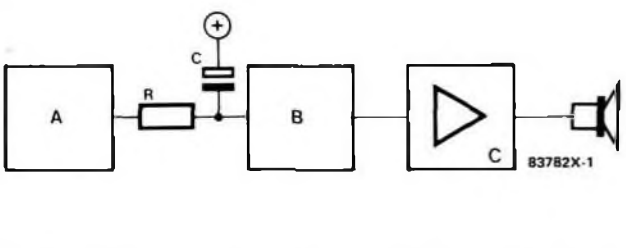


Figure 1 - Diagramme fonctionnel de la sirène. L'oscillateur A produit un signal carré que le réseau RC transforme en signal en dents de scie appliqué à l'entrée de l'oscillateur B. Le hurlement caractéristique de la sirène provient de la modulation du signal de l'oscillateur B par le signal en dents de scie. L'amplificateur C fournit un signal puissant au haut-parleur.

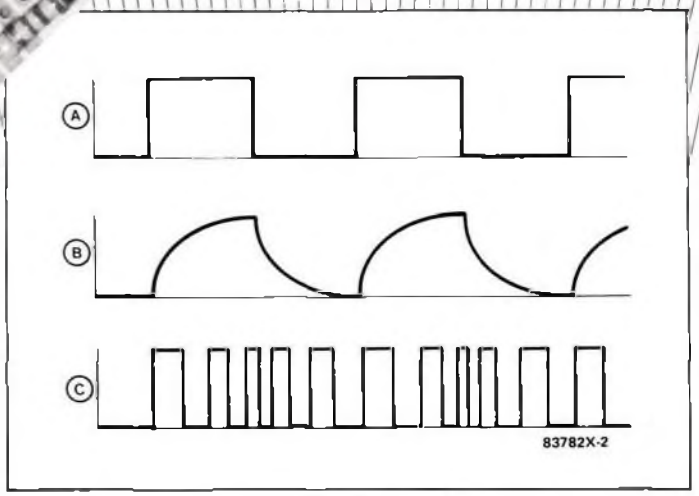


Figure 2 - Voici les diagrammes simplifiés des signaux de sortie des différents blocs fonctionnels de la figure 1. Le diagramme A est celui des signaux issus de l'oscillateur A. En B on voit les dents de scie du signal de sortie du réseau RC. Le diagramme C est celui du signal caractéristique de la sirène. Il provient de la modulation par le signal en dents de scie, du signal produit par le bloc fonctionnel B.

Si le signal issu du bloc B était amplifié tel quel par l'amplificateur de sortie (bloc C), nous entendrions un signal uniforme sans effet de sirène. La **figure 2** montre ce qui se passe en réalité : le signal carré **A** issu du bloc A est transformé par la fonction intégratrice du réseau RC en un signal **B** dont l'amplitude croît progressivement puis se met brusquement à décroître. Ce signal en dents de scie attaque l'entrée du bloc B et en modifie la fréquence d'oscillation fondamentale.

AMBULANCE OU SUPER-FLIC

Le signal de sortie du bloc B (signal **C**) est donc modulé au rythme du signal **B**. En d'autres termes, le signal **C** est transposé tantôt vers l'aigu tantôt vers le grave. C'est la fréquence du signal **B** qui détermine la vitesse de la modulation et pour cette raison on l'appelle fréquence de modulation. Si cette fréquence est peu

PDF Page Organizer - Foxit Software

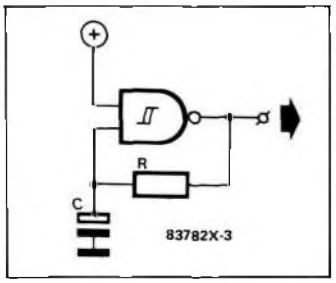


Figure 3 - Schéma de principe du multivibrateur astable A que nous appelons également oscillateur A.

élevée comme dans le cas présent (0,5 Hz à 2 Hz), on a l'impression que la sirène possède une double tonalité.

L'accroissement de la fréquence de modulation fait disparaître l'effet sirène de "kojak" car la succession des deux sons de hauteur différente devient si rapide que l'oreille ne parvient plus à les différencier. Le signal ressemble alors à un simple hurlement de sirène, plus au moins rauque selon la fréquence de modulation.

Le composant central du montage est un circuit intégré IC4093. Il contient quatre opérateurs logiques NON-ET (NAND) à deux entrées à trigger de Schmitt. La lettre S stylisée à l'intérieur du symbole de l'opérateur logique signifie tout simplement que ses entrées sont à **trigger (déclencheur ou bascule) de Schmitt**. Cela signifie que le seuil de basculement de 1 vers 0 n'est pas le même que le seuil de basculement de 0 vers 1. En d'autres termes, **elles ont deux zones de basculement distinctes et bien déterminées qui correspondent respectivement aux seuils de passage de la sortie de l'opérateur de 0 vers 1 et de 1 vers 0.**

CE CIRCUIT EST UN OSCILLATEUR : UN CONDENSATEUR SE CHARGE ET SE DÉCHARGE CYCLIQUEMENT SOUS L'ACTION D'UN OPÉRATEUR LOGIQUE NON-ET A TRIGGER DE SCHMITT

L'un des quatre opérateurs logiques est l'élément de base du premier multivibrateur astable (**figure 3**) dont le fonctionnement est très facile à comprendre.
Prenons comme hypothèse de départ que la sortie de l'opérateur NON-ET soit au niveau logique 1 : le condensateur C se charge à travers la résistance R jusqu'au moment où sa tension égale celle du seuil supérieur de basculement de cette entrée.

L'autre entrée de l'opérateur est branchée à demeure sur la tension d'alimentation qui se situe bien au-delà du seuil de basculement supérieur. Du fait que les deux entrées de cet opérateur sont maintenant au niveau logique haut, la sortie de l'opérateur passe au niveau 0. Cette nouvelle situation provoque la décharge du condensateur C, à travers la résistance R, qui se poursuit jusqu'au moment où la tension à l'entrée de l'opérateur atteint le seuil de basculement inférieur. A cet instant la sortie de l'opérateur passe de 0 vers 1 et le cycle recommence.
La répétition de ce cycle est de fait une oscillation, ce qui nous permet de dire que le circuit qui la provoque est un **oscillateur.**

Le deuxième multivibrateur astable est également un oscillateur mais sa conception est fort différente de celle du premier (voir **figure 4**). Ici ce sont deux opérateurs logiques NON-ET montés en inverseurs au lieu d'un seul. L'emploi de **deux** condensateurs et de **deux** résistances distincts permet de faire commander séparément la durée des impulsions et celle des intervalles. Si R1 est égal à R2 et si C1 a la même valeur que C2 la durée des impulsions est égale à la durée des intervalles entre deux impulsions.

Chacun des deux opérateurs possède une sortie dont l'état logique est l'inverse de celui de l'autre (si l'une des sorties est à l'état 1, l'autre sortie est à l'état 0). Cette caractéristique n'est pas aussi significative dans ce montage-ci que ne l'est en revanche la possibilité de moduler la fréquence fondamentale de ce multivibrateur. Pour en tirer parti il faut modifier légèrement le montage de la façon dont on l'a fait dans le schéma d'ensemble de la **figure 5**.

LE SCHÉMA COMPLET

Sur le schéma d'ensemble l'identification de ce multivibrateur est aisée : les opérateurs logiques N2/N3, les résistances R3/R4 et les condensateurs C4/C5. Les résistances ne sont toutefois pas reliées à la masse comme elles le sont dans le schéma de la figure 4, mais leur connexion commune est soumise à la tension de modulation issue du réseau RC (R2-P2/C3). La résistance réglable P2 détermine l'amplitude de la tension de modulation. De fait elle fixe l'excursion entre la fréquence la plus basse et la plus élevée. Comme nous l'avons expliqué plus haut, la modulation du signal produit par le deuxième multivibrateur donne naissance au son typique de la sirène que l'étage de sortie est appelé à amplifier.

DE LA PUISSANCE EN RÉSERVE

L'étage de sortie est un montage Darlington que nous avons déjà rencontré dans Elex du mois de novembre 1988 placé sous le signe du transistor (turbo transistor, page 46). Le transistor T1 multiplie par son gain propre le courant issu du deuxième multivibrateur. Le courant de collecteur qui en résulte est le courant de base du transistor T2. Celui-ci à son tour multiplie ce courant de base par son gain propre : prenez garde, le courant de sortie du montage Darlington est vraiment musclé ! Vous avez tout intérêt à utiliser un haut-parleur de 5 W/8 Ω pour éviter que sa bobine mobile ne s'échauffe trop vite et que sa carrière ne se termine par le "couac" du moribond (Cf votre BD préférée).

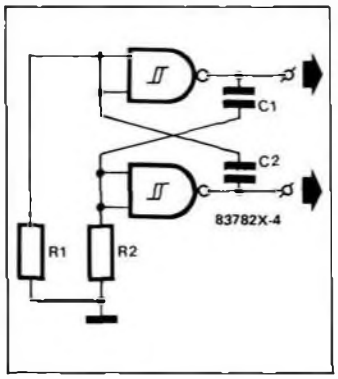


Figure 4 - Le schéma du deuxième multivibrateur astable B est très différent de celui du premier. Il constitue lui aussi un oscillateur.

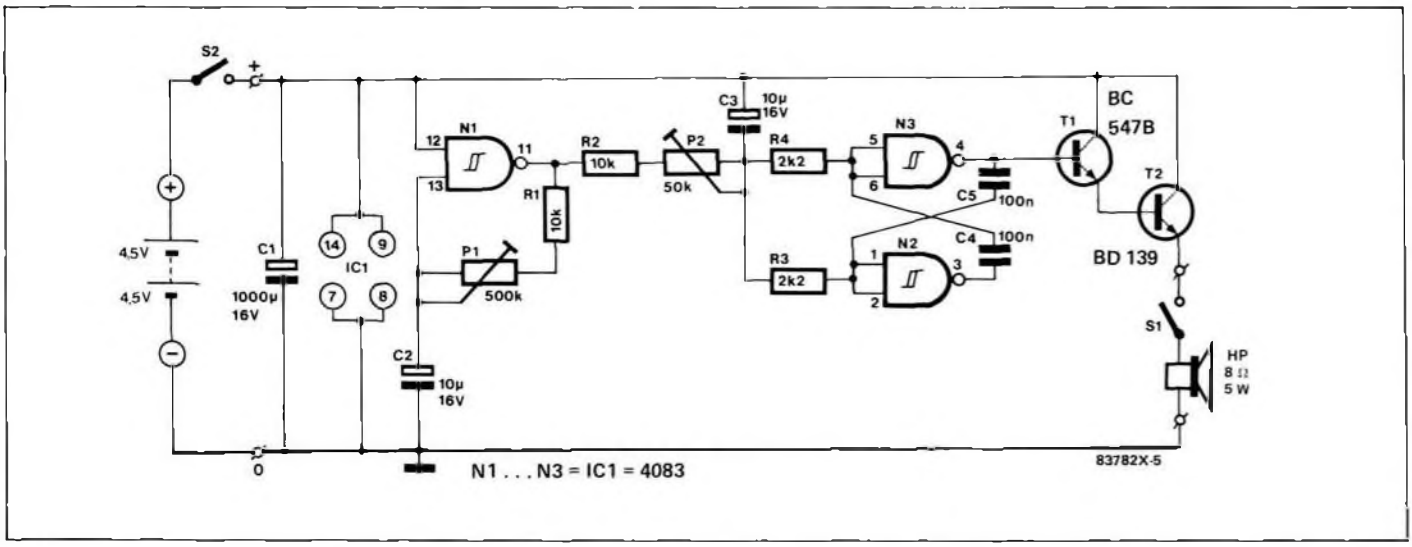


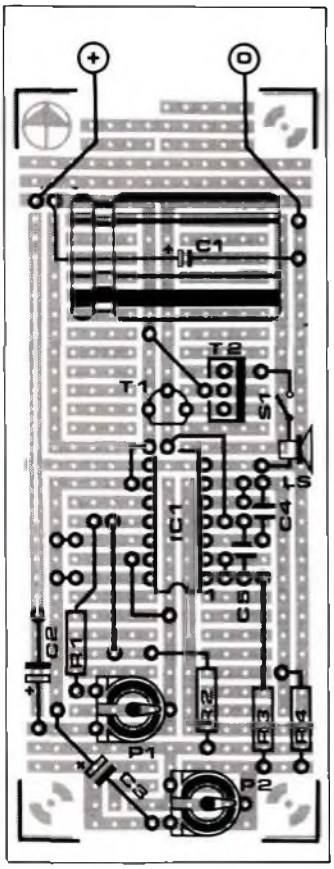
Figure 5 - Schéma d'ensemble de la sirène. Grâce à la résistance réglable P2 il est possible de choisir les deux sons émis par la sirène. La résistance réglable P1 permet en outre de faire varier la vitesse avec laquelle les deux fréquences se succèdent.

PDF Page Organizer - Foxit Software

Liste des composants

R1,R2 = 10 kΩ
R3,R4 = 2,2 kΩ
P1 = 500 kΩ var.
P2 = 50 kΩ var.
C1 = 1000 µF/16 V
C2,C3 = 10 µF/16 V
C4,C5 = 100 nF
T1 = BC547B
T2 = BD139
IC1 = 4093
S1,S2 = interrupteurs unipolaires

Divers :
1 platine d'expérimentation de format 1
4 picots de soudure
2 batteries plates de 4,5 V
1 haut-parleur 8 Ω/5 W
1 coffret
matériel de montage



Revenons un instant vers l'oscillateur constitué par le premier multivibrateur astable. Vous remarquerez sur le schéma d'ensemble qu'en dehors de l'opérateur logique N1 il comporte le condensateur C2, la résistance R1 ainsi que la résistance réglable P1. Celle-ci permet de choisir dans certaines limites la fréquence d'oscillation du multivibrateur : entre 0,5 Hz et 10 Hz environ dans le cas présent. Une fréquence plus élevée donne lieu à une succession plus rapide des deux sons de hauteur différente.

L'alimentation de la sirène est assurée par deux batteries de 4,5 V en série. Pourquoi "batteries" alors que d'habitude nous employons le mot piles ? Tout simplement parce qu'il s'agit de batteries de piles (ou cellules non rechargeables). Chaque batterie contient 3 piles dont chacune délivre une tension de 1,5 V. La tension totale de l'alimentation devient égale à 9 V si vous prenez soin de relier le pôle positif d'une des deux batteries au pôle négatif de l'autre.

La sirène consomme un courant de un ampère si l'impédance du haut-parleur est de huit ohms. L'alimentation n'est pas capable de fournir un courant aussi important de façon continue. C'est pourquoi nous insérons un **condensateur tampon** (C1) de 1000 µF en parallèle sur l'alimentation.

Si la fonction de l'interrupteur S2 paraît normale, celle de S1 semble au contraire superflue. A première vue on se demande pourquoi la sortie du haut-parleur n'est pas connectée directement à l'émetteur du transistor T2. L'explication est pourtant bien simple : la charge du condensateur C3 dure environ deux secondes. Tant que la charge de ce condensateur est insuffisante le circuit RC n'est pas capable d'assurer sa fonction intégratrice : le signal n'est donc pas modulé. Après avoir fermé le contact de l'interrupteur S2 il faut attendre environ deux secondes avant de fermer l'interrupteur S1.

Figure 6 - Schéma d'implantation des composants qu'il est utile de regarder soigneusement afin de n'oublier aucun pont de câblage et d'orienter convenablement les composants. Un câble souple reliera le haut-parleur et l'interrupteur S1 au coffret contenant la platine d'expérimentation et les batteries.

Dans la pratique on laisse l'interrupteur S2 fermé durant toute la période d'utilisation probable de l'appareil et on ferme l'interrupteur S1 à l'instant où l'on veut produire le hurlement de sirène. Cette façon de procéder est intéressante quand par exemple la sirène est installée sur un vélo : elle se met à hurler sans délai dès que le contact de S1 est fermé. Il est d'ailleurs intéressant d'utiliser un bouton poussoir dans cette application particulière.

LA CONSTRUCTION

L'implantation d'un circuit intégré, de deux transistors et de quelques composants passifs n'exige que peu de place : une platine d'expérimentation de format 1 y suffit largement. Le schéma d'implantation des composants de la **figure 6** indique clairement la façon de disposer les différents composants du montage. Repérez les ponts de câblage et débutez le travail par l'installation de ces petites liaisons indispensables au fonctionnement du circuit.

Notez également la polarisation des condensateurs C1, C2 et C3 afin de les orienter correctement. Le transistor T2 est un transistor de puissance dont la face représentée par un trait gras sur la figure 6 est une surface métallique qui joue le rôle de radiateur. Elle est en contact électrique avec le collecteur du transistor qui peut dissiper une puissance maximale de 8 watts. Il n'est pas nécessaire d'y mettre un radiateur externe.
Installez le circuit intégré sur un support et n'oubliez pas de l'orienter dans le bon sens : le repère vers les potientiomètres.
Dès que les composants sont soudés sur le circuit, raccordez le haut-parleur et l'interrupteur S1 aux picots de soudure installés sur le côté droit de la platine. Il ne reste plus qu'à brancher l'alimentation avec son interrupteur S2 pour compléter l'installation.

Avant les tests, placez le curseur des résistances réglables P1 et P2 à mi-course et ouvrez l'interrupteur S1. Après avoir fermé l'interrupteur S2, attendez quelques secondes, puis vous fermez l'interrupteur S1. La sirène doit fonctionner immédiatement. La tonalité est réglable au moyen du potentiomètre P2 et la vitesse d'alternance des deux sons à l'aide du potentiomètre P1. Si le premier essai ne se passe pas comme prévu, éteignez l'appareil et revoyez soigneusement la qualité des soudures, les ponts de câblage, l'orientation des composants et leur emplacement. La réalisation est très simple et ne devrait pas vous donner le moindre souci si vous avez tout installé correctement. Un petit conseil : faites une petite enquête discrète pour vous assurer dans quel sens votre environnement est sensible au "chant des sirènes". Elle vous révélera les lieux d'utilisation possibles et vous évitera certaines mésaventures du genre de celles auxquelles s'expose régulièrement le "génial Olivier".

SIRÈNES

6396. **Sirène "Mignonne"** corps en cuivre nickelé, galerie ajourée, grille cache-poussière, turbine de 80 m/m montée sur double roulement à billes réglable. *Quoique d'un volume réduit, cette sirène s'entend de très loin grâce à son pavillon.....* 5.50

6409.

6405. **Sirène Stridente** en aluminium, extérieur cuivre nickelé, diamètre de la turbine 55 m/m, grille cache-poussière. Attache par chainette (sans collier, ni manette). Cette sirène montée sur roulements rectifiés à billes est d'une marche parfaite. Au moindre contact de son galet avec la roue, elle donne un son aigu qui va s'accentuant suivant la vitesse. *Modèle de fabrication supérieure.* 8.25

COMPOSANTS ELECTRONIQUES

FRANCE
RADIO ELECTRONIQUE
5 Rue de Chantal — BP 914
26009 VALENCE Cédex
Tél 75 55 09 97 - FAX 75 55 98 45
MINITEL 3615 : SOURI

PDF Page Organizer - Foxit Software

CHARGE ET DÉCHARGE : LE CIRCUIT RC

Rien.
Théoriquement, il ne se passe rien dans le circuit de la **figure 1**. Un condensateur déchargé a par définition une tension nulle, il se comporte comme un court-circuit.

Si on court-circuite une pile, sa tension tombe également à 0 V, et il ne peut plus être question de source de tension. Et pourtant le circuit fonctionne, car le court-circuit provoqué par le condensateur est heureusement de courte durée.

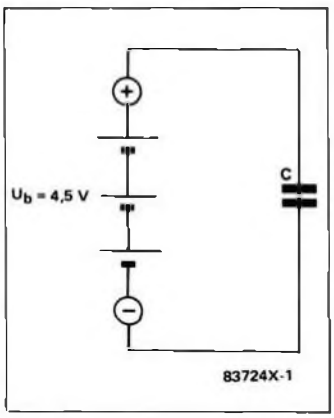


Figure 1. Le condensateur déchargé se comporte au début comme un court-circuit.

La pile charge le condensateur en une fraction de seconde. La tension du condensateur se trouve donc égale à celle de la pile. Dans les expériences qui suivent, nous allongerons la durée du processus de charge pour pouvoir l'observer précisément. Voici la liste du matériel nécessaire :

1 pile de 4,5 V
1 résistance de 330 Ω 1/8 W
1 condensateur électrolytique 1000 µF 10 V (minimum)
2 diodes électroluminescentes (LED) rouges
Un multimètre sur le calibre 5 V ou 6 V continu

L'ensemble, multimètre exclus bien sûr, ne coûte que quelques francs. Le montage ne sera pas soudé. Il suffit d'entortiller les fils selon la **figure 2**.

LES DEUX LED SONT LA POUR TÉMOIGNER DE LA CIRCULATION DES COURANTS DE CHARGE ET DE DÉCHARGE

Il faut veiller à respecter la polarité en branchant le condensateur (il s'agit d'un type de condensateur à très forte capacité, mais polarisé). Elle est marquée sur le boîtier. Les deux LED doivent témoigner de la circulation des courants de charge et décharge. Elles s'éclairent dès qu'un courant circule dans le sens direct (celui de la flèche du symbole), et d'autant plus que le courant est plus intense. Les diodes sont montées tête-bêche, c'est-à-dire en parallèle mais avec leurs polarités inversées. Elles peuvent ainsi attester le passage de courant dans les deux sens : s'il circule de gauche à droite (positif à gauche, négatif à droite; c'est le sens conventionnel du courant) c'est la LED supérieure qui s'allume; de droite à gauche, la LED inférieure.

Sans pile, la tension du condensateur, indiquée par le multimètre, est nulle; donc le condensateur est déchargé. Au moment où on branche la pile, la tension sur le condensateur commence à augmenter, non pas brutalement mais progressivement (d'abord vite puis moins vite) jusqu'à environ 3 V. Elle devrait théoriquement atteindre la tension de la pile, soit 4,5 V, mais les LED interrompent la charge avant ce moment.

Les diodes électroluminescentes montrent que le comportement du courant est exactement l'inverse de celui de la tension

La décharge est provoquée en raccordant le montage de LED tête-bêche au pôle négatif du condensateur (**figure 3**). La tension diminue à nouveau, mais seulement jusque vers 1 V au lieu de 0 V du fait des diodes.

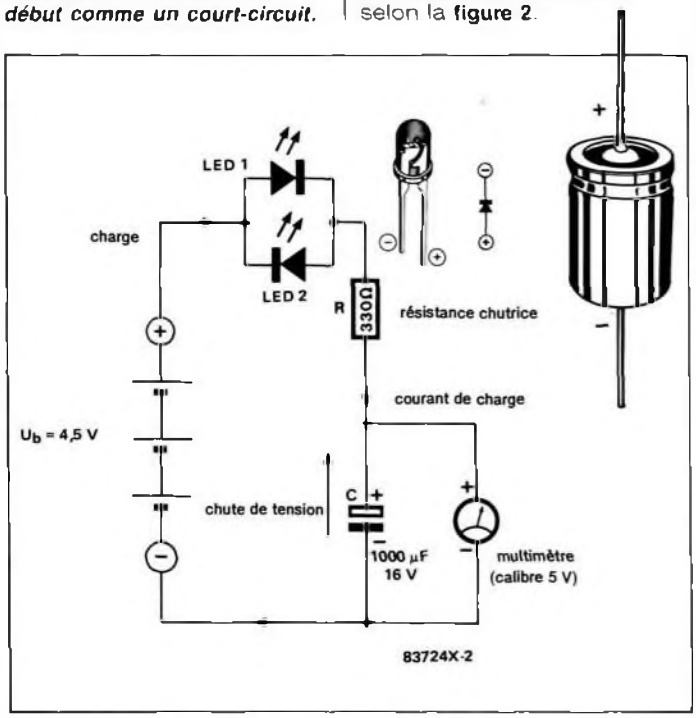


Figure 2. Le condensateur C se charge. La résistance R limite le courant de charge, élevé au début, puis s'amenuisant.

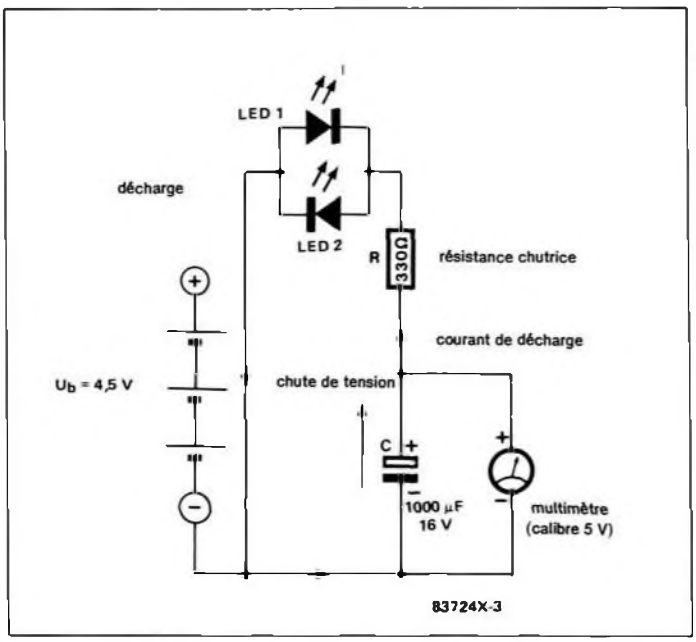


Figure 3. On court-circuite le montage pour provoquer la décharge du condensateur. Le courant (de décharge) circule maintenant dans le sens opposé.

PDF Page Organizer - Foxit Software

LES LED METTENT EN ÉVIDENCE NON SEULEMENT LA PRÉSENCE ET L'ABSENCE DE TENSION, MAIS AUSSI L'INTENSITÉ DU COURANT DE CHARGE OU DE DÉCHARGE DU CONDENSATEUR

On peut répéter à volonté la charge et la décharge et constater qu'à chaque fois la tension croît puis décroît. Les diodes électroluminescentes montrent que le comportement du courant est exactement l'inverse de celui de la tension. A l'instant initial de la charge la LED correspondante (celle du haut sur le schéma) s'éclaire fortement. Puis sa luminosité diminue à mesure que la tension augmente. Il en va de même pour la décharge, à ceci près que c'est l'autre LED qui s'éclaire. Cela n'a rien d'étonnant, puisque le courant de décharge est de sens opposé à celui de charge. Lors de la décharge aussi le courant, d'abord violent, va mollissant.

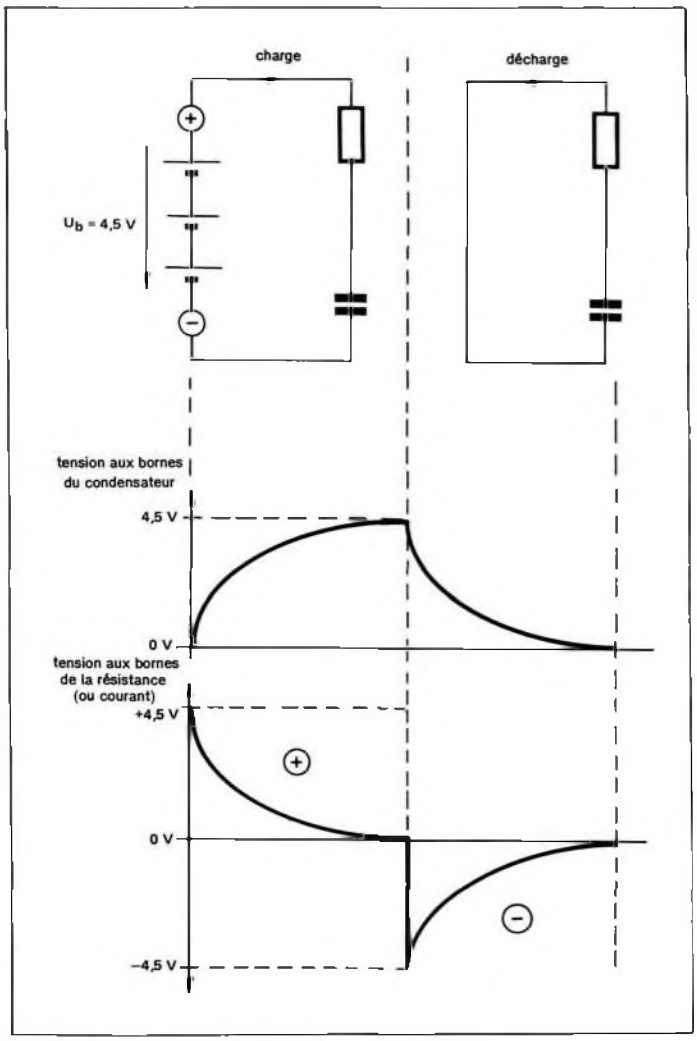


Figure 4. La somme des tensions sur le condensateur et la résistance est égale à 4,5 V pendant la charge. Pendant la décharge, elle est de 0 V, tension du court-circuit. Le courant évolue comme la tension aux bornes de la résistance.

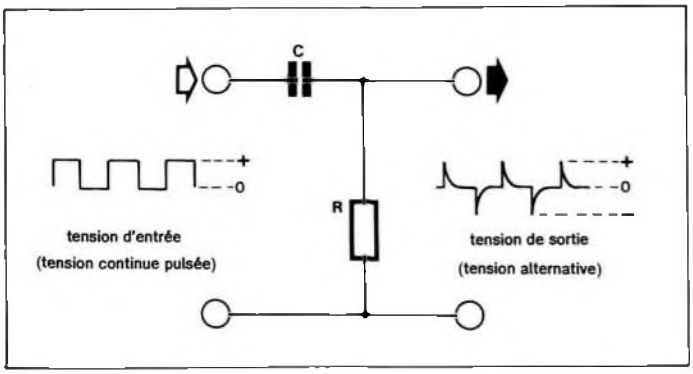
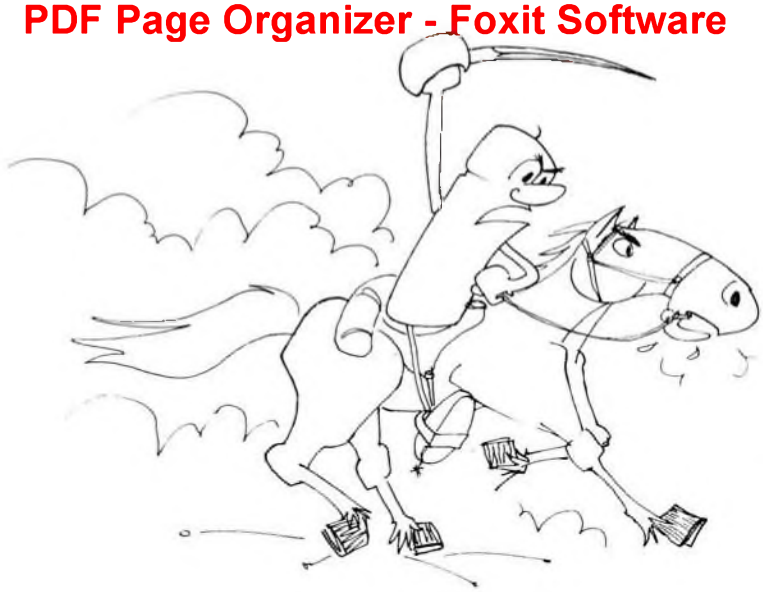


Figure 5. Le condensateur extrait une tension alternative de la tension continue pulsée.



ACTE I : LA CHARGE DU CONDENSATEUR

C'est la combinaison résistance-condensateur qui provoque les comportements opposés du courant et de la tension. La tension de 4,5 V de la pile se partage pendant la charge entre la résistance et le condensateur. Comme la tension initiale du condensateur est nulle, la résistance voit une chute de tension de 4,5 V. Selon la loi d'Ohm le courant qui traverse une résistance dépend de la tension à ses bornes; c'est donc un courant relativement important qui circule ici.

L'augmentation de la tension de charge du condensateur provoque une diminution de la tension aux bornes de la résistance et donc du courant de charge

L'augmentation de la tension de charge du condensateur provoque une diminution de la tension aux bornes de la résistance et donc du courant de charge; à la fin la tension du condensateur est égale à celle de la pile (ce qui n'est pas tout à fait vrai dans cette expérience, du fait des diodes) et la résistance ne voit plus de chute de tension; le courant s'annule.

ACTE II : LA DÉCHARGE DU CONDENSATEUR

Pour l'acte suivant -la décharge- on inverse les rôles. Le condensateur provoque un courant à travers la résistance, puisque la pile de l'acte 1 a été remplacée par un court-circuit au 0 V. La tension du condensateur est égale à celle de la résistance (abstraction faite, toujours, des LED). Du fait de la décroissance de la tension du condensateur, elle-même consécutive à la décharge, le courant dans la résistance décroît. Comme le courant a changé de sens, la tension sur la résistance a changé de polarité.

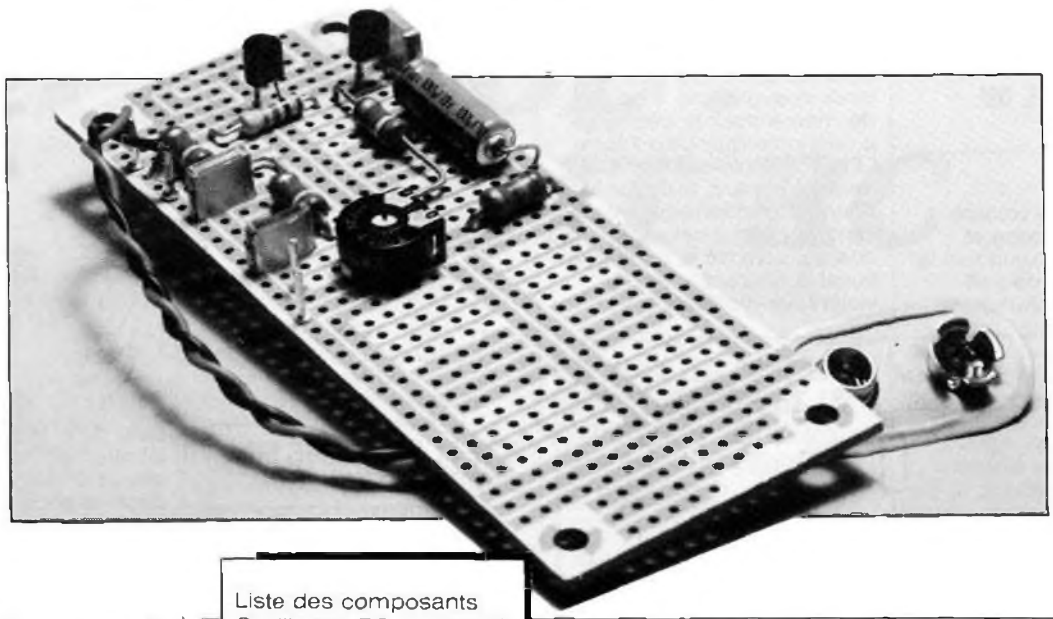
Récapitulons :
- lors de la connexion de la pile au circuit résistance-condensateur (nous abrègerons par "circuit RC"), la tension du condensateur croît progressivement. La tension aux bornes de la résistance, et par suite le courant, sont d'abord importants puis diminuent progressivement.
- si ensuite le circuit RC est court-circuité (tension nulle) la tension du condensateur va diminuant. La tension et le courant de la résistance s'inversent. Ils sont d'abord importants puis diminuent.

L'UNE EST ALTERNATIVE, L'AUTRE PAS

Le comportement des deux tensions est représenté sur la **figure 4**. Le multimètre peut aussi bien servir à mesurer la tension de la résistance au lieu de celle du condensateur (ne pas oublier d'inverser la polarité). Les diagrammes mettent en évidence un point très intéressant : alors que la tension aux bornes du condensateur est une tension continue -elle n'est certes pas constante, mais sa polarité ne s'inverse jamais- la résistance voit à ses bornes une tension dont la polarité s'inverse, une tension alternative. Les techniciens utilisent cet effet pour extraire une tension alternative d'une tension continue qu'on appelle pulsée (**figure 5**). La commutation entre la pile et le court-circuit produit ce genre de tension continue pulsée.

PDF Page Organizer - Foxit Software

OSCILLATEUR RC



Liste des composants
Oscillateur RC de qualité
R1 . . . R3 = 39 kΩ
R4 = 1Ω
R5 = 2,7 kΩ
P1 = 2,5kΩ variable
C1 . . . C3 = 100 µF 10 V
T1,T2 = BC 547B
1 platine Elex format 1

Liste des composants
Circuit simple
R1,R2,R6 = 10 kΩ
R3 = 47 kΩ
R5,R7 = 100kΩ
R4 = 1 MΩ
P1 = 100 kΩ pot. stéréo linéaire
C1 . . . C4 = 10 nF
T1 = BC 547B
1 platine Elex format 1

Le circuit oscillateur -un oscillateur est un générateur de tension alternative- dont il est question ici fonctionne par décalage, que l'on appelle déphasage en électronique analogique. Du fatras de condensateurs, résistances, transistor que semble être le circuit au premier abord émerge vite l'assemblage de deux parties : un étage amplificateur à un transistor et un quadruple circuit RC.

L'ÉTAGE A TRANSISTOR

Le diviseur de tension R4/R5 fournit la tension de base. Le rapport de division étant d'environ 10 à 1, cette tension se situe, selon la tension d'alimentation, entre 0,9 et 1,5 V (volt); ce qui suffit pour produire un courant dans la jonction base-émetteur du transistor. Le courant de collecteur de T1, donc le courant de base amplifié, provoque une chute de tension sur R6. La tension de sortie (entre le collecteur et la masse) de l'étage est égale à la différence entre la tension d'alimentation et la tension de collecteur.

Une variation de la tension de base se traduit par une variation du courant de base (et donc du courant de collecteur). La chute de tension dans R5 s'en trouve modifiée également. Cependant la tension de sortie se trouve inversée : elle diminue quand le courant de base augmente. L'amplification est obtenue au prix de cette inversion. La variation de la tension de collecteur est beaucoup plus importante que la variation de la tension de base qui la provoque. Dans le circuit présent, les variations de la tension de base sont provoquées par

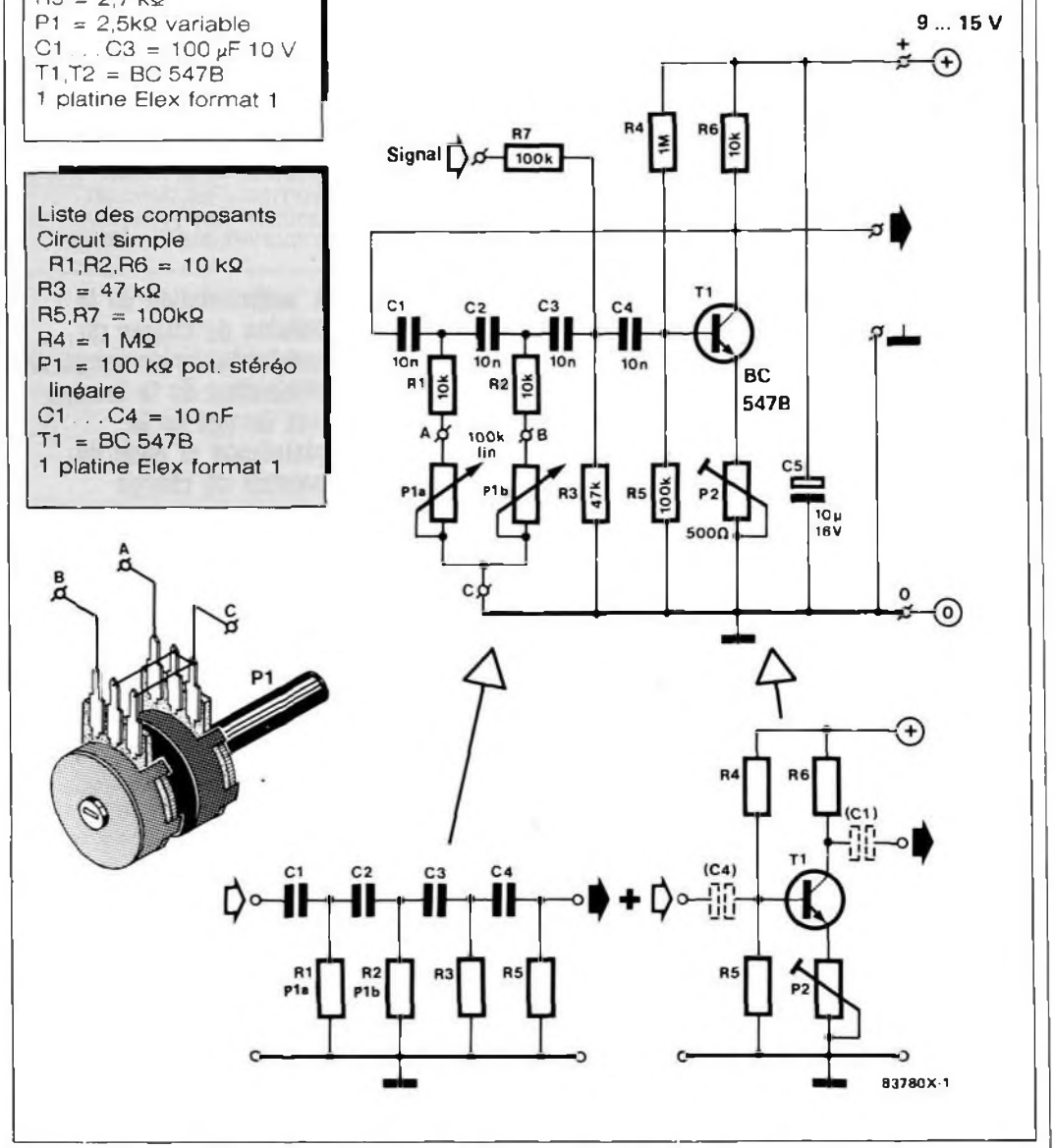


Figure 1. Le circuit de l'oscillateur RC comprend deux parties : un étage amplificateur à transistor et un déphaseur à quatre réseaux RC.

PDF Page Organizer - Foxit Software

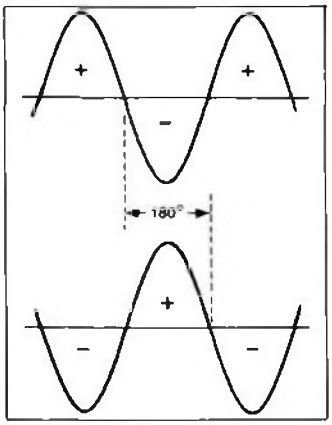


Figure 2. Un déphasage de 180°, soit une demi-longueur d'onde, inverse la polarité.

une faible tension alternative couplée à la base par un condensateur (C4).

Cette tension alternative est amplifiée en même temps que la tension continue de la base. Il y a donc sur le collecteur aussi une tension alternative superposée à une tension continue, toutes deux amplifiées par T1.

Un condensateur (C1) permet de prélever la composante alternative amplifiée. Les condensateurs d'entrée et de sortie permettent à l'étage à transistor de fonctionner en amplificateur de tension alternative. La polarité de la tension de sortie est toujours inversée, comme l'est la tension de collecteur.

Le courant de base dépend à la fois de la tension de base et du potentiomètre P2. Il augmente quand on diminue la valeur du potentiomètre, et le gain (l'amplification) de l'étage augmente en conséquence.

LE DÉPHASEUR

La deuxième partie du circuit est constituée de quatre réseaux RC montés en cascade. Chaque réseau, dont deux sont réglables, décale la phase de la tension alternative qu'il reçoit (Voir : l'article intitulé "la tension retardée" dans ce numéro). Le déphasage de chaque réseau s'ajoute à celui du précédent pour donner un déphasage global dépendant de la fréquence.

L'ENSEMBLE DU CIRCUIT

Les deux sous-ensembles du circuit forment un anneau. Une tension alternative présente à la sortie de l'étage amplificateur est déphasée par les quatre réseaux RC. Le condensateur C1 joue en même temps le rôle de condensateur de liaison. La tension déphasée se retrouve à l'entrée de l'amplificateur pour être amplifiée à nouveau. La résistance R5 fait partie des deux sous-ensembles à la fois. Bien que le transistor amplifie sa propre tension de sortie, il ne se passe rien du fait du déphasage; presque rien, puisque pour une fréquence déterminée le déphasage s'établit à 180° et le circuit se "balance" : il oscille. Cet effet ne se produit qu'à une seule fréquence.

Le circuit fonctionne comme une balançoire : une poussée ne suffit pas, il faut la relancer en permanence et au bon moment, ni trop tôt ni trop tard.

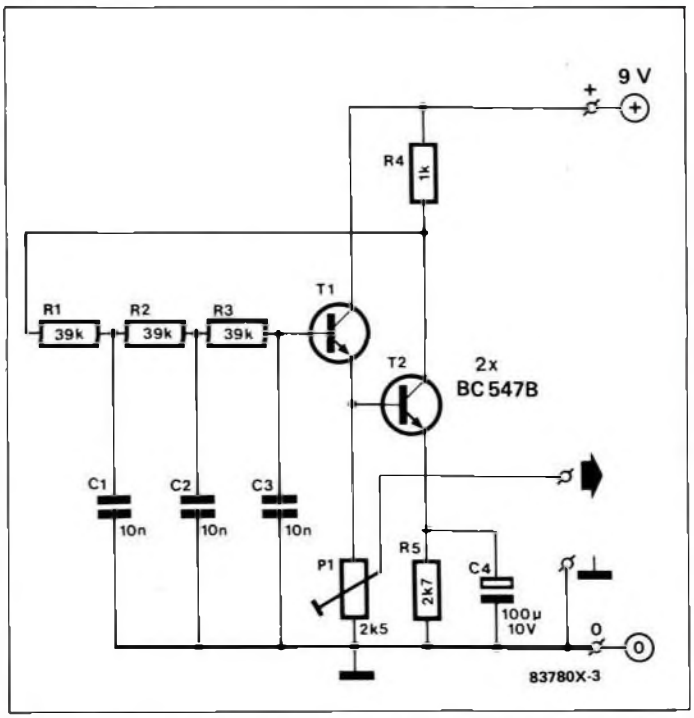


Figure 3. Ce circuit sans complication excessive produit des sinusoïdes très propres.

Dans le circuit oscillant, les deux sous-ensembles définissent ce bon moment. Les réseaux RC décalent la tension alternative (à la fréquence d'oscillation) de 180° précisément, soit un demi-longueur d'onde (**figure 2**). C'est-à-dire que les alternances positives deviennent négatives et inversement. Le transistor inverse à nouveau, si bien que la tension de sortie se trouve toujours en phase. Le réglage simultané des potentiomètres P1a et P1b change la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur, en changeant la fréquence pour laquelle le déphasage est de 180°. La plage de réglage de la fréquence se situe dans le spectre audible. On peut écouter les oscillations en raccordant le circuit à un amplificateur (l'amplificateur de poche du numéro de novembre 1988, radio, amplificateur stéréo).
Le potentiomètre P2 permet d'obtenir l'amplification suffisante pour compenser les atténuations dues aux quatre réseaux RC. Mais le circuit peut fonctionner aussi avec un gain inférieur (en augmentant la valeur de P2 jusqu'à l'arrêt de l'oscillation) : ce sera un filtre.
L'amplification d'un signal à la fréquence de résonance (déterminée par P1) sera particulièrement importante. Un signal de musique ou de parole appliqué à l'entrée "signal" sera amplifié **sélectivement** en fonction du filtrage. Quand le curseur de P1 balaye sa piste de bout en bout, on obtient l'effet wah-wah des guitares électriques. Si le signal d'un micro ou d'un instrument de musique ne suffit pas pour attaquer le filtre, il convient de le pré-amplifier. En reliant brièvement l'entrée à la tension d'alimentation, on peut reproduire le bruit d'une goutte d'eau. Les expériences que permet ce circuit n'ont pas d'autre limite que celles de votre imagination.

OSCILLATEUR RC DE QUALITÉ

Le circuit de la **figure 3** fonctionne comme l'oscillateur décrit ci-dessus. Ici l'amplificateur comprend deux étages et les trois circuits RC sont couplés à la masse par les condensateurs. Ce circuit rend superflu le réglage du potentiomètre, il oscille toujours. Le potentiomètre P1 permet de faire varier la tension de sortie (le volume). Ce montage délivre une tension sinusoïdale particulièrement pure à une fréquence d'environ 1 kHz.

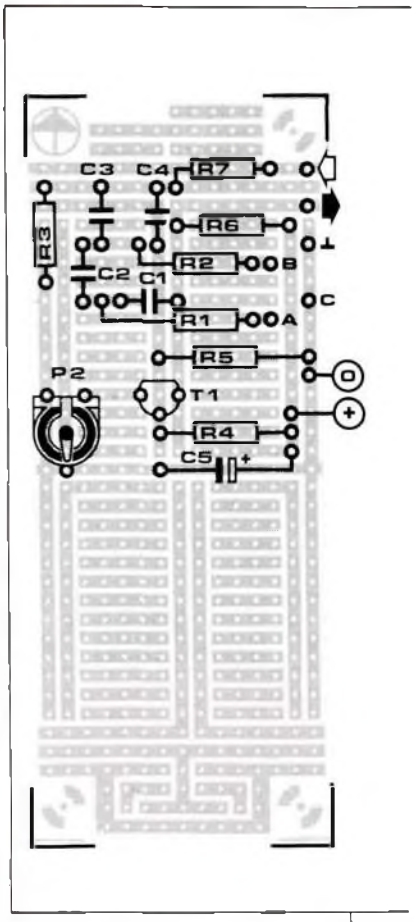


Figure 4. On peut disposer ainsi sur une platine standard les composants de la version simple.

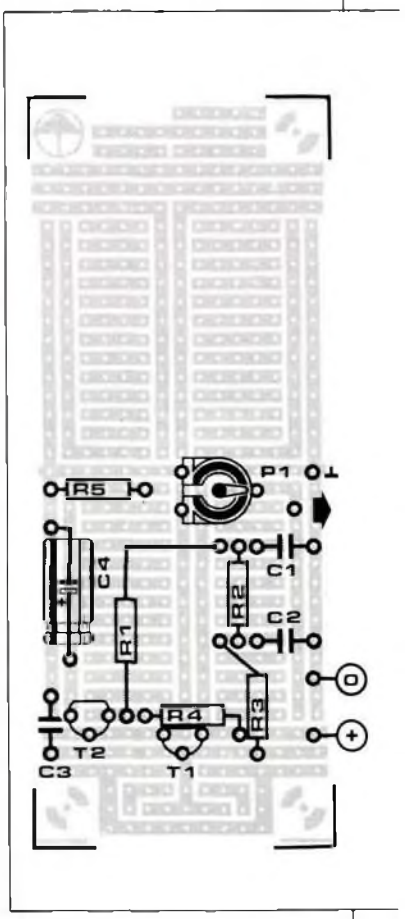


Figure 5. Une possibilité de montage du circuit amélioré sur la platine standard.

PDF Page Organizer - Foxit Software

LA TENSION RETARDÉE

GE DÉPHASAGE DÉPHASAGE DÉPHASAGE
SAGE DÉPHASAGE DÉPHASAGE DÉPHASA
GE DÉPHASAGE DÉPHASAGE DÉPHASAGE
DÉPHASAGE DÉPHASAGE DÉPHASAGE DÉ

Le circuit RC (résistance/condensateur; voir aussi l'article page 18) est sans doute l'un des plus utilisés parmi les circuits de base de l'électronique. Cela justifie que nous lui consacrions un deuxième article dans ce numéro. Dans "Charge, décharge. . .", un circuit RC se voyait appliquer une tension continue pulsée. Le condensateur lissait la tension continue, alors que la résistance était soumise à une tension alternative.

Ici nous appliquerons à la combinaison RC une tension alternative. Il est évident qu'aucune tension continue ne s'appliquera au condensateur puisque le circuit RC ne comporte pas de redresseur. L'évolution de la tension alternative aux bornes du condensateur sera expliquée au cours de l'expérience qui suit.

Pour fabriquer un tension alternative à très basse fréquence, il faut construire un générateur électronique; ce sera un multivibrateur astable à deux transistors. La **figure 2** montre le circuit. Les deux transistors conduisent à tour de rôle : quand T1 conduit, T2 est bloqué et inversement. La LED dans le circuit de collecteur du transistor qui conduit, s'éclaire. Les deux LED -ce sont des LED rouges qui conviennent le mieux à ce circuit- clignotent alternativement. Elles montrent que la tension de collecteur est successivement haute (proche de la tension d'alimentation) puis basse (proche de 0 V). La borne de sortie droite (A) est d'abord plus positive que la gauche (B; pendant que T1 conduit); puis la gauche (B) est plus positive que la droite (A; pendant que T2 conduit). En d'autres termes : entre ces deux bornes règne **une vraie tension alternative**. Le circuit n'est nullement critique, et il fonctionne d'emblée, sauf erreur de montage. La fréquence du multivibrateur est d'environ 1 Hz. Donc à chaque seconde, chaque LED s'allume une fois.

Nous raccorderons à ce générateur le circuit RC que nous avons déjà manipulé (voir l'article "le circuit RC, charge et décharge"), les composants prenant cette fois les valeurs : 100 Ω et 1000 µF 16 V. Deux LED indiquent la tension du condensateur. Lorsque la tension de la sortie A est positive les LED D1 et D3 s'allument : D1 parce que T1 ramène à 0 V la sortie B, D3 parce que la tension du condensateur (tout comme la tension de la sortie) est positive. Cependant D3 s'éclaire un peu après D1. Ce retard est dû au temps nécessaire au condensateur pour se charger. Lors de l'inversion de la polarité du générateur, ce sont les autres LED qui s'allument, D4 un peu plus tard que D2. Remarquez qu'à ce moment le condensateur C est polarisé en inverse, ce qu'il ne supporte qu'avec des tensions faibles.

On notera par ailleurs que les LED D1 et D2 ne sont en fait jamais totalement éteintes. Si l'on observe les quatre LED ensemble, il est évident que la tension aux bornes du condensateur est retardée par rapport à la

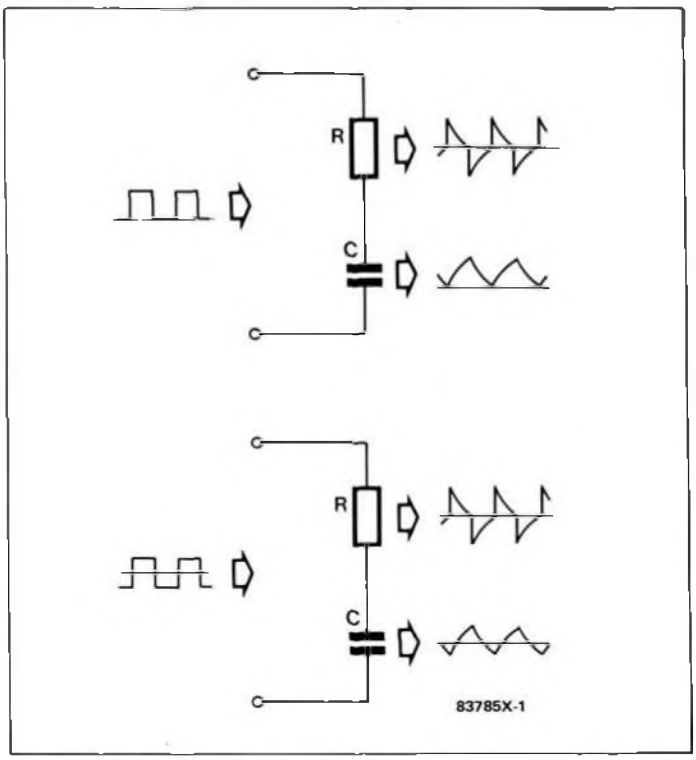


Figure 1. Si l'on applique une tension continue pulsée, une tension continue (fluctuante) apparait aux bornes du condensateur du réseau RC. Si la tension appliquée au réseau est alternative, c'est également une tension alternative qui se présente sur C.

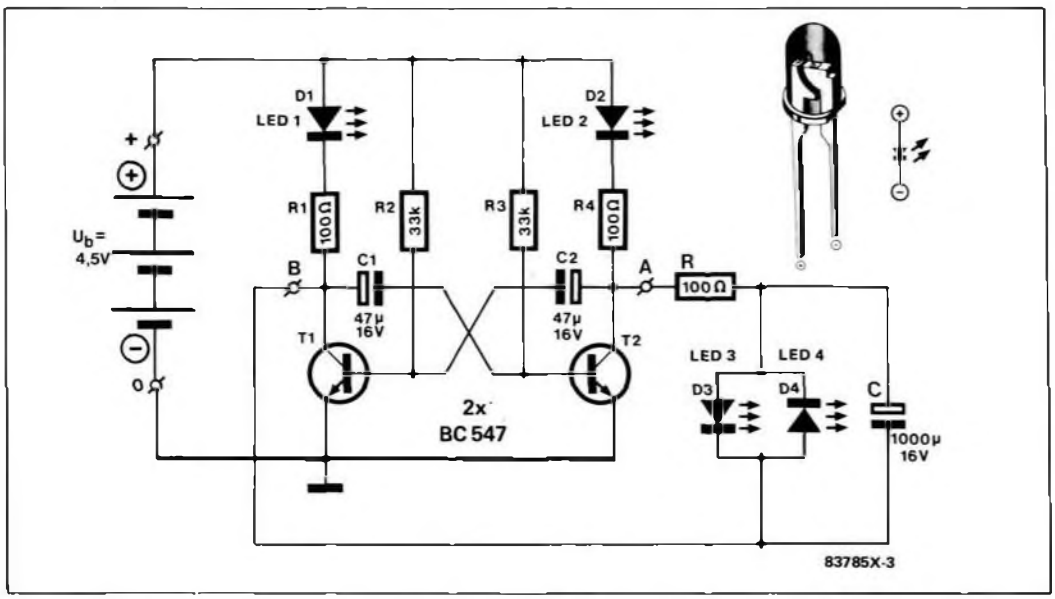


Figure 2. La tension alternative fournie par le multivibrateur astable pour le test du réseau RC est disponible entre les points de connexion A et B.

PDF Page Organizer - Foxit Software

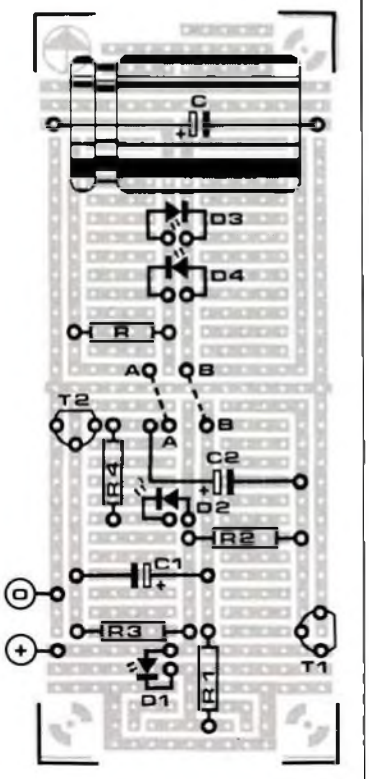


Figure 3. Indications pour la construction sur une platine ELEX de format 1.

Liste des composants

R1,R4 = 100 Ω
R2,R3 = 33 kΩ
C1,C2 = 47 µF/16 V électrolytique
D1,D2 = LED rouge
T1,T2 = BC547
1 platine d'expérimentation de format 1

tension primitive. On appelle **déphasage** ce retard, représenté schématiquement sur la **figure 4**. Deux tensions alternatives de *même* amplitude et de *même* fréquence peuvent donc se distinguer l'une de l'autre par un décalage dans le temps (décalage de phase). La **figure 5** montre un autre cas de déphasage produit par un circuit RC. La courbe de plus forte amplitude représente une tension d'entrée sinusoïdale. Non seulement la tension de sortie, sur le condensateur du réseau RC, est de moindre amplitude (une partie de la tension choit dans la résistance) mais encore sa phase est décalée de quelque 60 µs : chaque carreau correspond à 50 µs (1 µs = 1 millionième de seconde). Sur la figure 5, le déphasage est évident aux passages à zéro.

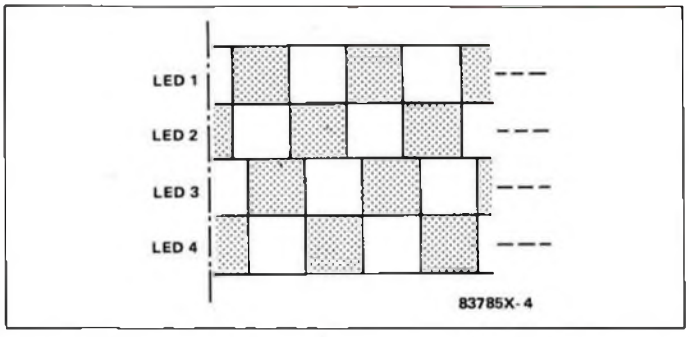


Figure 4. Représentation schématique de l'ordre d'allumage. Les LED 3 et 4 s'allument avec un certain retard par rapport aux LED 1 et 2.

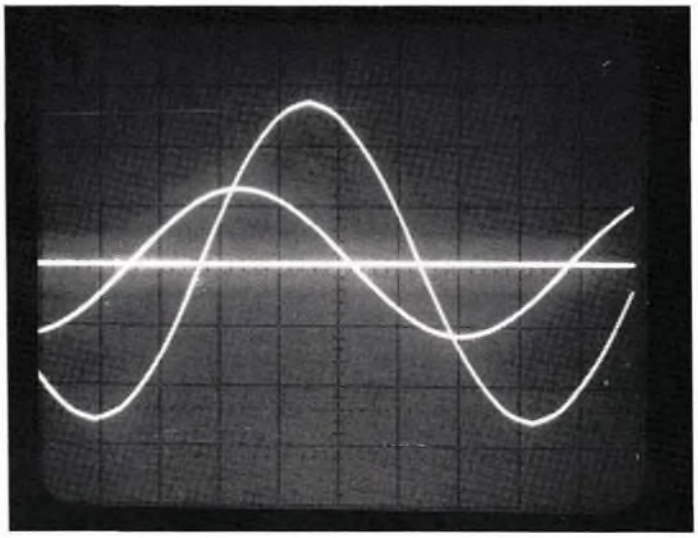


Figure 5. Les décalages entre les passages à zéro montrent que la tension du condensateur est en retard sur la tension d'entrée.

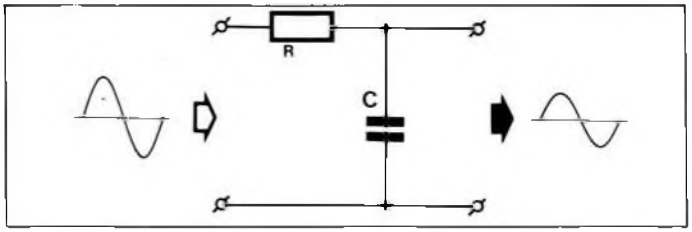


Figure 6. Le déphasage entre la tension (petite sinusoïde) aux bornes du condensateur et le courant (grande sinusoïde) qui le traverse est toujours de 90°. Quand l'une des courbes passe par zéro, l'autre passe soit par son maximum, soit par son minimum.

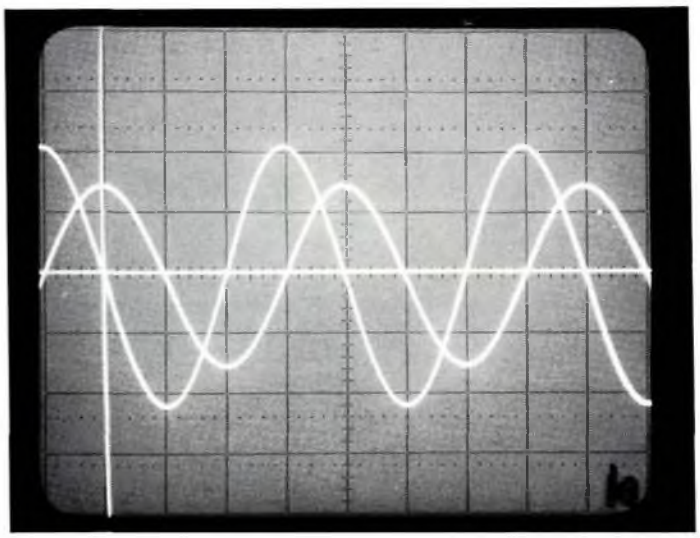


Figure 7. L'oscillogramme montre la tension (petite courbe) aux bornes d'un condensateur et le courant (grande courbe) que provoque cette tension. Le courant est en avance d'un quart de longueur d'onde (déphasage de 90°).

Les techniciens mesurent la phase en degrés, 360° représentant un déphasage d'une longueur d'onde entière. La tension alternative représentée se trouvant en retard d'environ 60 µs sur 390 µs (durée d'une période), le déphasage prend la valeur :

60 µs/390 µs = 0,15 (15%)

soit en degrés :

0,15 × 360° = 54°

Ce mode de mesure compliqué en degrés a été adopté pour mettre en évidence les effets du déphasage. Un retard donné en temps a moins de conséquence sur une tension alternative "lente" (fréquence basse; onde longue) que sur une tension à fréquence élevée. Le déphasage introduit par un réseau RC est d'autant plus grand que la fréquence de la tension est élevée (le maximum est cependant 90°)
L'amplitude des tensions sur la photo 5 dépend également de la fréquence : la tension aux bornes du condensateur décroît quand la fréquence s'élève. Le condensateur laisse passer le courant alternatif. Il se comporte comme une résistance dont la valeur diminuerait quand la fréquence augmente.
Les déphasages ne se produisent pas seulement entre des tensions alternatives, mais aussi entre des courants alternatifs, ou encore entre un courant et une tension. L'écran d'oscilloscope de la **figure 7** montre la tension (petite courbe) aux bornes d'un condensateur et le courant (grande courbe) que provoque cette tension. Le courant est en avance d'un quart de longueur d'onde, soit 90° (= 1/4 .360°). Quelle que soit la fréquence, le courant et la tension sont toujours en quadrature, c'est-à-dire déphasés de 90°.

RÉCAPITULONS

Un petit résumé en guise d'aide-mémoire :
- Le circuit RC introduit un déphasage entre les tensions d'entrée et de sortie.
- Le déphasage est spécifié par rapport à une période entière (en degrés).
- Le déphasage introduit par un circuit RC donné dépend de la fréquence.
- Le condensateur se comporte comme une résistance variable en fonction de la fréquence.
- La tension aux bornes d'un condensateur est toujours déphasée de 90° par rapport au courant qui le traverse.

PDF Page Organizer - Foxit Software

TRAVAUX PRATIQUES :

FABRIQUEZ UN MOTEUR ÉLECTRIQUE !

Antoine, 8 ans, passionné de vaisseaux spatiaux et vice champion de Lego technique -avec son frère Vincent- est un familier des réalisations en LEGO électrifiées. Les moteurs électriques, les transmissions, les démultiplications, ça le connaît. Un jour pourtant il reste en arrêt devant le moteur électrique de son jeu de construction et observe le bloc de matière plastique moulé dont il ne sort que l'arbre et les deux bornes de connection. L'accessoire familier lui apparaît tout d'un coup sous un jour mystérieux. Que se cache-t-il là-dedans ? Un moteur électrique ? Oui, mais dans la machine à laver, dans la perceuse, dans le treuil de l'ascenceur, ce sont aussi des moteurs électriques. Intrigué, il demande à son père : «Dis René, comment fonctionne un moteur électrique ?».

René n'est pas ingénieur au CNRS et si la scène se passe près de Toulouse, ce n'est pas parce qu'il est ingénieur à l'aérospatiale. Non, René est paysan, il cultive la terre pour y faire pousser des plantes; c'est un paysan d'une espèce rare (soit qu'elle est en voie de disparition, soit qu'elle est encore en cours de mutation). Il s'intéresse aux techniques modernes, dont l'électronique, et s'en sert dans son travail, notamment pour automatiser l'arrosage et l'aération de ses serres.

Passionné de mécanique (son fils Antoine a de qui tenir) il construit ses machines lui-même, les modifie en fonction des besoins et en invente des variantes sans cesse plus efficaces. De là à expliquer à un apprenti cosmonaute de 8 ans comment fonctionne le moteur électrique ? Bigre...

Deux bouchons de liège 16 épingles, du carton, du fil émaillé, deux aimants de récupération, deux bouts de câble multibrin et une pile

Il réfléchit en faisant tourner entre ses doigts le bouchon de liège de la bouteille de pinard qu'il a devant lui. Sur la table où sont copieusement étalés les Lego, il traîne quelques aimants cylindriques qu'Antoine utilise parfois pour accrocher les wagons de ses convois.

Le garçon insiste :
«Alors, tu sais pas toi-même ?»
Il manie l'aiguillon de l'amour-propre, le fils qui sait manoeuvrer son père.
Tout d'un coup René sort son opinel de la poche :
«Va demander quelques épingles à ta mère et prend au passage la bobine de fil de cuivre posée à côté du fer à souder»
«Et le fer aussi ?» anticipe Antoine.
«Oui, bien sûr, il me faut du carton aussi et une pile plate, et n'oublie pas l'étain et la pince coupante. Et fouille un peu dans la corbeille à papier, tu y trouveras des chutes de câble en nappe multicolore. apporte-les aussi !»
Quelques instants plus tard ils se mettent au travail : **deux bouchons de liège**, 16 épingles, du carton, du fil émaillé, deux aimants de récupération et deux bouts de câble multibrin. Construire un moteur électrique avec un tel bric-à-brac, ça c'est du recyclage, je te dis pas, hé.

Les deux aimants proviennent en fait de vieux haut-parleurs miniature. Ils sont faciles à détacher si on se donne la peine de d'arracher d'abord entièrement la membrane conique du HP.

Inutile de préciser que ce haut-parleur ne produira plus jamais aucun son... Un aimant en fer à cheval dont les pôles sont écartés de 25 mm environ aurait convenu également. Le résultat de la démonstration de René apparaît sur la photographie. Qu'en dites-vous ? Ça marche. Vous pouvez en faire autant en quelques minutes avec les ingrédients énumérés ci-dessus.

Pour rééditer l'exploit dans les meilleures conditions possibles, construisez d'abord le rotor, c'est-à-dire la pièce mobile du moteur. Prenez un bouchon cylindrique en bon état. Repérez le centre des deux bases et enfoncez de part et d'autre du bouchon une épingle parfaitement

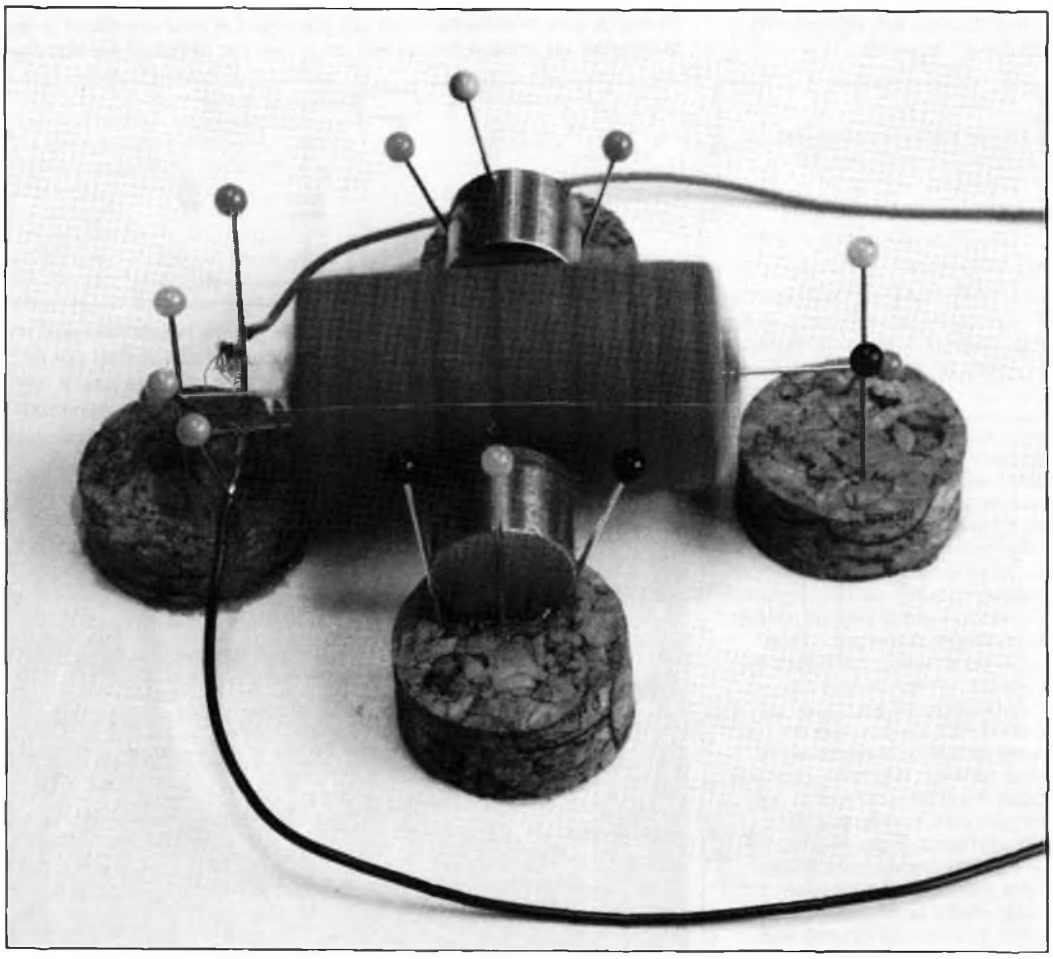


Figure 1 - Le but de ces travaux pratiques n'est pas de contribuer au progrès des techniques de pointe, mais tout simplement de démystifier le fonctionnement d'un type de moteur électrique, pour celui qui n'y voyait pas clair jusqu'à présent. Il existe bien sûr beaucoup d'autres types de moteurs dont le fonctionnement est très différent de celui-ci.

PDF Page Organizer - Foxit Software

perpendiculaire au plan des bases. Ces deux épingles constituent l'axe du rotor. Sur le plan de cet axe, enroulez 14 tours de fil de cuivre émaillé de 0,3 mm de section comme indiqué sur le croquis.
Piquez ensuite deux épingles étêtées de part et d'autre de l'axe du rotor sur le plan de la bobine en veillant à ce qu'elles soient bien centrées par rapport à la largeur de la bobine. Fixez ensuite chacune des deux extrémités de la bobine que vous venez de fabriquer à l'une des deux épingles plantées dans une même base du rotor.
Examinez attentivement le croquis et la photographie et vous comprendrez, si ce n'est déjà fait. Prenez soin de dénuder le fil émaillé à l'endroit où vous le soudez aux épingles sans tête.

Le rotor sera placé sur deux chevalets constitués chacun de deux épingles croisées, plantées dans une rondelle de liège provenant elles-mêmes d'un bouchon (Chic, il va encore falloir déboucher une bouteille, les gars). Ce deuxième bouchon fournira aussi la matière première pour les supports des deux aimants. C'est à l'aide de colle à prise rapide que vous fixerez les aimants sur les supports ainsi que les supports et chevalets sur un carton fort ou sur une planchette de bois.

N'oubliez pas de vérifier la polarité des aimants avant de fixer leurs supports pour de bon. Deux pôles opposés (nord et sud) doivent se faire face : si vous les rapprochez l'un de l'autre ils s'attirent s'ils sont bien orientés.

Avant d'achever la construction du moteur, jetons un coup d'oeil sur ce qui doit se produire si l'on fait circuler un courant dans la bobine qui entoure le rotor. Cette bobine devient un **électroaimant** dont le champ magnétique possède un pôle nord et un pôle sud. Le pôle nord de l'**aimant permanent** (provenant d'un haut-parleur) repousse le pôle nord de l'électroaimant. De même les pôles sud se repoussent. Inversement, les pôles nord et sud s'attirent mutuellement.
Le rotor aura donc tendance à tourner autour de son axe jusqu'à ce que son pôle sud se retrouve en face du pôle nord de l'aimant permanent. Il s'immobilisera dans cette position... à moins que l'on n'inverse le courant dans la bobine du rotor. Si on opère cette inversion le rotor poursuit sa rotation pendant 180° jusqu'à ce que son nouveau pôle nord se trouve en face du pôle sud de l'aimant permanent (immuablement polarisé dans le même sens). L'élan est donné, le mouvement est lancé et il se poursuivra à condition d'inverser le sens du courant au bon moment.

L'inversion du courant dans la bobine est assurée par la rotation du rotor lui-même

Il nous suffit dès lors de réaliser un petit montage (**le collecteur**) qui *fournit le courant au rotor* et *qui réalise l'inversion du sens du courant tous les 180°*. Remarquez que ce collecteur n'a rien à voir avec le collecteur d'un transistor. La version simplifiée de notre collecteur est réalisée à l'aide de deux bouts de câble multibrin dénudés sur une longueur d'un bon centimètre. Ce sont deux autres épingles qui maintiennent ces deux **balais** dans la position voulue pour que les épingles sans tête viennent s'y frotter à chacun de leur passage. Vous remarquerez qu'à chaque passage devant un de ces balais, chacune des épingles sans tête se trouve devant le pôle de la batterie opposé à celui du passge précédent. L'inversion du courant dans la bobine est assurée par la rotation du rotor. C'est simple, non ?

Soudez finalement l'autre extrémité des câbles multibrins aux pôles d'une batterie de 4,5 V, disposez les brins des balais de manière telle qu'ils établissent un bon contact de frottement avec les épingles étêtées sans trop les freiner. Bien réglé votre moteur tournera à la vitesse respectable de 200 tours par minute. Alain Pros(i)t n'a qu'à bien se tenir !

Quant à Antoine, notre apprenti-électronicien, il est ravi car grâce à l'expérience qu'il vient de faire avec son père, il a vu de ses yeux les spectaculaires effets de l'électro-magnétisme. Une démonstration qui vaut bien son pesant de théorie, non ?

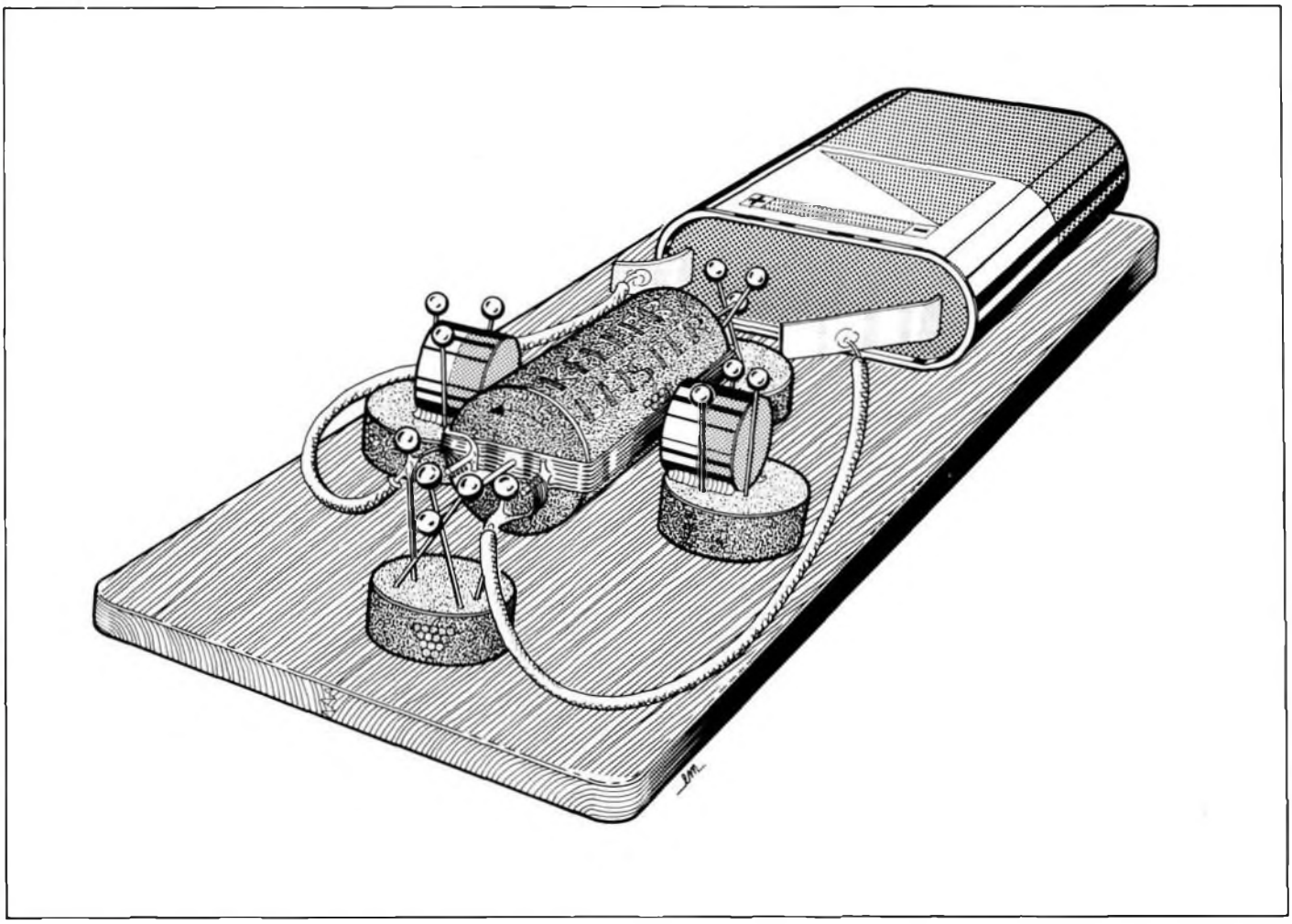


Figure 2 - Ce croquis devrait vous permettre de réaliser le moteur expérimental sans même lire le texte. Nous vous recommandons néanmoins de prendre le temps, pour bien comprendre, de lire attentivement les explications fournies dans le texte de cet article. Imaginez des variantes, des maléiorations, mais attention, cette réalisation est bien équilibrée : ne la perfectionnez pas trop car la batterie n'y résisterait probablement pas.

PDF Page Organizer - Foxit Software

LE PIED A COULISSE

Quand on pratique l'électronique, on a très souvent à mesurer des petits objets avec précision. Plutôt que d'utiliser bêtement une règle, on a tout intérêt à faire appel à un outil fait pour cela: le pied à coulisse, instrument précis mais malheureusement trop mal connu des bricoleurs. Cet instrument très simple est fait d'une règle en acier (ou, depuis quelques temps, en matière plastique très dure) munie à une extrémité d'un bec en équerre, et sur laquelle *coulisse* un curseur lui-même muni d'un bec en équerre. La pièce dont il faut mesurer la largeur, l'épaisseur ou le diamètre, est prise entre ces deux becs. La lecture se fait sur une échelle graduée.

Les deux ergots disposés à l'opposé des becs servent à mesurer «en creux», les diamètres intérieurs (calibres) ou l'écart entre pièces. La fine tige métallique qui sur certains modèles coulisse dans la règle sert à effectuer des mesures de profondeur. Une graduation en millimètres apparaît sur le bord de la règle (souvent munie également d'une graduation en pouces), tandis que sur le bord de l'ouverture pratiquée dans le curseur se trouve un **vernier, c'est-à-dire une graduation servant à la mesure précise des subdivisions de l'échelle principale**. Oui, un pied à coulisse ordinaire permet de mesurer aisément au 1/10 de millimètre près, à condition de savoir se servir du vernier...

PIERRE VERNIER (1580-1637)

Simplifions les choses en prenant une règle d'un mètre, graduée en centimètres, et en plaçant le long de cette règle une réglette de **9 centimètres divisée en 10 parties égales**: chaque division de cette réglette mesure donc 9/10 de centimètres.
Quand les deux zéros coïncident comme sur la **figure 2**, il y a 1/10 de centimètre d'écart entre les divisions «1»; entre les divisions «2», ce sont 2/10 et entre les divisions «3», il y a 3/10 de centimètre, et ainsi de suite jusqu'aux 9/10 de centimètre entre les deux «9». Si nous faisons glisser la réglette le long de la règle principale de sorte que les deux divisions «4» coïncident, il y aura 4/10 de centimètre entre les deux «0» (figure 2b), et si les deux «7» coïncident, il y aura 7/10 d'écart entre les deux «0» (figure 2c). Voyons maintenant sur quoi débouchent ces observations...

Nous avons à mesurer la distance entre les deux points A et B (figure 2 d). Pour cela nous placerons le «0» de la règle sur le point A, et le «0» de la réglette sur le point B. Ici le «0» de la réglette se trouve entre les divisions «16» et «17» de la règle; le segment AB mesure donc plus de 16 cm et moins de 17.
Il suffit maintenant de rechercher la division de la réglette qui coïncide exactement avec une division de la règle: dans ce cas, c'est la division «6» de la réglette, ce qui indique qu'il y a 6/10 de centimètre entre la 16ème division de la règle et le point B: le segment de droite AB mesure donc 16,6 cm. C'est ainsi qu'avec une règle graduée en centimètres et un vernier (la réglette) nous avons pu mesurer des millimètres. Le pied à coulisse fonctionne exactement selon ce principe: l'échelle principale est graduée en millimètres, et le vernier permet de mesurer des dixièmes de millimètre si sa longueur est de 9 millimètres (divisés en 10), ou des vingtièmes de millimètre quand sa longueur est de 19 millimètres divisés en 20 parties égales. C'est simple comme... un vernier, et surtout très utile en pratique.

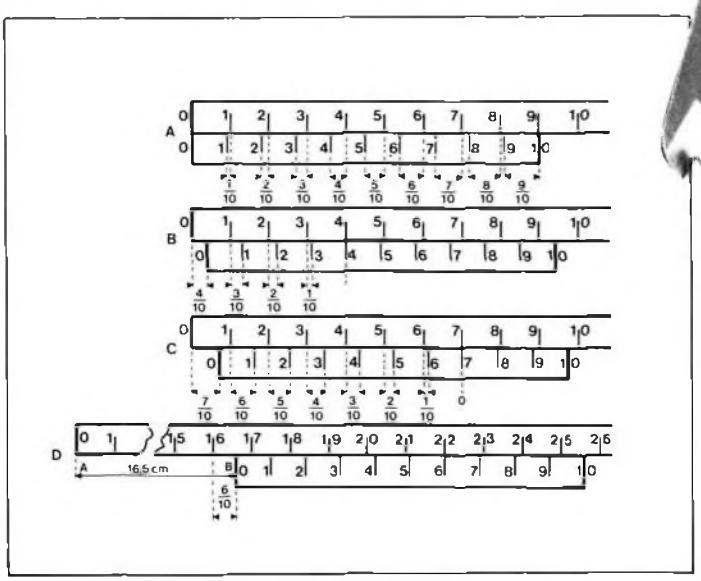


Figure 2 - Pour illustrer le principe du vernier il faut s'imaginer une règle graduée en centimètres sur laquelle coulisse une réglette de 9 cm divisée en 10 parties égales.

Figure 1 - Le pied à coulisse a sa place sur la table de l'électronicien. Dans la plupart des cas, il permet de faire des mesures à la fois bien plus précises et plus rapides qu'une règle.

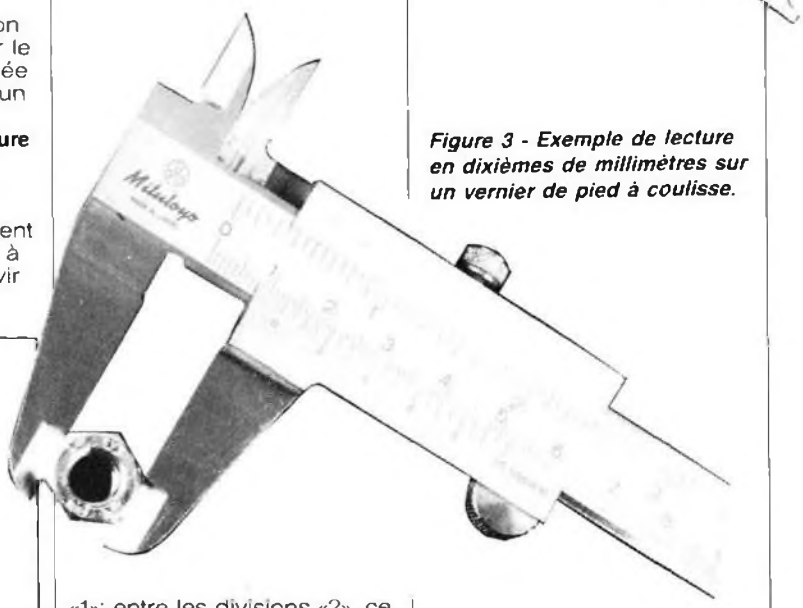
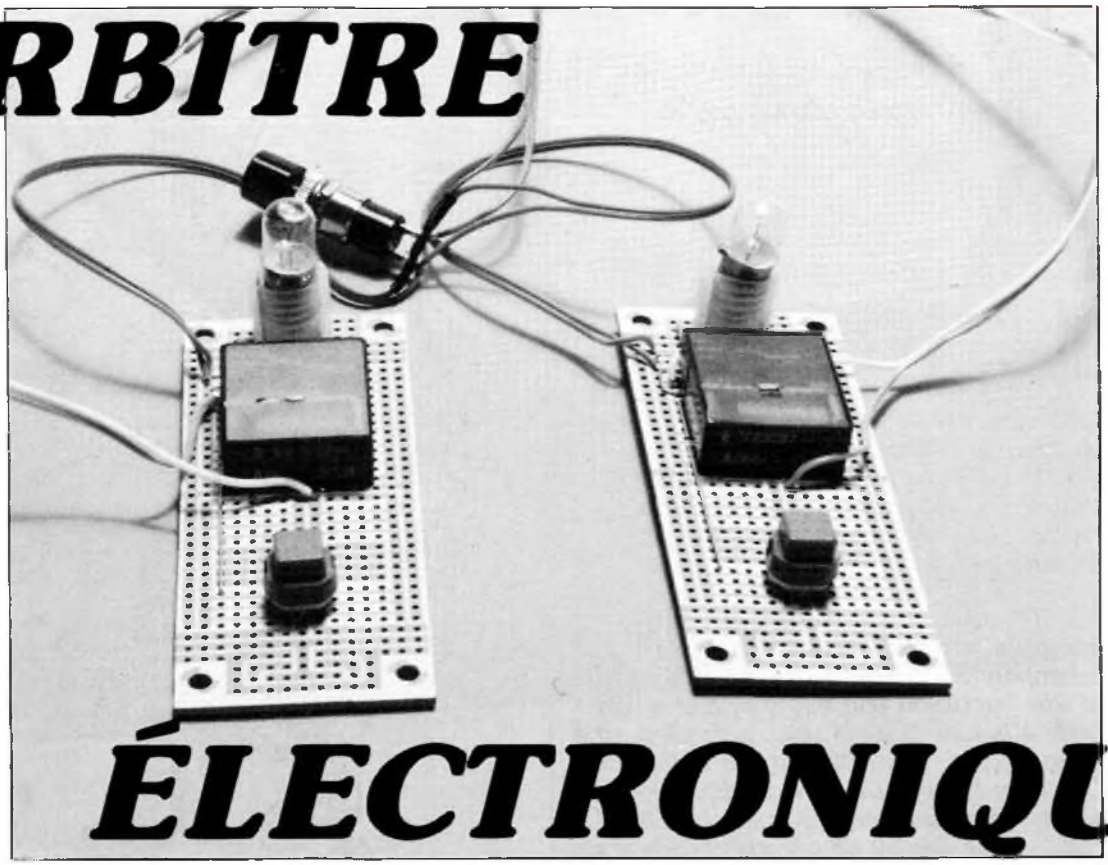


Figure 3 - Exemple de lecture en dixièmes de millimètres sur un vernier de pied à coulisse.

PDF Page Organizer - Foxit Software

ARBITRE ÉLECTRONIQUE



Qui a répondu le premier ? C'est la question à cent sous quand les deux candidats d'un jeu ou d'un concours répondent "en même temps". La même question se pose dans les courses en tous genres, les gymkhanas, etc, autant de circonstances dans lesquelles il est hors de question de laisser la moindre prise au doute et à la contestation. Il faut un jury infaillible, c'est-à-dire électronique.

Prenez deux relais, deux douilles, deux ampoules, deux boutons poussoirs à contact de travail, un bouton poussoir à contact de repos, une pile, connectez selon le schéma ci-contre et jouez. L'arbitre électronique que nous vous proposons n'a rien de compliqué, ne fait appel à aucun circuit électronique, il est conçu pour deux joueurs et possède un jugement infaillible.

LE CIRCUIT DE L'ARBITRE

Le but poursuivi est de provoquer l'allumage de la lampe du joueur qui a effectivement appuyé le premier sur son bouton. A partir du moment où la lampe de l'un des deux concurrents est allumée, il devient impossible d'allumer l'autre. Cette caractéristique est très importante car elle élimine définitivement toute risque de contestation.

Ceux qui lisent attentivement la rubrique "la logique sans hic" pensent sans doute qu'il doit s'agir là d'une fonction logique OU exclusif (EXOR). C'est juste ! Le montage proposé est une version électro-mécanique de la fonction EXOR. Le troisième bouton poussoir (remise à zéro) est à la disposition du meneur de jeu et sert à initialiser le circuit, c'est-à-dire le ramener à l'état neutre (les deux lampes éteintes).
Si le joueur 1 appuie sur son bouton (**figure 1**), il ferme un circuit qui part du +, passe par le bouton poussoir de remise à zéro, les contacts de relais re2-B, le bouton poussoir S1, la bobine du relais Re1 et la lampe La1 et va vers la masse.

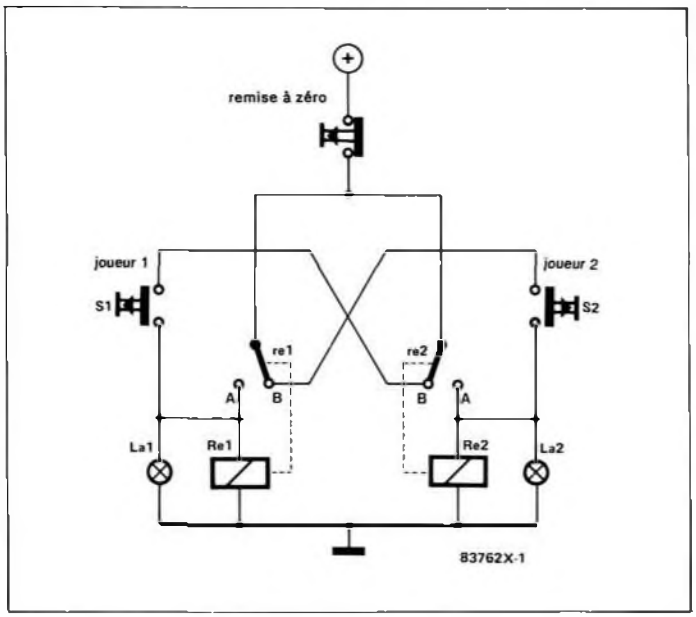
Le courant qui parcourt ce circuit excite la bobine du relais Re1 qu'il traverse. Le contact de ce relais passe de la position de repos B vers la position de travail A.

Ce changement de position a deux conséquences. La première est d'interdire au joueur 2 de faire fonctionner son relais car le circuit qu'il devrait utiliser est interrompu par l'inverseur re1. Si le joueur 2 appuie sur son bouton il ne se passe rien. La deuxième est d'entretenir l'excitation du relais Re1. Le circuit sous tension passe par deux trajets parallèles : celui du bouton poussoir S1 fermé au repos et celui qui traverse le contact de travail de re1. On peut dès lors relâcher le bouton poussoir S1 sans que la lampe La1 ne s'éteigne. L'excitation du relais s'auto-entretient.

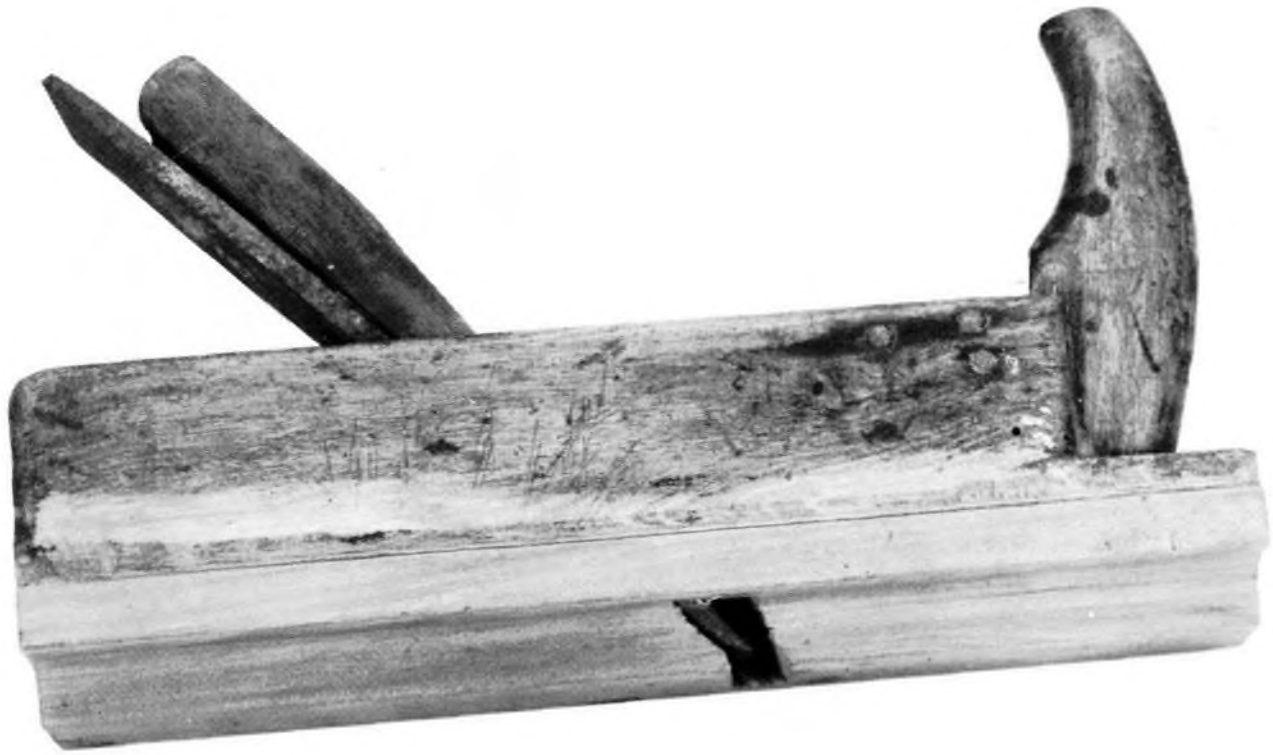
Lorsque le meneur de jeu appuie sur le bouton poussoir de remise à zéro, l'arrivée de courant est coupée dans l'ensemble du circuit, ce qui interrompt l'excitation du relais Re1 et provoque l'extinction de la lampe La1. Le circuit est rétabli dans son état initial, il est prêt pour la question suivante. Si le joueur 2 avait appuyé le premier sur son bouton poussoir, il est évident que le même enchaînement aurait eu lieu de son côté.

LA CONSTRUCTION

Ce mini-circuit sera monté sur deux platines d'expérimentation de format 1. Choisissez vous-même les relais et les lampes. La tension d'alimentation est déterminée par la tension de fonctionnement des relais et des lampes. Ces deux tensions doivent être à peu près égales.



PDF Page Organizer - Foxit Software



LE CONDENSATEUR DE LISSAGE

Le condensateur de lissage est un stabilisateur passif. Sa fonction est de stabiliser une tension qui ne l'est pas : c'est le cas par exemple de celle qui règne en sortie du redresseur en pont d'une alimentation. Le schéma de la **figure 1** est celui d'une alimentation très simple dépourvue de circuit de stabilisation. Le transformateur d'alimentation abaisse d'abord la tension du secteur de 220 V à une valeur inoffensive, puis les quatre diodes D1 à D4 redressent la tension alternative et la transforment en une tension continue.

Supposons qu'à un moment donné la sortie supérieure du transformateur soit positive. La sortie inférieure est donc négative. Dans cette hypothèse les diodes D2 et D3 sont conductrices et la sortie supérieure du pont redresseur est positive tandis que la sortie inférieure est négative. L'alternance suivante crée la situation inverse à la sortie du transformateur. Maintenant les diodes D1 et D4 deviennent conductrices . . . Puis le cycle se répète.

En fin de compte, la polarité de la tension de sortie du redresseur ne change jamais, quelle que soit la polarité de la tension alternative à l'entrée du pont. Malheureusement, la tension continue ainsi obtenue a une valeur très instable. La **figure 2b** nous montre l'aspect de ces variations que l'on appelle **«ondulation»** ou **«ronflement»** Il s'agit en effet d'un **reste** de tension alternative, superposé à la tension continue.

Le condensateur de lissage vient combler les vallées qui séparent les crêtes de l'ondulation. Nous voyons le résultat du lissage sur la **figure 2c**. Au cours de la montée de la tension continue pulsée à la sortie du pont redresseur, le condensateur se charge. Durant la baisse de tension qui suit, il restitue la charge accumulée. Il permet ainsi à la tension d'"enjamber" la vallée, car il ne se décharge que partiellement et sa tension ne diminue que légèrement durant la décharge (à condition toutefois que l'intensité du courant à fournir soit modérée par rapport à la capacité du condensateur).
La faible variation de tension

1

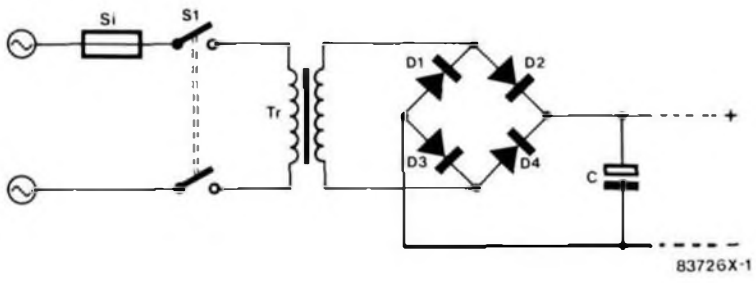


Figure 1 - Voici le schéma classique de la plupart des alimentations : la tension du secteur est abaissée, redressée puis le condensateur C "lisse" les impulsions de courant.

PDF Page Organizer - Foxit Software

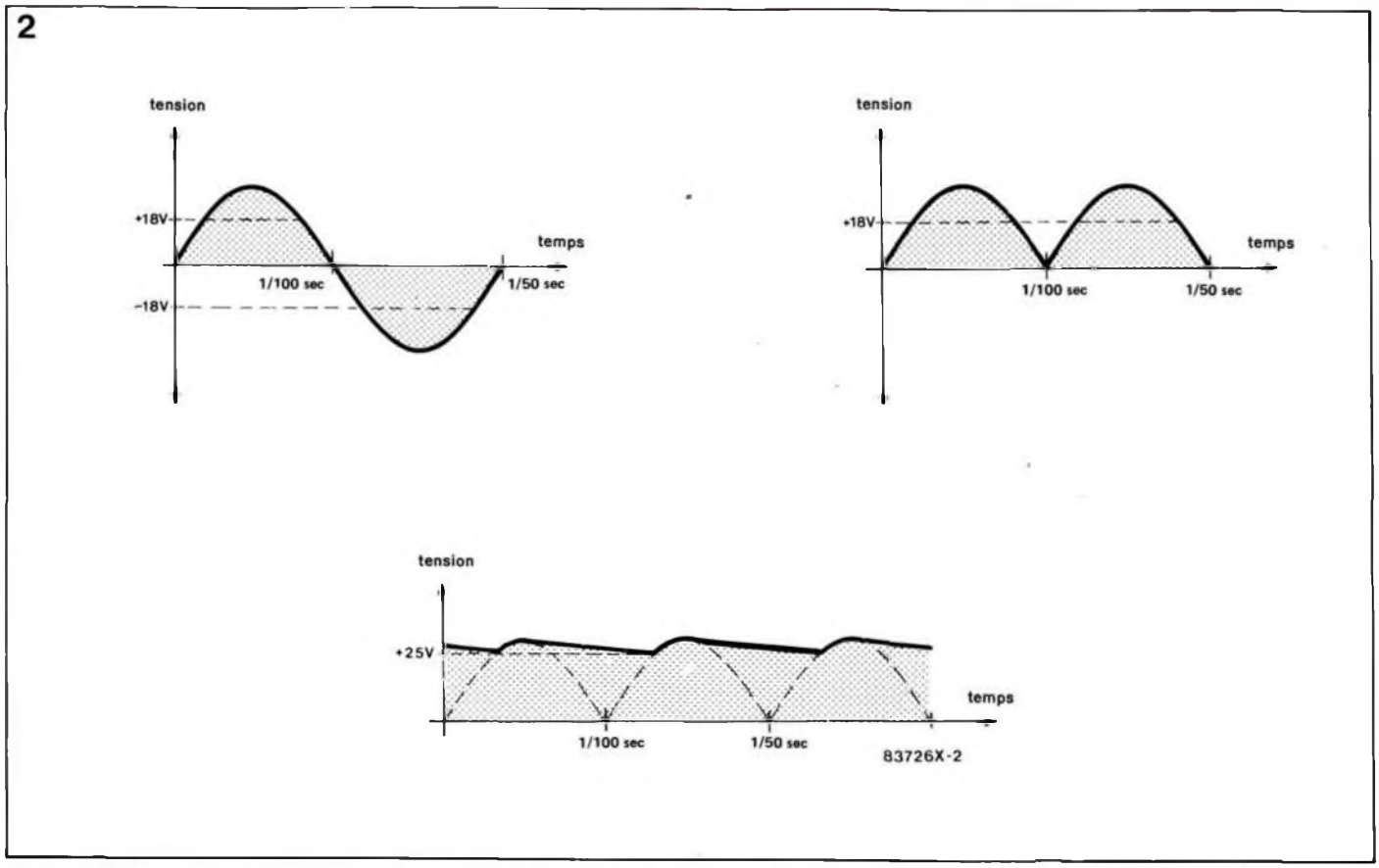
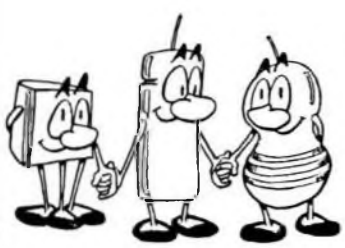


Figure 2 - Le redresseur force la polarité à rester invariable. Il ne peut cependant empêcher la tension de redescendre périodiquement à 0 V (2b). Le condensateur de lissage "ponte" ces chutes de tension (2c).

qui subsiste s'appelle **ondulation résiduelle**. Cette ondulation est d'autant plus faible que la capacité du condensateur est grande (par rapport à l'intensité du courant consommé).
Vu que la polarité aux bornes d'un condensateur de lissage ne change jamais, l'emploi d'un condensateur électrolytique est le plus approprié. La capacité d'un tel condensateur peut atteindre plusieurs milliers de microfarads (*µF*) sous un volume très faible.
Le condensateur de lissage remplit souvent une deuxième fonction. En effet, l'intensité du courant consommé par le circuit alimenté est rarement constante. Parfois la consommation d'un circuit prend même l'aspect de pointes de courant aussi fortes qu'elles sont brèves. Le condensateur de lissage est capable de faire face à ces pointes de la demande de courant, car sa charge constitue **une réserve d'énergie électrique**. S'il n'était pas présent, les pointes de consommation provoqueraient l'effondrement de la tension redressée, ce qui équivaut à une micro-coupure de courant et donne naissance à de véritables parasites.

Il faut retenir que les condensateurs remplissent souvent cette double fonction dans les circuits électroniques (égaliser les variations de tension ou fournir des pointes de courant), même si apparemment *ils ne servent à rien . . .*

Les condensateurs sont perméables aux courants alternatifs, mais imperméables aux courants continus. On peut considérer que la tension continue pulsée issue du redresseur (figure 2b) est composée d'une tension continue invariable et d'une tension alternative (**figure 4**).
Le condensateur de lissage laisse passer la composante alternative vers le pôle négatif et la "piège" en quelque sorte, alors que la composante continue passe sans encombre vers la sortie de l'alimentation.
Pour en savoir plus sur cet aspect de la fonction des condensateurs, nous vous invitons à lire l'article consacré au «condensateur en régime alternatif» paru dans le n° 3 d'ELEX.



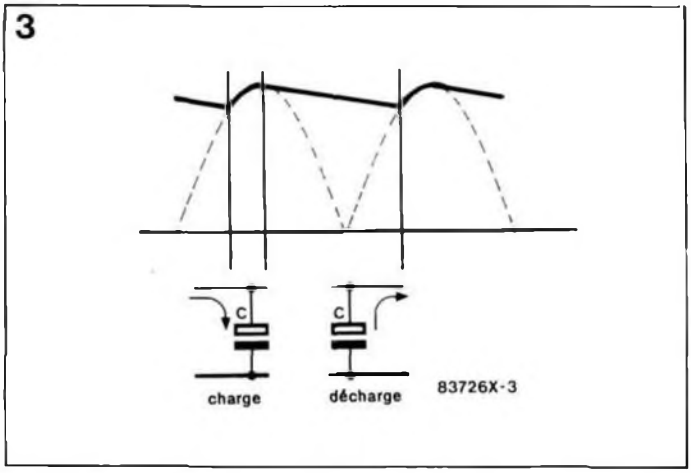
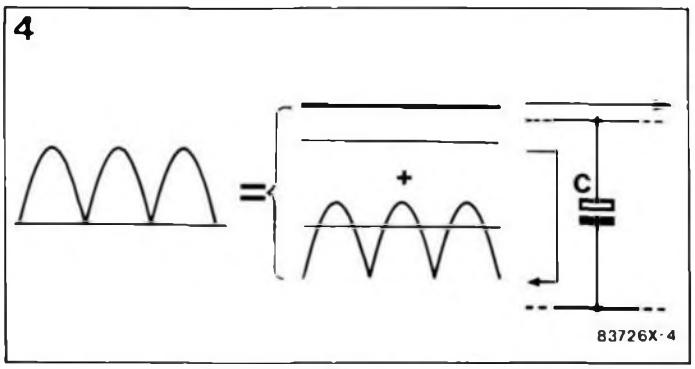


Figure 3 - La croissance de la tension issue du redresseur provoque la charge du condensateur. Pendant la baisse de la tension, il restitue une partie de sa charge.

Figure 4 - La tension continue pulsée est composée d'une tension continue et d'une tension alternative. Le condensateur court-circuite la tension alternative vers la masse. Seule la tension continue passe sans encombre vers la sortie de l'alimentation.



PDF Page Organizer - Foxit Software

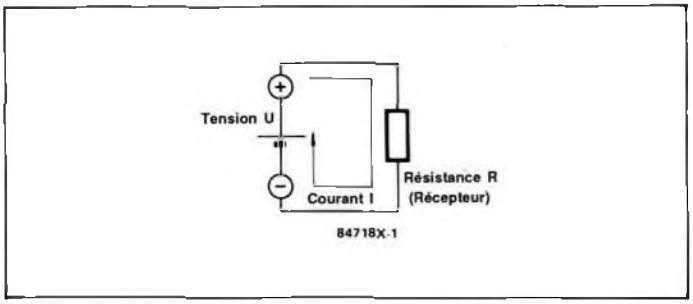
ANALOGIQUE ANTI-CHOC

2ème épisode

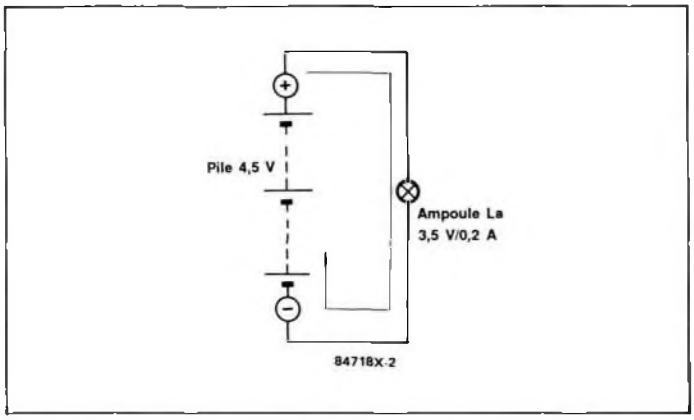
Ampère, Volta, et un autre : Graetz

Le dernier épisode, qui se trouve être aussi le premier, nous a appris que le courant électrique ne s'écoule que par un **circuit**. Un circuit simple est constitué d'une source de tension ou générateur, d'un récepteur et des conducteurs qui les relient.
Dans ce circuit, le récepteur est une résistance. La consommation de courant est conforme à la loi d'Ohm. Précisons, pour "parler vrai", que ce n'est pas le courant qui est consommé, mais l'énergie électrique. Nuance !

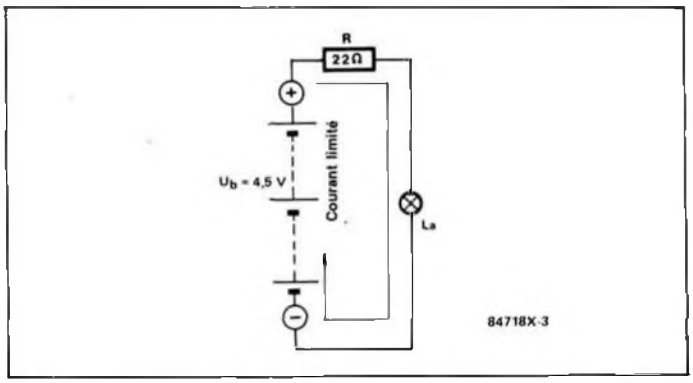
Elle est fournie par la pile, transportée par le courant jusqu'à la résistance, où elle se transforme en énergie calorifique (en chaleur, pour "parler simple"). Comme il est rare qu'on utilise en électronique la chaleur dégagée par une résistance, c'est à juste titre qu'on parle de dissipation de chaleur.



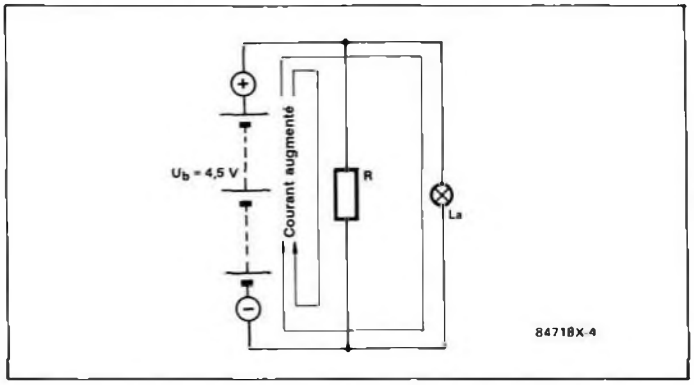
Une ampoule à incandescence est aussi une résistance, mais son échauffement va jusqu'au blanc. Voilà qui fait la lumière sur l'utilité du circuit suivant, composé d'une ampoule de lampe de poche et d'une pile plate de 4,5 V.



L'ampoule montre à l'évidence que le courant ne passe que dans un circuit : si on interrompt le circuit, n'importe où et même brièvement, elle s'éteint.
Ce montage va nous permettre aussi de mettre en évidence l'effet d'une résistance dans un circuit. On monte une résistance de 22 Ω (1 W, chez tous les revendeurs de composants) en série avec la pile et l'ampoule. "En série" signifie l'un derrière l'autre, de façon telle que le courant traverse les composants l'un après l'autre.



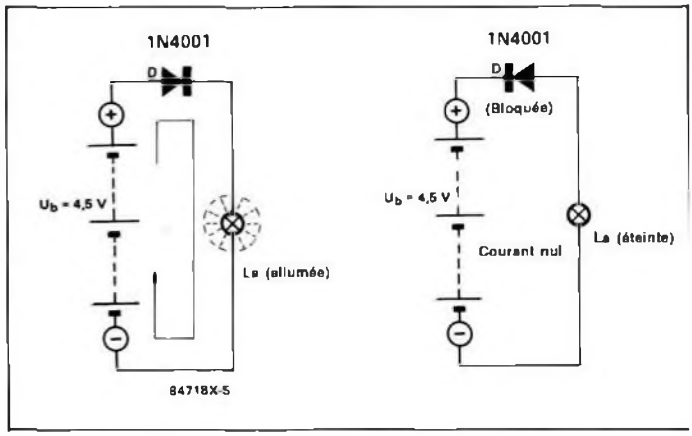
La résistance réduit le courant de moitié environ et l'ampoule brille nettement moins fort.
L'effet de réduction du courant ne se produit que si la résistance est en série. Si on la monte en parallèle, la pile doit fournir du courant à la fois à la résistance et à l'ampoule.



L'éclat de l'ampoule est conservé mais le débit de la pile augmente.

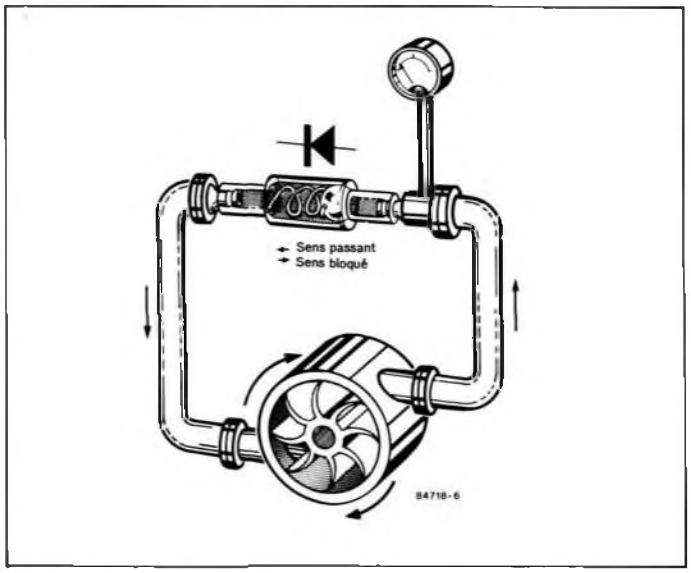
LA DIODE

Le circuit suivant comporte une diode de type 1N4001, au lieu de la résistance, en série avec l'ampoule.

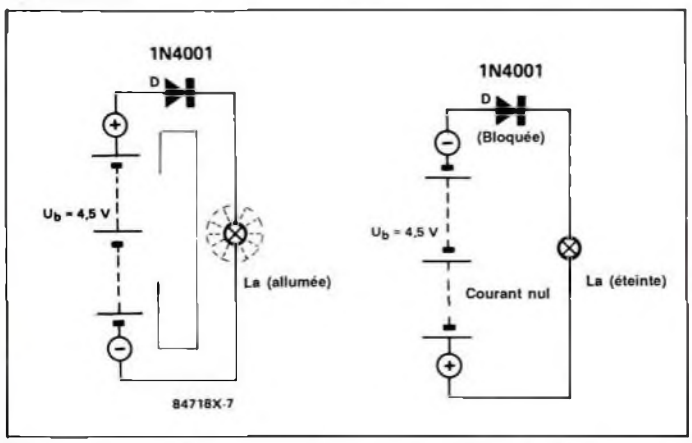


Les diodes ont en commun avec les résistances d'avoir deux bornes au sens électrique, donc matériellement deux fils de connexion. L'ampoule brille ou ne brille pas, selon l'orientation de la diode dans le circuit. On pourrait représenter la diode comme une soupape électronique qui ne laisserait passer le courant que dans un seul sens; ce qu'illustre par une comparaison hydraulique le dessin ci-dessous :

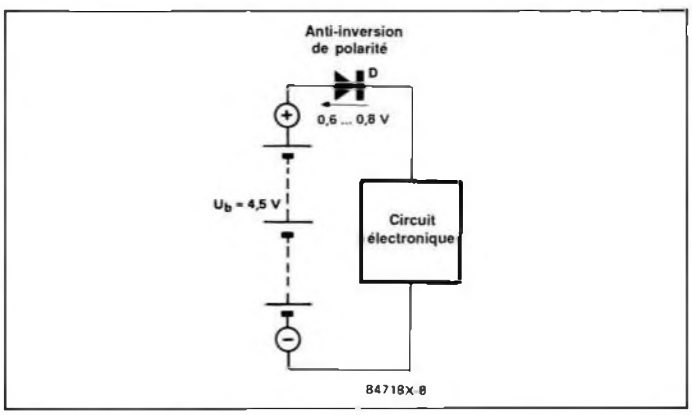
PDF Page Organizer - Foxit Software



Le symbole de la diode, un triangle et une barre transversale, montre bien que les deux bornes de ce composant ne sont pas équivalentes, contrairement à la résistance ou à l'ampoule. On dit de la diode que c'est un composant **polarisé**. Comme le courant se déplace -c'est le sens conventionnel- du plus vers le moins, la diode est **passante** dans le sens de la flèche, **bloquée** en sens inverse. L'expérience de la figure 5 se ferait tout aussi bien en inversant la polarité de la pile au lieu de celle de la diode.

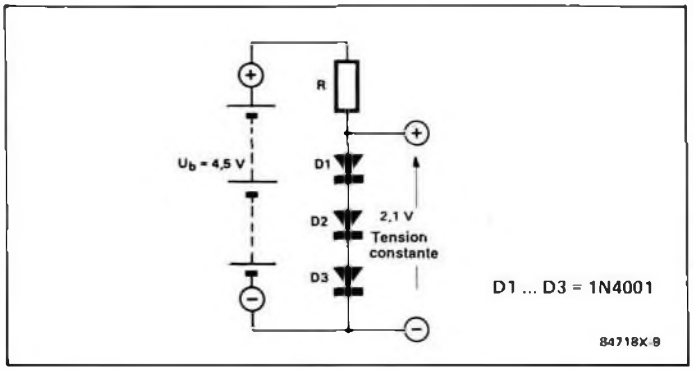


L'ampoule ne s'allume que pour une polarité. La diode constitue donc une protection contre les inversions de polarité. Cela serait sans intérêt dans le cas de l'ampoule, qui s'allume quel que soit le sens du courant, mais on trouve quelquefois des circuits électroniques sensibles protégés par une diode contre un mauvais branchement de la pile.



Cependant ce circuit présente un inconvénient : il y a aux bornes de la diode une chute de tension inutile (de 0,6 à 0,8 V, suivant l'intensité, pour les diodes au silicium comme la 1N4001). Il faut tenir compte de ce déchet surtout avec les piles dont la tension est déjà relativement faible. Si la tension d'alimentation est inférieure à 0,6 V, la diode reste bloquée. De même la soupape de la figure 6 ne s'ouvrira que pour autant que la pression exercée par la pompe dépasse la force du ressort.

Alors que la tension aux bornes de la résistance est parfaitement proportionnelle au courant (loi d'Ohm), cette **tension de seuil** ne varie que très peu en fonction de l'intensité du courant qui traverse la diode : de 0,6 à 0,8 V environ. On exploite parfois cette propriété pour obtenir des tensions stabilisées. On connecte plusieurs diodes en série pour obtenir des tensions plus élevées.

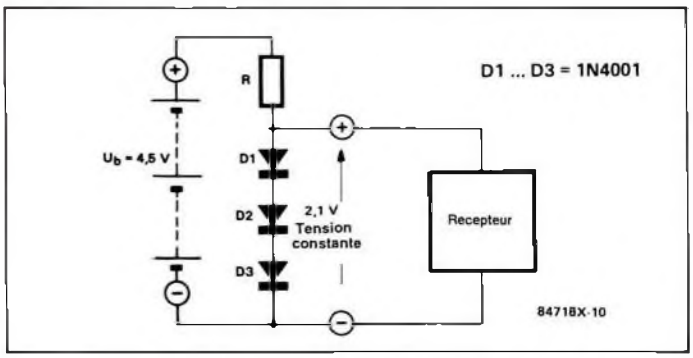


Ce sont trois tensions de seuil qui s'ajoutent ici. Ce circuit fournit donc une tension constante de 2,1 V environ. La résistance est nécessaire pour supporter la différence de tension entre la pile et la source de tension constante. Quelle valeur lui donnera-t-on ?

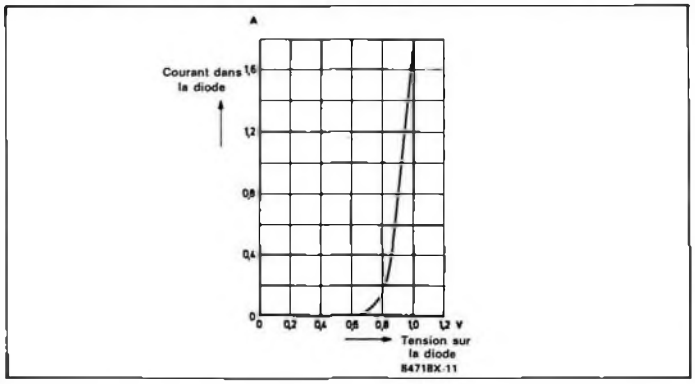
La tension aux bornes de la résistance est de quelque 2,4 V (4,5 V - 2,1 V = 2,4 V pour une pile neuve). La loi d'Ohm nous permet de calculer la résistance. Supposons que le courant doive être de 10 mA, la résistance sera de :

$R = U/I = 2{,}4\ V/10\ mA = 240\ \Omega$

(La valeur normalisée la plus proche est 220 Ω)
Autre question : avons nous choisi la bonne valeur pour le courant ? Pour le savoir, considérons la répartition des courants dans un circuit pratique comportant un récepteur, par exemple un circuit électronique, connecté à la sortie.



La résistance est traversée par le courant de la diode **et** par le courant de la **charge** (le récepteur). Ils provoquent ensemble la chute de tension dans R. Comme les diodes ont tendance à maintenir constante la tension à leurs bornes, la tension aux bornes de la résistance reste constante, elle aussi. En d'autres termes : si la charge (le courant consommé par le récepteur) augmente, le courant dans les diodes diminue. Comme le courant dans les diodes diminue, la tension à leur bornes diminue aussi, donc la tension délivrée par le circuit n'est pas parfaitement indépendante du courant consommé par le récepteur. Le diagramme suivant, qu'on appelle courbe caractéristique de la diode, montre cette relation.



PDF Page Organizer - Foxit Software

La courbe ne se sépare de l'axe horizontal qu'à partir de 0,6 V. C'est à partir de cette tension que la diode conduit un courant. Pour des courants croissants la tension de seuil croît, d'abord rapidement, puis faiblement à partir de 0,2 A. La stabilisation de tension sera la plus efficace quand la diode fonctionnera dans la partie rectiligne de sa caractéristique, au-delà de 0,2 A.

C'est la résistance R qui détermine le courant dans les diodes. Voyons un exemple concret : celui d'un récepteur qui demande 10 mA. Le courant dans les diodes doit être de 100 mA. Cette valeur n'est pas optimale, mais elle correspond à une consommation raisonnable et nous situe "en gros" dans la plage rectiligne de la caractéristique. La résistance conduit donc un courant de 110 mA et sa valeur se calcule comme suit :

R = 2,2 V/110 mA = 20 Ω

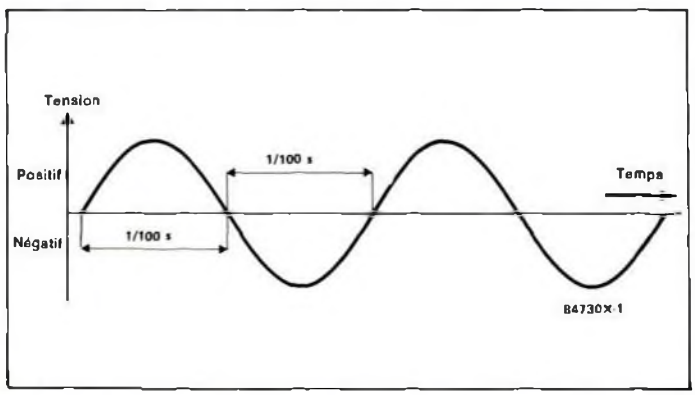
La valeur normalisée la plus proche est 22 Ω. On ne peut qu'estimer à 2,2 V la chute de tension, puisque pour 100 mA la tension aux bornes des trois diodes est d'environ 2,3 V. Bien sûr on pourrait mieux stabiliser la tension, mais ce serait au prix d'une consommation plus importante. Avec les valeurs indiquées, ce sont déjà les neuf dixièmes (100 mA sur 110) du courant de la pile qui sont perdus (par la dissipation de chaleur de la résistance et des diodes). Il faut prendre garde lors du calcul à toujours faire circuler dans les diodes un courant supérieur ou égal à celui de la charge. Sans courant dans les diodes, il n'y a plus de stabilisation de tension.

Si on expérimente le montage de la figure 9 (résistance de 22 Ω), on peut constater avec un multimètre que la tension est constante. Une résistance de 220 Ω permet de simuler une charge consommant 10 mA. La tension "constante" ne varie guère que de 0,25 V.
Il faut veiller à choisir des diodes qui supportent le courant nécessaire. Le type 1N4001, prévu pour 1 A, suffit largement, alors que le type 1N4148, prévu pour un maximum de 75 mA, serait déjà surchargé.
Les diodes utilisées à la stabilisation de tension sont constamment passantes, il est donc inutile de se soucier de leur tension inverse maximale. A l'état bloqué, elles voient normalement la tension d'alimentation du montage. La 1N4001 supporte environ 50 V, la 1N4148 75 V.

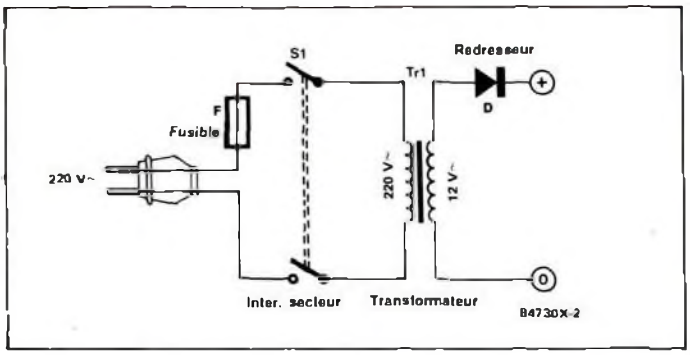
Le repérage des deux électrodes, le triangle du symbole ou anode, la barre du symbole ou cathode, est permis par l'impression d'un anneau de couleur côté cathode (voir la rubrique "Composants").

LES REDRESSEURS

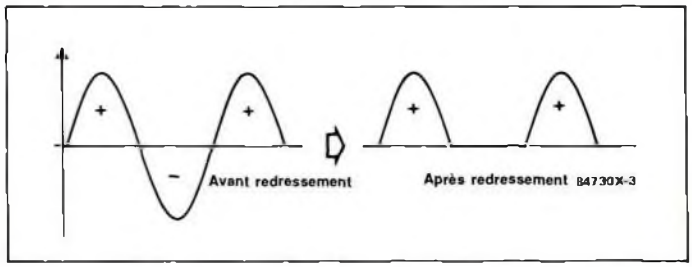
Le redressement est la fonction la plus courante des diodes, du fait de leur propriété de **commutation**, qui consiste à ne laisser passer le courant que dans un sens. Presque tous les appareils électroniques alimentés par le secteur nécessitent un redresseur puisque la tension du secteur est alternative et que sa polarité change 100 fois par seconde.



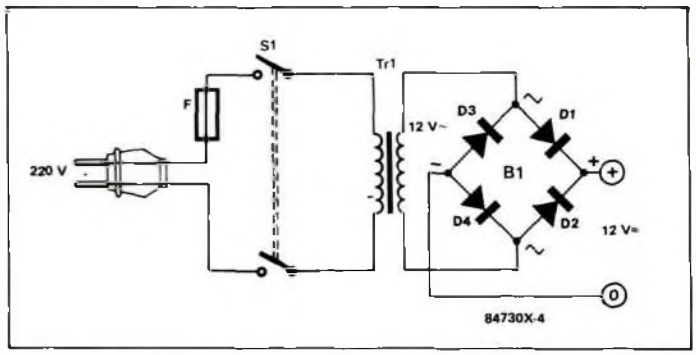
Les transformateurs permettent d'abaisser (et d'élever) la tension alternative du secteur. Cela tombe bien car on a besoin le plus souvent pour les appareils électroniques de tensions nettement inférieures à 220 V. Bien sûr il faut redresser cette tension alternative abaissée, c'est-à-dire la transformer en une tension de polarité constante.



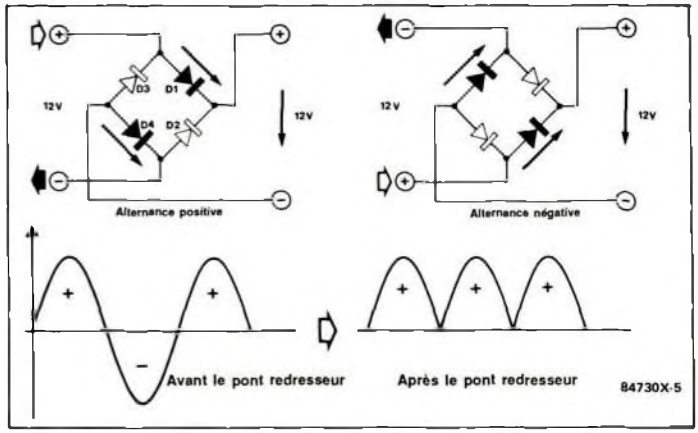
C'est ainsi que se présente une alimentation simple. Le transformateur est relié au secteur par une fiche, un interrupteur et un fusible. Une tension alternative de 12 V est présente à ses bornes de sortie. La diode du redresseur n'est passante que quand le fil supérieur du transformateur est positif et le fil inférieur négatif. Pour la polarité opposée, la diode est bloquée et le transformateur est déconnecté de la sortie. La tension en sortie ne comporte que les alternances positives de la tension d'entrée.



Ce n'est pas une véritable tension continue, mais au moins sa polarité est constante. Un condensateur et des circuits électroniques permettent de lisser cette tension continue **pulsée**. Reste que ce redresseur **mono-alternance** laisse inutilisée l'alternance négative. Ce ne sera plus le cas avec le redresseur en pont que voici :



Ce sont deux diodes qui deviennent passantes, si bien que chaque alternance apparaît à la sortie. Les alternances négatives sont redressées en alternances positives.
Les fabricants de semi-conducteurs proposent des ponts redresseurs moulés dans des boîtiers à quatre fils de sortie. Les références de ces composants donnent des indications sur la tension et le courant qu'ils supportent. Par exemple B 80 C 1500 caractérise un redresseur capable de 1500 mA, soit 1,5A, sous une tension alternative de 80 V. Il y a fréquemment deux indications



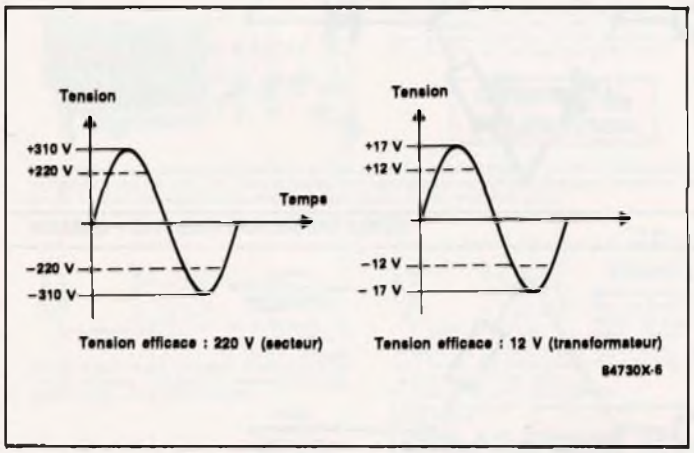
PDF Page Organizer - Foxit Software

de courant, comme par exemple : B 40 C 3300/5000. L'intensité la plus forte n'est supportée que si le composant est vissé au châssis pour le refroidissement. L'échauffement d'un redresseur provient, entre autres, de la tension de seuil. Chaque diode passante du pont provoque une chute de tension de quelque 0,8 V, et pour un courant de 3 A, la puissance à dissiper sous forme de chaleur est de :

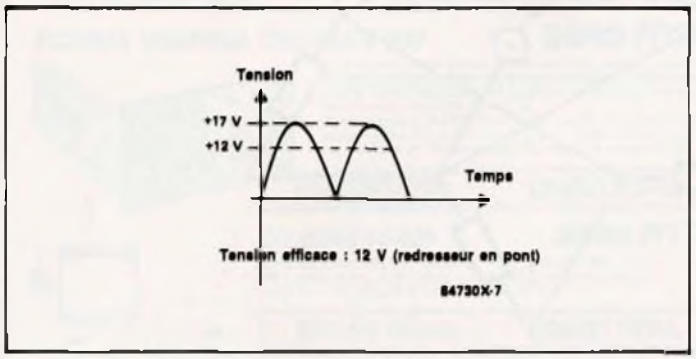
2 × 0,8 V × 3 A × = 4,8 W

Ce dégagement de chaleur est permanent puisqu'il y a toujours une paire de diodes passantes. Le châssis permet de mieux évacuer la chaleur, donc d'en dissiper plus, donc de redresser des courants plus importants.
La tension de seuil des diodes doit être prise en compte d'un autre point de vue : elle réduit la tension de sortie. Il faut compter un volt et demi pour un redresseur en pont, ce qui justifie d'employer un transformateur de 14 V pour obtenir une tension redressée de 12 V.

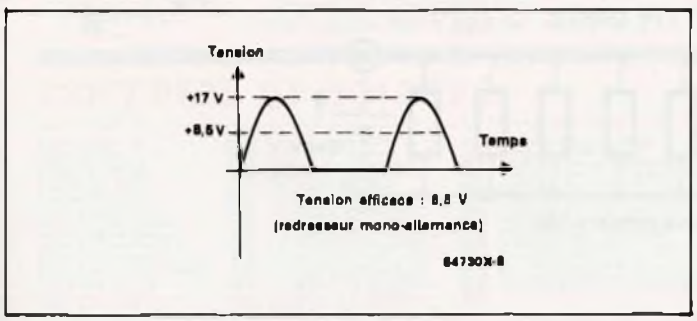
Le sujet se complique un peu quand il s'agit de tensions alternatives ou de tensions continues pulsées. On caractérise une tension alternative par sa valeur **efficace**. La tension efficace est inférieure à la tension crête de l'onde, dans le rapport $1 / \sqrt{2}$ (≙ 0,7). Donner la valeur de crête est rarement significatif, car la tension ne la garde pas longtemps.



Les diagrammes montrent la relation entre la valeur crête et la valeur efficace pour la tension du secteur et pour la tension de 12 V du transformateur. Le redressement en pont, qui utilise les deux alternances, permet de conserver la valeur efficace.



Dans le cas du redressement mono-alternance, les absences totales de tension ramènent la valeur efficace à quelque 8,5 V (facteur $1 / \sqrt{2}$). Cette valeur inférieure indique que les effets de cette tension continue pulsée seront moindres.

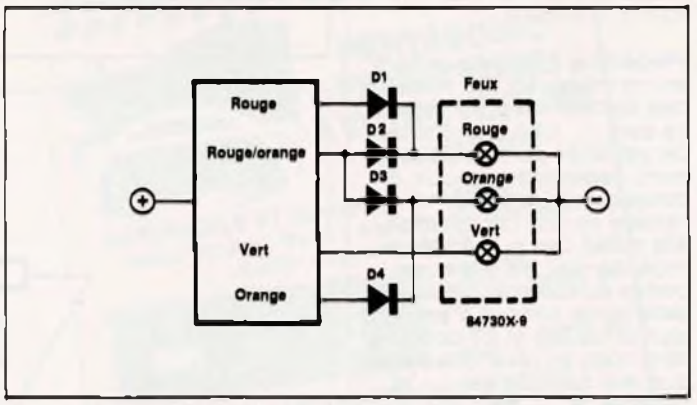


Une fois déduite la tension de seuil (d'une diode), il reste moins de 8 V, bien que la tension (alternative) du transformateur soit de 12 V. L'adjonction d'un circuit de lissage de cette tension peut la changer notablement, et même la rendre supérieure à la tension efficace ! (Ces circuits utilisent la valeur de crête de la tension continue pulsée.) Le débit de courant est également chiffré en valeur efficace. Les condensateurs connectés pour lisser la tension n'ont besoin de courant que pendant une fraction de l'alternance, mais sous une intensité instantanée supérieure à la valeur efficace.

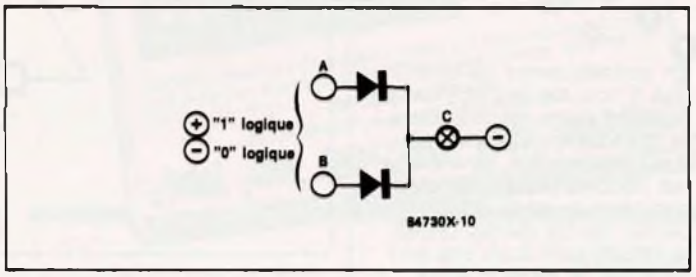
LE DÉCOUPLAGE

C'est par un exemple exotique que nous expliquerons ce qu'est le découplage et le rôle qu'y jouent les diodes. Il s'agit de feux de circulation à la mode allemande, où le passage au vert est annoncé par la combinaison rouge/orange. Il pourrait s'agir, moyennant une adaptation, du signal de chemin de fer dit "pré-avertissement", qui annonce un feu orange par la combinaison vert/orange. Les trois feux sont commandés par un temporisateur électronique. Ce circuit comporte quatre sorties, une par phase : rouge, rouge/orange, orange, vert. Le raccordement des sorties aux lampes est fait par des diodes.

Le feu rouge est allumé pendant deux phases. Si on relie les sorties rouge et rouge/orange, le feu orange s'allumera aussi quand on voudra allumer le rouge seul. Les diodes de la figure 9 empêchent le courant de passer d'une sortie à l'autre, puisqu'elles sont bloquées dans ce sens-là. D'où ce mot : elles **découplent** les sorties.



On appelle **matrices** à diodes des combinaisons importantes de diodes destinées au découplage d'un grand nombre d'entrées et de sorties. On les utilise couramment dans les circuits logiques. On peut aussi réaliser des fonctions logiques avec des diodes.



Ce circuit simple réalise une fonction **OU** (on parle ici d'un **OU câblé**) : le voyant C s'allume si une tension positive est appliquée à l'entrée A OU à l'entrée B (OU AUX DEUX, ce qui est inclus dans la fonction logique OU). Les diodes D1 et D2 empêchent le courant de passer de A à B et inversement.
Les circuits logiques importants sont réalisées au moyen de circuits intégrés spéciaux, mais c'est précisément l'objet d'une autre rubrique, non moins passionnante, d'ELEX, *La logique sans hic*.

Et Graetz, dans l'histoire ? Eh bien, on a tellement pris l'habitude de désigner par pont redresseur l'assemblage de quatre diodes examiné plus haut qu'on oublie qu'il s'agit d'un *pont de Graetz*, du nom de son inventeur.

A suivre

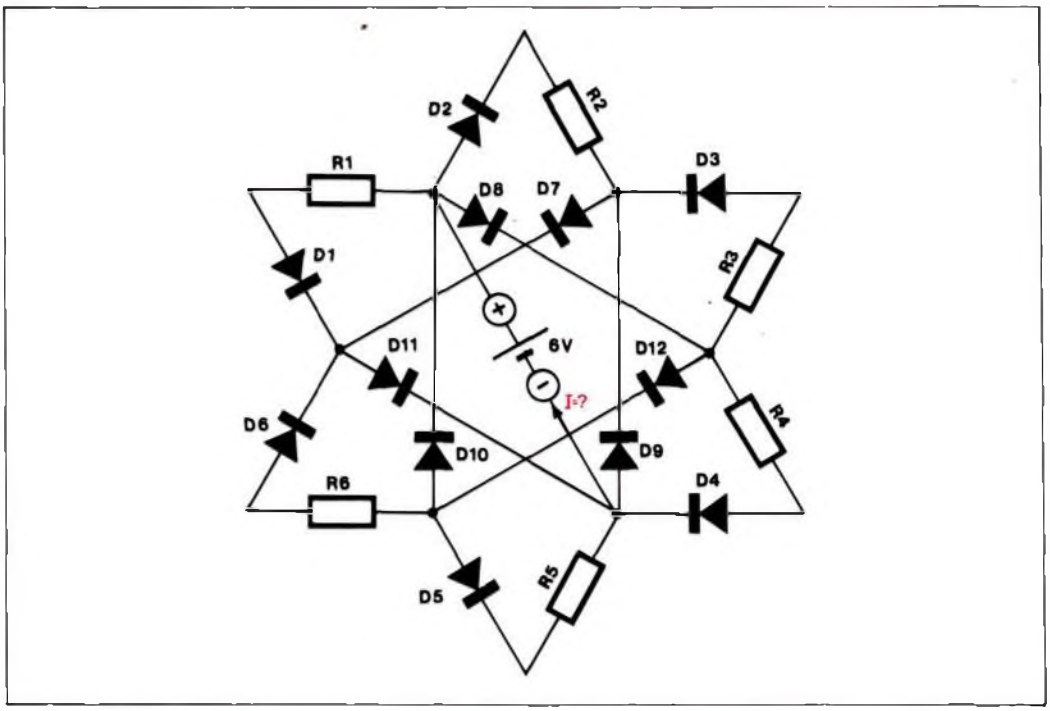
PDF Page Organizer - Foxit Software

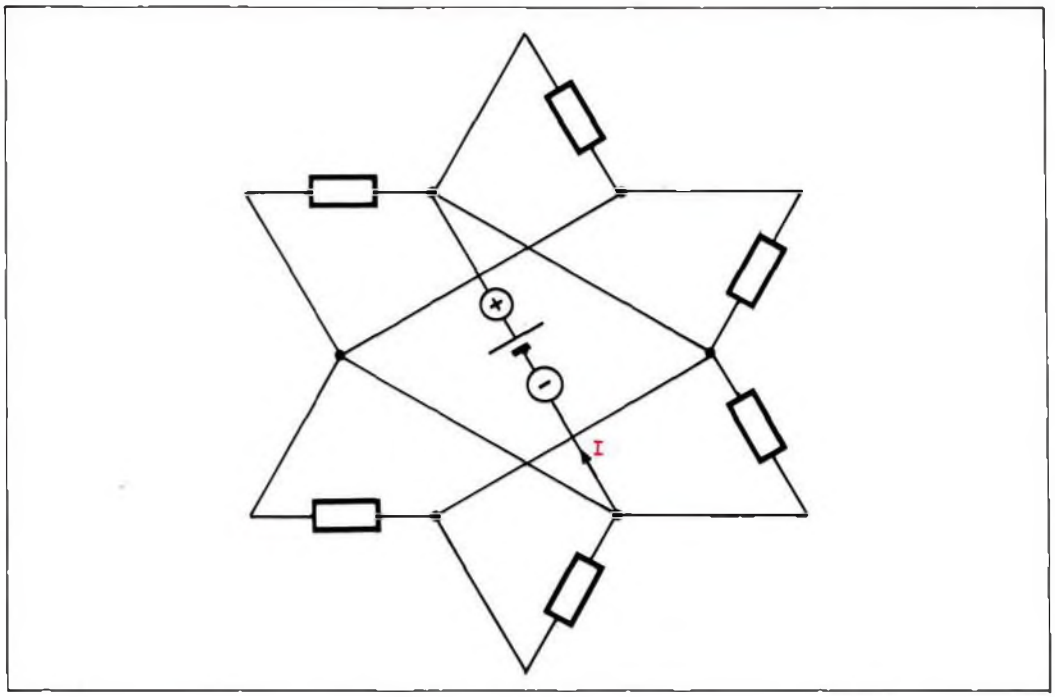
Drôle d'étoile

Dans l'édito du mois dernier (ELEX n°6, page 3, décembre 1988) nous vous proposions une énigme sous la forme d'une bien curieuse étoile formée de résistances et de diodes. Nous avions écrit que les résistances étaient de 60 Ω chacune et la batterie de 6 V; quant aux diodes, il s'agissait d'un type sans seuil de conduction qui se met à conduire soit quand son anode est positive soit quand sa cathode est négative.

Alors, combien de courant fournit la batterie ?

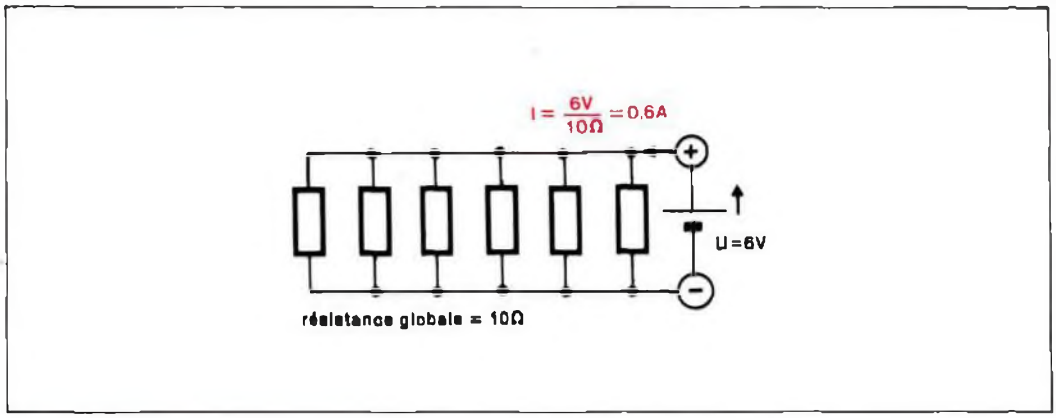
Procédons méthodiquement en commençant par l'une des diodes. Allez, au hasard, ce sera . . . D8 ! L'anode de D8 est reliée au pôle positif, donc cette diode conduit. En conséquence de quoi l'anode de D12 (oh ! pardon, elle n'était pas numérotée le mois dernier) est elle aussi portée au potentiel positif, et cette diode condult à son tour. Si les D11 et D7 conduisent, c'est en revanche parce que leur cathode est négative.





En conséquence de quoi 3 des 6 noeuds (les pointes de la petite étoile inscrite dans la grande) sont positifs et 3 autres négatifs, tandis que les couples résistance-diode montées en série (R1-D1, D2-R2, R3-D3, D4-R4, D5-R5 et R6-D6) sont tous pris en parallèle (et dans le sens passant) entre le pôle "+" et le pôle "-". D'où l'on déduit que R1 à R6 sont montées en parallèle (n'oublions pas qu'il n'y a pas de chute de tension aux bornes de nos diodes spéciales). La résistance résultante a une valeur équivalente à un sixième de 60 Ω, soit 10 Ω.

Le courant fourni par la batterie sera donc de 6 V/10 Ω = 0,6 A



Ce n'était pas bien difficile, mais pas vraiment facile non plus !

PDF Page Organizer - Foxit Software

la logique sans hic I

récapitulation

En principe ce numéro devait voir s'ouvrir le deuxième volet de la série la logique sans hic, mais il nous a semblé intéressant de récapituler ce qui a été dit tout au long des premiers épisodes et de faire ainsi le point sur la logique statique avant d'aborder la logique dynamique avec les bascules. Soyez fidèle au rendez-vous le mois prochain !

Il faut incontestablement un certain temps et une vue d'ensemble avant d'arriver à apprécier à quel point le solfège est efficace pour bien connaître la musique et approfondir l'étude d'un instrument. Avec la logique et la numération binaire, c'est pareil. Ne vous impatientez donc pas !

Rappelons que l'on parle de calcul **binaire** parce que l'on utilise **deux** chiffres, au lieu de **dix** dans le calcul décimal, ou **seize** dans le calcul hexadécimal. Les niveaux logiques, les fameux "1" et "0" peuvent être imaginés comme des interrupteurs ouverts ("0") ou fermés ("1").

La logique est l'art et la technique de combiner les 0 et les 1 binaires pour calculer. Avec un nombre à deux chiffres binaires, on peut compter de 0 à 3 ($00_2=0_{10}$, $01_2=1_{10}$, $10_2=2_{10}$, $11_2=3_{10}$); avec un chiffre supplémentaire on comptera jusqu'à 7 ($100_2=4_{10}$, $101_2=5_{10}$, $110_2=6_{10}$, $111_2=7_{10}$); chaque chiffre supplémentaire double le nombre de combinaisons possibles.

Il suffit en principe d'un papier et d'un crayon pour s'exercer en logique combinatoire, et analyser le fonctionnement des circuits logiques. Mais pour vous permettre de vous familiariser avec la logique par une représentation concrète, palpable et visible, des niveaux logiques et des effets de leur combinaison, nous vous proposons d'utiliser la platine d'expérimentation logique DIGILEX conçue spécialement pour la rubrique "la logique sans hic" publiée dans ELEX de juin-juillet 1988, n°2 page 61.

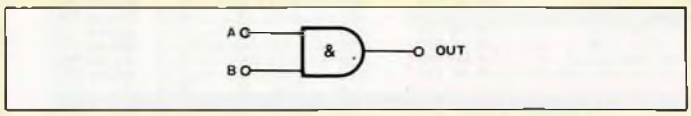
On connaît trois opérations logiques fondamentales:
- la combinaison ET logique (AND)
- la combinaison OU logique (OR)
- la combinaison NON logique, ou négation (NOT)

L'opération logique ET (AND)

Voici la table de vérité de l'opération ET

entrées A	B	sortie A ET B
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

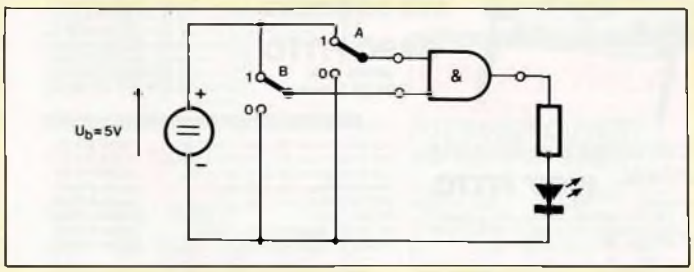
Le symbole de l'opérateur ET est le suivant:



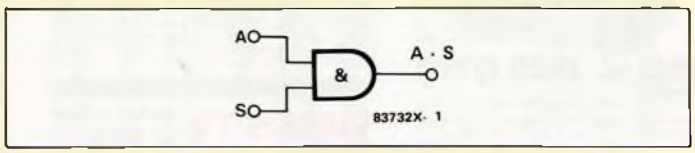
Exprimée en termes de tensions, la table de vérité de l'opération ET donne le résultat suivant :

entrées A	B	sortie A ET B
0 V	0 V	0 V
5 V	0 V	0 V
0 V	5 V	0 V
5 V	5 V	5 V

Le niveau logique de la sortie d'un opérateur ET est à "1" uniquement lorsque l'entrée A **ET** l'entrée B sont elles-mêmes au niveau logique "1". Remarquez la présence du signe & qui permet d'identifier les opérateurs ET.
Une démonstration pratique de cette combinaison nous est donnée par le circuit de la figure 3. Une source de tension et deux inverseurs sont mis en oeuvre pour appliquer tour à tour les niveaux logiques "0" et "1" aux entrées d'un opérateur logique ET dont la sortie commande une diode électro-luminescente.



La table de vérité d'un opérateur ET (AND) nous prouve que cet opérateur remplit de façon évidente une fonction de porte logique.



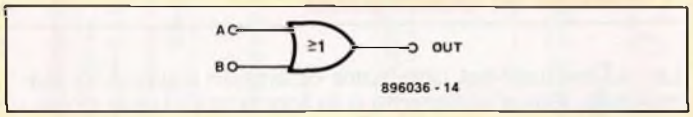
L'une des entrées, désignée ici par la lettre "S", peut être considérée comme **entrée de commande**. Selon son niveau, elle bloque la sortie dans un état donné, ou lui permet au contraire d'adopter le niveau présent sur l'autre entrée.

Dans le cas où S="1", la sortie de l'opérateur logique ET restitue le niveau logique de l'entrée A. Si par contre S="0", la sortie de l'opérateur reste bloquée au niveau logique bas ("0"), quel que soit le niveau logique de l'entrée A.

PDF Page Organizer - Foxit Software

L'opération logique OU (OR)

L'opérateur logique OU ci-dessous aura une tension de sortie de 5 V si l'une **OU** l'autre de ses entrées A et B est elle-même à 5 V.

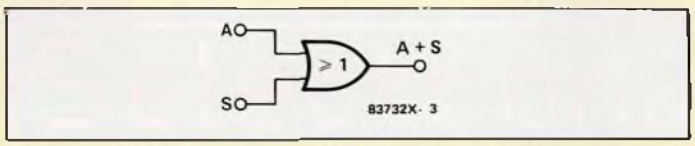


entrées A	entrées B	sortie A OU B
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Le signe "plus grand ou égal 1" montre bien qu'il faut qu'au moins une des deux ou les deux entrées soient à "1" pour que la sortie de l'opérateur OU passe elle-même à un.

entrées A	entrées B	sortie A OU B
0 V	0 V	0 V
5 V	0 V	5 V
0 V	5 V	5 V
5 V	5 V	5 V

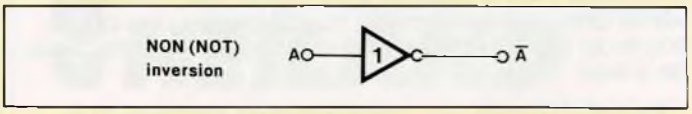
L'opérateur logique OU (OR) convient également pour créer une fonction de porte logique :



Ici l'entrée de commande "S" doit être maintenue au niveau "0" pour que la sortie de l'opérateur restitue le niveau logique de l'entrée A, tandis que le niveau "1" de l'entrée de commande maintient la sortie de l'opérateur au niveau "1" quel que soit le niveau logique de l'entrée A.

L'opération logique NON (NOT)

En fait il s'agit d'une simple **inversion** du niveau logique : le "1" devient "0" et le "0" devient "1". Une sortie inversée est surmontée d'une barre de négation. Le petit cercle placé sur la sortie du symbole indique que la sortie est inverseuse. On trouve aussi ce cercle à l'entrée de certains symboles.

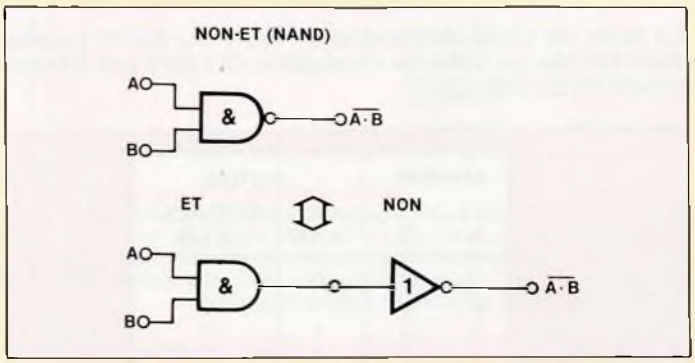


entrée A	sortie $\overline{A}$
1	0
0	1

Note : Les signes "+" et "·" utilisés en logique n'ont qu'un rapport indirect avec les signes d'addition et de multiplication de l'arithmétique ordinaire. Le point remplace ici le mot ET (ou AND), tandis que le signe + remplace le mot OU (ou OR). Si l'on prend par exemple la table de vérité de l'opérateur ET, on voit que 1·1 donne 1, tandis que 0·1 ou 1·0 donne 0. Que le 1+1 de la table de vérité de l'opération OU donne 1 n'est pas tout à fait faux, puisque nous sommes en base 2. En tous cas, 1+0 est bel et bien égal à 1 !

L'opérateur logique NON-ET (NAND)

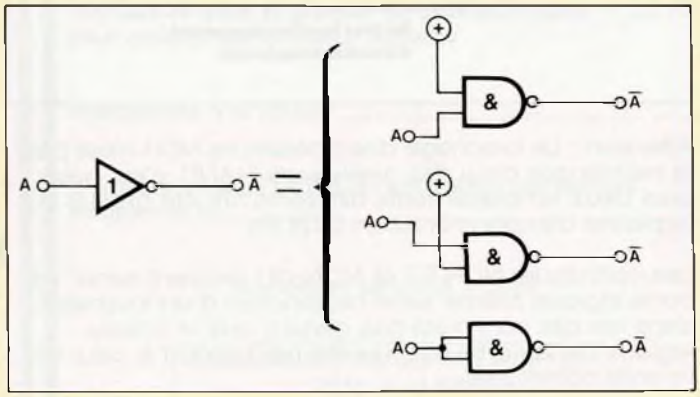
Une porte NON-ET combine les fonctions ET et NON en une seule opération.



La table de vérité de l'opération NON-ET (NAND) pourra être déduite facilement de celle de l'opération ET (AND):

entrées A	entrées B	sorties ET A·B	sorties NON-ET $\overline{A \cdot B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

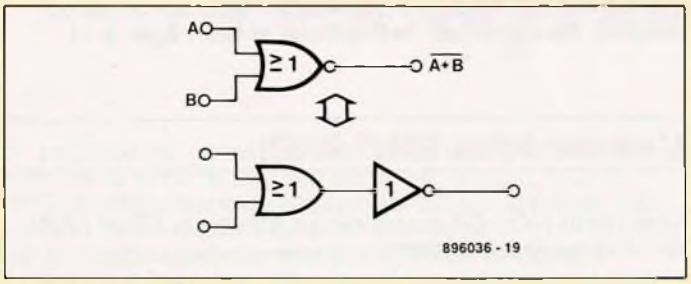
Examinons de plus près les deux dernières lignes. Dans les deux cas, l'entrée A est à "1", tandis que le niveau de l'entrée B se retrouve inversé sur la sortie $\overline{A \cdot B}$. En d'autres termes, quand un niveau "1" est appliqué à l'entrée A, l'opérateur NON-ET se comporte en inverseur. L'inverse est vrai : si c'est l'entrée B que l'on force au niveau "1" en la reliant à une ligne où règne une tension d'environ 5 V, c'est par l'entrée A que l'opérateur se comporte en inverseur (lignes 2 et 4 de la table de vérité). Une troisième possibilité consiste à relier l'entrée A et l'entrée B entre elles; dès lors, l'opérateur NON-ET (NAND) se comporte aussi en inverseur.



PDF Page Organizer - Foxit Software

L'opérateur logique NON-OU

L'opérateur NON-OU (NOR) est obtenu lui aussi en combinant une fonction OU et une fonction NON. Le symbole de la porte NOR peut d'ailleurs être remplacé par celui d'une porte OR suivi de celui d'un inverseur.

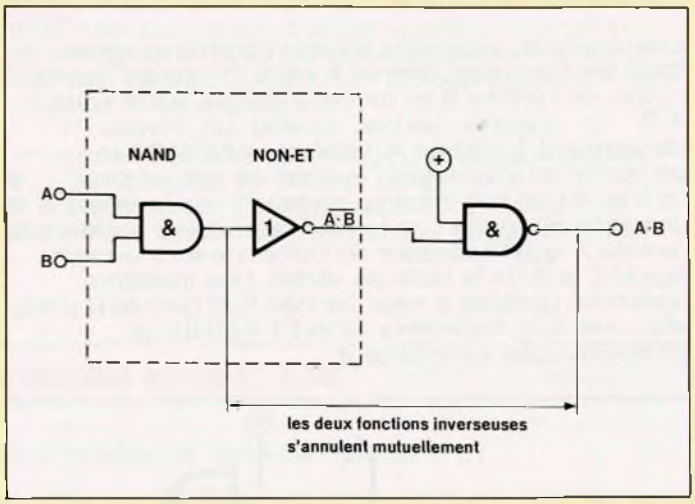


La table de vérité de l'opération NON-OU (NOR) pourra être dérivée de celle de l'opération OU (OR) par simple inversion du résultat:

entrées		sorties	
		OU	NON-OU
A	B	A+B	$\overline{A+B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

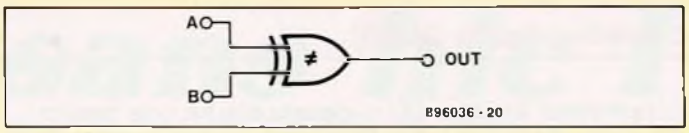
La fonction NON-OU peut être utilisée pour obtenir d'autres combinaisons logiques. Comme l'opérateur NAND, l'opérateur NOR devient inverseur quand on interconnecte ses deux entrées. C'est ce que montrent la première et la dernière ligne de la table de vérité. Le même effet est obtenu lorsque l'une des deux entrées est forcée au niveau logique bas (''0''), c'est-à-dire lorsqu'elle est portée au potentiel négatif de l'alimentation (les trois premières lignes de la table de vérité le montrent).

Deux inversions successives s'annulent :



Attention : Le brochage des opérateurs NOR n'est pas le même que celui des opérateurs NAND, c'est pourquoi deux emplacements différents ont été prévus sur la platine d'expérimentation DIGILEX.

Les opérateurs NON-ET et NON-OU peuvent servir de porte logique même sans l'adjonction d'un inverseur, dans les cas où il n'est pas gênant que le niveau logique de la sortie soit inversé par rapport à celui de l'entrée commutée.



L'opérateur OU exclusif (EXOR)

Le OU exclusif est une autre opération logique fondamentale. Elle s'apparente à la fonction OU que nous connaissons, mais ne réagit que si l'une des deux entrées est au niveau haut et l'autre au niveau bas (d'où le mot «exclusif»).

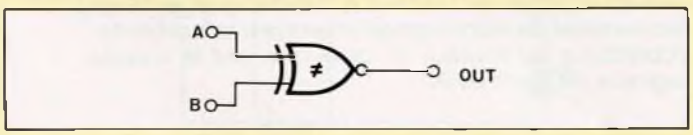
entrées		sortie OU exclusif
A	B	A ≠ B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

La sortie EXOR n'est à ''1'' que si l'une des entrées est à ''1'' et l'autre à ''0''.

A quoi nous pourrions rajouter l'opérateur EXNOR, c'est-à-dire le NON-OU exclusif dont on devine aisément qu'il fait l'inverse de l'opérateur OU exclusif :

entrées		sortie NON-OU exclusif
A	B	$\overline{A \neq B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	

D'où l'on déduit la description suivante d'un opérateur NON-OU exclusif (EXNOR) : sa sortie est à ''1'' quand les entrées sont toutes au même niveau logique.



L'opérateur OU exclusif est aussi un inverseur commutable.
La table de vérité fait ressortir que les niveaux logiques appliqués à l'entrée A sont inversés à la sortie si l'entrée de commande est au niveau logique ''1''. Si elle est au niveau ''0'', le niveau logique de l'entrée A se retrouve inchangé à la sortie.
L'opérateur NON-OU exclusif fait l'opération inverse.

Il ne reste plus à présent qu'à graver ces tables de vérité dans votre mémoire, ou d'épingler une photocopie du tableau ci-dessous au-dessus de votre table de travail . . .

entrées		sortie ET	sortie OU	sortie NON-ET	sortie NON-OU	sortie OU exclusif	sortie NON-OU exclusif
A	B	A·B	A+B	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A+B}$	A ≠ B	$\overline{A \neq B}$
0	0	0	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1