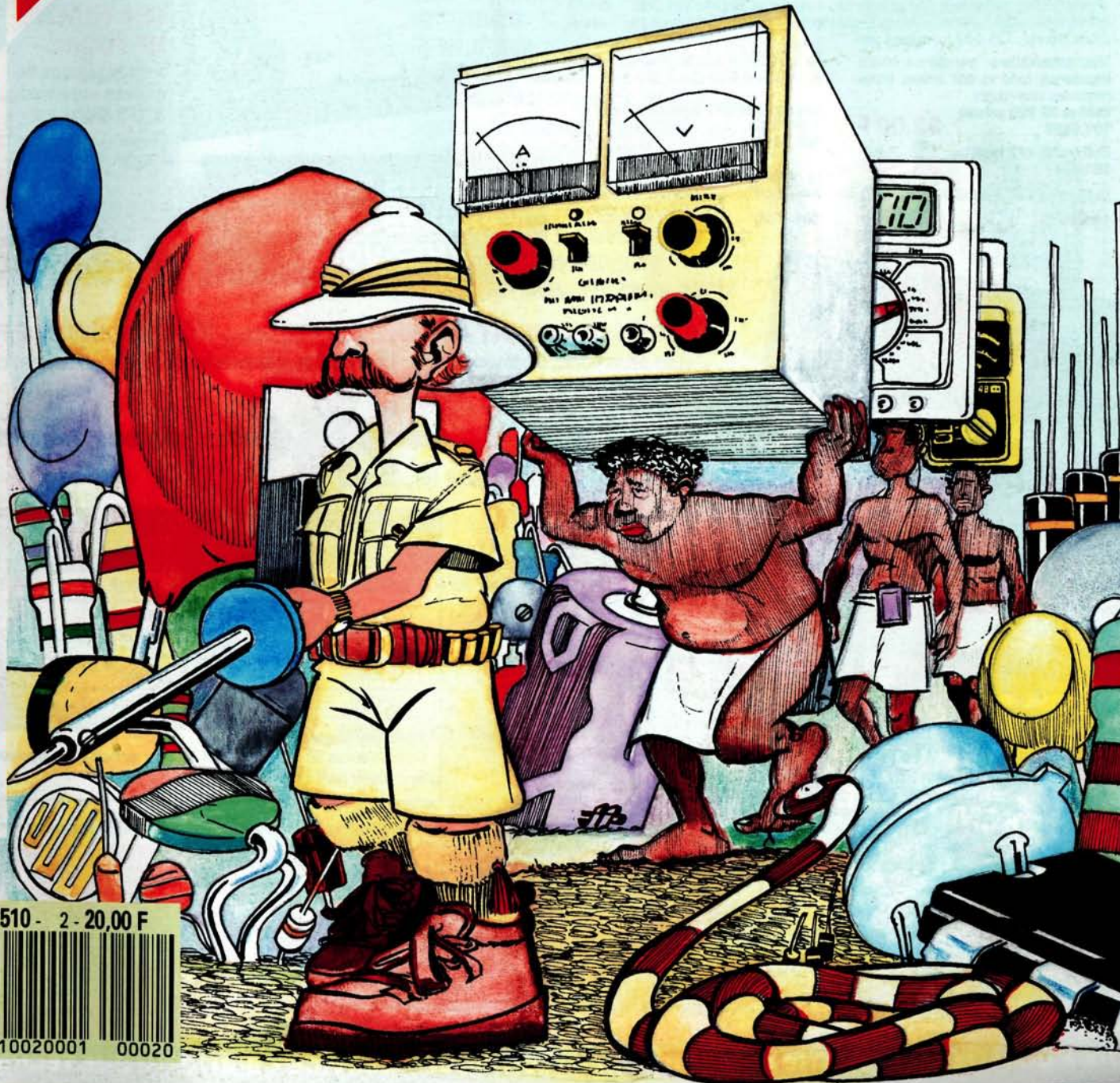


n° 2
juin 1988
146 FB / 7,80 FS
mensuel

*Entrez dans la
jungle et découvrez le
monde de l'électronique!*

explorez l'électronique



M 2510 - 2 - 20,00 F



3792510020001 00020



E · L · E · X
BP 53
59270 BAILLEUL

SOMMAIRE ELEX N°2

R · U · B · R · I · Q · U · E · S

- 6 · les platines elxpérimentales
- 10 · le pont diviseur de tension
- 12 · combinaison R1/R2
- 18 + 43 · RESI & TRANSI : le courant et les résistances
- 25 · la loi d'Ohm
- 30 · la loi des noeuds
- 36 · comment fonctionne l'oscilloscope
- 40 · source de courant constant
- 42 · résistances normalisées
- 44 · la mesure analogique 2ème partie
- 51 · composants
- 53 · galvanomètre à cadre mobile
- 59 · ampèremètre de brousse
- 65 · la logique sans hic 2ème partie

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

POUR L'AUTO :

- 8 · témoin de feux stop

POUR ECONOMISER :

- 13 · gradateur pour lampe de poche
- 54 · chargeur d'accumulateurs universel

POUR (ceux qui partent) L'ETE :

- 15 · minuterie de bronzage

POUR (ceux qui ne partent pas) L'ETE :

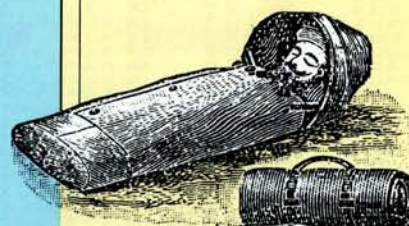
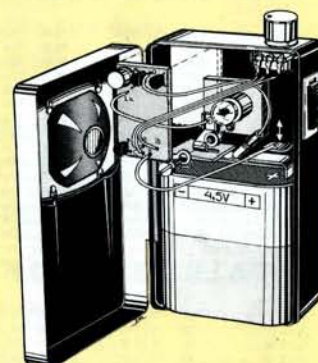
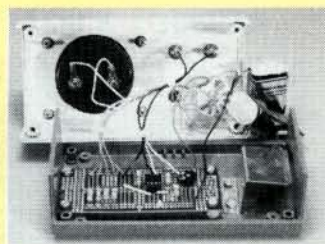
- 20 · ressac électronique

POUR MESURER :

- 27 · ohmmètre linéaire
- 46 · étage d'entrée pour multimètre

POUR S'AMUSER :

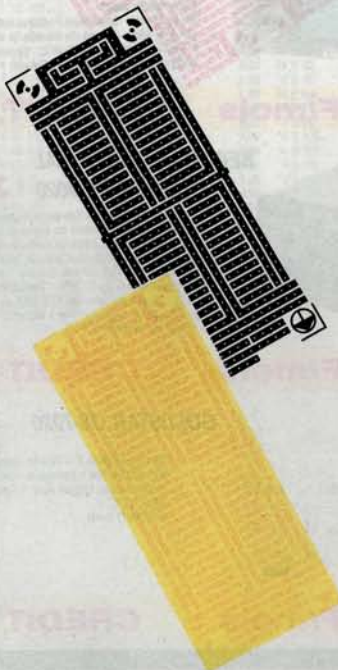
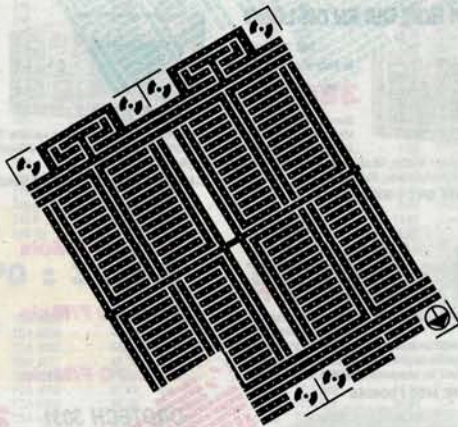
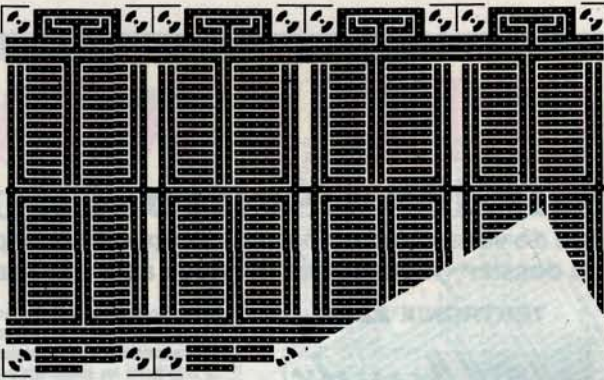
- 32 · gyrophare pour modèle réduit
- 61 · platine d'expérimentation logique



1973. Lit sac pliant "Le Pratique", forte toile



platines d'expérimentation



Quiconque a connu les difficultés que comporte le montage volant des composants sait apprécier le progrès énorme que représente le circuit imprimé. Ceci dit, notre époque est déjà profondément marquée par le recul du circuit imprimé classique; après avoir connu divers avatars, notamment sous la forme de circuits souples, la carte imprimée se miniaturise avec les Composants Montés en Surface et soudés du côté où ils sont implantés. La très petite taille des CMS les rend assez difficilement manipulables; ces composants n'ont évidemment pas été conçus pour être implantés et soudés à la main.

Or comme ELEX n'est pas un magazine qui s'adresse aux robots, nous en resterons donc, avec nos platines expérimentales, à l'implantation classique des composants de taille normale, dont les broches traversent la carte et sont soudées de l'autre côté. Une platine d'ELEX n'est pas une platine normale. Elle ne ressemble à aucune autre platine d'expérimentation. (Il est néanmoins parfaitement possible de réaliser les montages d'ELEX sur des platines d'expérimentation ou des circuits à pastilles ordinaires).

Faites d'un **matériau époxy** renforcé par de la **fibres de verre**, elles sont, comme le montrent les photographies ci-contre, **sérigraphiées et percées** (écart standard de 2,54 mm = 1/10^{ème} de pouce). Côté composants apparaît le dessin des pistes dont le tracé a été étudié spécialement par une équipe de spécialistes. Le dessin des pistes apparaît dans **deux couleurs (blanc et bleu)** afin de faciliter leur repérage. Les pistes de cuivre sont **étamées** (le cuivre est recouvert d'une couche spéciale d'étain lui-même protégé par un vernis qui facilite le soudage et combat l'oxydation).

Les platines *elexpérimentales* existent en **trois formats** qui s'adaptent à tous les besoins et à tous les coffrets modernes:

- | | |
|----------|--------------------------|
| format 1 | (1/4 du format européen) |
| | 40 mm x 100 mm |
| format 2 | (1/2 format européen) |
| | 80 mm x 100 mm |
| format 3 | (format européen) |
| | 160 mm x 100 mm |

Le format européen est un standard auquel se réfèrent la majorité des fabricants de coffrets pour l'électronique. Sur une platine de format 1, il est possible de caser environ quatre supports de circuit intégré DIL (broches disposées en deux rangées parallèles) à quatorze broches.

La platine d'expérimentation numérique (ou digitale) DIGILEX a été conçue au laboratoire d'ELEX pour permettre de matérialiser les notions théoriques de logique. Elle sera très utile à tous ceux qui désirent suivre la rubrique "*la logique sans hic*" publiée chaque mois dans ce magazine. Au-delà des expérimentations décrites dans ELEX, cette même platine pourra servir également à l'étude préalable des combinaisons logiques que vous inventerez vous-même...

Les platines ELEX, diffusées par la société PUBLITRONIC, sont disponibles chez certains revendeurs de composants électroniques.

C'est un interrupteur à lame souple (ILS) qui est le composant essentiel du circuit décrit ici et dont la fonction est de vérifier qu'un courant parcourt un fil conducteur. Ce fil peut être n'importe lequel, mais comme un circuit électronique n'est jamais aussi intéressant que dans une application pratique précise, nous vous proposons de réaliser un **témoin de feux stop** pour auto.

En voiture, quand vous appuyez sur la pédale de freins, normalement les feux stop s'allument pour signaler le ralentissement de votre véhicule à ceux qui le suivent; mais êtes-vous certain que ces feux s'allument bel et bien? Avec l'indicateur décrit ici, une lampe-témoin discrète s'allumera sur votre tableau de bord chaque fois que vous effleurez la pédale de frein, à condition que les feux stop s'allument eux aussi!

DETECTION DE COURANT

Dans cette application, le fil à surveiller est celui qui alimente les ampoules des feux stop de l'automobile, c'est-à-dire ces feux qui s'allument lorsque l'on appuie sur la pédale de frein. Le plus surprenant dans ce montage est que le conducteur testé **n'est pas interrompu**. Il suffit de l'enrouler en spirale autour du tube en

verre de l'interrupteur à lame souple.

Un interrupteur à lame souple se présente sous la forme d'un tube de verre dans lequel se trouve un interrupteur **susceptible d'être actionné par un champ magnétique**. Le courant qui parcourt le fil enroulé autour de l'ILS donne naissance à un champ magnétique qui va agir sur le contact comme il le ferait sur l'aiguille d'une boussole, et l'interrupteur se fermera.

Le montage de la **figure 2** comprend un deuxième circuit avec une LED qui s'allumera à la fermeture du contact. Si l'intensité du courant qui circule dans le bobinage est trop faible ou carrément nulle, le contact s'ouvre et la diode électro-luminescente s'éteint. L'ampoule de verre contient un **gaz spécial** qui prévient l'oxydation des contacts. L'interrupteur se ferme dès que l'intensité du courant (exprimée en ampères) pour un nombre de spires donné atteint une valeur suffisante, généralement entre 30 et 100 A·spires. On obtient cette valeur en multipliant la valeur du courant par le nombre de spires qu'il parcourt. Pour que l'ILS réa-

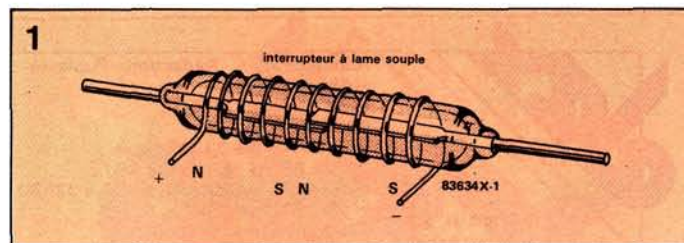


Figure 1 - Un interrupteur à lame souple (ILS). Lorsque le fil enroulé autour du tube est parcouru par un courant, un champ magnétique s'élabore et actionne le contact placé dans le tube.

gisse à de faibles courants, il faut augmenter le nombre de spires, alors qu'il suffit de quelques tours pour qu'il réagisse aux courants plus forts.

Prenons l'exemple d'un modèle d'ILS qui se ferme à 50 A·spires, avec lequel il s'agit de vérifier le passage d'un courant d'au moins 2,5 A dans un conducteur. Combien de spires nous faut-il?

Le problème se pose ainsi: $2,5 \text{ A} \cdot ? \text{ spires} = 50 \text{ A} \cdot \text{spires}$
La réponse est simple: il faut 20 spires.

Il existe des interrupteurs à lame souple plus sensibles, fournis déjà bobinés avec un grand nombre de spires.

VERIFIER LES FEUX STOP

Une ampoule de feu stop de voiture consomme 18 W, deux de ces lampes en consomment 36. Si l'on divise cette puissance par la tension de service du véhicule (12 V), on obtient en vertu de la loi d'Ohm la valeur du courant qui parcourt les deux ampoules:
 $36 \text{ [W]} : 12 \text{ [V]} = 3 \text{ [A]}$

Ce courant circule dès que l'interrupteur actionné par la pédale de frein ou par le maître cylindre se ferme. La **figure 3** montre la mise en oeuvre du dispositif indicateur de fonctionnement des feux stop. Le fil d'alimentation des feux stop est enroulé une vingtaine de fois autour

témoin de feux stop

Ici nous vous invitons à faire la connaissance d'un composant électronique plutôt (e)l'exotique: une ampoule de verre contenant deux lamelles de métal. A quoi cela peut-il bien servir?

Liste des composants

R1 = 470 Ω
D1 = LED
S1 = ILS interrupteur à lame souple (environ 50 A·spires)
accessoires de montage, fil, cosses
Platine Elex format 1

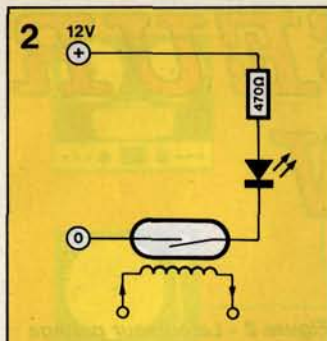


Figure 2 - La LED s'allume lorsque le courant à travers le fil enroulé est suffisant.

de l'ILS. Si les caractéristiques de l'interrupteur utilisé sont différentes de celles que nous indiquons, on recalculera le nombre de spires requis.

Dès que l'on freine, la LED s'allume. Si l'une des deux ampoules était défectueuse, le courant qui circule à travers les spires tomberait à 1,5 A, ce qui est insuffisant pour générer un champ magnétique capable de fermer le contact: la LED reste éteinte.

Le montage de la **figure 4** est un peu plus raffiné, puisqu'il indique le mauvais fonctionnement de l'un des feux stop, ou des deux à la fois, alors que le premier montage signalait le bon fonctionnement des feux stop: ici, la LED s'allume si l'une des deux ampoules est défectueuse. Cette fois l'ILS met en court-circuit la LED témoin dès que les feux stop consomment leur courant normal. Pour que la LED reste éteinte quand on ne freine pas, le montage est alimenté à travers l'interrupteur du frein. Il ne fonctionne donc que quand on appuie sur la pédale de frein.

Le nombre de spires autour de l'interrupteur ne doit pas non plus être trop grand, sinon le contact est trop sensible et il réagit même si une seule des deux ampoules fonctionne. On peut déterminer facilement le nombre d'A.spires d'un ILS par quelques essais (le nombre de spires à effectuer se situe généralement entre 15 et 40). Comme le circuit est destiné à être monté sur un véhicule, on veillera à lui assurer une bonne fixation qui résiste aux vibrations. Si le fil conducteur des feux stop est trop court pour être enroulé autour de l'ILS, on le rallongera en n'employant, pour des raisons de sécurité, que des fils isolés de même section que le fil d'origine, ainsi que des cosse plates à sertir, spéciales pour l'électricité automobile.

Nous avons monté le prototype de laboratoire sur une platine Elex de format 1 (**figures 5 et 6**). L'interrupteur à

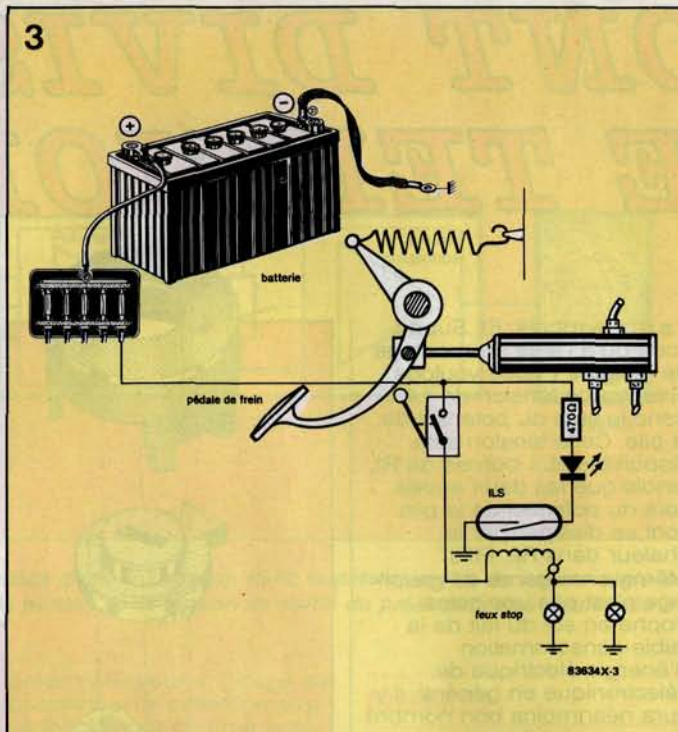


Figure 3 - Une fois monté sur l'auto, le témoin de feux stop s'allume lorsque les deux ampoules des feux stop fonctionnent.

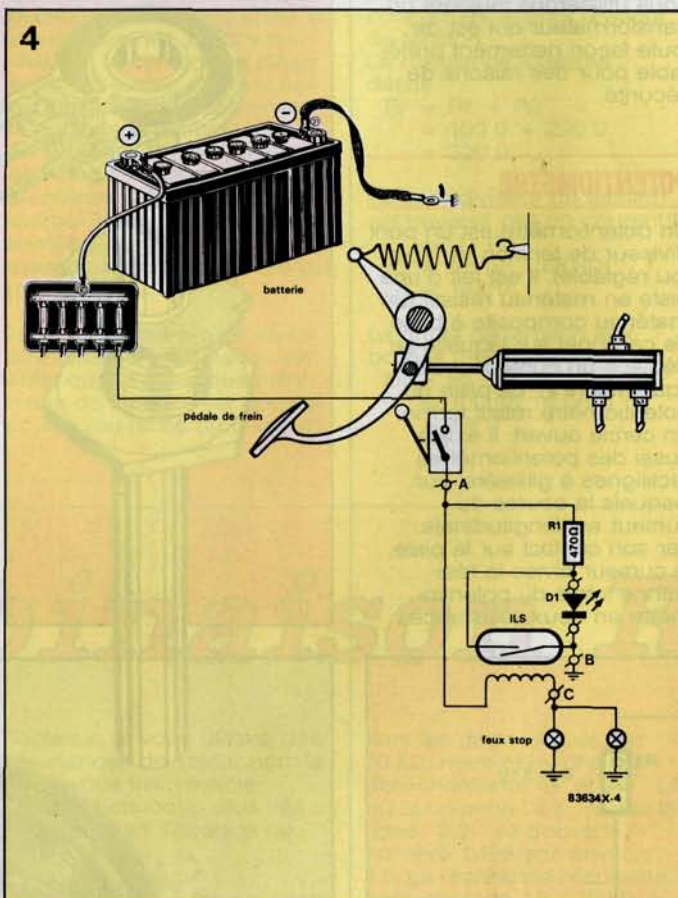


Figure 4 - En modifiant un peu le circuit de la figure 3, on obtient un témoin de feux stop qui s'allume aussi bien lorsque l'une des deux ampoules des feux stop est défectueuse que lorsqu'elles sont défectueuses toutes les deux.

lame souple une fois entouré du bobinage, sera fixé avec deux petites brides soudées à la platine. Les extrémités du fil enroulé autour du relais seront pourvues de cosse à griffes ou à oeillet rond que

l'on fixera sur les cosse de sortie à l'aide de vis M3. Ces accessoires sont disponibles dans tous les magasins ou rayons de fournitures pour automobile. La masse pour l'alimentation

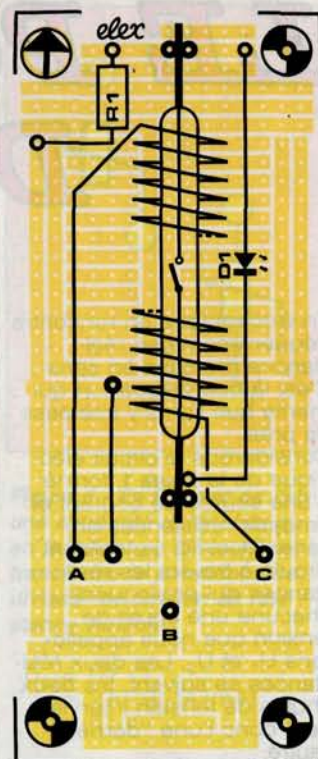


Figure 6 - Plan d'implantation des composants du schéma de la figure 4 sur une platine Elex de format 1.

de la LED (point B sur le schéma) passe aussi par une cosse plate. Finalement, quand le circuit sera monté sur le véhicule, on dévissera une des deux ampoules, et on testera le bon fonctionnement du témoin par une pression sur la pédale de frein. La LED doit s'allumer. On peut évidemment surveiller l'état d'autres lampes avec ce montage, par exemple celui d'autres feux. Lors de l'achat de l'ILS, on veillera à ce que le courant maximal admissible soit suffisant. Le nombre d'ampères.spires sera le plus petit possible pour éviter l'encombrement non négligeable qui résulterait d'un nombre de spires élevé.

LE PONT DIVISEUR DE TENSION

En électronique on rencontre fréquemment des résistances montées en série. C'est là une disposition qui mérite que l'on s'y intéresse de près.

Considérons le circuit électrique de la **figure 1**, formé d'une source de courant et de deux résistances en série: R1 et R2. Le courant circule à travers les résistances qui provoquent chacune une chute de tension que nous appellerons U_1 et U_2 . Les deux résistances se suivent, les deux chutes de tension interviennent donc l'une "derrière" l'autre.

En additionnant la valeur de ces deux chutes de tension on retombe en toute logique sur la valeur de la tension présente aux bornes des deux résistances en série sur la source de tension, puisqu'on ne supprime ni ne rajoute de tension. D'où l'on déduit que le montage en série des résistances R1 et R2 divise la tension U de la pile en deux tensions U_1 et U_2 . Les chiffres montrent d'ailleurs que le rapport entre la valeur des deux chutes de tension est identique au rapport entre les deux valeurs de résistance.

On remarque aussi que plus une résistance est grande par rapport à une autre, plus la chute de tension à ses bornes sera forte.

L'utilisation de résistances comme diviseur de tension est une méthode facile pour réduire des tensions, mais elle fait gaspiller l'énergie, appelée **force électromotrice**

(f.e.m.; symbole: E). Supposons qu'à l'aide du montage de la **figure 1** nous voulons obtenir une tension de 1,4 V, donc le tiers du potentiel de la pile. Cette tension sera disponible aux bornes de R1, tandis que les deux autres tiers du potentiel de la pile vont se dissiper par la chaleur dans R2. Pffff! Même si ce genre de gaspillage n'est pas une catastrophe en soi du fait de la faible consommation d'énergie électrique de l'électronique en général, il y aura néanmoins bon nombre de cas particuliers dans lesquels on s'attachera à éviter toute dissipation d'énergie. Pour abaisser la tension du réseau électrique, nous utiliserons toujours un transformateur qui est de toute façon nettement préférable pour des raisons de sécurité.

POTENTIOMETRE

Un potentiomètre est un pont diviseur de tension variable (ou réglable). Il est fait d'une piste en matériau résistif (un matériau composite à base de carbone) sur laquelle se déplace un curseur métallique (**figure 2**). La piste du potentiomètre rotatif forme un cercle ouvert. Il existe aussi des potentiomètres rectilignes à glissière, sur lesquels la course du curseur est longitudinale. Par son contact sur la piste, le curseur divise la résistance totale du potentiomètre en deux résistances

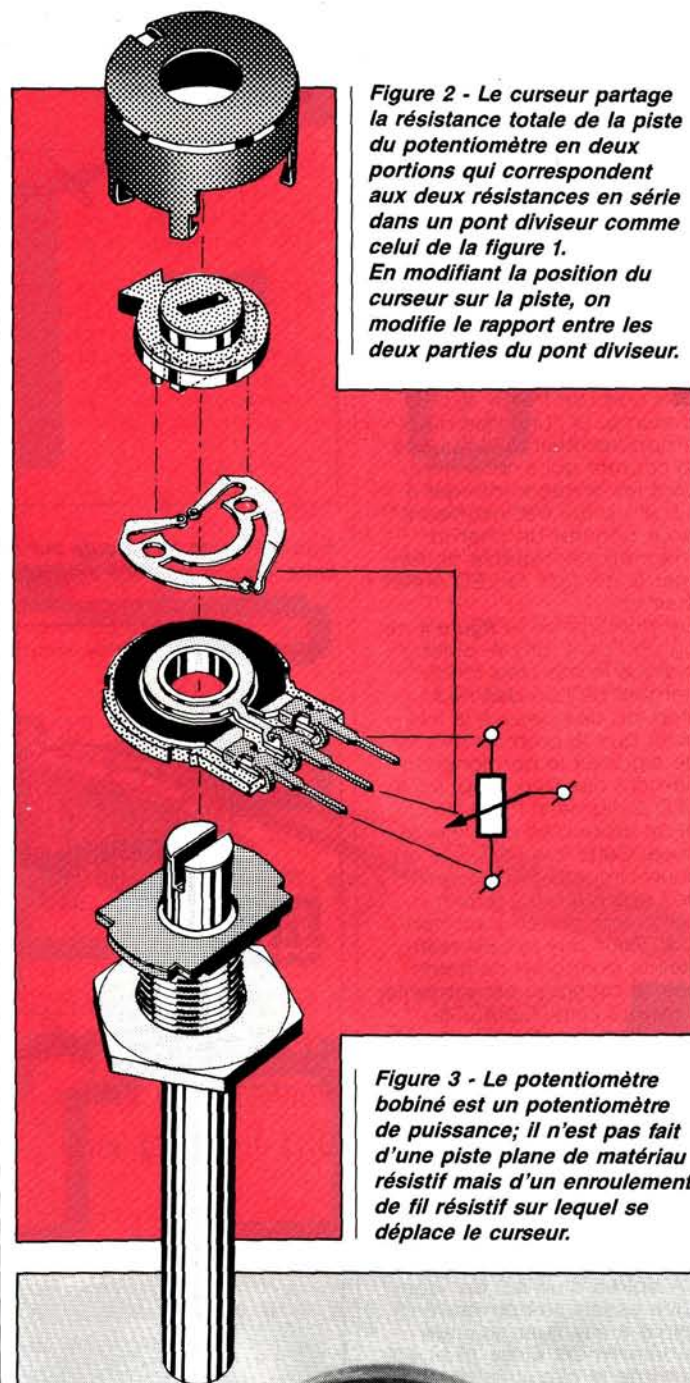


Figure 2 - Le curseur partage la résistance totale de la piste du potentiomètre en deux portions qui correspondent aux deux résistances en série dans un pont diviseur comme celui de la figure 1.

En modifiant la position du curseur sur la piste, on modifie le rapport entre les deux parties du pont diviseur.

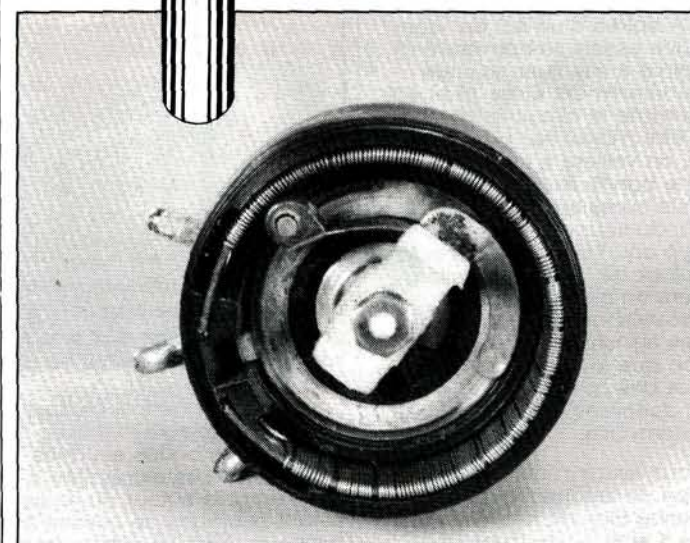


Figure 3 - Le potentiomètre bobiné est un potentiomètre de puissance; il n'est pas fait d'une piste plane de matériau résistif mais d'un enroulement de fil résistif sur lequel se déplace le curseur.

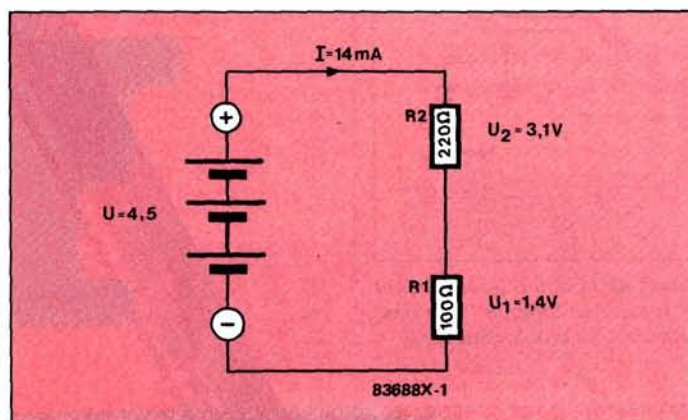


Figure 1 - Aux bornes de chacune des deux résistances de ce circuit il se produit une chute de tension proportionnelle à la valeur ohmique de la résistance. On obtient ainsi une division de la tension d'alimentation.

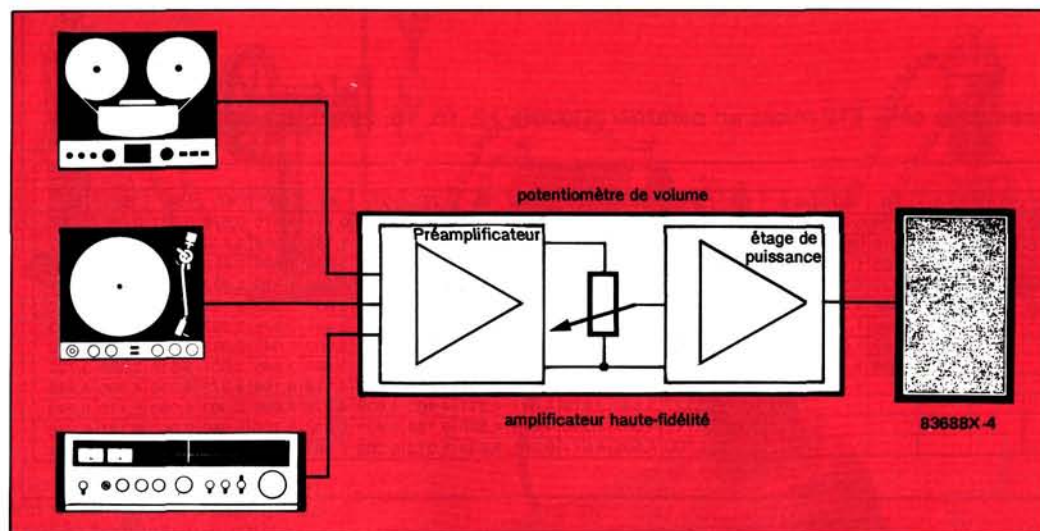


Figure 4 - Représentation schématisée d'une installation Hi-Fi; le potentiomètre de volume règle le niveau du signal en agissant sur la portion de la tension de sortie du préamplificateur appliquée à l'entrée de l'étage de puissance.

qui auront les mêmes caractéristiques que deux résistances en série. La position du curseur sur la piste détermine le rapport entre la valeur des deux résistances, et par conséquent le rapport entre les deux chutes de tension. Quand l'une augmente, l'autre diminue, et inversement. En déplaçant le curseur, l'utilisateur du potentiomètre peut donc modifier ce rapport à sa guise : le potentiomètre fonctionne comme un pont diviseur variable.

Le réglage du niveau sonore des installations de sonorisation (le bouton de volume de votre ampli Hi-Fi) est une application typique du potentiomètre comme diviseur de tension variable. Dans l'installation schématisée sur la figure 4, il est monté entre le

préamplificateur et l'étage de puissance. Le potentiomètre va fonctionner comme pont diviseur de tension en modifiant le potentiel disponible à la sortie du préamplificateur; en réduisant la tension appliquée à l'entrée de l'étage de puissance, on réduit aussi le volume sonore. En position «haute», le contact est direct entre le curseur et «l'entrée» de la piste du potentiomètre; la puissance est maximale. En position «basse», l'entrée de l'étage de puissance est au même potentiel que la «sortie» de la piste du potentiomètre, c'est-à-dire la masse : le volume sonore est nul.

Le potentiomètre peut aussi être utilisé en résistance variable, quand l'une des extrémités de sa piste est laissée en l'air (ou reliée au curseur).

FORMULES

Pour compléter cette étude, voyons à l'aide de la figure 1 l'application des formules permettant de calculer un certain nombre de valeurs concernant le pont diviseur de tension.

La résistance totale se définit :

$$R_t = R_1 + R_2 \\ = 100 \, \Omega + 220 \, \Omega \\ = 320 \, \Omega$$

Le pont diviseur de tension est traversé par un courant I :

$$I = U / R_t \\ = 4,5 \, [V] / 320 \, [\Omega] \\ = 14 \, [mA]$$

La chute de tension aux bornes des résistances est :

$$U_1 = R_1 \cdot I \\ = 100 \, [\Omega] \cdot 14 \, [mA] \\ = 1,4 \, V$$

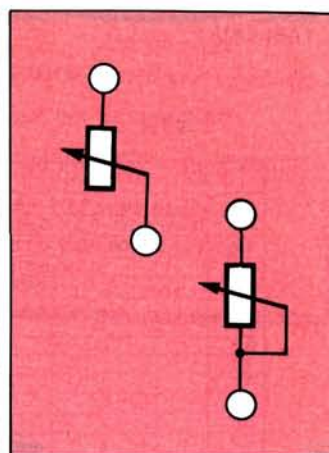


Figure 5 - En laissant en l'air une extrémité de la piste ou en la reliant au curseur, on transforme le potentiomètre diviseur de tension en résistance variable.

$$U_2 = R_2 \cdot I \\ = 220 \, [\Omega] \cdot 14 \, [mA] \\ = 3,1 \, V$$

La tension aux bornes de R_1 peut aussi être calculée en partant de la valeur des résistances et de la tension disponible aux bornes du circuit :

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

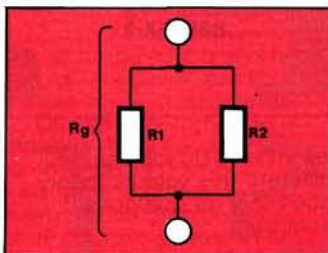
La fraction exprime ici le rapport du pont diviseur de tension.

Dans l'article intitulé «Combinaison R_1/R_2 » vous trouverez un tableau qui permet de retrouver instantanément les tensions relevées sur les diviseurs de tension, sans avoir à recourir aux formules...

combinaison R_1/R_2

La valeur de la résistance R_r résultant d'un branchement en parallèle de deux résistances R_1 et R_2 peut être calculée à l'aide de la formule :

$$R_r = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



Toutefois, si vous utilisez des résistances de valeur normalisée, vous trouverez le résultat beaucoup plus vite en consultant l'abaque du tableau 1.

N'y figurent que les nombres de la série E12 (série E12: voir l'article sur les résistances normalisées). A vous d'ajouter les zéros nécessaires. Trois exemples expliqueront l'utilisation pratique du tableau :

1. Quel est le résultat de la mise en parallèle d'une résistance de 47 k avec une résistance de 22 k? Si nous simplifions en divi-

sant les deux valeurs par 10 k, nous obtenons les deux nombres 4,7 et 2,2. Là où la colonne "4,7" croise la ligne "2,2", se trouve le nombre 1,498 soit environ 1,5. La résistance résultante sera donc de $1,5 \cdot 10 \, k\Omega = 15 \, k\Omega$.

2. Une résistance de 39 k est en parallèle avec une résistance de 8,2 k. Nous simplifions cette fois par 1 k. Pour 39 et 8,2 (la ligne tout en bas), et nous lisons 6,775. La résistance résultante vaut à peine moins de 6,8 k, et il nous faudrait alors nous demander si une seule rési-

stance normalisée de 6,8 k ne conviendrait pas mieux qu'une combinaison de deux résistances.

3. Nous avons à réduire à 200 Ω une résistance 220 Ω . Pour ne pas dessouder la résistance, nous en branchons une seconde en parallèle. Quelle doit être sa valeur? Sur la ligne de 2,2 (pour 2,2 $\cdot 100 \, \Omega$) vous trouvez la valeur 2,0 sous le nombre 22. Donc la valeur que nous cherchons est $22 \cdot 100 \, \Omega = 2,2 \, k\Omega$. L'emploi du tableau est extrêmement simple, une fois que l'on a trouvé le diviseur approprié.

TABLEAU 1

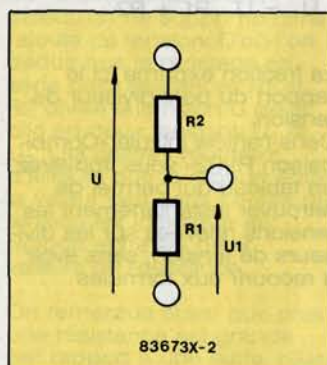
Abaque pour les résistances de la série E12 mises en parallèle (E12: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82)

	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
1	0,500	0,545	0,600	0,643	0,688	0,730	0,767	0,796	0,825	0,848	0,872	0,891	0,909	0,923	0,938	0,947	0,957	0,964	0,971	0,975	0,979	0,982	0,986	0,988
1,2		0,600	0,667	0,720	0,776	0,830	0,880	0,918	0,956	0,988	1,020	1,046	1,071	1,090	1,111	1,125	1,137	1,148	1,157	1,164	1,170	1,174	1,179	1,182
1,5			0,750	0,818	0,892	0,962	1,031	1,083	1,137	1,183	1,228	1,268	1,304	1,333	1,363	1,384	1,404	1,421	1,434	1,444	1,453	1,460	1,467	1,473
1,8				0,900	0,990	1,080	1,164	1,231	1,301	1,362	1,423	1,476	1,525	1,565	1,607	1,636	1,663	1,687	1,706	1,720	1,733	1,743	1,753	1,761
2,2					1,100	1,212	1,320	1,406	1,498	1,579	1,662	1,734	1,803	1,859	1,918	1,960	2,000	2,034	2,062	2,083	2,101	2,116	2,131	2,142
2,7						1,350	1,485	1,595	1,714	1,821	1,932	2,031	2,125	2,204	2,288	2,347	2,404	2,456	2,495	2,525	2,553	2,575	2,596	2,613
3,3							1,650	1,787	1,938	2,076	2,221	2,353	2,481	2,588	2,704	2,788	2,869	2,940	3,000	3,042	3,083	3,116	3,147	3,172
3,9								1,950	2,131	2,298	2,478	2,642	2,805	2,943	3,095	3,205	3,312	3,407	3,487	3,545	3,601	3,646	3,688	3,722
4,7									2,350	2,555	2,779	2,987	3,197	3,377	3,578	3,726	3,872	4,003	4,114	4,194	4,272	4,336	4,396	4,445
5,6										2,800	3,070	3,327	3,589	3,818	4,077	4,271	4,463	4,638	4,778	4,896	5,003	5,090	5,175	5,242
6,8											3,400	3,717	4,047	4,340	4,678	4,935	5,194	5,431	5,638	5,790	5,940	6,063	6,181	6,279
8,2												4,100	4,505	4,871	5,301	5,633	5,973	6,289	6,567	6,775	6,981	7,152	7,317	7,454

DIVISEUR DE TENSION

La deuxième formule que nous voudrions simplifier à l'aide d'un tableau, est celle des diviseurs de tension. Deux résistances connectées bout à bout divisent la tension appliquée à ce branchement en série. Les tensions partielles dépendent de la valeur des résistances. Ce qui nous donne pour U1:

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Le tableau 2 sert à déterminer rapidement la valeur des diviseurs constitués de résistances E12. On peut lire le rapport au milieu du graphique, et sur le bord, la distance entre la résistance R2 et R1 sur l'échelle E12, autrement dit le nombre de valeurs dont on doit avancer ou reculer pour aller de celle de R1 à celle de R2. Les exemples suivants vous expliqueront comment cela fonctionne:

1. Un diviseur de tension constitué de deux résistances égales, divise la tension par deux, c'est une évidence. Deux résistances égales occupent la même position sur l'échelle E12, leur distance est donc de 0. Sur le tableau, nous trouvons en correspondance avec le rectangle hachuré, le rapport 0,5, donc une division par deux de la tension.

2. Une tension de 10 V est divisée par R1 = 1 kΩ et

R2 = 2,2 kΩ. Quelle est la tension U1 aux bornes de R1?

Pour passer de R1 à R2 nous devons graver quatre barreaux de l'échelle E12: 1 kΩ; 1,2 kΩ; 1,5 kΩ; 1,8 kΩ; 2,2 kΩ. Selon le tableau 2 (bord gauche), le rapport 0,32 correspond à quatre barreaux. Ce qui nous donne pour U1:

$$U_1 = 0,32 \cdot 10 \text{ V} = 3,2 \text{ V}$$

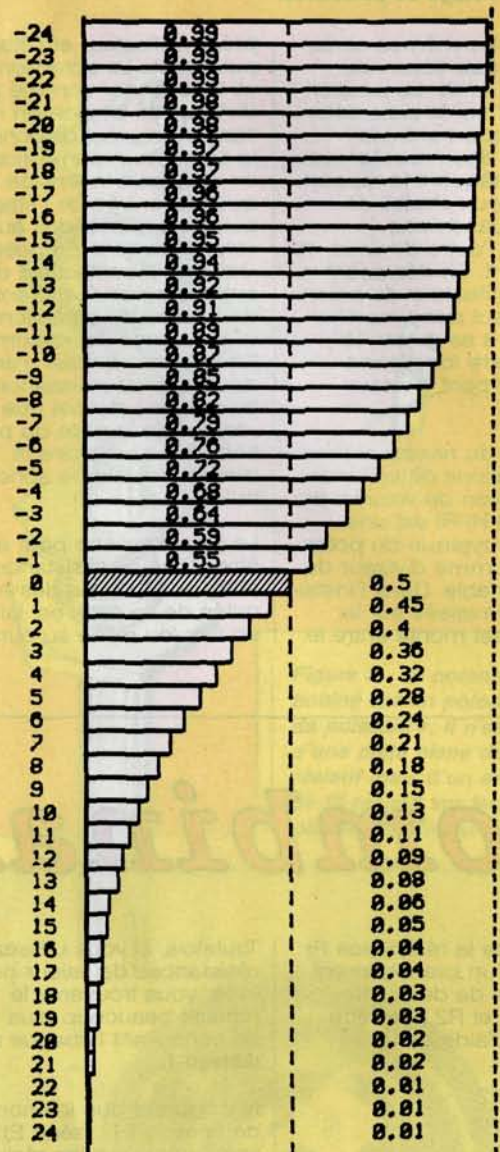
3. Un diviseur de tension est constitué de R1 = 1,5 kΩ et R2 = 390 Ω.

Comme R1 est cette fois plus grande que R2, nous devons parcourir les divisions de la table des valeurs dans l'autre sens —descendre de sept barreaux— de 1,5 kΩ à 390 Ω. Le résultat est -7 et correspond à 0,79. Ce qui veut dire que 79% de la tension d'entrée (soit par exemple 7,9 V de 10 V) se retrouvent aux bornes de R1.

4. Un exemple bien concret maintenant: nous voulons réaliser un diviseur de tension dont la résistance totale serait d'environ 100 kΩ et le rapport de division de 1:50, c'est à dire 0,2. Ce nombre ne figure pas dans la table, mais la valeur la plus proche (0,21) est certainement acceptable. Suivant la table, il doit y avoir sept divisions entre les deux résistances que nous choisirons. Munis de cette information, nous cherchons dans la liste des valeurs E12, la combinaison dont la résistance totale serait de 100 kΩ. Mais nous voyons tout de suite qu'aucune combinaison ne remplit exactement cette condition. Par contre, la combinaison 22 kΩ/82 kΩ (soit 104 Ω en tout) est très proche de ce que nous cherchons, et pourra donc être considérée comme la bonne solution.

Le dernier exemple nous montre comment les électroniciens calculent. Il est tout à fait inutile de faire des calculs d'une précision excédant celle DU MOINS PRECIS des composants employés. Les valeurs indiquées par le

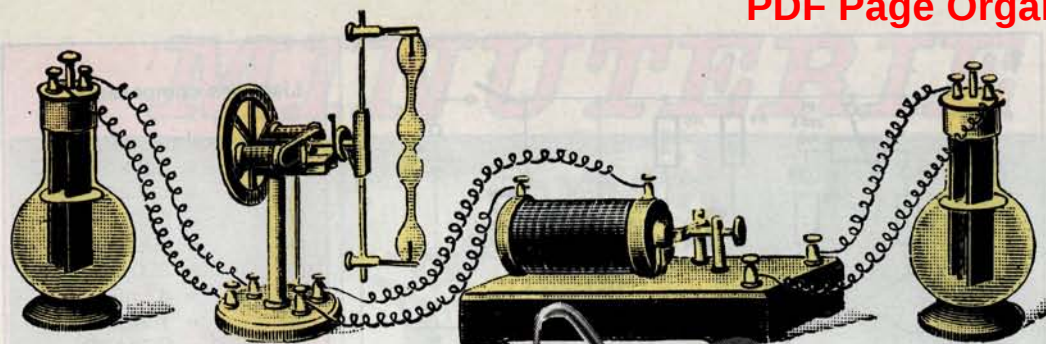
TABLEAU 2



83673X-3

tableau 2 ne sont que des valeurs moyennes, car les distances entre les valeurs E12 ne sont pas toutes égales. Dans le pire des cas,

les valeurs du tableau ne diffèrent des valeurs théoriques que de quelques pour-cent.



Demander
notre brochure spéciale

LES
EXPÉRIENCES ÉLECTRIQUES
instructives
et amusantes

Envoi franco. n. 15

Il existe une variété étonnante de lampes de poche, depuis le bon vieux modèle "des familles" à pile plate de 4,5 V jusqu'aux torches à lampe halogène à très longue portée, en passant par les lampes sans piles, avec dynamo actionnée à la main. A notre avis, toutes ces lampes de poche ont un défaut commun: elles sont allumées ou ne le sont pas, et entre ces deux états il n'y a aucune possibilité de doser la luminosité en fonction des besoins.

L'idée qui a présidé au choix du circuit présenté ici est d'offrir au lecteur d'ELEX une belle démonstration de dosage de l'énergie électrique par hachage du courant. Dans bien des circonstances, il n'est pas nécessaire que la lampe de poche soit utilisée à pleine puissance. En réduisant la consommation de courant, on augmente la longévité des piles. Le confort d'utilisation d'une lampe de poche avec gradateur est en tous cas supérieur à celui d'une lampe ordinaire.

HACHER LE COURANT

Au lieu d'alimenter la lampe de façon continue, le gradateur de la **figure 1** envoie des impulsions de courant à travers l'ampoule. La fréquence de ces impulsions est suffisamment haute pour que l'œil ne perçoive pas les interruptions de courant. Celles-ci sont d'ailleurs si brèves que le filament de l'ampoule n'a pas même le temps de refroidir.

Le circuit comporte un multi-vibrateur (ce type d'oscillateur a déjà été décrit dans ELEX à propos du testeur de continuité): les transistors T1 et T2 conduisent à tour de rôle, et produisent une tension rectangulaire que l'on prélève sur le collecteur de T2. Ce signal commande le transistor T3 qui à son tour commande T4; l'ampoule est prise dans le circuit de collecteur de ce dernier transistor: le courant à travers l'am-



gradateur pour lampe de poche

Les lampes de poche ont beau être des objets banals, elles exercent un attrait particulier sur la plupart des enfants, mais aussi sur beaucoup d'adultes.

Que diriez-vous d'une lampe de poche avec réglage d'intensité?

poule est donc interrompu quand T4 se bloque. Quand T4 est conducteur, la tension de collecteur de ce transistor est proche de 0 V, et la différence de potentiel entre les bornes de l'ampoule permet à un courant de circuler: le filament chauffe et émet de la lumière.

Sur l'oscillogramme de la **figure 2a**, les impulsions relevées sur le collecteur de T4 sont larges, et les intervalles qui les séparent sont très étroits (le curseur de P1 est en fin de course du côté du point A). En fait, la tension moyenne sur le collecteur de T4 est presque égale à la tension d'alimentation, et la différence de potentiel entre les bornes de l'ampoule est si faible que celle-ci reste éteinte. La ligne inférieure sur les trois oscillogrammes représente le potentiel de masse, c'est-à-dire celui de la borne négative de la pile de 4,5 V. Sur la **figure 2 b**, les choses ont changé: le curseur de P1 est à mi-course maintenant.

On voit d'abord que la fréquence du signal est tombée de 400 Hz à 150 Hz; on constate aussi — et c'est ça qui est important — que le rapport cyclique du signal a changé. Ce **rapport cyclique** n'est rien de plus que la relation entre la durée des impulsions proprement dites et celle des intervalles qui les séparent. Qu'une impulsion se produise une fois par seconde ou 10 000 fois par seconde, c'est une chose (que l'on appelle la fréquence); mais il faut aussi prendre en compte le temps que dure l'impulsion proprement dite, pour le distinguer du temps que dure l'intervalle qui sépare une impulsion de la suivante. Cette notion est très utile (et très utilisée) en électronique. Sur le deuxième oscillogramme, les impulsions ne sont guère plus longues que sur le premier, mais les intervalles se sont considérablement rallongés. La différence de potentiel aux bornes de l'ampoule sera plus forte et un courant plus important circulera à travers elle. Elle éclaire maintenant, mais faiblement,

puisque le courant ne circule en fait que la moitié du temps. Si l'on met le curseur de P1 en fin de course du côté du point B, l'ampoule éclaire à pleine puissance. L'oscillogramme de la figure 2c montre que maintenant T4 conduit presque tout le temps puisque sa tension de collecteur est presque toujours proche de 0 V. Le temps pendant lequel la tension de collecteur de T4 est haute est si court que la clarté de la lampe en est à peine affectée.

Les flancs des impulsions sont tellement raides (grâce à l'action de la diode D1) que l'oscilloscope ne les restitue pas. Les transistors T3 et T4 forment un étage de puissance qui se charge de fournir le courant nécessaire à l'ampoule: ce sont 20 mA quand la luminosité est minimale, et 235 mA environ quand elle est maximale. Il s'agit là de valeurs moyennes puisque le courant est pulsé.

Si vous désirez en savoir plus sur le fonctionnement du multivibrateur astable, nous vous recommandons la (re)lecture de l'article sur le testeur de continuité d'ELEX.

IMPLANTATION COMPACTE

Le circuit du gradateur pourra être monté sur un morceau de circuit d'expérimentation de 22 mm sur 31 mm. Il faut faire un montage très compact pour arriver à le loger dans le boîtier d'une lampe de poche. Les soudures devront être effectuées avec d'autant plus de soins que le montage est petit et que les risques de court-circuit sont plus élevés.

Il est préférable d'utiliser des résistances d'un huitième de watt pour gagner le plus possible de place. Pour la même raison l'implantation de D1 sera verticale. On remarquera sur le plan d'implantation de la figure 3 que la broche centrale de T2, c'est-à-dire sa base, doit être dirigée vers la face plate du boîtier de ce transistor.

A notre avis, le meilleur emplacement se trouve en haut à gauche du boîtier de la lampe de poche. La figure 4 montre comment nous nous y sommes pris pour réaliser et câbler notre prototype. Pour éviter que le boîtier métallique ne crée de court-circuit, il est recommandé de coller quelques largeurs de ruban isolant sur les soudures. La même précaution est à prendre pour que les languettes de la pile n'entrent pas en contact avec le circuit. Pour le raccordement à la borne négative de la pile, on peut utiliser une cosse plate (femelle), ou souder le fil directement sur la languette.

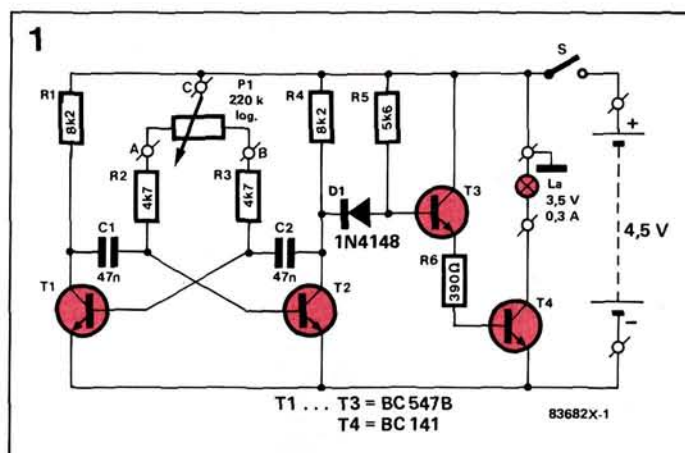


Figure 1 - Le circuit de gradation transforme en tension carrée la tension continue fournie par une pile en la hachant à l'aide d'un transistor. De fait, l'ampoule sera allumée et éteinte alternativement. A l'aide de P1, l'utilisateur modifie le rapport entre la durée des périodes où l'ampoule est allumée et celle des périodes où elle est éteinte.

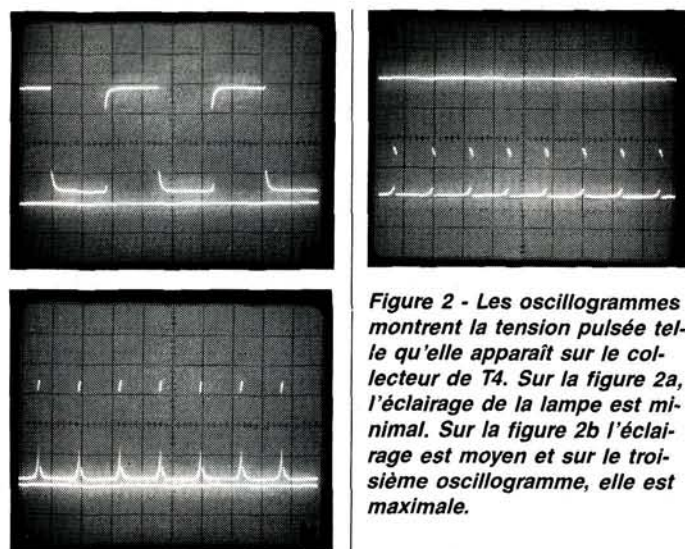


Figure 2 - Les oscillogrammes montrent la tension pulsée telle qu'elle apparaît sur le collecteur de T4. Sur la figure 2a, l'éclairage de la lampe est minimal. Sur la figure 2b l'éclairage est moyen et sur le troisième oscillogramme, elle est maximale.

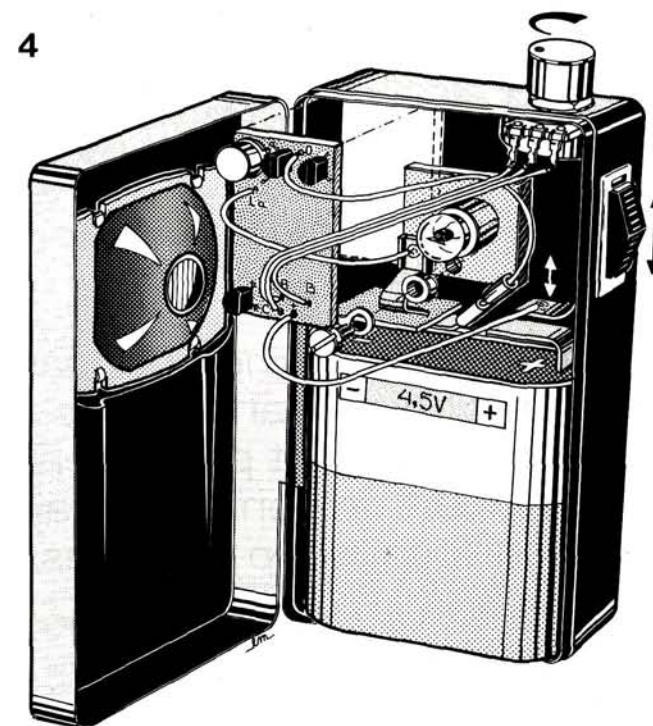


Figure 4 - Croquis de notre prototype et de son câblage. Cette disposition est à notre avis la meilleure. Mais rien ne vous empêche d'en chercher une autre...

Liste des composants

(résistances: 1/8 W)
R1, R4 = 8,2 kΩ
R2, R3 = 4,7 kΩ
R5 = 5,6 kΩ
R6 = 390 Ω
P1 = 220 kΩ log (B)
C1, C2 = 47 nF
D1 = 1N4148
T1, T2, T3 = BC547B
T4 = BC141

Divers:

1 lampe de poche avec pile de 4,5 V
fil de câblage
ampoule de 3,5 V/0,3 A

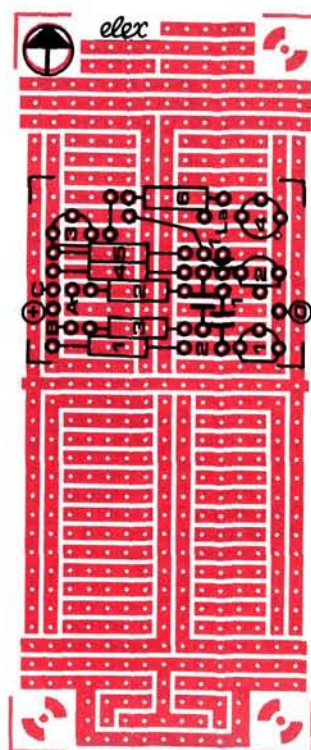
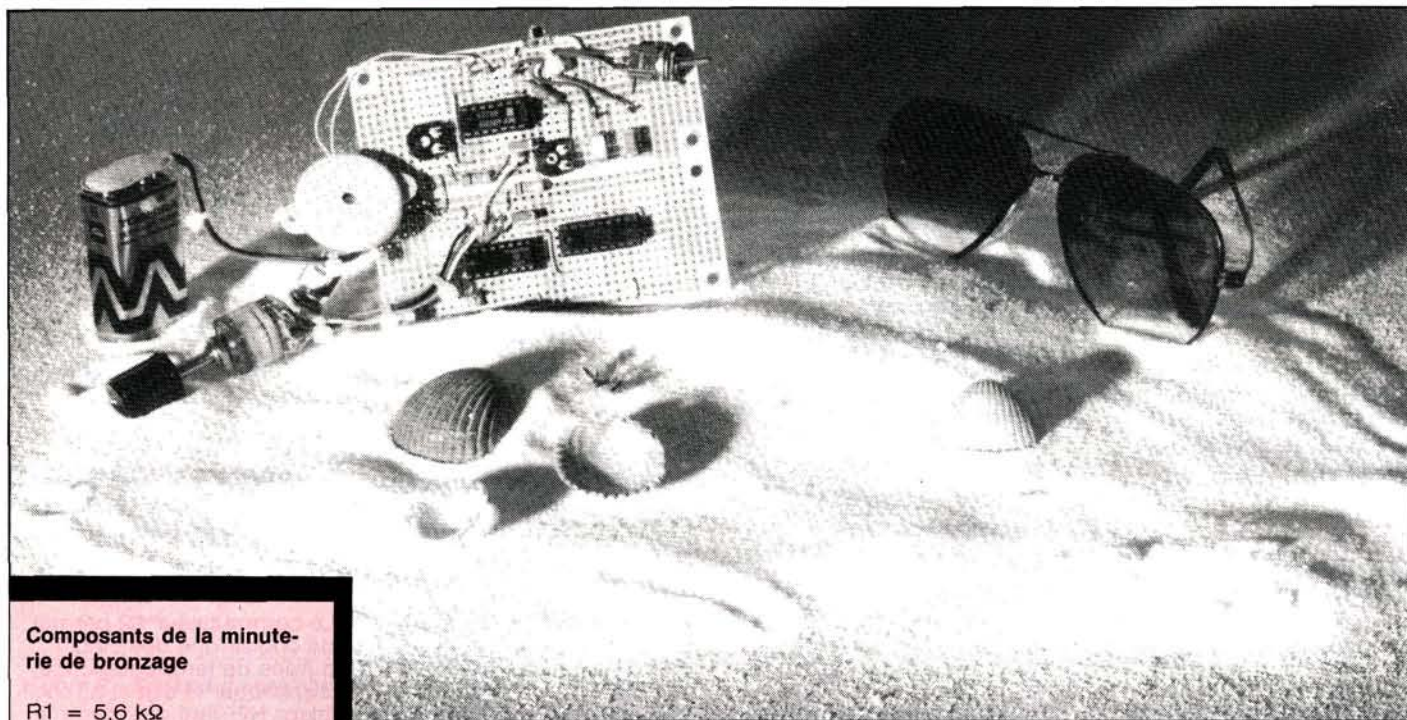


Figure 3 - Plan d'implantation des composants du gradateur sur une chute de circuit d'expérimentation de petite taille. L'implantation est très dense. La diode D1 est implantée verticalement et la base de T2 est pliée vers l'avant.

Il est indispensable d'interrompre le contact normal entre cette borne négative et la broche correspondante de l'ampoule. N'oubliez pas d'intercaler un morceau de carton ou de ruban isolant. Si le sens de gradation du potentiomètre est incorrect, il suffira d'inverser les deux fils reliés aux points A et B (extrémités de la piste de P1). Précisons pour finir qu'il est inutile de refroidir T4.

MINUTERIE DE



Composants de la minuterie de bronzage

R1 = 5,6 k Ω
 R2 = 1 k Ω
 R3 = 10 k Ω
 R4 = 1 M Ω
 P1 = 100 k Ω , variable
 P2 = 50 k Ω variable

C1 = 270 nF
 C2 = 180 nF
 C3 = 10 nF
 C4 = 100 nF
 D1 = BPW34 (photodiode)
 IC1, IC2 = 4040 (compteur binaire à 12 étages)
 IC3 = 4093 (quadruple NAND trigger)

Divers :

1 platine d'expérimentation ELEX format 2 (80 x 100 mm)
 1 connecteur de pile
 1 pile compacte de 9 V
 S1 = inverseur
 S2 = commutateur à 1 circuit et 5 positions (commutateur à 1 circuit/12 positions ou à 2 circuits/6 positions)
 S3 = interrupteur marche-arrêt
 BZ = résonateur piézo PB2720
 13 picots à souder (diamètre 1,2 mm)
 fil souple
 fil rigide pour les ponts
 1 boîtier de dimensions convenables avec ses accessoires de montage
 1 bouton de manœuvre pour le commutateur rotatif S2
 2 supports de CI à 16 broches
 1 support de CI à 14 broches

Les a-t-on attendus ! Ils sont là : l'été et la chaleur du soleil. Espérons. Tout le monde dehors ! La pâleur hivernale n'est plus de mise. Un hâle soutenu est de rigueur pour exposer sa peau aux regards admiratifs (à juste titre). Que ce soit sur un banc public, sur une pelouse, à la piscine, sur un transat dans votre jardin, à la plage, à la montagne, n'importe où et n'importe quand : chaque rayon de soleil vous fait bronzer, mais point trop n'en faut. La plupart d'entre nous ont connu, au lieu du brun doré, le rouge écrevisse. En plus de la couleur, ça brûle et ça démange de partout ; et pour finir, on frissonne, malgré la chaleur. Quand la cuisson est à point, les regards admiratifs se font compatissants.

Fini le temps de tous ces malheurs : la minuterie de bronzage y veille. Un signal retentit au bout d'un certain temps d'exposition au soleil, selon le réglage de la minuterie. Il vous rappelle que vous avez le choix entre vous retourner et chercher un endroit à l'ombre. Le signal est assez perçant pour réveiller à temps un adorateur du soleil qui se serait laissé endormir par le bruit du ressac. La consommation en courant de la minuterie est minime, une pile de 9 V en fournira assez pour tout l'été.

BRONZAGE

LE CIRCUIT

La minuterie de bronzage fait appel à trois fonctions différentes, représentées sur le schéma de la **figure 1**. On appelle schéma-bloc ce genre de représentation d'un schéma complexe divisé en blocs. La vision d'ensemble est facilitée par le fait que chaque bloc correspond à une fonction facilement repérable. Le premier est le bloc A. C'est un oscillateur qui fournit un signal rectangulaire dont la fréquence dépend, entre autres facteurs, de l'intensité de la lumière solaire présente. Cet oscillateur est construit autour d'une porte NAND (Non-Et) à trigger de Schmitt incorporé (**figure 2**). Dans cet ensemble, la porte N1 fonctionne en multivibrateur

stable, et sa fréquence de base est réglée par le potentiomètre P1. La boucle de réaction entre la sortie et l'entrée de la porte comprend une photodiode, qui modifie la fréquence de base de l'oscillateur en fonction de l'ensoleillement instantané. Beaucoup de soleil = fréquence élevée, peu de soleil = fréquence basse.

Cette variation de fréquence est obtenue grâce au courant inverse que laisse passer la photodiode en présence de lumière. La période de l'oscillateur est égale au temps nécessaire pour **charger** puis **décharger** le condensateur C1. La **décharge** se fait à travers R1 et P1 d'une part, à travers D1 et R2 d'autre part. La valeur des résistances est fixe, le

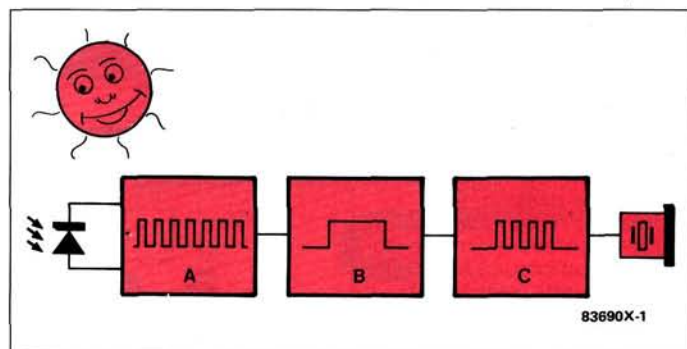


Figure 1 - Le schéma bloc divise le circuit en trois fonctions : A = horloge, B = diviseur de fréquence, C = oscillateur BF.

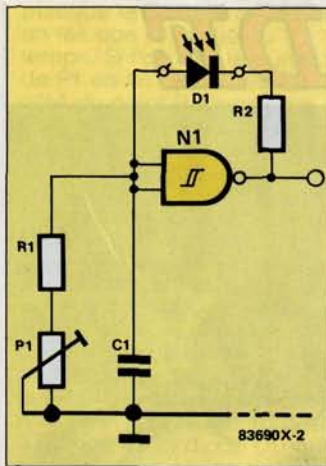


Figure 2 - La photodiode dans la boucle de réaction rend la fréquence de l'oscillateur dépendante de la lumière ambiante.

seuil de D1 dans le sens passant (ou sens direct) est fixe, donc le temps de décharge est fixe. La charge, quant à elle, se fait par R2 et D1, mais dans le sens inverse de D1; comme le courant inverse de D1 est fonction de la lumière qui la frappe, le temps de charge de C1 varie lui aussi en fonction de l'intensité de la lumière.

Le bloc B qui suit divise la fréquence de l'oscillateur dans un rapport défini, c'est-à-dire qu'après un nombre défini de périodes de l'oscillateur, la sortie du compteur délivre une impulsion positive. Le schéma pratique de la figure 3 montre que le bloc est constitué de deux circuits intégrés compteurs. IC1 divise par un nombre fixe la fréquence du signal appliqué à son entrée CLK (pour CLOCK = horloge). Ce circuit intégré est un compteur binaire à douze étages et le signal utilisé est prélevé à la sortie Q11; le facteur de division est de : $2^{12} = 4096$. La fréquence du signal de sortie sera donc quelque quatre mille fois plus basse que celle du signal d'entrée, et elle va encore être divisée, par IC2 cette fois. Le commutateur S1 permet de prélever le signal, au choix, sur l'une des sorties Q7, Q8, Q9, Q10 ou Q11.

Les circuits intégrés utilisés réagissent aux fronts descendants du signal appliqué aux entrées CLK. Le chronogramme de la figure 4 rend évidente la fonction de division. Les impulsions rectangulaires sont présentées à l'entrée du premier compteur. Le nombre d'impulsions en b est déjà divisé par 2 (2^1). En c, le facteur de division est de 4 (2^2), en d il est de 8 (2^3), en e de 16 (2^4).

Il ne reste plus maintenant à

expliquer que le rôle du bloc C de la figure 1. C'est un générateur BF (basse fréquence) qui produit la fréquence audible appliquée au résonateur (ou buzzer en anglais) piézo-électrique. Le résonateur doit être excité, et l'alarme donnée, après le temps prévu. C'est le diviseur qui s'en charge. Dès que le temps prévu est écoulé, la sortie du diviseur autorise le générateur à osciller. Le circuit de ce générateur n'est autre qu'un multivibrateur astable. Tout comme le générateur d'horloge du bloc A, il est construit autour d'une porte NAND à trigger de Schmitt. Les composants qui déterminent la fréquence sont C3, R3 et P2. Les portes N3 et N4 servent de tampon, ou d'étage de "puissance". Le montage adopté permet d'appliquer au résonateur Bz une tension crête à crête de 18 V avec une pile de 9 V.

Le schéma complet de la figure 6 résulte de l'assemblage des schémas partiels des figures 2, 3 et 5. Par grand soleil, avec le condensateur C1 en circuit, l'horloge travaille à une fréquence de quelque 2000 Hz (Hertz ou périodes par seconde). La période est donc de 0,5 ms (milliseconde). Ce signal arrive au compteur binaire IC1, qui divise sa fréquence par 4096. En divisant, pour simplifier, par 4000, on obtient à la sortie d'IC1 une fréquence de 0,5 Hz et une période de 2 secondes. IC2 divise à son tour et cinq temps différents sont dispo-

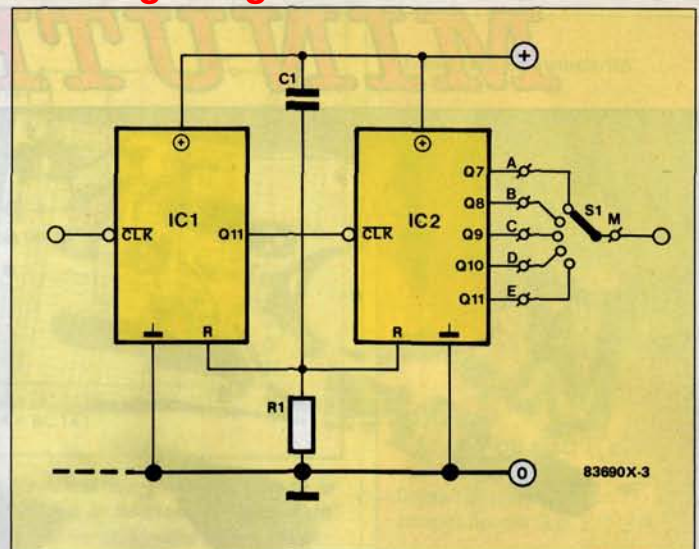


Figure 3 - Deux compteurs binaires à douze étages, montés en cascade, divisent la fréquence d'entrée par un facteur défini. Le réseau R1/C1 fournit l'impulsion de remise à zéro à la mise sous tension.

nibles sur ses sorties Q7 à Q11. La fréquence d'entrée de 0,5 Hz se trouve divisée par 256 (2^8), 512 (2^9), 1024 (2^{10}), 2048 (2^{11}) et 4096 (2^{12}). Les sorties Q7 à Q11 passent au niveau logique haut ("1") après un temps égal à la moitié de la période correspondante. Ces temps sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

sortie	temps	minutes (approx)
Q7	256	4
Q8	512	8,5
Q9	1024	17
Q10	2048	34
Q11	4096	68

Le commutateur S2 permet de choisir une des cinq durées de temporisation, et d'appliquer le signal à l'oscillateur N2. Tant que la sortie choisie d'IC2 est au niveau logique bas ("0"), l'oscillateur est bloqué et le résonateur silencieux. Aussitôt qu'un "1" logique se présente, l'oscillateur délivre la fréquence audible qui avertit, par le résonateur, l'adorateur du soleil : "si tu veux éviter le coup de soleil, retourne toi ou bien réfugie toi à l'ombre". Le temps de bronzage est environ une fois et demie plus court quand S1 met en circuit C2 au lieu de C1 : la fréquence de l'oscillateur est alors multipliée par 1,5.

Le signal d'alarme, qui retentit après le temps prévu, cesse quand on interrompt l'alimentation par l'interrupteur S3. Pour commencer une nouvelle séance de bronzage, on ferme S3 et la minuterie reprend aussitôt son travail. Toutefois, les sorties des compteurs IC1 et IC2 doivent être remises à zéro au préalable. L'impulsion de remise à zéro est fournie par le réseau R4/C4 : au moment de la mise sous tension, le condensateur C4 se comporte comme un court-circuit, ce qui applique un niveau logique haut ("1") aux entrées de remise à zéro (RESET en anglais). Puis le condensateur se charge, et le niveau logique des entrées repasse à "0". A cet instant, IC1 et IC2 peuvent commencer à compter les impulsions de l'horloge.

Le montage consomme un courant d'environ 1,6 mA (milliampère), et quelques milliampères de plus pendant l'alarme. L'ensemble du montage tient sur une platine d'expéri-

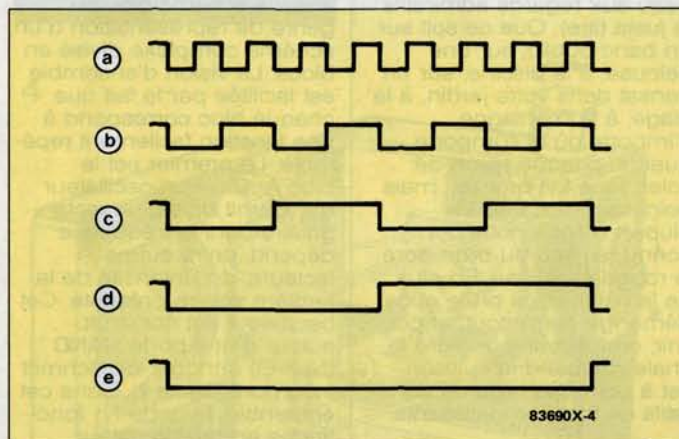


Figure 4 - Le chronogramme illustre le fonctionnement d'un diviseur.

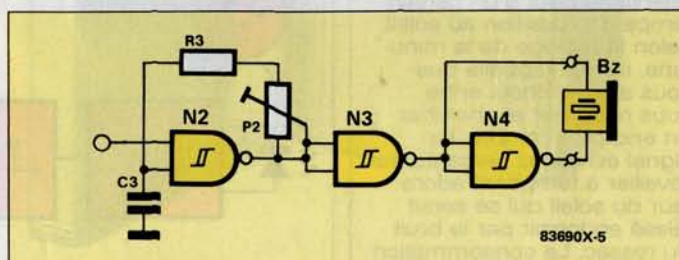


Figure 5 - Le résonateur délivre le volume maximal quand il est excité à sa fréquence de résonance; ce réglage est possible par P2.

LE RÉGLAGE...

... n'est pas particulièrement difficile. Au soleil, avec C1 en circuit et S2 en position A, la fréquence de l'horloge doit être d'environ 1000 Hz pour que l'alarme survienne au bout de 4 minutes. Si le soleil disparaît derrière un nuage, l'oscillation de N1 cesse. Ce point précis dépend du réglage du potentiomètre P1. Pour opérer ce réglage sans passer une semaine, ou plus, à attendre le beau temps, on place la photodiode à une distance de 30...50 cm d'une lampe de bureau équipée d'une ampoule de 60 W (watts), qui simule la lumière du soleil. On connecte un multimètre, réglé pour la mesure de tensions continues, entre la masse du montage (pôle négatif de l'alimentation) et la sortie Q0 (broche 9) d'IC1. Quand l'horloge fonctionne, l'instrument indique environ la moitié de la tension d'alimentation. Si la distance entre la lampe et la photodiode augmente —disons si des nuages surviennent— l'oscillation cesse. C'est ce point que détermine P1. A ce moment, le multimètre affiche soit zéro volt, soit la tension d'alimentation (max. 9 V).

Quant au résonateur piézo, il donne le son le plus intense lorsqu'il est excité à sa fréquence de résonance. Ce réglage est très simple : il suffit de placer P2 pour obtenir, quand l'alarme retentit, le maximum de volume sonore.

Il nous reste à vous souhaiter d'agréables bains de soleil avec la minuterie de bronzage. Votre peau vous en saura gré.

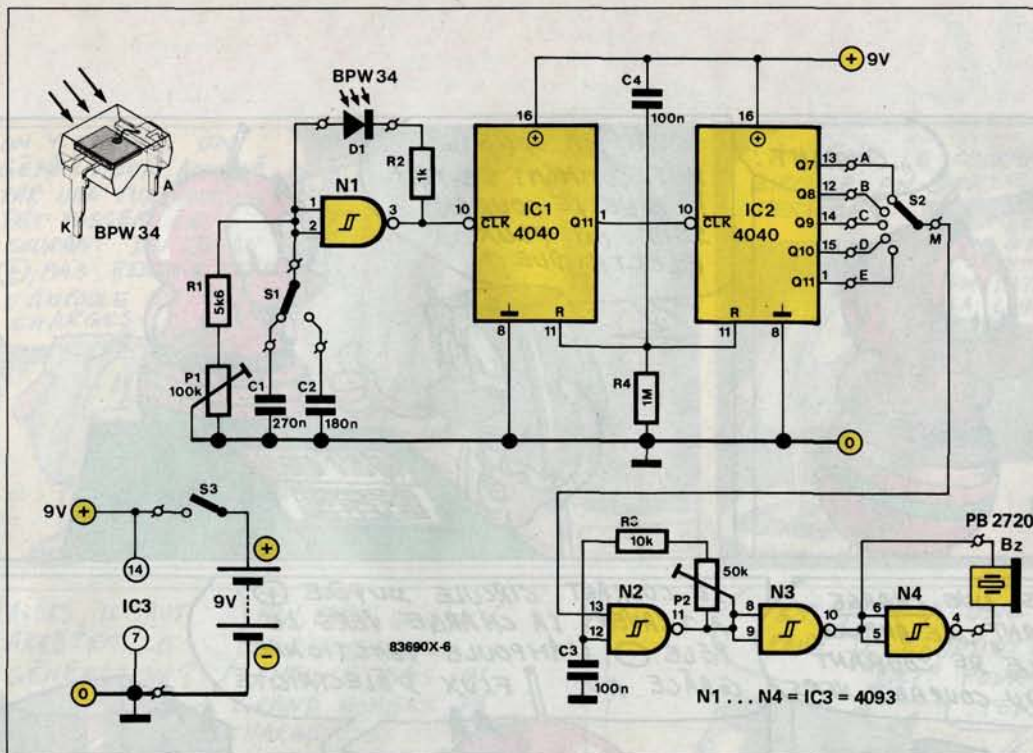


Figure 6 - Schéma d'ensemble de la minuterie de bronzage.

mentation de format 2 (80 x 100 mm), visible sur la photo (figure 8). Les seules liaisons par fil sont celles des commutateurs S1...S3, du résonateur Bz et de la pile compacte de 9 V. Comme la photodiode doit mesurer l'ensoleillement, le bon sens nous incite naturellement à la placer dans le couvercle du boîtier. Ensuite il faut monter y aussi S1...S3 et éventuellement le résonateur. Voyez sur le plan

d'implantation (figure 7) la position des autres composants. L'assemblage

CONSEILS POUR LA RÉALISATION

commence par la soudure de tous les ponts, des résistances et des condensateurs, et se poursuit par les supports des trois circuits intégrés. Le repère de la

patte 1 d'IC1 et IC2 est dirigé vers les connexions d'alimentation; IC3 est tourné de 180°. En câblant l'alimentation et les picots A à D, prenez bien garde de ne pas créer de courts-circuits.

Encore un mot sur le domaine d'application du circuit. Il est utilisable non seulement comme minuterie de bronzage, mais encore dans tous les cas où le respect approximatif d'une durée fixe suffit. Pour cela la photodiode D1 est simplement remplacée par un pont en fil de câblage. On peut éventuellement augmenter quelque peu la valeur de R1. L'horloge fonctionne alors à fréquence fixe, indépendamment de la lumière ambiante.

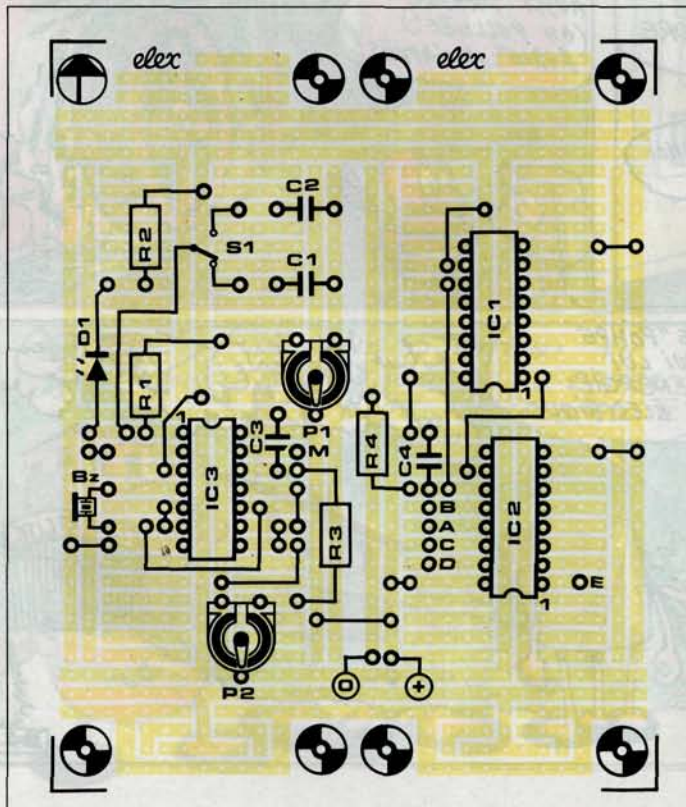


Figure 7 - Avec l'aide de ce plan d'implantation, la réalisation ne pose aucun problème.

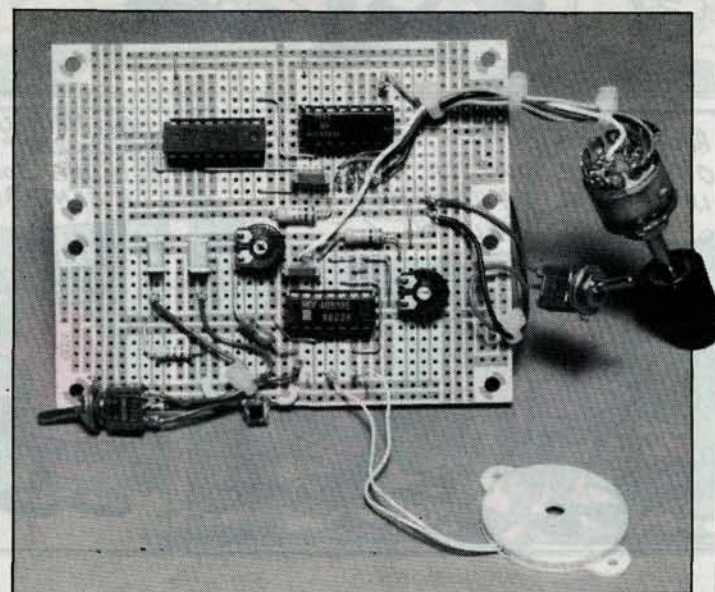


Figure 8 - Le circuit se loge sur une platine d'expérimentation de 80 x 100 mm

RESSAC ELECTRONIQUE

Voici un circuit de bruitage électronique permettant de simuler le bruit des vagues avec des moyens techniques très simples.

Il est prouvé que le bruit du ressac de l'océan est un bruit d'ambiance apaisant. Quiconque en a fait personnellement l'expérience peut sûrement en témoigner. C'est une sensation grandiose que d'être assis sur une plage ou au bord d'une falaise, les yeux fermés et les mains en conque sur les oreilles, et d'écouter le bruit du ressac.

Le corps, et surtout le système nerveux, éprouvés par les agressions quotidiennes, s'en trouvent détendus et rechargés d'une force et d'une énergie nouvelles. Hélas, nombreux sont ceux qui ne peuvent jouir de ces moments apaisants que pendant les vacances. Le reste de l'année, obligés de s'en passer, ils s'efforcent de ranimer le souvenir mélancolique de ces journées au bord de la mer. De là à proposer aux "terriens" en état de manque un *ressac électronique*, il n'y a qu'un pas que nous franchissons avec un circuit qui nécessite peu de composants et imite malgré cela le bruit de la mer avec un réalisme stupéfiant.

LA MUSIQUE DES VAGUES

LE CIRCUIT

Ce circuit peut aussi servir à créer le fond sonore pour une projection de diapositives ou comme bruitage lors de la sonorisation du film de vos dernières vacances à la plage.

Produire un bruit; c'est le rôle de la partie A du schéma bloc de la **figure 1**. Pour faire croître et décroître ce bruit comme un vrai bruit de ressac, il faut le commander; c'est le rôle des blocs B et C. Le bloc B est un multivibrateur astable; il fournit un signal rectangulaire, avec un rapport cyclique dissymétrique. Le bloc C transforme ce signal en une dent de scie, avec un flanc montant court et un flanc descendant

long. Ces deux signaux, le bruit et la tension en dent de scie, arrivent à un étage amplificateur (bloc D) qui s'acquitte en fait de deux tâches : la première est de porter l'amplitude du bruit à une valeur suffisante pour attaquer un amplificateur de puissance, la deuxième est de "s'ouvrir" et se "fermer" au rythme de la dent de scie pour produire l'effet de flux et de reflux du bruit de ressac.

Examinons maintenant un par un les circuits pratiques. D'abord la source de bruit de la **figure 2**. Elle correspond au bloc A de la **figure 1**. Le transistor NPN T1 est utilisé d'une façon inhabituelle : la

jonction base-émetteur est polarisée à l'envers. On obtient ainsi un effet qui serait indésirable et fort gênant dans toute autre application : le transistor souffle. Le bruit intrinsèque des composants électroniques est un vaste sujet; l'étude du pourquoi et du comment de ce phénomène n'a pas sa place ici. Le fait est que, connectée selon la **figure 2**, la diode de la jonction basse-émetteur du transistor se comporte comme une diode zener.

COMPOSANTE DE BRUIT

A partir d'une certaine tension inverse entre émetteur et base, un courant circule du pôle positif vers la masse à travers R1 et le transistor. Ce courant continu comporte, superposée à lui, une composante alternative : le bruit. C'est ce bruit qui est transmis par le condensateur C1 à l'entrée de l'amplificateur (bloc D), tandis que la composante continue reste bloquée.

La constitution de cet amplificateur est détaillée dans le schéma complet de la

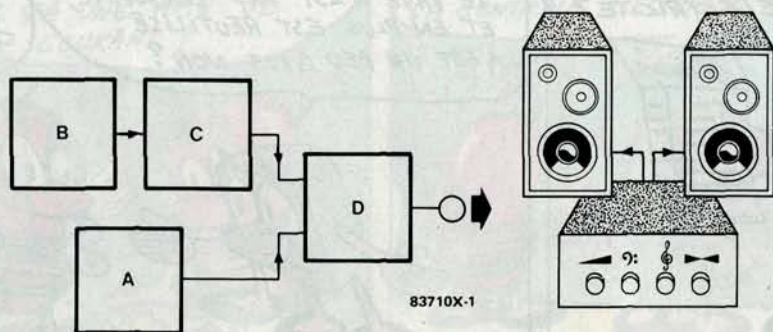


Figure 1 - L'étage amplificateur (bloc D) reçoit d'une part le signal de souffle du bloc A, d'autre part le signal de commande élaboré par les blocs B et C.

figure 3; c'est l'étage construit autour de T2. Le diviseur de tension R2/P1 fixe la tension de polarisation continue de la base (le rôle de R3 est lié à celui de R6, cf infra). Le potentiomètre P1 permet de fixer la tension continue entre 0 V et 0,8 V (volt). Ce réglage détermine le volume minimal du signal de souffle.

Pour transformer ce bruit continu en un bruit de ressac, avec un effet de flux et de reflux, il faut un signal de commande qui parvienne à l'amplificateur en même temps que le signal de bruit. C'est le multivibrateur constitué par T3 et T4, associé au réseau R7/C4, qui produit ce signal de commande. Le signal rectangulaire du multivibrateur astable est dissymétrique, c'est-à-dire que la durée de l'impulsion est courte par rapport au temps de repos. Il faut une fréquence très basse,

environ 1/8 Hz (hertz) pour obtenir un bruit de ressac réaliste. Les impulsions telles qu'elles sortent du multivibrateur ne sont pas encore utilisables comme signal de commande : elles ne reproduisent pas la courbe de croissance rapide suivie d'une courbe de décroissance lente, caractéristiques du ressac.

Il nous faut donc transformer ce signal; ce sera fait par le réseau R7/C4. L'impulsion rectangulaire prélevée sur le collecteur de T3 parvient au condensateur C4 et le charge. Pendant le temps de repos de l'impulsion, le condensateur se décharge à travers R7 et P2, tandis que la diode D1 interdit une décharge simultanée par la jonction collecteur-émetteur de T3. Le chronogramme de la **figure 4** montre les relations entre ces signaux. Le diagramme supérieur représente la tension sur le collecteur de T3, le diagramme inférieur la tension aux bornes de C4 : la courbe, du fait des charges et décharges, prend la forme de dents de scie.

TENSION INTÉGRÉE

Les gens de métier parlent ici de l'**intégration** d'une tension et désignent par **réseau intégrateur** le réseau R/C utilisé. Une fraction de la tension en dent de scie est prélevée sur le curseur de P2. R6 et R3 (nous avons déjà évoqué leur rôle brièvement) effectuent la somme des deux tensions pour appliquer à la base de T2 une tension de polarisation variable. Il suffit de jeter un coup d'œil à la **figure 5** pour voir ce qui se passe. Si la tension aux bornes de C4 (diagramme supérieur) est

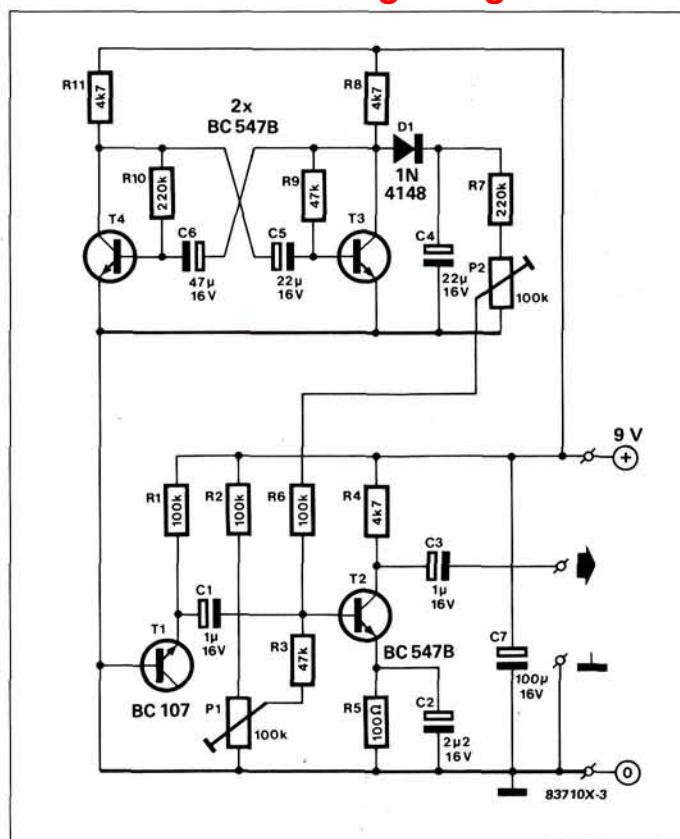


Figure 3 - Les fonctions du schéma bloc sont facilement reconnaissables sur le schéma complet : l'étage amplificateur T2 reçoit directement le signal de la source de bruit T1 et en même temps le signal de commande. Ce signal est une dent de scie résultant de l'intégration par le réseau R7/C4 du créneau (impulsion carrée) issu du multivibrateur astable T3/T4.

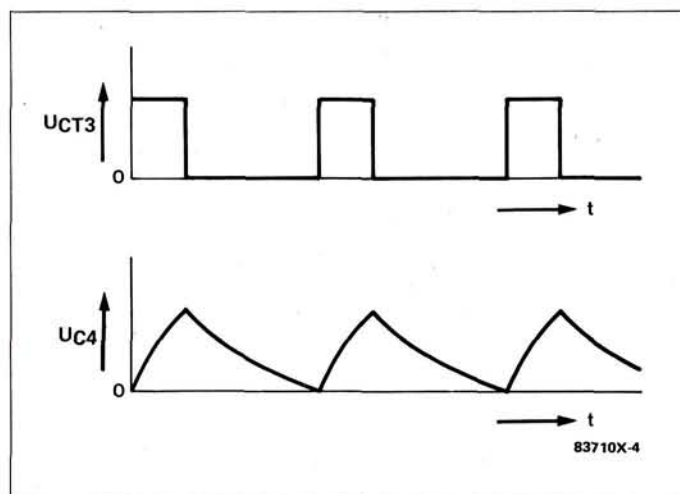


Figure 4 - Le multivibrateur astable produit un signal rectangulaire dissymétrique, dont le temps d'impulsion est plus court que le temps de repos. Aux bornes de C4, la tension en créneau a pris la forme d'une dent de scie, avec un flanc montant court et un flanc descendant long.

nulle, le potentiel de la base (diagramme inférieur) reste celui qui est fixé par le réglage de P1.

Lorsqu'une tension en dent de scie est présente sur C4, la fraction de tension prélevée au curseur de P2 s'ajoute à la tension de base. Pendant le temps de montée de la dent de scie, T2 devient plus conducteur et le signal de bruit se retrouve

amplifié sur le collecteur.

L'inverse se produit pendant le temps de descente : le transistor devient moins conducteur à mesure que la tension décroît. Le souffle s'atténue.

LA RÉALISATION

Le montage entier tient sur une platine d'expérimenta-

tion de format 1 (40 x 100 mm). La position de chaque composant est visible sur le plan d'implantation de la **figure 6**. Le montage étant assez dense, il faut souder chaque composant à sa place précise. C'est surtout vrai pour les quelques résistances et condensateurs dont les pattes sont coudées à angle droit. Montez les composants dans l'ordre suivant : ponts, résistances, diodes, condensateurs, potentiomètres, transistors, picots. Veillez à respecter la polarité des condensateurs électro-chimiques.

Encore deux mots au sujet de la source de bruit, le transistor T1. Quant au montage : son collecteur reste électriquement "en l'air" et pour éviter un contact avec le reste du circuit, il faut soit couper la patte au ras du boîtier, soit ôter la piste cuivrée de la platine. Quant au choix du type, sachez que tous les transistors ne sont pas de "bonnes" sources de bruit. Préférez les types anciens, du genre BC 107. Il se peut que vous ayez à choisir entre plusieurs transistors celui qui sera le plus bruyant et par conséquent le mieux adapté à notre application.

SÉLECTION PAR LE BRUIT

Comment faire cette sélection ? Reliez le pôle négatif de C1 à l'entrée magnétophone, radio, ou auxiliaire, d'un amplificateur de chaîne Hi-Fi (et bien sûr la masse du montage à la masse de l'amplificateur). Un bruit de 10 à 20 mV (millivolts) d'amplitude produit un souffle léger et régulier dans les haut-parleurs. Choisissez comme source de bruit le transistor dont le niveau de bruit est le plus élevé. Puis reliez l'entrée de l'ampli à la sortie du montage (pôle négatif de C3). L'étage amplificateur T2 introduit un gain d'environ 50, déterminé principalement par le rapport R4/R5. A un bruit de 10 mV correspond donc un signal de sortie d'environ 500 mV, à un bruit de 20 mV correspondra environ 1 V. Dans les deux cas, le niveau est suffisant pour attaquer le préamplificateur puis l'amplificateur de la chaîne Hi-Fi.

Si vous ne voulez pas raccorder votre montage à une chaîne Hi-Fi, vous pouvez utiliser un petit amplificateur à tout faire. En tous cas un haut-parleur ne pourra reproduire le son qu'associé à un amplificateur, quel qu'il soit. Sans amplification, le bruit de ressac se trouverait réduit à un léger souffle.

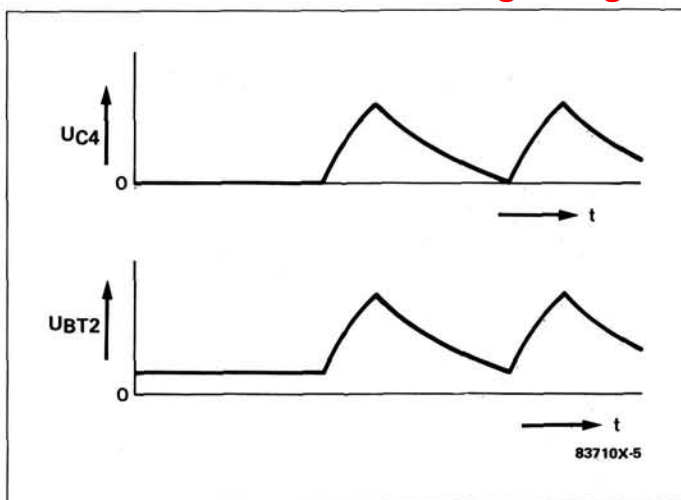


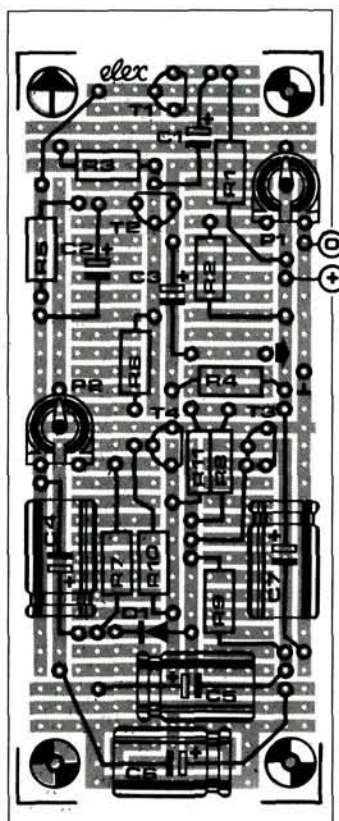
Figure 5 - Le diagramme des tensions montre la relation entre le signal de commande et le "bruit de ressac". Si aucune tension n'est présente sur C4, la base de T2 reste au potentiel défini par le réglage, et on n'entend qu'un léger bruit de fond. Au contraire si une tension de commande arrive sur la base de T2, elle s'ajoute à la tension existante. Le transistor suit ce signal et s'ouvre ou se ferme proportionnellement. Le bruit, en croissant et décroissant, devient bruit de ressac.

Une pile compacte de 9 V suffit à l'alimentation. La consommation oscille entre 2,5 mA (milliampères) et 4,5 mA, suivant le niveau de bruit. Sa modicité ne nous dispense pas de prévoir un interrupteur marche/arrêt. Assurez la liaison entre le montage et l'amplificateur par un fil blindé, pour éviter les ronflements éventuels. Le blindage reliera les masses des deux appareils.

LE RÉGLAGE

Deux potentiomètres, P1 et P2, sont prévus pour le réglage. La conception du montage est telle que les deux réglages s'influencent mutuellement. Toutefois cette interaction minimise ne complique pas le réglage. Avant d'appliquer la tension d'alimentation, placez les deux curseurs vers la masse

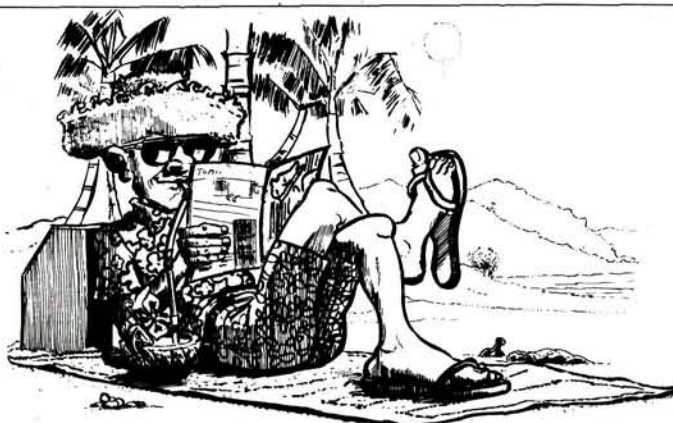
Figure 6 - La construction doit bien se passer si l'on s'en tient exactement au plan d'implantation.



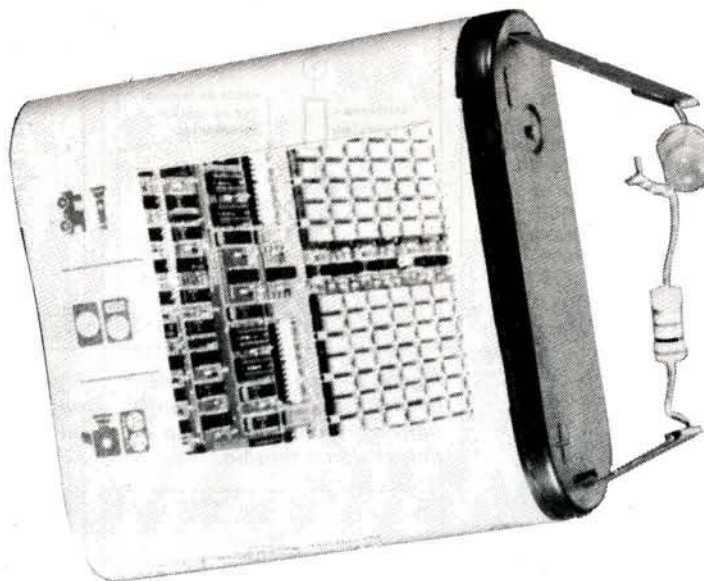
(P1 sens horaire, P2 sens anti-horaire). Tournez alors P1 lentement en sens anti-horaire, jusqu'à ce que vous puissiez entendre un souffle léger et régulier. Réglez maintenant avec P2 la croissance et la décroissance du souffle. La position convenable de P2 est atteinte quand la rotation de l'axe du potentiomètre n'entraîne plus d'accroissement du souffle. Retouchez éventuellement le réglage de P1.

elex-abc

Il est question dans cet article de rapport cyclique dissymétrique pour un signal carré. Un signal carré est formé d'une impulsion plus ou moins longue suivie par un temps de repos, plus ou moins long; les deux forment ensemble une période du signal carré; c'est le rapport entre ces deux durées que l'on désigne par rapport cyclique. Il est évident que pour une fréquence donnée du signal carré (la durée de la période est fixe), on obtient en fait des signaux assez différents selon que l'impulsion est longue et le repos court, ou inversement. La modulation de la durée des impulsions est même une méthode de codage des informations très utilisée dans les techniques modernes de modulation. Le bruit dont il est question également dans cet article est le bruit blanc que nous connaissons tous sous la forme du souffle produit par un récepteur radio lorsqu'il n'est accordé sur aucune station émettrice. Dans le bruit blanc se trouvent simultanément toutes les fréquences du spectre audible à amplitude égale.



**plus implacable que la loi du silence
plus dure que la loi de la jungle
plus utile que la loi de Combretin
c'est . . .**



On définit souvent (à raison) les résistances comme "des freins pour le courant". De fait, les résistances sont comme des échelons sur l'échelle des conducteurs électriques, laquelle va des bons conducteurs, comme le fil de cuivre, jusqu'aux "non-conducteurs", les isolants (ou diélectriques), comme le verre, la céramique, les matières plastiques, l'air, etc, en passant par les mauvais conducteurs et toutes sortes de résistances variables. Tout cela n'a pas grand-chose à voir avec les semi-conducteurs, également appelés *chauffards*. Ces échelons avec leurs valeurs intermédiaires sont d'une grande utilité pour l'électronicien : c'est eux qui rendent possible le dosage précis des courants et des tensions.

Si l'on place une résistance entre les bornes d'une source de tension, elle sera traversée par un courant d'intensité déterminée. Hugh, j'ai dit!

Georg Simon Ohm (1787-1854) a mis en évidence cette relation, et a formulé ainsi la loi qui porte son nom :

La tension (U) aux bornes d'une résistance est égale au produit de la résistance (R) par le courant (I) qui la traverse.

$$U = RI$$

Sans nous attarder aux développements théoriques de cette formule, qu'on a appelée la "loi fondamentale de l'électrotechnique", nous

la loi d'Ohm

allons expliquer par quelques exemples le sens et l'utilité de la loi d'Ohm. Le schéma de la **figure 1** montre une pile de 4,5 V (volts), connectée à une résistance de 100 Ω (ohms) (vous aurez compris que Mr Ohm a donné son nom à la loi qui nous intéresse mais aussi à l'unité de résistance électrique). Lorsque notre circuit est fermé, un courant y circule. En remplaçant dans la formule de la loi d'Ohm les symboles U et R

par les valeurs de la tension et de la résistance, on peut déterminer l'intensité du courant, inconnue jusque là :

$$4,5 \text{ V} = I \cdot 100 \Omega$$

ou bien :

$$I = 4,5 \text{ V} / 100 \Omega = 0,045 \text{ A} = 45 \text{ mA}$$

Un milliampère (mA) est un millième d'ampère. Le circuit comprend un multimètre réglé sur la gamme

100 mA DC (DC = courant continu) pour mesurer le courant. Si notre petit calcul montre à l'évidence que la valeur de la résistance fixe l'intensité du courant, ici à 0,045 A, il reste d'autres conclusions à tirer : Quand on augmente la tension de la pile, par exemple en ajoutant un élément en série, le courant augmente aussi. Pour $U = 6 \text{ V}$, nous avons :

$$I = 6 \text{ V} / 100 \Omega = 0,06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$$

La formule s'applique toujours pour un changement de valeur de la résistance. Pour 120 Ω au lieu de 100 Ω , nous avons :

$$I = 6 \text{ V} / 120 \Omega = 0,05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

Donc le courant diminue si la résistance augmente (et que la tension reste identique). Pour expliquer ce qui précède, nous reprendrons l'exemple de la voiture qui descend d'une montagne, et doit freiner pour modérer sa vitesse. Dans cet exemple, la pente de la route figure la tension, la vitesse de la voiture figure l'intensité du courant, et le freinage la résistance. Plus la pente est raide, plus la voiture roule vite ; en parlant du circuit : plus la tension est élevée, plus l'intensité du courant est forte. Si le conducteur appuie

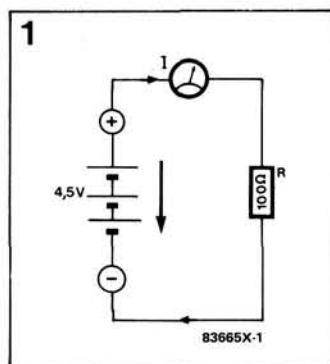


Figure 1 - Le circuit comporte une pile, un ampèremètre et une résistance. L'intensité du courant dépend de la valeur de la résistance.

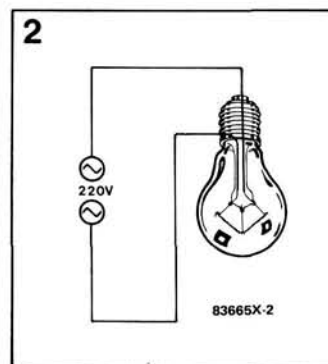
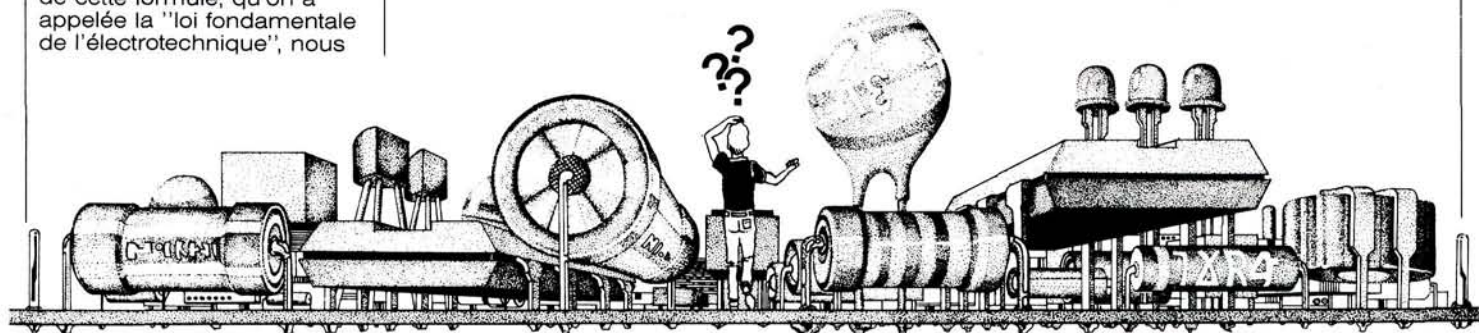


Figure 2 - Le filament d'une ampoule électrique est lui aussi caractérisé par une certaine résistance. Il faut savoir que sa résistance à froid est beaucoup plus faible que sa résistance à chaud.



plus fort sur le frein, la vitesse diminue; l'intensité du courant diminue si la résistance augmente. Pour une tension donnée, l'intensité du courant est déterminée par la résistance; voyons comment cette affirmation s'applique à une lampe à incandescence. Une ampoule de 100 W (watts) allumée consomme un courant d'environ 0,45 A (figure 2). La loi d'Ohm nous permet de calculer sa résistance :

$$220 \text{ V} = 0,45 \text{ A} \cdot R_{\text{ampoule}}$$

$$R_{\text{ampoule}} = 220 \text{ V} / 0,45 \text{ A} = 484 \Omega$$

Malheureusement la résistance du filament ne prend cette valeur qu'à chaud. Au moment de l'allumage, le filament est encore froid. Or la résistance à froid du filament n'est qu'une fraction de sa résistance à chaud, environ 40 Ω . Pendant un temps très court, le courant s'établit à :

$$220 \text{ V} = 1,40 \Omega \cdot I$$

$$I = 220 \text{ V} / 40 \Omega = 5,5 \text{ A}$$

Un courant de 5,5 A représente plus de dix fois l'intensité nominale; rien d'étonnant donc à ce que la plupart des ampoules meurent du fait de la fréquence des allumages; elles claquent d'ailleurs bien souvent au moment précis de l'allumage. Maintenant, observons la formule de plus près. Dans presque tous les exemples, nous avons calculé un courant en fonction d'une tension et d'une résistance. Pour la lampe, une seule fois, nous avons déterminé la résistance en fonction de la tension et du courant. Dans ces deux cas de figure, la loi d'Ohm s'écrit :

$$I = U / R \quad R = U / I$$

Nous n'avons encore jamais utilisé la formule sous sa forme d'origine $U = R \cdot I$, c'est-à-dire que nous n'avons pas, jusqu'ici, calculé la chute de tension provoquée par un courant qui traverse une résistance. Cette formulation de la loi d'Ohm peut paraître paradoxale si l'on considère que la tension est la force (électro-) motrice de

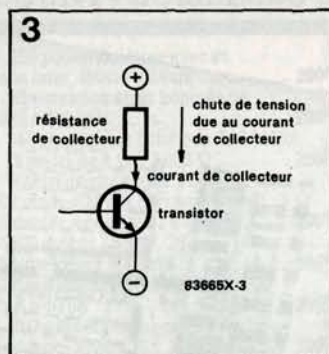


Figure 3 - Une résistance dans le circuit de collecteur d'un transistor donne naissance à une chute de tension.

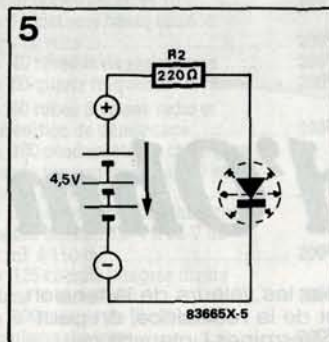


Figure 5 - Une résistance plus élevée laisse passer un courant de plus faible intensité et la LED brille moins.

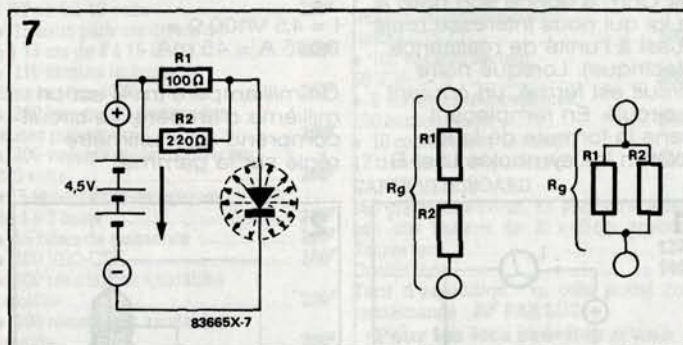


Figure 7 - Avec deux résistances en parallèle, la LED brille plus fort : l'intensité du

l'électronique. Pourtant l'électronicien utilise cette version de la formule aussi souvent que les deux autres. Fréquemment on ne connaît que l'intensité du courant qui circule dans un circuit, par exemple dans le collecteur d'un transistor (figure 3). Ce courant traverse une résistance (qu'on appelle d'ailleurs résistance de

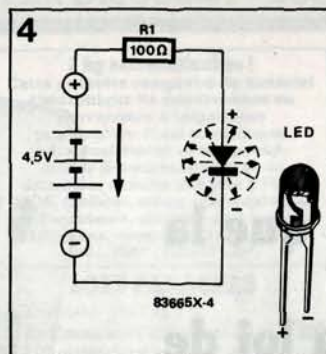


Figure 4 - R1 limite l'intensité du courant dans le circuit à 20 ou 30 mA, selon le type de LED.

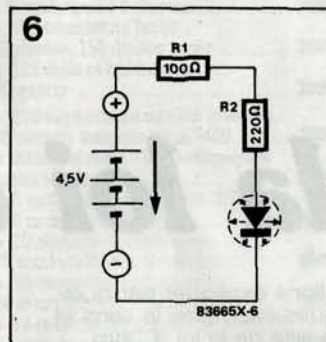


Figure 6 - Deux résistances en série opposent au courant une résistance plus élevée.

courant est donc plus forte qu'avec une seule résistance.

collecteur) et y provoque une chute de tension qui est liée au courant de collecteur par la loi d'Ohm sous sa forme $U = R \cdot I$. Une résistance peut donc servir à transformer un courant en tension; c'est le cas lorsqu'on veut mesurer un courant avec un voltmètre : un ampèremètre n'est rien d'autre qu'un voltmètre aux bornes d'une résistance. . .

EXPERIMENTATION

Mais foin de théorie! La pratique nous en apprendra plus que tous ces longs discours!

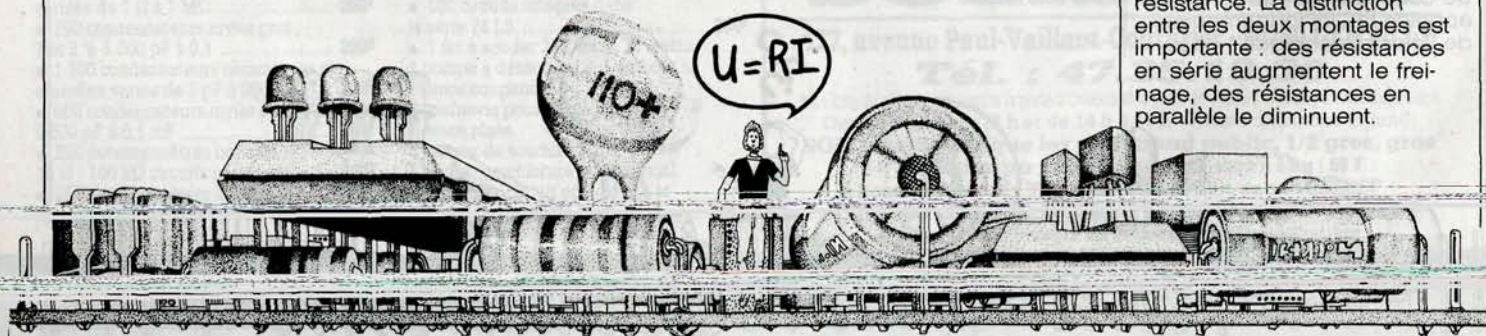
Pour nos travaux pratiques il nous faudra :

- 1 pile plate de 4,5 V
- 1 résistance de 100 Ω
- 1 résistance de 220 Ω
- 1 LED ($\varnothing$ 5 mm)

Vous trouverez cela sans difficulté chez n'importe quel détaillant en composants électroniques. Ici la couleur de la LED importe peu. Le premier schéma d'application est celui de la figure 4. Il comporte la pile, la résistance de 100 Ω et la LED. Cette dernière s'allume si elle est correctement polarisée. La résistance connectée en série provoque une chute de tension et limite ainsi l'intensité du courant qui circule à travers la LED. En effet, la différence de potentiel aux bornes d'une LED est, suivant sa couleur, de 1,6 V à 2,4 V; avec une tension d'alimentation de 4,5 V, l'intensité du courant qui circulerait dans la diode en l'absence de dispositif de limitation serait trop forte, et la LED serait détruite quasi instantanément.

Cette expérience utilise la LED comme indicateur de l'intensité du courant : elle brille d'autant plus fort que l'intensité du courant qui la traverse est élevée. Avec la résistance de 220 Ω dans le circuit, le courant est réduit et la LED brille plus faiblement (figure 5). Le courant diminue encore avec les deux résistances connectées en série (figure 6). Dans ce circuit, ce sont les deux résistances qui "freinent" le courant.

La dernière combinaison possible des deux résistances est leur montage en parallèle (figure 7). Cette fois la LED brille plus fort que jamais, le résultat est — disons-le — éblouissant. Ne s'attendait-on pas à voir, comme dans le montage en série, le courant "freiné" deux fois? En réalité, dans le montage en parallèle, chaque résistance offre un chemin au courant. Le courant est limité dans chaque passage, mais au total il en circule évidemment plus que dans une seule résistance. La distinction entre les deux montages est importante : des résistances en série augmentent le freinage, des résistances en parallèle le diminuent.



ohmmètre linéaire

Pourquoi construire un ohmmètre électronique, alors que votre multimètre est aussi un ohmmètre à plusieurs calibres? Sur le cadran du multimètre, on lit mal les valeurs de résistances élevées: au-delà d'un millier d'ohms, les graduations sont très serrées, alors qu'elles sont espacées pour les faibles valeurs des résistances. Sur un ohmmètre électronique les graduations sont disposées régulièrement sur toute l'échelle. C'est le confort que vous apportera ce petit circuit qui intègre un sélecteur de calibre (ou gamme) de mesure.

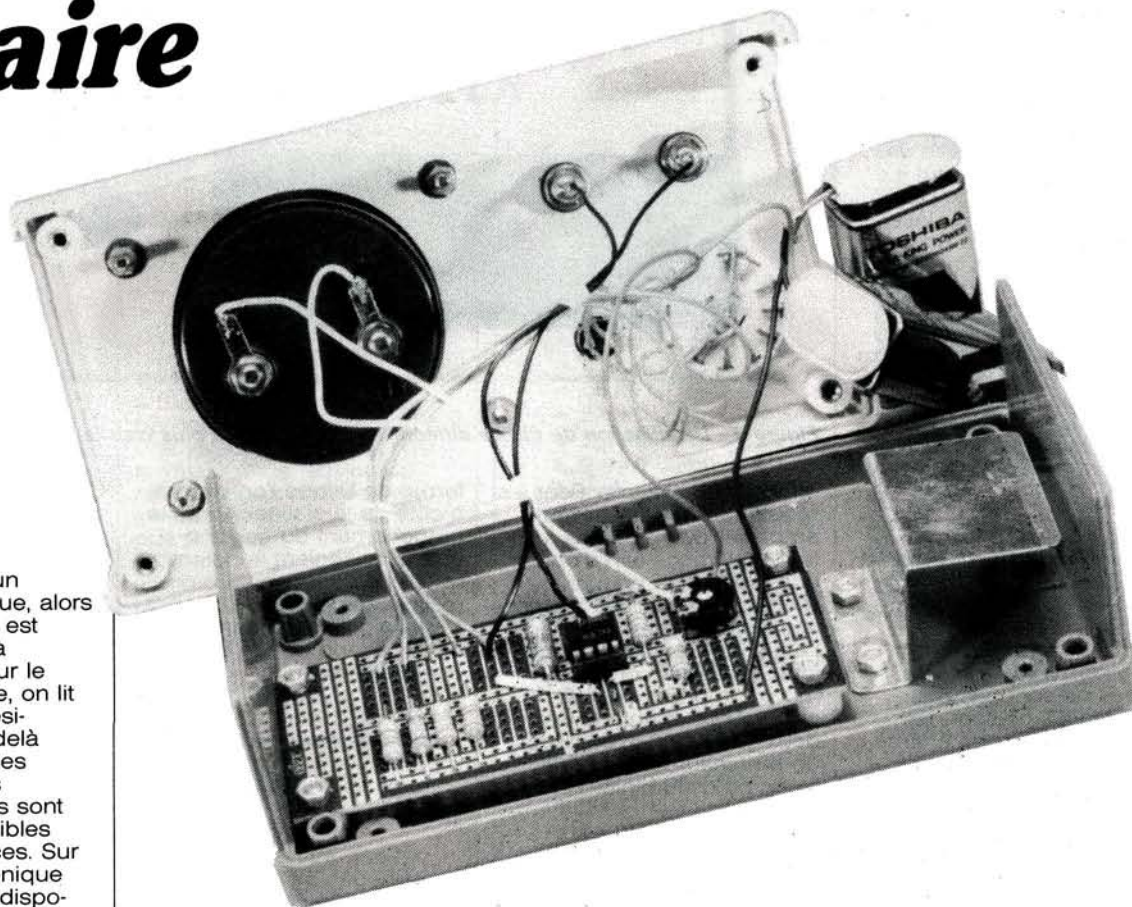


Figure 1 - Le prototype de l'ohmmètre linéaire est pourvu d'un galvanomètre à bobine mobile. On peut aussi monter le circuit sans galvanomètre et se servir d'un contrôleur universel (milliampèremètre) pour l'affichage.

2

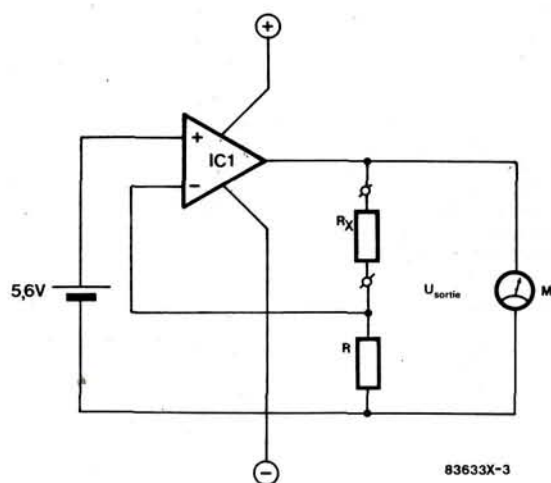


Figure 2 - Le schéma de principe de l'ohmmètre. La pile du schéma représente une source de tension constante (le diode zener du montage).

LE PRINCIPE

Le schéma de l'ohmmètre électronique paraît beaucoup plus compliqué, au premier coup d'oeil, qu'il ne l'est en réalité. C'est souvent le cas en électronique, comme dans beaucoup d'autres domaines d'ailleurs: la première impression n'est pas toujours la meilleure, il vaut mieux ne pas se fier aux apparences. Pour une meilleure compréhension du circuit, nous avons représenté sur la figure 2 le schéma de principe du montage. Seuls les éléments principaux y sont repris. Le composant essentiel est l'amplificateur opérationnel IC1. C'est un circuit intégré qui comporte un amplificateur à gain élevé. Les amplificateurs opérationnels sont des amplificateurs différentiels, c'est-à-dire qu'ils amplifient la différence entre les tensions appliquées à leurs deux entrées. Ne nous affolons pas; c'est à la fois beaucoup plus simple et beaucoup plus compliqué qu'on ne croit...

Une augmentation de la valeur de la tension à l'entrée non inverseuse, aussi appelée entrée positive (+), provoque l'augmentation de la valeur de la tension de sortie, tandis qu'une augmentation de la valeur de la tension à l'entrée inverseuse, aussi appelée entrée négative (-), provoque la diminution la valeur de la tension de sortie. Le gain des amplificateurs opérationnels est de plusieurs fois 100 000. Un gain de 100 000 implique qu'une tension minimale de 10 μ V (un μ V — prononcez "microvolt" — est un millionième de volt) est amplifiée à 1 V! Fichtre, cela mérite bien un point d'exclamation.

A la sortie de notre amplificateur nous plaçons le diviseur de tension R-R_X. La fraction de tension prélevée entre ces deux résistances est injectée dans l'entrée inverseuse du circuit intégré. C'est ce que les électroniciens appellent la contre-réaction. Elle fait en sorte que la tension à l'entrée inverseuse devienne (presque)

plastique facile à travailler. Dans le couvercle, on percera des trous pour les embases de fiches "banane", le bouton poussoir S1, le commutateur rotatif S2, et les quatre vis de fixation du galvanomètre M1. On découpera la grande ouverture circulaire (50 mm de diamètre) pour le galvanomètre, avec une scie à cloche que l'on adaptera à la perceuse (faible vitesse de rotation). Le support du circuit est une platine Elex format 1. La mise en place des composants ne pose aucun problème. Il faut cependant faire attention à l'implantation des diodes: l'anneau imprimé sur les diodes correspond à la barre dans le symbole du schéma (cathode de la diode). La marque de la broche 1 du circuit intégré sera orientée vers l'inscription Elex de la platine.

On peut utiliser pour ce montage divers circuits intégrés (voir liste des composants). Ils ont tous le même brochage. Il ne faut pas employer l'amplificateur opérationnel 741, dont les entrées ne sont pas pourvues de FET: ce sont des transistors à effet de champ (*field effect transistor*) qui garantissent une très haute

impédance d'entrée. Pour les résistances R1 à R4 il faut employer des modèles à faible tolérance afin d'obtenir une graduation rigoureusement identique quel que soit le calibre de mesure. La platine Elex est fixée au fond du boîtier comme le montre la photo de la figure 5. Pour maintenir les deux piles de 9 V, on pliera un morceau de tôle de fer blanc ou d'aluminium en

forme de U, que l'on vissera à côté de la platine. Après le branchement du galvanomètre, on réglera le potentiomètre P1 en utilisant une résistance de précision de 1 k Ω : l'aiguille du cadran doit dévier à fond vers la droite dans le calibre 4.

Le tableau 1 donne les valeurs de résistance que l'on mesure à pleine échelle dans chacun des 4 calibres.

Sur le prototype nous avons remplacé l'inscription "Milliampère DC" originale du galvanomètre par le signe "k Ω " (pour kilo-ohm). L'échelle est alors bonne pour le calibre 2 (100 k Ω). Pour les autres, il faut multiplier le nombre lu par 10 pour le calibre 1, par 0,1 pour le calibre 3 et par 0,01 pour le calibre 4.

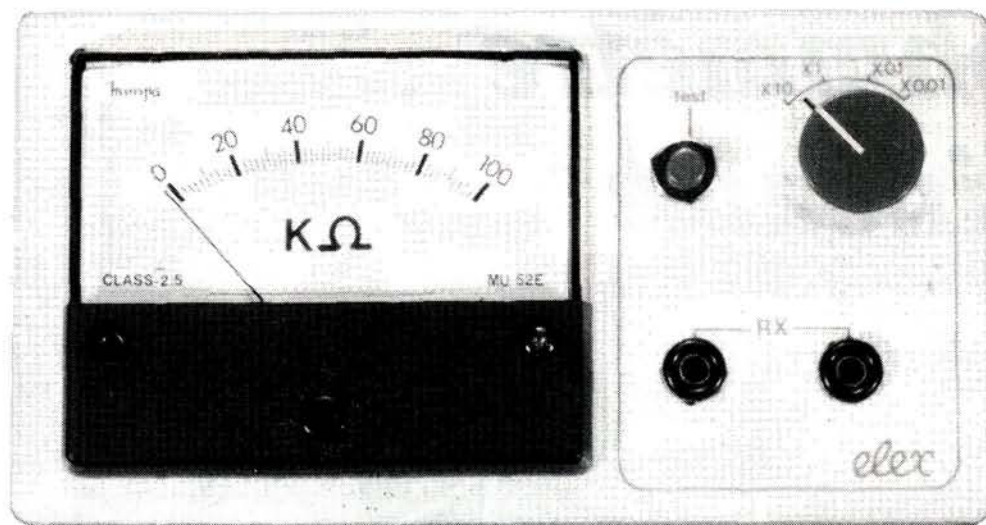


Figure 5 - L'utilisation de fils de différentes couleurs rend plus clair le câblage de l'ohmmètre.

ELEXPERN

Quelques notions importantes sur les amplificateurs opérationnels...

On dit d'un circuit intégré qu'il est un amplificateur opérationnel quand il s'agit d'un circuit conçu pour permettre dans un circuit électronique d'effectuer sur une tension, dans le domaine défini par sa propre tension d'alimentation, des opérations arithmétiques (addition, soustraction ou multiplication) ou mathématiques (différentiation, intégration). On remarquera qu'un amplificateur opérationnel n'est pas nécessairement relié à la masse; c'est le cas notamment lorsqu'il est alimenté par une tension symétrique par rapport à la masse).

Les tensions appliquées aux entrées d'un amplificateur opérationnel doivent appartenir à un domaine défini par rapport aux potentiels d'alimentation; ce domaine varie plus ou moins fortement d'un type d'amplificateur opérationnel à l'autre. Sur certains d'entre eux, il est même permis que les tensions d'entrée dépassent les potentiels de l'alimentation sans que l'amplificateur ne cesse de fonctionner: sur le 3140 par exemple, la tension d'entrée peut dépasser de 0,5 V la tension d'alimentation négative. Néanmoins, ce n'est pas la valeur absolue des tensions d'entrée, mais la différence entre elles qui entraîne une variation de la tension de sortie. La fonction d'amplification proprement dite n'est obtenue que tant que la différence entre les tensions d'entrée est faible. En effet, l'amplificateur opérationnel cherche à compenser cette différence en faisant varier sa tension de sortie en proportion; dès lors que la

différence de tension entre les entrées est trop forte par rapport à la plage définie par les potentiels d'alimentation, la tension de sortie n'arrive plus à "suivre", puisqu'elle serait forcée de quitter le domaine commun (c'est-à-dire la plage des tensions de service admissibles), ce qui lui est impossible. L'amplificateur opérationnel est alors saturé et fonctionne en tout ou rien. Dans le texte ci-dessus, il est question d'**entrées à très haute impédance**. L'intensité du courant d'entrée d'un amplificateur opérationnel s'exprime couramment en nA (nanoampères, soit en millièmes de microampère) ou en pA (picoampères, soit en millièmes de nanoampères). Sur un modèle comme le 3140, le courant d'entrée de l'amplificateur devient négligeable. L'impédance d'entrée d'un tel amplificateur opérationnel est de 1,5 T Ω (ce sont des terachms, c'est-à-dire des milliers de mégachms...).

Ajoutons encore que les amplificateurs opérationnels sont parfaitement capables de fournir ou de drainer du courant par leur broche de sortie; l'intensité de ce courant s'exprime généralement en mA, et elle est limitée par un dispositif interne afin de prévenir les risques de surcharge.

Au nombre des caractéristiques de l'amplificateur opérationnel gênantes pour l'utilisateur figure la fameuse tension de décalage ou *offset*. Nous avons vu que la tension de sortie tend à compenser la différence entre les tensions d'entrée; donc, quand cette différence est nulle, la tension de sortie devrait l'être aussi. Or elle ne l'est pas (toujours): on dit alors que la sortie est affectée par un décalage ou *offset*, dont il faut tenir compte, même s'il n'est que de l'ordre d'une dizaine de millivolts.

Tableau 1.

Position de S3	résistance pleine échelle de M1	Courant de mesure
1	1 MΩ	1 μA
2	100 kΩ	10 μA
3	10 kΩ	0,1 mA
4	1 kΩ	1 mA

égale à la tension présente sur l'entrée non inverseuse.

Cette contre-réaction est un phénomène étonnant. Essayons de nous imaginer ce qui se passe. Supposons que la valeur de la tension appliquée à l'entrée non inverseuse monte de 5,6 à 6,6 V, soit un écart de 1 V. Sans la contre-réaction, la valeur de la tension de sortie monterait dramatiquement à 100 000 V (en théorie seulement, puisqu'en pratique la tension de sortie ne peut évidemment pas monter plus haut que la tension d'alimentation). Mais dès que la valeur de la tension de sortie monte, celle de l'entrée inverseuse monte aussi puisqu'elle est une partie de la tension de sortie, en raison de la présence du réseau de contre-réaction. La différence des valeurs des tensions à l'entrée diminue et endigue la montée en flèche de la tension de sortie. Tant qu'il y a une différence des tensions à l'entrée, cette différence est amplifiée puis réinjectée de manière à réduire l'écart entre les tensions. Finalement les deux tensions d'entrée s'approchent l'une de l'autre au microvolt près, pour finir par avoir pratiquement la même valeur. L'amplificateur opérationnel n'amplifie plus alors qu'une infime différence de tension.

Dans le circuit de notre ohmmètre linéaire la tension d'entrée n'augmente pas. Elle reste constamment à 5,6 V. La différence de potentiel aux bornes de R est donc de 5,6 V. Cela implique que la tension de sortie est dépendante des résistances R et R_X . Plus la valeur de la résistance R_X est grande, plus la tension de sortie devra monter pour parvenir à maintenir la tension aux bornes de la résistance R à une valeur de 5,6 V (qui est la valeur de la tension de référence sur l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel). Le calcul de la tension de sortie U_{sortie} est une simple règle de trois. Le courant à travers R et R_X est le même.

La tension aux bornes de R: 5,6 V

La tension aux bornes de R_X et R:

$$U_{\text{sortie}} = \frac{R + jR_X}{R} \times 5,6 \text{ [V]}$$

La formule montre que la tension de sortie dépend d'une manière linéaire de la valeur de la résistance R_X . Autrement dit, la tension est proportionnelle à R_X à une constante près. En effet, en développant la formule on obtient:

$$U_{\text{sortie}} = 5,6 \text{ [V]} + \frac{5,6 \text{ [V]}}{R} \times R_X$$

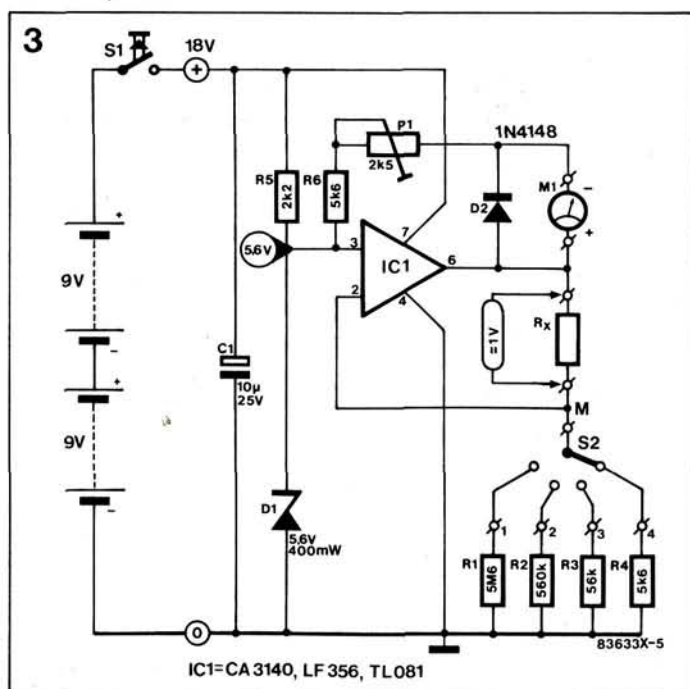
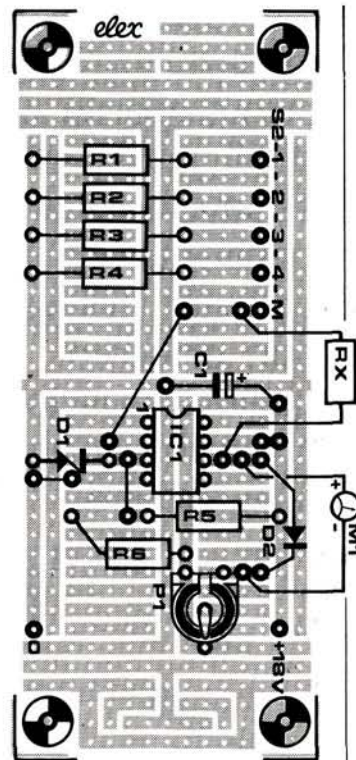


Figure 3 - L'élément essentiel du montage est un amplificateur opérationnel. Il est alimenté par deux piles 9 V.

Figure 4 - La disposition des composants. Au moment de souder, on veillera à respecter la polarité des diodes et des condensateurs électrolytiques.



Ici nous examinons le parcours des courants convergents ou divergents, et nous essayons de comprendre comment le courant trouve son chemin quand tous les chemins mènent à la masse.



Figure 2 - Le montage expérimental volant.

Nos deux compères de "Alors raconte" avaient établi que "le courant ne peut circuler que dans une boucle" et que "si le circuit est interrompu, le courant cesse". Que se passe-t-il quand on propose au courant des chemins différents? Par où passe-t-il? Choisit-il un itinéraire plutôt qu'un autre?

Une petite expérience va nous permettre de mettre le courant à l'épreuve. Pour cela il nous faudra :

- 2 piles plates de 4,5 V (volts)
- 2 résistances de 100 Ω (ohms) 1/8 W minimum
- 3 LED rouges (ce sont des diodes électroluminescentes en anglais : Light Emitting Diodes)



la loi des noeuds

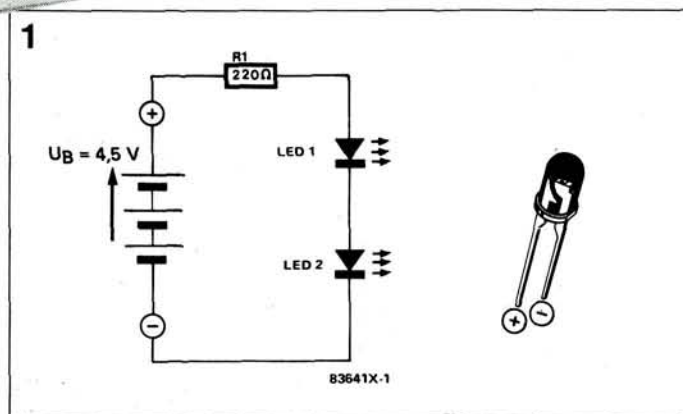


Figure 1 - Les deux LED mettent en évidence le passage d'un courant dans la boucle.

JUSTE POUR ESSAYER

Ce sont des composants que l'on trouvera facilement chez les revendeurs même les moins spécialisés. Il s'agit de réaliser un circuit simple avec une pile, une résistance et deux LED. Ces LED nous serviront d'indicateurs de courant : elles brillent quand le courant passe, et d'autant plus fort que ce courant est intense. La résistance ne

joue aucun rôle dans l'expérience elle-même; elle empêche simplement le courant d'atteindre une valeur excessive et fatale pour les LED. Une façon simple de raccorder les quatre composants du circuit consiste à entortiller les pattes de connexion. Il faut veiller à respecter la polarité des LED et de la pile. Le pôle négatif (cathode) de la LED, identifié par la barre du symbole,

correspond à la patte la plus courte du composant. Le pôle négatif de la pile se trouve sur la languette la plus... longue. Sitôt les quatre composants raccordés, les diodes s'allument; le circuit est fermé. La figure 3 représente le chemin du courant. L'éclat des deux LED est sensiblement identique, puisqu'elles sont traversées par un seul et même courant. Une différence éventuelle de luminosité proviendrait de dispersions dans les caractéristiques de fabrication des LED utilisées. En tous cas nous savons à présent que le courant ne peut pas "contourner" une diode.

LES COURANTS EN "Y"

Le reste des composants va nous servir à réaliser un deuxième circuit, qui ne se fermera pas directement sur lui-même, mais sera connecté au premier (figure 4). La deuxième pile débitera-t-elle du courant? Si oui, où va circuler ce courant? Bonnes questions! Voyons ce que cela donne

en pratique :
La LED D3 s'allume aussi, c'est donc que la deuxième pile fournit du courant. Ce courant (I_3) traverse la LED D2, ce qui explique le surcroît de luminosité de cette LED. Et puis la luminosité de la LED D1 n'a pas changé, c'est qu'elle ne voit pas circuler plus de courant qu'auparavant (I_1). Le courant de la deuxième partie du montage passe aussi dans la première partie.
Une dernière confirmation est obtenue en interrompant

le circuit au point X de la **figure 5** : la LED D3 s'éteint et la LED D2 reprend son éclat primitif. Il ne circule plus de courant dans la deuxième boucle puisqu'elle est ouverte. Les deux circuits, bien que connectés ensemble, fonctionnent indépendamment l'un de l'autre. Toutes les sources de tension (ici les piles) reçoivent autant de courant au pôle négatif qu'elles en débitent au pôle positif; ces courants trouvent donc toujours le chemin du retour

vers les sources de tension.

C'est le savant Gustave Robert Kirchhof (1824-1887) qui a établi la loi de convergence des courants ou loi de Kirchhof (**figure 6**). Cette loi affirme que tous les courants (ici I_1 et I_3) qui entrent dans un noeud en ressortent (ici I_2). La même loi s'applique d'ailleurs à la bifurcation suivante du schéma (**figure 7**). Le courant I_2 qui entre dans le noeud se partage entre I_1 et I_3 ; il n'y a

ni perte ni mélange de courant. Les notions de "noeud" et de "boucle" (ou maille) peuvent paraître purement théoriques, leur utilité pratique est néanmoins grande : elles permettent de décomposer en boucles de courant élémentaires même le plus compliqué des circuits. Il est plus facile ensuite de comprendre le fonctionnement d'un circuit en suivant l'itinéraire des courants boucle par boucle.

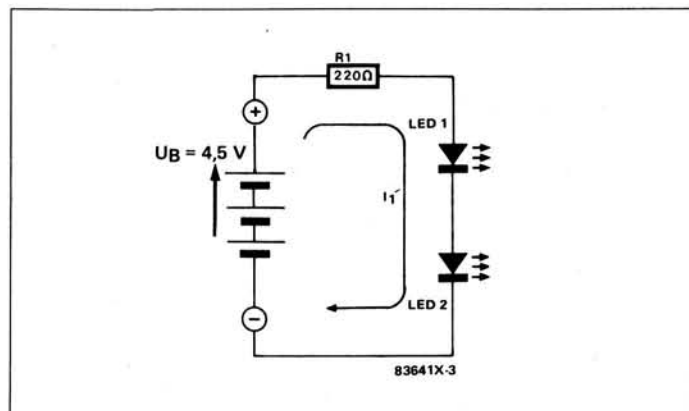


Figure 3 - Le chemin suivi par le courant dans un circuit simple.

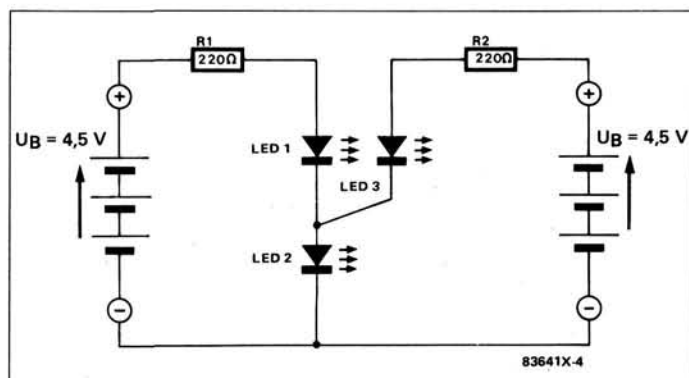


Figure 4 - Une deuxième boucle est connectée. La LED D2 fait partie de l'une et de l'autre boucle.

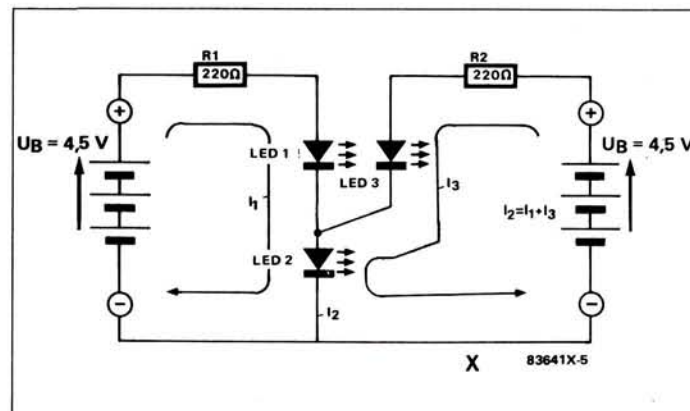


Figure 5 - La LED D2 est traversée par le courant des deux boucles.

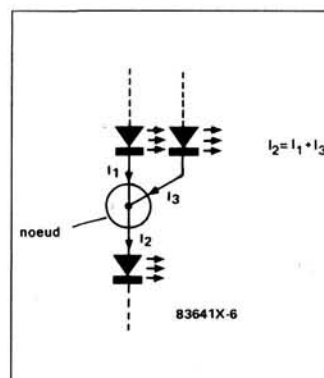


Figure 6 - Le noeud entre les trois LED voit entrer le courant des deux boucles : I_1 et I_3 .

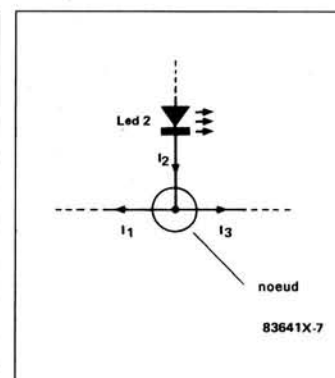


Figure 7 - Au sortir du noeud inférieur, le courant I_2 se sépare à nouveau en I_1 et I_3 .

Ets. MAJCHRZAK J.F.

COMPOSANTS ELECTRONIQUES

SEMI-CONDUCTEURS ACTIFS/PASSIFS

MESURE

TOUT POUR LE CIRCUIT IMPRIMÉ

107, rue Paul Guieysse
56100 LORIENT

TÉL. 97 21 37 03.
TÉLEX MAJCOMP 950017 F

Ce qui fait que l'on remarque les feux gyroscopiques dont sont équipés voitures de police, ambulances, camions de pompiers et autres véhicules (prioritaires aux «1000 bornes»), c'est l'émission périodique d'impulsions lumineuses aussi vives que brèves. Le montage électronique décrit ici permet de reproduire fidèlement cet effet lumineux avec des moyens modestes, grâce à quelques astuces de conception.

UN CLIGNOTANT POUR TOUT

Le plus souvent, quand un électronicien conçoit et met au point un montage, c'est dans un but et pour une application bien précis. Parfois, c'est le contraire qui arrive, comme c'est le cas pour ce montage, conçu d'abord comme clignotant universel, à deux cadences de clignotement indépendantes, sans autre but : du coup les applications possibles d'un tel circuit sont si nombreuses qu'il serait difficile de les citer toutes. Mais comme il est plus agréable de présenter un circuit dans le cadre d'une application précise plutôt que détaché de tout contexte, nous avons décidé d'utiliser notre clignotant pour simuler le gyrophare d'un camion de pompiers miniature. Une fois doté de cet accessoire lumineux très spectaculaire, le

jouet devient un véritable camion de pompiers. Ce montage pourra être employé pour animer ou rendre plus réalistes bien d'autres types de véhicules de modèle réduit. Il conviendrait par exemple pour imiter les feux "ACL" (*anti collision light* en anglais) sur un modèle réduit d'avion. Ces feux se trouvent au bout des ailes des avions et leur fonction est de contribuer à éviter les collisions. Vous en avez certainement déjà observés par temps clair de nuit. Les amateurs de modèles réduits de bateaux pourront adapter le montage à leur vedette de pompiers. Vous imaginerez facilement vous-même de nombreux autres usages possibles pour ce clignotant. Voyons à présent en quoi il est si intéressant. Le montage décrit comporte deux ampoules qui émettent régulièrement des impul-

sions lumineuses, imitant ainsi les feux gyroscopiques. Il connaît en fait trois modes de clignotement différents, entre lesquels vous choisissez en posant sur le circuit le pont de câblage adéquat. Suivant votre choix, les deux ampoules clignoteront simultanément, alternativement ou indépendamment l'une de l'autre. La cadence des impulsions lumineuses est déterminée séparément par deux résistances variables.

LA CONSTRUCTION

Nous avons monté tout le circuit sur une platine Elex de format 1. Vous trouverez les indications pour la mise en place des composants sur la **figure 2** qui donne le plan d'implantation des composants. Vous trouverez ailleurs dans ce numéro des

informations utiles sur les platines et les composants électroniques, lesquels renseignements vous seront d'une grande aide si votre expérience en la matière n'est pas encore très vaste. Pour le condensateur C5, nous avons utilisé un condensateur au tantale en raison de son encombrement réduit. N'importe quel condensateur électrolytique (attention : ce sont des condensateurs dont le "+" et le "-" sont repérés, tout comme sur les condensateurs au tantale d'ailleurs; il faut donc respecter leur polarité) peut faire l'affaire, mais il devra trouver sa place en dehors de la platine, car il sera éventuellement trop encombrant pour y être implanté.

Le circuit intégré IC1 est du type CMOS. Les entrées d'un tel composant sont fragiles car elles sont sensibles

gyrophare

pour modèle réduit

Figure 1 - Une belle idée de cadeau. Le clignotant jette ses éclats lumineux comme le gyroscope d'un vrai camion de pompiers. La platine Elex et la pile seront montées cachés dans la carrosserie.

Liste des composants pour le feu clignotant

divers:

- 1 platine Elex format 1
- 2 douilles pour les ampoules
- 1 pile compacte de 9 V
- 1 connecteur pour la pile
- éventuellement
- 1 interrupteur

- R1,R6 = 47 k Ω
- R2,R7 = 10 k Ω
- R3,R8 = 470 k Ω
- R4,R9 = 22 k Ω
- R5,R10 = 470 Ω
- R11 = 100 Ω
- P1,P2 = 1 M Ω variable
- C1,C3 = 820 nF
- C2,C4 = 100 nF
- C5 = 10 μ F 16 V condensateur au tantale
- T1...T4 = BC 547
- IC1 = 4093 (4 opérateurs NAND CMOS à trigger de Schmitt)
- La1,La2 = ampoules 6 V/0,1 A (voir texte)



statique (l'électricité qui s'accumule dans vos vêtements par frottement de matières synthétiques non conductrices entre elles, et se décharge brusquement dans un conducteur dès que l'occasion se présente). Vous éviterez donc soigneusement d'entrer en contact avec les broches de ce circuit intégré

tant que celui-ci n'est pas relié à la masse. Pour le transport et le stockage, le circuit doit être planté dans une mousse conductrice ou une feuille d'aluminium, de telle sorte que toutes ses broches soient court-circuitées; ainsi la puce ne risque pas d'être endommagée par l'irruption de différences de potentiel importantes entre les broches du circuit.

Vous soudez sur la platine un support pour ce circuit intégré. Le circuit intégré proprement dit ne sera implanté qu'au moment où vous mettez la dernière main au montage. Le repère voisin de la broche 1 du circuit intégré doit être orienté vers les deux résistances variables.

PONTS DE CÂBLAGE

Nous avons placé des picots aux points M, 1, 2, et 3 du prototype, et monté des picots femelles aux deux bouts d'un court fil isolé afin de pouvoir modifier facilement la position du pont de câblage qui détermine le mode de clignotement. Si vous n'avez pas l'intention de changer le mode de fonctionnement du montage, vous monterez le pont de câblage correspondant au mode de choix directement et à demeure sur la platine.

Le circuit est conçu pour de petites ampoules électriques à incandescence dont la tension de service est comprise entre 6 et 7 V et qui sont traversées ici par un courant de 0,1 A environ. D'autres ampoules aux caractéristiques voisines conviennent aussi pour autant que leur tension de service nominale ne soit pas inférieure à 6 V. Si les ampoules dont vous disposez sont trop grosses pour prendre place sur la maquette, vous pouvez les remplacer par des diodes électroluminescentes (LED) et une résistance de limitation de courant montée en série. La figure 4 illustre deux montages de substitution de ce type et indique la valeur que vous devrez adopter pour la résistance. L'un comprend

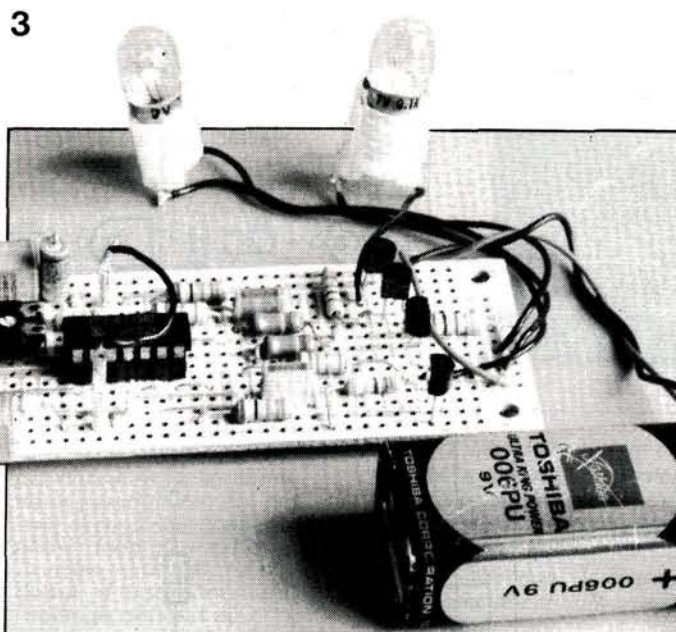
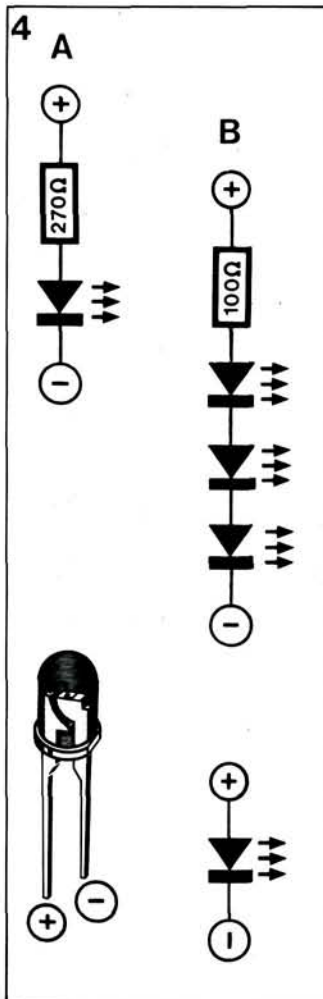
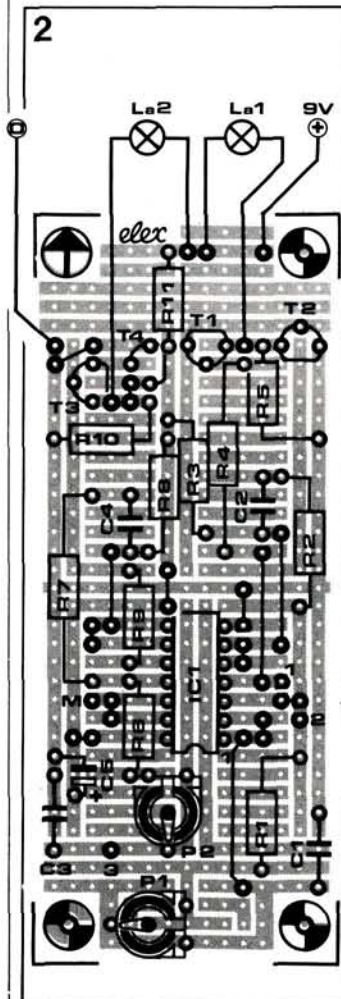


Figure 3 - Le prototype du clignotant. Ce sont des ponts de câblage qui vous permettent de choisir l'un des trois modes de clignotement: simultané, alternatif ou indépendant.

Figure 2 - Tous les composants sauf la pile et les ampoules peuvent être casés sur une petite platine Elex. Dans certaines applications, il est souhaitable de pouvoir interrompre facilement le clignotement; il suffit pour cela de monter un interrupteur sur les fils de la pile.

Figure 4 - Voici deux possibilités pour remplacer les ampoules par des LED. Pour ces modifications, vous supprimerez les résistances R5 et R10.



trois LED alors que l'autre n'en comprend qu'une seule. Ces circuits résistance-LED consomment environ 25 mA chacun. L'intensité de ce courant permet donc de monter jusqu'à quatre circuits en parallèle, soit 12 diodes en tout, sans que le transistor soit surchargé puisqu'il conduira alors le même courant ($4 \times 25 \text{ mA} = 0,1 \text{ A}$) qu'avec l'ampoule à incandescence. Supprimez les résistances de 470 Ω R5 et R10 si vous utilisez des LED à la place des ampoules.

Le montage une fois terminé, réglez le rythme des impulsions avec la résistance variable P1. La résistance variable P2 n'est fonctionnelle que lorsque le point 3 du circuit est relié au point M par un pont de câblage. La résistance variable P1 ne commande dans ce cas que le rythme de l'ampoule La1. Dénudez les fils reliés aux ampoules sur quelques millimètres à leurs extrémités; après les avoir enfilés dans le trou par le côté des composants, vous les soudez de l'autre côté.

Un interrupteur monté en série sur l'un des fils d'alimentation (vers la pile) vous permettra de mettre le clignotant hors service aisément.

LE FONCTIONNEMENT

Le circuit est composé de deux sous-ensembles qui commandent chacun une ampoule. L'examen de la figure 5 fait clairement apparaître que chaque partie utilise deux opérateurs logiques NON-ET ou NAND (en anglais) pour produire les signaux qui donnent naissance aux impulsions lumineuses. Le premier opérateur NAND N1 (N3 pour le deuxième sous-ensemble) détermine la durée des intervalles entre deux impulsions, c'est-à-dire la durée des pauses, tandis que le deuxième opérateur NAND N2 (N4 pour le deuxième sous-ensemble) détermine la durée de l'impulsion lumineuse proprement dite. Deux transistors montés en Darlington (le courant d'émetteur du premier transistor devient courant de base du second transistor) fournissent dans chacun des sous-ensembles la puissance nécessaire à l'allumage des deux ampoules. Les deux entrées de chacune des portes NAND sont raccordées entre elles. Ces portes se comportent alors comme de simples inverseurs.

Les inverseurs ressemblent de loin aux bascules des enfants. Dès que la valeur de la tension d'entrée monte, celle de la tension de sortie tombe

à zéro. Dès que la valeur de la tension d'entrée retombe, celle de la tension de sortie remonte jusqu'à la valeur de la tension d'alimentation. En réalité, les inverseurs ne se comportent pas du tout comme les bascules que l'on voit sur les terrains de jeux. Ces opérateurs travaillent avec des niveaux logiques (tout ou rien), le passage d'une valeur extrême de la tension à l'autre n'est pas progressif, mais brutal; il est même communément considéré comme instantané. La valeur de la tension de sortie change brutalement dès que la tension d'entrée franchit un certain seuil et cela aussi bien en montant qu'en descendant. Les quatre opérateurs NAND de IC1 (4093) sont du type à *trigger de Schmitt*. Cela veut dire que le seuil de basculement ascendant n'est pas identique au seuil de basculement descendant. En pratique cela implique que la valeur de la tension d'entrée à partir de laquelle va intervenir la chute de la tension de sortie (tension de seuil en montée) est **plus élevée** que la valeur de la tension d'entrée à partir de laquelle (tension de seuil en descente) va intervenir la remontée de la tension de sortie.

Il y a comme un retard dans la réaction du circuit qui présente donc une certaine inertie (il a l'air de se plaire dans l'état où il est et semble ne pas vouloir en changer). La différence entre les deux seuils de basculement ascendant et descendant est ce que l'on appelle l'**hystérésis**.

OSCILLATEURS

Il suffit de deux composants discrets (c'est-à-dire non intégrés sur une puce) pour qu'un opérateur à trigger de Schmitt devienne un oscillateur: un condensateur et une résistance. La **figure 6** donne le schéma de principe d'un tel oscillateur. C'est ce montage qui est utilisé pour N1 et N3. Au moment où l'on met le circuit sous tension, la tension de sortie de l'opérateur atteint la valeur de la tension d'alimentation, car le condensateur à l'entrée n'est pas encore chargé. Il n'existe pas encore de différence de potentiel entre ses bornes. A travers la résistance montée en série avec le condensateur circule un courant qui charge ce condensateur et fait monter régulièrement le niveau de la tension à ses bornes. Après un court instant (qui dépend de la capacité du condensateur, de la valeur exacte de la tension d'alimentation et de la valeur de la résistance) la tension aux bornes du condensateur

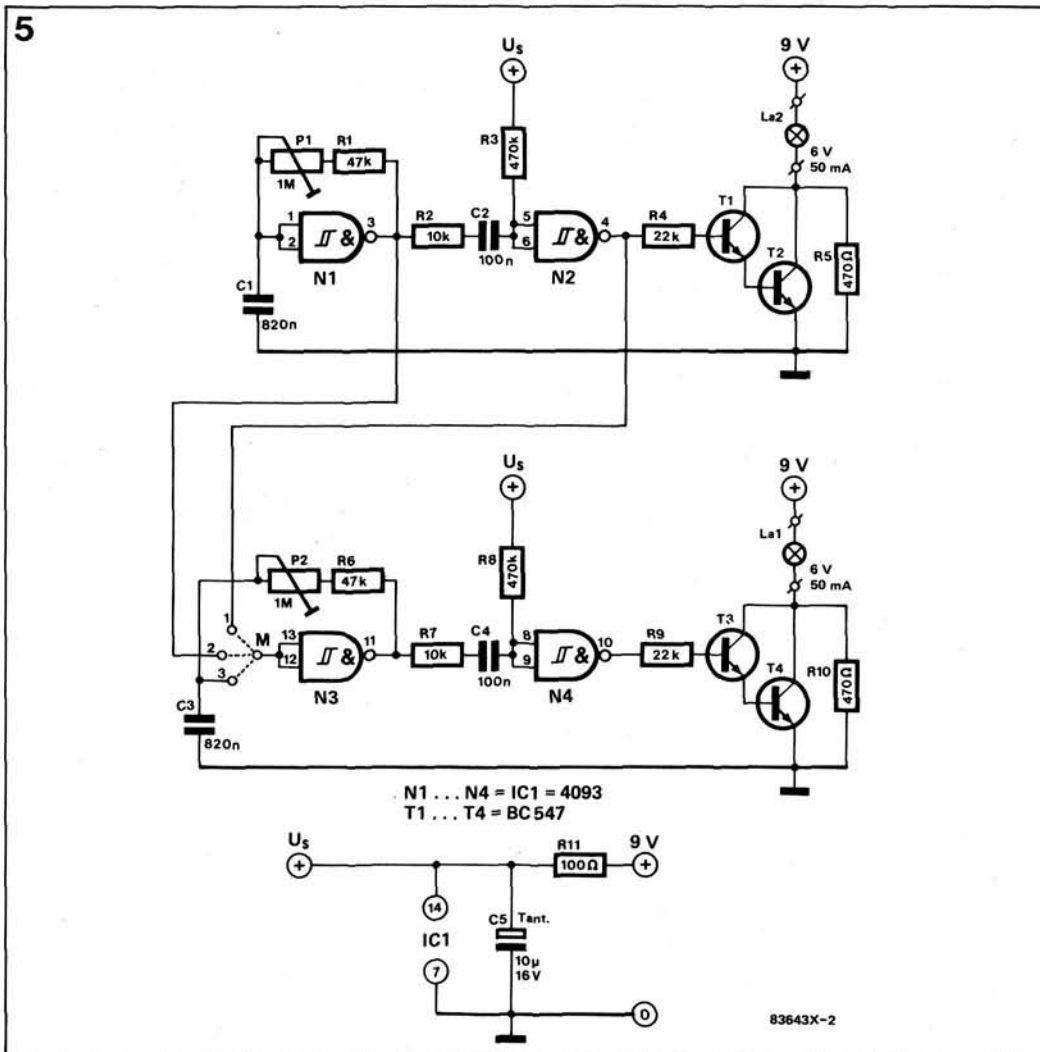


Figure 5 - Le schéma montre les deux sous-ensembles qui commandent chacun une ampoule.

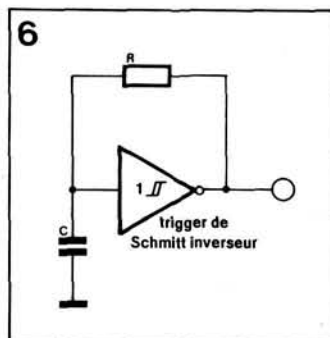


Figure 6 - Le schéma de principe d'un oscillateur constitué d'un inverseur à trigger de Schmitt. Par le couplage de la sortie sur l'entrée à travers R et C, le circuit oscille. La fréquence dépend de la valeur du condensateur et de la résistance.

dépasse le seuil de basculement ascendant du trigger de Schmitt dont la tension de sortie retombe alors à 0 V. Le condensateur se décharge à travers la résistance jusqu'à ce que la tension à ses bornes passe sous le seuil de basculement descendant du trigger de Schmitt. La tension de sortie remonte aussitôt et le cycle recommence. La tension de sortie passe périodiquement de 0 V à la valeur de la tension d'alimentation : on dit que le montage oscille (il produit un signal carré). Si l'on diminue la valeur de la résistance (les résistances variables P1 et P2 dans le montage) le condensateur se chargera plus rapidement et le rythme de changement de la tension de sortie de l'opérateur s'accroît.

célère en proportion. Les impulsions se suivent à une cadence plus rapide; on dit que la fréquence augmente. Inversement, la fréquence diminue si l'on augmente la valeur de la résistance, car la charge du condensateur dure plus longtemps. Dans le circuit du clignotant (figure 5), la tension produite par l'oscillateur est appliquée aux entrées de l'opérateur N2 à travers la résistance R2 et le condensateur C2 montés en série. Tant que la tension de sortie de l'oscillateur est au niveau haut, ce réseau monté en série est sans effet puisque les entrées de N2 sont portées à un potentiel de 9 V (tension d'alimentation) par la résistance R3. La valeur de la tension de sortie de l'opérateur N2 (monté en

inverseur) avoisine alors 0 V. Dès que le niveau de la tension de sortie de l'oscillateur tombe à 0 V, le condensateur C2 se charge. Au début de la charge, la différence de potentiel entre les bornes de C2 est nulle et la valeur de la tension aux entrées de N2 est 0 V. Le niveau de la tension à la sortie de N2 est alors de 9 V. Par la charge du condensateur, la valeur de la tension aux entrées de l'opérateur NAND monté en inverseur remonte pour dépasser, après un bref instant, le seuil de déclenchement du trigger de Schmitt. La valeur de la tension de sortie retombe à nouveau. Vous trouverez sur la **figure 7** un oscillogramme des tensions d'entrée et de sortie. La photographie est prise sur l'écran d'un oscilloscope. En haut c'est la valeur de la tension d'entrée du circuit, tandis qu'en bas c'est la valeur de la tension de sortie. Au moment où le niveau de la tension de sortie de l'oscillateur retombe, le niveau de la tension chute à l'entrée de la porte N2 (en haut à gauche) et la valeur de sa tension de sortie monte brutalement à 9 V (en bas à gauche). Le tracé courbe ascendant correspond à la charge du condensateur C2 et montre

l'augmentation de la tension à l'entrée de l'opérateur NAND. Dès que son niveau atteint le seuil du trigger de Schmitt, que l'on ne voit naturellement pas sur la photo, la valeur de la tension de sortie retombe à 0 V (en bas à droite). Tout se passe en une fraction de seconde. L'impulsion de sortie dure environ 0,02 seconde (soit 2 centièmes de seconde). A chaque chute de la valeur de la tension de sortie de l'oscillateur (le spécialiste parlera de flanc descendant du signal), N2 produira une impulsion. Cet opérateur logique fera en sorte que l'ampoule ne brille qu'un bref instant dont la durée est indépendante du rythme des impulsions issues de l'oscillateur.

PRECHAUFFAGE

Chaque fois que le niveau de la tension à la sortie de N2 est haut, R4 conduit un courant qui circule par la jonction base—émetteur des transistors; ceux-ci sont alors conducteurs (un courant circule de leur collecteur vers leur émetteur). Un courant passe donc par le collecteur des transistors et traverse l'ampoule La2. Même quand les transistors sont bloqués, un courant continue de circuler à travers le filament de l'ampoule et à travers la résistance R5 de 470 Ω . L'intensité de ce courant est bien inférieure à l'intensité des éclairs périodiques. Elle suffit tout juste à chauffer le filament de l'ampoule, mais pas à le faire briller. On fait cela pour limiter le courant à travers le filament au moment où la lampe s'allume : il se trouve en effet que la valeur de la résistance électrique du filament d'une ampoule chaude est bien supérieure à celle du filament de la même ampoule froide.

L'intensité du courant à travers le filament froid est donc bien plus forte que celle du courant à travers le même filament chaud. En maintenant le filament de l'ampoule à une température élevée, on dépense certes de l'énergie, mais beaucoup moins que celle que l'on dépenserait si le filament refroidissait entièrement entre deux impulsions. On prolonge ainsi la durée de vie de l'ampoule.

Autre détail intéressant: nous utilisons sur une tension de 9 V une ampoule dont la tension nominale est de 6 V, ce qui donne un éclair lumineux particulièrement brillant, et rend par conséquent notre montage très réaliste. Comme nous l'avons dit au début, le fonctionnement du montage dépend du choix du pont de câblage disposé entre le point M et les points 1, 2 et 3. En position 3, les deux lampes travaillent indépendamment l'une de l'autre. La partie du circuit comprenant N3 et N4 fonctionne de la même manière que l'autre partie. P1 agit sur la fréquence des éclairs de La2, tandis que P2 règle celle de La1. Avec un pont de câblage entre le point M et le point 2, l'oscillateur N1 commande les deux moitiés du circuit. N3 inverse le signal, ce qui fait que les ampoules brillent en alternance. Quand on relie les points M et 1, la partie inférieure du circuit est commandée en synchronisme avec les transistors T1 et T2. En position 1 ou 2, le réglage de P2 est sans effet.

La résistance R11 et le condensateur au tantale C5 stabilisent la tension d'alimentation du circuit intégré. A l'allumage des ampoules, la tension de la pile chute un peu. Sans R11 et C5 les triggers de Schmitt seraient déclenchés intempestivement à travers R3 et R8.

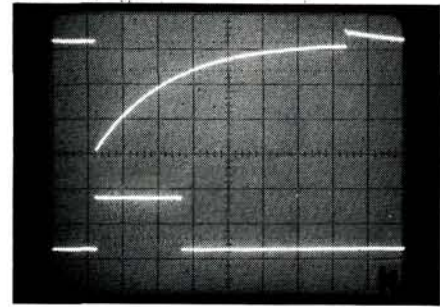


Figure 7 - Sur l'écran d'un oscilloscope, vous pouvez suivre l'évolution de la valeur de la tension d'entrée (en haut) et celle de la tension de sortie (en bas) de l'opérateur NAND N2. La partie ascendante et courbe du tracé correspond à la charge du condensateur, qui commence rapidement et se ralentit progressivement. Attention : la sensibilité d'entrée des deux voies de l'oscilloscope est différente. Pour la trace du bas elle est de 5 V/division, mais elle est plus forte pour celle du haut.

elex-abc

Attention : un inverseur n'est pas forcément un trigger de Schmitt, et un trigger de Schmitt n'est pas forcément un inverseur. On peut trouver des inverseurs dont l'entrée fonctionne en trigger de Schmitt (c'est-à-dire dont le seuil de basculement est différent selon que la tension d'entrée augmente ou diminue), mais on peut

trouver des inverseurs dont les entrées ne sont pas à trigger de Schmitt. Il existe aussi des opérateurs logiques dont l'entrée est à trigger de Schmitt, mais qui ne sont pas des inverseurs; le principe du double seuil de déclenchement reste le même : la fonction logique produite par l'opérateur est déclenchée à des seuils différents selon que la tension d'entrée est ascendante ou descendante.

MAGNETIC-FRANCE

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

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

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

En 12 lettres: règne en maître incontesté au milieu du plan de travail de nombreux électroniciens, amateurs et professionnels, dépassant de la tête et des épaules tous les autres instruments de mesure. De quoi s'agit-il? Vous avez sans doute deviné l'objet de cette définition cruciverbiste: de l'oscilloscope bien évidemment. Un oscilloscope (des racines latine *oscillare* = balancer et grecque *scopein* = observer) est un instrument utilisé pour visualiser les variations de signaux électriques de toutes sortes. Pour l'électronicien "généraliste" il s'agit sans discussion possible de l'auxiliaire le plus important qui soit.

Un oscilloscope fait apparaître sur un écran les tensions alternatives et autres formes d'ondes. Sur la photographie de la **figure 2**

on voit un tel instrument visualiser un signal rectangulaire. Une observation attentive de l'écran permet non seulement de retrouver les caractéristiques les plus importantes du signal alternatif (ondulatoire), à savoir la valeur de la tension (lisible verticalement sur le graticule de l'écran) et la durée de l'ondulation (sa période, lisible horizontalement sur le graticule), mais aussi de constater la forme exacte prise par signal; on voit ici les angles arrondis d'un signal rectangulaire.

UN CANON DANS LE TUBE

La partie la plus importante d'un oscilloscope est le **tube cathodique** dont la forme rappelle de loin celle d'une bouteille, dont le fond serait

plat et recouvert d'une couche de matériau phosphorescent (qui produit de la lumière). Le tube est vide d'air. Dans ce qui serait le goulot de la bouteille, on trouve sur le tube cathodique le **canon à électrons** qui propulse sans cesse des électrons (particules élémentaires chargées négativement) en direction de l'écran. Au point d'impact de ce faisceau d'électrons sur la surface sensible de l'écran apparaît un point lumineux. Le faisceau d'électrons passe entre deux paires de **plaques de déviation** qui comme leur nom l'indique permettent d'obtenir une déviation à la fois verticale et horizontale du faisceau, afin de le diriger vers n'importe quel point de l'écran. Pour imprimer au faisceau un mouvement dans les deux plans à la fois, il suffit d'appliquer simultanément aux deux paires de plaques une tension de commande de la déviation. Celle des deux plaques de chaque paire qui à un moment donné se

trouve à un potentiel positif **attire** les électrons négatifs, de sorte que le faisceau est dévié vers elle. Les plaques placées de part et d'autre du faisceau dévient le spot (c'est-à-dire la point lumineux) sur le plan horizontal; elles sont appelées **plaques de déviation horizontale** ou plaques X. Les deux plaques placées au-dessus et en-dessous du faisceau sont appelées, vous vous en seriez douté, **plaques de déviation verticale** ou plaques Y.

DES DENTS DE SCIE POUR BALAYER L'ECRAN

On applique aux plaques de déviation horizontale une tension en dents de scie (représentée sur la **figure 5**). La pente ascendante de cette tension provoque le déplacement progressif du faisceau de la gauche vers la droite de l'écran. Arrivé à l'extrême droite de l'écran, le spot revient ensuite quasi instantanément à l'extrême gauche, ce qui correspond au brutal flanc descendant de la dent de scie, puis il repart pour une nouvelle trajectoire. A chaque dent de scie correspond donc un balayage horizontal de l'écran. En l'absence de signal de mesure, le spot trace une ligne horizontale sur l'écran.

Les plaques de déviation verticale reçoivent le signal à mesurer; ce sera par exemple un signal rectangulaire comme celui de la

comment fonctionne un oscilloscope



Figure 1 - Un rêve hors de prix pour la majorité des électroniciens amateurs: un oscilloscope à mémoire aux innombrables fonctions.

figure 2. L'amplitude du signal d'entrée provoque une déviation verticale du spot plus ou moins accentuée par rapport à sa trajectoire rectiligne de la gauche vers la droite. Les deux mouvements, horizontal (de la gauche vers la droite) et vertical se combinent pour former la courbe tracée sur l'écran.

Le point lumineux formé par l'impact du faisceau d'électrons sur la surface intérieure phosphorescente de l'écran s'éteint très rapidement. La visualisation d'un passage ne dure qu'une fraction de seconde. Sans arrêt la dent de scie entraîne le balayage de l'écran par le faisceau, de sorte que la trace lumineuse laissée par le spot est constamment rafraîchie. Pour que la forme du signal soit reconnaissable, il est indispensable que les tracés successifs se superposent parfaitement. C'est ce que l'on obtient à l'aide d'un **circuit de déclenchement (trigger)** qui est chargé de faire en sorte que la dent de scie démarre au même instant que le signal rectangulaire. On dit que les deux signaux sont alors **synchrones**. Le déclencheur bloque le spot à l'extrême gauche de l'écran jusqu'à ce que le signal à mesurer ait atteint une valeur prédéterminée qui est appelée seuil ou niveau de déclenchement (*trigger level*). Sur la figure 2, on voit

2



Figure 2 - Le signal rectangulaire visualisé par cet oscilloscope n'est pas ce qu'il devrait être: il présente des flancs arrondis.

à gauche de l'écran que c'est le flanc montant du signal rectangulaire qui débloquent le spot lumineux.

Il importe que la fréquence du générateur de dents de scie soit réglable, afin que l'utilisateur puisse adapter la vitesse du trajet du spot à la **période** (durée totale d'une onde) du signal d'entrée. Si la vitesse (nombre de dents de scie par seconde) est trop élevée, le faisceau d'électrons ne reproduit sur l'écran qu'une fraction de la période du signal.

ANODE, CATHODE ET WEHNELT

Sur le synoptique de la figure 6 nous retrouvons les différents modules dont nous venons de parler. Le faisceau d'électrons est produit dans le tube cathodique par le canon à électrons. La **cathode** négative K portée à incandescence par le filament de chauffage $f-f$ rayonne des électrons. L'énergie thermique du permet aux électrons de quitter la tôle de la cathode.

Ce processus est comparable à celui de l'évaporation de l'eau bouillante d'une casserole. La chaleur de la plaque permet aux molécules d'eau de quitter le récipient sous forme de vapeur. Les **anodes** A1, A2 et A3 attirent les électrons et les accélèrent (augmentent leur vitesse). Du fait de leur forme circulaire, les anodes n'absorbent pas les électrons, mais les laissent passer en direction de l'écran après les avoir fortement concentrés en un faisceau. Pris entre la cathode et les anodes, on trouve un cylindre métallique, le **wehnelt**; celui-ci se trouve à un potentiel négatif et de ce fait il renvoie vers la cathode une partie des électrons. La tension du wehnelt (tension Z) permet de cette manière de réguler le flux d'électrons (c'est la commande de luminosité).

Lors du retour du signal en dents de scie, le wehnelt reçoit une forte impulsion négative qui interrompt momentanément le flux d'électrons de manière à empêcher l'apparition sur l'écran d'une trace du retour rapide du faisceau.

Comme la vitesse des électrons est relativement élevée lorsqu'ils quittent le système d'électrodes, il est faut que les deux tensions appliquées aux plaques de déviation soient fortes. On utilise pour cela deux **amplificateurs**.

L'amplificateur X est alimenté par le générateur de signal en dents de scie, et l'amplificateur Y par le signal appliqué à l'entrée de l'oscilloscope. Pour permettre la visualisation de signaux de très faible amplitude, on a doté l'amplificateur Y d'une sensibilité très élevée. Si au contraire le signal d'entrée présente une forte amplitude, on le fait passer par un **atténuateur** (un diviseur de tension).

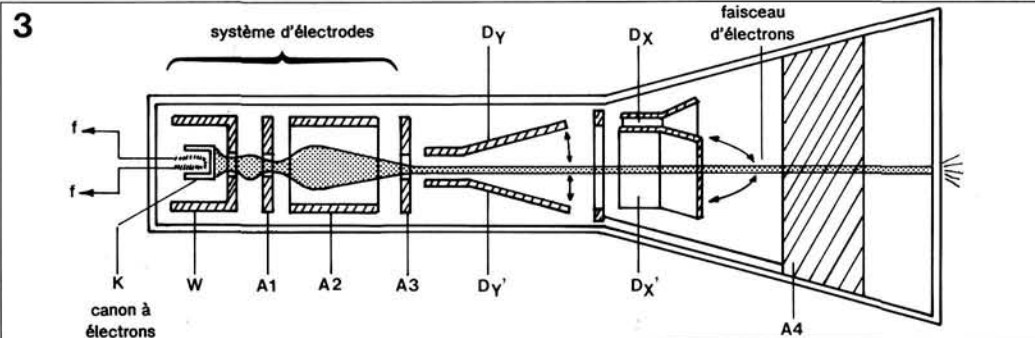


Figure 3 - La surface phosphorescente de l'écran émet de la lumière au point d'impact du faisceau d'électrons.

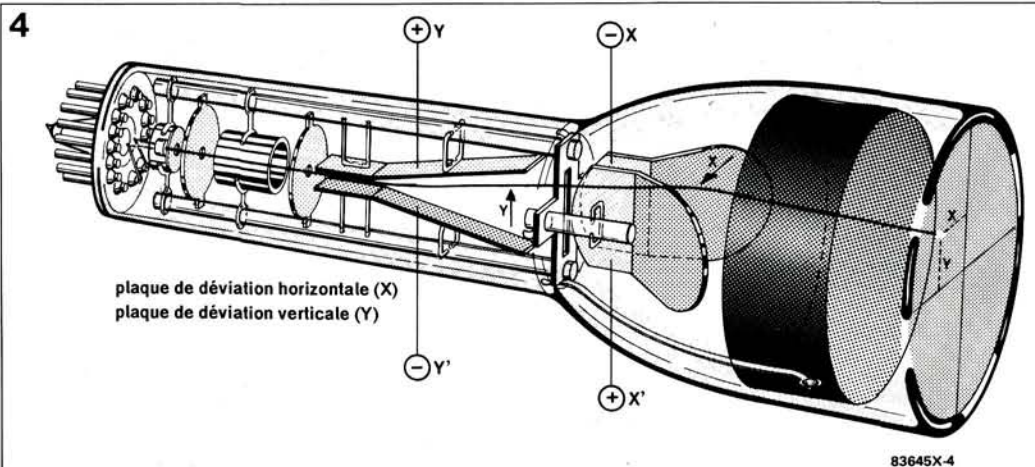


Figure 4 - Grâce aux tensions de déviation positives appliquées aux plaques de même nom, il est possible de déplacer le spot partout sur l'écran.

Dans la partie évasée du tube se trouve une anode supplémentaire à laquelle on applique une tension positive très élevée (de 2 à 15 kV, c'est-à-dire de 2 à 15 000 V). Cette électrode donne aux électrons une accélération supplémentaire (**post-accélération**). L'énergie (cinétique) importante ainsi acquise par les électrons est convertie en lumière lors de la collision avec le phosphore de l'écran. Les élec-

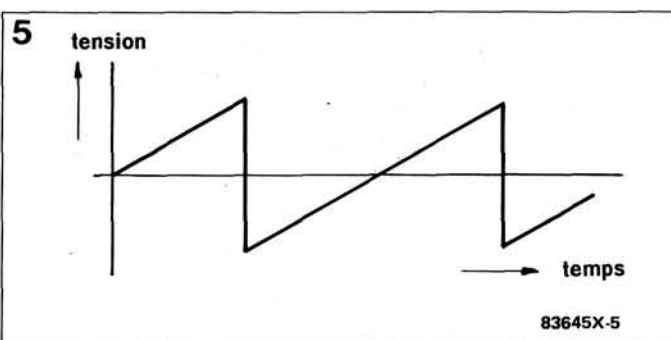
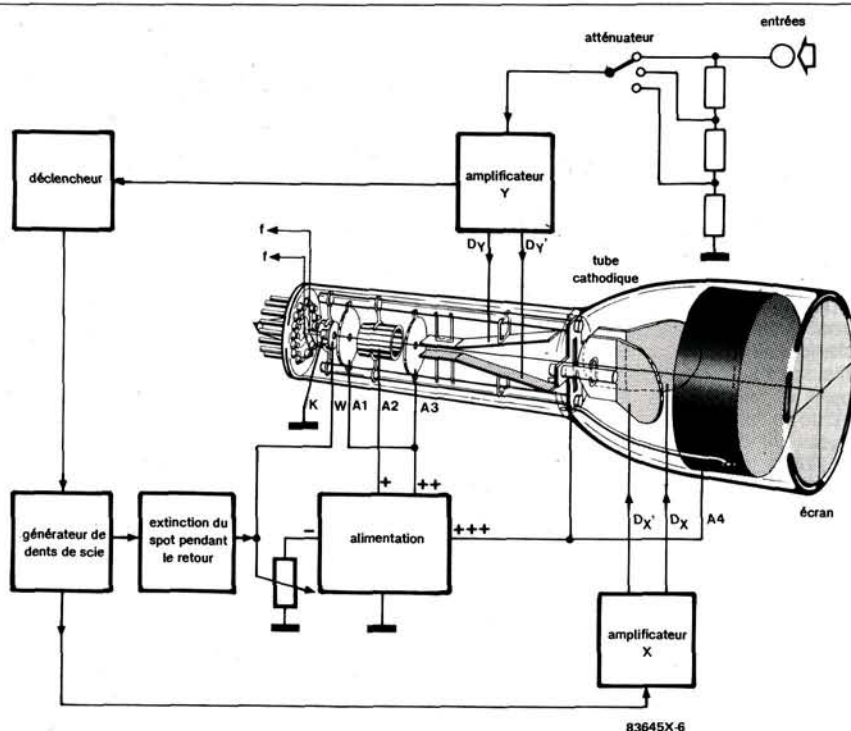


Figure 5 - La tension en dents de scie déplace le faisceau de la gauche vers la droite et le ramène ensuite très rapidement au point de départ.

6

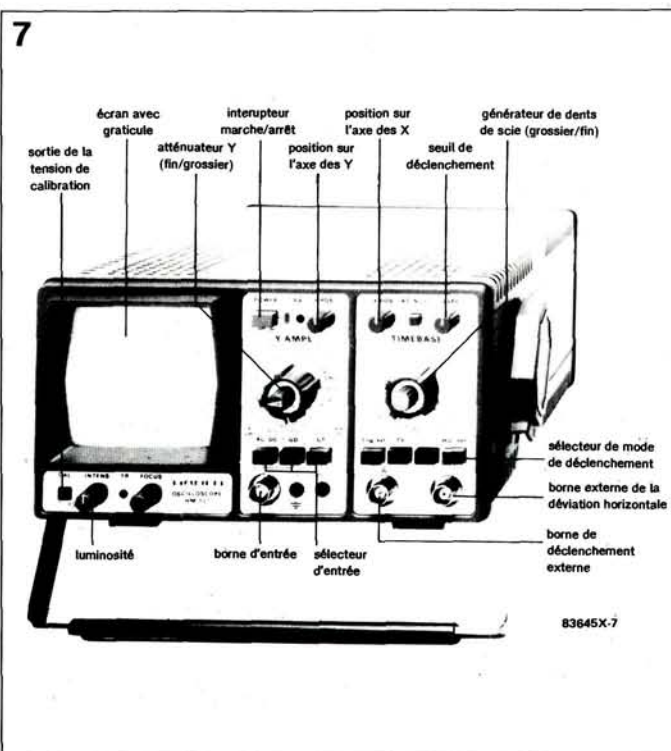


les signaux pris à l'entrée et à la sortie d'un montage. En-dessous de l'écran se trouve le bouton de réglage de l'intensité qui permet de doser la luminosité de la trace et le bouton de focalisation (au sens où l'on emploie ce mot en photographie) qui sert à obtenir la plus grande netteté possible de la trace. A droite de l'écran on trouve les organes de commande de l'amplificateur Y. Les interrupteurs situés au-dessus de la borne d'entrée (embase pour connecteur BNC blindée) permettent de sélectionner le mode de fonctionnement de l'oscilloscope: "DC" (*direct current* = tension continue) pour la visualisation de l'amplitude absolue du signal d'entrée, "AC" (*alternative current* = tension alternative) pour n'afficher que la composante alternative du signal d'entrée (la composante continue du signal n'est pas visualisée), "GD" (*Ground* = masse) pour la visualisation de la ligne du zéro. La dernière fonction n'apparaît que sur certains types d'oscilloscopes: "CT" (*Component Test*) qui sert à tester certaines caractéristiques des semi-conducteurs.

trons freinés par l'impact retournent à l'anode haute tension. On le voit, le faisceau d'électrons fait partie d'une boucle de courant: cathode — faisceau — anode — source haute tension.

Figure 6 - Structure interne d'un tube cathodique et synoptique de l'électronique d'un oscilloscope.

Figure 7 - Organes de commande d'un oscilloscope à un canal.



Le commutateur rotatif qui surplombe les touches dont nous venons de parler commande l'atténuateur d'entrée. En regardant de près l'écran d'un oscilloscope, vous avez vu qu'il comporte un **graticule** formé de lignes croisées à angle droit et espacées de 1 cm. L'échelle du bouton de commande de l'atténuateur est graduée en V/cm et en mV/cm. Les chiffres indiquent la correspondance entre un centimètre sur l'écran et l'amplitude du signal en volts ou millivolts, selon le cas. Il ne faut jamais oublier que cette échelle n'est valable qu'à condition que le réglage fin soit hors service (petit bouton concentrique). A côté de l'interrupteur principal (en haut), on trouve le bouton "pos-Y" qui sert à déplacer la trace de haut en bas de l'écran. Dans la partie droite du tableau de commande on trouve les organes de commande de ce que l'on appelle la base de temps. Le commutateur

COMMUTATEURS ET BOUTONS

Le mode d'emploi d'un oscilloscope varie d'un modèle à l'autre; à la lumière de la reproduction photographique de la **figure 7**, nous allons néanmoins donner une explication succincte des fonctions des différents organes de commande d'un oscilloscope ordinaire à un seul canal. Désormais la plupart des oscilloscopes dignes de ce nom comportent deux **canaux** (ou voies), c'est-à-dire qu'ils possèdent deux entrées et deux amplificateurs Y; il est possible dans ce cas de visualiser simultanément deux signaux sur l'écran, ce qui est intéressant notamment lorsque l'on veut comparer entre eux

rotatif permet de choisir la fréquence de la dent de scie, c'est-à-dire la vitesse de balayage de l'écran. L'échelle est graduée en ms/cm et μ s/cm (milliseconde et microseconde par centimètre). Elle indique donc à quelle durée correspond un centimètre de l'échelle horizontale du graticule.

En-dessous de ce bouton nous trouvons les boutons-poussoirs de sélection du mode de déclenchement (trigger). Si l'on veut que le déclenchement de la dent de scie ne soit pas automatique, mais soit provoqué par un signal extérieur, on enfonce le bouton "Trig. ext."; le bouton "TV" sera choisi si c'est un signal vidéo TV qui doit provoquer le déclenchement, ou encore le bouton "+/-" si l'on veut que le déclenchement intervienne sur les transitions descendantes plutôt que sur les transitions ascendantes du signal d'entrée. Le bouton-poussoir "Hor. ext." dissocie l'amplificateur-X du générateur de dent de scie et le connecte à l'entrée correspondante. Quand la touche "AT/Norm." est enclenchée, on peut ajuster le niveau de la tension de déclenchement avec le bouton "Level" (niveau). Le bouton "X-pos" permet de déplacer l'image vers la gauche ou vers la droite. Si l'on désire vérifier l'étalonnage de l'oscilloscope, on peut utiliser la borne "Cal." sur laquelle on dispose d'un signal calibré ayant une fréquence de 1 kHz et une tension de 200 mV.

L'inconvénient majeur présenté par ces merveilleux appareils, surtout s'ils comportent tous les organes dont nous venons de parler, est leur prix; il existe heureusement des oscilloscopes à une voie qui coûtent moins cher. Il ne fait aucun doute qu'en dépit de son prix élevé, l'oscilloscope est l'instrument de mesure le plus important que l'on puisse trouver dans l'arsenal de tout amateur passionné d'électronique.

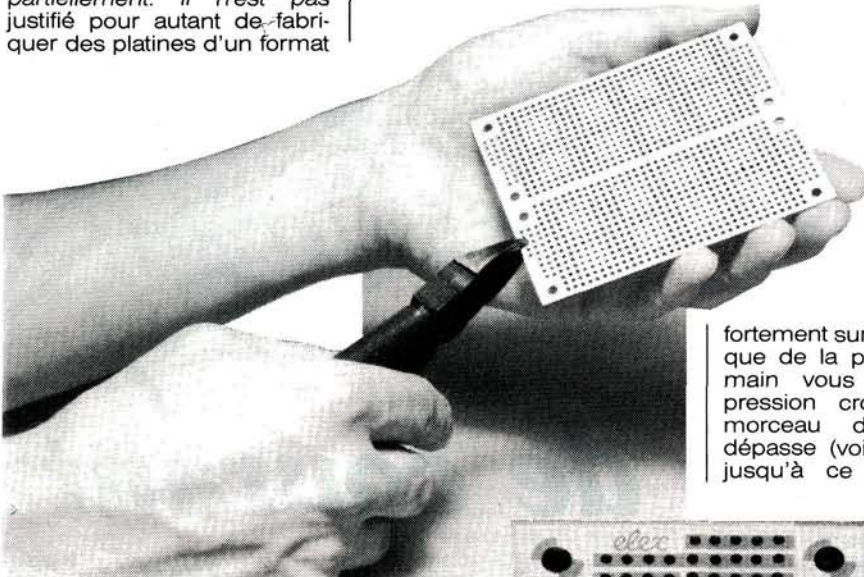
*bonnes
vacances!*



monceau

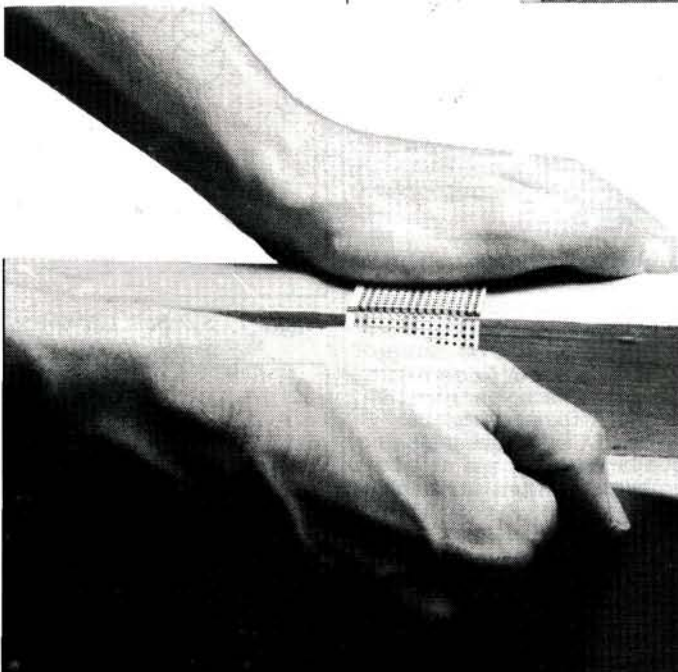
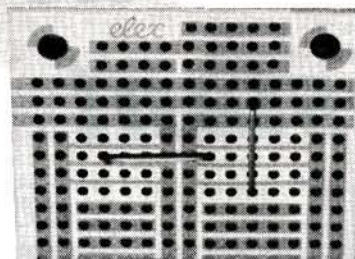
choisis

Les platines expérimentales sur lesquelles nous réalisons les circuits décrits dans ELEX ne sont souvent utilisées que partiellement. Il n'est pas justifié pour autant de fabriquer des platines d'un format



fortement sur la platine, tandis que de la paume de l'autre main vous exercerez une pression croissante sur le morceau de platine qui dépasse (voir photographie), jusqu'à ce que les deux

encore réduit par rapport au plus petit format disponible (40 mm x 100 mm); il est normal cependant de récupérer la partie restée inutilisée pour y monter un autre circuit, ou pour y faire l'un ou l'autre



morceaux se détachent l'un de l'autre le long de l'arête du tasseau ou de la table. Il suffit maintenant de limer les bords de la platine le long de la ligne de fracture sur les deux morceaux.

Si vous voulez rompre une platine dans le sens de la longueur de cette manière, il faut d'abord amorcer la fracture à l'aide d'une pince coupante : faites une encoche de part et d'autre de la platine dans l'axe de la rangée de trous le long de laquelle vous voulez couper la platine en deux.

Pour en finir avec cette rubrique, ELEX vous annonce qu'il existe des ponts de câblage préfabriqués, en vente dans les papeteries, et que l'on trouve d'ailleurs aussi au fond de tous les tiroirs : il s'agit de l'agrafe en cuivre telle qu'on l'utilise dans les agrafeuses pour assembler les pages d'un document. Notre spécialiste des problèmes de platine, Marcel X. a en effet découvert grâce à sa perspicacité et son sens de l'observation, que la dimension standard des agrafes était de 12,7 mm, c'est-à-dire l'écart entre 6 perforations d'une platine d'expérimentation. C'est utile, non?

essai. L'utilisation d'une scie pour découper les platines produit de la poussière, ce qui n'est pas du goût de tout le monde. Il existe une possibilité de réduire la dimension des platines rapidement et sans faire de saletés : il suffit de les casser!

Voilà comment faire... Posez la platine au bord d'une table ou sur un tasseau de bois aux angles droits non arrondis, de sorte que la rangée de trous le long de laquelle il faut couper le circuit se trouve exactement sur l'arête de l'angle. Du plat d'une main vous appuyez

Il n'est pas facile de trouver à quoi comparer une source de courant constant dans la vie quotidienne. Faute de mieux, on pourrait risquer l'exemple du détendeur placé sur une bouteille de gaz. Mais on verra au fil des explications qui suivent que

ce n'est pas du tout pareil, en fait.

source de courant constant

Une source de courant constant est un circuit qui délivre un courant dont l'intensité est **invariable** quelle que soit la charge dans laquelle il circule.

Les sources de tension constante (montages qui délivrent une tension invariable dont la valeur est indépendante de la charge) forment, le plus souvent un ensemble complet et autonome. En revanche, les sources de courant constant font généralement partie d'un ensemble plus complexe, et on ne les rencontre pratiquement jamais seules.

La **figure 1** montre le symbole utilisé pour désigner une source de courant constant. La source de courant constant fournit un courant qui circule à travers une charge quelconque; ici c'est la résistance de charge R_L (la lettre L vient de l'anglais *load* qui signifie *charge*). La valeur de la tension délivrée par la source de courant constant dépend de la valeur de la résistance de charge, comme le montre la loi d'Ohm. Plus la valeur de la résistance de charge est élevée, plus la valeur de la tension de la source de courant constant doit augmenter pour arriver à maintenir constante la valeur du courant (relisez cette phrase avant de conti-

nuer. ...).

Si la valeur de la résistance varie, la source de courant constant adapte la valeur de la tension de sorte que la valeur du courant reste la même.

PRINCIPE

La **figure 2** donne le schéma d'une source de courant constant à un seul transistor. Le courant constant parcourt ici une résistance de charge R_L que l'on peut évidemment remplacer par n'importe quelle autre charge. Les diodes D1 et D2 aussi bien que la jonction base-émetteur du transistor sont montées dans le sens passant (direct). Elles sont conductrices.

Entre les bornes de chacune de ces diodes s'opère une chute de tension dont la valeur est 0,6 V environ (la fameuse tension de seuil des diodes, indispensable pour que le phénomène de conduction intervienne). Entre la base du transistor et le pôle négatif de l'alimentation il y a donc une différence de potentiel de 1,2 V (0,6 V + 0,6 V). La valeur de la tension à la borne supérieure de la résistance d'émetteur R_e est

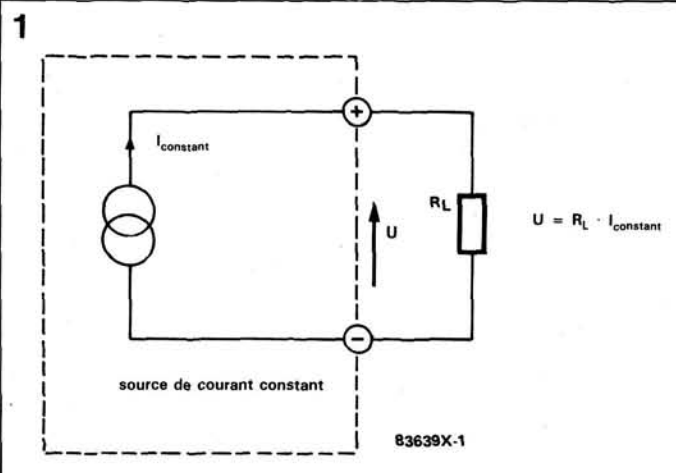


Figure 1 - Symbole utilisé pour les sources de courant constant.

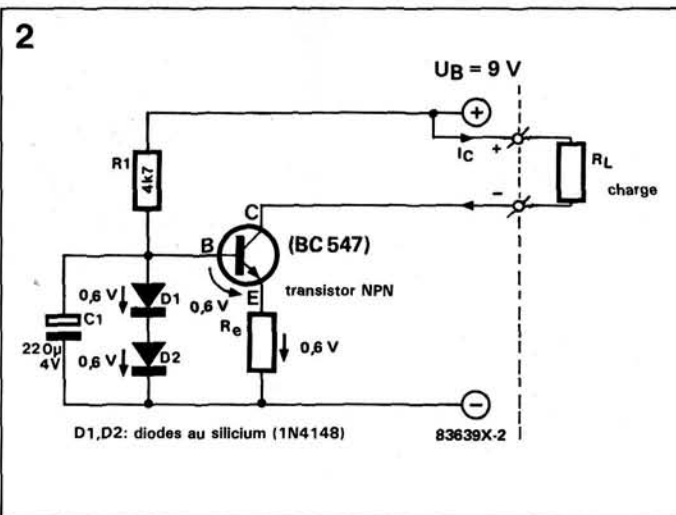


Figure 2 - Le schéma du montage expérimental.

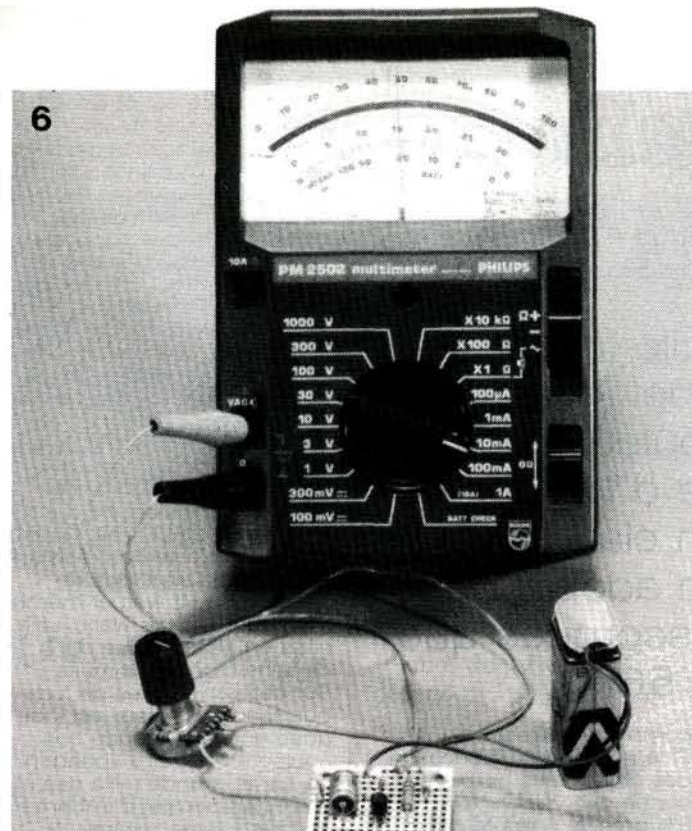


Figure 6 - Le montage

expérimental.

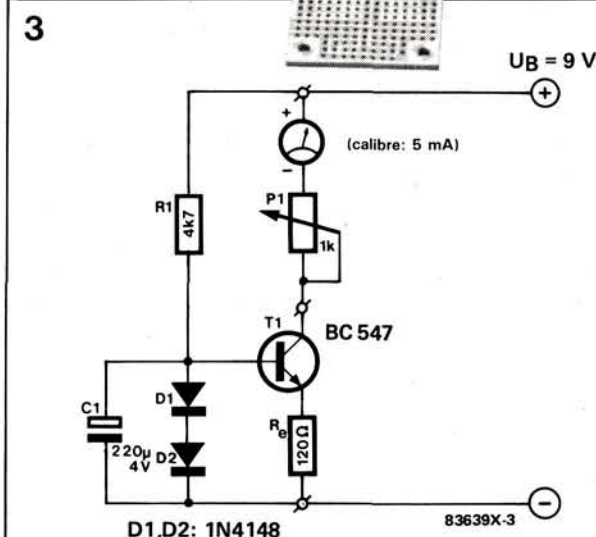


Figure 3 - Pour vérifier que le courant ne change pas avec la charge, on remplace la résistance de charge par un potentiomètre et un milliampermètre en série.

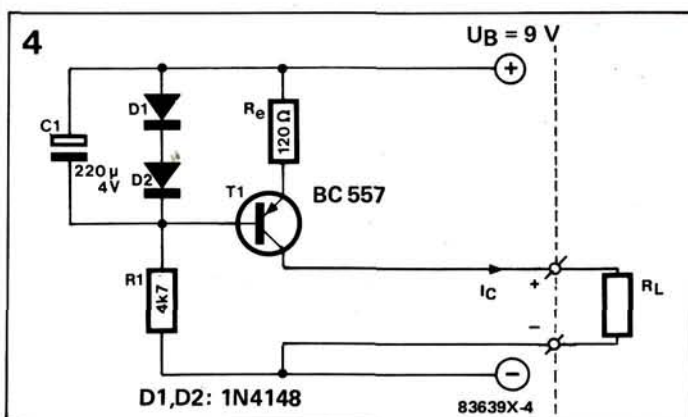


Figure 4 - Si la charge est reliée au pôle négatif (-), on utilise ce montage avec un transistor PNP.

inférieure de 0,6 V à celle de la base du transistor, du fait de la chute de tension sur la jonction base-émetteur du transistor. La différence de potentiel aux bornes de la résistance R_e est donc également de 0,6 V. Comme les trois chutes de tension (celles des deux diodes et celle de la jonction base-émetteur du transistor) sont invariables et indépendantes de la charge, la tension aux bornes de la résistance R_e ne change pas. En conséquence de quoi la valeur du courant collecteur-émetteur à travers R_e reste constante. La loi d'Ohm nous permet de calculer la valeur du courant de collecteur I_c :

$$I_c = 0,6 [V] / R_e \Omega$$

La valeur de la résistance R_e détermine l'intensité du courant fourni par la source de courant constant. Pour que notre source de courant constant fournisse 5 mA par exemple, on utilisera une résistance de 120 Ω .

Pour essayer le montage, on peut remplacer la résistance de charge R_L par un potentiomètre. En série avec R_L , on branchera un multimètre (calibre 10 mA DC). On vérifiera que l'aiguille du multimètre ne bouge pas, ou très peu, quand on fait tourner le bouton du potentiomètre. Si l'on veut construire une source de courant constant pour une charge raccordée au pôle négatif, on doit utiliser le montage de la figure 4. Il fonctionne suivant le même principe que le montage de la figure 2, mais le transistor de type NPN est remplacé par un transistor de type PNP. Le condensateur C1 augmente la stabilité de la tension à la base du transistor. Cela influence favorablement la stabilité du courant constant produit.

Pour se livrer à l'expérimentation, on peut monter le circuit sur une chute de platine d'expérimentation Elex. La figure 5 donne un exemple de disposition des composants. Il s'agit ici de la version du montage utilisant un transistor de type NPN, suivant le schéma de la figure 3. Pour l'alimentation du montage, nous avons utilisé une pile de 9 V.

Alors, cette comparaison entre la source de courant et le détendeur de la bouteille de gaz? Ce n'est pas vraiment cela, n'est-ce pas? D'après vous, à quoi ressemble une source de courant constant? Construisez ce petit circuit, essayez-le! C'est le moment d'utiliser votre multimètre (voltmètre + ohmmètre + ampèremètre), c'est encore le meilleur moyen de comprendre ce qui se passe dans une source de courant

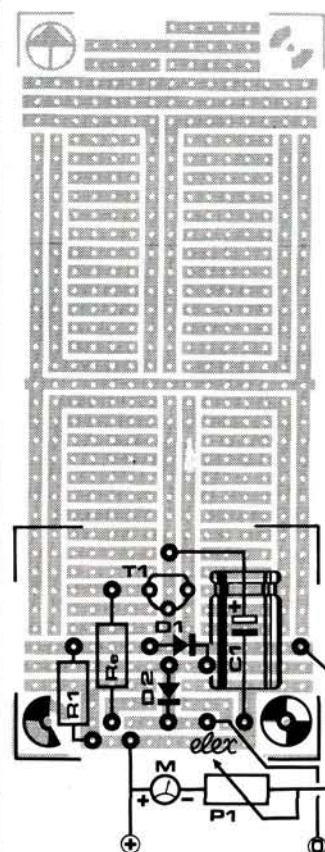


Figure 5 - Une chute de platine Elex conviendra parfaitement pour monter et expérimenter la source de courant constant.

constant. Et n'oubliez pas la charge R_L au cours de votre expérimentation car, faut-il le dire, en l'absence de charge il ne circule évidemment pas de courant du tout...

elex-abc

transistors PNP et NPN:
 l'expérimentation sur les sources de courant constant illustre bien ce en quoi ces deux types de semi-conducteurs se ressemblent et ce en quoi ils se différencient fondamentalement l'un de l'autre. On pourrait dire qu'ils fonctionnent tous les deux comme une vanne, mais s'ouvrent l'un quand on tourne dans un sens, et l'autre quand on tourne dans le sens opposé (pour mieux comprendre les circuits électroniques et se faire une idée concrète de leur fonctionnement, le débutant pourra avoir recours fréquemment à de telles comparaisons hydrauliques).

Les difficultés que rencontrent les tentatives de normalisation sont souvent liées à d'énormes enjeux économiques: cassettes vidéo, télévision, systèmes d'ordinateurs... Il suffit de nommer deux ou trois domaines où la normalisation a la vie difficile pour que chacun prenne instantanément la mesure (et la démesure) du problème. En tous cas, nos composants les plus modestes et les plus familiers, à savoir les résistances, n'ont pas échappé à la vigilance de la Commission Electrotechnique Internationale, et c'est très bien ainsi. Plus personne ne se souvient aujourd'hui de la Guerre de Normalisation des Résistances, pourtant elle doit bien avoir eu lieu un jour...

Grâce à la normalisation des valeurs, tout le monde est logé à la même enseigne, depuis les grosses industries jusqu'au plus modeste amateur, en passant par les concepteurs (géniaux) qui étudient pour vous les schémas publiés dans ELEX. Mais comment a-t-on fait pour normaliser la valeur des résistances?

DOUZE A LA DECADE

La valeur d'une résistance est caractérisée par une grandeur nominale (la valeur annoncée) et par une tolérance de la valeur réelle par rapport à cette valeur annoncée. La tolérance, c'est une marge d'erreur ou d'imprécision liée au procédé de fabrication. C'est un peu comme si certains billets de 100 F valaient 90 F et d'autres 110 F, ce qui n'est heureusement pas le cas.

Selon la précision du procédé de fabrication employé, la valeur de la résistance obtenue peut dévier de 1%, 5% ou 10% par rapport à la valeur indiquée. Il est facile de comprendre que le fabricant doit indiquer à l'utilisateur quel est le pourcentage d'imprécision avec lequel il faut compter: celui-ci sera donc indiqué sur la résistance à côté de la valeur nominale. Nous savons maintenant qu'il ne suffit pas d'indiquer la valeur d'une résistance, encore faut-il en préciser la tolérance (ce qui est vrai d'ailleurs pour la plupart des autres composants électroniques). Nul n'ignore que la valeur des résistances est indiquée sous la forme d'un code matérialisé par des anneaux de couleurs peints sur le corps des résistances. La tolérance est elle aussi indiquée par un anneau de couleur.

Pour établir une table de valeurs normalisées, on tient compte de ces tolérances. Considérons par exemple des résistances dont le procédé de fabrication donne

résistances normalisées

Il est plus facile (pour le fabricant) de peindre des anneaux de couleur sur les résistances que d'y indiquer leur valeur en clair. Mais pourquoi a-t-on adopté des valeurs aussi biscornues que 4,7 ou 5,6?

des valeurs (in)exactes à 10% près au pire, et (in)exactes à 5% près au mieux. Une valeur nominale de 100 pourra être en réalité de 90 ou de 110, ou de n'importe quelle valeur intermédiaire (93 ou 105 par exemple). Si 100 est une des valeurs normalisées, il est donc inutile d'adopter 90 ou 110 comme valeur normalisée voisine; autant s'écarter de la plage de tolérance de chaque valeur pour que la plage de tolérance de la valeur voisine ne vienne pas recouper celle de la première. On a choisi 120 comme valeur suivante, puis 15, puis 18...

ZONES D'INCERTITUDE

En reproduisant ce raisonnement, on a fini par retenir 12 valeurs par décade pour les résistances précises à 10% près. Cela signifie qu'entre 100 et 1000, entre 10 et 100 ou entre 1 et 10, peu importe, il y aura 11 autres valeurs possibles. Chaque valeur est 1,2 fois plus grande que celle qui la précède. C'est ce que l'on appelle la **série E12**: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68 et 82 qui fournit des nombres que l'on multiplie par les facteurs 0,1 Ω , 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω et 1 M Ω pour obtenir l'éventail des 96 résistances normalisées disponibles en principe dans tous les commerces spécialisés dans la vente de

composants électroniques. Si le procédé de fabrication des résistances employé donne des valeurs exactes à 5% près, le nombre de valeurs différentes par décade pourra doubler; c'est ainsi que la série E24 nous donne 24 valeurs par décade. Mais revenons à notre série E12. Les deux premiers anneaux du code de couleur correspondent aux deux chiffres de l'un des 12 nombres. Le troisième anneau est le code du facteur de multiplication. Le quatrième anneau indique la tolérance: 10% (anneau argenté) au maximum et plus généralement 5% (anneau doré) dans la série E12.

En l'absence de mention particulière, les résistances mentionnées dans les listes de composants d'ELEX sont de la série E12. Le principe du recouvrement des zones d'incertitude est illustré par la **figure 1**. On voit que les aires de recouvrement sont petites.

Il nous reste à dire un mot sur la charge à laquelle peut être soumise une résistance. Lorsqu'elle est parcourue par un courant, la résistance s'échauffe, ce qui n'est pas étonnant quand on sait qu'elle oppose une résistance au passage du courant... La quantité de chaleur produite par seconde (c'est-à-dire la puissance) est exprimée en **watts** et peut être calculée à l'aide de la formule suivante: $P = I^2 R$

La puissance est égale au produit du carré de l'intensité par la résistance. La puissance qu'une résistance est capable de dissiper sous forme de chaleur, c'est-à-dire la puissance qu'elle supporte sans dommage dépend de sa taille: on peut affirmer que de façon générale, une résistance de grande taille (cela n'a rien à voir avec sa valeur ohmique) dissipe mieux qu'une résistance plus petite. Sa surface de rayonnement est plus grande et elle se refroidira donc plus vite. La puissance des résistances utilisées normalement dans les circuits d'ELEX est de 1/4 de watt. Il existe des résistances d'1/8 de watt, des résistances d'1/2 watt et même d'un ou plusieurs watts, utilisées en électronique dans certains types de circuits. Sur ces résistances de forte puissance, la valeur est indiquée en clair: le code des couleurs peut être abandonné car la grande taille des résistances permet d'imprimer des caractères lisibles.

1 Ω	1 k Ω	1 M Ω
1,2 Ω	1,2 k Ω	1,2 M Ω
1,5 Ω	1,5 k Ω	1,5 M Ω
1,8 Ω	1,8 k Ω	1,8 M Ω
2,2 Ω	2,2 k Ω	2,2 M Ω
2,7 Ω	2,7 k Ω	2,7 M Ω
3,3 Ω	3,3 k Ω	3,3 M Ω
3,9 Ω	3,9 k Ω	3,9 M Ω
4,7 Ω	4,7 k Ω	4,7 M Ω
5,6 Ω	5,6 k Ω	5,6 M Ω
6,8 Ω	6,8 k Ω	6,8 M Ω
8,2 Ω	8,2 k Ω	8,2 M Ω
10 Ω	10 k Ω	
12 Ω	12 k Ω	
15 Ω	15 k Ω	
18 Ω	18 k Ω	
22 Ω	22 k Ω	
27 Ω	27 k Ω	
33 Ω	33 k Ω	
39 Ω	39 k Ω	
47 Ω	47 k Ω	
56 Ω	56 k Ω	
68 Ω	68 k Ω	
82 Ω	82 k Ω	
100 Ω	100 k Ω	
120 Ω	120 k Ω	
150 Ω	150 k Ω	
180 Ω	180 k Ω	
220 Ω	220 k Ω	
270 Ω	270 k Ω	
330 Ω	330 k Ω	
390 Ω	390 k Ω	
470 Ω	470 k Ω	
560 Ω	560 k Ω	
680 Ω	680 k Ω	
820 Ω	820 k Ω	

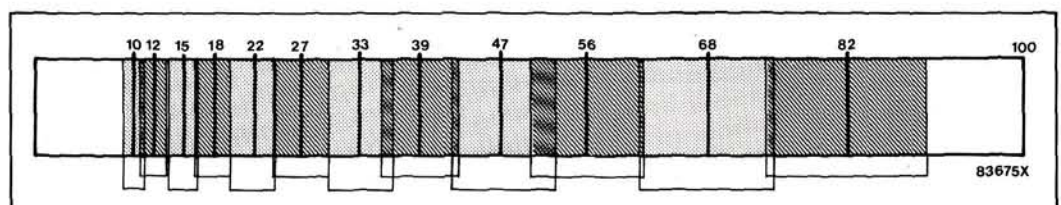


Figure 1. Dans la décade de valeurs de 10 à 100, il y a 12 valeurs normalisées pour la série E12; on voit sur le graphique que les valeurs ont été choisies de telle sorte que leurs plages de tolérance ne se recouvrent que faiblement.



Dis donc ...

T : Dis donc, Rési... la télévision, ça te connaît ?

R : «Oui. Enfin... plutôt de l'extérieur que de l'intérieur. De quoi s'agit-il ?»

T : «Je viens de démonter une vieille télé. Regarde !»

R : «Ben quoi, Transi, ce sont des résistances.»

T : «Des résistances ? Elles résistent à quoi, ça n'a pas l'air très costaud, ce genre de trucs ?»

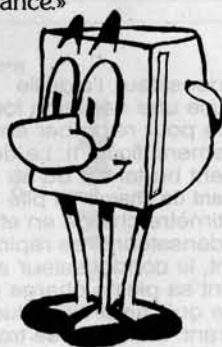
R (vexé) : «Oh si ! Une résistance laisse passer le courant, mais comme le matériau dont elle est faite est mauvais conducteur, le courant est freiné; il rencontre une certaine...»

T : «... résistance ! Pourquoi ne pas le dire tout de suite ? Je savais bien que les mauvais conducteurs provoquent des embouteillages. Ils réduisent le flux de courant !»

R : «Mouais... c'est la tension que les résistances réduisent, car c'est elle qui permet à un courant de circuler. S'il règne une tension aux bornes d'une



résistance, il y circule un courant dont l'intensité dépend de la taille de la résistance.»



T : «Alors mes résistances laissent toutes passer le même courant, puisqu'elles ont la même taille, hein ?»

R : «Non ! Par "taille" j'entendais la valeur en ohms. Les composants que tu as récupérés sont des résistances, mais leur effet qui est de freiner le courant s'appelle aussi résistance.»



T : «Une résistance présente une certaine résistance, c'est clair.»

R : «La valeur de la résistance présentée par une résistance est exprimée en ohms. L'ohm est l'unité de résistance.»

T : «Je retiens en tous cas

que les résistances sont de mauvais conducteurs.

R : «Semi-conducteur toi-même !»

T : «Pourquoi n'indique-t-on pas la valeur d'une résistance en ampères ?»

R : «En quel honneur, monsieur le semi-conducteur ?»

T : «Elles laissent circuler un certain courant. Et tu as bien dit que le courant dépendait de la résistance.»

R : «Le courant ne dépend pas uniquement de la valeur de la résistance, mais aussi de la tension qui règne entre ses bornes. La résistance freine le courant en s'opposant à la tension. Plus la tension est forte, moins l'effet de la résistance

est sensible et plus il circule de courant.»

T : «En fait, c'est comme pour une voiture : plus la pente d'une rue est forte, plus il faut freiner pour éviter de prendre de la vitesse et risquer de quitter la route dès le premier virage.

R : «C'est ça : la pente c'est la tension, la vitesse c'est le courant, et les freins, c'est la résistance. Plus la valeur de la résistance est élevée, plus le courant qui la traverse pour une tension donnée est faible. Le courant qui traverse une résistance donnée augmente lorsque la tension augmente, à moins que la valeur de la résistance n'augmente elle aussi. Notons au passage qu'une résistance traversée par un courant important chauffe.»

T : «Et quand la résistance lâche, le courant fait des tonnes !»



la mesure analogique

2ème partie

Dans le premier article de cette série, publié dans le numéro 1 d'ELEX, nous avons passé en revue les différents instruments de mesure analogiques et évoqué quelques aspects des techniques de mesure fondamentales. Dans cet article-ci, nous allons voir comment se servir d'un multimètre pour tester des composants électroniques.

Un multimètre peut servir à obtenir des informations précieuses sur l'état de bien des composants différents. Les techniques que nous allons décrire sont "binaires", c'est-à-dire qu'elles permettent de détecter le bon ou mauvais état des composants concernés, mais elles ne permettent pas d'en apprécier la qualité.

La vérification des composants se fait avec la fonction ohmmètre du multimètre, dont la pile nous servira de source de tension. La mise en circuit de la pile (en position ohmmètre) implique sur la quasi-totalité des multimètres une inversion de la polarité: l'entrée COM (négative en règle générale) devient positive et l'entrée Ω devient négative. Le mode d'emploi qui accompagne tout multimètre digne de ce nom explique comment effectuer la mesure d'une résistance (et l'indispensable tarage de l'aiguille). On choisira toujours le calibre dans lequel la grandeur électrique mesurée déplace l'aiguille dans la partie centrale de l'échelle, là où la précision de lecture est la plus grande.

LES CONDENSATEURS ÉLECTROLYTIQUES

La vérification d'un condensateur électrolytique ne permet pas d'en évaluer la capacité: elle indique seulement s'il est en bon ou mauvais état. Les condensateurs

électrolytiques indispensables dans l'électronique à transistors contiennent un liquide, l'électrolyte, qui a l'inconvénient de s'évaporer progressivement. Les condensateurs "desséchés" voient leur capacité diminuer et l'isolation entre les deux armatures n'est plus parfaite. On dit qu'il circule un courant de fuite. De plus, un tel condensateur claque plus facilement. La mesure des condensateurs se fait avec un calibre de résistance élevé (milieu d'échelle 50 k Ω). Les condensateurs électrolytiques étant des composants polarisés, il faut respecter la polarité des pointes de mesure (voir plus haut). Lorsque les pointes de mesure entrent en contact avec les armatures du

condensateur, l'aiguille accuse une déviation forte et brève pour retomber ensuite lentement (figure 1). Le débattement brutal est dû au courant de charge: la pile du multimètre charge en effet le condensateur. Très rapidement, le condensateur a atteint sa pleine charge de sorte qu'il ne draine plus de courant. L'aiguille se trouve alors en face du point zéro, qui correspond à une résistance infinie ($\infty\Omega$). Si tel n'est pas le cas, le condensateur continue de drainer un courant de fuite: il est donc défectueux. S'il s'agit d'un condensateur de forte capacité (500 μ F ou plus) l'existence d'un faible courant de fuite est admissible. Après 30 secondes environ durant lesquelles on n'aura pas touché au

condensateur, on effectue une nouvelle mesure similaire à la précédente (en respectant la polarité). Cette fois-ci, le débattement de l'aiguille doit être bien plus faible, car un condensateur en bon état maintient sa charge pendant un certain temps (il fonctionne en réservoir d'énergie). Si lors de la seconde mesure on procède à une inversion de la polarité des pointes de mesure, on observe le même débattement brutal que lors de la première mesure. Les condensateurs électrolytiques supportent assez bien une brève inversion de polarité. On évitera cependant de soumettre les condensateurs électrolytiques à tension de fonctionnement faible (inférieure à 10 V) à cette mesure éprouvante. (Attention également dans le cas d'un instrument de mesure doté d'une pile de 30 V!). Pour tester l'intégrité de condensateurs électrolytiques de faible capacité ou celle de condensateurs ordinaires, on adoptera le calibre de résistance le plus élevé. Les condensateurs de capacité inférieure à 100 nF ne produisent plus de débattement perceptible.

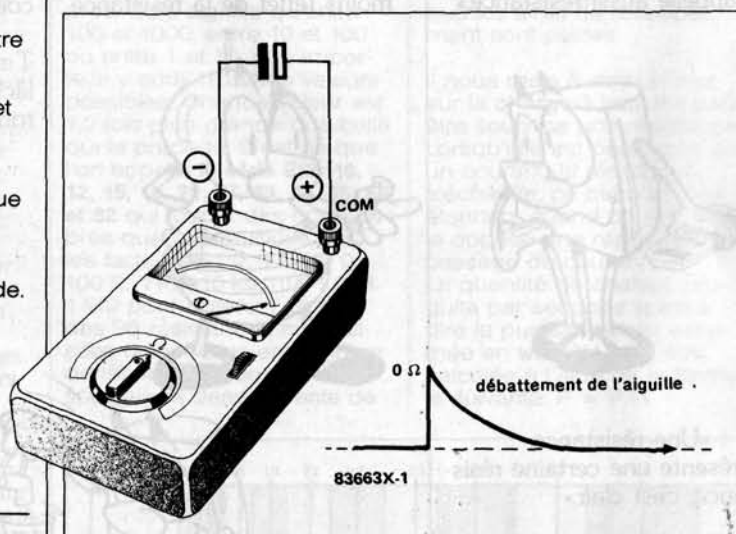


Figure 1 - Si l'on connecte un condensateur électrolytique à un multimètre, l'instrument n'en indique pas la résistance, mais visualise son courant de charge. Très rapidement le courant de charge disparaît. Respectez la polarité du condensateur! Le pôle négatif est en contact avec le boîtier. En fonction ohmmètre, sur la majorité des multimètres, les bornes d'entrée changent de polarité.

LES DIODES

Pour vérifier l'état d'une diode, on procède à deux mesures identiques en ayant soin d'inverser la polarité (figure 2). Lorsque la mesure est effectuée dans le sens passant, le multimètre indique une valeur de résistance moyenne (1 k Ω par exemple). Cette valeur s'explique par la chute de tension que provoque le seuil de conduction de la diode (0,6 V, dans le cas d'une diode au sili-

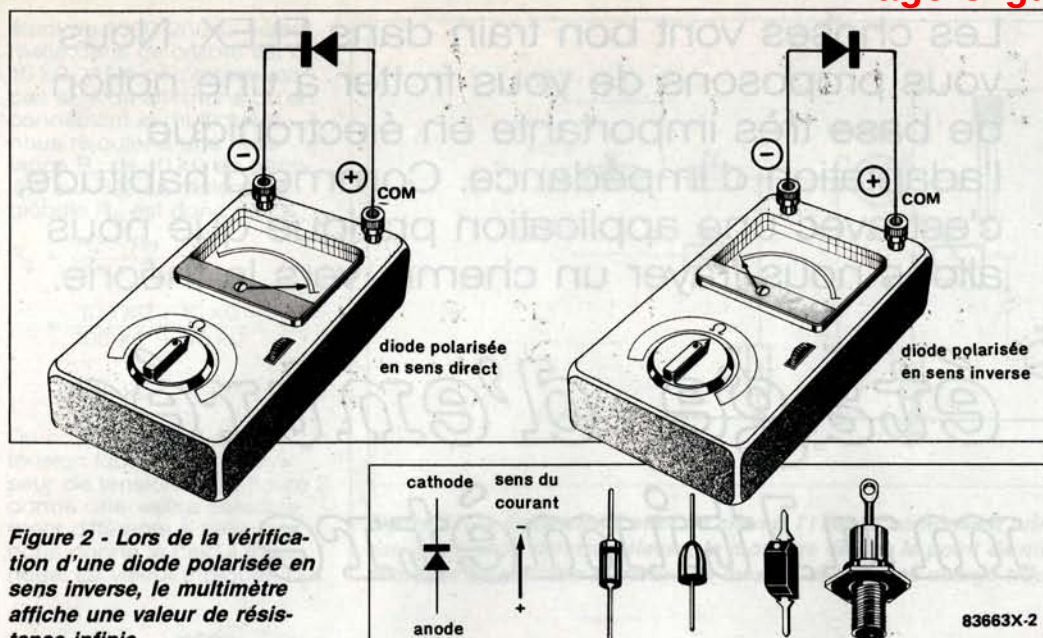


Figure 2 - Lors de la vérification d'une diode polarisée en sens inverse, le multimètre affiche une valeur de résistance infinie.

dessoudant une des connexions de la diode.

Il peut arriver qu'une diode défectueuse passe avec succès le test du multimètre. Si elle bloque comme il se doit à un niveau de tension faible et à un courant de mesure peu élevé, elle devient passante dans les deux sens dès qu'on lui applique la tension de service. Couic! Lors de mesures sur des composants à résistance élevée tels que les diodes polarisées en sens inverse, il faut éviter que les doigts du manipulateur n'entrent en contact avec les deux connexions, car dans ce cas on mesure également la résistance de la peau du manipulateur, qui est de l'ordre de quelques centaines de kilohms, et susceptible par conséquent de fausser des mesures.

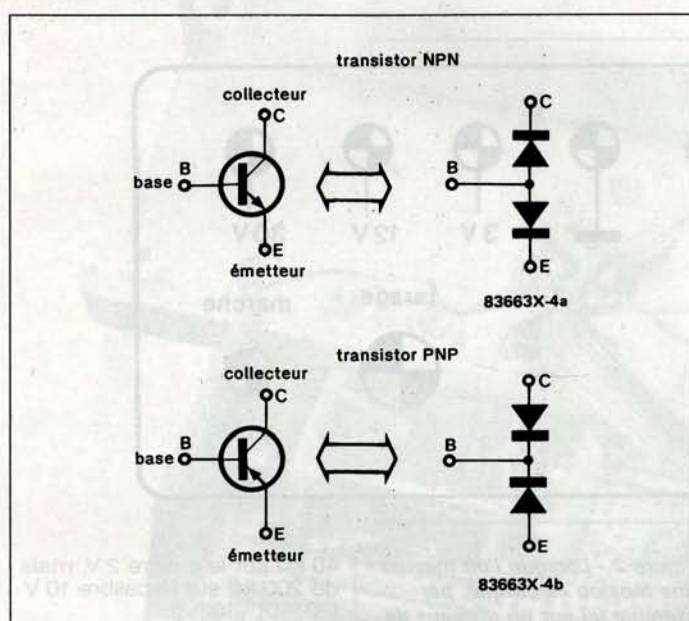


Figure 3 - Lors de la vérification d'un transistor à l'aide d'un ohmmètre, ce semi-conducteur se comporte comme une paire de diodes.

cium). La résistance de la jonction sur le silicium proprement dite est beaucoup moins importante, puisqu'elle se situe, selon les valeurs de la tension de service, entre quelques ohms et quelques dizaines d'ohms.

Il est possible de vérifier des diodes montées dans un circuit. Pour cela on met l'appareil ou le circuit concerné hors tension, et après un délai d'une trentaine de secondes (il faut laisser aux condensateurs le temps de se décharger), on effectue à l'aide d'un ohmmètre les deux mesures indiquées plus haut avec inversion de polarité pour la seconde.

Si les deux valeurs relevées sont identiques, il est vraisemblable que la diode est défectueuse. Si l'on veut en être certain, il faudra éliminer l'influence du circuit en

LES TRANSISTORS

Les transistors comportent deux jonctions PN qui fonctionnent à l'image d'une diode (figure 3). On mesure les jonctions base-émetteur et base-collecteur de la manière indiquée plus haut pour les diodes.

La figure 3 montre que la disposition des "diodes" est différente sur les transistors NPN et PNP. Il ne doit pas circuler le moindre courant entre le collecteur et l'émetteur ni dans un sens ni dans l'autre. Si l'on relie la base au collecteur à travers une résistance de forte valeur (100 k Ω) et que l'on connecte le multimètre de la manière illustrée par la figure 4, l'aiguille accuse un faible débattement. Cette mesure peut aussi s'effectuer sans implantation de résistance. Il suffit d'humidifier deux doigts et de les faire entrer en contact avec la base et le collecteur pour que par l'intermédiaire de la peau, il circule un courant, faible mais suffisant pour rendre le transistor un peu conducteur et qu'il draine ainsi un faible courant de collecteur.

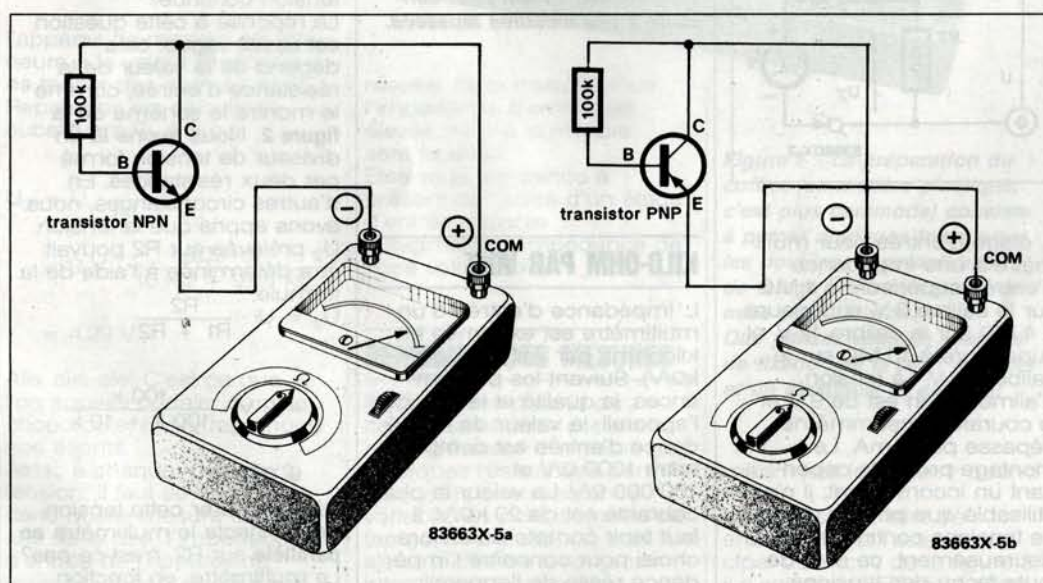


Figure 4 - Normalement, la jonction émetteur-collecteur bloque dans les deux sens. L'application d'un courant de base la rend conductrice.

Avec ce circuit le transistor amplifie le courant de base qui circule par la résistance, et la déviation de l'aiguille de l'ohmmètre rend compte de l'intensité du courant de collecteur. Cette procédure de mesure permet de distinguer l'un de l'autre l'émetteur et le collecteur d'un transistor dont la polarité est inconnue, puisque la résistance épidermique n'a pas la moindre influence lorsqu'elle est prise entre la base et l'émetteur. C'est ce que l'on appelle le test du doigt mouillé (lequel peut servir, en d'autres circonstances, à estimer par exemple la direction du vent...).

Les choses vont bon train dans ELEX. Nous vous proposons de vous frotter à une notion de base très importante en électronique: l'adaptation d'impédance. Comme d'habitude, c'est avec une application pratique que nous allons nous frayer un chemin vers la théorie.

étage d'entrée pour multimètre

Certains montages électroniques sont hilarants, d'autres pas. Celui-ci n'est pas hilarant. Certains montages électroniques ne présentent strictement aucun intérêt. Celui-ci est au contraire très utile. Voilà, tout le monde est prévenu, on peut commencer!

Un multimètre, ou polymètre, ou contrôleur universel, selon ce qu'on dit dans votre région, présente comme tout appareil un certain nombre de caractéristiques qui le définissent. L'une d'entre elles, la plus importante d'ailleurs lors de mesures de tension, est l'impédance d'entrée dont dépend directement la précision de la mesure. Nous verrons ci-dessous que l'imprécision d'une mesure faussée par une impédance d'entrée trop faible peut mener loin.

MESURE RIME AVEC FORFAITURE

Plus l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure est élevée, plus la mesure est exacte. De cette caractéristique dépend aussi le prix de l'appareil. Les voltmètres à impédance d'entrée élevée sont généralement nettement plus chers que leurs homologues à impédance d'entrée relativement basse. Notre étage d'entrée pour multimètre est là pour dissocier ces deux paramètres (impédance et prix) et vous permettra d'obtenir une impédance d'entrée élevée à un prix modéré. Pour quelques dizaines de francs, cet étage d'entrée augmente l'impédance d'entrée de n'importe quel multimètre et vous permet par conséquent d'effectuer des mesures sensiblement plus précises qu'auparavant.

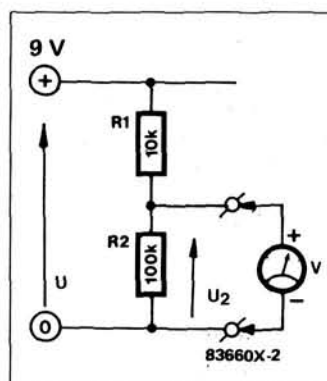
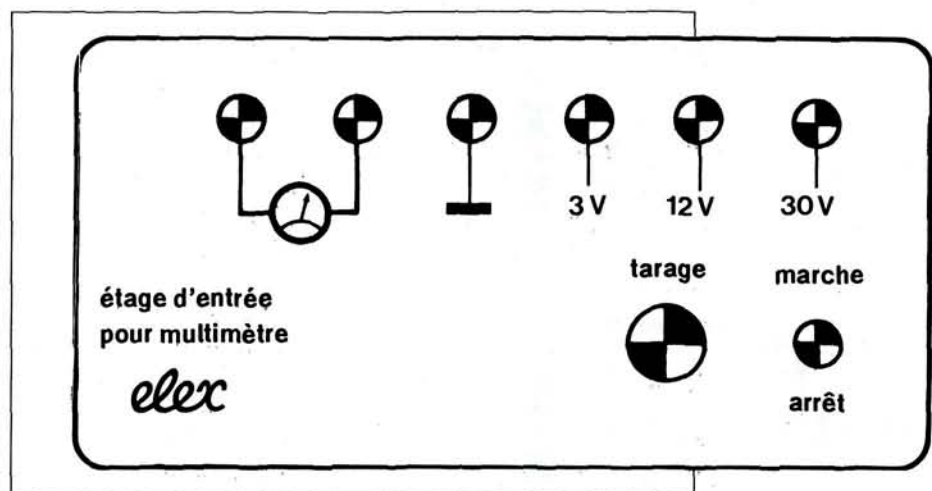


Figure 2 - Lorsque l'on mesure une tension électrique, par exemple ici sur un diviseur de tension, la résistance interne du multimètre perturbe plus ou moins le point de mesure en lui imposant une charge supplémentaire, ce qui peut conduire à des mesures faussées.

40 k Ω sur le calibre 2 V, mais de 200 k Ω sur le calibre 10 V (20 [k Ω] $\cdot$ 10 [V]).

Mais quelle est donc l'influence de l'impédance d'entrée du multimètre sur le résultat d'une mesure de tension continue? La réponse à cette question est assez vague: cela dépend de la valeur de la résistance d'entrée, comme le montre le schéma de la figure 2. Nous avons là un diviseur de tension formé par deux résistances. En d'autres circonstances, nous avons appris que la tension U_2 prélevée sur R2 pouvait être déterminée à l'aide de la formule:

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= 9 \text{ V} \cdot \frac{100 \text{ k}}{100 \text{ k} + 10 \text{ k}}$$

$$= 8,18 \text{ V}$$

Pour mesurer cette tension, on connecte le multimètre en parallèle sur R2, n'est-ce pas? Le multimètre, en fonction voltmètre, utilise son calibre 10 V: l'impédance d'entrée R_e nominale du multimètre

L'étage d'entrée pour multimètre a une impédance d'entrée supérieure à 1 M Ω sur le calibre 3 V, supérieure à 4 M Ω sur le calibre 12 V, et supérieure à 10 M Ω sur le calibre 30 V. La tension d'alimentation est de 9 V et le courant consommé ne dépasse pas 1 mA. Le montage présente cependant un inconvénient: il n'est utilisable que pour la mesure de tensions continues. Heureusement, ce sont de toute façon des tensions continues que l'électronicien est amené à mesurer le plus souvent avec son multimètre.

KILO-OHM PAR VOLT

L'impédance d'entrée d'un multimètre est exprimée en kiloohms par volt (abrégié k Ω /V). Suivant les performances, la qualité et le prix de l'appareil, la valeur de l'impédance d'entrée est comprise entre 1000 Ω /V et 100 000 Ω /V. La valeur la plus courante est de 20 k Ω /V; il faut tenir compte du calibre choisi pour connaître l'impédance réelle de l'appareil: l'impédance d'un multimètre dont la valeur nominale est annoncée à 20 k Ω /V est de

étant de $1000 \Omega/V$, sa valeur réelle dans ce calibre est de $10 \text{ k}\Omega$. Vous ne protesterez pas si nous affirmons qu'en connectant le multimètre nous rajoutons une résistance R_g de $10 \text{ k}\Omega$ en parallèle sur R_2 ? La résistance globale R_g est donc de:

$$R_g = \frac{R_2 \cdot R_e}{R_2 + R_e}$$

$$= \frac{100 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega}$$

$$= 9,09 \text{ k}\Omega$$

Du coup, le calcul de la tension fournie par le diviseur de tension de la figure 2 donne une valeur sensiblement différente à celle que nous donne le calcul théorique. La valeur indiquée par

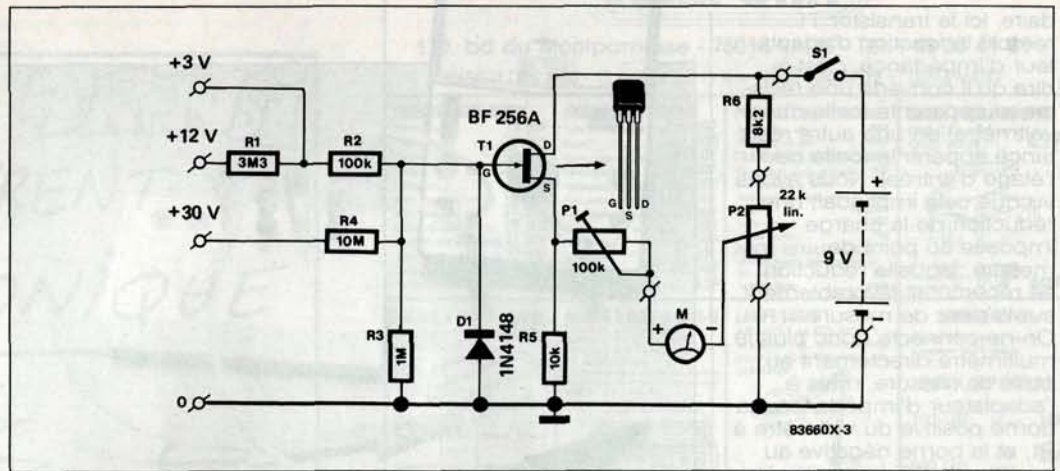
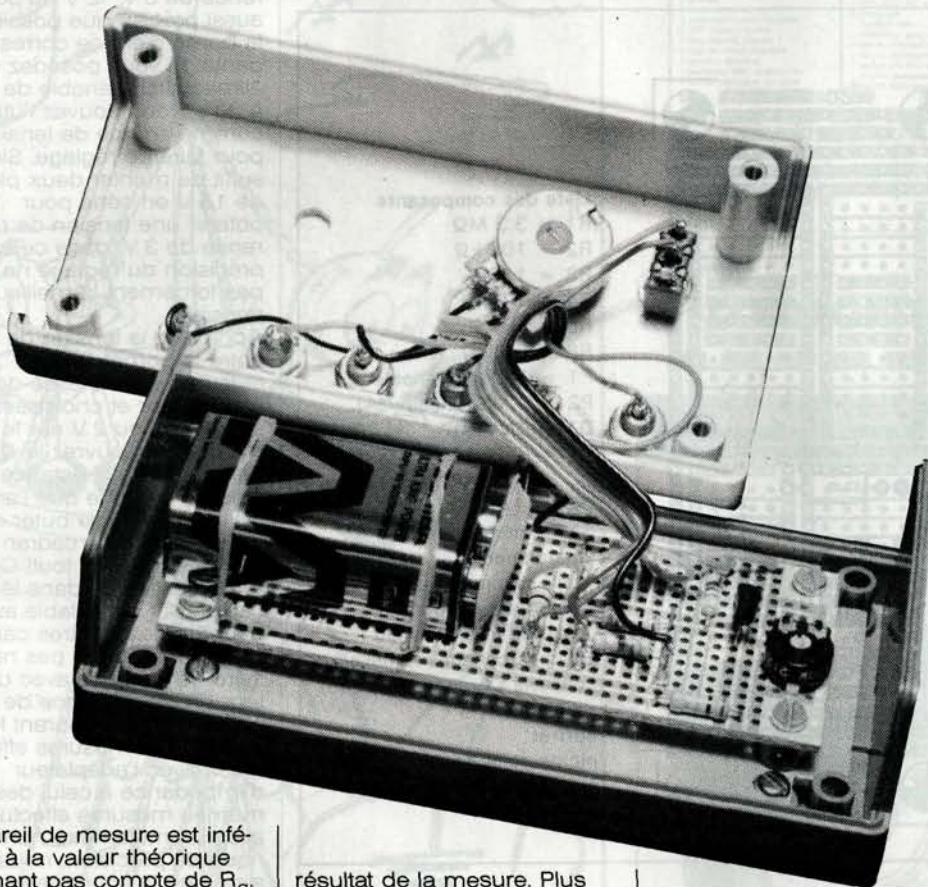


Figure 3 - Le transistor à effet de champ T1 est le composant principal de notre montage. Grâce à son impédance d'entrée élevée, le montage sépare le point de mesure du multimètre lui-même et empêche l'apparition d'erreurs de mesure dues à une charge trop forte.



l'appareil de mesure est inférieure à la valeur théorique ne tenant pas compte de R_g . Reprenons les calculs en substituant R_g à R_2 :

$$U_2 = U \cdot \frac{R_g}{R_1 + R_g}$$

$$= 9 \text{ V} \cdot \frac{9,09 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 9,09 \text{ k}\Omega}$$

$$= 4,29 \text{ V}$$

Aïe, aïe, aïe! C'est ce que l'on appelle pédaler dans la choucroute. Enfin, reprenons nos esprits. Ainsi, à chaque mesure de tension, il faut se demander dans quelle mesure (c'est le cas de le dire) l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure (et ceci ne vaut pas seulement pour les multimètres, mais aussi pour les oscilloscopes) influe sur le

résultat de la mesure. Plus l'impédance d'entrée est élevée, moins la mesure sera faussée. Etes-vous convaincu à présent de l'utilité d'un étage d'entrée capable d'augmenter l'impédance de votre voltmètre?

DEMESURE DES MESURES

Il suffit d'une dizaine de composants pour construire notre élévateur d'impédance. Quelques résistances parmi lesquelles une résistance variable, un potentiomètre de tarage, une diode, un transistor à effet de champ, un interrupteur et une pile compacte de 9 V (ça ne mange pas grand-chose, les élévateurs d'impédance,

l'instant qu'un FET à trois connexions: la grille, la source et le drain. La résistance interne entre la grille et la source est très élevée; en règle générale elle est de l'ordre de plusieurs gigohms ($1 \text{ G}\Omega = 10^9 \Omega = 1 \text{ milliard d'ohms}$). Les circuits d'entrée qui font appel à un tel transistor sont donc caractérisés par une impédance élevée. La partie du circuit de la figure 3 qui détermine l'impédance d'entrée du multimètre est reprise sur la figure 4. La résistance r_{GS} n'est autre que la résistance interne de la jonction grille-source du transistor. Elle agit en série avec R_5 , et elles sont montées toutes deux en parallèle sur R_3 . Comme la résistance r_{GS} est de l'ordre du gigohm, elle est à peu près mille fois supérieure à celle de R_3 . C'est pourquoi la résistance équivalente à la mise en parallèle de la résistance r_{GS} et de R_5 sur R_3 prend approximativement la valeur de R_3 ; on considère donc l'effet de la mise en parallèle comme négligeable. La résistance d'entrée des différents calibres sera donc la suivante:

- calibre 3 V: $1,1 \text{ M}\Omega$ ($R_2 + R_3$)
- calibre 12 V: $4,4 \text{ M}\Omega$ ($R_1 + R_2 + R_3$)
- calibre 30 V: $11 \text{ M}\Omega$ ($R_3 + R_4$)

Le transistor à effet de champ est monté en **drain commun**, ce qui signifie que son drain est relié directement au potentiel d'alimentation positif, et surtout que sa tension de source suit sa tension de grille; c'est pourquoi on parle de montage *source follower* en anglais ou *source suiveuse*. Dans cette configuration en drain commun du FET, son gain est un peu inférieur à 1, mais comme l'adaptateur n'est utilisé qu'avec des tensions continues, ce détail n'a qu'une importance secon-

Figure 6 - La préparation du coffret (en matière plastique, c'est plus commode) consiste à percer quelques trous pour les douilles, le potentiomètre de tarage et l'interrupteur de mise sous tension. Que pensez-vous du système de fixation de la pile? 4 picots et un élastique, et ça tient!

mais il faut les nourrir quand même... Le transistor à effet de champ T1 est l'acteur principal du circuit de la figure 3. Il s'agit d'un FET (*field effect transistor*) à canal N. Il est difficile d'expliquer ici ce que cela signifie. Retenons pour

daire. Ici le transistor T1 remplit la fonction d'adaptateur d'impédance, c'est-à-dire qu'il convertit une résistance apparente (celle du voltmètre) en une autre résistance apparente (celle de l'étage d'entrée). Nous avons vu que cela impliquait une réduction de la charge imposée au point de mesure, laquelle réduction se répercutait favorablement sur l'erreur de mesure. On ne connecte donc plus le multimètre directement au point de mesure, mais à l'adaptateur d'impédance. La borne positive du voltmètre à P1, et la borne négative au curseur de P2. Le multimètre doit être mis en fonction voltmètre pour tensions continues (V DC). Les composants T1, R5, R6 et P2 forment un montage en pont, avec dans la branche médiane le multimètre M1 et la résistance variable P1. Le principe du pont de résistances a déjà été expliqué dans ELEX. Le potentiomètre P2 nous permet de tarer le multimètre, c'est-à-dire de lui faire afficher 0 V quand les entrées de l'adaptateur d'impédance sont ouvertes ("en l'air", si vous préférez). Nous reviendrons sur la fonction et le réglage de P1. Si une tension négative apparaît sur l'entrée, la diode D1 se met à conduire et empêche cette tension négative de dépasser 0,7 V environ (qui est la valeur de son seuil de conduction). En limitant à une faible valeur les tensions négatives qui risquent d'apparaître sur la grille de T1, la diode D1 protège donc ce transistor contre une éventuelle inversion de polarité des bornes d'entrée.

REALISATION ET REGLAGE

Le montage complet (y compris la pile compacte de 9 V) prend place sur une platine d'expérimentation ELEX de format 1 (40 · 100 mm). Le plan d'implantation que nous avons préparé pour vous apparaît sur la figure 5. L'implantation elle-même ne devrait poser aucun problème. Il faut prendre soin d'orienter correctement T1 et D1. La pile pourra être fixée sur la platine à l'aide d'un élastique passé dans quatre picots coudés vers l'extérieur comme on le voit sur la photographie du prototype. Une fois le montage terminé et dûment vérifié à la loupe, le moment de la mise sous tension est venu. La tension de source de T1 doit être de 2 V environ en l'absence de tension sur les bornes d'entrée 3 V, 12 V et 30 V. Si

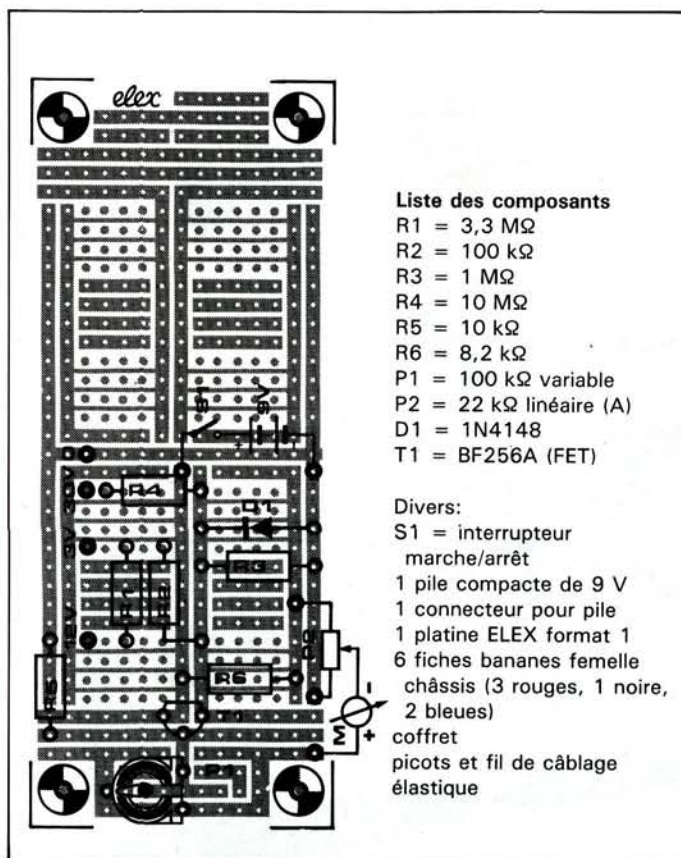
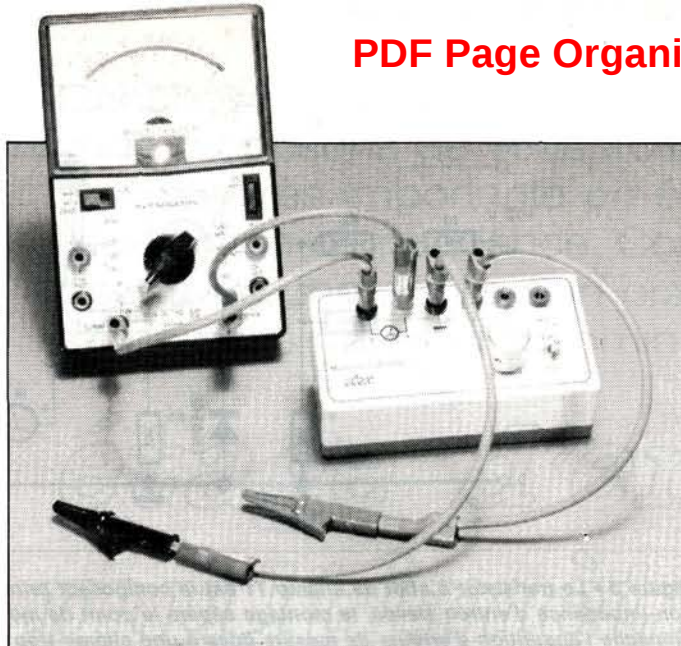


Figure 5 - Tous les composants (y compris la pile) prennent place sur la platine d'expérimentation de format 1.

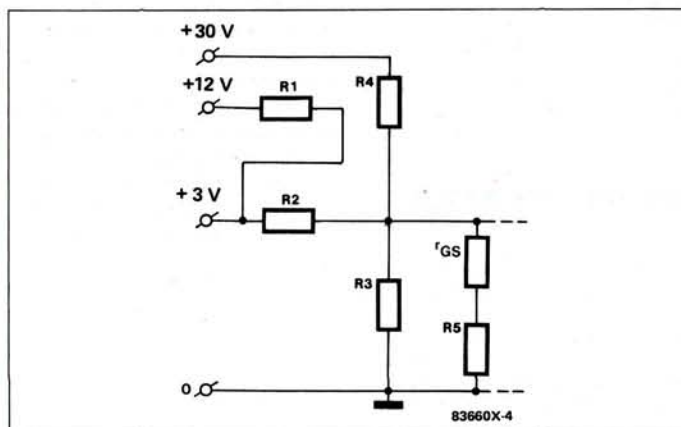


Figure 4 - L'impédance d'entrée de l'étage d'entrée pour multimètre dépend essentiellement des résistances R1 et R4.

l'on obtient cette tension, on peut connecter le multimètre en fonction voltmètre entre les bornes "+" et "-" de l'adaptateur d'impédance. Certains modèles sont mieux adaptés que d'autres; ce sont ceux qui présentent une impédance d'entrée nominale de 20 kΩ/V et disposent d'un calibre de mesure de tension continue de 1 V ou 2 V. Prenez soin de respecter la polarité du multimètre en le connectant à l'adaptateur d'impédance. Mettre l'étage d'entrée sous tension (S1) et régler P2 de telle sorte que la tension affichée par le voltmètre soit précisément nulle. Une fois le tarage effectué, on procède au réglage de pleine échelle. Pour cela on applique une tension de référence de 3 V, 12 V ou 30 V aussi précise que possible à la borne d'entrée correspondante. Si vous possédez une alimentation variable de 0 V à 30 V, vous pouvez l'utiliser comme source de tension pour faire ce réglage. Sinon il suffit de monter deux piles de 1,5 V en série pour obtenir une tension de référence de 3 V; dans ce cas la précision du réglage ne sera pas forcément la meilleure possible. Appliquez la tension de 3 V entre la borne d'entrée "3 V" et la borne de masse de l'adaptateur et choisissez le calibre 1 V ou 2 V sur le voltmètre. Manoeuvrez le curseur de la résistance variable P1 de sorte que l'aiguille du voltmètre aille buter en fin de course sur le cadran du multimètre. C'est tout! Ce réglage effectué dans le calibre 3 V est valable aussi pour les deux autres calibres. Il n'est donc pas nécessaire de le refaire avec un tension de référence de 12 V ou 30 V. En comparant les résultats de mesures effectuées avec l'adaptateur d'impédance à celui des mêmes mesures effectuées avec un multimètre numérique de précision, nous avons eu la confirmation de ses qualités. L'erreur de mesure dans les trois calibres est remarquablement faible:

- calibre 3 V: 0,19%
- calibre 12 V: 0,26%
- calibre 30 V: 1,11%

ce qui donne une erreur moyenne de 0,52%. Compte tenu de la simplicité du montage et de son faible prix de revient, cette plage de tolérance peut être considérée comme très étroite. En tous cas, nous savons maintenant qu'il faut se méfier des indications données par les appareils de mesure, et nous avons appris à tenir compte des conditions de mesure et de l'influence du dispositif de mesure lui-même sur les résultats.

GALVANOMETRE A CADRE MOBILE

Les indicateurs à aiguille ont tendance à disparaître, victimes des progrès de l'électronique. Pour l'électronicien, les mouvements de l'aiguille sont non seulement fascinants, mais aussi riches d'enseignements.

L'ampèremètre de brousse illustre le principe du fonctionnement de tous les appareils de mesure à aiguille classiques; ces appareils mesurent tous et toujours du courant, même si leur échelle est graduée en volts ou en ohms. Le courant à mesurer circule dans une bobine et y induit un champ magnétique qui est comparé à un deuxième champ, dit champ de référence. Là s'arrête le parallèle entre l'ampèremètre de brousse et le galvanomètre: l'ampèremètre de brousse utilise le champ magnétique terrestre comme terme de la comparaison, alors que les vrais instruments de mesure utilisent un aimant permanent.

CADRE MOBILE

La figure 1 donne une vue très agrandie du principe de construction le plus répandu parmi les appareils qu'on appelle **galvanomètres à cadre mobile** (par opposition aux instruments à **fer mobile**). Le champ magnétique de référence est fourni par un aimant en forme de fer à cheval. Les deux extrémités du fer à cheval sont appelées **pôles**, et on désigne par le terme **entrefer** l'espace entre les deux extrémités de la masse magnétique recourbée. C'est pour limiter la taille de l'entrefer qu'un cylindre en matériau magnétique est installé entre les deux pôles.

On obtient ainsi **deux entrefers**. Le champ magnétique se répartit spontanément de façon symétrique entre les deux entrefers dans lesquels se déplace la bobine (voir la figure 2). On parle de «**cadre**», ce qui s'explique aisément quand on voit la forme de la bobine sur la figure 1. Le cadre est solidaire de l'aiguille, contrairement à la bobine de l'ampèremètre de brousse; il est mobile (il pivote sur son axe), et entraîne l'aiguille. Il comporte un grand nombre de spires de fil très fin, ce qui lui confère une grande sensibilité. Le courant à mesurer circule dans deux ressorts en spirale qui, en plus, exercent une force de rappel sur l'équipage mobile. Lorsque

le courant qui traverse le cadre augmente, le champ magnétique induit augmente, et avec lui augmente aussi la force d'extension exercée par le cadre sur les ressorts: la déviation de l'aiguille s'accroît en proportion. Lorsque le courant s'affaiblit et disparaît, les ressorts de rappel remettent le cadre et l'aiguille dans leur position de repos. On voit donc que les galvanomètres à cadre mobile sont des ampèremètres très sensibles. Les appareils à aiguille longue sont munis d'un contrepoids qui amortit la vigueur de l'élan pris par l'aiguille au cours de débâtements brutaux.

La figure 3 montre le symbole d'un galvanomètre. En pratique, leur grande sensibilité ne permet guère d'utiliser les galvanomètres

seuls: les bons appareils présentent une déviation à pleine échelle pour un courant de $25 \mu\text{A}$ seulement (lire: microampère, soit 25 millièmes d'ampère). C'est pourquoi la plupart des mesures, en particulier les mesures de tension, sont faites avec des galvanomètres complétés par des résistances.

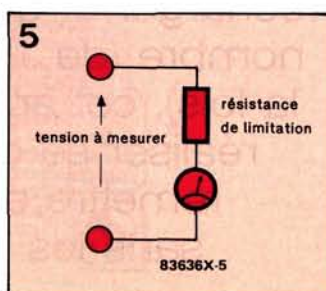
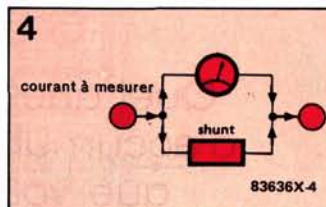
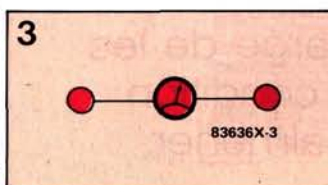
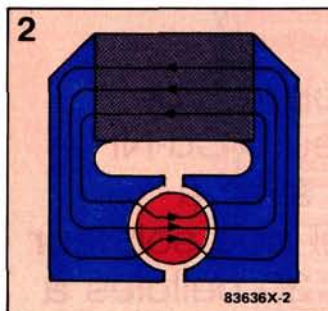
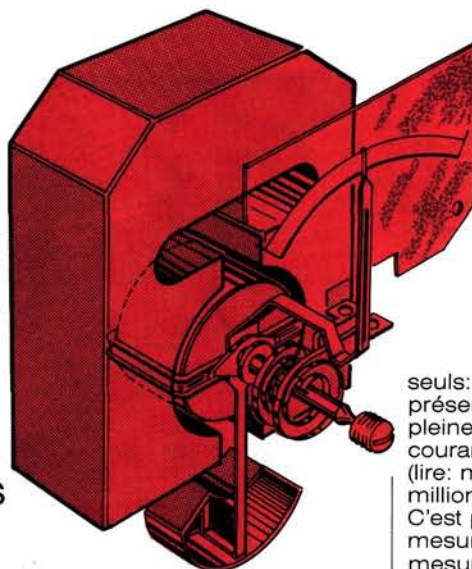
RESISTANCE EN PARALLELE

La résistance montée en parallèle sur un galvanomètre est aussi appelée **résistance de dérivation**, ou **shunt**. La figure 4 illustre le rôle de la résistance en parallèle: elle permet à une partie du courant à mesurer de dériver et de ne pas passer à travers la fragile bobine du galvanomètre. Elle évite donc de surcharger le galvanomètre. Comme celui-ci ne voit circuler qu'une partie du courant à mesurer, il convient de transformer son échelle en tenant compte de la déviation d'une partie du courant.

RÉSISTANCE EN SÉRIE

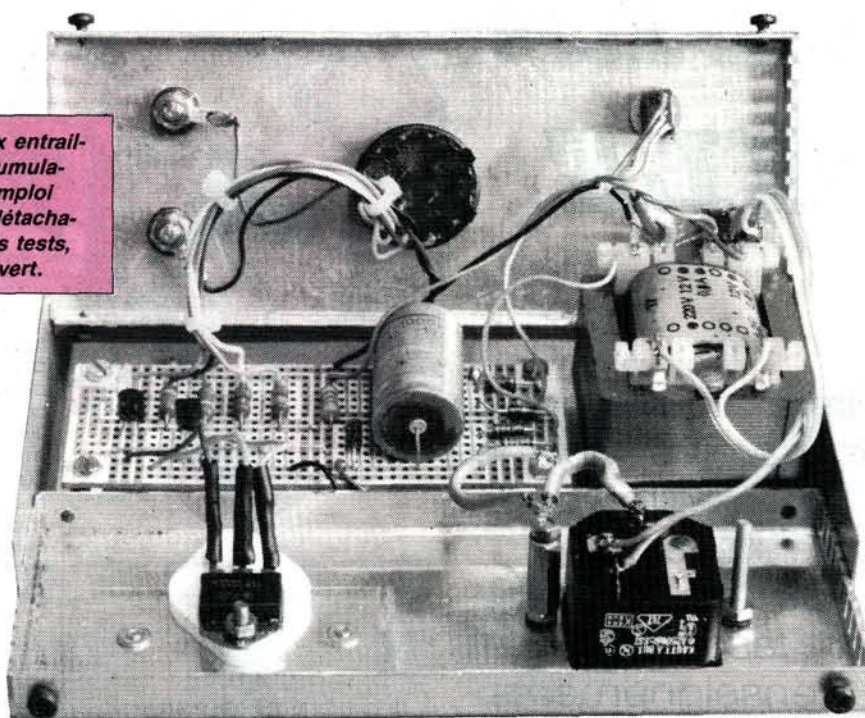
C'est par l'utilisation de résistances adéquates montées en série que les mesures de tension sont rendues possibles. Nous savons que si une résistance est connectée à deux points entre lesquels règne une différence de potentiel, elle est parcourue par un courant dont l'intensité est proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance (loi d'Ohm: $I = U/R$). Puisque la résistance est connue et (considérée comme) constante, le courant, d'autant plus intense que la tension est élevée, constitue donc une mesure de la tension.

Ainsi, bien que le galvanomètre de la figure 5 mesure un courant, nous pouvons graduer son échelle en volts!



chargeur

Figure 5 - L'accès aux entrailles du chargeur d'accumulateurs est facilité par l'emploi d'un boîtier à parois détachables. Pour les premiers tests, vous laisserez tout ouvert.



d'accumulateurs nickel- cadmium universel

Si l'on cherche de plus en plus souvent à remplacer les piles ordinaires par des accumulateurs (rechargeables), c'est surtout pour faire des économies. C'est dans cet esprit que nous avons conçu le chargeur d'accumulateurs décrit ci-dessous: tant qu'à réaliser un chargeur, autant faire un appareil qui soit capable de charger tous les types d'accumulateurs courants. Le chargeur que nous vous présentons convient pour les accumulateurs de type 1,5 V R6 (mignon), R14 (baby) et R20 (mono), ainsi que les modèles compacts 6F22 de 9 V, c'est-à-dire tous ceux que l'on utilise le plus souvent. Ce qui est plus intéressant encore, c'est que cet appareil pourra prendre en charge jusqu'à 20 éléments, à votre convenance. Malgré son caractère universel, le chargeur est très simple à utiliser. En façade il n'y a que trois boutons (**figure 1**). En haut à gauche, se trouve l'interrupteur (S2) que vous manoeuvrerez suivant que vous aurez plus ou moins de dix cellules à charger. Avec le gros commutateur rotatif (S3), vous choisirez le type de l'accumulateur.

Quel que soit le type d'accumulateurs Cd-Ni que vous avez à recharger et quel que soit leur nombre (de 1 à 20 cellules à la fois), cet appareil simple à réaliser se charge de les remettre en condition sans les malmener.

Il ne vous restera plus qu'à brancher les accumulateurs en veillant scrupuleusement à respecter leur polarité. Les accumulateurs sont chers à l'achat, et il convient donc d'en prendre le plus grand soin. Il faut prendre l'habitude, dès le début, de recharger **ensemble** les accumulateurs utilisés (et déchargés) **ensemble** sur un appareil donné. Vous n'aurez à vous inquiéter ni du nombre de cellules, ni de la tension, pour autant que vous aurez mis S2 dans la bonne position. Tout ce que vous avez à faire pour finir, c'est d'actionner l'interrupteur de mise sous tension (S1) placé en bas à gauche.

LE SCHEMA

La partie gauche du schéma, jusqu'aux pointillés, est une alimentation tout ce qu'il y a de plus classique. Sa fonction sera détaillée à la fin de l'article. Retenons pour l'instant qu'à l'entrée de la partie gauche, on obtient une tension dont la valeur est de 17 V ou 34 V suivant la position de l'interrupteur S2. La partie droite

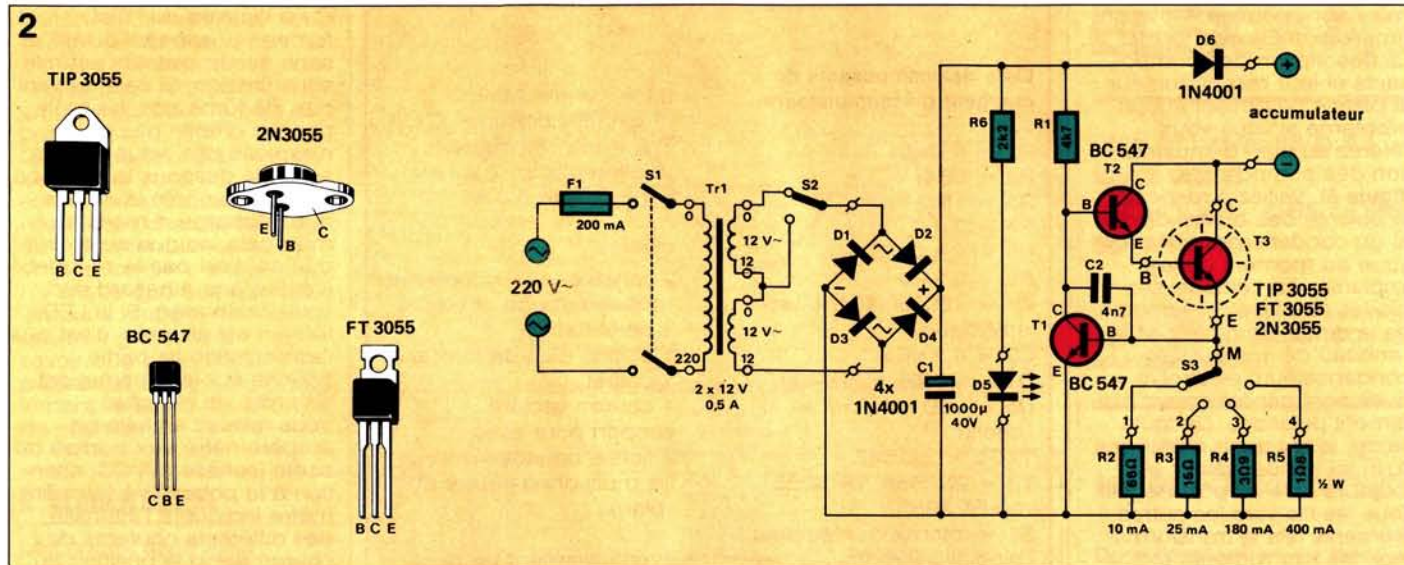


Figure 2 - Schéma du chargeur: à droite la source de courant constant, alimentée par la partie gauche du circuit.

est une version améliorée de la source de courant dont la version de base est décrite dans l'article d'ELEX sur les sources de courant. L'intensité du courant à fournir dépend du type d'accumulateur à charger. Elle est déterminée par la position de S3. Pour fournir ce courant, l'appareil adapte automatiquement la tension et c'est grâce à cet automatisme que le nombre de cellules est sans importance.

Si vous comparez le chargeur à la version de base de la source de courant de la figure 3 (veuillez lire ou relire aussi l'article consacré au principe de la source de courant constant), vous remarquerez quelques différences. Les transistors T2 et T3 (dont on dit qu'ils forment un montage Darlington) prennent la place du transistor T. Le transistor T2 amplifie le courant qui circule entre sa base et son émetteur, c'est-à-dire son courant de base. Il en résulte un courant plus important circulant du collecteur vers l'émetteur de T2. Ce courant va servir de courant de base (circulant entre la base et l'émetteur) au transistor T3 qui l'amplifie à son tour. Le montage Darlington (figure 4) fonctionne comme un seul transistor avec un gain en courant très élevé.

A la place des deux diodes de la figure 3, on trouve à la base du montage Darlington (base du transistor T2) de la figure 2 le transistor T1. Sur le circuit de la figure 3, les deux diodes provoquent une chute de tension de 0,6 V environ; c'est le potentiel qui règne aux bornes de la résistance d'émetteur R_E . Le transistor T1 agit dans le même sens, puisque sa diode base-émetteur (qui provoque une chute de tension de 0,6 V) est en parallèle avec la résistance

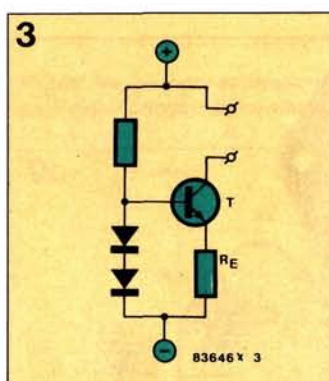


Figure 3 - Le composant principal d'une source de courant constant est un transistor.

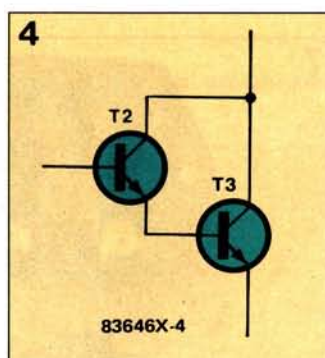


Figure 4 - Le montage Darlington se comporte comme un transistor à haut facteur de gain en courant.

(R2, R3, R4 ou R5) choisie par le commutateur S3.

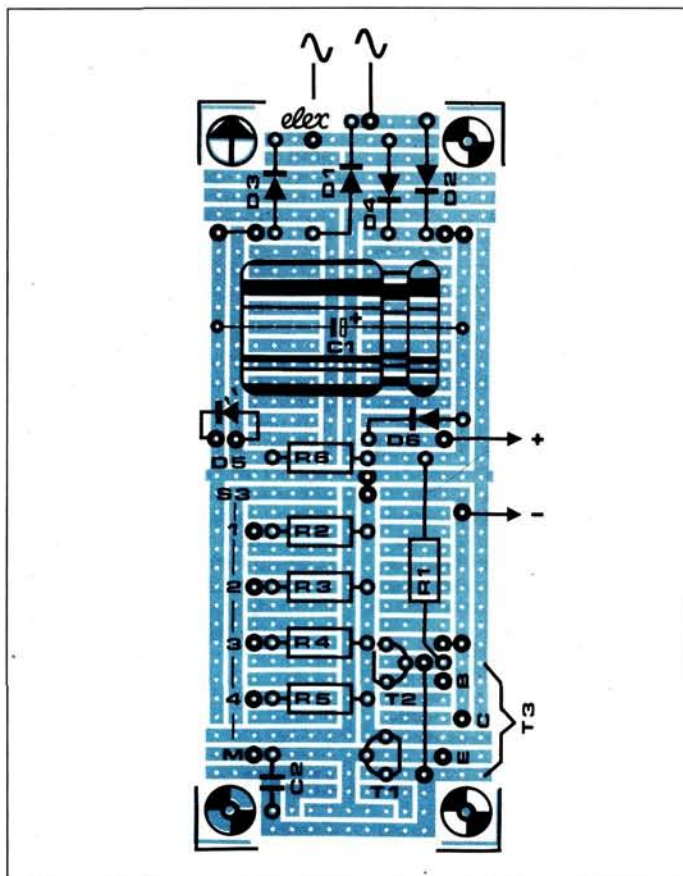
T1 conduit vers le pôle négatif une partie du courant (I_1) traversant R1. Le reste de ce courant circule par la base du montage Darlington T2/T3. C'est ainsi que T1 commande T2 et T3. L'intensité du courant ne peut pas faiblir, puisque dès qu'elle baisse trop, la valeur de la tension de base de T1 tombe en dessous de 0,6 V et ce transistor se bloque.

La totalité du courant I_1 passe alors par la base du montage Darlington et fait remonter à nouveau l'intensité du courant de charge à la valeur choisie. C'est donc en agissant sur la valeur de la résistance dans le circuit d'émetteur que l'on détermine le courant de charge: en augmentant la valeur de la résistance, on réduit l'intensité du courant de charge nécessaire pour obtenir la chute de tension de 0,6 V à la base de T1. La tension base-émetteur est située en fait entre 0,6 V et 0,7 V et sa valeur exacte dépend du courant de base, du courant d'émetteur et de la température du transistor. Les quatre valeurs de courant de charge adaptées aux besoins usuels sont 400 mA, 180 mA, 50 mA et 10 mA pour les piles R20, R14 et R6 et les blocs compacts 6F22 de 9 V (tableau 1).

C2 empêche le montage d'osciller et la diode D6 empêche le(s) accumulateur(s) de se décharger dans le chargeur quand celui-ci n'est pas lui-même sous tension alors que des accumulateurs y sont connectés.

LA CONSTRUCTION

Les composants électroniques du chargeur tiennent à



l'aise sur une platine d'expérimentation Elex de format 1. La description des composants et leur disposition sur la platine ne posent aucun problème si vous vous référez au plan d'implantation des composants (figure 6). Veillez à respecter la polarité des quatre diodes et du condensateur électrolytique au moment de les implanter. La cathode des diodes (la barre du symbole de la diode) se reconnaît à l'anneau de couleur. Les condensateurs électrolytiques sont généralement clairement polarisés. De toute façon, le réservoir métallique d'un tel condensateur est toujours relié au pôle négatif. Tous les fils vers les autres éléments tels le transformateur, les interrupteurs etc. seront soudés avant la fixation de la platine dans le coffret. Vu le nombre des composants extérieurs à la platine, vous choisirez un boîtier en aluminium avec faces avant et arrière **démontables**. Sur le fond vous fixerez le transformateur et la platine, en utilisant des entretoises **isolantes**. Les fiches de sortie, le commutateur S3, l'interrupteur secteur S1, le commutateur S2, et la lampe témoin de fonctionnement se trouvent sur la face avant. Le commutateur S3 est du type 1 circuit/4 positions, ce qui signifie qu'il a (au moins) un contact commun et quatre broches auxiliaires. Le prototype de la figure 5 est équipé d'un commutateur 3 circuits/4 positions (trois commutateurs à quatre positions), dont deux des trois circuits restent inutilisés. A l'achat, vous demanderez que l'on vous fournisse un commutateur dont les contacts puissent supporter le courant de charge maximum (0,4 A), ce qui est le cas d'ailleurs pour la plupart des modèles de commutateurs courants. Pour le raccordement du cordon secteur avec le transformateur et le fusible, vous suivrez scrupuleusement les recommandations de sécurité faites ailleurs dans ce numéro. Pour le prototype, nous avons utilisé une douille européenne pour cordon d'alimentation, avec porte-fusible incorporé (figure 7). A côté de cette douille dont nous vous recommandons chaudement l'usage, vous monterez le transistor T3: la plaque de tôle qui forme l'arrière du coffret du chargeur peut faire un excellent radiateur.

Il existe plusieurs versions de ce transistor, électriquement semblables, qui ne diffèrent que par la forme de leur boîtier. Le boîtier SOT-93 du TIP3055 et le boîtier TO-220 du FT3055 se vissent à plat sur le panneau métallique de la façade arrière, à l'intérieur

Liste des composants du chargeur d'accumulateurs

R1 = 4,7 k Ω
R2 = 68 Ω
R3 = 15 Ω
R4 = 3,9 Ω
R5 = 1,8 Ω /0,5 W
R6 = 2,2 k Ω
C1 = 1000 μ F/40 V (électrolytique)
C2 = 4,7 nF
D1...D4,D6 = 1N4001
D5 = LED (couleur au choix)
T1,T2 = BC 547
T3 = 2N3055, TIP 3055 ou FT 3055
S1 = interrupteur secteur bipolaire 220 V
S2 = inverseur 1 A

S3 = commutateur
1 circuit/4 positions 0,4 A
Tr1 = transformateur d'alimentation 2 x 12 V
F1 = fusible 0,2 A

divers:

2 fiches bananes femelles
châssis (rouge et bleu)
1 porte-fusible
1 platine Elex de format 1
1 coffret
1 cordon secteur support pour piles,
2 fiches bananes mâles
fils multi-brins (rouge et bleu)

éventuellement un radiateur pour T3 (voir texte)

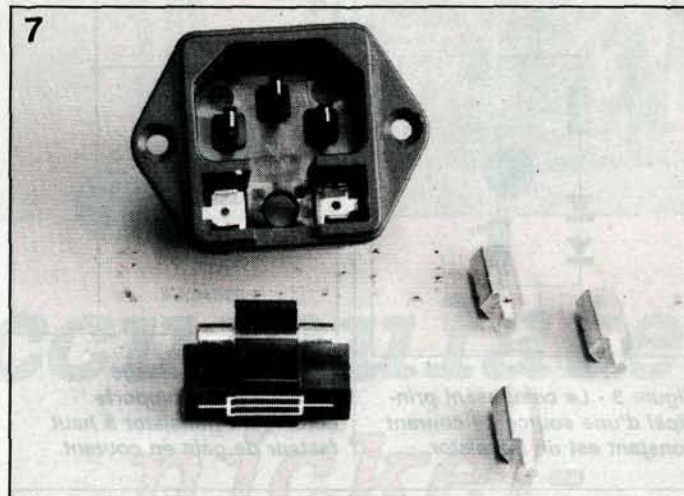


Figure 7 - Les entretoises pour la fixation de la platine et la douille pour cordon secteur euro, avec porte-fusible incorporé.

du coffret du chargeur. La partie métallique du boîtier de ces transistors est en contact électrique avec leur collecteur. Pour isoler le boîtier du transistor de la tôle du coffret qui sert ici de radiateur (mais dont on ne souhaite pas qu'elle soit portée au potentiel de sortie du chargeur!), vous placerez entre eux une plaquette isolante de mica ou de céramique, et vous enfilerez un cylindre de matière plastique isolant sur la vis de fixation. Vous trouverez ces accessoires chez tous les revendeurs de composants électroniques. Il reste à effectuer le câblage entre la platine et les 3 broches du transistor.

Le transistor 2N3055, en boîtier TO-3, souvent moins cher que les deux autres transistors cités, sera monté à l'extérieur à l'aide de deux vis. Il n'a que deux broches: l'une pour l'émetteur, l'autre pour la base. Le collecteur est contact avec le boîtier comme sur les deux autres types. Les accessoires

nécessaires à son isolation sont aussi vendus prêts à l'emploi. Vous pouvez acheter un capuchon d'isolation adapté au boîtier TO-3, mais il n'est pas indispensable.

Si le montage est placé dans un coffret en matière plastique, il faudra faire appel à un radiateur extérieur de 17 °C/W pour refroidir le transistor de puissance. Pour finir vous contrôlerez une fois de plus les connexions; vérifiez à l'ohmmètre que le transistor est bien isolé du coffret et que le fil de mise à la terre du cordon secteur est bien relié aux masses métalliques du coffret, à la masse métallique du transformateur et au levier de S1.

LE TEST

C'est après ce dernier contrôle que les choses deviennent intéressantes.

C'est l'instant du "test fumée". L'appareil ouvert et sans accumulateurs est mis sous tension. Si cela ne sent pas, ne fume pas, ne brûle pas, ne crépite pas et n'explose pas, vous pouvez sortir de dessous la table; ce n'est pas encore la preuve que le chargeur marche, mais cela indique au moins que ce n'est pas le 14 juillet (vérifiez à tout hasard sur votre calendrier). Si la LED témoin est allumée, c'est que l'alimentation (la partie gauche sur le schéma) est en ordre de marche. Vous relierez ensuite un ampèremètre aux bornes de sortie (échelle 1 A CC: attention à la polarité). L'ampèremètre indiquera l'intensité des différents courants de charge selon la position du commutateur S3. Vous effectuerez cette vérification pour les deux positions de S2, sans prolonger inutilement le court-circuit de sortie par l'ampèremètre, car la dissipation dans le transistor T3 est alors importante (surveillez sa température du bout des doigts).

Si l'appareil ne fonctionne pas, vous réverrez les tensions en suivant le schéma et le texte. Si le transformateur donne une tension nulle au lieu de 24 V, c'est le signe qu'un des enroulements secondaires du transformateur est connecté à l'envers; les deux tensions de 12 V s'annulent. Vous vérifierez ensuite les trois transistors en mesurant la différence de potentiel entre leur base et leur émetteur (environ 0,6 V). Pour cette mesure, connectez un accumulateur (ou une résistance de quelques ohms) aux bornes de sortie du chargeur. Vous pouvez même, à condition de faire très vite, mettre la sortie en court-circuit. En suivant le schéma et la description du fonctionnement, les écarts de valeur des tensions finiront par vous faire mettre le doigt sur la panne.

UTILISATION

Dans le tableau 1, vous trouverez la position du commutateur S3 correspondant au type d'accumulateur utilisé. Une charge complète dure en général 14 heures. Une prolongation de ce temps n'est pas critique tant qu'elle reste raisonnable. N'exagérez pas! Après la mise au point du chargeur, vous vous occuperez des accessoires: un (ou plusieurs) supports pour les accumulateurs, des fils de liaison souples avec un connecteur pour le(s) support(s) et des fiches

bananes. Utilisez, pour vous conformer à l'usage et pour prévenir les étourderies, un fil bleu pour le pôle négatif et un fil rouge pour le pôle positif.

Lorsque le chargeur est en service, la paroi sur laquelle est monté le transistor T3 tiédira. Elle chauffe fortement quand l'interrupteur S2 est en position 24 V alors qu'il n'y a que quelques accumulateurs à charger. Ce n'est pas très grave, mais il faut savoir que le transistor de puissance dissipe alors inutilement l'énergie sous forme de chaleur.

L'ALIMENTATION

Le courant alternatif du secteur est amené au transformateur par le fusible F1 et l'interrupteur secteur bipolaire S1. Le transformateur abaisse la dangereuse valeur de la tension du secteur de 220 V à 2×12 V, ce qui est inoffensif. Si les deux bobinages sont montés en série, cela donne évidemment 24 V. C'est S2 qui nous permet de choisir entre 12 V et 24 V. Sur le schéma nous voyons ensuite quatre diodes D1 à D4. Elles forment ce que l'on appelle un pont qui va convertir le courant alternatif en courant continu. Chacune des diodes est conductrice quand son anode (la base du triangle du symbole de la diode) est à un potentiel positif par rapport à sa cathode (la barre dans le symbole). La tension venant du transformateur change périodiquement de polarité. Si le pôle positif est en haut sur le schéma, et le pôle négatif en bas, les diodes D2 et D3 sont conductrices: de cette façon, en aval des diodes (à droite sur le schéma), le pôle positif est en haut et le pôle négatif est en bas. Quand la polarité de la tension alternative d'entrée change, ce sont les diodes D1 et D4 qui sont conductrices, mais la polarité en sortie du pont redresseur reste inchangée, ce qui est la caractéristique d'un courant continu. La figure 9b illustre l'évolution chronologique de ce courant continu.

Le condensateur électrolytique C1 lisse la tension continue issue des diodes, encore affectée par une forte ondulation résiduelle. Le condensateur se charge quand le niveau de la tension est haut, et il rend sa charge quand ce niveau baisse. Il en résulte une valeur de la tension filtrée de 17 V aux bornes du condensateur quand l'interrupteur S2 est en position 12 V et une valeur de 34 V quand il est en position 24 V. La diode électro-luminescente D5 indique en s'allumant que la tension est présente.

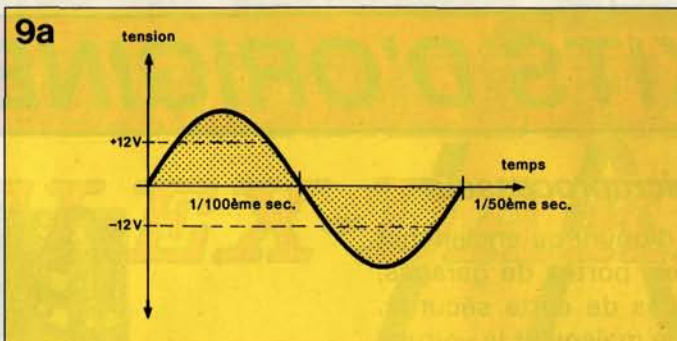


Figure 9a - La tension du secteur change de polarité 100 fois par seconde.

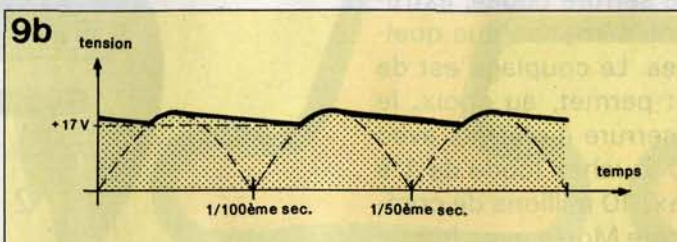


Figure 9b. Un pont redresseur inverse la polarité du courant alternatif pour chaque demi-alternance négative.

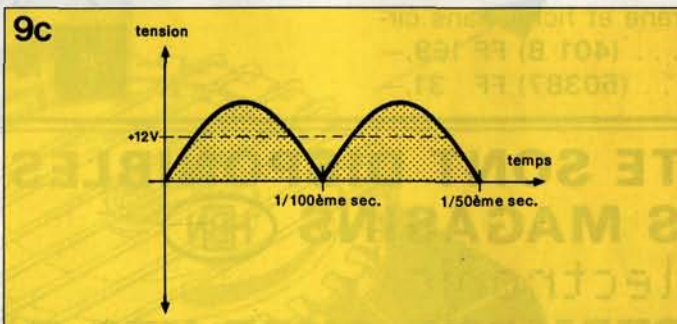


Figure 9c. Le condensateur électrolytique C1 compense la chute périodique de la tension de la figure 9b.

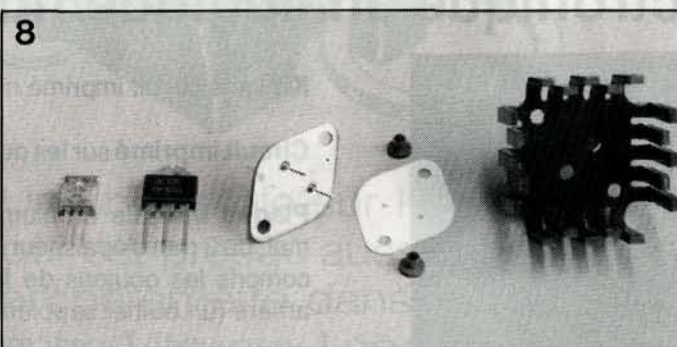


Figure 8 - Le transistor de puissance T3 dans ses trois versions différentes. À droite un refroidisseur à ailettes ("nid de cigogne") nécessaire pour le transistor en boîtier TO 3 si le circuit est monté dans un coffret en matière synthétique.

NOM	COURANT DE CHARGE	POSITION DE S3	RESISTANCE
6F22	10 mA	1	R2 = 68 Ω
R6 (AA)	50 mA	2	R3 = 15 Ω
R14 (C)	180 mA	3	R4 = 3,9 Ω
R20 (D)	400 mA	4	R5 = 1,8 Ω

Tableau 1 - La position du commutateur S3 dépend du type d'accumulateur à charger. Le tableau vous donne le courant de charge correspondant à chaque type d'accumulateur.

ELEXCUSE

elex n°1 avril 88 p 43
viva volta :
fabriquer des piles
soi-même

IMPORTANT : dans la première colonne, il faut lire Na_2CO_3 (au lieu de Na_2SO_3)!

elex n°1 avril 88 p 10
testeur de continuité

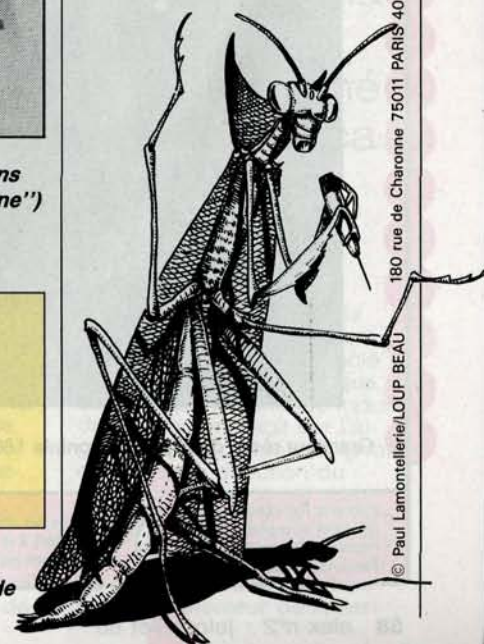
Dans l'explication du fonctionnement du multivibrateur,

■ il est évident que c'est le condensateur C1 (et non C2) qui se charge à travers la résistance R3 (au bas de la première colonne)

■ dans la deuxième colonne, il est écrit que «le condensateur C2, chargé, force la valeur de la tension de la base du transistor T1 à chuter»; on aurait pu ajouter que cette baisse de tension est due au fait que l'armature de C2 est mise à la masse par T2, lorsque celui-ci devient conducteur. On aurait aussi pu ajouter que C2 se recharge alors à travers R2. Notez que dès lors la polarité de la charge de C2 est inversée

■ fin de la deuxième colonne et début de la troisième : le transistor T1 reste bloqué jusqu'à ce que le condensateur C2 soit rechargé (et non pas déchargé).

ELEXCUSE



180 rue de Charonne 75011 PARIS 40 09 11 21
© Paul Lamontellerie/LOUP BEAU

AMPEREMETRE

'ELEX-DAKAR'*

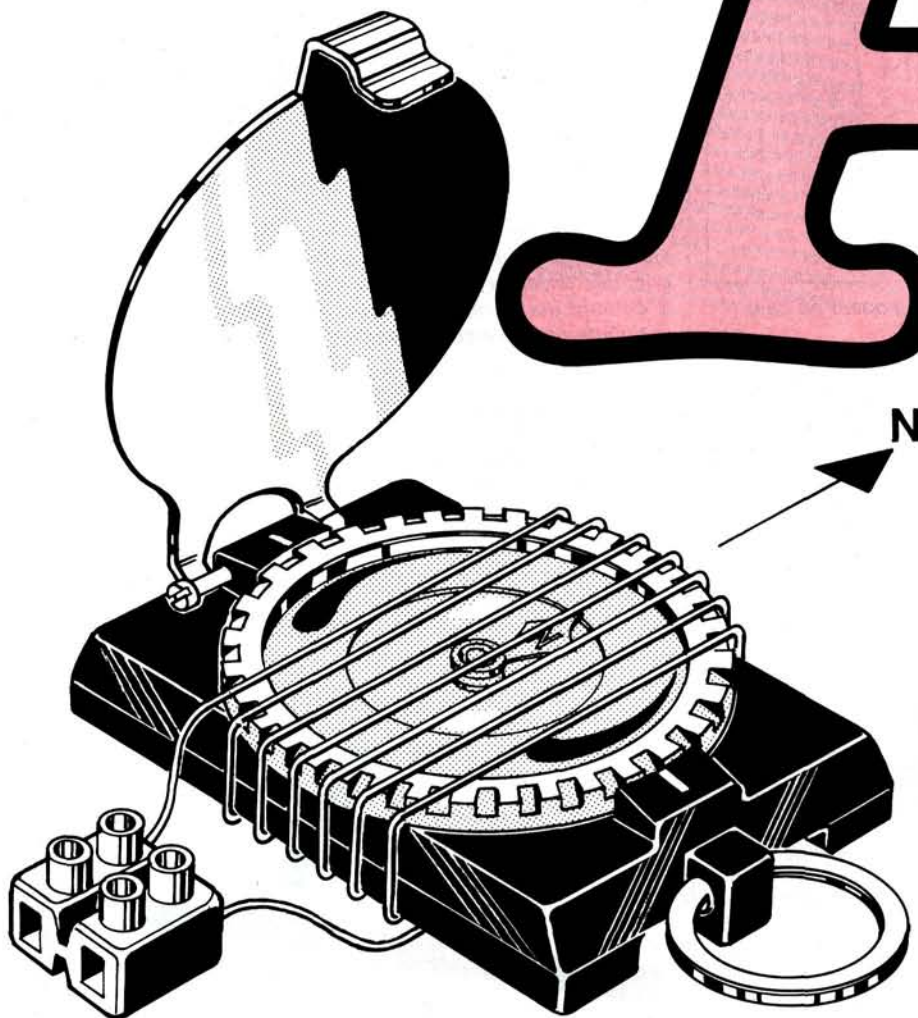


Figure 1 - L'ampèremètre de brousse est construit en deux temps et trois mouvements: il suffit d'enrouler dix spires de fil sur une boussole.

Une boussole sur l'établi de l'électronicien, voilà qui est presque aussi incongru qu'un ampèremètre dans le lit... d'un oued asséché entre Vitry-aux-Loges et Tamanrasset. Et tout ça pour mesurer des oersteds et des teslas! Bizarre, bizarre...

Amateurs d'électronique et de voyages, voyez comment vous allez pouvoir, dans les situations les plus inattendues, loin de toute civilisation (électronique), avec un équipement minimum, déterminer l'intensité et le sens de courants électriques. Pour cela il vous faudra deux accessoires: une boussole, qu'un bon globe-trotter a toujours sous la main, et environ 1,5 m de fil isolé, que la nécessité vous autorise à

prélever sur le faisceau électrique de votre quatre-quatre. Enroulez le fil autour de la boussole, en une dizaine de spires (jointives) régulières. Orientez la boussole pour faire coïncider la direction de l'aiguille avec celle du fil. Si maintenant vous faites passer un courant dans le fil, vous verrez l'aiguille dévier.

Sur notre maquette, un courant de quelque 200 mA (milliampères) provoque une dé-

viation de 60° (soit ouest-nord-ouest). Le sens de la déviation est lié à la fois au sens du courant et à celui du bobinage. Plus il y a de spires autour de la boussole, plus l'appareil est sensible. Un exemplaire comportant 36 spires (5 mètres de fil fin) accuse une déviation de plus de 60° pour un courant de 50 mA.

OERSTED ET TESLA

L'aiguille de la boussole réagit, comme nous l'avons appris à l'école, au champ magnétique terrestre: le pôle nord de l'aiguille est attiré par le pôle nord de la Terre (puisque, nous le savons aussi, le pôle nord de la Terre est un pôle sud magnéti-

que...). Un courant qui traverse la bobine formée par le fil enroulé autour de la boussole y induit un **champ magnétique**. Le champ magnétique induit dans la bobine agit sur l'aiguille de la boussole et la fait dévier de la direction du nord. La déviation est d'autant plus forte que le courant est plus intense et le nombre de spires plus important. Votre boussole est donc devenue un indicateur de l'inten-

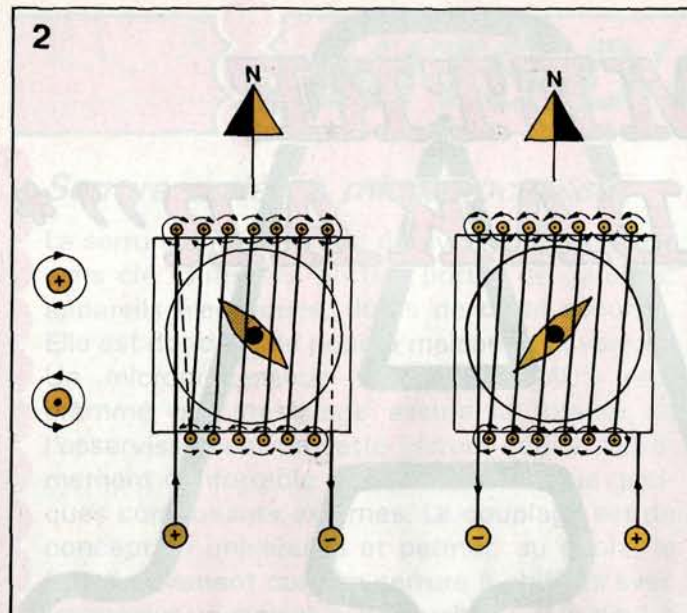


Figure 2 - Selon le sens du courant, c'est vers l'ouest ou l'est que l'aiguille de la boussole s'écarte du nord.

sité et du sens du courant: c'est ce qu'on appelle un ampèremètre. Vous pouvez étalonner votre ampèremètre de brousse en comparant ses indications avec celles d'un multimètre. A chaque angle correspond un courant défini. Le tableau 1 indique les valeurs d'étalonnage de notre montage d'essai. Malheureusement, l'ampère-

mètre de brousse ne permet pas d'effectuer de véritables mesures. Il n'est pas maniable, il n'est pas précis, mais il manque surtout de sensibilité. Dans leur fonction ampèremètre, les multimètres usuels sont de quatre mille à six mille fois plus sensibles.

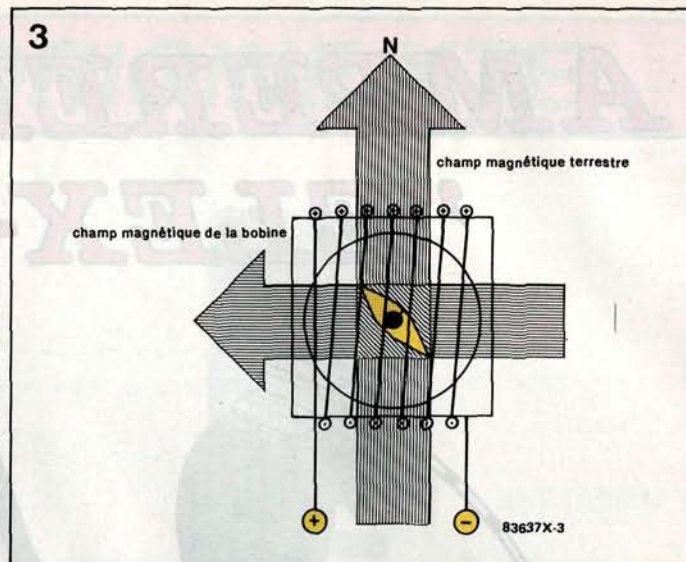


Figure 3 - L'aiguille de la boussole subit l'action du champ magnétique terrestre et celle du champ produit par la bobine. Plus le courant qui traverse la bobine est intense et plus le champ de la bobine dévie l'aiguille dans sa direction.

* Précisons que le phénomène décrit ici n'a pas été découvert dans le laboratoire d'ELEX; il s'agit en fait d'une expérience du Professeur Oersted, faite à Copenhague en 1819. L'*oersted* a d'ailleurs été l'unité d'induction magnétique, concurremment avec le gauss, jusqu'à ce qu'ils cèdent la place au tesla ($1 \text{ T} = 10000 \text{ gauss}$) dans le Système International (S.I.). Les amateurs de scrabble garderont néanmoins ce mot dans leur vocabulaire, car il est encore au dictionnaire!

angle de déviation	courant
25°	15 mA
32°	20 mA
45°	30 mA
56°	40 mA
67°	50 mA

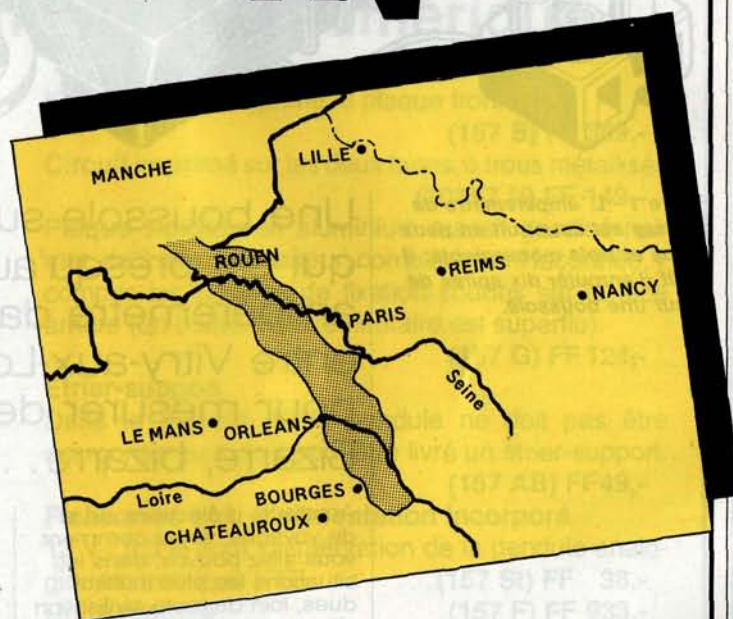
Tableau 1 - Mesures relevées la maquette construite au laboratoire d'ELEX.

ELEXPERV

A propos de magnétisme, saviez-vous qu'il existe une méthode de datation des terres cuites anciennes basée sur la magnétisme de l'argile? Sachant que la cuisson immobilise les particules magnétiques contenues dans l'argile, alors que les pôles magnétiques de la terre se déplacent à un rythme que l'on connaît, il suffit donc de procéder par comparaison de l'orientation des particules magnétiques "cuites" à celle des particules magnétiques de l'argile crue pour dater la cuisson.

A propos de boussoles, saviez-vous qu'avant de les utiliser pour la navigation, les Chinois utilisaient les aimants comme accessoires de divination? Cela s'appelait sans doute la *magnétomancie*. En tous cas, c'était il y a bien longtemps, puisque l'existence des boussoles de navigation est attestée en Chine depuis le XII^{ème} siècle.

A propos d'aiguilles de boussoles qui perdent le nord, savez-vous ce qui se passe entre Bourges et La Charité-sur-Loire? Les navigateurs et les géophysiciens ont constaté depuis longtemps qu'en certains points du globe, l'aiguille de leur boussole dévie sensiblement du nord. Les premiers poursuivent leur route après avoir effectué les corrections qui s'imposent, et les seconds cherchent à comprendre ce phénomène pour le moins intrigant. Ils supposent qu'à ces endroits, dans des couches profondes de l'écorce terrestre, se trouvent des masses de nature inconnue, susceptibles de perturber le magnétisme en surface. C'est par un forage à grande profondeur (au-delà de 3000 m) que l'on cherche à atteindre quelque chose d'anormal dans le sous-sol du Bassin Parisien, à Sancerre. Il se trouve en effet que la perturbation du champ magnétique qui s'étend sur une bande de quelques dizaines de kilomètres du sud-ouest d'Orléans à l'estuaire de la Seine pour plonger ensuite vers l'Angleterre, est la moins profonde et par conséquent la plus facile d'accès des perturbations connues.

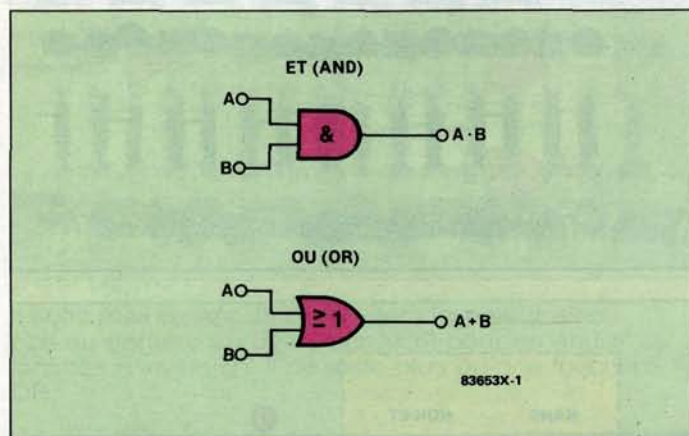


Dans un prochain numéro d'ELEX, nous vous proposerons d'aborder le passionnant chapitre du magnétisme électrique. A cette occasion, nous vous inviterons notamment à faire des magnétogrammes (???). Puis, au fil de nos explorations électroniques, nous retrouverons fréquemment la notion de champ magnétique.

la logique sans hic

2ème partie: les opérateurs NON-ET (NAND) et NON-OU (NOR)

Dans la première partie de ce cours (ELEX n°1) nous avons vu que la technique digitale connaissait trois opérations fondamentales : les opérations logiques ET (AND en anglais), OU (OR en anglais) et NON (NOT en anglais) pour l'inversion ou la négation. Ces opérations peuvent être effectuées par des circuits électroniques appelés «portes» ou «opérateurs». La figure 1 nous remet ces trois types d'opérateurs en mémoire, avec leur table de vérité. Celles-ci contiennent toutes les combinaisons possibles des entrées de chaque opérateur et donnent en regard les résultats obtenus.



Les signes "+" et "·" utilisés ici n'ont rien à voir en fait 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). Le lien entre le "+" et le "·" d'une part, et les opérations logiques qu'ils symbolisent n'est pas dépourvu de sens : si l'on prend par exemple la table de vérité de l'opérateur ET, on voit bien que 1·1 donne 1, tandis que 0·1 ou 1·0 donne 0, ce qui n'est pas faux du tout. Que le 1+1 de la table de vérité de l'opération OU donne 1 n'est pas faux, puisque nous sommes en base 2 et ne connaissons donc que le 0 et le 1. En tous cas, 1+0 est bel et bien égal à 1 !

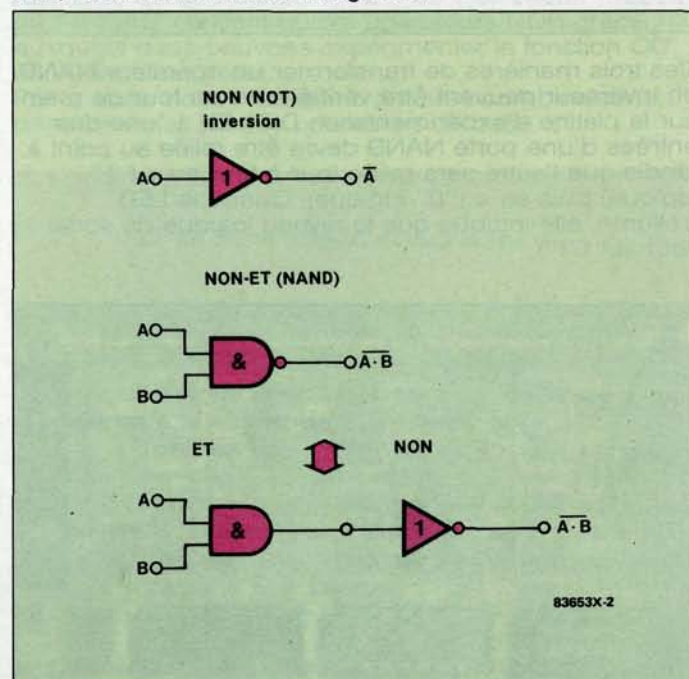
Les opérateurs logiques traitent les "1" et les "0" sous forme de tensions de 0 V ou 5 V. Ainsi, une porte OU (OR) par exemple, dont au moins une entrée est portée à un potentiel de 5 V, mettra automatiquement sa sortie au même potentiel de 5 V. Ce sont les 3 dernières lignes de la table de vérité de l'opération OU.

Vous allez pouvoir vérifier tout cela sur la nouvelle platine DIGILEX. Mais attention : en fait, il n'y a, sur cette platine, ni opérateur ET, ni opérateur OU, ni opérateur NON ! Que faire alors ?

Il y a 2 possibilités : la première consiste à acheter un circuit intégré comprenant des opérateurs ET (AND), un circuit intégré avec des opérateurs OU (OR) et enfin un circuit avec des opérateurs NON, c'est-à-dire des inverseurs (les références de ces circuits apparaissent sur la figure 9), pour les implanter à la place des circuits prévus, qui sont en fait des portes NAND. La deuxième possibilité consiste à s'intéresser de plus près aux portes NAND pour vérifier si elles ne pourraient pas servir aussi !

Au fait, c'est quoi ces portes NAND ? D'où vient ce mot ?

Il s'agit de la contraction des mots anglais NOT et AND, c'est-à-dire de NON et de ET ; une porte NON-ET combine les fonctions ET et NON en une seule opération, comme le montre la figure 2.

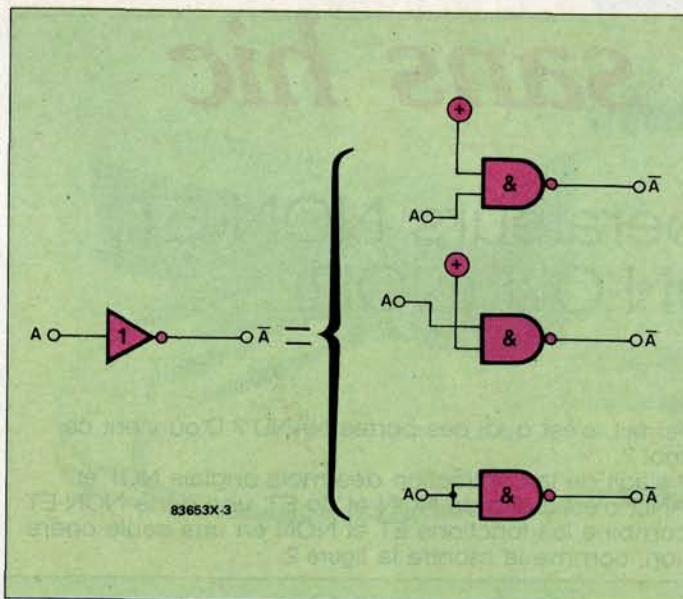


La table de vérité de l'opération NON-ET (NAND) pourra être déduite facilement de celle de l'opération ET (AND) :

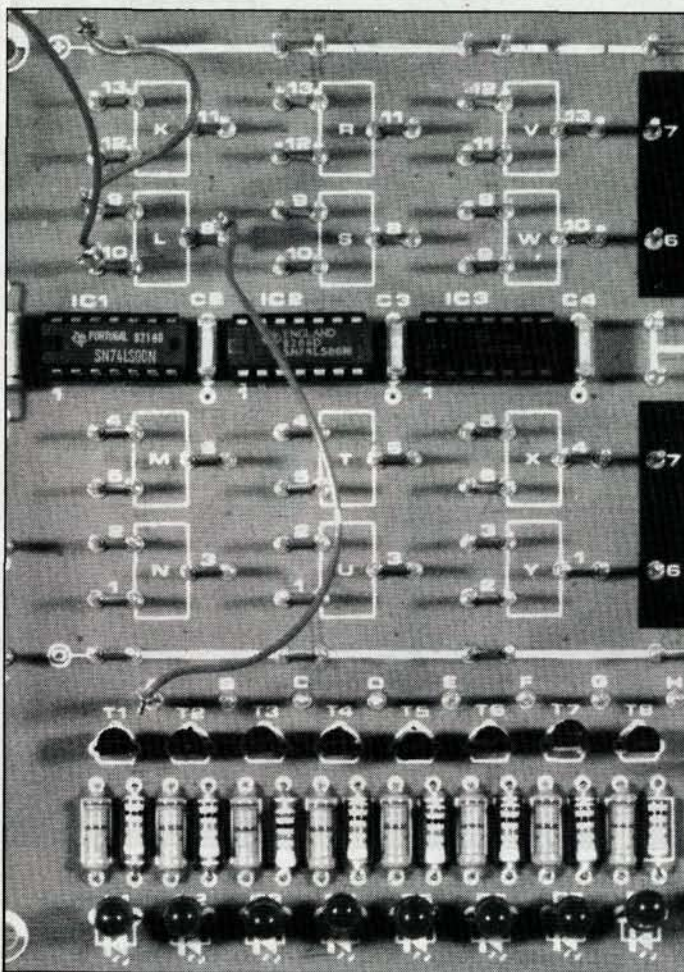
Tableau 1

A	B	ET A·B	NON-ET A·B-bar
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

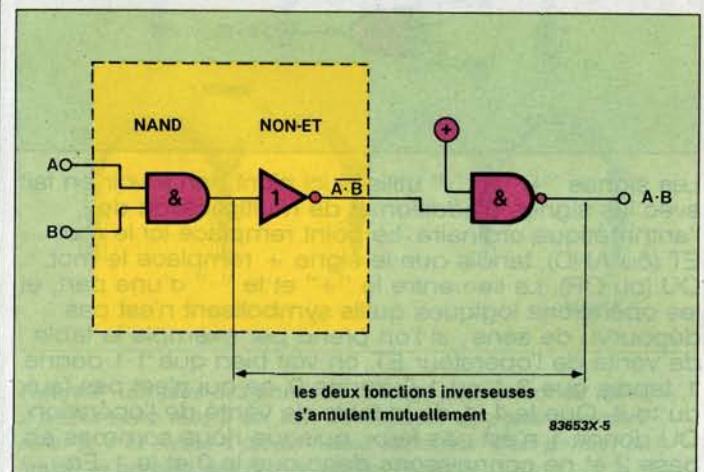
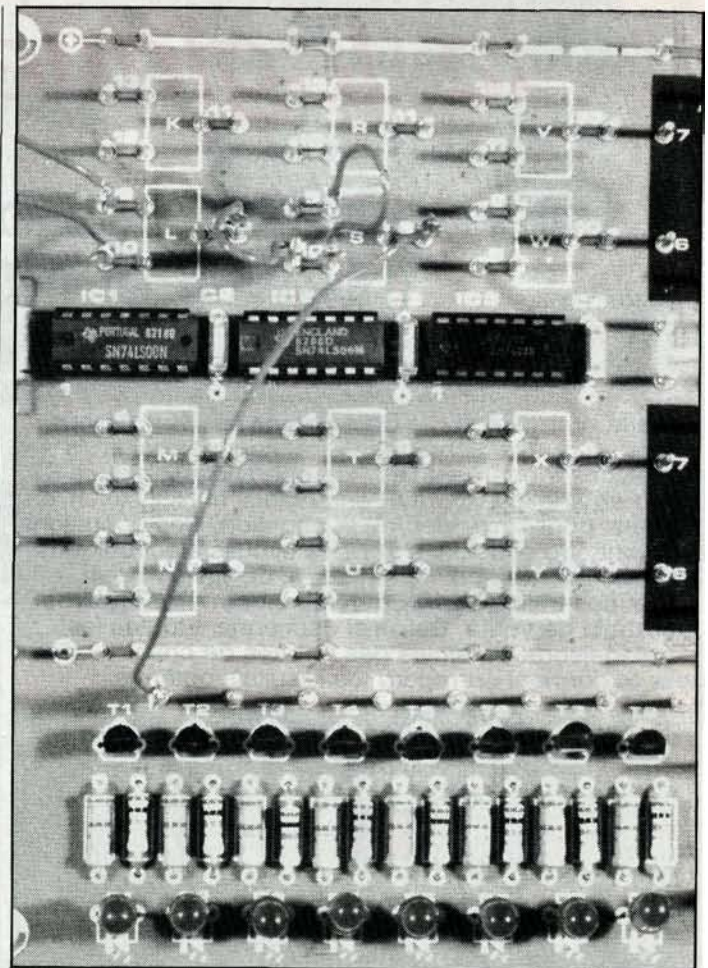
Examinons de plus près les deux dernières lignes. Dans les deux cas, l'entrée A est à "1", tandis que le niveau de l'entrée B se retrouve inversé sur la sortie $A \cdot \bar{B}$. En d'autres termes, quand la tension d'alimentation de 5 V est appliquée à l'entrée A, l'opérateur NON-ET se comporte en inverseur. L'inverse est vrai : si c'est l'entrée B que l'on force au niveau "1" en la reliant à une ligne véhiculant 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.



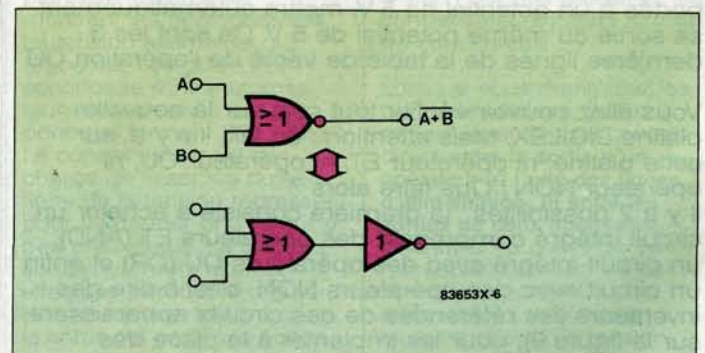
Ces trois manières de transformer un opérateur NAND en inverseur peuvent être vérifiées en un tour de main sur la platine d'expérimentation DIGILEX. L'une des entrées d'une porte NAND devra être reliée au point $\oplus$, tandis que l'autre sera reliée tour à tour au $\oplus$ ("1" logique) puis au $\ominus$ ("0" logique). Quand la LED s'allume, elle indique que le niveau logique de sortie est haut ("1").



L'inverseur ainsi obtenu va nous servir immédiatement : nous allons le connecter derrière un autre opérateur NON-ET (NAND), de telle façon que les deux fonctions d'inversion s'annulent mutuellement. Ce qui reste de la combinaison NON-ET-NON est une fonction ET. Comme on le voit, l'opérateur NAND est vraiment universel.



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.

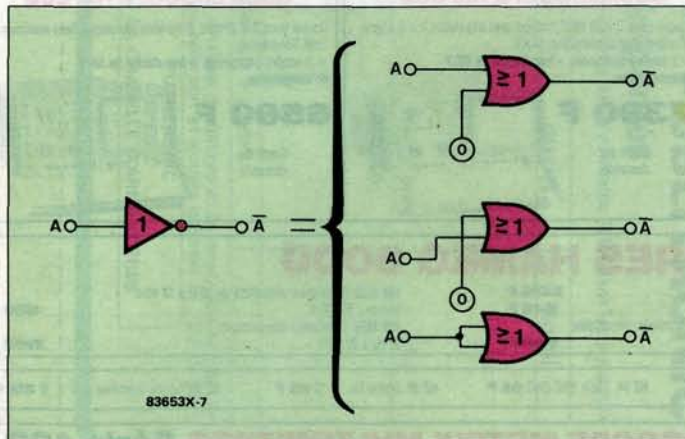


La table de vérité de l'opération NON-OU (NOR) pourra être dérivée de celle de l'opération OU (OR) par simple inversion du résultat :

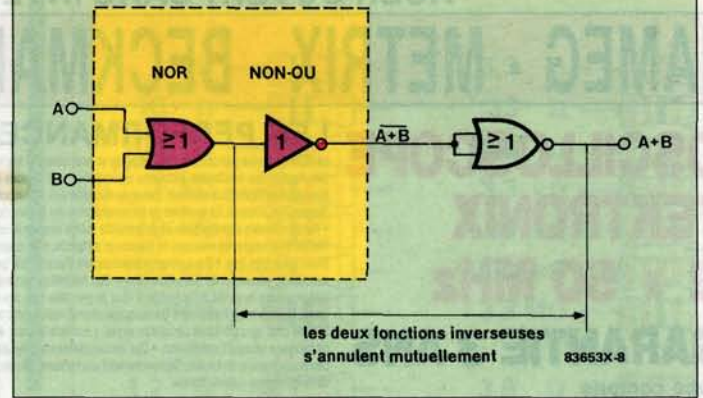
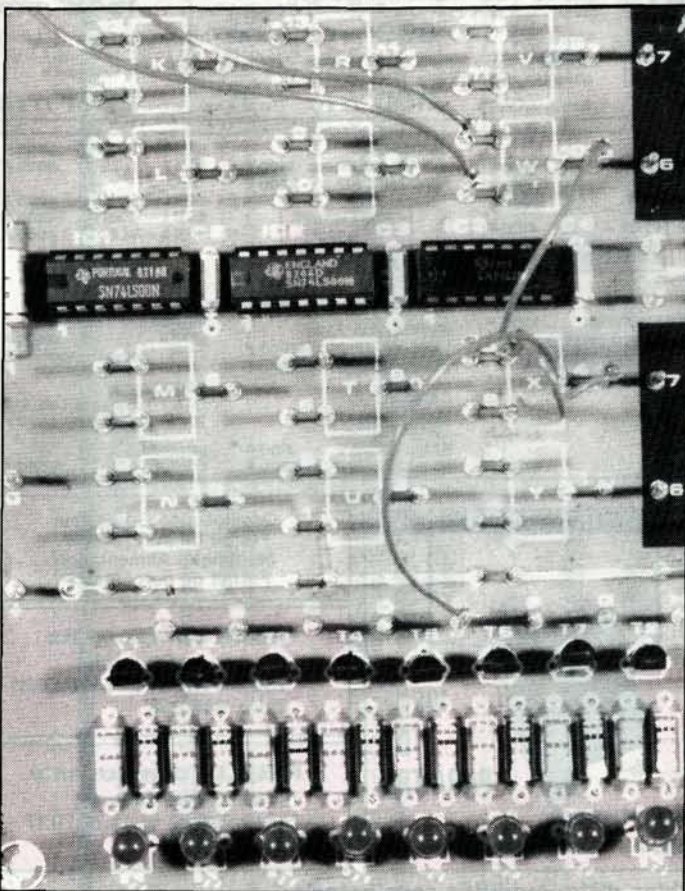
TABLEAU 2

		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

On devine déjà que 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 reliée au potentiel négatif de l'alimentation (les trois premières lignes de la table de vérité le montrent).



Il suffit maintenant de connecter l'inverseur ainsi obtenu derrière un opérateur NOR pour en annuler la fonction d'inversion. Il ne reste plus qu'une fonction OR.



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. Il s'agit du support pour IC3, avec les opérateurs V, W, X et Y. Le circuit 74LS02 ou 74HCT02 contient quatre opérateurs NOR grâce auxquels nous pouvons expérimenter la fonction OU et NON-OU en détail. Par la suite, nous étudierons d'autres combinaisons passionnantes de ces opérateurs de base.

