

# DES MUSCLES POUR MOTORISER LE MICRO-ORDINATEUR

Les circuits logiques ont cet immense avantage de travailler selon des niveaux de tension et des courants homogènes. Hélas trop faibles pour agir efficacement sur le monde « réel » !

Pour agir, toute cervelle a besoin de muscles. Voyons donc quelques moyens simples de « motoriser » un ordinateur...

## Puissance = courant

Dans le monde de l'électronique, qui dit forte puissance dit courant électrique notable. C'est-à-dire (beaucoup) plus que les quelques mA que savent drainer les circuits TTL ; sans parler des bien faibles C.MOS.

La commande de charges importantes passe donc par une amplification ; en d'autres termes, il faut à la logique des interfaces « de puissance » qui sont aux signaux logiques ce que sont les muscles aux stimuli du système nerveux.

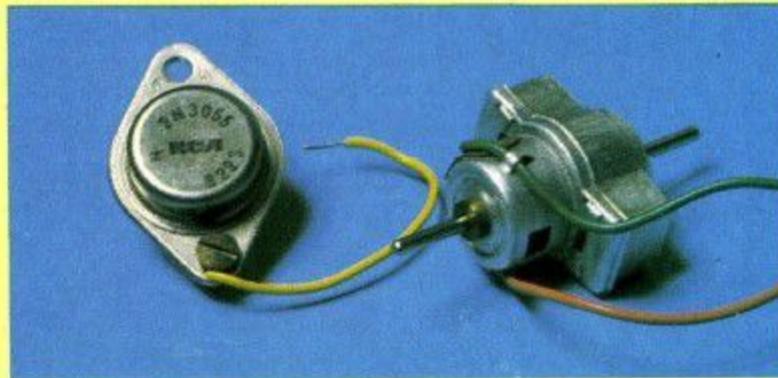
Dans ce domaine, pas de miracle : les transistors de puissance sont de gros transistors. Le morceau de semi-conducteur par lui-même n'est pas énorme, mais il va être parcouru par un fort courant et par conséquent, chauffer.

D'où des boîtiers adaptés à la dissipation thermique ; soit avec une lame de métal solidaire de la capsule, soit sous un capot métallique massif (fig. 1).

## « Le » 3055

Aussi connu que le 2N2222 « tous usages » en basse puissance, le 2N3055 est l'enfant chéri des électroniciens dès qu'il faut piloter des courants forts. Changement de décor : on parle désormais en ampères.

Son boîtier comporte deux broches seulement, car c'est le capot de métal tout entier qui sert de troisième contact (collecteur). C'est un NPN, comme le



Dans nos expériences, le moteur a permis de démontrer une partie des capacités du 2N3055.

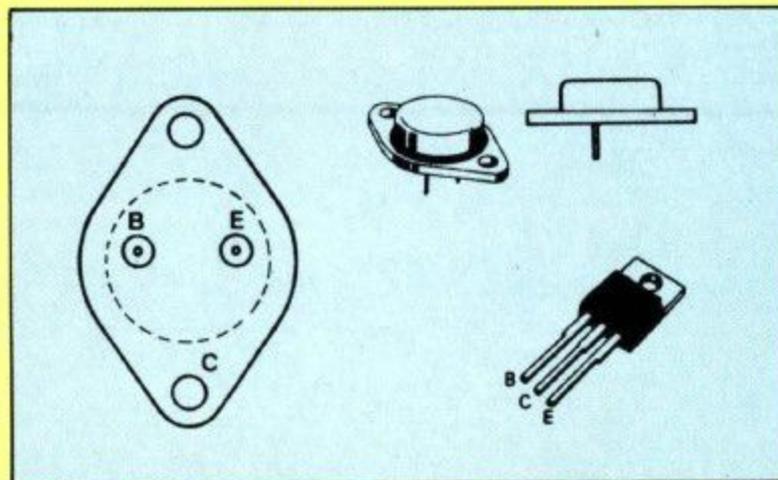


Fig. 1. - Aspect familier des transistors de puissance avec une patte métallique ou un capot, aménagés (avec trous pour fixation vissée) de telle sorte qu'ils puissent dissiper la chaleur efficacement. On les monte généralement sur des parois métalliques ou des radiateurs. Le classique 2N3055 se rencontre dans les deux habillages.

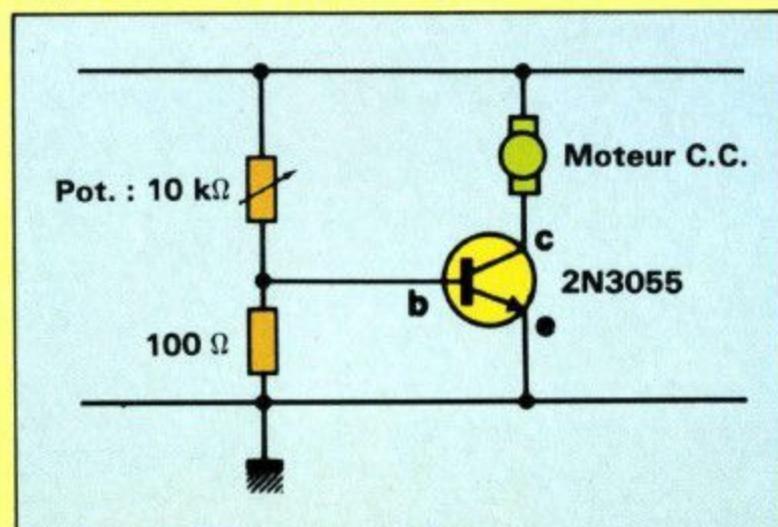


Fig. 2. - Expérience de base : on mesure 500 Ω environ sur le potentiomètre, au point où le moteur commence à « tourner ». On observe ainsi le « gain » de 100 : il faut environ 10 mA de courant vers la base, pour établir un courant de 1 A environ via le collecteur.



Le classique 2N3055 toujours d'actualité.

2N2222 de nos premières Fiches ; c'est-à-dire qu'il est activé par un apport de courant sur sa base.

Son gain dans les applications courantes est de l'ordre de 50 à 100 %, c'est-à-dire que le courant apporté à la base pilote entre collecteur et émetteur est un courant cent fois plus élevé.

Nous allons apprécier les ordres de grandeur en faisant tourner, sous contrôle du transistor en question, un petit moteur à courant continu. Dans ce premier montage très simple (fig. 2), c'est un potentiomètre monté en pont avec 100 qui commande le courant de base du 3055.

## Démarrage

Un moteur électrique combine aimants permanents, bobinages, contacts glissants, un axe frottant sur des paliers... tout ce que l'on veut sauf un composant aux propriétés simples.

Il faut vaincre des frottements pour faire démarrer le moteur : on pousse le potentiomètre jusqu'à une résistance assez faible pour « saturer » le transistor. On peut ensuite revenir en arrière pour trouver le point où le moteur s'arrête presque (il suffit de deux ou trois manœuvres pour trouver ce point sensible).

Démontant alors le potentiomètre, on mesure avec le contrôleur 500 Ω environ. Il faut donc injecter quelques milliampères dans la base pour établir un courant-moteur de l'ordre de 100 mA (minimum).

On n'oubliera pas de déconnecter le moteur dès que la manipulation est finie, car il viendrait vite à bout de nos petits bâtons au cadmium-nickel !

## Un commutateur électronique

Nous pouvons dès lors prévoir le fonctionnement du montage d'expérience de la figure 3, où le 2N3055 est commandé par la sortie d'un inverseur 74LS04 ; souvenons-nous de la structure de l'étage de sortie d'un tel circuit intégré.

L'un ou l'autre des deux transistors Q<sub>1</sub> ou Q<sub>2</sub> est saturé. Si c'est Q<sub>1</sub> (sortie

à « 1 », on a *grosso modo* en série les 120  $\Omega$  internes de l'inverseur et les 100  $\Omega$  de limitation : la base du 2N3055 reçoit bien assez de courant pour qu'il soit saturé à son tour. En revanche, si Q<sub>2</sub> est saturé et Q<sub>1</sub> bloqué (sortie à « 0 »), il ne circule aucun courant dans cette même base, et le transistor de puissance est bloqué.

On peut voir le montage comme un commutateur électronique commandé par le niveau logique d'entrée de l'inverseur. Attention ! tout commutateur a ses limites, et celui-là ne saurait couper plus de 3 A sans devenir successivement chaufferette, puis fumigène, puis plus rien...

### La diode de sécurité

Le montage pratique comporte une diode 1N4003 montée en parallèle avec le moteur, en sens inverse de l'alimentation.

Cette diode est visiblement inopérante en fonctionnement théorique, puisqu'elle est bloquée par la tension d'alimentation de sens contraire.

Il s'agit d'une précaution « d'ingénieur » contre les courants inverses qu'est susceptible d'engendrer n'importe quel bobinage...

Les phénomènes d'auto-induction, *self-induction* ou en abrégé : **self** pour les initiés, interviennent peu en logique électronique, alors qu'il sont essentiels en radio, TV, etc. Sauf si on associe des bobinages à des montages logiques. C'est le cas avec notre moteur (fig. 4) ou avec des relais électromécaniques.

### Le courant retardé...

Sans faire ici la théorie de l'électromagnétisme, on peut décrire qualitativement ce qui se passe quand on fait varier le courant dans un bobinage.

Magnétisme et électricité sont deux aspects d'un même phénomène physique, et la Nature « troque » volontiers l'un contre l'autre : une variation du champ magnétique induit du courant dans un conducteur, tandis qu'une variation du courant dans un conducteur induit une variation du champ magnétique environnant.

Les bobinages de fil qui comportent les électro-aimants, relais, moteurs de toutes espèces vont de ce fait s'opposer aux variations du courant qui les parcourt.

Lorsqu'on établit le courant, il n'y a que demi-mal : la montée du courant induit du champ magnétique, qui induit en retour un courant qui s'y oppose. Le bilan est un retard du courant dans le bobinage par rapport à la tension ap-

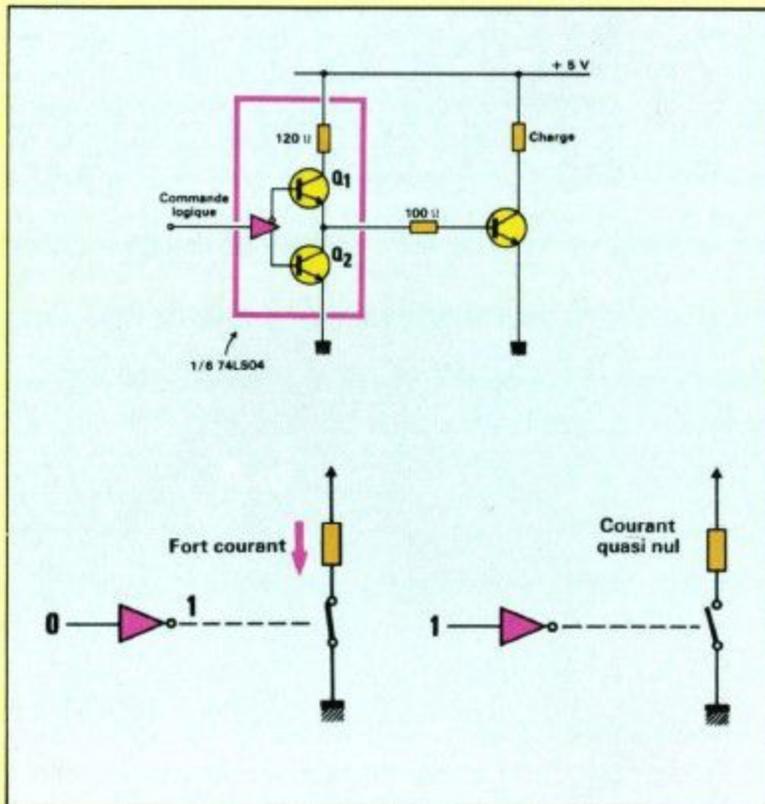


Fig. 3. - Avec le même niveau d'alimentation, on peut piloter le 2N3055 via un simple inverseur usuel. L'ensemble se comporte comme un commutateur tout électronique.

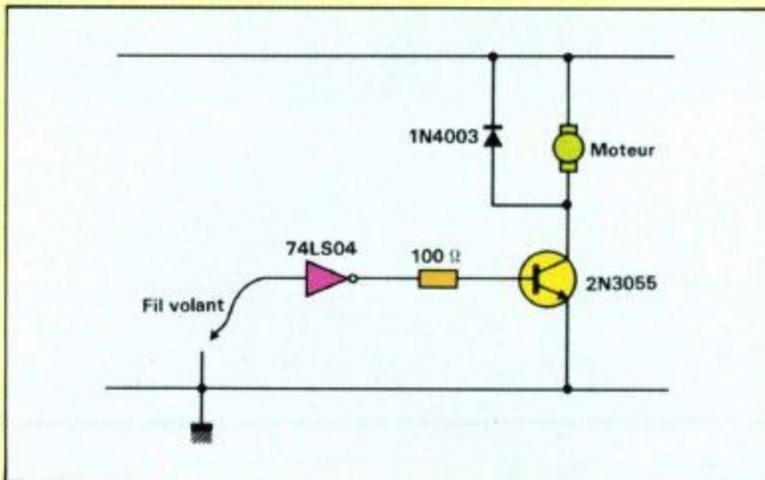
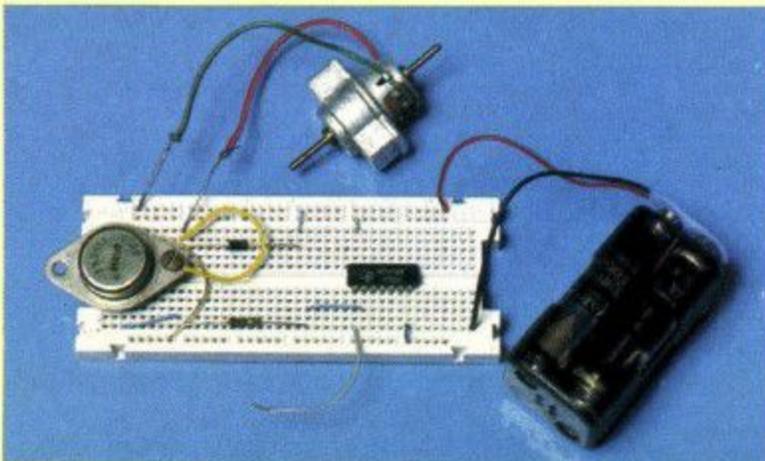


Fig. 4. - Sur ce schéma, la diode 1N4003 (donnée pour 1 A et 60 V maxi) encaisse les courants de rupture issus des bobinages du moteur. Le moteur se met en marche quand on connecte à la masse l'entrée de l'inverseur de commande.



Réalisation pratique : outre le 2N3055, on distingue aisément les autres composants : diode, résistances et le circuit 74LS04, ainsi que le fil volant qui, relié à la masse, provoque le démarrage du moteur.

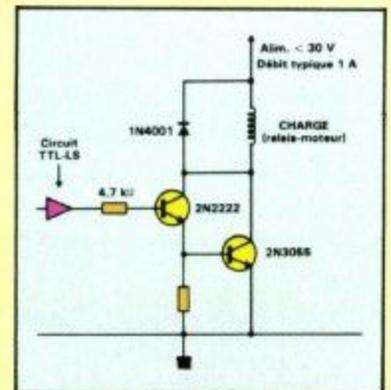


Fig. 5. - Lorsque la charge demande une alimentation de tension supérieure à la logique de commande, on monte en « relais » un transistor auxiliaire. Ici, un 2N2222 va fournir le courant de base désiré au transistor de puissance.

pliquée. En somme, le contraire de l'effet d'une capacité, qui admet le courant maxi au début de sa charge.

### ... et le choc en retour

Les phénomènes les plus dangereux surviennent lorsque l'on coupe la source de courant. Par exemple, lorsque l'on arrête le moteur avec un commutateur.

En effet, c'est alors la totalité de l'énergie emmagasinée par le bobinage qui est disponible, pour s'opposer à cette variation abrupte du courant... en développant une tension inverse. En d'autres termes, le bobinage cherche à débiter l'énergie électromagnétique stockée en excédent (pas toute l'énergie, car une partie a été utilement transformée en mouvement !).

Regardez le schéma : si la diode n'est pas là où elle est montée, le seul chemin pour ce véritable choc en retour, c'est précisément l'élément « noble », le transistor de puissance, qui risque d'être dangereusement attaché à rebrousse-poil...

La diode va donc absorber les excédents d'énergie que le bobinage rejette en sens inverse du courant de commande. Il s'agit de courants très fugitifs mais relativement forts ; on prévoit donc des diodes capables d'au moins 1 ampère en service continu, et plusieurs ampères par brèves impulsions.

### Changement de tension

Nous n'aborderons pas ici les problèmes de changement de tension en détail.

La figure 5 donne un montage courant pour commuter une charge travaillant sous 30 V ou moins, à titre indicatif. Il sera utile, par exemple, pour commander des éléments alimentés par la batterie d'une voiture (12 V couramment) à partir d'un montage logique.

# ISOLEMENT ET RELAIS

Il y a des motifs techniques pour isoler électriquement les logiques de commande, d'une part, et les amplificateurs de puissance, d'autre part.

Il s'agit de protéger la logique contre le « monde extérieur ».

On utilise, à l'inverse, les mêmes méthodes en électronique médicale... pour isoler le malade de l'électronique !

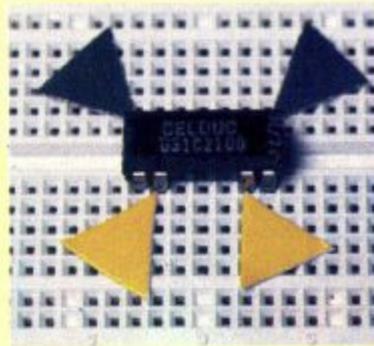
## Quel isolement ?

Préoccupation constante de l'électronicien (et parfois cauchemar), l'isolement des équipements entre eux répond à des impératifs extrêmement variés. Et parfois contradictoires.

Il s'agit **prioritairement** de protéger les usagers contre les chocs électriques.

De ce point de vue, l'appareil idéal est le poste de radio marchant sur piles ; il n'est pas relié au secteur, et ne peut engendrer aucun courant ni tension dangereuse à partir de ses piles. Quand ce n'est pas possible, on s'efforce d'isoler efficacement les parties accessibles à l'utilisateur.

On souhaite également protéger les électroniques « sensibles » contre les agressions, telles les décharges élec-



Un relais Reed en boîtier DIL.

trostatiques si fréquentes avec nos matériaux et textiles synthétiques. Combien de micro-ordinateurs sont frappés d'amnésie lorsque l'on approche de leur clavier avec une bonne charge : quelques milliers de volts en pointe, et adieu les états logiques !

## Le « vieux » relais

Toujours d'actualité après plus d'un siècle de bons et loyaux services, le **relais** électromécanique reste un excellent moyen de séparer le courant de commande du courant d'utilisation.

Sa version la plus moderne comporte une ampoule de verre où les contacts sont solidaires de lames métalliques souples ; d'où le sigle ILS (Interrupteur à Lames Souples, fig. 6). Si un champ magnétique axial est créé, les deux lames tendent à s'aligner, créant le contact. Les lames sont isolées dans une ampoule de verre.

On utilise pour ce faire un aimant (cas des contacts pour systèmes d'alarme, solidaires des portes et fenêtres), ou bien un bobinage autour de l'ampoule.

Le tout est disponible dans des boîtiers de mêmes dimensions que les circuits intégrés, pour faciliter le montage en cohabitation avec des circuits logiques.

## Commande du relais

La commande d'un relais ne présente aucune difficulté, puisqu'il s'agit simplement d'établir ou de rompre du courant dans le bobinage. Certains modèles sont spécialement adaptés à

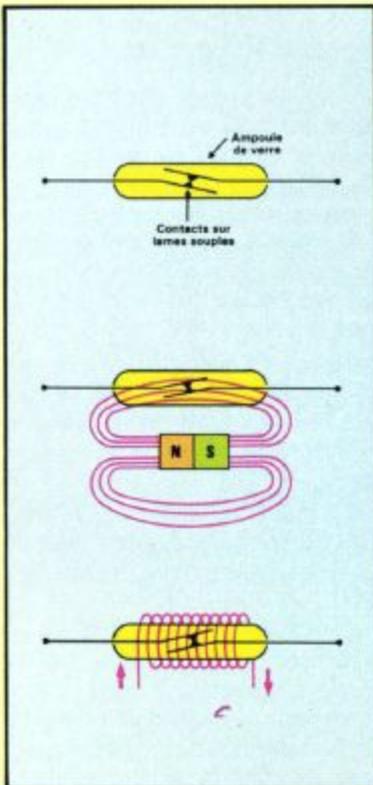


Fig. 6. - Le contact ILS, avec ses deux lames souples dans une ampoule de verre ; ces contacts sont ainsi isolés du dehors, et de plus placés dans un gaz inerte de façon à ne pas « brûler » avec les étincelles de contact. Le contact est aussi bien établi en approchant un aimant, qu'en créant un champ magnétique avec un bobinage : il constitue alors un relais.

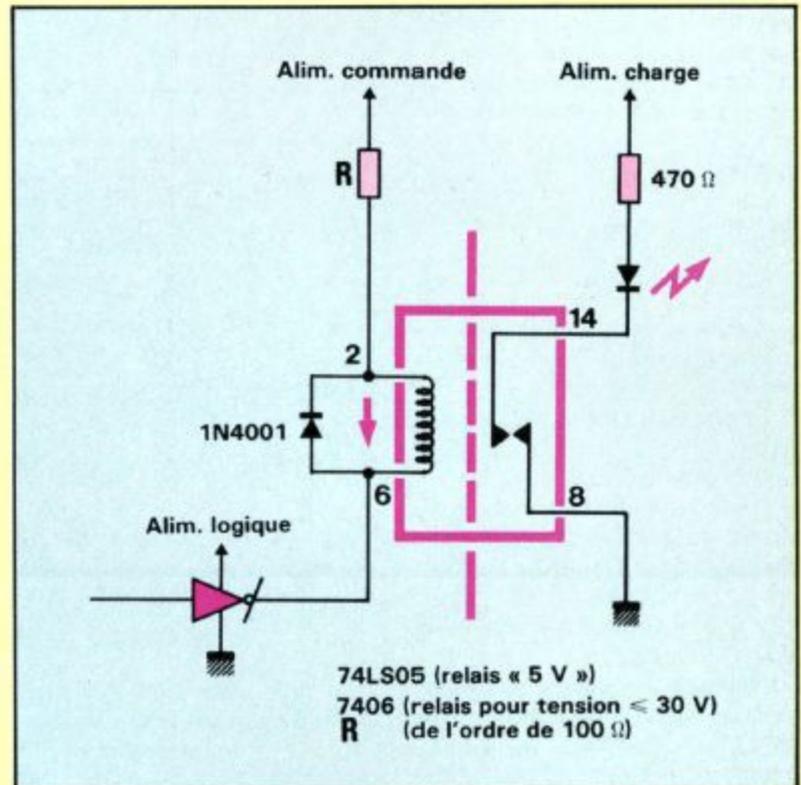


Fig. 7. - Commande classique d'un relais Reed (ILS + bobinage sous capot de circuit intégré). Un inverseur à collecteur ouvert « colle » le relais par appel de courant. Pour le montage d'expérience, on utilisera la même alimentation pour les trois étages, avec une « charge » constituée d'une simple LED.

Le relais est « carrossé » comme un circuit intégré auquel il manque un certain nombre de pattes ; la numérotation des broches s'effectue comme si elles y étaient toutes !

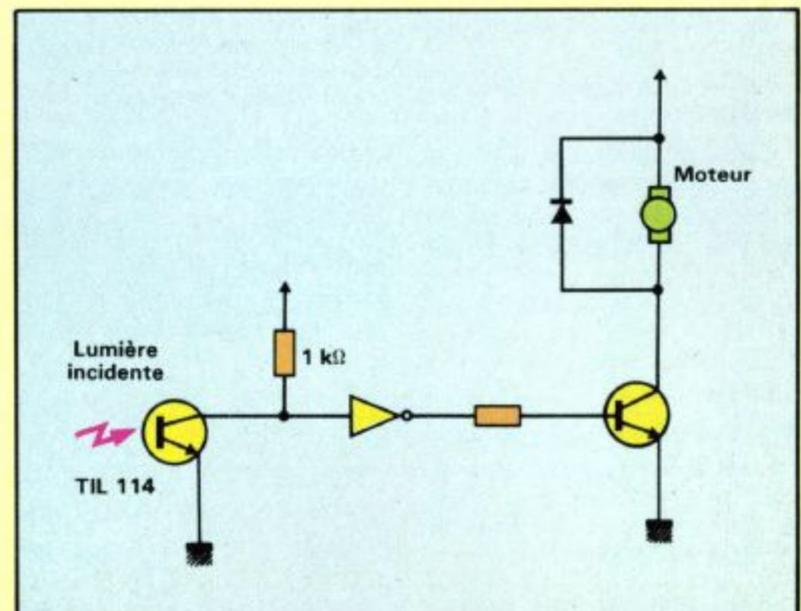


Fig. 8. - Utilisation d'un phototransistor comme le TIL 114 comme élément de commande du moteur ; le reste du montage est tel qu'à la Fiche 11A. Le moteur démarre sous une lampe de bureau, au soleil...

la commande par la logique habituelle : il suffit de quelques milliampères sous 5 V (fig. 7).

En ce cas, on peut activer le bobinage par un simple circuit à collecteur ouvert tel que le 74LS05. Une précaution que nous connaissons depuis la Fiche précédente : une diode anti-retour ; tellement classique que bien des fabricants l'intègrent dans le boîtier du relais.

Si le relais demande une tension d'excitation supérieure, on utilisera un composant comme le 7406, inverseur à collecteur ouvert particulièrement conçu pour couper des tensions jusqu'à 30 V, avec des courants de l'ordre de 40 mA.

### Séparation des alimentations

Le schéma illustre les différentes séparations possibles entre alimentations :

- l'alimentation des circuits logiques, typiquement 5 V avec une régulation fine de l'ordre de 5 % ;
- l'alimentation des circuits de commande, qui peut être différente et régulée avec moins d'exigence ;
- l'alimentation de la charge, précisément celle que l'on sépare des précédentes via le relais.

L'isolation n'est complète qu'entre entrée et sortie ; si elles sont de tensions et/ou de qualité différentes, les tensions de logique et de commande ont nécessairement une référence (masse) commune.

### Le phototransistor

Nous avons eu recours à un champ magnétique pour « couper les contacts » entre logique de commande et dispositif commandé.

Il existe une alternative : le couplage par la lumière.

On sait fabriquer de la lumière en agitant les électrons dans la jonction d'une diode LED. Réciproquement, on peut créer du courant dans la base d'un transistor, en l'arrosant de lumière ! Bien des amateurs ont découvert que la plupart des transistors, privés de leur capot, se mettent à conduire sous un éclairage suffisant.

On fabrique des phototransistors qui sont spécialement conçus en ce sens ; notamment, un grand nombre sont ultra sensibles au rayonnement infrarouge (non visible).

Si l'on veut expérimenter avec un phototransistor très courant comme le TTL 114 qui est encapsulé comme une LED, il suffit de reconstituer le montage

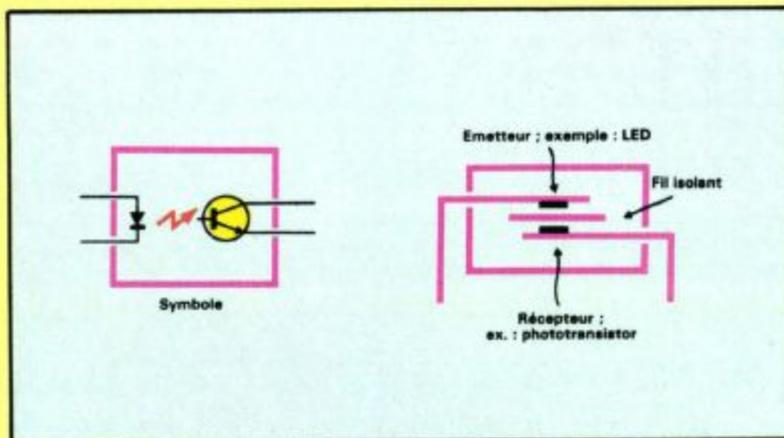


Fig. 9. - Un émetteur de lumière (LED) et un récepteur (phototransistor), encapsulés ensemble et isolés par un film transparent. Ils constituent un photocoupleur.

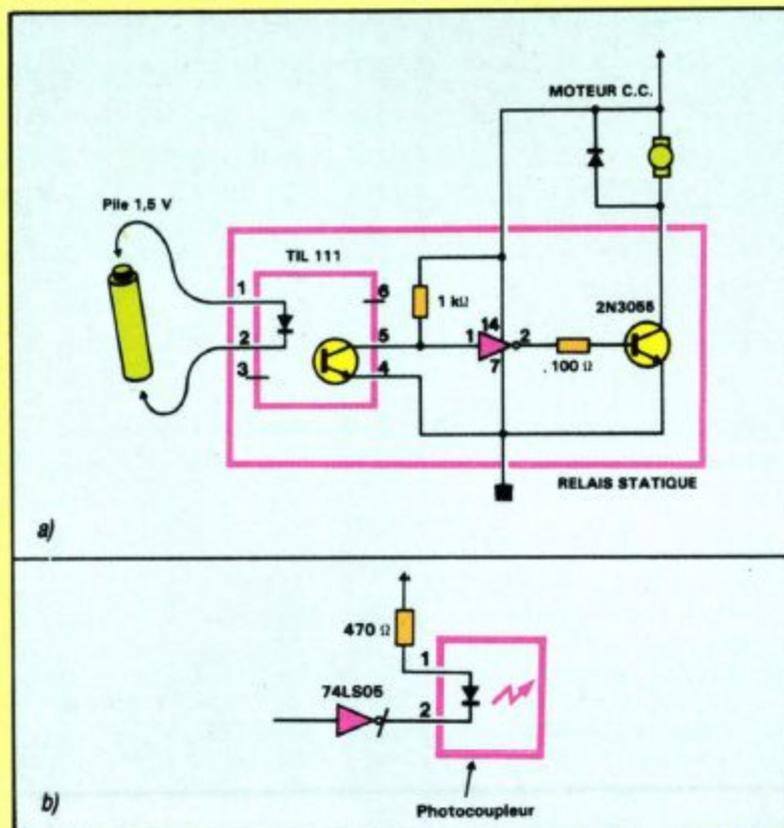
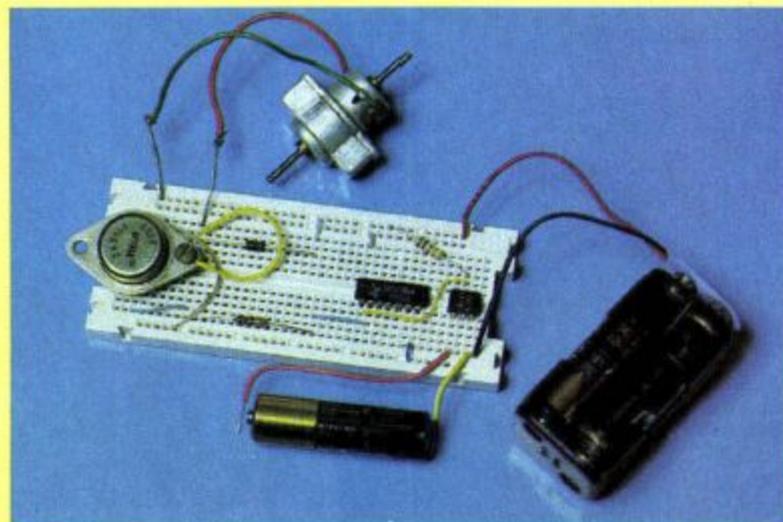


Fig. 10. - Le photocoupleur remplace le phototransistor de la figure 8 ; c'est lui qui assure l'isolement entre commande et utilisation. Le contour fait ressortir l'analogie fonctionnelle avec le relais de la figure 7 ; d'où l'appellation « re-statique ». En 10a, on commande le moteur par une pile pour illustrer l'isolement entrée/sortie ; on peut aussi commander la LED comme d'habitude (10b).



de commande de moteur de la Fiche 11A. A cette différence près que c'est le phototransistor qui intervient dans l'entrée de commande (fig. 8).

### Le photocoupleur

Le fonctionnement est d'une extrême simplicité : dans la pénombre, le phototransistor est bloqué, donc l'entrée à « 1 » (rappel par la 1 k $\Omega$ ) ; par conséquent, le moteur est arrêté. Si l'on approche une lampe ou si l'on met le montage au soleil, le phototransistor conduit, d'où « 0 » sur l'entrée et le moteur tourne.

Vous pouvez ainsi commander l'arrêt/marche du moteur, par exemple, avec l'interrupteur de votre plafonnier.

Le composant appelé photocoupleur ou optocoupleur est tout simplement un boîtier où l'on a enfermé :

- une diode LED,
  - un phototransistor,
- séparés par une mince couche de matériau transparent ; par exemple, du Téflon (fig. 9).

Ainsi se trouvent réunis, couplés par une émission lumineuse qui reste confinée dans le boîtier, une source de photons (LED de commande) et le phototransistor (commutateur commandé).

### Le relais statique

Avec un photocoupleur très usuel comme le MCT-2 ou le TIL-111, on réalisera un montage comme à la figure 10, où on l'a simplement substitué au phototransistor du montage précédent.

La diode interne du photocoupleur se commande comme les LEDs usuelles ; 10 à 20 mA sous une tension de l'ordre de 1,5 V. Pour illustrer l'indépendance des alimentations en amont et en aval du composant, on vérifiera que l'on met en marche le moteur en reliant une simple pile de 1,5 V à ladite diode.

On peut aussi commander cette entrée par un montage pilote à base de porte à collecteur ouvert, comme indiqué.

Dans tous les cas, on constitue un bloc électronique qui a exactement la même fonction que le relais électromagnétique de tout à l'heure. Ce genre de montage avec un photocoupleur plus un amplificateur est souvent appelé relais statique ; par opposition aux relais qui comportent une pièce mécanique mobile.

Les Anglo-Saxons parlent de *solid-state relay*, littéralement : relais à l'état solide. En effet, rien ne bouge dans cet ensemble de cristaux et de fils. Rien, sauf des courants...

# THYRISTORS ET TRIACS : OUVREZ LE FEU !

**Le courant que l'EDF livre à domicile est alternatif et de haute tension : pas grand-chose à voir avec l'alimentation de la logique. Pourtant, d'astucieux sandwiches de semi-conducteurs permettent à de tout petits signaux de commuter ce courant, et sans lésiner sur la puissance !**

## 4 couches

Le composant clé pour la commande du courant alternatif tel que notre 220 V domestique se compose de quatre couches alternées de semi-conducteurs, dopées PNP (fig. 11).

Outre les deux connexions d'extrémité que l'on appelle **anode** et **cathode** par analogie avec celles des diodes, une troisième nommée **gâchette** (*gate* en anglais) est reliée à la couche « P » intermédiaire.

On peut voir ce composant comme une diode en série avec un transistor ; il est « évident » alors que l'ensemble sera conducteur dès lors que l'on apportera un peu de courant à la base du transistor NPN, alias gâchette.

## Auto-entretien

Ce qui est bien moins évident, et plus difficile à décrire physiquement, c'est que l'ensemble va **continuer à conduire** même si on supprime le courant de gâchette !

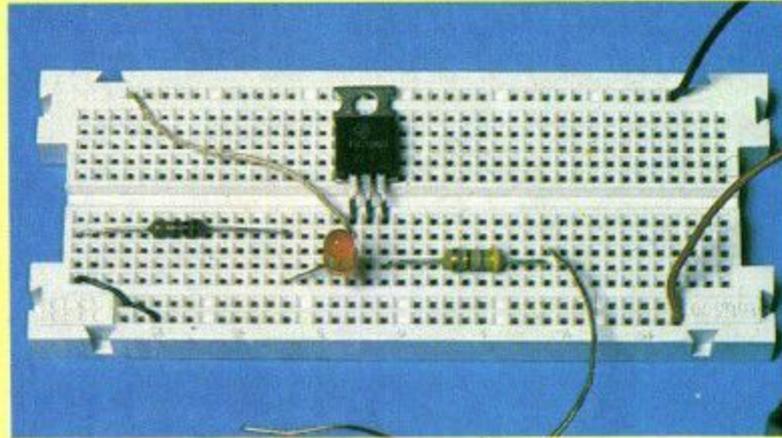
*Grosso modo*, on peut alors voir le sandwich comme la combinaison de deux transistors PNP et NPN « superposés », et dès lors qu'un courant s'est établi, leurs bases respectives (les couches N et P intermédiaires) ont le courant qu'il faut pour entretenir la conduction (\*).

Plus précisément le **thyristor**, pour l'appeler par son nom technique, restera conducteur aussi longtemps qu'il y circulera **assez de courant**. En dessous d'un certain minimum, les pseudo-transistors se bloquent et l'ensemble ne conduit plus.

## Allumage...

Les thyristors du commerce sont présentés dans les mêmes conditionnements que les transistors, avec leurs trois connexions ; celui que nous utiliserons est un TIC126, encapsulé dans un boîtier plat avec une patte métallique propre à une fixation sur radiateur

(\*) Un peu tiré par les cheveux ? Pas tant que cela : la vraie explication est très voisine de cette image intuitive.



Montage pratique d'un thyristor à la commande d'une diode LED.

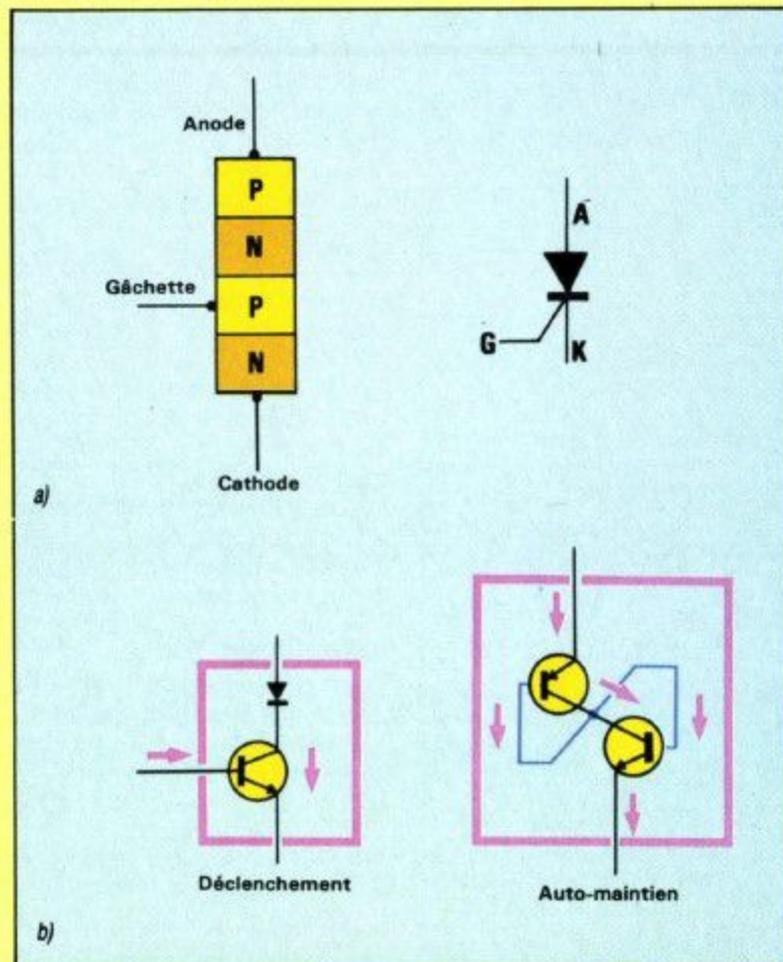


Fig. 11a - Les 4 couches PNP du thyristor, et sa nomenclature usuelle. Le symbole est une diode avec un « fil de commande » auxiliaire.

Fig. 11b - Visions intuitives du déclenchement et de l'auto-maintien en conduction. Un courant injecté par la gâchette établit la conduction du transistor NPN, en série avec la diode PN. Ensuite, on peut voir le thyristor comme deux transistors PNP et NPN superposés de telle sorte que la base de l'un est extrémité de l'autre ; tant qu'il y a assez de courant, le tout reste conducteur.

(par vis). Il s'agit en effet d'un composant propre à commuter plusieurs ampères sous une tension de l'ordre de celle du secteur, ce qui n'est possible qu'avec un échauffement certain...

Nous le testerons dans un environnement bien moins risqué, sa charge étant une simple LED que nous munirons d'une résistance de limitation de 470  $\Omega$  initialement (fig. 12).

Le courant de gâchette sera amené par un fil volant via une autre résistance. Commençons avec 4,7 k $\Omega$ .

Il ne se passe... rien quand on relie ainsi la gâchette à l'alimentation. Substituons une 470  $\Omega$  : cette fois, chaque contact du fil volant allume la LED, ce qui correspond au schéma « équivalent » de la figure 11a.

## ... maintien...

Quand on déconnecte le fil volant, la LED s'éteint ; on n'a donc pas (encore) obtenu le résultat annoncé.

Remplaçons maintenant la 470  $\Omega$  de limitation par une 100  $\Omega$ , et renouvelons la manœuvre. Cette fois, la LED reste allumée **après** que l'on ait mis « en l'air » la gâchette.

La différence saute aux yeux : ayant diminué cette résistance, nous avons augmenté le débit à travers la LED, et il est maintenant suffisant pour que le thyristor s'auto-entienne conducteur comme suggéré à la figure 11b.

On peut exprimer autrement cette propriété de verrouillage (*latching effect*), en disant que le thyristor **mémoire** la brève **impulsion** appliquée sur la gâchette, à condition qu'on le sollicite par la traversée d'un courant suffisant. Ici, quelque 40 mA.

## .. et extinction

Troisième temps de la manœuvre : **éteindre** le thyristor. Rien de plus simple, il suffit de réduire suffisamment le courant dans celui-ci ; plusieurs manœuvres sont possibles :

- déconnecter les batteries ;
- créer un court-circuit entre anode et cathode ;
- court-circuiter fugitivement les batteries (pas recommandé).

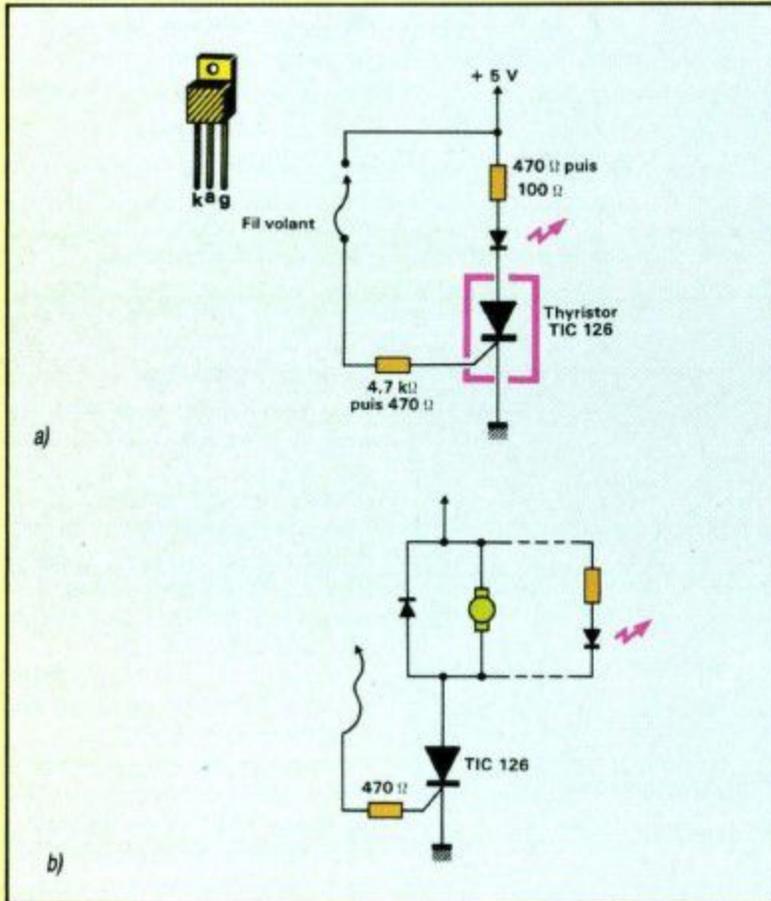


Fig. 12a - Brochage et application d'un thyristor courant à la commande d'une LED. Le fonctionnement-type s'obtient avec 470 Ω sur gâchette et 100 Ω sur la LED.

Fig. 12b - On ne reproduit avec le moteur CC le fonctionnement type, qu'à condition d'avoir une charge auxiliaire (LED ici) qui maintient un minimum de courant.

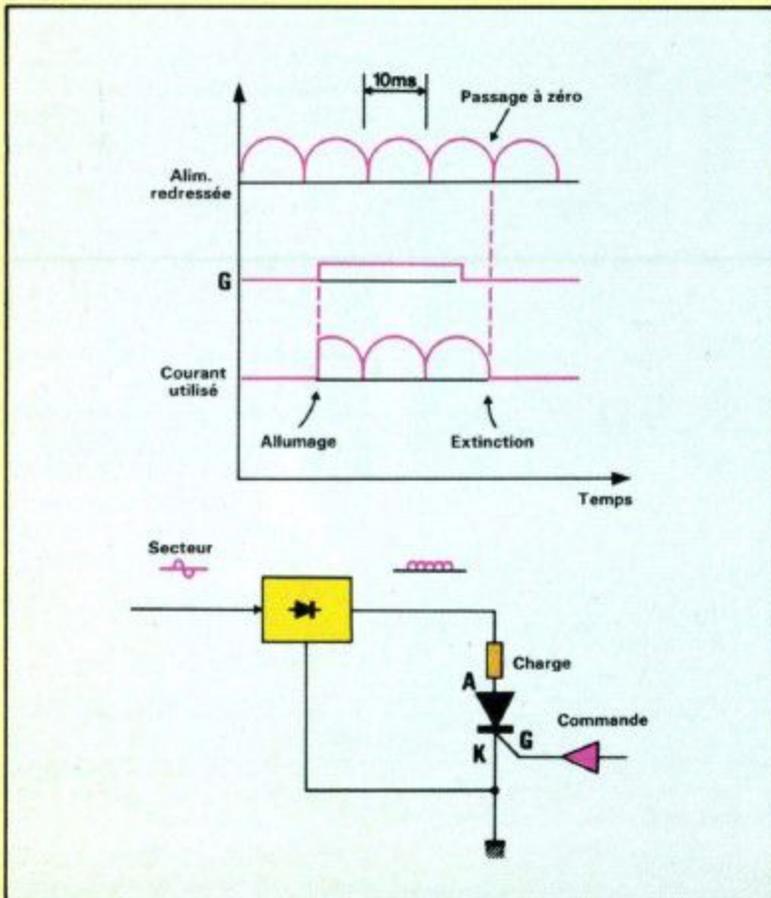


Fig. 13. - Application à la commande d'un courant redressé (ex. : transfo de train électrique). La gâchette établit le courant, qui s'interrompt au prochain passage à zéro si on relâche la commande.

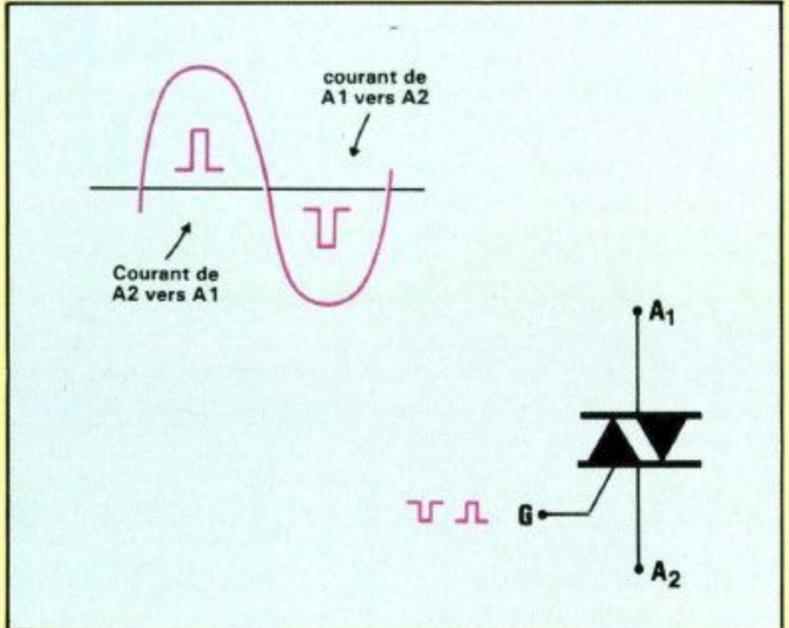


Fig. 14. - Schéma conventionnel d'un triac. Il est recommandé d'envoyer des impulsions de commande de même sens que les alternances du courant commandé.

Après extinction, il faut une nouvelle impulsion positive sur la gâchette pour rallumer le thyristor.

Le thyristor a donc un cycle d'utilisation à trois temps :

- allumage par une petite impulsion sur la gâchette ;
- conduction auto-entretenu ;
- extinction par la chute de consommation ;

### Avec un moteur à courant continu

Si l'on substitue à la LED le moteur à courant continu (fig. 12), on observe un phénomène imprévu : le moteur s'arrête dès que l'on déconnecte la gâchette. Pourtant, le courant consommé par ce moteur est bien supérieur à celui que nous avons dans la LED.

L'explication est élémentaire (Watson) : si le moteur cesse de tourner c'est que le courant est coupé, ne serait-ce que fugitivement, quand le moteur tourne. Ce qui désamorçait notre thyristor, CQFD.

En effet, un moteur à courant continu comporte des contacts rotatifs vis-à-vis de frotteurs (les « balais »). Il y a des plages isolantes entre ces contacts, et à chaque demi-tour le courant est brièvement interrompu.

Il suffit de mettre notre LED en parallèle sur le moteur pour maintenir une consommation minimale et, dans ces conditions, le moteur ne s'arrête plus une fois que le thyristor a été excité via la gâchette.

### En courant alternatif

Le thyristor trouve ses applications pratiques dans la commutation du cou-

rant alternatif, c'est-à-dire du secteur EDF, ou de la tension du secteur transformé... par l'intermédiaire d'un transformateur.

En effet, le courant alternatif, par définition, est une succession d'impulsions de courant, avec des passages par zéro. Le « 220 » passe ainsi 100 fois par seconde de  $\pm 220$  V à 0 V.

Un thyristor est un moyen idéal de commander un tel courant alternatif puisque les conditions d'une extinction sont réunies... 100 fois par seconde, lors des retours à zéro. Tant que la gâchette est actionnée, le thyristor conduit chaque alternance ; si elle est relâchée, le thyristor se désamorçera au plus tard 1/100<sup>e</sup> de seconde après (fig. 13).

### Le triac

En fait, nous avons un peu triché ci-dessus en « redressant » le courant alternatif avant usage. Le thyristor n'est en effet conducteur que dans un seul sens (quant à la tension).

On fabrique d'autres sandwichs de semi-conducteurs qui sont, pratiquement, deux thyristors tête-bêche (fig. 14). C'est-à-dire qu'un triac est apte à commander, sous contrôle de la gâchette, la circulation du courant alternatif « brut » dans une charge.

La physique du triac n'est pas très simple. On peut toutefois retenir à ce propos une recommandation simple : bien qu'il puisse être excité par des impulsions de gâchette de sens quelconque, on obtient le meilleur fonctionnement en envoyant sur la gâchette des impulsions de même sens que l'alternance commandée.

# POUR CEUX QUI VEULENT ALLER

## Commande PWM

Dans les Fiches 11, nous n'avons qu'effleuré les considérations propres à la commande d'organes de puissance à partir de circuits logiques : par exemple, les ports de sortie d'un microprocesseur ou d'un circuit spécialisé d'E/S.

En effet, nos descriptions se sont limitées à des exemples de commandes « tout ou rien », affectant des charges telles que des lampes ou des moteurs.

Il est cependant possible de « nuancer » ces commandes sans mettre en œuvre des circuits plus compliqués que, disons, le relais statique décrit à la Fiche 11B ; en jouant sur le temps et sur la durée des impulsions de courant. Techniques connues surtout sous l'abréviation de langue anglaise **PWM** (*Pulse Width Modulation*).

## Le hachage

Le meilleur terme en français pour les techniques PWM est certainement le **hachage**, car c'est bien de hacher le courant dont il est question.

Le principe est très simple, on envoie à la charge (telle qu'un moteur) des trains d'impulsions de courant avec un rythme assez élevé (fig. A).

De telle sorte que la charge reçoit du courant  $x\%$  du temps ;  $x$  est habituellement appelé : **rapport cyclique**. Un oscillateur symétrique donne un rapport cyclique de 50 %.

Si la charge a suffisamment d'inertie, tout se passe comme si il y circulait un courant égal à  $x\%$  du courant maximum !

## Inertie de la charge : expliquons-nous

Qu'entend-on au juste par « inertie » ?

Prenons un premier exemple : la charge est une lampe à incandescence. La lumière est émise par chauffe du filament, et ce filament met au moins une fraction de seconde à passer de l'incandescence à l'extinction et vice-versa. Si le hachage a lieu 1 000 fois par seconde, pour fixer les idées, le filament va « faire la moyenne » du courant reçu, et émettra finalement autant de lumière que s'il était alimenté par

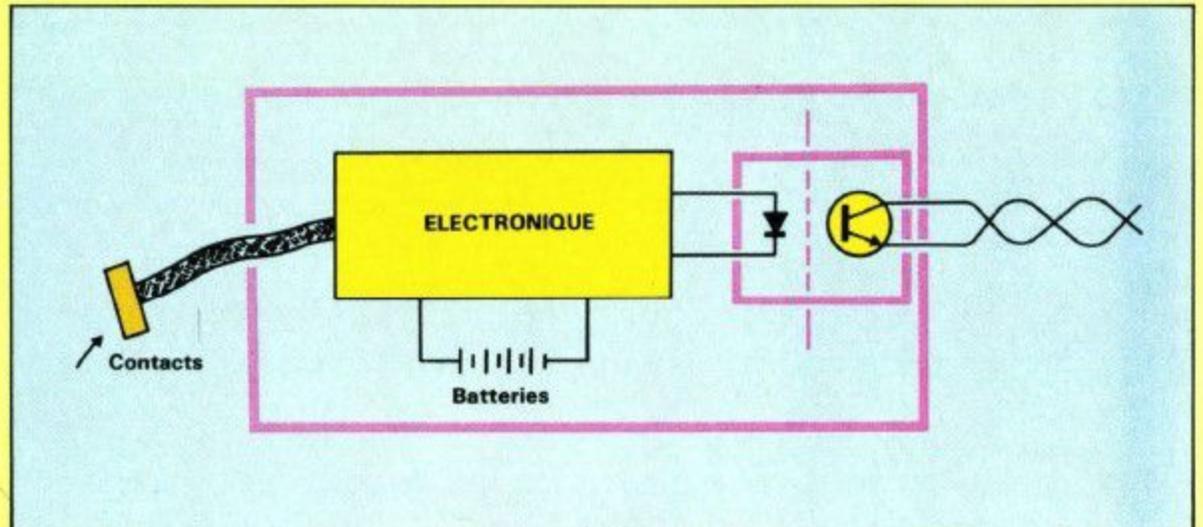


Fig. C. - Structure-type d'un instrument d'électronique médicale en contact électrique avec le malade. Son alimentation est « flottante » (batteries) ; la transmission vers d'autres appareils est isolée par des photocoupleurs.

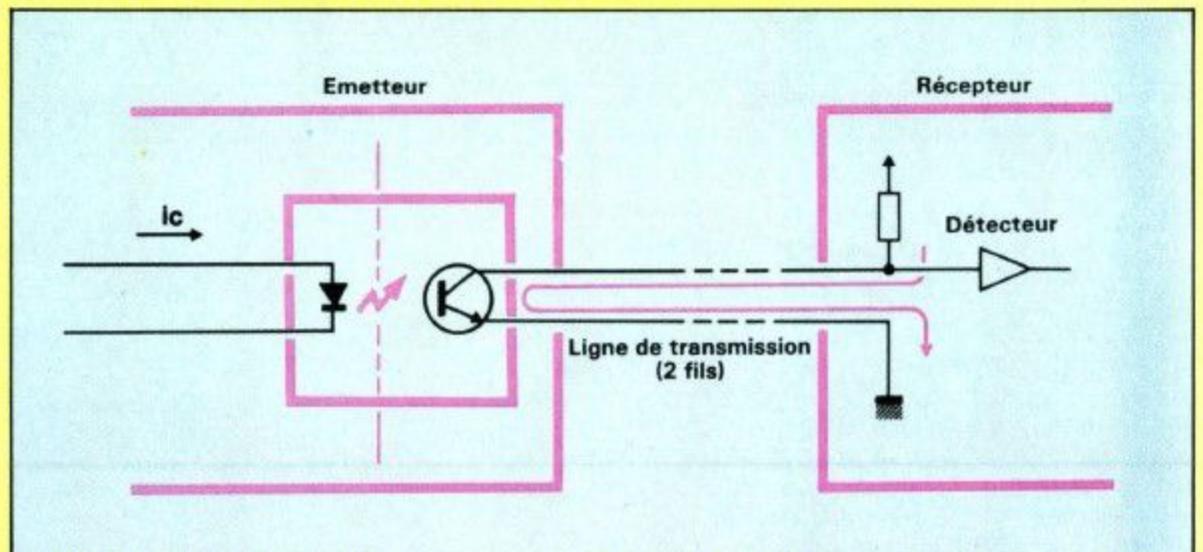


Fig. D. - Détail d'une boucle de courant utilisant comme relais un photocoupleur. Selon que l'émetteur allume ou éteint la diode, le courant est établi (ce que le détecteur traduira, par exemple, par un niveau bas) ou coupé (niveau logique haut avec les conventions usuelles). La flèche rouge symbolise la « boucle » du courant via la ligne de transmission. Il existe des coupleurs qui se contenteront de  $I_c = 500 \mu A$  ; économie appréciable dans des appareils sur batteries !

une source continue de tension égale à  $x\%$  de la tension maxi du hachoir (fig. B).

Un second exemple est celui d'un moteur à courant continu, et particulièrement s'il est muni d'un « volant d'inertie », tel que la roue d'un véhicule, un ventilateur... Il est évident que lui aussi transmettra à sa charge (mécanique)  $x\%$  de l'énergie qu'il aurait donnée sous tension continue maximum.

## Il faut expérimenter...

Au-delà du principe, il n'est pas pos-

sible de donner de recette universelle de commande PWM, car il faut chaque fois l'adapter (quelquefois de manière très précise) aux caractéristiques de la charge et/ou de l'utilisation.

Il peut, par exemple, apparaître des phénomènes de **résonance** entre la charge et le hachoir ; par exemple, si la fréquence de ce dernier est voisine de la rapidité de rotation d'un moteur. Ces phénomènes peuvent être dangereux, car le « système » au sens des physiiciens peut se mettre à **stocker** de l'énergie... surchauffe et casse sont alors au rendez-vous !

En ce domaine, il faut toujours expé-

rimer un montage avant de le certifier utilisable ; et l'expérimenter avec la **vraie** charge.

En contrepartie, il y a des avantages aux méthodes PWM, tels la possibilité d'ajuster finement la fourniture d'énergie aux besoins par des méthodes de comptage du temps, fort précises, avec des bases de temps à quartz telles celles des micros. Il y a aussi des avantages « inattendus » : un moteur à courant continu qui reçoit, même brièvement, son courant maximum, va démarrer à tout coup en surmontant les frottements ; ce qui ne serait pas

# PLUS LOIN

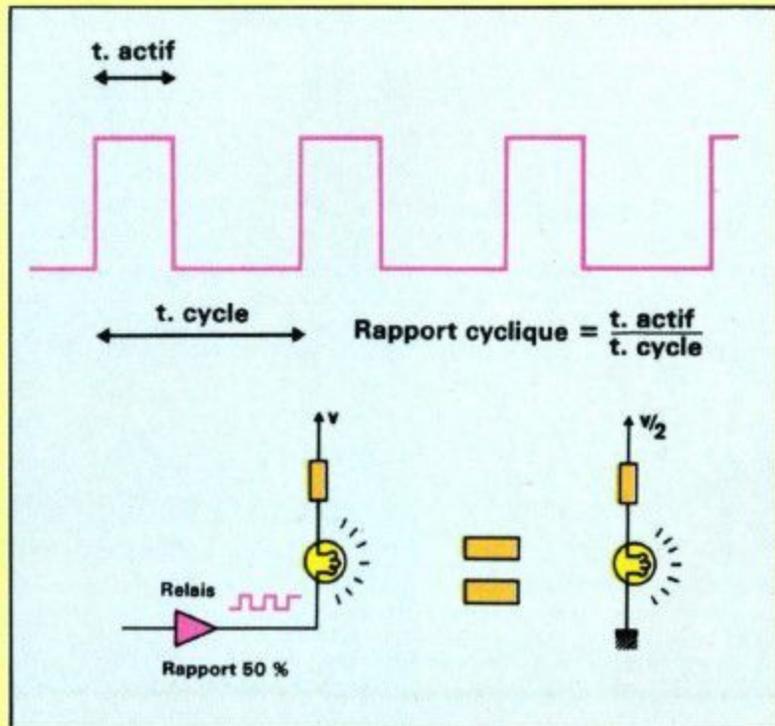


Fig. A. - Allure d'un signal haché (PWM). Le courant maximum est appliqué à la charge répétitivement, mais une fraction du temps seulement.

Fig. B. - Equivalence grossière : la lampe sous une tension  $V$  est commandée 50 % du temps par hachage ; elle donne autant de lumière que si elle était alimentée sous tension moitié  $V/2$ . La réalité est plus complexe, car le relais commutateur intervient par sa consommation, sa capacité...

vrai avec une commande linéaire de même puissance moyenne !

## Photocoupleurs et transmission

L'utilisation de photocoupleurs en transmission de données est initialement motivée par le même souci qui l'a fait apparaître dans les relais statiques : l'**isolement** entre la « source » et le « consommateur » de signaux.

C'est un impératif absolu dans le domaine médical, où l'appareillage électronique mis au contact du malade doit n'avoir aucun point commun avec les sources dangereuses comme une alimentation-secteur.

La « boîte noire » type est alors construite selon le principe de la figure C :

- l'alimentation est « flottante » : l'idéal est le fonctionnement sur batteries ;
- toute transmission de signaux passe par un photocoupleur.

## La « boucle de courant »

Une transmission a lieu en « boucle de courant » (fig. D) lorsque l'appareil transmetteur **commande** le courant de la ligne de transmission, mais **ne le fournit pas**.

On reconnaît immédiatement la fonction de **relais**, qu'un photocoupleur va assurer fort bien :

- la commande est assurée par le courant que l'**émetteur** injecte dans la diode luminescente ;
- le courant de ligne est fourni par le **récepteur**, et pour ce dernier la « donnée » est le fait que la ligne absorbe ou non ce courant.

Il existe des composants particulièrement adaptés à cet usage, dont le « phototransistor » est commuté par 1 mA dans la diode, ou moins.

Dans ce domaine, le rôle de leader de la firme Hewlett-Packard est peu contesté ; elle a publié, pour ceux qui sont intéressés, des ouvrages d'application qui sont ce que l'auteur a lu de mieux (et de loin) sur le sujet de la transmission via des optocoupleurs.