

REALISEZ VOTRE ORDINATEUR PERSONNEL

Après un court paragraphe consacré à la mise en « chauffe » de l'alimentation afin d'en tester la fiabilité, nous allons dévoiler aujourd'hui le schéma complet de notre

micro-ordinateur afin de pouvoir commencer le câblage de la carte principale dès le mois prochain. Mais tout d'abord voici...

Quelques précisions

Comme pour nos deux réalisations précédentes, vous êtes nombreux à nous écrire et à témoigner de l'intérêt pour cette réalisation. Bien qu'il ait été répondu personnellement à chacun d'entre vous, nous aimerions préciser ici un point important que nous avons passé sous silence jusqu'à maintenant.

La mise en service d'un ordinateur est toujours une phase délicate car si rien ne fonctionne, les moyens d'investigation dont on dispose sont très limités, contrairement à ce qui se produit lorsqu'une partie seulement d'un appareil est en panne. Pour que cela ne soit pas le cas avec TAV85, nous avons mis au point un programme de test modulaire qui vous permettra de mettre en service la carte principale bloc par bloc, sans aucun appareil de mesure autre qu'un indicateur utilisant 8 LED et 8 résistances.

Ce programme réside dans une ROM qu'il suffit d'installer sur la carte principale lors de la première mise sous tension. Tous les sous-ensembles de la carte sont alors testés automatiquement et l'état de chacun d'eux est visualisé par des diodes électro-luminescentes. En cas de défaut, la localisation de celui-ci est limitée à trois ou quatre circuits intégrés, ce qui facilite grande-

ment le dépannage. Si, malgré cela, vous éprouviez quelques inquiétudes, sachez que la société Facim, 19, rue de Hegenheim, 68300 Saint-Louis, propose un service de dépannage des cartes sous certaines conditions. Par ailleurs, l'auteur de ces lignes a grandement amélioré son service courrier, ce qui lui permet de répondre dans des délais assez courts à toute question technique.

La fourniture de ce programme de test ainsi d'ailleurs que de tous ceux qui seront disponibles pour ce micro-ordinateur est assurée exclusivement par l'auteur. Un catalogue des logiciels, disponible fin juin, peut vous être adressé sur simple demande, accompagnée d'une enveloppe format 16 x 22 libellée à votre adresse et affranchie à 5 F (ou 4 coupons réponse internationaux si vous résidez à l'étranger).

Les essais de l'alimentation

Précisons tout d'abord qu'une erreur s'est glissée dans le numéro d'avril sur le plan d'implantation de la figure 6. La résistance située à côté de IC₂ n'est pas une 6,8 k Ω mais une 1,5 k Ω comme indiqué sur le schéma théorique. Par ailleurs, la photo située en milieu de

page 84 de ce même numéro n'a rien à voir avec l'alimentation du micro-ordinateur, c'est celle d'un expenseur de dynamique décrit quelques pages plus loin.

Le câblage réalisé le mois dernier étant supposé terminé, nous allons procéder à des essais de charge de l'alimentation consistant à lui faire débiter un courant important pendant plusieurs heures afin de vérifier que tout se passe bien. De tels essais ne sont pas indispensables mais permettent de mettre en évidence une éventuelle faiblesse d'un composant, qu'il est toujours plus agréable de diagnostiquer maintenant plutôt que lorsque le système sera terminé et opérationnel.

Avant de faire ces essais et compte tenu des mesures que nous avons faites sur les disjoncteurs thermiques qui équipent cette alimentation, nous devons vous faire réaliser deux adjonctions sur le circuit imprimé. La première consiste à équiper les deux thyristors Th₁ et Th₂ d'un petit radiateur ; en effet, les délais de réponse des disjoncteurs sont suffisamment longs pour que ceux-ci aient le temps d'atteindre une température importante. Cette adjonction est très simple comme le montre une des photos ci-jointe. Il suffit de découper un petit rectangle d'aluminium de 55 mm sur 30 mm environ et

de le placer entre les thyristors et les deux chimiques qui se trouvent derrière eux. Le thyristor Th_1 sera vissé directement sur ce radiateur tandis que Th_2 sera isolé avec les accessoires classiques (canon et mica). Si cet isolement vous embête, il vous suffit de couper le radiateur en deux de façon à isoler les deux moitiés ; vous pouvez alors visser chaque thyristor dessus sans accessoire. Un petit cordon de colle complètera l'installation de ce radiateur en le maintenant sur le circuit imprimé.

Nous allons maintenant procéder au réglage de ces circuits antisurtension. Pour ce faire, mettez les 3423 sur leurs supports et placez les curseurs des potentiomètres de 2,2 k Ω à fond du côté des 3423. Mettez l'alimentation sous tension et constatez qu'elle fonctionne comme par le passé (sinon il y a un problème au niveau d'un 3423). Mettez un voltmètre sur l'alimentation 5 V et faites-la monter à 5,5 V en agissant sur le potentiomètre de 4,7 k Ω situé à côté de IC₁. Agissez ensuite très doucement

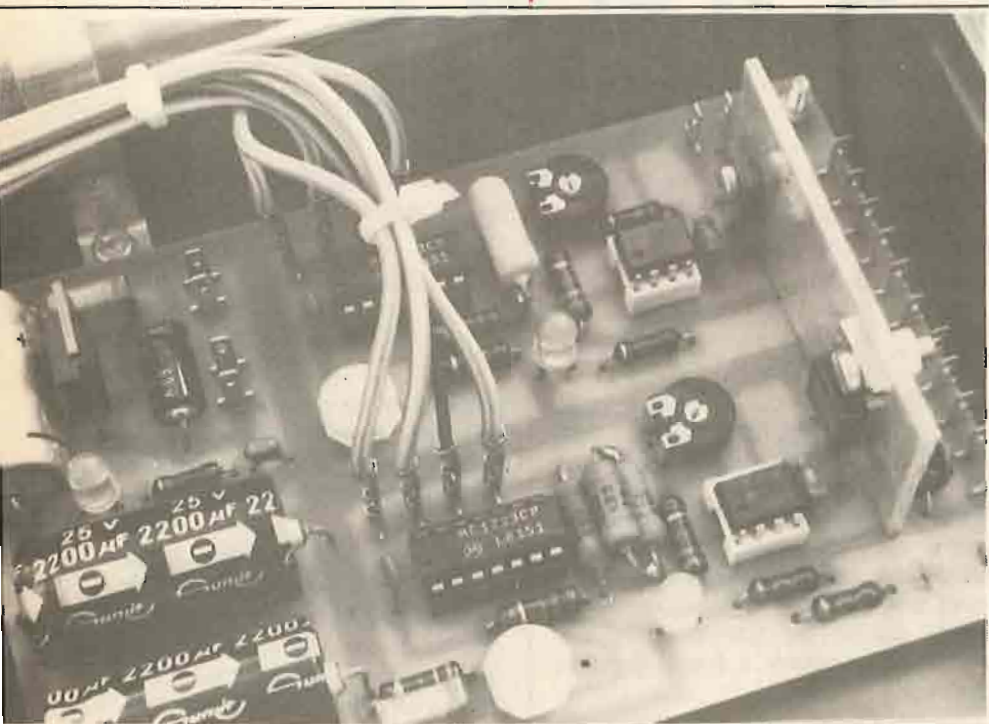
lorsque le disjoncteur est à nouveau prêt).

Vous pouvez alors faire de même pour le réglage de l'alimentation + 12 V, la valeur de déclenchement du circuit étant fixée dans ce cas à 13 V.

Faites ensuite quelques essais pour vérifier que votre circuiterie antisurtension n'est pas trop sensible. Pour cela, branchez et débranchez d'autres appareils électriques à proximité de votre ordinateur et constatez que rien ne se passe. Si tel n'est pas le cas, vous pouvez diminuer un peu la sensibilité du ou des circuits antisurtension concerné(s) en déplaçant très légèrement le curseur du ou des potentiomètres de 2,2 k Ω en direction des 3423. Si cela ne suffit pas, ce qui peut arriver si vous avez un secteur EDF très perturbé (présence de machines équipées de gros moteurs telles que machines à laver par exemple), vous pouvez augmenter les condensateurs de 10 nF placés à côté des 3423. Plus la valeur de ces condensateurs est importante, plus le 3423 met de temps à réagir, ce qui lui permet de ne pas déclencher sur des parasites violents mais brefs.

Nous allons maintenant faire débiter les alimentations + 5 et + 12 V ; pour cela et à moins que vous n'ayez un stock de résistances bobinées de faible valeur, allez chez votre marchand d'accessoires auto et procurez-vous une ampoule 12 V 21 W (utilisée généralement pour les clignotants) et une ampoule 6 V 21 W (idem mais pour les véhicules ayant une batterie 6 V). Ces deux ampoules vont constituer deux charges solides et peu coûteuses. Branchez alors l'ampoule 12 V sur l'alimentation + 12 V et l'ampoule 6 V sur l'alimentation + 5 V. Vérifiez avec un voltmètre que les tensions de sortie sont conformes à ce que vous aviez réglé à vide à quelques dizaines de millivolts près, et laissez le montage ainsi pendant plusieurs dizaines de minutes. Vérifier régulièrement que rien « ne fume », mais ne soyez pas surpris d'un échauffement important des deux ponts de redressement et des deux transistors de puissance ; l'alimentation débite en effet près de 1,8 A sur le 12 V et près de 4,2 A sur le 5 V.

Si ce test s'est bien passé, votre alimentation est prête pour de bons et loyaux services. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si un élément a rendu l'âme, il ne vous reste plus qu'à le rem-



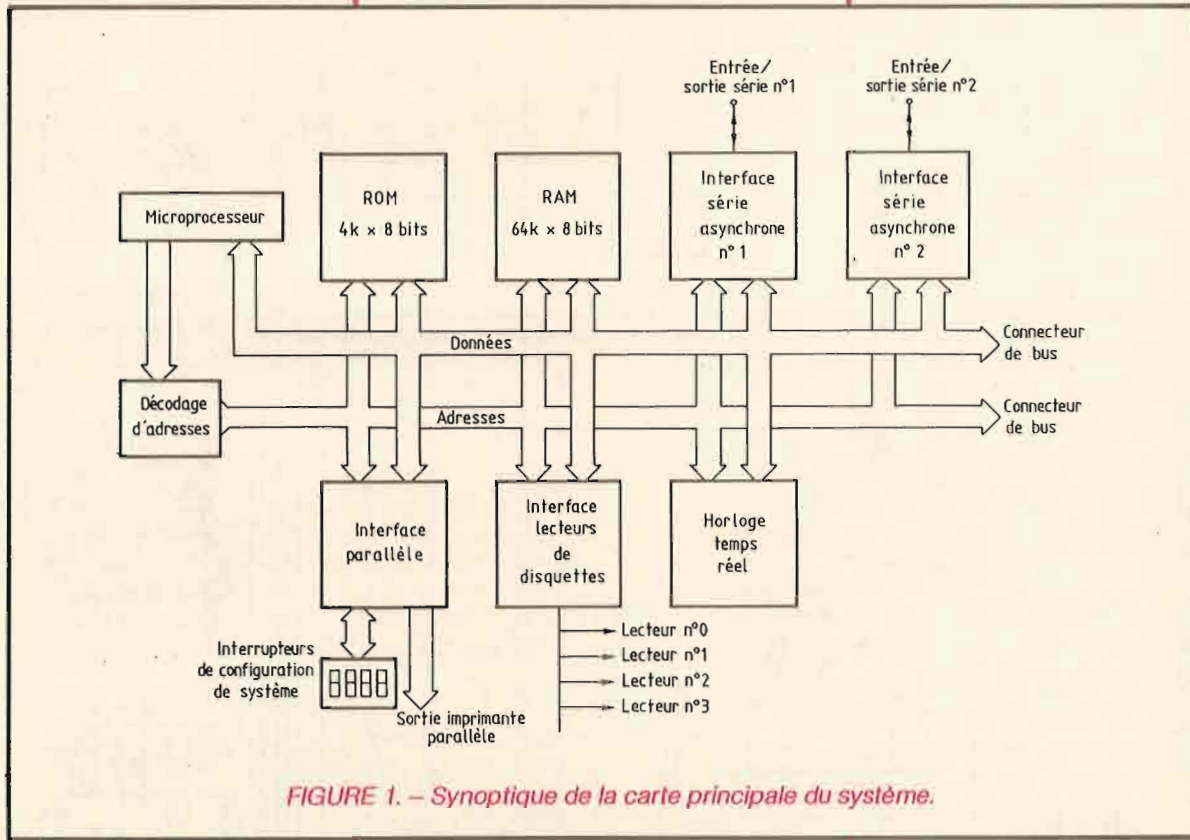
Le radiateur des thyristors et les résistances ajoutées pour augmenter le courant de court-circuit.

La deuxième adjonction à réaliser consiste à augmenter le courant de court-circuit des alimentations + 12 et + 5 V ; la cause en est, ici encore, le manque relatif de sensibilité de certains disjoncteurs thermiques. Pour ce faire, soudez en parallèle sur la résistance de 0,22 Ω du + 12 V une résistance du même type mais de 0,47 Ω , et sur une des deux résistances de 0,22 Ω du + 5 V, une autre résistance de 0,22 Ω . Les courants de court-circuit sont ainsi suffisamment augmentés pour assurer un déclenchement rapide et sur des disjoncteurs thermiques.

Si vous n'utilisez pas le circuit anti-surtension (pas de 3423 ni de thyristor ni de disjoncteur), ces modifications ne vous concernent évidemment pas.

sur le potentiomètre de 2,2 k Ω situé près de IC₂ pour obtenir le déclenchement du thyristor matérialisé par une baisse de la tension de sortie, une quasi-extinction de la LED correspondante et le déclenchement du disjoncteur après 5 à 15 secondes de délai.

Ramenez alors le curseur du 2,2 k Ω un tout petit peu en arrière ainsi que celui du 4,7 k Ω afin de réduire de nouveau la tension de sortie à 5 V. Enclenchez le disjoncteur et faites l'ajustement de votre tension de sortie à 5 V par le potentiomètre de 4,7 k Ω . Attention, le réenclenchement d'un tel disjoncteur n'est possible que lorsque celui-ci a refroidi, ce qui demande quelques secondes après disjonction (on entend très nettement un petit déclic

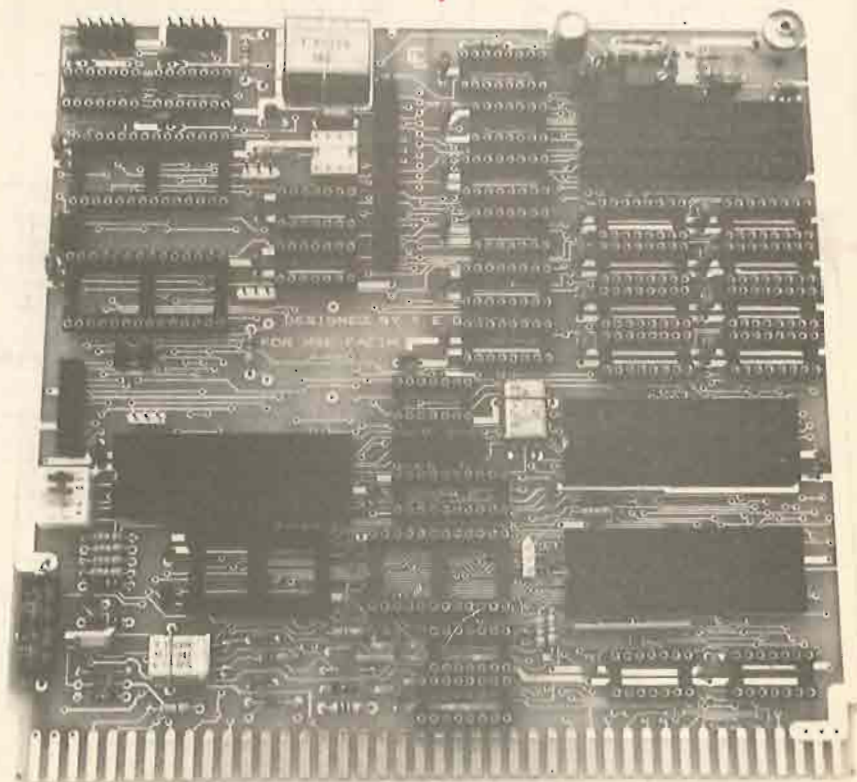


placer et à recommencer ; ce test ayant justement pour but de mettre en évidence d'éventuels défauts de jeunesse de certains composants.

Schéma de la carte principale

Celui-ci étant assez imposant compte tenu du fait que cette carte est en fait un micro-ordinateur complet, nous allons l'analyser bloc par bloc et, pour ce faire, nous vous proposons, en figure 1 et à titre de rappel, un synoptique de celle-ci.

Le schéma complet quant à lui vous est présenté en figure 2 dans une représentation allégée. En effet, pour ne pas qu'il soit illisible, nous n'avons pas développé les différents bus mais au contraire avons représenté ceux-ci par un seul trait en travers duquel une barre oblique indique combien de fils les constituent. Cette façon de faire ne prête pas à confusion puisqu'aux points de raccordement de ces divers bus sur les circuits, les lignes individuelles qui les constituent apparaissent



La carte principale est prête à recevoir les circuits intégrés.

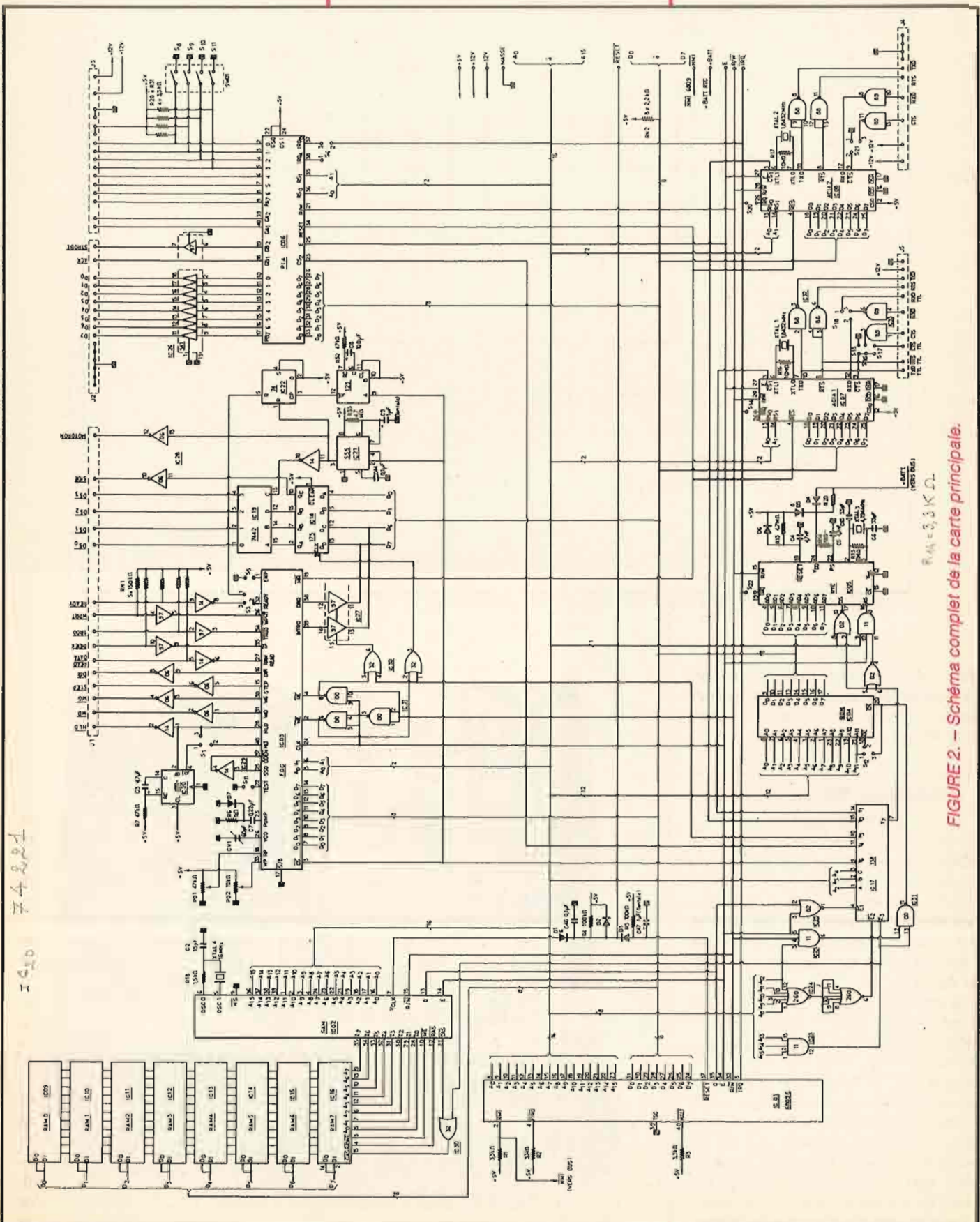


FIGURE 2. - Schéma complet de la carte principale.

IC 10
74 222 1

toutes, ce qui permet de comprendre ce qui se passe et de voir comment sont faites exactement les connexions.

Le premier choc étant passé, nous pouvons maintenant faire l'analyse de ce « monstre » avec, tout d'abord...

Le microprocesseur

Ainsi que nous l'avons annoncé dans nos précédents articles, il s'agit d'un 6809 puisque ce circuit offre, à l'heure actuelle, un des meilleurs compromis prix-facilité de mise en œuvre-puissance. Ce 6809 (IC₀₁) est un peu particulier car c'est une version 6809E qui est utilisée ici c'est-à-dire sans oscillateur d'horloge intégré. Hormis cette différence avec le 6809 « classique », tout le reste est strictement identique. L'horloge de ce 6809E est fournie sur ses deux pattes E et Q par un circuit spécial appelé le SAM et qui se trouve juste au-dessus de lui sur la figure 2 (IC₀₂). Nous verrons ci-après le rôle de ce circuit.

Les lignes de données D₀ à D₇ et les lignes d'adresses A₀ à A₁₅ sont véhiculées sur toute la carte, où elles sont connectées directement aux boîtiers qui le nécessitent sans interposition d'amplificateurs de bus. Une telle façon de faire est admissible compte tenu de la petite taille de la carte et du nombre (relativement) faible de boîtiers qui y sont utilisés.

La ligne d'interruption rapide FIRQ ainsi que la ligne d'arrêt HALT ne sont pas utilisées et sont donc ramenées en permanence au + 5 V par des résistances. La ligne d'interruption masquable (c'est-à-dire d'interruption que l'on peut ignorer par logiciel) est quant à elle distribuée sur toute la carte, ce qui permet de lui raccorder certains boîtiers grâce à des cavaliers mobiles. La ligne d'interruption non masquable NMI, inutilisée sur la carte, est tout de même sortie sur le connecteur de bus de bas de carte pour une exploitation éventuelle extérieure.

La ligne RESET est celle qui permet la ré-initialisation (le reset en bon français) du 6809 lors de la mise sous tension ou lors d'erreurs de programmation de votre part. Elle est reliée à une circuiterie relativement complexe assurant le reset à la mise sous tension d'une part, mais aussi le reset ultérieur sans perturber le SAM et les mémoires comme nous le verrons ci-après.

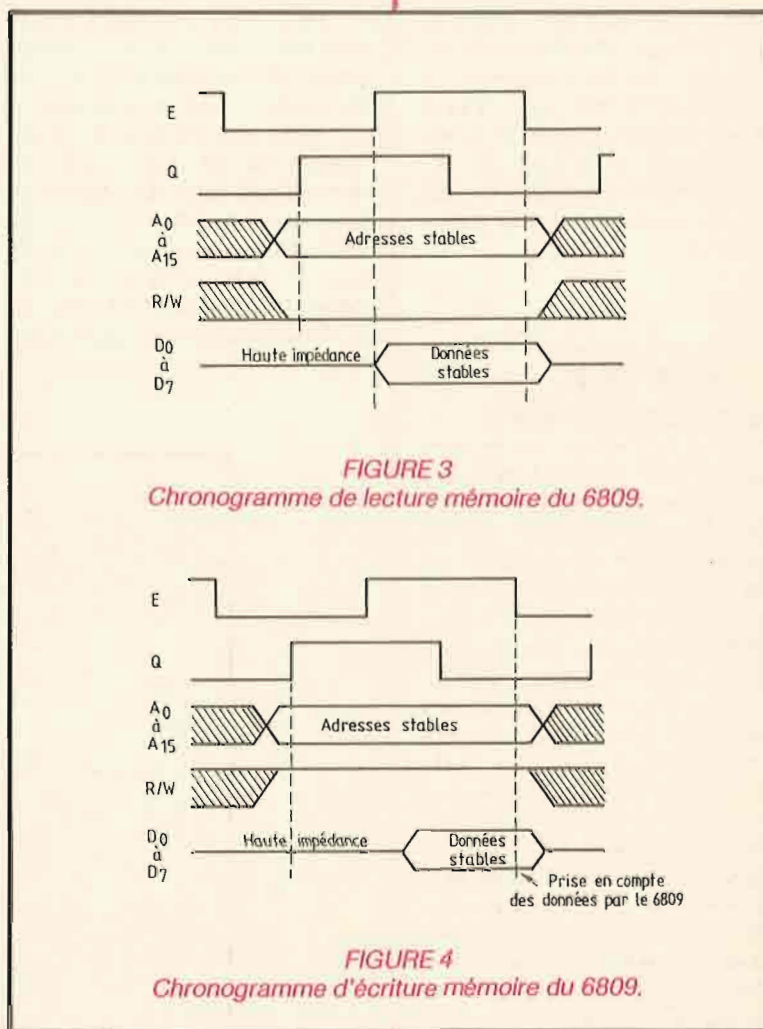


FIGURE 3
Chronogramme de lecture mémoire du 6809.

FIGURE 4
Chronogramme d'écriture mémoire du 6809.

Le 6809 étant un circuit dont les chronogrammes de bus sont très simples, seule l'horloge E (provenant du SAM) et la ligne R/W qui est la ligne lecture/écriture sont utilisées comme lignes de contrôle dans tout le reste du système.

Afin que vous puissiez comprendre sans difficulté la suite du schéma, il nous faut vous présenter rapidement les chronogrammes simplifiés de lecture et écriture mémoire du 6809. Ceux-ci sont très simples comme vous pouvez le constater à l'examen des figures 3 et 4. Pour lire en mémoire, le 6809 commence par positionner sur ses lignes d'adresses A₀ à A₁₅ l'adresse de la mémoire concernée. Ces adresses sont stables dès la montée de Q, et le restent jusqu'à la descente de E. La ligne R/W est positionnée à l'état haut pour signifier une lecture et reste stable

au moins aussi longtemps que les lignes d'adresses. Le 6809 prend alors en compte les données qui lui sont fournies par la mémoire sur D₀ à D₇ lors du front descendant de E, ce qui termine un cycle de lecture.

Une écriture en mémoire se déroule de façon tout aussi logique. La phase d'adressage est identique à celle de lecture mais la ligne R/W est cette fois-ci mise au niveau bas pour signifier une écriture. Les données, qui sont fournies par le 6809 puisque l'on écrit en mémoire, sont stables dès la montée de E et jusqu'à sa descente, à charge pour la mémoire de mettre ce temps à profit pour les prendre en compte.

Ce comportement très simple est encore accru par le fait que, pour le 6809, tous les circuits périphériques quels qu'ils soient sont traités comme de la mémoire. Il n'y a donc pas comme avec

certaines autres micros d'instructions et de chronogrammes d'entrées/sorties. Pour faire une sortie de donnée sur un périphérique, le 6809 écrit dans celui-ci comme il écrirait dans n'importe quelle mémoire, alors que pour faire une entrée de donnée depuis un périphérique, le 6809 lit dans celui-ci comme il lirait en mémoire.

Les 64 K de mémoire vive

La mémoire vive ou RAM de notre micro-ordinateur occupe l'espace adressable maximum permis par le 6809 puisqu'elle fait 64 Ko. Elle est constituée par 8 boîtiers de RAM dynamique de 64 k-bits repérés IC₉ à IC₁₆ sur le schéma. Pour ceux d'entre vous qui n'ont pas suivi nos articles d'initiation à la micro-informatique, rappelons rapidement qu'il existe deux grandes familles de mémoires vives : les RAM statiques et les RAM dynamiques. Les RAM statiques sont d'une mise en œuvre très simple mais leur capacité est en moyenne quatre fois inférieure à celle des RAM dynamiques. Ces dernières sont d'une mise en œuvre plus délicate mais permettent de réaliser des plans mémoire de grande capacité en occupant seulement une faible surface de circuit imprimé.

Les « inconvénients » des RAM dynamiques sont de deux types différents :

- Le premier est dû au fait que, pour intégrer ces mémoires dans des boîtiers à faible nombre de pattes, on multiplexe les lignes d'adresses. Ainsi les RAM utilisées sur notre système, qui sont des 64 k-bits, devraient-elles avoir 16 lignes d'adresses ; grâce au multiplexage elles n'en ont que huit. En contrepartie, cela complique la circuiterie d'adressage de ces mémoires.

- Le deuxième est dû au fait que les RAM dynamiques doivent recevoir régulièrement un rafraîchissement des données qu'elles contiennent (on leur rafraîchit la mémoire en quelque sorte !). En effet, les cellules mémoires élémentaires de telles RAM sont de minuscules condensateurs dont il faut entretenir la charge périodiquement. Ceci complique encore la circuiterie à mettre en œuvre autour des RAM dynamiques.

Dans notre précédent micro-ordinateur, nous avons conçu une circuiterie simple et originale pour accomplir ces fonctions ; malheureusement, la taille de cette circuiterie était incompatible avec celle de notre carte principale aussi avons-nous dû adopter une autre solution : l'utilisation du SAM ou MC 6883 ou encore SN 74783 repéré IC₀₂ sur notre schéma. Ce circuit complexe, fabriqué par Motorola, se charge automatiquement et sans aucun com-

moire. En effet, la RAM dynamique doit être rafraîchie périodiquement, mais le 6809 peut accéder à la RAM à n'importe quel moment ; il risque donc d'y avoir conflit d'accès dans certains cas. Le SAM règle ce genre de problème en rafraîchissant la mémoire pendant les états bas de l'horloge E puisque nous avons vu, sur les chronogrammes des figures 3 et 4, que les accès mémoire proprement dits (c'est-à-dire les moments où ont réellement lieu les trans-

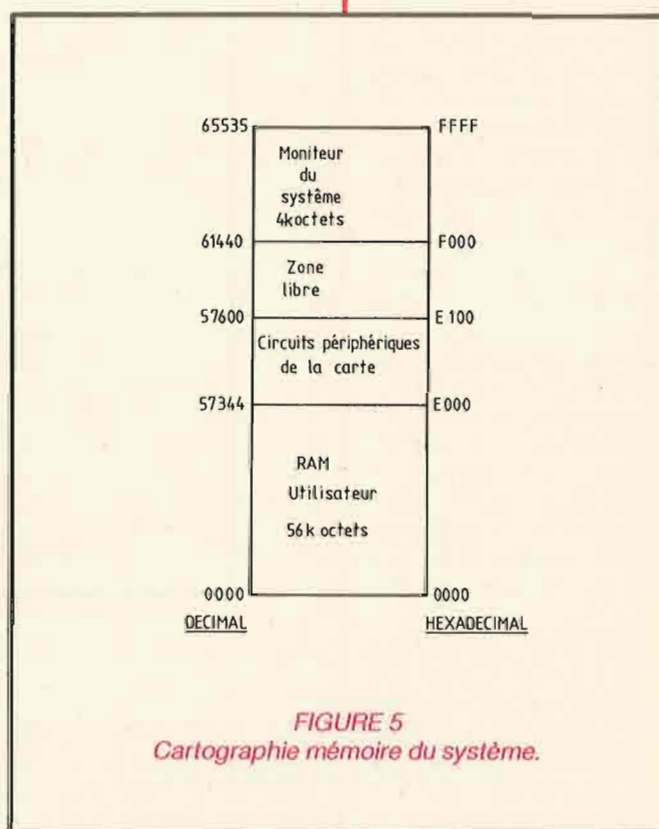


FIGURE 5
Cartographie mémoire du système.

posant externe du multiplexage d'adresse des RAM dynamiques, de leur rafraîchissement, et de plus, il génère l'horloge du 6809E. Sa mise en œuvre est très simple comme vous pouvez le constater sur la figure 2 ; il se relie en effet directement aux RAM et au 6809E grâce à des lignes adéquates.

Outre les fonctions présentées rapidement ci-avant, le SAM résout un autre problème important : celui des conflits entre accès mémoire par le 6809 et rafraîchissement de la mé-

ferts de données) étaient situés pendant l'état haut de l'horloge E.

Vous remarquerez que la patte VCLK du SAM est reliée à la circuiterie de Reset complexe évoquée ci-avant. La raison en est simple : lors de la première mise sous tension, le SAM, comme beaucoup d'autres circuits logiques, a besoin d'être initialisé. Lors des Reset ultérieurs, par contre, il ne faut pas qu'il soit initialisé car cela influencerait sur le rafraîchissement des RAM dynamiques et détruirait leur contenu, ce qui est inacceptable. C'est la raison

d'être de l'ensemble de diodes, résistances et condensateurs que l'on trouve autour de D₁, D₂, D₃.

Une dernière remarque est à faire à propos de ce sous-ensemble et concerne la porte OU 7432 IC₃₀. Elle permet, lorsque la circuiterie de décodage d'adresse lui en donne l'ordre, de bloquer l'accès aux RAM en interdisant la validation du signal CAS. La raison d'être de cela est logique ; en effet, le 6809 ne peut adresser que 64 Ko de mémoire, or les RAM occupent déjà à elles seules ces 64 Ko. Il ne reste donc plus rien pour la mémoire morte et les boîtiers périphériques. Pour ce faire, on bloque l'accès aux RAM sur les 8 derniers K d'adresses, c'est-à-dire de E000 à FFFF, afin de disposer d'un peu de place pour la ROM du moniteur et les circuits périphériques. Ce blocage est fait par la circuiterie de décodage d'adresse que nous allons étudier maintenant.

Le décodage d'adresse

Le décodage d'adresse est une des parties essentielles d'un micro-ordinateur ; en effet, c'est le circuit qui fixe les adresses des divers éléments constitutifs du système : RAM, ROM et circuits périphériques. Dans notre micro-ordinateur, il permet d'établir la cartographie mémoire (ou memory map si vous préférez l'appellation américaine) représentée figure 5. La zone dite libre, sur cette figure, correspond à l'implantation autonome présentée dans notre numéro de mars. Si le micro-ordinateur

est utilisé avec un terminal externe, cette zone peut être utilisée pour une carte d'interface spécifique à vos besoins.

Le décodage fait appel aux circuits IC₁₇, IC₂₃, IC₂₄, IC₂₅ et IC₃₁. Pour en comprendre le principe, il faut noter que tous les circuits et mémoires du système disposent d'une ligne de validation active au niveau bas (ligne baptisée CS sur tous les circuits). La circuiterie de décodage va donc devoir générer un signal logique au niveau bas pour chaque circuit concerné et en conformité avec les adresses indiquées figure 5. C'est là chose très facile grâce à IC₁₇ qui est un 74138 dont la table de vérité vous est indiquée figure 6.

Pour que ce circuit soit validé il faut que ses entrées E₁ et E₂ soient au niveau bas et que E₃ soit au niveau haut. Compte tenu des portes qui y sont connectées, cela se produit pour la combinaison de signaux suivante : A₁₅, A₁₄ et A₁₃ au niveau haut, A₈, A₉, A₁₀, A₁₁ et A₁₂ au niveau bas et enfin E au niveau haut. Cette dernière condition est logique puisque nous avons vu en figures 3 et 4 que les adresses étaient stables pendant que E ou Q était au niveau haut. Quant aux lignes d'adresses, la combinaison indiquée conduit à valider le 74138 de E000 à E0FF, ce qui est justement la zone d'adressage des circuits périphériques.

Les lignes d'adresses A₂, A₃ et A₄ reliées à A, B et C du 74138 réalisent ensuite la sélection des divers périphériques au sein de cette zone compte tenu de la table de vérité de la figure 6, cela ne présente pas de difficulté.

Compte tenu des connexions de IC₂₃ et de IC₃₁, la PROM 2732 qui contient le moniteur du système est validée lorsque A₁₅, A₁₄ et A₁₃ sont au niveau haut ainsi que A₁₂ et E ou Q. Cela signifie donc que cette PROM est adressée de F000 à FFFF, ce qui est bien ce que nous souhaitons.

Enfin, par le jeu de IC₃₀ dont nous avons parlé dans le précédent paragraphe, les RAM sont dévalidées lorsque A₁₅, A₁₄ et A₁₃ sont au niveau haut, c'est-à-dire de E000 à FFFF, c'est-à-dire encore lors de l'adressage des périphériques et de la PROM du moniteur.

La PROM moniteur

Il s'agit d'une mémoire effaçable aux rayons ultraviolets et programmable électriquement de 4 Ko type 2732 ou 2532.

Elle est repérée IC₀₄ sur le schéma de la figure 2. Son mode de connexion est fort simple puisque ses lignes d'adresses et ses lignes de données sont reliées directement aux lignes de même nom issues de 6809. La patte CS de cette mémoire est reliée à la circuiterie de décodage d'adresse comme expliqué ci-avant.

Le strap S₁₂ visible au niveau des pattes A₁₁ et OE barre permet d'adapter la carte pour les mémoires 2732 ou 2532 dont le brochage diffère en cet endroit.

Conclusion provisoire

Afin de ne pas accaparer trop de pages de ce numéro, nous en resterons là pour cette description détaillée du schéma, que nous poursuivrons et terminerons le mois prochain ; nous aborderons ensuite la phase pratique avec la réalisation de cette carte.

E ₁	E ₂	E ₃	A	B	C	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
1						1	1	1	1	1	1	1	1
	1					1	1	1	1	1	1	1	1
		0				1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

FIGURE 6. — Table de vérité du 74138.

GAUCHE-DROITE PAR DUREE D'IMPULSIONS

C'est notamment en matière de télécommande qu'on peut avoir besoin d'une commande du sens de rotation d'un moteur. Pour cela, on utilise un inverseur de polarité dont l'état est conditionné par un signal de commande.

Le montage proposé délivre un premier état de po-

C_3 et R_6 . On peut donc modifier ces durées en jouant sur la valeur des deux composants.

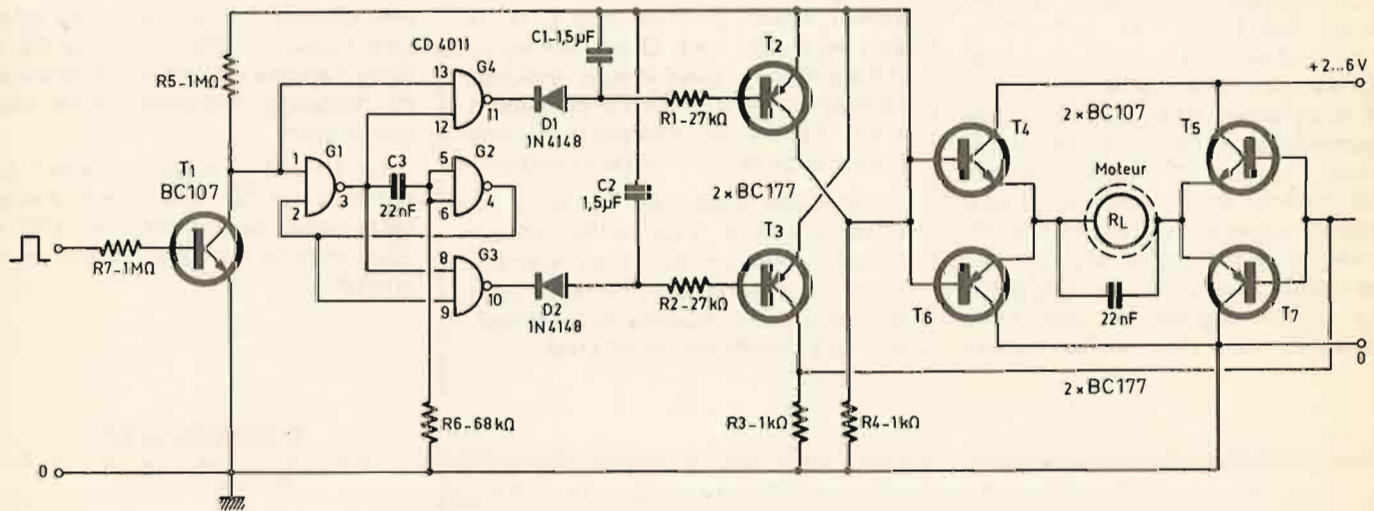
Par les portes G_3 et G_4 , on compare la durée du signal d'entrée avec la durée de l'impulsion du monostable, lequel se trouve déclenché par le front mon-

constituent des mémoires analogiques et maintiennent une intensité de commande suffisante, pour 100 mA en sortie, encore pendant 30 ms après la fin d'une impulsion de commande. Quand le signal d'entrée cesse pendant une durée supérieure, le moteur n'est plus alimenté.

plan d'implantation du montage.

Liste des composants

T_1, T_4, T_5 : BC 107 (ou BC 108, BC 237, BC 238)
 T_2, T_3, T_6, T_7 : BC 177 (ou BC 307, BC 308)
 D_1, D_2 : 1N4148
 G_1, G_4 : CD 4011



larité pour des impulsions d'entrée dont la durée est de 1 ms environ. En doublant cette durée, on obtient l'autre état de polarité.

Les durées mentionnées sont déterminées par un monostable qui se compose des portes G_1 et G_2 ainsi que des composants

tant de ce même signal. La sortie de G_3 passe ainsi à « 0 » (d'où activation de T_2) quand la durée du signal entrée est supérieure à celle de l'impulsion du monostable, et, dans le cas contraire, c'est la sortie de G_4 qui passe à « 0 » (d'où activation de T_3). Les composants D_1, D_2, C_1, C_2

En plus du circuit mentionné, les auteurs ont mis au point une commande de relais ainsi qu'une commande analogique, basées sur un accouplement mécanique entre un potentiomètre (remplaçant R_6) et un démultiplicateur que le moteur entraîne. L'article original contient également le

C_1, C_2 : 1,5 μ F, 10 V (tantale)
 C_3 : 22 nF
 R_1, R_2 : 27 k Ω
 R_3, R_4 : 1 k Ω
 R_5, R_7 : 1 M Ω
 R_6 : 68 k Ω
 (H. Schmitz et A. Hoepfner, Populäre Elektronik, Würzburg, n° 5, mai 1982, page 21.)