

Technique poche

LES AFFICHEURS

J.P. OEHMICHEN

ISSN 0153-0984



Editions Techniques et Scientifiques Françaises

LES AFFICHEURS

DANS LA MÊME COLLECTION :

- N° 1. « 30 montages électroniques d'alarme » par F. Juster.
- N° 2. « Tables de mixage et modules de mixage » par Siegfried Wirsum.
- N° 3. « 20 montages expérimentaux optoélectroniques » par G. Blaise.
- N° 4. « Initiation à la microinformatique : le microprocesseur » par P. Melusson.
- N° 5. « Montages électroniques divertissants et utiles » par H. Schreiber.
- N° 6. « Montages à capteurs photosensibles » par J.-P. OEhmichen.
- N° 7. « Les égaliseurs graphiques » par F. Juster.
- N° 8. « Pianos électroniques et synthétiseurs » par H. Tünker.
- N° 9. « Recherches méthodiques des pannes dans les récepteurs de radiodiffusion » par Dr Adolf Renardy et Ing. Heinz Lummer.
- N° 10. « Les enceintes acoustiques » par P. Hemardinquer et M. Léonard.
- N° 11. « Structure et fonctionnement de l'oscilloscope » par R. Rateau.
- N° 12. « La construction des petits modèles de chemin de fer électriques » par J.-C. Porterie.
- N° 13. « Horloges et montres électroniques à quartz » par Horst Pelka.
- N° 14. « Les cellules solaires » par F. Juster.
- N° 15. « L'électronique appliquée au cinéma et à la photo » par M. Horst.
- N° 16. « L'électronique dans les trains miniatures » par H. Jungmann.
- N° 17. « Réalisez vos circuits imprimés et décors de panneaux » par P. Gueulle.
- N° 18. « Espions électroniques microminiatures » par Günter Wahl.
- N° 19. « La construction des petits transformateurs pour amateurs » par Marthe Douriau et F. Juster.
- N° 20. « Réalisations à transistors - 20 montages » par B. et J. Fighiera.
- N° 21. « Sécurité automobile - 25 montages électroniques » par F. Huré.
- N° 22. « Performances automobiles - 25 montages électroniques » par F. Huré.
- N° 23. « Réalisez des jeux sur récepteur TV » par C. Tavernier.
- N° 24. « Présence électronique contre le vol » par H. Schreiber.
- N° 25. « Utilisation pratique de l'oscilloscope » par R. Rateau.
- N° 26. « Les afficheurs » par J.-P. OEhmichen.
- N° 27. « Réduisez votre consommation d'électricité - Montages pratiques » par P. Gueulle.
- N° 28. « Initiation pratique à la radiocommande » par F. Thobois.
- N° 29. « Montages économiques d'essence » par P. Gueulle.

Couverture : Photo Studio S.P.E.

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droits ou ayant-cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'Art. 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les Art. 425 et suivants du Code Pénal ».

J.-P. OEHMICHEN

LES AFFICHEURS

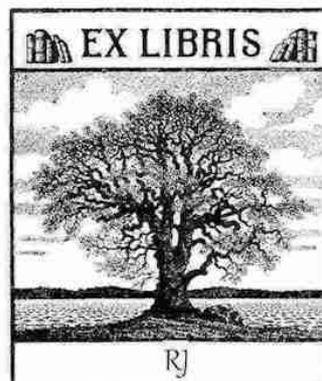
•

Diffusion :

ÉDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

2 à 12, rue de Bellevue, 75940 PARIS CEDEX 19

A ma femme



Sommaire

Introduction	7
CHAPITRE I Les différents types de dispositifs d'affichage	9
I-1 Les systèmes à pièces mécaniques mobiles	9
I-2 Les systèmes à dessins illuminés.....	11
I-3 Les systèmes produisant un point ou une plage lumineuse	12
I-4 Les systèmes produisant un dessin lumi- neux dans un gaz	18
I-5 Les systèmes produisant un dessin lumi- neux par LED	21
I-6 Les systèmes produisant un dessin lumi- neux par filaments incandescents	33
I-7 Les systèmes à cristaux liquides	36
I-8 Systèmes d'affichage sur tube cathodique	41
I-9 Comparaison des systèmes.	42
CHAPITRE II La commande des dispositifs	43
II-1 Commande de filaments incandescents .	43
II-2 La commande de tubes à gaz.	47
II-3 Commande de LED	50
II-4 Commande des cristaux liquides	60
CHAPITRE III Les circuits de commande	65
III-1 Emploi de circuits logiques simples	65
III-2 Commande d'afficheurs par décodeurs .	76
III-3 Commande d'afficheurs par transcodeurs	83
CHAPITRE IV L'affichage multiplexé	103
Conclusion	119

Introduction

Un des points intéressants de l'évolution technique et technologique de notre époque est la modification spectaculaire des moyens de présentation des grandeurs variables. En effet, l'affichage traditionnel du type continu (ou « analogique »), utilisant le déplacement d'une aiguille sur une échelle graduée, est, de plus en plus, remplacé par un affichage dit « numérique » (ou « digital »), employant des dispositifs qui permettent de lire une valeur chiffrée, cette valeur se modifiant d'une façon discontinue (par sauts d'une unité) quand la grandeur à afficher varie, même régulièrement.

La première apparition de ces systèmes a coïncidé avec le développement des compteurs électroniques, surtout en vue de leur utilisation comme fréquencemètre. Là, le progrès de la technologie a dû suivre (avec un retard que bien des techniciens ont regretté) celui de la technique : on a commencé par afficher chaque chiffre en utilisant quatre ampoules, à côté desquelles étaient inscrits les chiffres 1, 2, 3 et 8. Le chiffre 7, par exemple, correspondait à l'allumage des ampoules 1, 2 et 4 ($1 + 2 + 4 = 7$), l'ampoule 8 restant éteinte. C'était très peu pratique et la lecture était lente.

On a rapidement remplacé ce système par un affichage plus évolué, utilisant dix ampoules, chacune correspondant à un chiffre de zéro (inclus) à neuf (inclus).

Puis, ce fut l'arrivée tant attendue du premier système d'affichage numérique réellement pratique : le tube à décharge dans un gaz, communément désigné sous le nom de « NIXIE » (alors qu'il s'agit là d'une marque déposée de la société Burroughs) : dix cathodes dans une ampoule scellée contenant du néon sous faible pression permettent de faire apparaître, sous forme d'un tracé lumineux rouge, un chiffre très visible. On peut dire que c'est ce tube d'affichage numérique à gaz qui fut le point de départ de toute la modification des présentations des grandeurs.

Une nouvelle idée vint encore accroître l'intérêt de l'affichage numérique : la technique du système dit « sept segments », universellement utilisée actuellement dans les calculatrices de poche, dans les montres à quartz et dans bien d'autres applications.

Il restait à rendre ces systèmes d'affichage très petits, économiques et fiables. Ce fut l'affaire de quelques années. Les deux découvertes principales qui contribuèrent le plus à cette évolution furent les diodes électro-luminescentes (LED) et les cristaux liquides.

Dès lors, grâce aux progrès simultanés des circuits intégrés, ces systèmes d'affichage s'introduisirent partout. On les vit d'abord dans les calculatrices, puis dans les montres électroniques et on peut dire que l'on ne fait actuellement qu'entrevoir à quel point les prochaines années correspondront à une utilisation accrue de ces systèmes.

Pour les présenter, nous avons choisi de commencer par les classer en fonction de la nature du phénomène physique qui rend l'affichage visible (déplacement de pièce mécanique, illumination d'un dessin, etc.).

Ensuite, nous passerons à l'étude de la façon dont ce phénomène se commande (par exemple aux signaux à envoyer à un dispositif à cristaux liquides pour faire apparaître des signes). Enfin, la partie la plus importante de ce livre traitera des circuits utilisés pour la commande des dispositifs d'affichage, comme les décodeurs ou transcodeurs. Nous terminerons par une étude du « multiplexage » de l'affichage et par une revue des différents dispositifs pratiques utilisables.

CHAPITRE I

Les différents types de dispositifs d'affichage

I-1 Les systèmes à pièces mécaniques mobiles

On pourrait penser que ce type d'affichage n'entre pas dans la catégorie que nous avons évoquée plus haut, que l'on ne peut y ranger que les indications analogiques avec une aiguille. En réalité, dans la signalisation « tout ou rien », qui fait partie des dispositifs d'affichage, nous pouvons citer, par exemple, les voyants d'occupation des lignes téléphoniques : ils comportent (fig. 1-1) une pièce M mobile autour d'un axe, ramenée à sa position de repos par un ressort spiral R. Cette pièce comporte quatre secteurs blancs de 45° chacun, séparés par quatre secteurs noirs de 45°. Un cache ajouré, C, comporte quatre ouvertures en forme de secteurs, qui sont normalement en face des secteurs noirs

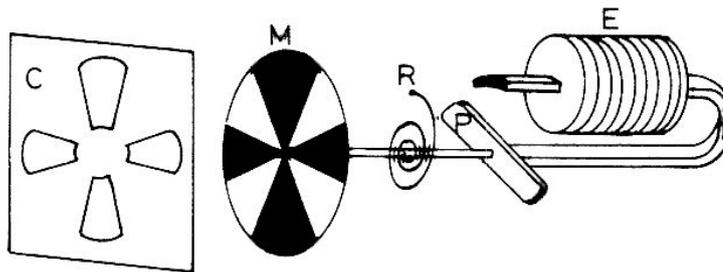


Fig. 1-1 — Afficheur d'occupation de ligne téléphonique. Quand du courant est envoyé dans la bobine B, le champ magnétique produit fait tourner la palette P. Le disque mobile M, normalement retenu par le ressort spiral R, tourne alors d'un huitième de tour, présentant donc ses zones blanches en face des quatre fentes du cache ajouré C.

En agissant sur une bobine d'électro-aimant E, on fait tourner une palette P magnétique, solidaire de l'axe de M, et cette pièce présente alors ses secteurs blancs derrière les évidements du cache C : on voit apparaître un symbole blanc bien visible.

Une autre solution consiste à utiliser (fig. 1-2) une bobine d'électro-aimant E et un disque D, en matériau magnétique dur (aimant permanent) qui peut tourner autour d'un axe A dans son plan.

Le disque est maintenu contre le bout de E par un ressort plat P.

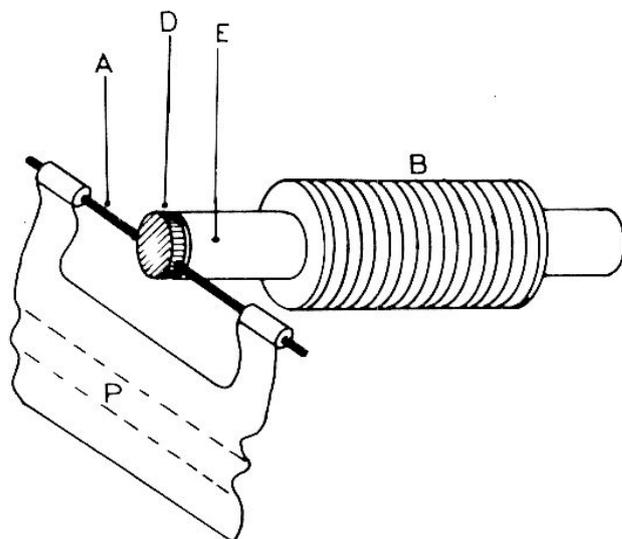


Fig. 1-2 — Le disque D, noir d'un côté et blanc de l'autre, est un aimant plat, maintenu contre le noyau magnétique par le ressort P, par l'intermédiaire de l'axe D. Quand la bobine B est excitée, si l'effet sur D est une répulsion, le disque s'écarte, se retourne et revient se plaquer contre le noyau. Ce système, qui affiche un rond noir ou un rond blanc, est doué de « mémoire ».

Si la « face nord » du disque est en contact avec le bout de E, l'envoi dans la bobine d'un courant qui donne la polarité « sud » à l'extrémité de E en contact avec le disque ne provoque aucun effet : le disque est collé plus fortement contre E. Mais, si l'on envoie dans la bobine un courant de sens opposé, l'extrémité de E en contact avec le disque devient une « face nord » : elle repousse le disque, ce dernier se retourne et revient se coller sur le bout de E.

Une face du disque est blanche, l'autre noire. Suivant la polarité du courant que l'on a envoyé en dernier à la bobine, on affiche donc un point blanc ou un point noir. Par rapport au système précédent, ce type d'affichage a une fonction « mémoire ».

Bien entendu, il est possible d'imaginer toute une série de commandes de volets, obturateurs coulissants ou rotatifs, commandés par des électro-aimants, et produisant une action visible.

I-2 Les systèmes à dessins illuminés

Il s'agit là d'une méthode bien connue : beaucoup de tableaux de bord des automobiles en sont munis. On utilise, par exemple, une plaque transparente ou translucide, derrière laquelle est située une ampoule à incandescence, ou tout autre système fournissant de la lumière. La plaque peut porter un dessin ou une inscription.

Si l'on souhaite que ce dessin (ou cette inscription) ne soit visible uniquement que si l'ampoule est allumée, il faut alors le réaliser par voie photographique en « négatif » (lettres transparentes sur fond opaque, ou tracé transparent sur fond opaque), et le recouvrir, du côté de l'observateur, d'un filtre coloré ou gris neutre, en ayant bien soin de placer l'ampoule qui est derrière dans une boîte étanche à la lumière peinte intérieurement en noir mat. Pour avoir un bon contraste dans le dessin ou l'inscription, on réalise le négatif en utilisant du film à fort contraste, comme celui que l'on emploie en photogravure (film « Kodalith » Kodak par exemple).

Le problème est un peu plus complexe si l'on désire pouvoir afficher au même point des dessins ou inscriptions différents. On ne peut plus superposer simplement des caches obtenus par voie photographique.

On utilise alors un principe bien connu des réalisateurs de cadrans pour les postes de radio : une plaque de verre ou de plexiglas bien propre, sur une des faces de laquelle on a gravé un tracé, est assez transparente si la gravure est fine. En revanche, si on l'illumine par la tranche, la gravure devient lumineuse, diffractant les rayons lumineux.

On peut donc superposer plusieurs plaques, portant chacune un tracé différent, en munissant chacune d'elles d'un éclairage latéral qui peut illuminer toute la plaque par la tranche. On voit parfaitement, surtout sur un fond noir, le tracé porté par la plaque qui est illuminée par la tranche, en revanche, les tracés des autres plaques, situées entre celle que l'on regarde et l'observateur, sont presque invisibles.

On a réalisé ainsi des empilages de dix plaques, portant chacune un tracé ayant la forme d'un chiffre, de 0 inclus à 9 inclus. Cette méthode a été employée, mais elle est pratiquement abandonnée de nos jours, nous ne la citons que pour permettre à ceux qui rencontreront un tel système d'affichage d'en comprendre le fonctionnement.

Pour en terminer avec les dispositifs de ce type, nous citerons le modèle à projection d'image, également abandonné.

Il utilisait un ensemble de dix, douze ou seize petites diapositives, chacune d'entre elles étant placée dans une « lanterne de projection »

très rudimentaire, ainsi que le montre la figure 1-3, sur laquelle nous n'avons représenté que trois diapositives, D_1 , D_2 et D_3 , avec leurs lentilles L_1 , L_2 et L_3 , servant d'objectifs de projection, et leurs ampoules individuelles, A_1 , A_2 et A_3 . Les systèmes de projection convergent, de telle sorte que, quelle que soit la diapositive éclairée par l'ampoule correspondante, l'image se forme sur la totalité de l'écran E (une plaque de plexiglas dépoli).

Cette solution, comme la précédente, correspond à un ensemble d'affichage volumineux, coûteux, peu lumineux et consommant une puissance importante.

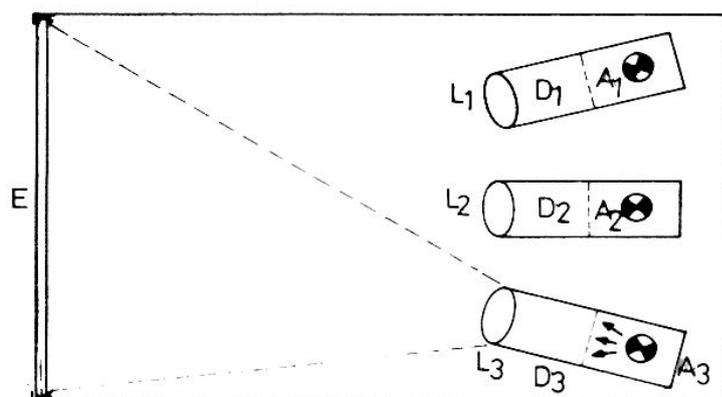


Fig. 1-3 — Système utilisable pour projeter un chiffre ou un symbole sur un écran de plastique dépoli E . Il comporte un certain nombre de lanternes de projection rudimentaires, chacune avec une lentille L , une diapositive D et une ampoule à incandescence A .

I-3 Les systèmes produisant un point lumineux ou une plage lumineuse

En général, quand on pense à tels systèmes, comme dans le cas des méthodes utilisant des pièces mécaniques mobiles, on n'envisage que l'affichage « tout ou rien », bien classique, c'est le sempiternel « témoin », que l'on met sur les appareils, pour signaler, par son allumage, que l'ensemble est en service.

En réalité, par combinaison de points lumineux ou de plages lumineuses, on peut réaliser des affichages bien plus variés que la simple indication de « présence ou absence » d'une tension.

Les méthodes de production de lumière sont relativement peu nombreuses, nous n'en envisagerons que cinq :

L'ampoule à incandescence, solution la plus ancienne, d'un rendement assez modeste, mais d'une très grande simplicité.

La décharge dans un gaz ionisé (le plus souvent du néon), qui donne une puissance lumineuse bien plus grande par watt que l'ampoule à incandescence, mais qui nécessite une tension relativement élevée (de 60 à 150 V).

La plaque électro-luminescente (de loin la moins employée) : il s'agit d'un condensateur dont une armature est une métallisation épaisse sur une plaque de verre, l'autre armature étant une métallisation extrêmement mince, (transparente) sur une autre plaque de verre. Le diélectrique est un produit chimique un peu analogue au produit fluorescent qui tapisse le fond des tubes cathodiques des oscilloscopes. Sous l'influence d'un champ électrique alternatif, le diélectrique devient lumineux (la lumière produite est très faible, il faut pratiquement être dans un éclairage ambiant très réduit, moins de 5 lux, pour la voir).

La luminescence cathodique qui est exactement la méthode employée dans les tubes d'oscilloscope pour produire le spot : on emploie un faisceau d'électrons accélérés par un champ électrique, qu'on envoie sur un produit fluorescent adéquat. Ce système, quoiqu'un peu compliqué et nécessitant des tensions assez élevées, est utilisé dans plusieurs dispositifs d'affichage.

Les diodes électro-luminescentes (ou LED = Light Emitting Diodes), d'un emploi extrêmement généralisé, d'un rendement excellent et d'un usage relativement simple et d'un prix très réduit.

Pour avoir une idée des rendements comparés des LED, des ampoules et des tubes à gaz, l'auteur a mis côte à côte un petit tube à néon, une LED orange et une petite ampoule à incandescence, et essayé de leur donner la même intensité lumineuse.

Quoiqu'il s'agisse d'une appréciation assez subjective, en raison de la différence de couleur, de forme et de dimension des trois sources nous avons trouvé des intensités lumineuses comparables pour :

20 mW (2 V 10 mA) dans la LED orange

23 mW (67 V 0,34 mA) dans le tube à néon

174 mW (2,9 V 60 mA) dans l'ampoule.

Comme on s'en doutait, cette dernière est désastreuse en rendement par rapport aux deux autres. Ce qui surprend plus, c'est la ressemblance des puissances électriques dans le néon et dans la LED (entre ces deux sources, la comparaison est plus objective, la couleur des deux lumières étant assez voisine).

Si l'on veut pousser plus loin les comparaisons, nous ajouterons que, dans le cas de la LED, on utilise une tension très basse, mais qu

l'on doit limiter le courant qui passe (il ne faut JAMAIS brancher une LED directement sur une source de tension de faible résistance interne, comme une pile par exemple). Pour l'ampoule à incandescence, il faut savoir que, lors de l'allumage de cette dernière, comme le filament est froid, la résistance du filament est bien plus faible (jusqu'à 12 fois) qu'à son régime normal de fonctionnement. Il y a donc une surintensité très grande, nocive pour le dispositif qui fournit le courant à l'ampoule et pour l'ampoule elle-même. La durée de vie d'une telle ampoule est donc limitée, mais on l'augmente beaucoup si on se limite à un courant maximal notablement inférieur au courant nominal (ce qui donne une lumière plus rouge et un rendement lumineux encore moins bon), et surtout si l'on a utilisé, pour la mise en route, un système qui limite la surintensité à l'allumage.

L'affichage par luminescence cathodique nécessite l'emploi d'une ampoule vidée d'air, contenant un filament incandescent, et exige une tension anodique d'au moins 20 V (jusqu'à 50 V dans certains cas). La puissance nécessaire pour le chauffage n'est pas négligeable : un tube prévu pour 12 chiffres, chacun en « 7 segments » (nous reviendrons sur ce point plus tard) nécessite une intensité de 120 mA sous 1,8 V pour chauffer les filaments (ce qui ne fait tout de même que 18 mW de puissance de chauffage par chiffre).

Pour commander l'allumage d'une zone sous l'effet des électrons, on agit de deux façons :

- sur la tension de l'anode (ici un des segments) qui reçoit les électrons et s'illumine sous leur impact, du fait du produit spécial dont elle est enduite ;

- sur la tension de la « grille », interposée entre le filament et l'anode, généralement portée, elle aussi, à un potentiel positif par rapport au filament.

En dépit de la nécessité d'utiliser un tube en verre où l'on a fait un vide parfait (et qui est donc fragile), de l'emploi de tensions relativement élevées (de 20 à 40 V), les afficheurs à luminescence cathodique ont une vogue assez importante et qui nous a toujours surpris.

L'utilisation de la décharge dans les gaz, nécessitant des tensions encore plus grandes que celles de la luminescence cathodique, pose essentiellement des problèmes de commande par les semi-conducteurs, généralement mieux adaptés aux circuits à tensions basses (surtout dans le cas des circuits intégrés). En outre, il ne faut pas oublier que le tube à décharge dans les gaz présente, pour les intensités faibles, une résistance dynamique *négative*, ainsi que le montre la courbe de la

figure 1-4. On voit sur cette courbe, donnant la tension aux bornes du tube à gaz en fonction de l'intensité du courant d'ionisation i , que la tension monte jusqu'à une valeur V_A (tension d'allumage) quand l'intensité du courant d'ionisation décroît jusqu'à zéro. La zone à résistance dynamique négative s'étend jusqu'à un courant i_1 , pour lequel la tension aux bornes du tube passe par un minimum (très flou) V_F (tension de fonctionnement). Pour des intensités plus grandes, la tension aux bornes du tube recommence à augmenter en fonction de l'intensité du courant d'ionisation.

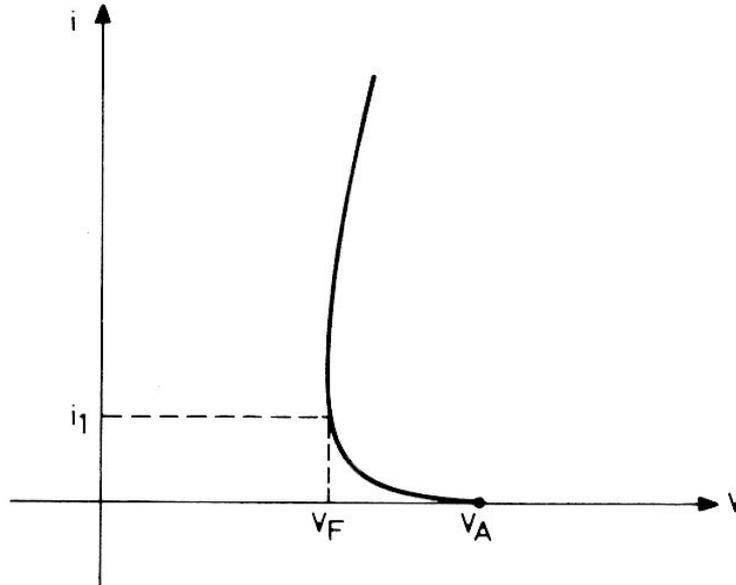
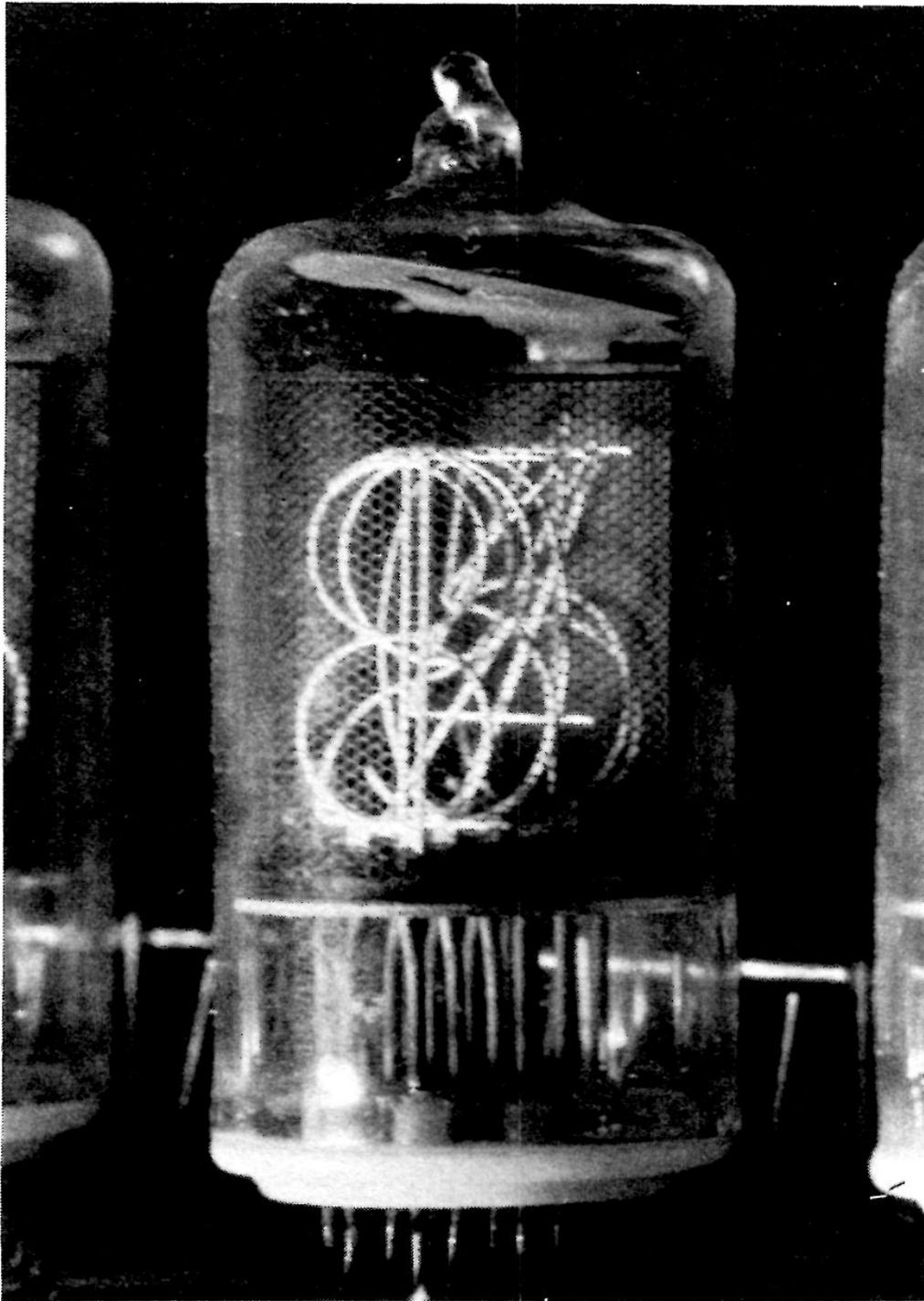


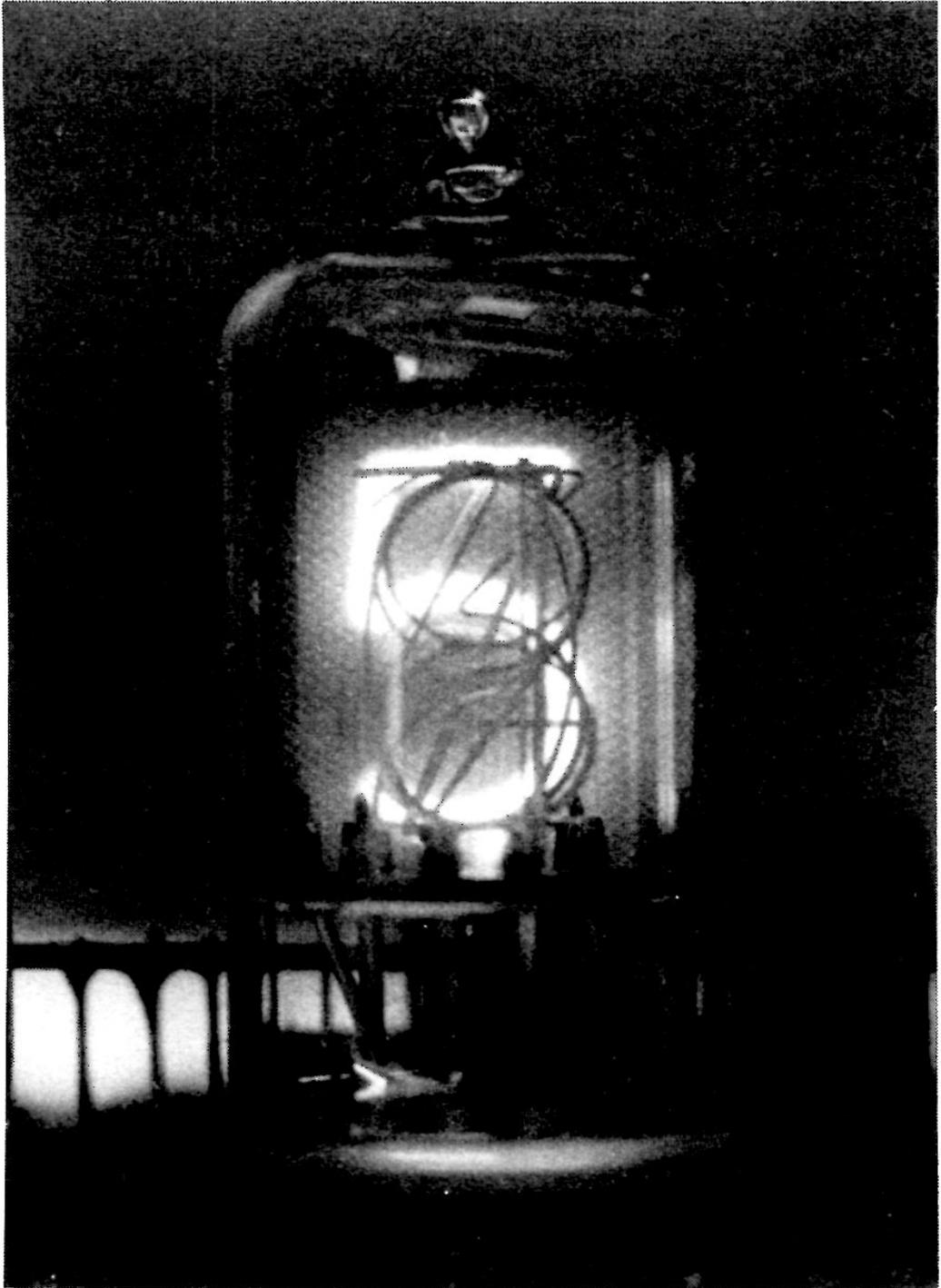
Fig. 1-4 — Dans tout tube à gaz ionisé, la tension V aux bornes du tube dépend du courant i d'ionisation. Pour les courants faibles, inférieurs à i_1 , la résistance dynamique du tube est négative. Ainsi, la tension d'allumage V_A est notablement supérieure à la tension de fonctionnement V_F .

Ce fait oblige à stabiliser le fonctionnement en utilisant une tension d'alimentation nettement plus grande que V_F (et aussi bien supérieure à V_A), et en insérant une résistance en série avec le tube. En principe, la valeur de cette résistance doit être supérieure à la valeur absolue maximale de la résistance dynamique négative de l'espace ionisé.

En ce qui concerne les plaques électro-luminescentes, comme on doit leur appliquer une tension alternative, on peut le faire par des triacs ou autres semi-conducteurs spéciaux. Leur usage dans l'affichage est extrêmement peu répandu.



Tube d'affichage numérique à gaz du type ZM 1000 (Radiotechnique), analogue au tube « Nixie » (R), sans courant, photographié avec un éclairage spécial qui permet de bien voir les cathodes dans l'ampoule.



Tube afficheur ZM 100 affichant le chiffre 5, bien visible malgré les cathodes qui sont entre la zone ionisée et l'avant du tube (éclairage ambiant 200 lux).

I-4 Les systèmes produisant un dessin lumineux dans un gaz

Ici, nous employons la décharge dans un gaz ionisé, dont nous avons déjà parlé ci-dessus, mais il ne s'agit plus de produire un simple point lumineux. On sait que, dans un gaz, la quasi-totalité de la cathode se recouvre d'une houppe lumineuse si le courant d'ionisation est suffisant.

Donc, si cette cathode a une forme déterminée, on peut produire ainsi une zone lumineuse ayant un contour défini.

L'application la plus classique, et qui a été, pendant de nombreuses années, la seule méthode pratique d'affichage de chiffres (et qui est toujours utilisée de nos jours, quoiqu'un peu moins) est le tube à affichage numérique à dix cathodes dans un gaz.

Précisons ici un point de terminologie. Un tel tube est pratiquement appelé par tous les utilisateurs un « NIXIE ». Or il ne faut pas oublier que le terme « NIXIE » est une marque déposée (société Burroughs) et que, quand on parle, comme beaucoup de techniciens le font, d'un « Nixie de marque Radiotechnique » (par exemple), c'est un peu comme si l'on envisageait une « Renault fabriquée par Citroën ». Mais il est un fait d'usage : certaines marques déposées ont fini par se confondre avec l'objet qu'elles désignaient (comme le Frigidaire ou le Klaxon). Donc, pour faire comme tout le monde, nous parlerons de « NIXIE », mais en ajoutant, comme la loi nous y oblige, le symbole (R) (Registered Trade Mark).

Dans ce « NIXIE » (R), il y a une anode, généralement cylindrique A, qui entoure les dix cathodes (fig. 1-5). Ces dernières sont réalisées en fils métalliques très fins (généralement deux fils parallèles), recourbés en forme des dix chiffres de 0 (inclus) à 9 inclus.

Ces cathodes sont empilées les unes au-dessus des autres, maintenues chacune, en haut et en bas, par une pièce isolante en forme de

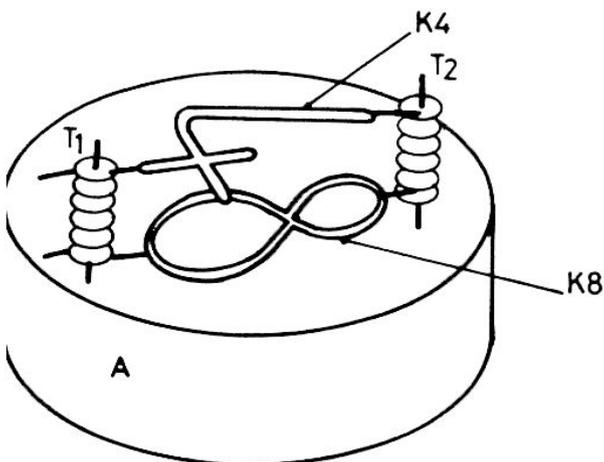


Fig. 1-5 — Structure interne du tube à affichage numérique dans les gaz, souvent dénommé « Nixie » (marque déposée de la Société Burroughs). Les cathodes K, ayant la forme des tracés à obtenir, sont maintenues par des pièces isolantes enfilées sur deux tiges T. L'anode est autour des cathodes.

poulie. Ces pièces sont toutes enfilées sur deux tiges, T_1 et T_2 . Pour chaque cathode, un fil de connexion relie la cathode à une broche passant dans le verre de l'ampoule.

Il y a essentiellement deux formes d'ampoules : celle qui est cylindrique (fig. 1-6a) à fond rond : la lecture se fait dans l'axe du cylindre, les broches de connexion étant vers l'arrière. L'autre ampoule a une forme de cylindre plus allongé (fig. 1-6b), terminé par un queusot de scellement, la lecture se faisant perpendiculairement à l'axe du cylindre, les broches (ou fils souples) de connexion sortant vers le bas, quand l'ampoule est en position de lecture.

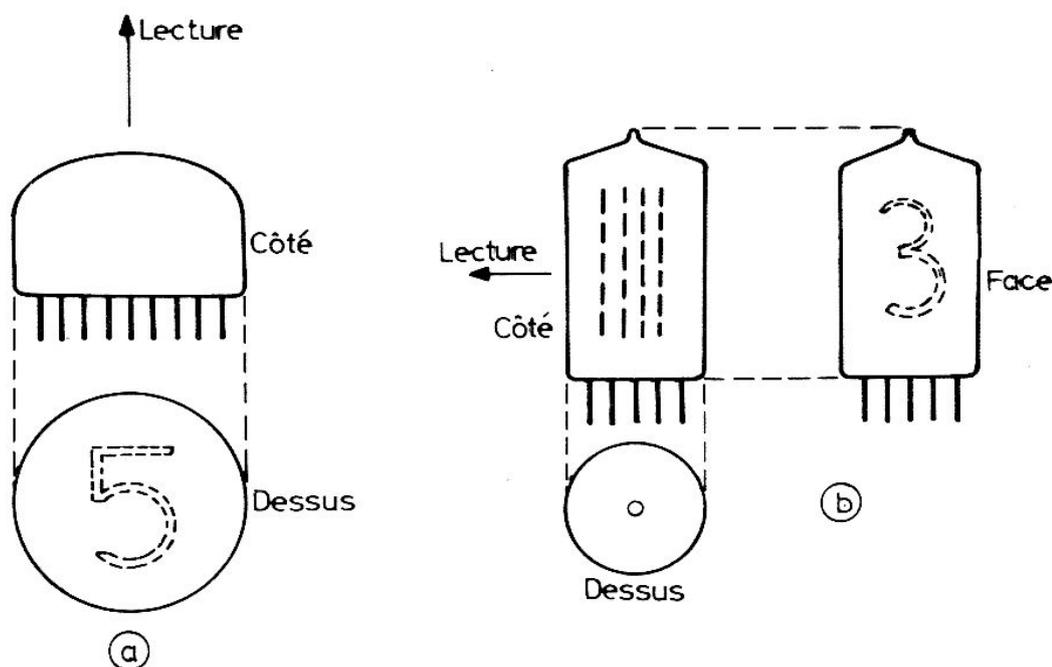
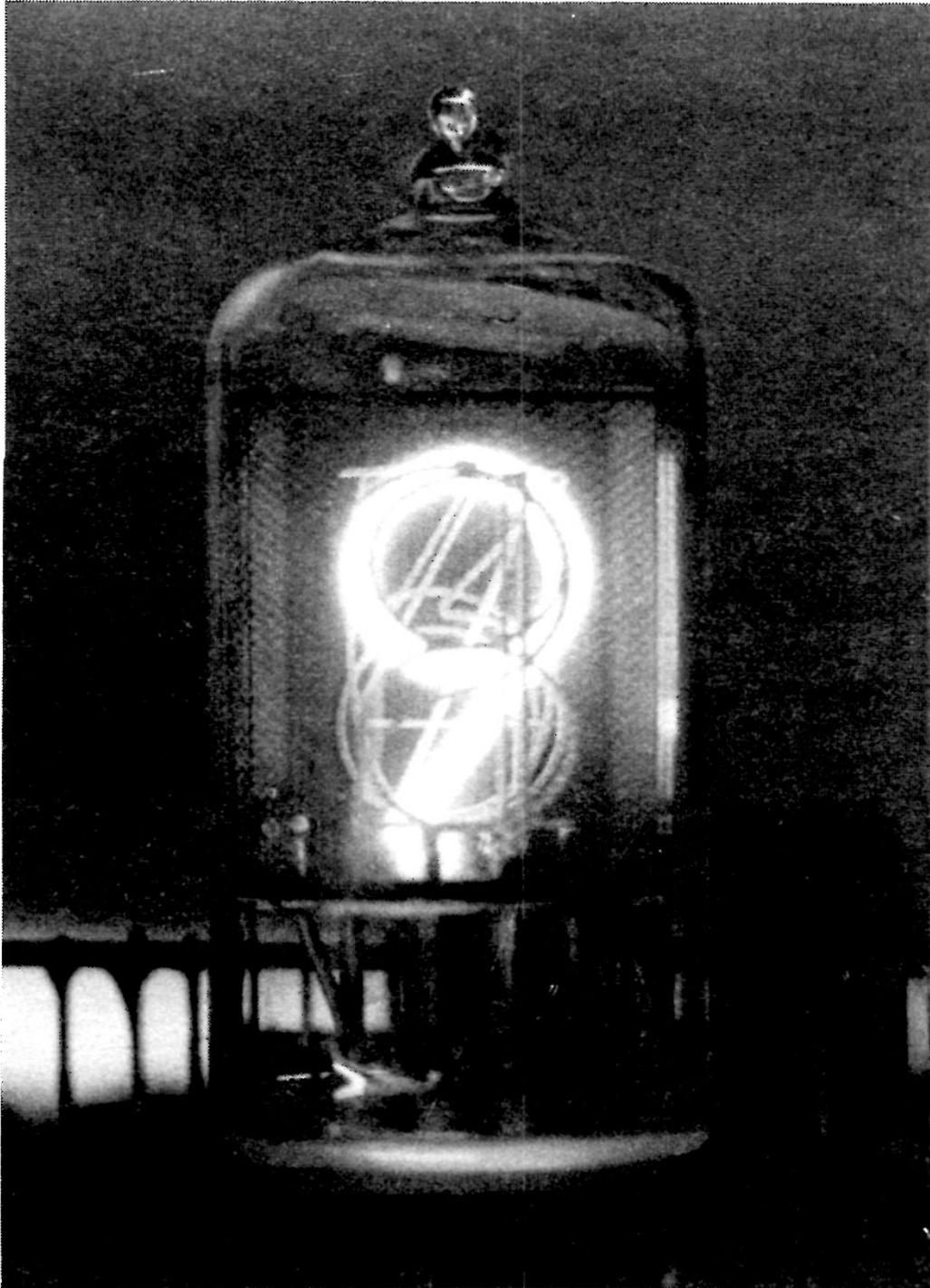


Fig. 1-6 — Deux structures possibles du tube à affichage numérique dans le gaz. En (a), l'axe de lecture est parallèle aux broches, en (b) il est perpendiculaire à ces dernières.

Les chiffres de ce type les plus petits que nous ayons vus ont environ un centimètre de haut, et nous avons vu des tubes « NIXIE » (R) avec des chiffres de 5 cm de hauteur, que l'on peut lire facilement à 15 mètres.

Il est important de noter que le tube du genre « NIXIE » (R) est pratiquement le seul système d'affichage lumineux (à part l'afficheur à empilement de plaques transparentes gravées et éclairées par la tranche) qui permette de faire apparaître en un même point un tracé exactement à la demande, d'une forme parfaitement choisie par l'utilisateur.



Tube d'affichage numérique à gaz du type ZM 1000 affichant le chiffre 9 (éclairage ambiant 200 lx).

Par exemple, il existe des tubes de ce type qui contiennent des cathodes découpées en forme de caractères (A, V, Ω , pour exprimer, dans un appareil de mesure, que la grandeur affichée se note en Ampères, en Volts, ou en Ohms).

On a reproché à ce tube d'utiliser du gaz, mais, comme on le verra, on revient au gaz pour les afficheurs. On lui a également reproché de ne pas afficher les différents chiffres dans le même plan. Évidemment, quand on voit un tel tube afficher les dix chiffres successifs, si l'on est un peu en biais par rapport à l'axe normal d'observation, on voit que certains chiffres sont plus au fond du tube, d'autres plus près de l'observateur. En général, le 6 est tout au fond, le 5 devant lui, le 7 devant, le 0 et le 9 vers le milieu le 1 tout en avant, devant le 8 et le 2.

Malgré cette variation de distance entre le chiffre et l'observateur, la lecture est extrêmement facile. On lit parfaitement les chiffres (dans le cas de tubes ZM 1000 de la Radiotechnique) dans une direction faisant un angle de 45° avec la direction normale de vision. On peut facilement, sans filtre de contraste, lire les chiffres dans un éclairage ambiant de 800 lx. Les parties de cathodes situées devant celle qui est illuminée; arrêtant un peu la lumière de cette dernière, provoquent l'apparition de petites lignes noires parasites sur le tracé illuminé par la cathode en service, mais ces lignes ne gênent pas du tout la lisibilité du chiffre.

Le gaz, que l'on considérait comme une « survivance des temps de la paléoélectronique » revient maintenant en force, avec les afficheurs à gaz à sept segments. Il s'agit d'une ampoule de forme extra-plate, c'est à peine si l'on distingue, sur le côté, un petit queueot discret, annonçant qu'il y a un remplissage gazeux entre les deux plaques de verre (très proches l'une de l'autre). Le dispositif qui affiche deux chiffres de 14 mm de hauteur chacun n'a qu'une épaisseur totale, sans les broches de connexion, de 3 mm : on dirait presque un circuit intégré de grande taille ! Pour chaque chiffre, il y a ici sept cathodes, rectilignes, dans le même plan, disposées comme nous le verrons à propos du sept segments à LED.

I-5 Les systèmes produisant un dessin lumineux par L.E.D.

Il s'agit maintenant du système le plus généralisé actuellement (avec les cristaux liquides) pour l'affichage de chiffres.

On peut employer des réseaux de LED ponctuelles, groupées en lignes et en colonnes. On le fait souvent avec 35 LED groupées en 7 lignes de 5 colonnes, comme le montre la figure 1-7. Pour éviter

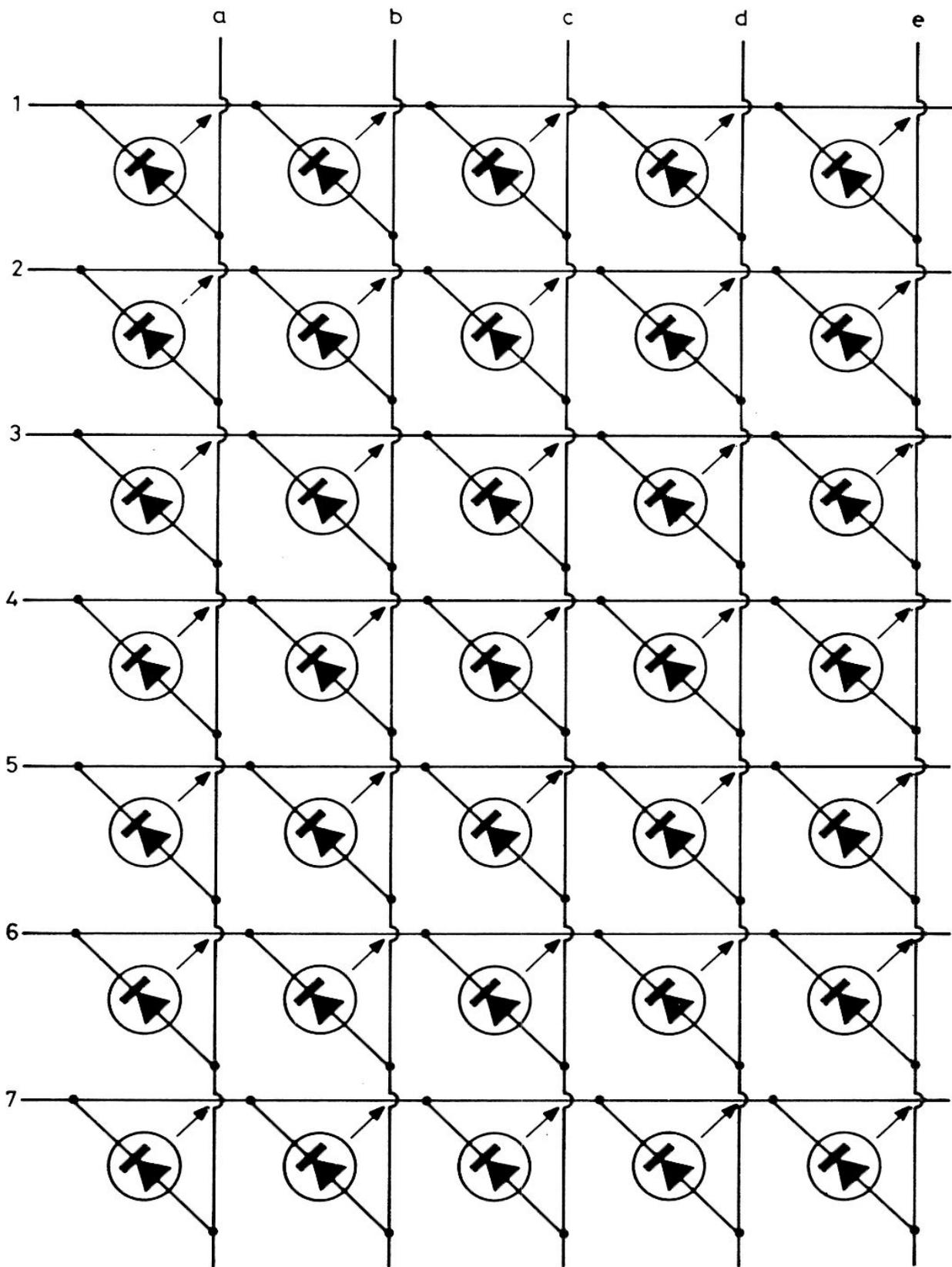


Fig. 1-7 — Ensemble de trente-cinq diodes électro-luminescentes, prévu pour un affichage. On a relié entre elles les anodes des diodes, formant ainsi les « colonnes », a, b, c, d et e ; on a relié entre elles les cathodes des diodes situées sur la même ligne. C'est ce que l'on appelle une structure « matricielle ».

d'avoir 70 connexions pour le groupe de LED, on réunit généralement entre elles les anodes des LED de la même colonne et les cathodes des LED de la même ligne. Pour allumer différentes LED par ce système de lignes et de colonnes (système dit « matriciel »), on utilise un procédé que nous détaillons ci-dessous.

La commande séquentielle

Supposons (fig. 1-8) que nous alimentions pendant une milliseconde la colonne des anodes a (la plus à gauche) par une tension positive, sans appliquer de tensions aux quatre autres colonnes d'anodes. Pendant cette même milliseconde, nous avons appliqué une tension nulle sur les sept lignes de cathodes, de 1 (compris) à 7 (compris) : comme on le voit sur la figure 1-8(A), toute la colonne des LED de gauche s'allume (elles sont toutes alimentées).

Pendant la milliseconde suivante (fig. 1-8B), nous appliquons une tension positive à la seule colonne des anodes b, et nous n'appliquons la tension nulle qu'aux lignes de cathodes 1 et 4, les cinq autres lignes de cathodes étant laissées « en l'air ». Il n'y a donc que deux LED qui s'allument dans la colonne (b) : celles des lignes 1 et 4.

Pendant la troisième milliseconde, nous appliquons une tension positive sur la colonne (c) des anodes (fig. 1-8C). En même temps, nous appliquons une tension nulle sur les lignes de cathodes 1, 4 et 5 (en laissant les lignes 2, 3, 6 et 7 non connectées). On allume donc trois LED de la colonne c, comme le montre la figure 1-8 (C).

Lors de la quatrième milliseconde, la colonne d des anodes est alimentée seule (fig. 1-8D), les lignes de cathodes 1, 4 et 6 étant reliées à la tension négative, provoquant l'illumination de trois LED de la colonne en question.

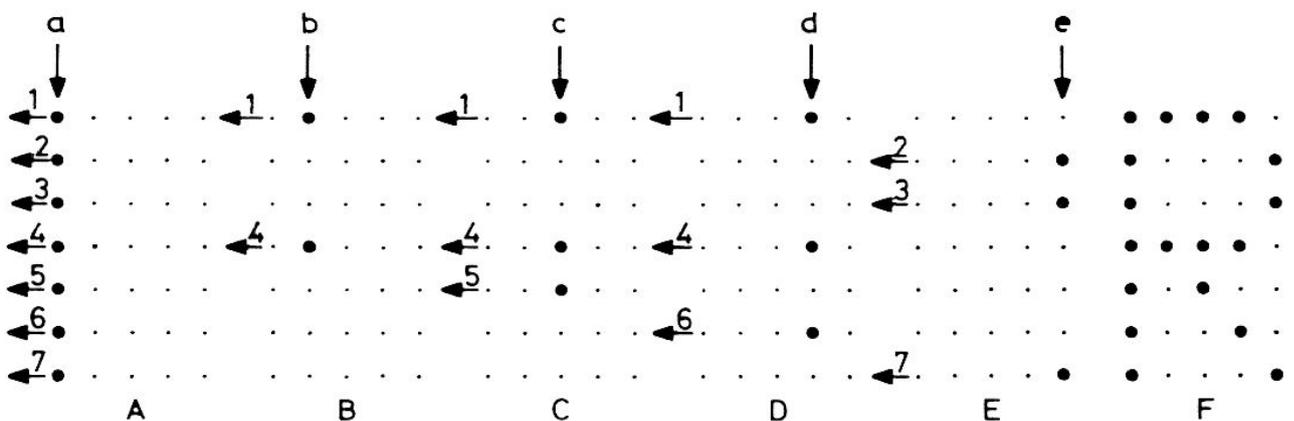
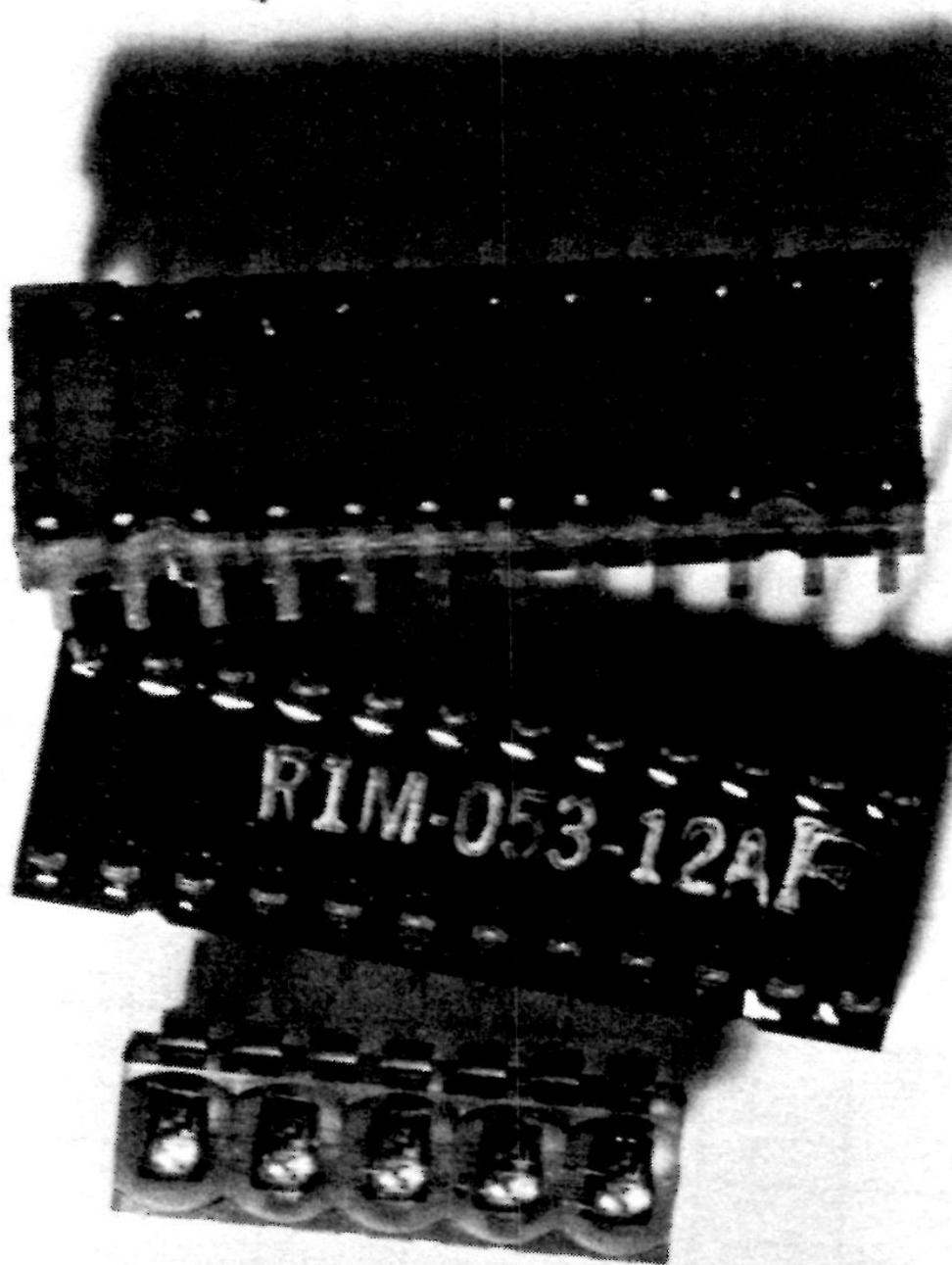


Fig. 1-8 — Succession des colonnes et des lignes excitées dans un réseau de trente-cinq LED, pour produire un effet global qui est l'affichage de la lettre R.



Ensemble de douze LED en barreau (type R-1 M 053 de ERN) (vu de face et de dos) et afficheur à cinq chiffres subminiatures, du genre utilisé dans les calculatrices de poche (type 5082-7415 de Hewlett-Packard).

Enfin, à la cinquième milliseconde, ainsi que le montre la figure 1-8 (E), nous alimentons la colonne des anodes e, la plus à droite, et nous appliquons la tension négative sur les lignes de cathodes 2, 3 et 7, ce qui allume trois LED.

A la sixième milliseconde, on recommence comme pour la première, etc., réalisant ainsi un « balayage » de tout l'ensemble des 35 LED).

La persistance des impressions rétinienne jouant, on a l'impression de voir en même temps 18 LED allumées, comme le montre la figure 1-8 (F). On distingue alors très clairement la lettre R majuscule.

On voit que la commande des différentes LED est compliquée, nous reviendrons plus loin sur les circuits électroniques qui permettent cette commande.

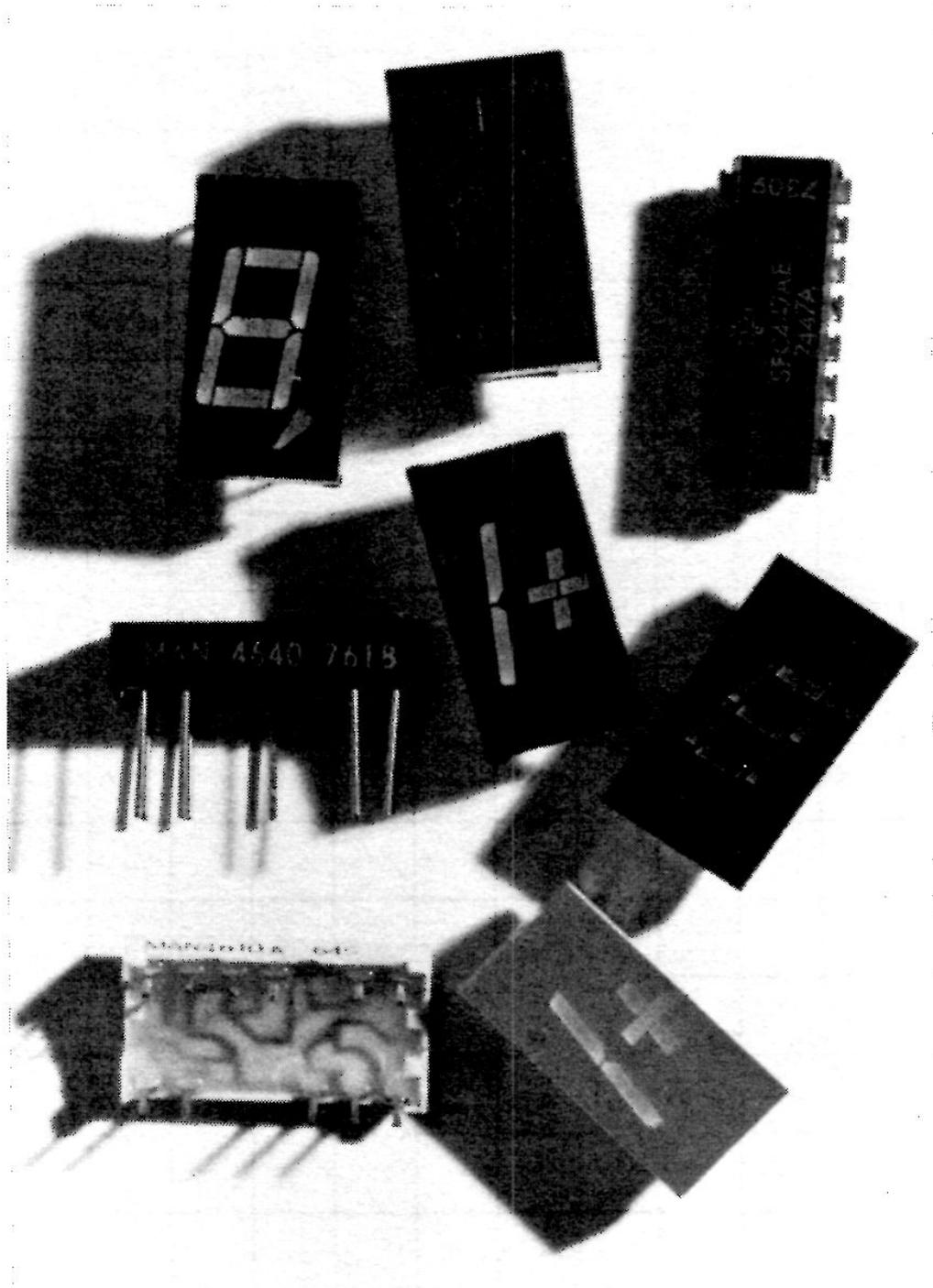
Le système de 35 LED est fort cher, un seul afficheur de ce type revient à environ cinq à six fois le prix d'un « 7 segments » à LED. La commande des LED nécessite un ensemble de circuits coûteux, ce qui met, à notre avis, ce système hors de portée des amateurs. Disons toutefois que ce système d'affichage permet de représenter une très grande variété de tracés, toutes les lettres de l'alphabet, en majuscules ou/et en minuscules, les chiffres (d'une façon très agréable à lire), les signes de ponctuation et d'autres signes.

Le circuit afficheur à 35 LED

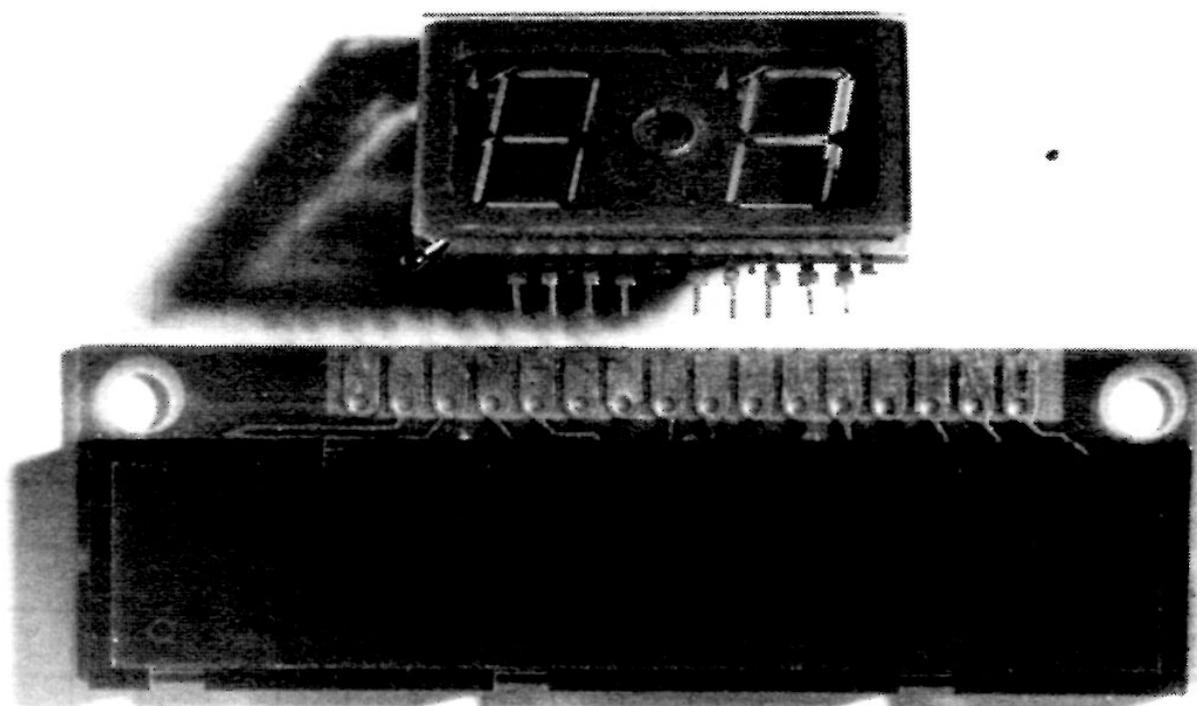
Il y a une version plus facile à l'emploi d'un tel réseau de 35 LED, comportant, dans le même bloc, les circuits de commande (cette fois sans « balayage », la commande des différentes LED à allumer étant faite par un ensemble de circuits logiques de « décodage », avec allumage simultané de toutes les LED à allumer).

On commande le tout par quatre entrées, sur lesquelles on applique un ensemble de quatre tensions (chacune étant un « niveau logique », c'est-à-dire une présence ou absence de tension) qui constitue un « code ».

Un premier type est prévu pour l'affichage des dix chiffres de 0 (inclus) à 9 (inclus). On dit qu'il s'agit d'un afficheur « B.C.D. » (Binary Coded Decimal = nombre décimal codé en binaire). Le circuit comporte donc quatre entrées, nommées A (unités), B (deuxaines), C (quatraines) et D (huitaines). Si l'on applique, par exemple, un niveau haut sur A et sur C, bas sur B et sur D, cela signifie 5 (1 + 4), les LED affichent le chiffre 5. Il est à noter que de tels circuits comportent, en plus, une « mémoire ». Quand on a appliqué un « code » (ensemble



Différents afficheurs sept segments ou ± 1 à LED, dont un vu de dessous pour montrer la plaque imprimée qui sert à envoyer le courant aux différentes LED.

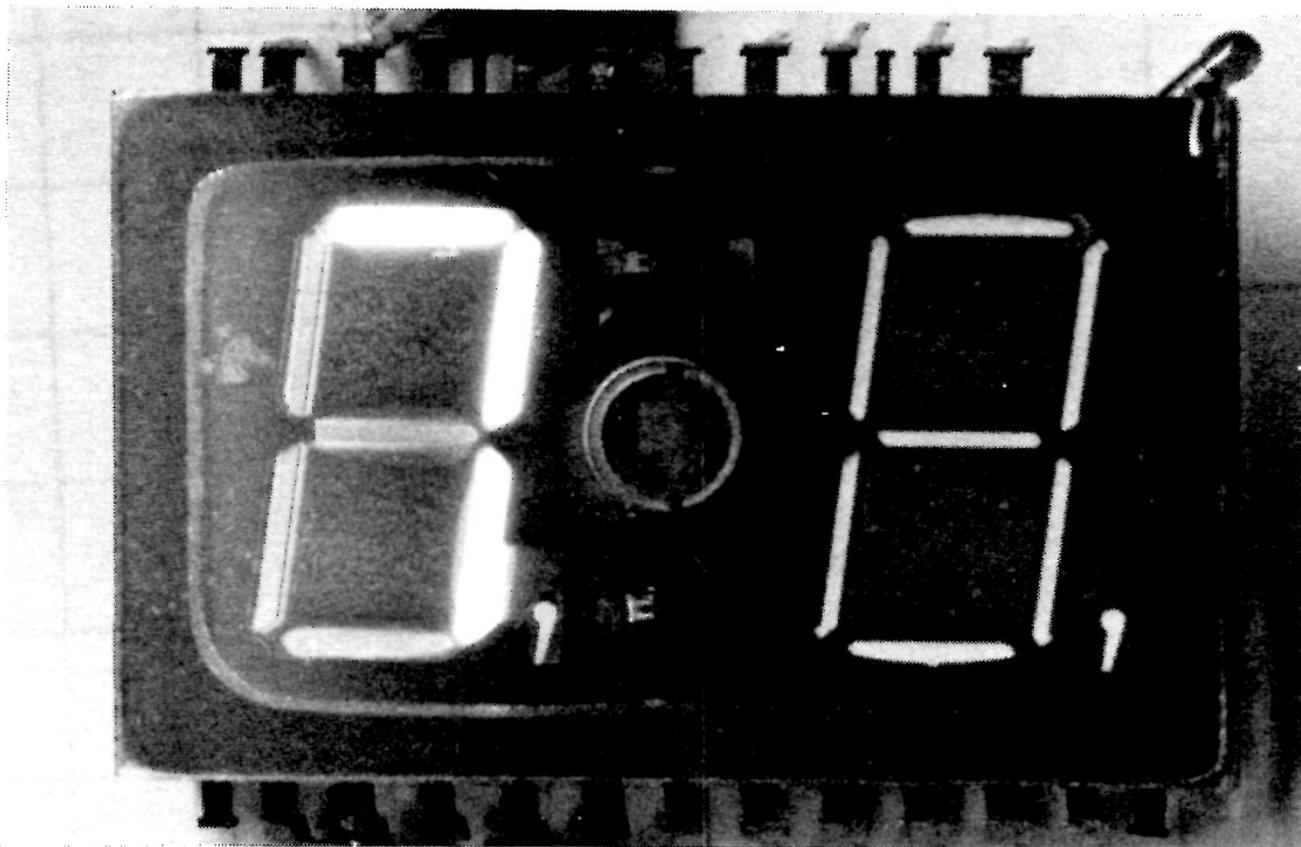


Afficheur à deux fois sept segments au néon (type ZM 1550 de Radiotechnique) à côté d'un afficheur de quatre chiffres de sept segments chacun (type TIL 370 ou DIS 739 de Texas Instruments) dont les afficheurs sont recouverts par une plaque de plastique rouge servant de filtre.

de quatre niveaux logiques aux entrées A, B, C et D), si l'on porte au niveau bas l'entrée dite « prise en mémoire » ou « latch » (verrou), le circuit continue à afficher, sur l'ensemble des LED, le chiffre qui correspond au code présent au moment où l'on a porté l'entrée mémoire à zéro. Même si l'on change les états des entrées, le chiffre affiché ne change pas. Il prendra la valeur correspondant au nouveau code si l'on porte momentanément l'entrée « prise en mémoire » au niveau haut pendant un temps même très court.

Par exemple, appliquons un niveau haut sur l'entrée « prise en mémoire », et un niveau haut sur les entrées A, B et C, l'entrée D étant au niveau bas. Le code ($1 + 2 + 4$) correspond à 7, et les LED affichent 7. Portons maintenant l'entrée A au niveau bas, faisant passer le code de 7 à $0 + 2 + 4 = 6$, les LED changent et affichent 6.

Portons l'entrée de prise en mémoire au niveau bas : le chiffre 6 continue à être affiché. Amenons maintenant l'entrée B au niveau bas (il n'y a plus que l'entrée C qui soit haute, le code signifie donc 4) L'affichage ne change toujours pas, il reste 6.



Afficheur deux fois sept segments à gaz, type ZM 1550, dont la section de gauche affiche sept. Malgré un niveau ambiant d'éclairage de 400 lux, on voit nettement l'affichage.

Maintenant, si nous portons, ne fût-ce que pendant une microseconde, l'entrée « prise en mémoire » au niveau logique haut, l'affichage prend immédiatement la nouvelle valeur, et les LED affichent 4.

Afficheurs hexadécimaux

Un autre type de circuit-afficheur de ce type (on l'appelle circuit-afficheur car il comporte à la fois les LED d'affichage et les circuits intégrés qui les commandent, ainsi que les mémoires), est prévu pour le code « hexadécimal ». Il s'agit d'un code extrêmement employé par les informaticiens, utilisant une numération à base 16, qui nécessite donc seize symboles différents pour représenter seize chiffres. Par convention, on a pris, pour les dix premiers symboles, les chiffres usuels, de 0 à 9, puis, pour le *chiffre* dix, le symbole « A » (il ne faut pas oublier que, dans le code hexadécimal, dix est un *chiffre* et il ne s'écrit pas en plaçant un zéro à droite d'un un). Pour onze, on a pris « B », de même C, D correspondent respectivement à douze et treize (toujours considérés comme des *chiffres*), alors que E correspond à quatorze et F à quinze.

En hexadécimal, par exemple, le *nombre* 14 signifie vingt (une « seizaine », soit seize, plus quatre unités). Le nombre 3A signifie : trois « seizaines » plus dix unités, soit quarante-huit plus dix = cinquante-huit.

Pour l'afficheur hexadécimal, on utilise donc les seize possibilités que donne le code appliqué sur les quatre entrées A, B, C et D (dans l'afficheur BCD, on n'utilisait que dix de ces seize possibilités).

L'avantage du système à 35 LED est qu'il permet une distinction parfaite du 8 et du B (fig. 1-9). De même, il évite toute confusion entre le O et le D.

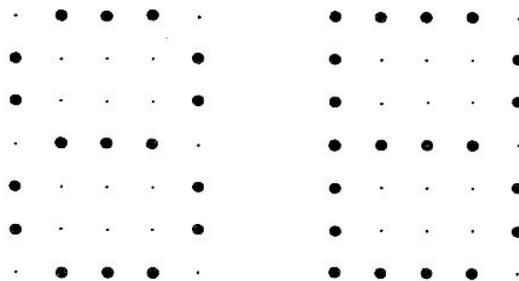


Fig. 1-9 — Dans les afficheurs à trente-cinq LED ponctuelles, on peut faire très bien la différence entre le huit et le B majuscule.

Les afficheurs de ce type, avec les 35 LED, les circuits de décodage et de mémoire sont extrêmement chers : il faut compter environ dix fois le prix d'un afficheur classique sept segments à LED.

Les sept segments à LED

Bien moins riche en possibilités, mais d'un prix beaucoup plus bas, le type classique à sept segments à LED est l'un des plus répandus qui soit.

Il utilise sept LED qui, par des systèmes de guides de lumière, permettent chacune d'illuminer un petit rectangle, appelé segment. Ces segments sont groupés comme l'indique la figure 1-10, sur laquelle nous avons indiqué les lettres, de a à g, que l'on utilise toujours pour désigner les différents segments.

S'ils sont tous illuminés, on affiche un chiffre 8. En éteignant seulement le segment g, on affiche un 0. Le 1 s'affiche en illuminant seulement les segments b et c (il y a ici un défaut assez gênant : ce 1 est

décalé vers la droite, au lieu d'être au centre de la zone où l'on affiche les autres chiffres). le 2 est affiché par l'allumage de a, b, g, e et d.

Pour le 3, on allume tous les segments sauf e et f. Le 4 se figure par l'allumage de b, c, f et g. Le 5 est affiché quand on éteint seulement b et e. Pour le 7, on allume a, b et c.

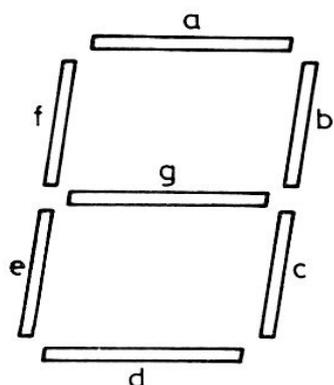


Fig. 1-10 — Positions et noms conventionnels des sept segments utilisés dans de nombreux affichages (à LED, à gaz, à cristaux liquides) pour afficher des chiffres et quelques lettres.

Reste l'affichage de 6 et 9. La méthode qui donne les chiffres les plus lisibles consiste, pour le 6, à allumer tous les segments sauf le b, et, pour le 9, tous les segments sauf le e. C'est ce que l'on fait dans tous les systèmes d'affichage de bonne qualité.

Malheureusement, il se trouve qu'il peut être plus simple d'afficher le 6 en éteignant a et b, (fig. 1-11) ou le 9 en éteignant d et e. On dit alors que l'on affiche « sans le drapeau » (flag). Ce type d'affichage est très inesthétique.

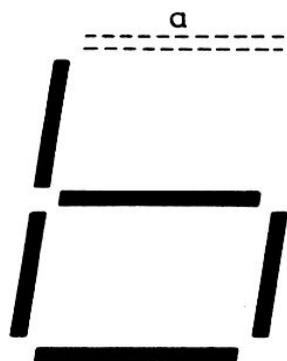


Fig. 1-11 — Il est possible (mais horriblement inesthétique) de faire l'affichage du six sans le « drapeau » (sans utiliser le segment a). On peut faire aussi l'affichage du neuf sans le segment d, mais c'est peut-être encore plus laid.

Il faut croire que le côté extrêmement laid de l'affichage « sans drapeau » est moins ressenti par plusieurs personnes, car il y a de nombreux circuits intégrés de commande des afficheurs à sept segments qui utilisent ce type d'affichage. En tous cas, il est indispensable d'avoir un affichage « avec drapeau » si l'on veut utiliser le sept segments pour afficher le code hexadécimal.

En effet, le système à 7 segments se prête à une variété d'affichages bien plus grande que les dix chiffres. Théoriquement, avec sept segments, en éliminant la combinaison qui consiste à les éteindre tous, on peut produire 127 graphismes différents. Il y en a plusieurs qui n'ont pas de signification utile, mais, parmi les tracés autres que des chiffres, on peut afficher, avec un système à 7 segments, les lettres majuscules :

A, C, E, F, H, J, L, P et U

(On peut afficher aussi quelque chose qui ressemble un peu à D, mais qui est aussi le zéro, quelque chose qui ressemble à B, mais qui est aussi le 8, quelque chose qui ressemble à S, mais qui est aussi le 5, la lettre G pouvant être approximativement affichée). On peut aussi afficher les lettres minuscules b, c, d, h, o, r, t et u (et aussi, mais avec changement de taille, les lettres minuscules a et e).

Il est à remarquer que plusieurs lettres sont obtenues en retournant l'affichage d'un chiffre : le h minuscule en le retournant donne le 4, le L majuscule en le retournant le 7. On connaît ces « gags » pour calculatrices de poche, où le résultat d'une opération se « lit » en retournant la calculatrice, sous la forme d'un ou plusieurs mots (un exemple connu : 710.11345 retourné se lit (à peu près) : Shell Oil.

On a donc essayé d'utiliser les afficheurs 7 segments pour représenter plus que les dix chiffres. Par exemple, pour afficher le code hexadécimal, il n'y a pas de problème pour A, C, E et F ; mais, pour éviter de confondre D majuscule et zéro, ou B majuscule et 8, on affiche b en minuscule et d aussi : on peut alors afficher la suite suivante :

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, b, C, d, E et F

(Ce qui oblige alors formellement à afficher le 6 avec le drapeau, pour ne pas le confondre avec le b).

Les afficheurs à seize segments

Compte tenu des possibilités déjà grandes des types à 7 segments, les réalisateurs d'afficheurs ont pensé à un modèle un peu analogue, mais offrant une très grande gamme de possibilités d'affichage. On emploie alors non plus sept segments, mais seize, disposés comme le montre la figure 1-12 : les segments a, d et g du sept segments ont été chacun fractionnés en deux, et l'on a ajouté les segments de h à m.

On peut alors afficher un très grand nombre de tracés divers, entre autres les lettres de l'alphabet (en majuscules), les chiffres, et plusieurs signes ou symboles. Généralement, on limite à 64 le nombre de tracés divers (y compris le tracé « nul », avec tous les segments éteints). On désigne alors ces différents tracés par un code, le plus connu étant celui

que l'on désigne par le sigle « ASCII » (que l'on prononce bizarrement : « code ASKI »), qui, pour donner 64 possibilités, doit comprendre six chiffres binaires (ou un chiffre hexadécimal et deux chiffres binaires).

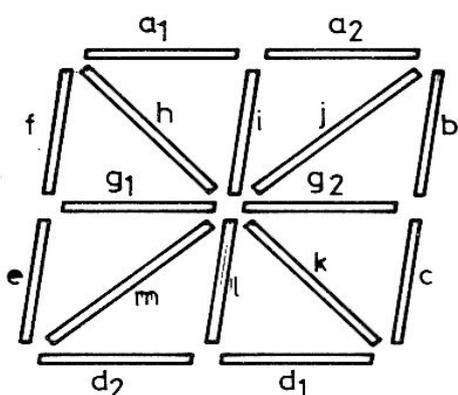


Fig. 1-12 — Afficheur dit « Seize segments » (souvent complété par deux points), avec lequel on peut faire apparaître n'importe quel chiffre, n'importe quel caractère.

Evidemment, la commande de seize segments est plus compliquée que celle de sept. Il faut, pour cela, un système de décodage que nous verrons plus loin et qui utilise une « mémoire à lecture seule » (R.O.M. = Read Only Memory).

Ce type d'afficheur, évidemment plus cher que le sept segments, est tout de même abordable : on peut compter que son prix, par afficheur, est environ 4 à 5 fois celui de l'afficheur 7 segments.

Le branchement des LED dans les afficheurs

Evidemment, dans un afficheur à seize segments, on ne saurait envisager seize LED entièrement indépendantes : cela nécessiterait 32 connexions (une anode et une cathode par LED).

Donc, comme dans le cas des groupes de 5×7 que nous avons rencontrés plus haut, on réunit ensemble certaines électrodes. On peut, par exemple, n'avoir qu'une seule connexion pour toutes les anodes des LED. L'afficheur est alors nommé « type à anode commune ». Il serait aussi possible de n'avoir qu'une seule connexion pour les cathodes des LED : on dit alors que c'est un afficheur « à cathode commune » (ce dernier type tend à devenir plus répandu que le premier).

Il en va d'ailleurs de même pour les afficheurs à sept segments : plutôt que les munir de quatorze fils de connexion, on réunit ensemble :

- toutes les anodes des sept LED dans le modèle « anode commune »,
- toutes leurs cathodes dans le modèle « cathode commune » (en passe de devenir plus classique que le premier).

Toutefois, cette disposition n'est pas adoptée pour certains afficheurs dits « de dépassement », qui ne peuvent afficher (fig. 1-13) qu'un signe +, un signe —, ainsi que le chiffre 1. Cet afficheur ne comporte que cinq segments (il pourrait en comporter moins encore, car on commande toujours a et b ensemble, d et e ensemble). On prévoit donc deux sorties pour chaque LED, ce qui évite une multiplication abusive des types.

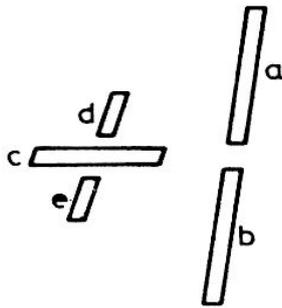


Fig. 1-13 — Afficheur dit « de dépassement », permettant de faire apparaître un signe + ou —, suivi ou non du chiffre 1.

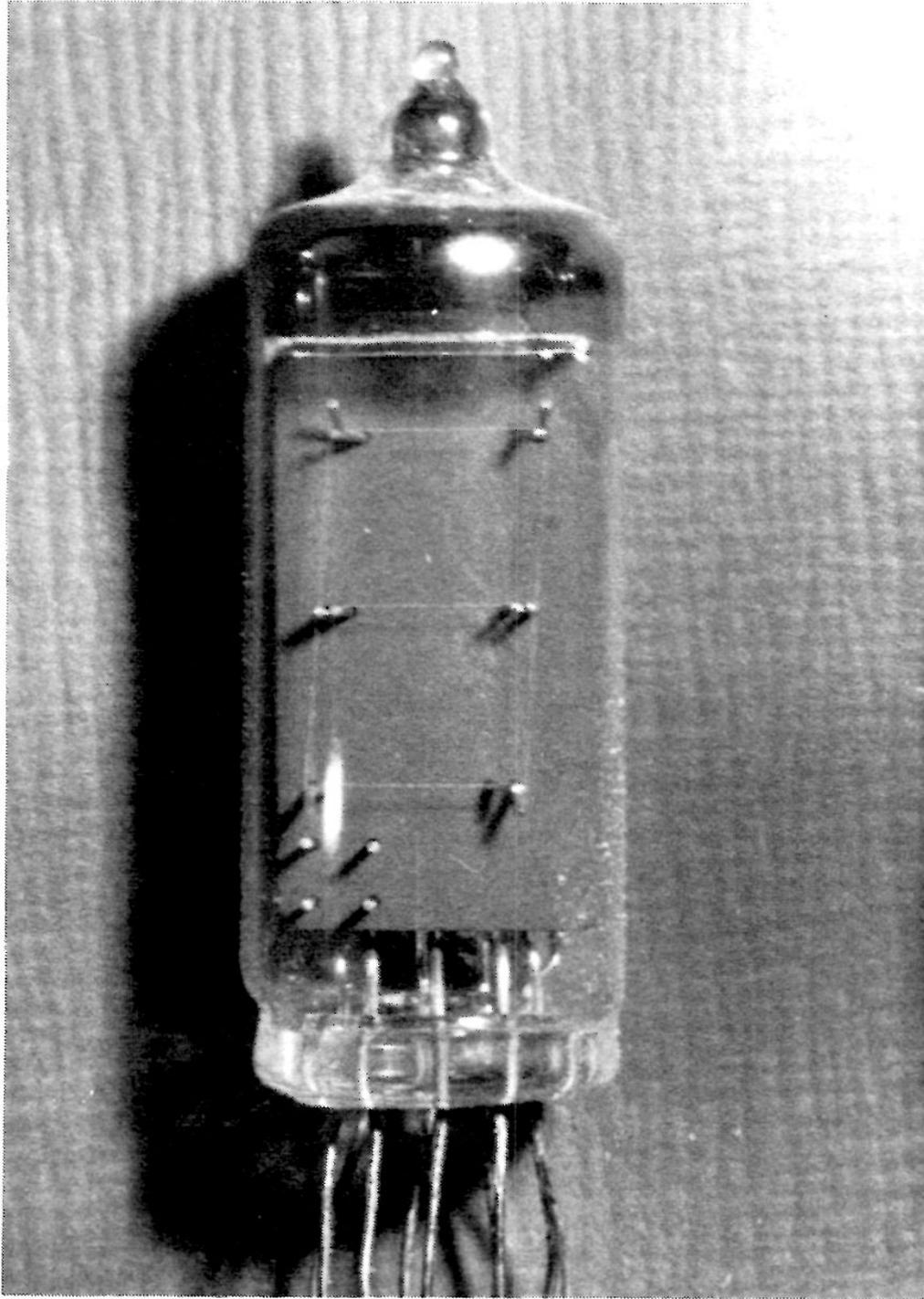
Ajoutons, à ce propos, que les afficheurs à 7 et 16 segments, ainsi que les afficheurs de dépassement, ont souvent, en plus, une LED supplémentaire, servant de « point décimal » (adopté, à la place de notre virgule, aux U.S.A. et maintenant dans le monde entier, pour séparer la partie entière et la partie fractionnaire).

Comme il peut être utile d'avoir ce point décimal à droite du chiffre ou, éventuellement, à gauche, la position de point conduit à une nouvelle multiplication de types, ceux qui ont le point à droite (RHDP = Right Hand Decimal Point) et ceux dans lequel le point est « à main gauche » (LHDP = Left Hand Decimal Point).

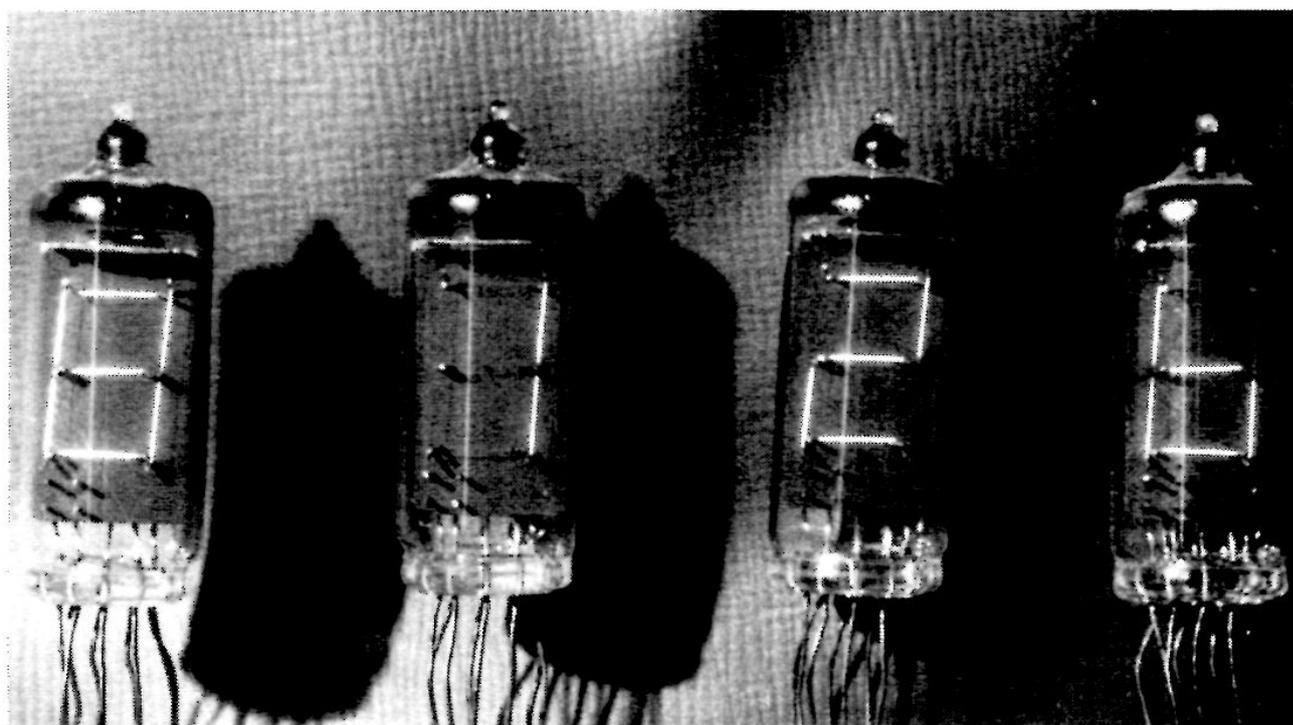
Compte tenu des différentes tailles de tracés et des différentes couleurs possibles (rouge, jaune, orange ou vert), on voit que l'on arrive facilement à une prolifération de types relativement nuisible à la production de masse, condition nécessaire pour un sérieux abaissement de prix et une disponibilité correcte. Il y a des progrès à faire dans ce domaine.

I-6 Les systèmes produisant un dessin lumineux par filaments incandescents

Après le mal que nous avons dit du rendement des ampoules à incandescence, on pourrait penser que les filaments sont abandonnés dans les afficheurs modernes. Or, on rencontre assez souvent des afficheurs 7 segments dans lesquels chaque segment est un petit filament incandescent. Evidemment, le tout est groupé dans un tube en verre où l'on a fait le vide.



Tube « Apollo », à sept segments en filaments incandescents, vu sans courant dans les filaments.

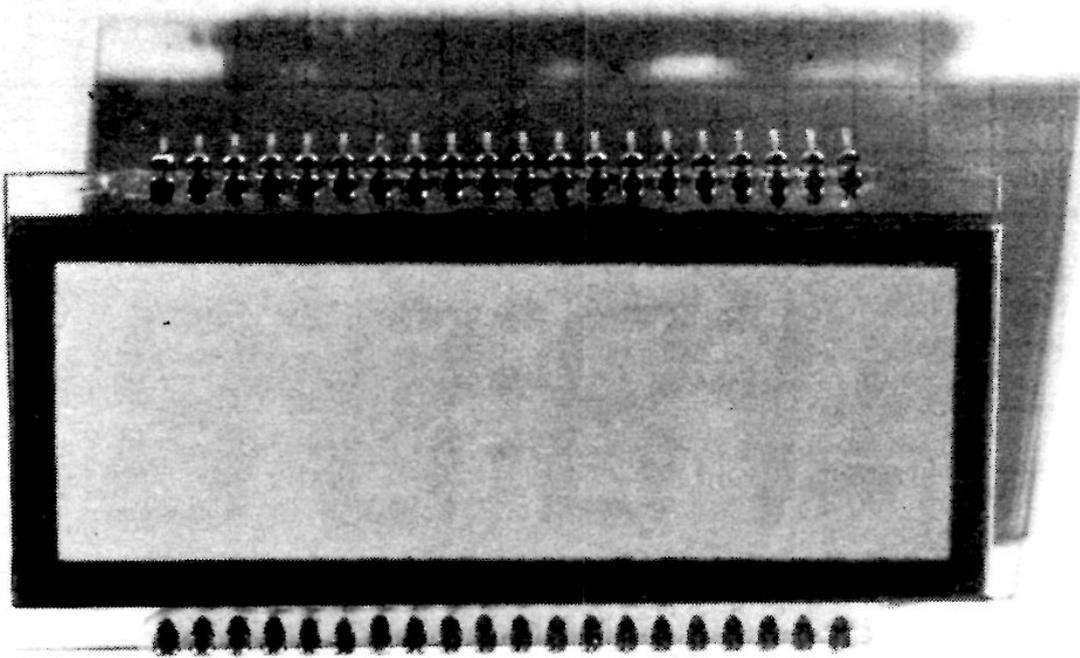


Affichage sur quatre tubes « Apollo » à filaments incandescents, avec des filaments alimentés sous 4,8 V (20 mA) chacun, photographié avec un éclairement ambiant de 3 000 lux (soit une vive lumière du jour, sans soleil direct). Le nombre de 8120 est nettement visible malgré le niveau très élevé d'éclairement.

Le modèle que nous avons essayé est réalisé sous forme d'un tube de verre, d'un diamètre extérieur de 13 mm et d'une hauteur de 38 mm (fils d'arrivée non compris), pour chaque chiffre. Les filaments ont tous une de leurs extrémités reliée à une connexion commune.

Il faut, par filament, une tension d'au moins 2 V (intensité 10 mA) pour que l'on commence à distinguer quelque chose de visible dans l'obscurité. Au régime nominal, soit environ 5 V (intensité 20 mA) par filament, la brillance est telle que le chiffre affiché peut être vu même quand le tube est placé en plein soleil.

C'est là l'explication de l'emploi de l'incandescence, assez désavantageuse en rendement lumineux : la brillance d'un filament par unité de surface est plus grande que celle de tout autre système producteur de lumière. En particulier, on utilise souvent de tels tubes pour l'affichage du volume d'essence dans des stations service : avec un filtre de contraste gris, on obtient un affichage qui peut se lire sans éclairage, ou avec n'importe quelle valeur d'éclairement ambiant.



Afficheur à cristaux liquides, prévu pour trois chiffres, point décimal, indicateur de polarité et chiffre 1.

I-7 Les systèmes a cristaux liquides

On nomme « cristal liquide » un produit aux propriétés tout à fait paradoxales. Il s'agit bien d'un liquide, ressemblant à une huile, mais il agit sur la lumière polarisée comme le ferait un cristal.

Lumière polarisée

Pour rendre plus claire l'explication qui suit, nous devons faire ici un petit rappel concernant la polarisation de la lumière et les propriétés des cristaux.

La lumière se comporte comme une onde électromagnétique, d'une longueur d'onde comprise, pour la lumière visible, entre 400 et 750 nm (1 nm ou nanomètre correspond au millionième de millimètre, soit à 10^{-9} m). La fréquence correspondante va donc de $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz à $4 \cdot 10^{14}$.

L'oscillation des champs électrique et magnétique est perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière. Dans le cas de la lumière dite « sauvage », ou « non-polarisée » (cas le plus courant), elle

se fait dans n'importe quelle direction. Mais il y a un type de lumière dite « polarisée », correspondant à une oscillation du champ électrique par exemple dans une direction fixe.

On peut obtenir de la lumière polarisée à partir d'une source Laser par diffusion de lumière sauvage dans un milieu opalin, par réflexion de la lumière sauvage sur une surface polie non-conductrice, particulièrement quand l'angle de réflexion est optimal pour polariser au mieux (soit un angle de l'ordre de 55 degrés avec la normale pour les matériaux usuels).

La meilleure façon d'obtenir de la lumière polarisée est de partir de lumière sauvage et de lui faire traverser un filtre dit « polarisant ». Des filtres de ce type sont utilisés, par exemple, dans certaines lunettes anti-soleil, dans les hublots d'avions à transparence variable, et en photographie.

Quand on a de la lumière polarisée, par exemple après la traversée d'un filtre polarisant, si on la fait passer à travers un autre filtre polarisant, elle peut le traverser facilement, sans absorption notable, si ce second filtre est orienté comme le premier. Mais, si l'on fait tourner le second filtre par rapport au premier, on constate que la lumière le traverse de plus en plus mal. Pour une direction donnée du second filtre par rapport au premier (on dit que les filtres sont « croisés »), la lumière ne passe plus du tout à travers les deux filtres, bien que chacun d'eux soit relativement transparent quand on l'examine tout seul.

Introduisons maintenant, entre les deux filtres croisés, un morceau de plastique sans tension interne, par exemple du « plexiglas » : on ne constate rien : la lumière qui a franchi le premier polariseur et le plexiglas est toujours arrêtée par le second polariseur.

Mais, si nous remplaçons le plexiglas par une lame taillée dans un cristal, la lumière peut être rétablie. On dit que le cristal a fait tourner le plan de polarisation de la lumière. C'est là une propriété caractéristique du cristal, que l'on appelle son « pouvoir rotatoire ». On constatera un effet analogue, mais avec des apparitions de couleurs diverses et très belles en plaçant, entre les filtres polarisants croisés, un morceau de plastique bon marché qui, en raison des tensions internes qui y règnent, se comporte un peu comme un cristal. On verra même le retour de la lumière en mettant entre les filtres une simple feuille de « cellophane » (R).

Les cristaux agissent ainsi parce que les molécules qui les constituent sont rangées dans un ordre défini, et orientées de la même façon. Tous les liquides « normaux », quand on ne leur applique pas de champ magnétique ou électrique, sont sans aucune action sur la

lumière polarisée, parce que leurs molécules sont disposées d'une façon tout à fait erratique.

Seul, le « cristal liquide » fait exception. On en connaît quelques types ; le plus utilisé est le type dit « nématique », dans lequel les molécules ont une forme de ruban spiralé.

Emploi du cristal liquide

Une couche, même très mince, de ce liquide, entre deux filtres polarisants croisés, rétablit le passage de la lumière.

Mais, si l'on applique à cette mince couche liquide un champ électrique de sens quelconque, on provoque une modification du rangement des molécules dans le liquide, et ce dernier perd son action sur la lumière polarisée : il redevient un liquide « normal ».

La figure 1-14 montre comment on utilise cette propriété. On y voit, en « vue éclatée », les constituants d'un système d'affichage. Tout en haut, le premier filtre polarisant FP_1 , avec son orientation de polarisation marquée par une flèche. Ensuite, une première plaque de verre, P , sur laquelle il y a une petite bande de métallisation M , reliée à une électrode A .

Cette métallisation est sur la face inférieure de la plaque P ; elle est si mince (une fraction de micromètre) qu'elle est transparente.

Une seconde plaque de verre, P' , porte une autre métallisation, M' , qui recouvre toute sa face supérieure, cette métallisation, également transparente, étant reliée à une électrode B .

Enfin, au-dessous de tout l'ensemble, un second filtre polarisant FP_2 . Il y a souvent, sous FP_2 , un miroir pour renvoyer la lumière vers le haut, après deux traversées de l'ensemble FP_1, P, P', FP_2 .

Normalement, le tout est empilé sans espaces. Entre les plaques P et P' , on laisse un espace de l'ordre d'un centième de millimètre : c'est dans cet espace que se trouve la couche de cristal liquide.

En raison de la présence de ce dernier, la lumière traverse le tout, malgré la présence des deux filtres polarisants croisés.

Appliquons maintenant une tension de quelques volts entre les électrodes A et D ; le cristal est alors soumis à un champ électrique dans la zone en regard de la petite métallisation M . Dans cette zone, il perd son pouvoir rotatoire : la zone située en face de la métallisation M devient noire, puisque la lumière ne peut, dans cette zone, traverser les deux filtres polarisants croisés.

Le principe est donc assez simple. Il est à noter que l'on peut faire

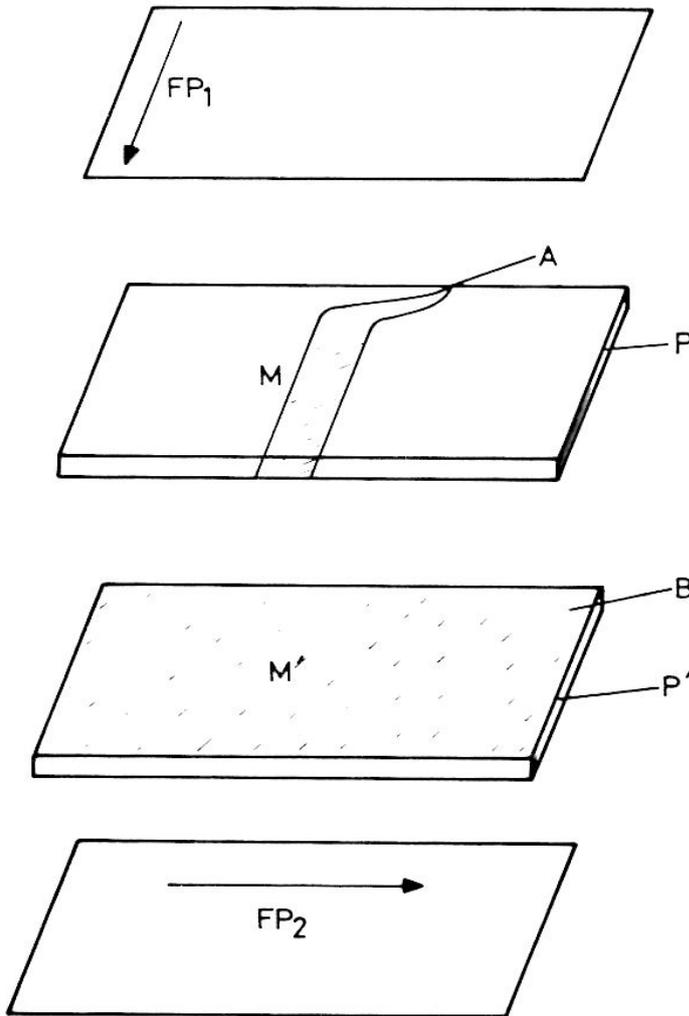


Fig. 1-14 — Le principe de afficheurs à cristaux liquide utilise deux filtres polarisant croisés, FP_1 et FP_2 , dont l'ensemble serait totalement opaque à la lumière, entre lesquels on met, en mince couche entre deux plaques de verre, un « film » de « cristal liquide » qui rétablit la lumière. La zone de ce cristal qui se trouve soumise au champ électrique entre la métallisation M et la métallisation M' perd ses propriétés optiques, elle redevient noire.

aussi un afficheur « en négatif » : si l'on place initialement les filtres polarisants parallèlement, au lieu de les croiser, tout le champ serait transparent en l'absence du cristal liquide. En présence de ce dernier si son épaisseur est bonne, il introduit une rotation du plan de polarisation qui rend tout le champ noir. Mais, là où on agit sur lui par un champ électrique, par l'intermédiaire d'une métallisation, il perd son pouvoir rotatoire, ce qui établit la transparence du « sandwich » : on affiche alors une barre transparente sur un fond opaque. En général on utilise ce second type avec un éclairage arrière, pour que le tracé soumis au champ électrique devienne clair sur fond sombre.

Difficultés de réalisation

Mais, si le principe est simple, la réalisation technique est hérissée de difficultés. L'épaisseur du cristal doit être de l'ordre d'un centième de millimètre, constante à moins de 10 % près, et se maintenir telle sur toute la surface en regard des plaques de verre. Quand on pense que celles-ci peuvent mesurer plus de 40 mm de côté, on voit que la pré-

cision à respecter est de 1/40 000, un peu comme si l'on voulait maintenir, entre deux plaques de 40 m de long, une distance d'un centimètre précise au millimètre près !

Ce n'est encore pas tout : il faut déposer, sur la métallisation, une couche diélectrique ultra-mince, ayant reçu un traitement de surface qui favorise la formation de la structure cristalline dans le liquide. D'autre part, la fixation des plaques par le bord (où l'on place les cales d'épaisseur qui maintiennent la distance correcte) doit être faite d'une façon totalement étanche. Nous ne citerons que pour mémoire les travaux considérables qu'il a fallu faire pour arriver à rendre les cristaux liquides capables de supporter sans destruction une température de $- 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+ 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

L'auteur se rappelle, pour sa part, un afficheur de ce type, un peu expérimental, qui... mourut sans gloire, simplement parce qu'il avait été transporté par avion : la pressurisation de la cabine, correspondant à une altitude de 1 500 m, avait suffi à détruire le film de cristal liquide.

Plus récemment encore, tout le monde se rappelle les séries de montres numériques à cristaux liquides retirées du marché par un constructeur (pourtant fort sérieux) en raison de la proportion beaucoup trop élevée de défauts sur les afficheurs.

On peut dire que, connus depuis plus de cinquante ans, les cristaux liquides n'ont donné des afficheurs fiables que depuis l'année 1976 (nous serions presque tenté de dire 1977 ou 1978).

Découpe des zones

Bien entendu, comme les tracés que l'on fait apparaître sont déterminés par la forme de la métallisation M. de la figure 1-14 : on donne à cette dernière toutes les découpes que l'on veut. Le plus souvent, on dépose sur la plaque supérieure de nombreuses métallisations, chacune d'entre elles aboutissant à une électrode de sortie. Evidemment, nous retrouvons en toute première place la sempiternelle disposition en sept segments, ainsi que la découpe en seize segments pour l'affichage alphanumérique. Pour ce dernier type surtout, une certaine difficulté de réalisation vient du fait que l'on doit utiliser des rubans de métallisation (qui ne peuvent se croiser) sur la plaque P, pour relier toutes les métallisations de commande aux électrodes qui agiront sur elles.

Si l'on regarde un afficheur à cristaux liquides non excité sous une certaine incidence, avec une loupe, on peut distinguer les rubans presque invisibles qui partent des différentes zones métallisées, et se faire une idée de la complexité de réalisation (cette dernière se fait par photo-gravure comme pour les circuits imprimés).

Un dernier mot à propos des cristaux liquides : l'action du champ électrique (d'ailleurs assez lente, la vitesse de réponse se compte en dixième de seconde ou quelquefois en secondes) ne doit pas se prolonger dans le même sens pendant un temps long. Autrement dit, on ne doit pas utiliser une tension continue pour commander les parties de l'afficheur, mais une tension alternative, cela pour éviter l'électrolyse du cristal liquide, qui réduirait énormément la durée de vie du dispositif. Nous verrons plus loin comment on réalise cette commande en tension alternative ou nulle.

Le grand avantage des afficheurs à cristaux liquides est qu'ils ne consomment pratiquement aucune puissance pour leur commande, c'est ce qui a permis de les utiliser en affichage permanent dans les montres à quartz, alors que celles qui étaient équipées d'afficheurs LED devaient être munies d'un poussoir, n'allumant les afficheurs qu'au juste le temps de les lire.

Un dernier avantage de ces dispositifs est la possibilité qu'ils offrent de faire apparaître un dessin de forme aussi compliquée que l'on veut. Il suffit de prévoir en conséquence la métallisation M de la figure 1-14. Par exemple, il y a des systèmes d'affichages de ce type pour des montres — calendriers — calculatrices — réveil — chronographes (et quelques autres fonctions en plus éventuellement...) où l'on peut afficher le nom du jour de la semaine, ou toute une inscription renseignant sur l'état de fonctionnement. Mais, contrairement au cas des tubes à gaz, on ne peut afficher plusieurs tracés différents presque superposés : deux tracés différents ne peuvent se croiser, puisqu'ils sont faits dans un même plan.

I-8 Systèmes d'affichage sur tube cathodique

Nous ne pouvons pas parler réellement ici de système d'affichage proprement dit. On utilise un tube cathodique, du type « oscilloscope » ou du type « téléviseur », et l'on emploie des circuits électroniques adéquats pour arriver à faire apparaître sur l'écran des caractères.

A part une technique tout à fait particulière que nous ne détaillerons pas ici car elle est d'une complexité redoutable, on utilise un balayage du spot en lignes successives, comme on le fait sur un téléviseur. Pour faire apparaître un tracé, il faut donc produire un signal lié au balayage, qui commande la luminance du spot.

On utilise généralement pour cela une « mémoire morte » (ou ROM) contenant le code voulu pour engendrer des caractères. Cette mémoire contient un très grand nombre d'informations, puisqu'elle permet l

tracé de 64 caractères différents, et que, pour chacun d'eux, elle contient sept « mots » (ensembles de valeurs logiques) de cinq « bits » (éléments d'information binaire). Il y a donc, en tout, $64 \times 7 \times 5 = 2\ 240$ « bits » dans la dite mémoire.

La mise en œuvre de cet affichage nécessite, outre l'utilisation de cette ROM, des circuits qui comptent les lignes de balayage, qui transforment les « mots » de cinq bits fournis sous forme « parallèle » (toutes les données présentes en même temps sur cinq connexions) en information sous forme « série » (toutes les données se succédant sur un fil unique), et bien d'autres circuits. Nous pouvons dire qu'un tel système est presque hors de portée de l'amateur, sauf s'il a une très longue pratique de l'électronique compliquée et des circuits utilisés dans l'informatique. Toutefois, il est utile de préciser que l'on réalise maintenant des circuits intégrés pour la commande de l'affichage, qui rendent la réalisation de l'ensemble moins difficile.

I-9 Comparaison des systèmes

Si l'on veut un *point lumineux*, la solution donnant le meilleur rendement et la commande la plus simple est la LED. On est limité aux couleurs du rouge au vert en passant par le jaune et l'orange. Le tube à gaz est également assez bon, nécessite une tension élevée, mais permet la couleur bleue si on le souhaite.

Pour un afficheur donnant un chiffre, le plus esthétique est le « Nixie » (R) ; une solution très lumineuse est le tube 7 segments à gaz. La solution la plus économique pour la réalisation est le 7 segments à LED. Le plus économique, de loin, pour la consommation, est le 7 segments à cristaux liquides (mais plus chère à la réalisation). Si l'afficheur doit pouvoir être lu dans une ambiance fortement éclairée, le cristal liquide est une bonne solution. Pour une brillance maximale, le type à sept segments à filaments incandescents est le meilleur.

Pour l'affichage alphanumérique, on a le choix entre les afficheurs seize segments à LED ou à cristaux liquides. Le premier est plus économique à la réalisation, mais consomme de la puissance à l'affichage.

CHAPITRE II

La commande des dispositifs

Dans cette deuxième partie, nous examinerons rapidement comment on agit sur chaque élément constitutif d'un afficheur (ou sur le système produisant l'affichage d'un point). Autrement dit, nous n'étudions pas encore les circuits complexes de codage ou de décodage, mais simplement la partie électronique qui se trouve directement liée avec l'élément (filament, tube à gaz, LED ou cristal liquide).

Cette partie est donc très courte, mais contient cependant des renseignements généraux utiles pour la suite.

II-1 Commande de filaments incandescents

Qu'il s'agisse d'une ampoule donnant un point lumineux, ou d'un des sept filaments d'un afficheur, la difficulté est la même : la surintensité à l'allumage. En général, par rapport à la résistance du filament à sa température normale de fonctionnement (2 500 à 3 200 °K), la résistance à froid est de huit à quinze fois plus faible. Si l'on applique brusquement la tension nominale, il en résulte une pointe d'intensité qui a trois effets nocifs possibles :

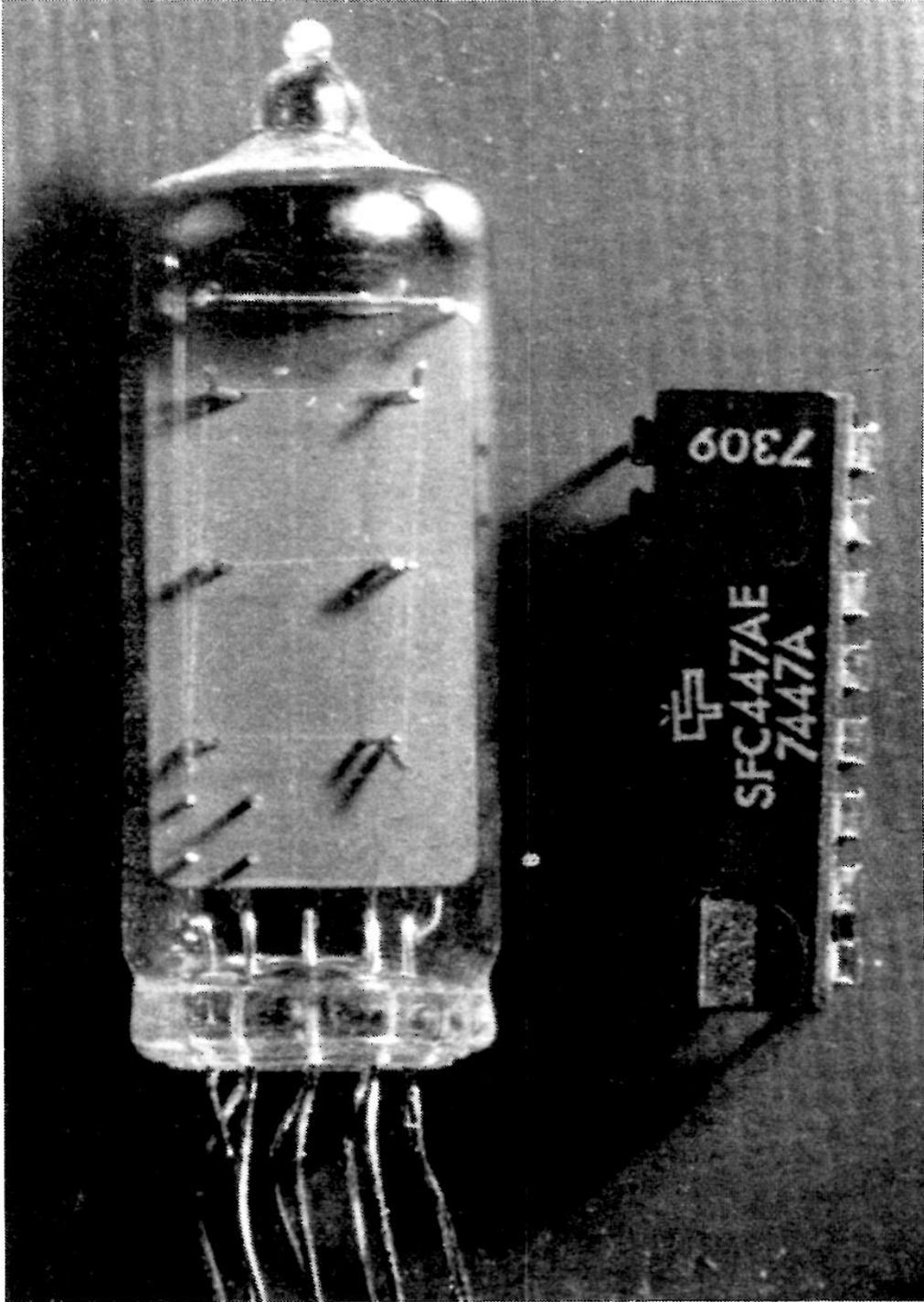
1) Elle surmène le dispositif actif (transistor par exemple) qui commande le filament.

2) Elle provoque une surchauffe de certaines parties plus minces du filament, ce qui limite la durée de vie de ce dernier.

3) Elle peut dépasser les possibilités de l'alimentation, il y a alors un abaissement momentané de la tension d'alimentation, ce qui peut perturber complètement le fonctionnement des circuits.

Pour limiter les effets de cette surintensité, on peut alimenter l'ampoule par une commande dite « à courant constant » (fig. 2-1) quand le signal de commande, S, est à la tension zéro, le transistor est bloqué, son émetteur est au potentiel zéro, son collecteur à + 28 V.

Dès que l'on envoie le signal de commande, quand S passe, par exemple, à + 5 V, comme il y a toujours 0,6 V entre base et émetteur d'un transistor qui débite, l'émetteur de T passe à $5 - 0,6 = 4,4$ V. Le courant émetteur (que l'on peut supposer égal au courant collecteur



Tube d'affichage « Apollo » à sept segments en filaments incandescents, à côté d'un circuit intégré transcodeur SFC 447 (ou SN7447).

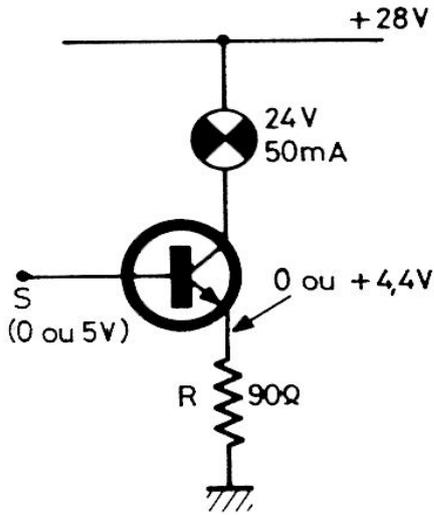


Fig. 2-1 — Pour commander l'ampoule de 24 V 50 mA, qui peut présenter à froid une résistance très faible (donc provoquer une forte surintensité à l'allumage), le montage ci-dessus, qui la commande à courant constant, augmente beaucoup la durée de vie de l'ampoule, en supprimant les surintensités : la tension aux bornes de l'ampoule augmente progressivement au fur et mesure que le filament chauffe.

ne peut donc prendre que la valeur $4,4/88 = 0,05$ A (ou 50 mA), quelle que soit la tension de collecteur.

L'intensité dans l'ampoule ne peut donc dépasser 50 mA ; au fur et à mesure que le filament chauffe, la tension à ses bornes augmente allant jusqu'à environ 24 V quand il a atteint sa température normale. Le transistor est alors presque saturé, son collecteur étant un peu près au potentiel de son émetteur, soit + 4,4 V.

En procédant ainsi, on évitera les inconvénients 2 et 3 signalés ci-dessus. Mais, pendant que le filament chauffe, le transistor a, en même temps, du courant collecteur et de la tension collecteur-émetteur, ce qui lui fait dissiper une puissance notable pendant la durée de l'échauffement.

Par exemple, un essai fait par l'auteur sur un filament d'un tube « Apollo » (7 segments à filaments de 5 V 20 mA) a montré que, à chaque allumage par le montage de la figure 2-1, la dissipation d'énergie sur le collecteur de T correspondait (valeur intégrée) à 11,2 mJ. Théoriquement, si on augmente la cadence des allumages, on augmente dans la même proportion, la puissance dissipée sur le collecteur. Mais heureusement, si l'on augmente cette cadence, le filament n'a pas le temps de se refroidir complètement entre chaque allumage. Le cas le plus défavorable correspond à une dissipation maximale de l'ordre de 30 mW sur le transistor. Avec un modèle moyen, cela peut aller sans dommage.

Un autre moyen de limiter la sur-intensité au démarrage consiste à « préchauffer » l'ampoule, ainsi que le montre la figure 2-2. L'ampoule, à son plein éclairement, correspond à une résistance de 480Ω . Un essai a montré que, avec une intensité de filament de

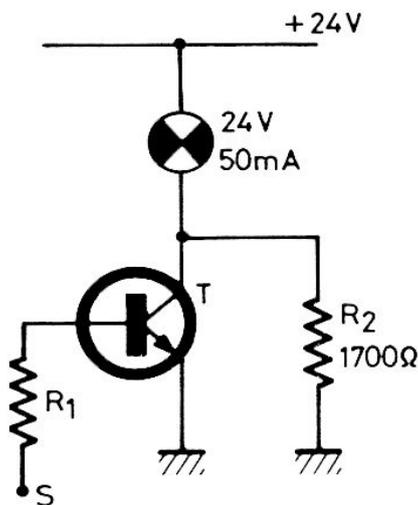


Fig. 2-2 — Une solution simple (mais assez coûteuse en courant) pour limiter la surintensité à l'allumage, consiste à « préchauffer » l'ampoule, par le courant qui passe dans R_2 quand T est bloqué. Le filament est déjà un peu chaud, mais pas assez pour être lumineux. Sa résistance est déjà notablement plus grande qu'à froid.

12,5 mA, il n'y avait aucune lumière visible émise par le filament, dont la résistance était alors de 240Ω (soit une tension aux bornes de 3 V). A froid, la résistance de ce même filament est de 45Ω .

En plaçant, en parallèle sur le transistor T chargé de commander le filament, une résistance R_2 de $1\,700 \Omega$, on maintient, dans le filament, une intensité minimale de 12,5 mA quand T est bloqué (le collecteur de ce dernier est alors à $24 - 3 = 21$ V).

Ainsi, sans que le filament émette de lumière visible quand T est bloqué, on le porte en permanence à une température telle que sa résistance minimale soit 240Ω (et non 45Ω s'il était tout à fait froid). A chaque déblocage de T , la crête de courant est alors limitée à $24/240 = 0,1$ A, ou 100 mA, au lieu d'une pointe de $24/45 = 0,53$ A ou 530 mA en l'absence de la résistance R_2 .

Evidemment, cette solution est désastreuse en ce qui concerne le courant consommé, mais, puisque l'on utilise des filaments incandescents, il y a lieu de supposer que l'appareil n'est pas alimenté par piles...

Une autre solution, encore plus simple, consiste à placer, en série avec le filament, une résistance dont la valeur soit de deux à quatre fois la résistance à froid du filament. Il faut alors augmenter un peu la tension d'alimentation.

Reprenons l'exemple de notre ampoule de 24 V 50 mA. Nous avons vu que, à froid, elle avait une résistance de 45Ω . Nous placerons, par exemple, une résistance de $3 \times 45 = 135 \Omega$ en série avec elle. Pour le fonctionnement normal, soit avec un courant filament de 50 mA, il y a, dans ces 135Ω , une chute de tension de $135 \times 0,05 = 6,75$ V. Il faudra donc porter la tension d'alimentation à $24 + 6,75$, soit environ 31 V. La surintensité au départ sera donc de $31/180 = 172$ mA (les 180Ω proviennent des 135Ω ajoutés et des 45Ω du filament). La surin-

tensité sera donc de 170 mA environ, au lieu de 530 sans la résistance de 135Ω .

D'une façon générale, indépendamment de la limitation de la surintensité, on a toujours intérêt à commander des filaments par un transistor bien saturé, pour éviter une dissipation collecteur de ce dernier : le transistor doit fonctionner uniquement comme un bon interrupteur. Pour cela, il faut lui assurer un courant base suffisant (en tenant compte de la surintensité au démarrage). Dès que le transistor insuffisamment commandé sur sa base, se désature, il chauffe.

Pour les filaments de forte puissance, il vaut mieux, si le montage le permet, les alimenter en alternatif, et les commander par un Triac. Ce dernier doit être choisi en fonction de la surintensité initiale : par exemple, pour commander une ampoule de 220 V 300 W, qui consomme, en régime normal, environ 1,5 A, on utilisera un Triac prévu pour 4 A ou plus (la surintensité est éventuellement bien plus forte, allant jusqu'à 15 A pour quelques alternances), mais le Triac supporte bien une surcharge courte, quand elle n'est pas exagérée (un Triac de 2 A serait nettement surmené à la mise en route).

II-2 Commande de tubes à gaz

Que ce soit pour un petit point lumineux, pour une cathode de « Nixie » (R) ou pour un segment de sept segments à gaz, le problème que nous rencontrons ici tient à la valeur des tensions mises en jeu. Il n'y a pas de surintensité à l'allumage, les intensités normales mises en jeu sont faibles, mais un tube à gaz doit avoir à ses bornes une tension qui, suivant les modèles, va de 60 à 150 V.

Autrement dit, la commande de ces tubes était parfaitement adaptée aux tubes à vide, qui fonctionnaient sous des tensions élevées avec des intensités faibles. Mais elle est plus difficile avec des semi-conducteurs, surtout dans des circuits intégrés.

Heureusement, il n'est tout de même pas nécessaire d'avoir un transistor de commande qui supporte la pleine tension de fonctionnement. Un tube à gaz qui s'amorce sous 150 V, par exemple, peut éventuellement s'éteindre sous 110 V. Il suffirait alors, sans aucune marge de sécurité pour la commande du tube, d'avoir un transistor qui supporte une tension collecteur maximale de $150 - 110 = 40$ V. Nous prendrons tout de même une marge suffisante, et nous utiliserons un transistor qui puisse supporter 60 V. On alimentera le tout sous 160 V avec la résistance de stabilisation en série dont nous avons déjà parlé, nécessitée par le fait que le tube à gaz présente, aux faibles intensités une résistance interne dynamique négative.

En réalité, les choses ne sont pas tout à fait aussi simples, même pour un tube à gaz n'ayant que deux électrodes (une anode et une cathode). Quand le tube est éteint, il est, en principe, un circuit ouvert. Mais, s'il présente une fuite, même légère, entre ses deux électrodes, il peut se faire que le potentiel collecteur du transistor de commande (fig. 2-3) monte à une valeur élevée. La résistance R_1 est celle qui stabilise le fonctionnement, on l'a placée là intentionnellement. En revanche, R_2 représente la fuite parasite : elle peut éventuellement porter le collecteur de T à + 160 V.

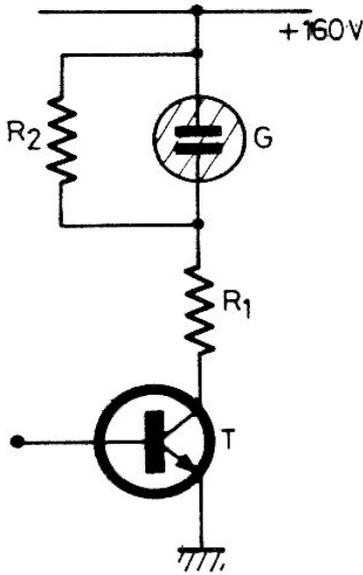


Fig. 2-3 — Pour commander l'allumage d'un tube à gaz par un transistor T, il suffirait en principe, que ce dernier ne supporte qu'une tension collecteur égale à la différence entre la tension d'allumage et la tension de fonctionnement du tube. Mais, la présence éventuelle d'une fuite (symbolisée par la résistance R_2) peut amener le collecteur de T, quand ce transistor est bloqué, à une tension très élevée.

Cette « fuite » est généralement peu importante dans un tube simple. Mais tout change lors de l'emploi d'un tube à gaz ayant plus de deux électrodes dans la même ampoule (cas du sept segments ou du « Nixie » (R)).

En effet, comme il y a ionisation sur une électrode voisine, des ions se promènent dans l'ampoule et arrivent sur les cathodes voisines : tout se passe comme si les autres couples anode-cathode, dans la même ampoule, présentaient des fuites relativement importantes.

Si l'on veut limiter le potentiel maximal collecteur du transistor de commande, une bonne solution est celle de la figure 2-4 ou celle de la figure 2-5. Sur la figure 2-4, on voit une diode D, dont la cathode est reliée à un point (A), porté au potentiel + 60 V pour rendre D conductrice). La diode D va consommer, si besoin est, le courant de fuite du tube à gaz G. Dans le montage de la figure 19, on utilise, à la place de D et de la source de 60 V, une diode Zener Z de 60 V, qui ne devient conductrice qu'au-delà de 60 V à ses bornes. La seconde solution est celle des circuits intégrés ; la première, avec une diode sim-

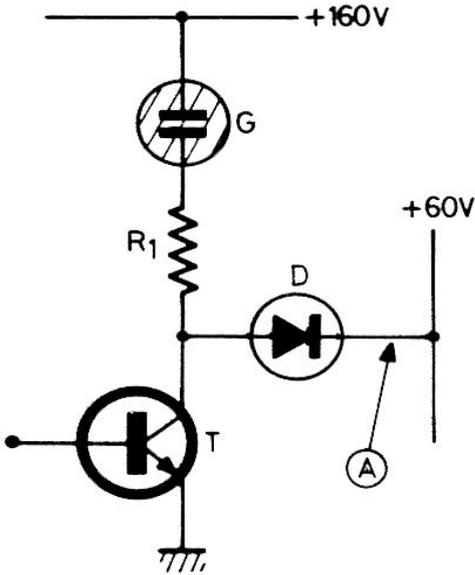
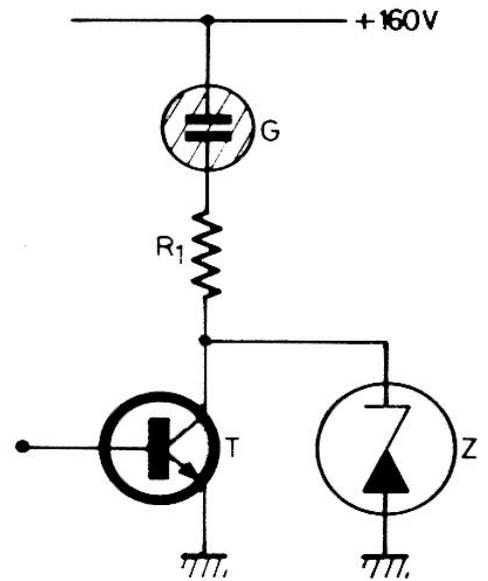


Fig. 2-4 — Pour limiter la tension collecteur maximale de T dans le montage de la figure 2-3, on peut utiliser une diode qui écrête le potentiel de ce collecteur à + 60 V.

Fig. 2-5 — Le montage de la figure 2-4 peut être modifié en utilisant une diode Zener Z de 60 V à la place de la diode D et de la source de 60 V. C'est ce que l'on fait dans les circuits intégrés de commande de dispositifs à gaz, pour protéger les collecteurs des transistors de sortie.



ple, est plus économique dans le cas des circuits en composants discrets, car la source de 60 V est commune à tous les transistors de commande.

De toute façon, quand on veut utiliser au mieux un transistor pour commander un tube à gaz, il vaut mieux le monter en base commune qu'en émetteur commun. La figure 2-6 donne un exemple de montage.

Le transistor de commande T_1 fait, par exemple, partie d'un circuit intégré alimenté par une tension V_{CC} de + 5 V. Il commande le transistor extérieur T_2 par l'émetteur, T_2 ayant sa base au potentiel constant + 3 V et se trouvant donc monté en base commune. On y gagne une meilleure tenue en tension du transistor T_2 . Comme dans tout montage base commune, il n'a aucun gain en courant, mais, quand il est bloqué par l'émetteur, il peut supporter sur son collecteur une tension maximale plus élevée que celle qu'il supporterait en montage émetteur commun, en étant bloqué par la base.

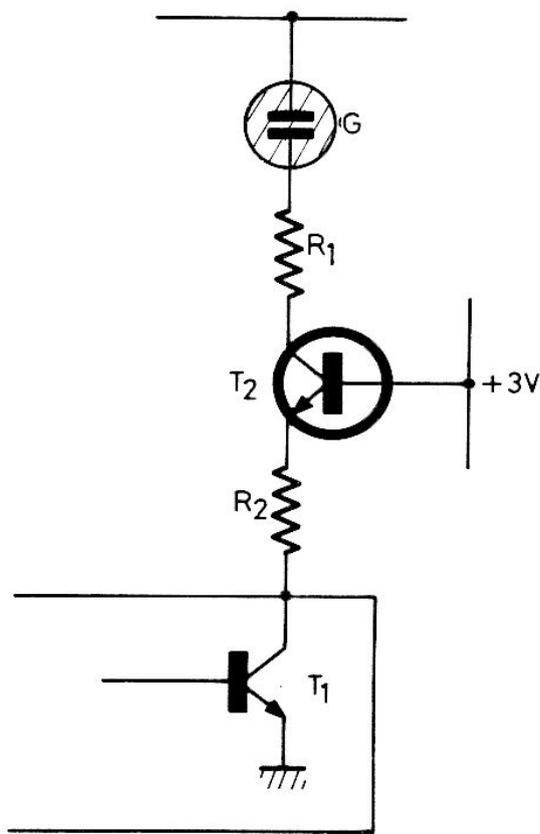


Fig. 2-6 — Si le transistor T_1 (situé à l'intérieur d'un circuit intégré) ne peut pas supporter, sur son collecteur, la tension élevée (quand il est bloqué) requise par la commande d'un tube à gaz, on peut utiliser un transistor extérieur T_2 , du type haute tension, monté en base commune (ou un réseau d'amplificateurs intégrés prévus pour la commande des systèmes à gaz comme le groupe MC3492 Motorola).

En effet, dans un transistor donné, la tension de claquage :

BV_{CB0} (collecteur-base avec émetteur « en l'air ») est toujours supérieure à la tension de claquage :

BV_{CE0} (collecteur-émetteur avec base « en l'air »).

L'adjonction de transistors montés comme sur la figure 2-6 permet de transformer un circuit intégré, prévu pour la commande de LED, en circuit de commande de tubes à gaz.

Il y a lieu aussi de noter que, quand on commande plusieurs tubes à gaz suivant la technique du « multiplexage », que nous verrons plus loin, il faut tenir compte d'un temps de désionisation pour chaque élément ionisé. Il est donc nécessaire de prévoir un intervalle de temps entre le moment de l'extinction théorique d'un élément et le moment de l'allumage du suivant (l'allumage se fait beaucoup plus vite que l'extinction).

II-3 Commande de LED

C'est, de loin, la commande la plus facile. Il convient de ne pas oublier qu'une diode électro-luminescente, que l'on utilise dans le sens direct, a une résistance dynamique presque nulle. A titre d'exemple,

nous donnons ci-dessous un tableau des tensions aux bornes de quatre LED, R (rouge), Or. (orange), J (jaune) et V (verte) pour différents courants.

i	5 μ A	200 μ A	500 μ A	1 mA	2 mA	5 mA	10 mA	20 mA
R	1,19	1,37	1,41	1,43	1,47	1,51	1,54	1,58 V
Or.	1,39	1,55	1,60	1,64	1,69	1,78	1,90	2,11 V
J	1,49	1,65	1,68	1,71	1,74	1,80	1,86	1,97 V
V	1,58	1,74	1,77	1,80	1,84	1,90	1,97	2,19 V

Donc, en connectant une LED directement aux bornes d'une pile de 3 V ou de 4,5 V, par exemple, on la détruit automatiquement. Il est indispensable de mettre en série avec la source de tension une résistance (ou de commander la LED par un générateur à courant constant).

La figure 2-7 montre comment on trouve le courant dans une LED dont on connaît la courbe tension/courant (trait plein), et qu'on alimente (par exemple) par une source de 5 V à travers une résistance de 500 Ω . On trace, sur la courbe de la LED, la « droite de charge » de la source de 5 V de Force Electro-Motrice et de 500 Ω de résistance interne (droite en trait fin), passant par le point $V = 5$ V $i = 0$, qui correspond au fonctionnement de la source en circuit ouvert, et par le point $V = 0$, $i = 10$ mA, qui correspond au fonctionnement de la source en court-circuit.

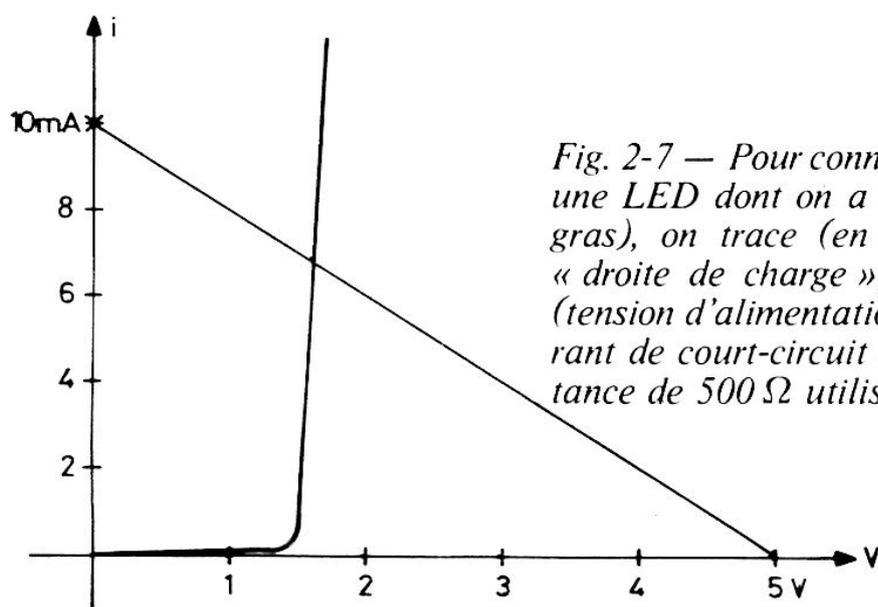


Fig. 2-7 — Pour connaître le courant qui passe dans une LED dont on a la courbe courant/tension (en gras), on trace (en maigre) sur cette courbe la « droite de charge », passant par le point + 5 V (tension d'alimentation) et par le point 10 mA (courant de court-circuit de l'alimentation sur la résistance de 500 Ω utilisée). Le point d'intersection de la courbe et de la droite de charge donne le courant dans la LED et la tension à ses bornes.

Le point d'intersection de la droite de charge et de la courbe de la LED est le seul point dont les coordonnées satisfassent en même temps le consommateur (la LED) et le producteur (la source). Il nous montre que la LED fonctionne avec un peu plus de 6 mA.

Il est à noter que certaines LED comportent une petite résistance incorporée, pour permettre leur branchement direct sur 5 V par exemple. Dans ce cas seulement, on connecte la tension de 5 V directement à la LED (en utilisant éventuellement un transistor de commande).

Branchements en série et en parallèle

Les LED se branchent fort bien en série, surtout si elles sont du même type. L'intensité est la même pour toutes les LED et les tensions individuelles s'ajoutent. C'est ainsi que, dans certaines réalisations d'afficheurs sept segments à LED, au lieu d'utiliser sept LED munies chacune d'un diffuseur de lumière qui répartit l'éclairement sur un rectangle, il arrive que l'on emploie, pour chaque « segment », un ensemble de trois LED montées en série. Il faut alors une tension proche de 5 V pour le cas des LED rouges, supérieure pour les jaunes.

En revanche les LED s'accommodent fort mal d'un branchement en parallèle, même si elles sont exactement du même type. Dans ce dernier cas, on peut tolérer le branchement en parallèle de deux segments d'un même afficheur. Cela peut se faire, par exemple, pour les segments a et b d'un afficheur de dépassement (fig. 1-13), mais c'est déconseillé : une différence, même minime, de tension aux bornes des deux LED entraîne un partage tout à fait inégal du courant entre les deux, donc une forte différence de luminosité des deux LED. Si l'on tient à brancher deux LED (ou deux segments) en parallèle, il est d'abord indispensable qu'elles soient exactement du même type, et il est ensuite recommandé de placer, en série avec chacune d'elles, une petite résistance (fig. 2-8), aux bornes de laquelle le courant normal de chaque LED produit une chute de tension d'au moins 0,15 V.

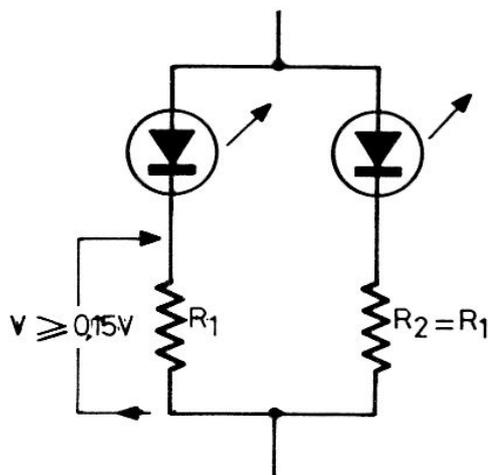


Fig. 2-8 — Deux LED, même identiques, ne doivent généralement pas être montées en parallèle : le partage des intensités entre elles pourrait être très inégal. On rend ce partage excellent si l'on admet de placer deux petites résistances en série avec les LED, avec une chute de tension de 0,15 à 1 V aux bornes de ces résistances.

Signalons un cas assez curieux de mise en « parallèle » (nous devrions plutôt dire « antiparallèle ») de deux LED : la LED bicolore Monsanto type MV 5 491. Elle comporte (fig. 2-9) une LED verte V en parallèle (mais en sens opposé) avec une LED rouge R. Les deux parties électroluminescentes sont montées très près l'une de l'autre. Suivant la polarité du courant qui traverse l'ensemble, la lumière produite est rouge ou verte. En courant alternatif, la couleur est jaune clair.

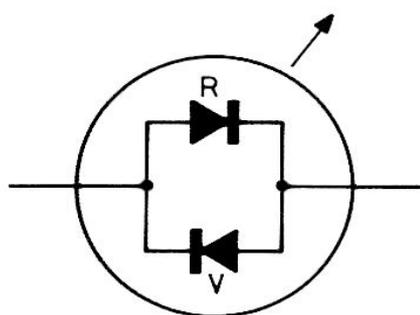


Fig. 2-9 — Structure de la diode LED double (rouge-verte) MV5491 (de Monsanto) : suivant le sens du courant, elle s'allume en rouge ou en vert.

Fonctionnement en impulsions

Il y a lieu de signaler un point très important, à propos des LED : leur rendement lumineux (en intensité lumineuse par unité de puissance fournie) augmente en fonction de l'intensité. On a donc tout intérêt à faire fonctionner une LED en impulsions. Par exemple, si l'on envoie dans une LED un courant qui reste nul pendant 9 ms et prend la valeur 20 mA pendant la dixième milliseconde, ce qui représente un courant moyen de 2 mA, on aura une impression lumineuse nettement plus grande qu'en envoyant dans la même LED, un courant continu de 2 mA. C'est là un argument supplémentaire en faveur de la technique du « multiplexage » que nous verrons plus loin.

De toute façon, cette technique nécessite une commande un peu particulière, puisqu'il s'agit de commander une ou plusieurs LED par une coïncidence de deux signaux, pour obtenir l'allumage séquentiel des groupes différents de LED, un peu comme nous l'avons indiqué à propos des groupes de 5 x 7 diodes (fig. 1-7 et 1-8).

On peut le faire, par exemple, au moyen de transistors N-P-N et P-N-P, comme l'indique la figure 1-10. Nous avons supposé que l'on désire allumer, sur trois ensembles de quatre LED chacun (E_1 , E_2 et E_3), une combinaison de LED.

Les formes d'ondes de la figure 2-10 montrent les signaux que l'on doit appliquer aux bases des sept transistors pour obtenir :

— sur E_1 , l'allumage des LED n° 1 et 2 (numérotées de gauche à droite)

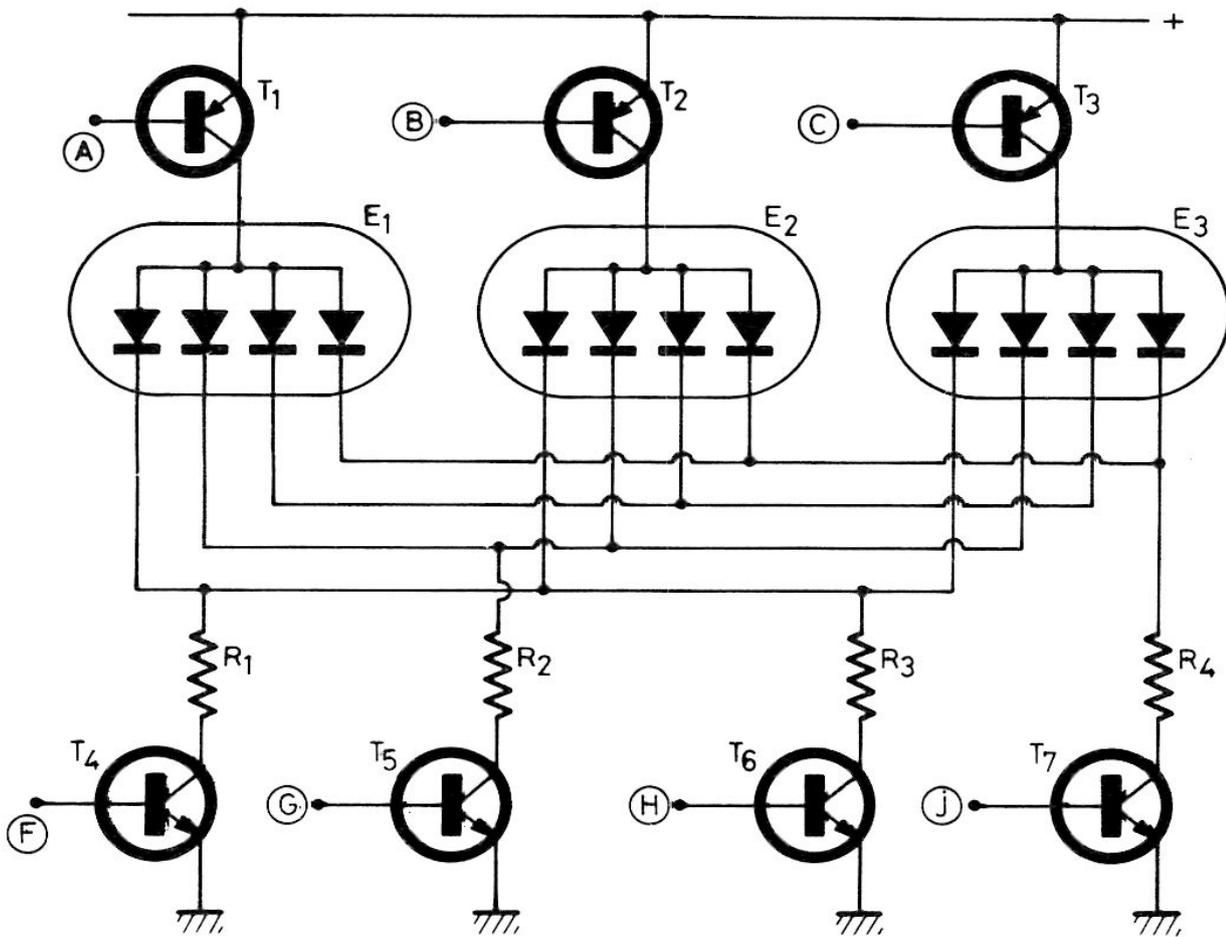


Fig. 2-10 — Les quatre diodes de chaque ensemble E sont commandées en même temps par les transistors de T₁ à T₇. Le choix de celui des trois ensembles E à allumer selon la répartition des signaux en (F), (G), (H) et (J) est fait par un des transistors PNP T₁ à T₃.

- sur E₂, l'allumage des LED n° 1 et 4
- sur E₃, l'allumage des LED n° 2, 3 et 4.

Les trois transistors P-N-P, T₁, T₂ et T₃, commandent chacun l'ensemble des anodes de chaque groupe E. On agit sur leurs bases par des signaux négatifs, puisque ce sont des P-N-P. Les signaux que l'on voit sur les trois premières lignes de la figure 2-11 servent au déblocage cyclique des trois bases des P-N-P. Comme on le voit, ils ne sont pas exactement adjacents : il s'écoule un petit temps entre la fin du signal (A), par exemple, et le début du signal (B).

Les signaux de commande des bases des N-P-N, de T₄ à T₇, sont de polarité positive, ce qui est nécessaire pour débloquer une base de N-P-N et l'on voit qu'ils changent, si l'affichage envisagé le nécessite, pendant les « temps morts » entre la fin d'une commande de P-N-P

et le début de la commande du P-N-P suivant. On évite ainsi, même si la « rotation » de l'affichage a lieu à une très grande vitesse, un effet de « mémoire » parasite de l'affichage d'un ensemble E sur le suivant, cette « mémoire » pouvant provenir, par exemple, du temps de « désaturation » d'un des N-P-N.

Par exemple, au temps t_1 , la commande (G) du N-P-N T_5 passe à zéro, parce que la LED n° 2 de l'ensemble E_1 était allumée entre le temps t_0 et le temps t_1 , alors que la LED n° 2 de l'ensemble E_2 doit être éteinte entre le temps t_1 et le temps t_2 (elle sera donc toujours éteinte, car elle ne peut s'allumer que lorsque la commande en (B) est à son niveau bas). Si le transistor T_5 a un temps de désaturation non négligeable, il pourrait conduire encore pendant un temps assez court,

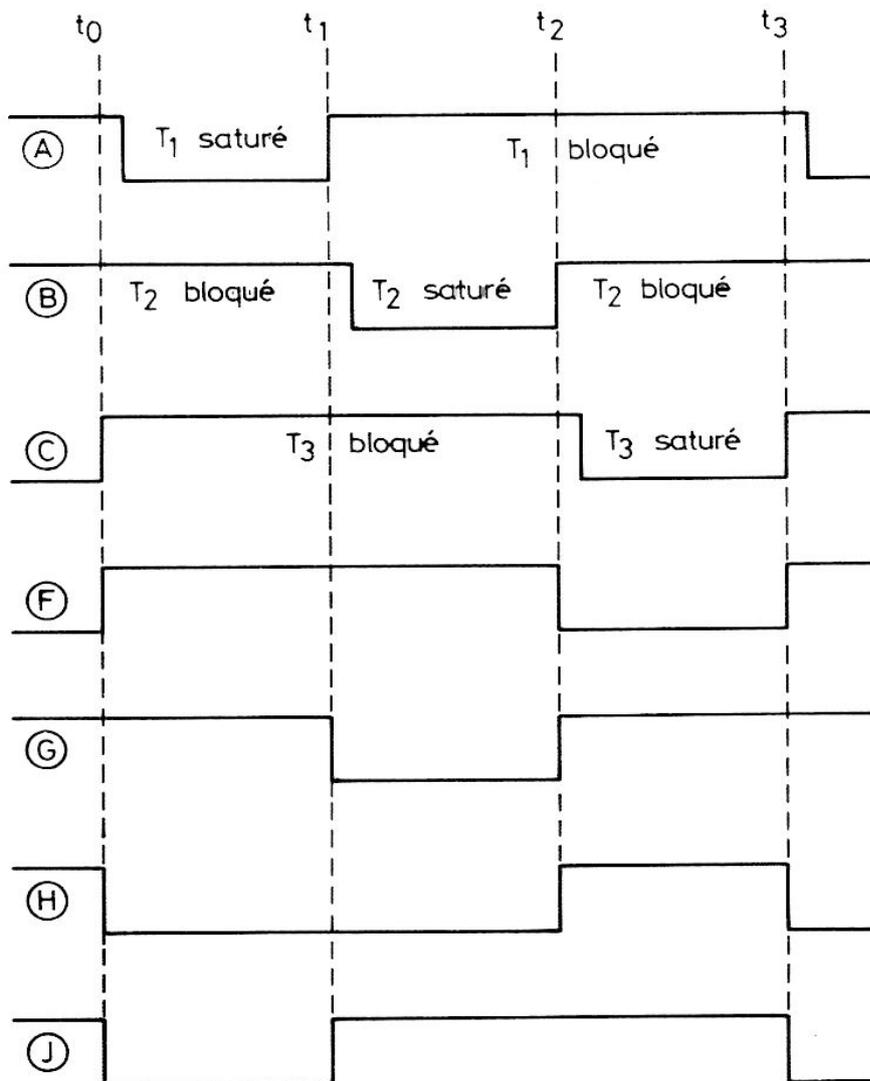


Fig. 2-11 — Formes d'ondes des signaux à appliquer aux points (A) à (H) du montage de la figure 2-10, pour allumer la première et la deuxième diode de E_1 , la première et la quatrième de E_2 , la deuxième, la troisième et la quatrième de E_3 .

mais non nul, après le déblocage du transistor T_2 par le signal (B), si ce déblocage avait lieu immédiatement après la fin du déblocage de T_5 . Grâce au « temps mort » qui s'écoule entre t_1 et le déblocage du transistor T_2 par (B), la désaturation de T_5 sera terminée (T_5 bien bloqué) quand T_2 se déblocuera ; il n'y aura aucun « résidu d'allumage » sur la LED n° 2 de l'ensemble E_2 .

Calcul des intensités

Les résistances R_1 à R_4 déterminent le courant des différentes LED. Il est à noter qu'on les a placées dans les cathodes des LED et non dans les anodes. En effet, on peut avoir à commander, pour un ensemble E donné, l'allumage de une, deux, trois ou des quatre LED à la fois. Si l'on veut que chaque LED ait la même intensité lumineuse, on a donc un courant total dans l'anode (commune) de l'ensemble E qui peut varier dans le rapport de 1 à 4 (le cas du courant nul n'est pas à prendre en considération : les quatre transistors N-P-N sont alors bloqués). Donc, si l'on mettait la résistance de détermination du courant dans l'anode de l'ensemble E_1 par exemple, c'est le courant total des quatre LED qui serait constant. On aurait alors une luminosité des LED qui irait de :

- une seule LED très brillante à :
- quatre LED très peu brillantes (en passant par deux ou trois LED).

A l'opposé, avec les résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_4 disposées comme dans la figure 2-10, la luminosité de chaque LED d'un ensemble ne dépend pas du nombre de LED allumées dans cet ensemble.

Il est à noter que, quand on augmente le nombre d'ensembles commandés ainsi, le courant maximal des transistors P-N-P n'augmente pas, puisqu'il est égal au produit du courant de chaque LED par le nombre de LED de chaque ensemble. A l'opposé, le courant maximal de chaque transistor N-P-N est proportionnel au nombre d'ensembles commandés, puisqu'il est égal au produit du courant de chaque LED par le nombre d'ensembles. Il est à noter que la valeur maximale de courant pour les différents transistors peut être considérée comme une valeur normale, il ne faut pas la considérer comme exceptionnelle, puisque l'on doit pouvoir allumer éventuellement toutes les LED de tous les ensembles.

Quand on veut calculer le courant de chaque LED, il faut connaître la chute de tension correspondante aux bornes de la LED, puis tenir compte (éventuellement) des tensions de saturation des transistors N-P-N et P-N-P pour déterminer la résistance R à placer en série.

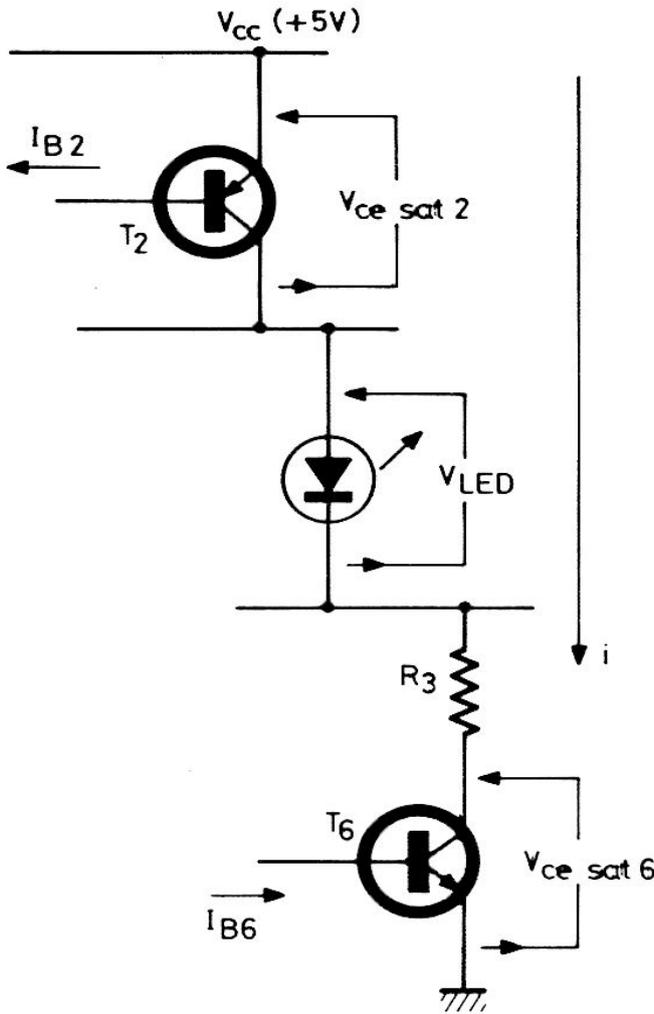


Fig. 2-12 — Dans le montage de la figure 2-10, quand une des diodes s'allume, on peut calculer son courant en examinant le chemin par lequel il passe et en tenant compte des tensions de saturation des transistors, ainsi que de la tension aux bornes de la LED allumée.

La figure 2 12 montre ce qui se passe dans une des LED, allumée à un instant donné (nous supposons que nous considérons la LED n° 3 de l'ensemble E₂). Admettons que la LED en question doive recevoir un courant de 30 mA (ce qui lui fera 10 mA moyens, car elle sera allumée pendant le tiers du temps) et que, sous 30 mA, elle présente à ses bornes une chute de tension $V_{LED} = 1,8 \text{ V}$.

Nous supposerons que les tensions de saturation des transistors qui commandent sont de l'ordre de :

$$V_{CEsat2} = 0,3 \text{ V pour les trois P-N-P}$$

$$V_{CEsat6} = 0,2 \text{ V pour les quatre N-P-N.}$$

Le courant dans la LED est :

$$i = \frac{V_{CC} - V_{CEsat2} - V_{CEsat6} - V_{LED}}{R}$$

soit, avec les valeurs que nous avons mesurées ou souhaitées :

$$3 \cdot 10^{-2} = \frac{5 - 0,3 - 0,2 - 1,8}{R} = \frac{2,7}{R}$$

soit : $R = 90 \Omega$.

Il est à noter que, pendant l'allumage de la LED, on gaspille de l'énergie dans la résistance, puisqu'il y a 1,8 V aux bornes de la LED et 2,7 V aux bornes de R : il y a 40 % de la puissance qui va dans la LED et 60 % dans R (nous ne tenons pas compte de la puissance perdue dans les transistors).

Si le tout est alimenté sur le secteur, c'est relativement sans importance (on est tout de même surpris, dans certains cas, de la chaleur dégagée par les résistances dans le cas de la commande de nombreux afficheurs).

Mais, si l'appareil fonctionne sur batteries, et surtout sur piles, le gaspillage de puissance est à éviter.

C'est ce qui a conduit certains réalisateurs à utiliser une technique de commande (que nous empruntons à une note d'application Hewlett-Packard, n° 937), où l'on stocke l'énergie dans un bobinage, ainsi que le montre la figure 2-13.

On utilise le fait que l'intensité dans un bobinage croît suivant une loi pratiquement linéaire en fonction du temps (à très peu de choses près, en raison de la loi bien connue $e = -L di/dt$), quand on lui applique une tension constante.

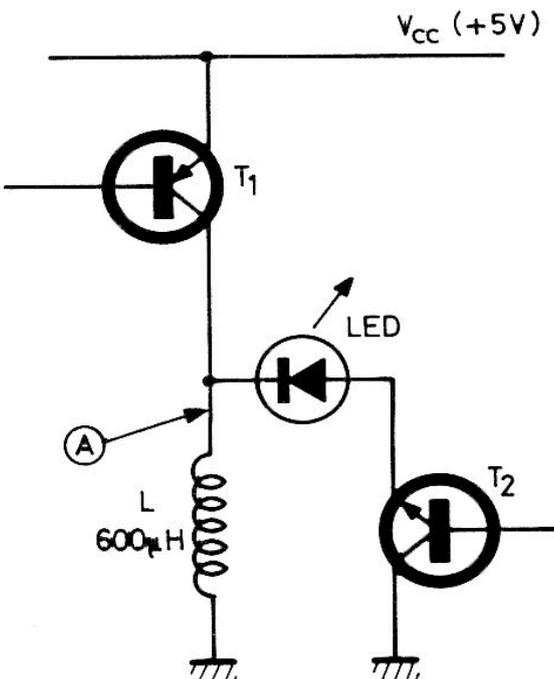


Fig. 2-13 — Pour allumer la LED de la figure 2-12, on perd une grande partie de l'énergie dans la résistance R3. Ici, on stocke de l'énergie dans le bobinage L, en débloquant T1 pendant un temps donné, court, un peu avant le moment où l'on doit allumer la LED par reblocage de T1 et déblocage de T2. On récupère alors dans la LED l'énergie stockée dans le bobinage, et le rendement est bien meilleur (extrait d'une note d'application Hewlett Packard).

Imaginons donc que, $7,2 \mu\text{s}$ avant le moment choisi pour l'allumage de la LED, nous débloquons le transistor T_1 . Comme il sera largement saturé, on le considère comme un court-circuit, et il y a 5 V aux bornes de L . On peut calculer que, alors, le courant augmente dans L à raison de :

$$\frac{di}{dt} = \frac{5}{600 \cdot 10^{-6}} = 8,33 \cdot 10^3 \text{ A/s}$$

au lieu d'exprimer la variation de courant en ampère par seconde, si on la donne en milliampère par microseconde, on trouve $8,33 \text{ mA}/\mu\text{s}$). Donc, en $7,2 \mu\text{s}$, le courant dans L passe de zéro à $7,2 \times 8,33 = 60 \text{ mA}$.

Un peu avant la fin des $7,2 \mu\text{s}$, on débloque T_2 : il ne passe aucun courant dans ce transistor ni dans la LED, puisque le point (A) est au potentiel $+5 \text{ V}$, plus haut que celui du collecteur de T_2 .

A la fin des $7,2 \mu\text{s}$, on rebloque T_1 . Comme le courant dans un bobinage ne peut pas changer en un temps nul, ce courant doit continuer à passer, pour envoyer dans un circuit l'énergie qui a été stockée dans le bobinage L . Le seul moyen pour cela est une diminution du potentiel de (A), qui arrive d'abord à zéro, puis à $-1,8 \text{ V}$: la LED reçoit le courant, qui se referme à la masse à travers T_2 saturé (dont nous supposons qu'il se comporte comme un court-circuit).

Il y a donc maintenant $1,8 \text{ V}$ aux bornes de L , avec le point (A) négatif par rapport à la masse. L'intensité dans L va donc varier en sens opposé (en diminuant), avec une vitesse de variation de :

$$\frac{di}{dt} = \frac{1,8}{600 \cdot 10^{-6}} = 3 \cdot 10^3 \text{ A/s}$$

Il faudra donc $20 \mu\text{s}$ pour que ce courant passe de 60 mA à zéro, après quoi il n'y aura plus de courant, plus de tension aux bornes de L .

Le montage de la figure 2-13, prévu pour un afficheur à anode commune, permet de réaliser un affichage d'une luminosité donnée en consommant environ moitié moins de courant que par le montage de la figure 2-10.

Nous avons prévu ici un temps de conduction court, sinon nous aurions dû augmenter le coefficient de self induction de L (donc le volume de ce composant).

II-4 Commande des cristaux liquides

Comme nous l'avons dit, il ne faut qu'une *tension* : la couche de cristal liquide est pratiquement un isolant parfait, donc l'intensité nécessaire pour la commande est nulle.

Suivant les types de cristaux, on obtient un résultat visible avec une tension continue supérieure à 2 V ou supérieure à 7 V. Mais, étant donné la nature de la couche de cristal liquide, une tension continue de commande est très déconseillée : on risque de réduire dans une grande proportion la durée de vie du cristal, par suite d'une électrolyse du produit.

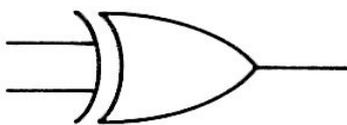
On doit donc commander le cristal par une tension alternative, la fréquence de cette dernière ayant assez peu d'importance (de 10 Hz à plusieurs kilohertz).

le « ou exclusif »

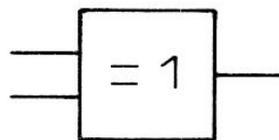
Une solution très ingénieuse pour réaliser cette commande est l'emploi des circuits « ou exclusifs ». Ces circuits logiques, dont la figure 2-14 donne le symbole, ont deux entrées, A et B, et une sortie S. La tension de sortie S est haute si :

- A est au niveau haut, B étant au niveau bas
- A est au niveau bas, B étant au niveau haut.

Elle est basse si les deux entrées sont au même niveau (haut ou bas). La « table de vérité » d'un tel circuit se présente donc comme suit :



Ⓐ



Ⓑ

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Fig. 2-14 — Le circuit « ou exclusif » est représenté par un symbole, soit celui (a) que tout le monde emploie, soit le (b), dit « normalisé », dont le choix semble ridicule, mais qui existe.

En examinant cette table, on voit que, si $A = 0$, $S = B$ (ce qui signifie que le niveau logique de la sortie S est le même que celui de l'entrée B, étant haut quand B est haut, bas quand B est bas).

A l'opposé, si $A = 1$, en consultant les deux dernières lignes de la table de vérité, on voit que l'on a $S = \overline{B}$ (ce qui se lit S égale non

B, et qui signifie que la sortie B est dans un état opposé à celui de l'entrée A, étant haute quand A est basse, basse quand A est haute).

Ce qui précède nous permet alors d'expliquer les formes d'ondes de la figure 2-15.

Supposons tout d'abord (fig. 2-15 a) que nous maintenions l'entrée A au niveau zéro. En appliquant des signaux rectangulaires à l'entrée B, la sortie S prend le même niveau que l'entrée B, et l'on trouve en S le même signal rectangulaire que sur B. Il n'y a donc pas de tension alternative entre B et S.

Si, maintenant (fig. 2-15 b), l'entrée B est au niveau haut. Il y a donc sur S un signal qui est en opposition de phase avec celui que l'on applique sur B.

Il y a donc maintenant, entre B et S, une tension alternative dont l'amplitude est double de celle de la tension appliquée à B.

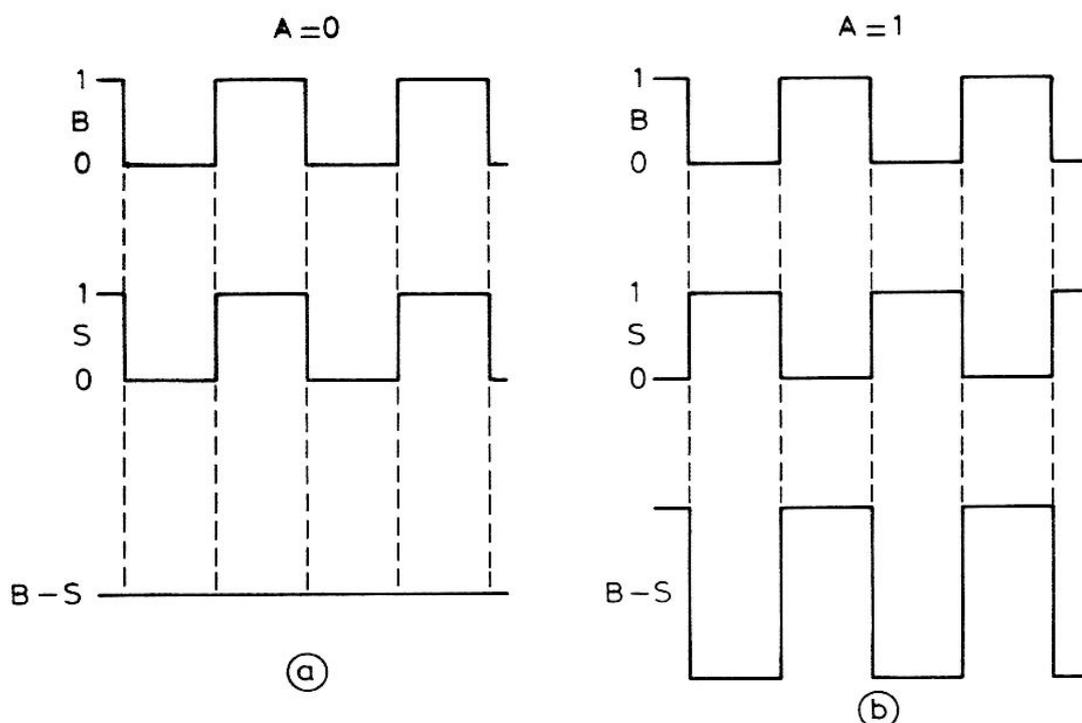


Fig. 2-15 — Dans un circuit « ou exclusif », si l'on applique une tension nulle à l'entrée A, (a), la tension appliquée en B se retrouve telle quelle en sortie S : il n'y a pas de tension entre B et S. Mais, si A est au niveau 1, le circuit « ou exclusif » se comporte comme un inverseur par rapport à son entrée B. Il y a donc, en sortie S, une tension en opposition de phase avec la tension sur l'entrée B. La tension entre B et S est alors en crêteaux de forte amplitude (b).

Utilisons maintenant une partie d'afficheur à cristal liquide, LCD (fig. 2-16). Nous emploierons un générateur G, donnant des signaux rectangulaires, appliqués d'une part à l'entrée B du circuit « ou exclu-

sif », et, d'autre part, à une des métallisations, M_1 , du système à cristal liquide. La sortie S du circuit « ou exclusif » est appliquée à l'autre métallisation, M_2 .

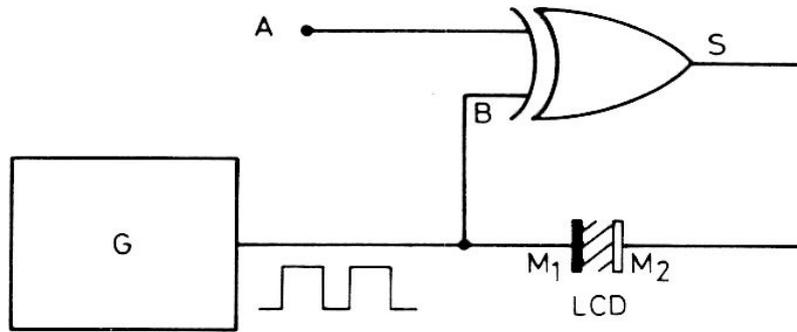


Fig. 2-16 — L'utilisation d'un circuit « ou exclusif », selon le principe de la figure 2-15 permet ici de commander un afficheur à cristal liquide. Le générateur G fournit des signaux rectangulaires de fréquence assez basse (de 10 à 100 Hz). Ainsi, le cristal liquide a :

- soit une tension nulle à ses bornes (si $A = 0$)
- soit une tension alternative à ses bornes (si $A = 1$).

Si nous appliquons un niveau zéro à l'entrée A, on aura sur M_1 et M_2 les signaux dont les formes d'ondes sont indiquées sur la figure 2-15 (a). Les deux métallisations seront ensemble au niveau haut, puis ensemble au niveau bas : il n'y aura donc pas de tension entre ces deux métallisations, et le cristal ne réagira pas.

A l'opposé, appliquons un niveau 1 sur l'entrée A. Maintenant, sur les métallisations M_1 et M_2 , nous trouvons deux signaux en opposition de phase, tels que les représentent les formes d'ondes de la figure 2-15 (b).

Il y a donc toujours de la tension entre M_1 et M_2 , cette tension changeant de sens à chaque modification de la polarité du signal en B : le cristal liquide réagit.

Les circuits intégrés directement prévus pour la commande des cristaux liquides comprennent déjà des circuits « ou exclusifs » pour chaque sortie, ce qui dispense d'en monter à l'extérieur. Sinon, on utilise des groupes de circuits « ou exclusifs », comme le SFF 5 110, qui comporte dix circuits « ou exclusifs », avec, en plus, dix « mémoires », permettant de conserver les valeurs des dix données d'entrée.

Si l'on ne veut pas utiliser de circuits « ou exclusifs », on peut, à la rigueur, porter la métallisation commune à une tension égale à la

moitié de la tension d'alimentation. La sortie qui doit commander une zone à activer doit alors fournir un signal qui oscille entre zéro et la tension d'alimentation, alors que la sortie correspondant à une zone non commandée doit rester à un potentiel aussi voisin que possible de la moitié de la tension d'alimentation. Mais, en procédant ainsi, on n'a, au maximum, que la moitié de la tension d'alimentation aux bornes de l'élément de cristal à commander, alors que, avec le circuit « ou exclusif », la tension aux bornes de la partie à exciter varie de $+V_{CC}$ à $-V_{CC}$, V_{CC} étant la tension d'alimentation.

CHAPITRE III

Les circuits de commande

Dans cette partie, nous parlerons plus particulièrement des circuits électroniques qui permettent de commander des dispositifs d'affichage. On peut avoir à commander de simples LED, alors, en général, des transistors et des circuits logiques simples suffisent. Si l'on désire commander des afficheurs à sept ou seize segments, il faut alors faire appel à des décodeurs plus complexes.

III-1 Emploi de circuits logiques simples

Dans de nombreux cas, on désire commander une LED pour connaître le niveau de sortie d'un circuit logique. Par exemple, on veut savoir, si un basculeur est dans un état ou dans un autre.

Commande de LED par une sortie de TTL

Les sorties des circuits TTL se prêtent assez bien à cet affichage, mais surtout si on admet de l'« inverser ». Expliquons-nous plus clairement.

Une sortie de circuit TTL est plutôt prévue pour pouvoir *consommer* du courant (quand la sortie est au niveau bas) que pour en *fournir* quand elle est au niveau haut. Donc, à la sortie d'une porte « nand », par exemple (comme un SN 7 400), on peut facilement commander une LED suivant le schéma de la figure 3-1. Quand la sortie de la porte est à niveau haut, la LED est éteinte. A l'opposé, quand elle est au

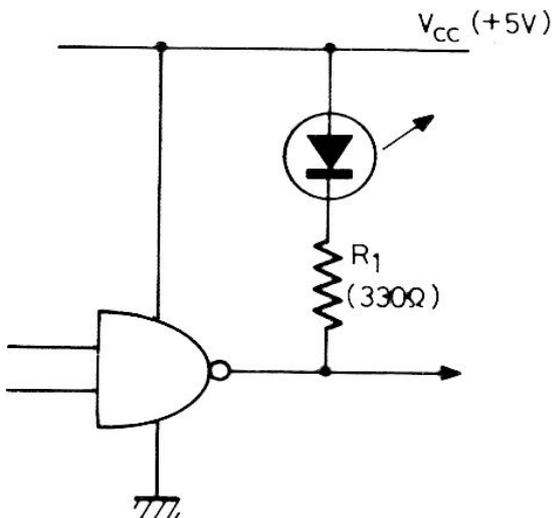


Fig. 3-1 — Si on veut allumer une LED par une sortie de porte logique TTL (ici une porte NAND), il est préférable de la monter ainsi, car une telle porte est plus faite pour absorber du courant (au niveau logique bas) que pour en fournir (au niveau haut). Mais alors, la LED s'allume quand la sortie de la porte est basse.

niveau bas (donc à moins de 0,4 V théoriquement, souvent à moins de 0,2 V), il y a environ 1,5 V aux bornes de la LED (cas d'une LED rouge), il reste donc à peu près 3,3 V aux bornes de R, ce qui donne un courant de LED de 10 mA. Mais la LED est :

- *allumée* quand la sortie de porte est au niveau *bas*
- *éteinte* quand la sortie de porte est au niveau *haut*.

c'est ce que nous désignons sous le nom d'« affichage inversé ».

Si l'on désire un affichage non inversé, c'est-à-dire une LED allumée par un niveau de sortie haut, il serait éventuellement possible de brancher la LED comme l'indique la figure 3-2 (a), mais on risque d'avoir une forte dispersion des valeurs de courant dans la LED d'une porte à l'autre. En effet, une sortie de porte TTL normale est garantie capable de consommer plus de 16 mA au niveau logique bas (moins de 0,4 V), mais on ne garantit pour elle que la possibilité de fournir 1,2 mA quand cette sortie est au niveau logique haut (qui va de 2,4 à 4 V environ, la seule valeur définie étant le minimum garanti de 2,4 V).

Pour avoir un courant correct dans la LED quand la sortie est au niveau haut, il vaut mieux utiliser le montage de la figure 3-2(b). La résistance R_2 , qui doit être supérieure à 330Ω , pour ne pas envoyer plus de 15 mA dans la sortie de porte quand celle-ci est au niveau bas, fournira une partie du courant de la LED quand la sortie sera au niveau haut. Une autre partie sera fournie par la porte elle-même, les proportions des deux courants dépendant de R_1 et de la porte.

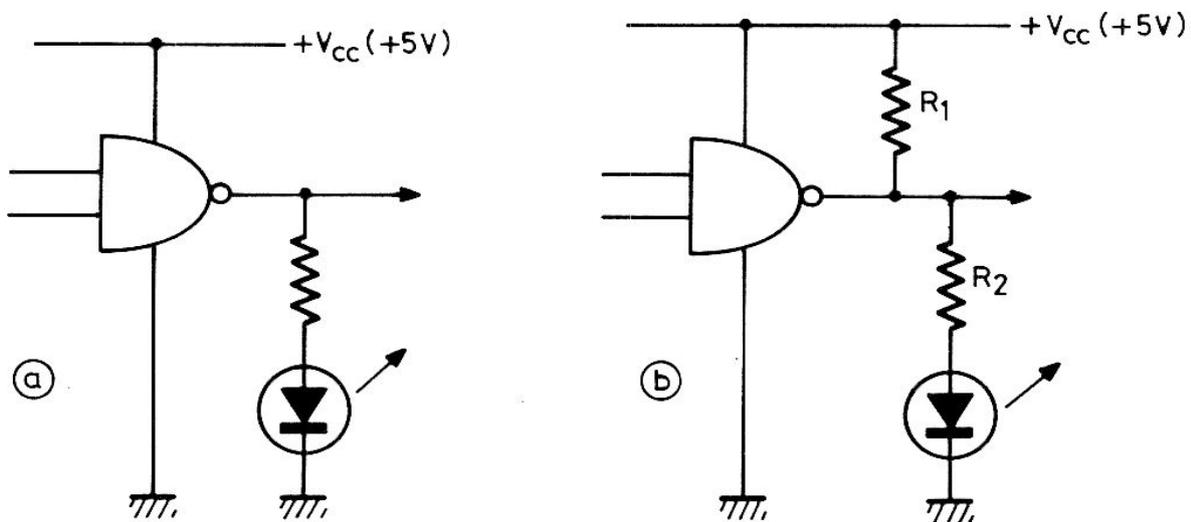


Fig. 3-2 — Si l'on emploie ce montage pour allumer une LED par un niveau haut de porte, on ne peut garantir ni le courant dans la LED ni la valeur de tension de sortie à l'état logique haut (a). On améliore un peu les choses en mettant une résistance de « tirage » (pull up) entre la sortie et le $+V_{CC}$ (b).

Le montage de la figure 3-2(b) présente l'inconvénient de consommer un courant dans R_2 alors que la sortie est au niveau bas (donc la LED éteinte), alors que, dans le cas de la figure 3-1, le montage ne consomme du courant (en dehors du courant propre de la porte) que quand la LED est allumée. Celui de la figure 3-2(b) consomme donc du courant quand la LED est éteinte, un peu moins quand elle est allumée.

Commande de LED par transistor

Toutes ces considérations font que la meilleure solution, si l'on désire un affichage non inversé, consiste à utiliser un transistor de commande de la LED, ainsi que le montre la figure 3-3. Si mauvais que soit le transistor T, il a au moins un gain en courant de 50. Donc, pour avoir 10 mA dans la LED (ce qui est généralement très suffisant pour obtenir un point très lumineux, l'auteur se contentant souvent de 4 à 6 mA), il suffit de 0,2 mA de courant base pour saturer le transistor. Comme la sortie est au moins à 2,4 V au niveau haut, et que la base de T est alors à +0,6 V, il y a au moins 1,8 V aux bornes de R_2 . Il suffit donc que cette dernière ne dépasse pas $9\text{ k}\Omega$ pour avoir les $200\text{ }\mu\text{A}$ nécessaires.

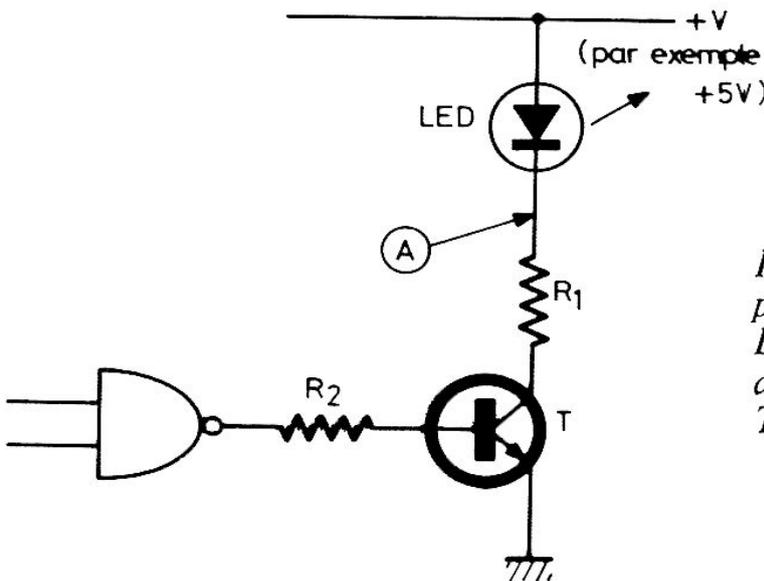


Fig. 3-3 — La meilleure solution pour commander l'allumage de la LED par le niveau haut de la sortie de porte est l'emploi d'un transistor T.

Remarquons, en passant, que nous avons monté la LED avec son anode directement connectée au $+V_{CC}$, la résistance étant dans sa cathode. Cette disposition est meilleure que celle qui consisterait à permuter la LED et la résistance R_1 . En effet, dans le cas de la figure 3-3, la variation maximale de potentiel du point (A) est égale à la tension de LED, soit environ 1,5 V dans le cas d'une LED rouge. En permutant R_1 et la LED, la variation de potentiel du point commun atteindrait

3,5 V. Or, il est très malsain de promener des signaux à flancs raides (les circuits logiques en donnent), de forte amplitude, sur des fils longs. Comme les LED sont généralement sur le panneau avant du montage, on peut avoir à les relier aux différentes sorties prévues pour les commander par des fils assez longs, qui constituent alors autant d'« antennes », rayonnant des signaux parasites sur tout le montage, dont le fonctionnement peut alors être perturbé. Dans le cas du montage de la figure 3-3, l'amplitude du signal parasite est réduite par rapport à celle que l'on aurait en permutant R_1 et la LED.

D'ailleurs, dans le montage de la figure 3-3, il est très facile de placer un condensateur de 10 à 100 nF entre le collecteur et l'émetteur de T : on supprime alors tout flanc raide sur les fils reliés au collecteur de ce transistor.

Si le montage de la figure 3-1 (dans lequel on ne peut éliminer les flancs raides sur le fil allant à la LED, mais où il serait aussi très contre-indiqué de permuter R_1 et la LED, ce qui augmenterait l'amplitude des signaux), il peut se faire que l'affichage inversé ne soit pas un inconvénient. Dans de nombreux cas, des circuits logiques, surtout des basculeurs et autres « flips-flops », ont deux sorties utilisables, l'une étant le complément logique de l'autre. Par exemple, dans un basculeur dit « J-K », comme le SN 7 476, on dispose de la sortie Q et de la sortie complémentaire \bar{Q} , basse quand la sortie Q est haute, et inversement. En branchant une LED sur cette sortie \bar{Q} selon la méthode de la figure 3-1, on réalise donc un allumage de la LED quand la sortie Q est haute (parce que, alors, la sortie \bar{Q} est basse).

« Logiques » à transistors pour la commande

L'avantage de l'emploi des transistors de commande est qu'ils peuvent en même temps faire fonction de circuits logiques. Supposons, par exemple que, dans un compteur, nous désirons provoquer l'allumage d'une LED uniquement quand le compteur est dans l'état n° 8 (sortie A basse, sorties B et C basses, sortie D haute). Comme l'état 8 est le seul où l'on ait D haut et A bas, on peut commander la LED par le montage de la figure 3-4. Le transistor ne sera débloqué que :

- si son émetteur est au niveau bas ($A = 0$)
- si sa base est au niveau haut ($D = 1$)

Donc la LED ne sera allumée que si le compteur est dans l'état n° 8.

Si l'on veut allumer une LED quand deux commandes sont en même temps au niveau haut, on peut utiliser, par exemple, le montage

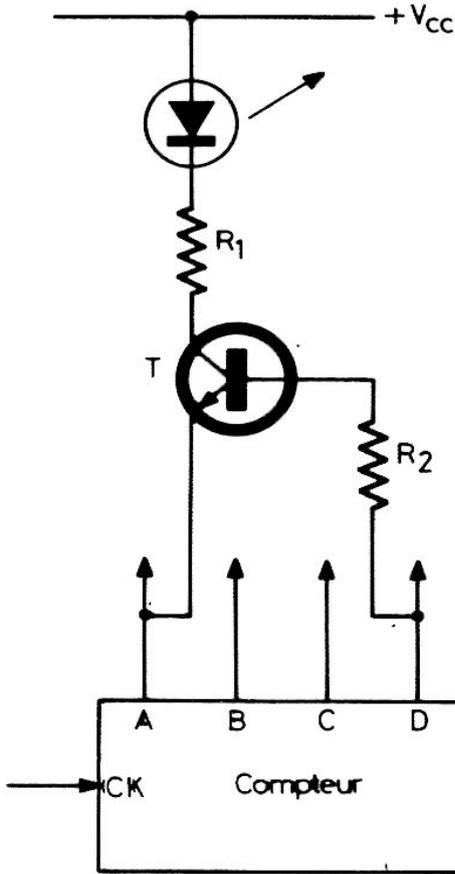
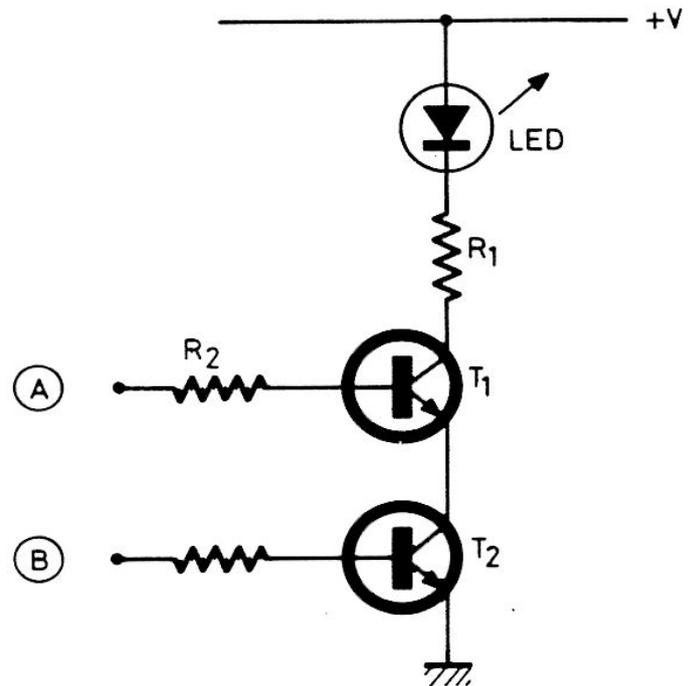


Fig. 3-4 — Un transistor qui commande une LED peut, en même temps, faire une fonction logique. Par exemple, ici, la LED ne s'allumera que si la sortie A du compteur est à niveau bas, la sortie D étant, en même temps, au niveau haut (cela ne se produira donc que lorsque le compteur sera dans l'état n° 8).

Fig. 3-5 — Emploi de deux transistors en série pour réaliser l'allumage d'une LED sous forme d'une fonction « ET » : la LED ne s'allumera que si l'on porte A et B au niveau haut en même temps.



de la figure 3-5 : le courant ne passera dans la LED que si les deux transistors, montés en série, sont débloqués ensemble, ce qui suppose que les deux entrées (A) et (B) sont ensemble au niveau haut.

En utilisant les transistors N-P-N et P-N-P ensemble, on peut encore multiplier les possibilités de commande.

LED éteinte, clignotante ou fixe

Citons encore un cas de commande logique assez courant : on veut qu'un voyant à LED soit :

- éteint
- allumé en clignotant
- allumé en permanence.

On y arrive en utilisant le montage de la figure 3-6, où (1) et (2) sont deux portes « nand » TTL, à deux entrées chacune, par exemple un quart de circuit SN 7 400. Si la commande (A) est à niveau bas, la sortie S de (1) est au niveau haut (un niveau bas dans une entrée de « nand » porte la sortie au niveau haut, quel que soit l'état de l'autre entrée), et la LED est éteinte.

Si (A) est au niveau logique haut, la porte (1) joue alors le rôle d'un inverseur, donnant, sur la sortie S, un niveau contraire à celui de son entrée (P). Donc, suivant que l'entrée (B) est au niveau bas ou haut, la sortie (P) de la porte (2) est :

- constamment haute si (B) est au niveau bas, la sortie S est constamment basse et la LED est allumée en permanence ;

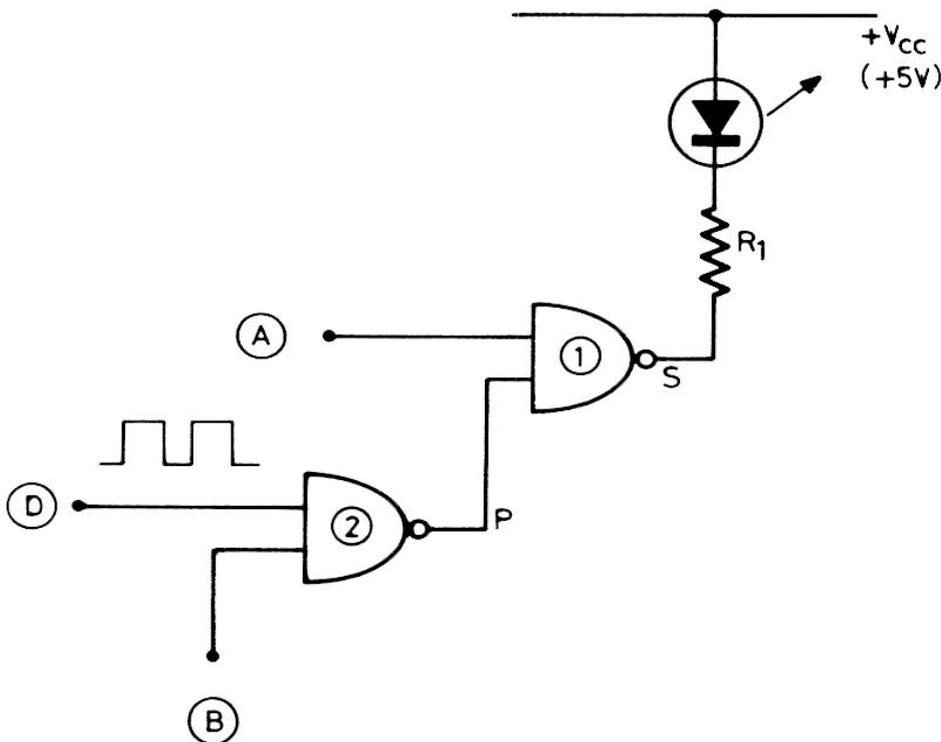


Fig. 3-6 — Si l'entrée A de la porte Nand (1) est au niveau bas, la LED est toujours éteinte. Si A est au niveau haut, la porte 1 sert d'inverseur logique, donc, si l'entrée B de la porte (2) est au niveau bas, la LED est tout le temps allumée, la sortie P étant toujours au niveau haut. Mais si, avec A au niveau haut, B est aussi au niveau haut, la LED clignote au rythme du signal fourni par un générateur à l'entrée D.

— alternativement haute puis basse, au rythme du signal rectangulaire appliqué en (D), si (B) est au niveau haut : le signal (D) est inversé une première fois par (2), une seconde fois par (1) et la LED clignote au rythme du signal appliqué en (D).

Les UAA 170 et UAA 180

Pour terminer ces circuits de commande de LED, nous dirons quelques mots des circuits du type UAA 170 et UAA 180 (Siemens).

Ces circuits permettent le commande d'une LED parmi seize (pour le UAA 170) ou de zéro à douze diodes d'un ensemble (pour le UAA 180).

La commande est donnée par la comparaison d'une tension d'entrée à deux références, A et B. On suppose la tension B supérieure à A.

Les deux circuits agissent sur les LED par les sorties de seize (UAA 170) ou douze (UAA 180) comparateurs, qui comparent chacun la tension d'entrée V_i à seize (ou douze) tensions, allant de A à B, et données par un ensemble de résistances égales, au nombre quinze (ou onze), entre la tension A et la tension B.

Allumage de zéro à douze LED

Par exemple, pour le UAA 180, on réalise un diviseur à onze résistances entre la tension A et la tension B (fig. 3-7). Les tensions obtenues sont donc :

$$V_1 = A, V_2 = A + 1/12 (B - A), V_3 = A + 2/12 (B - A) \dots \\ V_{11} = A + 11/12 (B - A), V_{12} = B$$

On utilisera douze comparateurs, de C_1 à C_{12} , ayant deux entrées chacun, une entrée + et une entrée -. Le comparateur donne une tension de sortie haute quand le potentiel de son entrée - est inférieur à celui de son entrée + ; si c'est le contraire, sa tension de sortie est basse.

Comme la tension d'entrée V_i attaque les douze entrées - des douze comparateurs, on allumera, par exemple, les LED L_1 , L_2 et L_3 seulement si la tension d'entrée V_i est supérieure à V_3 (donc supérieure à V_1 et à V_2), et inférieure à V_4 (donc inférieure à V_5 , $V_6 \dots V_{11}$ et V_{12}).

En réalité, la structure du UAA 180 est plus complexe. En particulier, les commandes de LED sont différentes, pour permettre la mise en série des LED par groupe de quatre, ce qui fait que le courant

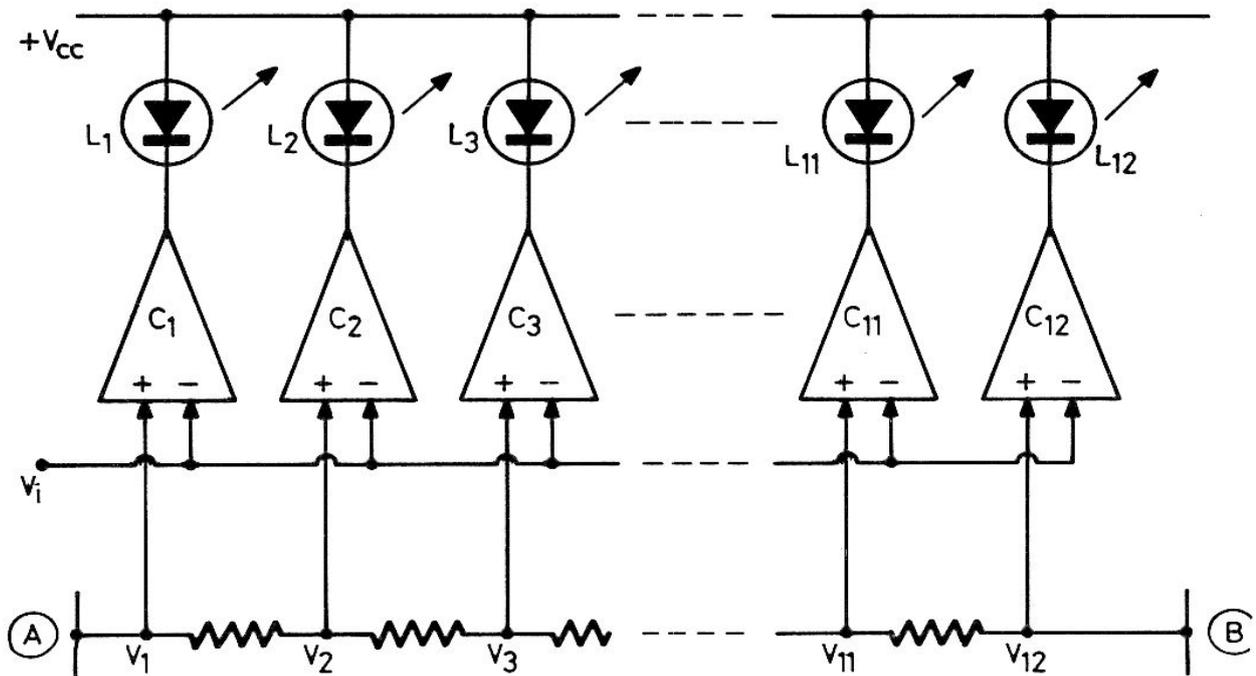


Fig. 3-7 — Structure simplifiée du circuit intégré UAA 180, qui permet, selon la tension V_i , d'allumer de une à douze LED.

total consommé par les LED n'est que trois fois celui d'une LED et non douze fois.

Il y a également une particularité intéressante de ce circuit : la commande de courant des LED par une entrée adéquate. On n'utilise aucune résistance extérieure, il suffit d'appliquer à une entrée « commande de luminosité » une tension, ajustée à une valeur donnée, pour régler le courant de chaque LED de zéro à environ 10 mA.

Un tel circuit utilise souvent des LED groupées en « barreau », ce qui fait que l'allumage se présente comme une colonne lumineuse d'une longueur variable en fonction de la tension V_i . C'est un affichage du type « thermomètre » (et d'ailleurs, on utilise souvent ce circuit, associé à un capteur de température, une résistance C.T.N. par exemple, pour constituer un thermomètre).

On peut utiliser deux ou trois circuits de ce type, avec des tensions A et B étagées, tous commandés par la même tension V_i , pour obtenir l'allumage de zéro à vingt-quatre ou de zéro à trente-six LED.

Commande d'une LED parmi seize

Dans le cas du UAA 170, il y a seize comparateurs au lieu de douze et un ensemble de logique fait que l'on allume seulement une des seize LED.

Par exemple, tant que la tension V_i est supérieure à v_3 et inférieure à v_4 , seule la LED n° 3 est allumée. L'affichage est donc fait par un point lumineux qui se déplace, au lieu d'être réalisé par une colonne lumineuse de longueur variable. Là aussi, on peut associer deux UAA 170 pour commander trente-deux LED (ou trois circuits pour commander une LED parmi quarante-huit). Dans la commande des LED du UAA 170, on utilise une méthode « matricielle », par commande de quatre groupes de cathodes (par quatre sorties du circuit) et de quatre groupes d'anodes (par quatre autres sorties). Ce circuit est souvent utilisé comme indicateur de vitesse dans les automobiles.

Le « Bargraph » (R)

Par analogie avec l'affichage du UAA 180, nous dirons quelques mots d'un dispositif d'affichage fort intéressant, le « Bargraph » (marque déposée de Burroughs), et de ses circuits de commande.

Ce dispositif à gaz ionisé, qui est sans doute en passe de faire disparaître les appareils à aiguille du type galvanomètres à cadre mobile, permet l'affichage d'une zone lumineuse en forme de ruban, dont on peut faire varier la longueur, pas à pas sur 100 ou 200 positions selon que l'on désire une précision de 1 % ou de 0,5 %.

On utilise ici le principe du « transfert d'ionisation » par proximité.

Le « tube » à gaz (dans lequel on a de la peine à croire que c'est bien de gaz qu'il s'agit, le tout se présentant comme une plaque double, avec scellement sur les bords, un peu comme les afficheurs à sept segments à gaz) a une anode (fig. 3-8) et trois groupes de cathodes K_1 , K_2 et K_3 . Normalement, l'ionisation a lieu entre l'anode et une des cathodes K_1 , par exemple à la position (1). Pour cela, le transistor T_1 doit être saturé.

Supposons maintenant que nous bloquions momentanément T_1 et que l'on débloque T_2 : l'ionisation doit cesser en (1), et elle s'établira sur une des cathodes K_2 . Ce sera sur la cathode correspondant à la position (2), puisqu'elle est proche de (1), et baigne encore dans les ions restants de l'ionisation qui est en train de se terminer en zone (1).

On ne laisse T_2 saturé que juste le temps nécessaire pour que l'ionisation passe en (2). Dès que c'est fait, on rebloque T_2 et l'on débloque T_3 , ce qui fait « sauter » l'ionisation au point (3), puisque c'est la cathode n° 2 la plus proche du point (2).

De même, on ne maintient l'ionisation en (3) qu'un temps très court, après quoi on rebloque T_3 et l'on ramène T_1 à la saturation : l'ionisation saute de (3) en (4), soit sur la cathode K_1 suivante.

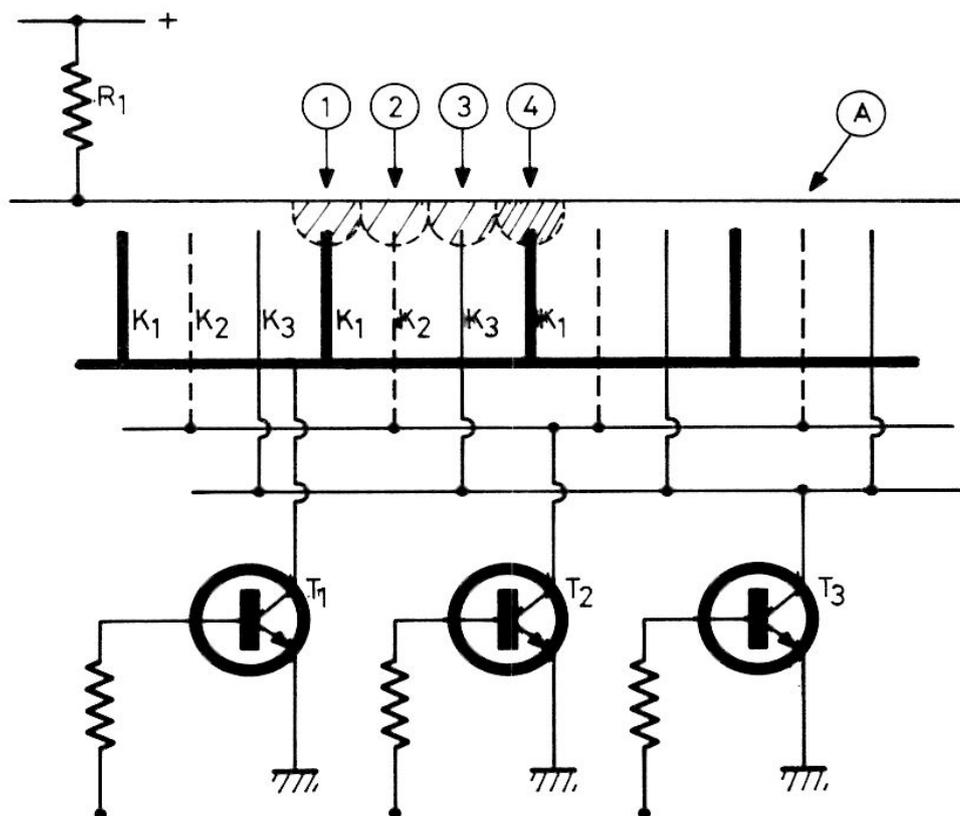


Fig. 3-8 — Principe de fonctionnement du « Bargraph » (Burroughs) qui permet d'allumer une petite zone ionisée sur une des cathodes K_1 , et de la faire passer à la cathode K_1 suivante, par transit intermédiaire sur une cathode K_2 , puis sur une cathode K_3 . On stoppe la progression au moment où une rampe linéaire recoupe la tension de commande d'entrée : la longueur de la colonne lumineuse parcourue par la zone ionisée est alors proportionnelle à la tension de commande. Cet instrument est en passe de remplacer les galvanomètres à aiguille.

Toute cette manœuvre constitue « un cycle ». On commence toujours l'ionisation sur la première des cathodes K_1 , qui a une connexion de sortie séparée, pour permettre le démarrage au même endroit, en bloquant à la fois T_1 , T_2 et T_3 et en mettant à la masse la seule cathode K_1 initiale.

En même temps que l'on fait une série de « cycles », dont chacun fait passer l'ionisation d'une cathode K_1 à la cathode K_1 suivante (par l'intermédiaire des cathodes K_2 et K_3), on produit une tension qui augmente linéairement en fonction du temps (une « rampe linéaire »), appliquée à une entrée d'un comparateur, dont l'autre entrée est reliée à la tension de commande V_i (une tension continue constante). Quand la tension de la rampe atteint la valeur V_i , le comparateur délivre en sortie un signal. Ce signal :

— éteint le « Bargraph » (R) en coupant momentanément la tension de son anode.

- remet à zéro la tension de rampe.
- amorce l'ionisation sur la cathode K_1 de début.

On recommence alors une nouvelle série de cycles de progression de l'ionisation, qui saute de cathode K_1 en cathode K_1 suivant jusqu'au moment où la rampe atteint la tension V_i . Si V_i est petite, la zone ionisée n'aura pas beaucoup progressé au moment de la remise à zéro. Si elle est grande la zone ionisée atteint presque l'extrémité de la ligne des cathodes K_1 .

En raison de la rapidité des cycles et de la persistance des impressions rétinienne, on a l'impression de voir une barre rouge-orangée (le tube est rempli de néon) dont la longueur est proportionnelle à la valeur V_i .

Il existe des « Bargraph » (R) doubles, linéaires, circulaires, à plus ou moins de pas, et nous pensons que c'est là une solution qui pourrait, dans un avenir assez proche, devenir plus rentable et plus fiable que l'emploi d'un indicateur à aiguille, quand on désire un affichage analogique.

La LED bicolore

Donnons, pour terminer ces commandes par des logiques simples, un montage utilisable pour la LED bicolore dont nous avons déjà parlé.

Le montage est celui de la figure 3-9. Le signal de commande est appliqué en (A). Les valeurs sont données pour une commande au niveau TTL. Si la commande (A) est au niveau haut, T_1 est saturé, ce

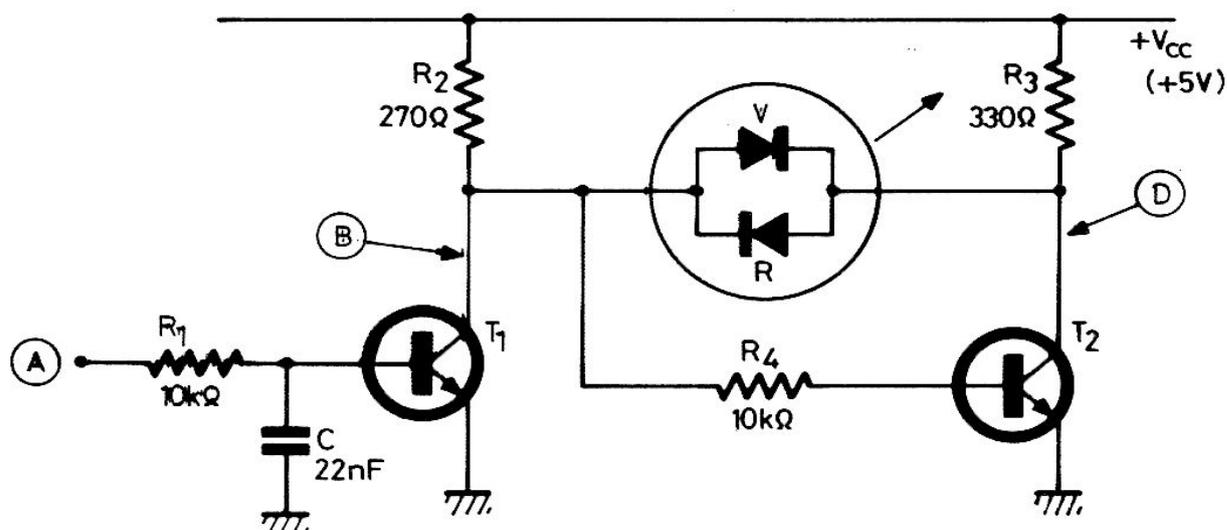


Fig. 3-9 — Montage recommandé pour allumer en rouge ou vert la LED double MV5491 (Monsanto), suivant que la tension à l'entrée A est au niveau logique haut ou bas.

qui bloque T_2 par R_4 . Le courant passe donc du $+V_{CC}$ vers la masse par R_3 , la LED rouge R et le transistor T_1 saturé.

Si le point (A) est au niveau bas, T_1 se bloque. Le potentiel de son collecteur (point B) remonte à environ $+2\text{ V}$, ce qui amène T_2 à la saturation par R_4 . Le point (D) est alors au potentiel zéro, et le courant passe, depuis le $+V_{CC}$, à travers R_2 , la LED verte V (d'où la tension de $+2\text{ V}$ au point (B) et T_2).

III-2 Commande d'afficheurs par décodeurs

Le comptage

Dans la plupart des cas, les afficheurs sont prévus pour donner le résultat d'un comptage. Nous dirons donc quelques mots sur cette technique.

Un compteur est composé d'éléments qui sont :

- Des étages binaires (souvent groupés par quatre pour faire un compteur par seize).

- Des « décades », circuits intégrés comportant généralement quatre étages binaires et un couplage adéquat entre eux, de telle sorte que le circuit ait dix états stables possibles.

Nous envisagerons surtout le comptage *décimal*.

Une décade a donc dix états, que l'on désigne par 0, 1, 2... 9. On peut connaître l'état dans lequel se trouve la décade par les niveaux de quatre sorties, A (unités), B (les « deuxaines »), C (les « quatraines ») et D soit les « huitaines ». En désignant, comme c'est presque toujours le cas, un niveau logique bas par 0 et un niveau haut par 1, les états des sorties d'une décade sont les suivants :

Numéro de l'état	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0

Nous avons fait figurer l'état n° 10, qui est, en fait, l'état zéro, puisque la décade retourne à l'état zéro lorsqu'elle reçoit une impulsion sur l'entrée des signaux à compter (entrée « horloge »).

Une décade a une entrée de remise à zéro, qui, quand elle reçoit un niveau haut (par exemple), la remet dans l'état initial, avec les sorties A, B, C et D au niveau bas.

On utilise généralement la sortie D comme signal de commande pour une autre décade. Quand la première décade, arrivée à neuf repasse à zéro, la sortie D repasse au niveau bas, ce qui commande la décade suivante, qui augmente son état d'une unité.

Il faut, pour cela, que la décade soit commandée par une transition descendante. Dans certains types, on a le choix pour la commande par exemple, dans le modèle SCL 4518 (ou HEF 4518 de Signetics), on dispose de deux connexions pour l'attaque de l'entrée, une « horloge » (CK) et une validation (EN = Enable). Si on met l'entrée EN au niveau haut, la décade compte lors de la transition montante (de zéro à un) sur l'entrée CK. En mettant l'entrée CK au niveau bas, la décade compte lors de la transition descendante (de un à zéro) sur l'entrée EN.

Certaines décades sont « réversibles » (up-down) : suivant l'entrée attaquée, ou suivant le niveau d'une entrée de commande « sens de comptage », on fait se succéder les états dans l'ordre « comptage » (0, 1, 2... 8, 9, 0 etc.) ou dans l'ordre inverse, dit « ordre décomptage » (9, 8, 7... 1, 1, 0, 9 etc.).

Il y a aussi des décades « prépositionnables » (presettable), dans lesquelles on peut appliquer un ensemble de quatre données sur quatre entrées A_i, B_i, C_i et D_i. Une commande « charge » (load), quand elle reçoit momentanément un niveau bas (par exemple), amène les sorties A, B C et D dans les états correspondants à ceux que l'on a appliqués à A_i, B_i C_i et D_i. On « force » donc la décade à prendre un des états possibles, après quoi, la commande « charge » étant ramenée à son niveau normal, les entrées A_i... D_i n'ont plus d'effet. On peut donc compter en commençant par exemple, à partir de l'état 6 (en appliquant un niveau haut à B_i et C_i, bas à A_i et D_i et en agissant sur l'entrée « charge ») : on compte alors 7, 8...

Quand on veut réaliser un compteur qui puisse compter jusqu'à 100, il faut deux décades. On doit en utiliser six pour aller jusqu'à un million (plus exactement de zéro inclus à 999 999 inclus). Il en faut huit pour aller jusqu'à 100 000 000.

A chaque décade doit correspondre un afficheur, qui indique à l'utilisateur le numéro de l'état dans lequel se trouve la décade.

Le circuit décodeur

Le tableau des états des sorties A, B, C et D que nous avons donné permet de connaître le numéro de l'état de la décade. Mais on doit, pour cela, le « traduire », en fonction du type d'afficheur utilisé.

Si l'on emploie un « Nixie » (R), il faut disposer d'un circuit décodeur qui ait quatre entrées, correspondant à A, B, C et D, et dix sorties $S_0, S_1, S_2, \dots, S_8$ et S_9 . Suivant l'état des entrées, une sortie et une seule est au niveau bas, les neuf autres étant au niveau haut.

Un tel décodeur s'utilise comme le montre la figure 3-10. Les sorties A, B, C et D de la décade des unités, IC_1 sont envoyées aux entrées A_i, B_i, C_i et D_i du décodeur IC_3 . Ses dix sorties sont reliées aux cathodes du tube « Nixie » (R) T. On utilise une résistance unique dans l'anode du tube pour stabiliser le fonctionnement. Ce dernier point peut sembler en contradiction avec ce que nous avons dit plus haut à propos de l'afficheur sept segments, mais on peut admettre, dans un tube

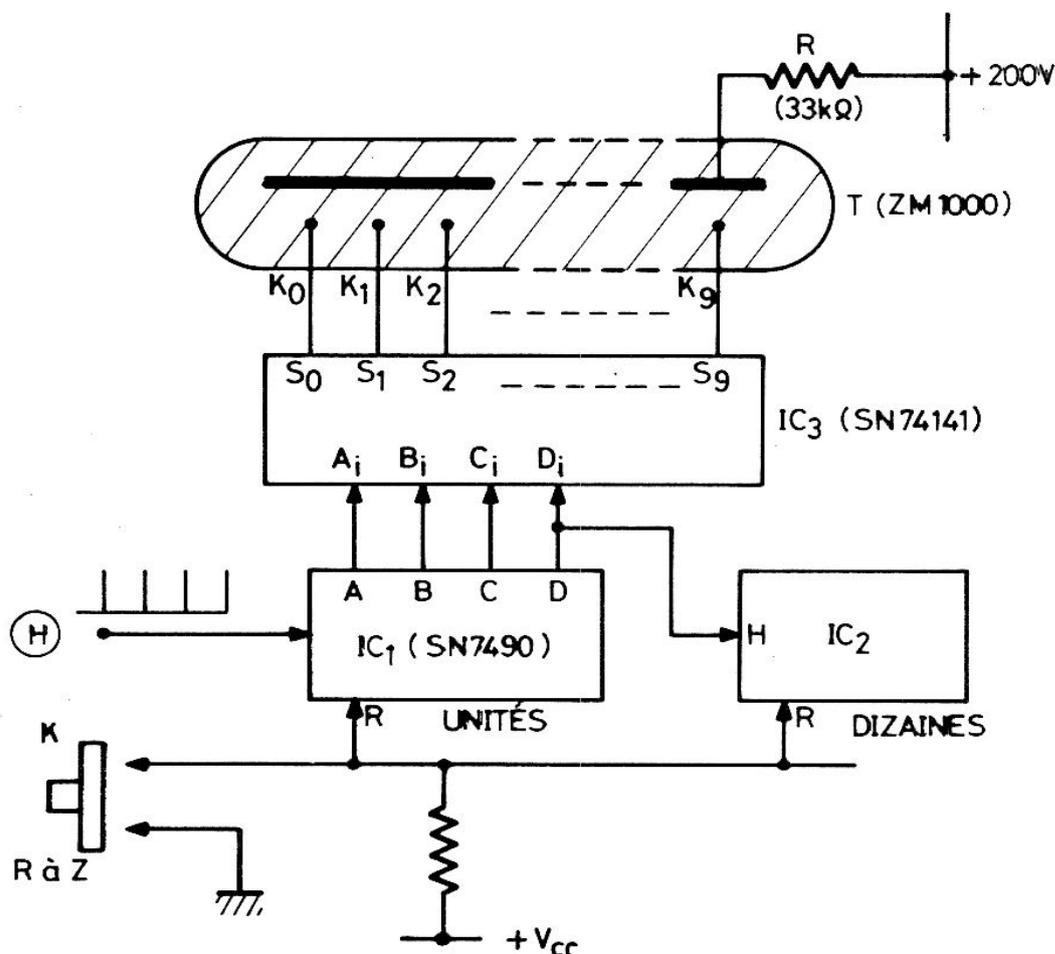


Fig. 3-10 — A partir d'une décade de comptage, il faut un circuit décodeur IC_3 pour commander les dix cathodes d'un tube afficheur à gaz ionisé, par exemple un « Nixie » (R), ou un tube analogue. Le modèle spécial SN74141 supporte, sur ses sorties, la tension élevée nécessaire.

« Nixie » (R), que le courant est le même quelle que soit la cathode utilisée (il en résulte un chiffre 1 un peu plus lumineux que le chiffre 8). On simplifie donc le montage.

Le décodeur IC₃ doit supporter un courant suffisant sur la sortie au niveau bas, ce qui ne pose aucun problème, mais il doit aussi supporter des tensions élevées sur les sorties au niveau haut (jusqu'à 70 V éventuellement) et c'est là qu'est la difficulté. Cela est si vrai que plusieurs circuits intégrés qui existaient autrefois pour la commande de « Nixie » (R) (le SN 7 441, le SN 74 141) ont disparu des catalogues : les déboires étaient fréquents dans la fabrication de ces circuits. Le seul circuit indiqué actuellement (1979) par un constructeur est le 8 T 01 (Signetics - Radiotechnique), mais il est encore possible de trouver les types que nous avons indiqués chez certains revendeurs.

Comme il se peut que ces décodeurs aient une vie assez brève, on peut sans trop compliquer le montage, utiliser le système que nous avons préconisé sur la figure 2-4, en limitant la tension maximale de n'importe quelle sortie à 60 V (il vaut même mieux descendre à quarante ou même à 30 V, ainsi la durée de vie du décodeur devient très grande). Avec la dimension des diodes au silicium actuelles, loger dix diodes de ce type par afficheur ne pose pas trop de problèmes.

Si l'on a trop de difficultés à trouver un décodeur pouvant commander un tube « Nixie » (R), le mieux est d'utiliser un décodeur BCD — décimal « bas niveau », suivi de dix transistors haute tension, comme le montre la figure 3-11. Le circuit intégré IC est un décodeur à dix sorties, tout à fait analogue au circuit IC₃ de la figure 3-10, mais ne pouvant supporter, sur ses sorties bloquées, qu'une tension maximale de 5 à 15 V (5 V dans le cas des circuits TTL, comme le SN 7 442, 3 à 15 V selon la tension d'alimentation dans le cas des circuits C-MOS).

Les transistors de la figure 3-11 ne sont pas exactement montés comme celui de la figure 2-6 : il s'agit d'en amener un à la saturation, avec son émetteur au potentiel nul ou presque. On a donc mis une résistance R unique entre le + 3 V et toutes les bases, le courant dans cette résistance ne va que vers la seule base du transistor conducteur. Rien n'empêche d'ajouter à ce montage la limitation de tension collecteur, selon le schéma de la figure 2-4.

Si le décodeur basse tension a une sortie haute et toutes les autres basses, on utilise alors les sorties du décodeur pour commander dix transistors haute tension, monté chacun en émetteur commun, par exemple selon le schéma de la figure 2-4.

Il est à noter qu'il y a des décades d'un type spécial, réalisées par un couplage de cinq bascules suivant le schéma imaginé par V.H. Rege-

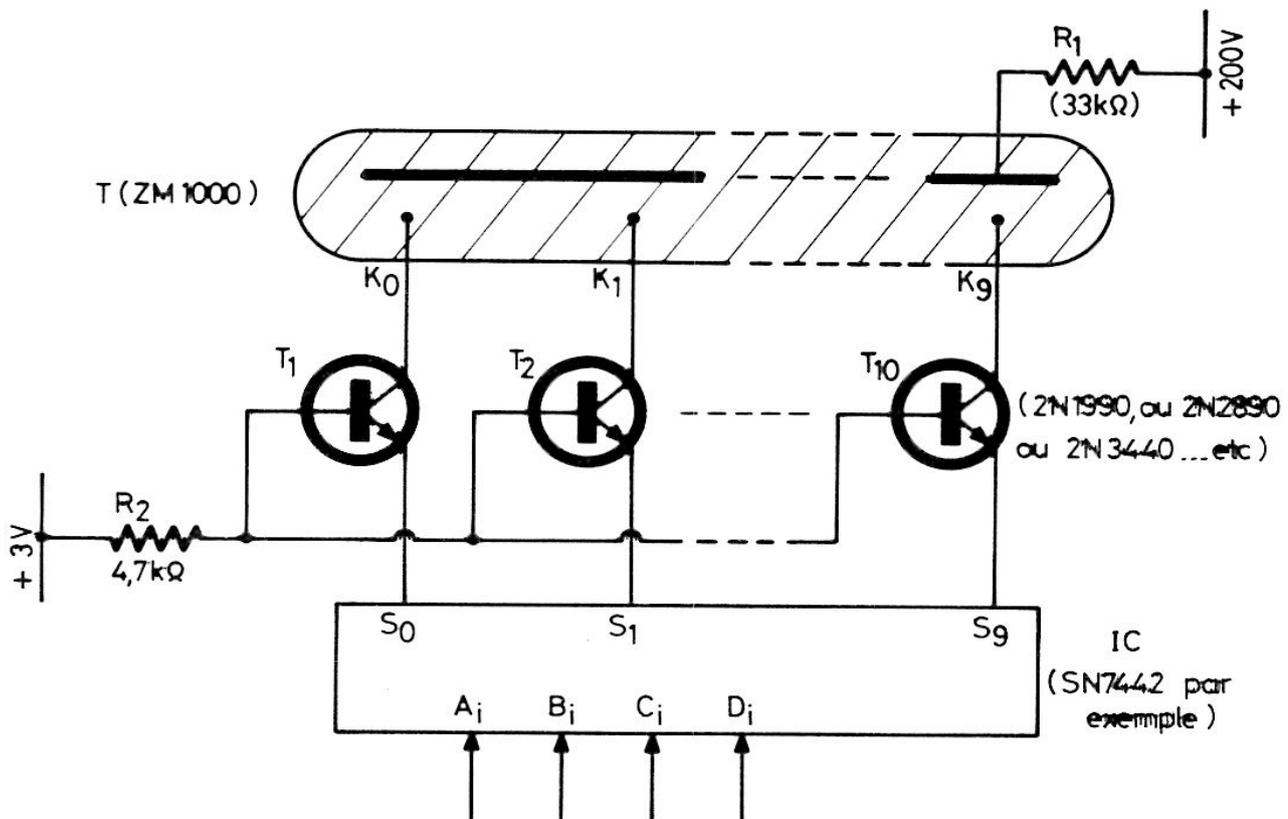


Fig. 3-11 — Dans le cas où l'on ne dispose que d'un décodeur dont les sorties ne peuvent supporter une tension élevée à l'état bloqué, on peut utiliser des transistors haute tension comme intermédiaires. Comme il n'y en a qu'un seul des dix qui débite, on a mis une seule résistance pour alimenter les dix bases.

ner et baptisé, contre toute logique, compteur de « Johnson », ces décades ayant dix sorties déjà décodées (par exemple la HEF 4 017). On peut donc les utiliser pour commander un tube « Nixie » (R) sans décodeur, mais avec dix transistors haute tension en émetteur commun.

Affichage avec mémoire

Le montage de la figure 3-10 ; par exemple, est parfaitement utilisable, mais présente toutefois un inconvénient.

Si l'on procède à des comptages périodiques, comme on le fait, par exemple, pour mesurer une fréquence (en comptant le nombre de périodes pendant une seconde exactement), il est impossible de lire le résultat pendant le comptage : le défilement rapide des affichages donne, dans le tube « Nixie » (R), un brouillard rouge.

Si l'on compte, par exemple, pendant dix secondes (cas des mesures de fréquences assez faibles), et que l'on prévoit un arrêt de deux secondes entre deux comptages successifs, on voit qu'il y a dix secondes inutilisables sur chaque cycle de douze secondes.

Il serait donc meilleur de garder affiché le résultat du comptage précédent pendant que l'on procède au comptage suivant, et de n'afficher le résultat de ce dernier que lorsqu'il est terminé.

C'est ce que l'on fait en utilisant le montage de la figure 3-12.

Le circuit IC_1 est une décade classique, IC_3 un décodeur de commande de « Nixie » (R) classique également. Le circuit IC_2 est ce que l'on appelle une mémoire quadruple, ou quadruple « verrou » (quad latch), que l'on désigne aussi sous le nom de quadruple bascule « type D ».

Il a la propriété suivante, quand il est du type « quad latch » :

— Si l'entrée M est au niveau haut (par exemple), il est « trans-

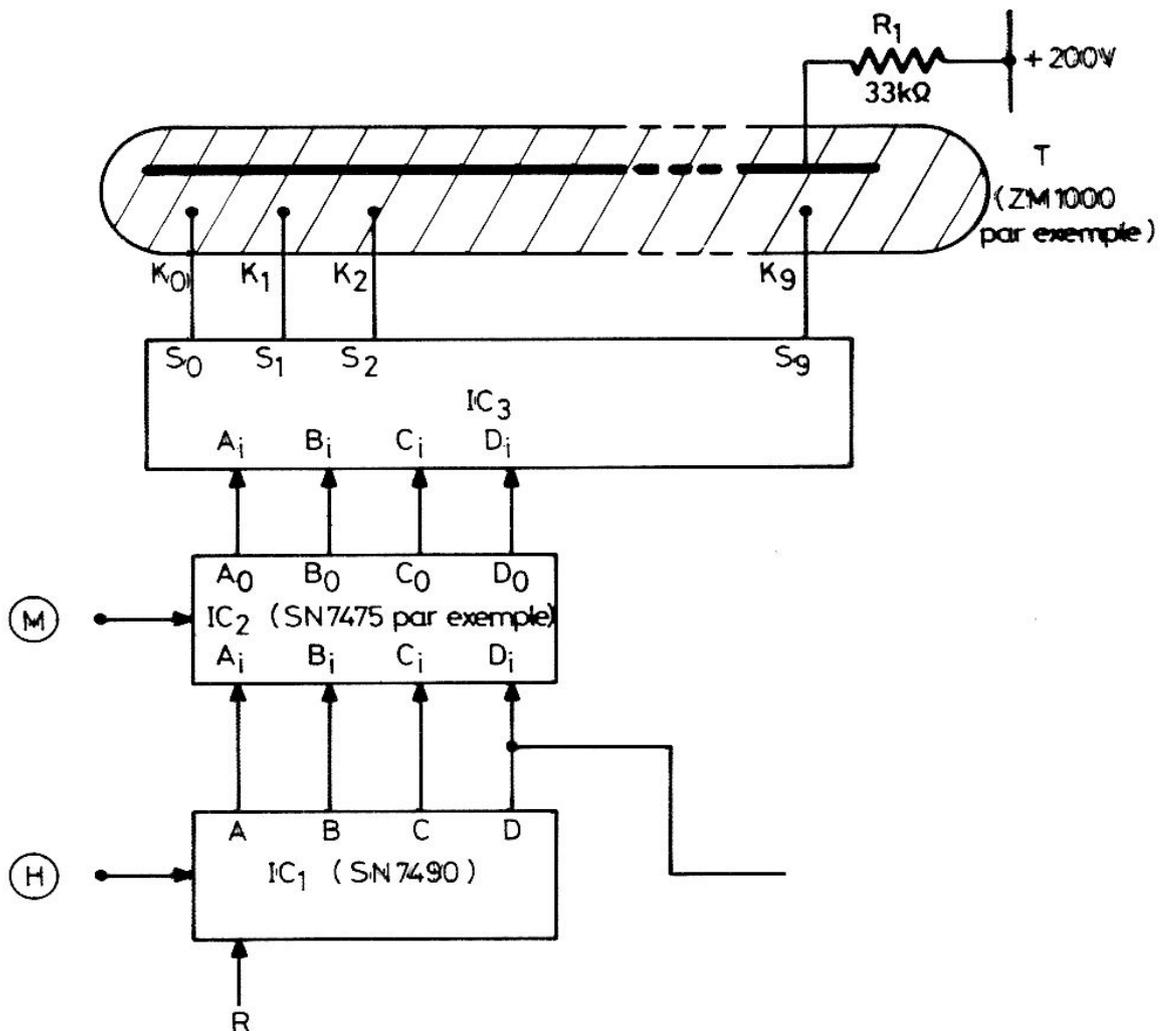


Fig. 3-12 — Affichage « mémorisé ». Entre les sorties A, B, C et D de la décade IC_1 et les entrées A_i, B_i, C_i, D_i du décodeur IC_3 , on a placé une quadruple mémoire qui peut transmettre directement les entrées vers les sorties, si la commande M est à niveau haut, ou garder en mémoire, sur ses sorties, les valeurs qui s'y trouvaient quand M est passé à zéro. A ce moment, le décodeur est « déconnecté » de la décade, que l'on peut utiliser pour un autre comptage.

parent », autrement dit, la sortie A_0 « recopie » l'état logique de l'entrée A_i , B_0 « recopie » l'état de B_i ...

— Si l'entrée M est au niveau bas, tout se passe comme si les entrées A_i , B_i , etc. étaient « déconnectées » : les sorties A_0 , B_0 , C_0 et D_0 restent dans l'état logique où étaient les entrées A_i , B_i , C_i et D_i respectivement au moment où M est passé au niveau bas.

L'emploi d'un tel ensemble est le suivant :

A l'instant zéro, on envoie un signal sur R pour remettre la décade à zéro.

A l'instant t_0 , très peu de temps après, on commence le comptage du nombre de périodes, comptage qui dure pendant une seconde (ou 0,1 s ou 10 s) très exactement.

A la fin de ce comptage, soit à l'instant $t_0 + 1$ s (ou $t_0 + 0,1$ s, ou $t_0 + 10$ s), on envoie un bref signal positif sur l'entrée M : les états des sorties A , B , C et D de la décade, donnant le numéro de son état, sont alors transférés sur les sorties A_0 , B_0 , C_0 et D_0 de IC_2 , appliqués aux entrées du décodeur, et commandent l'affichage d'un chiffre sur le « Nixie » (R).

On peut maintenant, le niveau de M ayant été ramené à zéro, remettre à zéro la décade, par action sur R , et commencer un nouveau cycle de comptage ; rien ne se passe sur les entrées du décodeur, et le résultat du comptage précédent reste affiché. On n'affichera le résultat du comptage suivant que lors de l'envoi d'un nouveau signal positif court sur M . Il se peut que le résultat du nouveau comptage soit le même que celui du précédent. Dans ce cas, au moment de l'envoi du signal court de « prise en mémoire » sur M , il ne se passera rien, le nouvel affichage étant le même que le précédent.

On a tendance, en raison des progrès des circuits intégrés, à « fondre » dans un seul circuit les « latch » et le décodeur, éventuellement avec l'afficheur, avec la décade aussi dans certains cas.

Les « combinaisons interdites »

En principe, comme on l'a vu sur le tableau des états de sorties A , B , C et D de la décade, il n'y a que dix des seize combinaisons possibles des états de ces quatre sorties qui peuvent se rencontrer. Toute autre combinaison (par exemple un niveau haut sur D , sur C et sur A , bas sur B , qui signifie treize) ne « doit pas » se présenter. Il est intéressant de savoir ce qui se passe si une telle combinaison « interdite » se présente quand même.

Cela dépend du type de décodeur. Pour certains d'entre eux, on obtient des résultats bizarres, comme l'allumage de deux cathodes du « Nixie » (R) à la fois, ou l'on indique un chiffre normal (mais qui ne correspond pas à la réalité). Certains décodeurs sont prévus pour l'élimination de ces combinaisons « interdites », dans le cas de « dépassement » (over-range), il n'y a aucun chiffre allumé. C'est encore la meilleure solution.

Chaque tube « Nixie » (R) nécessite de dix à douze fils : dix pour les dix cathodes, un éventuellement par l'anode, un douzième éventuel pour le point décimal (certains « Nixie » (R) en sont pourvus). On voit que, pour commander huit « Nixie » (R), par exemple, on arrive à presque cent fils.

C'est pourquoi on a intérêt, dans ce cas, à utiliser la solution du multiplexage, dont nous verrons la pratique au chapitre suivant.

De toute façon, lors de l'emploi de « Nixie » (R), on a intérêt à utiliser des fils de connexion assez courts. Ils peuvent, en effet, constituer de véritables « antennes » pour rayonner des signaux parasites sur le reste du montage et en entraver le fonctionnement. En outre, comme la résistance dynamique d'un tube à gaz peut être négative, la présence de capacités parasites sur les fils de connexion peut amener la production d'oscillations de relaxation, avec des dents de scie de forte amplitude sur les connexions et un fonctionnement tout à fait anarchique de l'ensemble.

III-3 Commande d'afficheurs par transcodeurs

Quand il s'agissait de commander un tube « Nixie » (R), nous pouvions nommer « décodeur » le circuit intégré de commande. Il s'agit en effet d'un circuit qui reçoit un « code », autrement dit une entrée sur quatre fils, représentation par quatre niveaux d'une valeur d'un chiffre décimal, d'où le nom de « code BCD », qui vient de « Binary Coded Decimal » (Decimal Codé Binaire). En sortie, il y a dix connexions, une pour chaque chiffre, on peut dire que l'information en sortie est « décodée ».

Code de commande du sept segments

Mais, s'il s'agit de commander un afficheur à sept segments, on lui envoie un ensemble de sept commandes, qui agissent par combinaison, suivant un certain code. Si l'on représente par 1 un segment allumé, et par 0 un segment éteint, ce code se présente comme ci-après :

Chiffre	a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	1
6	(1)	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	(1)	0	1	1

Les deux (1) entre parenthèses sont les valeurs que l'on doit normalement avoir si l'on affiche correctement 6 et 9, c'est-à-dire, comme nous l'avons déjà vu « avec le drapeau ». Malheureusement, il y a de nombreux circuits qui affichent 6 et 9 « sans le drapeau », autrement dit 6 sans le segment a et 9 sans le segment d. L'auteur a personnellement horreur de ce type d'affichage (mais il doit y avoir beaucoup de gens d'avis contraire, car les circuits à affichage sans drapeau sont pratiquement plus répandus que les autres, et il ne nous semble pas que leur réalisation soit tellement plus simple, surtout quand on n'en est pas à dix ou vingt transistors près dans un circuit intégré LSI...).

Le transcodeur

Le circuit qui commande le « sept segments » doit donc recevoir, sur ses quatre entrées, un code (le code BCD), et fournir, sur ses sept sorties, un autre code, celui dont nous venons de donner le tableau. C'est pourquoi il nous semble plus correct de l'appeler « transcodeur » que « décodeur ».

Cela dit, il y a essentiellement deux méthodes pour réaliser ce transcodage : les logiques, et la mémoire à la lecture seule (quelquefois appelée « mémoire morte », ce que l'auteur trouve bizarre : il considère qu'une mémoire « morte » est une mémoire qui a eu des malheurs, et que l'on doit donc mettre à la poubelle...).

Pour obtenir les sept sorties à partir des quatre entrées, on peut utiliser des réseaux de portes, permettant de réaliser des fonctions logiques adéquates. C'est que l'on fait, par exemple, dans le circuit SN7447 (auquel l'auteur reproche vivement de ne pas faire le drapeau sur le six et le neuf, mais qui a des perfectionnements intéressants).

On peut aussi utiliser les quatre valeurs d'entrée comme des « adresses » pour une mémoire. On sait que les mémoires peuvent donner leurs informations sous forme de « mots » de n bits, autrement dit d'ensembles de n valeurs binaires, zéro ou un. Une telle mémoire doit avoir n sorties. Elle doit avoir aussi des « adresses », qui permettent de définir, sous forme codée, celui des « mots » que l'on veut connaître.

Une mémoire à lecture seule (ROM) contenant dix ou seize mots de sept bits chacun constitue un excellent transcodeur du code BCD au code sept segments. Mais, bizarrement, il semble que ce soit là une solution qui n'a pas séduit les constructeurs.

Nous donnerons donc plus d'indications sur les transcodeurs « classiques », comme le SN7447 en TTL et le SCL4511 B en C-MOS.

Le premier est prévu pour consommer du courant sur les sept sorties de segments ; il est donc utilisable avec les afficheurs à LED à anode commune. Le second est, au contraire, prévu pour fournir du courant vers la masse depuis ses sept sorties. On l'utilise normalement avec un afficheur à cathode commune.

Toutefois, si l'on veut absolument employer, par exemple, un afficheur à anode commune avec le transcodeur SCL4511, on peut utiliser sept transistors en sortie, commandés sur leurs bases par les sorties du circuit (on prend des transistors NPN avec leurs émetteurs à la masse), dont les collecteurs, par des résistances, commandent les cathodes de l'afficheur. De même, un SN7447, avec sept transistors PNP dont on connecte les émetteurs au $+V_{CC}$, peut commander un afficheur à cathode commune.

Les deux circuits sont utilisables pour commander un afficheur à sept segments en filaments incandescents, par exemple des modèles « Apollo DA1300 ».

Pour une commande de sept segments à LED, on utilise donc le schéma de la figure 3-13, qui nécessite quelques explications.

Schéma d'emploi du transcodeur

On emploie sept résistances de 470Ω , qui donnent un courant de l'ordre de 6 mA par segment. Le circuit comporte trois connexions respectivement nommées LT, BI/RBO et RBI.

Le premier, LT (Lamp Test), normalement au niveau haut, agit quand on le porte au niveau bas : il fait allumer tous les segments, faisant afficher huit, quelle que soit la combinaison A, B, C et D présente à l'entrée. On peut ainsi essayer l'afficheur, et vérifier qu'il n'y a pas de segment hors d'usage.

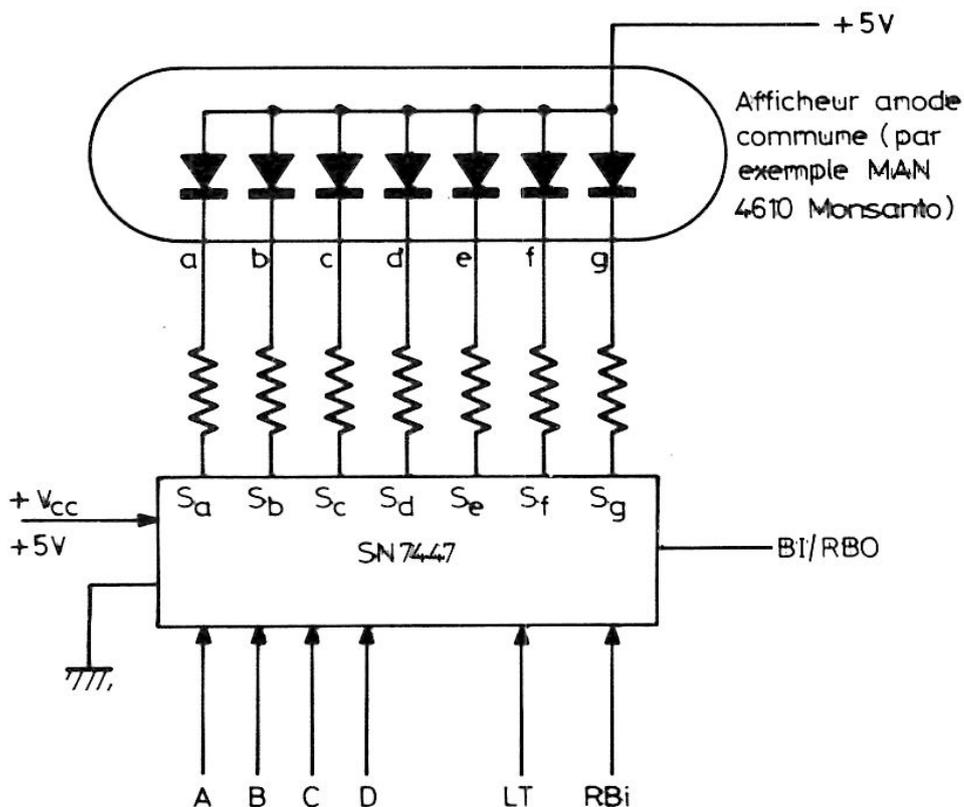


Fig. 3-13 — Pour commander un afficheur sept segments à LED à partir des sorties A, B, C et D d'une décade, il faut un « transcodeur » et sept résistances.

L'entrée RBI (Ripple Blanking Input = Entrée d'effacement en chaîne) agit ainsi : si on le met à la masse, la combinaison 0000 sur les quatre entrées, au lieu de provoquer l'affichage du zéro, n'allume aucun segment. En même temps, la connexion BI/RBO est alors au niveau bas (reliée à la masse par un transistor saturé).

On voit alors l'utilisation possible de ces commandes. Supposons que l'on ait réalisé, par exemple (fig. 3-14) un compteur à huit décades (de IC₁ à IC₈), dont chacune commande un transcodeur (de IC₉ à IC₁₆), chacun commandant un afficheur à sept segments à LED à anode commune.

Si nous laissons les connexions LT, RBI, RI/RBO des circuits transcodeurs « en l'air », le compteur fonctionnera fort bien, les afficheurs aussi, mais, quand nous aurons compté, par exemple, cent-soixante-treize impulsions après une remise à zéro, nous lirons, sur les afficheurs :

00 000 173

(nous supposons que nous avons laissé un espace un petit peu plus grand entre l'afficheur des centaines et celui des mille, entre celui des centaines de mille et celui des millions).

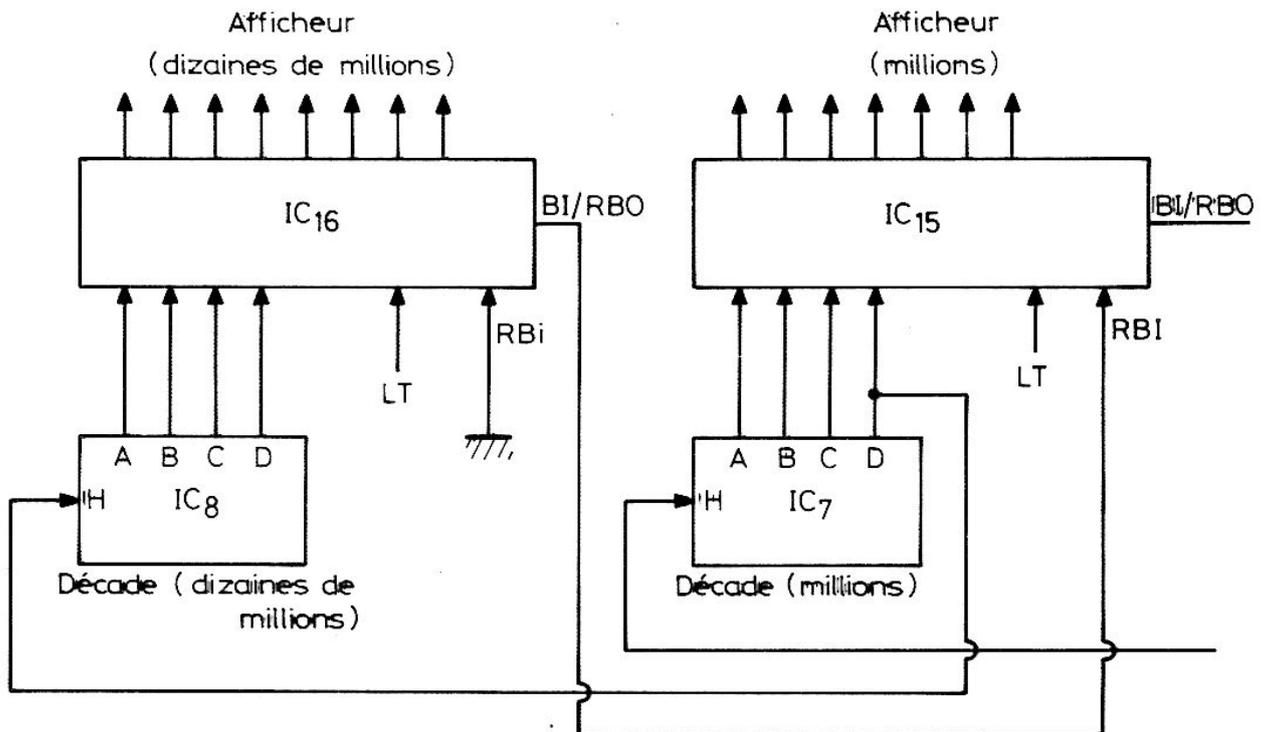


Fig. 3-14 — Lors de l'affichage du résultat d'un comptage à huit décades (par exemple), il est intéressant d'effacer les zéros situés à gauche du premier chiffre significatif (ne pas afficher 00 003 492 par exemple, mais 3 492). On y arrive en utilisant les connexions RBi et BI/RBO du transcodeur.

Mettons maintenant à la masse l'entrée RBi de IC₁₆ : ce dernier n'affichera donc jamais zéro : quand la combinaison des A, B, C et D à son entrée sera 0000, il provoquera l'extinction de l'afficheur des dizaines de millions.

Cette mise à la masse est faisable sur le circuit IC₁₆ seulement si nous mettons, par exemple, à la masse l'entrée RBi de IC₁₅, pour un total compté de 20 892 721 par exemple, l'affichage serait : 2. 892 721 (le point que nous avons tracé est destiné à montrer qu'il y a là un afficheur, mais qu'il est éteint).

Tout changera si nous relierons la sortie BI/RBO de IC₁₆ (dont l'entrée RBi est toujours à la masse) à l'entrée RBi de IC₁₅, ainsi que le montre la figure 3-14.

En effet, comme IC₁₆ a son entrée RBi à la masse, il éteint l'afficheur si le chiffre des dizaines de millions est un zéro, mais, en même temps, il applique, dans ce cas, un niveau bas à l'entrée RBi de IC₁₅. Donc, si le chiffre des millions est aussi un zéro, ce chiffre sera effacé à son tour (et la sortie BI/RBO de IC₁₅ sera au niveau zéro, permettant la commande RBi de IC₁₄, etc.) En procédant ainsi, on peut donc effacer tous les zéros situés à gauche du premier chiffre non nul trouvé

en allant depuis celui des dizaines de millions à celui des unités. Si le compteur est totalement au zéro, tous les afficheurs seront éteints (c'est pourquoi, dans certains compteurs, on ne commande pas le RBI du transcodeur des unités : ainsi, quand le compteur est au zéro, seul l'afficheur des unités est allumé (il indique zéro, évidemment, mais il est ainsi possible de savoir que le compteur fonctionne).

Commande de luminosité par découpage

Un dernier détail : on peut se demander pourquoi la connexion que nous avons utilisée pour l'effaçage en chaîne des zéros non significatifs porte un double nom : BI/RBO (Blanking Input/Ripple Blanking Output). En effet, cette connexion peut servir de sortie, pour commander le RBI d'un transcodeur, mais elle peut aussi, paradoxalement, servir d'entrée. Si on la « force » au niveau zéro (ce qui est toujours possible, car elle est simplement reliée au collecteur d'un transistor, dont l'émetteur est à la masse, et à une résistance allant au $+V_{CC}$), on provoque l'extinction totale (ou extinction « inconditionnelle ») de l'afficheur, quelle que soit la combinaison des entrées A, B, C et D. On pourrait objecter que cela n'a aucun intérêt, mais, en fait, il peut être très utile de n'allumer les afficheurs que lorsqu'on le désire (pour limiter, par exemple, la consommation de courant dans les LED : avec huit afficheurs sept segments, si on désire, comme cela se fait, 15 mA par segment, on arrive à totaliser 0,84 A dans les afficheurs si l'on affiche 88 888,888).

D'autre part, la commande de BI/RBO peut être utilisée pour une variation progressive de luminosité des afficheurs (on peut aussi provoquer cette variation par action sur la tension d'alimentation de toutes les anodes comme nous le verrons). Si l'on envoie, chaque milliseconde, un créneau négatif de durée variable de 20 à 950 μs , sur les broches BI/RBO (considérées alors comme entrées) de tous les transcodeurs, on réalise une coupure du courant des afficheurs pendant une proportion du temps qui peut aller de 2 % à 95 %, donc on varie le courant moyen dans un rapport de un à vingt environ.

Evidemment comme on ne peut pas considérer en même temps la broche BI/RBO comme une entrée et comme une sortie, on ne peut utiliser cette commande de luminosité par découpage en même temps que l'on procède à l'effacement des zéros non significatifs (situés à gauche du premier chiffre non nul).

Comme on le voit, dans un affichage à n chiffres, il faut n transcodeurs, et aussi sept fois n résistances. Ce dernier point est probablement le plus gênant, indépendamment du fait que l'on doit commander

le bloc des afficheurs par sept fois n fils. Il y a lieu de signaler que l'on trouve des ensembles de sept résistances dans un boîtier de circuit intégré, pour la commande des afficheurs sept segments.

Commande de luminosité par variation de tension

Evidemment, il ne saurait être question de faire varier ensemble des « sept fois n » résistances pour obtenir une variation de la luminosité des afficheurs, par variation de courant ! Mais on peut faire varier la tension d'alimentation des anodes, dans le cas des afficheurs à anode commune. Il faut toutefois tenir compte du fait que la consommation de courant par ces anodes peut varier dans de très importantes proportions, dans le rapport 3,5 si l'on ne pratique pas l'effacement des zéros non significatifs (il faut 3,5 fois plus de courant pour afficher 8 que pour afficher 1) et dans un rapport encore bien plus grand si l'on procède à l'effacement des zéros non significatifs.

On procède alors comme le montre la figure 3-15. Le transistor T_1 est un PNP de moyenne puissance, capable de délivrer éventuellement 1 A. On le commande par T_2 et, en fait, le potentiel du point (B) reste à peu près égal à celui du point (A), diminué de 0,6 V (tension V_{BE} de T_2).

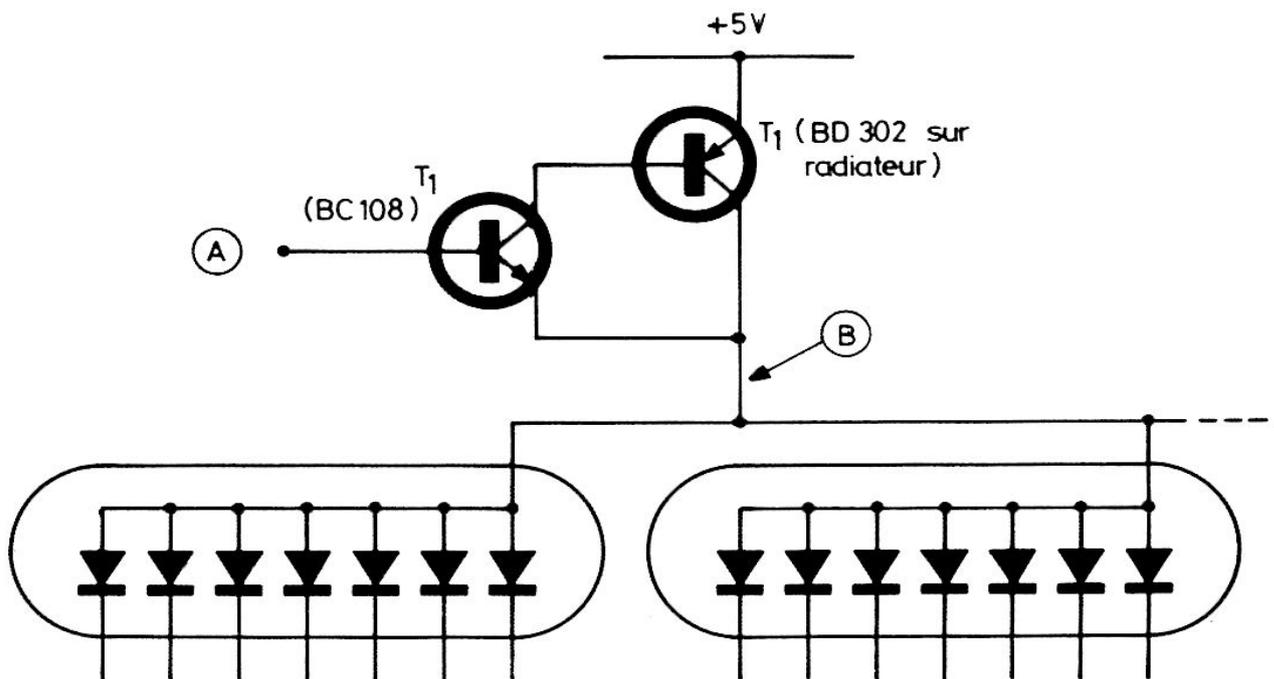


Fig. 3-15 — Pour agir sur la luminosité des afficheurs, on peut commander la tension commune d'alimentation des anodes. Mais il faut le faire à l'aide du montage ci-dessus, pour que le potentiel des anodes (point B) ne dépende que de celui du point de commande (point A), et pas du courant dans les anodes des afficheurs, car ce courant peut varier dans de grandes proportions.

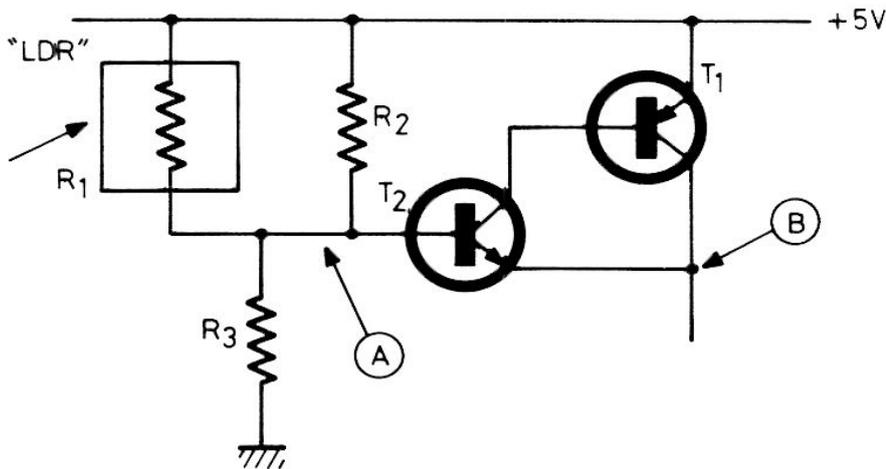


Fig. 3-16 — On peut commander le point (A) du montage de la figure 3-15 par un réseau comportant une photo-résistance « LDR ». Ainsi, quand la lumière ambiante diminue, la luminosité des afficheurs diminue aussi. La résistance R_2 empêche cette luminosité de tomber à zéro quand on se trouve dans l'obscurité.

On peut alors commander le potentiel du point (A) par un potentiomètre, par exemple de $4,7\text{ k}\Omega$ entre le $+5\text{ V}$ et la masse. On peut aussi commander le potentiel de ce point par un diviseur de tension comportant une résistance fixe et une « LDR » (photorésistance), comme le montre la figure 3-16. Ainsi, plus la résistance photosensible LDR (R_1) reçoit de lumière, plus le potentiel du point (A) s'élève (car la résistance de R_1 diminue quand elle est éclairée), et plus les afficheurs sont lumineux. En revanche, si l'éclairage ambiant diminue, comme la LDR est située à côté des afficheurs (mais elle ne reçoit pas leur lumière), le potentiel du point (A) diminue, et les afficheurs sont de moins en moins lumineux. On ne consomme donc que le courant qui est nécessaire pour avoir un affichage lisible, et l'on évite un affichage éblouissant dans l'obscurité, si, par exemple, il s'agit d'une horloge numérique. La résistance R_2 intervient pour limiter la descente du potentiel de (A) quand le tout est dans l'obscurité totale : en l'absence de cette résistance, le potentiel du point (A) descendrait si bas que les afficheurs s'éteindraient totalement dans l'obscurité. Or, on veut seulement réduire le courant par segment à 1 mA ou même à $0,4\text{ mA}$, mais pas le couper.

Il faudra un peu tâtonner pour trouver les bonnes valeurs de R_3 et R_2 . Cette dernière se déterminera, une fois R_3 trouvée, en mettant la LDR dans l'obscurité totale, et en réglant R_2 pour avoir la luminosité voulue sur les afficheurs.

L'addition du « drapeau »

Comme nous l'avons dit, le SN7447 présente le défaut (à notre avis très grave) de ne pas allumer le segment a pour afficher le 6, ni le segment d pour afficher le 9. Il partage ce vice de forme avec de nombreux transcodeurs pour les sept segments. Il y a lieu de signaler que des transcodeurs plus modernes, les SN74LS 247, ont été (enfin) guéris de ce « péché de jeunesse ». Si nous avons tant parlé du SN7447, c'est parce que les électroniciens le trouveront partout, en particulier chez tous les revendeurs de circuits intégrés, alors qu'ils auront peut-être de la peine à trouver le SN74LS 247 (à signaler : ce dernier, très supérieur à son frère aîné... défaillant, le SN7447, est, en même temps moins cher : on se demande pourquoi le SN7447 a la vie si dure, il devrait depuis longtemps avoir disparu au bénéfice de son successeur !)

Si l'on utilise le SN7447 ou un des nombreux autres transcodeurs affligés d'un manque regrettable de drapeau, on peut un peu arranger les choses.

Pour avoir le drapeau sur le 9, il suffit de mettre un transistor T_1 (fig. 3-17) en parallèle sur la sortie qui commande le segment d, et d'en commander la base par l'entrée D : cette entrée n'est haute que pour les valeurs 8 et 9. Pour le 8, T_1 n'agit pas, car la sortie d est forcément au niveau bas (tous les segments sont allumés pour afficher 8). Mais, pour le 9, T_1 débloqué fait le travail que le SN7447 a le tort de ne pas faire : il allume le segment d.

Pour le drapeau du chiffre 6, il suffit de mettre le collecteur d'un transistor T_2 sur la sortie a. On commande la base de ce transistor, à travers une résistance, par l'entrée B.

Cette entrée est haute pour les états n° 2, 3, 6 et 7. Pour le 2, le 3 et le 7, le circuit met la sortie a à la masse. Mais, pour le 6, si le circuit a le tort de ne pas connecter la sortie a à la masse, le transistor T_2 le fait pour lui.

Evidemment, ce système n'est pas parfait : d'abord il empêche d'utiliser la connexion BI/RBO comme entrée de commande d'effacement (par exemple pour la commande de luminosité par découpage, comme nous l'avons vu plus haut), car la commande d'effacement n'agit pas sur les transistors T_1 et T_2 , qui continuent à faire afficher :

- le segment a allumé pour les combinaisons d'entrée portant B au niveau haut,
- le segment d allumé pour les combinaisons d'entrée qui portent D au niveau haut.

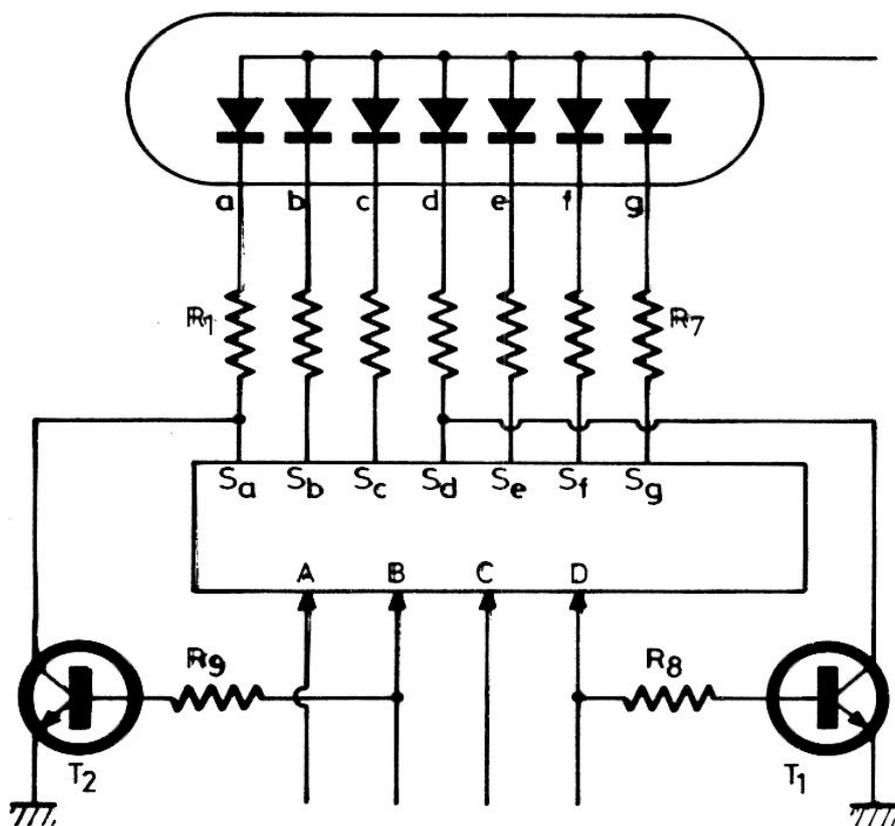


Fig. 3-17 — Quand on est obligé d'utiliser un transcodeur BCD — sept segments qui a le tort d'afficher le six et le neuf sans faire le « drapeau », il suffit d'ajouter deux transistors pour rétablir la situation. Mais on peut ainsi perturber le fonctionnement de l'ensemble lors de l'application des « combinaisons interdites » des entrées A, B, C et D.

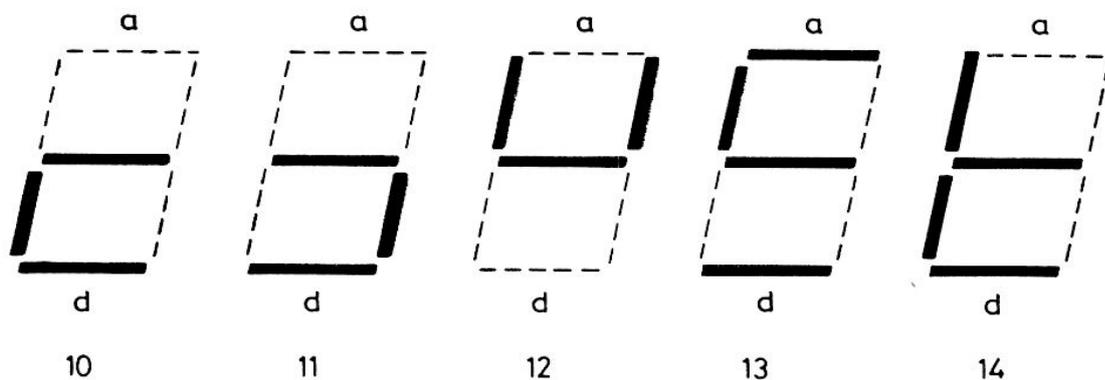


Fig. 3-18 — Le circuit SN7447 est prévu pour donner les configurations représentées ci-dessus pour les combinaisons « interdites » des tensions d'entrée (pour les quinze, soit en binaire 1111, il y a extinction de tous les segments). Donc, l'emploi des circuits « de drapeau » de la figure 3-17 va modifier ces tracés.

Ensuite, ce système modifie la réponse du circuit au « dépassement », c'est-à-dire aux combinaisons « interdites » des tensions d'entrée dont nous avons parlé plus haut. Suivant les constructeurs les transcodeurs B-C-D sept segments réagissent différemment à ces combinaisons. Par exemple, le SN7447, pour les combinaisons qui suivent le 9 (qui suivraient ce 9 si on comptait en binaire et non en BCD) donne les affichages que représente la figure 3-18 pour les combinaisons n° 10, 11, 12, 13 et 14. Pour le 15 (toutes les entrées au niveau haut), il provoque l'extinction de l'afficheur. Donc, avec les transistors de la figure 3-17, nous provoquons l'allumage du segment a pour 10 et 11, ainsi que pour 14 et 15, et nous provoquons l'allumage du segment d pour 12 et 15 (pour les 10, 11, 13 et 14, cela ne change rien)

Il convient de remarquer que l'utilisation des transistors de la figure 3-17 n'empêche en rien l'emploi du système d'effacement des zéros non significatifs, selon le schéma de la figure 3-14 : quand les entrées sont au zéro, T_1 et T_2 sont bloqués et n'ont donc aucune action

Le montage « correcteur de drapeau » de la figure 3-17 se transpose moins bien au cas des commandes d'afficheurs à cathode com-

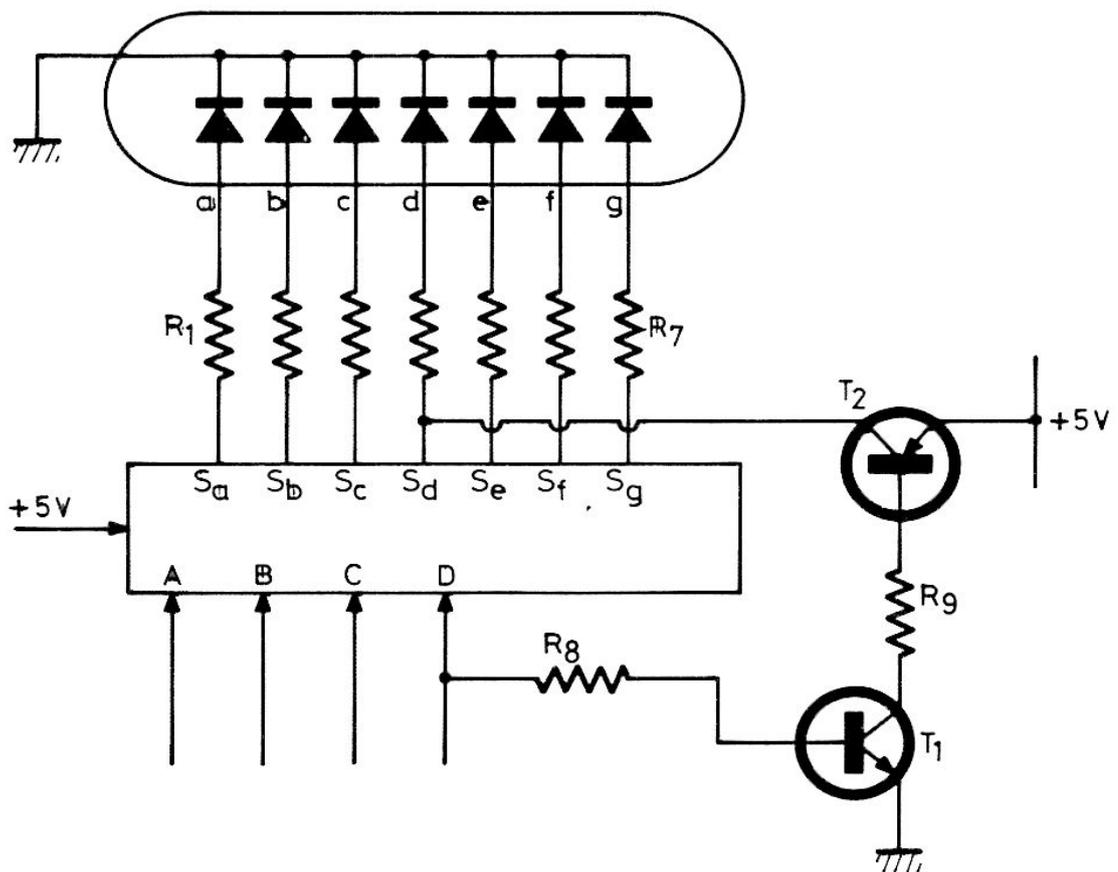


Fig. 3-19 — Si l'on veut rétablir le drapeau pour un afficheur sept segments en cathode commune, il faut alors deux transistors là où un seul suffisait dans le montage de la figure 3-17 (seule, la correction du drapeau pour le chiffre 9, faite sur la figure 3-17 par T_1 seul, est représentée ici).

mune. Il faudrait alors remplacer T_1 , par exemple, par le montage de la figure 3-19 utilisant deux transistors, car il faut porter la sortie d à l'état logique haut quand l'entrée D est haute. Il faudrait aussi utiliser deux transistors, dont un NPN et un PNP, pour remplacer T_2 de la figure 3-17.

Dans ce cas, il est d'ailleurs possible de faire encore plus simple par emploi de deux transistors montés chacun en collecteur commun. Le premier, ayant son collecteur au $+V_{CC}$, a sa base directement commandée par l'entrée D et son émetteur directement connecté à la sortie d ; le second a aussi son collecteur au $+V_{CC}$, sa base à l'entrée B , son émetteur sur la sortie a ; on n'emploie donc pas une seule résistance.

Cas de l'afficheur sept segments à gaz

Si l'on désire utiliser un système afficheur à sept segments dans du gaz, il est possible d'employer un transcodeur prévu seulement pour les LED, donc incapable de supporter les tensions d'un tube à gaz, à condition de lui ajouter des transistors haute tension, comme nous l'avons préconisé pour la commande du « Nixie » (R) sur la figure 3-11. Il est à noter que les constructeurs de circuits intégrés ont prévu des ensembles intégrés pour remplacer les transistors de la figure 3-11. Nous pensons, en particulier, au MC3492 (Motorola), un boîtier « Dual in line » à 18 pattes, qui comporte huit étages amplificateurs, avec huit entrées (commandées en tension, et non en courant comme dans le cas de la figure 3-11), huit sorties (pouvant supporter jusqu'à 80 V à 1 état bloqué) et ayant surtout une entrée de « programmation de courant ».

Nous rencontrerons plus loin cette « programmation ». Il s'agit d'une entrée sur laquelle on applique une tension qui commande le courant de chaque segment. Ainsi, il n'est plus nécessaire de prévoir une résistance pour chaque segment, ni une commande de luminosité par variation de tension ou par découpage.

Il y a aussi des circuits qui permettent de commander directement un sept segments à gaz. Le seul que nous connaissions actuellement est le DM8880 (Signetics- La Radiotechnique). Il a, lui aussi, une entrée de programmation de courant (chose malheureusement inconnue sur les transcodeurs pour les sept segments à LED). Il a les commandes RBI et BI/RBO comme le SN7447 pour l'effacement des zéros non significatifs. Il a, en outre l'avantage de faire le drapeau et de permettre l'affichage en hexadécimal : pour la combinaison 10, il affiche A, pour 11 un b (minuscule), pour 12 il affiche C, pour 13 un d (minuscule), pour 14 un E et pour 15 un F. Il supporte, lui aussi, 80 V sur ses sorties

quand elles sont à l'état bloqué. Le courant de sortie maximal est de 1,5 mA par segment, ce qui est plus que large pour un afficheur unique, mais que nous trouvons un peu « jeune » pour commander cinq ou six afficheurs en « multiplexé » comme nous le verrons au chapitre suivant.

Cas de l'afficheur sept segments à filaments incandescents

Les circuits transcodeurs BCD, sept segment normalement prévus pour la commande des afficheurs à LED, que ce soit pour les modèles anode commune ou pour les modèles cathode commune, sont également utilisables dans la grande majorité des cas, pour la commande des afficheurs utilisant sept filaments incandescents, comme le tube « Appollo » DA 1300, par exemple. Il suffit qu'ils soient capables de consommer (ou de fournir), sur leurs sorties de segments, un courant de plus de 20 mA.

L'avantage du tube à sept filaments est qu'il ne nécessite pas un ensemble de sept résistances. On peut en commander la brillance par commande tension sur l'électrode commune, comme nous l'avons indiqué sur le schéma de la figure 3-15.

Evidemment, ce type d'affichage est un des plus « gourmands » en courant que l'on connaisse, mais il est probablement le seul affichage qui soit une source de lumière et que l'on puisse encore voir avec un éclairage ambiant de plus de 30 000 lux (comme on en rencontre au soleil).

Si l'on veut profiter au maximum de cet avantage, il est alors recommandé d'utiliser un filtre gris neutre devant les afficheurs. On absorbe évidemment une partie de la lumière qu'ils émettent, mais une seule fois (la lumière venant des afficheurs traverse une fois le filtre pour arriver à l'observateur). A l'opposé, la lumière parasite, venant de l'extérieur qui rend l'observation difficile, doit traverser le filtre deux fois pour revenir à l'observateur. Donc, si le filtre absorbe les 3/4 de la lumière, il réduit la luminosité des afficheurs dans le rapport 4, mais l'éclairage parasite dans le rapport 16, et on y gagne en lisibilité.

Il est à noter que ce type de filtre est aussi à recommander pour les afficheurs à LED ou à gaz. Mais, alors, la lumière émise étant colorée, il est préférable d'utiliser un filtre coloré plutôt qu'un filtre gris neutre.

Pour le filtre gris neutre, le problème qui se pose aussi est la réflexion parasite de la lumière sur la face extérieure du filtre et sur le verre des afficheurs. On remédie partiellement à ce défaut en uti-

lisant des filtres comportant une plaque colorée superposée à un filtre polarisant en polarisation circulaire.

Commande des afficheurs alphanumériques à 18 segments

Nous avons déjà parlé des afficheurs alphanumériques (fig. 1-12). On les appelle généralement des « 16 segments », mais il y en a dans lesquels on ajoute un point décimal, et un autre point, plus en haut, pour varier encore les possibilités d'affichage.

La complexité des circuits de commande devient assez impressionnante. La seule solution pour commander un tel nombre de segments est l'utilisation de mémoire à lecture seule (ROM).

Vu le grand nombre d'affichages possibles (généralement 64), on définit chaque tracé par un code donné sur 6 bits, nommé ici « code ASCII ». Les six bits du code servent d'adresse à la ROM, dont les sorties commandent les segments.

Mais il faudrait, pour bien faire, des ROM ayant 64 mots de 18 bits chacun, donc un circuit avec 18 sorties. On préfère donc fractionner la ROM en plusieurs. Il y en a une qui ne commande que les segments de A_1 à F , une autre qui ne commande que les segments de G_1 à M , et une troisième, de deux sorties seulement, qui commande les points haut et bas.

Ces trois mémoires reçoivent les mêmes adresses et leurs sorties commandent, par des circuits d'interface (transistors « Darlington ») les segments.

La complexité de la commande est telle que, dans ce cas, l'affichage « multiplexé » s'impose presque, nous en dirons donc un mot au chapitre suivant.

Commande des afficheurs sept segments à cristaux liquides

Les afficheurs à cristaux liquides (généralement désignés sous le sigle « LCD » (Liquid Crystal Display) doivent, comme nous l'avons dit, être commandé par des tensions alternatives. Nous avons déjà vu (fig. 2-15 et fig. 2-16) comment on utilise, dans ce but, des circuits « ou exclusifs ».

Il faut donc, pour commander des sept segments LCD, réaliser le montage de la figure 3-20. Nous avons supposé que l'on y utilisait un transcodeur BCD, sept segments du type C-MOS, normalement prévu pour la commande d'afficheurs sept segments à LED en cathode commune.

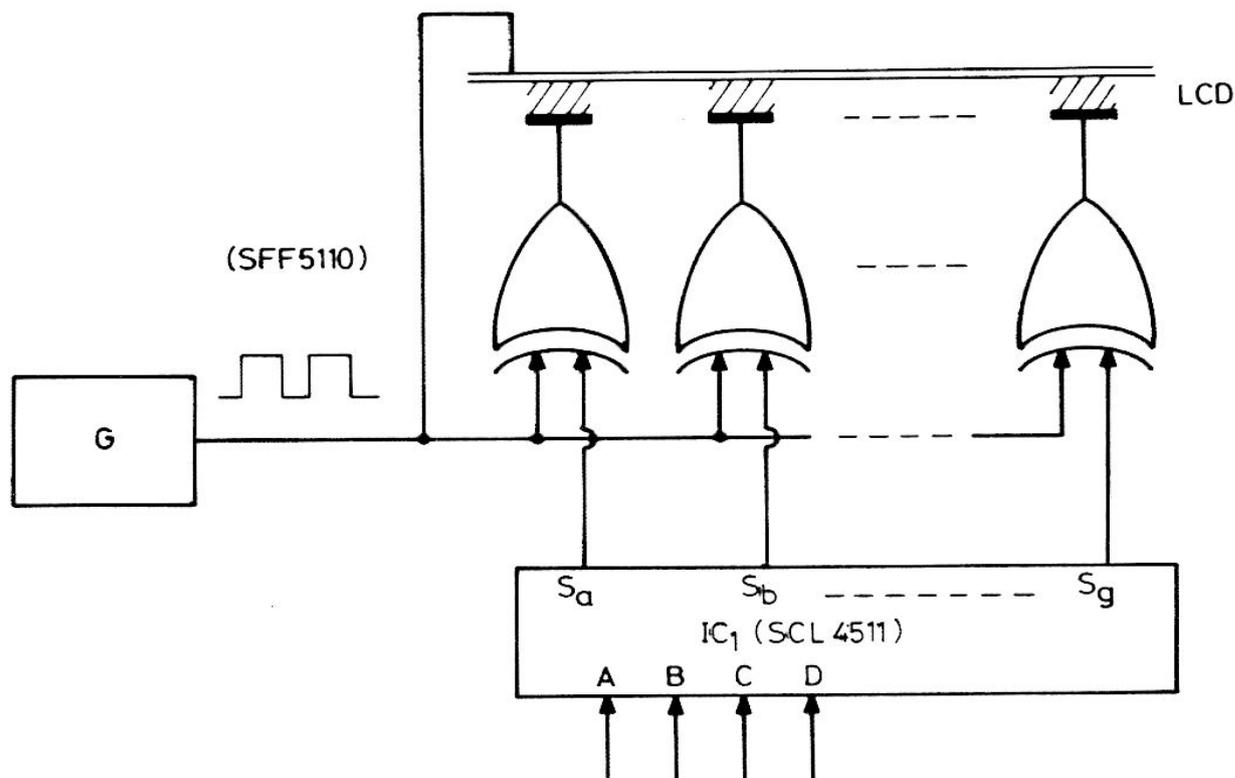


Fig. 3-20 — Pour la commande d'un afficheur sept segments à cristal liquide, il faut employer des groupes de circuits « ou exclusifs » à chaque décodeur, si ce dernier n'est pas déjà prévu avec ces circuits incorporés.

Il est suivi par sept circuits « OU exclusifs », de O_1 à O_7 , par exemple pris dans le groupe de dix du circuit intégré SFF5110. Il nous faut un générateur G de signaux rectangulaires, d'une fréquence de 20 à 100 Hz, par exemple un multivibrateur, comme on peut en réaliser avec un circuit spécialement prévu pour fonctionner en multivibrateur comme le CD4047, ou avec deux transistors, ou encore en utilisant deux portes NAND ou NOR du type C-MOS, selon le schéma de la figure 3-21.

Il y a lieu de noter que le multivibrateur peut être utilisé pour tous les afficheurs.

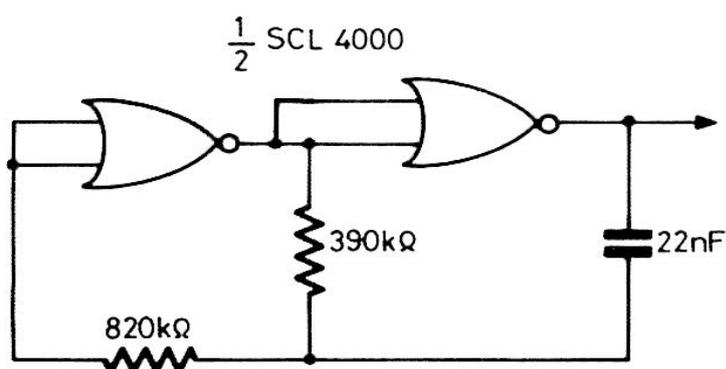


Fig. 3-21 — Pour obtenir les signaux carrés à fréquence basse (environ 50 Hz) nécessaires pour le montage de la figure 3-20 (générateur G), on peut utiliser deux portes NOR d'un circuit C-MOS (par exemple le CD4001), montées en multivibrateur selon un schéma tout à fait classique.

Evidemment, si l'on dispose du circuit intégré spécialement prévu pour la commande des sept segments LCD, on simplifie beaucoup le montage de la figure 3-20, car les circuits « OU exclusifs » sont compris dans le transcodeur lui-même. C'est le cas du circuit C-MOS SCL4543 B, qui a l'avantage de « faire le drapeau » sur 6 et 9 et de comporter, en plus des circuits « OU exclusifs » pour la commande des afficheurs LCD, des mémoires sur les quatre entrées A, B, D et D (jouant le rôle du circuit IC₂ de la figure 3-12).

Commande d'affichage sur un tube cathodique

Nous arrivons là aux montages d'une telle complexité que nous en déconseillons l'utilisation aux gens qui n'ont pas une longue expérience de l'électronique. En fait, ces réalisations sont surtout le fait des « amateurs d'informatique », qui réalisent de véritables ordinateurs complets, et montent des ensembles fort complexes, utilisant des microprocesseurs et des mémoires à très grande capacité. Nous donnerons seulement une idée de la technique employée, car sa seule description détaillée pourrait remplir ce livre en entier.

Il s'agit de commander l'allumage et l'extinction du spot d'un tube cathodique pendant que ce dernier balaie l'écran suivant le standard de la télévision. Chaque caractère est défini, par exemple, par sept lignes comportant chacune cinq points. Il faut donc, pour commander le spot, une mémoire à lecture seule qui comporte, pour chaque caractère, sept mots de cinq bits. Comme on a généralement 64 caractères possibles, on voit que la mémoire doit contenir $64 \times 7 \times 5 = 2240$ bits.

Le caractère à tracer est « adressé » par un code de six bits, suivant le sempiternel code ASCII. En fait, la mémoire comporte $64 \times 7 = 448$ mots de cinq bits.

Pour donner une idée très simplifiée de la méthode, nous imaginerons (fig. 3-22) que nous n'afficherons qu'un seul caractère sur l'écran du tube cathodique, ce dernier étant balayé en non entrelacé à huit lignes (nous sommes loin du standard de la télévision normale !).

Nous utilisons une horloge dont la fréquence est dix fois celle du balayage ligne. On obtient donc le top de synchronisation de ligne en divisant la fréquence de l'horloge par dix dans un compteur IC₃.

La ROM IC₁ contient les caractères. Nous en avons choisi un, défini par l'adresse de A₀ à A₅ (les six bits du code ASCII). Il reste à choisir, dans ce caractère, la ligne que l'on veut tracer. Ce sera le rôle des adresses supplémentaires, A₆, A₇ et A₈ (on choisit ainsi huit lignes, mais on convient que la première est une ligne sans allumage de spot).

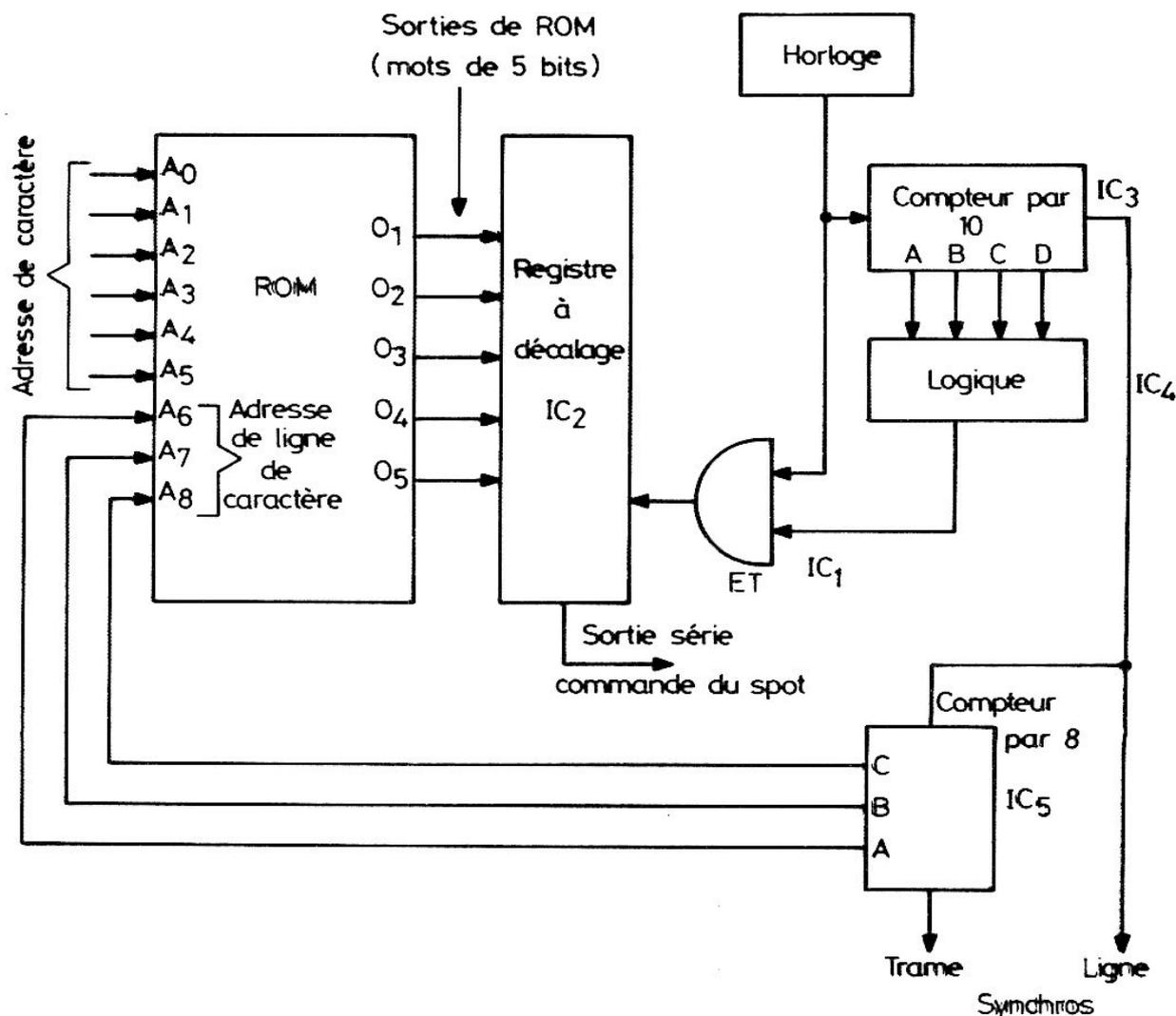


Fig. 3-22 — Schéma « simplifié » (!!!) du montage permettant l'affichage d'un caractère sur un tube cathodique balayé suivant un standard de télévision. La mémoire à lecture seule, ROM, contient soixante-quatre caractères différents, chacun identifié par les adresses appliquées à $A_0 \dots A_5$. Chaque caractère est ensuite à décomposer en sept « mots » de cinq bits, que l'on doit transformer en code « série » pour pouvoir commander la luminosité du spot. Le compteur par huit compte les lignes, pour donner à la ROM l'adresse de la bonne ligne pour chaque caractère.

Pour avoir, sur chaque ligne de balayage, une ligne différente de la ROM, on utilise un compteur par huit, IC₅, qui compte les lignes de balayage horizontal et donne le top de trame (balayage vertical) tous les huit tops de balayage horizontal.

Ainsi, les adresses de A_0 à A_5 ont déterminé le type de caractère à tracer, par exemple un D majuscule. La « ligne zéro » (adresse $A_0 = 0$, $A_7 = 0$, $A_6 = 0$, que nous écrirons : 000) ne contient que cinq zéros correspondant à un spot éteint dans les cinq positions possibles.

La seconde ligne (ligne 1, adresse 001 avec $A_6 = 1$) contient le « mot » : 11110.

La troisième (ligne 2, adresse 010 avec $A_7 = 1$) contient le mot : 01001.

La quatrième (ligne 3, adresse 011 avec $A_7 = A_6 = 1$ et $A_8 = 0$), le même mot que la ligne précédente. Il en va encore de même des lignes 4, 5 et 6. La ligne 7 (huitième ligne) d'adresse 111, contient le mot 11110.

La commande de l'allumage du spot par les 1 des mots donnera sur l'écran le dessin de la figure 3-23.

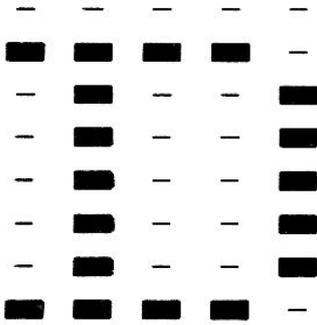


Fig. 3-23 — Si l'on veut afficher par un balayage de télévision le caractère D, on le fait par tracé de huit lignes (dont la première toujours noire), chacune étant découpée en cinq zones.

Pour cela, il faut que, pour chaque ligne parcourue par le spot, ce dernier soit commandé en luminosité par les bits de chaque mot (le mot correspondant à la ligne que le spot parcourt, cette ligne étant comptée par IC_5 , qui donne l'adresse correspondante par A_6 , A_7 et A_8 à la ROM).

Nous admettons, par exemple, que nous divisons chaque ligne horizontale en dix parties égales (correspondant chacune à une période d'horloge) et que nous commandons le spot par le premier bit du mot quand il est dans la troisième position, par le second bit quand il est dans la quatrième position... par le cinquième quand le spot est dans la partie n° 7 (ainsi, il y a, à gauche de l'écran, une zone, correspondant aux parties 1 & 2 où on n'inscrit rien, de même qu'à la droite de l'écran, dans les zones correspondant aux parties 8, 9 et 10).

Il reste donc à faire en sorte que les différents mots de commande, du spot, fournis, dès le début de chaque ligne, en cinq bits simultanément présents sur les cinq sorties de la ROM (mot en « code parallèle »), soient transformés en informations qui se succèdent sur un fil unique (mot en « code série »). C'est ce fil qui ira à la commande de luminosité du spot.

Pour faire cette transformation parallèle-série, on utilise un « registre à décalage », IC_2 , à entrées parallèle et sortie série. Ce regis-

tre reçoit sur ses entrées parallèles, les sorties O_1 à O_5 de la ROM (c'est à-dire le mot de cinq bits en code parallèle). Il est commandé uniquement par cinq des dix impulsions d'horloge de chaque ligne. C'est le rôle de la « logique », IC_4 , qui donne un signal haut en sortie quand le compteur IC_3 est dans l'état 3, 4, 5, 6 ou 7 et un signal bas quand ce compteur est dans l'état 1, 2, 8, 9 ou 10. Ce signal ouvre alors la porte ET, qui permet aux impulsions d'horloge d'arriver à la commande de décalage du registre IC_2 .

Les adresses de A_0 à A_5 désignent le type de caractère à afficher autrement dit, on leur applique le code 000100, car c'est celui qui désigne le caractère D en code ASCII.

On voit, par la complexité de cette description (pourtant très simplifiée par rapport au circuit réel), que la réalisation d'un tel affichage ne peut être entreprise que par ceux qui ont une longue expérience de l'électronique et... pas mal d'audace.

Les choses se compliquent encore quand on veut, ce qui est toujours le cas, afficher de nombreux caractères, pour constituer un « message ». La fréquence de l'horloge est alors un multiple beaucoup plus élevé de la fréquence de ligne. Le compteur IC_3 de la figure 3-22 est remplacé par un modèle qui compte, par exemple, par 64×6 (pour afficher 64 caractères par ligne, chacun en mot de cinq bits plus un espace); il commande une partie des adresses d'une mémoire vive (mémoire RAM à écriture et lecture), où l'on a noté le texte.

La complexité deviendrait prohibitive s'il n'existait des circuits intégrés à haut taux d'intégration (LSI), prévus pour cet emploi, par exemple le SFF 96364, où les modèles correspondants. Les circuits de ce type contiennent les compteurs, les générateurs de signaux de synchronisation de télévision, les commandes d'adresse pour la RAM et la ROM, etc. Malgré l'utilisation de ce circuit, le tout reste très complexe, mais pas inaccessible.

CHAPITRE IV

L'affichage multiplexé

Nous avons vu, à propos de la commande des « Nixie » (R), ou des systèmes à sept segments, que les ensembles de commande contiennent de nombreux composants. Il faut, pour chaque afficheur à sept segments, un transcodeur, sept résistances et sept fils de connexion (même neuf en comptant son anode et le point décimal éventuel). C'est surtout ce dernier point qui a amené les constructeurs à modifier le système de commande des afficheurs. On a donc réalisé l'affichage « multiplexé », qui procède en utilisant le même décodeur ou transcodeur pour tous les afficheurs, à tour de rôle. Autrement dit, comme disent les spécialistes de l'informatique, on fait travailler le transcodeur et quelques autres circuits en « time sharing » (temps partagé).

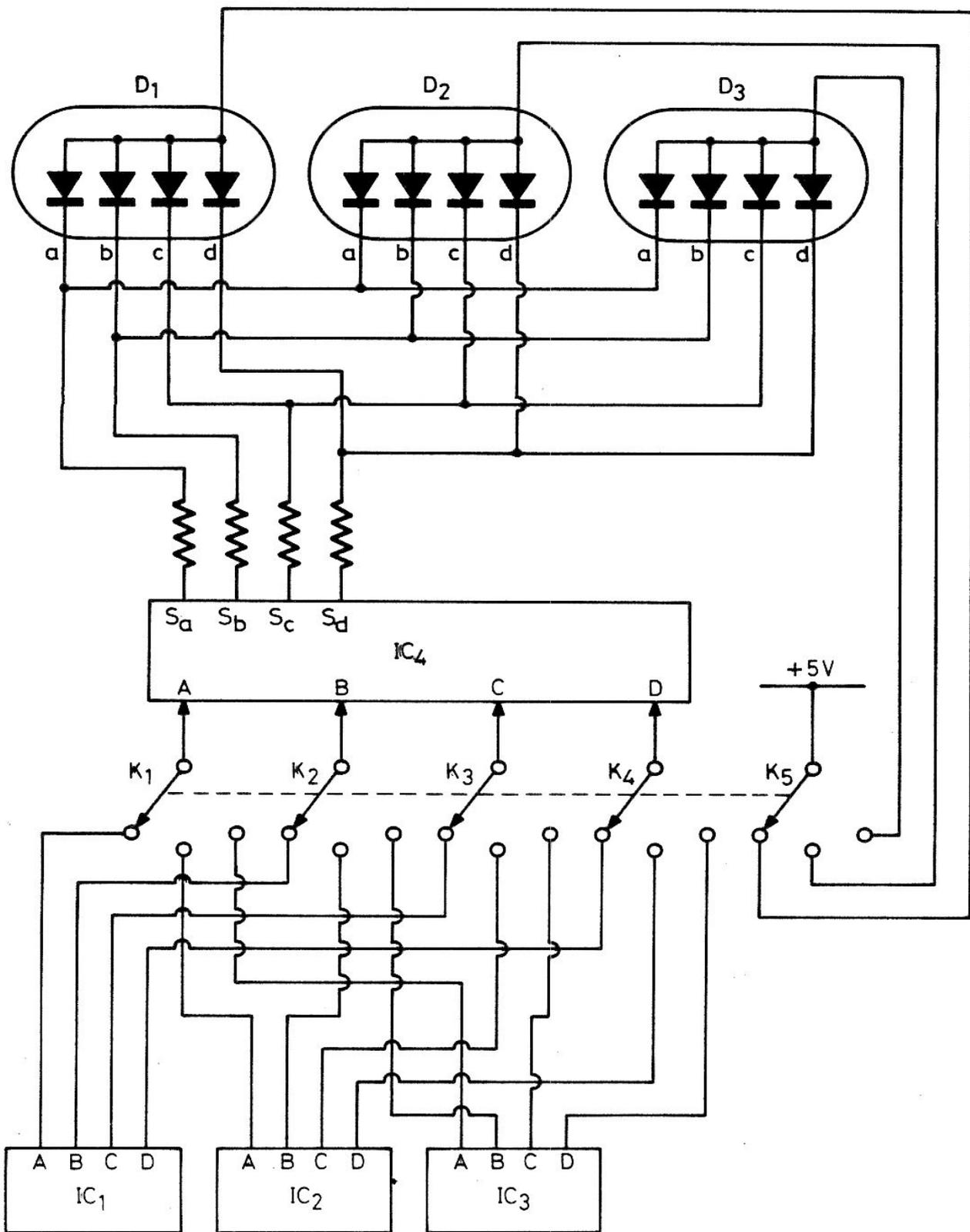
Le principe est donc celui qu'illustre la figure 4-1. Pour ne pas surcharger la figure, nous avons supposé que chaque afficheur ne comportait que quatre segments au lieu de sept, et que nous n'utiliserions que trois afficheurs D_1 , D_2 et D_3 , pour représenter les sorties de trois compteurs IC_1 , IC_2 et IC_3 .

Le transcodeur IC_4 est utilisé, à tour de rôle, par les trois afficheurs. Chacune de ses quatre sorties, a, b, c et d, est branchée simultanément sur trois cathodes. Par exemple, sa sortie b est reliée à la cathode b de D_1 , à la cathode b de D_2 et à la cathode b de D_3 .

Les entrées du transcodeur doivent être branchées successivement sur les sorties A, B, C et D de IC_1 , puis de IC_2 , puis de IC_3 . C'est le rôle du groupe de commutateurs à trois directions, K_1 , K_2 , K_3 , K_4 .

Quand ce groupe de commutateurs est dans la position représentée sur la figure, c'est IC_1 dont les quatre sorties commandent le transcodeur.

Un instant après, les commutateurs passent dans la position médiane, et ce sera IC_2 qui va commander le transcodeur. Enfin, lorsque les commutateurs K passent dans la position la plus à droite, le transcodeur est commandé par les sorties de IC_3 . L'instant d'après, les commutateurs reviennent à la position la plus à gauche et le cycle recommence.



A chaque instant, les sorties du transcodeur ne sont destinées qu'à un seul des afficheurs, pas aux autres. On s'arrange donc à ce que le seul afficheur concerné soit allumé, tous les autres étant éteints.

C'est le rôle du commutateur K_5 , couplé aux quatre précédents qui n'envoie le $+V_{CC}$ que sur les anodes d'un seul des trois afficheurs

Ainsi, D_1 n'est alimenté que pendant les 33 % du temps où ce sont les sorties de IC_1 qui attaquent le transcodeur IC_4 : l'afficheur D_1 affiche donc ce qui correspond à IC_1 , puis il s'éteint.

Dès que D_1 s'éteint, c'est D_2 qui s'allume. Pendant que ses anodes sont alimentées, les entrées de IC_4 sont connectées aux sorties de IC_2 et c'est l'état de IC_2 qui est affiché sur D_2 . Dès l'extinction de D_2 , commandée par le passage de K_5 en troisième position, D_3 a ses anodes alimentées et, en même temps, les commutateurs de K_1 à K_4 envoient les sorties A, B, C et D de IC_3 aux entrées correspondantes du transcodeur IC_4 .

Nous pouvons maintenant recommencer avec la commande de D_1 et ré-afficher l'état qui correspond à IC_1 sur D_1 , et ainsi de suite..

Comme nous l'avons dit plus haut, le rendement lumineux des LED croît en fonction du courant crête. Donc, dans le système de la figure 4-1, nous aurons un affichage plus lumineux en envoyant dans chaque afficheur un courant de 9 mA pendant un tiers du temps (ce qui fait 3 mA moyens) par exemple, qu'en envoyant dans cet afficheur un courant continu de 3 mA dans le même segment.

La disposition que nous avons indiquée sur la figure 4-1 est, au fond, en plus détaillé, ce que nous avons déjà montré sur la figure 2-10 et nous avons déjà eu quelque chose d'analogue dans la commande des groupes de 35 LED. (fig. 1-8).

← *Fig. 4-1 — Principe du « multiplexage ». Les trois afficheurs D_1 , D_2 et D_3 (supposé à quatre diodes seulement chacun pour simplifier le dessin) sont commandés par les quatre sorties d'un seul transcodeur IC_4 . Les entrées de ce transcodeur peuvent être branchées à tour de rôle sur les sorties de la décade IC_1 , puis sur celles de la décade IC_2 , puis sur celles de la décade IC_3 , puis de nouveau sur IC_1 ... En même temps, le commutateur K_5 alimente uniquement un seul groupe d'anodes, permettant l'allumage d'un seul afficheur. La rapidité de la « rotation » de l'affichage, liée à la persistance des impressions rétiniennes, fait que l'on voit les autres afficheurs fonctionner en même temps.*

Avantages et inconvénients du système multiplexé

Le premier avantage du système multiplexé est évident sur la figure 4-1 : on n'utilise qu'un seul transcodeur pour tous les afficheurs.

Un second avantage, qui a sans doute été déterminant pour les réalisateurs de calculatrices, est que l'on commande le bloc de n afficheurs par un ensemble de sept + n fils (on va à huit + n si l'on doit commander aussi le point décimal), au lieu de sept n fils sans multiplexage. Pour huit afficheurs, on aurait donc cinquante-six connexions sans multiplexage, et quinze avec multiplexage.

Une conséquence liée au nombre de connexions est la simplification des « blocs d'afficheurs ». On les réalise souvent en ensembles de n afficheurs groupés (jusqu'à quinze afficheurs éventuellement pour certaines calculatrices). On aurait, dans ce cas, un nombre de connexions de sortie tout à fait prohibitif si l'on n'interconnectait pas les cathodes de même type (dans le cas des afficheurs à anode commune), par exemple toutes les cathodes des segments g ensemble. Avec un bloc de quinze afficheurs de chacun sept segments plus un point décimal, on n'a que vingt-trois connexions (huit pour les segments et les points décimaux, quinze pour les anodes s'il s'agit d'afficheurs à anode commune), sans multiplexage, il en faudrait 121 ! (il y aurait huit connexions par afficheur, plus une anode commune pour tous).

Voyons les inconvénients. D'abord, il faut prévoir quelque chose qui tienne lieu des commutateurs de la figure 4-1, qui ne sont, évidemment, pas mécaniques. Nous reviendrons sur ce point, et nous verrons que la complexité n'est pas tellement élevée.

Ensuite, il faut que le transcodeur soit capable de commander, sur chacune de ses sorties, un courant instantané relativement important. Si nous désirons, par exemple, réaliser un affichage multiplexé avec huit afficheurs à sept filaments incandescents, soit 20 mA par filament, il faut que le transcodeur puisse commander 160 mA par sortie. A notre connaissance, il n'y a pas de circuit intégré capable d'une telle performance.

Enfin, il se peut que les flancs raides de commutation, liés au multiplexage, soient générateurs de parasites. C'est la raison pour laquelle certains réalisateurs de circuits intégrés LSI proposent quelquefois des circuits dans le genre « Circuit de radio-réveil, à quatre chiffres *non-multiplexés* ». On doit alors prévoir un grand nombre de pattes sur le boîtier du circuit, mais on évite le parasitage éventuel de la radio par les signaux sur les afficheurs.

Il faut, en effet, une cadence de multiplexage suffisamment rapide pour que l'affichage ne scintille pas d'une façon visible. Il suffit, en général, de faire en sorte que le cycle complet d'affichage sur tous les afficheurs soit réalisé en moins d'un vingtième de seconde (même un dixième) pour que l'on ne discerne pas de scintillation. On commence à la distinguer si le bloc des afficheurs est déplacé rapidement : si l'on prend une calculatrice à quinze chiffres, où l'on a fait afficher tous les 1, par exemple, il suffit de la faire bouger rapidement pour apercevoir nettement le caractère discontinu de l'affichage.

Dans les circuits LSI comportant un affichage numérique (horloges numériques, fréquencemètres, compteurs à plusieurs décades avec transcodeur incorporé, etc.), les constructeurs prévoient un multiplexage incorporé dans le circuit. L'oscillateur de multiplexage est du type multivibrateur, nécessitant seulement un condensateur extérieur (car il est très difficile de réaliser un condensateur sous forme intégrée et, même si on y arrive, on dépasse rarement 30 pF, ce qui est très insuffisant pour faire un oscillateur de multiplexage à fréquence relativement basse).

Dans le cas de tels circuits, on a un argument supplémentaire en faveur du multiplexage : il sert à la fois aux sorties vers les afficheurs et aux entrées. Ces circuits ont souvent des très nombreuses entrées, et il est bon de ne pas multiplier le nombre de connexions. C'est ainsi que, par exemple, le circuit fréquencemètre-chronomètre-périodemètre-compteur Intersel ICM7216 A commande, par multiplexage, huit afficheurs sept segments (avec point décimal pour chacun d'eux). Il y a donc déjà seize connexions pour les afficheurs. On doit, en plus, commander sa fonction (fréquencemètre, ou périodemètre, ou chronomètre, ou compteur), et sa gamme de fonctionnement (mesure de la fréquence pendant 0,01 s ou 0,1 ou 1, ou 10 s).

On y arrive en utilisant les sorties de commande des anodes (le circuit est prévu pour des afficheurs à anode commune) et deux entrées seulement, dites entrées de commande. Si la première entrée de commande, E_1 , est connectée, par exemple, à la sortie d'anode du chiffre n° 0 (unités), le tout fonctionne en fréquencemètre. Si cette entrée est reliée à la sortie d'anode du chiffre 4, l'appareil fonctionne en chronomètre, etc.

De même, l'entrée de commande n° 2 est à connecter à la commande d'anode du chiffre zéro pour compter les périodes pendant 0,01 s, à la commande d'anode du chiffre n° 1 pour compter pendant 0,1 s, etc.

Réalisation du multiplexage

Il s'agit donc de faire en sorte que l'entrée A, par exemple, du transcodeur ou décodeur soit branchée successivement sur la sortie A d'un compteur, puis sur la sortie A d'un autre, et ainsi de suite.

L'idée qui vient logiquement à l'esprit est d'utiliser un circuit intégré « multiplexeur ». Etudions-en un, pour voir ce que l'on fait avec un tel circuit, et comment on le commande.

Un type connu de multiplexeur en réalisation TTL est, par exemple, le SN74 LS151. Il comporte huit entrées, de I_0 à I_7 , une sortie Z (plus sa sortie opposée \bar{Z}), et trois « adresses », S_0 , S_1 et S_2 (fig. 4-2).

Les adresses définissent, en code binaire, le numéro de celles des entrées I dont le niveau est « recopié » par la sortie Z, les autres entrées I étant comme « déconnectées » du circuit.

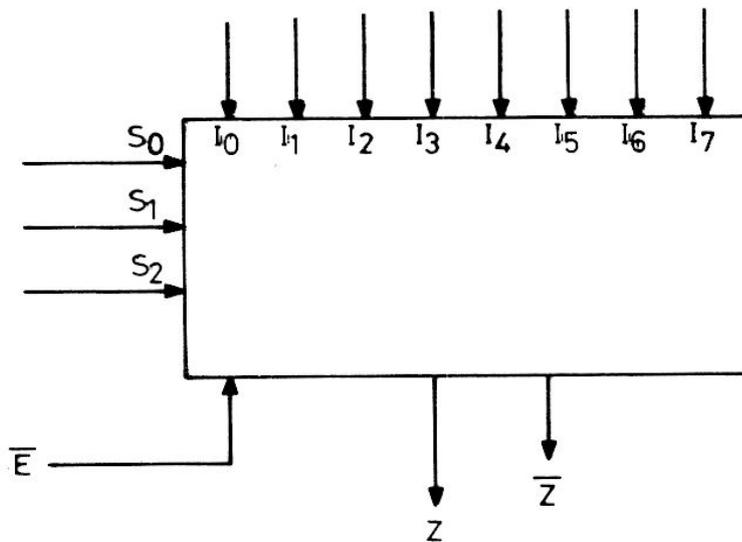


Fig. 4-2 — Le « multiplexeur » est un circuit intégré destiné à remplacer, dans le montage de la figure 4-1, chaque commutateur mécanique K. Suivant les niveaux des commandes d'« adresse », S_0 , S_1 et S_2 , une des entrées I, et une seule, commande le niveau logique de la sortie Z. Les autres sont « déconnectées » (sans action). La commande E permet, quand on la porte au niveau haut, de déconnecter la sortie Z, pour une possibilité de montage adaptable.

Si, par exemple, nous appliquons un niveau haut aux adresses S_0 et S_2 , bas à l'adresse S_1 , cela correspond au nombre binaire 101 (soit cinq en code décimal). La sortie Z va donc « recopier » le niveau logique de l'entrée I_5 , alors que les niveaux des sept autres entrées seront sans action sur la sortie.

Ce circuit multiplex agit exactement comme un commutateur à huit positions et un circuit. La position du commutateur est déterminée par l'adresse. Comme les signaux appliqués aux entrées vont vers la sortie par des portes et des amplificateurs, le circuit ne peut être utilisé « à l'envers » en appliquant un signal à Z, et en l'obtenant en sortie sur une connexion parmi huit, désignée par une adresse. Un tel circuit existe, on l'appelle alors un « démultiplexeur ».

Il est à noter que, si l'on emploie des circuits intégrés C-MOS, comme le SCL 4051 B, la réalisation des « portes » est ici réversible. le circuit est à la fois un multiplexeur ou un démultiplexeur, selon le type d'utilisation envisagée. Nous en verrons un emploi plus loin.

Tout multiplexeur comporte, en outre, une connexion supplémentaire qui est une sorte d'adresse additionnelle : cette connexion se nomme « Enable » ou « Inhibit ». En la portant au niveau indiqué par le constructeur, on déconnecte *toutes* les entrées de la sortie, quel que soit le code affiché sur les adresses.

Cela permet de faire un multiplexeur « sur mesure », ou peu s'en faut.

Prenons un exemple pratique, avec le circuit TTL SN74 LS153 (fig. 4-3), qui est un double multiplexeur, fait de deux sections, ayant

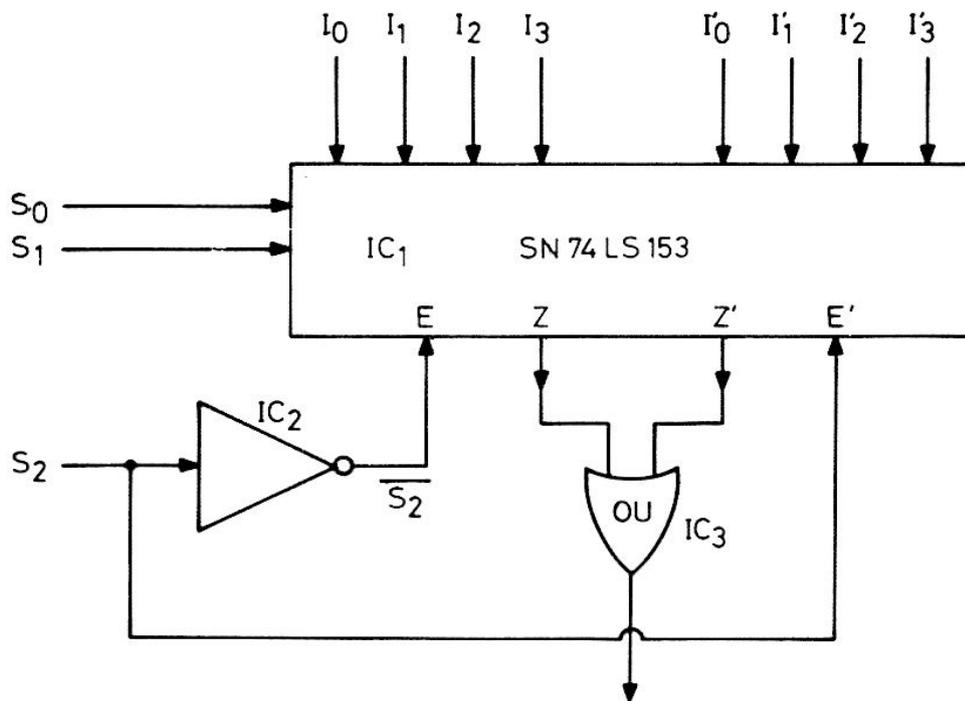


Fig. 4-3 — Exemple d'utilisation de la commande E évoquée à propos de la figure 4-2 : en employant un multiplexeur double, correspondant à un commutateur à deux circuits et quatre positions, plus un inverseur extérieur et un circuit « ou », on peut transformer le circuit en un multiplexeur à un circuit et huit directions.

chacune quatre entrées et une sortie Z. La seconde section est repérée par des lettres identiques à celles de la première, avec l'indice « prime ».

Les adresses, S_0 et S_1 (il en suffit de deux pour quatre entrées) sont communes aux deux sections. Autrement dit le tout se comporte comme un commutateur à deux circuits et quatre positions (les deux circuits étant commandés par le même axe).

En l'utilisant sans commander les entrées « Enable » E et E' (en les maintenant à l'état logique haut), on a deux multiplexeurs à quatre entrées. Mais, si l'on procède comme sur la figure 4-3, avec une commande S_2 que l'on applique directement à l'entrée E', et, par un inverseur logique IC₂, à l'entrée E, il suffit de relier les deux sorties Z et Z' aux entrées d'un circuit « ou », IC₃, pour obtenir un multiplexeur à huit entrées. En effet, pour $S_2 = 0$, il y a un niveau haut sur E, bas sur E'. La section de droite est « inhibée », celle de gauche est « valide ». La sortie Z' reste constamment à zéro, la sortie du circuit « OU » reproduit le niveau de la sortie Z, qui est commandée par celle des autres entrées I_0 à I_3 désignée par les adresses S_0 et S_1 . Quand on applique un niveau haut sur S_2 , Z est déconnectée, Z' devient alors active, recopiant une des entrées I'_0 à I'_4 , selon les niveaux des adresses S_0 et S_1 .

Quand on a un groupe de multiplexeurs de ce type, on peut donc, par des associations adéquates, faire trois multiplexeurs à quatre entrées, un seul à douze entrées, un à huit entrées et un à quatre entrées, etc. Avec les multiplexeurs en C-MOS, c'est encore plus facile : il n'y a même pas à utiliser de circuit « ou » en sortie, on relie simplement les sorties Z entre elles.

Réalisation d'un affichage multiplexé au moyen de multiplexeurs

On le fera au moyen du montage de la figure 4-4. Pour ne pas surcharger la figure, nous n'avons représenté que quatre directions de multiplexage, et nous n'avons dessiné que les entrées A et D du transcodeur IC₁.

L'entrée A, par exemple, est dirigée vers la sortie A du compteur 1, ou du compteur 2, ou du compteur 3, ou du compteur 4, via le multiplexeur IC₂, en fonction des adresses S_0 et S_1 de ce multiplexeur.

Deux autres multiplexeurs, IC₃ et IC₄ (non représentés) assurent la commutation des entrées B et C du transcodeur IC₁ vers les sorties B et C respectivement des quatre compteurs. Le multiplexeur IC₅ commute l'entrée D du transcodeur.

Les adresses S_0 et S_1 , envoyées en même temps aux quatre multiplexeurs, sont données par un compteur par quatre, IC_6 , qui reçoit les impulsions d'une horloge. Il assure donc la commutation cyclique des multiplexeurs vers les différents compteurs.

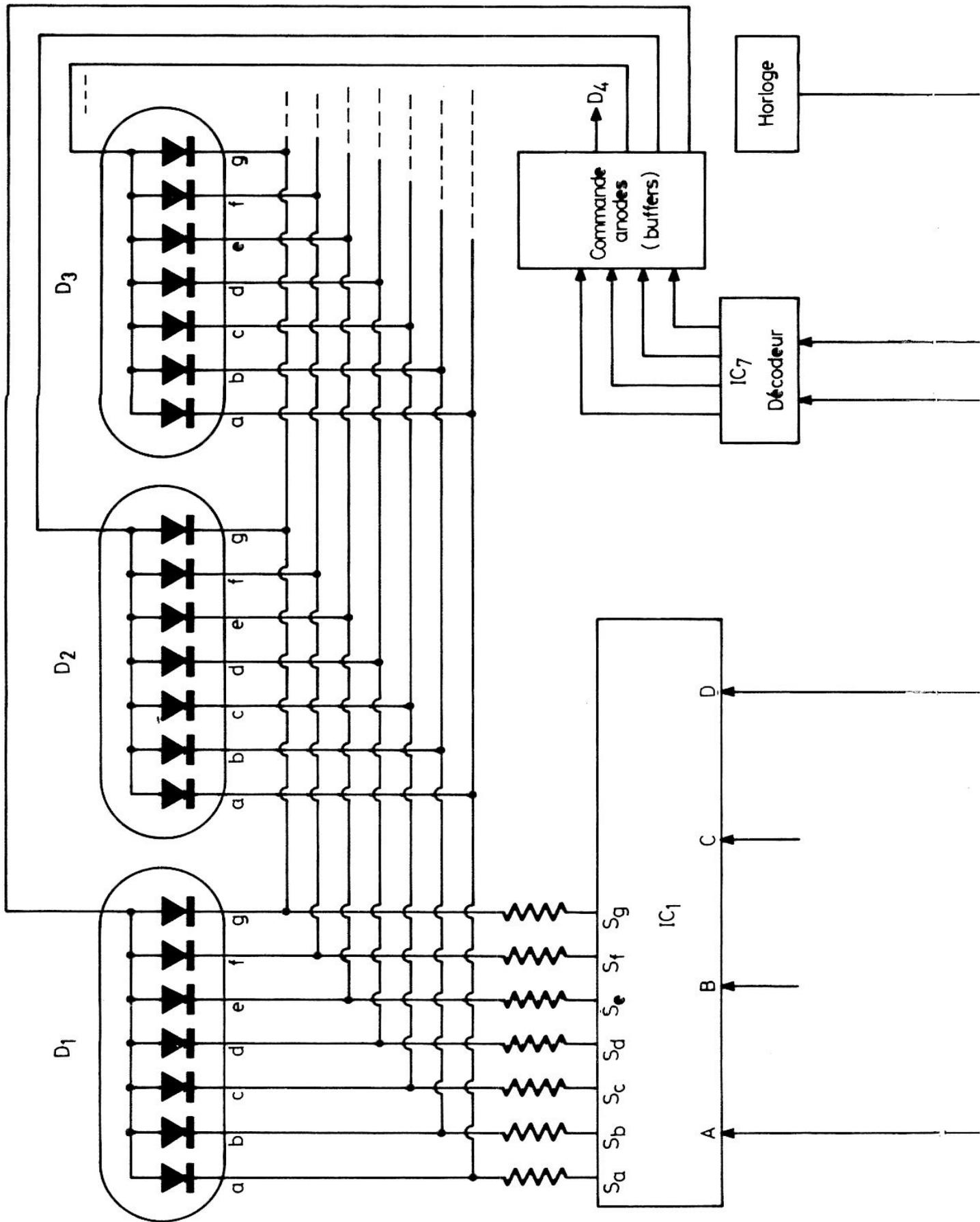
En outre, le compteur IC_6 envoie ses sorties vers un décodeur IC_7 dont une seule des autres sorties est haute, correspondant à l'état du compteur IC_6 . Ces sorties, via des amplificateurs de puissance, envoient des tensions de commande vers les anodes des afficheurs D_1 , D_2 , D_3 et D_4 (ce dernier non représenté).

Rien n'empêche, si on désire un affichage mémorisé, de prévoir des mémoires à quatre bits chacune entre les sorties A, B, C et D des compteurs (voir fig. 3-12) et les entrées des multiplexeurs. Ces mémoires doivent évidemment être « individuelles », on ne peut prévoir une mémoire unique multiplexée.

Le compteur par quatre peut être un compteur par huit. Le décodeur IC_7 aura alors trois entrées et huit sorties, il commandera les anodes de huit afficheurs (si l'on emploie des modèles à anode commune) et il faudra des multiplexeurs à huit entrées ; nous aurons ainsi étendu le système de la figure 4-4 au cas de huit décades de comptage.

Pour le décodeur IC_7 , il est possible d'utiliser un circuit « démultiplexeur », qui oriente une entrée vers une des huit sorties, selon une adresse. C'est le circuit « réciproque » du multiplexeur (mais, en technologie C-MOS le multiplexeur et le démultiplexeur sont un même circuit, les « portes » qui font communiquer une des entrées et la sortie étant des portes « analogiques », se comportant comme des résistances infinies à l'état bloqué et faibles à l'état passant). Donc, en utilisant par exemple, un multiplexeur/démultiplexeur C-MOS du type SCL4051 B, si l'on porte l'entrée commune au niveau logique bas, seule la sortie désignée par l'adresse sera au niveau bas (les autres seront comme « déconnectées »). Elle sera donc seule capable de commander, par exemple, le courant base d'un PNP monté comme un de ceux de la figure 2-10.

Les principaux démultiplexeurs en TTL ont, sur leurs n sorties $n-1$ à l'état logique haut, et une qui peut être à l'état logique bas, si elle correspond à l'adresse appliquée, et si l'entrée commune est au niveau requis par la table de vérité du circuit. Ils constituent donc un bon moyen pour commander des bases de PNP.



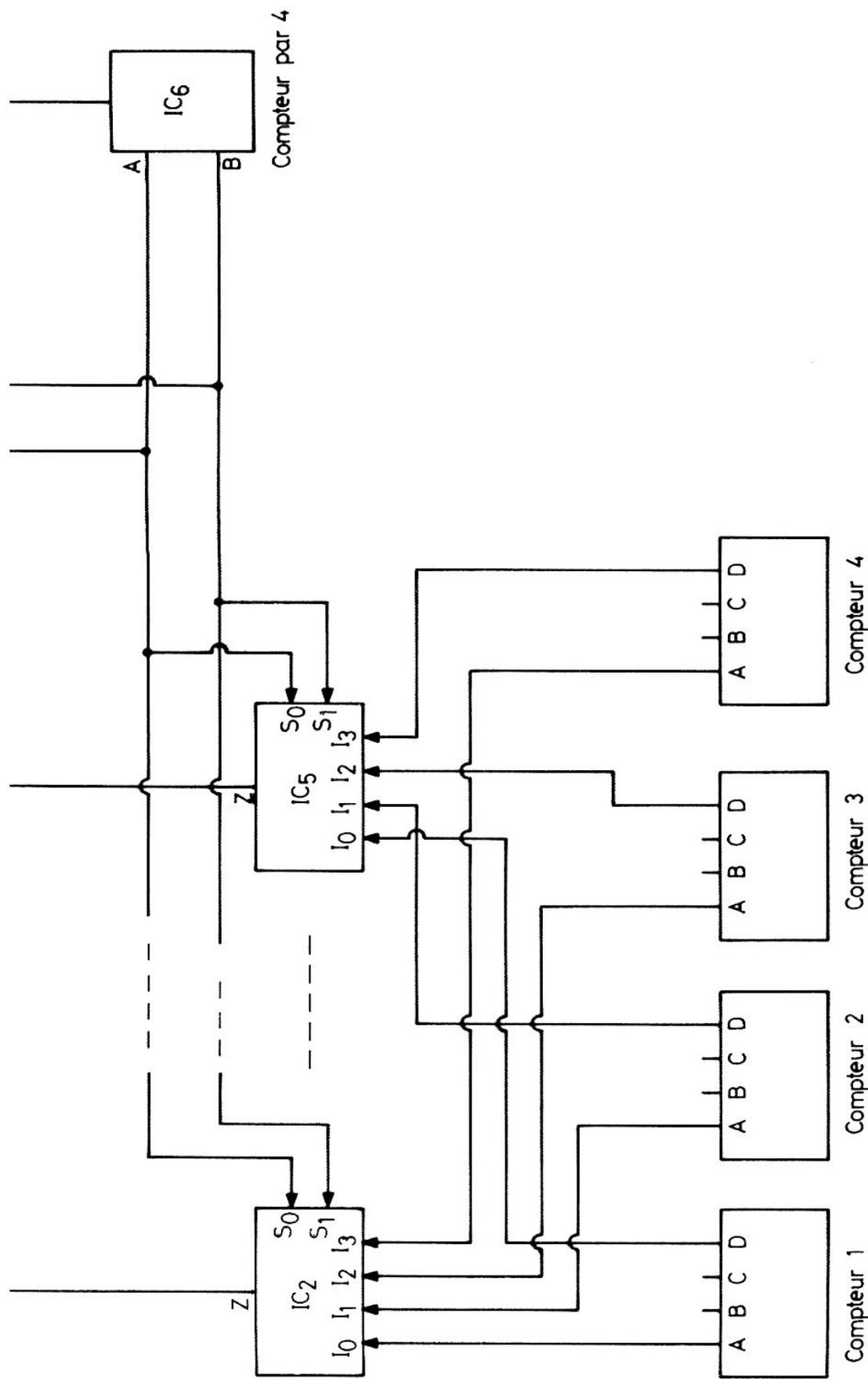


Fig. 4-4 — Exemple d'affichage multiplexé sur quatre afficheurs sept segments à LED du type « anode commune » (le quatrième n'est pas représenté) au moyen de quatre multiplexeurs à quatre entrées chacun (de IC2 à IC5, dont deux seulement sont représentés). On affiche les sorties de quatre décades de comptage (seules, les connexions des sorties A et D de ces compteurs sont représentées). Les adresses, S0 et S1, les mêmes pour les autres multiplexeurs, sont données par un compteur par quatre (en deux flip-flops), dont les sorties, décodées par un jeu de logiques, commandent les anodes des quatre afficheurs.

Réalisation d'un affichage multiplexé par registre à décalage

Nous avons déjà parlé des registres à décalage (page 99, fig. 3-22). On peut y stocker un certain nombre de données binaires, entrées toutes en même temps par les « entrées parallèles », et les en faire sortir une par une. Par des « rafales » de quatre tops d'horloge, on peut donc amener ainsi successivement des groupes de quatre données sur un autre registre, ayant quatre sorties parallèles. Ces sorties commandent alors l'entrée du décodeur (ou transcodeur), et l'on a ainsi réalisé le multiplexage. Nous ne citons cette solution que fort brièvement, car nous la considérons comme une méthode compliquée.

Réalisation d'un affichage multiplexé par les circuits « trois états »

En revanche, il y a un moyen qui nous semble encore meilleur que l'emploi des circuits multiplexeurs pour l'affichage multiplexé : l'emploi des « portes trois états » ou des « mémoires trois états ».

Tout d'abord un bref rappel du circuit de sortie « trois états ». Normalement, tout circuit logique comporte en sortie soit un simple transistor en émetteur commun (sortie collecteur), soit un amplificateur définissant bien le niveau de sortie, haut ou bas (amplificateur « buffer », souvent réalisé dans les TTL par le circuit dit « totem pole »).

Il y a des amplificateurs de sortie qui comportent une commande permettant de « déconnecter » la sortie. Autrement dit, quand on porte cette commande (souvent désignée par « Enable » ou « Disable ») au niveau indiqué, la sortie n'est plus ni haute ni basse : elle est dans son « 3^e état », appelé aussi « état à haute impédance », où elle n'est plus reliée qu'à des transistors bloqués. On peut alors la porter au potentiel que l'on veut, sans avoir à lui fournir du courant, ni à lui en prélever. On emploie surtout ces circuits dans l'informatique, pour envoyer plusieurs informations sur une ligne unique (Bus).

Par exemple (fig. 4-5), supposons que nous utilisions quatre « buffers » du type trois états, ayant leurs entrées attaquées par les signaux respectifs e_1 , e_2 , e_3 et e_4 . Il y a trois de ces « buffers » dont les « autorisations » ($E = \text{Enable}$) sont au niveau zéro, faisant passer les sorties correspondantes dans le « 3^e état » : ce sont les buffers 1, 3 et 4. En revanche, le buffer 2 est le seul à recevoir une « autorisation » E_2 au niveau haut : il fonctionne normalement. Comme les trois autres sorties se comportent comme si elles étaient déconnectées des buffers, seul le circuit 2 est actif, c'est donc le signal d'entrée e_2 , et lui seul, que l'on trouvera sur la ligne commune B.

Ces « buffers » sont souvent groupés par six dans un boîtier. Il y a souvent une commande de « Enable » commune pour les six

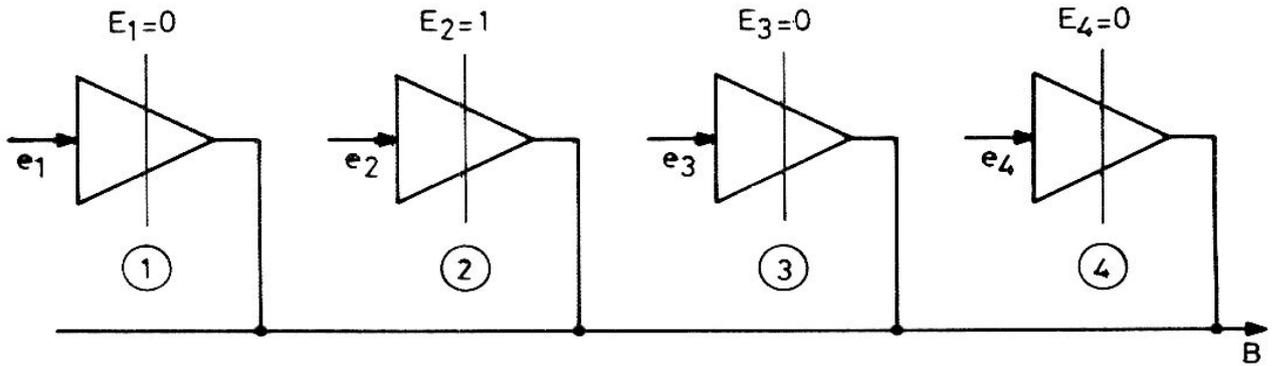


Fig. 4-5 — Emploi de circuits amplificateurs de niveaux logiques (ou « buffers ») du type « sortie trois états ». Seul, celui des circuits qui reçoit un niveau adéquat sur son entrée « Enable » (autorisation), soit ici le second, commande la ligne commune (ou « bus ») B. Les autres, recevant une commande Enable au niveau bas, sont comme si leurs sorties étaient « déconnectées » du reste du circuit : ils n'interviennent donc pas.

(comme dans le circuit SN74 LS365), ce qui est peu commode pour l'emploi que nous envisageons, car il est préférable de commander quatre buffers par une même commande de validation. Aussi une solution intéressante est-elle donnée par le circuit du type 74 LS367, contenant aussi six buffers, mais dont deux ont une commande de validation séparée : avec n circuits de ce genre, comme nous allons le voir, on réalise donc un affichage de $3n/2$ compteurs. Avec des circuits comprenant des groupes de quatre buffers, comme les SN74125, ou le SN74126 (les commandes de 3^e état sont positives pour l'un, négatives pour l'autre), il faut autant de boîtiers que l'on veut de directions de multiplexage.

Une partie du schéma d'affichage multiplexé par emploi de buffers à trois étages est représenté sur la figure 4-6. La structure du circuit étant répétitive, on peut facilement passer au schéma complet et pour n compteurs, mais nous avons limité les compteurs à deux pour simplifier le dessin.

On voit que les entrées A, B, C et D du décodeur (ou transcodeur) IC₃ sont reliées à quatre lignes universelles, ou « bus », sur lesquelles viennent se brancher les sorties des quadruples buffers IC₅, IC₇, etc.

Chaque quadruple buffer a ses autres entrées commandées par les sorties A, B, C et D d'une décade (IC₄ pour le premier, IC₆ pour le second, etc.). Une horloge donne le rythme de multiplexage ; elle commande un compteur par huit, IC₁ (si l'on désire multiplexer huit décades), dont les sorties commandent un décodeur IC₂. Les sorties du décodeur, dont une seule est haute, et toutes les autres basses, com-

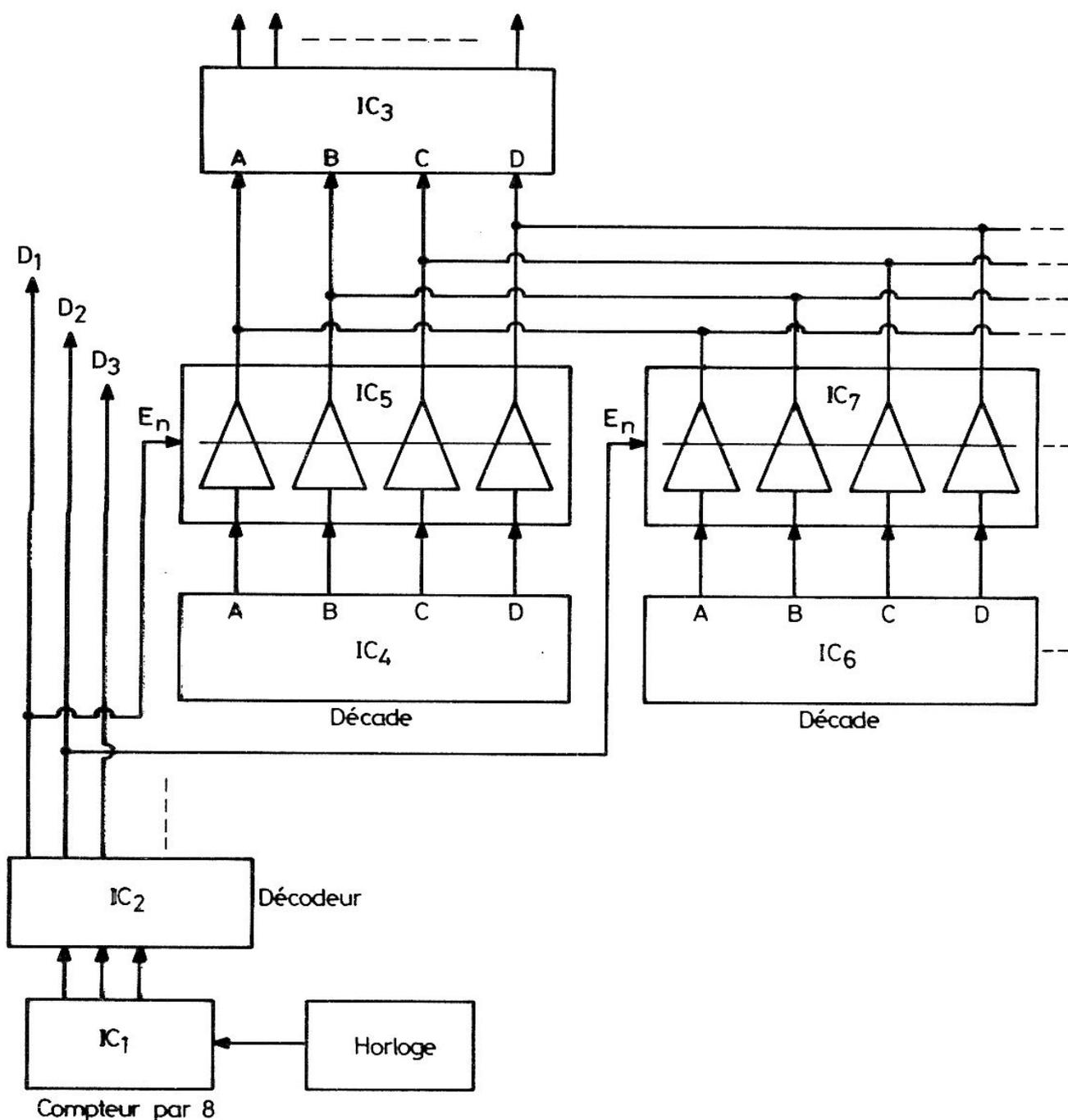


Fig. 4-6 — Réalisation d'un affichage multiplexé au moyen de groupes de quadruples « buffers » à sorties trois états. Le décodeur ne valide qu'un des groupes, connectant ainsi aux entrées du décodeur (ou transcodeur) IC₃ les entrées d'une seule des décades. En même temps, le décodeur provoque l'allumage d'un seul afficheur D.

mandent à la fois les électrodes à anode commune) et les différentes entrées de validation E des quadruples buffers.

Ainsi, à tour de rôle, un des quadruples buffers est validé par une sortie du décodeur : il est donc le seul à permettre le passage des quatre

sorties de la décade connectée à ses entrées vers le décodeur IC₃. En même temps, un seul des afficheurs est autorisé à fonctionner (par la même sortie du décodeur).

Ce système peut paraître plus compliqué que celui de la figure 4-4, qui permettait, par exemple, de faire le multiplexage de huit décades avec quatre boîtiers, chacun étant un multiplex à huit entrées, alors que le montage de la figure 4-6 nécessitera huit boîtiers de quadruples buffers.

Mais, en fait, le système de la figure 4-6 ne trouve son plein intérêt que dans le cas de l'affichage multiplexé *mémorisé*. Comme nous l'avons dit plus haut, le montage de la figure 4-4 nécessite, pour réaliser un affichage mémorisé, autant de « quadruple mémoires » ou « quadruples verrous » (quad latch) que de décades, ainsi que le montre la figure 3-12.

Or il y a des quadruples mémoires qui ont « en prime » une sortie en trois états, comme le circuit C-MOS SCL4076 B. Donc, le simple fait d'utiliser ces circuits comme « mémoires tampons » permet, puisque les circuits ont une commande de « Disable » (le contraire de « Enable » : on passe le circuit en troisième état par un niveau logique haut, on le valide par un niveau bas), le multiplexage « gratuit », puisqu'il suffit de relier les sorties sous forme de « bus », comme sur la figure 4-6, et de commander les « disables » des circuits par les sorties du décodeur. Ce dernier doit avoir une seule sortie au niveau bas, toutes les autres au niveau haut. La sortie basse « autorise » une des quadruples mémoires à commander les « bus », en même temps, elle autorise l'allumage d'un seul afficheur, par un transistor PNP par exemple, dans le cas d'afficheurs à anode commune.

Une solution encore plus séduisante fait appel au circuit SCL 4508 B, puisqu'il contient deux fois le précédent. Chaque circuit assure donc la mémorisation (plus le multiplexage « gratuit ») de deux décades. Il convient toutefois de signaler que ce dernier circuit est de vingt-quatre pattes, alors que le SCL4076 B est seulement un seize pattes.

Quand doit-on préférer le multiplexage ?

Il se peut que certains lecteurs soient effrayés par la complexité (apparente) du multiplexage. En réalité, on doit ajouter certains circuits pour réaliser un multiplexage, mais il faut le faire, cependant, dans certains cas, car on y gagne finalement en nombre de circuits et en simplicité de câblage.

L'affichage sans mémorisation de n décades, utilisant des afficheurs sept segments, nécessite :

— Sans multiplexage : n transcodeurs, sept n résistances, une liaison par sept $n + 1$ fils au bloc des afficheurs ;

— Avec multiplexage par circuits multiplexeurs (type de la fig. 4-4) : quatre multiplexeurs (éventuellement huit pour n très grand), un seul transcodeur, sept résistances seulement, une horloge, un compteur, un décodeur, une liaison au bloc des afficheurs par sept $+ n$ fils.

Le multiplexage est donc intéressant :

— Si n est grand (huit ou plus).

— Si l'on est obligé de limiter le nombre de fils allant au groupe des afficheurs.

En particulier, il y a des blocs d'afficheurs qui ne peuvent être utilisés que par multiplexage, ainsi que nous l'avons signalé. Dans ce cas, la question ne se pose plus.

Si l'on emploie un affichage mémorisé, l'intérêt de l'emploi du multiplexage est bien plus net encore, puisque, si l'on emploie des circuits de quadruple mémoire avec sorties trois états, il suffit d'ajouter à l'ensemble une horloge, un compteur et un décodeur pour éliminer $n-1$ transcodeurs et $n-1$ groupes de sept résistances, en réduisant aussi énormément le nombre de fils allant au bloc des afficheurs.

En résumé nous dirons que le choix de la technique du multiplexage, qui est bien plus simple qu'on ne le croit en commençant, est dicté par de nombreux facteurs, auxquels il convient encore d'ajouter la possibilité pour le décodeur de pouvoir fournir (ou consommer) le courant instantané relativement élevé que l'on doit pouvoir faire passer dans chaque segment.

D'autre part, il y a certains types de cristaux liquides qui ne peuvent supporter le multiplexage, et, là aussi, la question ne se pose plus.

Conclusion

Etant donné la diversité des types d'affichage et la rapidité de l'évolution de cette technique, il ne pouvait être question d'épuiser le sujet dans le cadre de ce petit livre. Nous nous sommes volontairement abstenu de donner, pour chaque schéma, les détails de réalisation, avec les numéros des broches des circuits, les étapes de la mise au point, etc. En effet, nous avons supposé que la connaissance « par l'intérieur » des montages pouvait donner plus de possibilités aux réalisateurs que la description détaillée de quelques ensembles.

Les techniques de l'affichage ne sont pas difficiles. Les schémas ont souvent des parties qui sont répétées un grand nombre de fois, ce qui ajoute à leur complexité, mais pas à leur complication.

Une fois que l'on a bien compris les principes d'utilisation des dispositifs d'affichage, il est facile de trouver les quelques détails utiles dans les notices des constructeurs.

On ne rencontre presque jamais, dans la réalisation des ensembles d'affichage, les difficultés subtiles et souvent exaspérantes que l'on peut trouver dans les systèmes digitaux ultra-rapides, par exemple. C'est pourquoi nous pensons que les amateurs, même tout à fait débutants, peuvent se lancer avec de très bonnes chances de succès dans la pratique des affichages mêmes très évolués. Il faut relativement peu d'expérience pour bien réussir, et nous souhaitons à ceux qui s'y lanceront des réussites fort ... brillantes (dans tous les sens du terme, cela va de soi !).

Achevé d'imprimer
sur les presses
de l'imprimerie Marcel Bon
70 Vesoul
Dépôt légal : 1^{er} trimestre 1980
N° éditeur : 284 - N° d'imprimeur : 2397

L'électronique digitale se répand de plus en plus et touche aux domaines les plus variés. L'élément de sortie est souvent un dispositif d'affichage. Ces dispositifs généralement optiques permettent aussi de surveiller le fonctionnement des circuits.

Mais, pour bien utiliser les afficheurs, il est indispensable de les bien connaître. C'est l'objectif que s'est fixé l'auteur, et qu'il a atteint.

Principaux chapitres :

Systemes mécaniques - Dessins illuminés, projetés - Point ou plage lumineuse - Dessin lumineux dans un gaz - LED - Filaments incandescents - Cristaux liquides - Affichage sur tube cathodique.

