

Initiation à la pratique de l'électronique

INTRODUCTION AUX CIRCUITS LOGIQUES

Nous débutons aujourd'hui une suite d'articles sur les circuits logiques. Chaque article sera composé d'une partie théorique, suivie d'applications pratiques que vous pourrez effectuer facilement vous-même, sans avoir besoin ni de fer à souder, ni d'appareils de mesure coûteux et compliqués. Comme vous le verrez, la compréhension du fonctionnement des circuits logiques est beaucoup plus aisée que celle des circuits analogiques dont nous nous sommes occupés jusqu'ici.

Aujourd'hui, vous allez apprendre que :

- Un signal analogique a une amplitude qui varie continuellement. Tandis qu'un signal logique ne peut prendre que deux valeurs : 0 ou 1.
- La technique digitale se réfère à l'utilisation de signaux discrets pour exprimer une grandeur ou un mot.
- Dans un circuit logique le signal de sortie est fonction des signaux appliqués à l'entrée.
- Il existe plusieurs fonctions logiques pouvant être résumées soit par une formule, soit par une table de vérité.
- Une porte « ET » est un circuit dont la sortie est au niveau 1 uniquement lorsque toutes les entrées sont au niveau 1.
- Deux interrupteurs en série représentent la façon la plus simple de réaliser la fonction « ET ».
- Dans les circuits électroniques modernes, on utilise les circuits intégrés TTL pour obtenir toutes les fonctions logiques.
- La visualisation des états logiques se fait avec des diodes électroluminescentes.

Le mois prochain nous rentrerons dans le vif du sujet avec les portes logiques les plus courantes.

La logique

Si nous recherchons dans un dictionnaire la définition de la logique, nous apprenons que c'est l'art de construire un raisonnement lui-même composé de propositions qui peuvent être vraies ou fausses.

Comment définir la logique lorsqu'il s'agit de technique électronique ? Un circuit logique est un circuit dont le signal de sortie dépend des signaux appliqués à l'entrée.

Ces signaux, tout comme une proposition vraie ou fausse, ne peuvent prendre que deux valeurs : une cer-

taine tension (+ 5 V, par exemple), ou pas de tension du tout. Ainsi un signal ne sera présent en sortie que si certaines conditions concernant les signaux à l'entrée sont conformes à la fonction de circuit logique.

Pour généraliser, au lieu de mentionner l'amplitude des tensions lorsqu'on parle de niveau (+ 5 V et 0 V pour notre exemple), on dit que ces valeurs sont au niveau un ou au niveau zéro, ou, pour simplifier encore plus, que les valeurs sont « 1 » et « 0 ».

Puisqu'il n'y a que deux états, il est question pour ces circuits de logique binaire.

Logique et analogique

Les circuits électroniques sont classés en deux grandes catégories : les circuits analogiques et les circuits logiques.

Dans un circuit analogique les signaux électriques ont une amplitude qui varie continuellement. Cette amplitude peut prendre un nombre très élevé de valeurs entre le minimum et le maximum.

Le secteur 50 Hz est un signal analogique. Un amplificateur basse fréquence est un circuit analogique. Il amplifie les signaux d'amplitude variable appliqués à son entrée et restitue à sa sortie ces variations qu'il a amplifiées.

Un circuit digital est un circuit dans lequel les signaux ne peuvent

prendre que deux valeurs, soit le niveau 1, soit le niveau 0.

Un circuit de commutation, par exemple, est un circuit digital. Le passage d'un niveau à l'autre se fait très rapidement de telle sorte que les valeurs intermédiaires que pourrait prendre le signal en passant de 0 à 1 ou de 1 à 0, n'entrent pas en considération.

Notons que dans la vie courante, on distingue aussi deux groupes. Exemples d'appareils analogiques : multimètre à aiguille, thermomètre à mercure, compteur de vitesse d'une voiture... Exemples d'appareils digitaux : interrupteur électrique, montre à cristaux liquides, systèmes de signalisation des chemins de fer.

La technique digitale

On parle souvent indifféremment de technique logique et de technique digitale.

Nous venons de voir ce qu'est la logique : le signal apparaît ou n'apparaît pas, en sortie, cela dépend de la conformité des différents niveaux d'entrée avec l'intérieur du circuit en question. Ce circuit peut être représenté par un carré (fig. 1) avec une sortie et plusieurs entrées. Par exemple, la sortie S ne présenterait uniquement un 1 que si les valeurs sur A, B et C étaient respectivement 1 0 1 (un-zéro-un). Si celles-ci étaient 1 1 0 ou encore 0 0 1, on obtiendrait un zéro en S.

« Digital » se rapporte à l'utilisation de signaux discrets (séparés, discontinus) pour représenter des données ayant la forme de nombres ou de caractères. L'informatique utilise la technique digitale ; ce sont des groupes de signaux binaires qui représentent les caractères alphanumériques apparaissant sur l'écran de visualisation. Pour le moment nous n'entrons pas dans le domaine des ordinateurs et de leurs périphériques, mais nous étudierons les circuits de base qui rentrent dans la fabrication de ces machines.

Les fonctions logiques

Nous avons dit que les variables pouvaient prendre deux valeurs seulement. Une lampe peut être allumée ou éteinte, un interrupteur peut être ouvert ou fermé...

Si nous définissons l'état allumé de la lampe comme étant dans l'état 1, cette même lampe, éteinte, est dans l'état 0.

Regardons le schéma élémentaire (fig. 2a), composé d'une source de tension, d'un interrupteur et d'une lampe. Nous pouvons schématiser le circuit d'une façon plus simple (b) et écrire la relation : $X = A$, ce qui signifie que si $A = 1$ (interrupteur fermé), nous avons $X = 1$ (lampe allumée). Nous sommes également en état de résumer ces situations dans un tableau à deux colonnes (fig. 2c). Un tel tableau est courant dans la pratique logique, il est appelé « table de vérité », et résume les états que peut prendre l'interrupteur A et l'effet résultant sur la lampe X.

La première possibilité est : interrupteur ouvert ($I = 0$) ayant pour effet l'extinction de la lampe ($X = 0$). L'autre possibilité est $I = 1$ (interrupteur fermé) d'où $X = 1$ (lampe allumée).

Fonction logique ET

Compliquons un peu le circuit en plaçant en série deux interrupteurs A et B. La lampe n'est à l'état 1, c'est-à-dire allumée, qu'à la seule condition que l'interrupteur A et l'interrupteur B soient fermés. Sinon la lampe reste éteinte ($X = 0$). Les quatre possibilités d'ouverture et de fermeture des deux interrupteurs A et B sont mises en évidence dans la table de vérité (c).

On conçoit que l'insertion d'un troisième interrupteur en série ferait passer à 8 le nombre de possibilités.

Un quatrième interrupteur en série donnerait seize possibilités suivant la loi :

$$y = 2^x$$

y = nombre de possibilités

x = nombre de variables.

Puisqu'il faut comme unique condition que A ET B soient fermés pour obtenir le résultat $X = 1$, on est en présence d'une fonction ET. Cette relation s'exprime par la formule :

$$X = A \cdot B$$

(se lisant : « X égale A et B »).

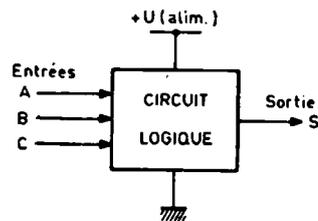


Fig. 1. - Un circuit logique comporte plusieurs entrées et une sortie.

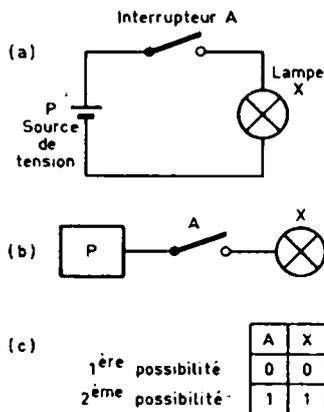


Fig. 2. - Circuit logique le plus élémentaire et sa table de vérité (a).

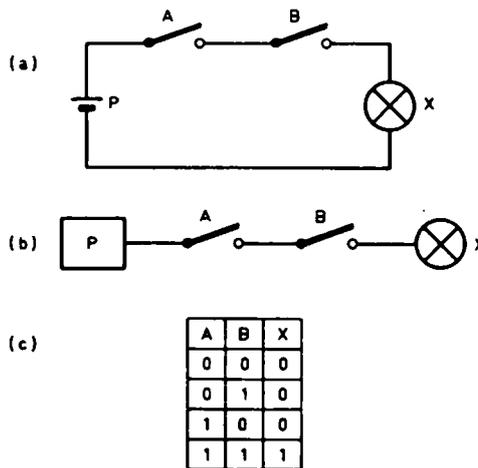


Fig. 3. - Circuit logique ET, le plus élémentaire, et sa table de vérité.



Fig. 4. - Une des représentations d'un circuit logique ET. On omet les connexions de l'alimentation.

Certains logiciens remplacent le point signifiant ET par la lettre V majuscule renversée : $X = A \wedge B$.

Cette fonction ET peut être réalisée par un circuit que nous pouvons d'abord représenter par un carré avec deux entrées A, B, et une sortie X (fig. 4).

Pour reprendre notre exemple avec les deux interrupteurs, nous pouvons imaginer cette dernière branchée en X. Elle est dorénavant non pas commandée par deux interrupteurs, mais par une tension branchée ou non à l'entrée (fig. 5). La présence de cette tension correspond à l'état 1.

Première possibilité indiquée sur la table de vérité de la figure 3 :

$$A = B = 0, X = 0$$

Deuxième possibilité, une seule entrée est branchée à cette pile :

$A = 0$ et $B = 1$, la lampe ne s'allume pas : $X = 0$

Troisième possibilité :

$A = 1$ et $B = 0$, on est ramené au cas précédent : $X = 0$

Quatrième possibilité : les deux entrées sont connectées à la pile : $A = B = 1$, la lampe s'allume, $X = 1$.

La porte ET

Que peut-il y avoir dans ce carré, que nous appellerons désormais « porte » ?

La figure 6 nous donne un circuit possible utilisant deux diodes et une résistance. Voyons maintenant son fonctionnement.

Nous savons que quatre cas sont à considérer.

1° cas : Si A et B sont reliés à la borne positive de la pile (état 1), l'anode et la cathode des diodes sont au même potentiel. La résistance interne des diodes est donc très élevée. Aucun courant ne traverse la résistance R, donc pas de chute de tension aux bornes de R, donc pas de chute de tension aux bornes de R, et le voltmètre indique sensiblement 4,5 V. On en déduit que la sortie est à l'état 1.

En résumé : $A = B = 1, X = 1$.

2° cas : Si A et B sont reliés à la masse (état 0) les diodes sont polarisées dans le sens direct (l'anode est positive par rapport à la cathode). Elles sont parcourues par un courant, et la tension à leurs bornes est de quelques dixièmes de volts. Il en dé-

coule que la tension en X est très faible et peut être considérée comme étant à l'état zéro.

En résumé : $A = B = 0, X = 0$.

3° cas : Si A est à l'état 1 et l'autre entrée à l'état 0, la présence de la diode D_1 peut être négligée puisque, comme nous l'avons vu dans le premier cas, sa résistance est très élevée. En revanche la diode D_2 est polarisée en direct, et le potentiel en X est égal à la tension aux bornes de cette diode, comme dans le second cas. Le courant dans D_1 traverse la résistance R, d'où une chute de tension aux bornes de celle-ci. Bref, la tension lue sur le voltmètre est très faible et peut être considérée comme étant zéro volt.

En résumé : $A = 1, B = 0, X = 0$.

4° cas : Pour terminer, l'entrée A est à l'état zéro et B à l'état 1, nous sommes ramenés au cas précédent.

Représentation d'une porte ET

Cette porte peut se représenter de plusieurs façons. Nous avons utilisé un carré pour nos premières explica-

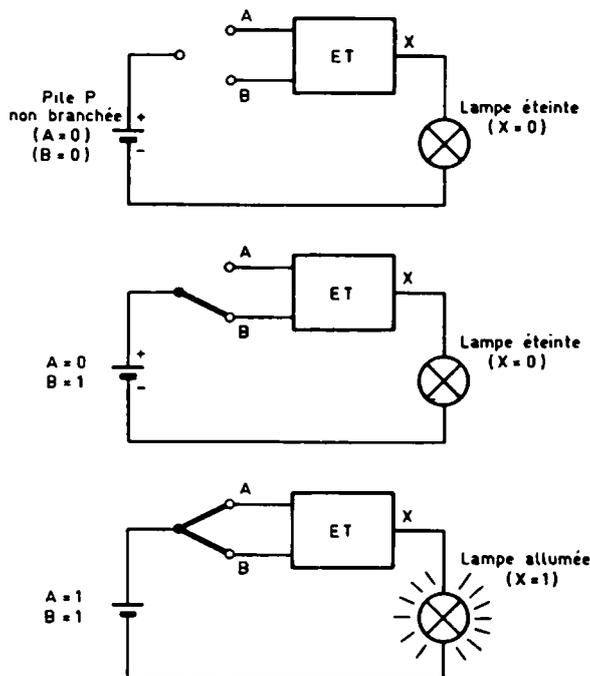


Fig. 5. - Suivant l'état des entrées, la lampe s'allume ou reste éteinte.

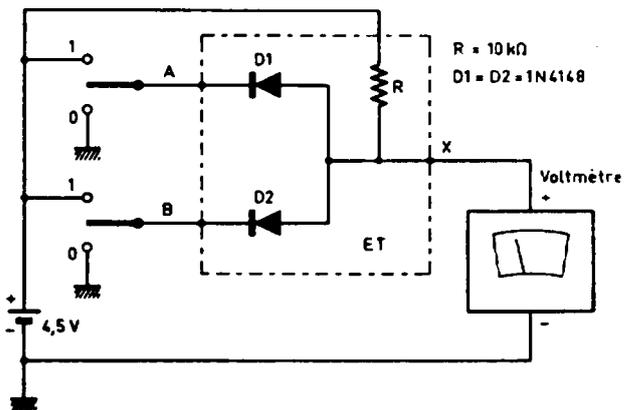


Fig. 6. - Porte ET constituée de diodes et d'une résistance.

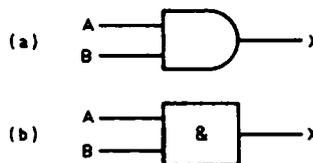


Fig. 7. - Représentations schématiques de la porte ET à deux entrées.



Fig. 8. - Circuit intégré en boîtier DIP.

tions. La représentation la plus courante est celle que l'on voit sur la figure 7a. Une autre représentation introduite par l'AFNOR est montrée en (b). Mais nous n'utiliserons par la suite que la précédente (a), qui est universellement utilisée.

La porte ET est parfois désignée par son appellation anglaise : AND.

Plus tard, lorsque vous utiliserez ces circuits, il sera bon de vous souvenir qu'une porte ET est équivalente à un circuit comportant des interrupteurs montés en SERIE. Ceux-ci doivent être tous à l'état 1 pour obtenir l'état 1 en sortie.

Fonction intégrée

Nous avons réalisé une fonction ET avec deux diodes et une résistance. Nous pouvons aussi l'obtenir avec deux interrupteurs ou deux relais électromagnétiques... mais la façon la plus rationnelle est l'utilisation des circuits intégrés.

Un circuit intégré est composé de nombreuses fonctions transistorisées. Suivant le nombre de celles-ci, il existe les circuits intégrés SSI

(« Small Scale Integration », soit en français : « Intégration à petite échelle ») comportant plusieurs dizaines de composants sur une même « puce », principalement pour réaliser des portes et des bascules.

Une autre catégorie est constituée par les circuits intégrés MSI (« Medium Size Integration » ou « Intégration à moyenne échelle ») pour les compteurs et les registres, avec plusieurs centaines de composants intégrés.

Une troisième catégorie, les LSI (« Large Scale Integration » ou « Intégration à grande échelle »), comporte plus de 1 000 composants. On les utilise par exemple dans les calculatrices de poche. Mais le progrès technologique ne s'arrête pas là, la densité d'intégration augmente sans cesse, on parle de VLSI...

Les premiers circuits intégrés ne comportaient seulement que des résistances ou des diodes en plus du transistor, c'était l'époque des familles RTL (Resistor Transistor Logic) ou DTL (Diode Transistor Logic). Ensuite on est venu à intégrer des circuits beaucoup plus denses, avec de nom-

breux transistors, d'où la série TTL (Transistor Transistor Logic).

Cette série TTL, nous allons l'employer pour nos applications pratiques, car bien qu'elle ait été conçue il y a déjà plusieurs années, elle est très largement utilisée à cause de sa facilité d'emploi et du choix très grand de son catalogue, choix qui ne cesse pas d'augmenter. Ces circuits intégrés sont disponibles avec des boîtiers différents. Nous utiliserons les boîtiers « DIP » (initiales de « Dual In line Package », c'est-à-dire boîtier à deux rangées de connexions de sortie) (fig. 8).

Qu'existe-t-il comme porte ET en circuit TTL ? Le 7408 possède quatre portes ET ayant chacune deux entrées. Nous avons vu, sur la figure 9, le schéma de ce circuit vu de dessus.

Un des grands avantages des TTL est leur facilité d'utilisation. Il suffit de les alimenter avec une source de + 5 V. La tolérance pour cette tension d'alimentation va de 4,75 V à 5,25 V, ce qui fait qu'à la rigueur, étant donné la faible consommation de ces circuits, on peut utiliser une pile neuve de 4,5 V. En revanche, on se gardera bien d'employer une tension trop élevée. La limite absolue à ne pas dépasser est 7 V, il faut s'en souvenir. Nous vous conseillons d'utiliser une alimentation donnant 5 V, cette alimentation, vous pouvez la réaliser vous-même facilement, un schéma vous est donné un peu plus loin.

De même qu'un modèle de voiture existe en plusieurs versions, les TTL peuvent exister en différentes catégories. Ainsi, le circuit intégré 7408 peut être :

- standard avec la dénomination « 7408 » (consommation de puissance 74 mW, temps de réponse 15 ns) ;
- schottky : « 74S08 » (très rapide : 4,75 ns, mais puissance consommée plus élevée : 125 mW) ;
- lower power schottky « 74LS08 » (faible consommation : 17 mW, mais 12 ns de temps de réponse).

Nous vous le disons, la technique ne cesse pas de s'améliorer, puisque le créateur de cette série (Texas Instruments) sort de nouvelles versions très améliorées : AS (1,7 ns et

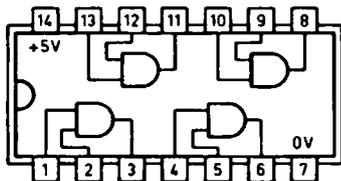


Fig. 9. - Schéma interne, vue de dessus, du circuit intégré 7408 (4 portes ET à 2 entrées).

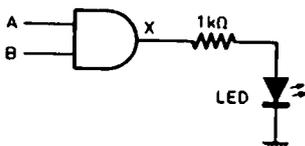


Fig. 11. - Visualisation du niveau de sortie par diode LED.

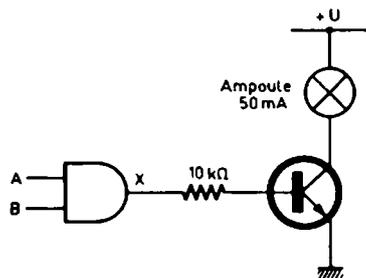
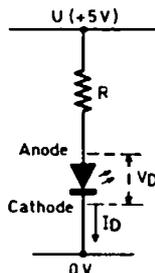


Fig. 10. - Visualisation du niveau de sortie par ampoule 50 mA.

Fig. 12. - Alimentation d'une diode LED. La présence d'une résistance est obligatoire.



1,6 mA de consommation) et surtout l'ALS (4 ns et 0,24 mA).

Nous aurons l'occasion de reparler des différentes technologies de circuits intégrés. Nous utiliserons les modèles standards, l'origine de fabrication n'a pas d'importance.

Visualisation des niveaux logiques

Pour savoir quel est le niveau logique sur les entrées ou à la sortie des portes, nous pouvons utiliser un voltmètre qui nous indiquera soit + 5 V (niveau 1), soit 0 V (niveau 0). On pourrait aussi employer une ampoule basse tension (pour lampe de poche), mais pour préserver la surcharge du circuit intégré, cette ampoule devrait être commandée par un transistor (fig. 10).

La visualisation la plus pratique est celle avec des diodes électroluminescentes (diodes photo-émisives dé-

nommées couramment « LED », light emitting diodes).

Une diode classique (germanium ou silicium), traversée par un courant direct, dépense une certaine énergie qui se manifeste sous forme de chaleur (chaleur d'ailleurs très faible). D'autres diodes semi-conductrices (à l'arséniure de gallium, GaAs) libèrent leur énergie sous forme de lumière, ce sont les LED.

Cette lumière (rouge, verte ou jaune), commandée par son courant direct, nous servira pour connaître le niveau logique des portes.

La représentation schématique d'une LED est la même que celle d'une diode de signal, avec en plus deux petites flèches émanant de la diode et représentant l'émission de lumière.

Pour ne pas surcharger la sortie, et pour ne pas détériorer la LED, une résistance est insérée en série (fig. 11). En effet, comme tout com-

posant, les diodes possèdent des limites d'utilisation.

D'abord, en ce qui concerne son bon fonctionnement, elle doit être polarisée en direct pour émettre de la lumière. Ainsi une tension positive doit être appliquée côté anode, comme indiqué sur la figure 12. Le courant I_D traversant la diode doit se trouver au-dessous de 50 mA (valeur maximale à ne pas dépasser en aucune façon). Le courant I_D habituel est situé entre 10 et 20 mA. A 10 mA, la diode émet une lumière confortable.

La tension directe V_D aux bornes dépend du type de diode. Elle se situe entre 1,4 et 1,8 V pour une LED rouge, entre 2 et 2,5 V pour les modèles jaunes ou oranges, et de l'ordre de 2,7 V pour les vertes. Cette tension V_D varie légèrement d'un modèle à l'autre.

De toute façon, il est obligatoire d'insérer une résistance de protection en série avec la diode. Son calcul est simple : $R = (U - V_D) / I_D$. S'il s'agit d'un circuit TTL, que la diode est « rouge » ($V_D = 1,6 V$) et que vous désirez la faire traverser par un courant I_D de 10 mA, la valeur de R sera : $(5 - 1,6) / 10 = 0,34 k\Omega$, la résistance à choisir sera une 330Ω 1/4 W.

Rien de plus simple également que de contrôler le bon état de ces diodes. Il suffit d'une pile 4,5 V et de la résistance R (fig. 13).

Encore une recommandation importante, elle concerne la tension inverse qui ne doit jamais dépasser 3,5 V. Autrement dit, si par hasard

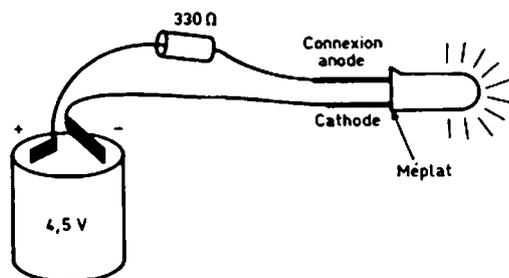


Fig. 13. - Contrôle d'une LED. L'anode doit toujours se trouver du côté « plus » de la source.

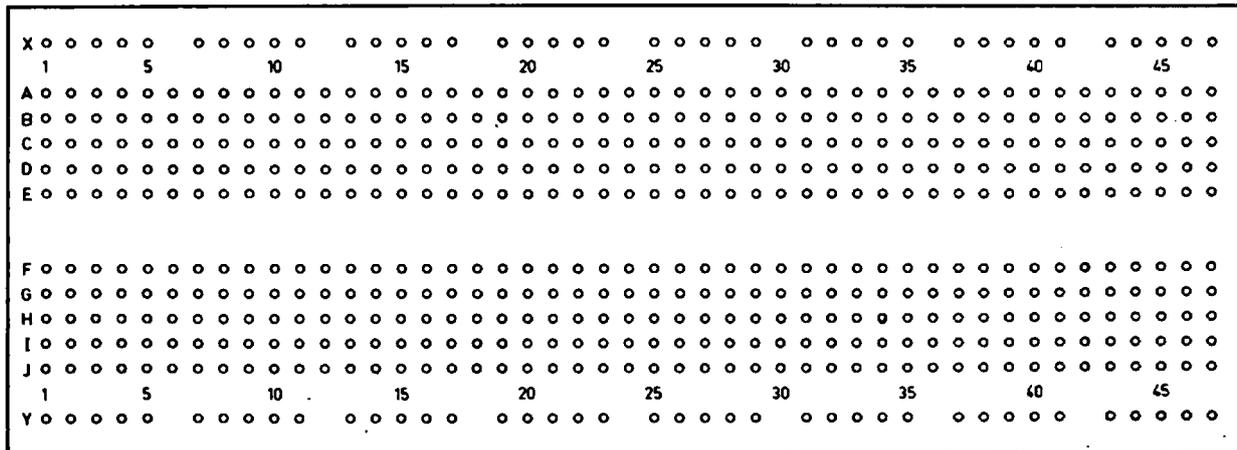


Fig. 14. - Représentation d'une plaque de connexions.

l'anode de la diode était portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode (diode bloquée), ce potentiel ne devrait jamais dépasser 3,5 V. Les LED, bien pratiques dans les circuits logiques, sont des éléments fragiles en ce qui concerne la tension.

Il reste à dire que les diodes électroluminescentes les plus courantes se présentent sous la forme d'un tube en plastique de forme circulaire à extrémité bombée, de diamètre de 3 ou de 5 mm, que leurs sorties sont repérées par un méplat (côté cathode) ou par une connexion plus longue (côté anode) (fig. 13). Il existe de nombreux numéros de type, mais ces diodes sont classées plutôt par leur couleur que par leur numéro d'appellation.

Passons à la pratique

Pour assembler les divers composants (circuits intégrés, LED...) nous préconisons une planche de câblage instantané permettant d'effectuer des montages sans soudure. Appelée aussi « plaque de connexion », ce composant est toujours très utile car il est réutilisable à l'infini. Son seul inconvénient est son prix d'achat, mais on ne regrette pas d'avoir fait son acquisition.

Le dessin d'une telle plaque est donné figure 14. Les contacts placés sur la ligne horizontale X sont reliés ensemble. Il en est de même pour les contacts de la ligne Y. La plaque com-

porte aussi d'autres contacts reliés entre eux, tels que, pour chaque colonne, ABCDE d'une part, et FGHIJ d'autre part. Autrement dit, nous avons pour chaque colonne deux groupes de cinq contacts reliés les uns avec les autres. Si vous avez des doutes sur la liaison de deux contacts, utilisez un ohmmètre ou bien un circuit sonnette (pile en série avec ampoule).

Mettons que nous vouliez réaliser le ET indiqué sur la figure 11 en utilisant un circuit intégré 7408 et une plaque de connexion, vous n'aurez qu'à disposer ces composants comme sur la figure 15.

Le circuit intégré est alimenté par un fil allant de la ligne + 5 V à la broche n° 14 et par un autre fil allant

de la sortie n° 7 à la ligne 0 V. Les broches 10 et 9 sont les entrées de la porte, elles sont reliées sur le dessin au + 5 V (niveau 1). La sortie n° 8 est connectée au + 5 V à travers une résistance de 1 000 Ω en série avec la diode LED.

Schéma de l'alimentation + 5 V

Il est donné sur la figure 16. Il se compose d'un transformateur 220 V/15 V, 3,5 W, de quatre diodes 0,5 A-40 V, d'un circuit intégré régulateur 7805 en boîtier TO-5 et de deux condensateurs de 1,25 μF. Ces composants (sauf le transformateur) peuvent être insérés sur la plaque de connexions.

J.-B. P.

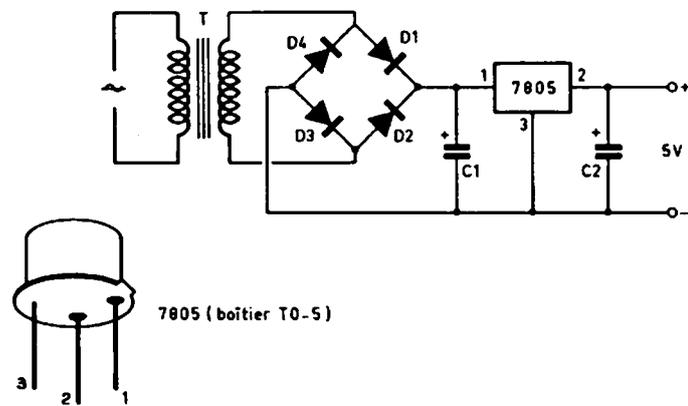


Fig. 16. - Schéma d'une alimentation 5 V pour circuit TTL.

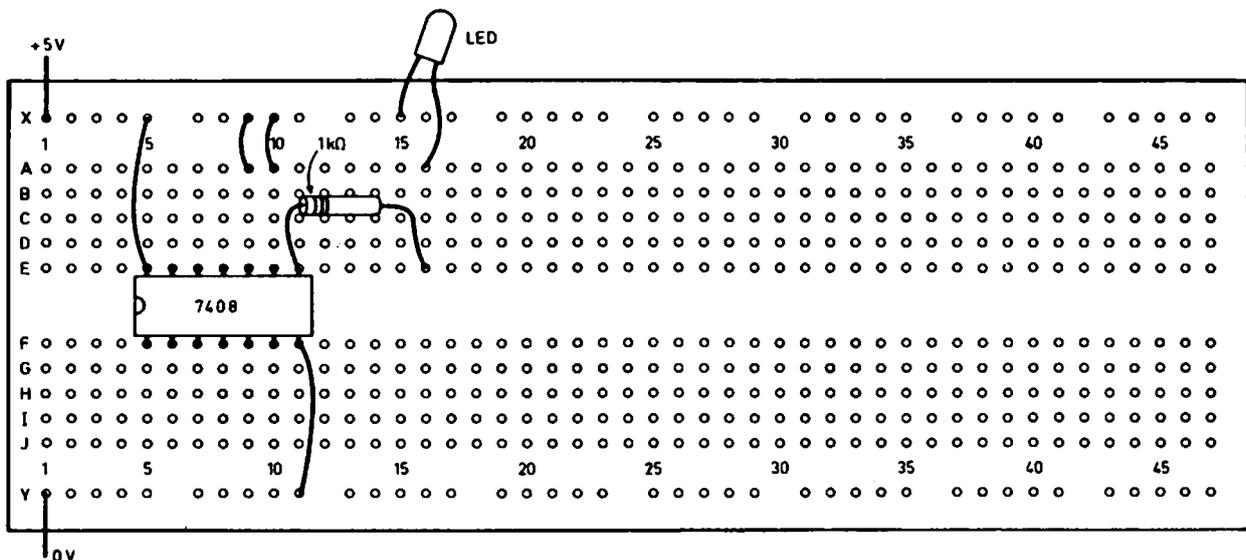


Fig. 15. - Réalisation de la fonction ET avec un circuit intégré 7408.