

INITIATION A L'ELECTRONIQUE

PREMIERS CONTACTS PRATIQUES AVEC LA NUMERATION BINAIRE

Il est temps maintenant de « voir » le comptage binaire en action. Pour cela, la meilleure méthode consiste à réaliser un compteur, lui envoyer des tops, et voir comment les niveaux de ses sorties changent.

Comment fonctionne un compteur binaire ? Il utilise une succession de « bistables » (il y

a des gens qui disent « flip-flops », mais cette dénomination, que l'on devrait réserver aux monostables, est génératrice d'erreurs).

Le bistable est un ensemble électronique qui a deux états stables. On peut en donner une réalisation simple, soit avec deux transistors, soit avec deux portes « NAND ».

La première version se réalise comme l'indique la figure 21. Les deux transistors à utiliser sont des modèles ultra-courants : tout ce qu'on leur demande, c'est d'avoir un gain supérieur à 150 pour 5 mA de courant collecteur. On peut utiliser des BC 108, BC 109, BC 237, BC 414, 2N2222, 2N1711, etc.

Les LED sont de modèle courant. Elles éclaireront peu (avec moins de 5 mA), mais assez pour qu'on les voie. La tension d'alimentation n'est nullement critique.

FONCTIONNEMENT DU BISTABLE

Dès que l'on met l'ensemble sous tension, on remarque immédiatement qu'une des LED est allumée, l'autre éteinte. C'est parfaitement normal : quand un des transistors a du courant collecteur, comme il fonctionne à la saturation (avec un courant base supérieur au quotient du courant collecteur maximal par le gain), son collecteur arrive à un potentiel presque nul. Il n'envoie donc plus de courant base à l'autre transistor.

Donc, si T_1 conduit, par exemple, ce qui allume la LED rouge, le potentiel du point (A) est presque nul, et il ne peut passer aucun courant dans R_3 , ce qui bloque T_2 , dont le courant collecteur est nul.

Réciproquement, T_2 étant bloqué, le potentiel de son collecteur (point B) est voisin de 12 V, parce qu'il n'y a pas de chute de tension dans R_2 , donc il passe, dans R_4 , un petit courant vers la base de T_1 .

Ce courant (de l'ordre de 60 μ A) est largement suffisant pour faire conduire T_1 , et l'amener même à la saturation. En effet, le courant maximal dans T_1 est de l'ordre de 4,6 mA, car il est limité par R_1 . Avec un gain supérieur à 100, il suffit d'un courant base de

moins de 46 μ A pour obtenir ce courant collecteur ; on en a 60, donc T_1 est saturé.

Autrement dit, quand un transistor est bloqué, il rend l'autre conducteur (et l'amène même à la saturation) ; quand un transistor est saturé, il bloque l'autre. Il y a donc deux états possibles :

T_1 saturé, T_2 bloqué, la LED rouge allumée ;

T_2 saturé, T_1 bloqué, la LED verte allumée.

Réalisez le petit montage, et vous verrez que l'on peut passer d'un état à l'autre. Si, par exemple, la LED rouge est allumée, touchez, avec un fil relié à la masse, le collecteur de T_2 : immédiatement la LED rouge va s'éteindre, la verte s'allumera. Le montage a, comme on dit, « basculé ». Touchez maintenant avec le même fil le collecteur de T_1 , c'est la LED verte qui s'éteint et la rouge qui s'allume.

LES BISTABLES « RS » ET LES BISTABLES « T »

Notre système est déjà intéressant. En fait, nous avons réalisé ici une cellule de mémoire RAM, qui peut garder une valeur binaire, zéro ou un. Mais nous ne pouvons pas encore l'employer telle quelle pour faire un bistable de comptage. En effet, notre montage peut être basculé :

- pour éteindre la LED rouge et allumer la verte en mettant momentanément le collecteur de T_2 à la masse ;
- pour éteindre la LED verte et allumer la rouge en mettant

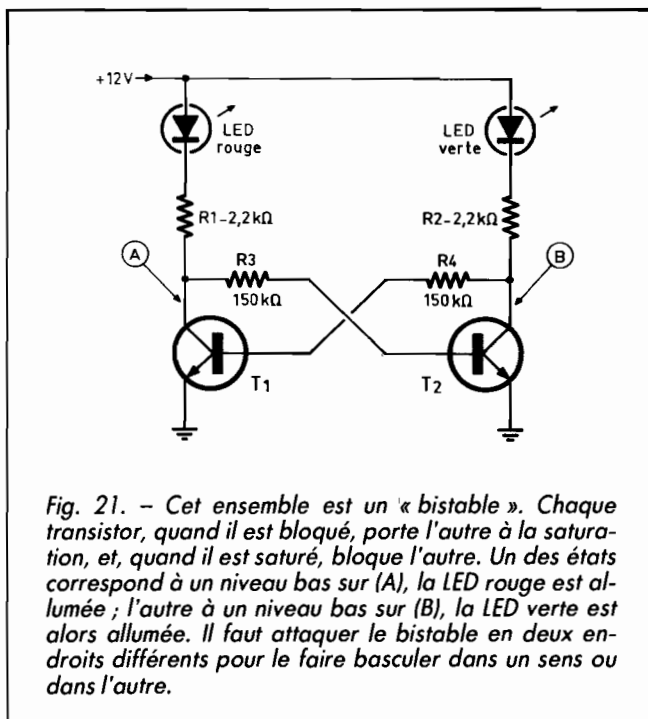


Fig. 21. - Cet ensemble est un « bistable ». Chaque transistor, quand il est bloqué, porte l'autre à la saturation, et, quand il est saturé, bloque l'autre. Un des états correspond à un niveau bas sur (A), la LED rouge est allumée ; l'autre à un niveau bas sur (B), la LED verte est alors allumée. Il faut attaquer le bistable en deux endroits différents pour le faire basculer dans un sens ou dans l'autre.

momentanément le collecteur de T_1 à la masse.

Il y a donc **deux commandes différentes** pour les deux sens de basculement. Pour une cellule mémoire, c'est parfait, une des commandes « écrit zéro » (ou efface), une autre « écrit un ».

On trouve un exemple typique de ce genre de mémoire dans les autobus, pour demander l'arrêt. Un quelconque des boutons à la disposition des voyageurs fait allumer la lampe « arrêt demandé » et signale au conducteur, par une autre lampe sur son tableau de bord, qu'un voyageur (au moins) désire descendre « à la prochaine ». L'ouverture de la porte de sortie « efface » la mémoire, en éteignant les lampes.

Quand un bistable est ainsi commandé par deux entrées différentes, l'une d'elles appelle S (comme « Set » = mis en position) et l'autre R (comme « Reset » = remis à zéro). On dit que c'est un « bistable R-S ».

Pour qu'un bistable se prête au comptage binaire, il faut que l'envoi d'impulsions sur **une seule** commande provoque le basculement, une fois dans un sens, une fois dans l'autre. Cette commande unique se nomme « T » (comme « Transition »).

Il y a peu de choses à ajouter au montage de la figure 21 pour en faire un « bistable T ». La figure 22 indique le montage complet, dans lequel on reconnaît celui de la figure 21, plus deux diodes, deux résisteurs et deux condensateurs. On a ajouté aussi le montage R_7 , R_8 , C_3 , R_9 , sur lequel nous reviendrons, destiné à obtenir un top unique à partir d'un contact (ce qui n'est pas aussi simple qu'on le croit).

Comment fonctionne le montage de la figure 22 ? On le comprend facilement.

Supposons que le bistable soit, par exemple, dans l'état où la LED rouge est allumée,

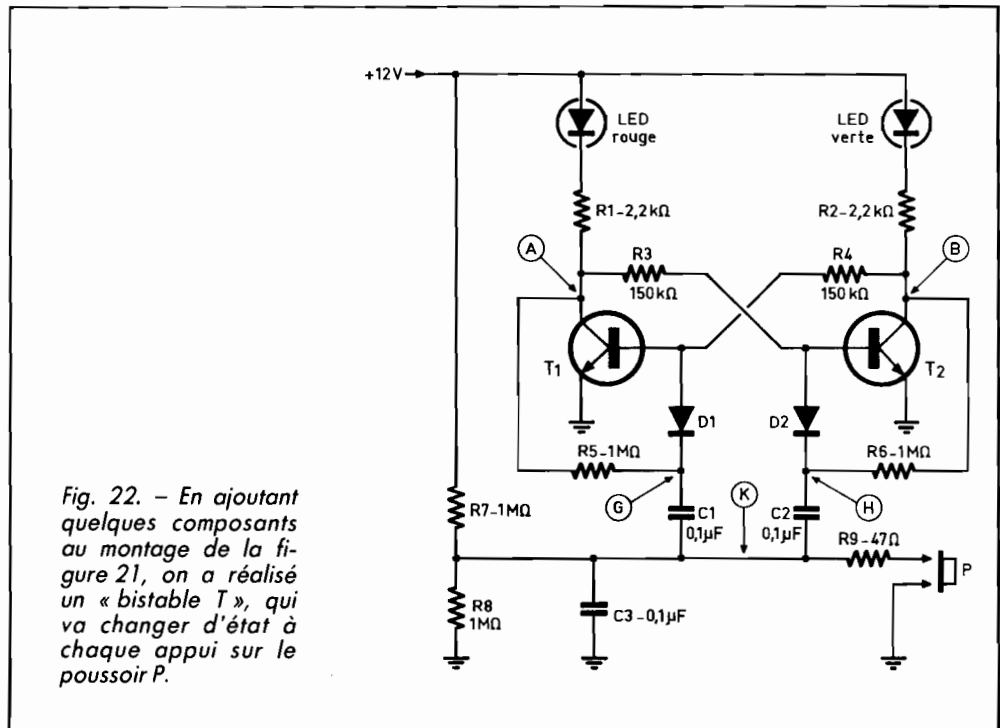


Fig. 22. — En ajoutant quelques composants au montage de la figure 21, on a réalisé un « bistable T », qui va changer d'état à chaque appui sur le poussoir P.

T_1 est saturé, T_2 bloqué, le point (A) est presque au potentiel zéro, le point (B) à plus de 10 V (il y a une chute de tension dans la LED verte, sous l'influence du courant base de T_1 , insuffisant toutefois pour allumer la LED).

Si cet état dure depuis un temps suffisant, il n'y a plus de courant dans R_5 ni dans R_6 , les condensateurs C_1 et C_2 étant chargés à leurs valeurs finales. Donc, le potentiel du point (G) est le même que celui du point (A) (presque zéro) ; celui du point (H) est le même que celui du point (B) (environ 10 V).

LE BASCULEMENT

Abaissons brusquement le potentiel du point K (qui, au repos, arrive finalement à + 6 V, quand C_3 est complètement chargé par le diviseur de tension $R_7 - R_8$), par exemple en appuyant un temps très court sur le poussoir P (le résistor R_9 est là pour limiter le courant

maximal de décharge de C_3). Quand on fait varier brusquement le potentiel d'une armature d'un condensateur, son autre armature varie autant (la tension aux bornes d'un condensateur ne peut varier d'une valeur finie en un temps quasi nul, cela exigerait une intensité presque infinie).

Donc, si nous abaissons brusquement le potentiel du point (K), ceux des points (G) et (H) baissent autant que celui du point (K), c'est-à-dire de 6 V (s'ils le peuvent). Celui du point (H) baisse de 6 V par rapport à + 10 : il arrive donc momentanément à + 4. Comme l'anode de la diode D_2 est à un potentiel voisin de zéro, cette diode, qui était bloquée, le reste, et ne transmet rien à la base de T_2 .

A l'opposé, l'anode de la diode D_1 était à environ + 0,6 V (la tension base-émetteur de T_1 saturé), et sa cathode (point G) à un potentiel presque nul. Cette diode est donc « juste au bord de la conduction » (il faut au moins 0,6 V directs pour qu'une in-

tensité notable passe dans une diode au silicium). Donc, l'abaissement du potentiel du point (G), partant de presque zéro pour aller vers - 6 V, rend immédiatement conductrice la diode D_1 .

Par D_1 , le flanc négatif produit est appliqué à la base de T_1 , qui se bloque, et le système bascule.

Comme le potentiel des points (G) et (H) ne « recopie » ceux des points (A) et (B) respectivement qu'avec des retards importants, dus aux temps nécessaires pour charger C_1 à travers R_5 et C_2 à travers R_6 , le montage, après le basculement, va lentement « préparer les diodes pour le coup suivant ».

Les diodes servent ici d'« aiguillage », permettant de n'envoyer l'impulsion de déclenchement que sur la base du transistor saturé, et pas sur la base de l'autre. Toute la clé de l'explication du fonctionnement tient dans le **retard** apporté par les durées de charge de C_1 et C_2 .

Pour les besoins de l'essai, nous avons choisi des retards importants, qui interdiraient au basculeur de répondre à des impulsions répétées rapidement : il ne s'agissait que d'une « expérience pour voir », comme les aimait Claude Bernard.

UN BISTABLE R-S A DEUX PORTES « NAND »

Pour réaliser quelque chose qui ressemble un peu plus à ce que l'on manipule couramment, indiquons sommairement comment on réalise un bistable avec deux portes « NAND ».

Utilisez un HEF 4011 (ou SN 7400 ou 74LS00) et montez-le comme l'indique la figure 23. L'ensemble de R₃, R₄, T et de la LED est ce que l'on appelle un « témoin logique »,

montrant, par l'allumage de la LED, quand la sortie (3) est au niveau haut.

Les portes « NAND » (1) et (2) ont chacune une entrée qui est maintenue au niveau haut par un résistor dit « de tirage vers le haut » (pull-up), R₁ maintenant l'entrée 1 à + 5 V, tandis que R₂ maintient l'entrée 13 à + 5 V. On n'a pas relié ces entrées directement au + 5, car on veut se laisser la possibilité de les amener momentanément au potentiel zéro.

Une porte « NAND », quand elle a une entrée au niveau haut, se comporte comme un « inverseur logique » par rapport à l'autre entrée. Autrement dit, le niveau de la sortie 3 est l'opposé de celui de l'entrée 2 ; le niveau de la sortie 11 est l'opposé de celui de l'entrée 12.

Or, la sortie 3 est reliée à l'entrée 12, la sortie 11 étant reliée à l'entrée 2 (on retrouve toujours cette sorte de « couplage croisé » dans les

bistables). Donc l'état de 3 est le contraire de celui de 2, qui est le contraire de celui de 12, qui est l'état de 3.

Tout se passe bien : un état peut très bien être le « contraire du contraire » de lui-même. Mais quelle en est la valeur ? On ne peut répondre au départ.

Supposons que la sortie 3 soit au niveau bas, donc 11 au niveau haut. La LED est éteinte, l'entrée 12 est au niveau bas. Donc, en mettant momentanément à la masse l'entrée (R), on ne provoquera aucun effet (qu'il y ait une ou deux entrées au niveau bas dans un NAND donne le même effet : sortie haute).

A l'opposé, une mise à la masse momentanée de l'entrée (S) va faire basculer le tout, la LED va s'allumer. Le bistable est alors devenu insensible à une action sur son entrée (S), mais il peut être rebasculé par une mise momentanée à la masse de son entrée (R).

Pour passer de cette structure R-S à une structure « T », les concepteurs de circuits intégrés ont bien des moyens, dont la description nous entraînerait trop loin. Il nous suffit de savoir qu'il y a essentiellement deux classes de bistables « T » :

- ceux qui sont commandés par des passages du signal de commande par différents niveaux (level-triggered) ;
- ceux qui réagissent à un front montant (ou à un front descendant) du signal de commande (edge-triggered).

Ceux que nous allons utiliser sont de la deuxième catégorie.

FAISONS CONNAISSANCE AVEC LES HEF 45018 ET 45020

Les deux circuits intégrés que nous allons rencontrer souvent à partir de maintenant

sont deux compteurs, faits d'ensembles de bistables du type T.

Le HEF 45020 est fait de huit de ces bistables, groupés en deux ensembles identiques de quatre. Il est du type C-MOS, et il présente l'intérêt de pouvoir être commandé :

- par un flanc montant du signal appliqué sur son entrée « CP » (de Clock Pulse = impulsion d'horloge), si l'on porte son entrée « non-CP » au niveau haut ;
- par un flanc descendant du signal appliqué à son entrée « non-CP », si l'on porte son entrée CP au niveau bas.

Dans chaque ensemble de quatre bistables, la sortie de chacun d'eux est disponible sur une broche du circuit. Pour le premier, le second et le troisième bistable, cette sortie est connectée à l'entrée du suivant. Pour chaque ensemble, on dispose d'une commande de remise à zéro, Z, active au niveau haut.

Le brochage du circuit est indiqué sur la figure 24. Les sorties des quatre bistables sont repérées par :

Q₁, Q₂, Q₄ et Q₈,

pour une raison qui sera expliquée plus loin. Un « prime » est ajouté aux repères des commandes et sorties du second groupe de quatre bistables.

UN PETIT MONTAGE QUI VA COMPTER EN BINAIRE

Nous décrirons plus loin un circuit imprimé réalisant d'une façon plus « professionnelle » ce que nous allons faire ici en « bricolage » (l'auteur n'attache aucune signification péjorative ni méprisante à ce terme).

Pour simplifier la réalisation, nous envisageons un générateur de tops en oscillateur Charbonnier. Nous lui avons

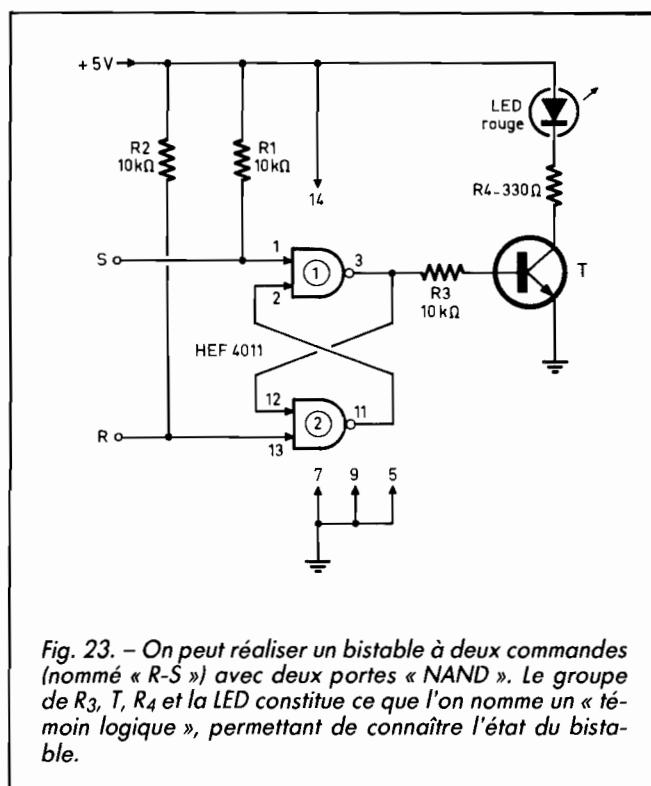


Fig. 23. - On peut réaliser un bistable à deux commandes (nommé « R-S ») avec deux portes « NAND ». Le groupe de R₃, T, R₄ et la LED constitue ce que l'on appelle un « témoin logique », permettant de connaître l'état du bistable.

prévu un commutateur à trois positions pour qu'il puisse donner :

- des signaux rectangulaires à environ 1 Hz ;
- des signaux rectangulaires à environ 10 Hz ;
- des tops sans rebondissements à partir d'un poussoir.

Nous commanderons l'entrée « non-CP » (ici le 2), l'entrée CP étant à la masse. Ainsi, le compteur est commandé par les flancs descendants des signaux d'entrée.

Pour disposer des huit étages du compteur en cascade, nous relierons la sortie du quatrième bistable (Q_4 en broche 6) à l'entrée « non CP' » du second ensemble (soit 10) avec son entrée CP' (soit 9) à la masse.

Les deux commandes de remise à zéro (fig. 25) sont normalement au niveau bas. Le poussoir P' permet de les porter momentanément au niveau haut.

Il reste à afficher les niveaux des sorties du 45020. Pour cela, nous utiliserons une solution un peu « brutale » qui consiste à faire débiter à chaque sortie Q, quand elle est

au niveau haut, un courant d'environ 3 mA, pour allumer (assez faiblement) une petite LED rouge. Comme il y a tout de même huit sorties, nous avons préféré ne pas ajouter huit transistors et huit résistances au montage.

Une seule recommandation en ce qui concerne les **dispositions** des huit LED : faites bien attention à avoir, quand vous regardez votre montage, la LED D_0 (commandée par la sortie 3) tout à fait à droite, et les LED d'indices 1, 2, 3... 6 et 7 en allant **de droite à gauche** (comme sur le schéma de la figure 25), si possible alignées, et à peu près régulièrement espacées. Ce montage serait, à notre avis, à réaliser sur une plaque type « N-DEC ».

PRETS ? PARTEZ !

Le commutateur K étant sur la position « C » (tops manuels par le poussoir P), mettez le montage sous tension. Il y aura probablement quelques LED allumées. Appuyez mo-

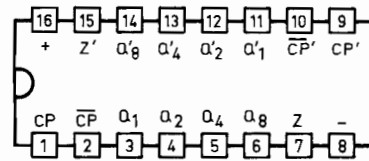


Fig. 24. - Brochage (vu côté marquage, pattes vers le bas) du circuit intégré HEF 45020, contenant huit bistables, en deux groupes de quatre.

mentanément sur P' : toutes doivent être éteintes.

Maintenant, appuyez sur P, sans le relâcher. Normalement, rien ne doit se passer : la sortie 3 du 4093 vient d'envoyer au compteur un flanc montant, qui ne doit rien déclencher.

Mais, dès que vous relâchez P, la sortie 3 va passer à l'état logique bas ; on applique donc à l'entrée du compteur 45020 un flanc descendant. Donc, le premier bistable doit basculer, et la LED D_0 doit s'allumer.

Elle sera la seule à s'allumer, car la sortie Q_0 du premier bistable vient d'appliquer à l'entrée du second (par un

couplage interne du circuit intégré) un flanc montant, qui ne le déclenche pas.

Appuyez de nouveau sur P et relâchez-le. Au flanc descendant (quand vous relâchez votre pression sur P), le premier bistable rebascule, Q_0 passe au niveau zéro, la LED D_0 s'éteint. Mais, la sortie Q_0 ayant transmis un flanc descendant à l'entrée du second bistable, ce dernier rebascule. La sortie Q_1 monte, allumant la LED D_1 , mais n'agissant pas sur le troisième bistable.

Nous n'allons pas détailler ici tout ce qui se passe pour chaque top. C'est maintenant à vous d'essayer, pour voir comment les LED réagissent.

(à suivre) J.-P. OEHMICHEN

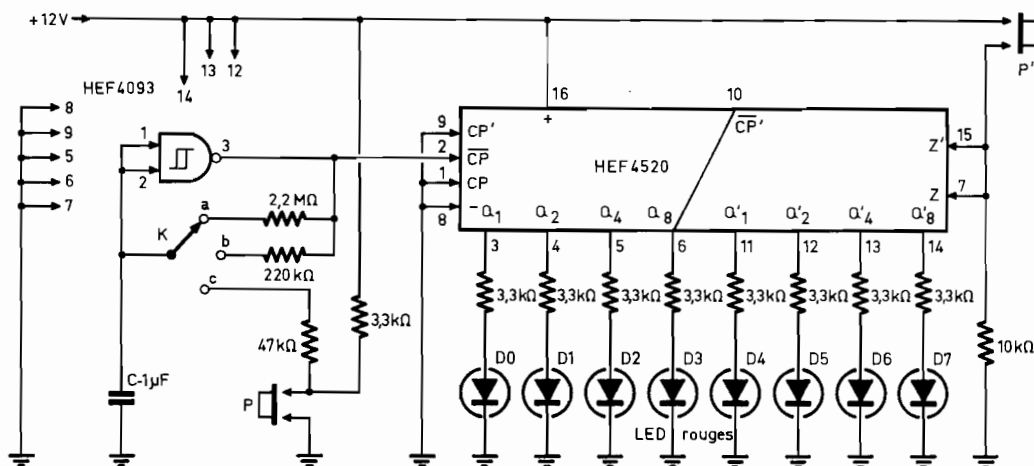


Fig. 25. - Montage d'essai, permettant de « voir » le comptage binaire, de zéro à deux cent cinquante cinq. On peut compter à environ une unité par seconde (K en a) à dix coups par seconde (K en b) ou en commande manuelle, par P (K en c). Le poussoir P' remet au zéro.