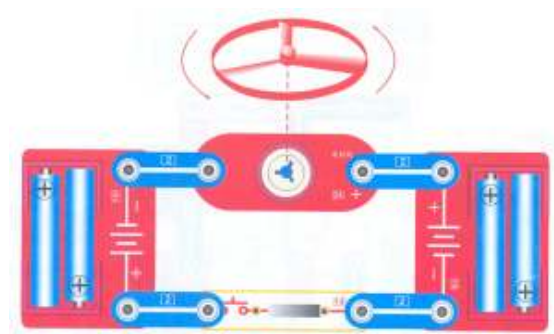


Comprendre l'électronique avec le jeu de construction Elec2

Les pièces du jeu Elec1 sont incluses dans le jeu Elec2, et les premières pages de la documentation en chinois reprennent des expériences simples que nous n'expliquons pas ici. La documentation du jeu Elec1 est distribuée avec le jeu Elec2, et cette brochure suppose que les bases sont acquises.

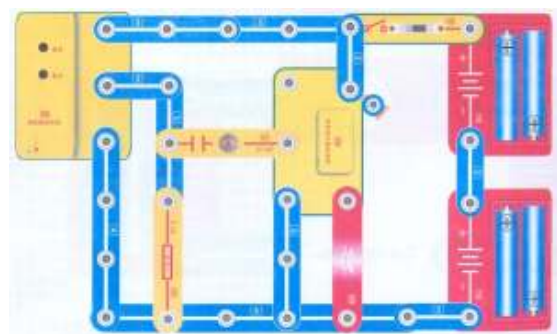


Deux montages pour néophytes

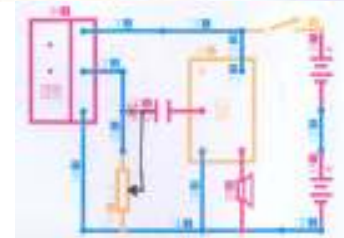


La catapulte à hélice amuse toujours. On remarque le biais dans les rainures d'entraînement pour que l'hélice ne décroche pas en accélération.

Le montage de la radio ne sera pas expliqué car tout se passe dans deux modules complexes. Les poussoirs sur le module jaune permettent la recherche de postes.



Un peu trop forte cette radio. Pouvez-vous rajouter un potentiomètre ?



La documentation en chinois comporte beaucoup d' « expériences », mais la plupart sont des variantes de la même manipulation.

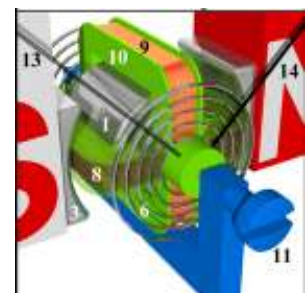
Il y a beaucoup de pièces actives différentes dans ce jeu, et beaucoup de façons de les utiliser. Cette documentation ne couvre que les composants les plus importants.

L'ampèremètre et les résistances

L'ampèremètre est un galvanomètre à cadre mobile (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Galvanom%C3%A8tre>).

L'aiguille est liée à une bobine retenue par un ressort, avec un aimant au centre. Le courant qui passe fait tourner la bobine et à cause du ressort spiral, l'angle est proportionnel au courant.

La bobine a une résistance qui limite la précision de mesure. Le mauvais ampèremètre du jeu a une résistance de 680 ohm (mesurée avec un ohmmètre). La graduation est marquée 50 mA au maximum. Est-ce juste ?

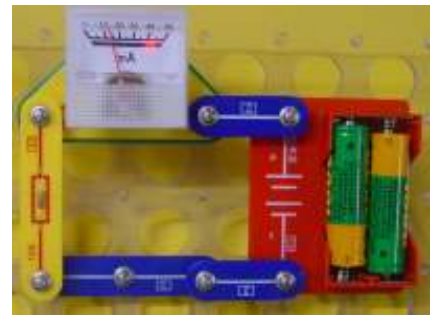


Le montage proposé met en série avec l'ampèremètre, une résistance de 5.1k Ohm ou de 10 kOhm.

On observe avec des accus (2.4 à 2.7V) les valeurs suivantes :

5.1 kOhm aiguille sur 28, 10 kOhm aiguille sur 14-15.

Quel est le courant avec 5.1 kOhm ? $I=U/R$ donc 0.5 mA. Un peu moins si on tient compte de la résistance de la bobine de l'ampèremètre. La pleine déviation correspond à 1mA. On se contentera de cette précision.



Si on met une résistance plus faible, l'aiguille gicle et c'est à éviter.

Pour mesurer des courants plus importants que 1 mA, on met une résistance en parallèle (appelée shunt). Puisque la résistance de l'ampèremètre est de 680 Ohm, une résistance de 68 Ohm en parallèle va prendre 9/10 du courant, et l'ampèremètre sera en bout de course pour 10 mA. On peut faire l'expérience avec un shunt de 100 Ohm, qui court-circuite moins que 68 Ohm. Au pif, le courant sera de 7-8 mA en bout de course. On a une idée maintenant de ce que consomme la diode lumineuse.



Attention, les diodes lumineuses du jeu sont spéciales, la résistance limitant le courant est à l'intérieur. Une LED brûle si le courant n'est pas limité par une résistance.

Un galvanomètre est aussi un voltmètre.

On a vu qu'avec 5,1 Ohm, l'aiguille dévie à moitié pour 2.6 Volts. Si on met 5V environ, elle va dévier à fond. L'aiguille indique 45 pour ce qui doit être autour de 5.2V (les accus sont bien chargés). Avec 4 piles neuves, l'aiguille doit plafonner, mais avec les 4 vieilles piles de la photo de droite, l'aiguille est sur 35 seulement. Il suffit d'ajouter une marque rouge et on a fait un testeur de piles !



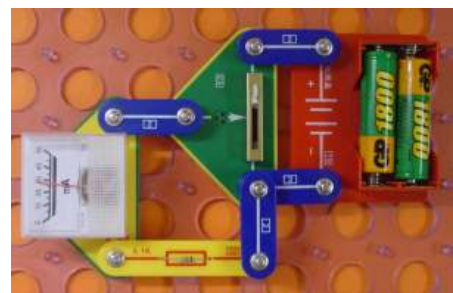
La boîte contient un potentiomètre, dont la valeur n'est pas marquée. Le principe du potentiomètre est d'avoir un frotteur qui se déplace le long de la résistance. Entre une extrémité et le frotteur, la résistance varie.

Le potentiomètre en position basse (résistance maximum) positionne l'aiguille vers la graduation 5, deux fois plus loin qu'avec la résistance de 100k. On peut donc estimer que le potentiomètre a une résistance de 47k (valeur très fréquente).



On peut aussi avec un potentiomètre générer une tension variable. Le potentiomètre est branché aux bornes d'une source de tension et la tension varie entre une extrémité de la résistance, considérée comme tension nulle, et le frotteur.

A noter que la résistance du voltmètre dévie une partie du courant, et que dans la position au milieu, on n'a pas la moitié de la tension. Avec les lois d'Ohm et de Kirchhoff (http://fr.wikipedia.org/wiki/Lois_de_Kirchhoff) on peut calculer les courants et tensions en chaque point.

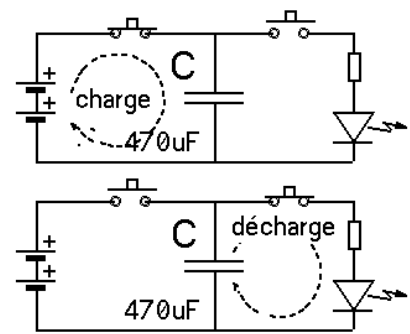


Les condensateurs

Si une résistance est comparée à un tuyau de petit diamètre qui laisse difficilement passer un courant d'eau, une capacité est un réservoir que le courant peut remplir et vider.

Si on relie un condensateur à une pile, il se charge à la même tension. Si on le déconnecte et on le relie à une diode lumineuse par exemple, il se décharge.

Que se passe-t-il si les deux poussoirs sont activés ? Est-ce dangereux ?



Réalisons le montage du schéma ci-dessus. On peut alternativement charger le condensateur et voir l'impulsion lumineuse pendant qu'il se décharge. Si l'interrupteur reste fermé, le poussoir envoie le courant dans la diode et le condensateur.

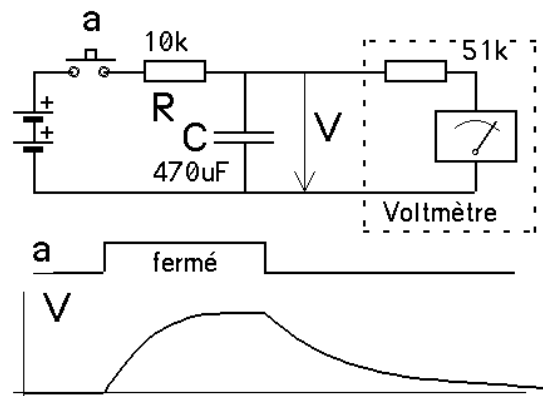
Quand on relâche le poussoir, la diode reste allumée un instant de plus, mais on ne le remarque pas.



Pour mieux comprendre le phénomène, utilisons le galvanomètre connecté en voltmètre et réduisons le courant avec une résistance. Le condensateur va mettre plus de temps à se charger à travers la résistance de 10 k. Théoriquement, le condensateur n'est jamais complètement chargé, mais quand il est à 95%, on peut dire qu'il est chargé. Si la résistance double, le temps double. Si la capacité double, le temps double. Pour atteindre 95%, la formule est :

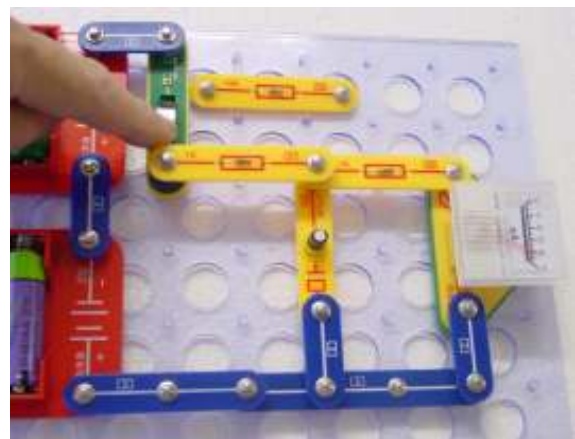
$$t = 1.5 \times R \times C. \text{ Vérifions :}$$

$$t = 1.5 \times 10'000 \times 0.000450 = 5 \text{ secondes}$$



Si le voltmètre était parfait, le condensateur ne se déchargerait pas. Ici, il va se décharger sur la résistance de 51 kOhm plus la résistance interne du galvanomètre. Cela va mettre 5 fois plus de temps. D'accord ?

Encore un point : le condensateur est polarisé. Il a un plus et un moins. Il ne faut pas le mettre à l'envers, mais à 5-6 Volts, il ne va pas exploser. Branchons-le à l'envers. Il doit avoir une plus faible capacité. Si la tension est trop élevée, il fait court-circuit, chauffe et peut exploser.



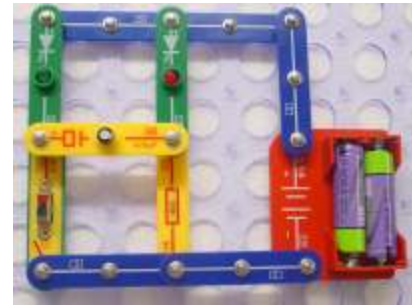
Le condensateur a deux applications principales : branché en parallèle comme ci-dessus, il fait réservoir et fournit du courant si la tension baisse. On trouve donc des condensateurs vers l'alimentation des processeurs, mémoires et autres circuits intégrés qui ont des brusques besoins pour des impulsions de courant.

La figure montre les condensateurs de découplage sur les circuits mémoire d'un ordinateur individuel de 1988.



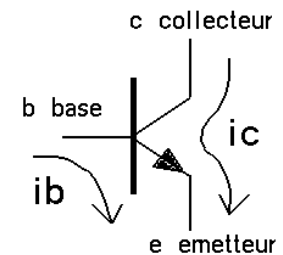
Branché en série, le condensateur laisse passer un courant variable, quand il se charge et décharge, mais ne laisse pas passer un courant continu.

Notre expérience montre que si l'interrupteur est activé rapidement, la LED rouge « copie » la LED verte. A l'arrêt, la LED rouge s'allume faiblement car la résistance de 10k limite son courant. La charge et décharge du condensateur augmente et diminue ce courant.



Les transistors N

Le transistor inventé en 1948 (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Transistor>) a révolutionné le monde. Il peut être vu naïvement comme un robinet qui avec peu de puissance permet de commander une grande puissance. Un faible courant entre ce qui est appelée la "base" et la broche "émetteur" permet un courant des centaines de fois plus grand entre le "collecteur" et l' "émetteur". $I_c = G \times I_b$. G est le gain du transistor. Les courants dépendent de la taille du transistor puisqu'ils ne sont pas parfaits: il ont une résistance interne et ils vont chauffer si le courant est excessif.

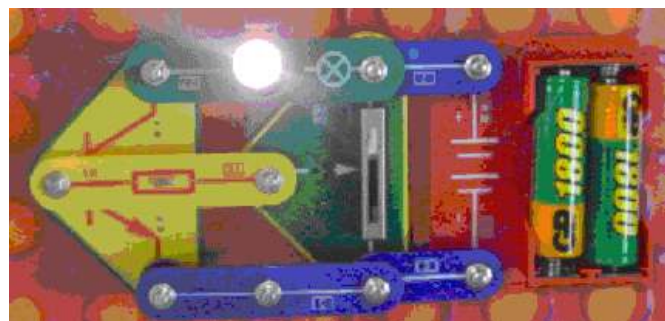
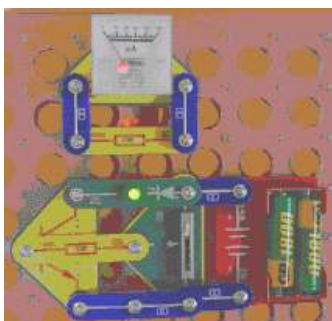


Attention la diode entre la base et l'émetteur va brûler si le courant est excessif.

Avec le montage ci-contre, on envoie un courant dans la base qui varie de 0 à $2.6V/100k\Omega = 26$ microampères. On mesure un courant de 7-8 mA quand le transistor est « saturé » par le courant de 26 uA dans la base. Le gain est donc de 250 environ. Si on remplace l'ampèremètre par une diode lumineuse qui a le même courant, on voit l'intensité lumineuse varier avec la tension donnée par le potentiomètre, donc avec le courant dans la base. Remplaçons la résistance de 100k par 10k, il suffit de bouger très peu le pot pour avoir le courant maximum dans la LED.



Remplaçons la LED par l'ampoule marquées 2.5V 0.3A. Il faut mettre une résistance de 1 kOhm dans la base pour pouvoir allumer l'ampoule à plein.

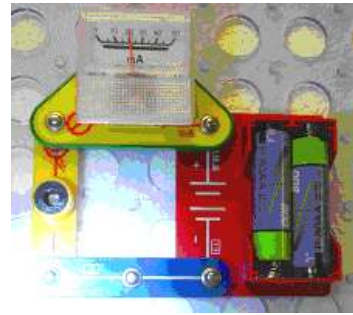


Le transistor est donc un amplificateur. Faisons un détecteur d'obscurité qui allume une lampe quand l'éclairage est trop faible.

La LDR est une résistance variable, qui augmente avec l'obscurité. Un branchement simple permet de voir si la résistance diminue assez pour allumer une LED. Oui, mais il faut une bonne lampe de poche ! Ou du soleil, mais alors, on ne voit plus si la LED est allumée !



Soyons un peu plus scientifiques. Le galvanomètre permet de mesurer le courant, donc la résistance. On a construit un luxmètre : l'aiguille bouge selon l'intensité lumineuse, qui se mesure en Lux (ou en Candela, c'est compliqué). Avec des résistances, on peut réduire la sensibilité, comme on a déjà vu. Le galvanomètre a une résistance plus grande que la LED, il faut éclairer moins pour dévier à fond.



Revenons au transistor. Si la LDR varie le courant dans la base, ce courant est amplifié : dans l'obscurité la résistance est élevée, le courant dans la base très faible et le courant collecteur ne suffit pas à allumer la LED. Mais on voit qu'il faut bien cacher le LDR pour que la LED s'éteigne. Le transistor amplifie bien, mais ce que l'on veut, c'est que la LED s'allume dans l'obscurité et pas l'inverse.



Modifions le schéma pour qu'une résistance de 100 kOhm fasse conduire le transistor et allume la LED, et la LDR dévie une partie du courant vers le moins, donc réduit le courant dans la base. Si c'est éclairé la résistance est faible, il y a moins de courant pour faire conduire le transistor, la LED s'allume.

Avec 100k en éclairage artificiel, la LED est allumée, mais il suffit de se rapprocher un peu de la lampe, ou aller dehors s'il fait jour pour qu'elle s'éteigne.



Vous voulez faire l'expérience sur 24 heures, est-ce que les piles vont tenir ?

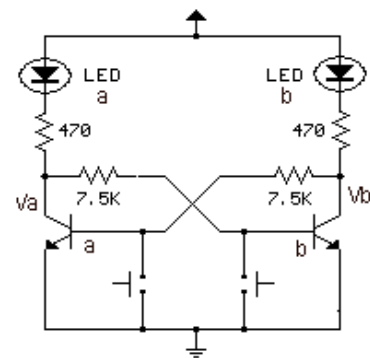
Allumé, c'est la diode qui consomme, environ 10 mA

Eteint, le courant dans la base est de $3V/100k\Omega = 0.03mA$, négligeable.

Donc en 24 heures on aura $12 \times 10 \text{ mA} = 120 \text{ mAh}$ (théorique au solstice). Cela peut marcher toute une semaine, mais utilisez des accus rechargeables !

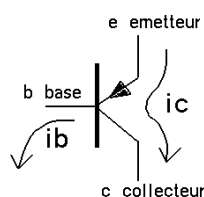
Il n'y a malheureusement pas deux transistors de type N dans la boîte pour réaliser une bascule bistable, élément de base des ordinateurs et mémoires.

La figure montre comment les transistors sont interconnectés. Si le transistor "a" de gauche conduit, la LEDa est allumée et la tension V_a est proche de zéro. Donc le transistor "b" ne conduit pas, la LEDb est éteinte et la tension V_b est maximale, ce qui explique que "a" soit saturé. La situation est stable et si l'on pèse sur le bouton de gauche on bloque le transistor "a" et la situation s'inverse en quelques nanosecondes.

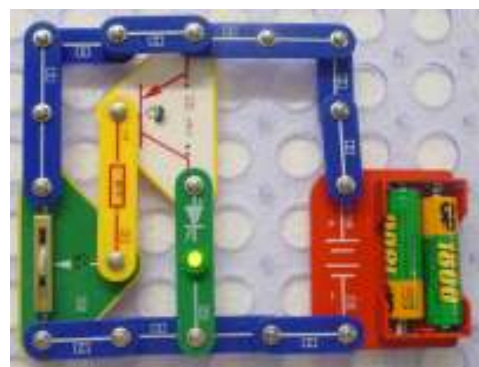


Les transistors P

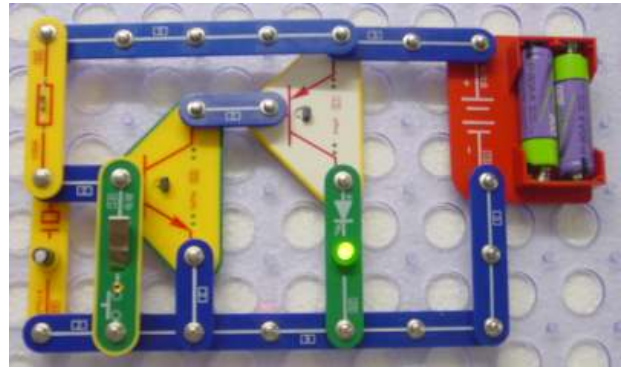
Il y a deux grandes catégories de transistors, les N et les P. Ils sont dits complémentaires, le principe de fonctionnement est le même, mais les courants et les tensions sont inversés.



On voit que le potentiomètre doit être en bas pour que le transistor sature. La résistance de 1 à 10K sur la base est nécessaire car si le potentiomètre est à zéro sans cette résistance, le courant passe du + au - à travers la diode émetteur-base et le courant est excessif (risque de destruction du transistor).



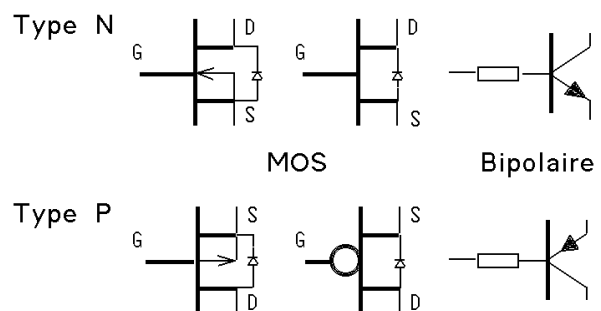
L'utilisation d'une paire de transistors permet d'avoir une amplification très grande, donc des courants très faibles en entrée pour commander le courant de sortie. Dans le montage ci-contre, une résistance de 100 kOhm charge le condensateur de 470 μ F. Pour que la tension aux bornes du condensateur atteigne les 0.7V nécessaires pour que ce transistor conduise (et le suivant aussi), il faut un temps $t=RxC = 5$ secondes, ce que l'on constate.



Avec 1 Megohm, il faut plus d'une minute de patience avant que la LED s'allume. Le poussoir décharge le condensateur et redémarre l'expérience.

Les transistors MOS N et P

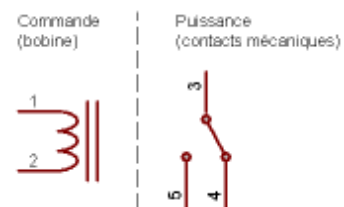
Les transistors MOS sont activés par une tension et pas par un courant. Ils sont préférés pour des actions en tout-ou rien, par exemple commander des moteurs. Une diode de protection à l'intérieur de la plupart de ces transistors N est nécessaire pour couper les surtensions quand on coupe le courant dans la bobine d'un moteur. Il existe une version N et une version P, moins bonne (c'est-à-dire qu'il y a une résistance interne plus grande).



Il n'y a pas de transistors N dans le jeu. On aurait pu faire les mêmes expériences qu'avec les transistors bipolaires, en économisant une résistance.

Le relais

Le relais est un électro-aimant qui ferme un contact lorsque le courant passe. L'intérêt est de séparer la commande, à basse tension faible puissance, et l'action (moteur, lampe) qui est à une tension différente, par exemple du 220Volts.

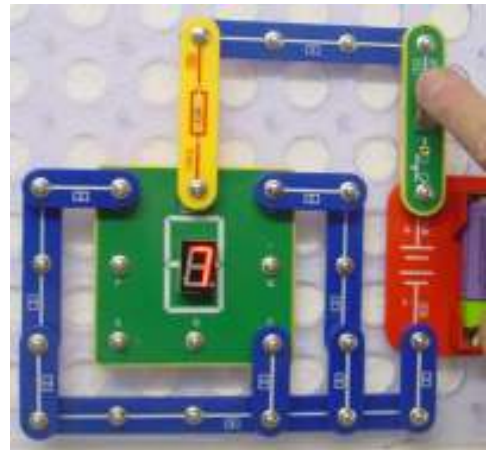


Un relais peut jouer le rôle d'une mémoire, si le fait d'avoir été excité ferme un contact qui maintient l'excitation. Il faut un autre contact pour supprimer l'excitation. On a de nouveau fait une bascule. Dans le schéma ci-contre, on voit que le courant qui passe par la LED quand la bobine fait coller le contact passe ensuite par la bobine si l'interrupteur est ouvert. La diode reste allumée jusqu'à ce que l'on court-circuite la bobine ce qui fait décoller le relais et éteindre la LED.



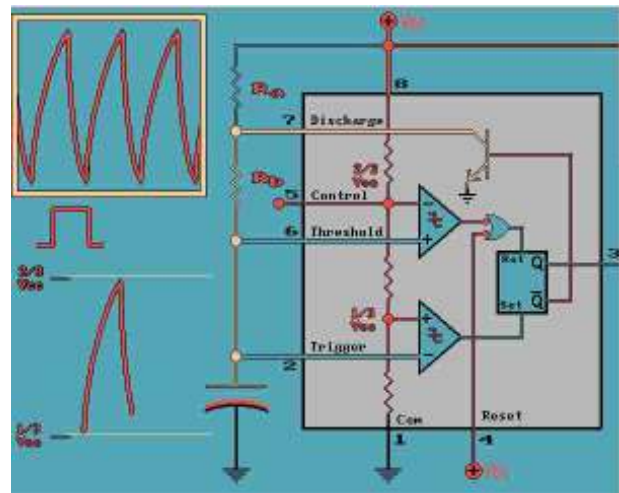
L'affichage 7-segments

L'affichage est formé de 7 diodes lumineuses avec leur résistance de limitation de courant. Cette résistance est absolument nécessaire. Attention, elle n'est pas toujours mise sur les montages de la documentation en Chinois. A part comprendre comment on forme les différents chiffres, on ne peut pas faire des expériences très intéressantes avec cet affichage : il faudrait un microcontrôleur pour commander les sorties.



Le 555

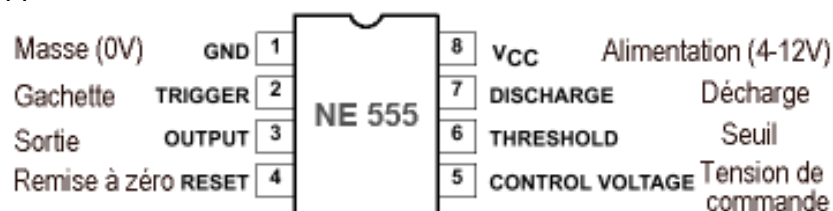
Le 555 est un circuit intégré qui depuis 30 ans est utilisé pour faire des oscillateurs, temporisateurs, amplificateurs. Il y a des livres entiers et de nombreux sites internet qui décrivent ce circuit. Contentons-nous d'expliquer l'élément central du 555, une bascule bistable qui est mise à un, mise à zéro quand des entrées atteignent certains niveaux de tension. On fait un oscillateur avec un condensateur qui se charge et décharge à une vitesse qui dépend de deux résistances. L'animation que l'on peut voir sur le site



http://www.williamson-labs.com/pu-aa-555-timer_fast.htm

aide à bien comprendre ce fonctionnement.

Les numéros de pins sur l'élément du jeu et sur la figure ci-dessus correspondent aux numéros du boîtier 8 pattes que l'on peut mettre sur une carte verobord pour faire l'une des nombreuses applications.



Liens pour étudier le 555

Le Timer 555

<http://etronics.free.fr/dossiers/analog/analog60/LE555.htm>

Le 555 et ses différents montages →20 montages 16 liens

<http://pagesperso-orange.fr/sam.electroastro/dossiers/555/555.htm>

Temporisateur Ne555 – 2 pages

<http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abati/555.htm>

Ne555

<http://fr.wikipedia.org/wiki/NE555>

Timer tutorial by Tony van Roon (10p)

<http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/555/555.html>

Exemples sur plaque augat (10p)

<http://www.doctrionics.co.uk/555.htm>

Philips application note (19p)

http://www.doctrionics.co.uk/pdf_files/555an.pdf

555 timer IC

http://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC

A suivre ?

Cette notice ne parle pas des capteurs, des modules musique et radio dont la fonctionnalité est difficile à deviner. Une version ultérieure plus complète est prévue.

Pour continuer

Le [simulateur de logidules](http://www.memoires-informatiques.org/logidules/) (<http://www.memoires-informatiques.org/logidules/>) permet de tester des montages logiques.

On peut également utiliser le [simulateur de Tetzl](http://www.tetzl.de/java_logic_simulator.html) (http://www.tetzl.de/java_logic_simulator.html).

Le [simulateur de Dauphin](http://www.epsitec.ch/dauphin) (<http://www.epsitec.ch/dauphin>) permet de comprendre le fonctionnement d'un processeur et de se préparer à utiliser des microcontrôleurs.

Bien du plaisir.

J.D. Nicoud, avril 2008

PS : ne laissez pas votre boîte se dégrader, le carton est fragile ! Un peu de bande collante bien choisie et bien placée garde tout en ordre pendant longtemps.

