

Chapitre 11 - Les compteurs

À quoi sert un compteur ?

C'est très simple : un compteur **sert à compter**, comme dirait Monsieur de Lapalisse ! Mais quoi au juste ? Les impulsions électriques que nous savons maintenant produire.

La figure 11.1 montre un signal électrique présentant des signaux carrés qui se suivent au cours du temps ; si les signaux se suivent de façon régulière avec toujours la même période, on parle d'un **signal périodique** encore appelé **signal d'horloge**. On a vu que c'était très facile de générer un signal d'horloge avec un tiers de CI 7414, une résistance (éventuellement ajustable) et un condensateur. En comptant les impulsions carrées, on peut compter le temps qui s'écoule et cela peut être pratique dans certaines applications de modélisme ferroviaire.

Si les signaux se suivent sans présenter de régularité, les impulsions carrées peuvent avoir été générées par un phénomène aléatoire, par exemple le passage de gens devant une barrière photoélectrique. On peut tout de même compter ces impulsions pour connaître le nombre de personnes entrant dans une salle. Sur un réseau de trains miniatures, on peut compter le nombre de wagons passant à un endroit, et si on fait cette opération à deux endroits différents, on peut savoir si aucun wagon n'a été perdu entre les deux endroits.

Signal aléatoire



Signal périodique

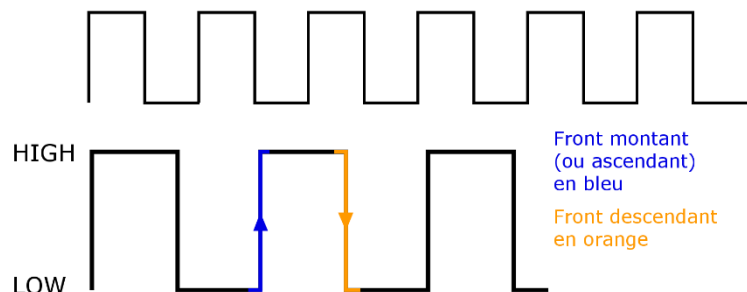


Figure 11. 1

On voit donc tout l'intérêt des compteurs dans l'électronique moderne. On appelle **front montant** la partie du signal lorsqu'il passe de l'état bas à l'état haut (représenté en bleu sur la figure 11.1) et **front descendant** lorsque celui-ci passe de l'état haut à l'état bas (en orange sur la figure 11.1). Certains compteurs réagissent aux fronts montants et d'autres aux fronts descendants, mais compter les fronts montants (ou descendants) revient bien à compter le nombre d'impulsions.

Apprendre à compter

Tout le monde sait compter. Vous savez compter, n'est-ce-pas ? Mais en êtes-vous si sûr ?

En général, on compte en base 10, simplement parce que nous avons dix doigts et que pour cette raison, cette méthode s'est imposée. Faisons un petit rappel ; il existe 10 chiffres ayant chacun un symbole différent, noté de 0 à 9, et rangés selon un certain ordre (0, 1, 2, 3, 4,... vous le savez !). On parle d'une suite ordonnée.

Ajouter 1 à un chiffre revient à prendre le symbole d'après : exemple $3 + 1$ donne 4, puisque 4 est rangé juste après 3. C'est simple, mais que se passe-t-il lorsqu'il n'y a pas de symbole au-dessus, le cas du chiffre 9. On retombe à zéro, mais on a ce qu'on appelle **une retenue**, qu'on écrit à gauche du chiffre 0. On peut dire $9 + 1$ donne 1-0 et ça se prononce dix (et s'écrit 10).

Et si nous n'avions eu qu'un seul doigt à chaque main ? Il est fort probable que nous aurions compté en base 2, encore appelé **binaire**. C'est comme cela que comptent nos ordinateurs puisque ceux-ci ne savent reconnaître que deux états (0 V ou 5 V, LOW ou HIGH, 0 ou 1). La méthode est la même, mais on est vite limité par le fait que notre suite ordonnée ne contient que deux membres. Si on veut ajouter 1 à 1, il n'y a pas de symbole au-dessus de 1, donc on retombe à zéro, avec une retenue qu'on place devant. En binaire 1 + 1 donne 1-0, qu'on écrit 10 mais qu'on ne prononce pas 10 !

Il y a d'autres systèmes de numération, l'**octal** par exemple (base 8) et aussi l'**hexadécimal** (base 16). Dans ce dernier cas, il faut 16 symboles pour repérer 16 chiffres : on a déjà de 0 à 9, et bien on complète avec A, B, C, D, E, F (ce qui fait bien 16 chiffres). L'hexadécimal est très utile à ceux qui programment ; cela permet de mieux lire la valeur d'un octet (ensemble de 8 bits pouvant être 0 ou 1) mais ceci est une autre histoire que nous développerons plus tard.

Comptage en décimal

Regardez le tableau suivant ; à chaque impulsion comptée, on passe à la ligne suivante.

[illegible]

Lorsqu'on ajoute 1 à 9, on obtient 0 et une retenue (Carry en anglais). Si on continue à compter, on obtiendra à nouveaux les mêmes lignes.

Si chaque colonne du tableau représente une sortie du compteur reliée à une LED verte, nous avons la séquence d'allumage des LED ; elles s'allument les unes après les autres, comme un chenillard.

Comptage en binaire

Regardez le tableau suivant ; à chaque impulsion, on passe à la ligne suivante.

Retenue	1	0

Comme je l'ai expliqué, la retenue se met devant le 0, la dernière ligne est donc équivalente à 1-0.

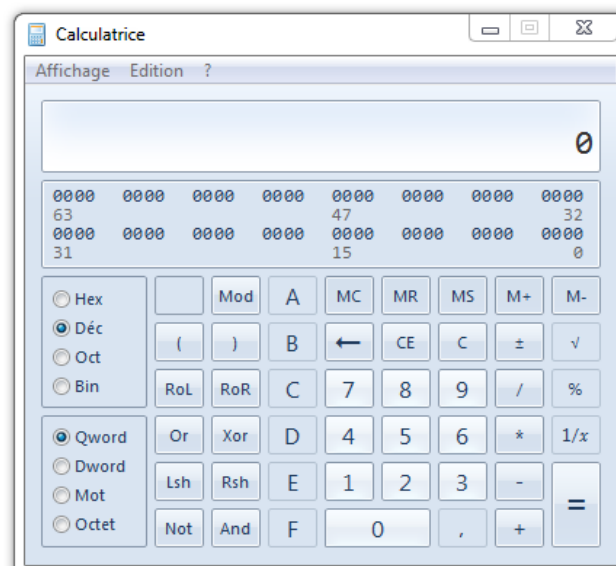
Le tableau suivant compte en binaire ; à chaque impulsion, on passe à la ligne suivante.

Binaire				Décimal
			0	0
			1	1
		1	0	2
		1	1	3
	1	0	0	4
	1	0	1	5
	1	1	0	6
	1	1	1	7
1	0	0	0	8

À gauche, on a le nombre (composé de plusieurs chiffres) en binaire, à droite son équivalent en décimal. On peut compléter le tableau vers le bas de façon analogue.

Si les colonnes en blanc représentent les sorties du compteur reliées à une LED verte, nous avons la séquence d'allumage (LED allumée pour sortie à 1). On constate que la colonne la plus à droite clignote deux fois plus rapidement que la colonne située à sa gauche, elle-même clignotant deux fois plus rapidement que la colonne située à sa gauche, etc. D'une colonne à l'autre, la fréquence double à chaque fois.

Pour terminer ce cours de comptage, vous pouvez vous amuser avec la calculatrice de Windows 7 ; vous la trouverez dans Démarrer > Tous les programmes > Accessoires. Une fois ouverte, allez dans le menu Affichage et sélectionnez le mode Programmeur. Dans la partie gauche de la calculatrice, sélectionnez Déc pour décimal ; entrez le nombre 15, puis sélectionnez Hex pour visualiser 15 en hexadécimal (vous obtenez F), puis en octal (17, normal c'est 1 fois 8 + 7), puis en binaire (1111). Grâce à la technologie moderne, vous savez maintenant compter dans quatre bases différentes : plutôt cool non ?



En électronique, on peut fabriquer des compteurs qui comptent en binaire ou en décimal, mais aussi en octal ou en hexadécimal, et d'autres façons aussi comme le BCD (Binary Coded Decimal ou encore décimal codé binaire). Pour nos applications de modélisme ferroviaire, nous utiliserons les deux premiers modèles, ce qui n'est déjà pas si mal.

Compteur décimal CD 4017

C'est un CI à 16 broches acceptant une tension d'alimentation comprise entre 3 et 18 V, le + étant relié à la broche 16 et le – à la broche 8. Il consomme très peu : quelques microampères à l'état de repos et quelques milliampères lorsqu'il compte à sa fréquence maximale d'une dizaine de MHz sous 9 V. Les sorties délivrent 3 à 5 mA sous 10 V, ce qui est insuffisant pour bien allumer une LED ; le signal doit donc être amplifié. Par contre, une sortie est capable d'alimenter des centaines d'entrée d'autres circuits CMOS. Onze broches délivrent les signaux de sortie S0 à S9 plus la retenue R (Carry Out en anglais) et 3 broches sont destinées aux entrées : l'entrée d'horloge (sur la broche 14, clock en anglais), la RAZ (remise à zéro du compteur (broche 15), Reset en anglais) et une entrée qui est le signal de validation V (broche 13, Clock inhibit en anglais). La figure 11.2 montre le brochage du CD 4017.

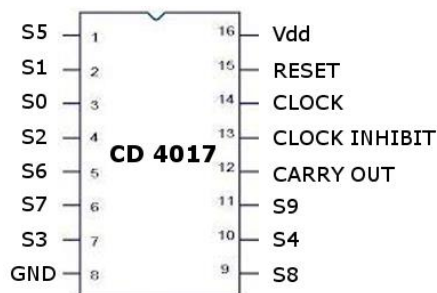


Figure 11. 2

Le compteur avance au rythme des fronts montants (on dit aussi ascendants ou positifs) présentés sur l'entrée d'horloge (CL pour clock en anglais) à condition que l'entrée de validation V (clock inhibit en anglais) soit à l'état bas. Si cette entrée est à l'état haut, le compteur se fige sur la position qu'il avait au moment où V est passé à l'état haut.

Toute impulsion positive sur l'entrée RAZ (Reset en anglais) remet le compteur à zéro (signal haut sur S0).

Le compteur avance donc normalement tant que V et RAZ sont à l'état bas. La sortie R (retenue, report ou carry en anglais) est destinée à être reliée à l'entrée d'horloge d'un autre compteur du même type. En effet, le signal R est à l'état haut quand une des sorties S0 à S4 est à l'état haut et R est à l'état bas quand un état haut est sur une des sorties S5 à S9. En conséquence, le signal R présente un front montant lorsque le compteur passe de S9 à S0 (cycle terminé). Le deuxième compteur réagira à ce front montant.

La figure 11.3 montre le chronogramme du compteur. Les chronogrammes sont présentés dans les datasheets des circuits intégrés et représentent l'état des signaux de sortie en fonctions des signaux d'entrée ; il est donc utile de s'habituer à les lire. Tout ce qui a été dit plus haut se retrouve sur le chronogramme de la figure 11.3 ; le compteur avance au rythme des fronts montants tant que V et RAZ sont à l'état bas. Un peu plus loin, on voit une remise à zéro (en orange) et encore un peu plus loin, un figeage du compteur par le signal de validation (en bleu).

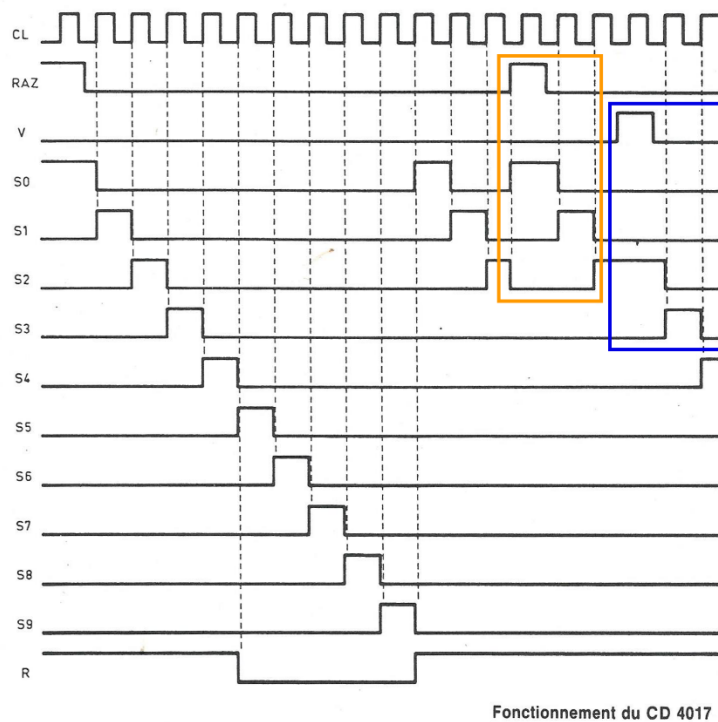


Figure 11. 3

Compteur binaire CD 4040

C'est un CI à 16 broches, alimenté par une tension de 3 à 18 V, capable de compter en binaire à une fréquence maximale de 16 MHz. Ce compteur dispose de 12 sorties (Q0 à Q11) et est capable de compter de 0 à 4095 (2 puissance 12 donne 4096).

Deux broches d'alimentation (la 8 et la 16), douze broches de sortie, il reste donc deux broches d'entrée : l'entrée d'horloge clock ou Φ (broche 10) et la remise à zéro (Reset, broche 11) active à l'état haut (elle doit donc être à l'état bas pour que le compteur avance normalement). La figure 11.4 montre le brochage du CD 4040 (les sorties sont numérotées Q1 à Q12).

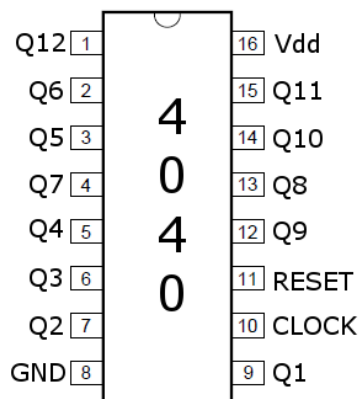


Figure 11. 4

Le compteur avance au rythme des fronts descendants si Reset est à l'état bas. Le chronogramme de la figure 11.5 montre les signaux de sorties dont la période est doublée à chaque fois (fréquence divisée par deux) comme on s'y attendait.

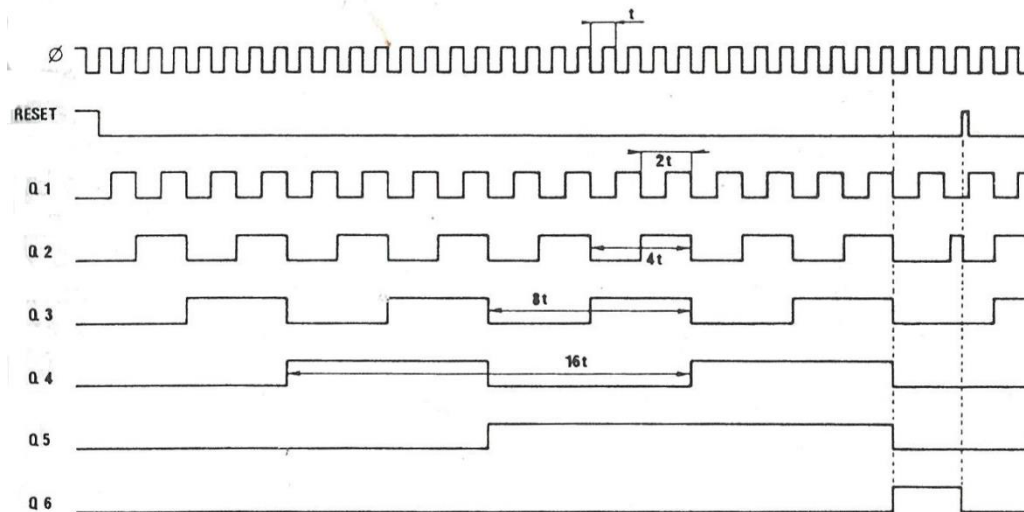


Figure 11. 5

Le compteur CD 4040 est muni d'un trigger de Schmitt interne en amont de la chaîne de comptage, ce qui permet de présenter sur l'entrée d'horloge des signaux qui ne seraient pas parfaitement carrés.

Dans la même catégorie de compteurs binaires, on trouve aussi le CD 4024 à 14 broches et 7 étages, capable de compter de 0 à 128, et le CD 4020 à 16 broches et 14 étages, capable de compter de 0 à 16383 (attention, les sorties Q2 et Q3 n'existent pas ; 12 sorties seulement sur les 14 qui sont Q1 et de Q4 à Q14).

À retenir sur les compteurs :

- Les compteurs sont des CI qui servent à compter les impulsions électriques de certains signaux.
- Il y a plusieurs façon de compter : en décimal, en binaire, en octal, en hexadécimal et il existe des compteurs pour chaque cas.
- En modélisme ferroviaire on utilise surtout des compteurs décimaux (comme le CD 4017) et des compteurs binaires (comme le CD 4040).
- Certains compteurs ont une sortie Retenue (Carry), ce qui permet d'en mettre plusieurs en cascade pour augmenter l'intervalle de comptage.
- Il est nécessaire d'apprendre à lire les chronogrammes donnés dans les datasheets des composants, notamment pour les compteurs.

Application en modélisme ferroviaire des compteurs décimaux

1- Chenillard

Le compteur décimal CD 4017, dont les sorties s'activent les unes après les autres, peut servir à concevoir un chenillard. Vous pouvez aller jusqu'à 10 LED puisque le 4017 a dix sorties, mais vous pouvez aussi vous limiter à moins de LED, par exemple 7. Dans ce cas, les LED sont montées sur les 7 premières sorties (S0 à S6) et la huitième sortie S7 est reliée à l'entrée de RAZ (Reset). Ainsi lorsque cette sortie passe à l'état HIGH, cela remet le compteur à 0 ; le cycle du chenillard recommence à partir de la première LED sans interruption. Si on veut introduire une interruption, on ne boucle pas avec l'entrée RAZ ; le cycle fait allumer successivement les 7 LED, puis présente une pause puisque les autres sorties sont non branchées, et recommence à la première LED normalement. Vous êtes maintenant tout à fait capable de concevoir votre chenillard.

En utilisant deux circuit CD 4017, on peut réaliser un chenillard allant jusqu'à 100 LED ; dans ce cas, les LED doivent être montées en matrice (10 x 10). Le premier compteur sélectionne les colonnes et le deuxième sélectionne les lignes. La figure 11.6 montre le montage pour une LED : pour qu'elle s'allume, il faut un niveau haut sur la colonne (rouge) et bas sur la ligne (bleue).

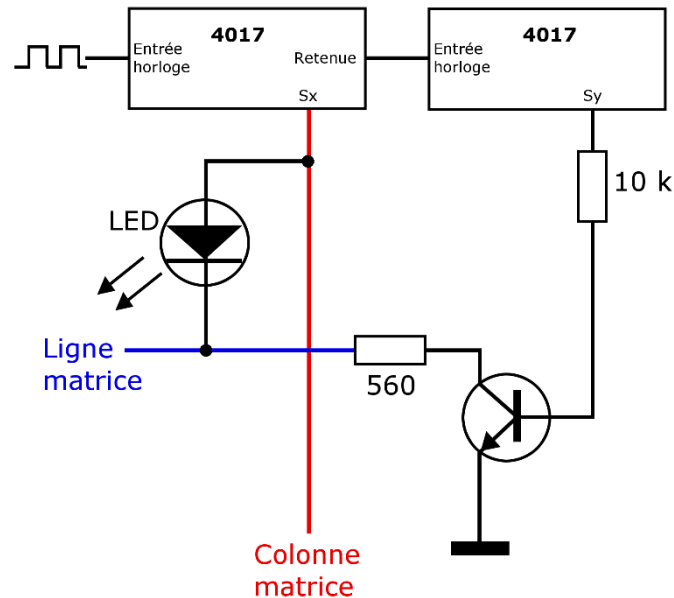


Figure 11. 6

Les colonnes sont reliées au premier CD 4017 (Sx) qui fera flasher successivement les 10 LED d'une même ligne. Arrivé au bout, il enverra un signal de retenue (Carry Out) qui sera envoyé vers l'entrée d'horloge du deuxième CD 4017, celui qui gère les lignes. Le deuxième CD 4017 avance alors d'un cran et passe à la sortie suivante (Sy). Le signal de sortie de ce deuxième CD 4017 est repris par un transistor NPN qui agit en inverseur et met la ligne à l'état bas. Vous êtes maintenant capable de concevoir la suite de ce montage (il n'y a qu'à compléter le schéma de la figure 11.6 cent fois !). Bien entendu, vous n'êtes pas obligé d'utiliser 100 LED, vous pouvez vous limiter à moins (60 par exemple si vous voulez les disposer en cercle pour reproduire l'avancement d'une trotteuse au fil des secondes qui s'écoulent). Comme ce n'est plus du modélisme ferroviaire, je vous laisse faire... N'oubliez pas cependant qu'il faut alimenter les CD 4017 et relier certaines broches à la masse (validation et RAZ) ; ceci n'est pas indiqué sur la figure 11.6 parce que c'est une évidence.

2- Feux de carrefour routier

Voici une autre application du compteur décimal CD 4017 : des feux de carrefour routier qui seront du plus bel effet sur votre réseau. J'ai retrouvé ce montage dans le journal « Génération électronique » des années 1990, hélas disparu depuis.

La figure 11.7 montre le montage à réaliser. L'horloge doit générer des signaux de périodes 2 s (ou approchant) mais vous savez maintenant comment faire. Plusieurs sorties étant utilisées pour la même série de LED, la présence de diodes en sortie est nécessaire pour qu'il n'y ait pas de retour de courant sur les sorties. On constate qu'à tout moment, 4 LED sont allumées en même temps. Les lettres V, J, R désignent la couleur des feux, les lettres A1 ou A2 désignent deux feux d'une même route et B1 ou B2 les deux feux de l'autre route, perpendiculaire à la première.

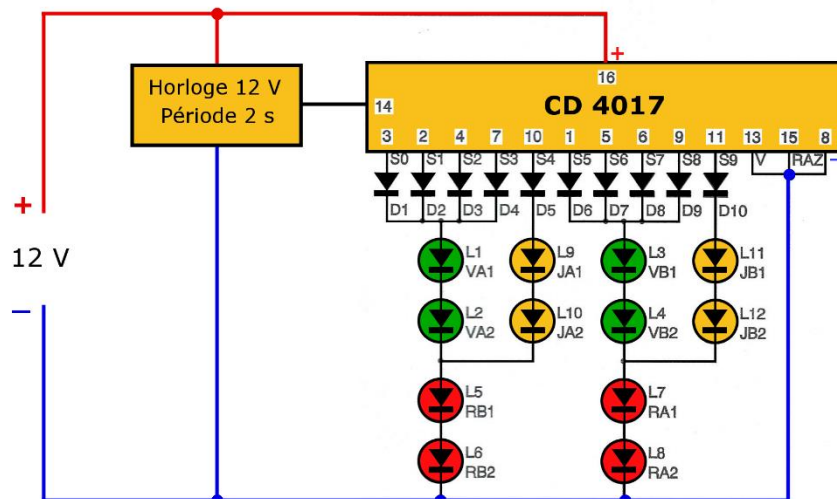


Figure 11. 7

Il n'y a pas de résistance montée avec les LED ; voici pourquoi. On alimente le montage avec une tension comprise entre 9 et 12 V ; sachant que la tension aux bornes des LED est de l'ordre de 1,6 V, la tension aux bornes des 4 LED est de 6,4 V. L'impédance de sortie d'un CD 4017 est de l'ordre de 500 Ohms, nous délivrons donc un courant de l'ordre de $(12 - 6,4) / 500 = 11 \text{ mA}$ (et on n'a pas compté la chute de tension aux bornes des diodes en sortie). C'est ce que consomme une LED standard de 3 mm de diamètre.

Le cycle complet dure une vingtaine de secondes (dépend de la fréquence délivrée par votre horloge).

Application en modélisme ferroviaire des compteurs binaires

Si vous avez bien compris le chronogramme du compteur binaire CD 4040, vous vous êtes rendu compte que celui-ci peut servir à diviser la fréquence d'un signal d'entrée pour obtenir un signal plus lent. C'est effectivement une application possible des compteurs binaires ; Il y en a une autre que nous allons développer, et qui peut servir sur un réseau de train pour minuter des arrêts en gare par exemple. Cette application est une minuterie donnant un temps d'attente assez long.

Minuterie longue durée

En électronique, la notion de temps est souvent réalisée par la charge et décharge d'un condensateur par l'intermédiaire d'une résistance (cellule RC). La période obtenue est de l'ordre de quelques secondes. Pour des durées plus longues, il est nécessaire de recourir à des compteurs comme les compteurs binaires décrits ici. La figure 11.8 donne le montage à réaliser avec un compteur binaire de type CD 4040 et quatre porte NOR. En utilisant la sortie Q14 d'un compteur 4020, et avec une période de 2 secondes délivrée par le multivibrateur NOR III et NOR IV (voir explication plus loin), on obtient un temps maximal de 4 h 33 mn et 4 s !

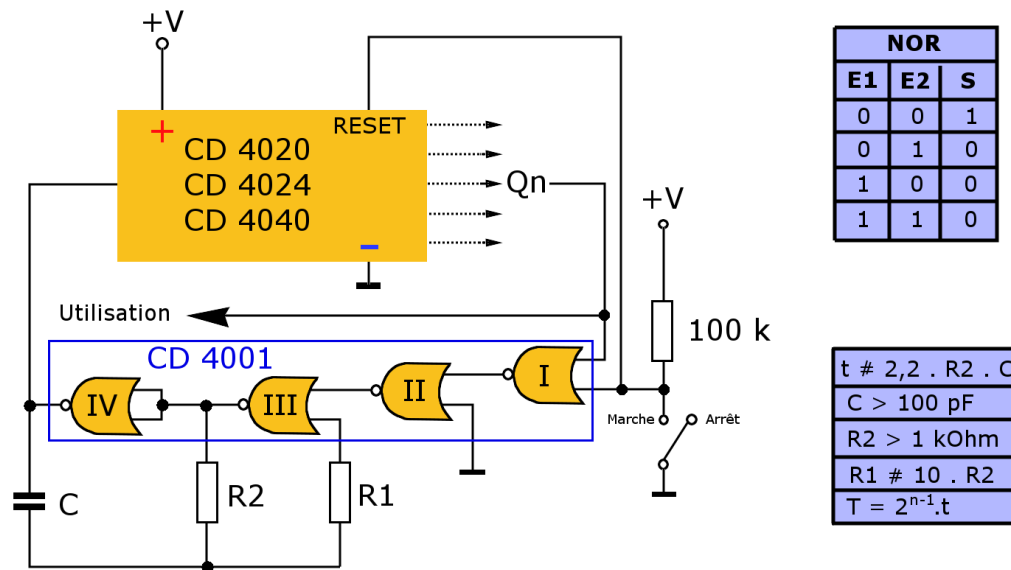


Figure 11.8

Voici l'explication du fonctionnement. Interrupteur sur arrêt, l'entrée Reset est à l'état haut, donc le compteur est bloqué. Une des entrées de la NOR I est aussi à l'état haut, donc sa sortie est à l'état bas (rappelez-vous la table de vérité des NOR). La sortie de la porte NOR II est à l'état haut. Les portes NOR III et NOR IV forment un **multivibrateur**, ou si vous préférez une horloge (oscillateur) qui désigne des signaux périodiques ; jusqu'à présent, vous saviez faire une horloge avec deux inverseurs trigger de Schmitt, mais c'est aussi possible avec deux portes NOR, ce qui est le cas ici. La période vaut $2,2 \times R2 \times C$ approximativement. Comme la sortie de la porte NOR II est à l'état haut, le multivibrateur est bloqué. Interrupteur sur marche (fermé), l'entrée Reset passe à l'état bas, la sortie Qn utilisée étant aussi à l'état bas, la porte NOR I présente un état haut sur sa sortie, et la porte NOR II un état bas sur sa sortie qui autorise les oscillations du multivibrateur. Le compteur avance jusqu'à ce que Qn passe à l'état haut, moment où la sortie de la porte NOR I passe à l'état bas et celle de NOR II à l'état haut ; le comptage cesse. Le signal Qn peut alors commander un relais et ce signal subsiste tant qu'on n'a pas remplacé l'interrupteur sur arrêt.

Liste des composants nécessaires pour :

Le chenillard :

Un oscillateur 1 sec (voir chapitre 12 comment le réaliser)

Deux circuits intégrés 4017

Autant de fois que souhaité (de 1 à 100) :

- Un transistor NPN
- Une DEL
- Une résistance de 560 Ω et une de 10 k Ω

Le feu tricolore :

Un oscillateur 2 sec (voir chapitre 12 comment le réaliser)

Un circuit intégré 4017

Dix diodes (1N4148 ou 1N4001)

Quatre DEL vertes

Quatre DEL oranges

Quatre DEL rouges

Le minuteur longue durée :

Un circuit intégré 4040 (ou 4020 ou 4024)

Un circuit intégré 4001

Un condensateur de 200 pF

Une résistance de 2 k Ω et une de 20 k Ω