

Les multivibrateurs

Un multivibrateur est un circuit qui possède deux états de fonctionnement. Selon la stabilité de ces états, on distingue :

- Multivibrateur astable ;
- Multivibrateur monostable.

A. Multivibrateurs à base d’AOP :

I. Multivibrateur astable :

1. Schéma :

Le montage de base de cet oscillateur est le suivant :

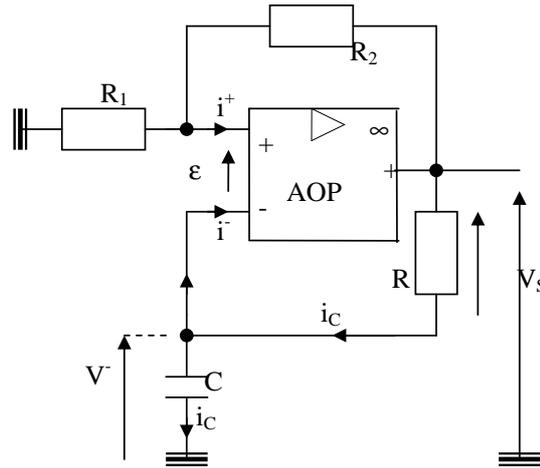


Figure 1 : astable à base d’AOP

2. Fonctionnement :

À $t = 0$, on suppose que $V_s = +V_{sat}$ et que le condensateur C est initialement déchargé, $V^- = 0$.

$$V_s = +V_{sat} \Rightarrow V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_h$$

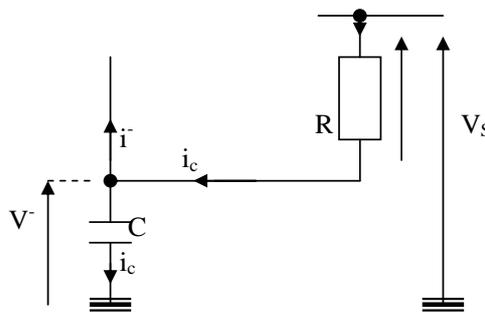


Figure 2

La loi des mailles autour de l’AOP donne : $V_s - Ri - V^- = 0$, or $i = c \cdot \frac{dV^-}{dt}$ d’où :

$$V^- + Rc \cdot \frac{dV^-}{dt} = V_s = +V_{sat}, \text{ dont la solution s’écrit } V^- = \lambda e^{-\frac{t}{RC}} + V_{sat} \text{ où}$$

$$V^-(t=0) = 0 = \lambda + V_{sat} \Rightarrow \lambda = -V_{sat} . \text{ Finalement : } V^-(t) = V_{sat} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Donc le condensateur se charge exponentiellement à travers R pour atteindre $+V_{sat}$.

$V^-(t)$ Croît, lorsqu'elle atteint $V_h = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$, $V^+ < V^-$ et il y a basculement de V_s à $-V_{sat}$.

Soit cet instant t_1 ; ce pendant la nouvelle valeur de V^+ devient : $V^+ = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_b$

La loi des mailles donne : $V_s - Ri - V^- = 0$, or $i = c \cdot \frac{dV^-}{dt}$ d'où

$V^- + Rc \cdot \frac{dV^-}{dt} = V_s = -V_{sat}$, dont la solution s'écrit $V^- = \lambda \cdot e^{-\frac{(t-t_1)}{RC}} - V_{sat}$ où

$V^-(t=t_1) = V_h = \lambda - V_{sat} \Rightarrow \lambda = V_h + V_{sat}$. Finalement : $V^-(t) = (V_h + V_{sat}) e^{-\frac{(t-t_1)}{RC}} - V_{sat}$.

C'est une décharge du condensateur pour atteindre à l'infini $-V_{sat}$.

Mais lorsque $V^-(t)$ atteint $V_b = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$; $V^+ > V^-$ et la sortie bascule à $+V_{sat}$ à l'instant t_2 .

Ce pendant $V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_h$, et C se charge via R pour atteindre $+V_{sat}$.

$V^- + Rc \cdot \frac{dV^-}{dt} = V_s = +V_{sat}$, dont la solution s'écrit $V^- = \lambda \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + V_{sat}$ où

$V^-(t=t_2) = V_b = \lambda + V_{sat} \Rightarrow \lambda = -V_{sat} + V_b$. Finalement : $V^-(t) = (-V_{sat} + V_b) e^{-\frac{(t-t_2)}{RC}} + V_{sat}$.

$V^-(t)$ Croît, lorsqu'elle atteint $V_h = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$, $V^+ < V^-$ et il y a basculement de V_s à $-V_{sat}$.

Soit cet instant t_3 ; ainsi un nouveau cycle peut recommencer.

3. Chronogrammes :

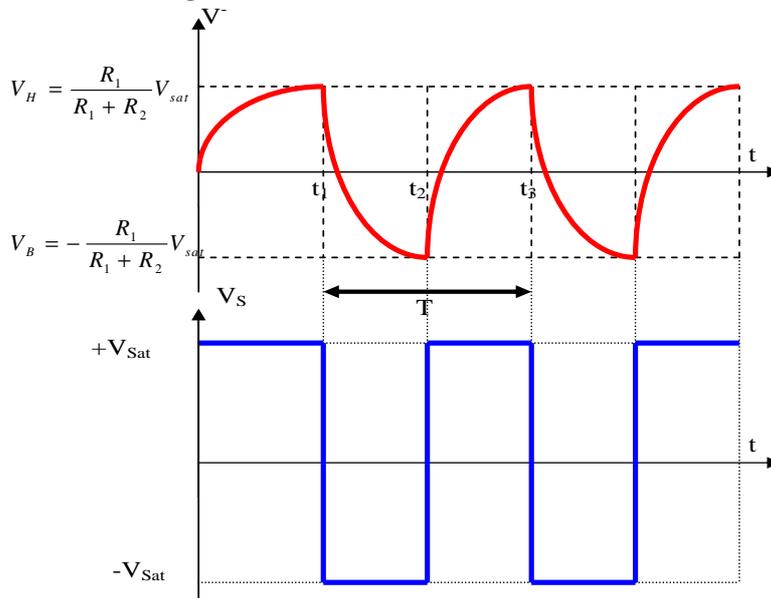


Figure 3

4. Calcul de la période T de l'astable :

L'état bas du signal V_s de t_1 à t_2 :

$$V^-(t_2) = (V_h + V_{sat}) e^{-\frac{(t_2-t_1)}{RC}} - V_{sat} = V_b \Rightarrow -\frac{t_2-t_1}{RC} = \ln \left(\frac{V_b + V_{sat}}{V_h + V_{sat}} \right)$$

$$t_2 - t_1 = RC \ln \left(\frac{V_h + V_{sat}}{V_b + V_{sat}} \right) = RC \ln \left(\frac{\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} + V_{sat}}{-\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} + V_{sat}} \right) \Rightarrow t_2 - t_1 = RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right).$$

L'état haut du signal V_s de t_2 à t_3 :

$$V^-(t_3) = (-V_{sat} + V_b) e^{-\frac{(t_3 - t_2)}{RC}} + V_{sat} = V_h \Rightarrow t_3 - t_2 = RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right).$$

La période T est: $T = (t_3 - t_2) + (t_2 - t_1) = 2RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right).$

Remarque : Dans ce cas le rapport cyclique $\delta = \frac{t_3 - t_2}{T} = 50\%$.

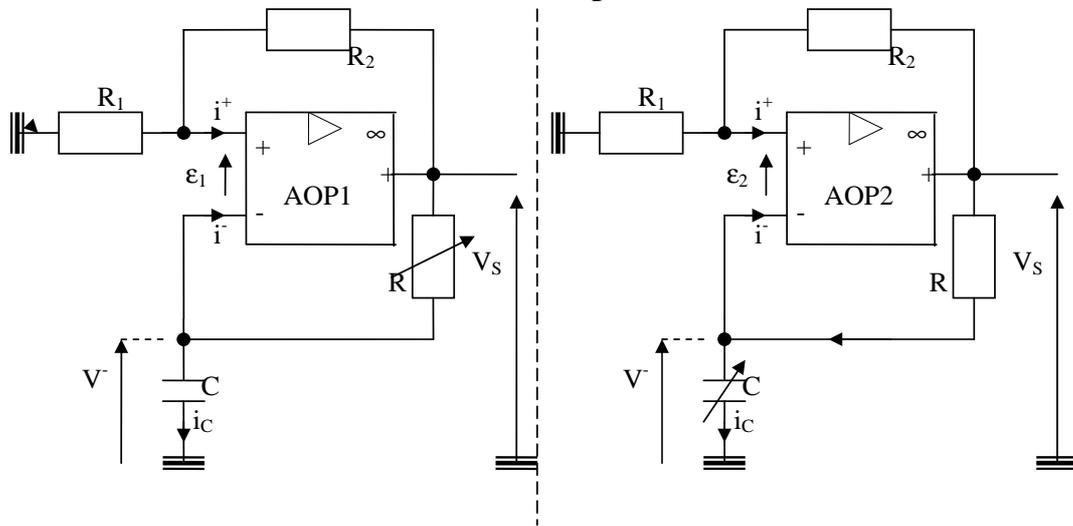


Figure 4 : astable à fréquence variable et rapport cyclique fixe.

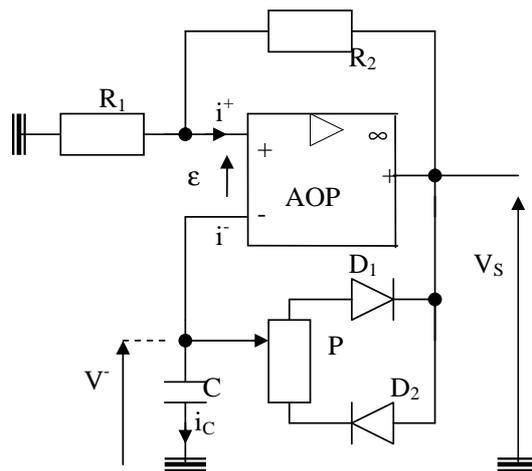


Figure 5 : astable à fréquence fixe et rapport cyclique variable.

II. Multivibrateur monostable :

Etant initialement à l'état stable, une impulsion de commande le fait passer à l'état instable puis, le montage revient de lui-même à l'état stable au bout d'un temps T dépendant du circuit et appelé durée du monostable.

1. Schéma :

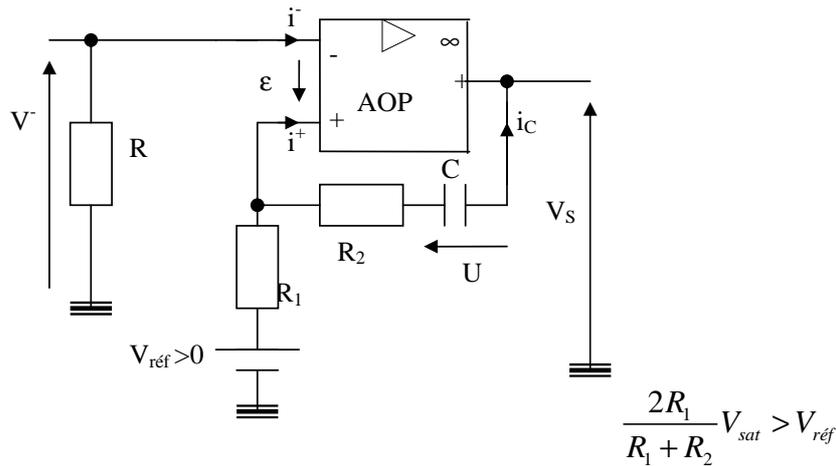


Figure 6 : Monostable à base d'AOP

2. Fonctionnement :

En l'absence d'une impulsion de commande, $V^- = -Ri^- = 0$, et à l'état stable aucun courant ne circule dans le circuit R_1 , R_2 et $C \Rightarrow V^+ = V_{ref}$.

Alors selon V_{ref} , deux cas sont possibles :

- si $V_{ref} > 0$, alors $V^+ > V^- \Rightarrow V_s = +V_{sat}$
- si $V_{ref} < 0$, alors $V^+ < V^- \Rightarrow V_s = -V_{sat}$.

Pour notre étude $V_{ref} > 0$.

Si $V^- = -Ri^- = 0$ alors $V^+ = V_{ref}$ tout le temps c'est l'état stable. Pour faire basculer le montage, il faut appliquer une impulsion sur l'entrée inverseuse de l'A.O.P supérieure à V_{ref} .

À t_1^+ , impulsion appliquée $\Rightarrow V^+ < V^- \Rightarrow V_s = -V_{sat}$. Puis disparaît.

Remarque : On sait que le condensateur n'admet pas de variation brusque à ses bornes.

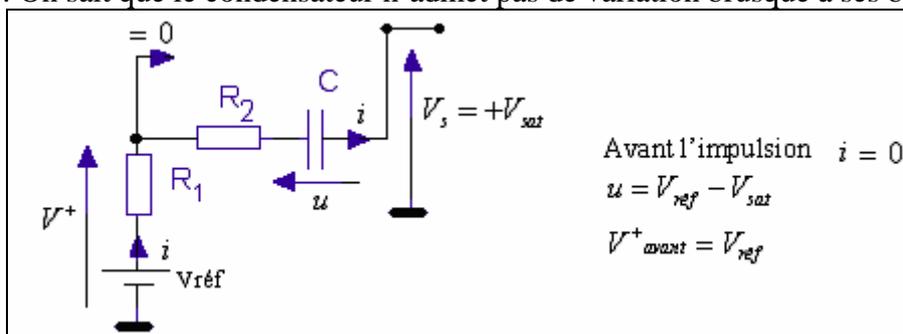


Figure 7

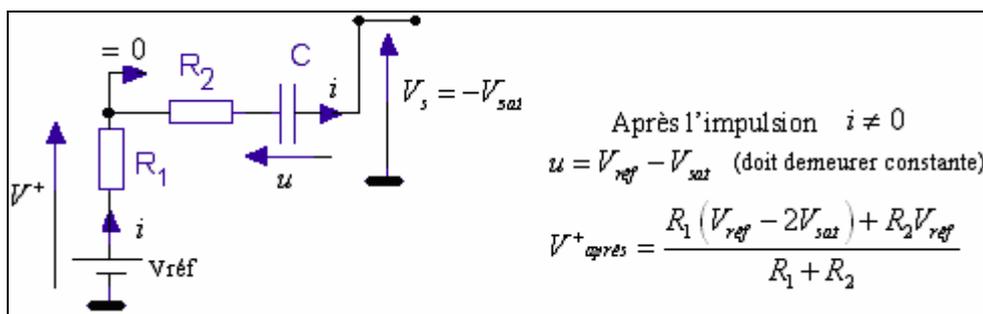


Figure 8

Soit un échelon $V^+_{après} - V^+_{avant} = -\frac{2R_2}{R_1 + R_2}V_{réf}$. Alors à $t = t_1^+$, $V^+ = V_{réf} - \frac{2R_2}{R_1 + R_2}V_{réf}$ d'où le courant i circule dans le sens positif.

Le condensateur va se charger via $R_1 + R_2$, mais lorsque V^+ atteint 0 : $V^+ > V^- \Rightarrow V_s = +V_{sat}$
 À ce moment de basculement :

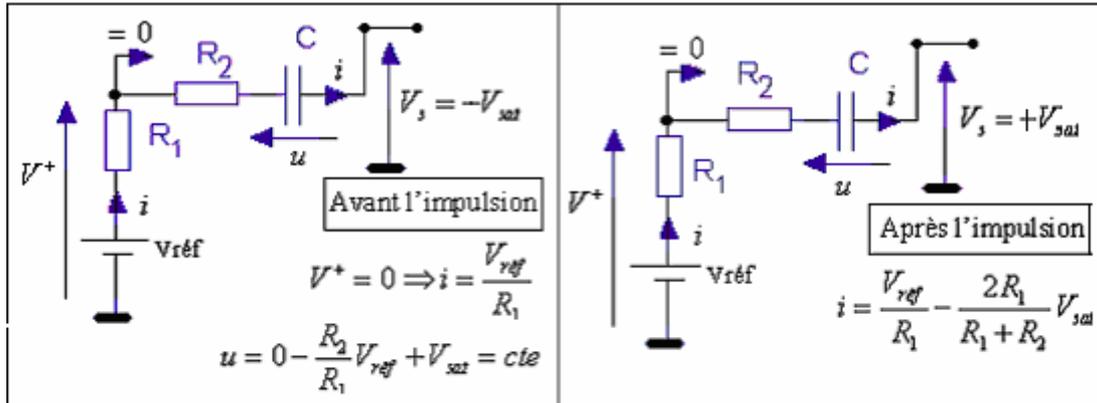


Figure 9

$$\Rightarrow V^+ = V_{réf} - R_1 i = \frac{2R_1}{R_1 + R_2}V_{sat} \Rightarrow V^+ > V^- \Rightarrow V_s = +V_{sat}$$

On a $V^+ > V_{réf} \Rightarrow$ le courant i circule dans le sens inverse \Rightarrow le condensateur C se décharge via $(R_1 + R_2)$ pour atteindre 0.

Lorsque V^+ atteint $V_{réf}$, ($i=0$) le montage retrouve son état initial stable.

3. Chronogrammes :

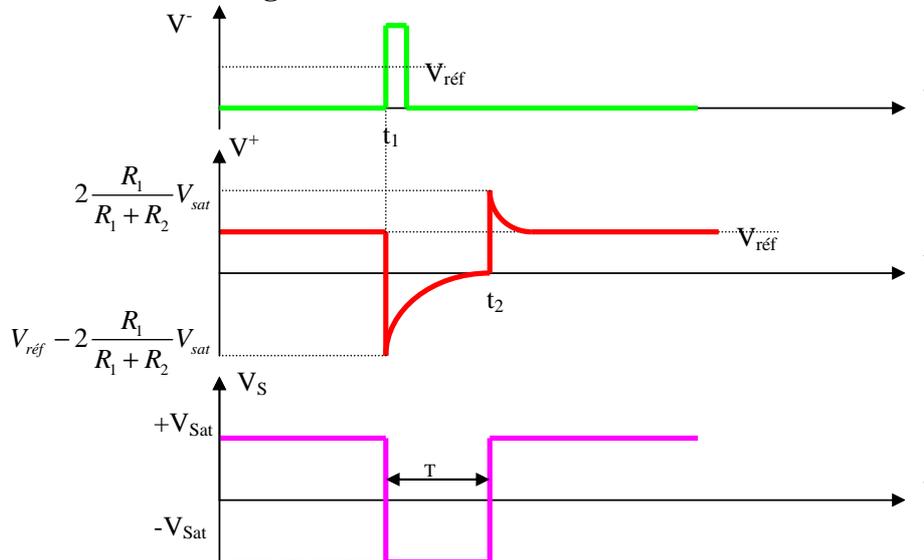


Figure 10

Remarque : V_s est revenue à son état stable après T , mais il faut attendre que V^+ , V^- et V_s soient revenues à l'état de départ pour pouvoir donner une nouvelle impulsion. ($T_R = 3 \text{ à } 5 \tau$)

4. Calcul de la durée du monostable :

On a : $i = C \frac{du}{dt}$, alors : $V^+ = V_{réf} - R_1 C \frac{du}{dt}$.

Or : $u = V_{réf} - (R_1 + R_2)i - V_s$ et $i = \frac{V_{réf} - V^+}{R_1}$.

$$\Rightarrow V^+ = V_{réf} - R_1 C \frac{d(V_{réf} - (R_1 + R_2)i - V_s)}{dt} = V_{réf} + R_1 C \frac{d\left((R_1 + R_2) \frac{V_{réf} - V^+}{R_1}\right)}{dt}$$

$$\Rightarrow V^+ = V_{réf} - (R_1 + R_2) C \frac{dV^+}{dt} \Rightarrow V^+ + (R_1 + R_2) C \frac{dV^+}{dt} = V_{réf}.$$

On pose : $\tau = (R_1 + R_2) C$. Il vient que : $V^+ + \tau \frac{dV^+}{dt} = V_{réf}$. d'où : $V^+(t) = V_{réf} + \lambda e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}}$.

À $t = t_1$, $V^+(t_1) = V_{réf} - \frac{2R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_{réf} + \lambda \Rightarrow \lambda = -\frac{2R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$

D'où : $V^+(t) = V_{réf} - \frac{2R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}}$.

On a : $T = t_2 - t_1$, alors à $t = t_2$; $V^+(t_2) = V_{réf} - \frac{2R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} e^{-\frac{(t_2-t_1)}{\tau}} = 0$

Finalement on obtient : $T = t_2 - t_1 = \tau \ln \left[\frac{2R_1}{R_1 + R_2} \frac{V_{sat}}{V_{réf}} \right]$.

B. Multivibrateurs à base de circuits 555 :

I. Présentation du composant :

Le 555 est un circuit intégré utilisé dès que la notion de temps est importante dans un montage.

Le 555 est un circuit intégré à la fois très connu et très simple. Il s'agit d'un timer en boîtier DIL 8: il comporte donc deux rangées de 4 pattes. Le 555 fonctionne aussi bien en astable ou monostable et ne requiert que trois composants périphériques, deux résistances et un condensateur.

Il est cependant disponible en diverses versions (dont la référence ICM7555 en technologie CMOS). Le 556 est un double 555 en boîtier DIL 14.

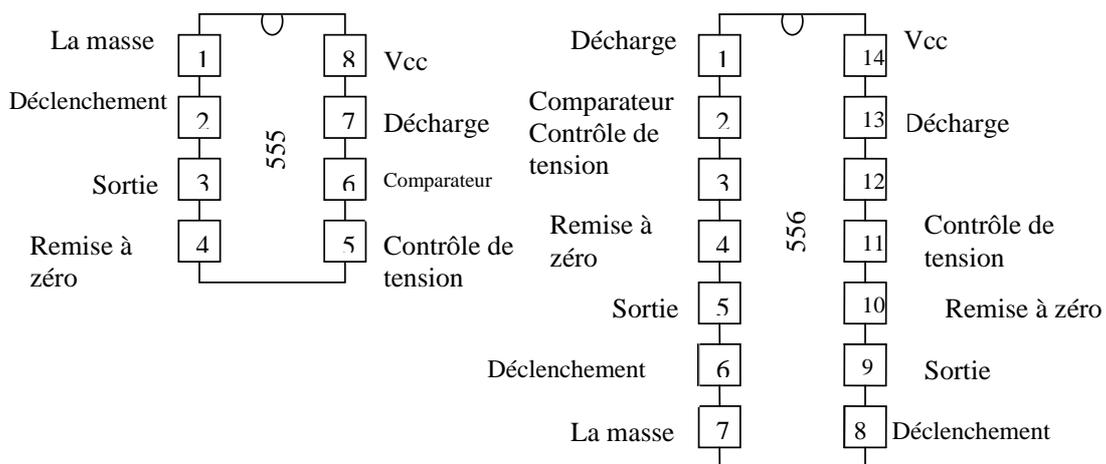


Figure 11 : Brochage des 555 et 556.

On retiendra d'abord que le 555 peut être alimenté sous une tension continue comprise entre 4,5 et 16 V et qu'il peut débiter un courant avoisinant la valeur, très confortable, de 200

mA. En mode astable, il est capable de fonctionner à une fréquence maximale de 500 kHz. La précision (*timing error*) est très bonne, surtout en mode monostable (temporisateur).

Le schéma interne du 555 est le suivant :

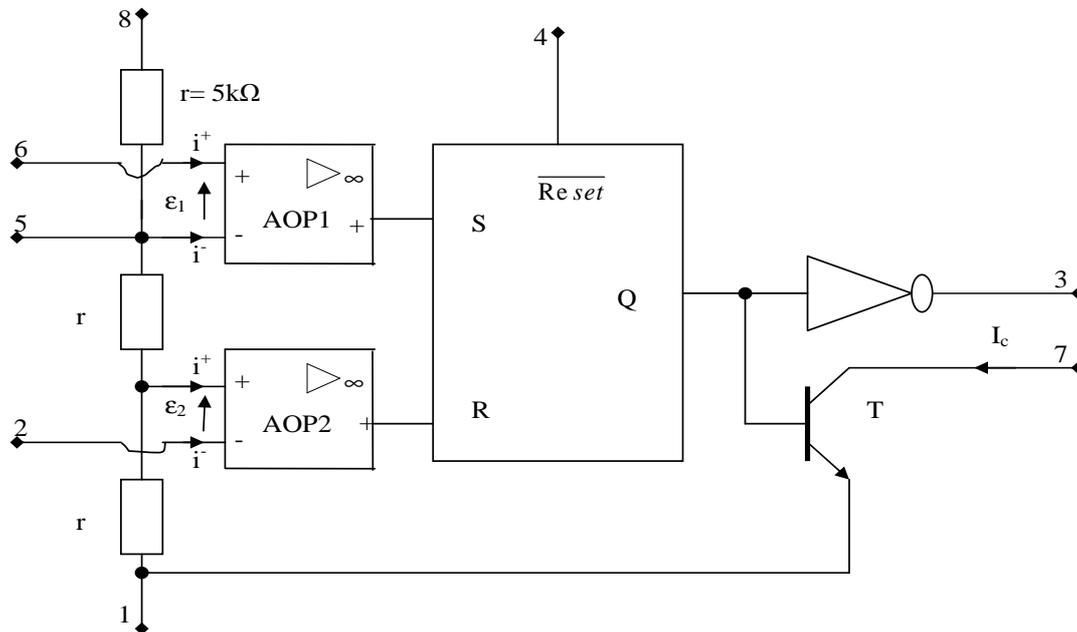


Figure 12 : schéma interne du 555

II. Fonctionnement du 555 en mode astable (*free running*, en anglais) :

Soit le schéma du 555 en **mode astable**.

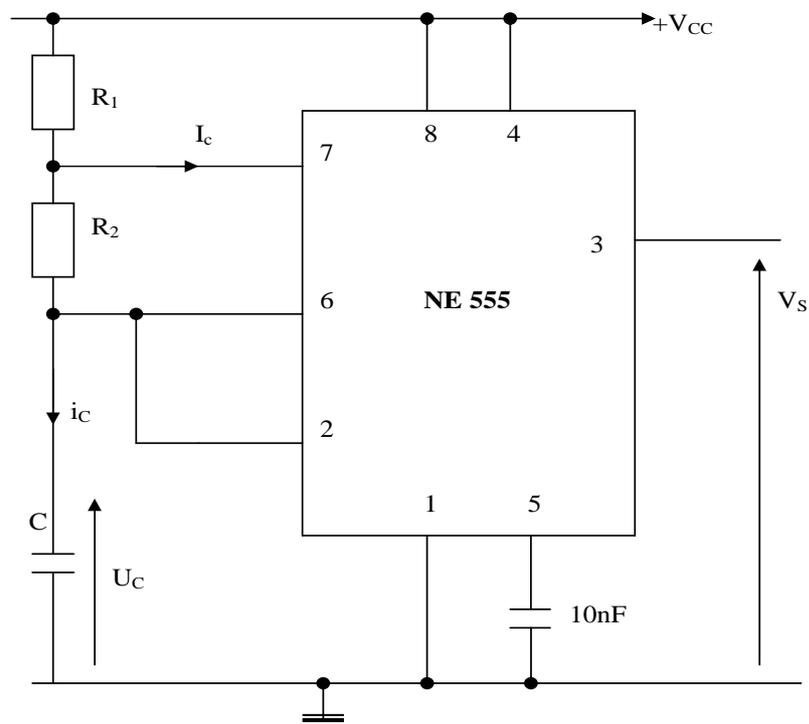


Figure 13

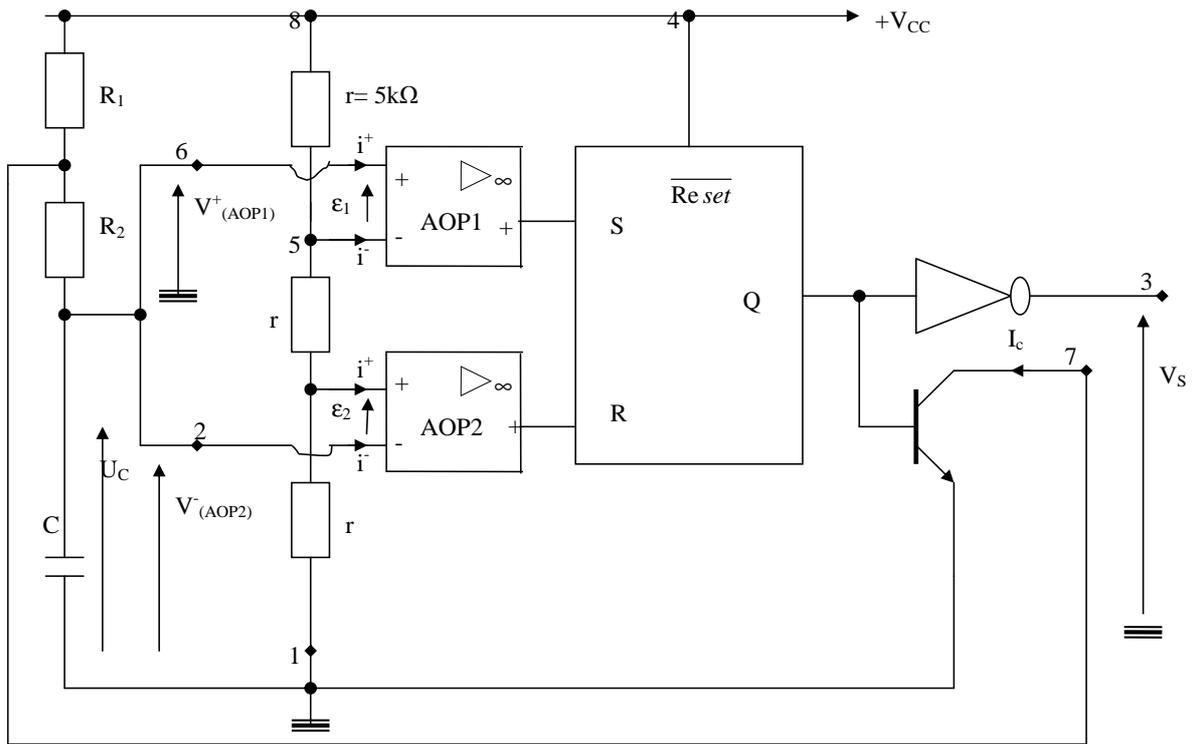


Figure 14

Le condensateur C est supposé initialement déchargé ; $U_c(0) = 0$.

$$\left. \begin{aligned} V^+_{(AOP1)} = U_c(0) = 0 < V^-_{(AOP1)} = \frac{2}{3}V_{CC} &\Rightarrow S = 0 \\ V^+_{(AOP1)} = \frac{1}{3}V_{CC} > V^-_{(AOP1)} = U_c(0) = 0 &\Rightarrow R = 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = 0 \Rightarrow V_s = V_{CC}$$

si $Q=0 \Rightarrow T$ est bloqué $\Rightarrow I_c = 0$.

Etant donné que les AOP sont considérés comme parfaits ; alors $i^+ = i^- = 0$.

Alors le condensateur se trouve dans le circuit suivant :

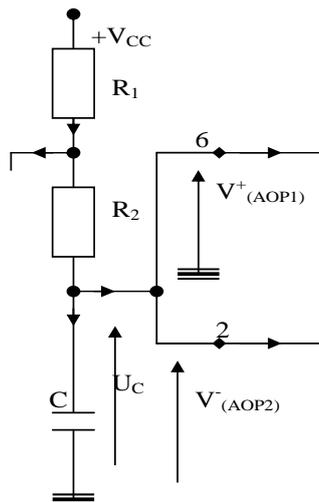


Figure 15

Le condensateur se charge, via R_1 et R_2 . Suivant la loi : $U_c(t) = V_{CC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{(R_1+R_2)C}})$

Lorsque la tension aux bornes de C atteint $\frac{2}{3}V_{CC}$,

$$\left. \begin{array}{l} V^+_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{2}{3}V_{CC^+} > V^-_{(AOP1)} = \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow S = 1 \\ V^+_{(AOP1)} = \frac{1}{3}V_{CC} < V^-_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{2}{3}V_{CC^+} \Rightarrow R = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 1 \Rightarrow V_s = 0$$

si $Q=1 \Rightarrow T$ est stur   $\Rightarrow V_{CEsat} \approx 0$.

La sortie du premier comparateur passe    1 et commande la bascule sur "set". La sortie de cette bascule qui,    l'origine, était    0, passe    1. Ce qui rend le transistor passant. Ce transistor court-circuite alors le condensateur C en dérivant vers la masse son courant de charge. Le condensateur se décharge via la broche 7 et R_2 : la tension    ses bornes diminue.

Lorsque celle-ci aura atteint $\frac{1}{3}V_{CC}$,

$$\left. \begin{array}{l} V^+_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{1}{3}V_{CC^-} < V^-_{(AOP1)} = \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow S = 0 \\ V^+_{(AOP1)} = \frac{1}{3}V_{CC} > V^-_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{1}{3}V_{CC^-} \Rightarrow R = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 0 \Rightarrow V_s = V_{CC}$$

si $Q=0 \Rightarrow T$ est bloqué $\Rightarrow I_c = 0$.

La sortie du second comparateur passera    1, ce qui actionnera la bascule, dont la sortie passera aussitôt de 1    0. Conséquence: le transistor est bloqué et ne s'oppose plus    la charge du condensateur. Le condensateur recommence de se charger et nous nous retrouvons dans la situation initiale.

Lorsque la tension aux bornes de C atteint $\frac{2}{3}V_{CC}$,

$$\left. \begin{array}{l} V^+_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{2}{3}V_{CC^+} > V^-_{(AOP1)} = \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow S = 1 \\ V^+_{(AOP1)} = \frac{1}{3}V_{CC} < V^-_{(AOP1)} = U_c(0) = \frac{2}{3}V_{CC^+} \Rightarrow R = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 1 \Rightarrow V_s = 0$$

si $Q=1 \Rightarrow T$ est stur   $\Rightarrow V_{CEsat} \approx 0$.

D'   où un nouveau cycle peut recommencer.

Chronogrammes :

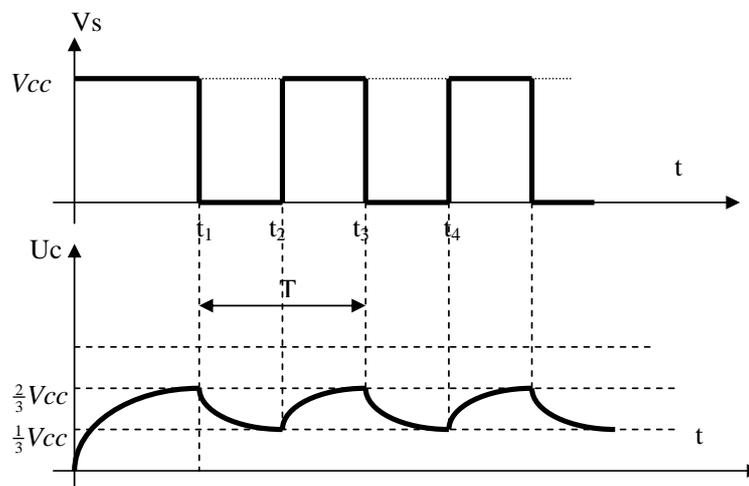


Figure 16

Dans cette configuration, la **période T** des créneaux du signal Vs est donnée par la formule: $T = (R_1 + 2R_2) C \cdot \ln(2)$

La durée du niveau haut (ou 1) vaut: $T_H = (R_1 + R_2) C \cdot \ln(2)$

et la durée du niveau bas (ou 0) vaut: $T_B = (R_2) C \cdot \ln(2)$

Il en résulte que le **rapport cyclique** (*duty cycle*, en anglais), défini comme le quotient de la durée du niveau haut par la durée totale du cycle, est donné par: $\frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 R_2}$.

Il sera donc très voisin de 50 % (d'où un signal quasi symétrique) si R_1 est beaucoup plus petite que R_2 .

Remarques : A noter que la résistance R_2 est souvent remplacée par un ajustable, ce qui permet de faire varier très aisément la période du signal, et par conséquent sa fréquence.

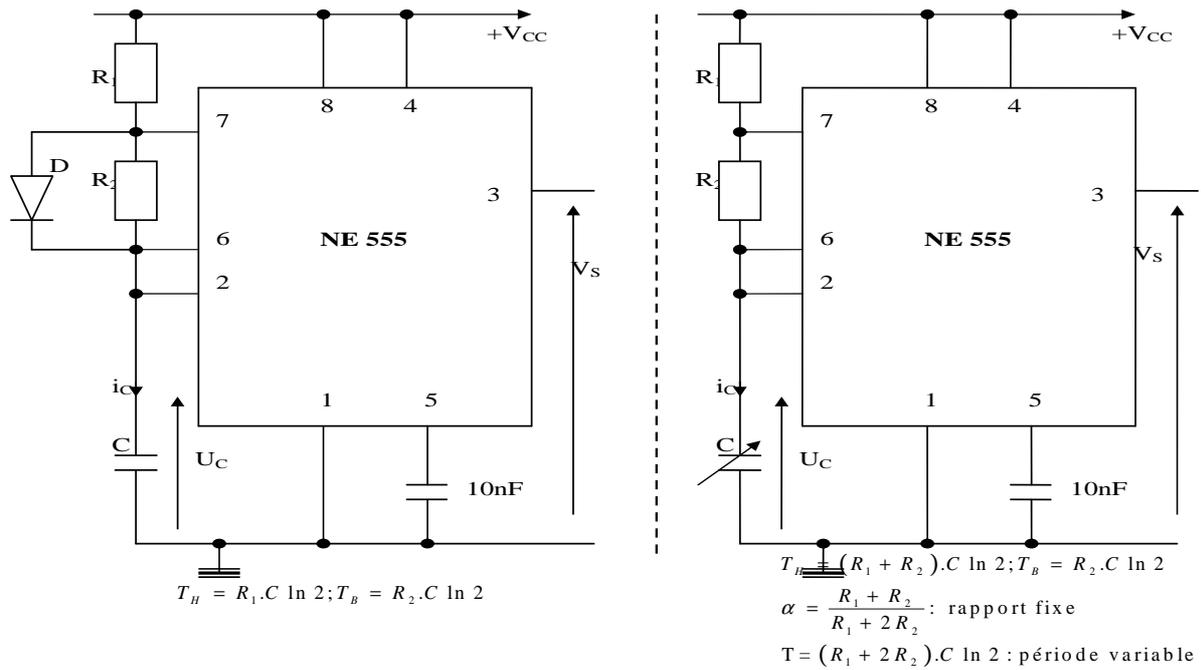


Figure 17

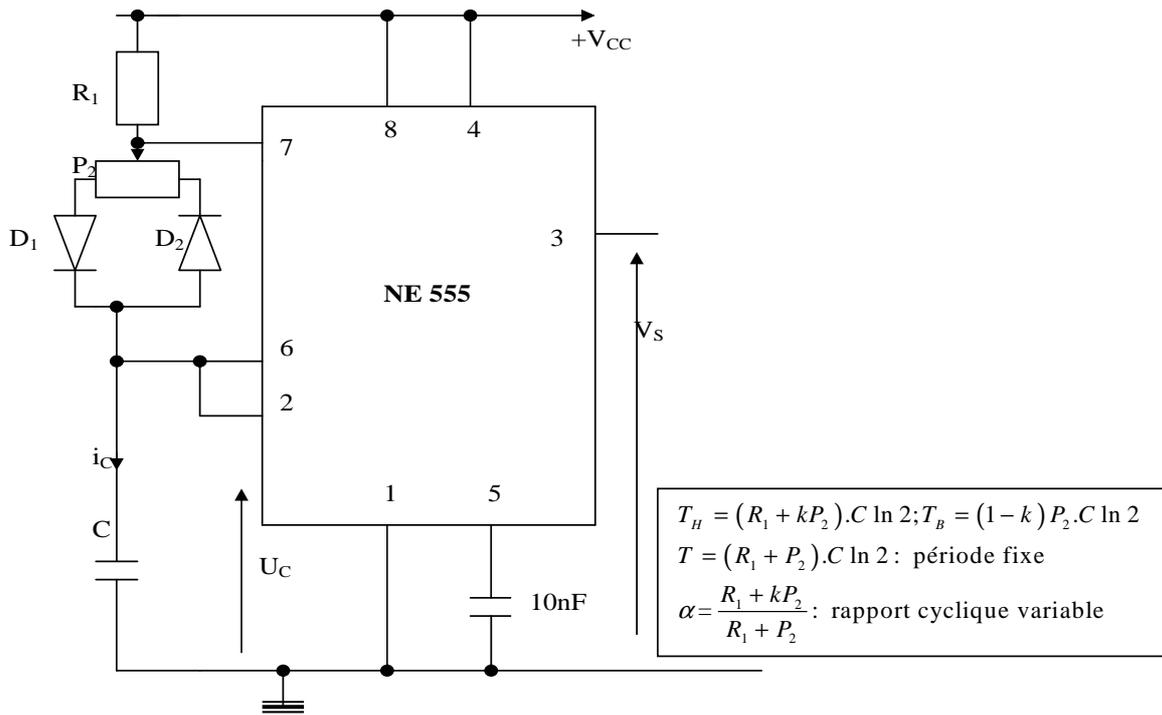


Figure 18

III. Fonctionnement du 555 en mode monostable (one shot) :

Le 555 peut tout aussi bien fonctionner en **mode monostable**, c'est-à-dire comme un temporisateur. Une brève impulsion **négative** sur son entrée 2 (*trigger*) va déclencher, en sortie (*output*), un état haut dont la durée dépend des deux composants R et C. En d'autres termes, la broche 2 doit être mise à la masse, par l'intermédiaire d'un bouton-poussoir ou d'un signal externe adéquat, pour déclencher la temporisation.

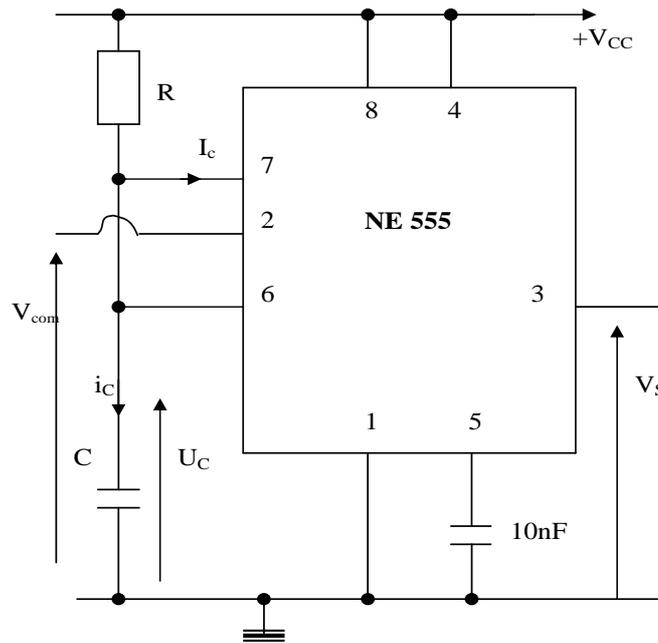


Figure 19 : Schéma du 555 en monostable.

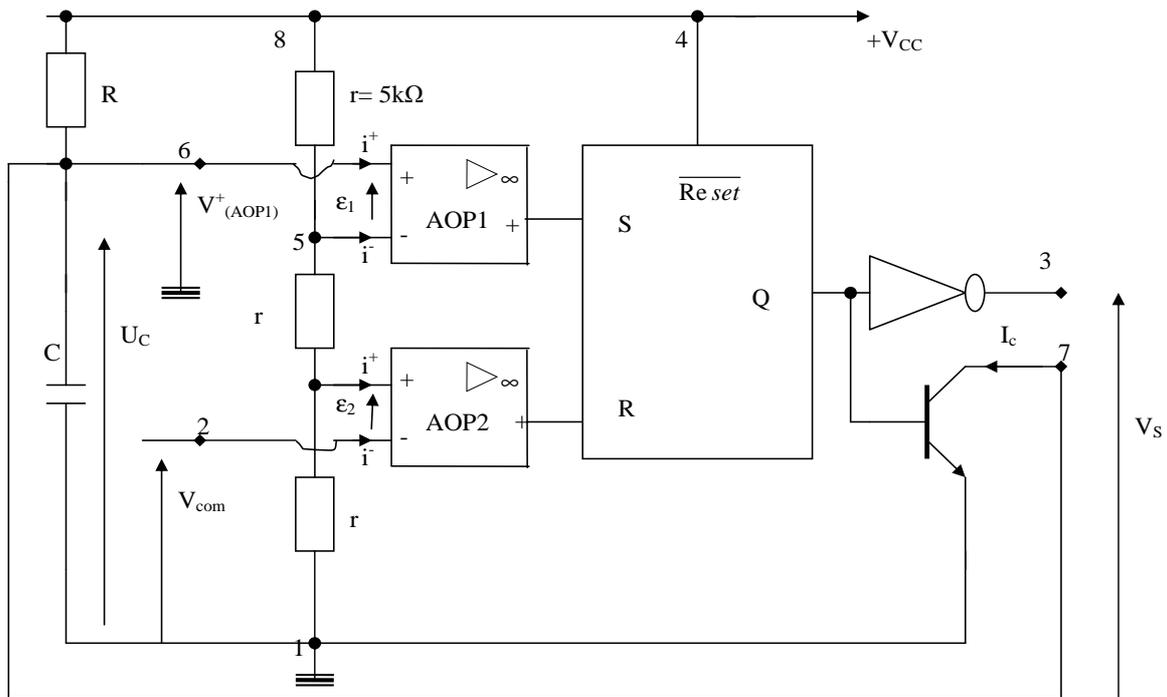


Figure 20

Etat stable :

C initialement déchargé $U_c(0) = 0$; et $V_{com} = +V_{cc}$.

$$\left. \begin{aligned} V_{(AOP2)}^- = V_{cc} > V_{(AOP2)}^+ = \frac{1}{3}V_{cc} &\Rightarrow R = 0 \\ V_{(AOP1)}^- = \frac{2}{3}V_{cc} > V_{(AOP1)}^+ = 0 &\Rightarrow S = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{mémorisation}$$

S'agit-il de mémoriser $Q = 0$ où $Q = 1$?

Si $Q = 0 \Rightarrow$ transistor bloqué et condensateur en charge, donc évolution de la tension, ce qui n'implique pas la stabilité.

Alors $Q = 1 \Rightarrow$ le transistor est saturé et condensateur est en court-circuit, donc la tension à ses bornes demeure à 0.

Cet état reste tant qu'on n'a pas donné l'impulsion sur la broche 2 du 555.

Il faut que l'impulsion descend en dessous de $\frac{1}{3}V_{CC}$ pour pouvoir faire la comparaison suivante :

$$\left. \begin{array}{l} V_{(AOP2)}^- = \left(\frac{1}{3}V_{CC}\right)^- < V_{(AOP2)}^+ = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow R = 1 \\ V_{(AOP1)}^- = \frac{2}{3}V_{CC} > V_{(AOP1)}^+ = 0 \Rightarrow S = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} Q = 0 \Rightarrow T \text{ bloqué} \\ V_S = V_{CC} \end{cases}$$

L'impulsion est très brève, lorsqu'elle disparaît :

$$\left. \begin{array}{l} V_{(AOP2)}^- = V_{CC} > V_{(AOP2)}^+ = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow R = 0 \\ V_{(AOP1)}^- = \frac{2}{3}V_{CC} > V_{(AOP1)}^+ = 0 \Rightarrow S = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} Q = 0 \text{ (mémoire)} \Rightarrow T \text{ bloqué} \\ V_S = V_{CC} \end{cases}$$

Le transistor bloqué, favorise la charge du condensateur C, via R pour atteindre +Vcc.

A $t = t_1$; il atteint $\frac{2}{3}V_{CC}$, d'où la comparaison :

$$\left. \begin{array}{l} V_{(AOP2)}^- = V_{CC} > V_{(AOP2)}^+ = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow R = 0 \\ V_{(AOP1)}^- = \frac{2}{3}V_{CC} < V_{(AOP1)}^+ = \left(\frac{2}{3}V_{CC}\right)^+ \Rightarrow S = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} Q = 1 \Rightarrow T \text{ saturé} \\ V_S = 0 \end{cases}$$

La tension en sortie est revenue à l'état initial, alors que celle aux bornes du condensateur ne l'est plus. Il faudra, attendre 5τ (où $\tau = RC$) pour que toutes les grandeurs reviennent à l'état stable.

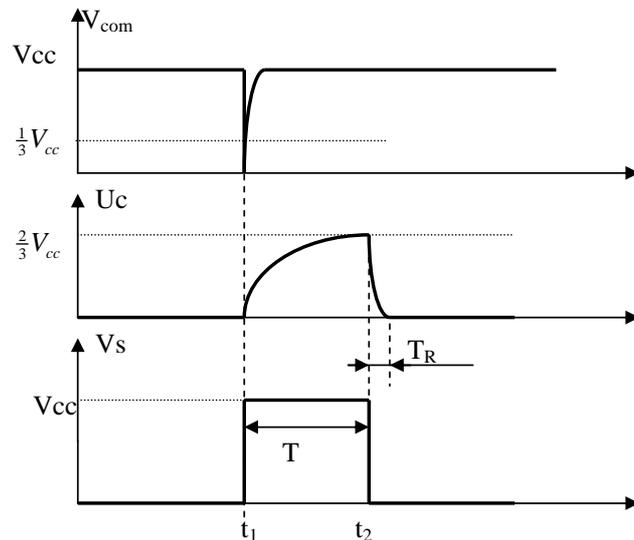


Figure 21

C. Multivibrateurs à base de circuits spécialisés :

Les Monostables sont des temporisateurs de courte durée qui permettent de :

- Rendre un signal furtif exploitable ;
- Créer un signal à partir d'un front.

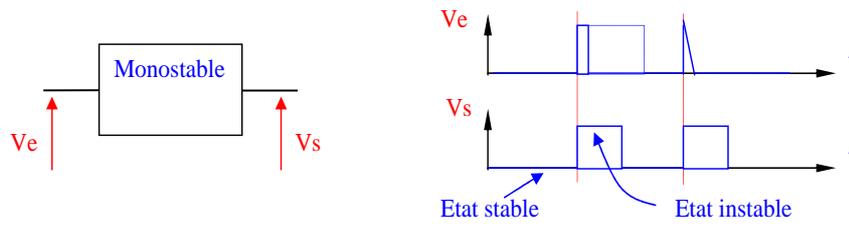


Figure 23

Ils peuvent être réalisés à l'aide de circuits analogiques (A.O.P) ou de circuits logiques (TTL-CMOS)

I. Circuit 74121 :

Le 74121 est un monostable multivibrateur avec bascules de SCHMITT en entrées.

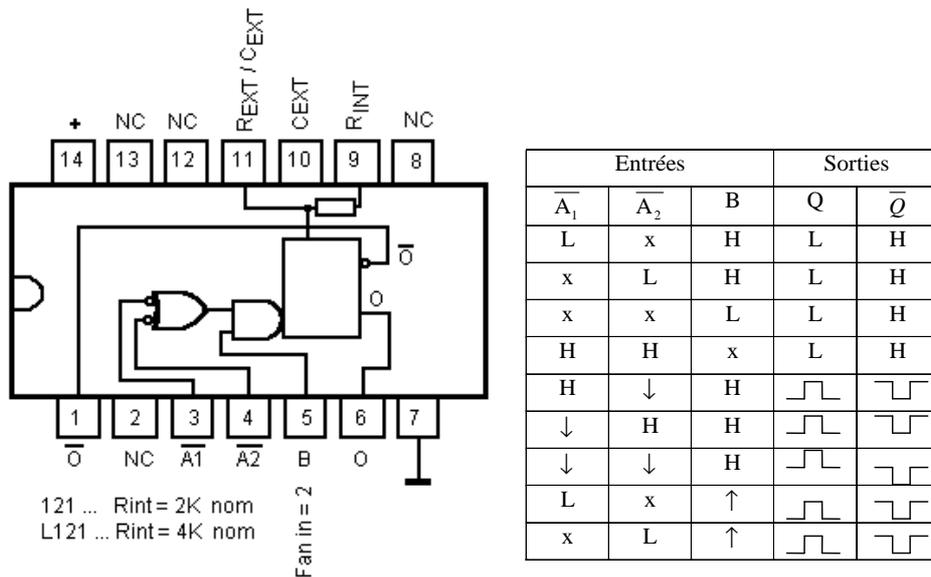


Figure 24

Ce circuit possède 3 entrées de commande :

- Les entrées $\overline{A_1}$ et $\overline{A_2}$ permettent de déclencher le monostable sur des fronts descendants ;
- L'entrée B est suivie d'un trigger de Schmitt qui permet de déclencher le monostable sur une montée même lente du signal appliqué en B.

Les différentes façons d'utilisation de 74121 sont données à la figure 25.

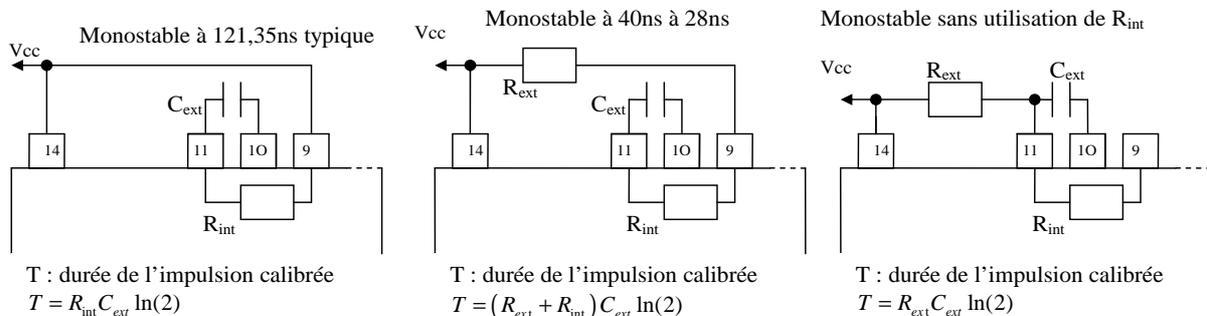


Figure 25

II. Circuit 74122 :

Ce circuit possède 5 entrées de commande :

- $\overline{A_1}$ et $\overline{A_2}$ actives sur un front descendant ;
- B1 et B2 actives sur front montant ;
- Remise à zéro.

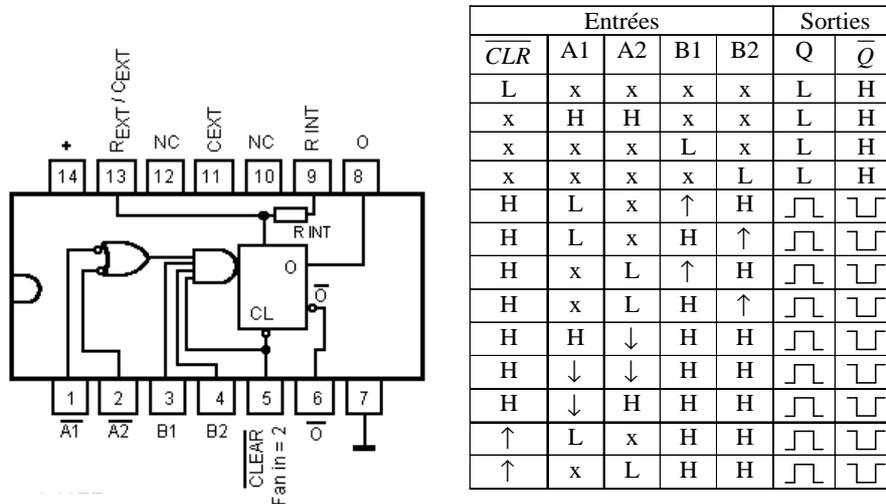


Figure 26

De plus, ce circuit possède la propriété d'être redéclanchable.

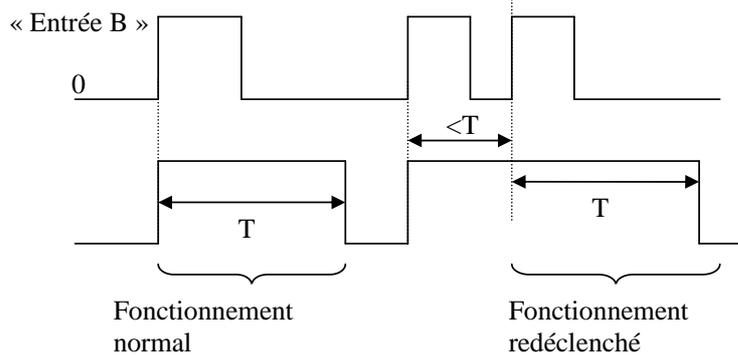


Figure 27

De pouvoir être remis à 0 au cours d'un cycle.

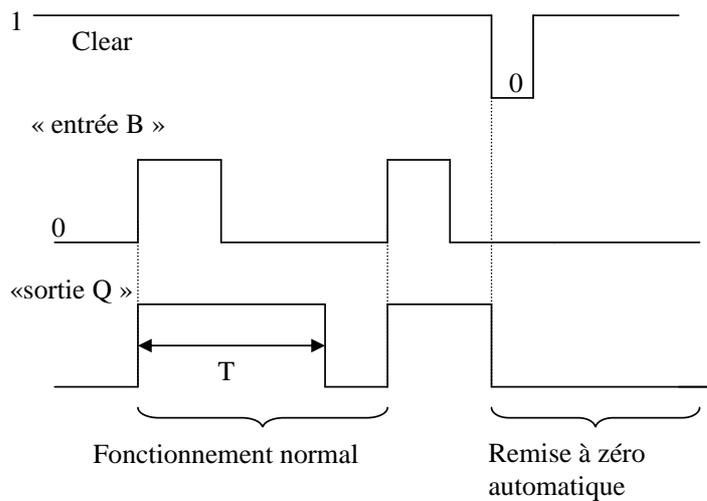
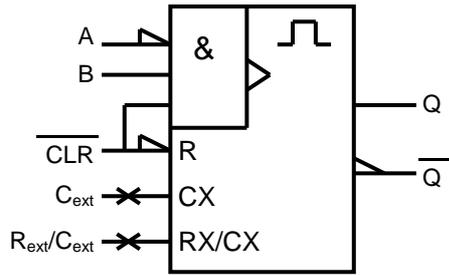
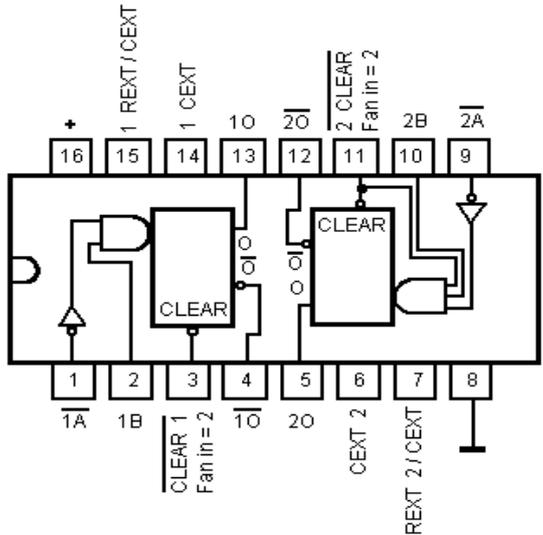


Figure 28

III. Circuit 74123 :



- C'est un double monostable redéclanchable actionné par le front montant du résultat de $(\overline{A.B.CLR})$.
- \overline{CLR} à « 0 » provoque une remise à zéro R de la bascule.
- Les entrées C_{ext} et R_{ext}/C_{ext} sont non logiques et servent à relier les composants déterminant la durée du monostable.

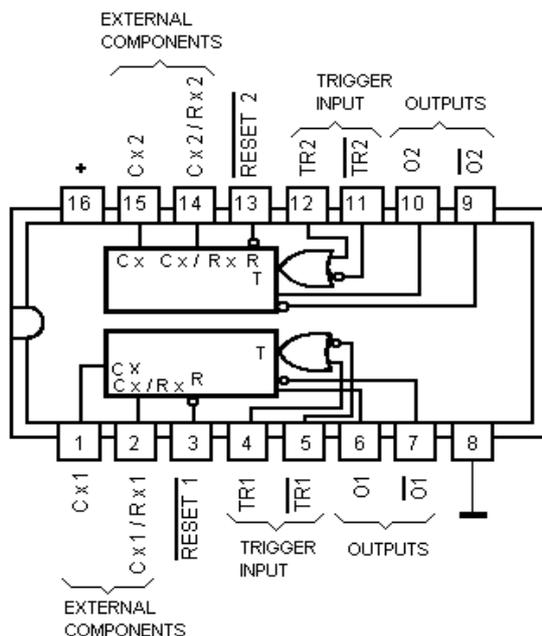


Entrées			Sorties	
\overline{CLR}	A	B	Q	\overline{Q}
L	x	x	L	H
x	H	x	L	H
x	x	L	L	H
H	L	↑	[Pulse]	[Pulse]
H	↓	H	[Pulse]	[Pulse]
↑	L	H	[Pulse]	[Pulse]

Figure 29

IV. Circuit 4528 :

Le 4528 est un double monostable-multivibrateur de précision. C'est un circuit CMS. Ce sont les quantités R et C qui vont déterminer la durée de l'impulsion en sortie. On alimente le circuit en 5V aux bornes 16 et 8 (5V en 16 et 0V en 8).



Entrées			Sorties	
\overline{A}	B	\overline{CLR}	Q	\overline{Q}
L	L	H	[Pulse]	[Pulse]
H	↑	H	[Pulse]	[Pulse]
x	x	L	L	H
Durée de l'impulsion $T = kR_{ext}C_{ext}$				
V_{DD}				
	5v	10v	15v	
k	0,42	0,32	0,3	

Figure 30