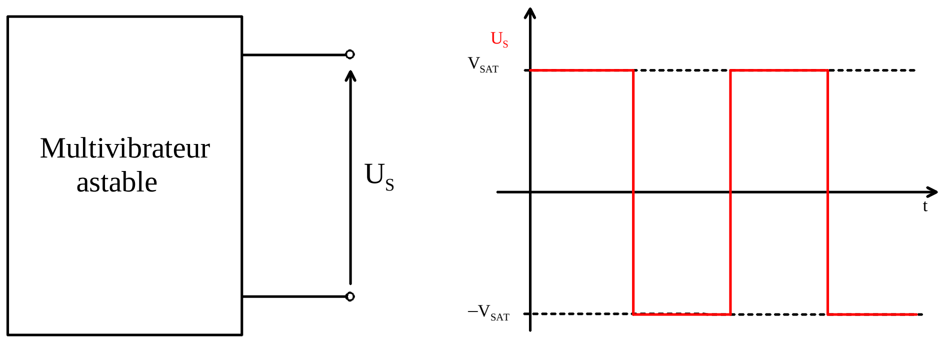
Multivibrateur astable à A.I.L.

I- Introduction :

Une structure astable est un dispositif électronique générant de manière autonome un signal périodique rectangulaire évoluant entre deux états stables. Une telle structure est appelée 'Multivibrateur astable' ou oscillateur astable.



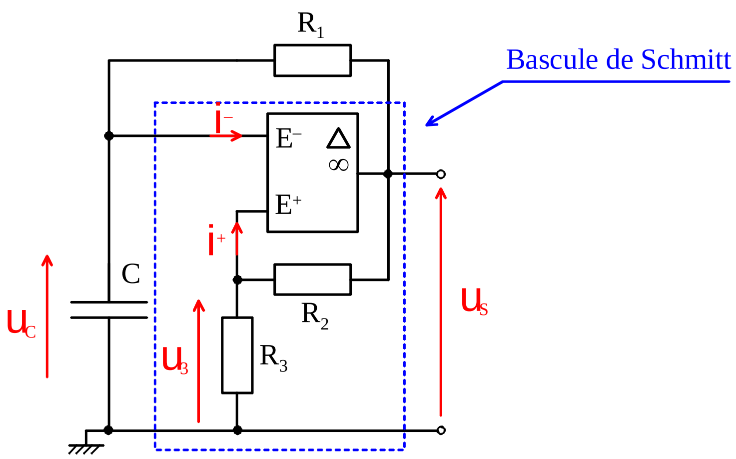
Une structure astable peut être réalisée de différentes manières, à l'aide :

- d'un amplificateur opérationnel,
- d'un circuit multivibrateur type NE 555,
- de portes logiques associées à des composants passifs,
- directement à partir d'un circuit spécialisé.

II- Astable utilisant un A.I.L. :

La structure astable sera bâtie à partir d'un A.I.L. câblé en comparateur à hystérésis (bascule de Schmitt) associé à une cellule RC. L'A.I.L. fonctionne donc en commutation (régime saturé).

Le schéma structurel d'un tel dispositif est le suivant :



Notre objectif est le suivant :

- démontrer que ce dispositif génère bien un signal périodique rectangulaire,
- calculer la fréquence du signal de sortie u_S en fonction de la valeur des composants R_1, R_2, R_3 et C.

III - Étude du multivibrateur :

1) Démontrons que u_S est un signal rectangulaire :

a) Il convient de rappeler tout d'abord que :

* puisque l'A.I.L. fonctionne en commutation, la tension de sortie u_S ne peut prendre que deux valeurs : $+V_{SAT}$ et $-V_{SAT}$.

* l'A.I.L. compare les tensions u_C et u_3 ; u_C étant appliquée à l'entrée E^- de l'A.I.L. et u_3 à l'entrée E^+, on a :

$$u_C > u_3 \Rightarrow u_S = -V_{SAT}$$
$$u_C < u_3 \Rightarrow u_S = +V_{SAT}$$

b) Déterminons l'expression de la tension u_3 :

L'intensité du courant i^+ étant pratiquement nulle, les résistances R_2 et R_3 forment un pont diviseur de tension tel que :

$$u_3 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_S$$

Or $u_S = \pm V_{SAT}$, de ce fait, la tension u_3 peut prendre deux valeurs correspondant aux deux points de basculement haut et bas (notés T_H et T_B) de la bascule de Schmitt :

$$u_3 = T_H = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT} \quad \text{ou} \quad u_3 = T_B = -\frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$$

T_H et T_B sont les valeurs particulières de U_c pour lesquelles la tension U_S bascule (effectue une transition).

c) Étude à l'instant t = 0 :

L'instant t = 0 correspond à la mise sous tension du dispositif. Le condensateur est donc totalement déchargé, la tension à ses bornes est nulle, on a $u_C = 0$ volt.
Par contre, il n'est pas possible de déterminer à l'instant t = 0, la valeur de la tension u_S.

Hypothèse : Posons $u_S = +V_{SAT}$, on a alors $u_3 = T_H = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$

Dans ce cas, $(u_C = 0) < (u_3 = T_H) \Rightarrow \boxed{u_S = +V_{SAT}}$ Hypothèse validée

d) Charge du condensateur :

Puisque $U_S = +V_{SAT}$, le condensateur C se charge à travers la résistance R_1, la tension U_C augmente.

Lorsque U_C atteint et dépasse la valeur de la tension T_H, on a $U_C > (U_3 = T_H)$, l'A.I.L. bascule, la tension de sortie U_S vaut : $\boxed{U_S = -V_{SAT}}$ **Le condensateur cesse sa charge.**

e) Décharge du condensateur :

Puisque $U_S = -V_{SAT}$, le condensateur se décharge à travers la résistance R_1 (*ou se charge vers le potentiel négatif* $-V_{SAT}$).

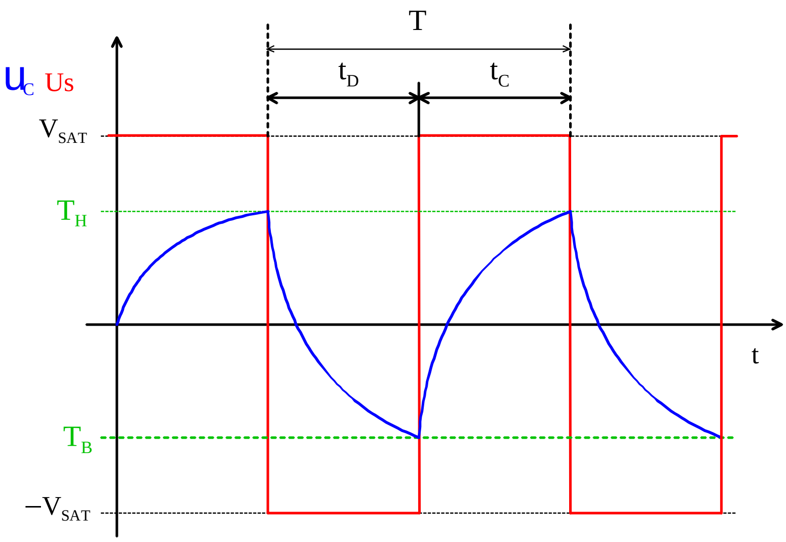
Lorsque qu'il est totalement déchargé, on a toujours $(U_C = 0) > (U_3 = T_B)$, le condensateur se charge négativement (la tension U_C devient négative).

Lorsque U_C atteint et devient inférieure à la valeur de la tension T_B, on a $U_C < (U_3 = T_B)$, l'A.I.L. cesse sa décharge, il bascule de nouveau, la tension de sortie U_S vaut : $\boxed{U_S = +V_{SAT}}$

Le fonctionnement se reproduit ensuite de manière identique, le signal U_S est périodique.

f) Représentation graphique des variations des tensions U_S et U_C en fonction du temps :

Les variations des tensions U_S et U_C en fonction du temps se résument comme suit :



2) Calculons la période T du signal U_S :

On a $T = t_C + t_D$. Les durées t_C et t_D correspondent aux durées de charge et de décharge du condensateur C. Il faut déterminer leur expression.

Il convient de rappeler l'expression de la valeur instantanée de la tension aux bornes d'un condensateur, on démontre que :

$$\boxed{U_C(t) = V_f + (V_i - V_f)\, e^{\frac{-t}{\tau}}}$$

Avec V_i la tension initiale aux bornes du condensateur au début de l'instant considéré,

V_f la tension finale aux bornes du condensateur si celui-ci poursuivait sa charge (ou sa décharge) jusqu'à son terme. Cette valeur est aussi appelée 'Tension asymptotique'.

Cette relation est parfois donnée sous la forme : $\boxed{U_C(t) = A + B\, e^{\frac{-t}{\tau}}}$

Avec $A = V_f$ et $B = (V_i - V_f)$.

a) <u>Calcul de t_C</u> :

Utilisons la relation $U_C(t_C) = V_f + (V_i - V_f)\, e^{\frac{-t_C}{\tau}}$

Il faut remplacer les variables $U_C(t_C)$, V_i et V_f par leur valeur dans le contexte d'étude :

* à la fin de la durée t_C, la tension aux bornes du condensateur vaut $U_C = T_H$,
* au début de la durée t_C, la tension aux bornes du condensateur vaut $V_i = T_B$,
* si le condensateur se chargeait complètement, on aurait $V_f = +V_{SAT}$.

La relation de départ devient : $T_H = V_{SAT} + (T_B - V_{SAT})\, e^{\frac{-t_C}{\tau}}$

Or $T_H = \dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$ et $T_B = -\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$

De ce fait, on a : $\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT} = V_{SAT} + \left(-\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT} - V_{SAT}\right) e^{\frac{-t_C}{\tau}}$

En simplifiant par V_{SAT}, on a : $\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} = 1 + \left(-\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} - 1\right) e^{\frac{-t_C}{\tau}}$

En résultat, on a : $t_C = \tau \ln \dfrac{R_2 + 2R_3}{R_2}$ $\Rightarrow$ $\boxed{t_C = R_1 C \ln \dfrac{R_2 + 2R_3}{R_2}}$

En posant $R_2 = R_3$, on a : $\boxed{t_C = R_1 C \ln 3}$

b) <u>Calcul de t_D</u> :

On a $t_D = t_C$ puisque la constante de temps τ en charge est la même que celle en décharge.
Nous pouvons quand même le vérifier par le calcul :

De même, utilisons la relation $U_C(t_D) = V_f + (V_i - V_f)\, e^{\frac{-t_D}{\tau}}$

En remplaçant les variables $U_C(t_C)$, V_i et V_f par leur valeur dans le contexte d'étude, on a :

$T_B = -V_{SAT} + [T_H - (-V_{SAT})]\, e^{\frac{-t_D}{\tau}}$

De même $T_H = \dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$ et $T_B = -\dfrac{R_3}{R_2 + R_3} V_{SAT}$

De ce fait, on a : $-\frac{R_3}{R_2+R_3}V_{SAT} = -V_{SAT} + \left(\frac{R_3}{R_2+R_3}V_{SAT} + V_{SAT}\right)e^{\frac{-t_D}{\tau}}$

En simplifiant par V_{SAT}, on a : $-\frac{R_3}{R_2+R_3} = -1 + \left(\frac{R_3}{R_2+R_3} + 1\right)e^{\frac{-t_D}{\tau}}$

En résultat, on a bien $t_D = \tau \ln \frac{R_2 + 2R_3}{R_2}$ $\Rightarrow$ $\boxed{t_D = R_1C \ln \frac{R_2 + 2R_3}{R_2}}$

Soit encore, en posant $R_2 = R_3$, on a : $\boxed{t_D = R_1C \ln 3}$

c) Calcul de la période T :

On a $T = t_C + t_D$, soit encore $T = \tau \ln 3 + \tau \ln 3$ $\Rightarrow$ $\boxed{T = 2\tau \ln 3}$

Dans notre exemple, $\tau = R_1C$ $\Rightarrow$ $\boxed{T = 2R_1C \ln 3}$

3) Rapport cyclique φ du signal u_S :

On appelle rapport cyclique φ d'un signal astable le rapport de la durée de l'état haut du signal sur la période.

Dans le cas particulier de l'astable étudié, le signal u_S a pour rapport cyclique : $\boxed{\varphi = \frac{t_C}{T}}$

Or, comme $t_C = t_D$, φ s'écrit : $\varphi = \frac{t_C}{T} = \frac{t_C}{t_C + t_D} = \frac{t_C}{2t_C}$ $\boxed{\varphi = \frac{1}{2}}$