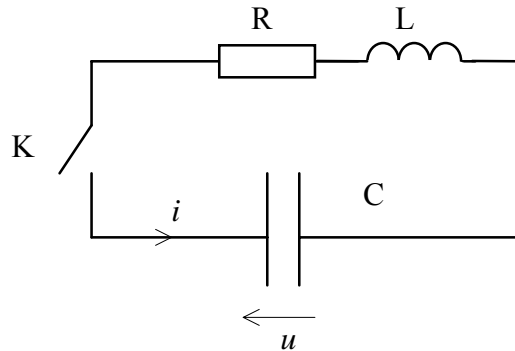


PRODUCTION DU SIGNAL

1 -CIRCUIT RLC

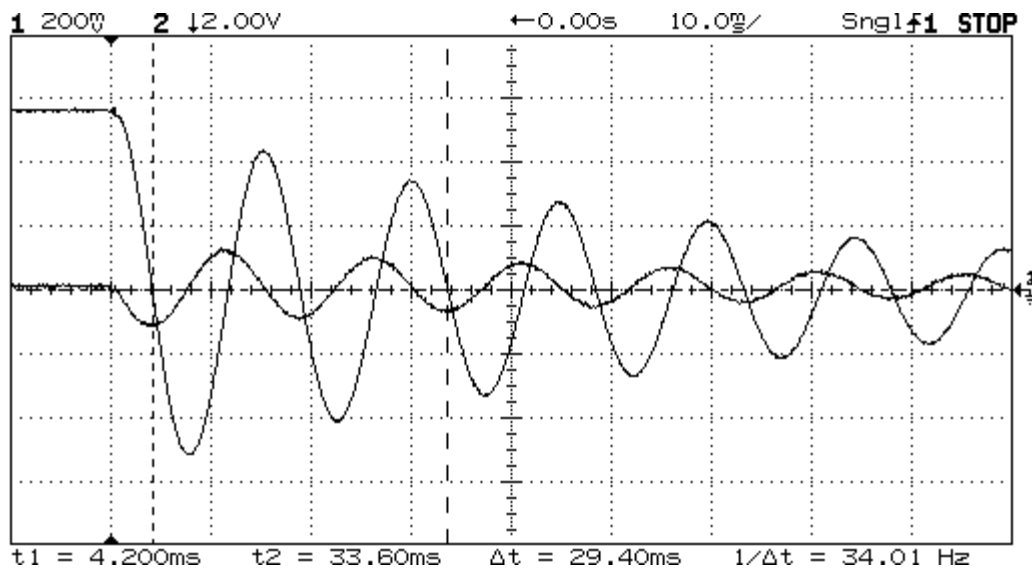
1.1 Oscillations libres d'un circuit RLC (Cf cours et TP condensateurs)



Le condensateur initialement chargé sous tension constante $u = U_0$ a donc accumulé l'énergie électrostatique $W = \frac{1}{2}CU_0^2$. Lorsque l'on ferme l'interrupteur K, il y a **échange d'énergie** entre le condensateur et la bobine et **dissipation d'énergie** dans la résistance R.

Suivant la valeur de R on observe un régime oscillatoire amorti ou un régime aperiodique :

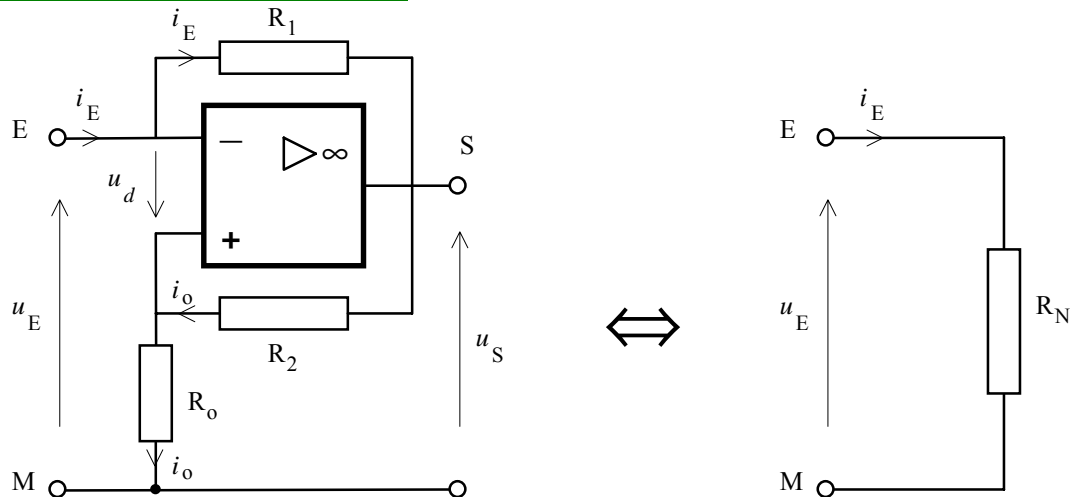
- $R < R_c$ régime oscillatoire amorti : Cf courbes expérimentales $i(t)$ et $u(t)$



- Cas particulier : $R = 0$, la solution est **sinusoïdale** de pulsation égale à la pulsation propre du circuit $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- $R > R_c$ régime aperiodique, il n'y a pas d'oscillation

Rappel : $R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ est la **résistance critique** du circuit RLC

1.2 Montage à résistance négative



En **régime linéaire** $u_d = 0$:

- $u_E = R_0 i_o$ et $R_1 i_E + R_2 i_o = 0$
- $u_E = -R_0 \frac{R_1}{R_2} i_E$

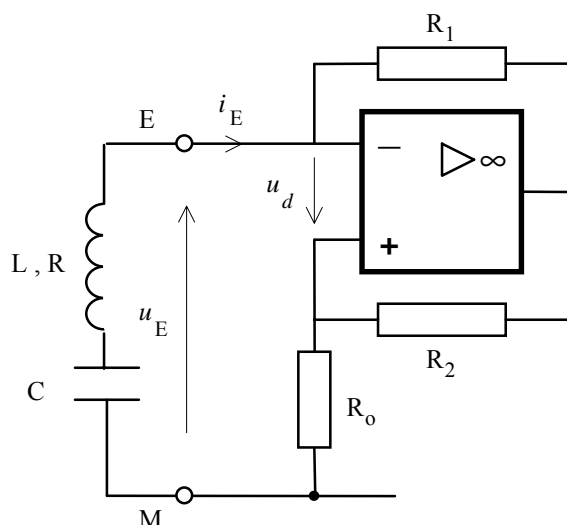
Le dipôle EM est donc équivalent à une "**résistance négative**" : $R_N = \frac{u_E}{i_E} = -\frac{R_0 R_1}{R_2}$

Remarque : en réalité la puissance absorbée par le dipôle EM ($p = u_E i_E = R_N i_E^2$) est toujours **négative** ; c'est donc un **dipôle actif générateur**. L'énergie nécessaire au fonctionnement de ce montage est fournie par l'alimentation de l'amplificateur opérationnel.

Limites de fonctionnement : $-V_{sat} < u_S < +V_{sat}$

- $u_S = (R_0 + R_2) i_o$ et $u_E = R_0 i_o$
- $u_S = \frac{R_0 + R_2}{R_0} u_E$ soit $|u_E| < \frac{R_0}{R_0 + R_2} |V_{sat}|$

1.3 Entretien des oscillations



On associe le dipôle à résistance négative à un circuit RLC d'impédance

$$\underline{Z} = R + j \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)$$

$$\text{alors : } \frac{u_E}{i_E} = -\frac{R_0 R_1}{R_2} = -\underline{Z}$$

On observe l'apparition **d'oscillations sinusoïdales** de pulsation $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$\text{si } R = \frac{R_0 R_1}{R_2}$$

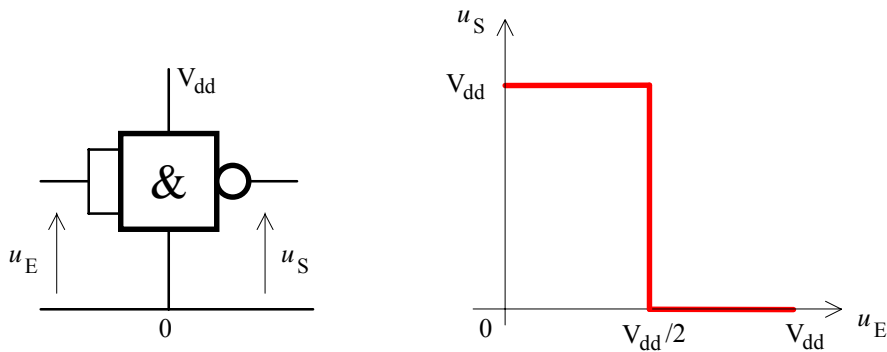
N.B. : la puissance absorbée par la résistance \$R\$ est égale à la puissance fournie par la "**résistance négative**".

2 - MULTIVIBRATEUR ASTABLE

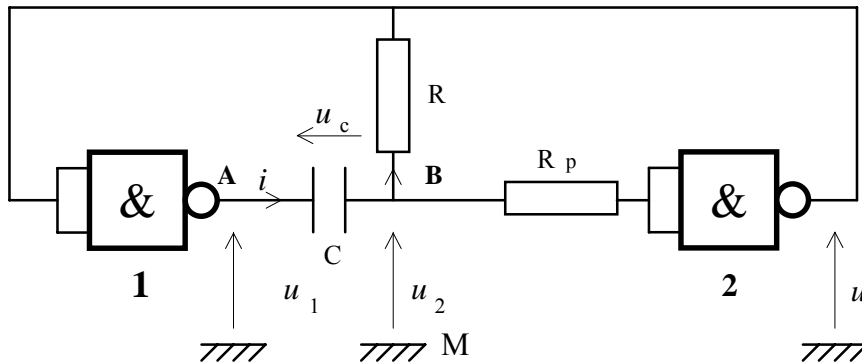
Un montage *astable* est un montage *générateur* fournissant une tension périodique non sinusoïdale et fonctionnant de manière autonome donc sans circuit de commande

2.1 Montage astable à circuits CMOS

Le montage étudié utilise deux inverseurs CMOS parfaits (*résistance d'entrée infinie et seuil de basculement $V_{dd}/2$*) dont la caractéristique est rappelée ci-dessous.



montage



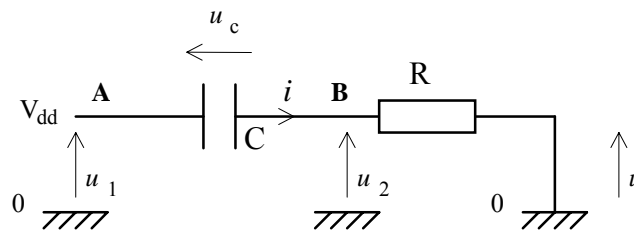
N.B. la résistance R_p , suffisamment élevée, permet de négliger le courant d'entrée du second inverseur devant celui qui traverse le circuit RC, particulièrement lorsque $u_2 < 0$ ou $u_2 > V_{dd}$.

- lois de maille $u_1 = u_2 + u_c$ $u_2 = Ri + u$ ou $u_1 = u_c + Ri + u$

état initial ($t = 0$)

$$u = 0 \quad u_1 = V_{dd} \quad u_c = 0 \quad u_2 = V_{dd}$$

- circuit de charge du condensateur :



Le condensateur se charge suivant la loi : $u_c = V_{dd} (1 - e^{-t/RC})$, u_c tend vers $+V_{dd}$.

- à la date $t = t_0$ la tension de sortie u bascule de 0 à V_{dd} lorsque $u_2 = \frac{V_{dd}}{2}$ soit :

$$u_2 = u_1 - u_c = V_{dd} - V_{dd} (1 - e^{-t/RC}) = V_{dd} e^{-t/RC}$$

$$u_2 = V_{dd} e^{-t_0/RC} = \frac{V_{dd}}{2} \quad \Rightarrow \quad t_0 = RC \ln 2$$

Remarque : au moment de la commutation $u_c = u_1 - u_2 = \frac{V_{dd}}{2}$, elle **ne varie pas**.

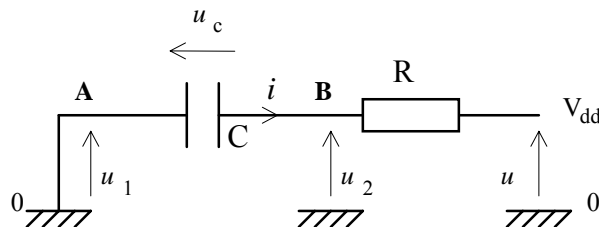
La variation brutale du potentiel du point A (V_{dd} à 0) est intégralement transmise en B :

$$\text{Après commutation} : u_2 = \frac{V_{dd}}{2} - V_{dd} = -\frac{V_{dd}}{2}$$

nouvel état initial ($t = t_0$)

$$u = V_{dd} \quad u_1 = 0 \quad u_c = \frac{V_{dd}}{2} \quad u_2 = -\frac{V_{dd}}{2}$$

- nouveau circuit de charge du condensateur :



Le condensateur se charge suivant la loi : $u_c = a + b e^{-t'/RC}$

$$t' = 0 \quad u_c = \frac{V_{dd}}{2} \quad \text{et} \quad t' \rightarrow \infty \quad u_c \rightarrow -V_{dd}$$

$$u_c = V_{dd} \left(\frac{3}{2} e^{-t'/RC} - 1 \right) \quad \text{et} \quad u_2 = u_1 - u_c = -u_c$$

- à la date $t' = t_1$ la tension de sortie u bascule de V_{dd} à 0 lorsque $u_2 = \frac{V_{dd}}{2}$ soit :

$$u_2 = -V_{dd} \left(\frac{3}{2} e^{-t_1/RC} - 1 \right) = \frac{V_{dd}}{2} \quad \Rightarrow \quad t_1 = RC \ln 3$$

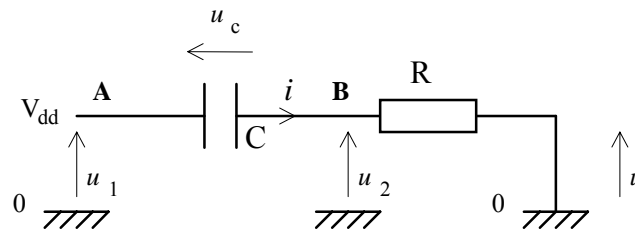
Remarque : au moment de la commutation $u_c = -u_2 = -\frac{V_{dd}}{2}$, elle **ne varie pas**. La variation brutale du potentiel du point A (0 à $+V_{dd}$) est donc intégralement transmise en B :

$$\text{Après commutation} : u_2 = \frac{V_{dd}}{2} + V_{dd} = \frac{3V_{dd}}{2}$$

nouvel état initial ($t = t_0 + t_1$)

$$u = 0 \quad u_1 = V_{dd} \quad u_c = -\frac{V_{dd}}{2} \quad u_2 = \frac{3V_{dd}}{2}$$

- nouveau circuit de charge du condensateur :



Même circuit de charge que le premier état, mais avec des conditions initiales différentes. Le condensateur se charge suivant la loi : $u_c = a + b e^{-t''/RC}$

$$t'' = 0 \quad u_c = -\frac{V_{dd}}{2} \quad \text{et} \quad t'' \rightarrow \infty \quad u_c \rightarrow +V_{dd}$$

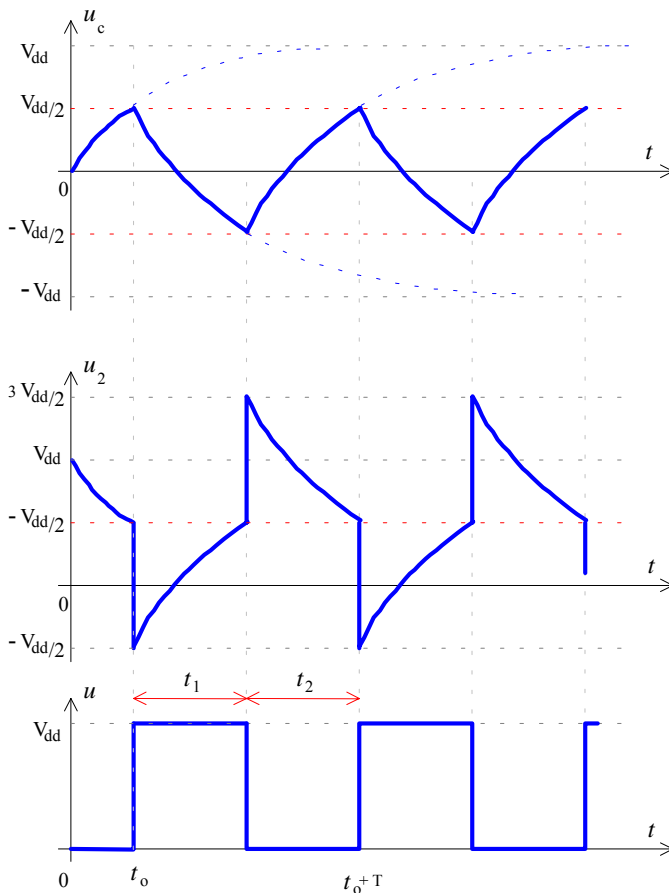
$$u_c = -V_{dd} \left(\frac{3}{2} e^{-t''/RC} - 1 \right)$$

$$u_2 = u_1 - u_c = V_{dd} + V_{dd} \left(\frac{3}{2} e^{-t''/RC} - 1 \right) = \frac{3}{2} V_{dd} e^{-t''/RC}$$

- à la date $t'' = t_2$ la tension de sortie u bascule de V_{dd} à 0 lorsque $u_2 = \frac{V_{dd}}{2}$ soit :

$$u_2 = \frac{3}{2} V_{dd} e^{-t_2/RC} = \frac{V_{dd}}{2} \quad \Rightarrow \quad t_2 = RC \ln 3$$

courbes



période

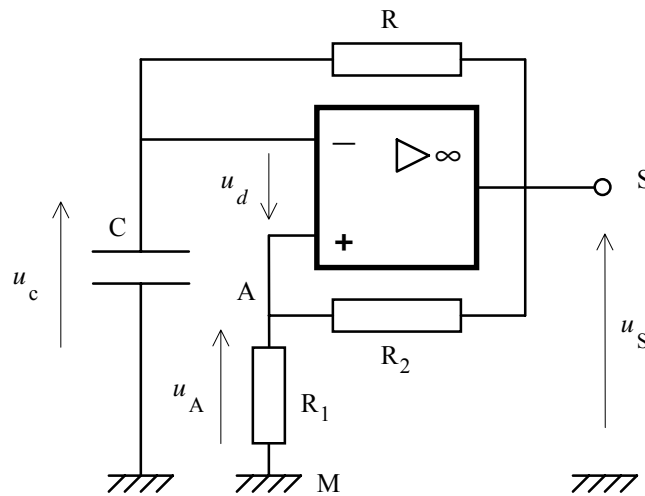
$$T = t_1 + t_2$$

$$T = RC \ln 9$$

rapport cyclique

$$r = \frac{t_1}{T} = \frac{1}{2}$$

2.2 Montage astable à amplificateur opérationnel



L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime de *saturation* :

$$\begin{aligned} u_c < u_A &\Rightarrow u_S = +V_{\text{sat}} \\ u_c > u_A &\Rightarrow u_S = -V_{\text{sat}} \end{aligned}$$

On reconnaît un montage **comparateur à hystérésis** dont les deux seuils sont :

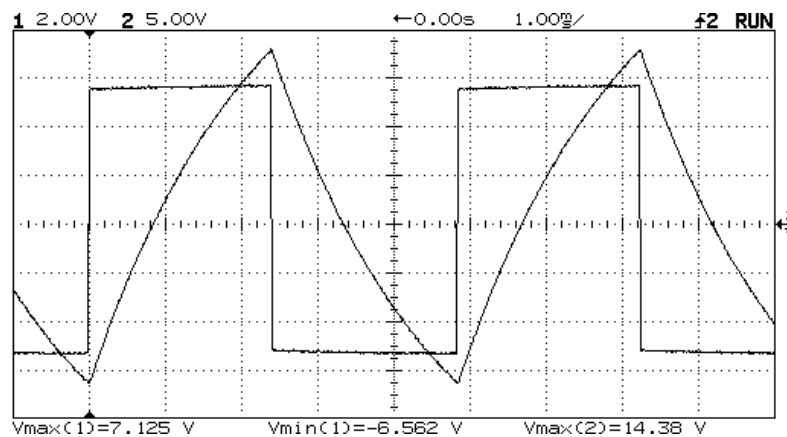
$$V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}} = +k V_{\text{sat}} \quad \text{et} \quad V_B = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}} = -k V_{\text{sat}}$$

Le condensateur se charge à travers la résistance R sous la tension constante $u_S = \pm V_{\text{sat}}$.

- pour $u_S = +V_{\text{sat}}$ la tension aux bornes du condensateur croît et tend vers $+V_{\text{sat}}$, la sortie commute de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$ lorsque $u_c = V_H$
- pour $u_S = -V_{\text{sat}}$ la tension aux bornes du condensateur décroît et tend vers $-V_{\text{sat}}$, la sortie commute de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$ lorsque $u_c = V_B$

Application numérique : $R = 22 \text{ k}\Omega$; $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$; $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$; $V_{\text{sat}} = 14 \text{ V}$

$$k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} \quad V_H = +k V_{\text{sat}} = 7 \text{ V} \quad \text{et} \quad V_B = -k V_{\text{sat}} = -7 \text{ V}$$



Le condensateur se charge à travers la résistance R et la tension u_c varie entre V_B et V_H en suivant une loi de la forme $u_c = a + b e^{-t/RC}$; où a et b dépendent des conditions initiales.

- *première phase*

$$\begin{array}{lll} t = 0 & u_S = +V_{\text{sat}} & \text{et} \quad u_c = -k V_{\text{sat}} \\ t \rightarrow \infty & u_c \rightarrow +V_{\text{sat}} & \end{array}$$

$$\text{loi de charge : } u_c = V_{\text{sat}} \left[1 - (k + 1)e^{-t/RC} \right]$$

- à la date $t = t_1$, u_S bascule de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$ lorsque $u_c = V_H$

$$u_c = V_{\text{sat}} \left[1 - (k + 1)e^{-t_1/RC} \right] = V_H = +kV_{\text{sat}}$$

$$t_1 = RC \ln \frac{1+k}{1-k}$$

- *deuxième phase*

$$\begin{array}{lll} t = t_1 & u_S = -V_{\text{sat}} & \text{et} \quad u_c = +k V_{\text{sat}} \\ t \rightarrow \infty & u_c \rightarrow +V_{\text{sat}} & \end{array}$$

La tension u_c décroît et la sortie bascule de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$ lorsque $u_c = V_B$ au bout d'un temps t_2 identique au précédent (valeurs symétriques des tensions et même circuit de charge).

La période du signal est donc $T = 2RC \ln \frac{1+k}{1-k} = 2RC \ln 3$