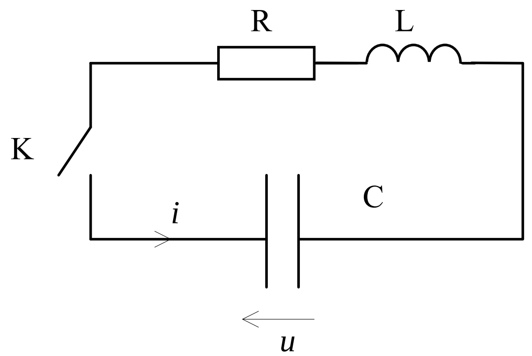
PRODUCTION DU SIGNAL

1 -CIRCUIT RLC

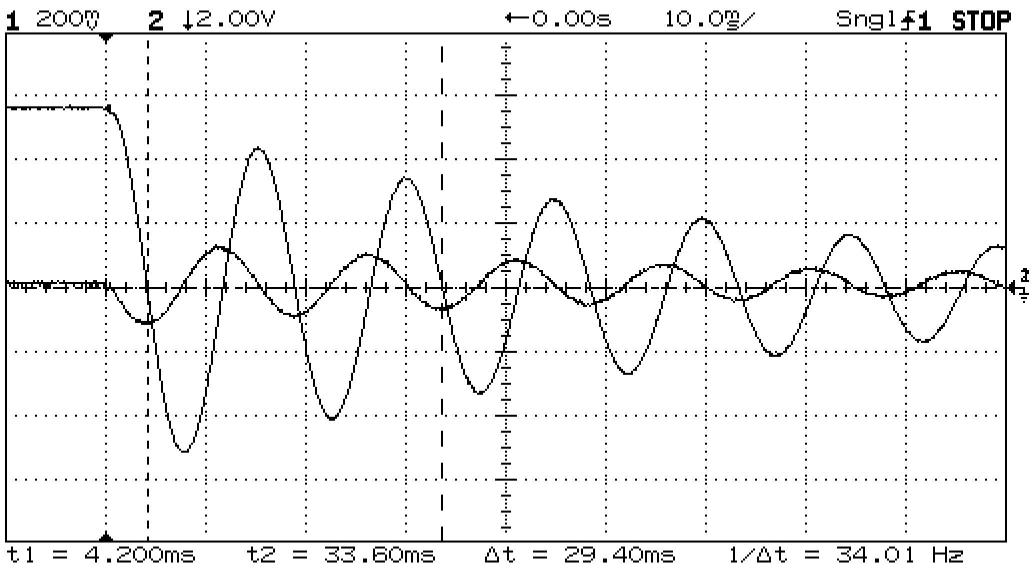
1.1 Oscillations libres d'un circuit RLC (*Cf cours et TP condensateurs*)



Le condensateur initialement chargé sous tension constante u = U_o a donc accumulé l'énergie électrostatique $W = \frac{1}{2}CU_o^2$. 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 apériodique :

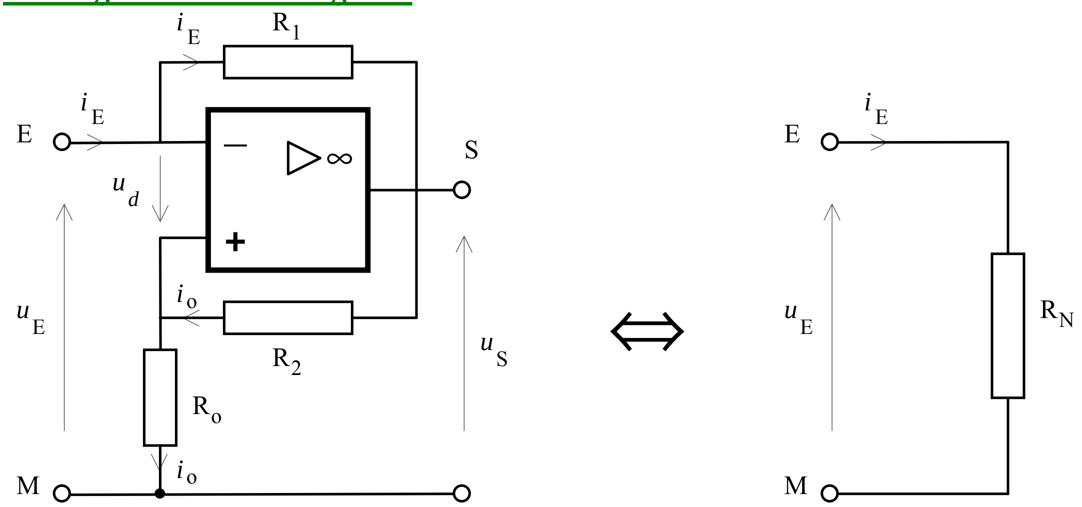
- $R < R_c$ *régime oscillatoire amorti* : *Cf* courbes expérimentales $i(t)$ et $u(t)$



- *Cas particulier* : R = 0, la solution est ***sinusoïdale*** de pulsation égale à la pulsation propre du circuit $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- $R > R_c$ *régime apériodique*, 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*** $u_d = 0$:

- $u_E = R_o\, i_o$ et $R_1\, i_E + R_2\, i_o = 0$
- $u_E = -R_o \dfrac{R_1}{R_2} i_E$

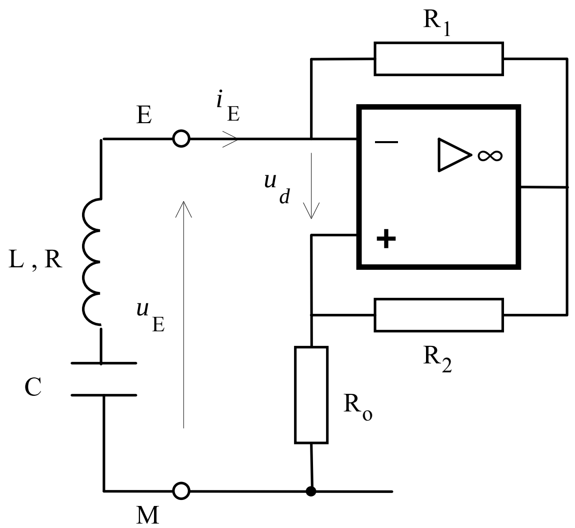
Le dipôle EM est donc équivalent à une ***"résistance négative"*** : $R_N = \dfrac{u_E}{i_E} = -\dfrac{R_o R_1}{R_2}$

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 : $-V_{sat} < u_S < +V_{sat}$

- $u_S = (R_o + R_2)\, i_o$ et $u_E = R_o\, i_o$
- $u_S = \dfrac{R_o + R_2}{R_o} u_E$ soit $|u_E| < \dfrac{R_o}{R_o + R_2} |V_{sat}|$

1.3 Entretien des oscillations



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

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

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

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

$$\text{si} \qquad R = \frac{R_o R_1}{R_2}$$

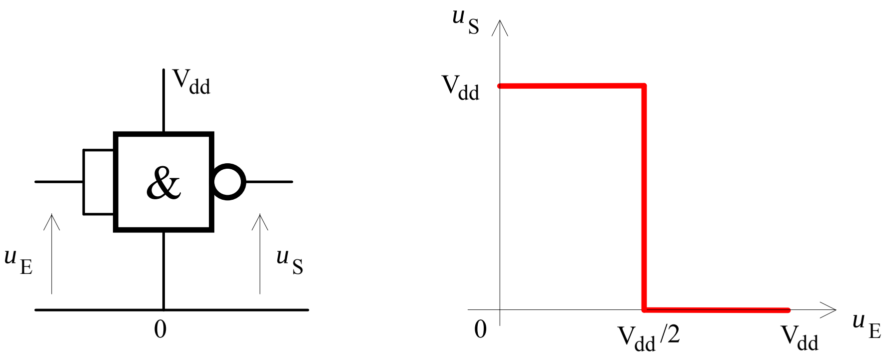
N.B.: la puissance absorbée par la résistance R est égale à la puissance fournie par la *"résistance négative"*.

2 - MULTIVIBRATEUR ASTABLE

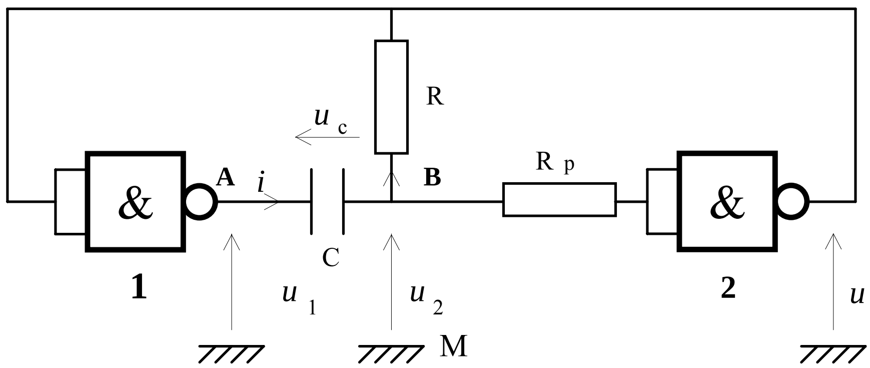
Un montage ***astable*** est un montage ***générateur*** fournissant une tension périodique non sinusoïdale et fonctionnant de manière autonome donc ***sans circuit de commande***

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



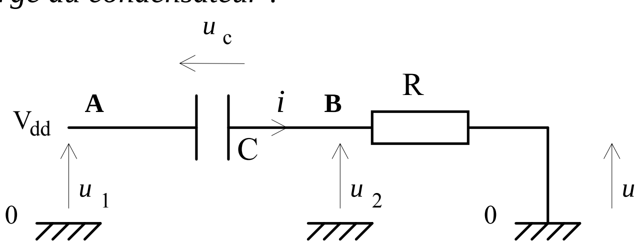
N.B. la résistance R_p, suffisamment élevée, permet de négliger le courant d'entrée du second inverseur devant celui qui traverse le circuit RC, particulièrement lorsque $u_2 < 0$ ou $u_2 > V_{dd}$.

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

état initial (t = 0)

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

- *circuit de charge du condensateur* :



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

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

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

$$u_2 = V_{dd}\, e^{-t_o/RC} = \frac{V_{dd}}{2} \qquad \Rightarrow \qquad t_o = RC\ ln\ 2$$

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

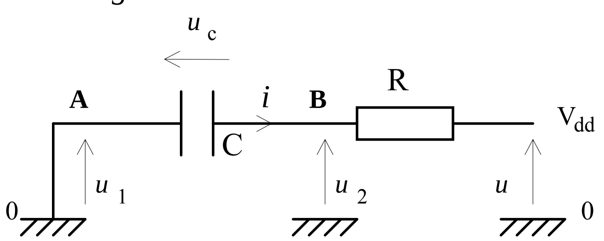
La variation brutale du potentiel du point A (V_{dd} à 0) est intégralement transmise en B :

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

nouvel état initial ($t = t_o$)

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

- *nouveau circuit de charge du condensateur* :



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

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

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

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

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

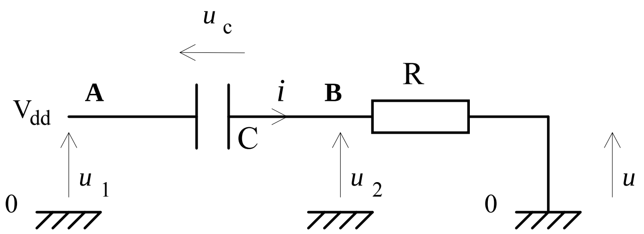
Remarque : au moment de la commutation $u_c = -u_2 = -\dfrac{V_{dd}}{2}$, elle ***ne varie pas***. La variation brutale du potentiel du point A (0 à $+V_{dd}$) est donc intégralement transmise en B :

Après commutation : $u_2 = \dfrac{V_{dd}}{2} + V_{dd} = \dfrac{3V_{dd}}{2}$.

nouvel état initial ($t = t_o + t_1$)

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

- *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 : $u_c = a + b\,e^{-t''/RC}$

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

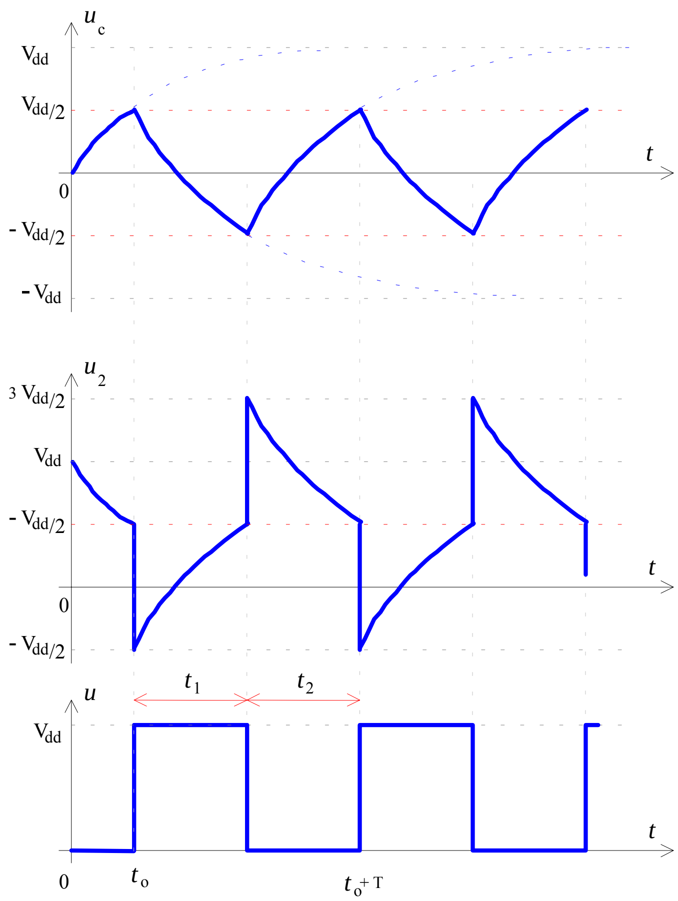
$$u_c = -V_{dd}\left(\frac{3}{2}e^{-t''/RC} - 1\right)$$

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

- 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 :

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

courbes



période

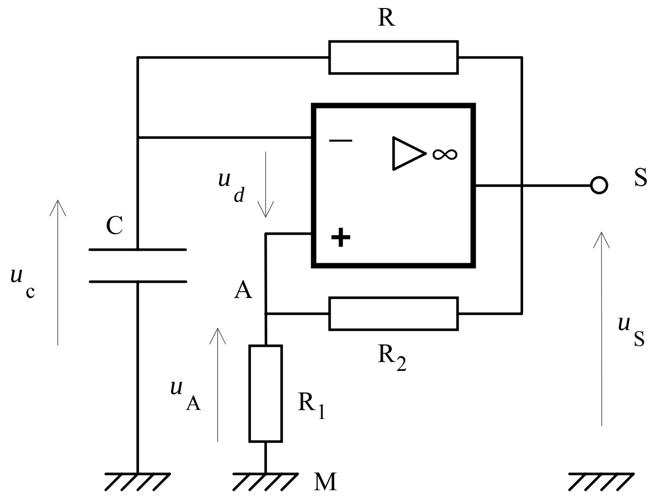
$$T = t_1 + t_2$$

$$T = RC\,ln9$$

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* :

$u_c < u_A \quad \Rightarrow \quad u_S = +V_{sat}$

$u_c > u_A \quad \Rightarrow \quad u_S = -V_{sat}$

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

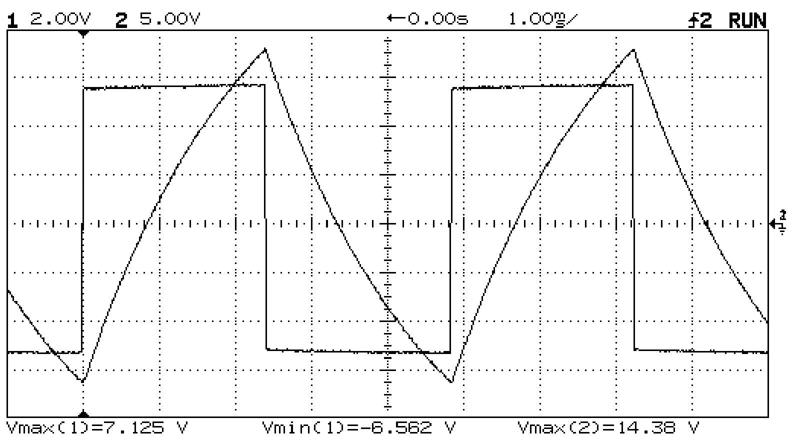
$$V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = +k\, V_{sat} \qquad \text{et} \qquad V_B = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = -k\, V_{sat}$$

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

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

Application numérique : R = 22 kΩ ; C = 0,1 µF ; $R_1 = R_2 = 10$ kΩ ; $V_{sat} = 14$ V

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



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*

  $t = 0$ $\quad u_S = +V_{sat}$ $\quad$ et $\quad u_c = -k\,V_{sat}$

  $t \to \infty$ $\quad u_c \to +V_{sat}$

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

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

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

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

- *deuxième phase*

  $t = t_1$ $\quad u_S = -V_{sat}$ $\quad$ et $\quad u_c = +k\,V_{sat}$

  $t \to \infty$ $\quad u_c \to +V_{sat}$

La tension u_c décroît et la sortie bascule de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ 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 $T = 2RC\ln\frac{1+k}{1-k} = 2RC\ln 3$