Générateurs de fonctions et Oscillateurs

Electrique I

Adil KOUKAB

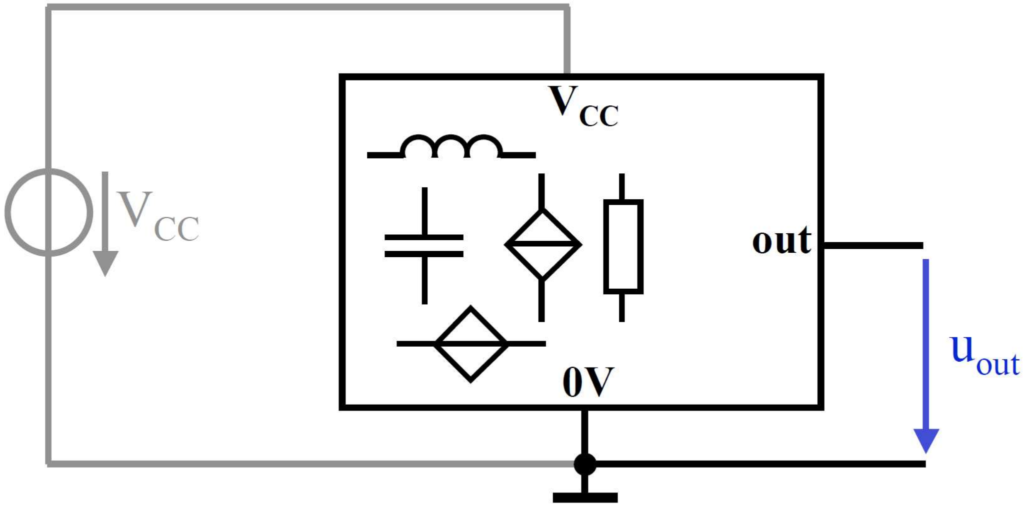
EPFL

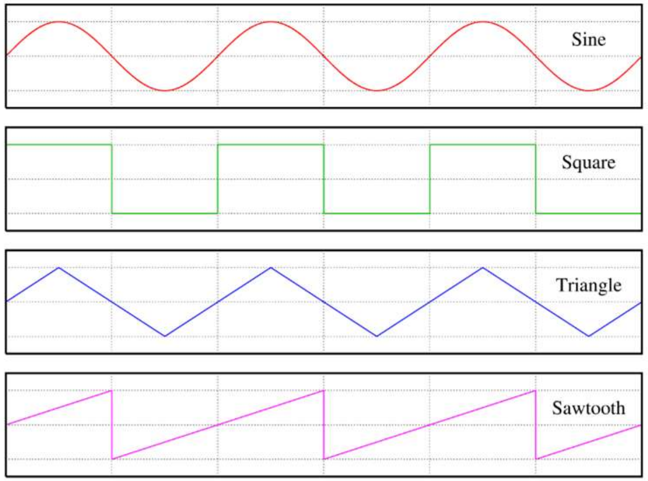
Sommaire

- Définitions et Généralités
- Bascule astable:
- Générateur de signaux carrés et triangulaires
- Oscillateurs RC
  - Conditions d'oscillation
  - Oscillateur à déphasage

Bascule astable, Générateur de signaux et Oscillateur

- **Générateurs de signaux, bascules astables et oscillateurs** sont des circuits actifs **autonomes** (besoin d'alimentations continue mais pas de signal à l'entrée) utilisés pour générer **des signaux périodiques**.
- L'amplitude et la fréquence du signal sont déterminés par les éléments internes du circuit.
- Largement utilisé en électronique (Ex: pour tester les circuits en laboratoire, pour moduler/démoduler un signal radio ou pour générer les bases temporelles nécessaires à la synchronisation les opérations dans un système électronique).

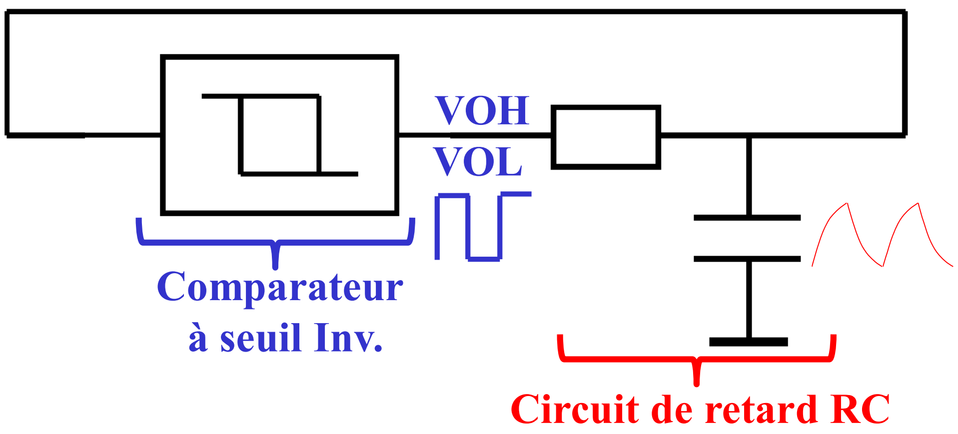


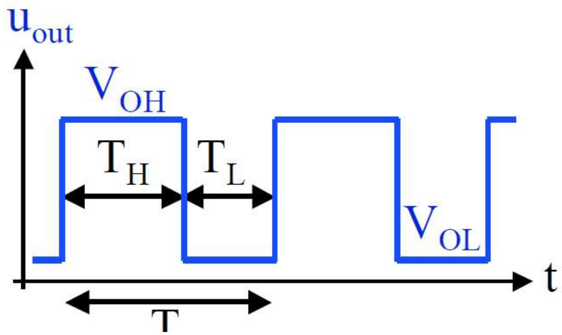


Sommaire

- Définitions et Généralités
- Bascule astable:
- Générateur de signaux carrés et triangulaires
- Oscillateurs RC
  - Conditions d'oscillation
  - Oscillateur à déphasage

Bascule astable: principe de base



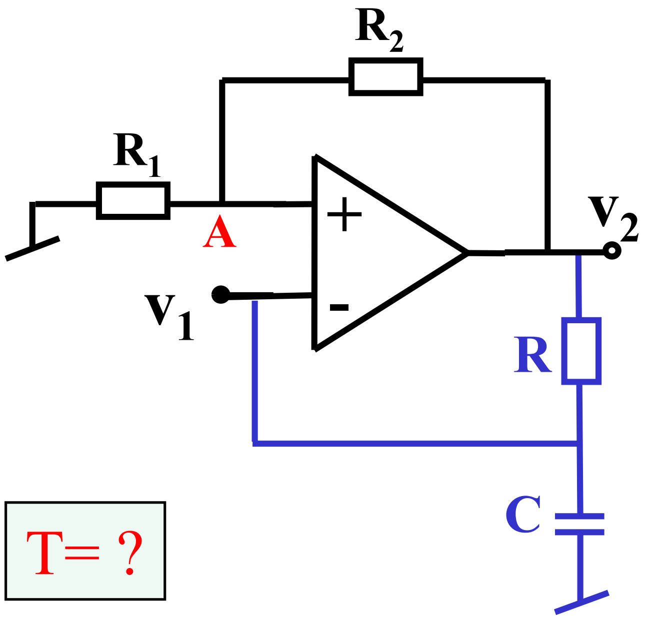


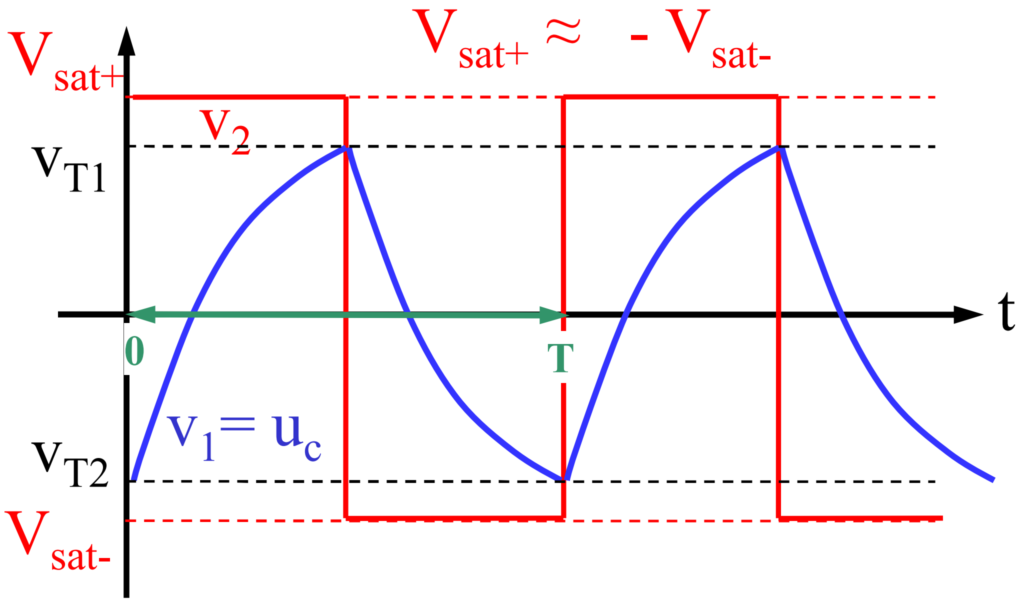
$$\text{Fréquence : } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_H + T_L}$$

$$\text{Rapport cyclique : } d = \frac{T_H}{T}$$

- Une bascule astable est un système à forte réaction positive, qui n'a que **deux états de sortie** possibles, dits "haut" (High) et "bas" (Low), mais dont **aucun n'est stable**.
- Le système reste dans l'état haut durant un temps donné T_H, puis bascule à l'état bas et y reste durant un temps T_L, puis revient à l'état haut et ainsi de suite périodiquement.
- Exemple d' implémentation: Un **comparateur à seuil inverseur**, bouclé sur lui-même par un circuit de retard (p. ex. RC).
- Le comparateur fait charger la capacité qui à son tour fait basculer le comparateur qui entame sa décharge ainsi de suite.

Bascule astable: Exemple d'implémentation





T= ?

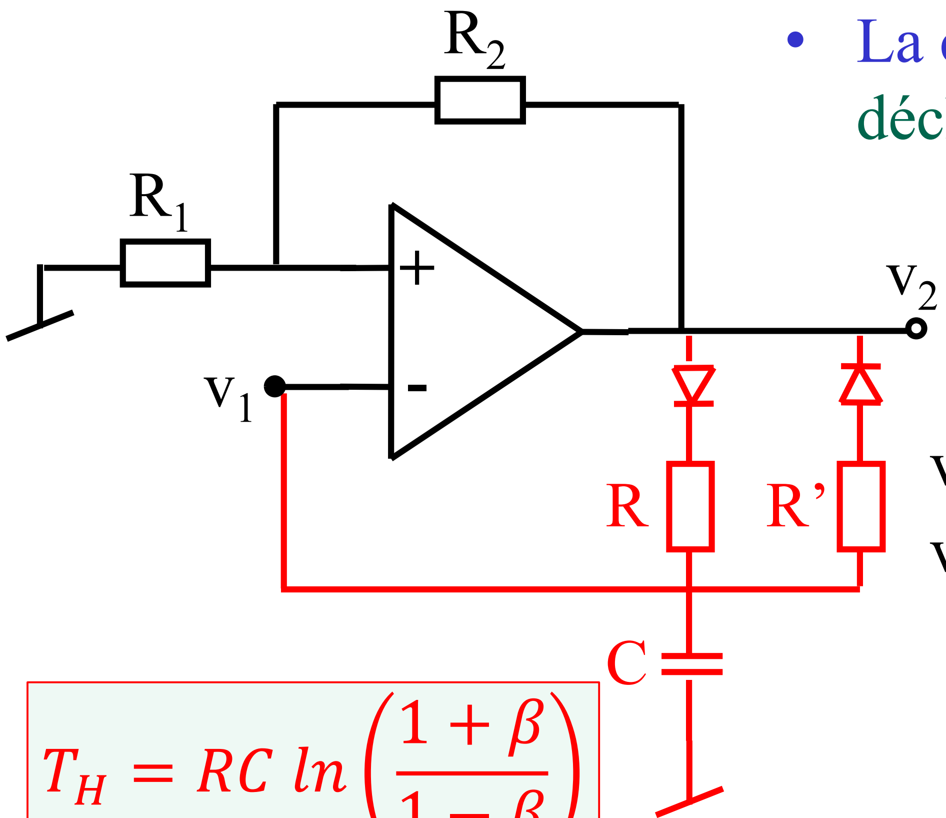
$$u_c(t) = u_{c\infty} - \left(u_{c\infty} - u_c(0)\right)e^{-\frac{t}{\tau}}$$ avec et $u_c(0) = V_{T2}$; $u_{c\infty} = V_{sat+}$ et $u_c\left(\frac{T}{2}\right) = V_{T1}$

$$u_c\left(\frac{T}{2}\right) = V_{sat+} - (V_{sat+} - V_{T2})e^{-\frac{T}{2\tau}} = V_{T1} \quad \Rightarrow T = 2RC \ln\left(\frac{V_{sat+} - V_{T2}}{V_{sat+} - V_{T1}}\right)$$

$$V_{T1} = \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} V_{sat+} = \beta V_{sat+} = -V_{T2}$$

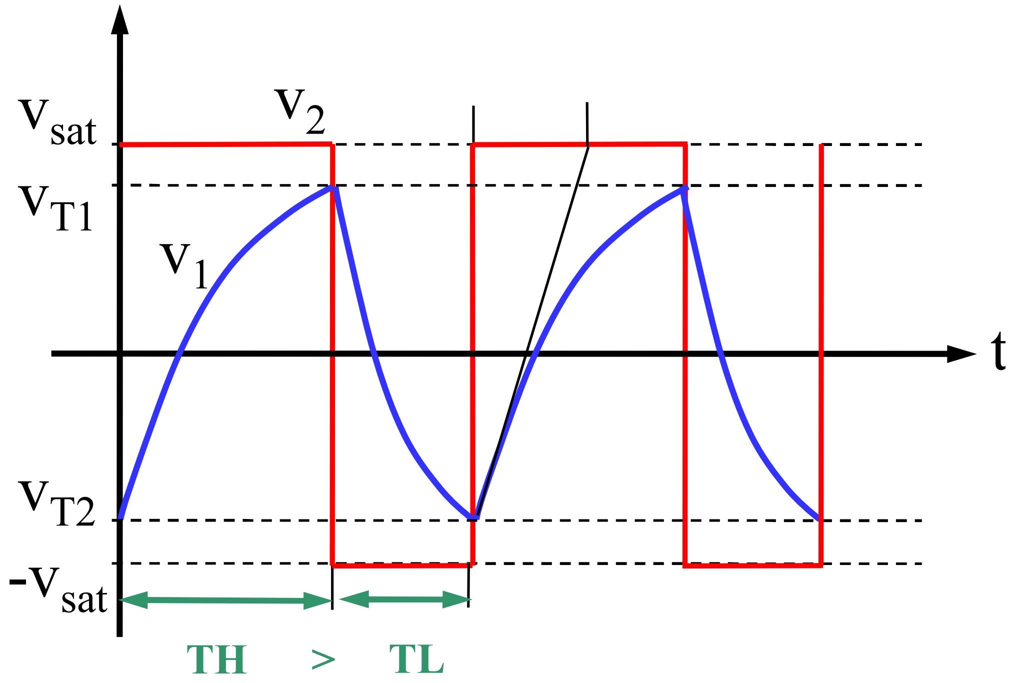
$$\boxed{T = 2RC \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)}$$

Implémentation avec $T_L \neq T_H$



- La capacité se charge à travers R et se décharge à travers R'.

$R > R' \rightarrow t_{charge} > t_{décharge}$



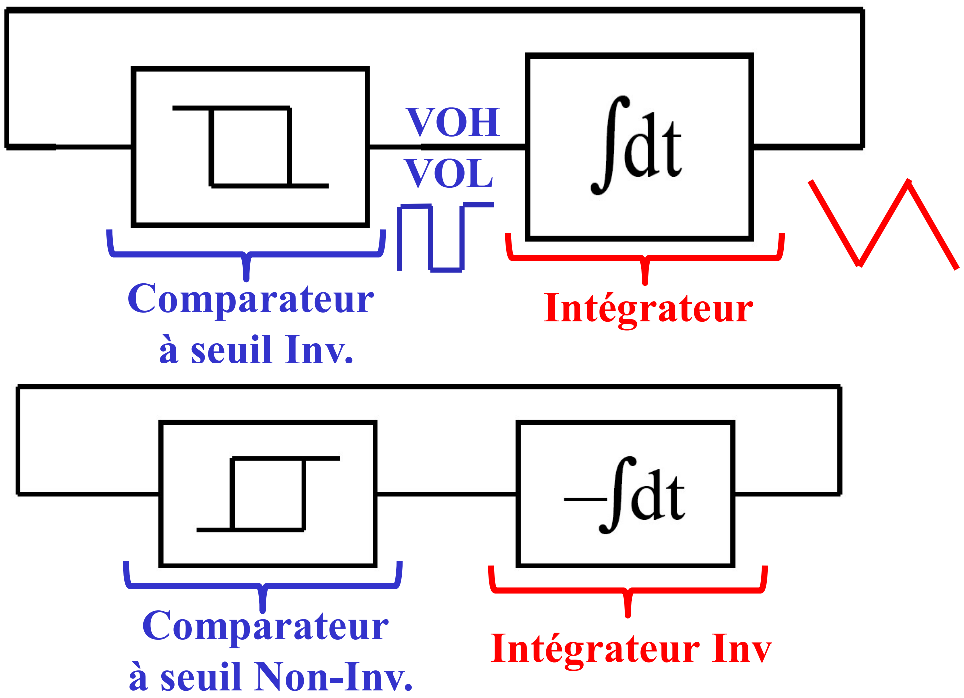
$$T_H = RC\ ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

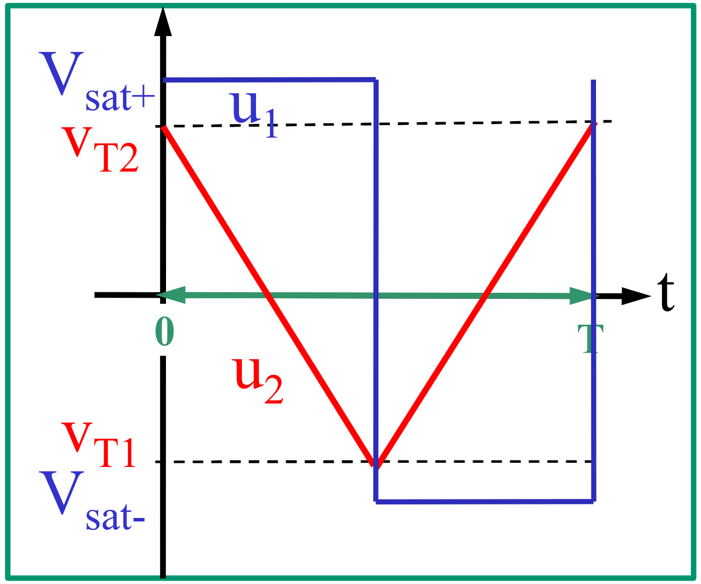
$$T_L = R'C\ ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

Sommaire

- Définitions et Généralités
- Bascule astable:
- Générateur de signaux carrés et triangulaires
- Oscillateurs RC
  - Conditions d'oscillation
  - Oscillateur à déphasage

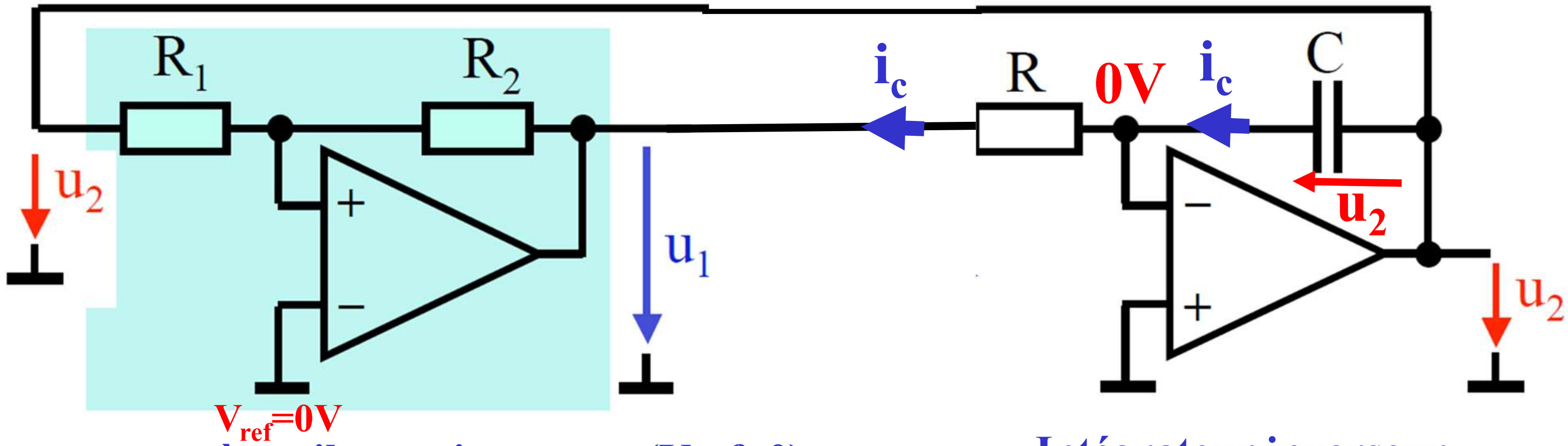
Générateur de signaux triangle et carré: principe de base





- Implémentation: Un comparateur à seuil Non-inverseur, bouclé sur lui-même par un intégrateur inverseur (au lieu d'un circuit RC).
- L'intégrale d'un signal carrée et un signal triangulaire.

Implémentation: Générateur de signaux triangle et carré



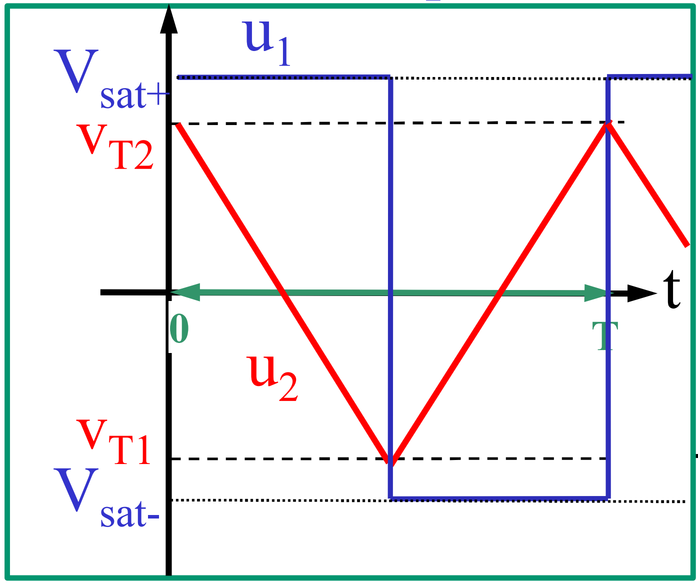
Comparateur à seuils non-inverseur (Vref=0)

Intégrateur inverseur

$$V_{T1} = -V_{T2} = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat+} \text{ (si } V_{sat+} = -V_{sat-}\text{)}$$

$\boxed{u_2 = ?}$

$$i_c = c\frac{du_2}{dt} = -\frac{u_1}{R}$$



$$\boxed{u_2(t) = u_2(0) - \frac{1}{RC}\int_0^t u_1(t)dt}$$

avec $u_1 = V_{sat\pm}$

$$u_2(t) = u_2(0) - \frac{V_{sat\pm}}{RC} t$$

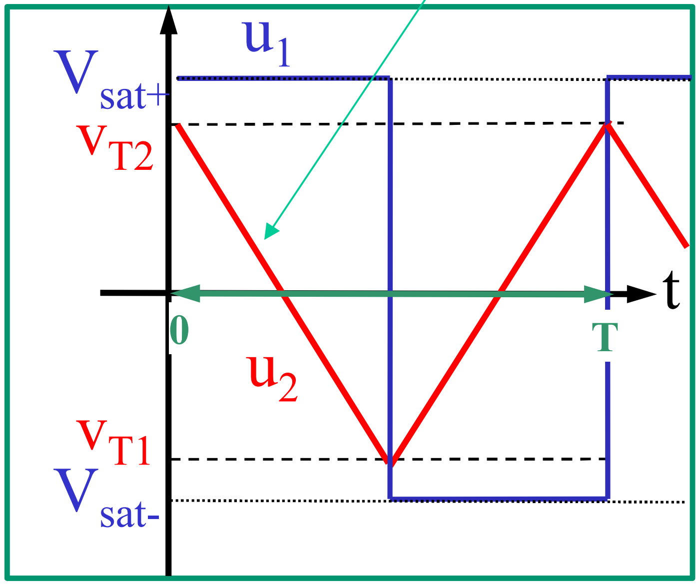
$\boxed{T = ?}$ ***Pour t = T/2***

$$u_2\left(\frac{T}{2}\right) = V_{T2} - \frac{V_{sat}}{RC}\frac{T}{2} = V_{T1} \rightarrow \boxed{T = \frac{2RC}{V_{sat+}}\Delta V_{T1} = 4RC\frac{R_1}{R_2}}$$

Générateur de signaux : contrôle de fréquence

$\boxed{T\ =?}$

$pour\ 0 < t < \frac{T}{2}: u_2(\mathrm{t}) = V_{T2} - \frac{V_{sat+}}{RC}t$



à t = T/2

$u_2\left(\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{2}}\right) = V_{T2} - \frac{V_{sat}}{RC}\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{2}} = V_{T1} \rightarrow$

$T\ = \frac{2RC}{V_{sat+}}\Delta V_{T1}\ avec\ \Delta V_{T1} = \frac{R_1}{R_2}2V_{sat+}$

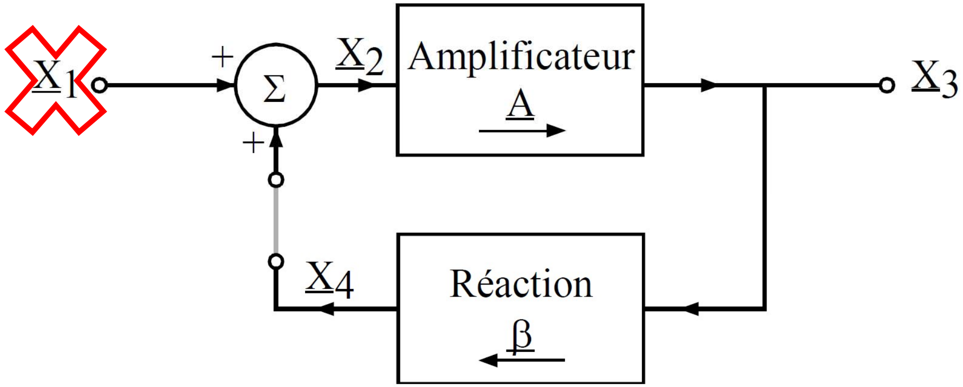
$$\boxed{T\ = 4RC\frac{R_1}{R_2}}$$

Sommaire

- Définitions et Généralités
- Bascule astable:
- Générateur de signaux carrés et triangulaires
- Oscillateurs RC
  - Conditions d'oscillation
  - Oscillateur à déphasage

Oscillateurs: définition et conditions d'oscillation

- Un **oscillateur** est un **Amplificateur** **($A(j\omega)$)** bouclé en **réaction positif** par un circuit **sélecteur de fréquence ($\beta(j\omega)$)** et qui satisfait le critère d'oscillation (**critère de Barkhausen**).



$$X_3 = A(j\omega)\left(X_1 + \beta(j\omega)\, X_3\right)$$

$$\frac{X_3}{X_1} = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega)\,\beta(j\omega)}$$

- Si à une certain ω_0, $A(j\omega_0)\,\beta(j\omega_0) = 1$ alors $\frac{X_3}{X_1} \rightarrow \infty$.
- A ω_0 **le circuit aura donc un signal de sortie fini même si le signal d'entrée est nul** (≡ définition d'un oscillateur).

$A(j\omega_0)\,\beta(j\omega_0)=1$ est le **critère de Barkhausen et f_0 la fréquence d'oscillation**

Conditions d'oscillation

- Théoriquement il suffit donc que $\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)} = 1$ (gain boucle ouverte complexe = 1) pour avoir des oscillations.

Ou encore

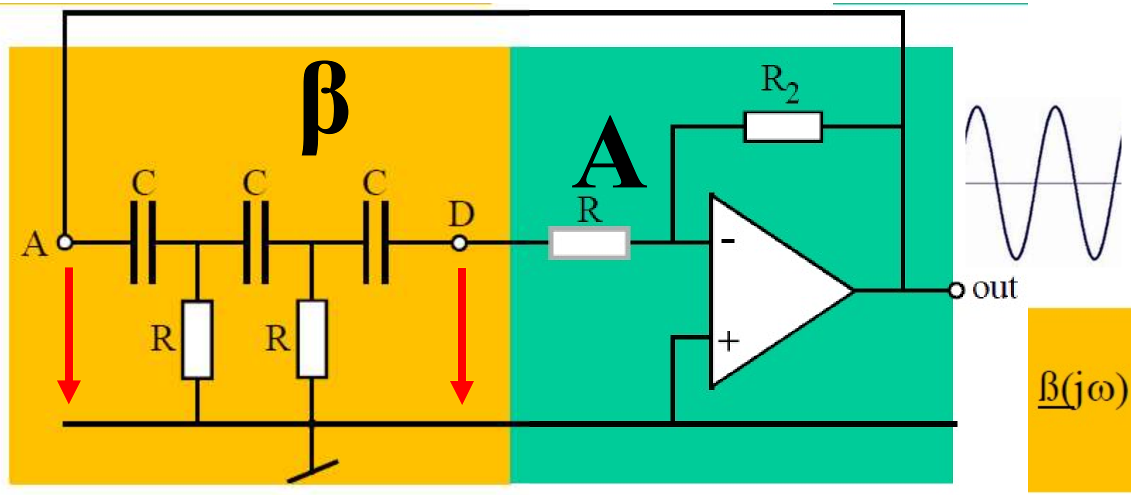
$$\begin{cases} \operatorname{Arg}\left[\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)}\right] = 0\ [2\pi] & \rightarrow \text{(donne la Fréquence } \omega_0 = 2\pi f_0\text{)} \\ \left|\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)}\right| = 1 & \rightarrow \text{(donne l'amplitude du signal)} \end{cases}$$

Garantir l'oscillation et Contrôler l'amplitude

- Pour Garantir l'oscillation: on choisit $\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)} > 1$ pendant **la phase transitoire** pour amorcer l'oscillation quelque soit les conditions (variations PVT c.à.d. de process, de tension et de température)

- Pour contrôler l'amplitude: en ajoute un **mécanisme non-linéaire** qui rentre en action lorsque l'amplitude des oscillations atteints la valeur voulue et fait tendre $\left|\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)}\right| \to 1$ et donc stopper son évolution **(régime établi).**

Implémentation: Oscillateur RC à déphasage



$\underline{A(j\omega)} = -\frac{R_2}{R}$

$\rightarrow \mathrm{Arg}\left[\underline{A(j\omega_0)}\right] = 180°$

$$\underline{\beta(j\omega)} = \frac{\underline{V_D}}{\underline{V_A}} = \frac{1}{\underbrace{1-\frac{5}{(\omega RC)^2}}_{=\mathbf{R}(\omega)} - j\underbrace{\left(\frac{6}{\omega RC} - \frac{1}{(\omega RC)^3}\right)}_{=\mathbf{I}(\omega)}}$$

Fréquence d'oscillation $\omega_0 = 2\pi f_0$?

$$\mathrm{Arg}\left[\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)}\right] = 0 \rightarrow \mathrm{Arg}\left[\underline{\beta(j\omega_0)}\right] = 180° \rightarrow \mathrm{Arg}[1] - \mathrm{Arg}[\mathrm{R}(\omega_0) + j\mathrm{I}(\omega_0)] = 0 - Actg\left(\frac{\mathrm{I}(\omega_0)}{\mathrm{R}(\omega_0)}\right) = 180°$$

$$\rightarrow \mathbf{I}(\omega_0) = 0 \rightarrow \frac{6}{\omega_0 RC} - \frac{1}{(\omega_0 RC)^3} = 0 \Rightarrow \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6}RC}}$$

Condition sur A pour l'entretien des oscillations

Exploiter la Condition 2: $\left|\underline{A}(j\omega_0)\,\underline{\beta}(j\omega_0)\right| = 1$

Avec $\begin{cases} \underline{A}(j\omega_0) = -\dfrac{R_2}{R_1} \\ \omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{6}RC} \rightarrow \underline{\beta}(j\omega_0) = \dfrac{1}{1-\frac{5}{(\omega_0 RC)^2}} = -\dfrac{1}{29} \end{cases}$

$$\left|\underline{A}(j\omega_0)\,\underline{\beta}(j\omega_0)\right| = 1 \rightarrow A = -29 = -\frac{R_2}{R} \rightarrow \boxed{R_2 = 29\,R}$$

Garantir l'oscillation et Contrôler l'amplitude

- Pour Garantir l'oscillation: nous choisirons $|A| > 29$ (ou $R_2 > 29$ R) afin d'amorcer l'oscillation quelque soit les conditions PVT.

- Pour contrôler l'amplitude: Nous utiliserons ensuite un **mécanisme non-linéaire** qui fait diminuer $|A|$ (ou R_2) au fur et à mesure que l'amplitude d'oscillations augmente.

- Ex: choisir pour R_2 une thermistance R_{NTC} avec:
  - $R_{NT} > 29R_1$ à faible température (c.à.d. régime transitoire, T faible)
  - $R_{NTC} \downarrow$ quand l'amplitude (et donc T) $\uparrow$
  - Jusqu'à atteindre 29 R_1 ($|\underline{A(j\omega_0)}\,\underline{\beta(j\omega_0)}| = 1$) à l'amplitude désirée (régime permanent).