

# ELEC 1101 - Problème P2

## Conception du « VCO »

William Chermanne, Mathieu Detremmerie, Abbas Sliti, Brice Thomas

13 mars 2015

Le dessin de ce problème P2 était de modéliser une tension de sortie périodique à partir d'une tension d'entrée constante

## 1 Schéma blocs fonctionnels

Nous avons modélisé notre VCO à l'aide de 2 blocs d'amplification : un montage intégrateur et une bascule d'hystérèse (trigger de Schmitt). Nous avons également introduit un switch (figure 1).

Le rôle du VCO est de fournir une tension de sortie ( $V_{out}$ ) périodique à partir d'une tension d'entrée continue ( $V_{in}$ ). La fréquence du signal de sortie doit évoluer linéairement avec la tension du signal d'entrée.

### 1.1 Description du montage

On peut décomposer le montage des blocs en deux grandes étapes : le switch est ouvert, le switch est fermé.

1. **Le switch est ouvert** : lorsque le switch est ouvert la tension d'entrée continue arrive dans le bloc intégrateur. Celui-ci intègre la tension constante par la relation

$$K_{int} \int V_{in} dt$$

et nous donne à la sortie du bloc intégrateur une tension ascendante ou descendante en fonction du temps. Notons que comme le montage intégrateur est un montage inverseur, une tension constante d'entrée dont la  $V > 0$  donnera une tension qui décroît linéairement avec le temps (pente  $< 0$ ) et inversement une tension d'entrée dont  $V < 0$  donnera une tension qui croît linéairement avec le temps (pente  $> 0$ ). Le signal se dirige ensuite vers le second bloc, le trigger de Schmitt. Ce bloc agit comme une conditionnelle et permet de fermer/ouvrir l'interrupteur qui est en parallèle avec la capacité du montage intégrateur. Son fonctionnement se décompose en deux parties. l'idée est de lui dire : "si tu as arrives à ce seuil, tu fais ça *sinon* tu fais ça". Dans notre cas, lorsque la

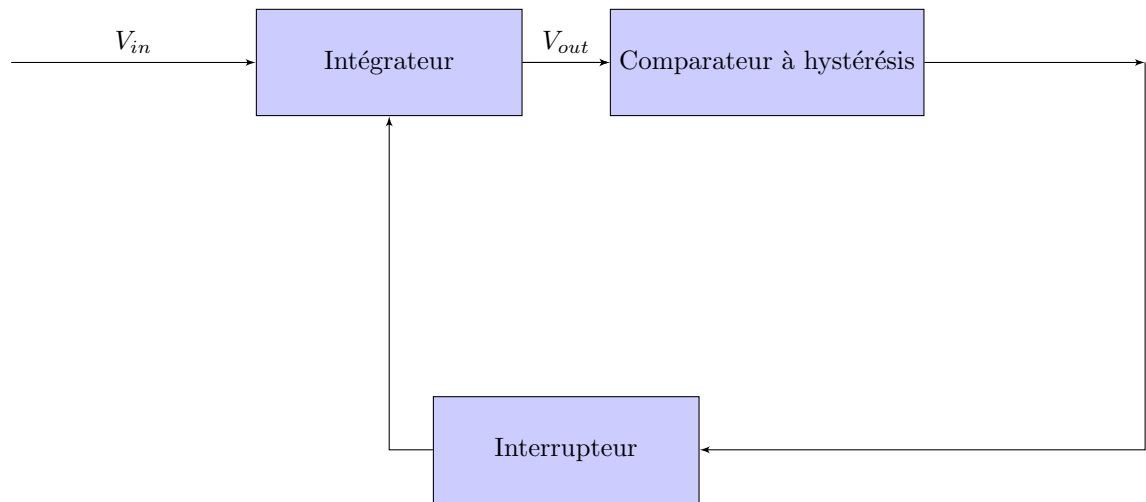


FIGURE 1 – Représentation schématique du VCO et de ses blocs fonctionnels

droite à la sortie de l'intégrateur arrive à la tension de seuil  $V_H$ , celui-ci sature à +15 V et permet la fermeture du switch en parallèle avec la capacité<sup>1</sup>.

2. **Le switch est fermé** : suite à la tension de +15 V à la sortie du trigger de Schmitt, l'interrupteur se ferme. Le montage VCO agit comme une boucle *tant que* les conditionnelles sont valables (comme un programme informatique). A présent, suite à la fermeture du switch le montage intégrateur n'agit plus comme tel mais plutôt comme un circuit de type  $RC$ . Lorsque le switch se ferme la capacité se décharge dans la résistance qui est mise en série avec le switch et par conséquent fait chuté la tension de sortie avec une constante de temps  $\tau = RC$ <sup>2</sup>. Le signal passe ensuite par la bascule à hystérèse qui renvoie une tension de 0 V lorsque la tension a atteint une tension seuil égale à  $V_L$  qui permet d'ouvrir à nouveau l'interrupteur. Le montage VCO agit ensuite comme un cycle où l'on passe de la phase de charge de la capa (étape 1) à une phase de décharge (étape 2) engendrant un signal périodique en dent de scie.

## 2 Relation mathématique

Notre montage se compose de 2 blocs, un bloc intégrateur et un bloc comparateur à hystérésis. Nous voulons exprimer la tension d'entrée à la fréquence

1. Nous intégrons un signal continu négatif, par conséquent nous avons une tension qui croît à la sortie de l'intégrateur

2. La tension décroît de manière exponentielle, c'est pourquoi il faut trouver un compromis entre  $R$  et  $C$  et donc  $\tau$  afin de minimiser le temps de décharge.

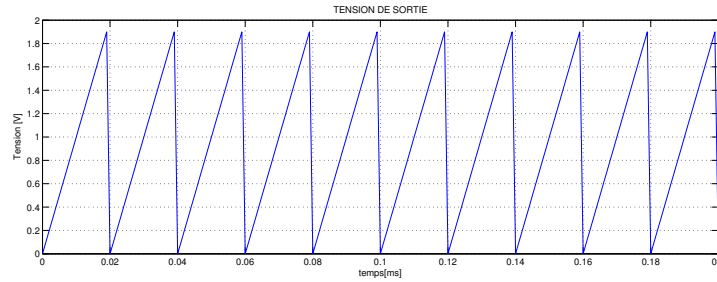


FIGURE 2 – Tension de type « dent de sci » obtenue à la sortie de l'intégrateur

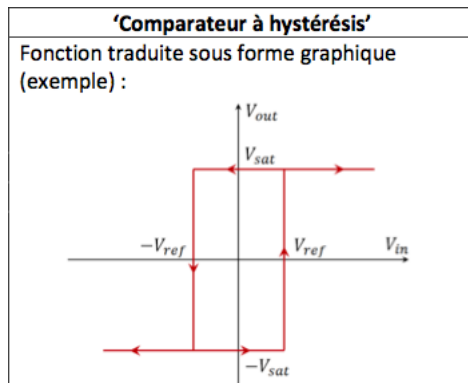


FIGURE 3 – Illustration de l'effet du bloc comparateur à hystérésis

de sortie ( $1/T_{out}$ ) de notre bloc intégrateur (notre signal en dent de sci) par la relation

$$\frac{1}{T_{out}} = \alpha V_{in} \quad (1)$$

Pour ce faire, nous savons que la fonction mathématique décrivant la sortie de l'intégrateur

$$V_{out} = K_{int} \int V_{in} dt \quad (2)$$

Quant à l'effet du comparateur à hystérésis, lui, est décrit à la figure 3.

La période d'un signal est la distance séparant de maximum ou deux minimum. Dès lors, calculer la période de notre signal en dent de sci revient à calculer la durée entre la droite ascendante et la droite descendante que nous approximations avec une pente  $= \infty$ . Par conséquent, la période revient à déterminer la portion  $\Delta x$  sur laquelle la droite ascendante croît.

A la sortie de l'intégrateur nous avons par la relation 2

$$K_{int} \int V_{in} dt = K_{int} \cdot V_{in} \cdot t \quad (3)$$

$$= \beta \cdot t \quad (4)$$

$\beta$  est la pente de la droite. Pour la pente d'une droite, or

$$\beta = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$\Delta y = V_H - V_L$  (distance entre les deux ordonnées extrêmes), et  $\Delta x = T_{out}$ .  
Dès lors

$$\beta = \frac{V_H - V_L}{T_{out}} \quad (5)$$

Et donc, nous pouvons exprimer la tension d'entrée en fonction de la fréquence de sortie (équation 1)

$$\frac{1}{T_{out}} = \frac{\beta}{V_H - V_L} \quad (6)$$

$$= \frac{K_{int} \cdot V_{in}}{V_H - V_L} \quad (7)$$

$$= \alpha \cdot V_{in} \quad (8)$$

### 3 Implémentation circuit

Afin de vérifier nos prédictions, nous avons réalisé le montage de notre VCO sur LTspice afin de vérifier nos prédictions. Le circuit monté est illustré à la figure 4.

#### 3.1 Dimensionnement des sous-blocs

**Intégrateur** Afin de modéliser l'intégrateur, nous devons déterminer la résistance et la capacité afin d'obtenir une tension qui varie de manière linéaire avec le temps. La sortie de l'intégrateur s'exprime par

$$K_{int} \int V_{in} dt$$

où  $K_{int} = -1/RC$ . A partir de la valeur de  $K_{int}$ , nous nous rendons compte que les valeurs de  $R$  et  $C$  sont cruciales et permettent de déterminer la pente. En effet, des valeurs de  $R$  et  $C$  trop élevée donneront à une pente presque infinie tandis que des valeurs trop faible donnerait lieu à une pente pratiquement nulle.

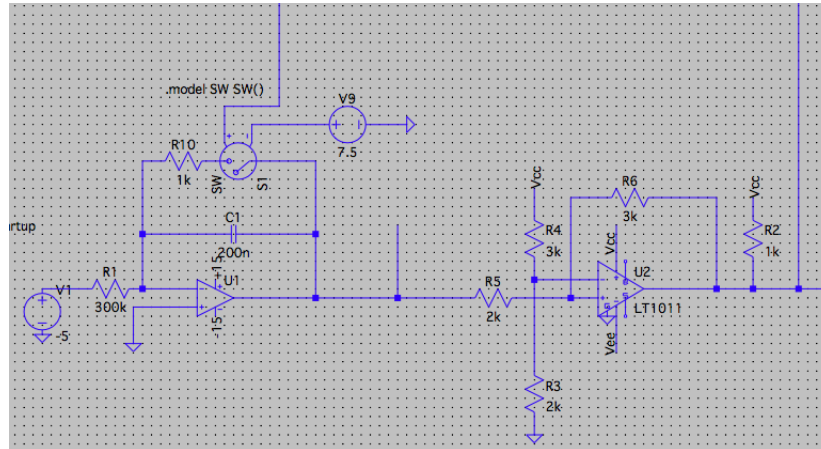


FIGURE 4 – Circuit monté sur LTspice

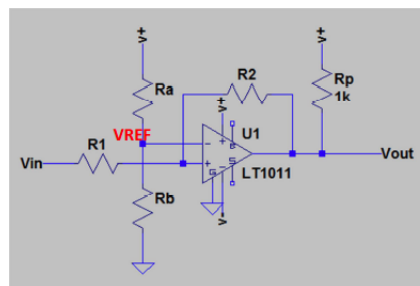


FIGURE 5 – Bascule à hystérésis

**Bascule à hystérésis** Le schéma de la bascule à hystérésis que nous avons utilisée est repris à la figure 5.

Les équations déterminant  $V_H$  et  $V_L$ , les deux tensions de seuils qui permettent l'ouverture et la fermeture du switch sont les suivantes

$$\begin{cases} V_H = V_{ref}(1 + \frac{R_1}{R_2}) \\ V_L = V_{ref} + \frac{R_1}{R_2}(V_{ref} - V_{dd}) \end{cases}$$

$$V_H = V_{ref}(1 + \frac{R_1}{R_2}) \quad (9)$$

$$V_L = V_{ref} + \frac{R_1}{R_2}(V_{ref} - V_{dd}) \quad (10)$$

Nous voulons que notre signal soit périodique pour des tensions comprises entre 0V et 10V. De plus,  $V_{dd} = 15V$ . Soit  $\frac{R_1}{R_2} = \gamma$ . A partir de l'équation 10, nous obtenons

$$V_{ref} + \gamma V_{ref} - 15\gamma = 0$$

et donc

$$V_{ref} = \frac{(15\gamma)}{(1 + \gamma)} \quad (11)$$

En remplaçant dans l'équation 9, nous obtenons

$$\begin{aligned} V_H &= V_{ref}(1 + \gamma) \\ &= \frac{(15\gamma)}{(1 + \gamma)}(1 + \gamma) \\ &= 15\gamma \\ &= 10V \end{aligned}$$

Finalement, nous avons donc le rapport

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{2}{3} \\ &= \frac{R_1}{R_2} \end{aligned}$$

En remplaçant dans l'équation 11, nous pouvons la valeur de  $V_{ref}$

$$\begin{aligned} V_{ref} &= \frac{(15\gamma)}{(1 + \gamma)} \\ &= \frac{15 \cdot (2/3)}{5/3} \\ &= 6V \end{aligned}$$

Etant donné que la tension  $V_{ref}$  s'obtient par un simple diviseur de la tension  $V_{dd} = +15V$  sur les résistances  $R_a$  et  $R_b$ , le rapport à respecter pour que  $V_{ref} = 6V$  est également  $R_b/R_a = 2/3$

Pour notre simulation, nous avons donc utilisé les valeurs  $R_1 = R_b = 2k$  et  $R_2 = R_a = 3k$

### 3.2 Résultats de simulation

Après simulation (figure 6), nous voyons, en vert,  $V_{in} = -5V$ ; en bleu, notre signal périodique de sortie, qui oscille entre 0 et 10V (approximativement).

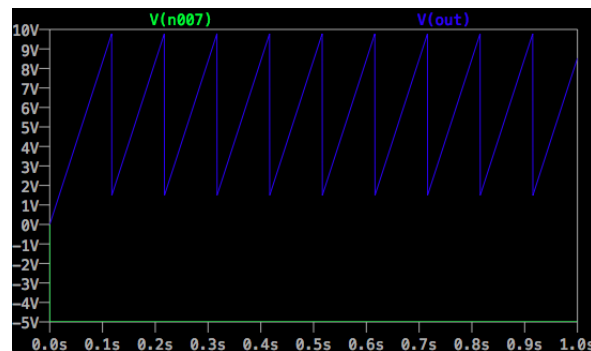


FIGURE 6 – Résultats de simulation

Faisons maintenant un zoom sur notre signal de sortie, à la figure 7

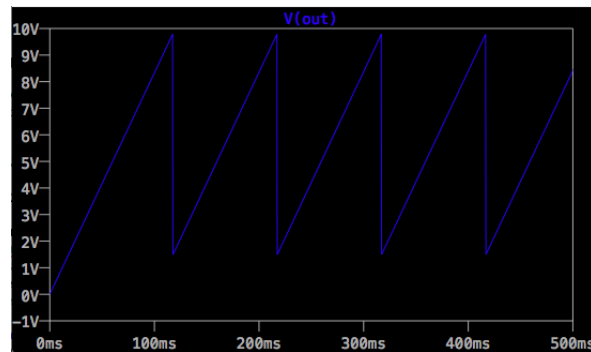


FIGURE 7 – Signal de sortie

Nous voyons bien un signal périodique en dent de scies.

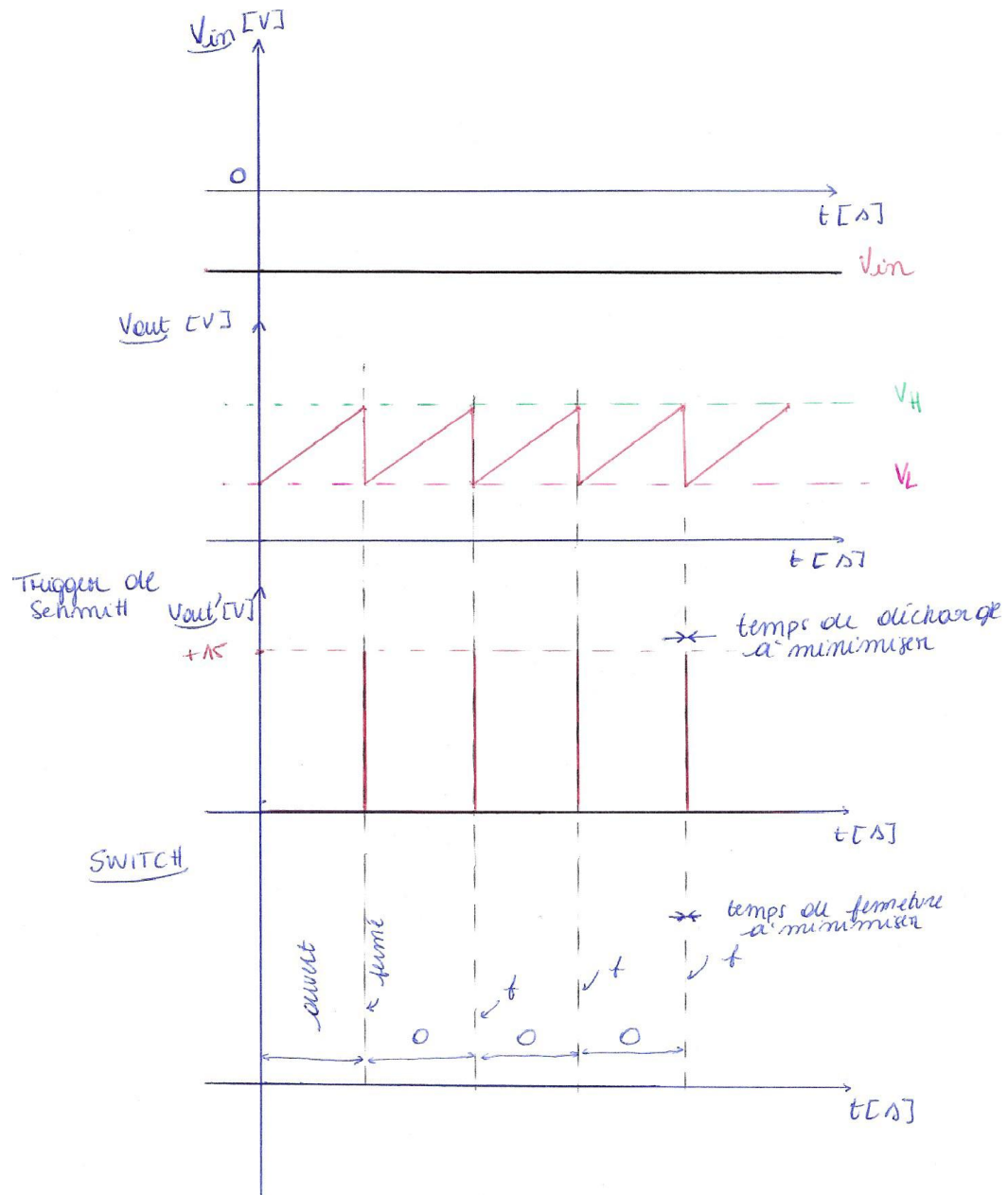


FIGURE 8 – Annexe : diagramme des tensions dans chaque bloc fonctionnel