

# LELEC1101 - Projet d'électricité

## Conception du Voltage-Controlled-Oscillator (VCO)

### Groupe 3

DE BROUX Michel (8707-13-00)

COLPIN Lionel (3965-12-00)

DEPREZ Damien (2893-13-00)

MARTINELLE Thibault (8737-13-00)

PARIS Antoine (3158-13-00)

16 mars 2015

## 1 Blocs fonctionnels

Pour réaliser le VCO, nous avons décidé d'utiliser 3 blocs fonctionnels : un intégrateur, un soustracteur et un comparateur à hystérésis (ou trigger de Schmitt). Ces blocs fonctionnels sont agencés comme sur la figure 1.

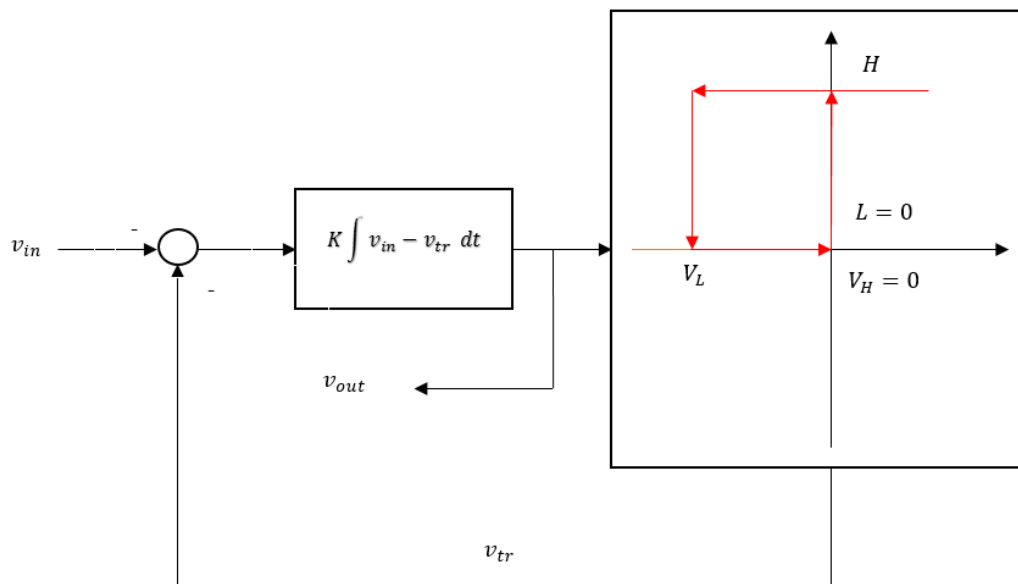


FIGURE 1: Schéma en blocs fonctionnels de notre VCO.

Sur cette figure,  $V_L$  et  $V_H$  désignent les tensions de basculement du trigger tandis que  $H$  et  $L$  désignent les valeurs possibles pour  $v_{tr}$ , la tension de sortie du trigger. On peut se convaincre que cet agencement de blocs fonctionnels remplit bien la fonction d'oscillateur contrôlé en tension.

Pour cela, considérons  $v_{tr}$  initialement à 0 V et  $v_{in} = x$  avec  $x > 0$ . On a alors dans un premier temps

$$v_{out} = K \int x - 0 dt = Kxt. \quad (1)$$

Cette droite de pente positive est directement plus grande que  $V_H = 0$  et on a donc directement  $v_{tr} = H$ . La tension de sortie devient alors

$$v_{out} = K \int x - H dt = K(x - H)t. \quad (2)$$

En supposant que  $H$ , la tension de saturation du trigger, est largement plus grande que  $x$ , on a maintenant une droite avec une pente très négative qui va atteindre  $V_L$  en un temps  $t_f$  négligeable. Une fois ce temps très court passé, et donc  $V_L$  atteint, on aura à nouveau  $v_{tr} = 0$  et donc à nouveau la droite de l'équation 1. Le signal  $v_{out}$  de sortie est un signal **en dent de scie** dont la période est égale au temps  $t_r$  mis par la droite de l'équation 1 pour passer de  $V_L$  à  $V_H = 0$

$$T = \frac{V_L}{Kv_{in}}.$$

On a donc une fréquence directement proportionnelle  $v_{in}$  à selon

$$f = \frac{K}{V_L}v_{in}.$$

## 2 Circuit et simulations

Pour implémenter le circuit équivalent à ces blocs fonctionnels, on peut combiner le soustracteur et l'intégrateur afin de réduire à deux le nombre de blocs nécessaire. Une façon d'implémenter ce circuit est représentée à la figure 3.

En pratique, un problème apparaît lorsqu'on simule ce circuit. Pour une raison inconnue, la tension "basse" du trigger ( $L$  sur le schéma en blocs fonctionnels) est de l'ordre de  $150 - 300 \text{ mV}$ <sup>1</sup>. On peut observer cet effet sur la figure 4, qui présente les résultats de simulation. On verra par la suite que cela entraîne quelques difficultés.

On peut maintenant exprimer  $v_{out}$  en terme des composants du circuits. A la sortie de l'intégrateur/soustracteur, on a

$$v_{out} = \frac{1}{RC} \int -v_{in} - v_{tr} dt \quad (3)$$

où  $v_{tr}$  vaut  $L$  ou  $H$  et avec  $v_{in} < 0$ .

---

1. Et ce même lorsque le trigger est déconnecté du reste du circuit.

On trouve un temps de montée  $t_r = \frac{V_L RC}{v_{in} + L}$  et un temps de descente  $t_f = \frac{-V_L RC}{v_{in} + H}$ . Si l'entrée est suffisamment faible par rapport à  $H$ , on peut négliger  $t_f$  et on obtient alors

$$T = \frac{V_L RC}{v_{in} + L}$$

ou encore

$$f = \frac{v_{in} + L}{V_L RC}$$

où  $V_L = -\frac{R_1}{R_2} V_{CC}$ .

On peut vérifier que la simulation et le calcul fournissent bien le même résultat pour le circuit donné à la figure 3 et les résultats de simulation donnés à la figure 3. Par calcul, on obtient une période de 0.306 ms tandis que les mesures sur les graphes de simulation indiquent une période de 0.30 ms<sup>2</sup>.

La fréquence en fonction de  $v_{in}$  est représentée à la figure 2. Afin de garder une tension de sortie en dents de scie, on ne peut pas trop augmenter  $v_{in}$  (car on finirait par obtenir un triangle). On ne peut pas non plus prendre une valeur trop petite pour  $v_{in}$  car notre VCO ne fonctionne plus si  $-v_{in} < L$ . En fixant la valeur minimale de la tension d'entrée à  $-300$  mV et la valeur maximale à  $-1.6$  V (de manière arbitraire, mais de façon à garder un signal en dents de scie), on devrait **théoriquement** (insistons sur ce mot) pouvoir générer des fréquences allant de 100 Hz à 2 kHz.

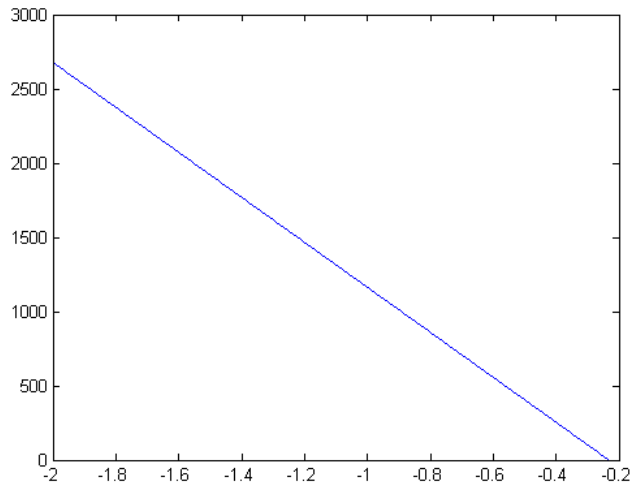


FIGURE 2: Graphe de la fréquence en fonction de la tension d'entrée.

---

2. On a donc une erreur relative de l'ordre de 2%, sans doute dû aux imprécisions de mesures.

### 3 Circuit et mesures

En montant le circuit proposé dans la section précédente, on constate que  $L$  une valeur qui passe de 100 mV à 220 mV (voir figure 5).

La figure 7 présente le résultat des mesures sur le circuit réel de notre VCO pour une entrée de  $-440$  mV. Notons que les valeurs des résistances ne sont pas les mêmes que celle utilisée lors de la simulation pour des raisons pratiques (le schéma du circuit tel que construit est repris sur la figure 6).

Les figure suivantes montrent les résultats pour différentes valeurs d'entrées.

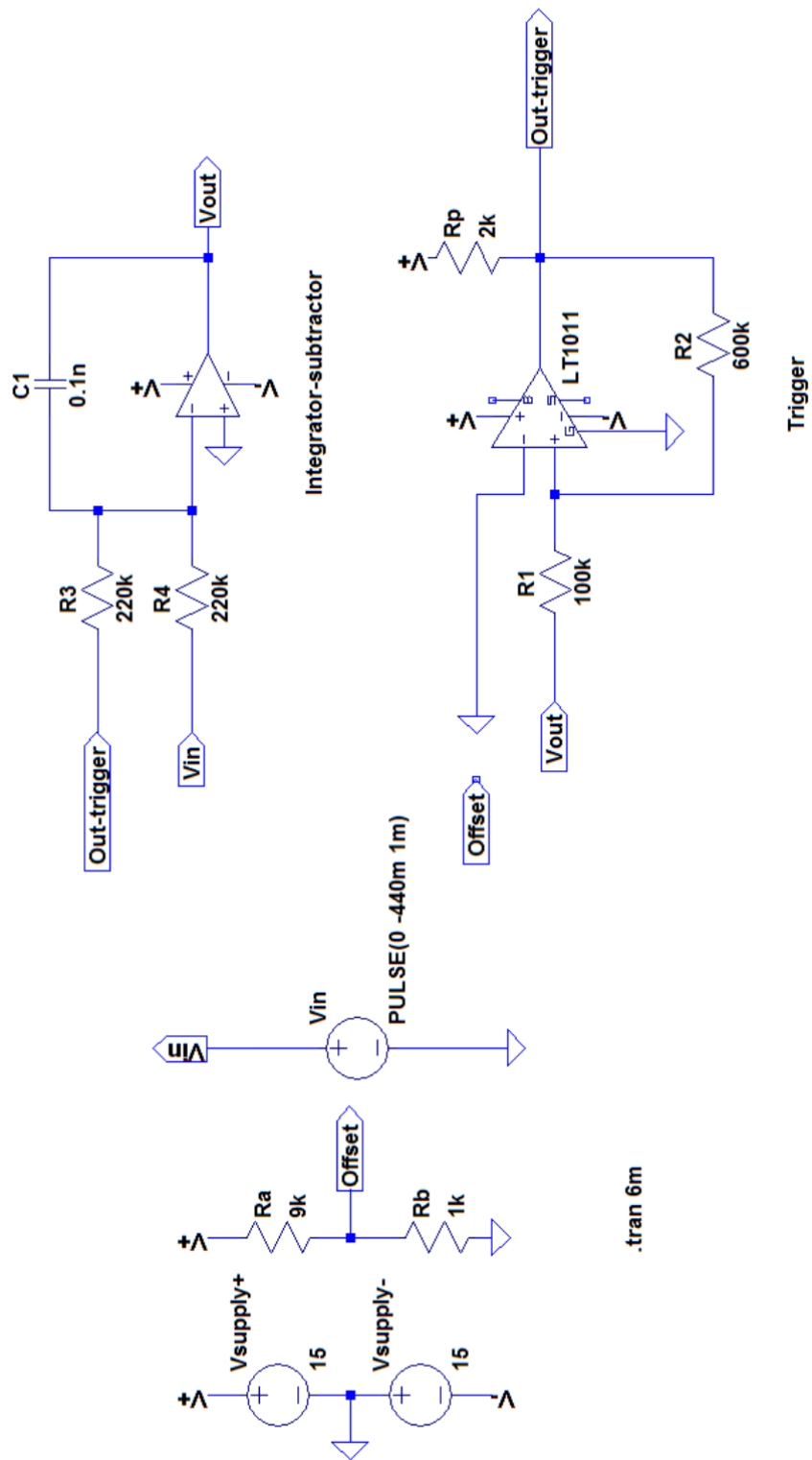


FIGURE 3: Circuit de notre VCO.

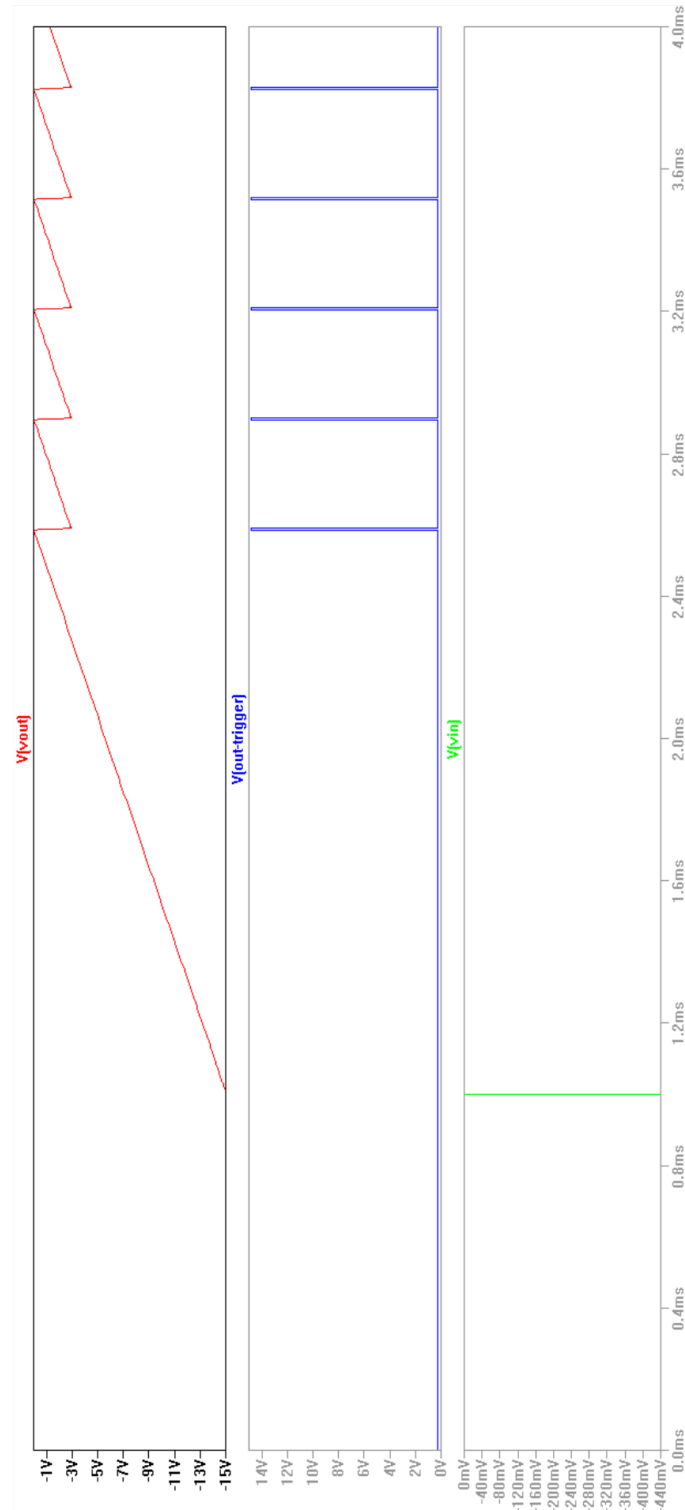


FIGURE 4: Simulation du circuit de notre VCO. L'entrée est un échelon passant de 0 V à  $-440$  mV, la sortie est un signal en dent de scie, et la sortie du trigger est un train d'impulsions.

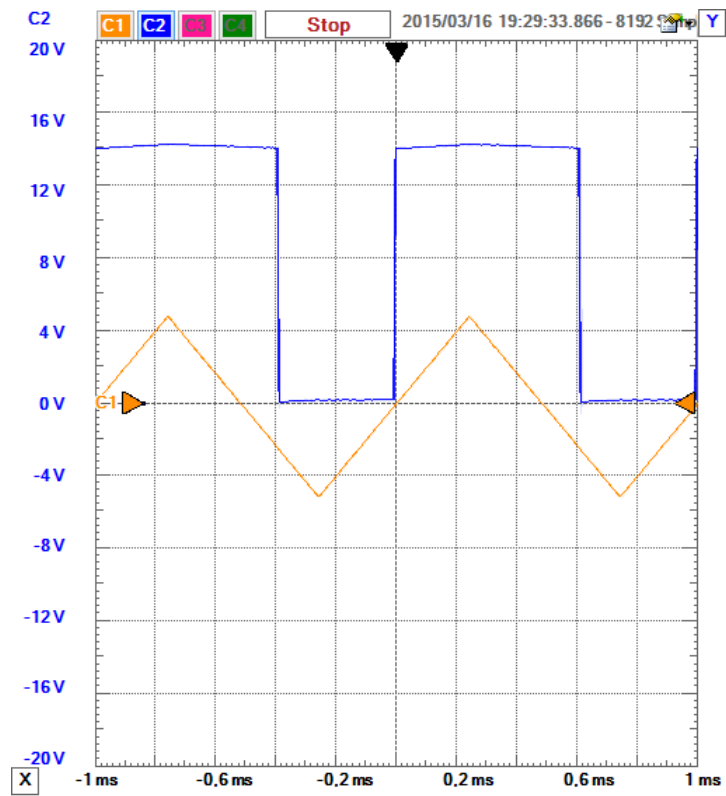


FIGURE 5: Test du trigger séparé du reste du circuit.

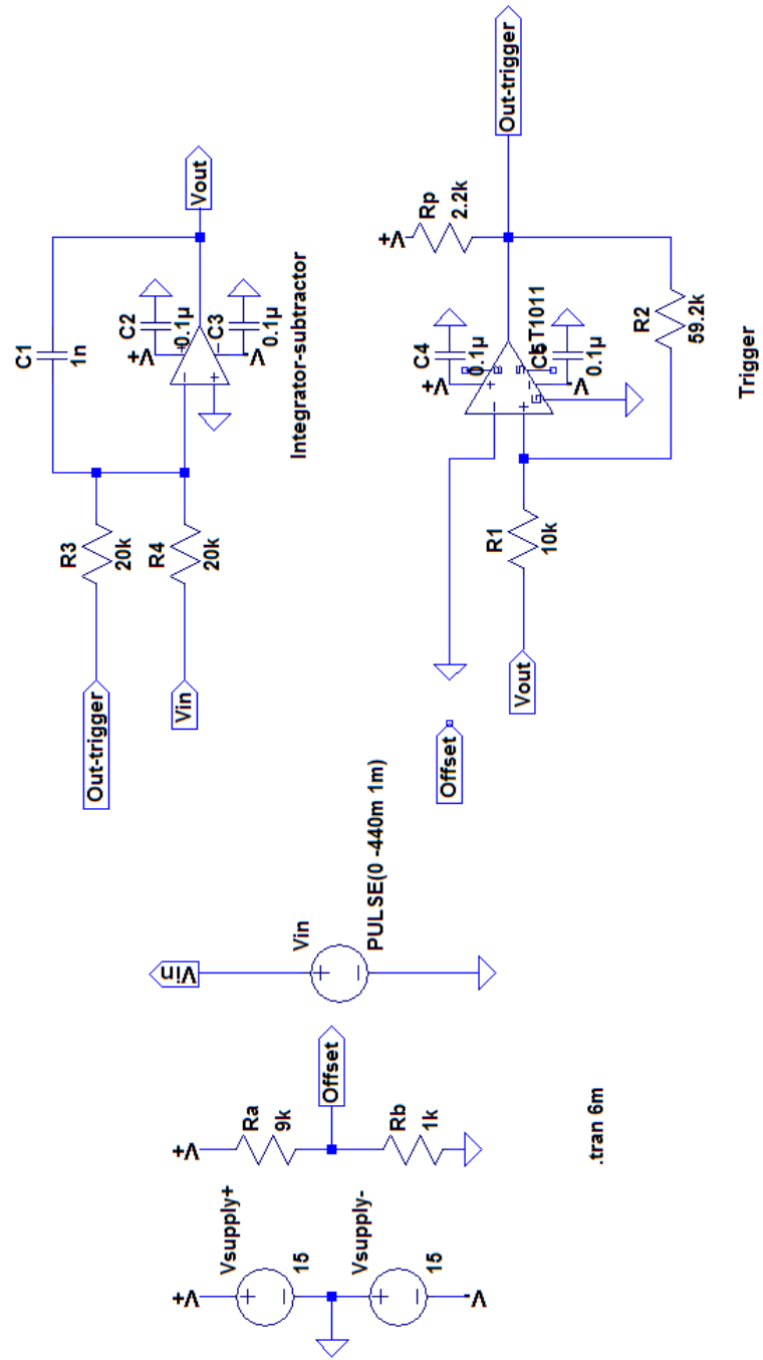


FIGURE 6: Schéma du circuit tel que construit.



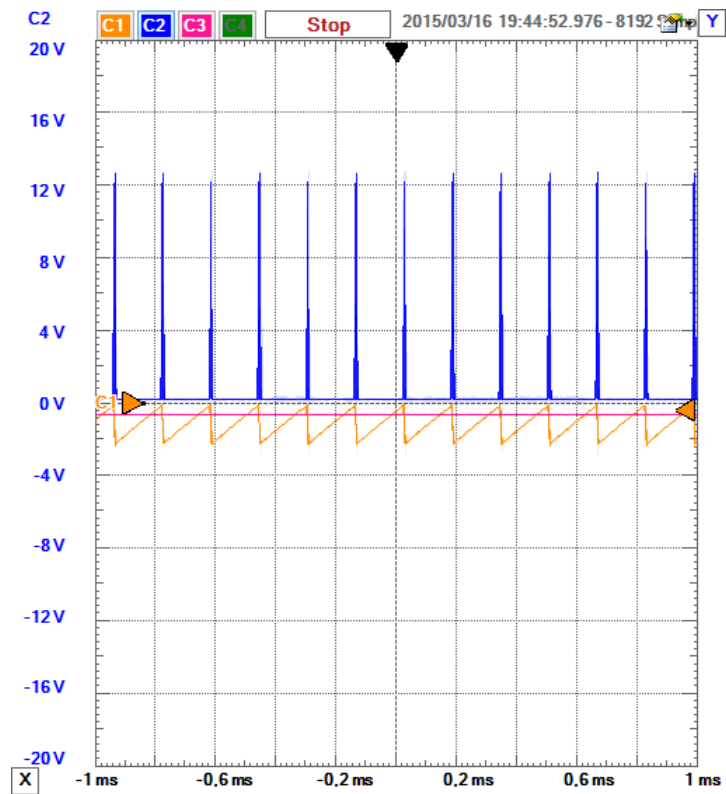


FIGURE 7: Test du circuit.

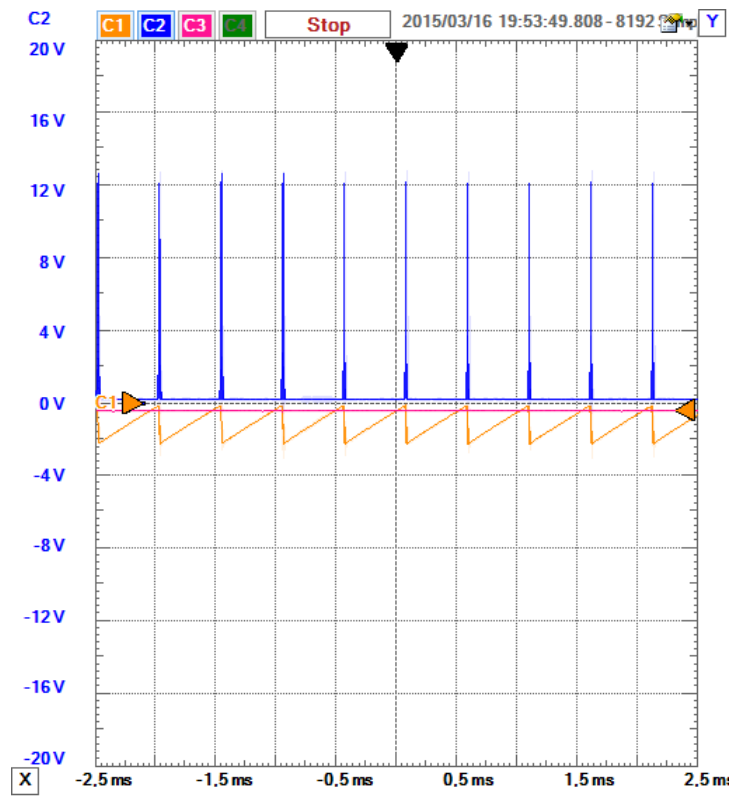


FIGURE 8: Test du circuit pour  $-260$  mV.

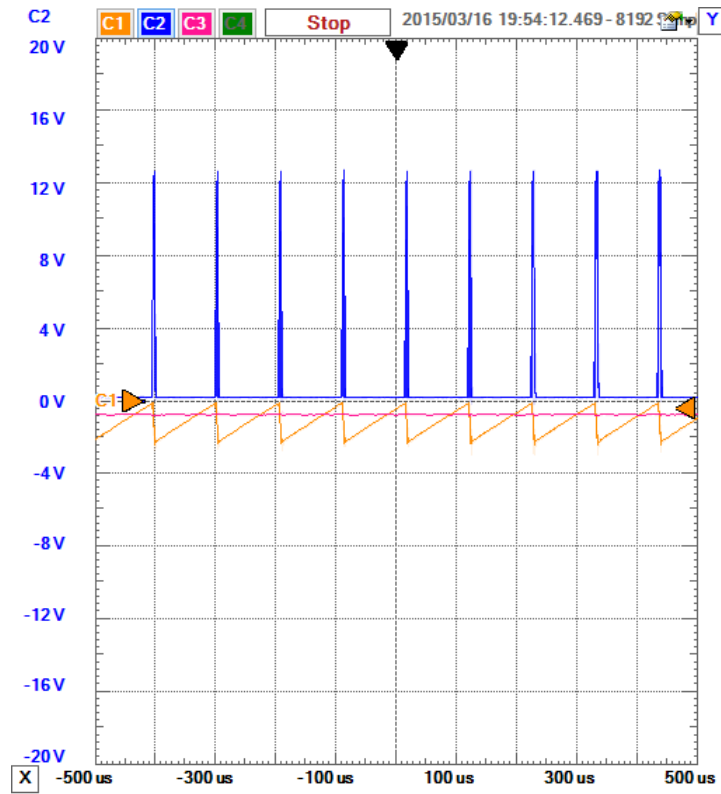


FIGURE 9: Test du circuit  $-580$  mV.

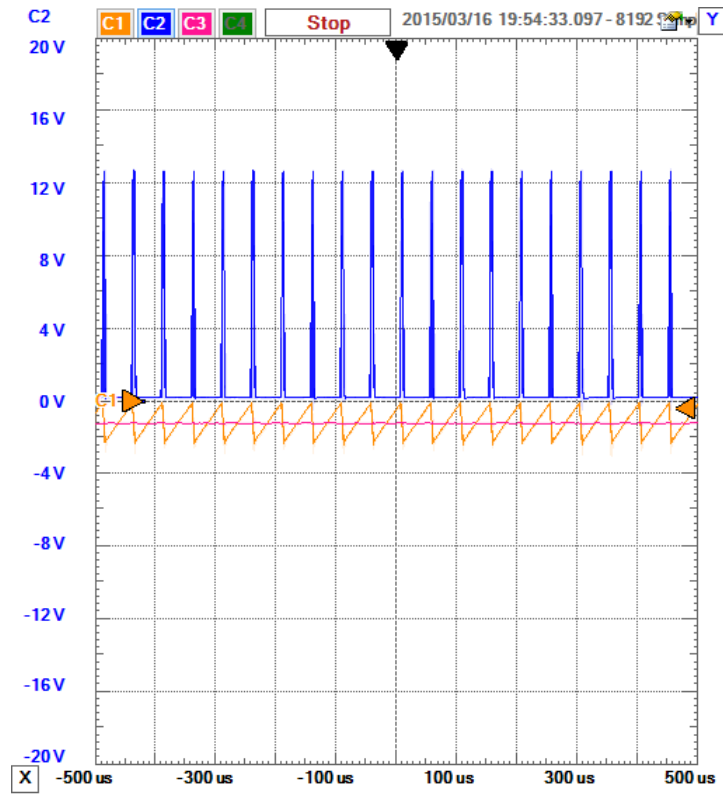


FIGURE 10: Test du circuit  $-1060 \text{ mV}$ .