

LABORATOIRES ELECTRONIQUES TP3

ANNEXES

PRÉAMBULE

Les comparateurs sont typiquement utilisés pour déterminer si la valeur d'une tension que l'on mesure est supérieure ou inférieure à un seuil fixé par le concepteur. Dans le cas où les signaux à mesurer sont entachés d'un « bruit » important on peut facilement introduire un cycle d'hystérèse afin d'éviter des commutations intempestives du comparateur (comparateur à hystérèse aussi appelé trigger de Schmitt).

CIRCUITS DÉDIÉS

S'il est possible d'utiliser un amplificateur opérationnel standard en tant que comparateur il existe toutefois toute une gamme de circuits intégrés dédiés. L'architecture interne est adaptée à cette fonction, optimisant la vitesse de réaction, les tensions de saturation la consommation statique etc... La spécificité de ces circuits les réserve uniquement à cet emploi.

COMPARATEURS SIMPLES

COMPARATEUR NON-INVERSEUR

SCHÉMA

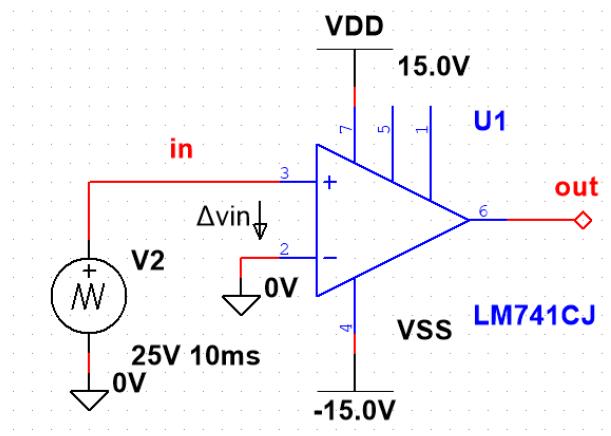


FIGURE 1 COMPARATEUR SIMPLE NON-INVERSEUR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Comme vu précédemment l'a.o. amplifie la différence de tension entre ses entrées « + » et « - » (Δv_{in}) par son gain propre qui est par construction très élevé (idéalement infini). De fait même une faible différence de tension Δv_{in} entre les deux entrées aura pour effet de faire saturer l'a.o. vers les tensions V_{sat+} ou V_{sat-} en fonction de la polarité de Δv_{in} .

Le signal utile à comparer est représenté par la source V2 qui entre sur l'entrée « + », le seuil de comparaison est fixé ici à 0V. Dès que la tension instantanée de V2 > 0V Δv_{in} est positif, et la sortie du comparateur se colle à V_{sat+} . Si au contraire Δv_{in} est négatif (amplitude instantanée de V2 > 0) la sortie du comparateur se colle à V_{sat-} .

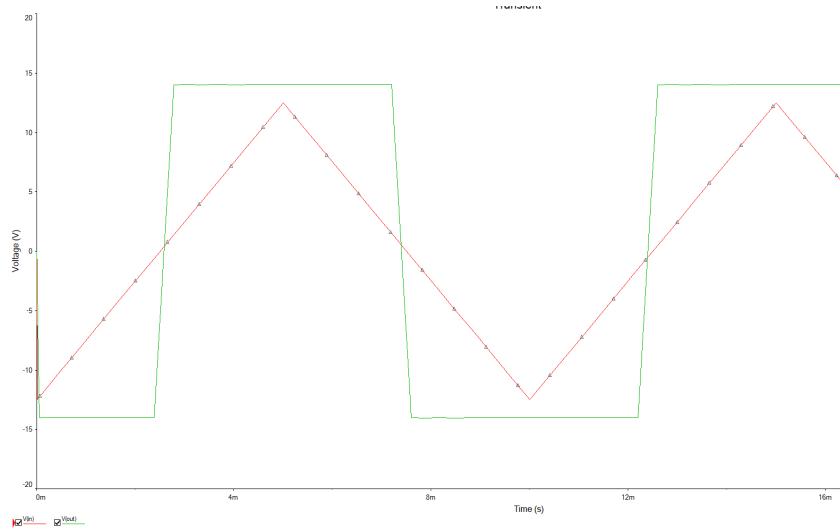


FIGURE 2 SIMULATION COMPARATEUR SIMPLE NON-INVERSEUR

COMPARATEUR INVERSEUR

SCHÉMA

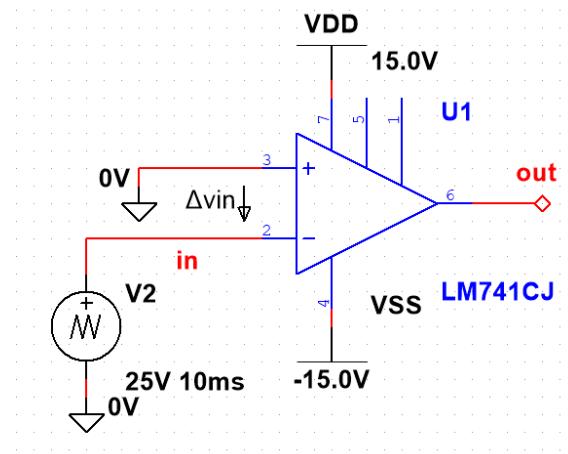


FIGURE 3 COMPARATEUR SIMPLE INVERSEUR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

En inversant les deux entrées, le signal utile se trouve sur l'entrée « - ». La polarité du signal sur la sortie est donc inversée.

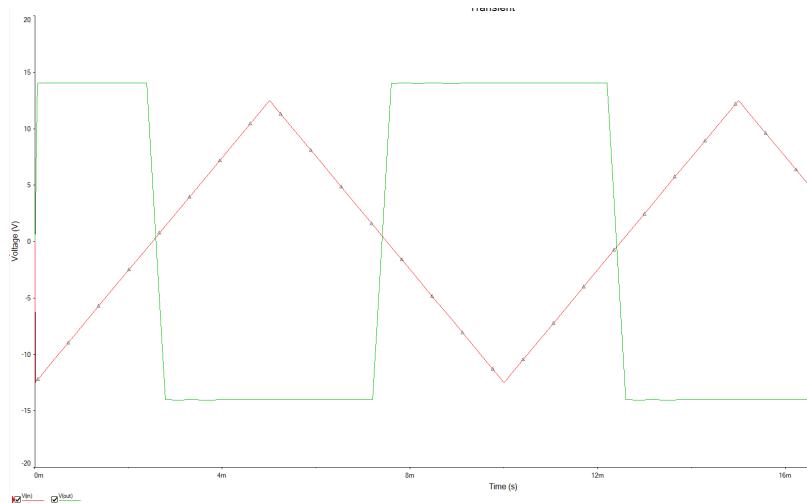


FIGURE 4 SIMULATION COMPARATEUR SIMPLE INVERSEUR

COMPARATEUR À HYSTÉRÈSE NON INVERSEUR

SCHÉMA

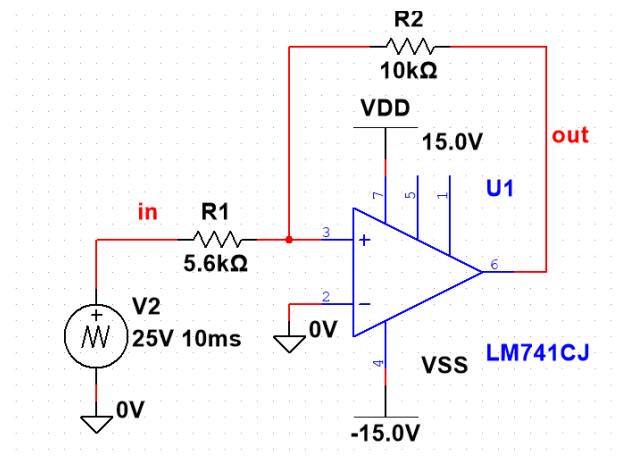


FIGURE 5 COMPARATEUR À HYSTÉRÈSE NON INVERSEUR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Par commodité appelons la tension sur l'entrée « + » V_+ , celle sur l'entrée « - » V_- et la différence de tension entre V_+ et V_- . ΔV_{in} .

En ajoutant les résistances R_1 et R_2 , on crée un cycle d'hystérèse dans la réponse du comparateur. Comme nous l'avons vu le comparateur commute au point où la différence de tension entre les entrées est nulle. La tension V_- étant fixée par le concepteur (ici à 0V) le problème revient à calculer la tension V_+ . La tension à ce point est la combinaison de l'effet de la source V_2 et de la sortie V_{out} . Par superposition nous obtenons :

$$V_+ = V_{out} \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Nous nous intéressons à la valeur de V_2 (la valeur de la tension du signal utile)

$$V_2 = V_+ \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_{out} \frac{R_1}{R_2}$$

Comme nous l'avons vu, la sortie V_{out} du comparateur ne peut prendre que deux valeurs V_{sat+} et V_{sat-} . Nous avons donc deux valeurs différentes de V_2 pour lesquelles le comparateur changera d'état.

$$V_{2sat+} = V_+ \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_{sat+} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{2sat-} = V_+ \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_{sat-} \frac{R_1}{R_2}$$

La tension de référence V_+ est fixée à 0V et aux points de commutation ce sera la valeur de la tension V_+ . Pour notre cas nous pouvons alors écrire

$$V_{2sat+} = 0 - V_{sat+} \frac{R_1}{R_2} = -V_{sat+} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{2sat-} = 0 - V_{sat-} \frac{R_1}{R_2} = -V_{sat-} \frac{R_1}{R_2}$$

En comptant sur des tensions de saturation de l'ordre de $\pm 14V$ on peut calculer les valeurs suivantes

$$V_{2sat+} = -14 \frac{5.6k}{10k} = -7.84V$$

$$V_{2sat-} = 14 \frac{5.6k}{10k} = 7.84V$$

Ce qui cadre assez bien avec le résultat de simulation obtenu ci-dessous, les erreurs de valeurs étant ici imputable à l'approximation faite sur la valeur des tensions de saturation.

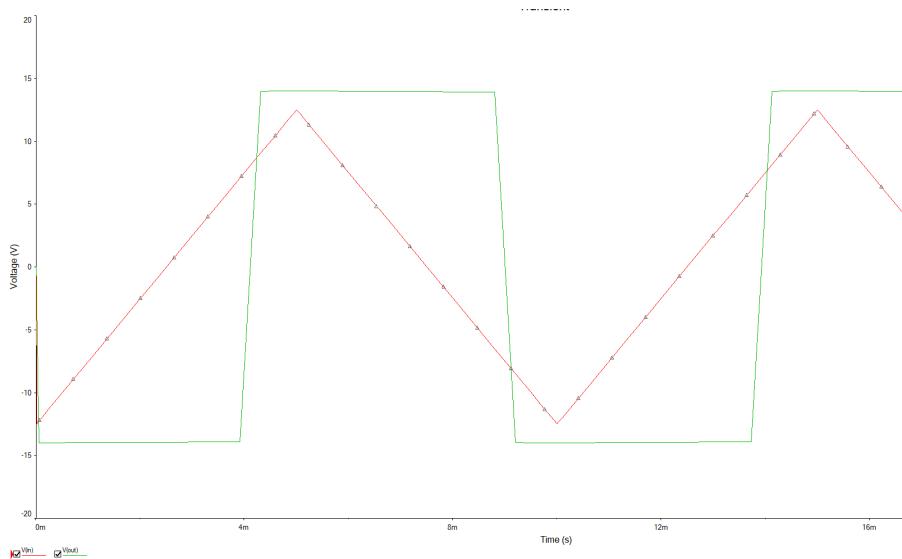


FIGURE 6 SIMULATION COMPARATEUR À HYSTÉRÈSE NON INVERSEUR

En résumé si on pose l'hypothèse que la sortie du comparateur est à l'état haut (V_{sat+}), il faut que la tension du signal V_2 descende jusqu'à une tension d'environ -7.8V pour que la sortie commute vers V_{sat-} .

De même si la sortie est initialement à V_{sat-} il faut que la tension du signal V_2 atteigne environ 7.8V pour que la sortie commute vers V_{sat+} .

Si on représente la fonction $V_{\text{out}}=f(V_{\text{in}})$ on voit apparaître la représentation du cycle d'hystérèse

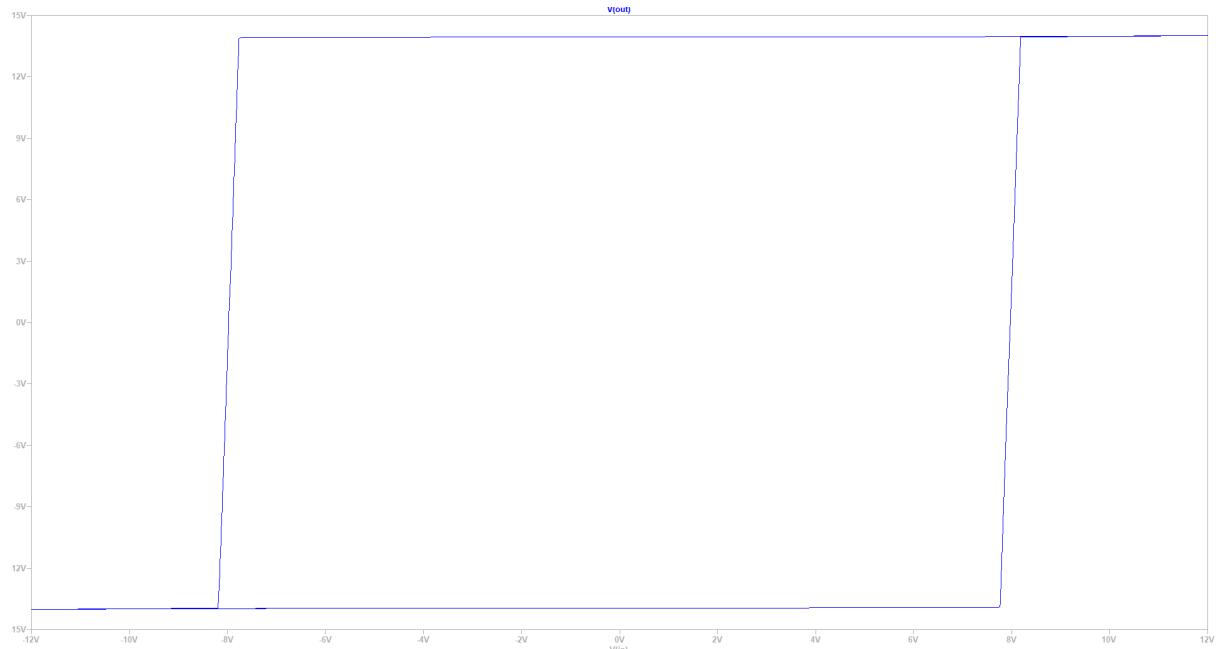


FIGURE 7 SIMULATION DU CYCLE D'HYSTÉRÈSE

GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX

SCHÉMA

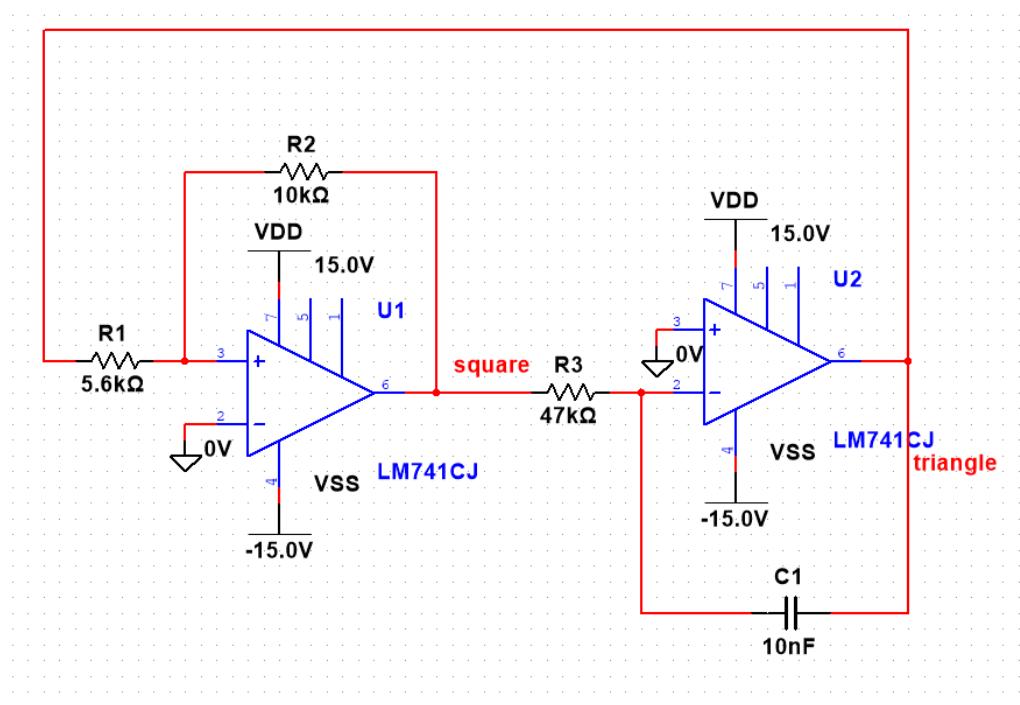


FIGURE 8 GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Pour faciliter la compréhension du fonctionnement de ce circuit nommons quelques valeurs de tension. Ainsi les 2 tensions de seuils du comparateur à hystérèse :

- $-V_T$ pour le seuil bas qui fait passer la sortie du comparateur de V_{sat+} à V_{sat-}
- V_T pour le seuil haut qui fait passer la sortie du comparateur de V_{sat-} à V_{sat+}

Comme on peut le voir sur ce schéma, hormis les tensions d'alimentation ce circuit fonctionne de façon autonome. A sa mise sous tension, du fait même des imperfections des a.o. il est certain que la sortie de U1 sera dans un état V_{sat+} ou V_{sat-} . Prenons, à titre d'exemple le cas où la sortie de U1 (V_{square}) est à V_{sat+} . Comme mis en évidence lors du TP précédent le bloc intégrateur répond à un signal d'entrée de tension continue par une rampe en tension de polarité inverse. Nous aurons alors sur la sortie $V_{triangle}$ une rampe de tension décroissante. Au moment où la tension $V_{triangle}$ atteint la valeur du seuil inférieur V_{HtoL} la sortie du comparateur (V_{square}) passe de V_{sat+} à V_{sat-} . L'intégrateur réagit en changeant la polarité de la rampe sur sa sortie ($V_{triangle}$). La tension sur ce point croît et fini par atteindre la tension du seuil haut (V_{LtoH}) ou la tension de sortie du comparateur rebascule vers V_{sat+} et ainsi de suite.

La simulation ci-dessous confirme le fonctionnement correct de ce circuit. Les sommets arrondis du signal triangulaire sont l'effet du slew-rate limité de ce type d'ampli qui dégrade les flancs du signal carré.

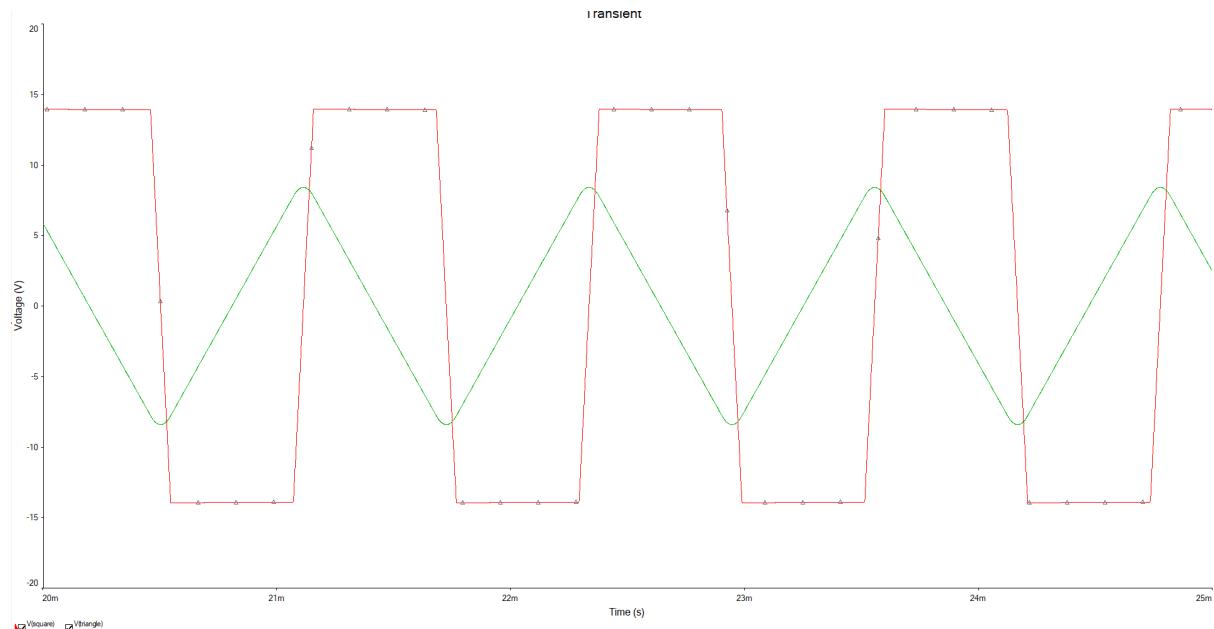
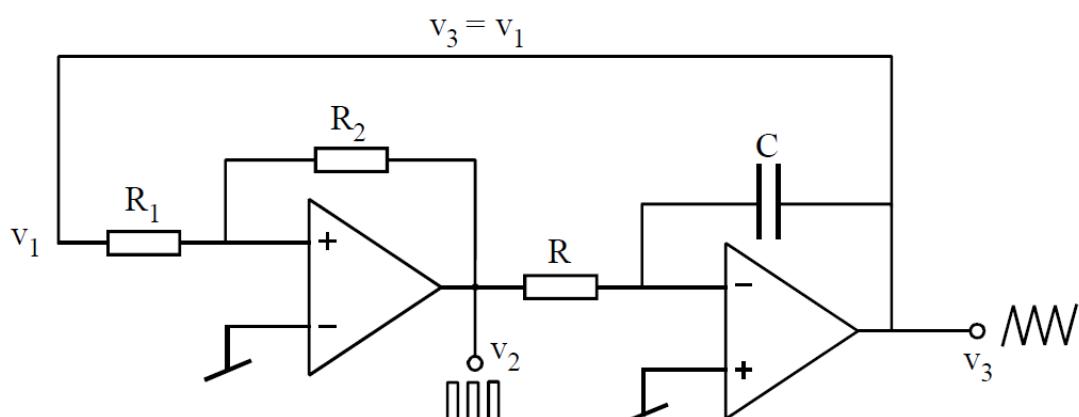


FIGURE 9 SIMULATION GENERATEUR DE SIGNAUX

CALCUL DE LA PÉRIODE

Pour information seulement vous trouvez ci-dessous le dimensionnement de ce genre de circuit.



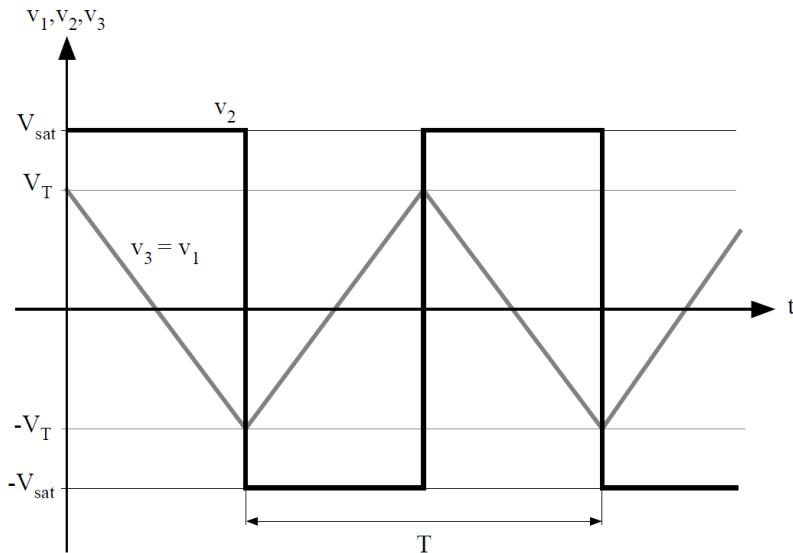


FIGURE 10 GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX DIAGRAMME TEMPOREL

Nous voulons une dynamique de 16V et une fréquence de 1kHz (T=1ms)

La dynamique de V_1 est l'écart entre les deux tensions de seuil de la bascule, ici

$$\Delta V_T = 2V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$

Nous voulons une dynamique de 16V et nous admettons une tension $|V_{sat}|=14V$. Nous pouvons alors dire que

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\Delta V_T}{2V_{sat}} = \frac{16}{28}$$

Sans autre contrainte, nous avons la liberté de choisir une des deux résistances du rapport R_1/R_2 . Ici, nous choisissons $R_2=10k\Omega$. C'est un compromis entre valeur de résistance et consommation de courant.

R_1 vaut alors

$$R_1 = \Delta V_T \frac{R_2}{2V_{sat}} = 16 \frac{10e3}{28} = 5.7k\Omega$$

Nous choisissons la valeur normalisée de $5.6k\Omega$

En combien de temps parcours-t-on cette dynamique ?

La loi décrivant la tension u_C aux bornes d'une capacité C chargée durant un instant t par un courant constant i est

$$u_C = \frac{i}{C} t = V_1$$

Dans notre circuit, le courant chargeant la capacité vaut (avec l'hypothèse que $V_{sat+}=V_{sat-}=V_{sat}$)

$$i = \frac{V_{sat}}{R}$$

On peut alors écrire que sur la demi-période descendante (changement de signe avec la demi-période ascendante)

$$V_1 = -V_{sat} \frac{t}{RC}$$

Pour une période nous avons alors le temps nécessaire pour parcourir deux fois cette dynamique

$$2V_{sat} \frac{R_1}{R_2} = V_{sat} \frac{T}{2RC}$$

Donc

$$T = 4RC \frac{R_1}{R_2} = 1ms$$

Comme précédemment nous devons assumer un choix pour un des deux composants du couple RC. Ici nous avons choisi $C=10nF \Rightarrow R=41.6 \text{ k}\Omega$. Nous prenons dans la série normalisée une résistance de $47\text{k}\Omega$ pour avoir une période un peu plus longue. Nous aurions aussi bien pu choisir une résistance de $39\text{k}\Omega$ pour une période un peu plus courte.