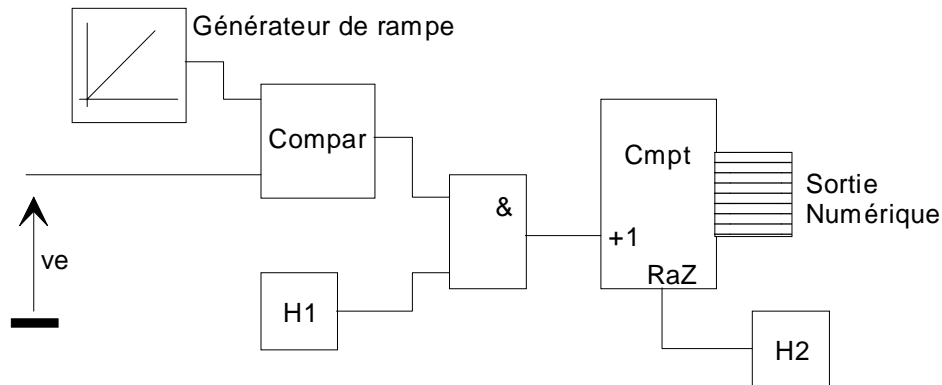


PRINCIPE DE CAN

1. Convertisseur simple rampe - Principe



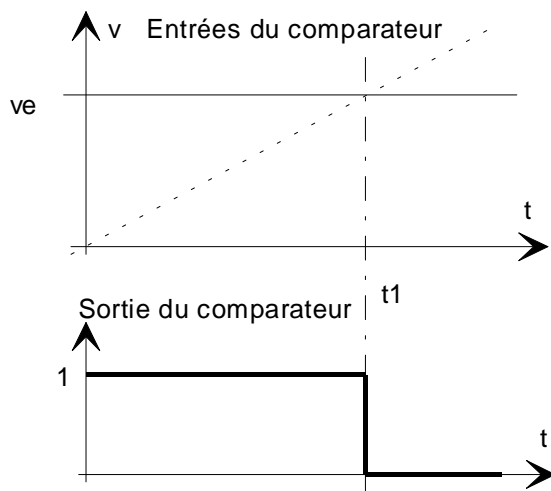
Le convertisseur simple rampe est constitué

- d'un générateur de rampe
- d'un comparateur de tension
- d'une barrière de ET
- d'un compteur
- de deux horloges

1.1. Incrémentation du compteur

Après remise à 0 par H2, le compteur est incrémenté tant que la barrière de ET laisse passer H1.

1.2. Rôle du comparateur



Tant que la tension à mesurer, v_e , est supérieure à la tension de la rampe, le comparateur donne une sortie égale à 1. Ensuite sa sortie est nulle et ferme la barrière de ET. L'incrémentation du compteur cesse, sa sortie fournit donc la valeur numérique correspondant à la tension d'entrée. (à condition que l'étalonnage soit correct)

1.3. Autre façon de voir ce convertisseur

Le convertisseur réalise une application de $V \rightarrow N$ de "l'ensemble" des tensions vers l'ensemble des nombres entiers.

Cette application se fait en passant par l'intermédiaire de la durée t_1 .

- le générateur de rampe et le comparateur réalisent l'application $v_e \rightarrow t_1$
- le comparateur et les horloges réalisent $t_1 \rightarrow N1$

Le convertisseur est incomplet, mais nous ne parlerons pas des autres fonctions car on ne s'intéresse qu'au principe.

1.4. Fonction de transfert du convertisseur.

Soit α le coefficient directeur de la rampe, son équation est $v = \alpha \cdot t$
 La relation entre v_e et t_1 est donc :

$$v_e = \alpha \cdot t_1$$

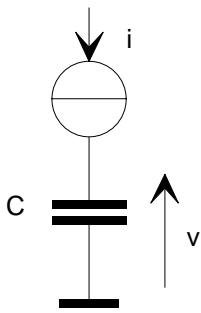
On peut en déduire la relation entre N_1 et v_e connaissant la fréquence f_1 de l'horloge H1.
 $N_1 = f_1 \cdot t_1$ donc

$$N_1 = \frac{f_1}{\alpha} v_e$$

1.5. Générateur de rampe - Principe

Un générateur de rampe est généralement réalisé par le montage de principe suivant comprenant un générateur de courant constant et un condensateur.

Nous allons calculer la variation de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps soit $v(t)$.



Le point de départ du calcul est la relation fondamentale

$$dq = i \cdot dt = C \cdot dv$$

Nous supposons que la tension au temps $t = 0$ est v_0

$$v = \frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt \quad \text{comme } i \text{ est constant} \quad v = \frac{1}{C} i \int_0^t dt$$

$$\text{enfin} \quad v = \frac{1}{C} i \cdot t + v_0 \quad \text{Nous voyons que } v \text{ est une fonction affine de } t.$$

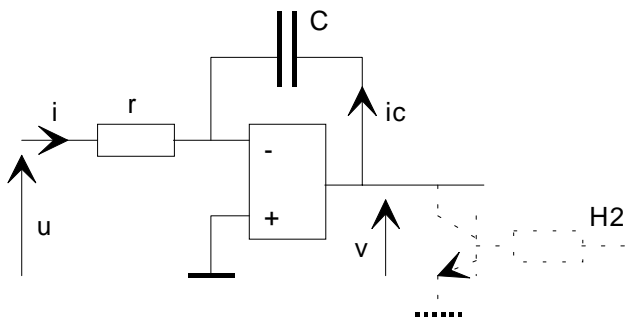
La rampe est obtenue en imposant $v_0 = 0$.

(Il faut en outre mettre en oeuvre un dispositif de court-circuit périodique du condensateur que l'on verra ci-dessous).

L'équation ci-dessus est très importante et servira souvent dans la suite.

1.6. Générateur de rampe - Une réalisation

L'amplificateur opérationnel est considéré parfait. v_0 a la même signification que ci-dessus.



Les méthodes classiques d'étude permettent de dire :

$$\begin{aligned} u &= r \cdot i \\ i_c &= C \cdot dv/dt \\ i_c &= -i \end{aligned} \quad \text{on en tire}$$

$$v = -\frac{u}{r \cdot C} \int_0^t dt = -\frac{u}{r \cdot C} t + v_0$$

En pointillé, on rappelle qu'il faut ajouter un dispositif de court-circuit afin que la tension produite soit périodique avec v_0 nulle. Avec une valeur négative pour u on obtient la rampe souhaitée.

1.7. Fonction de transfert du convertisseur compte tenu de la réalisation

L'équation ci-dessus nous montre que le coefficient directeur de la rampe est

$$\alpha = -\frac{u}{r.C}$$

La fonction de transfert du convertisseur peut donc s'écrire

$$N_1 = \frac{f_1.r.C}{|u|} v_e$$

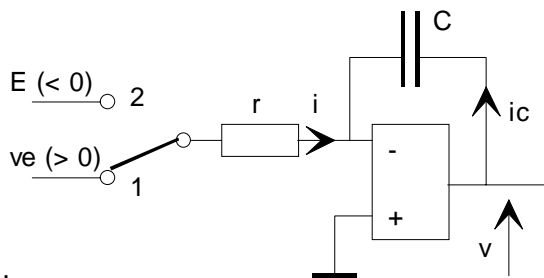
Nous allons discuter de la précision de la conversion.

Les valeurs f_1 et u peuvent facilement être obtenues de façon précise. Par contre le condensateur pose problème car sa capacité est généralement donnée à 20%, de plus le composant vieillit mal.

Cela impose des réglages au montage et en exploitation. Ce principe est inutilisable industriellement.

2. Convertisseur double rampe - Principe

Le principe de ce convertisseur rend la fonction de transfert indépendante des valeurs de r et de C . On réalise une sorte de "double pesée" dont le principe est le suivant :



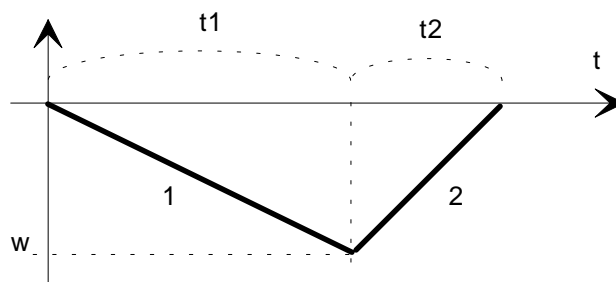
Le générateur de rampe procède en deux temps

- le générateur est commandé par v_e , tension à mesurer.
- le générateur est commandé par E , tension de référence

Le basculement de la position 1 à la position 2 se fait à l'instant t_1 (t_1 est une grandeur d'étalonnage)

Nous allons montrer que la durée t_2 est proportionnelle à la valeur v_e et indépendante de r et de C .

Traçons la représentation graphique de la fonction $v(t)$.



Nous allons reprendre les résultats précédents pour les appliquer à ce générateur.

La droite 1 a pour équation $v(t) = -\frac{v_e}{r.C}t + v_0$ avec $v_0 = 0$

au bout de la durée t_1 nous aurons $w = -\frac{v_e}{r.C}t_1$

Pour calculer l'équation de 2 il est pratique de poser $t' = t - t_1$. Nous obtenons :

$$v(t') = -\frac{E}{r.C} t' + w$$

après la durée t_2 nous aurons $0 = -\frac{E}{r.C} t_2 + w$ on en tire que :

$$|E|.t_2 = v_e.t_1$$

On trouve bien que v_e est proportionnel à t_2 , et qu'il indépendant de $r.C$.

Les chronomètres t_1 et t_2 sont obtenus à partir de l'horloge H1 et du compteur.

3. TP

À cause de ses inconvénients, le convertisseur à simple rampe n'est pas utilisé. On lui préfère le convertisseur à double rampe même pour les appareils à faible prix. Le multimètre de démonstration coûte moins de 10 €. Vous allez relever la forme de la tension aux bornes du condensateur C du schéma ci-dessus. La mesure se fait à l'oscilloscope à mémoire, la masse est prise sur le ressort alors que le point chaud est la borne du bas du condensateur orange de 100 nF.

La masse étant connectée comme il est dit plus haut, mesurez les tensions entre la masse et chacune des bornes de la pile. Qu'en pensez-vous ?

Pour un calibre donné et pour diverses valeurs¹ de la tension à mesurer, relevez la forme de la tension aux bornes du condensateur d'intégration C.

- Analysez les formes obtenues en les comparant à celle donnée dans ce cours. Retrouvez les caractéristiques énoncées (par exemple : où se trouve t_1 , voit-on bien qu'une des rampes est obtenue à partir d'une tension de référence etc.)

La résolution des voltmètres numériques courants est exprimée par un nombre de points on dira : c'est un voltmètre à 2000 points. Ce qui signifie que la durée maximale de t_2 est obtenue en comptant 2000 coups d'horloge H1.

- Combien de coups d'horloge ont servi à fixer t_1 . *On peut le vérifier par une des mesures.*
- Quelle est l'ordre de grandeur de la fréquence de l'horloge H1.
- Montrez que la mesure est indépendante de la fréquence de H1 et que seule compte sa stabilité. *Supposez que cette fréquence varie mais reste stable.*

4. Les autres principes de CAN

Le principe que nous venons de voir n'est utilisé que dans les voltmètres numériques car la durée de conversion n'est pas un critère déterminant. Quand la conversion doit se faire rapidement, on emploie d'autres principes comme les approximations successives. Dans ce cas la durée de conversion est constante quelle que soit la tension mesurée et de l'ordre de la microseconde.

Il existe un autre procédé de conversion encore plus rapide mais il est plus coûteux.

¹ J'ai fait ces mesures pour le calibre 20 V et pour les tensions suivantes 20, 15, 10 et 5 V