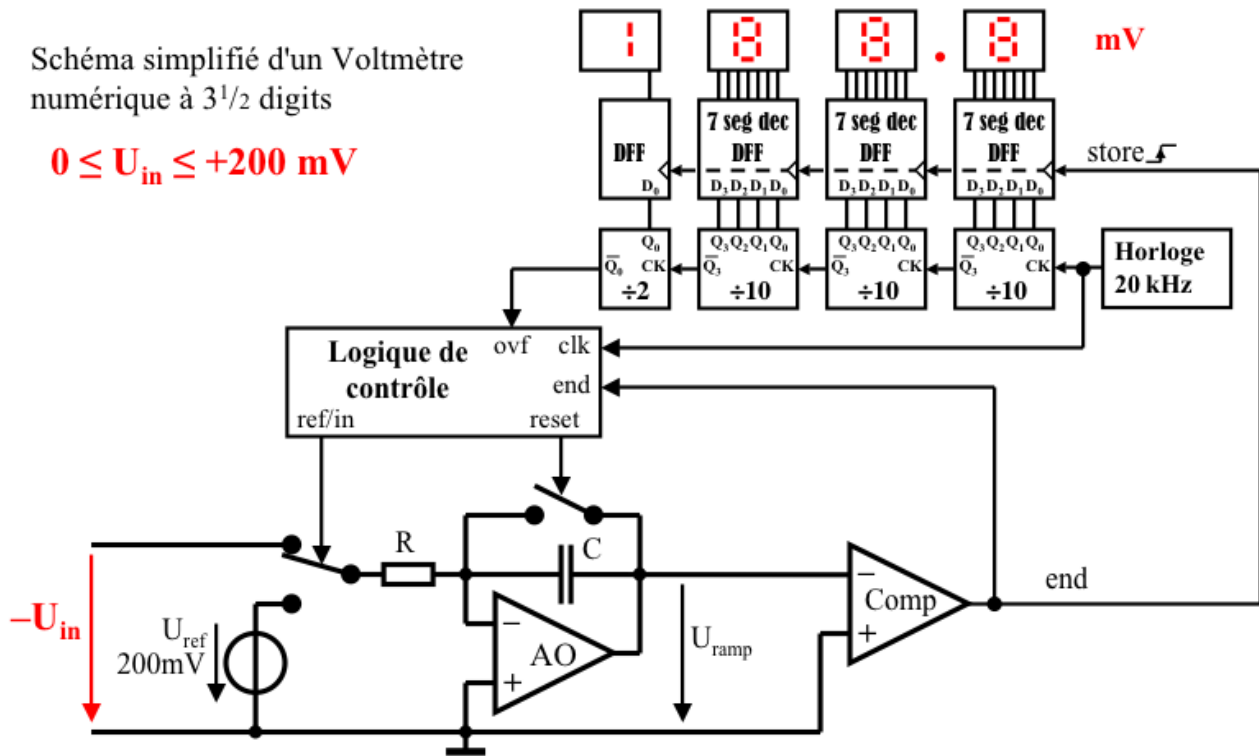


Convertisseur A-N à double rampe pour Volt-mètre 3 ½ Digits

Le schéma simplifié ci-dessous est celui d'un ADC intégré, à l'exception de R et C, pour Voltmètre à affichage numérique à 2000 points.

Schéma simplifié d'un Voltmètre numérique à 3 ½ digits

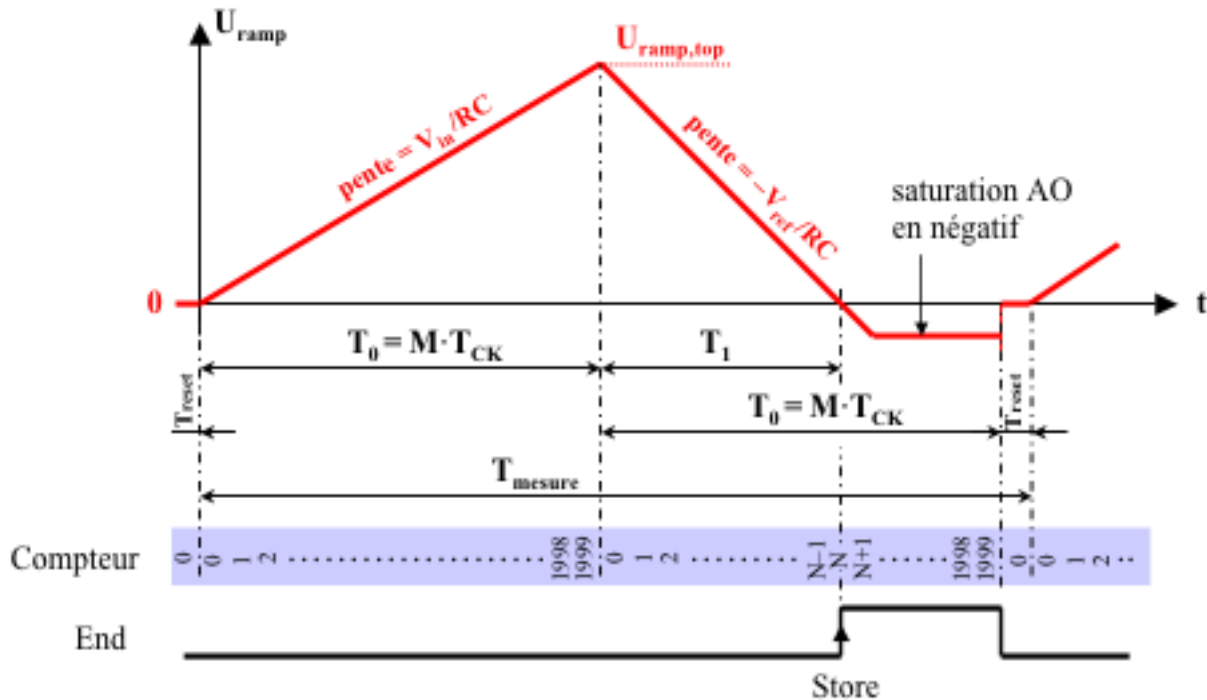
$$0 \leq U_{in} \leq +200 \text{ mV}$$



Déterminer :

- la relation entre le nombre affiché N_{out} et U_{in} , en supposant l'AO et le comparateur parfaits;
- le nombre de mesures par seconde;
- la valeur de la constante d'intégration RC pour que U_{ramp} ne dépasse jamais 3 V;
- l'influence d'un signal parasite purement alternatif, à 50 Hz, superposé à U_{in} ;
- les principales causes d'erreur de mesure.

Fonctionnement:



Comme il y a trois compteurs par 10 en cascade suivis d'un compteur par 2, cela forme un compteur par $M = 2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 2000$, codé en BCD.

Hauteur de la rampe montante :

$$U_{\text{ramp,top}} = \frac{U_{\text{in}}}{RC} \cdot T_0 = \frac{U_{\text{in}}}{RC} \cdot M \cdot T_{\text{CK}}$$

Equation de la rampe descendante :

$$U_{\text{ramp}}(t) = U_{\text{ramp,top}} - \frac{U_{\text{ref}}}{RC} \cdot t$$

Temps pour que la rampe descendante arrive à zéro :

$$T_1 = RC \cdot \frac{U_{\text{ramp,top}}}{U_{\text{ref}}} = \frac{U_{\text{in}}}{U_{\text{ref}}} \cdot M \cdot T_{\text{CK}}$$

Etat du compteur mémorisé dans les FFs au moment où la rampe croise 0V:

$$N_{out} = \text{entier} \frac{T_1}{T_{CK}} = \text{entier} \left(M \cdot \frac{U_{in}}{U_{ref}} \right) = \text{entier} \left(2000 \cdot \frac{U_{in}[\text{mV}]}{200[\text{mV}]} \right) = 10 \cdot U_{in}[\text{mV}]$$

Comme on affiche un point décimal avant le digit de poids faible, celui-ci représente des dixièmes, et on lit donc directement des mV avec une résolution de 0.1 mV.

$$T_{\text{measure}} = 2 \cdot M \cdot T_{\text{CK}} + T_{\text{reset}} = 4000 \cdot T_{\text{CK}} + T_{\text{reset}}$$

Si l'opération de remise à zéro ne dure que quelques périodes d'horloge :

$$T_{\text{measure}} \approx 4000 \cdot T_{\text{CK}} = 0.2 \text{ s}$$

On fait donc pratiquement 5 mesures par seconde.

On veut que la rampe ne dépasse pas $U_{\text{ramp,top,max}} = 3 \text{ V}$. Or :

$$U_{\text{ramp,top,max}} = \frac{U_{\text{in,max}}}{RC} \cdot T_0 = \frac{U_{\text{ref}}}{RC} \cdot M \cdot T_{\text{CK}}$$

$$RC = \frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{ramp,top,max}}} \cdot M \cdot T_{\text{CK}} = 6.7 \text{ ms}$$

Tout signal d'entrée parasite alternatif périodique, de fréquence 50 Hz, est une somme de sinus de fréquence égale aux multiples entiers de 50 Hz. Ce parasite sera intégré durant $T_0 = M \cdot T_{\text{CK}} = 0.1 \text{ s}$, ce qui correspond exactement à un multiple entier des périodes de tous ces sinus; donc l'intégrale du parasite sera nulle, et il n'aura pas d'influence sur le résultat de la mesure.

Les principales causes d'erreur sur la mesure sont:

1. L'imprécision de la tension de référence, qui correspond à une erreur de gain, donc à une erreur relative sur la valeur affichée égale à l'erreur relative sur la référence.
2. L'offset U_{io} de l'ampl op, qui produit à la sortie de l'intégrateur un terme:

$$U_{\text{io}} + \frac{1}{RC} \int U_{\text{io}} dt$$

En exprimant que la montée + la descente = 0, on a :

$$U_{\text{io}} + \frac{U_{\text{io}}}{RC} \cdot T_0 + \frac{U_{\text{in}}}{RC} \cdot T_0 + \frac{U_{\text{io}}}{RC} \cdot T_1 - \frac{U_{\text{ref}}}{RC} \cdot T_1 = 0$$

On en tire :

$$T_1 = T_0 \cdot \frac{U_{\text{in}} + U_{\text{io}}(1 + RC/T_0)}{U_{\text{ref}} - U_{\text{io}}}$$

Donc :

$$N_{\text{out}} = \text{entier}\left(2^n \cdot \frac{U_{\text{in}} + U_{\text{io}}(1 + RC/T_0)}{U_{\text{ref}} - U_{\text{io}}}\right)$$

Ce qui correspond à une erreur relative sur le résultat d'environ $U_{\text{io}}/U_{\text{ref}}$, plus une erreur systématique (offset) à peu près égale à U_{io} , car $RC/T_0 \ll 1$.

3. L'offset U_{io} du comparateur produit une erreur sur T_1 , donc sur N_{out} :

$$T_1 = RC \cdot \frac{U_{\text{ramp,top}} - U_{\text{io}}}{U_{\text{ref}}} = \frac{U_{\text{in}}}{U_{\text{ref}}} \cdot T_0 - \frac{U_{\text{io}}}{U_{\text{ref}}} \cdot RC$$

$$N_{\text{out}} = \text{entier}\left(RC \cdot \frac{U_{\text{ramp,top}} - U_{\text{io}}}{U_{\text{ref}}}\right) = \text{entier}\left(\frac{U_{\text{in}}}{U_{\text{ref}}} \cdot M - \frac{U_{\text{io}}}{U_{\text{ref}}} \cdot \frac{RC}{T_0} \cdot M\right)$$

Ce qui donne une erreur systématique sur l'affichage bien inférieure à la tension d'offset du comparateur, car $RC/T_0 \ll 1$.