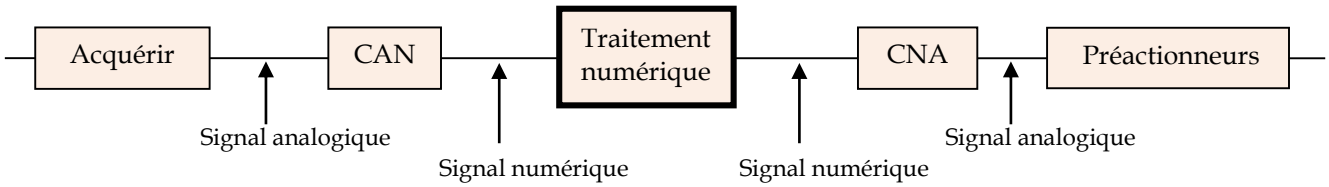
LES MONTAGES CONVERTISSEURS

Ces montages permettent de changer la nature d'une grandeur électrique. Le présent chapitre traite :

- Les conversions analogique-numérique et numérique-analogique
- La conversion courant-tension
- Les conversions tension-fréquence et fréquence-tension

De nombreux systèmes utilisent la technique numérique à base de microprocesseur du fait des avantages qu'elle présente.

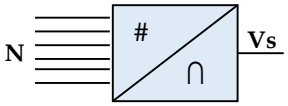
Lorsque les signaux issus des capteurs sont analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions



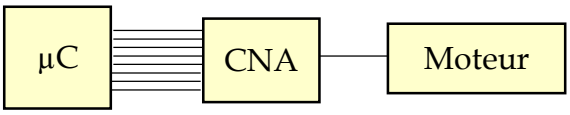
Conversion numérique analogique

Un CNA transforme une valeur numérique (mot binaire) en une autre analogique (tension ou courant)

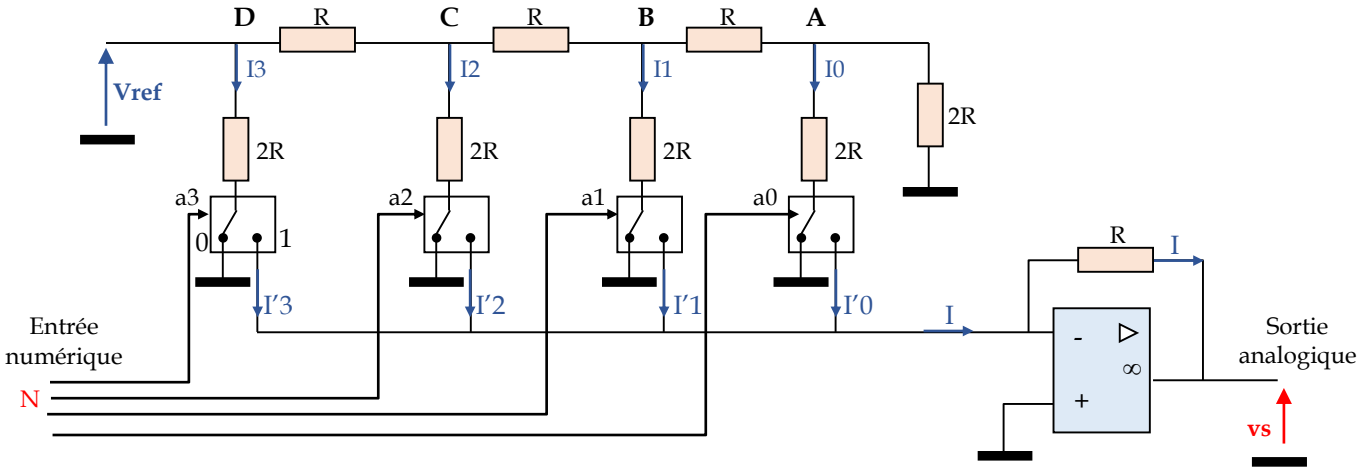
Symbole



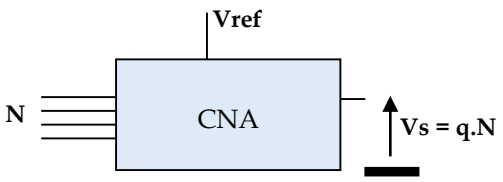
Application : variation de la vitesse d'un moteur électrique par microcontrôleur



⇨ ***CNA à réseau R/2R***

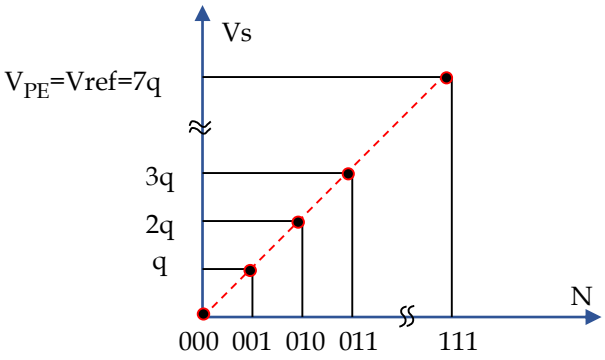


Vref : tension de référence
n : nombre de bits du convertisseur
q : quantum (ou résolution)



Caractéristique de transfert

Cas de n=3 bits



Quantum q

C'est la plus petite variation de la tension de sortie vs ; vs augmente donc de q lorsque N augmente de 1

$$q = \frac{V_{PE}}{2^n - 1} \qquad Vs = q.N \qquad Nmax = 2^n - 1$$

q : quantum en Volts
n : nombre de bits
V_{PE} : tension pleine échelle (tension maximale que peut prendre la sortie), elle est fixée par Vref c'est à dire
$\mathbf{V_{PE} = Vref}$

Exercice 1 *On applique Vref = 8V à un CNA réseau R/2R à 6 bits. Calculer Vs pour N = 100101, 001001 et 111111*

……
……
……
……
……

Exercice 2 *Sachant que Vref = 20V et que c'est CNA 8 bits, calculer Vs pour N = 10011001 et N = 00010110*

……
……
……
……

Exercice 3 *Quelle est la pleine échelle d'un CNA qui fournit vs = 1V pour N = 00010111 ?*

.....

.....

.....

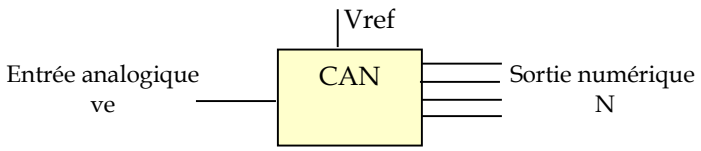
.....

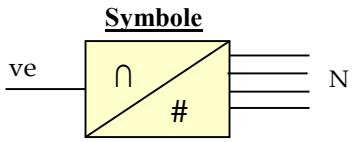
.....

.....

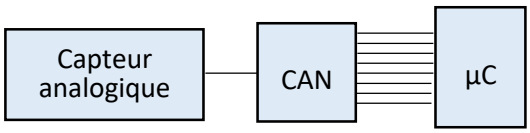
Conversion analogique numérique

Le CAN permet d'obtenir en sortie une grandeur numérique codée sur n bits dont la valeur est représentative de la grandeur analogique présente à l'entrée

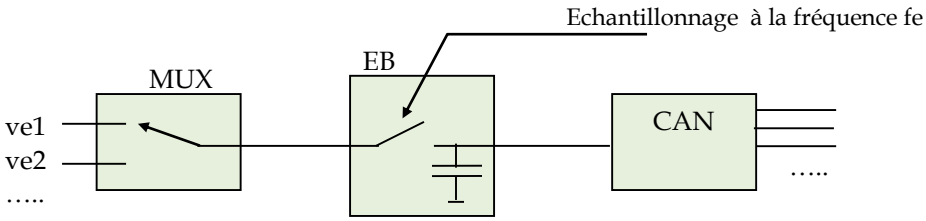




Application : traitement numérique du signal issu d'un capteur analogique



Chaîne de conversion



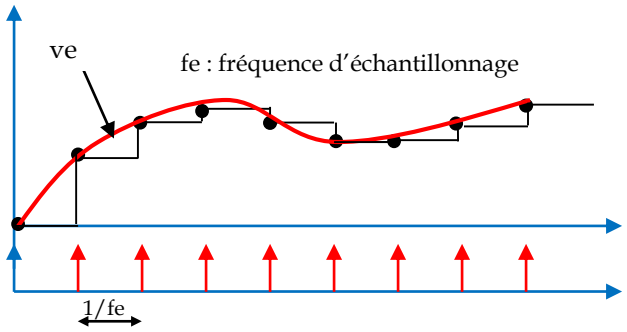
MUX : multiplexeur

Le multiplexeur est nécessaire lorsqu'il s'agit de convertir des signaux analogiques provenant de plusieurs sources. Il permet d'utiliser, en temps réel, un même convertisseur CAN

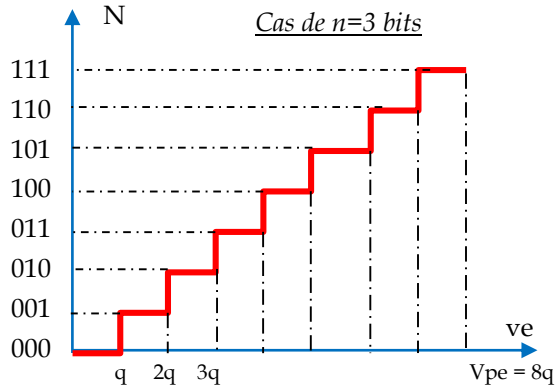
EB : échantillonneur bloqueur

L'EB assure l'échantillonnage qui consiste à prélever, à divers instants, une valeur de l'entrée ve et la bloquer pour la conversion puisque celle-ci n'est pas instantanée.

- Le prélèvement d'un échantillon s'obtient par fermeture de l'interrupteur électronique
- Pendant que l'interrupteur s'ouvre, le condensateur conserve l'échantillon pour la conversion



Caractéristique de transfert



Quantum

C'est la plus petite variation de ve qui provoque une incrémentation du code numérique N de sortie

$$q = \frac{V_{PE}}{2^n}$$

$$Ve = q.N$$

q : quantum
n : nombre de bits
V_{PE} : tension pleine échelle (tension maximale tolérée en entrée)

Exercice

On applique à l'entrée d'un CAN 8 bits une tension d'entrée ve =7.224V, la tension de référence est de 10 V

1. *Calculer le quantum*
2. *Déterminer en décimal puis en binaire le résultat N de la conversion*

……

……

……

……

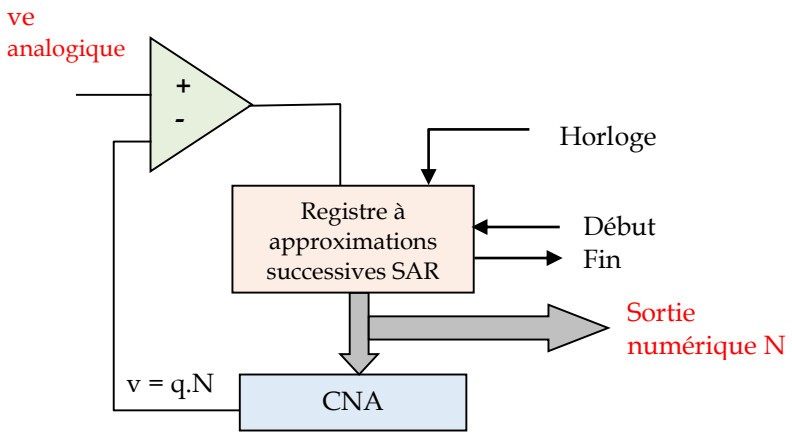
……

⇨ *CAN à approximations successives*

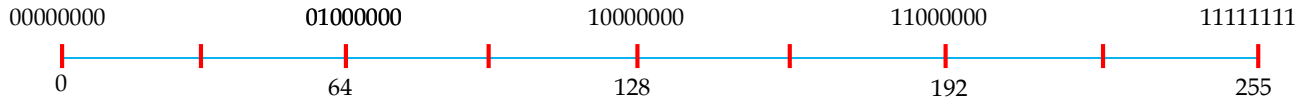
Principe

On teste bit après bit en commençant par celui de poids fort MSB
A chaque fois, la valeur N proposée est convertie par le CNA pour être comparée à ve.

- Si v ≤ve , le bit est conservé
- Si v>ve, le bit est rejeté

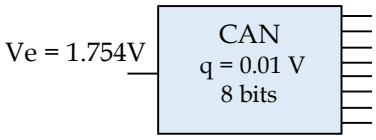


Cas de 8 bits



- Au début, le registre SAR génère le mot **1**0000000. Le CNA délivre alors v qui sera comparée à l'entrée ve :
  - Si v ≤ ve , le registre propose **1**1000000 (bit b7 conservé)
  - Si v > ve, le registre propose **0**1000000 (bit b7 rejeté)
- Supposons que v ≤ ve, le CNA reçoit 1**1**000000 et v sera de nouveau comparée à l'entrée ve :
  - Si v ≤ ve, le registre essaie 1**1**100000 (bit b6 conservé)
  - Si v > ve, le registre essaie 1**0**100000 (bit b6 rejeté)
- Le cycle de comparaison se poursuit jusqu'au dernier bit

Exercice



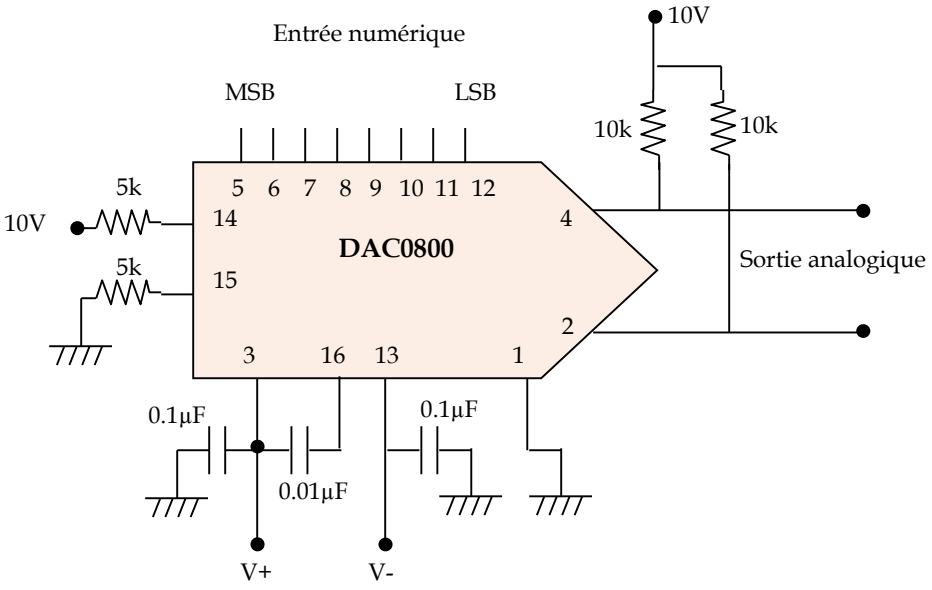
Résultat de la conversion
.....

N	v = q.N	Comparateur
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

Conversion analogique ↔ numérique
Réalisation à l'aide de circuits intégrés

1. Le convertisseur numérique analogique DAC0800 de Motorola est un convertisseur 8 bits rapide. La tension de sortie peut atteindre 20V

Symbole et câblage minimal du DAC0800



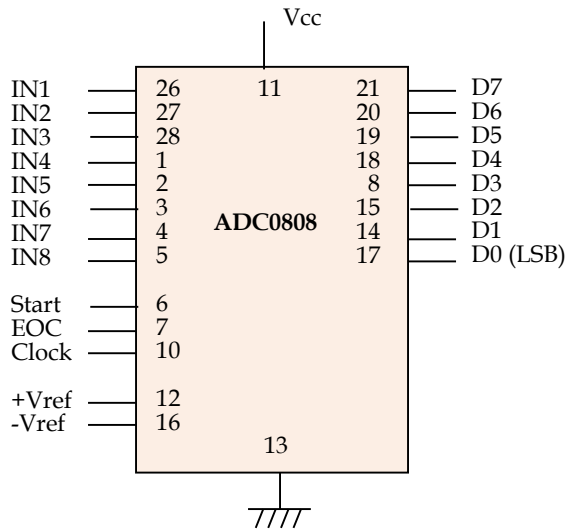
MSB : bit du poids fort
LSB : bit du poids faible

Caractéristiques

Temps de conversion : 100ns
Tension de sortie jusqu'à 20V
Alimentation de ±4.5V à ±18V
Consommation : 33mW à ±5V
Coût modéré

2. Le convertisseur analogique numérique ADC0808 est un convertisseur à approximations successives 8 bits muni d'un multiplexeur 8 voies. Le CNA interne est à base du réseau R/2R

Principales broches du ADC0808



Caractéristiques

Alimentation : Vccmax =5V
Faible consommation : 15mW
Durée d'un cycle de conversion : 100µs
Température de fonctionnement : -40°C à +85°C
Erreur : ± ½ LSB
Nombre de broches : 28

IN1 …IN8 : entrées analogiques multiplexées
D0…D7 : sortie numérique
Start et EOC : signaux de début et fin de conversion
+Vref et –Vref : tensions de référence qui permettent de fixer les valeurs min et max de l'entrée

Exercice

Le microcontrôleur PIC 16F877 est doté d'un CAN qui permet de traiter des informations analogiques.
Ce CAN a une résolution de 10 bits et une tension de référence de 5V

- *Calculer le quantum de ce convertisseur*

.....

- *Compléter le tableau où, pour diverses valeurs de ve, trouver la sortie N en décimal et en binaire*

ve(V)	N décimal	N binaire 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
1	....	.....
2	....	.....
3	....	.....
4	....	.....
5	....	.....

- *Le convertisseur étant à approximations successives, compléter le tableau de conversion correspondant à l'entrée ve = 3V*

N 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1	v = q.N
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

Résultat de la conversion : ……..

Exercice : Examen national 2019, session normale

Tâche 4 : Etude de la fonction FP4

On utilise un convertisseur analogique numérique (CAN) pour convertir la tension V_4, image de la force **F**, en un signal numérique. On donne l'expression du nombre **N** résultat de la conversion en fonction de V_4 et du quantum **q** : $N = V_4/q$

Question : 40. *Sachant que* $N = 200$ *pour* $V_4 = 1$ **V** *et que* $N_{max} = 1023$, *calculer la valeur pleine échelle* **PE** *définie par* $PE = q.(N_{max} + 1)$; [2 pts]

Question : 41. *Calculer la résolution numérique (nombre de bits)* **n** *du* **CAN**. [2 pts]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice : Examen national 2021, session de rattrapage

Numérisation :

La tension V_2 image du couple **T** est numérisée par un convertisseur analogique numérique (CAN 8 bits) avant d'être utilisée par l'**A.P.I**. On donne :

- La valeur numérique **N** de la conversion correspondante au couple **T** : $N = \frac{V_2 - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} . 255$;
- $V_{REF+} = 10$ **V** ; $V_{REF-} = 0$ **V** ;
- Pour les signaux de basse fréquence : $V_2 = 20.10^{-3}.T$ (en Volt).

Q48- *Calculer la résolution analogique* ***q*** *(quantum) de ce convertisseur en* ***mV***. **1 pt**

Q49- *Déterminer les valeurs* ***N1*** *et* ***N2*** *du mot* ***N*** *(valeurs en décimal) correspondantes aux couples :* $T_1 = 240$ ***N.m*** *et* $T_2 = 300$ ***N.m***. **2 pts**

.....

.....

.....

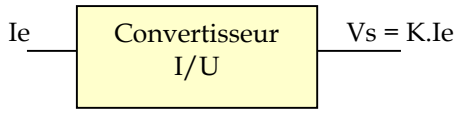
.....

.....

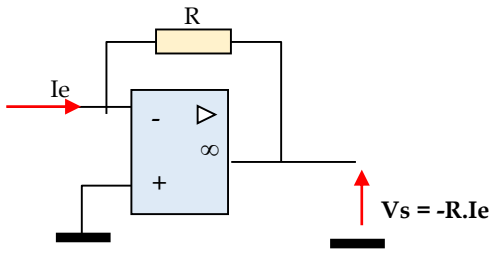
.....

.....

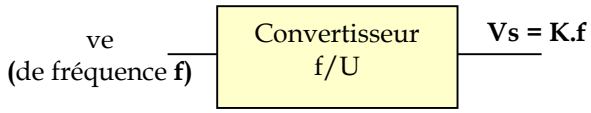
Conversion courant tension



Ce convertisseur fournit une tension proportionnelle au courant qu'il reçoit.
Il peut être utilisé pour obtenir une sortie tension à partir d'un circuit à sortie courant (photodiode, CNA à sortie courant…)

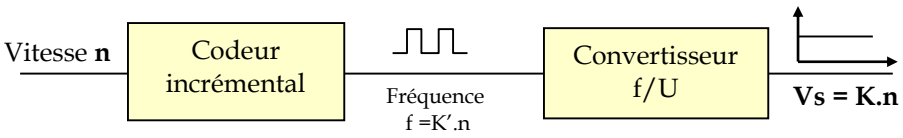


Conversion fréquence tension

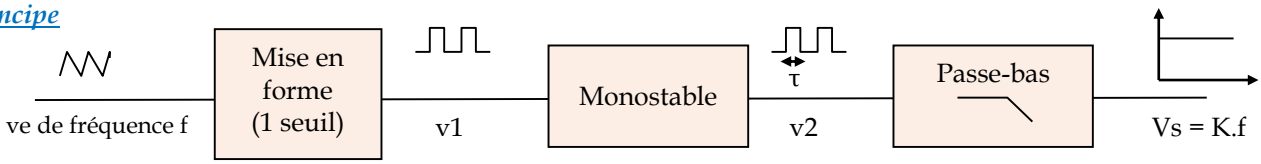


Permet de produire une tension continue proportionnelle à la fréquence du signal d'entrée

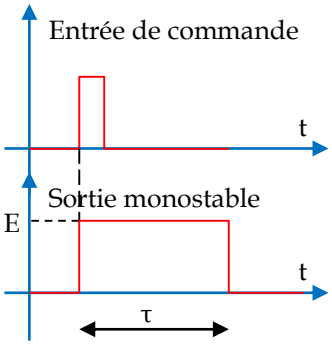
Exemple d'application : convertir en tension continue le signal en créneaux de sortie d'un codeur incrémental



Principe



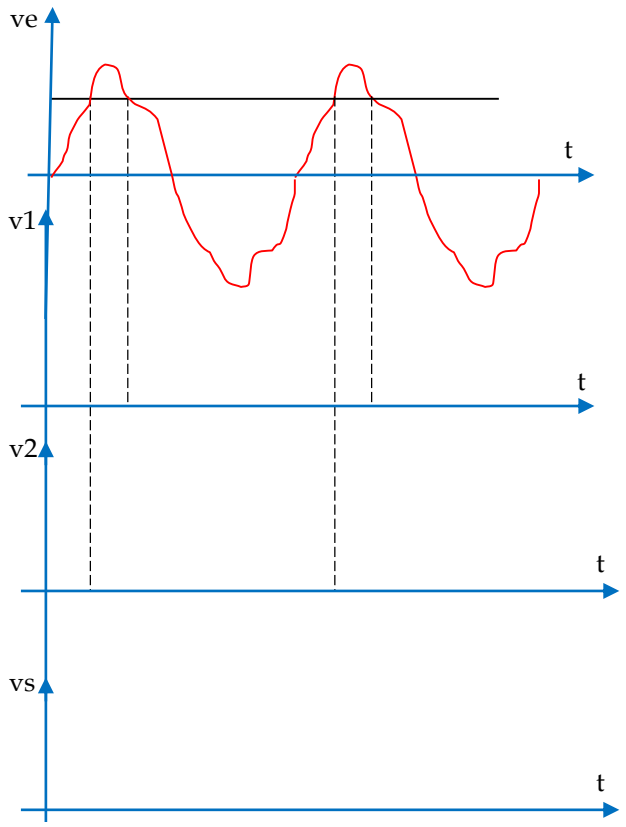
- Le monostable génère des impulsions calibrées de durée **τ** déterminée et d'amplitude **E**
- Le filtre passe-bas permet d'extraire la valeur moyenne du signal délivré par le monostable.



En effet selon la loi de Fourier, tout signal périodique est décomposable en sa composante continue et une série de composantes sinusoïdales

$$V(t) = Vmoy + V1.\sin(2\pi f_1.t + \varphi_1) + V2.\sin(2\pi f_2.t + \varphi_2) + \ldots$$

Un filtre passe-bas de fréquence de coupure inférieure à la fréquence f1, laisse passer seule la valeur moyenne Vmoy (composante continue)



Vérification de la relation v s= K.f

……

……

……

……

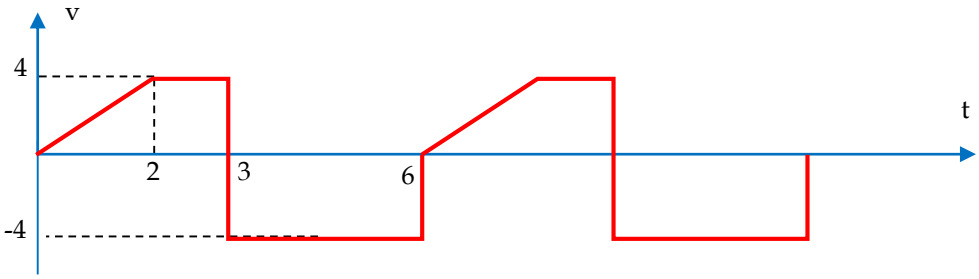
……

……

……

……

Exemple de calcul de la valeur moyenne d'un signal périodique



……

……

……

……

……

……

……

……

……

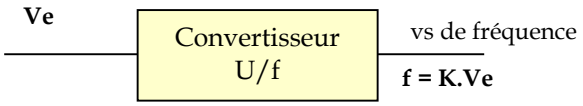
……

……

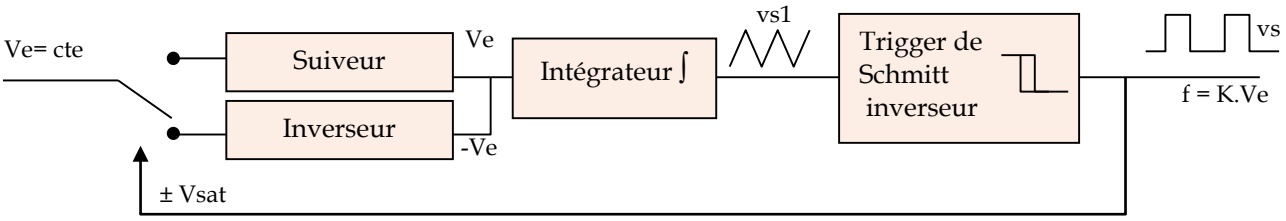
Conversion tension/fréquence

Il permet de produire un signal périodique de fréquence proportionnelle à la tension d'entée

Application : réglage de la fréquence d'un générateur de signaux



⇨ ***Synoptique de la conversion***



Exercice : Examen national 2018, session de rattrapage

Tâche 3 : Mesure de la vitesse

La vitesse de rotation du moteur est acquise au moyen d'un codeur optique incrémental qui génère un signal carré de fréquence proportionnelle à la vitesse du moteur. Ce codeur est constitué :

- *D'un disque comportant **72** trous (figure **a**) et fixé sur l'arbre de sortie du réducteur ;*
- *D'un détecteur optoélectronique à fourche lié au bâti et alimenté comme indiqué dans la figure **b**.*

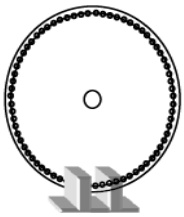


Figure a

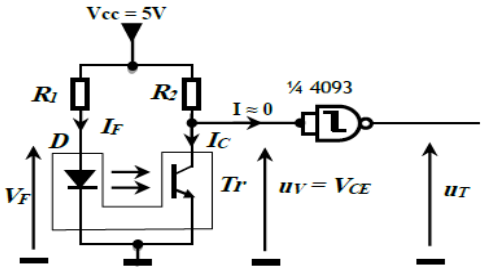


Figure b

Les éléments du détecteur ont pour caractéristiques principales:

- *Intensité du courant dans la diode électroluminescente : $I_F = 20\ mA$;*
- *Tension aux bornes de la diode **D** électroluminescente : $V_F = 1,5\ V$;*
- *Intensité maximale du courant dans le collecteur du phototransistor **Tr** lorsqu'il est saturé : $I_{CMAX} = 0,5\ mA$;*
- *Tension V_{CESAT} entre le collecteur et l'émetteur du phototransistor **Tr** lorsqu'il est saturé : $V_{CESAT} \approx 0\ V$.*

Q31) *Calculer les valeurs des résistances R_1 et R_2.* **4 pts**

Q32) *Suivant l'état du phototransistor (saturé ou bloqué), donner la valeur de la tension u_V en volts.* **1 pt**

Q33) *On admet que la fréquence f du signal u_V est liée à la vitesse N_d du disque du codeur par la relation :*

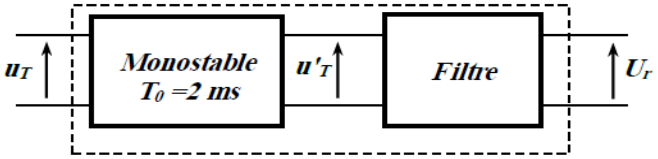
*$f = R \cdot N_d$ où $R = 72$ (résolution du codeur) et N_d étant en **tr/s**.*

Montrer que la fréquence f du signal u_V est liée à la vitesse du moteur N_{mot} (tr/min) par : $f = \frac{N_{mot}}{60} \cdot K \cdot R$

où $K = 1/25$ est le rapport de réduction. **2 pts**

Q34) *Sachant que la vitesse du moteur N_{mot} varie entre **200** et **4000 tr/min**, calculer alors les fréquences f_{min} et f_{max} correspondantes.* **2 pts**

Après la mise en forme du signal u_V, le signal u_T est appliqué à l'entrée d'un convertisseur fréquence/tension constitué d'un monostable suivi d'un filtre comme l'indique la figure suivante :



convertisseur fréquence/tension

*Le monostable génère une impulsion de **2 ms** à chaque front montant de u_T.*

*Les chronogrammes des signaux u_T et u'_T sont représentés sur le document **DRES 04**.*

*On admet pour la suite que la fréquence **f** du signal u_T varie entre $f_{min} = 10\ Hz$ et $f_{max} = 200\ Hz$.*

Q35) *Exprimer U'_{Tmoy} (valeur moyenne de u'_T) en fonction de **f**.* **1 pt**

Q36) *La tension u'_T peut être considérée comme la somme d'une composante continue U'_{Tmoy} (de fréquence nulle) et de plusieurs tensions sinusoïdales dont les fréquences sont supérieures ou égales à la fréquence **f**.*

Quel est le type de filtre (passe-bas, passe-haut ou passe-bande) qui convient pour avoir une tension continue $U_r = U'_{Tmoy}$? **1 pt**

Q37) *Calculer alors $U_{r\,min}$ et $U_{r\,max}$ de la tension U_r correspondantes respectivement à f_{min} et à f_{max} .* **2 pts**

Q38) *La tension U_r image de la vitesse est convertie par le module CAN (Convertisseur Analogique Numérique) intégré au microcontrôleur (voir schéma structurel du document **DRES 04**). La valeur numérique **N** de la conversion est donnée par la relation suivante :*

$$N = 255 \cdot \frac{U_r - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}}$$ *avec U_r est la tension à convertir, V_{REF+} et V_{REF-} sont des tensions de référence.*

*Sachant que $V_{REF+} = 5\ V$ et $V_{REF-} = 0\ V$, calculer les deux valeurs numériques N_1 et N_2 de **N** correspondantes respectivement à f_{min} et à f_{max}.* **2 pts**

……

……

……

……

……

……