

La partie électronique s'intéressera aux fonctions FP3 « captage du débit », et FP7 « affichage des informations de fonctionnement ».

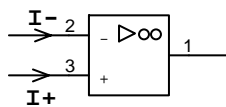
Ces deux parties sont indépendantes.

Temps préconisé le traitement de chaque partie :

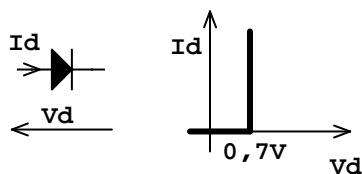
- Lecture du sujet : 15min
- 1^{ère} partie : 2H45
- 2^{ième} partie : 1H30

On utilise, dans la 1^{ère} partie des amplificateurs opérationnels que l'on considérera comme parfait :

- $I_+ = I_- = 0A$
- $A_0 = \infty$
- $V^+ = V^-$



Les diodes seront idéalisées comme suit :



1. Etude de FP3 : «Captage et conversion du débit ».

Dans toute cette étude toutes les sous parties sont indépendantes sauf le §1.10 « synthèse ».

Cette fonction a pour rôle de transformer l'information « débit d'eau polluée » en un mot binaire de 8 bits image de cette valeur.

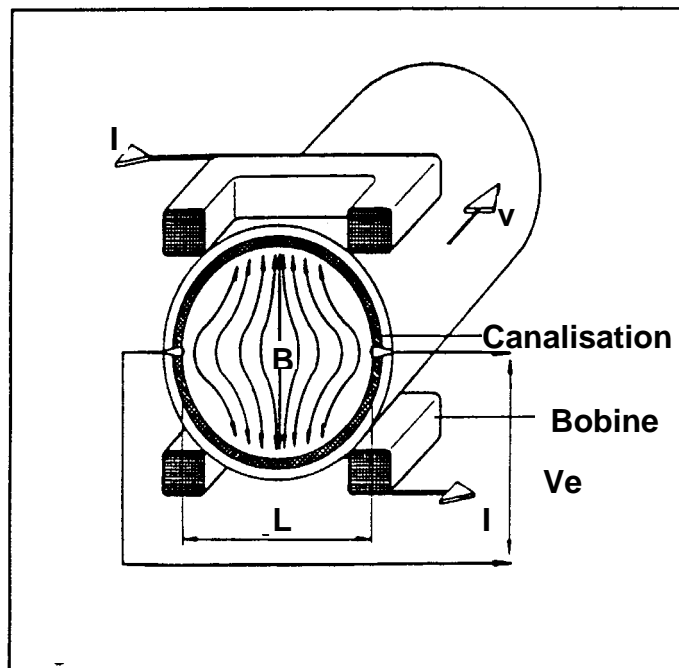
Cette étude va nous montrer le moyen de réaliser cette fonction et la méthode employée pour obtenir une bonne précision sur une large gamme de mesure.

1.1. Principe de fonctionnement.

Le principe retenu est celui du débitmètre électromagnétique.

Un champ magnétique est créé à l'intérieur de la canalisation. Le liquide en mouvement dans celle-ci induit une f.e.m. qui est captée par deux électrodes.

SCHEMA DE PRINCIPE DU DEBITMETRE



On a : **$Ve = B \cdot L \cdot v$**

- Ve : f.e.m force électromotrice en Volt.
- B : norme du champ magnétique en Tesla.
- L : distance entre les électrodes en mètre
- v : vitesse du liquide en $m.s^{-1}$.

Ce principe a été retenu pour les raisons suivantes :

- La mesure ne dépend pas des caractéristiques du liquide (densité, viscosité ...)
- Pas de pièce en mouvement (pas d'usure)
- Grande résistance à la corrosion.

Le champ magnétique B est créé en faisant passer un courant dans une bobine. Le courant est bidirectionnel pour créer un champ magnétique B alternatif ce qui élimine les risques de polarisation des électrodes.

On rappelle la formule liant la norme du champ magnétique B en fonction du courant I :

$$B = k . I \quad \text{ou } k \text{ est une constante}$$

1.2. Principe de la mesure.

La DDP V_e provenant des électrodes va être référencée par rapport à la masse, amplifiée de manière optimale puis convertie en un mot binaire de 8 bits.

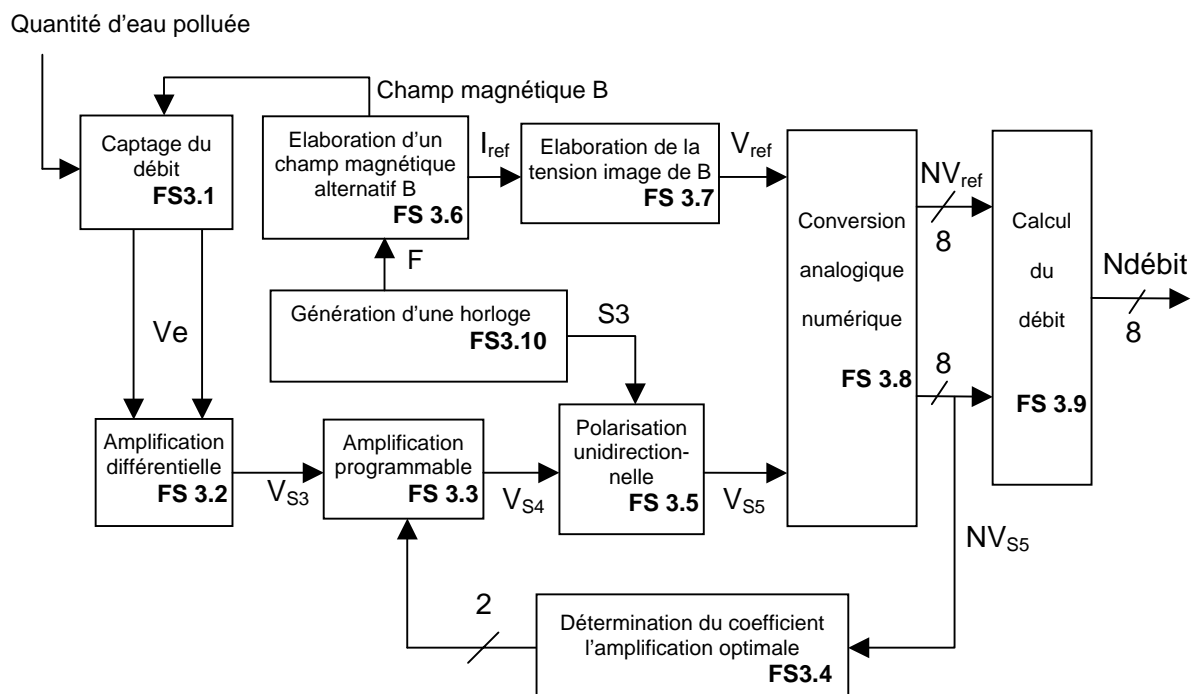
Pour améliorer la précision, la mesure s'effectue en deux temps (principe du Dual Slope) : le 1^{er} temps consiste à évaluer la tension V_e (en prenant le plus petit coefficient d'amplification), le 2^{ème} à choisir un coefficient d'amplification optimal afin que la tension arrivant sur le convertisseur analogique numérique soit la plus grande possible tout en restant compatible avec les limites technologiques de ce dernier.

Le champ magnétique B, intervenant de manière directe sur la valeur du débit, sera lui aussi mesuré pour obtenir un résultat le plus précis possible.

C'est un micro contrôleur qui assurera la gestion de la mesure et le calcul du débit en fonction des données mesurées et de constantes liées aux relations données précédemment.

Un étalonnage du débitmètre est nécessaire : un coefficient de correction (K_c) est calculé et mémorisé dans la mémoire du micro contrôleur.

1.3. Schéma fonctionnel de 2^{ème} degré.



Définition des fonctions secondaires :

FS3.1 : Captage du débit.

Son rôle est de transformer l'information débit en une différence de potentiel V_e image de cette information.

FS 3.2 : Amplification différentielle.

Son rôle est d'amplifier V_e captée par les électrodes et de la référencer par rapport à la masse du montage.

FS 3.3 : Amplification programmable.

Son rôle est d'amplifier de manière optimale le signal V_{S3} afin d'obtenir une tension V_{S4} qui soit la plus grande possible tout en restant compatible avec l'entrée du convertisseur, c'est-à-dire que sa valeur absolue soit inférieure à 5 V. FS3.4 sélectionne l'une des quatre valeurs d'amplification.

FS3.4 : Détermination du coefficient d'amplification optimale.

Son rôle est de choisir l'amplification optimale parmi les quatre possibles en fonction de la 1^{ère} mesure.

FS 3.5 : Polarisation unidirectionnelle.

Son rôle est de rendre V_{S5} positive quelque soit le sens du champ B.

FS 3.6 : Elaboration d'un champ magnétique alternatif B.

Son rôle est de fournir un courant I_{bob} alternatif à partir d'une source continue et d'une commande F. Ce courant traverse une bobine placée de part et d'autre de la canalisation, et crée un champ magnétique B la traversant.

I_{ref} est la valeur absolue du courant traversant la bobine I_{bob} .

FS 3.7 : Elaboration de la tension image de B.

I_{ref} est convertie en tension. Celle-ci est amplifiée puis filtrée pour donner une tension V_{ref} compatible avec l'entrée de FS3.8 « Conversion analogique numérique ».

FS 3.8 : Conversion analogique numérique.

Elle convertit les tensions V_{ref} et V_{S5} en deux mots binaires NV_{ref} et NV_{S5} .

FS 3.9 : Calcul du débit.

Le micro contrôleur calcule, à partir de NV_{ref} , de NV_{S5} et du coefficient K_c , le débit qui est donné sous forme d'un mot binaire de 8 bits (Ndébit).

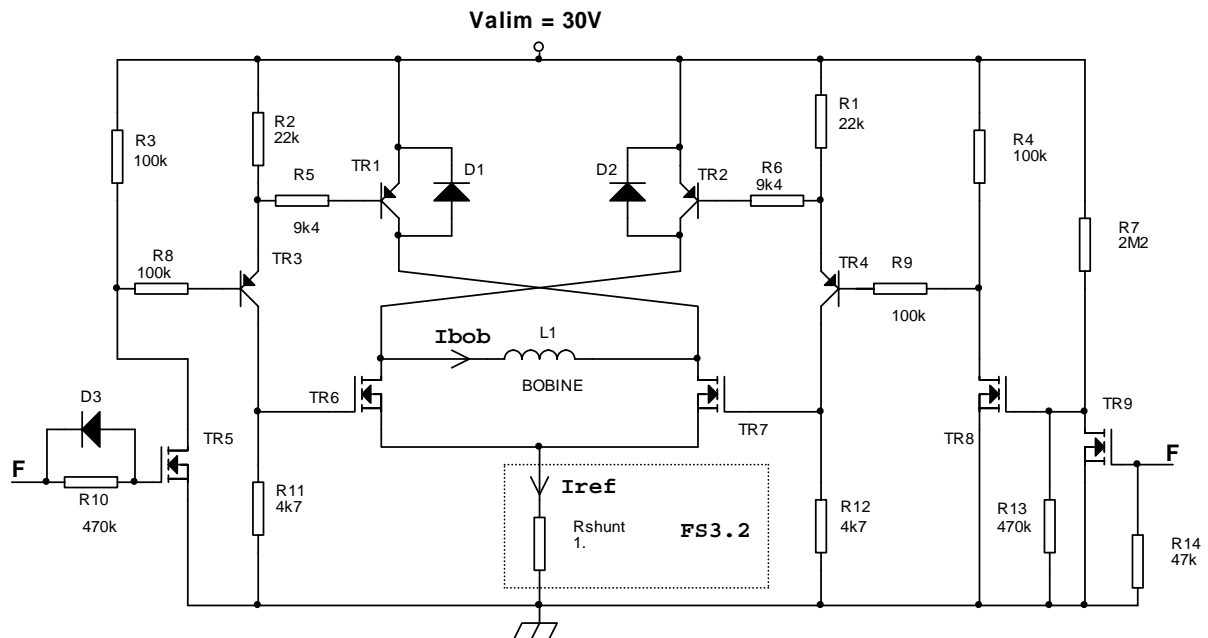
FS 3.10 : Génération d'une horloge.

Elle génère deux signaux périodiques carrés de 30Hz environ (F et S3) pour la création du champ magnétique alternatif.

1.4. Etude de FS 3.6 : Elaboration d'un champ magnétique alternatif B.

On veut montrer que la structure suivante permet de générer un champ magnétique alternatif B.

Schéma structurel



TR5 = TR6 = TR7 = TR8 = TR9 = BS170

TR1 = TR2 = TR3 = TR4 = BC470A

D1 = D2 = D3 = 1N4148

Résistance propre de la bobine : $R_{bob} = 340$.

Q1.1. Rappeler pourquoi il est nécessaire d'avoir un champ magnétique alternatif ?

Q1.2. Donner la technologie et le type des transistors TR3 et TR5.

Q1.3. Sachant que les transistors fonctionnent en commutation, compléter le tableau 1 sur le document réponse 1 à la page CR1 (Notation → B : transistor bloqué ; S transistor saturé). On donne la courbe de transfert du transistor BS170 en annexe page CAN7.

Q1.4. Compléter sur le tableau 1 du document réponse 1 (page CR1) le signe du courant I_{bob} .

Q1.5. Justifier que le champ magnétique B créé est alternatif.

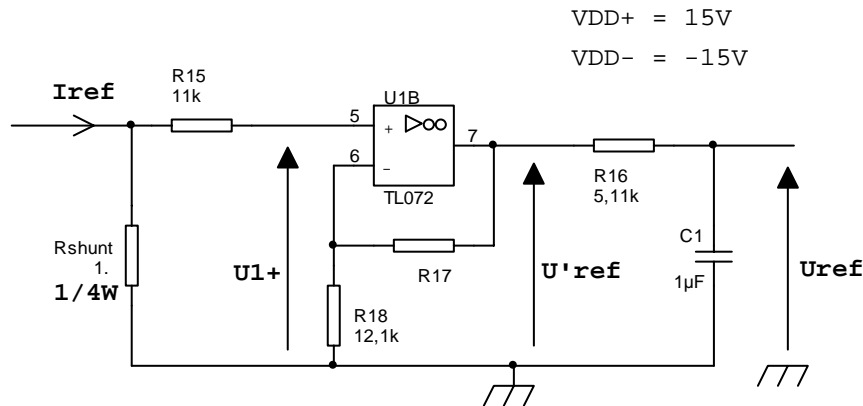
Q1.6. Calculer la valeur du courant I_{bob} lorsque TR2, TR7 sont saturés et TR1, TR6 sont bloqués (on néglige les tensions V_{ECsat} , V_{DSon} et aux bornes de Rshunt).

Q1.7. Expliciter le rôle des diodes D1 et D2 (que protègent-elles et à quel moment jouent-elles leur rôle) ?

1.5. Etude de FS 3.7 : Elaboration de la tension image de B.

On veut montrer que la structure utilisée permet de convertir le courant I_{ref} (produisant le champ magnétique B) en une tension proche (tout en restant inférieure) à 5V et absente de parasites de fréquence élevée.

Schéma structurel



Q2.1. Exprimer $U1+$ en fonction de I_{ref} et des éléments du montage.

Q2.2. Exprimer U'_{ref} en fonction de I_{ref} et des éléments du montage.

On donne : $I_{refmax} = 90mA$

Q2.3. Calculer $R17$ pour que U'_{ref} reste inférieur ou égale à 5V.

Q2.4. Choisir $R17$ dans la série E12 (donnée en annexe à la page CAN7) en expliquant votre choix.

Q2.5. Indiquer la condition sur la valeur de R_{shunt} pour que la mesure de I_{ref} n'influe pas sur le fonctionnement de FS3.6 « Elaboration d'un champ magnétique alternatif B ».

Q2.6. Valider alors sa valeur de 1Ω .

Q2.7. Justifier la valeur de la puissance de R_{shunt} .

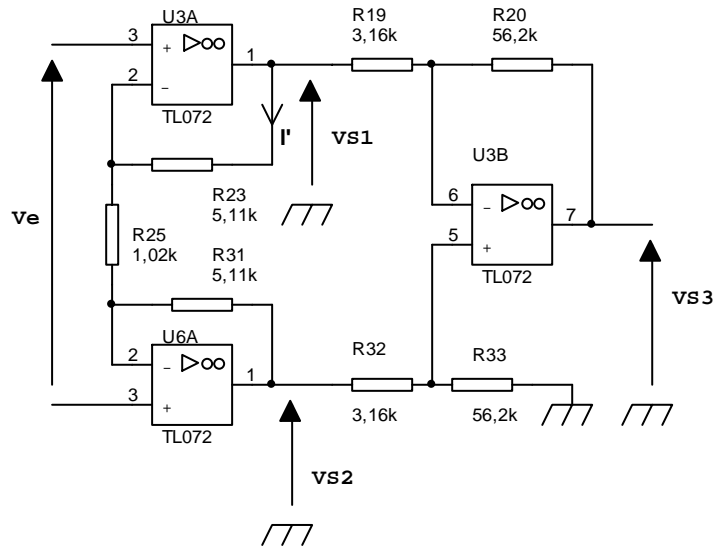
Q2.8. Indiquer la nature du filtre réalisé par $R16$ et $C1$. Calculer sa fréquence de coupure.

Q2.9. Justifier le rôle du filtre ainsi réalisé.

1.6. Etude de FS 3.2 : Amplification différentielle.

On veut montrer que la structure utilisée amplifie un signal sans référence commune en une tension référencée par rapport à la masse.

Schéma structurel



Q3.1. Exprimer littéralement V_e en fonction de R_{25} et I' .

Q3.2. Exprimer littéralement $V_{S1}-V_{S2}$ en fonction de R_{23} , R_{25} , R_{31} et I' .

Q3.3. En déduire que $V_{S1}-V_{S2} = K_1 \cdot V_e$. Calculer K_1 .

Q3.4. Exprimer littéralement V^-_{U3B} en fonction de V_{S1} , V_{S3} , R_{19} et R_{20} .

Q3.5. Exprimer littéralement V^+_{U3B} en fonction de V_{S2} , R_{32} et R_{33} .

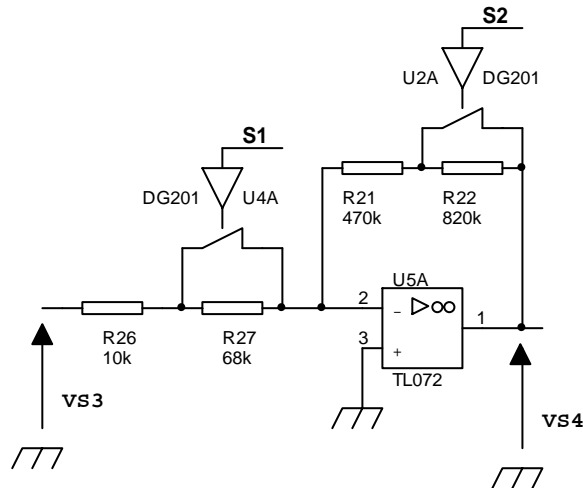
Q3.6. En déduire que $V_{S3} = K_2 \cdot (V_{S1} - V_{S2})$. On remarquera que $R_{19} = R_{32}$ et que $R_{20} = R_{33}$.
Calculer K_2 .

Q3.7. Déduire des questions précédentes que $V_{S3} = K_3 \cdot V_e$. Calculer K_3 .

1.7. Etude de FS.3.3 : Amplification programmable.

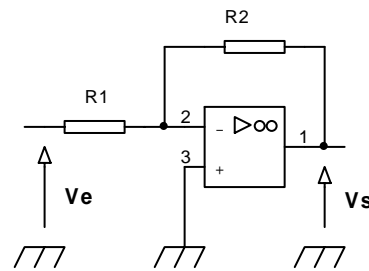
On veut montrer que cette structure permet d'obtenir quatre coefficients d'amplification différents dont on veut connaître les valeurs.

Schéma structurel



On rappelle pour cette structure :

$$V_s = - (R_2 / R_1) V_e$$



Q4.1. Montrer que l'on peut négliger les caractéristiques des interrupteurs analogiques par rapport aux résistances utilisées (voir la documentation de l'interrupteur analogique à la page CAN4).

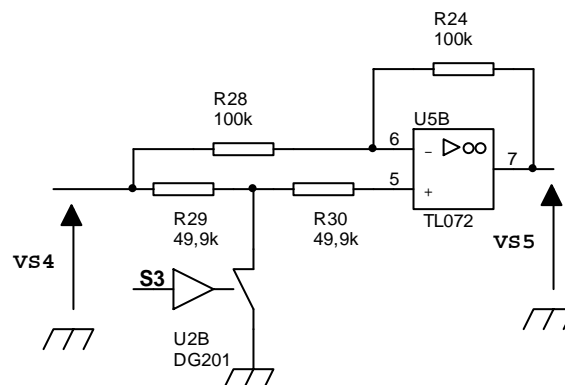
Q4.2. Ecrire l'équation littérale de $K_4 = V_{S4}/V_{S3}$ en fonction des résistances et de S1 et S2 qui peuvent prendre les valeurs « 0 » et « 1 ».

Q4.3. Compléter le tableau 2 sur le document réponse 1 (page CR1) en faisant apparaître les expressions littérales de $K_4 = V_{S4}/V_{S3}$ puis leur valeur numérique.

1.8. Etude de FS.3.5 : Polarisation unidirectionnelle.

On veut montrer que la structure ci-dessous permet d'obtenir une tension V_{S5} constamment positive quelque soit la polarité de V_{S4} .

Schéma structurel



Q5.1. Pourquoi le changement de polarité est-il nécessaire ?

Pour $S3 = 0$:

Q5.2. Donner la valeur de la tension aux bornes de R_{30} .

Q5.3. Exprimer littéralement puis numériquement V_{S5} en fonction de V_{S4} .

Pour $S3 = 1$:

Q5.4. Donner la valeur des tensions aux bornes de R_{29} et de R_{30} .

Q5.5. Exprimer littéralement puis numériquement V_{S5} en fonction de V_{S4} .

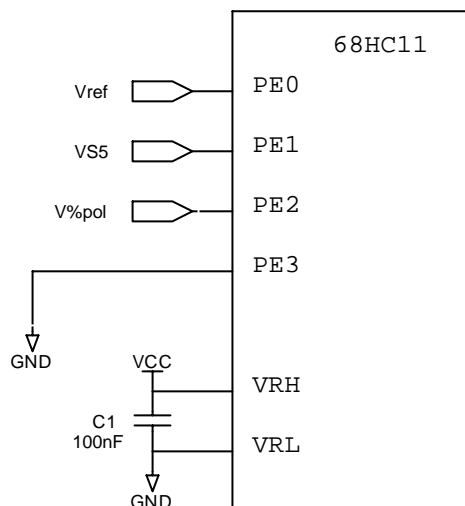
Q5.6. Déterminer l'état logique de $S3$ en fonction de la polarité de V_{S4} et du cahier des charges.

Q5.7. Montrer alors que la structure réalise la fonction demandée.

1.9. Etude de FS3.8 : Conversion Analogique Numérique.

On désire montrer comment cette structure est gérée afin de donner les mots binaires correspondant aux tensions d'entrée.

Schéma structurel partiel de la fonction.



L'entrée PE2, reliée à $V\%pol$ n'appartient pas à la fonction FS3.6. Elle est représentée ici pour la cohérence de l'étude au niveau de la programmation du micro contrôleur.

La conversion analogique numérique est intégrée au micro contrôleur de type 68HC11E20 (voir documentation constructeur aux pages CAN1 à CAN3).

Q6.1. Donner la résolution du convertisseur.

Q6.2. Calculer le quantum du convertisseur.

Q6.3. Indiquer, d'après la documentation constructeur, le nom et l'adresse (en hexadécimal) du registre qui permet la programmation du convertisseur.

Q6.4. Définir le contenu de ce registre pour effectuer en une seule fois la conversion des entrées PE0 à PE3.

Q6.5. Indiquer le nom et l'adresse (en hexadécimal) du registre où est stocké le résultat de la conversion de V_{S5} .

Q6.6. Calculer le mot binaire récupéré si V_{S5} vaut 2,38V.

Q6.7. Déterminer la grandeur et calculer la valeur correspondant au mot binaire %11011001 trouvé à l'adresse \$1033.

1.10. Synthèse .

On donne $B = 10^{-2}$ T, $v = 0,5$ m/s et $L = 40$ mm

Lors de la 1^{ère} mesure, le micro contrôleur positionne $S1 = 1$, $S2 = 0$ et $S3 = 0$.

Q7.1. Donner l'expression littérale puis numérique de $V_{S5} = K \cdot V_e$

Q7.2. Calculer V_e puis V_{S5} .

Q7.3. Calculer le mot binaire récupéré après la conversion.

Un erreur de 1 LSB est systématique lors de la conversion. On calcule la précision de conversion par : $P\% = (1/N) \cdot 100$ ou N est le mot binaire.

Q7.4. Calculer la précision sur la mesure obtenue.

Q7.5. Déterminer alors l'amplification et la position de $S1$ et $S2$ que donnera la fonction FS3.4 pour effectuer la 2^{ème} mesure.

Q7.6. Calculer V_{S5} et le mot binaire après une nouvelle conversion.

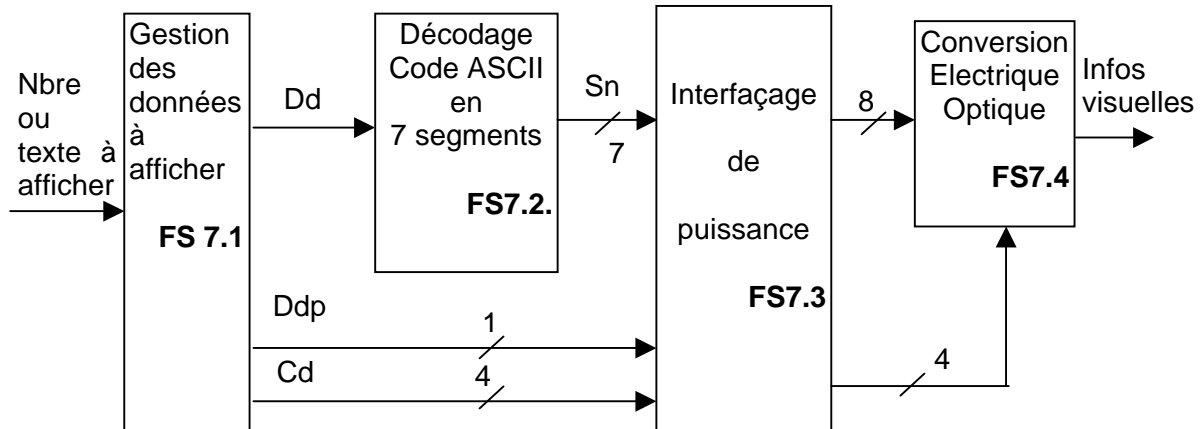
Q7.7. Calculer la précision sur la 2^{ème} mesure.

Q7.8. Montrer l'intérêt du type de mesure Dual Slope.

2. Etude de FP7 : Affichage.

Son rôle est de convertir les données à afficher en signaux lumineux compréhensible par l'utilisateur. Un affichage multiplexé a été choisi pour la simplicité de la mise en œuvre matérielle, la gestion étant réalisée par logiciel.

2.1. Schéma fonctionnel de 1^{er} degré.



Description de fonctions secondaires:

FS7.1 : Gestion des données à afficher.

Son rôle est d'envoyer séquentiellement les codes ASCII (Dd) des chiffres, des lettres ou du point décimal du nombre ou du texte à afficher vers FS7.2 « décodage code ASCII en code 7 segments ». Elle élabore aussi la commande d'allumage des digits (Cd).

FS7.2 : Décodage Code alphanumérique / 7 segments.

Son rôle est de convertir le code ASCII de la donnée à afficher en commande d'allumage des segments (Sn).

FS7.3 : Interface de puissance.

Permet de fournir la puissance nécessaire au bon fonctionnement des afficheurs.

FS7.4 : Conversion Electrique / Optique.

Son rôle est de convertir les signaux électriques en signaux lumineux visibles par l'opérateur.

2.2. Préliminaires.

Lors du calibrage du débitmètre, une valeur de débit très précisément connue est mesurée. Le technicien demande l'affichage du débit mesuré, puis entre la valeur du débit réel s'il est différent. La fonction traitement calcule alors la valeur de la constante de correction Kc qui sera utilisée pour les calculs ultérieurs de débit.

On rappelle que le micro contrôleur utilisé est de type **68HC11E20**

2.3. Etude de FS7.1 : Gestion des données à afficher.

Les données sont stockées temporairement avant d'être traitées pour être affichées puis remplacées par de nouvelles valeurs.

Q8.1. Préciser le type de mémoire dans laquelle ces données sont stockées.

Q8.2. Préciser le type de mémoire dans laquelle le programme est stocké.

Q8.3. Indiquer quelle peut être la taille maximale du programme ?

La constante Kc est stockée en EEPROM dont l'adresse de départ est \$B600.

Q8.4. Définir le terme EEPROM ?

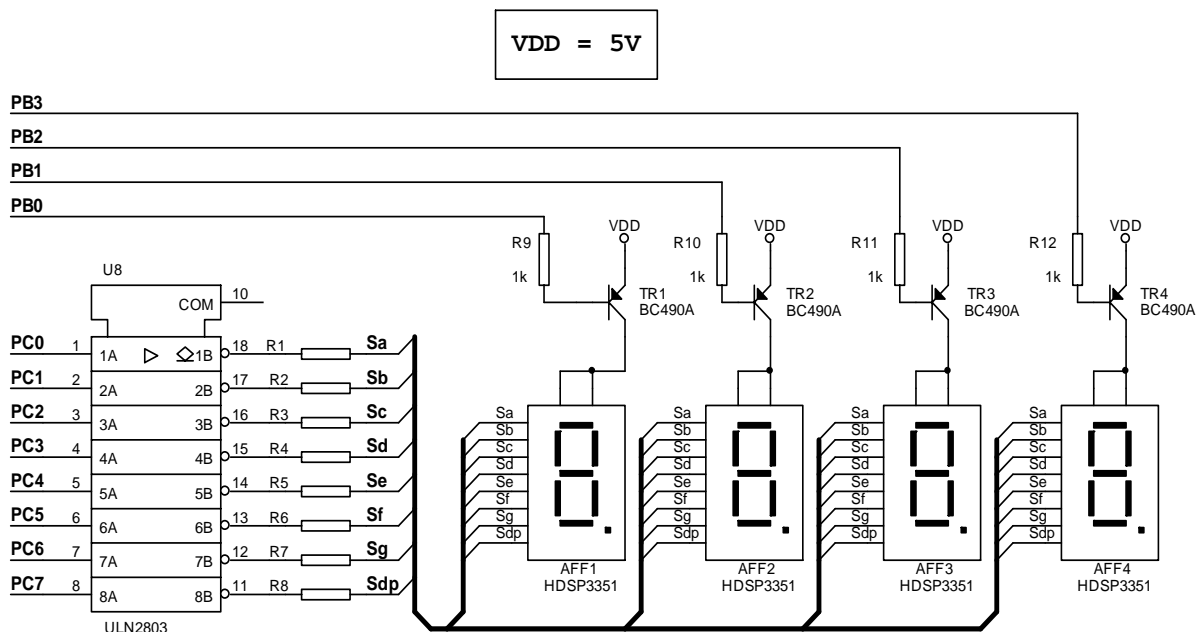
Q8.5. Indiquer la taille de cette mémoire dans le micro contrôleur utilisé ?

Q8.6. Justifier la possibilité de recalibrer le débitmètre ; donc de stocker la nouvelle valeur de Kc dans les mêmes cases mémoire ?

Q8.7. Donner l'adresse de fin de la zone EEPROM.

2.4. Etude de FS7.3 : Interface de puissance et de FS7.4 : conversion Electrique / Optique.

Schéma structurel



Q9.1. Rappeler en quelques lignes le principe de l'affichage multiplexé.

Q9.2. Indiquer quels doivent être les états logiques en sortie de U8(18) et PB0 pour que le segment a de AFF1 s'allume.

Q9.3. Dessiner le schéma équivalent de la maille contenant ce segment en repérant tous les composants et tensions rencontrés.

Q9.4. Caractériser le type de l'étage de sortie de U8(18).

Q9.5. Relever dans la documentation constructeur :

- Page CAN6 → la valeur typique de la tension de sortie à l'état bas de U8(18) sachant que le courant I est environ égal à 20mA.
- Page CAN5 → la valeur typique de la tension V_{ECsat} du transistor.
- Page CAN8 → la valeur de la tension de seuil de la DEL du segment a.

Q9.6. Déterminer la valeur de R1 pour fixer le courant dans le segment a à 20mA.

Q9.7. En vous aidant des chronogrammes de commandes d'allumage des afficheurs donnés en annexe (page CAN7), calculer le courant moyen traversant le segment a.

Q9.8. Justifier le choix des afficheurs utilisés en vérifiant la compatibilité des courants donnés et trouvés aux questions précédentes.

Q9.9. Déterminer le courant maximum qui traverse le transistor TR1 lorsque tous les segments sont allumés.

Q9.10 Montrer que le transistor TR1 est saturé lorsque PB0 est à l'état bas et que tous les segments sont allumés. (on prendra $\beta = 140$ pour le transistor BC490A).

Q9.11. Compléter le tableau 3 du document réponse 1 en indiquant pour chaque cas quel caractère est affiché et sur quel afficheur.(la structure de l'afficheur vous est donné en annexe à la page CAN7).