

SWR POWER METER F8KGL

Spécifications

V 0.8

F0EOS-F4BJH-07/02/22-Vauréal Amitié Radio

Table des matières

| | |
|---|----|
| 1-INTRODUCTION..... | 4 |
| 2-DESCRIPTION GENERALE..... | 6 |
| 2.1-Versions..... | 6 |
| 2.2-Architecture matérielle..... | 7 |
| 2.2.1-Ligne de mesure..... | 8 |
| 2.2.2-Calculateur..... | 8 |
| 2.2.3-Afficheur..... | 9 |
| 3-SPECIFICATIONS MATERIELLES..... | 10 |
| 3.1-Schéma bloc général..... | 10 |
| 3.2-Technologie PCB..... | 11 |
| 3.3-Connecteurs..... | 12 |
| 3.4-Interrupteur, bouton poussoir, connecteur d'alimentation..... | 12 |
| 3.5-Coupleur directif..... | 13 |
| 3.5.1-Coupleur en ligne imprimée..... | 13 |
| 3.5.2-Coupleur en câble coaxial semi-rigide..... | 13 |
| 3.6-Détecteur HF..... | 14 |
| 3.6.1-Composants..... | 14 |
| 3.6.2-Schéma de principe..... | 14 |
| 3.7-AOP..... | 15 |
| 3.7.1-Composant AOP faible bruit..... | 15 |
| 3.7.2-Schéma de principe..... | 16 |
| 3.8-ADC..... | 16 |
| 3.8.1-Composant..... | 16 |
| 3.8.2-Schéma de principe..... | 17 |
| 3.9-MCU..... | 18 |
| 3.9.1-Composant..... | 18 |
| 3.9.2-Schéma de principe..... | 19 |
| 3.9.3-Programmateurs..... | 20 |
| 3.10-LCD..... | 20 |
| 3.10.1-LCD 2 lignes – 16 caractères – contrôleur Hitachi HD44780..... | 21 |
| 3.10.2-LCD 4 lignes – 16 caractères..... | 22 |
| 3.11 – Câbles..... | 22 |
| 3.11.1 – Câble LCD – PCB..... | 22 |
| 3.11.2 – Câble alimentation..... | 22 |
| 3.11.3 – Câble programmeur..... | 22 |
| 3.11.4 – Câble interrupteur et inverseur..... | 23 |
| 3.12-Régulateur d'alimentation..... | 23 |
| 4-SPECIFICATIONS LOGICIELLES..... | 25 |
| 4.1-Généralités..... | 25 |
| 4.1.1-Firmware..... | 25 |
| 4.1.2-Tests..... | 25 |
| 4.1.2.1-Tests de validation..... | 25 |
| 4.1.2.2-Tests de montage..... | 26 |
| 4.1.3-Conventions de nommage..... | 26 |
| 4.2- Synoptique..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1-Firmware de TEST..... | 27 |
| 4.3-Spécifications des composants logiciels..... | 29 |
| 4.4-Compléments..... | 38 |
| 4.4.1-Composant ADC..... | 38 |
| 4.4.1.1-Initialisation ADC..... | 38 |
| 4.4.1.2-Lecture des valeurs ADC Fwd et REF..... | 38 |
| 4.4.1.2.1-Lecture ADC FWD..... | 38 |
| 4.4.1.2.2-Lecture ADC REF..... | 39 |
| 4.4.2-Plan d'adressage I2C..... | 41 |
| 4.4.3-Log..... | 41 |
| 4.4.4-Plan mémoire du code..... | 42 |
| 4.4.5-Plan mémoire EEP interne du PIC..... | 42 |
| 4.5-Programmateurs..... | 43 |
| 4.5.1-PIC..... | 43 |
| 4.6-Calibrator..... | 43 |
| 4.6.1-FW de TEST..... | 43 |

1-INTRODUCTION

Afin d'optimiser la qualité de ses communications, l'OM cherche à rendre maximum le transfert de puissance entre l'antenne et l'émetteur (et vice et versa). Ce point de fonctionnement optimum est atteint lorsque les impédances entre l'antenne et l'émetteur sont « adaptées ». Alors, la puissance réfléchie est minimale (idéalement nulle), ou le « SWR » (ou ROS), pour « Standing Wave Ratio » (ou Rapport d'Onde Stationnaire) est proche de (idéalement égal à) 1.

Le « SWR Power Meter F8KGL » (ou Wattmètre/ROSmètre F8KGL) est un dispositif permettant de mesurer la puissance transmise à l'antenne, la puissance réfléchie, et le « SWR ». Il donne ainsi la mesure de la qualité de la chaîne de transmission TRX/Antenne.

Le « SWR Power Meter F8KGL » doit répondre aux besoins suivants :

- mesurer une puissance de 1W à 500W, avec une précision de 10 %
- mesurer une puissance dans les 3 bandes radioamateurs HF, VHF, UHF
- être utilisable par une grande majorité des TRX radioamateurs (50 Ω)
- être alimenté par une source extérieure en 13,8V, ou par un pack batterie 4x1,5V LR6
- atténuer le moins possible le signal à transmettre (max 0,2dB)
- afficher le résultat de la mesure sur un écran LCD (puissance en W, et le SWR sans unité)
- être solide et robuste pour une utilisation en contest et /P
- être vendable sous la forme de kit

Ces besoins ont été définis par l'état de l'art technique actuel. En particulier, la technologie moderne appelle l'utilisation de l'électronique numérique le plus souvent possible. C'est pourquoi, l'affichage sur un écran LCD a été choisi. De plus, l'utilisation de moyens informatiques, aussi simples et modestes soient-ils, est préconisé. C'est pourquoi, un microcontrôleur a été choisi pour faire l'interface entre la mesure et l'affichage.

Ce dispositif a été conçu par les OM du club radioamateur « Vauréal Amitié Radio », situé à Vauréal (95), sous l'indicatif F8KGL.

Le projet a été développé par André F0EOS, et Fabrice F4BJH. Portons également à l'attention du lecteur, que l'idée initiale vient de Pierre F1FDD.

Le tableau ci-dessous présente quelques solutions du commerce :

| | NESSEI | | surecom |
|--------------------------|-----------------------|------------|------------------------|
| Caracteristique | DG -503 | RS-50 | sw 102 |
| Frequence | 1.6 a 60 125 a 525 | 125-525 | 100-525 |
| Puissance | 200 | 120 +/-5% | 120 +/-5% |
| Attenuation insertion | >0.1dB | 0,3 | <0.15 vhf <0.25 uhf |
| Type fiche | so239 | N ou M | N ou J |
| Allimentation | 12v | 2 piles AA | 3.7 li-on |
| tolerance | | | |
| Prix | 115,83 € | 85,00 € | 51,30 € |

| | daiwa | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|----------|
| Caracteristique | cn 103 LN | cn 501 h | cn 501 h2 | cn501 vn | cn801hp | cn 901hp | cn901 hp3 | cn901vn |
| Frequence | 140-525 | 1.5-150 | 1.5-150 | 140-525 | 1.8-200 | 1.8-200 | 1.8-200 | 140-525 |
| Puissance | 200 | 1500 | 2000 | 200 | 2000 | 2000 | 3000 | 200 |
| Attenuation insertion | | | | | | | | |
| Type fiche | N | | | | PL | | | |
| Allimentation | | | | | | 12v | | |
| tolerance | 10% | + ou - 10% | | | | | | |
| Prix | 129,00 € | 99,00 € | 105,00 € | 105,00 € | 175,00 € | 146,00 € | 179,00 € | 126,00 € |

2-DESCRIPTION GENERALE

2.1-Versions

| Version | Etat des développements | Tests | Remarques |
|---------|---|---|--|
| V0.5 | Mode test implémenté et validé en simulation | Tests de simulation | ADC interne du PIC tests de couverture < 100% |
| V0.6 | MAX11100 et MAX624 implémentés | Tests de simulation | tests de couverture < 100% |
| V0.7 | Lecture des ADC, et pilotage de l'AOP implémenté et validé dans le firmware de test LTC2305, AD5175, LT1818 implémenté au schéma | Tests de simulation | Pas de PCB tests de couverture < 100% |
| V0.8 | Firmware test implémenté Schéma câblé, PCB routé | Tests de validation fw | Prototype |
| V1.0 | Firmware calibration, opérationnel implémentés Hardware câblé et monté | Tests de validation fw et tests de montage hw | |
| V1.n | tbd | Tests de production | Production |
| V2.0 | tbd | tbd | Maintenance |

Toutes les version <0,7 sont des versions de « POC » (Proof of concept) autour d'un driver LCD, I2C, etc...

La version V0.7 est une version de simulation sous gpsim.

La version V0.7 a les restrictions suivantes, et ne feront pas l'objet de corrections ou d'évolutions :

- la simulation ne tient pas compte du temps de conversion nécessaire à l'ADC
- la 1ère trame I2C du PIC vers ses esclaves provoquent un NACK
- la tension d'entrée de la simulation ne peut pas être mise à jour à la volée (il faut relancer la simulation)
- la tension en mV affichée par LCD est erronée
- la version V0.7 ne comporte pas de PCB

Elles seront corrigées pour les versions de firmware >0.8.

La version V0.8 est une version de prototype pour le logiciel et le matériel.
Les versions V1.n sont des versions prototype corrigées.
La version V2.0 est la version de production.

En tout, il faut donc prévoir 2 runs de fabrication de cartes :

1. « run proto » : il sera fondé sur la v0.8 du projet en petite série (quantité = 5 max).
2. « run production » : il sera fondé sur la V1.n du projet en grande série.

Le projet se veut collaboratif avec la communauté OM. Les évolutions proposées seront portées sur la V2.0, pouvant alors faire l'objet d'un nouveau run de production le cas échéant.

2.2-Architecture matérielle

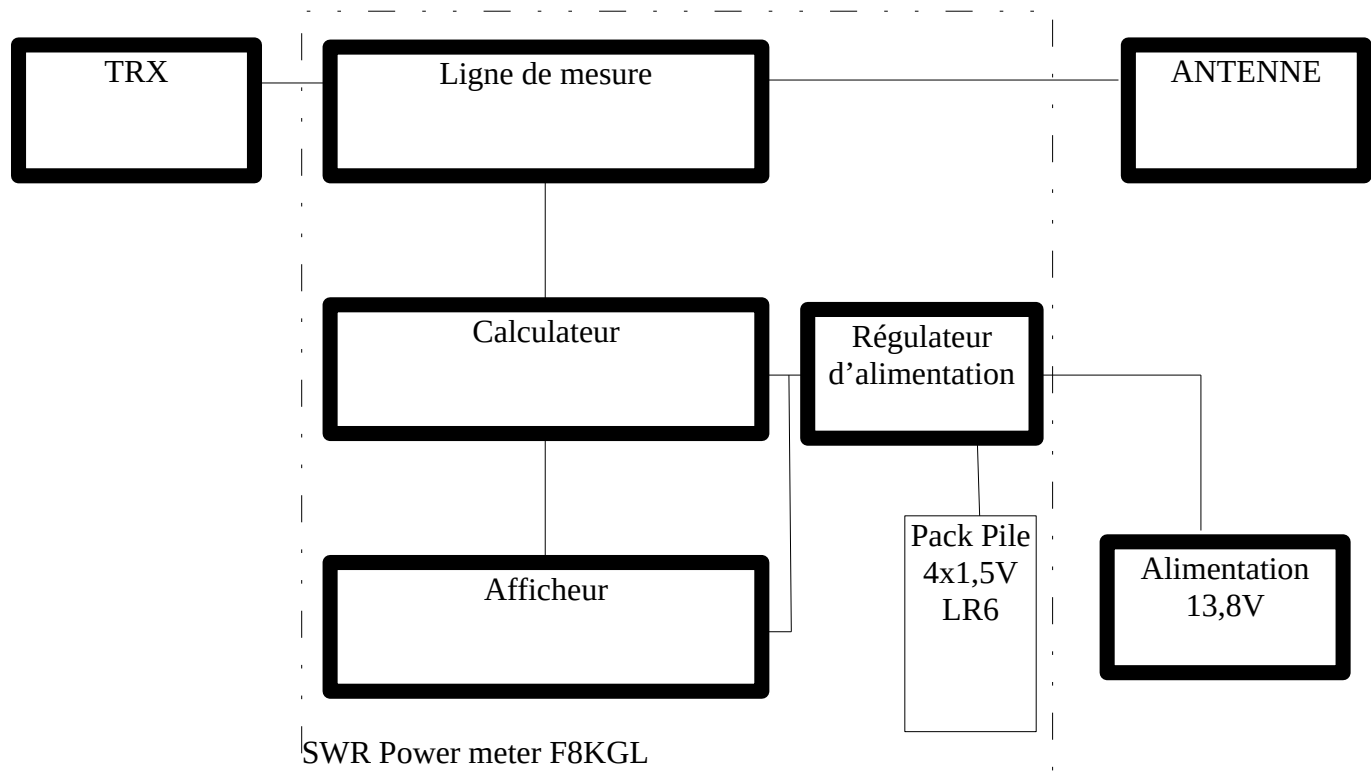


D'un point de vue fonctionnel, le « SWR Power Meter F8KGL » doit permettre :

- de mesurer la puissance transmise de l'émetteur (TRX) vers la charge (Antenne)
- de mesurer la puissance réfléchie par la charge.
- de calculer le SWR à partir de la mesure de ces 2 puissances
- d'afficher le résultat des ces 2 mesures en W, et le résultat du calcul du SWR.

Pour effectuer ces fonctionnalités, le « SWR Power Meter F8KGL » sera constitué de 4 dispositifs :

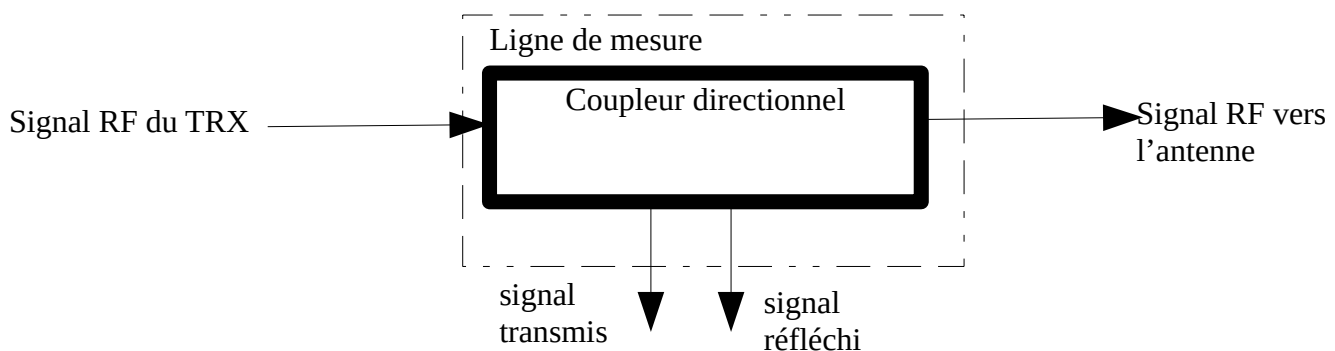
- une ligne de mesure
- un calculateur
- un afficheur
- un régulateur d'alimentation



2.2.1-Ligne de mesure

Pour effectuer la fonctionnalités de mesure des puissances transmise et réfléchi, le « SWR Power meter F8KGL » devra être constitué d'un dispositif appelé « Ligne de mesure », permettant de séparer le signal transmis du signal réfléchi

La ligne de mesure sera constitué de 1 dispositif standard de l'état de l'art : coupleur directionnel



2.2.2-Calculateur

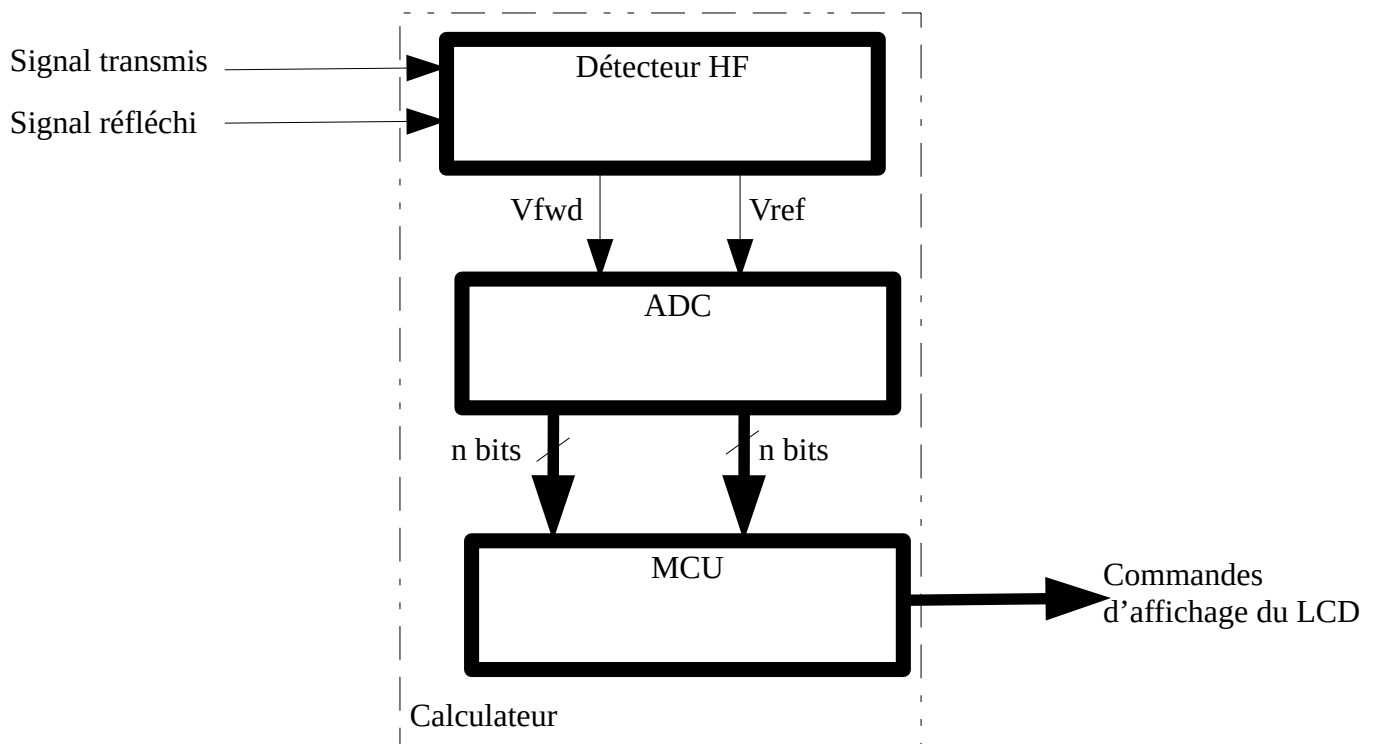
Pour effectuer la fonctionnalité d'affichage des puissances transmises et réfléchies, et de calcul du SWR, le « SWR Power Meter F8KGL » devra être constitué d'un dispositif appelé « Calculateur » permettant de :

- pour chacun de ces 2 signaux transmis et réfléchi, fournir 2 tensions dont les valeurs sont liées à la puissance du signal transmis et réfléchi
- mesurer une tension

- calculer une puissance correspondant à la tension mesurée (avec une précision de 10%)
- calculer le SWR à partir des puissances calculées
- faire afficher le résultat sur un écran LCD

Le calculateur sera constitué de 3 dispositifs standards de l'état de l'art :

- détecteur HF
- Convertisseur analogique numérique (ou « ADC »)
- unité de calcul informatique, intégrant sa propre mémoire (ou « MCU »)



Dans l'état de l'art technique actuel, les performances (pertes en ligne, facteur de couplage, ROS) sont variables d'une ligne de mesure à l'autre. Le SWR POWER METER devra donc également prévoir une fonction de calibration de la ligne de mesure, qui sera intégrée dans le calculateur.

Le calculateur devra également pouvoir satisfaire les besoins suivants :

- fonctionnalité de micro-wattmètre
- configurable jusqu'à 3 bandes de fréquences différentes et 3 calibres de puissances différents

2.2.3-Afficheur

L'afficheur du SWR POWER METER F8KGL est un dispositif d'affichage de la puissance transmise et réfléchi qui devra répondre aux contraintes suivantes :

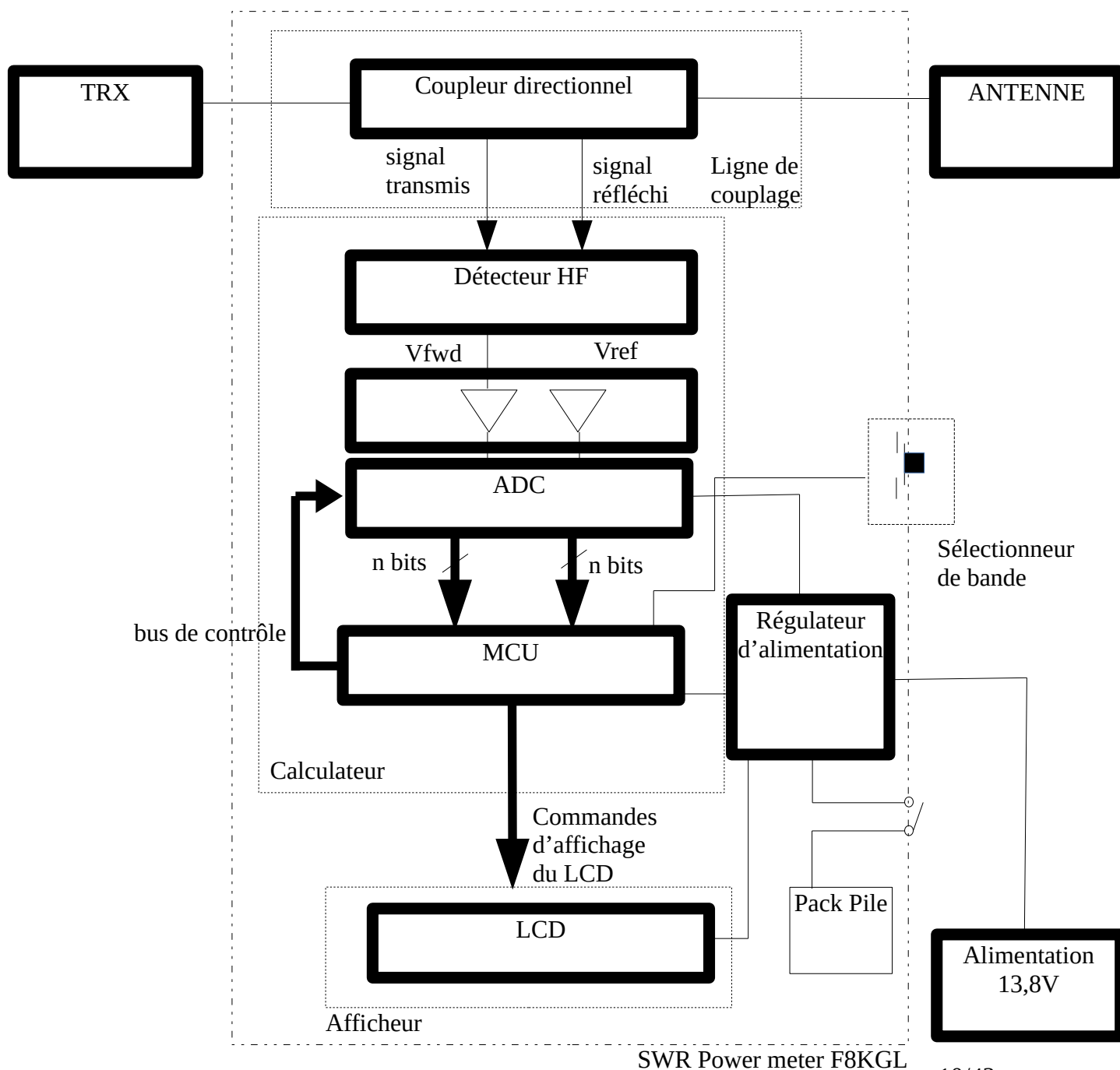
- affichage convivial pour l'OM
- affichage direct, clair et précis pour l'OM (sans difficultés, ni besoin de conversion)

3-SPECIFICATIONS MATERIELLES

3.1-Schéma bloc général

Le matériel du SWR POWER METER F8KGL est composé de 3 blocs :

- un bloc « ligne de mesure », dont la fonction est séparer le signal transmis du signal réfléchi.
- un bloc « calculateur », dont la fonction est de mesurer la puissance tranmise et réfléchi, et de calculer le ROS
- un bloc « afficheur », dont la fonction est d'afficher le résultat de la mesure, et le résultat du calcul
- un bloc « alimentation », dont la fonction est de réguler la tension d'alimentation



Le bloc « ligne de couplage » est composé d'un module :

- un coupleur directif, dont la fonction est de séparer le signal transmis et le signal réfléchi du signal se propageant sur la ligne de transmission TRX-Antenne. Il donne sur ses 2 sorties, une fraction des signaux transmis et réfléchis.

Le bloc « calculateur » est composé de 4 modules :

- un module « détecteur HF », dont la fonction est de redresser le signal. Il donne en sortie une tension dont la valeur est reliée à la puissance du signal d'entrée.
- Un module « AOP », dont la fonction est d'amplifier le signal. Il donne en sortie une tension dont la valeur est la valeur de tension d'entrée augmenté de son gain.
- Un module « ADC », dont la fonction est de convertir le signal en une valeur numérique sur 12 bits.
- Un module « MCU », dont la fonction est d'exécuter un programme informatique.

Le bloc « Afficheur » est composé d'un module :

- LCD 2 lignes/16 caractères, ou un LCD 4 lignes/16 caractères. Le choix est laissé à l'utilisateur.

Le bloc « Alimentation » est composé d'un module :

- un régulateur d'alimentation, dont la fonction est de convertir l'alimentation générale (12V/13,8V ou pack pile 4x1,5V) en une tension régulée de 5V, faible bruit.

Le SWR POWER METER devra être produit sous 2 formes possibles, laissées au choix de l'OM :

- Avec ligne de couplage, puissance mesurée en W et calcul de ROS : le dispositif peut alors s'appeler : « SWR POWER METER F8KGL »
- Sans ligne de couplage, puissance mesurée en dBm : xWATT POWER METER F8KGL

Ces 2 dispositifs pourront être vendues en kit.

Le schéma et le routage devront être identiques (BOM mise à part).

Dans la suite de ce document, hormis mention contraire, le SWR POWER METER désigne les 2 dispositifs invariablement.

3.2-Technologie PCB

Tous les composants sont en CMS. Les composants passifs sont au format 1206 ou éventuellement 0805.

Le circuit imprimé sera en epoxy FR4, d'épaisseur 1,6mm, double face. La face du dessous sera exclusivement réservée au plan de masse.

| Propriété | Valeur |
|------------------------------|---|
| Constante diélectrique | 4,70 max, 4,35 à 500 MHz, 4,34 à 1 GHz |
| Facteur de pertes | 0,02 à 1 MHz, 0,01 à 1 GHz |
| Rigidité diélectrique | 20 kV/mm |
| Résistivité de surface (min) | 2×10^5 |
| Résistivité volumique (min) | $8 \times 10^7 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ |
| Épaisseur typique | 1,25 à 2,54 mm |

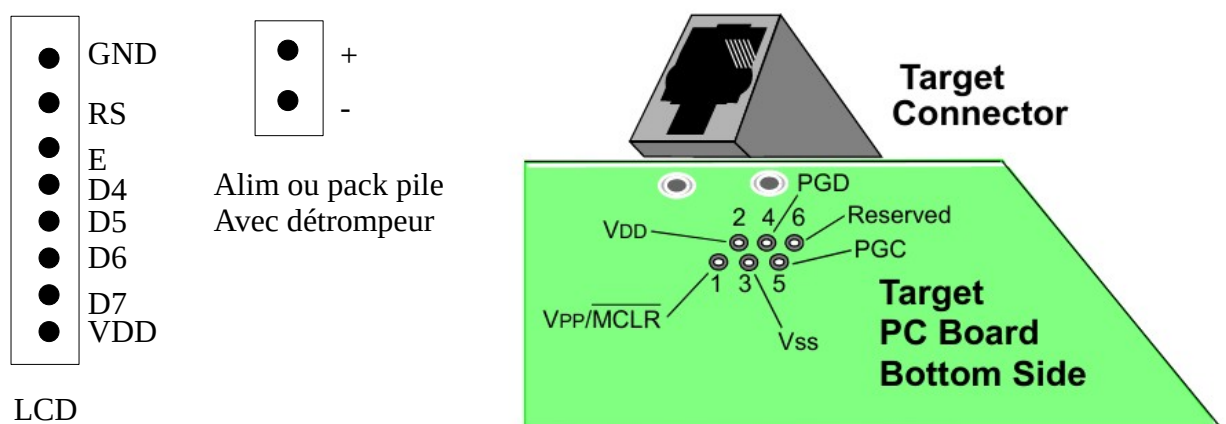
| | |
|-------------------------------------|---|
| Rigidité | 17 GPa |
| Coefficient de dilatation thermique | 11 ppm/K (dans la direction des fibres) |
| Coefficient de dilatation thermique | 15 ppm/K (dans la direction perpendiculaire aux fibres) |
| Conductivité thermique | 0,3 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹ (dans la direction des fibres) |
| Capacité calorifique | 800 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹ |
| Densité | de 1,80 à 1,90 kg·L ⁻¹ |

(Source Wikipedia)

3.3-Connecteurs

| | | Sur PCB | |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------|
| | | Fabricant | Référence |
| LCD | Header mâle 2,54mm – 8 points | AMP-TE connectivity | 5-826629-0 |
| Programmateur MCU | RJ11 6 pins | tbd | tbd |
| Signal transmis et signal réfléchi | SMA à souder sur PCB | tbd | tbd |
| Alim 13,8V | 2 points avec détrompeur | Molex | 22-27-2021 |
| Pack pile 6V | 2 points avec détrompeur | Molex | 22-27-2021 |
| Interrupteur pour pack pile | Header mâle 2,54mm – 2 points | AMP-TE connectivity | 5-826629-0 |
| Bouton poussoir « bande » | Header mâle 2,54mm – 2 points | AMP-TE connectivity | 5-826629-0 |

Ces connecteurs sont à câbler sur le schéma.



3.4-Interrupteur, bouton poussoir, connecteur d'alimentation

| Fonction | Composant | Fabricant | Référence fabricant |
|------------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Interrupteur M/A pour le pack pile | Inverseur | tbd | tbd |
| Sélecteur de bande | Bouton poussoir | tbd | tbd |
| Alim 12V | Jack barrel switch | Lumbert | 161420 |

L'ensemble de ces éléments devront être déportés en façade, et ne doivent pas apparaître sur le schéma.

3.5-Coupleur directif

Le choix du coupleur directif est laissé au choix de l'utilisateur.

Le coupleur directif peut donc être implémenté de plusieurs façons différentes :

- Ligne imprimée
- Coupleur en câble coaxial semi-rigide RG405
- Coupleur professionnel du commerce
- Coupleur avec tore

La connectique HF est de type fiche « N », car elle présente les meilleures qualités et performances radio.

Dans ce document, seuls la solution de coupleur « en ligne imprimée » et « en câble coaxial semi-rigide » est présenté.

3.5.1-Coupleur en ligne imprimée

Le coupleur en ligne imprimée fera l'objet d'une spécification lors des tests de montage HW (ie à partir de V1.0)

3.5.2-Coupleur en câble coaxial semi-rigide

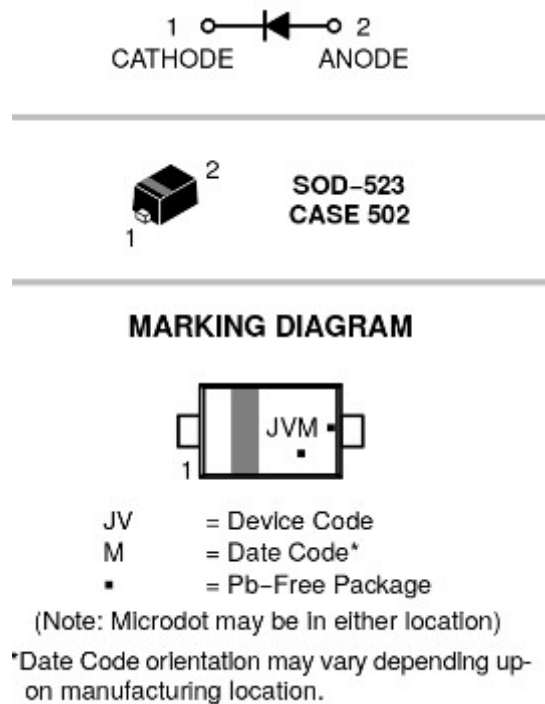
Le coupleur en câble coaxial semi-rigide fera l'objet d'une spécification lors des tests de montage HW (ie à partir de V1.0)

3.6-Détecteur HF

3.6.1-Composants

Le détecteur HF est le classique détecteur HF à diode. L'étude de ce détecteur a permis de montrer que la tension de sortie et la puissance d'entrée était reliée par $P(W) = K \times V_{out}$

La mesure de la BAT54XV2 a montré un gain légèrement plus élevé de 50MHz à 430MHz, raison pour laquelle cette diode a été choisie.

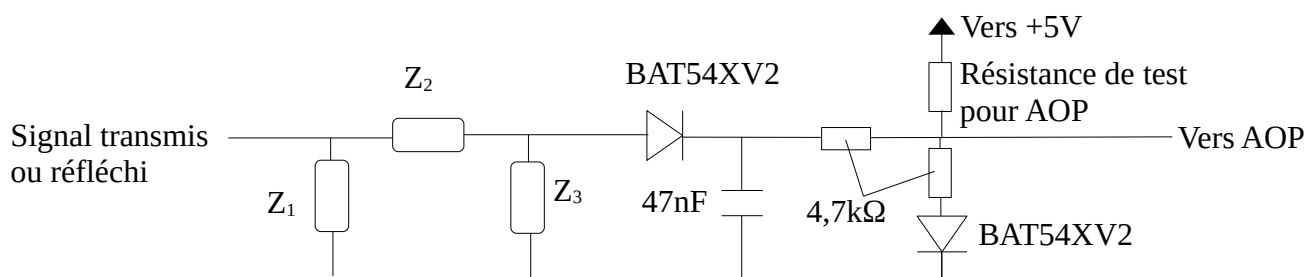


3.6.2-Schéma de principe

L'étude théorique a montré la nécessité de placer un circuit d'adaptation d'impédance en entrée du détecteur HF. Le schéma de principe ci-dessous pourra être éventuellement reconfigurer en fonction des résultats des tests sur le prototype.

L'étude théorique a également montré la nécessité de placer un circuit de compensation des effets de la température sur les performances du détecteur HF.

Enfin, une résistance de test sera montée sur les versions prototype, à des fins de mise au point et debug de l'AOP.



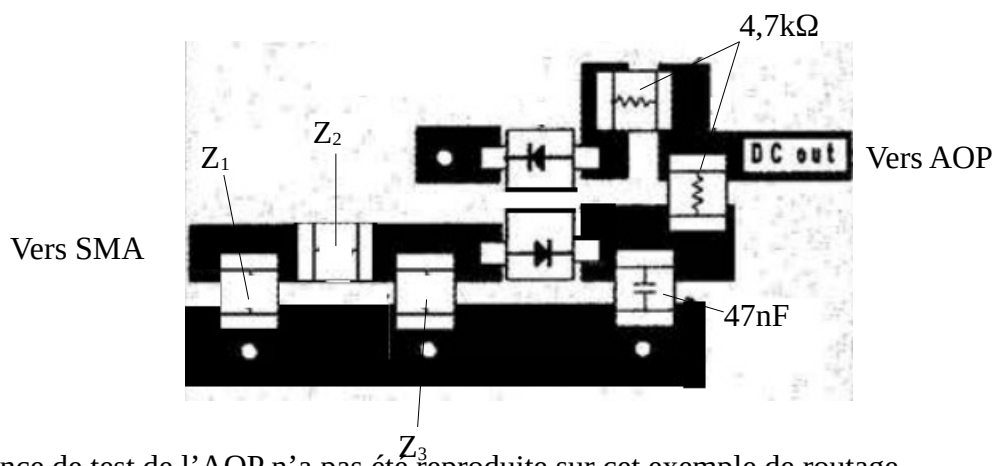
Tous les composants ci-dessus seront au format 1206, et doivent apparaître au schéma. Le circuit d'adaptation sera optimisé lors des tests du prototype. Par défaut, les valeurs de composants sont :

| | |
|----------------|------------------|
| Z ₁ | Non monté |
| Z ₂ | Résistance de 0Ω |

| | |
|----------------|-----------|
| Z ₃ | Non monté |
|----------------|-----------|

Ce circuit devra être reproduit sur la voie FWD et la voie REF.

Des contraintes de placement de composants et de routage seront également imposées :



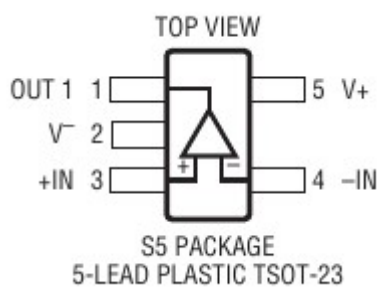
La résistance de test de l'AOP n'a pas été reproduite sur cet exemple de routage.

3.7-AOP

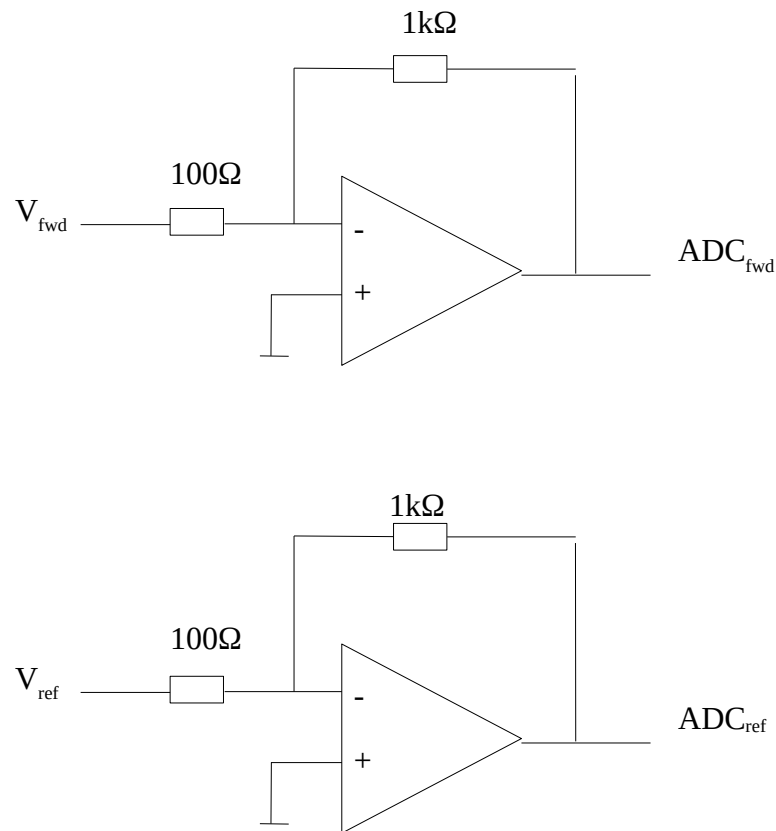
3.7.1-Composant AOP faible bruit

Le choix s'est porté sur l'AOP LT1818, présentant les spécifications suivantes :

- alimentation asymétrique +5V
- $6nV/\sqrt{Hz}$ de niveau de bruit à l'entrée
- consommation = 9mA



3.7.2-Schéma de principe



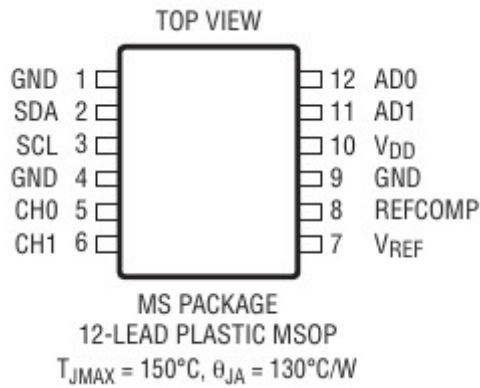
| Pin | Fonction | Connection |
|--------|----------------------|--------------------------------|
| OUT(1) | sortie | Voir schéma de principe |
| V-(2) | Alimentation - | masse |
| +IN(3) | Entrée non inverseur | Voir schéma de principe |
| -IN(4) | Entrée inverseur | Voir schéma de principe |
| V+(5) | Alimentation + | A découpler avec 100nF et 10μF |

3.8-ADC

3.8.1-Composant

L'ADC est le LTC2305, car il offre les spécifications suivantes :

- résolution : 12 bits
- temps de conversion : 1,3μs
- bus I2C
- 2 canaux analogiques

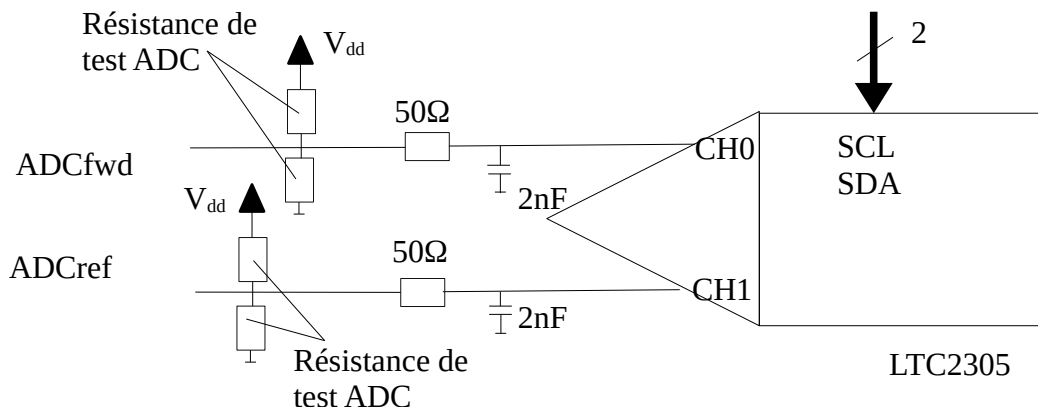


3.8.2-Schéma de principe

La période d'échantillonnage n'a pas de contraintes forte pour le « SWR Power Meter F8KGL » car les puissances crêtes varient peu à l'échelle du temps du PIC (4MHz). Le logiciel s'attachera à faire du polling sur les valeurs retournées par les ADC, aussi vite que possible.

Les valeurs d'ADC seront récupérées sur un bus I2C (SDA,SCL)

1 pont de résistance sera prévu sur le prototype, à des fins de mise au point et debug.



| Pin | Fonction | Connection |
|------------|----------------------------|---------------------------------|
| GND(1) | Alimentation - | masse |
| SDA(2) | Extrémité du potentiomètre | Données du bus I2C |
| SCL(3) | Curseur du potentiomètre | Horloge du bus I2C |
| GND(4) | Alimentation - | masse |
| CH0(5) | Entrée analogique | Voir schéma de principe |
| CH1(6) | Entrée analogique | Voir schéma de principe |
| VREF(7) | Tension de référence 2,5V | Mettre 2,2μF à la masse |
| REFCOMP(8) | Sortie buffer Vref | Mettre 100nF et 10μF à la masse |

| | | |
|---------|----------------|--------------------------------|
| GND(9) | Alimentation - | masse |
| VDD(10) | Alimentation + | A découpler avec 100nF et 10µF |
| AD1(11) | Adresse device | On imposera AD1=GND. |
| AD0(12) | Adresse device | On imposera AD0=GND. |

Pour les tests sur la version de prototype (V0.8), un pont de résistance devra être inséré en entrée de l'ADC (type diviseur de tension). L'une des 2 résistances pourra être montée en lieu et place du condensateur de filtrage. Ce pont de résistance devra être supprimé sur les versions de production (V>=1.0).

3.9-MCU

Le MCU devra être un microcontrôleur PIC, pour sa simplicité d'utilisation, sa faible consommation en énergie, sa fiabilité, et sa robustesse, et répondant aux besoins de la fonctionnalité du « calculateur ». De plus, la simplicité (apparente en première lecture) du programme à développer pour ce dispositif, appelle tout naturellement un composant simple et efficace.

3.9.1-Composant

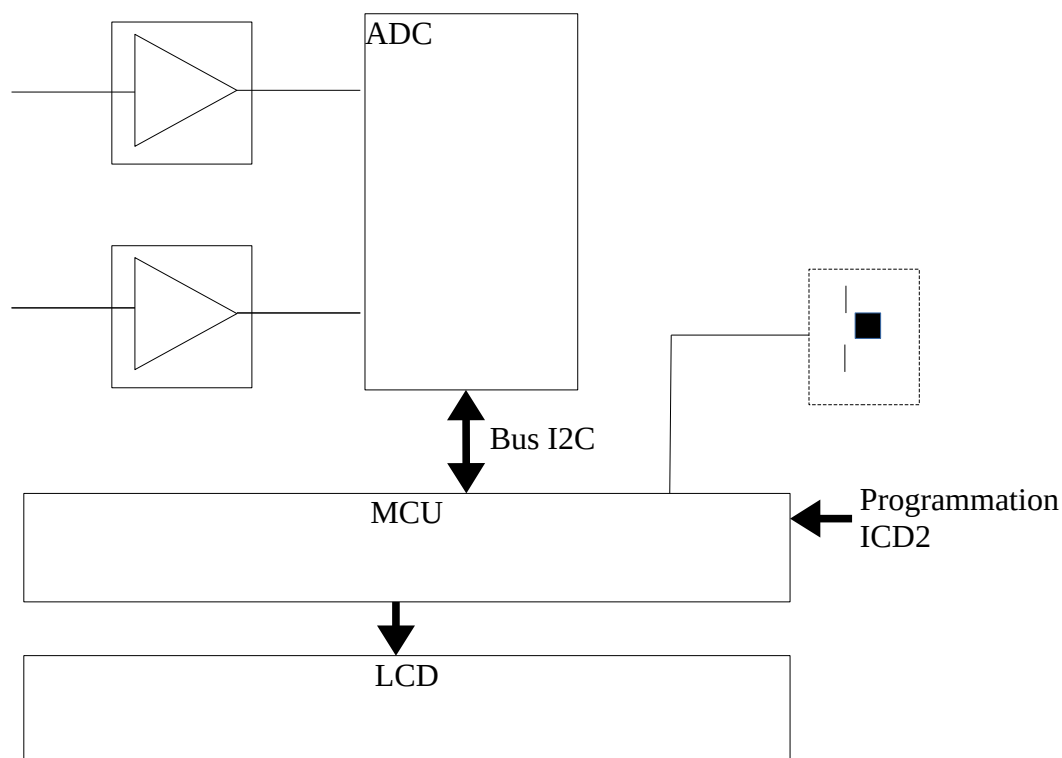
| | min | typ | max | Unité |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Tension d'alimentation | 4,5 | 5 | 5,5 | V |
| Intensité | | | 2 | mA |
| Horloge | | 4 | | MHz |
| Taille mémoire | | | | |
| Programme | | | 8 | ko |
| Entrées/Sortie | | | | |
| Nombre d'I/O ⁽¹⁾ | 10 | | | |

⁽¹⁾Nombre d'I/O :LCD (6), sélectionneur de bande(1), bus I2C (1+1), bouton « calibration » (1)

Le MCU est un microcontrôleur PIC 18F1320. Son choix a été guidé par les principales caractéristiques suivantes :

| | |
|---------------------|---|
| Taille de la flash | 8K (@0x0) |
| Taille de l'EEPROM | 256 octets (@0xf00000) |
| Taille de la RAM | 256 octets (@0x80) – seuls 127 octets sont exploités |
| ADC | 10 bits |
| Nb de canaux ADC | 7 |
| Oscillateur interne | 31 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz |
| Alimentation | Comprise entre 4,2V et 5,5V |
| GPIO | 2x8 GPIO disponibles (multiplexés avec les entrées analogiques) |

3.9.2-Schéma de principe

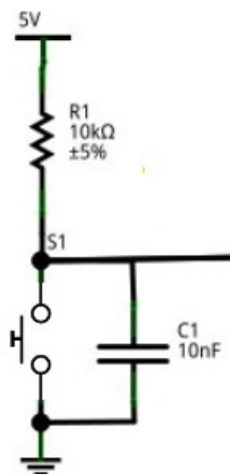


Le bus I2C est un bus informatique qui permet la communication entre un microcontrôleur et ses périphériques. Dans le cas du « SWR POWER METER F8KGL », la norme I2C a été choisie car c'est un bus série synchrone bidirectionnel et half-duplex.

| Pin | Fonction | Connection |
|---------------|----------------------------------|---|
| MCLR/VPP/RA5 | Bus de programmation | Non connecté |
| OSC1/CLK1/RA7 | | Non connecté |
| OSC0/CLK0/RA6 | | Non connecté |
| RA0 | | Non connecté |
| RA1 | | Non connecté |
| RA2 | Bus I2C | Horloge du bus I2C (SCL). Placer une pullup de 10kΩ |
| RA3 | Bus I2C | Données du bus I2C (SDA). Placer une pullup de 10kΩ |
| RA4 | Changement de bande de fréquence | Bouton poussoir |
| RA5 | | Non connecté |

| | | |
|-----|-----------------------------|--------------------------------------|
| RA6 | | Non connecté |
| RA7 | | Non connecté |
| RB0 | LCD | RS |
| RB1 | LCD | E |
| RB2 | | Ne pas utiliser |
| RB3 | | Ne pas utiliser |
| RB4 | LCD | D4 |
| RB5 | LCD | D5 |
| RB6 | LCD Bus de programmation | D6 PGC |
| RB7 | LCD Bus de programmation | D7 PGD |
| VSS | Alimentation - | masse |
| VDD | Alimentation + | A découpler avec 100nF et 10 μ F |

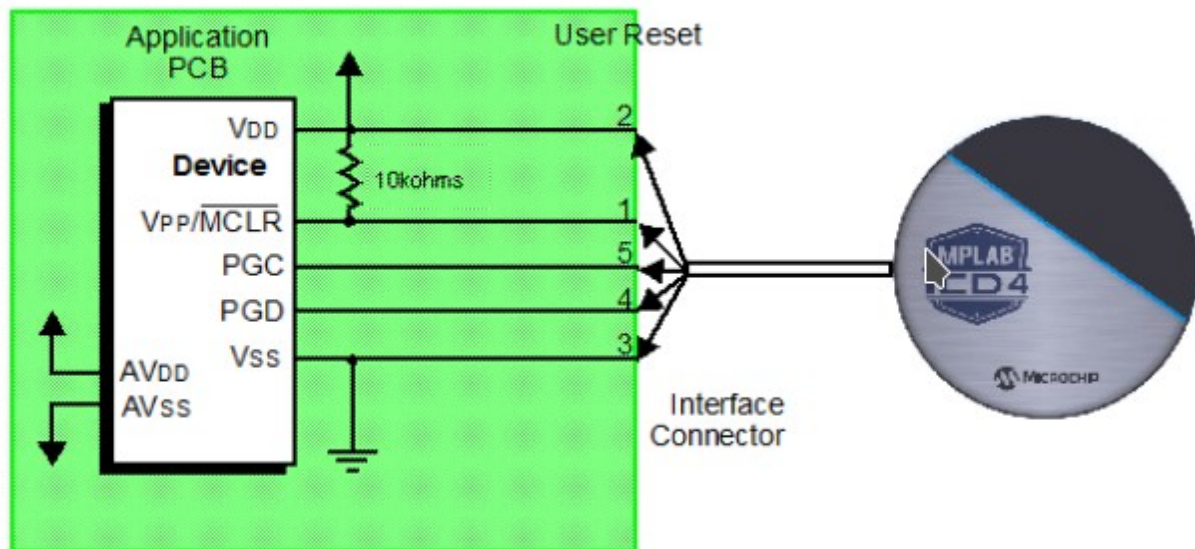
Le bouton bande doit être déporté en façade. Un filtre anti-rebond et une résistance de tirage au +Vdd doit également être câblé au schéma :



3.9.3-Programmateurs

Le programmeur de PIC choisi est ICD4 (pour des raisons pratiques).

L'interface de connexion présentée ci-dessous correspond au brochage d'une fiche RJ11 standard.



3.10-LCD

A des fins de facilité d'approvisionnement, et pour des raisons de coût, le LCD est choisi parmi les standards industriels les plus courants.

2 versions de LCD devront être implémentées :

- LCD 2 lignes – 16 caractères – contrôleur type Hitachi HD44780
- LCD 4 lignes – 16 caractères – à implémenter en V1.0

3.10.1-LCD 2 lignes – 16 caractères – contrôleur Hitachi HD44780

(Source Wikipedia)

Le LCD utilisé dispose d'un contrôleur HD44780. C'est un contrôleur standard permettant de piloter un dispositif d'affichage par cristaux liquides.

Un module HD44780 comporte 16 bornes (dont les 2 dernières sont optionnelles si l'écran piloté ne dispose pas d'un rétroéclairage).

En « mode 4 bits », on n'utilise que les broches D4 à D7 (les broches D0 à D3 doivent être connectées à la masse).

L'octet de données est envoyé (ou lu) en 2 fois :

- d'abord les 4 bits de poids fort, par une première validation sur la broche E.
- puis les 4 bits de poids faible, par une seconde validation sur la broche E

| Borne | Symbole | Type | Fonction |
|-------|------------|---------------|--|
| 1 | Vss ou V0 | Alim | Masse 0V |
| 2 | Vcc ou Vdd | Alim | Alimentation générale 5V |
| 3 | Vee | Alim | Alimentation du panneau LCD (Contraste des caractères : Vee = 0 → Caractères invisibles, Vee = Vcc → Contraste maximum) |
| 4 | RS | Entrée | RS = 1 → Sélection du registre de données RS = 0 et R/W = 0 → Sélection du registre d'instruction RS = 0 et R/W = 1 → Sélection du drapeau BUSY et du compteur d'adresse |
| 5 | R/W | Entrée | R/W = 0 → Mode écriture R/W = 1 → Mode lecture |
| 6 | E | Entrée | Entrée de validation Les entrées RS et R/W sont lues sur le front montant, et le bus de données est lu sur le front descendant. |
| 7 | D0 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°0 (LSB) |
| 8 | D1 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°1 |
| 9 | D2 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°2 |
| 10 | D3 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°3 |
| 11 | D4 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°4 |
| 12 | D5 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°5 |
| 13 | D6 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°6 |
| 14 | D7 | Entrée/Sortie | Bus de données, bit n°7 (MSB) |
| 15 | A | Alim | Anode du système de rétro-éclairage (à alimenter en 5V à travers une résistance de 50 à 100Ω pour limiter le courant à 100mA) |
| 16 | K | Alim | Cathode du système de rétro-éclairage (masse) |

3.10.2-LCD 4 lignes – 16 caractères

Ce sujet fera l'objet d'une spécification en V1.0

3.11 – Câbles

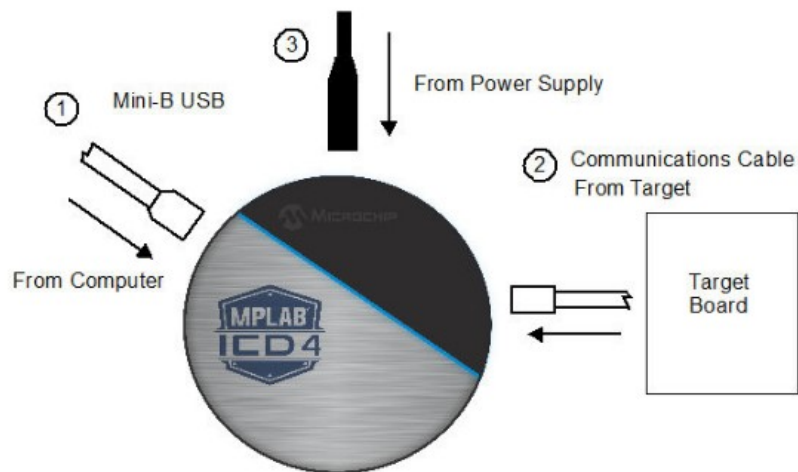
3.11.1 – Câble LCD – PCB

Tbd

3.11.2 – Câble alimentation

Tbd
pile et alim

3.11.3 – Câble programmeur



Pour la programmation, le SWR POWER METER sera alimenté par le programmeur ICD4.
Le câble de programmation utilisé sera celui proposé par Microchip dans le programmeur ICD4.

3.11.4 – Câble interrupteur et inverseur

Tbd

3.12-Régulateur d'alimentation

Le format de pile le plus courant, et le plus adapté a priori au SWR POWER METER est un pack pile LR6.

| Format | Fabricant | Dimension | Tension | Capacité (mAh) | type |
|---------|-----------|-----------|---------|----------------|----------|
| LR6(AA) | Duracell | 50mm x | 1,5V | 2700 | alcaline |

| | | | | | |
|--|--|--------|--|--|--|
| | | 14,2mm | | | |
|--|--|--------|--|--|--|

En toute rigueur, la relation entre capacité de la pile, et temps de décharge en fonction de la charge, n'est pas linéaire. (www.hackerschicken.eu/www/electric/piles.pdf)

D'après les données trouvées sur <http://data.energizer.com/>, on peut estimer que pour un fonctionnement de 24H (§3.1.1), le SWR POWER METER ne doit pas consommer plus de 100mA.

A des fins de facilité d'approvisionnement, et pour limiter les coûts, le régulateur d'alimentation devra fournir une tension de 5V.

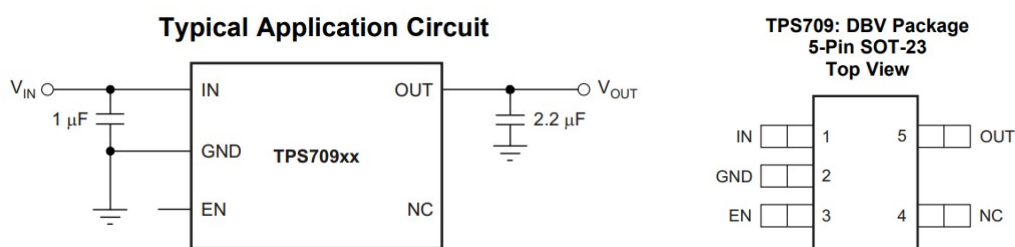
| | min | typ | max | unité |
|---------------------------------------|--|------|-----|-------|
| Spécifications d'entrée | | | | |
| Tension d'entrée alimentation externe | 12 | 13,8 | 15 | V |
| Tension d'entrée pack pile | 4,5 | 5 | 5,5 | V |
| Intensité d'entrée ⁽¹⁾ | | | 100 | mA |
| Spécifications de sorties | | | | |
| Tension de sortie | 4,5 | | 5,5 | V |
| Intensité de sortie ⁽³⁾ | | | 100 | mA |
| Pack pile | 4 piles 1,5V LR6 (capacité min = 2500mAh) | | | |
| Priorité alimentation | Alimentation externe 13,8V prioritaire sur le pack pile ⁽²⁾ | | | |

⁽¹⁾Intensité maximum délivrable par l'alimentation ou le pack pile. Valeur justifiée par le §3.2.1 pour obtenir une autonomie de 24H (capacité du pack pile de 2500mAh), et reportée dans le §3.1.1

⁽²⁾Dans le cas où l'interrupteur est placé sur la position ON, et que l'alimentation externe est également branchée (afin de ne pas consommer inutilement sur le pack pile)

⁽³⁾Intensité maximum délivrable par le régulateur d'alimentation. Il convient dès lors de préciser que la consommation totale maximum du SWR POWER METER, hors régulation, ne devra pas dépasser 100mA.

Le régulateur choisi est le TPS70950DBVT :



4-SPECIFICATIONS LOGICIELLES

4.1-Généralités

Le logiciel est développé sous Linux (Debian 10).

4.1.1-Firmware

2 firmwares seront générés :

- Firmware de simulation sous GPSIM : swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.GPSIM.hex
- Firmware de test : « x_watt_meter_f8kgl-Vn.m.TEST.hex »

Le firmware de « test » est un firmware pouvant fonctionner uniquement sur un « xWATT METER F8KGL ». Les versions matériel en kit doivent également être couvertes.

Son utilisation doit permettre :

- Valider l'architecture HW et SW choisies à l'aide d'une campagne de test sur le prototype. Cette campagne de test est appelée « test de validation »
- Valider la fabrication et le montage d'un « SWR POWER METER F8KGL » et « xWATT METER F8KGL » à l'aide d'une campagne de test sur le prototype. Cette campagne de test est appelée « test de montage ».

4.1.2-Tests

Les campagnes de tests sont décrites de manière détaillées dans SWR_POWER_METER_Tests.pdf

4.1.2.1-Tests de validation

La campagne de tests de validation a pour but de définir un cahier de recette pour tous les firmwares (test, calibration, opérationnel)

Elle sera fondées sur les outils de tests offerts par gpsim.

| Fonctionnalités à tester | Détails | FW |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Génération, simulation | Compilation, chargement, | Tests, calibration, opérationnel |
| LCD | Version affichée | Tests, calibration, opérationnel |
| ADC | | |
| Calcul de puissance | | |
| Calcul de tension | | |
| Log | | |
| tbd | | |

4.1.2.2-Tests de montage

Les tests de montage ont pour but de valider la solution globale retenue pour le SWR POWER METER. Sachant que les tests de validation ont permis de valider les fonctionnalités développées dans le firmware de test, cette campagne de test doit permettre :

- valider (ou corriger) les éventuelles erreurs de schémas
- valider (ou corriger les éventuelles erreurs de montage
- valider (ou corriger) les éventuels bugs dans le firmware de test.
- valider (ou corriger) les fonctionnalités à développer dans le firmware de calibration et opérationnel

La campagne de test de montage a vocation à être effectuée que sur la V0.8
les corrections éventuellement nécessaires seront apportées sur les versions > V1.0

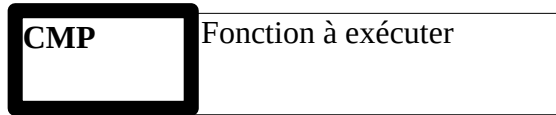
| | |
|---------------------|--|
| Tests | |
| Montage, soudure | |
| Mise sous tension | |
| Flashage | |
| Démarrage | |
| Tests LCD | Firmware de test |
| Tests ADC | Firmware de test |
| Mesure puissance | Firmware de test |
| Calibration | Firmware de test |
| Mesure de puissance | Firmware de test comparaison avec une mesure de référence |

4.1.3-Conventions de nommage

La convention de nommage dans le code source respectera la norme suivante :

| type | Convention de nommage | Explication |
|----------|---|---|
| Fonction | f_<nom_du_composant_adressé>_<fonction> | Commence par « f_ » <nom_du_dispositif_adressé> correspond au composant concerné par la fonction <fonction> correspond à un résumé de la fonctionnalité développé dans cette fonction |
| Variable | v_<nom_du_composant_adressé>_<fonction> | Commence par « v_ » <nom_du_composant_adressé> correspond au composant concerné par la variable <fonction> correspond à un résumé de la fonctionnalité développé dans cette variable |

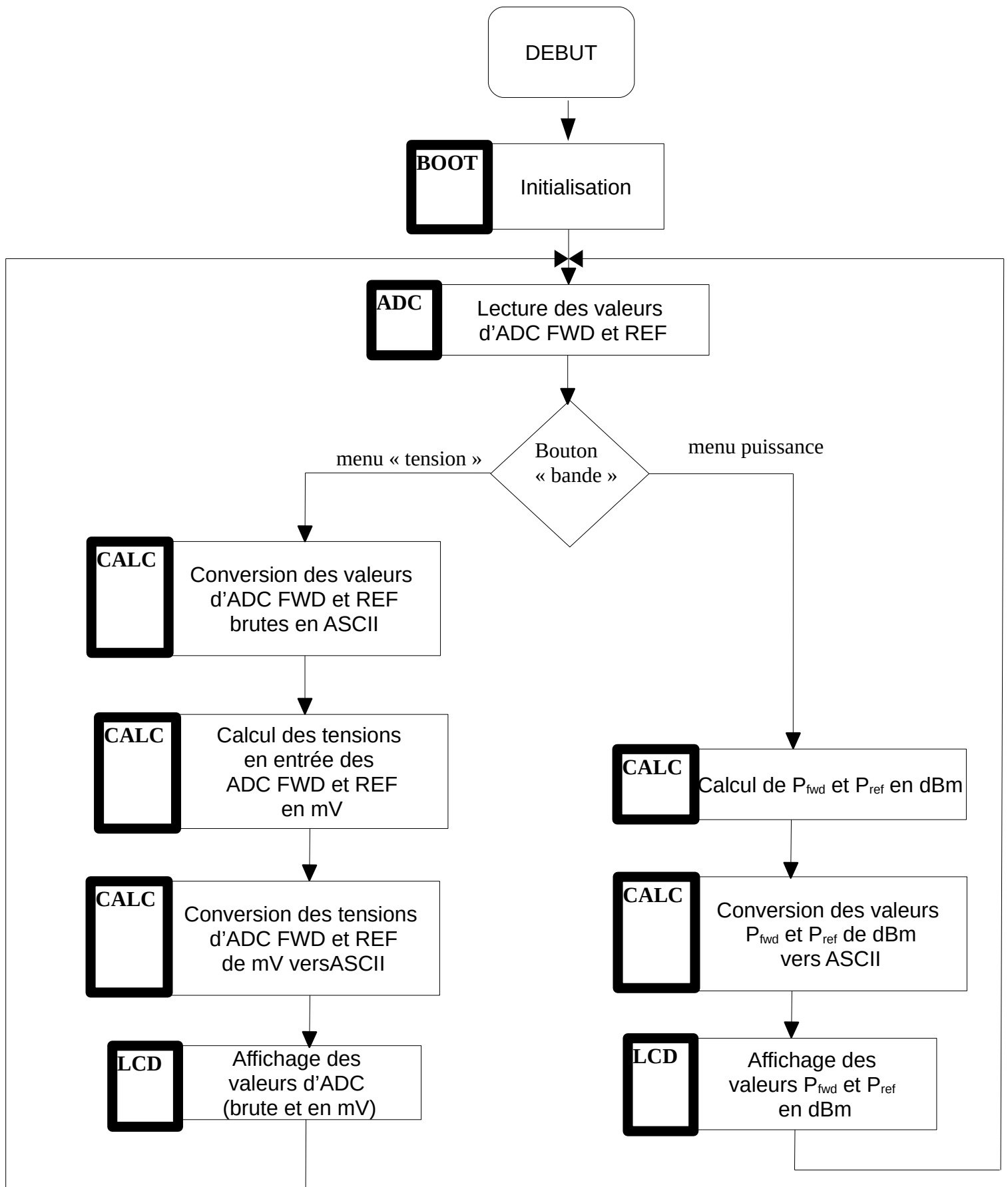
Dans les spécifications logicielles qui suivent, le lecteur est invité à adopter la convention suivante :



« CMP » représente le composant concerné la fonction. Il désigne un bloc du schéma bloc général du §3.4

« Fonction à exécuter » représente la fonctionnalité à exécuter.

4.2- Synoptique



4.3-Spécifications des composants logiciels

| Composant | Nom | Fonction |
|-------------|----------------|---|
| BOOT | Initialisation | Entrée : aucun |
| | | Sorties :aucun |
| | | Traitements : |
| | | <pre> graph LR A[Initialisation PIC et LCD] --> B[LCD] B --> C[Affichage du message de boot] C --> D[MISC] D --> E[Temporisation 3s] E --> F[LOG] F --> G[Trace la version en cours d'exécution, les registres PIC] G --> H[BOOT] H --> I[Initialisation des composants logiciels] I --> J[BOOT] J --> K[Vérification de calibration] K --> L[] </pre> <p>Contraintes :</p> <p>Dans le firmware de test :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Par défaut, on rentre dans le menu «tension» après la phase d'initialisation -la trace de LOG au démarrage contiendra également la valeur d'un timer pour calibration |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|
| BOOT | Initialisation des composants logiciels | Entrées : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : <div><div>I2C</div><div>Power on reset</div><div></div></div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Contraintes : I2C : Power on Reset → SDA=SCL = 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LCD | Affichage du message de boot | Entrée : <ul style="list-style-type: none">nb de lignes du LCDversion Vn.m correspondant à la version du logiciel chargée dans la mémoire du microcontrôleur (ou MCU). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : LCD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : <ul style="list-style-type: none">Pour le SWR POWER METER <div><table><tr><td>S</td><td>W</td><td>R</td><td>-</td><td>P</td><td>O</td><td>W</td><td>E</td><td>R</td><td></td><td>m</td><td>e</td><td>t</td><td>e</td><td>r</td><td></td></tr><tr><td>F</td><td>8</td><td>K</td><td>G</td><td>L</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>V</td><td>n</td><td>.</td><td>m</td></tr></table> <table><tr><td>S</td><td>W</td><td>R</td><td>-</td><td>P</td><td>O</td><td>W</td><td>E</td><td>R</td><td></td><td>m</td><td>e</td><td>t</td><td>e</td><td>r</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>F</td><td>8</td><td>K</td><td>G</td><td>L</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>V</td><td>n</td><td>.</td><td>m</td></tr></table></div> <div>LCD 4 lignes-16 caractères</div> | S | W | R | - | P | O | W | E | R | | m | e | t | e | r | | F | 8 | K | G | L | | | | | | | | V | n | . | m | S | W | R | - | P | O | W | E | R | | m | e | t | e | r | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | F | 8 | K | G | L | | | | | | | | V | n | . | m |
| | | S | W | R | - | P | O | W | E | R | | m | e | t | e | r | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | 8 | K | G | L | | | | | | | | V | n | . | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | W | R | - | P | O | W | E | R | | m | e | t | e | r | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | 8 | K | G | L | | | | | | | | V | n | . | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|--|--|--|
| | | <div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></</div></div> |
|--|--|--|

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---|-----------------------|-----------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-----|--|-------------------|------|-------------------|------|
| | | <table><tr><td>S/D</td><td>O/S</td><td>0</td><td>0</td><td>UNI</td><td>SLP</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> <div>2. Envoyer cette trame (Adresse, R/W, data) sur le bus I2C</div> <div>3. S'il y a eu un NACK : tbd</div> <div>4. Préparer une trame I2C</div> <div>1. Adresse = 0x08 – R/W=1</div> <div>5. Envoyer cette trame (Adresse, R/W) sur le bus I2C</div> <div>6. S'il y a eu un NACK : tbd</div> <div>7. Lire 2 octets sur le bus I2C</div> <div>8. Décaler de 4 bits à droite le résultat de la lecture</div> <div>9. Compensation de l'offset de l'AOP (2048) :</div> <div>1. ADC = ADC v 0x800</div> <div>2. ADC = complément à 2 de ADC</div> | S/D | O/S | 0 | 0 | UNI | SLP | 0 | 0 | | | | | | |
| S/D | O/S | 0 | 0 | UNI | SLP | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| | | Contraintes : Le temps de conversion est de 1,3µs typ (1,6µs max) | | | | | | | | | | | | | | |
| CALC | Conversion en ASCII | Entrée : 1 quartet | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : 1 octet | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table><tr><td>Quartet à convertir</td><td>Valeur codée en ASCII</td></tr><tr><td>(0)₁₆</td><td>0x30</td></tr><tr><td>(1)₁₆</td><td>0x31</td></tr><tr><td>(2)₁₆</td><td>0x32</td></tr><tr><td>...</td><td></td></tr><tr><td>(E)₁₆</td><td>0x45</td></tr><tr><td>(F)₁₆</td><td>0x46</td></tr></table> | Quartet à convertir | Valeur codée en ASCII | (0) ₁₆ | 0x30 | (1) ₁₆ | 0x31 | (2) ₁₆ | 0x32 | ... | | (E) ₁₆ | 0x45 | (F) ₁₆ | 0x46 |
| | | Quartet à convertir | Valeur codée en ASCII | | | | | | | | | | | | | |
| | | (0) ₁₆ | 0x30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | (1) ₁₆ | 0x31 | | | | | | | | | | | | | |
| | | (2) ₁₆ | 0x32 | | | | | | | | | | | | | |
| | | ... | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (E) ₁₆ | 0x45 | | | | | | | | | | | | | |
| (F) ₁₆ | 0x46 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contraintes : | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aucun paramètre stocké en RAM | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALC | Calcul des tensions | Entrée : valeurs d'ADC de la voie FWD et de la voie REF sur 12 bits | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|---------------------|---|---------------------|---|-----|-----|---------------------|---|
| | en entrée des ADC FWD et REF en mV | Sorties : valeurs converties en mV Traitements : Pour chaque port (FWD et REF) : $V = \frac{(ADC) \times V_{FS}}{2^N}$ 1. Multiplication 16 bits x 16 bits de la valeur d'ADC avec la valeur (5000) ₁₀ 2. Division par 4096 (décalage à droite de 12 bits) 3. Conversion 12 bits en BCD Contraintes : tbd (temps d'exécution) | | | | | | | | |
| CALC | Multiplication 16 bits x 16 bits | Entrées : (A) et (B) codées sur 16 bits Sorties : (A) x (B) Traitement : FXM1616U de l'AN617 de chez Microchip Contraintes : tbd (temps d'exécution) | | | | | | | | |
| CALC | Conversion 12 bits en BCD | Entrée : valeur à convertir sur 12 bits (2octets) Sorties : valeur convertie en BCD (2 octets) Traitements : algorithme « double dabble » Pour rappel, le code BCD permet de représenter un chiffre décimal (de 0 à 9) par un ensemble de 4 bits <table><tr><td>(0000)₂</td><td>0</td></tr><tr><td>(0001)₂</td><td>1</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>(1001)₂</td><td>9</td></tr></table> https://fr.wikipedia.org/wiki/Double_dabble https://stackoverflow.com/questions/28670539/why-is-the-double-dabble-algorithm-working Contraintes : | (0000) ₂ | 0 | (0001) ₂ | 1 | ... | ... | (1001) ₂ | 9 |
| (0000) ₂ | 0 | | | | | | | | | |
| (0001) ₂ | 1 | | | | | | | | | |
| ... | ... | | | | | | | | | |
| (1001) ₂ | 9 | | | | | | | | | |
| LCD | Affichage des valeurs | Entrée : valeurs d'ADC de la voie FWD et de la voie REF brute et en mV | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | d'ADC brute et en mV | <div>Sorties : LCD</div> <div>Traitements :<table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td></td><td>u</td><td>u</td><td>u</td><td>h</td><td>-</td><td>v</td><td>v</td><td>v</td><td>v</td><td>m</td><td>V</td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td><td>-</td><td>y</td><td>y</td><td>y</td><td>y</td><td>m</td><td>V</td></tr></table> <table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td></td><td>u</td><td>u</td><td>u</td><td>h</td><td>-</td><td>v</td><td>v</td><td>v</td><td>v</td><td>m</td><td>V</td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td><td>-</td><td>y</td><td>y</td><td>y</td><td>y</td><td>m</td><td>V</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table><div>LCD 4 lignes-16 caractères</div><p>« FWD » : chaîne de caractère fixe, indiquant que la ligne 1 du LCD est dédié au port FWD uuu : correspond à la valeur de l'ADC du port FWD en hexadécimal vvvv : correspond à la tension calculée à partir de la valeur de l'ADC sur le port FWD en mV « REF » : chaîne de caractère fixe, indiquant que la ligne 1 du LCD est dédié au port REF xxx : correspond à la valeur de l'ADC du port REF en hexadécimal yyyy : correspond à la tension calculée à partir de la valeur de l'ADC par le PIC sur le port REF en mV « h » : caractère symbolisant l'unité de la mesure de l'ADC (hexadécimal) « mV » : chaîne de caractère indiquant l'unité de la mesure de la tension (mV)</p><div>Contraintes :</div></div> | F | W | D | | | u | u | u | h | - | v | v | v | v | m | V | R | E | F | | | x | x | x | h | - | y | y | y | y | m | V | F | W | D | | | u | u | u | h | - | v | v | v | v | m | V | R | E | F | | | x | x | x | h | - | y | y | y | y | m | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | W | D | | | u | u | u | h | - | v | v | v | v | m | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R | E | F | | | x | x | x | h | - | y | y | y | y | m | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | W | D | | | u | u | u | h | - | v | v | v | v | m | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R | E | F | | | x | x | x | h | - | y | y | y | y | m | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALC | Calcul de P _{fwd} et P _{ref} en dBm | <div>Entrée : ADC_{fwd} et ADC_{ref}</div> <div>Sorties : P_{fwd} et P_{ref} en dBm en valeur positive</div> <div>Traitements :<p>Pour chaque port FWD et REF : $P(dBm)=K_{conv}(dBm)-10\times\log(ADC)$</p><ol style="list-style-type: none">Si (ADC) = 0, alors P(dBm) = 0x4095. Sortir de la fonction.Recherche de la valeur de K_{conv}(dBm) en EEPROM pour chaque port (FWD et REF)Recherche de la valeur de $10\times\log(ADC)$ dans la LUTSoustraction 12 bits</div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

LCD 4 lignes-16 caractères

| | | | |
|------|---|---|-----------------------|
| | | 5. Conversion 12 bits en BCD | |
| | | Contraintes : | |
| CALC | Recherche de la valeur de $K_{conv}(dBm)$ | Entrées : port (FWD ou REF) | |
| | | Sorties : $K_{conv}(dBm)$ | |
| | | Traitements : Si port = FWD, $K_{conv}(dBm) = (\text{contenu de l'EEP Int @0x06 sur 16 bits}) \& 0xFFFF$ Si port = REF, $K_{conv}(dBm) = (\text{contenu de l'EEP Int @0x06 sur 16 bits}) \& 0xFFFF$ | |
| | | Contraintes : sans | |
| CALC | Recherche de la valeur de $10 \times \log(ADC)$ | Entrée : valeur d'ADC sur 11 bits [0;2048] | |
| | | Sortie : valeur de $10 \times \log(ADC)$ | |
| | | Traitements : recherche de $10 \times \log(ADC)$ dans une LUT, codée en Flash à une adresse fixée par le compilateur, au format $(0XYZ)_{16}$ où $10 \times \log(ADC) = (XY,Z)_{10} dBm$ | |
| | | ADC | $10 \times \log(ADC)$ |
| | | 1 | 0x0000 (00,0 dB) |
| | | 2 | 0x001E (03,0 dB) |
| | | 3 | 0x0030 (04,8dB) |
| | | 4 | 0x003C (06,0dB) |
| | | 5 | 0x0046 (07,0dB) |
| | | 6 | 0x004E (07,8dB) |
| | | ... | |
| | | 1023 | 0x012C (30,0dB) |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|--|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|
| | | 1024 | 0x012D (30,1dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1025 | 0x012D(30,1dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2046 | 0x014B (33,1dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2047 | 0x014B (33,1dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2048 | 0x014B (33,1dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Contraintes : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALC | Soustraction 12 bits | Entrées : K _{conv} (dBm) 10×log(ADC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : K _{conv} (dBm) - 10×log(ADC) sur les 12 bits de poids faible | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : Soustraction 12 bits | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Contraintes : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EEP | Contenu de l’EEP Int | Entrée : adresse sur 1 octet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : contenu de l’EEP interne sur 1 octet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Contraintes : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LCD | Affichage de P _{fwd} et P _{ref} en dBm | Entrées : P _{fwd} et P _{ref} en dBm en valeur positive | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sorties : LCD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Traitements : <div><table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>-</td><td>x</td><td>x</td><td>.</td><td>x</td><td></td><td>d</td><td>B</td><td>m</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td>-</td><td>y</td><td>y</td><td>.</td><td>y</td><td></td><td>d</td><td>B</td><td>m</td><td></td><td></td><td></td></tr></table></div> | | F | W | D | | - | x | x | . | x | | d | B | m | | | | R | E | F | | - | y | y | . | y | | d | B | m | |
| F | W | D | | - | x | x | . | x | | d | B | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R | E | F | | - | y | y | . | y | | d | B | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

LCD 2 lignes-16 caractères

LCD 2 lignes-16 caractères

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | <table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>-</td><td>x</td><td>x</td><td>.</td><td>x</td><td></td><td>d</td><td>B</td><td>m</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td>-</td><td>y</td><td>y</td><td>.</td><td>y</td><td></td><td>d</td><td>B</td><td>m</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> <p>LCD 4 lignes-16 caractères</p> <p>« FWD » : chaîne de caractère fixe, indiquant que la ligne 1 du LCD est dédié au port FWD «REF» : chaîne de caractère fixe, indiquant que la ligne 1 du LCD est dédié au port REF xx.x: correspond à la valeur de la puissance du port FWD en dBm. Si P(dBm) = 0x4095, alors x = « . » yy.y: correspond à la valeur de la puissance du port REF en dBm. Si P(dBm) = 0xFF, alors y = « . »</p> | F | W | D | | - | x | x | . | x | | d | B | m | | | | R | E | F | | - | y | y | . | y | | d | B | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | W | D | | - | x | x | . | x | | d | B | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R | E | F | | - | y | y | . | y | | d | B | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Contraintes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.4-Compléments

4.4.1-Composant ADC

Le LTC2305 possède 4 bits de commande.

| | | | | | |
|-----|-----|---|---|-----|-----|
| S/D | O/S | X | X | UNI | SLP |
|-----|-----|---|---|-----|-----|

S/D = SINGLE-ENDED/DIFFERENTIAL BIT

O/S = ODD/SIGN BIT

UNI = UNIPOLAR/BIPOLAR BIT

SLP = SLEEP MODE BIT

Dans tous les cas de figures d'utilisation du LTC2305, il faut avoir : UNI=0 et SLP=0.

4.4.1.1-Initialisation ADC

Il n'y a rien à faire pour initialiser le LTC2305.

4.4.1.2-Lecture des valeurs ADC Fwd et REF

4.4.1.2.1-Lecture ADC FWD

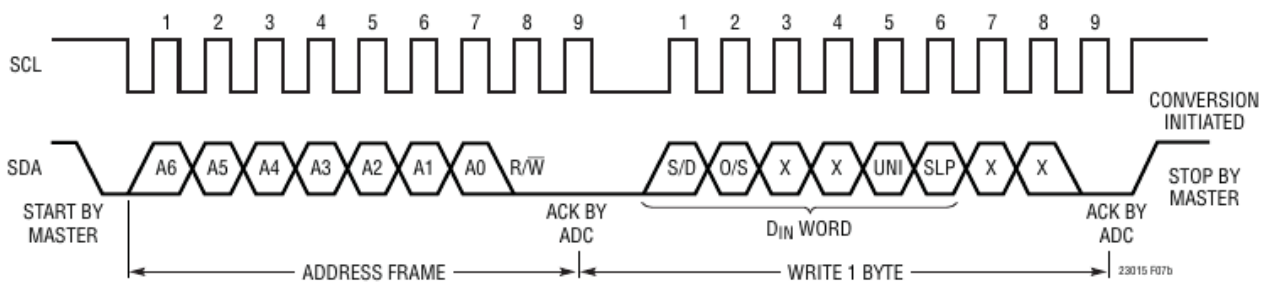
1. Trame Write

L'adresse du device est $(0001000)_2 = 0x08$

| S/D | O/S | CH0 | CH1 |
|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | + | - |
| 0 | 1 | - | + |
| 1 | 0 | + | |
| 1 | 1 | | + |

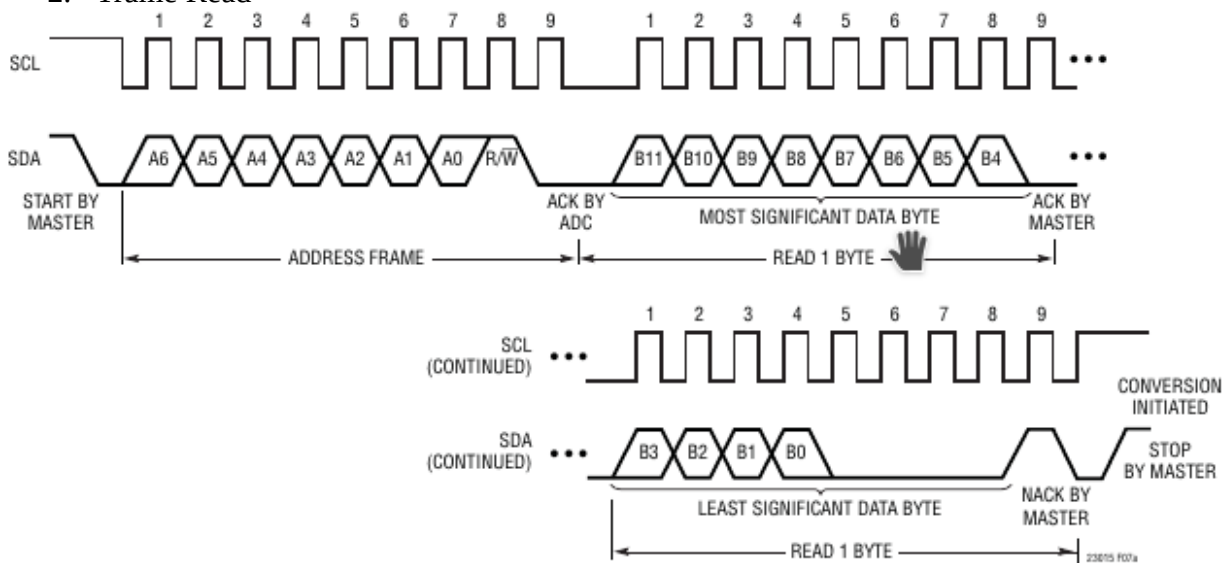
UNI=0

SLP=0



A l'issue de cette trame, la conversion est initialisée. Typiquement, elle met 1,3µs (max 1,6µs)
Pendant la conversion, le LTC2305 répond NACK au trames I2C.

2. Trame Read



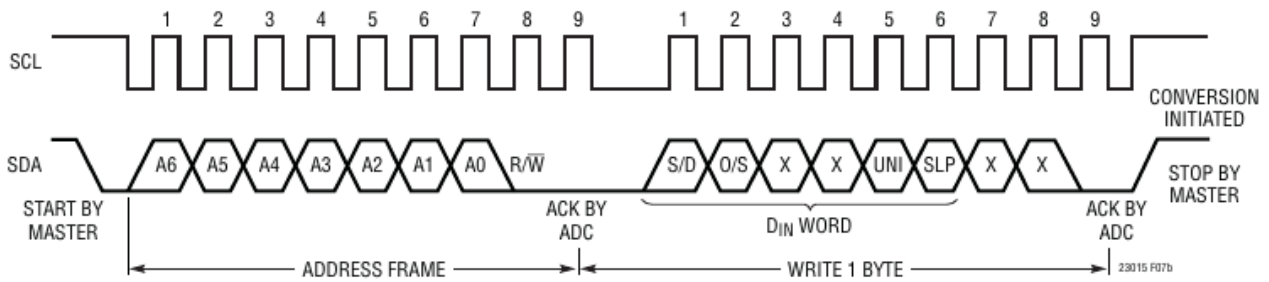
4.4.1.2.2-Lecture ADC REF

1. Trame Write

L'adresse du device est $(0001000)_2 = 0x08$

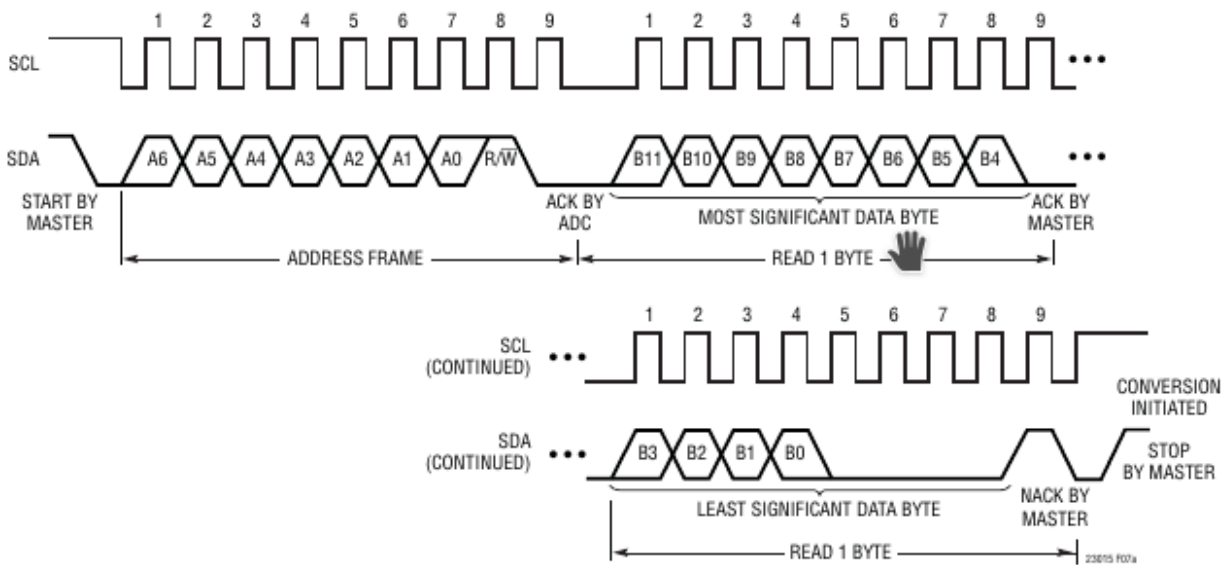
| S/D | O/S | CH0 | CH1 |
|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | + | - |
| 0 | 1 | - | + |
| 1 | 0 | + | |
| 1 | 1 | | + |

UNI=0
SLP=0



A l'issue de cette trame, la conversion est initialisée. Typiquement, elle met 1,3µs (max 1,6µs)
Pendant la conversion, le LTC2305 répond NACK au trames I2C.

2. Trame Read



4.4.2-Plan d'adressage I2C

| Composant | Adresse |
|-----------|---------|
| ADC | 0x08 |

4.4.3-Log

Le firmware de test doit être pourvu d'une fonctionnalité de trace. Cette fonctionnalité doit tracer :

- les aspects protocolaires des trames I2C échangées
- des performances de timing des algorithmes
- les registres d'erreur du PIC

Les traces sont stockées dans l'EEP du PIC dans un buffer circulaire de 240 octets. Chaque trace possède une longueur fixe de 8 octets sous la forme :

| Octet0 | Octet1 | Octet2 | Octet3 | Octet4 | Octet5 | Octet6 | Octet7 |
|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TAG | | Contenu ou valeurs à tracer | | | | | |

| TAG | Contenu | | | | | |
|--------|--|-------------------------|--------|--------|--------------|--------|
| | Octet0 | Octet1 | Octet2 | Octet3 | Octet4 | Octet5 |
| 0x0001 | « T » ou « C » ou « O » ⁽¹⁾ | Version ⁽²⁾ | | RCON | STKPTR | 0xFF |
| 0x0002 | [Calibration TIMER] | | | | | |
| 0x0004 | Nb de NACK I2C | Valeur d’ADC (2*12bits) | | | Timer SAMPLE | |
| 0x0008 | [Timer FXM1616U] | | | | | |

⁽¹⁾ « T » pour le fw de test, « C » pour le fw de calibration, « O » pour le fw opérationnel

⁽²⁾Version : version du firmware (V0.8 → « 08 » en ASCII)

Chaque trace à écrire en EEP doit faire l'objet d'une vérification d'activation à l'aide de données placées elle-même en EEP. Plusieurs TAG pourront être activés simultanément. L'opération de vérification d'activation consiste alors à comparer la configuration des TAG en EEP avec le TAG à écrire. S'il y a correspondance, la trace est alors effectivement écrite. Dans le cas contraire, la trace n'est pas écrite.

4.4.4-Plan mémoire du code

| Section | Type | Adresse de début | Taille |
|---------|---------|------------------|----------|
| code | program | 0x000000 | 0x001b72 |
| s_eep | program | 0xf00000 | 0x00000f |
| udata | data | 0x000080 | 0x000073 |

4.4.5-Plan mémoire EEP interne du PIC

| Adresse (offset) | Taille (octets) | Contenu |
|------------------|-----------------|---|
| 0x00 | 5 | Version du fw+0x00 |
| 0x05 | 1 | Offset du prochain log |
| 0x06 | 2 | TEST |
| | | K _{conv} (dBm) FWD (défaut : 0x01A4) |
| 0x08 | 2 | K _{conv} (dBm) REF (défaut : 0x01A4) |
| 0x0A | 2 | Kconv (défaut : 0x01F4) |
| 0x0C | 2 | Unité de Kconv (3 bits) |
| 0x0E | 2 | |
| 0x10 | 2 | |
| 0x12 | 2 | |
| 0x14 | 2 | |
| 0x16 | 2 | Calibration DONE (0xFFFF = oui, 0x0000 = non) |
| 0x18 | 2 | |
| 0x1A | 2 | |
| 0x1B | 1 | |
| 0x1C | 1 | |
| 0x1D | 1 | |
| 0x1E | 8 | Activation des TAG des log (MSB) |
| 0x1F | 8 | Activation des TAG des log (LSB) |
| 0x20 | 8 | Log 1 |
| 0x28 | 8 | Log 2 |
| 0x30 | 8 | Log 3 |
| 0x38 | 8 | Log 4 |

4.5-Programmateur

4.5.1-PIC

tbd

Programmer le .hex

Comment récupérer les log ?

4.6-Calibrator

4.6.1-FW de TEST

| | |
|-------------|---|
| Entrée | Valeur d'ADC (12 bits) relevée par le fw de calibration ADC_m Puissance P_{in} en W Port FWD ou REF |
| Sorties | Fichiers .hex à télécharger en EEPROM du PIC |
| Traitements | <ul style="list-style-type: none">• Calcul de $1/K_{conv}$ et $K_{conv}(dBm)$• Calcul de l'unité de K_{conv}• Arrondi à l'octet supérieur• Génération du fichier .hex |
| Contraintes | |