

SWR POWER METER F8KGL

Spécifications

V 0.8

F0EOS-F4BJH-25/02/21-Vauréal Amitié Radio

Table des matières

1-INTRODUCTION.....	4
2-SPECIFICATIONS GENERALES.....	5
2.1-Versions.....	5
2.2-Architecture matérielle.....	6
2.2.1-Ligne de mesure.....	7
2.2.2-Calculateur.....	7
2.2.3-Afficheur.....	8
3-SPECIFICATIONS MATERIELLES.....	9
3.1-Schéma bloc général.....	9
3.2-Technologie PCB.....	11
3.3-Connecteurs.....	12
3.4-Interrupteur, sélectionneur de bande, reset/validation calibration.....	12
3.5-Coupleur directif.....	12
3.5.1-Coupleur en ligne imprimée.....	12
3.5.2-Coupleur en câble coaxial semi-rigide.....	12
3.6-Détecteur HF.....	13
3.6.1-Composants.....	13
3.6.2-Schéma de principe.....	13
3.7-AOP.....	14
3.7.1-Composant.....	14
3.7.1.1-Potentiomètre digital.....	14
3.7.1.2-AOP faible bruit.....	14
3.7.2-Schéma de principe.....	15
3.7.2.1-AD5175.....	16
3.7.2.2-LT1818.....	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.....	18
3.10-LCD.....	20
3.10.1-LCD 2 lignes – 16 caractères – contrôleur Hitachi HD44780.....	20
3.10.2-LCD 4 lignes – 16 caractères.....	21
3.12-Régulateur d'alimentation.....	21
4-SPECIFICATIONS LOGICIELLES.....	23
4.1-Généralités.....	23
4.1.1-Firmware.....	23
4.1.2-Conventions de nommage.....	23
4.2- Synoptique.....	24
4.3-Spécifications des composants logiciels.....	27
4.4-Compléments.....	39
4.4.1-Composant ADC.....	39
4.4.1.1-Initialisation ADC.....	39
4.4.1.2-Lecture des valeurs ADC Fwd et REF.....	39

4.4.1.2.1-Lecture ADC FWD.....	39
4.4.1.2.2-Lecture ADC REF.....	40
4.4.2-Composant AOP.....	41
4.4.2.1-Initialisation.....	41
4.4.2.2-Fixer la valeur de R_{DAC}	42
4.4.3-Plan d'adressage I2C.....	42
4.4.4-Log.....	43
4.4.5-Plan mémoire EEPROM interne du PIC.....	44
4.6-Programmeur.....	45
4.5.1-PIC.....	45

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.

2-SPECIFICATIONS GENERALES

2.1-Versions

Phase	Versions	Fonctionnalités développées et testées
Etude	V0.n	<p>La version d'étude n'a pas vocation à être un prototype mais un circuit de test afin de valider l'architecture hw, sw, et valider de la partie théorique de l'étude.</p> <p>Les fonctionnalités de calibration et de mesure ne seront pas développées sur cette version. Aucune fonctionnalité de mesure de puissance calibrée ou de calcul de ROS ne sera donc implémentée sur cette version.</p> <p>En fonction des résultats des tests, l'architecture HW devra être revue et simplifiée pour la version prototype.</p> <p>La version d'étude sera produite en quantité très limitée (max 5).</p> <p>Les tests, et leurs résultats seront consignés dans le document d'étude.</p> <p>L'architecture HW choisie pour cette version, sera exhaustive pour répondre aux questions soulevées par l'étude théorique.</p> <p>La phase d'étude doit permettre de définir une procédure de calibration.</p> <p>A l'issue de la phase d'étude, les spécifications sw pour la calibration et la mesure pourront être éditées, et des performances théoriques pourront être également évaluées.</p>
Prototype	V1.n	<p>Les spécifications en version V1.n s'appuieront sur les résultats des tests de la phase d'étude.</p> <p>Les fonctionnalités de calibration et de mesure seront développées sur cette version.</p> <p>Les tests, et leurs résultats seront consignés dans le document de tests.</p> <p>Le prototype a vocation à passer l'ensemble de la procédure de production : tests de fabrication, calibration, tests de mesure.</p> <p>Une campagne de test et de mesure de performances sera réalisée.</p>
Production	V2.n	Version de production

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 sur le 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 d'étude pour le logiciel et le matériel :

La version V0.8 a les restrictions suivantes, et ne feront pas l'objet de corrections ou d'évolutions :

- elle ne comporte d'applicatif de calibration, ni d'applicatif opérationnel.

La version V1.0 est la version prototype. La version V2.0 est la version de production.

En tout, il faut donc prévoir 3 runs de fabrication de cartes :

1. « run d'étude » : il sera fondé sur la v0.8 du projet, en petite série (quantité = 5 max). Il passera tous les tests d'étude, et fera l'objet d'une tentative de monter un "simili-proto" pour des tests type v1.n
2. « run proto » : il sera fondé sur la v1.n du projet en petite série (quantité = 5 max). Il passera tous les tests de calibration et mesure de puissance
3. « run production » : il sera fondé sur la V2.n du projet en grande série.

2.2-Architecture matérielle

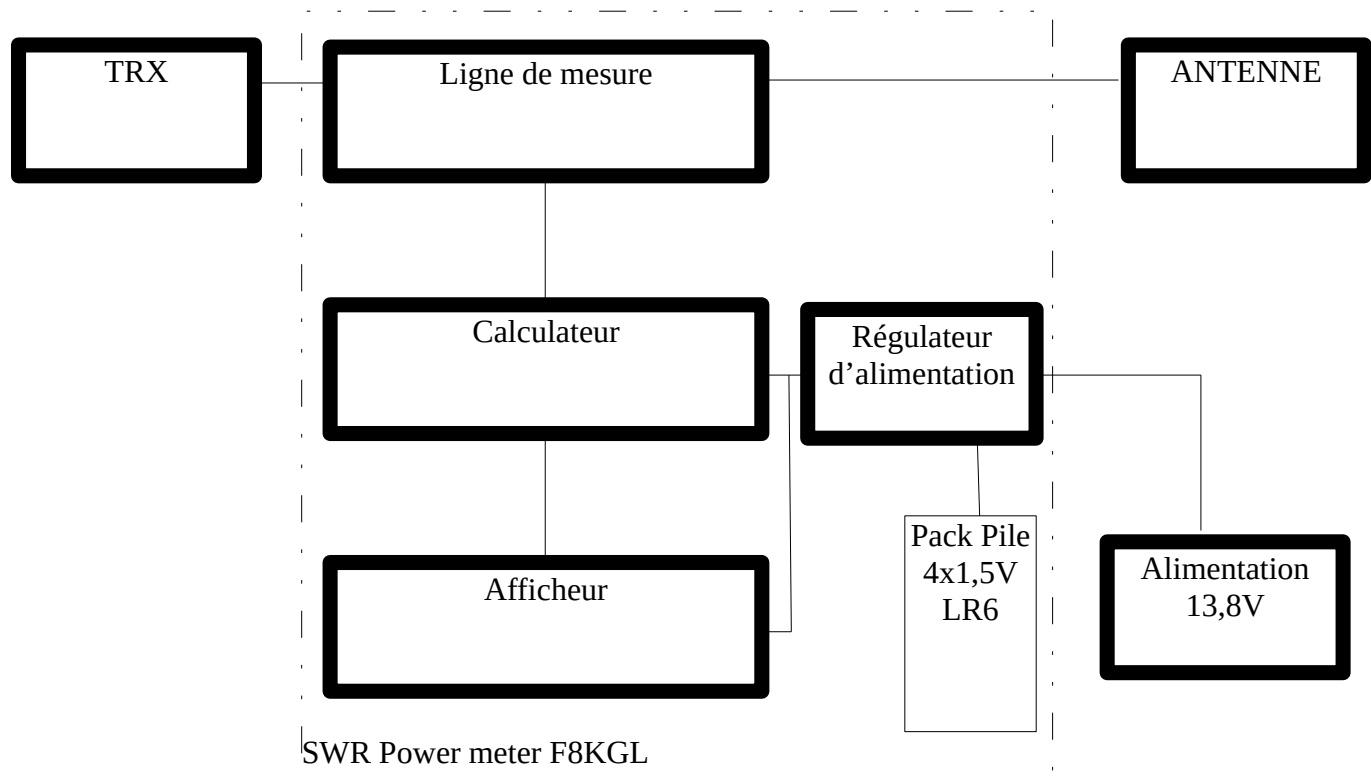


D'un point de vue fonctionnel, le « SWR Power Meter F8KGL » doit permettre :

- de mesurer la puissance transmise de l'émetteur (TRX) vers la charge (Antenne)
- de mesurer la puissance réfléchiée 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



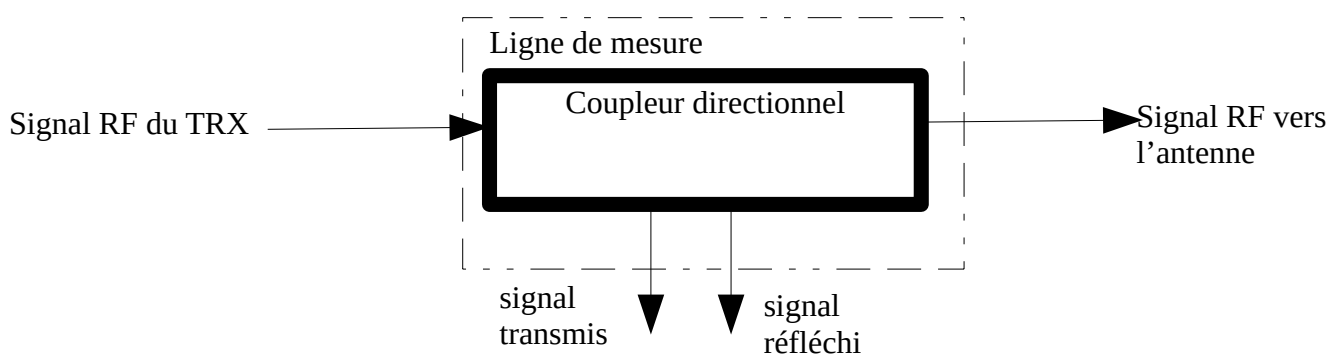
2.2.1-Ligne de mesure

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



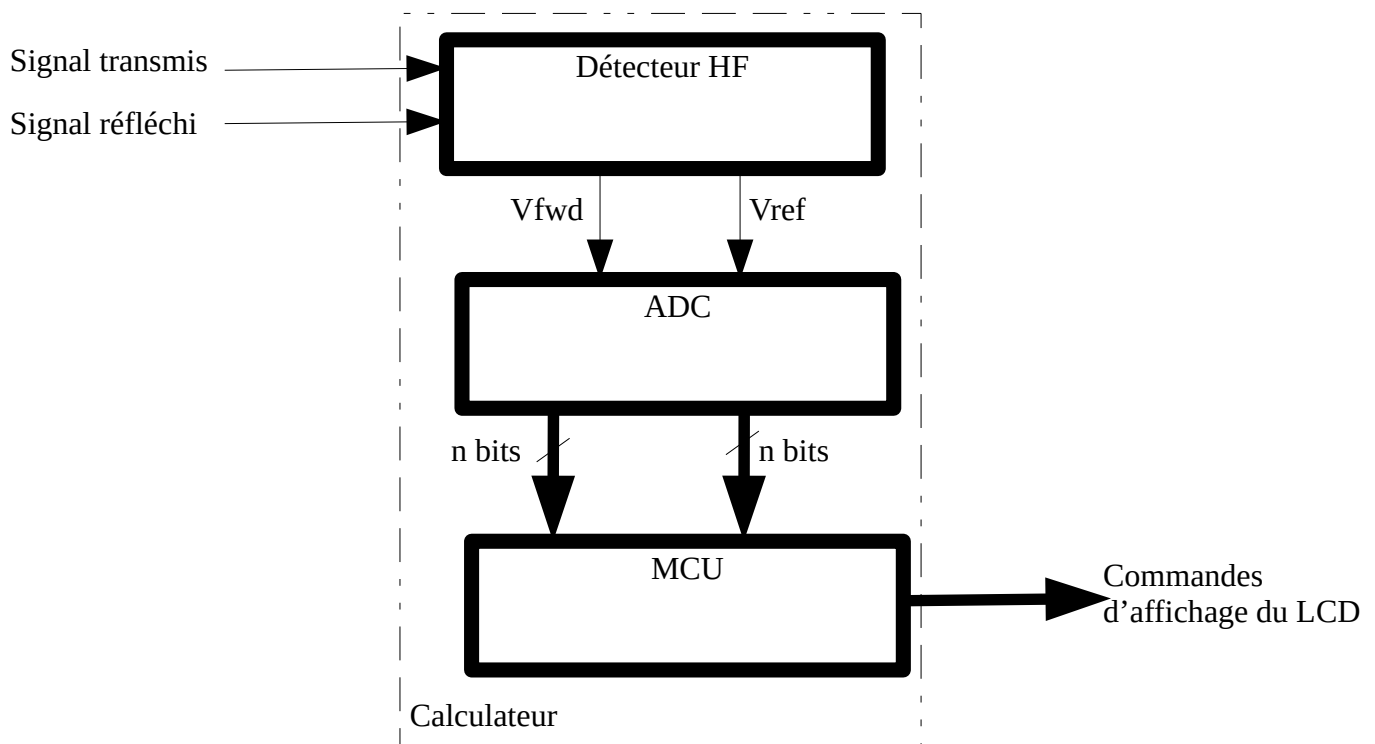
2.2.2-Calculateur

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 :

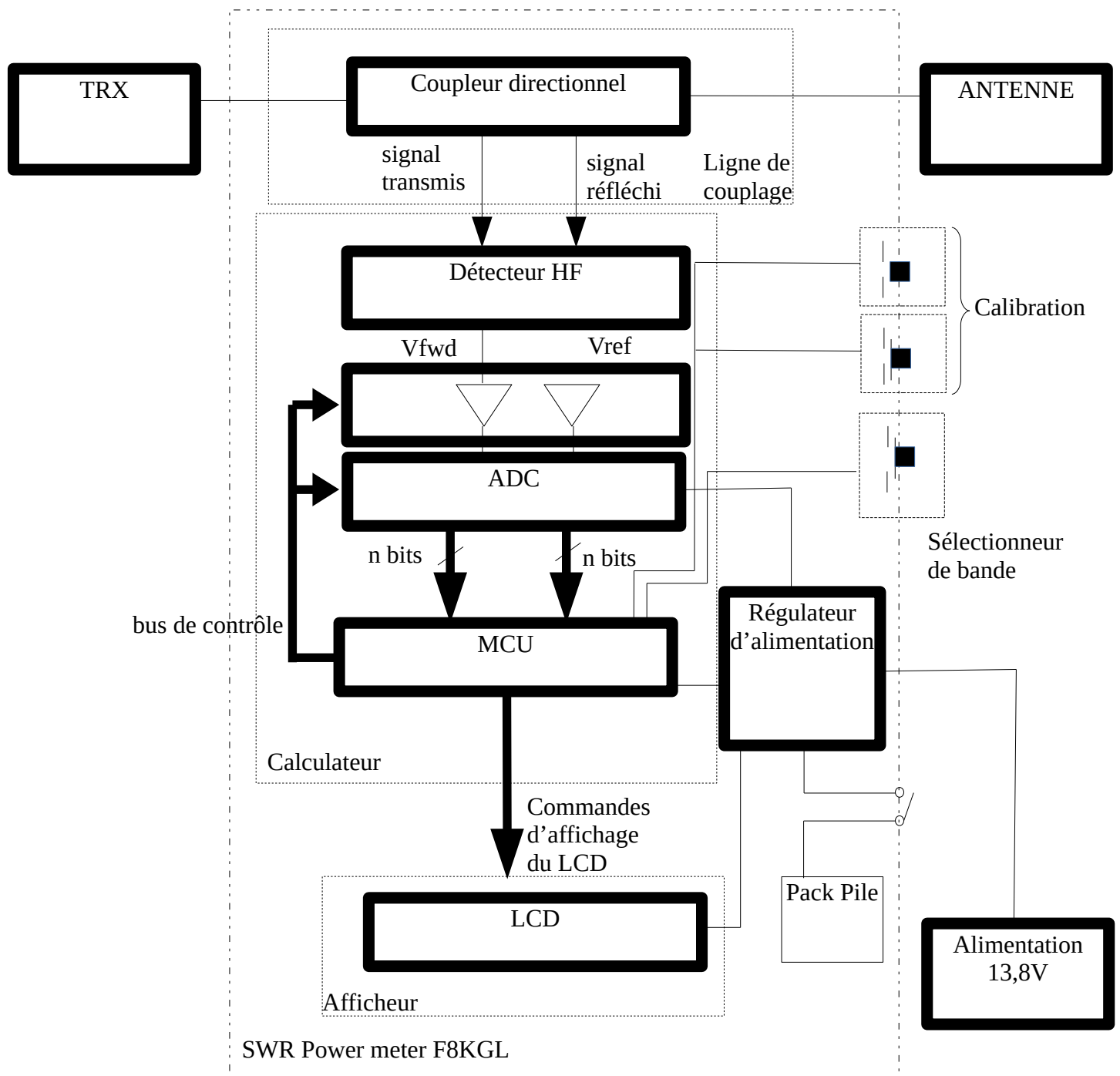
- affichage convivial pour l'OM
- affichage direct, clair et précis pour l'OM (sans difficultés, ni besoin de conversion)

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. Le gain de ce module est piloté par le MCU.
- Un module « ADC », dont la fonction est de convertir le signal en une valeur numérique sur 12 bits/
- Un module « EEP », dont la fonction est de stocker les données de calibration.
- 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.

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	$0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (dans la direction des fibres)
Capacité calorifique	$800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Densité	de 1,80 à 1,90 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$

(Source Wikipedia)

3.3-Connecteurs

LCD	HE10
Programmateur MCU	HE10
Programmateur EEP	HE10
Signal transmis et signal réfléchi	SMA à souder sur PCB
Alim 13,8V	Fiche jack
Pack pile 6V	HE10 avec détrompeur

3.4-Interrupteur, sélectionneur de bande, reset/validation calibration

Interrupteur M/A pour le pack pile	Inverseur en façade
Sélectionneur de bande	Bouton poussoir en façade
Calibration	Bouton poussoir en façade

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 meilleurs 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

tdb

3.5.2-Coupleur en câble coaxial semi-rigide

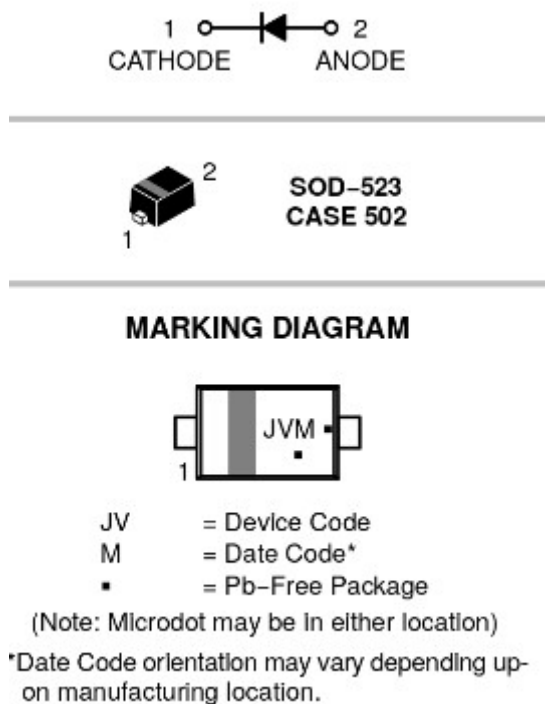
Tbd

3.6-Détecteur HF

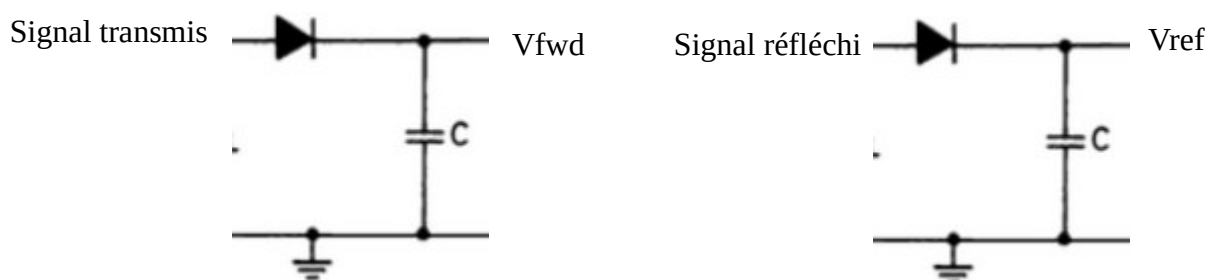
3.6.1-Composants

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.

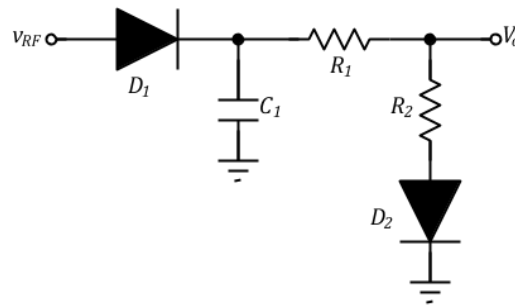


3.6.2-Schéma de principe



L'étude théorique a montré que $C=47\text{nF}$ /céramique/boîtier 1206.

L'étude théorique a également montré qu'une compensation en température devrait être prévue :



3.7-AOP

3.7.1-Composant

3.7.1.1-Potentiomètre digital

Le potentiomètre digital retenu est le AD5175, car il offre les spécifications suivantes :

- résistance nominale : 10k Ω
- résolution : 1024
- mémoire : 50 valeurs de résistances possible
- valeur de résistance contrôlé par bus I2C

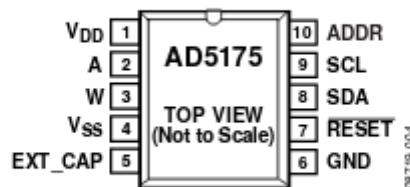
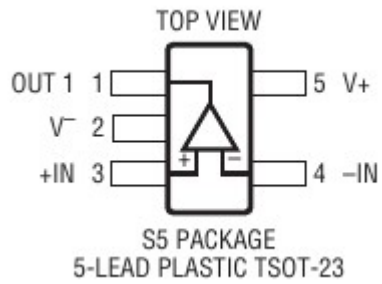


Figure 4. MSOP Pin Configuration

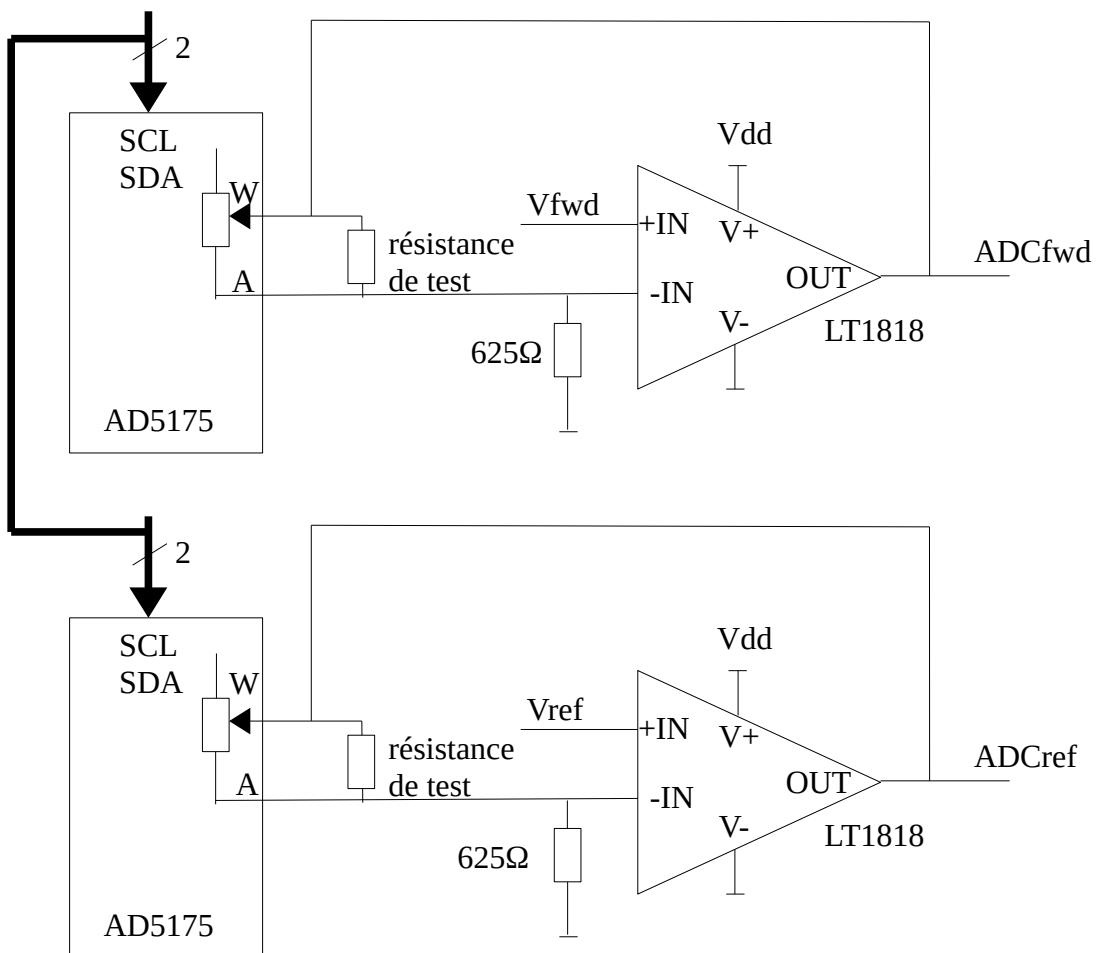
3.7.1.2-AOP faible bruit

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

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



3.7.2-Schéma de principe



3.7.2.1-AD5175

Pin	Fonction	Connection
Vdd(1)	Alimentation +	A découpler avec 100nF et 10μF
A(2)	Extrémité du potentiomètre	Voir schéma de principe
W(3)	Curseur du potentiomètre	Voir schéma de principe
Vss(4)	Alimentation -	Directe à GND
EXT_CAP(5)	Condensateur externe	Placer 1μF entre EXT_CAP et la masse
GND(6)	Masse	Directe à GND
RESET(7)	Reset	Directe à Vdd
SDA(8)	Bus I2C	Données du bus I2C
SCL(9)	Bus I2C	Horloge du bus I2C
ADDR(10)	Adresse device	Pour l'AD5175 connecté au LT1818 de Vfwd, la pin ADDR sera tiré à VDD. L'adresse I2C du device est alors (0101100) ₂ =0x2C Pour l'AD5175 connecté au LT1818 de Vref, la pin ADDR sera tiré à la masse. L'adresse I2C du device est alors (0101111) ₂ =0x2F

3.7.2.2-LT1818

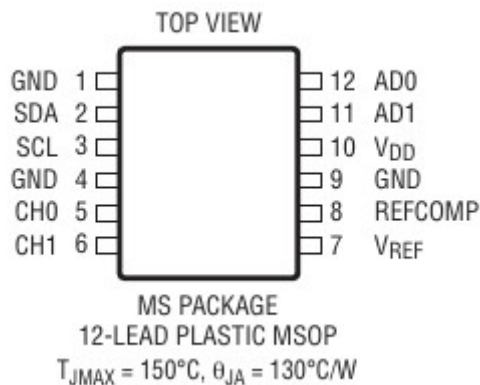
Pin	Fonction	Connection
OUT(1)	sortie	Voir schéma de principe
V-(2)	Alimentation -	masse
+IN(3)	Entrée non inverseur	Voir schéma de principe
-IN(4)	Entrée inverseur	Voir schéma de principe
V+(5)	Alimentation +	A découpler avec 100nF et 10μF

3.8-ADC

3.8.1-Composant

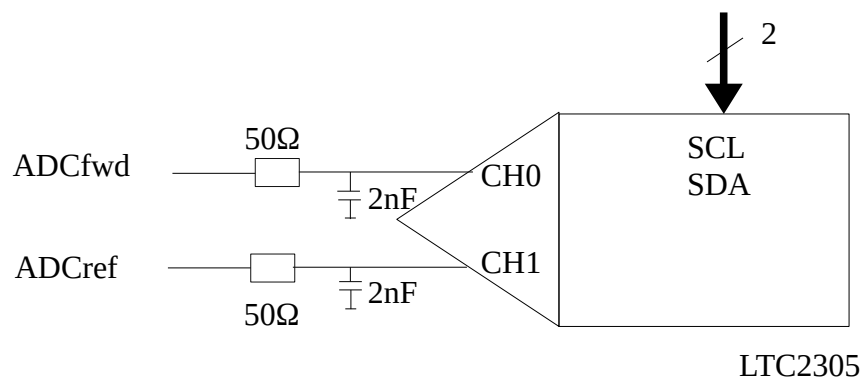
L'ADC est le LTC2305, car il offre les spécifications suivantes :

- 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)



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 ($V \geq 1.0$).

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

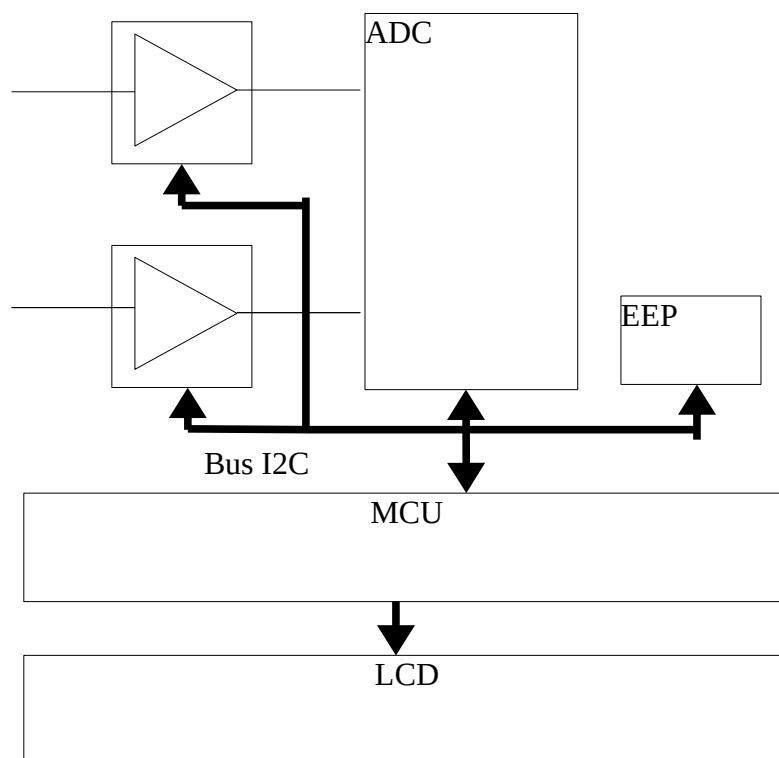
	min	typ	max	Unité
Tension d'alimentation	4,5	5	5,5	V
Intensité			2	mA
Horloge		4		MHz
Taille mémoire				
Programme			8	ko
Entrées/Sortie				
Nombre d'I/O ⁽¹⁾	10			

⁽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		Non connecté
OSC1/CLK1/RA7		Non connecté
OSC0/CLK0/RA6		Non connecté
RA0	Calibration « + »	Bouton poussoir
RA1	Calibration « - »	Bouton poussoir
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	D6
RB7	LCD	D7
VSS	Alimentation -	masse
VDD	Alimentation +	A découpler avec 100nF et 10µF

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 - **td**

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

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 14,2mm	1,5V	2700	alkaline

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.

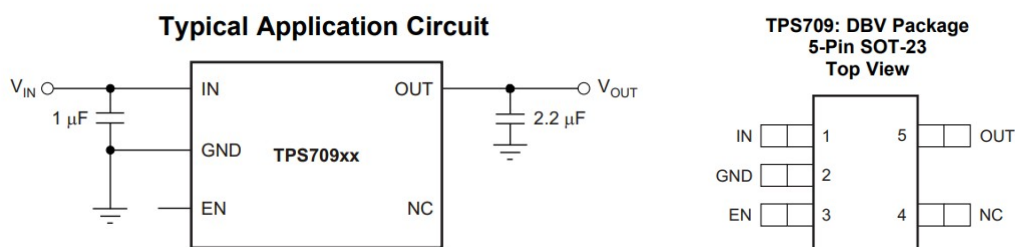
	min	typ	max	unité
Spécifications d'entrée				
Tension d'entrée alimentation externe	12	13,8	15	V
Tension d'entrée pack pile	4,5	5	5,5	V
Intensité d'entrée ⁽¹⁾			100	mA
Spécifications de sorties				
Tension de sortie	4,5		5,5	V
Intensité de sortie ⁽³⁾			100	mA
Pack pile	4 piles 1,5V LR6 (capacité min = 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

1 firmware est généré :

-Firmware de test : « swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.TEST.hex »

Son utilisation doit permettre :

- Valider l'architecture HW globale, ainsi que les composants choisis à l'aide d'une campagne de test sur la version d'étude. Cette campagne de test est appelée « test de validation d'architecture »
- Valider les fonctionnalités logicielles de mesure de tension à l'aide d'une campagne de test sur la version d'étude. Cette campagne de test est identique à la précédente.

Un 2ème firmware est également généré pour des tests fonctionnels sous GPSIM. Il a pour nom « « swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.SIMU.hex »

Il doit implémenter les fonctionnalités :

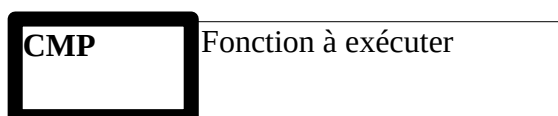
- Initialisation des modules
- Fixer le gain du module AOP
- Lecture de ADCfwd, et ADCref
- Affichage de ADCfwd et ADCref (valeur ADC brute en hexadécimal, et valeur calibrée de la tension en mV à l'entrée du module « AOP »)
- Dans un log, enregistrer des timestamp, les trames I2C ACK, et NACK, enregistrer les cas d'erreur du PIC (reboot, Vdd low, PIC stack overflow, etc.)
- Tester le LCD
- Mesure du niveau de bruit à l'entrée de l'ADC

4.1.2-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 développée 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 développée dans cette variable

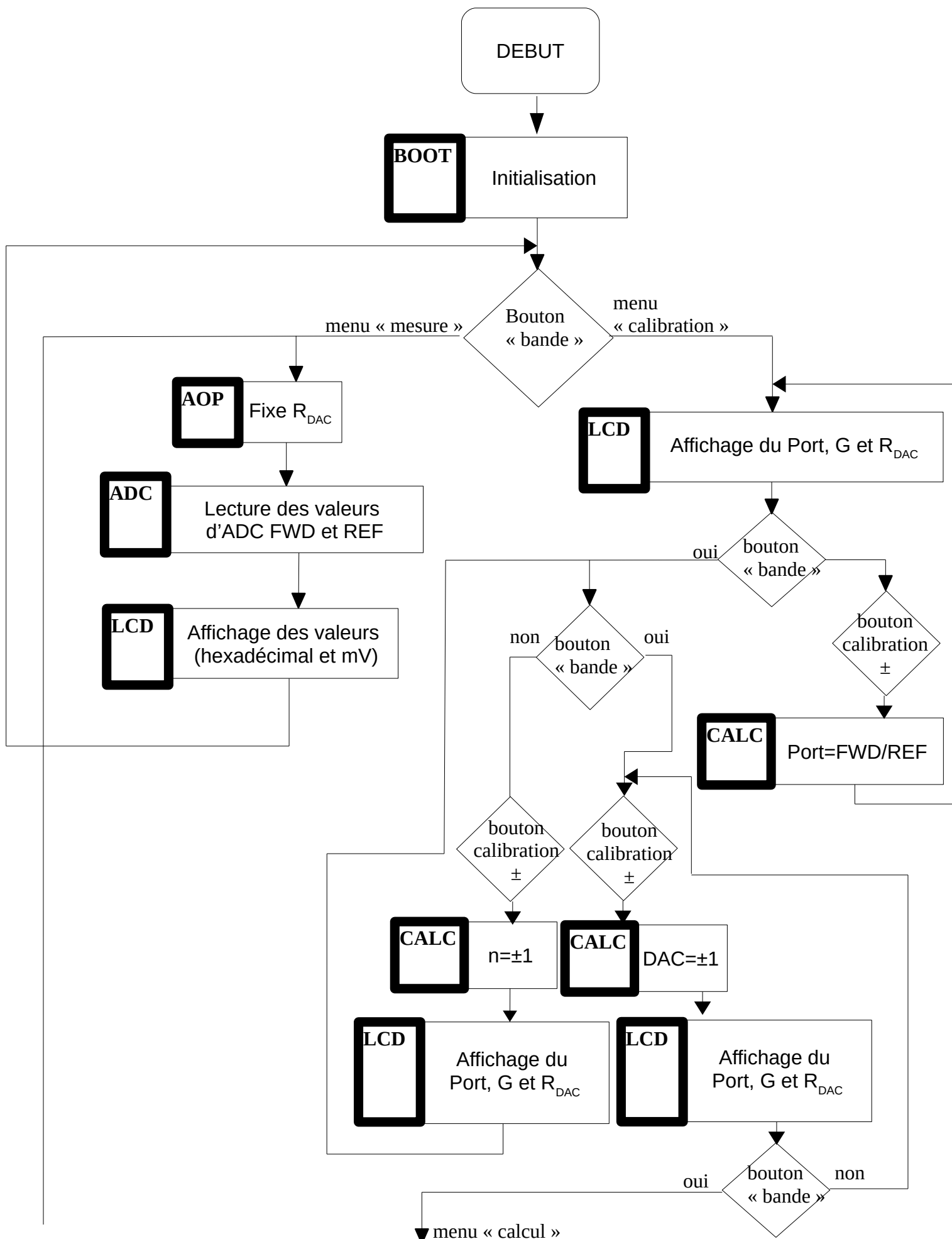
Dans les spécifications logicielles qui suivent, le lecteur est invité à adopter la convention suivante :

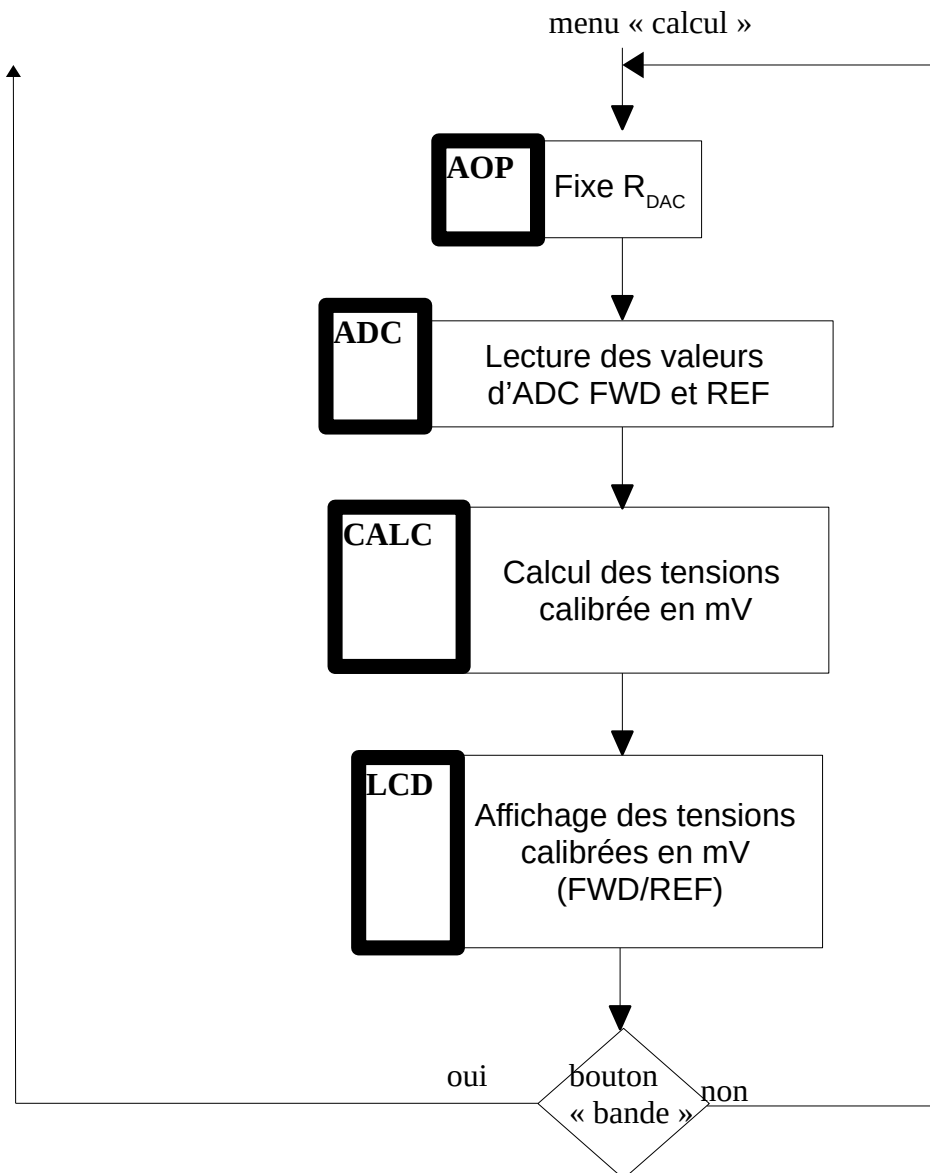


« CMP » représente le composant concerné la fonction. Il désigne un bloc du schéma bloc général du §3.4

« Fonction à exécuter » représente la fonctionnalité à exécuter.

4.2- Synoptique





Le bouton « Bande » permet de choisir entre le « menu mesure », le « menu calibration » et le menu « calcul ». Dans le menu « calibration », le bouton bande scrute les 3 paramètres : Port, G, DAC. Les 3 paramètres sont alors réglables à l'aide d'un bouton « Calibration + », et « calibration - » qui incrémente (respectivement décrémente) leurs valeurs.

4.3-Spécifications des composants logiciels

Composant	Nom	Application	Fonction
BOOT	Initialisation	TEST	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] </pre>
			Contraintes : Dans le firmware de test : -Par défaut, on rentre dans le menu « mesure » 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	TEST	Entrées : Sorties : Traitements : <pre> graph LR A[I2C] --> B[Power on reset] B --> C[CALC] C --> D[n=1 Port=FWD] D --> E[AOP] E --> F[DAC=0x40] </pre>

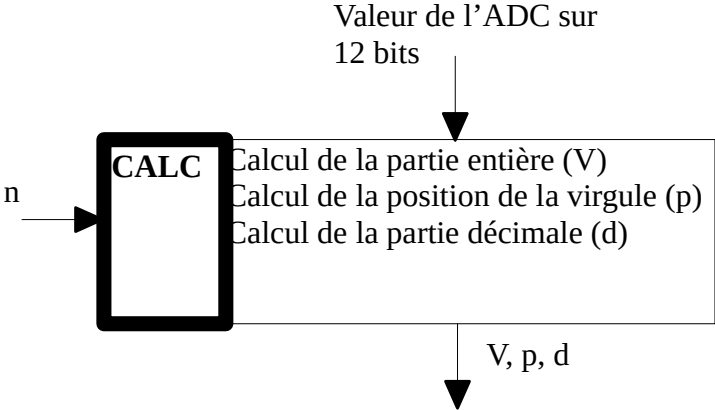
			Contraintes : I2C : Power on Reset → SDA=SCL = 1																																																																																													
LCD	Affichage du message de boot	TEST	Entrée : <ul style="list-style-type: none">nb de lignes du LCDversion Vn.m correspondant à la version du logiciel chargée dans la mémoire du microcontrôleur (ou MCU).																																																																																													
			Sorties : LCD																																																																																													
			Traitements : <ul style="list-style-type: none">Pour le SWR POWER METER, quelque soit le firmware (test, calibration ou opérationnel)<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> <	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
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																																																																																	

LCD 4 lignes-16 caractères

LCD 2 lignes-16 caractères

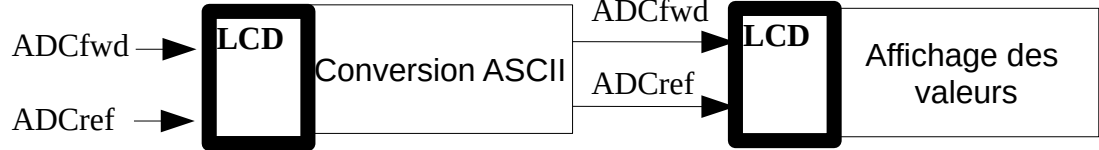
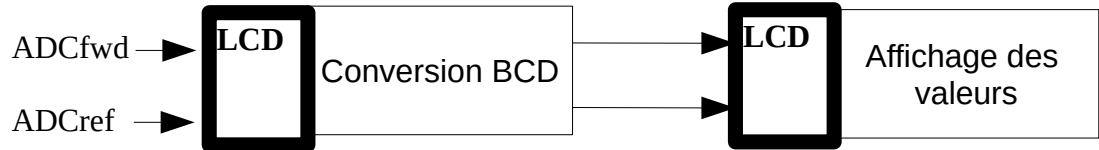
LCD 4 lignes-16 caractères

			<table><tr><td>data1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr></table> DAC(7:0) <div>5. Envoyer cette trame (Adresse, R/W, data0, data1) sur le bus I2C</div> <div>6. S’il y a eu un NACK : tbd</div>	data1								7	6	5	4	3	2	1	0					
data1																								
7	6	5	4	3	2	1	0																	
			Contraintes : sans																					
ADC	Lecture des valeurs ADC FWD et REF	TEST	Entrée : <ul style="list-style-type: none">Voie FWD ou REFbits de configuration du LTC2305 (UNI=0, SLP=0)																					
			Sorties : ADCfwd et ADCref retournée par l’ADC																					
			Traitements : <div>1. Préparer une trame I2C</div> <div>1. Adresse = 0x08 - R/W=0</div> <div>2. Pour le port FWD : S/D=1, O/S=0 – Pour le port REF : S/D=1, O/S=1</div> <div>3. Calculer data</div>																					
			<table><tr><td>data</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><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 (2,048V) : ADC = ADC & 0x7FF</div>	data								7	6	5	4	3	2	1	0	S/D	O/S	0	0	UNI
data																								
7	6	5	4	3	2	1	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	Calcul des tensions calibrées	TEST	<p>Entrée :</p> <ul style="list-style-type: none"> valeur d'ADC des ports FWD ou REF n : gain de l'AOP en puissance de 2
			<p>Sortie :</p> <ul style="list-style-type: none"> Partie entière de la tension calibrée (V) au format ASCII Position de la virgule en partant du dernier digit à droite (p) ex : p=3 : 1.234mV Partie décimale de la tension calibrée (d) au format ASCII
			<p>Traitements :</p>  <pre> graph TD n((n)) --> CALC_BOX[CALC] ADC[Valeur de l'ADC sur 12 bits] --> CALC_BOX CALC_BOX --> Out[V, p, d] subgraph Text direction TB T1[Calcul de la partie entière (V)] T2[Calcul de la position de la virgule (p)] T3[Calcul de la partie décimale (d)] end CALC_BOX --- Text </pre>
			<p>Contraintes :</p>
CALC	Calcul de la partie entière (V)	TEST	<p>Entrée :</p> <ul style="list-style-type: none"> EEP : contenu de l'EEP à afficher (valeur sur 12 bits) n : Gain de l'AOP en puissance de 2
			<p>Sortie : V = Partie entière de EEP</p>
			<p>Traitements :</p> <p>V = (contenu de l'EEP à afficher) décalé à droite de n</p>

			Contraintes		
CALC	Calcul de la position de la virgule	TEST	Entrée : <ul style="list-style-type: none">n : Gain en puissance de 2		
			Sortie : p : position de la virgule		
			Traitements p = n		
			n (puissance de 2)	Position de la virgule (p)	
			0	0	0 chiffre après la virgule
			1	1	1 chiffre après la virgule abc.d
			2	2	2 chiffre après la virgule abc.de
			3	3	3 chiffre après la virgule abc.def
			4	4	4 chiffre après la virgule abc.defg
		Contraintes :			
CALC	Calcul de la partie décimale	TEST	Entrée <ul style="list-style-type: none">EEP : contenu de l’EEP à afficher (valeur sur 12 bits)n : Gain en puissance de 2		
			Sortie : d : partie décimale		
			Traitements : 1. calcul du pas suivant le tableau :		
			n	pas	
			0	0	
			1	500	
			2	250	

			3	125		
			4	625		
			2. Calcul de la partie décimale : $d = n \times pas$			
			G (puissance de 2)	Précision	Conditions	Partie décimale (d)
			0	1mV (1/2 ⁰)	N/A	0x0000
			1	0,5mV (1/2 ¹)	Contenu = (xxxxxxx0) ₂	0x00
					Contenu = (xxxxxxx1) ₂	0x05
			2	0,25mV (1/2 ²)	Contenu = (xxxxxx00) ₂	0x00
					Contenu = (xxxxxx01) ₂	0x19
					Contenu = (xxxxxx10) ₂	0x32
					Contenu = (xxxxxx11) ₂	0x4B
			3	0,125mV (1/2 ³)	Contenu = (xxxxxx000) ₂	0x00
					Contenu = (xxxxxx001) ₂	0x7D
					Contenu = (xxxxxx010) ₂	0xFA
					Contenu = (xxxxxx011) ₂	0x177
					Contenu = (xxxxxx100) ₂	0x1F4
					Contenu = (xxxxxx101) ₂	0x271
					Contenu = (xxxxxx110) ₂	0x2EE
					Contenu = (xxxxxx111) ₂	0x36B
			4	62,5μV (1/2 ⁴)	Contenu = (xxxx0000) ₂	0x0000
					Contenu = (xxxx0001) ₂	0x0271
				
					Contenu = (xxxx0011) ₂	0x0753

			<table> <tr> <td></td><td></td><td>...</td><td>...</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Contenu = (xxxx1110)₂</td><td>0x222E</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Contenu = (xxxx1111)₂</td><td>0x249F</td></tr> </table>					Contenu = (xxxx1110) ₂	0x222E			Contenu = (xxxx1111) ₂	0x249F
													
		Contenu = (xxxx1110) ₂	0x222E												
		Contenu = (xxxx1111) ₂	0x249F												
			Contraintes :												
LCD	Affichage des valeurs (hexadécimal et mV)	TEST	Entrée : valeurs d'ADC de la voie FWD et de la voie REF												
			Sorties : LCD												
			Traitement : Affichage des tensions en entrée de l'ADC												
			<p>1. Convertir la valeur d'ADC hexadécimale en ASCII brute</p>  <p>2. Convertir la valeur d'ADC hexadécimale en mV</p> 												
			Contraintes :												
LCD	Conversion ASCII Conversion BCD	TEST	Entrée : valeurs d'ADC de la voie FWD et de la voie REF												
			Sorties : valeurs converties en ASCII et/ou BCD												
			Traitements :												

			<p>Les valeurs de l’ADC sont codées sur 12 bits et la tension pleine échelle vaut 4,096V. L’ADC remonte une valeur sur une échelle [0;4,096V] par pas de 1mV.</p> <table><tr><th>ADC(hexa) sur 12 bits</th><th>Tension en mV</th></tr><tr><td>0x0000</td><td>0</td></tr><tr><td>0x0001</td><td>1</td></tr><tr><td>0x0002</td><td>2</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>0x7FD</td><td>2045</td></tr><tr><td>0x7FE</td><td>2046</td></tr><tr><td>0x7FF</td><td>2047</td></tr></table> <p>1. Convertir une valeur hexadécimale en caractères ASCII : (0000)₁₆=(30303030)_{ASCII} - (0001)₁₆=(30303031)_{ASCII} - ... - (07FF)₁₆=(30374646)_{ASCII}</p> <p>2. Convertir une valeur hexadécimale en une valeur BCD : http://www.microchip.com/forums/m322713.aspx</p> <p>Contraintes</p>	ADC(hexa) sur 12 bits	Tension en mV	0x0000	0	0x0001	1	0x0002	2	0x7FD	2045	0x7FE	2046	0x7FF	2047																																
ADC(hexa) sur 12 bits	Tension en mV																																																		
0x0000	0																																																		
0x0001	1																																																		
0x0002	2																																																		
...	...																																																		
0x7FD	2045																																																		
0x7FE	2046																																																		
0x7FF	2047																																																		
LCD	Affichage des valeurs	TEST	<p>Entrée : valeurs d’ADC de la voie FWD et de la voie REF en ASCII ou BCD</p> <p>Sorties : LCD</p> <p>Traitements :</p> <table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>u</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>x</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> <p>LCD 2 lignes-16 caractères</p> <table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>u</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></table> <p>LCD 4 lignes-16 caractères</p>	F	W	D		u	u	u	u	h	-	v	v	v	v	m	V	R	E	F		x	x	x	x	h	-	y	y	y	y	m	V	F	W	D		u	u	u	u	h	-	v	v	v	v	m	V
F	W	D		u	u	u	u	h	-	v	v	v	v	m	V																																				
R	E	F		x	x	x	x	h	-	y	y	y	y	m	V																																				
F	W	D		u	u	u	u	h	-	v	v	v	v	m	V																																				

			<table><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td>x</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> <p>« FWD » : chaîne de caractère fixe, indiquant que la ligne 1 du LCD est dédié au port FWD uuuu : 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 xxxx : 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> <p>Contraintes :</p>	R	E	F		x	x	x	x	h	-	y	y	y	y	m	V																																																																													
R	E	F		x	x	x	x	h	-	y	y	y	y	m	V																																																																																	
LCD	Affichage de G et R _{DAC}	TEST	Entrées : Port																																																																																													
			Sorties :																																																																																													
			Traitements : <div><table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>G</td><td>=</td><td>n</td><td></td><td>D</td><td>A</td><td>C</td><td>=</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td>G</td><td>=</td><td>n</td><td></td><td>D</td><td>A</td><td>C</td><td>=</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td></tr></table><p>LCD 2 lignes-16 caractères</p><table><tr><td>F</td><td>W</td><td>D</td><td></td><td>G</td><td>=</td><td>n</td><td></td><td>D</td><td>A</td><td>C</td><td>=</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td></tr><tr><td>R</td><td>E</td><td>F</td><td></td><td>G</td><td>=</td><td>n</td><td></td><td>D</td><td>A</td><td>C</td><td>=</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</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>« n » : correspond à la puissance de 2 du gain (pour la voie FWD ou REF) « xxx » : correspond à la valeur du DAC appliquée à l’AOP (pour la voie FWD ou REF)</p></div>	F	W	D		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h	R	E	F		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h	F	W	D		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h	R	E	F		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h																													
F	W	D		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h																																																																																	
R	E	F		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h																																																																																	
F	W	D		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h																																																																																	
R	E	F		G	=	n		D	A	C	=	x	x	x	h																																																																																	

			Contraintes :
CALC	Port=FWD/REF	TEST	Entrées : Port
			Sorties : Port
			Traitements : Changer de port
			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

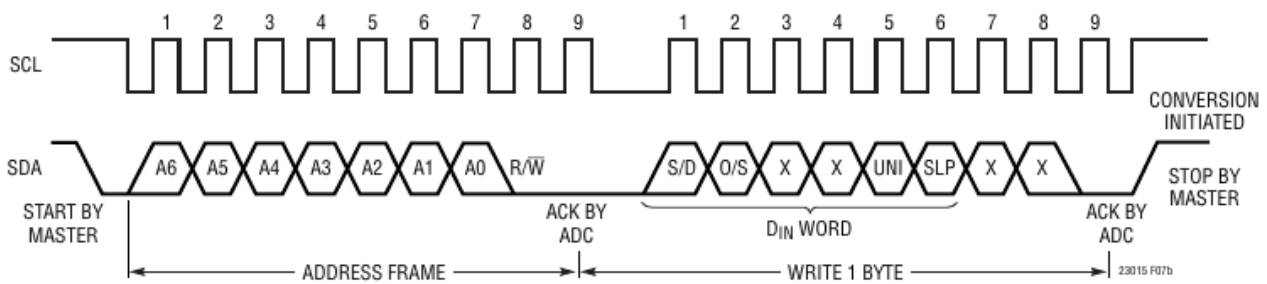
1. Trame Write

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

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

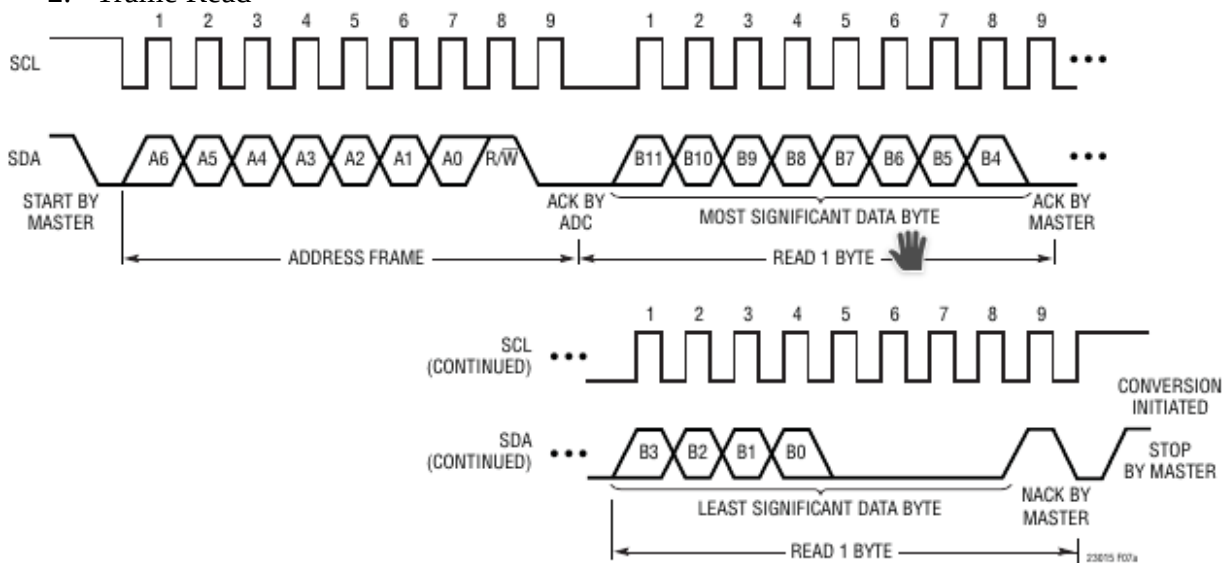
UNI=0

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



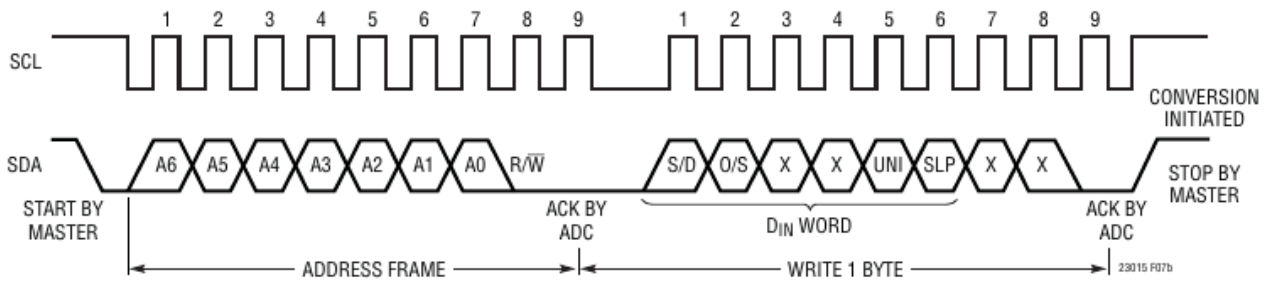
4.4.1.2.2-Lecture ADC REF

1. Trame Write

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

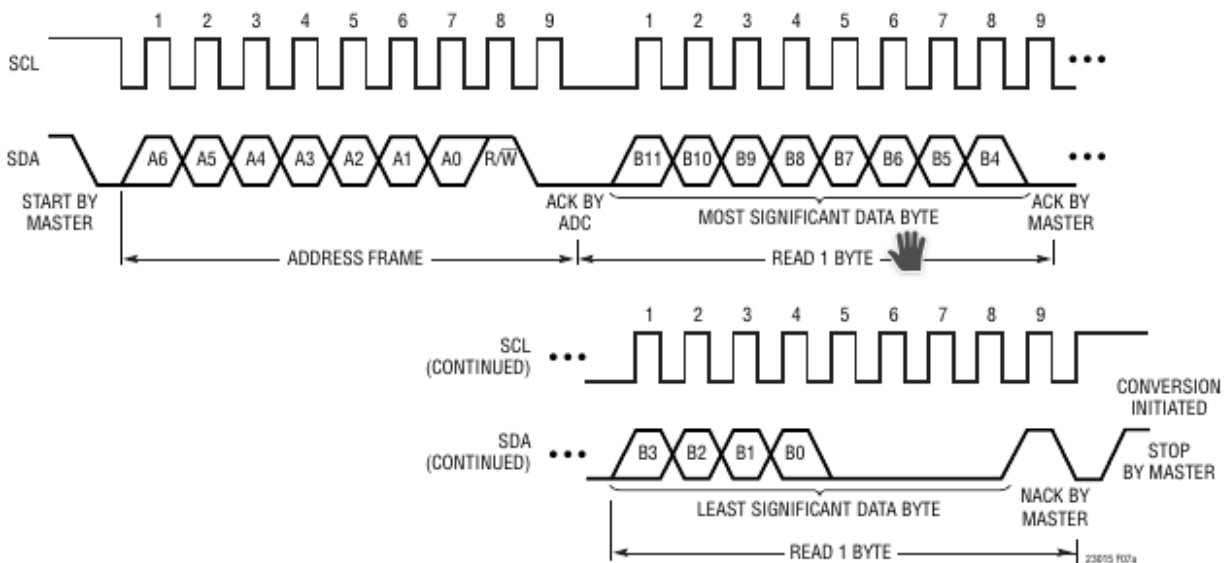
S/D	O/S	CH0	CH1
0	0	+	-
0	1	-	+
1	0	+	
1	1		+

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-Composant AOP

4.4.2.1-Initialisation

Il n'y a rien à faire pour initialiser l'AD5175.

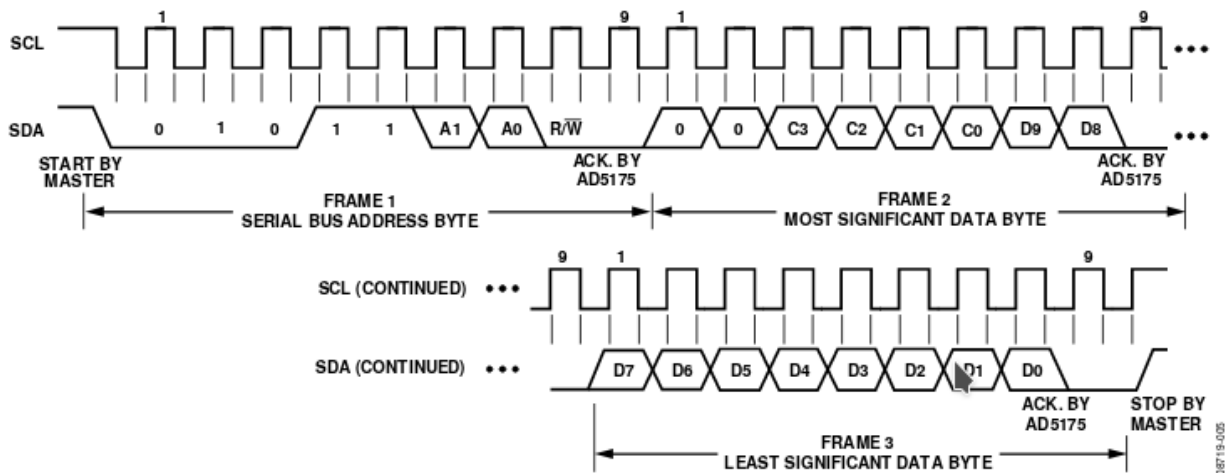
4.4.2.2-Fixer la valeur de R_{DAC}

1. Trame I2C Write

L'adresse I2C du composant AOP du port fwd est 0x2C.

L'adresse I2C du composant AOP du port ref est 0x2F.

Command Number	Command[DB13:DB10]				Data[DB9:DB0] ¹										Operation
	C3	C2	C1	C0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	NOP: do nothing.
1	0	0	0	1	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write contents of serial register data to RDAC.
2	0	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Read contents of RDAC wiper register.
3	0	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Store wiper setting: store RDAC setting to 50-TP.
4	0	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Software reset: refresh RDAC with the last 50-TP memory stored value.
5 ²	0	1	0	1	X	X	X	X	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read contents of 50-TP from the SDO output in the next frame.
6	0	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Read address of the last 50-TP programmed memory location.
7 ³	0	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	D1	D0	Write contents of the serial register data to the control register.
8	1	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Read contents of the control register.
9	1	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D0	Software shutdown. D0 = 0; normal mode. D0 = 1; shutdown mode.



4.4.3-Plan d'adressage I2C

Composant	Adresse
EEP	0x80
AOP fwd	0x2C
AOP ref	0x2F
ADC	0x08

4.4.4-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 :

Octet7	Octet6	Octet5	Octet4	Octet3	Octet2	Octet1	Octet0
TAG	Octets de valeurs						

Le tag identifie la trace enregistrée, et les octets de valeurs contiennent les informations associées au tag.

TAG									Contenu du champ valeur
0x80 Nb de NACK	1	0	0	0	0	0	0	0	[Nb de NACK I2C ADC (2 octets)] ⁽¹⁾ [Nb de NACK I2C AOP_fwd (2 octets)] [Nb de NACK I2C AOP_ref (2 octets)] 0xFF
0x40 Timer	0	1	0	0	0	0	0	0	[Timer ADC] [Timer SAMPLE] [Timer écriture EEP interne] tbd tbd tbd tbd tbd
0x20 Registres PIC	0	0	1	0	0	0	0	0	[Registre RCON] [Registre STKPTR] tbd tbd tbd tbd tbd tbd
0x10 firmware en cours	0	0	0	1	0	0	0	0	« TES » ou « CAL » ou « OPE » (4 octets max) chaîne de char « version »(4 octets)

4.6-Programmateur

4.5.1-PIC

Programmer le .hex

Comment récupérer les log ?