SWR POWER METER F8KGL

Description et spécifications
V 0.5

Table des matières

1-INTRODUCTION

Afin d'optimiser la qualité de ses communications, l'OM cherche à transmettre le maximum de puissance à l'antenne. Ce maximum est atteint lorsque les impédances sont dites « adaptées ». On obtient ce point de fonctionnement lorsque la puissance réfléchie (voir §2) est minimale (idéalement nulle), ou lorsque 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.

L'originalité du « SWR Power Meter F8KGL » vient de la conception de la ligne de mesure. Celle-ci a été pensée en câble coaxial rigide en cuivre (RG402). De plus, il est prévu de mettre ce dispositif en vente en KIT pour les OM's désireux de s'équiper en moyens de mesure home-made.

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 alimenté par une source extérieure en 13,8V, ou par un pack batterie 4x1,5V
-atténuer le moins possible le signal à transmettre
-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
-être vendable sous la forme de kit

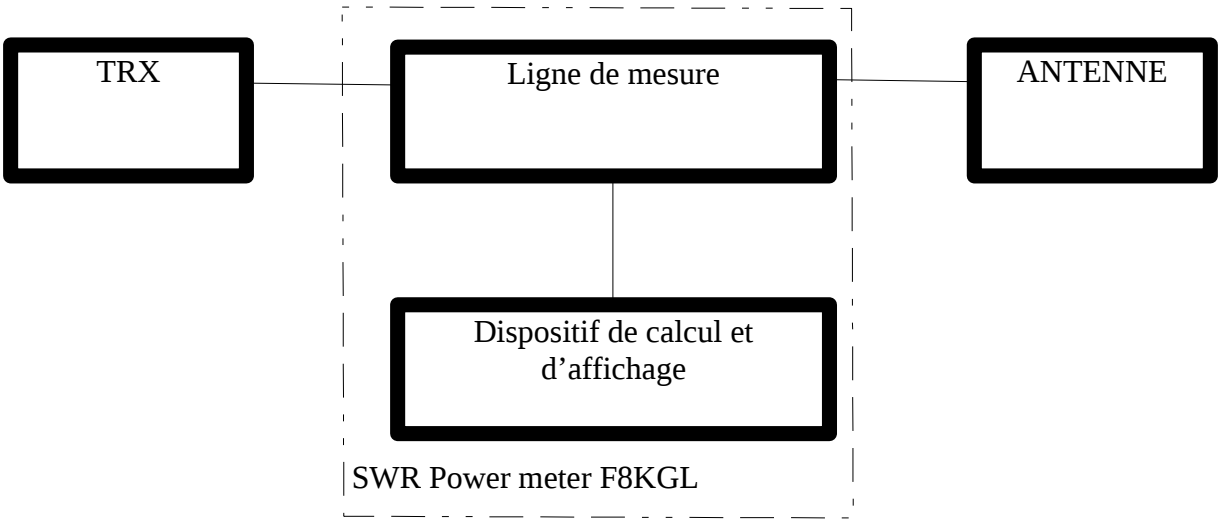
Ce dispositif a été conçu par les OM du club radioamateur « Vauréal Amitié Radio », situé à Vauréal (95), sous l'indicatif F8KGL.
Le projet a été développé par André F0EOS, et Fabrice F4BJH. Portons également à l'attention du lecteur, que l'idée initiale vient de Pierre F1FDD.

2-FONCTIONNALITES

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

-de mesurer la puissance transmise de l'émetteur (TRX) vers la charge (Antenne), de mesurer la puissance réfléchie, et de calculer le SWR. Cette fonctionnalité porte le nom de « fonctionnalité de mesure » dans la suite de ce document, et est assurée par la « ligne de mesure ».

-d'afficher le résultat des ces 2 mesures en W, et le résultat du calcul du SWR. Cette fonctionnalité porte le nom de « fonctionnalité de calcul et d'affichage » dans la suite de ce document, et est assurée par le « dispositif de calcul et d'affichage ».



2.1-Ligne de mesure

La mesure de la puissance d'un signal radioélectrique revient à mesurer la tension crête de ce signal (cf SWR_POWER_METER_F8KGL_Etude_du_pont_de_mesure.pdf).

$$Pch = K \times |V|^2$$

De plus, le « SWR » (ou ROS) est donné par cette formule :

$$SWR = \frac{Ptranmise + Préfléchie}{Ptransmise - Préfléchie}$$

La mesure de la tension crête du signal transmis (resp. réfléchie) donnera donc, à un facteur près (à déterminer) la mesure de la puissance transmise (resp. réfléchie). La mesure de ces 2 grandeurs permet dès lors de calculer le SWR.

La mesure d’une tension crête d’un signal peut facilement être réalisé à l’aide d’un circuit dit « détecteur d’enveloppe ».

Or les diodes n’acceptent que des signaux relativement faibles. C’est pourquoi un dispositif d’atténuation doit être placé dans la chaîne de mesure, sans que celui-ci n’atténue le signal utile à transmettre à l’antenne.

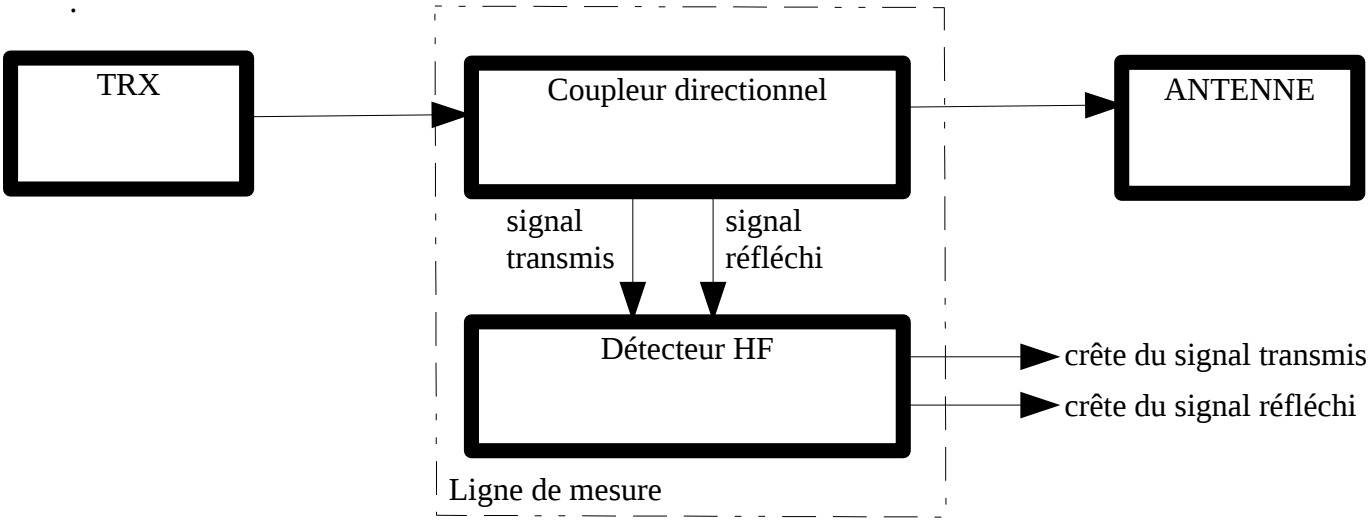
De plus, il faut également prévoir un dispositif capable de séparer le signal transmis, et le signal réfléchi.

D’un point de vue fonctionnel, la ligne de mesure permet :

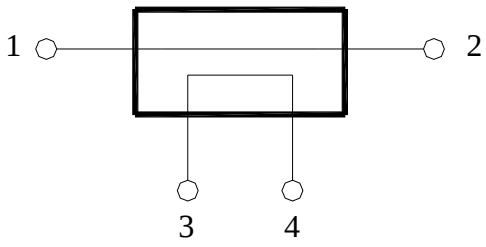
-séparer le signal transmis du signal réfléchi, et de les atténuer. Cette fonctionnalité porte le nom de « fonctionnalité de couplage », et est assuré par le « coupleur directionnel ».

-d’extraire la crête des signaux transmis et réfléchis. Cette fonctionnalité porte le nom de « fonctionnalité de détection d’enveloppe », et est assuré par le « détecteur d’enveloppe (ou détecteur HF) »

.



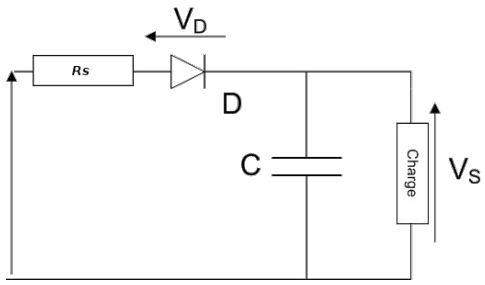
2.1.1-Coupleur directionnel



(Source F5ZV)
Un coupleur est constitué d'un tronçon de ligne de même impédance que celle sur laquelle il sera utilisé, par exemple 50 ou 75 ohms. Cette ligne peut être une ligne sur circuit imprimé, un guide d'onde, un câble coaxial...Pour une ligne coaxiale on peut utiliser une petite longueur de câble (de quelques centimètres à quelques décimètres). Parallèlement à l'âme de la ligne est placée à quelques millimètres de celle-ci une ligne de mesure. Le courant qui circule du port P1 au port P2 dans la

ligne principale induit un courant dans la ligne de mesure et provoque l'apparition d'une tension entre les deux armatures du condensateur que forment les deux lignes. Dans un coupleur parfait les signaux générés par ces deux phénomènes s'additionnent dans le sens direct et s'annulent dans le sens inverse.
Une des extrémités de la ligne de mesure (port P4) est reliée au blindage de la ligne principale au travers d'une charge purement résistive d'une valeur qui dépend des dimensions de cette ligne de mesure et qui peut être différente de l'impédance de la ligne principale. Lorsqu'un courant circule dans la ligne principale du coupleur, une fraction (un échantillon) de ce courant se retrouve à l'autre extrémité (port P3) de la ligne de mesure.

2.1.2-Détecteur HF



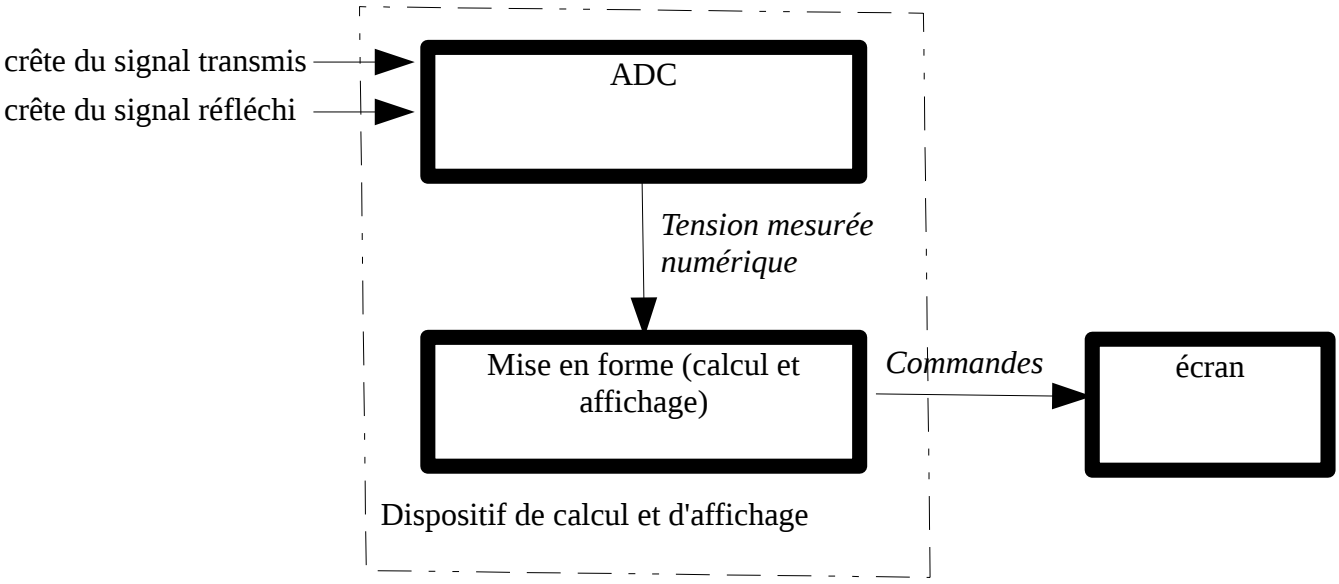
(source Wikipedia)
Un circuit détecteur d'enveloppe est constitué d'une diode en série reliée à une charge constituée d'un condensateur et d'une résistance.
Son signal d'entrée est une fréquence porteuse dont on veut extraire la tension crête. C'est donc un courant alternatif, présentant une tension tantôt positive, tantôt négative.
Quand la tension d'entrée est positive, la diode conduit et le condensateur se charge. Quand la tension d'entrée est négative, la diode se bloque, le condensateur se décharge dans la charge.

Si la résistance présente dans le circuit lors de la charge de la capacité est faible, celle-ci est beaucoup plus rapide que la décharge dans la résistance. Alors, si la constante de temps du circuit résistance-condensateur est correctement choisie, sa tension reste *à peu près* constante entre deux crêtes de la porteuse.

2.1.3-Incertitudes de mesures

2.2-Dispositif de calcul et d'affichage

Le dispositif de calcul et d'affichage est un dispositif numérique. Sa fonction principale est d'afficher sur un écran LCD (2 lignes de 16 caractères) le résultat de la mesure.



D'un point de vue fonctionnel, le dispositif de calcul et d'affichage permet :

-Mesurer les tensions crête du signal transmis et réfléchis, et les mettre dans un format binaire (au sens informatique du terme). Cette fonction est assurée par un « ADC » (Analog to Digital Converter)

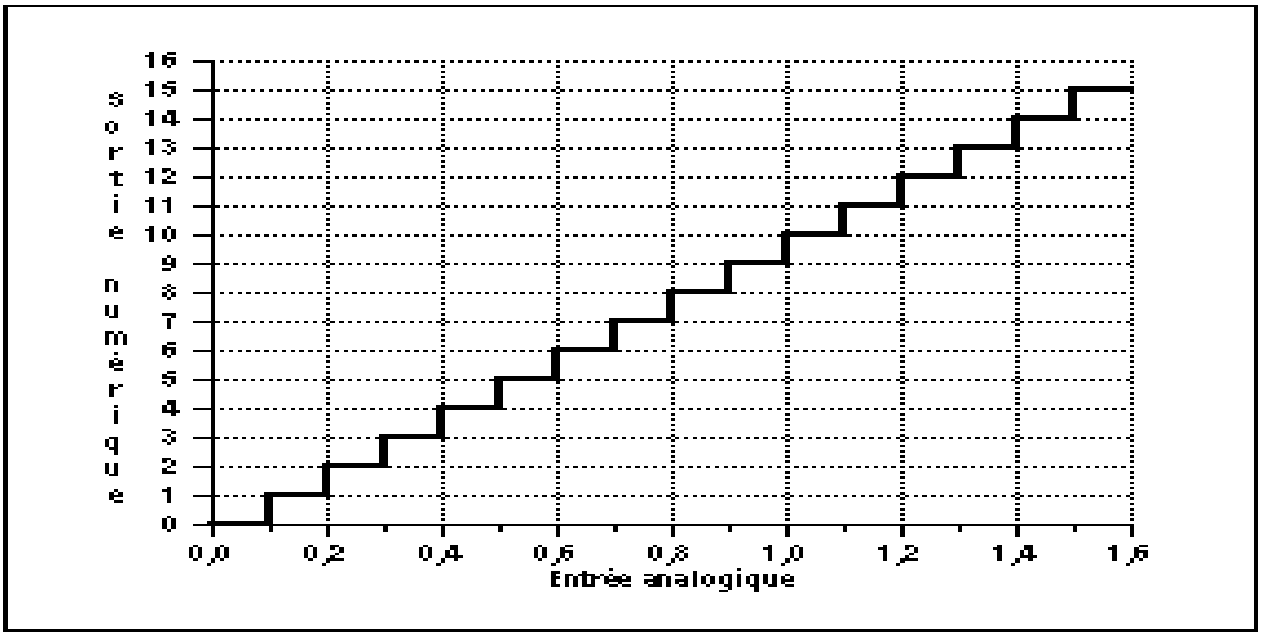
-Convertir la mesure numérique en W, et calculer le SWR

-Envoyer ces mesures de puissance et le calcul du SWR au LCD, dans le standard qui lui est propre. Ces 2 fonctions sont assurées par le dispositif de « mise en forme (calcul et affichage)

2.2.1-ADC

Un ADC (Analog to Digital Converter) est un dispositif électronique permettant de convertir une grandeur analogique (par exemple, une tension) en une valeur numérique, qui prend la forme d'un nombre binaire.

Cette valeur numérique peut être codée sur plusieurs bits, et est proportionnelle à la grandeur analogique d'entrée.



(source : http://www.bedwani.ch/electro/ch21/index.htm#C01)

La sortie numérique décrite dans ce graphique est affichée en base 10.

Entrée analogique	Sortie numérique	bit n°3	bit n°2	bit n°1	bit n°0	Hexadécimal
0	0	0	0	0	0	0
0,1	1	0	0	0	1	1
0,2	2	0	0	1	0	2
0,3	3	0	0	1	1	3
0,4	4	0	1	0	0	4
0,5	5	0	1	0	1	5
0,6	6	0	1	1	0	6
0,7	7	0	1	1	1	7
0,8	8	1	0	0	0	8
0,9	9	1	0	0	1	9
1	10	1	0	1	0	A
1,1	11	1	0	1	1	B
1,2	12	1	1	0	0	C
1,3	13	1	1	0	1	D
1,4	14	1	1	1	0	E
1,5	15	1	1	1	1	F

2.2.2-Mise en forme

L'ADC ayant fourni une valeur numérique au format binaire, elle peut être facilement traitée par une dispositif informatique.
Le traitement que ce dispositif effectue s’appelle un programme informatique. Le programme est une succession d'instruction, dont le but est de produire un résultat en fonction de la valeur de données d'entrée.

Ces données d'entrées sont stockées dans une mémoire au format binaire. Les résultats produits dépendent des instructions programmées dans une autre mémoire. Dans le cas du « SWR Power

Meter F8KGL », le résultat final est un affichage de la puissance transmise et réfléchie.

Le dispositif de mise en forme choisie est un microcontrôleur PIC, pour sa simplicité d'utilisation, sa faible consommation en énergie, sa fiabilité, et sa robustesse. De plus, la simplicité (apparente en première lecture) du programme à développer pour ce dispositif, appelle tout naturellement un composant simple et efficace.

3-FONCTIONNEMENT

A la mise sous tension, le « SWR-POWER METER F8KGL », affiche le message suivant pendant 5s :

S	W	R	-	P	O	W	E	R		m	e	t	e	r	
F	8	K	G	L								V	n	.	m

Vn.m correspond à la version du logiciel chargée dans la mémoire du microcontrôleur.

Au bout des 5 secondes, le « SWR-POWER METER F8KGL » détermine s'il est en phase de « calibration », ou en phase de « mesure ».

3.1-Phase de calibration

La phase de « calibration» correspond au mode de fonctionnement qui permet la calibration de l'appareil de mesure.

En phase « calibration », le « SWR-POWER METER F8KGL » affiche :

		C	*A*	*L*	*I*	*B*	*R*	*A*	*T*	*I*	*O*	*N*			
x	*x*	*W*	-	*y*	*y*	*y*	*M*	*h*	*z*					*O*	*K*

3.2-Phase de mesure

Le mode « opérationnel » correspond au mode de fonctionnement conventionnel du « SWR POWER METER F8KGL ». C'est ce mode de fonctionnement qui permet la mesure des puissances transmises, réfléchie, et du ROS.

En phase « mesure », le « SWR-POWER METER F8KGL » affiche :

F	*W*	*D*			*R*	*E*	*F*			*S*	*W*	*R*			
a	*a*	*a*	*W*		*b*	*b*	*b*	*W*		*c*	.	*c*	*c*	*!*	*!*

« aaa » correspond à la mesure de la puissance transmise en W
« bbb » correspond à la mesure de la puissance réfléchie en W
« c.cc » correspond à la mesure du ROS. 2 points d'exclamation clignotant s'affichent « !! » si le ROS>2

4-DEVELOPPEMENT MATERIEL

4.1-Description

Le dispositif de calcul et d'affichage repose sur l'emploi d'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)

Les versions matérielles suivent les versions logicielles. Le prototype HW sera fondé sur le tag V0.6.

4.1.1-LCD

(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

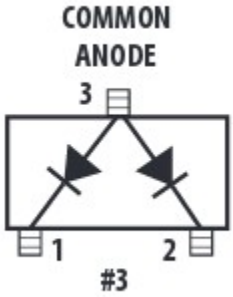
Borne	Symbole	Type	Fonction
1	Vss ou V0	Alim	Masse 0V
2	Vcc ou Vdd	Alim	Alimentation générale 5V
3	Vee	Alim	Alimentation du panneau LCD (Contraste des caractères : Vee = 0 → Caractères invisibles, Vee = Vcc → Contraste maximum)
4	RS	Entrée	RS = 1 → Sélection du registre de données RS = 0 et R/W = 0 → 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)

4.1.2-Ligne de mesure

Dans la ligne de mesure, le coupleur directionnel fera l'objet d'une étude particulière. En effet, un comparatif entre ces plusieurs solutions sera envisagées :

-coupleur en cable coaxial rigie
-ligne imprimée sur circuit
-coupleur du commerce, issu d'une épave de TOS-mètre
-coupleur du commerce issu d'un Wattmètre du monde professionnel (type Bird, ou power sensor 4B250 de Thruline)

En revanche, dans la ligne de mesure, le détecteur d'enveloppe est défini par une facilité d'approvisionnement en diode Schottky : HSMS-2822 (marquage C2E, boitier SOT-23).



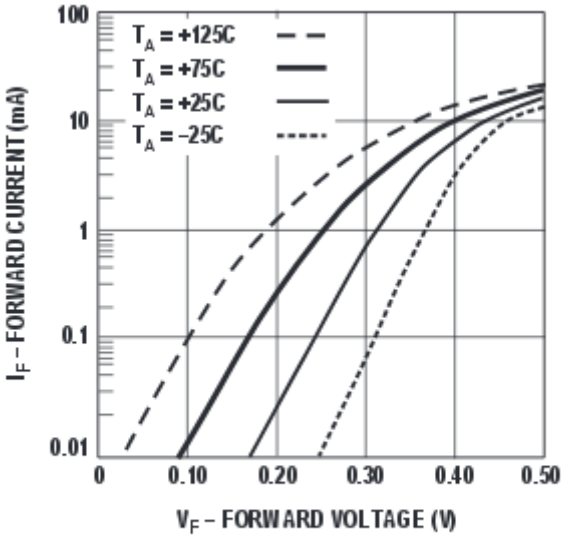


Figure 1. Forward Current vs. Forward Voltage at Temperatures.

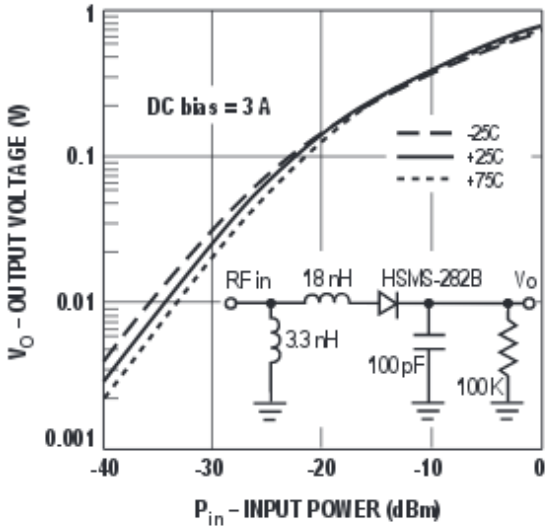


Figure 7. Typical Output Voltage vs. Input Power, Small Signal Detector Operating at 850 MHz.

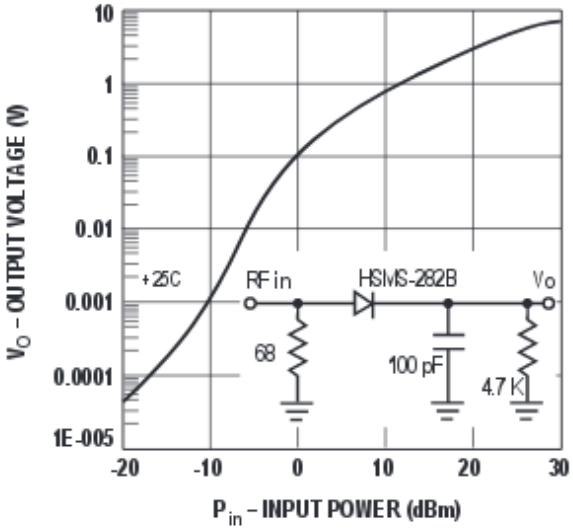


Figure 8. Typical Output Voltage vs. Input Power, Large Signal Detector Operating at 915 MHz.

4.1.3-ADC

La résolution de l'ADC du PIC choisi est de 10 bits. Le tableau ci-dessous donne les valeurs minimales et maximales (tenion, valeur hexdécimale).

	Décimal	Hexadécimal	V
ADC min	1	1	0,00489
ADC Max	1023	3FF	5

La valeur minimale détectable par l'ADC du PIC est de 4,9mV.

La période d'échantillonnage n'a pas une contrainte 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.

La technologie de numérisation utilisée par Microchip est l'échantilloneur-bloqueur.

4.1.4-Alimentation

Le « SWR Power Meter F8KGL » possède une double alimentation :

- 4 piles de 1,5V type LR6
- prise alimentation 13,8V

Description des connecteurs :

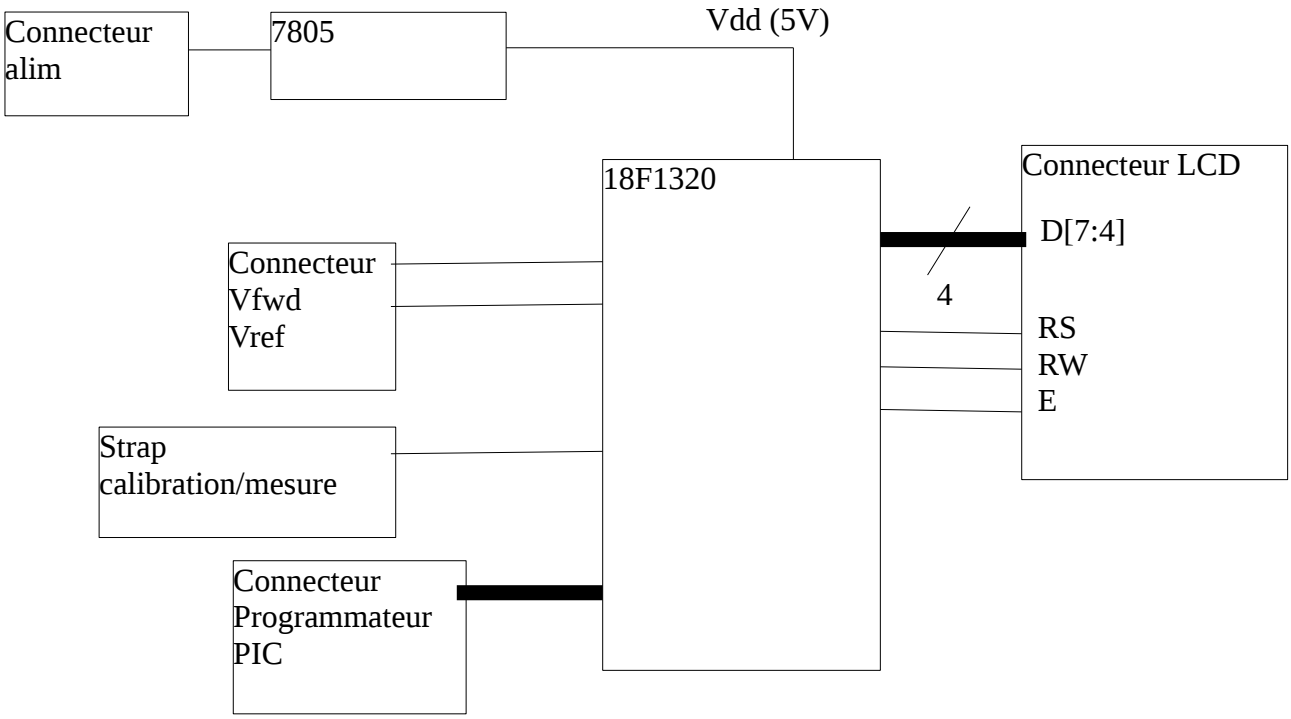
4.1.5-Connecteurs

Les connecteurs utilisés pour le LCD, les détecteurs HF, le programmateur de PIC seront des connecteurs HE10.

4.1.6-Boitier

Dimensions ?
Matière
crosbar

4.2-Schéma fonctionnel



4.3-PCB

Les outils de CAO utilisés seront la suite logicielle gratuite KiCAD.

Tous les composants seront en CMS.

Le circuit imprimé sera en epoxy FR4, d'épaisseur 1,6mm, simple face.

(Source Wikipedia)

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)	8×107 MΩ·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 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ (dans la direction des fibres)
Capacité calorifique	800 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Densité	de 1,80 à 1,90 $kg \cdot L^{-1}$[1]

5-DEVELOPPEMENT LOGICIEL

5.1-Généralités

L'architecture hardware étant fondée sur le PIC 18F1320 de chez Microchip, le langage de développement du logiciel sera l'assembleur.
Le logiciel sera développé sous Linux (Debian 8).

3 firmwares seront généres :

-Firmware de test, correspondant au mode de fonctionnement « test » du « SWR Power Meter F8KGL. Ce firmware est généré en position le flag de compilation TEST.
Nom : « swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.TEST.hex »

-Firmware de calibration, correspondant à la fonctionnalité de la phase de « calibration » seule du « SWR Power Meter F8KGL ». Ce firmware est généré en position le flag de compilation CALIBRATION.
Nom : « swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.CALIBRATION.hex »

-Firmware opérationnel, correspondant au mode de fonctionnement opérationnel du « SWR Power Meter F8KGL » telle que décrite dans le §3.
Nom : « swr_power_meter_f8kgl-Vn.m.hex »

n : correspond à une version majeure du « SWR Power Meter F8KGL ».
m : correspond à une version mineure du « SWR Power Meter F8KGL ».

V0.5 : mode « test » implémenté, validé en simulation et sur prototypes.
V0.6 : V0.5 avec nouvel ADC (MAX11100, MAX4624), et LCD 4 lignes 16 caractères
V1.0 : phase de calibration implémenté, validé en simulation et sur cible matériel
V2.0 : phase de mesure implémenté, validé en simulation et sur cible matériel.

5.2-Outils de développement

5.2.1-Assembleur

Sous linux, la suite « GPUTILS », permet la compilation d'un projet développé en assembleur pour PIC.

GPUTILS est une collection d'outil pour les microcontroleurs PIC. Elle inclut :

- Gpasm : compilateur assembleur
- Gplib : compilateur assembleur permettant la génération d'une librairie
- Gplink : éditeur de lien symboliquez

Installation :

1. Désinstaller la version courante de la distribution
2. Télécharger la version 1.5.0-1 en suivant ce lien :

https://sourceforge.net/projects/gputils/files/gputils/1.5.0/gputils-1.5.0-1.tar.gz/download

3. Installation

```
$ tar –xvzf gputils-1.5.0-1.tar.gz
$ cd gputils-1.5.0-1.tar.gz
$ ./configure
$make
$sudo make install
```

5.2.2-Outils de validation

Sous linux, la suite « gpsim » permet la simulation d'un code compilé par GPUTILS

Installation :

1. Désinstaller la version courante de la distribution
2. Télécharger la version 0.30.0 en suivant ce lien : https://sourceforge.net/projects/gpsim/files/gpsim/0.30.0/gpsim-0.30.0.tar.gz/download
3. Installation

```
$ tar –xvzf gpsim-0.30.0.tar.gz
$ cd gpsim-0.30.0.tar.gz
$ ./configure
$make
$sudo make install
```

Utilisation :

1.
```
$ gpsim –s nom_du_fichier.cod
```

2. Aller dans File->Open et choisir le fichier .stc
3. Par défaut, la fréquence est fixée à 20MHz. Il faut fixer la fréquence de travail à 4MHz :

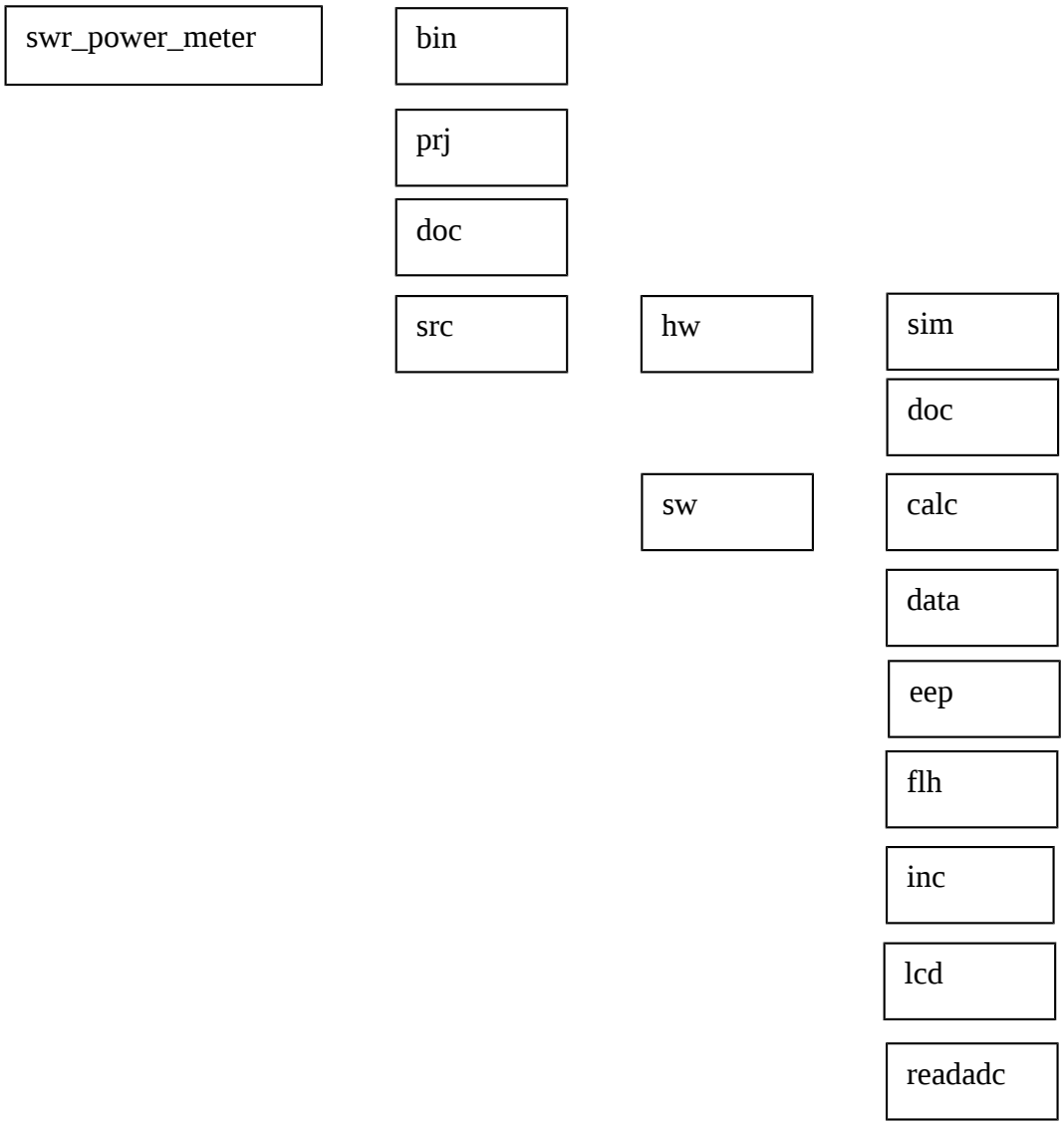
```
**gpsim> frequency 4000000
**gpsim> frequency
Clock frequency: 4 MHz.
```

5.2.3-Outils de contrôle de version

Les versions de logiciel, schémas, BOM et circuit imprimés sont contrôlées par un serveur SVN à l'adresse :

https://svn.riouxsvn.com/swr_power_meter

5.3-Arborescence de développement



swr_power_meter/bin	Contient l'ensemble des binaires produits : • *.a : librairie associée à un composant sw • *.cod : simulation • *.hex : binaire à flasher dans le PIC • *.map : mapping mémoire • *.cof : fichier objet résultat de la compilation • *.lst : ?
swr_power_meter/prj	Contient le Makefile du projet, et le point d'entrée sw (main.asm)
swr_power_meter/doc	Documentation du projet
swr_power_meter/src	Contient les sources du projet
swr_power_meter/src/hw	Contient les sources HW du projet (schéma, PCB)
swr_power_meter/src/hw/sim	Contient le fichier netlist pour gpsim

swr_power_meter/src/hw/doc	Contient les doc HW des composants
swr_power_meter/sw/lcd	Composant LCD • Driver.asm : driver bas niveau du LCD • Aff.asm : routines haut niveau d'affichage des messages • Makefile : make de la librairie LCD
swr_power_meter/sw/readadc	Composant ADC
swr_power_meter/sw/calc	Composant CALC
swr_power_meter/sw/eep	Composant EEP : Driver.asm : driver bas niveau
swr_power_meter/sw/flh	Composant d'accès à la flash du PIC : Driver.asm : driver bas niveau
swr_power_meter/sw/data	Composant data : contient les données : table de calibration, version logicielle, constantes
swr_power_meter/sw/inc	Include

5.4-Mode « test »

Le mode « test » est un mode de fonctionnement de validation du « SWR POWER METER F8KGL ».
Il permettra de valider le fonctionnement des ADC (linéarité, précision, stabilité), du détecteur HF (stabilité, et précision), et la ligne de mesure.

En mode test, il affiche le message suivant :

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

« 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 par le PIC 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 » : caracère symbolisant l'unité de la mesure de l'ADC (hexadécimal)
« mV » : chaîne de caractère indiquant l'unité de la mesure de la tension (mV)
La conversion « valeur hexadécimal de l'ADC » vers « tension calculée de l'ADC en mV » se fera à l'aide d'une table de calibration, placée en mémoire flash. Elle portera le nom de « table de calibration théorique de l'ADC ».

ADC(hexa) sur 10 bits	Tension en mV	Valeur de la tension en mV stockée flash
0x0000	0	0x0000
0x0001	5	0x0005
0x0002	10	0x000A
...	...	...

0x3FD	4985	0x1379
0x3FE	4990	0x137E
0x3FF	4995	0x1383

5.4-Spécifications SW

5.4.1-/prj

5.4.1.1-Makefile

Variables	Nom du projet : swr-power-meter_f8kgl- Processeur : 18F1320 (à exporter) Version : Vn.m (à exporter) Nom du firmware de test :<Nom du projet><Version>.TEST.hex *Nom du firmware de calibration : <Nom du projet><Version>.CALIBRATION.hex* *Nom du firmware opérationnel: <Nom du projet><Version>.hex* Répertoire pour le linker : /usr/share/gptuils/lkr (à exporter) Script du PIC pour le linker : <Répertoire pour le linker><Processeur>.lkr (à exporter) Répertoire des Include : -I../src/sw/inc
Outils	AS : gpasm (assembleur) LD : gplink (linker)
Flags	Flags pour le linker : --map -c -s (génère un fichier .map, génère un fichier objet, spécifier le fichier script pour le linker) Flags pour l'assembleur : -c (génère un fichier objet) -D<Version du firmware » flag pour la génération du firmware de test par l'assembleur : TEST flag pour la génération du firmware de calibration par l'assembleur : *CALIBRATION (pour le firmware de calibration)*
Composants	Composants : lcd, eep, readadc, calc, flh
Fichiers sources	Fichiers sources communs à tous les firmware : main.asm, ../src/sw/data/swversion.asm Fichiers sources du firmware de test : ../src/sw/data/adc_theoric_cal.asm
Objets	objets communs en mode test : [pour chacun des fichiers sources communs à tous les firmwares : <nom du fichier source sans l'extension .asm>.TEST.o] objets du firmware de test [pour chacun des fichiers sources du firmware de test : <nom du fichier source sans l'extension .asm>.o], objets de tests : les objets communs en mode test, les objets du firmware de test
Librairies	librairies de test : [pour chacun des composants : libtest<Nom du composant>.a] librairies de calibration : [pour chacun des composants : libcalib<Nom du

	composant>.a Librairies opérationnelles : [pour chacun des composants : <Nom de chaque composant>.a]
Règles de compilation	All : -applique les règles du firmware de test, *calibration et opérationnel* -rule_operationnel -appliquer les règles du firmware opérationnel *rule_calibration :* *-appliquer les règles du firmware de calibration* rule_test : -appliquer les règles du firmware de test *Règle du firmware opérationnelles :* *-appliquer les règles des objets opérationnels, les règles de la librairie opérationnelles* *-linker* *-effacer* *-effacer* Règle du firmware de test : -appliquer les règles des objets de test, les règles de la librairie de test -linker avec les flags du linker, avec le script du linker, les objets de test, les librairies de test, vers le firmware de test en ../bin/<Nom du firmware de test> -effacer les fichier objets de tests, les librairies de test -effacer tous les fichiers *.lst *règle de la librairie opérationnelle* *-faire le make, avec le flag -C, de la librairie opérationnelle de ../src/sw/<Nom du composant associé à la librairie>* règle de la librairie de test : -faire le make, avec le flag -C, de la librairie de test de ../src/sw/<Nom du composant associé à la librairie> Règle d'un objet de test commun issu des sources communes à tous les firmware assembler avec les flags de l'assembleur, le flag du firmware de test, pour le processeur, avec le répertoire des Includes, le fichier source commun à tous les firmware associé à l'objet, en un objet commun à tous les firmware en mode test *Règle d'un objet du firmware opérationnel* *assembler avec les flags de l'assembleur, pour le processeur, avec le répertoire des Includes, le fichier source spécifique au mode de test, en un objet du firmware opérationnel* Règle d'un objet du firmware de test assembler avec les flags de l'assembleur, le flag du firmware de test, pour le

	processeur, avec le répertoire des Includes, le fichier source spécifique au mode de test, en un objet du firmware de test Règle de clean : efface tous les fichiers de ../bin

```
$ cd prj
//Génération du firmware en mode TEST
$ make rule_test
//Génération du firmware en mode CALIBRATION
$ make rule_calibration
//Génération de tous les firmwares
$ make all
```

5.4.1.2-Main.asm

Fonctions	Fonction principale, point d'entrée du logiciel
Nom	Init
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	• CONFIG : OSC = INTIO2 ; Internal Osc with FOSC/4 -RA6 and RA7 = I/O FSCM = OFF ; Fail-Safe Clock Monitor disabled IESO = OFF ; Internal External Switch Over mode disabled PWRT = OFF ; Power up timer disabled BOR = OFF ; Brown out reset disabled WDT = OFF ; Watch dog timer off MCLRE = OFF ; MCLRE off (pin available for input) LVP = OFF ; Low voltage programming disabled DEBUG = OFF ; Background debugger off CONFIG • Initialisation PIC OSCCON = 4MHz TRISA = RA0, RA1 input TRISB = PortB Outputs INTCON = disable all interrupts INTCON2 = disable all interrupts - PORTB pull-up disable INTCON3 = disable all interrupts IPR1, IPR2 = clear, no priority is used PIE1, PIE2 = Individualy disable interrupts RCON = Disable priority levels EECON1 = clear EEPROM control register WDTCON = stop watchdog

	CCP1CON = Capture/Compare/PWM of
	
	• Initialisation ADC
	• Initialisation LCD
	
	• Afficher le message de boot (f_lcd_affboot)
	• Tempo de 5s
	  ◦ temporisation de 2,5s (f_tempo_boot)
	  ◦ temporisation de 2,5s (f_tempo_boot)
	• Effacer le LCD (f_lcd_clear)
	• Positionner le curseur du LCD sur la ligne 1 (f_lcd_setposcursor)
	
	#Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
	• afficher le message du mode test (lcd_aff_fwd_and_ref)
	• Dans une boucle infinie
	  ▪ lire les registres ADCfwd et ADCref (f_adc_readAN0, f_adc_readAN1)
	  ▪ afficher la mesure des ADC en mode test (lcd_affadc)
	  ▪ Convertir la mesure des ADC en mV (calc_adcmV)
	  ▪ Affichage de la mesure en tension des ADC en mode test (lcd_affadcmV)
	#FIN
	
	#Le code ci-dessous n'est pas assemblé dans le firmware de test
	#Le code ci-dessous n'est pas assemblé dans le firmware de calibration
	• *Tester la phase (calibration ou mesure)*
	• *Si le boîtier est en phase « calibration »*
	#FIN
	  ◦ *afficher le message de calibration (lcd_affcalib)*
	  ◦ *Dans une boucle infinie*
	  ▪
	#Le code ci-dessous n'est pas assemblé pour le firmware de calibration
	• *Sinon*
	  ◦ *Dans une boucle infinie :*
	  ▪
	  ▪
	  ▪
	#FIN

Fonctions	Temporisation de 2,5 secondes
Nom	f_tempo_boot
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	Appeler 10 fois un délai de 250ms

5.4.2/sw/inc

5.4.2.1-lcd.inc

Contient les define du LCD.

5.4.2.2-eep.inc

Contient le plan mémoire de l'EEPROM

__EEPROM_START	__SW_VERSION_EEP_ADDR	Version du logiciel
__EEPROM_START + 5	*__OFFSET_CAL_TABLE*	*Offset de calibration*

5.4.3-/sw/lcd

5.4.3.1-driver.asm :

Fonction	Routines de temporisation et pulse
Nom	
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	http://digitaldiy.io/articles/mcu-programming/assembly/55-assembly-example/114-mpasm-tutorial-liquid-crystal-display-lcd#.Wi5383mDO9I

Fonction	Envoi d'une commande au LCD
Nom	_f_lcd_sendcmd
Paramètres entrée	W(1 byte) : contient la commande
Paramètres sorties	
Traitements	

Fonction	Positionner le curseur du LCD
Nom	f_lcd_setposcursor
Paramètres entrée	W(1 byte) : contient la position du curseur 0-15 : 1ère ligne 16-31 : 2ème ligne
Paramètres sorties	
Traitements	1. Si le curseur doit être positionné sur la première ligne : W = W + 0x80 Si le curseur doit être positionné sur la deuxième ligne : W = W + 0xC0 2. Envoi de la commande au LCD (lcd_sendcmd)

Fonction	Efface le LCD
Nom	f_lcd_clear
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitement	1. W=0x01 2. Envoi de la commande au LCD (lcd_sendcmd)

Fonction	Positionne le curseur sur la 2ème ligne
Nom	f_lcd_setposL2
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	1. W=0xC0 2. Envoi de la commande au LCD (lcd_sendcmd)

Fonction	Conversion hexa-ASCII
Nom	f_lcd_convtoascii
Paramètres entrée	W (1 quartet) : contient le quartet de poids faible à convertir
Paramètres sorties	W (1 byte) : contient l'octet converti
Traitements	W=W + 0x30

Fonction	Conversion hexa-BCD
Nom	f_lcd_convtobcd
Paramètres entrée	v_hexa_to_conv (2 bytes) : 2 octets à convertir en BCD
Paramètres sorties	v_bcd (2 bytes) : 2 octets convertis en BCD
Traitements	http://www.microchip.com/forums/m322713.aspx

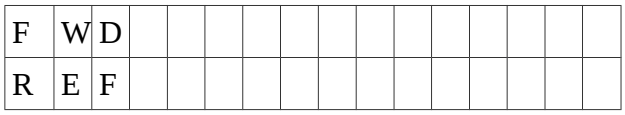
Fonction	Initialisation du LCD
Nom	f_lcd_init
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	• Configurer le LCD en mode 4 bits • effacer le RAM du LCD • allumer le curseur • allumer le LCD • effacer le LCD

Fonction	Affichage d'un caractère
Nom	f_lcd_affchar
Paramètres entrée	W(1 byte) : contient le caractère à afficher à la position courante du curseur
Paramètres sorties	
Traitements	

5.4.3.2-aff.asm :

Fonction	Affichage du message de boot
Nom	f_lcd_affboot
Paramètres entrée	-c_bootmsgL1 : zone mémoire (15 bytes) contenant le message de boot ligne 1 -c_bootmsgL2 : zone mémoire (5 bytes) contenant le message de boot ligne 2 -c_data_swversion : zone EEPROM (5bytes) contenant la version courante du logicielle
Paramètres sorties	S W R - P O W E R m e t e r F 8 K G L V 0 . 5
Traitements	1. v_charpos = 0x00 2. Afficher le message de boot ligne 1 Tant que W≠0 o Récupérer 1 caractère du message de boot ligne 1 (c_bootmsgL1) dans W o Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) o Incrementer v_charpos 3. Positionner le curseur sur la ligne 2, 4ème case : o W=0x10 o Positionner le curseur du LCD (f_lcd_setposcursor) 4. v_charpos = 0x00 5. Afficher le message de boot ligne 2 Tant que W≠0 o Récupérer 1 caractère du message de boot ligne 2 (c_bootmsgL2) o Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) o Incrementer v_charpos 6. Positionner le curseur sur la ligne 2, 10ème case : o W=0x1C o Positionner le curseur du LCD (f_lcd_setposcursor) 7. v_charpos = 0x00 8. afficher la version Tant que W≠0 o W ← v_charpos o Récupérer le caractère en EEPROM (f_eep_readbyte) dans W o Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar)

	o Incrementer v_charpos 9. FIN

Fonction	Affichage du message du mode test #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	f_lcd_aff_fwd_and_ref
Paramètres entrée	-c_testmsgL1 : zone mémoire (7bytes) contenant le message de calibration L1 -c_testmsgL2 : zone mémoire (7bytes) contenant le message de calibration L2
Paramètres sorties	
Traitements	1. v_charpos = 0x00 2. Afficher le message de calibration ligne 1 Tant que W≠0 o Récupérer 1 caractère du message de calibration ligne 1 (c_testmsgL1) dans W o Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) o Incrementer v_charpos 3. Positionner le curseur sur la ligne 2 : o W=0x10 o Positionner le curseur du LCD (f_lcd_setposcursor) 4. v_charpos = 0x00 5. Afficher le message de calibration ligne 2 Tant que W≠0 o Récupérer 1 caractère du message de calibration ligne 2 (c_testmsgL2) o Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) o Incrementer v_charpos

Fonction	Affichage d'1 octet en hexa sur le LCD
Nom	f_lcd_affhexa
Paramètres entrée	W : contient l'octet en hexa à afficher
Paramètres sorties	
Traitements	1. v_tmp = W 2. swapper les quartets de v_tmp, et mettre le résultat dans W 3. Appliquer un masque sur les bits de poids fort sur W 4. Convertir le quartet de poids faible en ASCII (f_lcd_convtoascii) 5. Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) 6. W=v_temp&0F 7. Convertir le quartet de poids faible en ASCII (f_lcd_convtoascii) 8. Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar)

Fonction	Affichage de la mesure des ADC en mode test #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	f_lcd_affadc
Paramètres entrée	v_adcfwd (2bytes) : résultat de l'ADC AN0 sur 10 bits v_adcref (2bytes) : résultat de l'ADC AN1 sur 10 bits
Paramètres sorties	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>u</td><td>u</td><td>u</td><td>u</td><td>h</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>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>h</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>
Traitements	1.positionner le curseur sur la ligne 1, 5ème case 2.W=v_adcfwd 3.Afficher un octet en hexa (f_lcd_affhexa) 4.W =v_adcfwd +1 5.Afficher un octet en hexa (f_lcd_affhexa) 6. W=’h’ 7.Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) 8. W=’-’ 9.Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) 10.positionner le curseur sur la ligne 2, 5ème case 11.W=v_adcref 12.Afficher un octet en hexa (f_lcd_affhexa) 13.W =v_adcref +1 14.Afficher un octet en hexa (f_lcd_affhexa) 15. W=’h’ 16.Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar) 17. W=’-’ 18.Afficher 1 caractère sur le LCD (f_lcd_affchar)

Fonction	Affichage de la mesure en tension des ADC en mode test #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	f_lcd_affadcmV
Paramètres entrée	v_adcfwd_mV (2bytes) : résultat de l'ADC en mV compris entre [0;5000] v_adcref_mV (2bytes) : résultat de l'ADC en mV compris entre [0;5000]
Paramètres sorties	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>v</td><td>v</td><td>v</td><td>v</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>y</td><td>y</td><td>y</td><td>y</td><td>m</td><td>V</td></tr></table>
Traitements	1.positionner le curseur sur la ligne 1, 11ème case 2.v_hexa_to_conv = v_adcfwd_mV 3.v_hexa_to_conv +1 = v_adcfwd_mV +1 4. Conversion hexa-BCD (f_lcd_convtobcd) ; 5. W = v_bcd 6. Affichage d'un octet en hexa (_f_lcd_affhexa) 7. W = v_bcd+1 8. Affichage d'un octet en hexa (_f_lcd_affhexa) 9. W = v_bcd+2

	10. Affichage d'un octet en hexa (_f_lcd_affhexa) 11. Afficher "mV" 12.positionner le curseur sur la ligne 2, 11ème case 13.v_hexa_to_conv = v_adcref_mV 14.v_hexa_to_conv +1 = v_adcref_mV +1 15. Conversion hexa-BCD (f_lcd_convtobcd) ; 16. W = v_bcd 17. Affichage d'un octet en hexa (_f_lcd_affhexa) 18. W = v_bcd+1 19. Affichage d'un octet en hexa (_f_lcd_affhexa) 20. W = v_bcd+2 21. Afficher "mV"

Fonction	*Affichage du message de calibration* *#le code ci-dessous n'est pas assemblé dans le firmware de test*
Nom	*f_lcd_affcalib*
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	

Fonction	*Affichage de la puissance du port FWD*
Nom	*f_lcd_affpfwd*
Paramètres entrée	*v_pfwd*
Paramètres sorties	
Traitements	

Fonction	*Affichage de la puissance du port REF*
Nom	*f_lcd_affpref*
Paramètres entrée	*v_pref*
Paramètres sorties	
Traitements	

Fonction	*Affichage du SWR*
Nom	*f_lcd_affpref*
Paramètres entrée	*v_p_ref*
Paramètres sorties	
Traitements	

5.4.4-/sw/calc

5.4.4.1-calc.asm

Fonction	Convertir la mesure des ADC en mV #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	f_calc_adcmV
Paramètres entrée	v_adcfwd (2bytes) : résultat de l'ADC AN0 sur 10 bits v_adcref (2bytes) : résultat de l'ADC AN1 sur 10 bits
Paramètres sorties	v_adcfwd_mV (2bytes) : résultat de l'ADC en mV en hexa v_adcref_mV (2bytes) : résultat de l'ADC en mV en hexa
Traitements	1. v_flh_offset_addr = v_adcfwd v_flh_offset_addr + 1 = v_adcfwd + 1 2. v_flh_offset_addr = 2*v_flh_offset_addr et propager la retenue 3. Lecture d'un octet en flash (f_flh_readword) 4.v_adcfwd_mV = v_flh_read 5.v_adcfwd_mV +1 = v_flh_read+1 6. v_flh_offset_addr = v_adcref v_flh_offset_addr + 1= v_adcref + 1 7. v_flh_offset_addr = 2*v_flh_offset_addr et propager la retenue 8. Lecture d'un octet en flash (f_flh_readword) 9.v_adcref_mV = v_flh_read 10.v_adcref_mV +1 = v_flh_read+1

Fonction	
Nom	

• *Paramètres entrée*	• *P_FWD* • *P_REF*
• *Paramètres sorties*	• *SWR*
• *Traitements*	• $SWR = \frac{ADCfwd + ADCref}{ADCfwd - ADCref}$

5.5.5-/sw/readadc

5.5.5.1-adc_pic.asm

Fonction	Initialisation des ADC
Nom	f_adc_init
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	• ADCON0[VCFG] : VREF+=VDD, VREF-=VSS

	• ADCON1 : ;RA0-RA1 analog channel • ADCON2 : ADFM = right justified – ACQT=16Tad – ADCS = Fosc/16

Fonction	Lire le résultat de la conversion A/N AN0
Nom	f_adc_readAN0
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	-v_adcfwd (2bytes) : résultat de l'ADC sur 10 bits
Traitements	1. Selectionner le canal à échantilloner (AN0) ADCON0(CHS2) = b'0' ADCON0(CHS1) = b'0' ADCON0(CHS0) =b'0' 2. Mise en service du convertisseur ADCON(ADON) = b'1' 3. Tempo de 20us 4.Lancer la phase de conversion ADCON0(G0)=b'1' 5. Tant ADCON0(G0)≠b'0' 6.v_adcfwd = ADRESH v_adcfwd(+1) = ADRESL

Fonction	Lire le résultat de la conversion A/N AN1
Nom	f_adc_readAN1
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	-v_adcref (2bytes) : résultat de l'ADC sur 10 bits
Traitements	1. Selectionner le canal à échantilloner (AN1) ADCON0(CHS2) = b'0' ADCON0(CHS1) = b'0' ADCON0(CHS0) =b'1' 2. Mise en service du convertisseur ADCON(ADON) = b'1' 3. Tempo de 20us 4.Lancer la phase de conversion ADCON0(G0)=b'1' 5. Tant ADCON0(G0)≠b'0' 6.v_adcref = ADRESH v_adcref(+1) = ADRESL

5.5.5.2-adc_maxim.asm

5.5.5.3-MAX11100.asm

5.5.5.4-MAX4624.asm

5.4.6-/sw/eep/

5.4.6.1-driver.asm

Fonction	Lecture d'un octet en EEPROM
Nom	f_eep_readbyte
Paramètres entrée	-W : contient l'offset à partir de __EEPROM_START de l'adresse à lire en EEPROM
Paramètres sorties	-W : contient l'octet lu en EEPROM
Traitements	• EADDR = W • EECON1(EEPGD) = b'0' • EECON1(RD) = b'1' • W ← EEDATA

5.4.7-/sw/flh/

5.4.7.1-driver.asm

Fonction	Lecture d'un octet en flash
Nom	f_flh_readword
Paramètres entrée	v_flh_offset_addr (2 bytes) : contient l'offset du mot à lire en flash à partir du début de la table
Paramètres sorties	v_flh_read (2 bytes) : contient le mot de 16 bits lu
Traitements	1. Mettre le poids faible de l'offset dans W 2. Ajouter à W l'adresse absolue de la tahle 3. Propager la retenue dans le poids fort de l'offset 4. Placer l'adresse de poids faible dans TBLPTRL 5.Placer l'adresse de poids fort dans TBLPTRH 6. Mettre 0x00 dans TBLPTRU 7.Vérifier le non dépassement de la table, sinon renvoyer la valeur max de la table 8.Lire la table, et incrémenter le pointeur 9. Transférer le contenu dans v_flh_read+1 10.Lire la table, et incrémenter le pointeur 11. Transférer le contenu dans v_flh_read

5.4.8-/sw/data/

5.4.8.1-swversion.asm

Fonction	Message de version courante du logiciel
Nom	N/A
Paramètres entrée	N/A
Paramètres sorties	N/A
Traitements	Zone mémoire (5 bytes) dédiée au stockage de la version du logiciel « Vn.m »,0x00 Cette zone de mémoire est placée au début de l'EEPROM (0x2100). Cette zone mémoire doit se terminer par l'octet 0x00. Cette zone mémoire est remplie au moment de l'assemblage.

5.4.8.2-adc_theoric_caltable.asm

Fonctions	Table de calibration théorique de l'ADC
Nom	c_data_adc_theoric_caltable
Paramètres entrée	
Paramètres sorties	
Traitements	Zone de mémoire dédiée au stockage de la calibration du détecteur HF. Zone en flash à l'adresse défini dans le makefile #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test #cette table est la conversion brute d'une valeur hexa en mV (§3.1)

0x0000	0x0000
0x0001	0x0005
...	...
0x3FE	0x137E
0x3FF	0x1383

5.4.8.2-lcdmsg.asm

Fonctions	Message de boot ligne 1 du LCD
Nom	c_bootmsgL1
Paramètres entrée	v_charpos : position du caractère à retourner
Paramètres sorties	W (1 byte) : contient le caractère ou 0x00 si pas de caractère

Traitements	Zone mémoire dédiée au stockage du message de boot (ligne 1 du LCD) contenant la chaîne suivante : « SWR-POWER meter » • Additionner le pointeur de programme avec v_charpos • Retourner le caractère contenu en mémoire à cette position dans W • Fin de chaîne = retourner 0x00 dans W

Fonctions	Message de boot ligne 2 du LCD
Nom	c_bootmsgL2
Paramètres entrée	v_charpos : position du caractère à retourner
Paramètres sorties	W (1 byte) : contient le caractère ou 0x00 si pas de caractère
Traitements	Zone mémoire dédiée au stockage du message de boot (ligne 2 du LCD) contenant la chaîne suivante : « F8KGL » • Additionner le pointeur de programme avec v_charpos • Retourner le caractère contenu en mémoire à cette position dans W • Fin de chaîne = retourner 0x00 dans W

Fonctions	Message du mode test L1 du LCD #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	c_testmsgL1
Paramètres entrée	v_charpos : position du caractère à retourner
Paramètres sorties	W (1 byte) : contient le caractère ou 0x00 si pas de caractère
Traitements	Zone mémoire dédiée au stockage du message du mode test (ligne 1 du LCD) contenant la chaîne suivante : « FWD » avec un espace à la fin • Additionner le pointeur de programme avec v_charpos • Retourner le caractère contenu en mémoire à cette position dans W • Fin de chaîne = retourner 0x00 dans W

Fonctions	Message du mode test L2 du LCD #Le code ci-dessous est assemblé uniquement dans le firmware de test
Nom	c_testmsgL2
Paramètres entrée	v_charpos : position du caractère à retourner
Paramètres sorties	W (1 byte) : contient le caractère ou 0x00 si pas de caractère

Traitements	Zone mémoire dédiée au stockage du message de boot (ligne 2 du LCD) contenant la chaîne suivante : « REF » avec un espace à la fin • Additionner le pointeur de programme avec v_charpos • Retourner le caractère contenu en mémoire à cette position dans W • Fin de chaîne = retourner 0x00 dans W

5.5-Plan mémoire

section	Adresse de début – adresse de fin	Taille (octets)	Plan mémoire
.code	0x0000-0x1FFF	8K	0x0000-0x13FF : programme + table de calibration
.s_eep	0xf00000-0xF000FF	256	0x2100-0x2103 : version 0x2104-*0xAAAA* : *offset calibration*
.data	0x80-0xFF (bank 0)	127	0x80-0xFF : variables