

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

مستغانم باديس بن الحميد عبد جامعة

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE

ELECTRIQUE



N° d'ordre : M.../Ge/2021

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filiere : Electronique

Specialité : Electronique Des Systèmes Embarqué

Par

BENBADRA Mohamed Enadir

Intitulé du sujet

Remplacement du CAN intégré au MCU par un vrai CAN externe plus performant (SAR ADC)

Président :	Mr. HENNIS	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mm. BENCHALLAL.A	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mm. BERROUCHDIA	MAA	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2020/2021

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

À ma mère.

À mon père.

À mes frères.

À tout ma famille.

À mes amis et mes collègues

De la promotion 2021 « Électronique des systèmes embarqués ».

*À tous les enseignants qui m'ont aidée notamment (Mr. Azzedine, Mr
Bentoumi, Mon Encadrante)*

Benbadra Mohamed Enadir



TABLE DES MATIERES

Introduction Générale

1.Introduction.....	02
2.Organisation de travail.....	02
CHAPITRE I : Généralités sur la chaine d'acquisition de donnés	
I.1. Introduction.....	04
I.2. Système d'acquisition de données.....	04
I.3. Les signaux d'une chaine de d'acquisition.....	04
I.3.1. Signaux électriques.....	04
I.3.2. Signaux analogiques.....	04
I.3.3. Signaux numériques.....	05
I.4. Caractéristiques d'un signal analogique	05
I.4.1 Niveau.....	06
I.4.2 Forme.....	06
I.4.3 Fréquence.....	06
I.5. Caractéristiques d'un signal numérique	06
I.5.1. Etat.....	06
I.5.2. Fréquence.....	06
I.6. Structure d'une chaine de données.....	07
I.6.1. Chaine d'acquisition numérique.....	07
I.6.2. Capteurs analogiques.....	08
I.6.2.1. Capteurs actifs.....	08
I.6.2.2. Capteurs passifs.....	09
I.7. Circuits électroniques de mise en forme	10
I.7.1. Amplificateurs électroniques	10
I.7.2. Filtre électronique	10
I.8. Conversion analogique numérique du signale.....	11
I.8.1. Échantillonnage	12
I.8.2. Echantillonnage Bloqueur	12
I.8.3. Numérisation	12
I.8.3.1. Quantification.....	13
I.8.3.2. Codage.....	13
I.9. Caractéristiques de transfert d'un CAN.....	13
I.9.1. Résolution.....	13
I.9.2. Pleine Echelle.....	13
I.9.3. Quantum.....	14
I.9.4. Erreur de quantification.....	14
I.9.5. CAN Bipolaire.....	15
I.9.6. Bruit de quatification.....	15
I.9.7. Le rapport signal sur bruit (SNR).....	15
I.10. Traitement de signal numérique	16
I.10.1. Avantages de traitement numérique	16
I.11. Conclusion.....	17

CHAPITRE II : CAN interne du MCU et en externe de 12 bits via interface SPI

II.1. Introduction.....	19
II.2. Les microcontrôleurs (PIC).....	19
II.2.1. Généralités sur les microcontrôleurs (PIC).....	19
II.3.2. Programmation des (PICs).....	19
II.3.3. Classification des (PICs).....	19
II.3.4. La famille mid-range (16 FXXX)	20
II.3.5. Le choix du microcontrôleur	21
II.3. Le convertisseur analogique numérique (CAN).....	21
II.3.1. Structure interne du module CAN.....	23
II.4. Communication via SPI.....	23
II.4.1. L'interfaçage SPI.....	23
II.4.2. Présentation de la communication SPI.....	23
II.5. Module de communication SPI Microcontrôleurs PIC.....	24
II.6. Convertisseur analogique numérique externe.....	25
II.7. Configuration matérielle.....	26
II.7.1. Arrondissement et raccordement d'alimentation	27
II.8. Configuration et fonctionnement des pins.....	27
II.8.1. Interface série (ltc2366)	28
II.8.2. Transfert de données via SPI	29
II.9. Caractéristiques et performances (ltc2366).....	30
II.10. Avantage du (ltc2366) par rapport au CAN intégrés du MCU.....	30
II.13. Applications.....	30
II.13.1. Exemple d'application.....	31
II.13. Conclusion.....	32

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

III.1. Introduction.....	34
III.2. Généralités sur le logiciel " MikroC PRO for PIC ".....	34
III.2.1. Les fonctionnalités du logiciel " MikroC PRO for PIC ".....	34
III.3. Les routines de fonctions intégrées.....	34
III.4. Librairie SPI.....	35
III.5. Généralités sur le logiciel "PROTEUS ".....	35
III.6. Package de proteus.....	36
III.7. Outil utilisé dans la simulation Proteus.....	36
III.8. Programmation et simulation du CAN intégrés au MCU.....	37
III.8.1. Programmation et simulation du CAN intégrés à 10 bits	37
III.9. Programmation et simulation du CAN intégrés à 8 bits	39
III.10. Programmation du CAN externes (LTC2366) avec MCU.....	40
III.11. Architecture (SAR ADC).....	41
III.12. Généralités sur le logiciel « LT Spice »	41
III.13. Simulation du circuit associé au (LTC2366).....	42
III.14. Conclusion.....	44

Conclusion générale

Conclusion..... 46

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE..... 48

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur la chaîne d'acquisition de données

Figure (I.1) : Signal analogique et numérique.....	5
Figure (I.2) : Les caractéristiques d'un signal analogique.....	6
Figure (I.3) : L'ensemble des éléments de la chaîne de données.....	7
Figure (I.4) : La chaîne d'acquisition numérique.....	7
Figure (I.5) : le dispositif du capteur et son rôle dans la chaîne de mesure.....	8
Figure (I.6) : Amplification d'un signal analogique.....	10
Figure (I.7) : Un exemple sur caractéristiques d'un filtre passe bas.....	10
Figure (I.8) : Les éléments d'une chaîne de conversion.....	11
Figure (I.9) : Conversion d'un signal de l' analogique vers le numérique.....	12
Figure (I.10) : Application de Théorème de Shannon.....	12
Figure (I.11) : Caractéristique de transfert d'un CAN bipolaire.....	15

CHAPITRE II : CAN interne du MCU et en externe de 12 bits via interface SPI

Figure (II.1) : Illustration du pic (18F877A).....	21
Figure (II.2) : Registre ADCON0.....	21
Figure (II.3) : Registre ADCON1.....	22
Figure (II.4) : Structure d'architecture interne (PIC16F877A)	23
Figure (II.5) : Liaison SPI maitre-esclave.....	24
Figure (II.6) : Amplificateur couplé à une alimentation unique pour les changements de niveau d'entrée associé au (LTC2366)	26
Figure (II.7) : FFT affiche un faible bruit et Distorsion.....	26
Figure (II.8) : Les deux configurations possibles de pins disponible (LTC2366).	28
Figure (II.9) : Transfert de données via SPI.....	29
Figure (II.10) : Une application d'oxymétrie de pouls utilisant le (LTC2366)	32
Figure (II.11) : Exemple d'imagerie numérique par rayons X, qui nécessite généralement un CAN d'au moins 12 bits de résolution et 1 Msps ou plus.....	32

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

Figure (III.1) : Librairies routines SPI du logiciel micro C	35
Figure (III.2) : La page d'accueil du simulateur proteus.....	36
Figure (III.3) : Programmation de CAN intégrés du PIC (16F877A).....	37
Figure (III.4) : Simulation de CAN a 10 bits intégrés du PIC (16F877A) avec une variation de 100%.	38
Figure (III.5) : Simulation de CAN a 10 bits intégrés du PIC (16F877A) avec une variation de 33%	38
Figure (III.6) : Programmation de CAN intégrés à 8 bits du PIC (16F877A)	39
Figure (III.7) : Simulation de CAN intégrés à 8 bits du PIC (16F877A)	40

Figure (III.8) : Programmation du CAN externes (LTC2366) a 12 bits du PIC (16F877)	41
Figure (III.9) : Circuit associer au (ltc2366) en architecture (SAR ADC)	42
Figure (III.10) : Courbe de la tension sinusoïdale a la sortie de l'amplificateur (LT6202)	43
Figure (III.11) : Courbe montrant les valeurs échantillonnées d'un signal amplifier.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I-1) : Grandeurs d'entrée et de sortie et effet utilisé pour les capteurs actifs.....	8
Tableau (I-2) : Type de matériaux et caractéristiques électriques utilisé en capteurs passifs.....	9
Tableau (I.3) : La résolution des CAN en fonction de leurs nombre de bits.....	13
Tableau (I.4) : Quantum d'un CAN en fonction de sa résolution $V_{pe}=5V$	14

GLOSSAIRE

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

DSP : Digital Signal Processor

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

MCU : Micro controller unit

ASIC : Circuit intégré propre à une application

MSB: *Most Significant bit*

LSB: *Least Significant Bit*

PC : Personal Computer

VPE : Plage de Variation Electrique

SNR: Rapport Signal Bruit

ROM: *Read Only Memory*

EPROM: *Erasable Programmable Read-Only Memory*

EEPROM: *Electrically-Erasable Programmable Read- Only Memory*

UVEPROM: Ultra Violet Programmable Read Only Memory

CAN SAR : Convertisseurs à approximations successives

3D: 3 Demotions

DRC: Design Rule Checking

DXF : Sigle de Drawing eXchange Format

BIT MAP : Format de stockage d'image

Résumé

Ce Project consiste à faire une étude sur la conversion analogique numérique dans une chaîne d'acquisition de données en utilisant le (LTC 2366) fournis par la société ANALOG DEVICES accompagné d'un Amplificateur (LT6202) fournis par la même société associé à un Microcontrôleur de la famille PIC (16Fxxx) dans premier temps.

L'étude effectuée en utilisant le logiciel de simulation (LT Spice) sur le bloc du (LTC2366) suivant l'architecture (SAR ADC) montrent les grandes performances de ce dernier bien traduite dans l'échantillonnage.

Mot clés : le (LTC 2366) ; (LT6202) ; (LT Spice) ; (SAR ADC).

Abstract

This Project consists in carrying out a study on the analog-to-digital conversion in a data acquisition chain using the (LTC 2366) provided by the company ANALOG DEVICES accompanied by an Amplifier (LT6202) provided by the same company associated with a Microcontroller of the PIC family (16Fxxx) first.

The study carried out using simulation software (LT Spice) on the block of (LTC2366) according to the architecture (SAR ADC) shows the great performances of the latter well reflected in the sampling.

Key Word : (LTC 2366) ; (LT6202) ; (LT Spice) ; (SAR ADC).

Introduction Générale

Les convertisseurs analogique-numérique (abrégé CAN ou plus couramment ADC en anglais) sont une constituante essentielle des systèmes analogique-numérique. Ils sont utilisés dans tout système nécessitant d'interfacer des éléments analogiques et numériques entre eux. Un exemple classique est celui des capteurs, ceux-ci produisent un signal analogique qui doit être converti pour être utilisé par un système numérique. Ils sont très présents dans le monde qui nous entoure et fournissent aux systèmes électroniques des données sur leur environnement comme la température ou la pression .

Une grande diversité de capteurs ou chaîne de mesure implique une large gamme de convertisseurs pour les interfacer. Il existe ainsi de multiples types d'ADC en termes de résolution, de taux de conversion où encore de consommation d'énergie et même pour de différentes architectures de circuits qui ont aussi leurs influences sur le rendement de notre processus ce qui nous pousse encore plus de revoir s'il y a de possibilité de faire remplacer les CAN ordinaires par des vrai CAN plus performant.

Ce mémoire a été structuré comme suit :

- ❖ Le premier chapitre est une forme de généralités sur le système d'acquisition de données numérique passant par l'analogique avec ses différents éléments de composition ses différentes caractéristiques de transfert.
- ❖ Le deuxième chapitre va être consacré au conversion interne a résolution de 8 et 10 bits du MCU, à l'interfaçage SPI entre le CAN (LTC 2366) indépendant et le processeur suivis d'un exemple d'application.
- ❖ Le troisième chapitre on illustre tous le bloc à l'aide le logiciel (Proteus Isis) après avoir programmer le MCU en utilisant le logiciel MicroC for PIC dans un premier temps, l'application de nouveau processus qui est l'architecture (SAR ADC) en admettant ceci au logiciel (LT Spice).
- ❖ En fin de ce mémoire nous présentons une conclusion générale de cette étude

CHAPITRE I

Généralités sur la chaîne d'acquisition de données

I.1. Introduction :

Les grandeurs physiques importantes sont généralement en analogique, pour les acquérir, on utilise des transducteurs ou des capteurs dont le rôle est de traduire n'importe quelle grandeur physique (température, pression, débit, poids ... etc.), en un signal électrique utilisable. Et comme, l'ordre de processus industriels avec une utilisation croissante des systèmes numériques et des PC pour effectuer le traitement des données. Les systèmes ont alors besoin des CAN's pour transformer des signaux analogiques en signaux numériques. Afin d'utiliser ces convertisseurs avec la bonne manière et dans les bonnes conditions, il est nécessaire de définir les paramètres qui permettent d'évaluer leurs performances ce qui donnent par la suite toute une chaîne de mesure ou d'acquisition de données.

I.2. Système d'acquisition de données :

Comme son nom l'indique, un système d'acquisition de données est un produit ou un processus utilisé pour collecter des informations afin d'enregistrer ou d'analyser des phénomènes. Avec l'avancement technique, ce type de processus a été simplifié et rendu plus précis, polyvalent et fiable grâce à des appareils électroniques. L'équipement va des simples enregistreurs aux systèmes informatiques complexes. En automatisation, le système d'acquisition de données représente l'interface entre le capteur et l'ordinateur. Le système se compose d'une carte de circuit imprimé et d'un logiciel, qui peuvent collecter automatiquement des informations analogiques ou numériques à partir de capteurs. [1,10]

I.3. Les signaux d'une chaîne de d'acquisition :**I.3.1. Signaux électriques :**

Un signal est sous forme d'une tension ou d'un courant et permet la représentation physique d'une information qui transite dans un système, de la source jusqu'au destinataire. (Figure I.1) [2]

I.3.2. Signaux analogiques :

Un signal analogique est un signal variable continuellement dans le temps, C'est le cas pour la plupart des paramètres de la physique classique qui les présente (température, poids, pression, vitesse... etc.). (Figure I.1). [3]

I.3.3. Signaux numériques :

Le signal numérique est représenté par un nombre binaire logique. Ces éléments binaires "bit" forment un mot. Un signal numérique n'est qu'une série de "0" et "1", il peut prendre un nombre infini de valeurs possibles. [3]

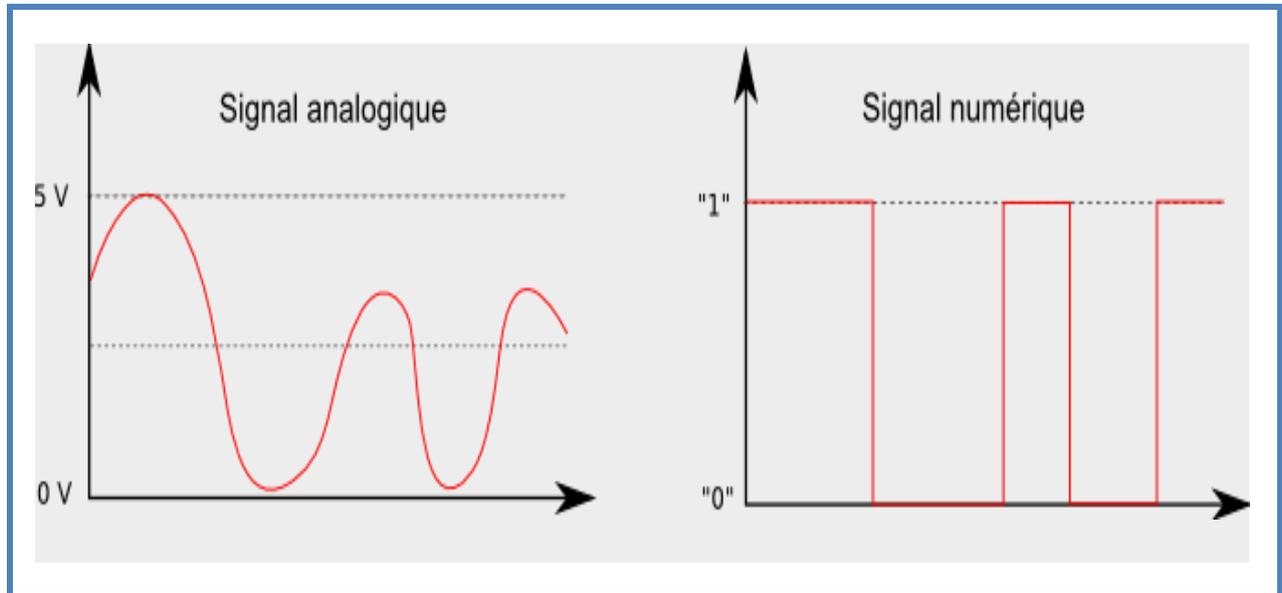


Figure (I.1) : Signal analogique et numérique.

I.4. Caractéristiques d'un signal analogique :

Dans sa forme analogique, un signal électrique (tension ou courant) se différencie des autres signaux par trois principales caractéristiques qui sont : la forme, le niveau et la fréquence. (Figure I.2).[4]

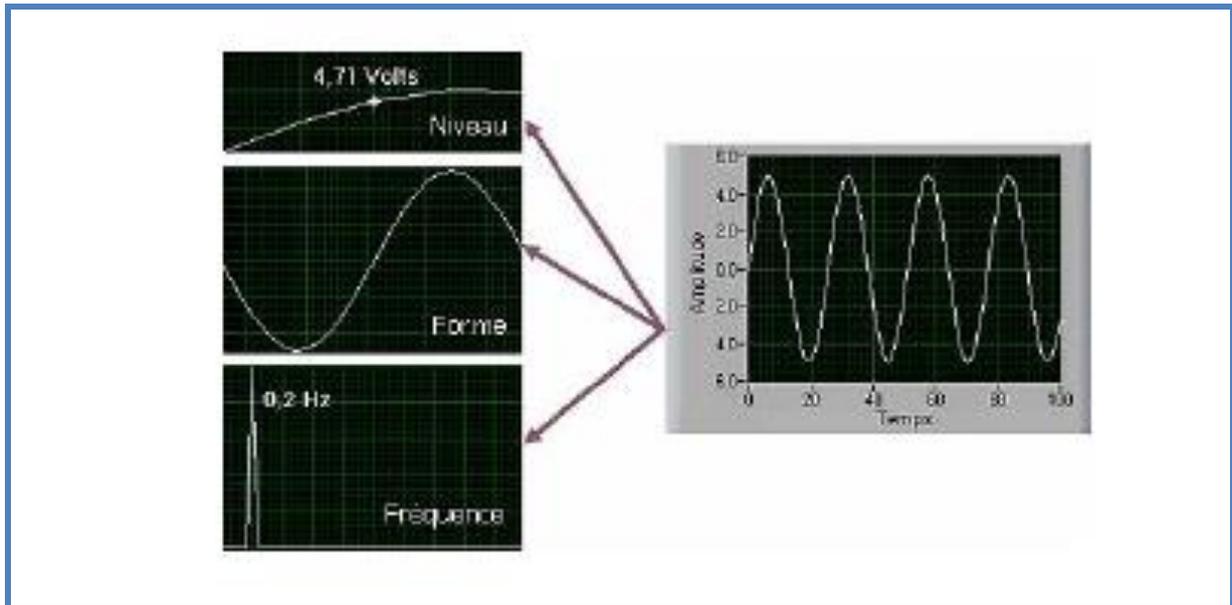


Figure (I.2) : Les caractéristiques d'un signal analogique.

I.4.1. Niveau :

Le niveau fournit des informations essentielles sur le signal analogique mesuré. [1,5]

I.4.2. Forme :

Certains signaux sont nommés d'après leurs formes : sinusoïdal, carré, en dents de scie et triangulaire. [1,5]

I.4.3. Fréquence :

Tous les signaux analogiques peuvent être catégorisés d'après leur fréquence, contrairement au niveau et à la forme d'un signal, la fréquence ne peut pas être mesurée directement. [1,5]

I.5. Caractéristiques d'un signal numérique :

On distingue le signal numérique par deux caractéristiques majeures

I.5.1. Etat :

Le signal numérique ne peut pas avoir une variation de valeur quelconque en fonction du temps contrairement au signal analogique, et se contente de 2 états de niveaux haut et bas ce que lui autorise d'avoir les paramètres d'activation ou la désactivation. [1,5]

I.5.2. Fréquence :

La fréquence détermine le changement d'état aux files du temps. [1,5]

I.6. Structure d'une chaîne de données :

La chaîne de données est un ensemble d'éléments nécessaires pour comprendre la valeur ou l'évolution d'un paramètre physique du système comme c'est montré à la figure suivante. [7]

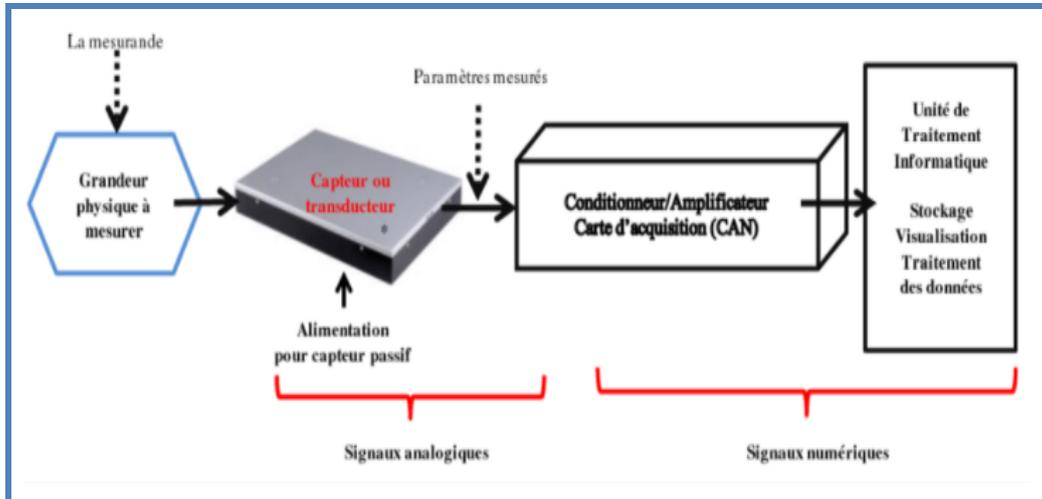


Figure (I.3) : L'ensemble des éléments de la chaîne de données.

I.6.1. Chaîne d'acquisition numérique :

La figure ci-dessous représente une chaîne d'acquisition numérique, constituée d'un transducteur utilisé pour convertir des grandeurs physiques en électricité (courant, tension, etc.), un amplificateur pour amplifier les signaux faibles, un système de filtrage à fin de supprimer le bruit et les différentes parasites et rendre le signal analogique adéquat et prêt pour l'opération de transformation de signal, puis effectuez une conversion analogique-numérique via échantillonneur bloqueur.[Figure I. 4][5]

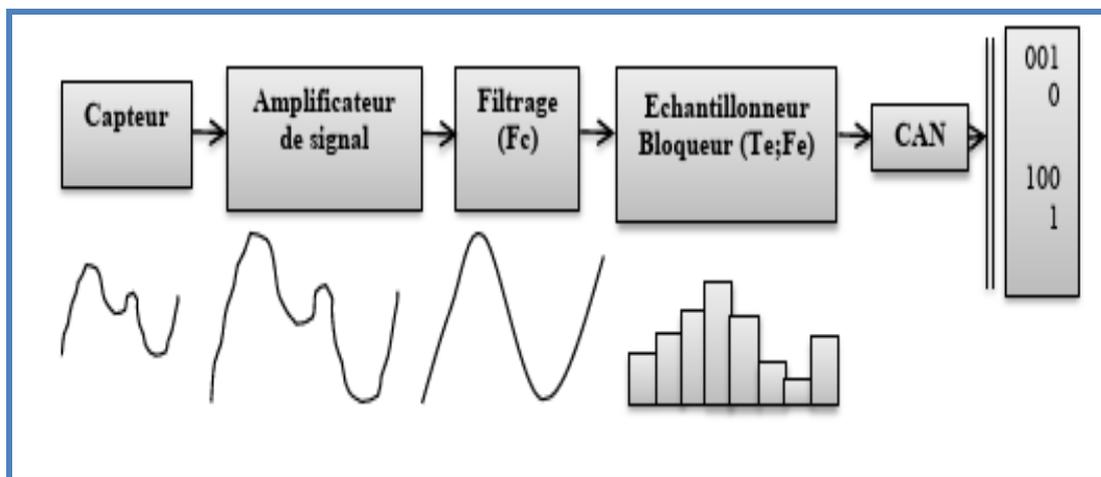


Figure (I.4) : la chaîne d'acquisition numérique.

I.6.2. Capteurs analogiques :

Un capteur est un dispositif qui convertit l'état d'une quantité physique à l'entrée observée en une quantité utilisable, telle que (la tension, la hauteur de mercure, la température, le poids, l'intensité ou la déviation de l'aiguille, la pression etc. ...) On confond souvent (à tort) le capteur et le transducteur : le capteur est constitué d'au moins un transducteur. La figure suivante montre le rôle qui joue le capteur plus précisément. [Figure I.5]. [1,8]

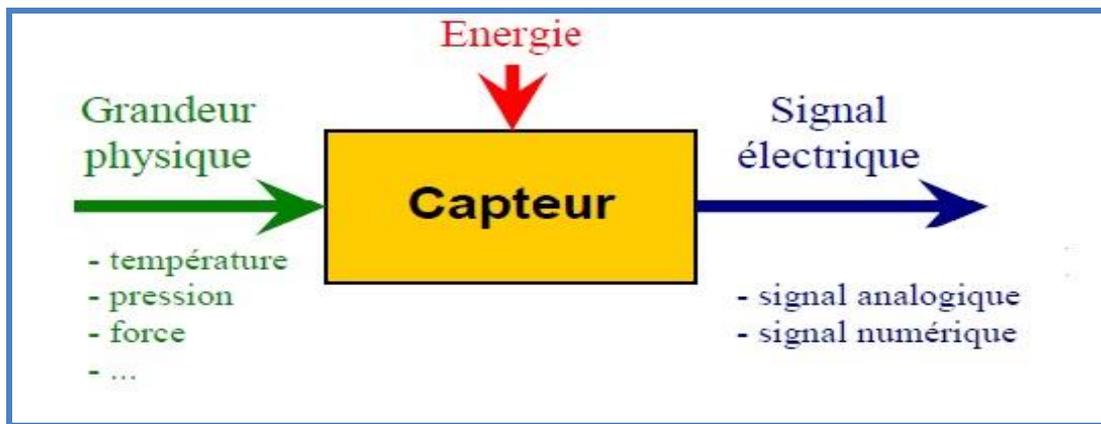


Figure (I.5) : le dispositif du capteur et son rôle dans la chaîne de mesure.

I.6.2.1. Capteurs actifs :

Fonctionnant comme un générateur donc ils n'ont pas besoin d'être alimentés. Les capteurs actifs sont généralement basés sur des effets physiques électrique directement. Voici des exemples sur le Tableau (I.1) [9]

Grandeurs physiques mesurées	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Temperature	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photoémission	Courant
Force	Effet photovoltaïque	Tension
Pression	Effet photo-électrique	Tension
Accélération	Piezo-électricité	Charge électrique
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

Tableau (I.1) : Grandeurs d'entrée et de sortie et effet utilisé pour les capteurs actifs.

I.6.2.2. Capteurs passifs :

Il s'agit généralement d'impédance [alimentation non autonome] dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique	Type de matériaux utilisé
Température	Résistivité	Métaux: Platine, Nickel, Cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, Silicium dopé
	Perméabilité	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants : Bismuth, Antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Tableau (I.2) : Type de matériaux et caractéristiques électriques utilisé en capteurs passifs.

I.7. Circuits électroniques de mise en forme :

Le circuit de mise en forme a pour rôle de conditionneur de signal. Pour réaliser ce traitement de signal, il faut garder l'information utile qui est importante dans la lutte d'acquisition d'informations de mesure. On se dirige vers 2 étapes avant de convertir le signal en numérique.

I.7.1. Amplificateur électronique :

Un amplificateur électronique est un système électronique qui augmente la puissance d'un signal électrique. L'énergie utilisée pour l'amplification est prélevée sur l'alimentation du système. (Figure I.6) [1,5]

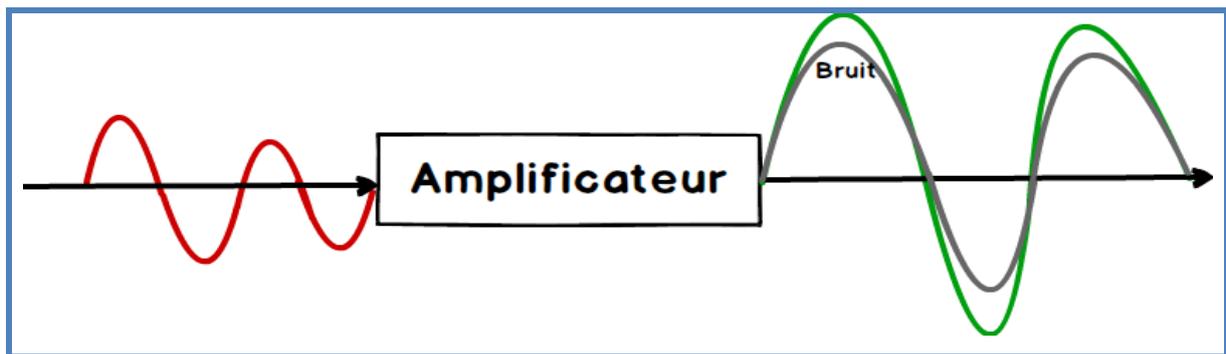


Figure (I.6) : Amplification d'un signal analogique.

I.7.2. Filtre électronique :

Un filtre électronique est un circuit qui effectue des fonctions volontaires qui façonnent la quantité d'électricité (courant ou tension) de sorte adéquate à notre circuit (Figure I.7). [1,5].

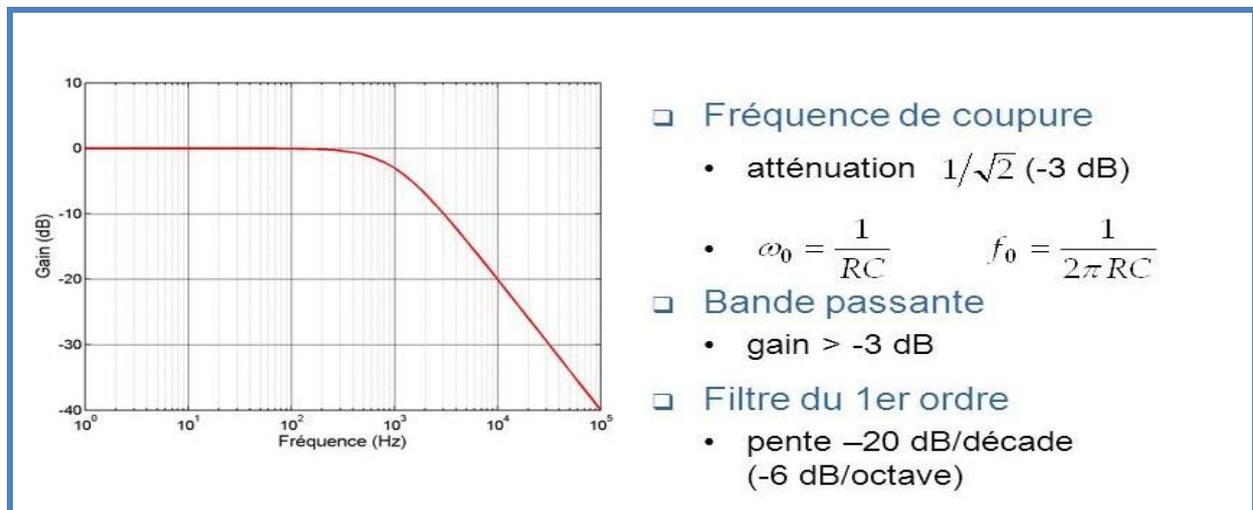


Figure (I.7) : Un exemple sur caractéristiques d'un filtre passe bas.

I.8. Conversion analogique numérique du signal :

La transformation d'un signal analogique en signal numérique est appelée conversion numérique ou encore numérisation. Un signal analogique, pour être converti en signal numérique, il doit être numérisé par un convertisseur analogique numérique. [11]

❖ *Principe de fonctionnement du CAN*

Nous nous intéressons maintenant à la façon de convertir des signaux analogiques (venus de La sortie du capteur) et les utilisée comme un signal numérique afin qu'il puisse être traité sous cette forme. Un convertisseur analogique-numérique (ADC) est un système qui permet de prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique provenant du monde qui nous entoure et le quantifier. Cette quantification permet un traitement numérique (numérisation) ultérieur des données échantillonnées. Pour Faire la conversion Analogique numérique, nous devons donc faire deux opérations principales, à savoir l'échantillonnage et la quantification. (Figure I.8)[13 ,5]

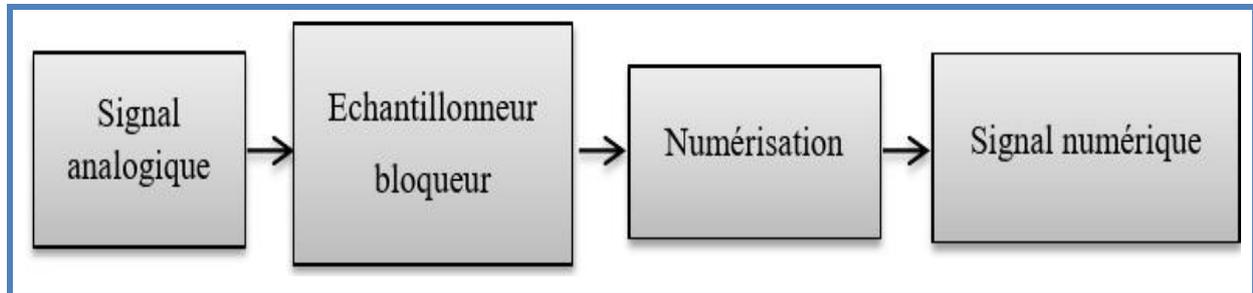


Figure (I.8) : Les éléments d'une chaîne de conversion.

Les fonctions remplies par chaque élément sont les suivantes :

- **Échantillonneur** : Obtenir la grandeur analogique à l'instant t .
- **Bloqueur** : Maintient cette grandeur pendant la numérisation.
- **Numérisation** : convertit le signal analogique bloqué en un nombre binaire (N bits).

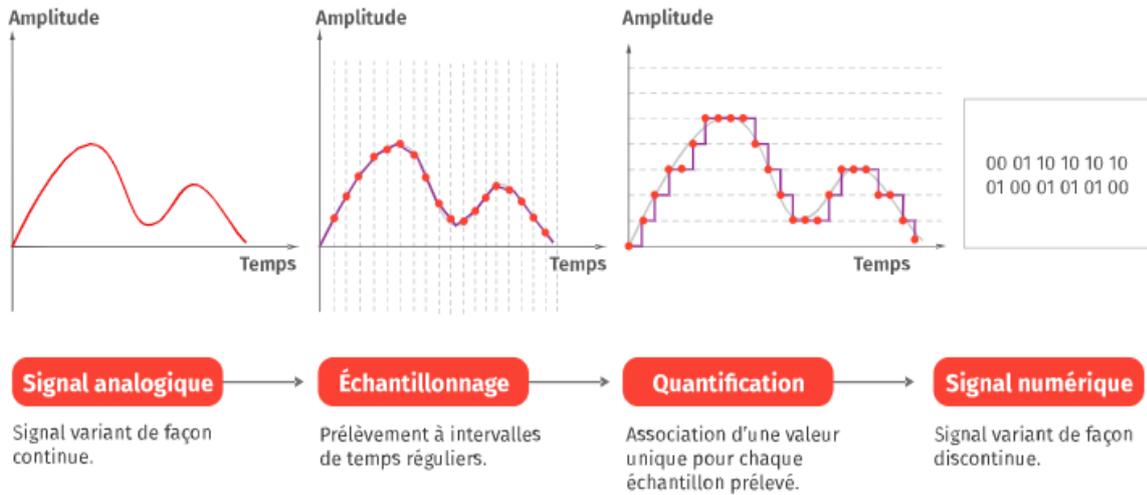


Figure (I.9) : Conversion d'un signal de l'analogique vers le numérique.

I.8.1. Echantillonnage :

L'échantillonnage d'un signal de fréquence f doit se faire à une fréquence d'échantillonnage f_e est supérieure à $2f$.

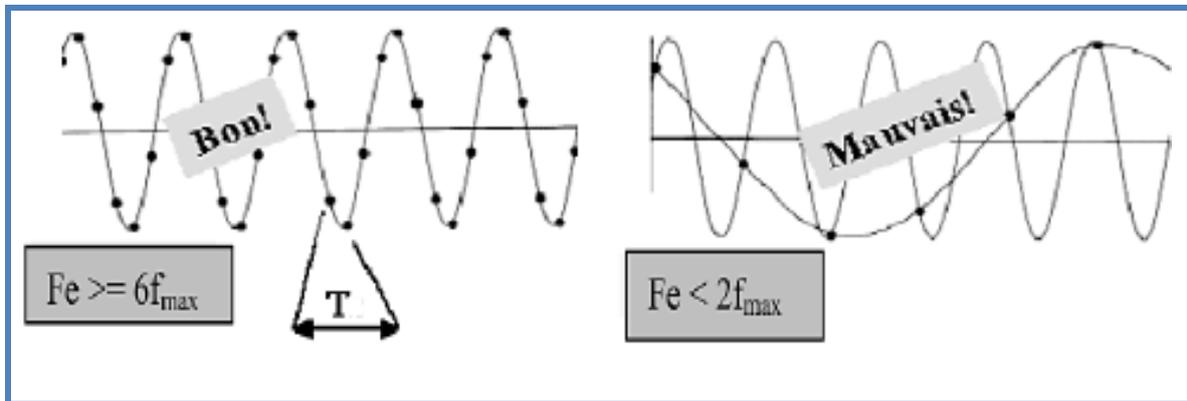


Figure (I.10) : Application de Théorème de Shannon.

I.8.2. Echantillonnage Bloqueur :

Une fois le signal est échantillonné, il reste à le quantifier. Pour pouvoir réaliser cette fonction, on doit maintenir constante la valeur à quantifier afin de permettre au CAN de traiter l'échantillon et de le numériser

I.8.3. Numérisation :

La numérisation est la transformation d'un signal analogiques issue du bloqueur en signal numérique. Cette opération est associée à la quantification et au codage. [13,5]

I.8.3.1. Quantification :

La quantification comprend la complémentarité entre les échantillons bloqués proches et mettre une seule vraie valeur de l'échantillon, la valeur [13].

I.8.3.2. Codage :

Le codage consiste à associer à l'ensemble de valeurs discrètes un code composé d'éléments binaires. En mode unipolaire le codage le plus couramment utilisé est le code binaire naturel. [Tableau I.3]. [13,1]

I.9. Caractéristiques de transfert d'un CAN :

I.9.1. Résolution :

Le convertisseur n'est pas parfait, l'ADC aura des changements de tension qui ne seront pas détectés. La plus petite variation de tension analogique que le CAN peut détecter s'appelle la résolution ou pas du convertisseur. Cela dépend du calibre et du nombre de bits utilisés dans la conversion. Il est généralement exprimé en pourcentage (%):

$$R\acute{e}solution = \frac{1}{2^N} \cdot 100 (\%)$$

Le tableau suivant montre quelques résolutions de différents CAN en fonction de leur nombre de bits à la sortie. [14]

N (nombre de bits)	Résolution	Résolution en %
8	1/256	39.1
10	1/1024	9.77
12	1/4096	2.44

Tableau (I.3) : La résolution des CAN en fonction de leurs nombre de bits.

I.9.2. Pleine Echelle :

C'est la tension analogique maximale entrée dans le CAN, appelée (Pleine Echelle), elle peut être V_{pe}. [14]

- Unipolaire

$$0 < e(t) < E_{max}$$

➤ Bipolaire

$$-E_{max} < e(t) < E_{max}$$

I.9.3. Quantum :

On prend le quantum comme la dimension des plages qui convient au minimum de différence de tension analogique entre deux codes successifs, elle est en générale exprimé en termes de LSB. On le symbolise par q et son équation est :

$$q = LSB = \frac{V_{PE}}{2^N}$$

Plus la résolution d'un CAN est élevée, plus la sortie numérique est une image précise du signal analogique d'entrée comme l'illustre le tableau suivant pour une tension de pleine échelle de 5V. [14,15]

N	Quantum
8	19.5 mV
10	4.8 mV
12	1.22 mV

Tableau (I.4) : Quantum d'un CAN en fonction de sa résolution $V_{pe}=5V$.

I.9.4. Erreur de quantification :

L'erreur de la quantification est la différence entre la valeur du signal échantillonné et la valeur d'entrée analogique qui correspond au code de sortie. L'erreur de codage est exprimée en LSB. [14,15]

I.9.5. CAN Bipolaire :

Les caractéristiques ci-dessus sont les caractéristiques d'un CAN unipolaire, et sa tension d'entrée analogique est également positive. Dans de nombreux cas, le même CAN peut être configuré en mode bipolaire afin d'accepter la tension d'entrée analogique négative ou positive (la plage de variation est $-\frac{1}{2}V_{PE}$ et $+\frac{1}{2}V_{PE}$ sont symétriques). La figure suivante montre les caractéristiques de transfert correspondant. [14]

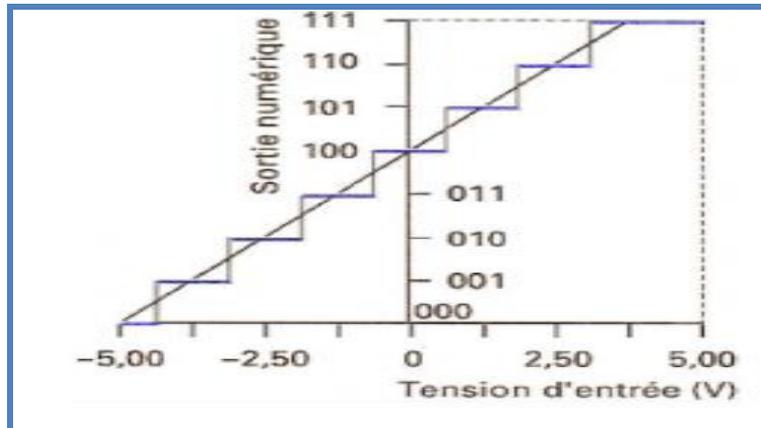


Figure (I.11) : Caractéristique de transfert d'un CAN bipolaire.

I.9.6. CAN Bipolaire :

Considérons un signal analogique d'entrée triangulaire d'amplitude $V_{pe} - q$ et de pente α . L'erreur de quantification correspondante est reportée avec le signal sur la figure suivante. On note $E_q(t)$ l'erreur de quantification, c'est un motif en dents de scies variant entre $-\frac{1}{2}LSB$ et $+\frac{1}{2}LSB$ et de pente également α . [14,13].

On assimile l'erreur de quantification à un bruit dont on calcule la puissance moyenne (pour une résistance normalisée de (1Ω) tel que :

$$P_{\text{bruit}} = \frac{q^2}{12}$$

I.9.7. Le rapport signal sur bruit (SNR) :

Le rapport signal sur bruit (SNR pour Signal to Noise Ratio) d'un CAN idéal pour une entrée sinusoïdale pleine échelle, est le quotient entre la valeur efficace du signal $V_{\text{eff}} \text{ sinus}$ et celle du bruit $V_{\text{eff}} \text{ bruit}$ (s'agissant d'un CAN idéal le bruit se réduit au bruit de quantification). [13]

$$SNR = \frac{V_{eff,signal}}{V_{eff,bruit}}$$

***Transformation en dB :**

Le SNR d'un CAN augmente avec sa résolution, et le résultat trouvé est celle qui représente le SNR maximale que le convertisseur peut l'atteindre. [14 ,15]

I.10. Traitement de signal numérique :

Le signal numérisé qui sort de la chaîne d'acquisition de données va être traité par des (unités de traitement) pour bénéficier de l'information qu'il porte pour qu'elle soit utilisée dans différents systèmes et applications.

I.10.1. Avantages de traitement numérique :

Comparais au traitement du signal analogique, le traitement numérique présente un certain nombre d'avantages :

- **Immunité partielle au bruit :** un signal codé numériquement n'est pas bruité tant qu'on n'effectue pas de calculs ou tant que ceux-ci sont réalisés avec une précision arbitrairement grande. On peut donc mettre en cascade un grand nombre d'opérations.
- **Souplesse :** un traitement numérique est facilement ajustable ou paramétrable en cours de fonctionnement. Le traitement peut même s'adapter de lui-même à la situation (évolution du signal d'entrée au cours du temps). L'aptitude des machines numériques à enchaîner des séquences d'opérations facilite également la réalisation d'algorithmes de traitement complexes.
- **Mémorisation :** la facilité de mettre un signal en mémoire (mémorisation en 0 et 1) permet de réaliser des retards facilement.

I.11. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré essentiellement à la description de manière plus appropriée du système d'acquisition de données utilisée dans notre projet de fin d'études ainsi que les phénomènes intervenant dans la partie mise en forme (l'amplification, le filtrage) qui devance la conversion analogique numérique dont (l'échantillonnage, numérisation ...etc.) en citant des différentes caractéristiques de la conversion et en terminant par les avantages de traitement du signal numérisé résultant de ce processus.

Dans le chapitre suivant nous allons voir plus en détail la numérisation en interne et en externe du MCU

CHAPITRE II

***CAN interne du MCU et en
externe de 12 bits via interface
SPI***

II.1. Introductions :

Ce deuxième chapitre va prendre en charge l'étude approfondit les éléments essentiels pour chaque CAN. Pour faire évoluer cet aspect notamment, on choisit de multiple CAN a différentes résolutions inclus dans un microcontrôleur ou lié à travers l'interface SPI (CAN externe).

II.2. Les microcontrôleurs (PIC) :

II.2.1. Généralités sur les microcontrôleurs (PIC) :

Les microcontrôleurs PIC (ou PIC micro dans la terminologie du fabricant) forment une famille de microcontrôleurs de la société Microchip. Ces microcontrôleurs sont dérivés du PIC1650 développé à l'origine par la division microélectronique de General Instruments.

Un microcontrôleur est une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants annexes. Un microcontrôleur peut donc fonctionner de façon autonome après programmation.

En ce sens, les PICs sont particulièrement bien dotés, car ils intègrent mémoire de programme, mémoire de données, ports d'entrée-sortie (numériques, analogiques, PWM, UART, bus I²C, SPI, etc.), et même horloge, bien que des bases de temps externes puissent être employées. Certains modèles disposent de port et unités de traitement de l'USB. [1,16]

II.2.2. Programmation des (PICs) :

Les PICs disposent de plusieurs technologies de mémoire de programme : ROM, EPROM, EEPROM, UVPRM, flash. Certains PIC sont dépourvus de mémoire programme interne, c'est le cas des PIC18C601 et PIC18C801 où le programme doit être contenu dans une mémoire externe.

La programmation du PIC peut se faire de différentes façons :

- Par l'intermédiaire d'un programmeur dédié (par exemple : PRO MATE ou PICSTART Plus de la société Microchip)
- Par programmation in-situ. Il suffit alors de câbler correctement le microcontrôleur sur la carte fille pour qu'une simple liaison série suffise. Il existe pour cela plusieurs solutions libres (logiciel + interface à faire soi-même) ou commerciales (par exemple : PIC kit 2 ou ICD2 de Microchip). [16]

II.2.3. Classification des (PICs) :

Actuellement les modèles Microchip, sont classés en 3 grandes familles, comportant chacune plusieurs références. Ces familles sont :

- La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie là (16FXXX).
- La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits. (18FXXXX).

❖ **Identification des PICs :**

Un PIC est généralement identifié par une référence de la forme suivante :

- **xx(L) XXyy-zz.**
- **xx** : Famille du composant, actuellement « **12, 14, 16, 17 et 18** ».
- **L** : Tolérance plus importante de la plage de tension
- **XX** : Type de mémoire programme
- **C**: EPROM ou EEPROM
- **CR**: PROM.
- **F** : Flash.
- **yy** : Identification.
- **zz** : Vitesse maximale du quartz de pilotage

II.2.4. La famille mid-range (16 FXXX) :

Composants de milieu de gamme (mid-range family) comme l'illustre la figure suivante, C'est la famille la plus fournie. La Famille (16F) dispose dorénavant de 2 sous-familles :

La sous-famille 16Fxxx (3 chiffres) est la famille la plus connue. Ses limitations au niveau du jeu d'instruction et de la pile en font un mauvais candidat à l'utilisation du C. Le langage d'assemblage restant le langage le mieux adapté à cette famille en termes d'efficacité. Microchip ne fournit du reste pas de compilateur C pour cette famille.

La sous-famille 16Fxxxx (4 chiffres) : il s'agit d'une nouvelle famille créée spécifiquement pour permettre l'utilisation du C via principalement l'ajout d'une série d'instructions destinées à faciliter et améliorer la compilation. Il s'agit probablement plus d'une solution marketing permettant de rendre les (16F) accessibles aux amateurs de C en leur évitant d'aller regarder du côté de la concurrence que d'une véritable innovation. En réalité, un utilisateur de langage C a avantage à utiliser des (18F), ou, mieux, des pics 16 ou 32 bits. [16].

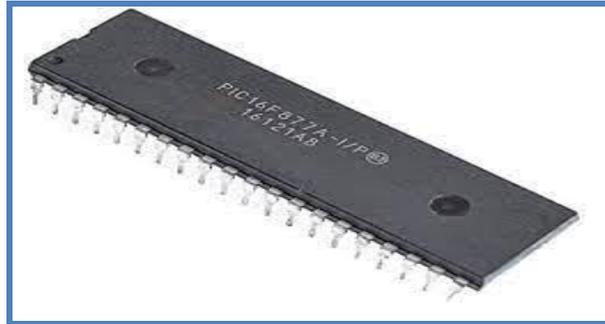


Figure (II.1) : illustration du (PIC16F877A).

II.2.5. Le choix du microcontrôleur :

Pour notre projet, on a choisi d'utiliser le (PIC16F877A) à cause de son prix raisonnable, la facilité de programmation, le nombre d'entrées/sorties suffisant pour notre application ainsi que son CPU performant avec une mémoire plus une interface SPI qui va nous servir pour la communication avec les périphériques externes dont le convertisseur analogique numérique. [5]

II.3. Le convertisseur analogique numérique (CAN) :

Le module CAN de (PIC16F877A) a 10 bits dispose de quatre registres internes :

ADRESH et ADRESL : Ces deux registres contiennent le résultat numérique sur 10 bits à la fin de la conversion. ADRESH contient la partie haute, tandis qu'ADRESL contient la partie basse. [17]

- **ADCON0** : (A/D Control Register0), registre de contrôle 0, du convertisseur
- **ADCON1** : (A/D Control Register1), registre de contrôle 1, du convertisseur

Le registre ADCON0 contrôle les opérations du module de conversion analogique numérique, tandis que le registre ADCON1 assure la configuration des broches du port, qui peuvent être configurés soit comme des entrées analogiques, soit comme des E/S numériques.

❖ Constitution du registre ADCON0

RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	U-0	RW-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Figure (II.2) : Registre ADCON0.

Les bits 7 et 6 : ADCS1 et ADCS0 sont des bits de sélection de l'horloge de la conversion.

Les bits 5, 4 et 3 : CHS2, CHS1 et CHS0 effectuent la sélection de la voie analogique à convertir.

Le bit 2 : GO/DONE signale l'état de la conversion. Quand il vaut 1, la conversion est en cours, et lorsqu'il vaut 0 il n'y a pas de conversion.

Le bit 1 : n'est pas implémenté et est lu comme un 0.

Le bit 0 : ADON lorsque ce bit est égal à 1, le module de conversion analogique numérique est valide et prêt à fonctionner. Lorsqu'il vaut 0, le module n'est pas valide.

❖ **Constitution du registre ADCON1**

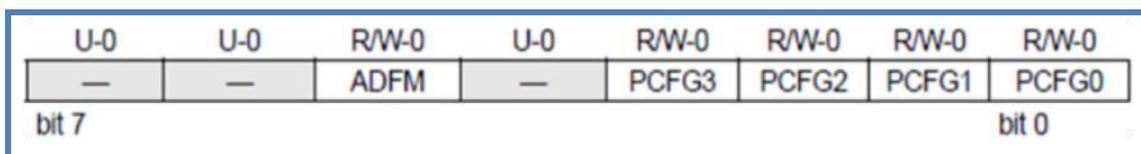


Figure (II.3) : *Registre ADCON1.*

- **Les bits 7 et 6 :** ne sont pas implémentés, et sont lus comme des 0 .
- **Le bit 5 :** ADFM : sélection du format du résultat de la conversion.
- **Le bit 4 :** n'est pas implémenté et est lu comme un 0 .
- **Les bits 3 à 0 :** PCFG3 à PCFG0 sont des bits de configuration des ports du CAN. Selon la valeur de ces bits, la broche du port se comporte soit comme une entrée analogique, soit comme une E/S numérique. [17]

II.3.1. Structure interne du module CAN :

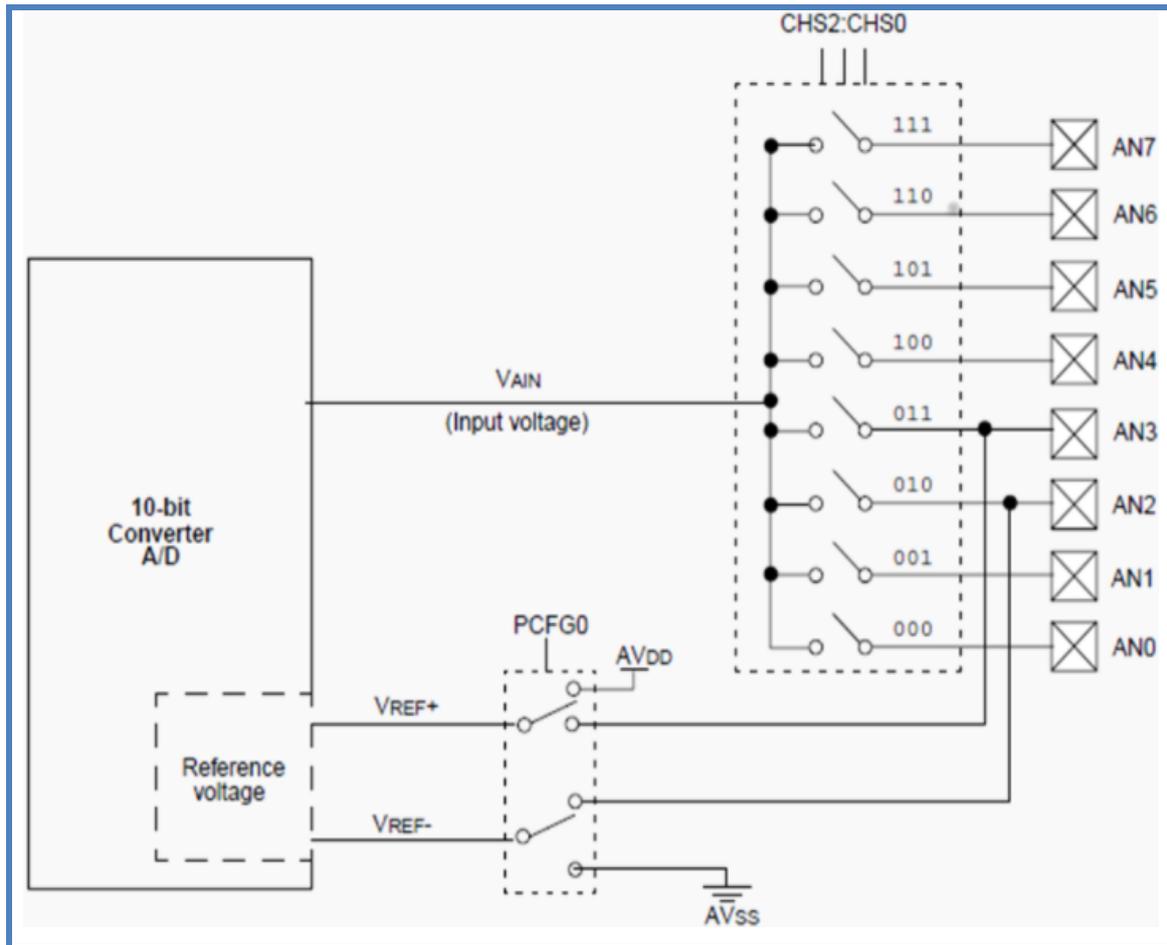


Figure (II.4) : Structure interne de CAN du (PIC16F877A)

II.4. Communication via SPI :

II.4.1. L'interfaçage SPI :

SPI signifie Serial Peripheral Interface, il est utilisé pour transférer des données simplement et rapidement d'un appareil à un autre. Plus important encore, Nous pouvons l'utiliser pour transmettre et recevoir des données 8 bits synchrones en même temps. Par conséquent, il prend en charge la communication en duplex intégral.

Elle est considérée comme l'une des interfaces de transfert de données série les plus rapides pour le **système embarqué**. La plupart du temps, il est utilisé pour communiquer des données vers et depuis le microcontrôleur. [18,1]

II.4.2. Présentation de la communication SPI :

SPI est un protocole synchrone basé sur le type de communication maître-esclave. L'appareil maître (généralement un microcontrôleur) contrôle les appareils

esclaves. Parce que l'appareil esclave reçoit des instructions de l'appareil maître. Il permet la transmission de données d'un appareil maître à un ou plusieurs appareils esclaves et d'appareils esclaves aux appareils maîtres sur de courtes distances à haute vitesse (MHz). Il se compose de 4 fils mais une communication à trois fils est également possible.

SDO : Cette ligne permet d'envoyer des données à un esclave. Il peut être lu comme master-out slave-in

SDI : Fil utilisé pour recevoir des données d'un esclave. C'est une ligne d'entrée pour le maître et une ligne de sortie pour un esclave.

SCLK : Fil de signal d'horloge.

CS/SS : Dans le cas d'une configuration à un seul maître et à plusieurs esclaves, ce fil sert à sélectionner à quel esclave l'appareil maître veut envoyer des données.

La connexion d'interface de bus SPI est intégrée à de nombreux appareils tels que le (CAN), (CNA)... etc. [18]

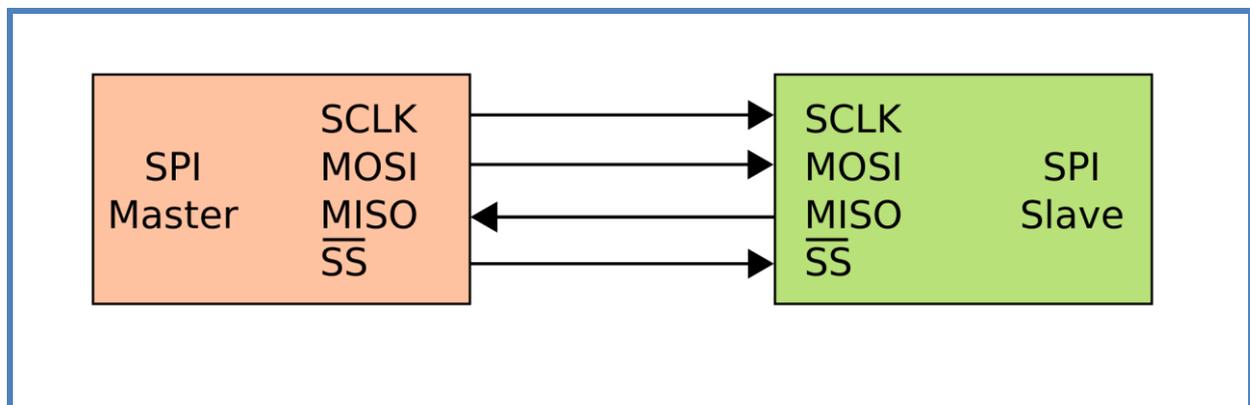


Figure (II.5) : Liaison SPI maître-esclave.

II.5. Module de communication SPI Microcontrôleurs PIC :

SPI est implémenté dans les microcontrôleurs PIC par un module matériel appelé le port série synchrone ou le port série synchrone maître. Ce module est intégré à de nombreux microcontrôleurs PIC. Il prend en charge la communication série SPI entre deux appareils ou plus à grande vitesse et est relativement facile à mettre en œuvre.

Le module de communication PIC-SPI transmet/reçoit des données 8 bits de manière synchrone et simultanée. Cela signifie qu'il prend en charge le mode de communication duplex intégral.

Seules deux broches SDI (Data in) et SDO (Data out) sont destinées au transfert de données. Cette réduction des broches de données réduit la taille du boîtier et la consommation d'énergie. Le bus SPI à la broche SCLK (horloge série) pour synchroniser le transfert de données entre deux puces. Il est généré par l'appareil maître et contrôle quand les données sont envoyées et quand elles sont lues. La dernière broche du bus SPI est CS (Chip select) qui est utilisée pour lancer ou terminer le transfert de données. Lorsque le signal SE devient faible sur un périphérique esclave, seul cet esclave est accessible par SPI et écoutera les signaux d'horloge et de données SPI. Ces quatre broches font du SPI une interface à 4 fils. Dans l'interface à 3 fils, nous avons SCLK, CS et une seule broche pour le transfert de données. [18]

II.6. Convertisseur analogique numérique externe :

❖ CAN a 12 bits (LTC2366) :

Les (LTC2366) sont des convertisseurs A/N à échantillonnage 1 Msps/3 Msps, 12 bits qui ne consomment que 2 mA et 2,6 mA, respectivement, à partir d'une seule alimentation 3 V. Ces dispositifs hautes performances comprennent un échantillonneur-bloqueur à plage dynamique élevée et une interface série à grande vitesse. L'entrée pleine échelle est de 0V à V_{DD} ou V_{REF} . Les performances AC exceptionnelles incluent 72 dB SINAD et -80 dB THD à des taux d'échantillonnage de 3 Msps. L'interface série offre une gestion flexible de l'alimentation et permet une efficacité énergétique maximale à de faibles débits. Ces dispositifs sont disponibles dans de minuscules boîtiers TSOT-23 à 6 et 8 broches.

L'interface série, le petit boîtier TSOT-23 et le rapport fréquence d'échantillonnage/puissance extrêmement élevé rendent le LTC2366 idéal pour les systèmes compacts, à faible consommation et à grande vitesse.

L'entrée analogique asymétrique à haute impédance et la capacité de fonctionner avec des étendues réduites (jusqu'à 1,4 V à pleine échelle) permettent une connexion directe aux capteurs et transducteurs dans de nombreuses applications, éliminant ainsi le besoin d'étages de gain pour notre étude on a bien pris en charge le circuit suivant :

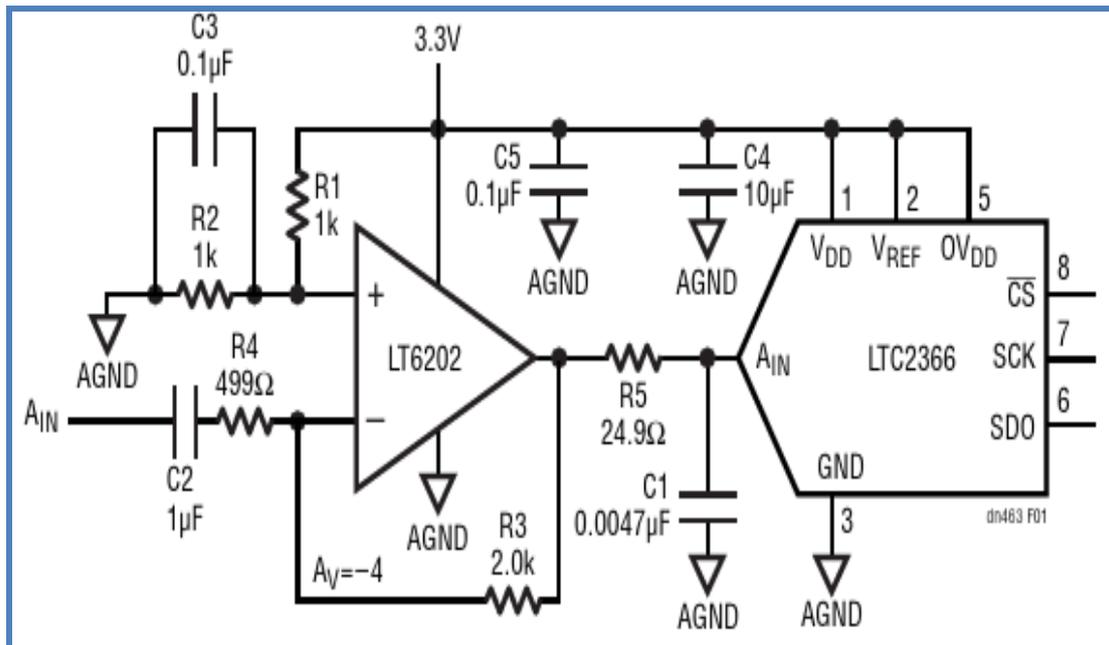


Figure (II.6) : Amplificateur couplé à une alimentation unique pour les changements de niveau d'entrée associé au (LTC2366).

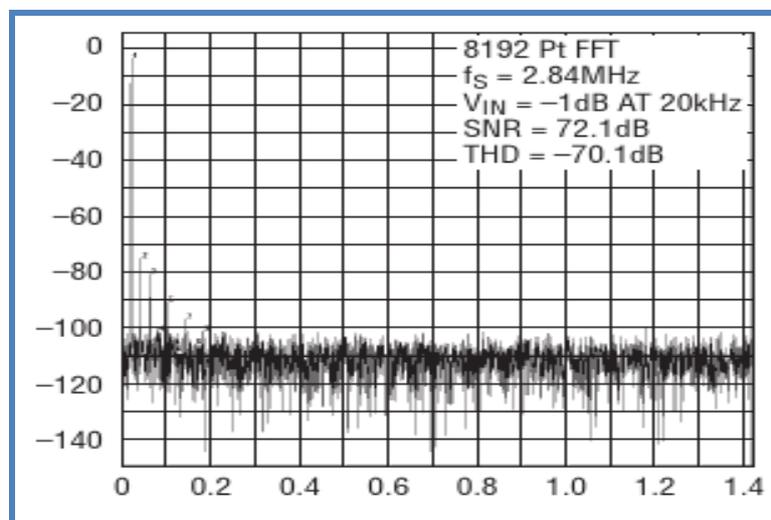


Figure (II.7) : FFT affiche un faible bruit et Distorsion

II.7. Configuration matérielle :

La connexion interne des signaux est la suivante :

- **J1 Connecteur :** Limiter la tension d'entrée, bascule vers GND-Vref, pour des performances optimales l'entrée doit être limitée à la bande fréquences d'intérêt.
- **J2 Entrée d'horloge de conversion :** Cette entrée a un 50 ohm ; résistance de terminaison, et est destiné à être entraîné par une faible gigue, une onde sinusoïdale ou carrée de 10 dBm. Atteindre pleine performance AC de cette partie, la gigue de

l'horloge doit être maintenu sous 20ps. Cette entrée est couplée capacitivement de sorte que l'horloge d'entrée puisse être soit (0V-3,3V) ou $\pm(1,65V)$ afin que le décalage de niveau ne soit pas obligatoire.

- **J3 Interface d'évaluation rapide :** Connexion au DC590B. Faire en sorte que VCCIO de DC590B est réglé sur 3,3 V.
- **J4 Interface FastDAACS :** Connexion au DC890B. Fais ne pas se connecter à la fois au DC590 et au DC890 en même temps
- **Vref :** Connexion Vref externe ou il peut également être utilisé pour surveiller la tension interne Vref. Utiliser cette broche en tant qu'entrée Vref externe retirer le cavalier JP1.
- **EXT OVDD Connexion OVDD externe :** Cela peut être utilisé pour conduire la sortie SDO à des niveaux logiques autres que 3.3V. Pour utiliser cette broche, placez le cavalier JP2 dans la position EXT et appliquez la tension OVDD souhaitée.
- **JP1 Sélection de la tension de référence :** Utilisez ce cavalier pour sélectionner la tension de référence ADC. Les options incluent 2.5V, 3.3V ou une tension de référence externe peut être appliqué en retirant le cavalier et en appliquant une tension à Vref.
- **JP2 OVDD connexion :** pour Régler OVDD sur 3,3 V ou sur un Tension.
- **JP3 :** Lignes d'E/S pour ADC, Voir le schéma pour le brochage.
- **JP4 :** Utilisation en usine uniquement. [19]

II.7.1. Arrondissement et raccordement d'alimentation :

Connexion a une alimentation 5V à 7V au 5-7VDC et les connecteurs d'entrée GND. Pour performances optimales, cette alimentation doit être flottante par rapport à tous les générateurs de signaux connectés à l'entrée analogique (J1). [19]

II.8. Configuration et fonctionnement des pins :

Le (LTC 2366) a deux paquets de configuration de pins comme c'est montré à la figure suivante [19]

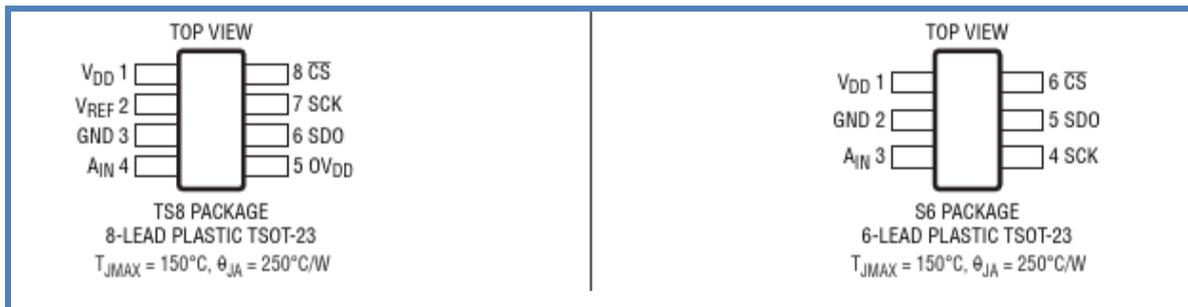


Figure (II.8) : Les deux configurations possibles de pins disponible (LTC2366).

Pour notre cas on a choisi de travailler avec le paquet (TS8) avec 8 pins (broches) de configuration et leur fonctionnement est le suivant :

VDD (broche 1) : alimentation positive. La plage VDD est de 2,35 V à 3.6V. Dérivation vers GND et vers un plan de masse solide avec un Condensateur céramique 10 μ F (ou tantale 10 μ F en parallèle avec 0,1 μ F céramique).

VREF (broche 2) : entrée de référence. VREF définit l'entrée l'étendue de l'ADC, de 0 V à VREF et la plage VREF est de 1,4 V à VDD. Dérivation vers GND et vers un plan de masse solide avec un condensateur céramique 4,7 μ F (ou 4,7 μ F tantale en parallèle avec 0,1 μ F de céramique).

GND (Broche 3) : Terre. La broche GND doit être attachée directement à un plan de masse solide.

AIN (broche 4) : entrée analogique. AIN est une entrée asymétrique avec par rapport à GND avec une plage de 0V à VREF.

OVDD (broche 5) : alimentation du pilote de sortie pour SDO. L'OVDD la plage est de 1 V à VDD. Dérivation vers GND et vers une terre solide avion avec un condensateur céramique 4,7 μ F (ou 4,7 μ F tantale en parallèle avec de la céramique 0,1 μ F).

SDO (broche 6) : sortie de données série à trois états. L'A/D le résultat de la conversion est décalé sur SDO en tant que données série diffuser d'abord avec MSB. Le flux de données se compose de deux zéros non significatifs suivis de 12 bits de données de conversion et deux zéros à droite.

SCK (broche 7) : entrée de décalage d'horloge. L'horloge série SCK annonce avance le processus de conversion, transitions de données SDO activées le front descendant du SCK.

CS (broche 8) : entrée de sélection de puce, ce signal bas actif commence une conversion sur le front descendant et encadre la série transfert de données.

II.8.1. Interface série (Ltc2366) :

Le LTC2366 communique avec (les microcontrôleurs, DSP...etc.) et autres circuits externes via un câble à 3 fils interface. La figure montre le diagramme de synchronisation de l'interface série. [19]

II.8.2. Transfert de données via SPI :

Un front descendant (CS) démarre une conversion et encadre la séquence transfert de données riel. (SCK) fournit l'horloge de conversion et contrôle le transfert de données pendant la conversion.

(CS) allant LOW synchronise le premier zéro et sous les fronts descendants SCK successifs synchronisent les données restantes, en commençant par le deuxième zéro non significatif. (Par conséquent, le premier front descendant (SCK) capture le premier zéro non significatif et marque le deuxième zéro non significatif). Le chronogramme dans la figure 12 montre que le bit final dans le transfert de données est valable au 16e front descendant, puisqu'il est cadencé le 15 ème front descendant précédent.

Dans les applications avec un (SCK) plus lent, il est possible de capturer données sur chaque front montant du (SCK.) Dans de tels cas, le premier le front descendant de SCK synchronise le deuxième zéro non significatif et peut être capturé sur le premier front montant, cependant, le premier zéro de tête cadencé lorsque (CS) passe au niveau BAS est manqué, Le 15e front descendant de (SCK) synchronise le dernier bit et peut être capturé sur le 15e front montant (SCK).

Si (CS) passe au niveau BAS alors que (SCK) est au niveau BAS, alors (CS) synchronise le premier zéro non significatif et peut être capturé sur le (SCK) montant bord. Le prochain front descendant du (SCK) synchronise le deuxième zéro non significatif et peut être capturé sur la hausse suivante bord, comme le montre la figure qui suit. [19]

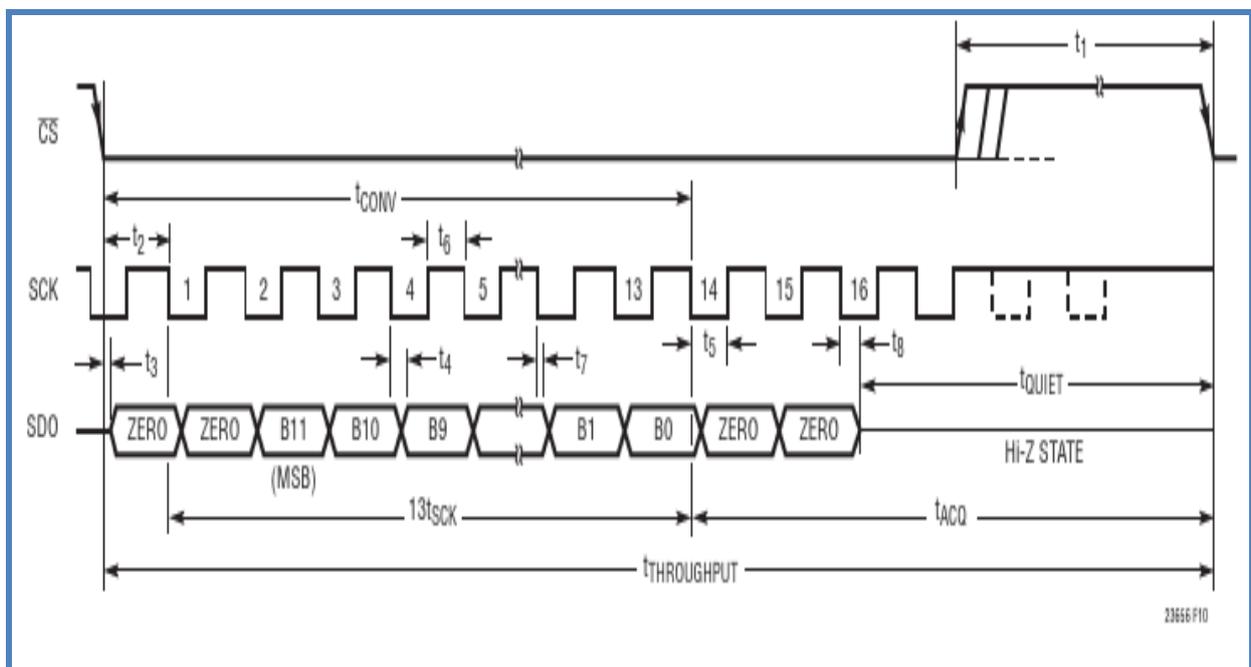


Figure (II.9) : Transfert de données via SPI.

II.9 caractéristiques et performances du (LTC 2366) :

- Résolution 12 bits
- Taux d'échantillonnage de 1 Msps/3 Msps
- Faible bruit: 73 dB SNR
- Faible puissance dissipée: 6 mW
- Alimentation simple 2,35 V à 3,6 V
- Pas de latence des données
- Mode veille avec courant d'alimentation typique de 0,1 μ A
- Référence externe dédiée (TSOT23-8)
- Alimentation de sortie numérique 1 V à 3,6 V (TSOT23-8)
- E/S série compatible SPI/MICROWIRE
- Fonctionnement garanti de -40°C à 125°C
- Ensembles TSOT-23 à 6 et 8 broches. [20]

II.10. Avantage du CAN (LTC 2366) par rapport au CAN intègres du (MCU) :

De nombreux microcontrôleurs de 8 et 16 bits possèdent des CAN internes de 10 bits. Quelques-uns incluent des ADC de 12 bits, mais ceux-ci ont souvent des performances médiocres ou faibles, ou manque de capacité pour répondre aux besoins spécifiques d'un nombre croissant d'applications.

Le (LTC2366) offre une alternative de haute performance comme le montrent en chiffres au tableau (I.3). Ces statistiques que le CAN intégré à notre microcontrôleur actuel ne peut pas les atteindre surtout si on l'associe à un circuit de conditionnement performant y compris un amplificateur (LT6202) montré en figure (II.10).

II.11. Applications :

Le besoin d'une conversion analogique numérique performante est dans nombreux applications importantes tel que :

- Systèmes de communication
- Systèmes d'acquisition de données
- Interface de terminal portable

- Imagerie médicale
- Alimentation sans interruption
- Systèmes fonctionnant sur batterie
- Automobile

II.11.1. Exemple d'application:

- Les systèmes de surveillance et de surveillance médicale à domicile permettent aux personnes de prendre leur santé en main, mais ces unités médicales doivent être rapides, efficaces et fonctionner aux moments les plus importants. À mesure que les capteurs médicaux portables évoluent, le besoin d'une durée de vie de la batterie plus longue et d'un facteur de forme plus petit devient plus critique pour les soins non invasifs.
- Les appareils de mesure médicaux nécessitent généralement une combinaison de conditionnement de signal, y compris des amplificateurs, un filtrage, une source de référence et un CAN pour résoudre le signal du capteur. En plus de leur petite taille, les circuits analogiques qui lisent la sortie du capteur doivent avoir une faible puissance pour prolonger la durée de vie de la batterie et augmenter les lectures au fil du temps.
- Les petits appareils médicaux à faible consommation alimentés par une prise murale gagnent également en popularité en raison de la disponibilité de circuits intégrés analogiques plus petits et plus rapides. Des exemples d'unités médicales qui nécessitent une solution de petite taille et une faible dissipation de puissance comprennent (**Les Systèmes d'analyse sanguine, Les Oxymétries de pouls, Les Radiographies numériques et Les Thermomètres numériques**). [21]

❖ Oxymétrie de pouls

Un exemple d'application médicale qui bénéficie d'un CAN SAR en son cœur est une oxymétrie de pouls, qui mesure la quantité d'oxygène par rapport à l'hémoglobine dans le sang d'un patient. L'oxymétrie de pouls détecte les pulsations sanguines dans l'artère, calculant ainsi également la fréquence cardiaque d'un patient. [21]

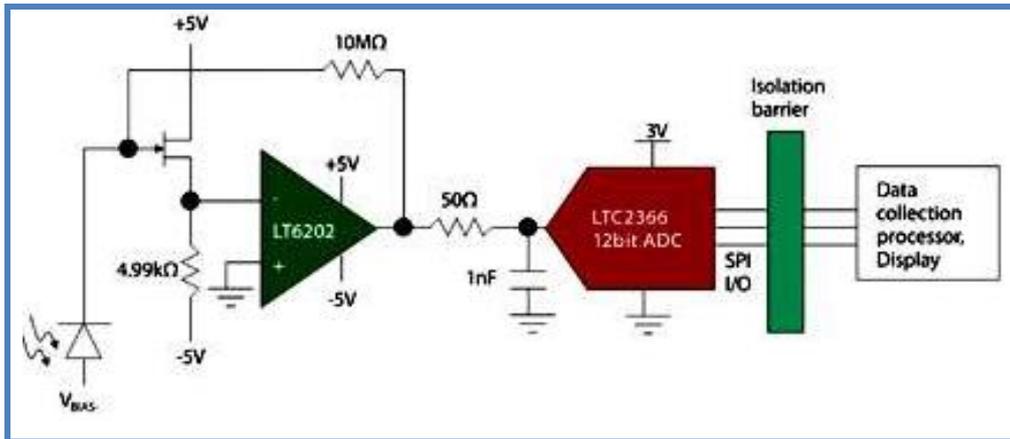


Figure (II.10) : Une application d'oxymétrie de pouls utilisant le (LTC2366).

❖ Rayons X numérique

Un autre exemple d'application médicale nécessitant un CAN rapide est l'imagerie par rayons X numérique, y compris une utilisation telle que les rayons X dentaires, la tomographie axiale ou l'imagerie médicale par résonance pour des scans corporels complets. [21]

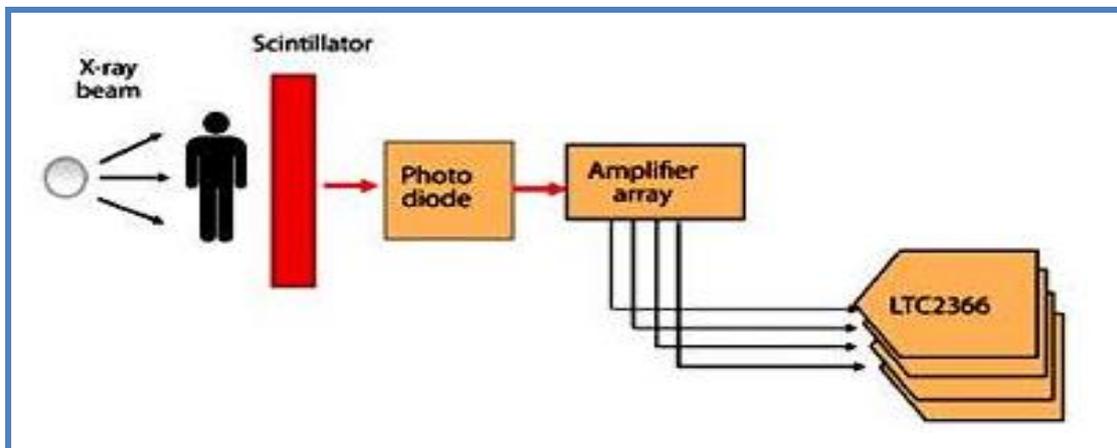


Figure (II.11) : Exemple d'imagerie numérique par rayons X, qui nécessite généralement un CAN d'au moins 12 bits de résolution et 1 Msps ou plus.

II.12. Conclusion :

Dans ce chapitre notre étude est bien conclue une explication des paramètres d'un CAN en citant aussi comment cela fonctionne par des articles et des illustrations.

En fin de chapitre on a donnée des exemples d'applications qui montrent l'importance de ce genre de processus notamment dans le domaine médical.

Dans le prochain chapitre on aura une simulation du bloc conçue qui se termine par une conclusion générale qui conclut notre recherche

CHAPITRE III

***Simulation d'une chaîne
d'acquisition de données à
base d'un CAN en (SAR
ADC, PROTEUS)***

III.1 Introduction :

Notre étude concernant le CAN à résolution de 12 bits externe via interface SPI est besoin d'une simulation (réalisation virtuelle) qui se propose sous forme d'une chaîne d'acquisition afin d'atteindre cet objectif on doit avoir la programmation et la schématique qui convient en passant par la simulation du CAN intégrés au PIC (a 10 et 8 bits) pour distinguer toute la différence en simulation après avoir vue la différence au tant de performance.

III.2. Généralités sur le logiciel " MikroC PRO for PIC " :

Le mikroC PRO for PIC est un outil de développement puissant et riche en fonctionnalités pour les microcontrôleurs (PIC). Il est conçu pour fournir au programmeur la solution la plus simple possible pour développer des applications des systèmes embarqués, sans compromettre les performances ou le temps de développement. Les PIC et le langage C s'intègrent bien, Le microcontrôleur PIC sur 8 bits est le plus répandu au monde, utilisé dans une grande variété d'applications et apprécié pour son efficacité.

C'est le choix naturel pour le développement de systèmes embarqués. MikroC PRO for (PIC) offre une correspondance réussie avec un compilateur IDE hautement avancé conforme à la norme ANSI. Il contient un vaste ensemble de bibliothèques, une documentation complète et de nombreux exemples. [22]

III.2.1. Les fonctionnalités du logiciel " MikroC PRO for PIC " :

Le mikroC PRO for PIC a de nombreuses fonctionnalités et parmi ces fonctionnalités qui nous facilitent la création d'un code sur le logiciel [23]

- **L'explorateur de code**
- **L'éditeur de code**
- **L'assistant de code**
- **L'assistant de paramètres**
- **Correcteur automatique**

III.3. Les routines de fonctions intégrées :

Le compilateur "MikroC PRO" pour "PIC" intègre en plus de ses instructions de base une multitude de routines (bibliothèques) capables de réaliser des fonctions très puissantes telles que la **librairie SPI** est celle qui nous intéresse le plus [23].

III.4. Librairie SPI :

Dans la librairie SPI du MikroC for PIC on aura des Library routines (inclus dans Library manager) qui misent en ordre le code effectué par l'utilisateur comme suit. [Figure 3]. [24]

- **SPIx_Init**
- **SPIx_Init_Advanced**
- **SPIx_Read**
- **SPIx_Write**
- **SPI_Set_Active**

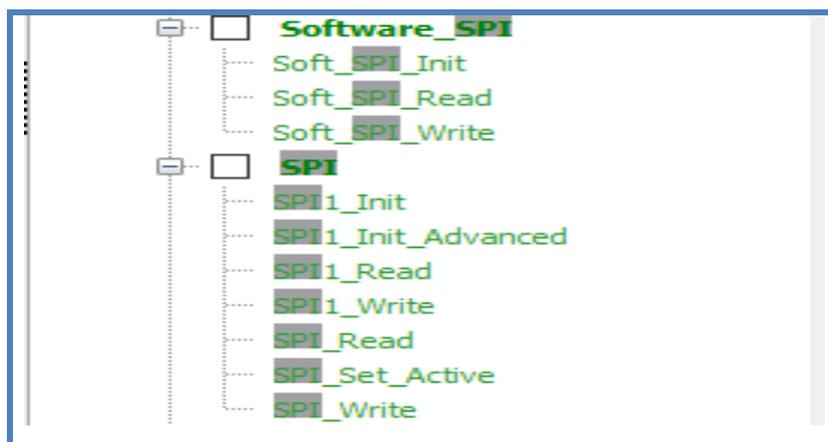


Figure (III.1) : librairies routines SPI du logiciel micro C .

III.5. Généralités sur le logiciel "PROTEUS " :

La CAO électronique Proteus est une suite logicielle, éditée par la société Labcenter Electronics. Proteus est actuellement (2021) la seule CAO électronique qui permet la conception d'un système électronique complet et de le simuler, y compris avec le code des microcontrôleurs. Pour ce faire, elle inclut un éditeur de schéma (ISIS), un outil de placement-routage (ARES), un simulateur analogique-numérique, un environnement de développement intégré pour microcontrôleurs, un module de programmation par algorigrammes ainsi qu'un éditeur d'interface pour Smartphone afin de piloter à distance des cartes Arduino ou Raspberry.

Proteus est composé de différents packages qui sont : Proteus PCB pour le circuit imprimé, Proteus VSM pour la simulation, Proteus Visual Designer/IoT Builder pour Arduino/Raspberry pour développer des projets comparables à ceux conçus avec des outils tels que Scratch et App inventor. [1]

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

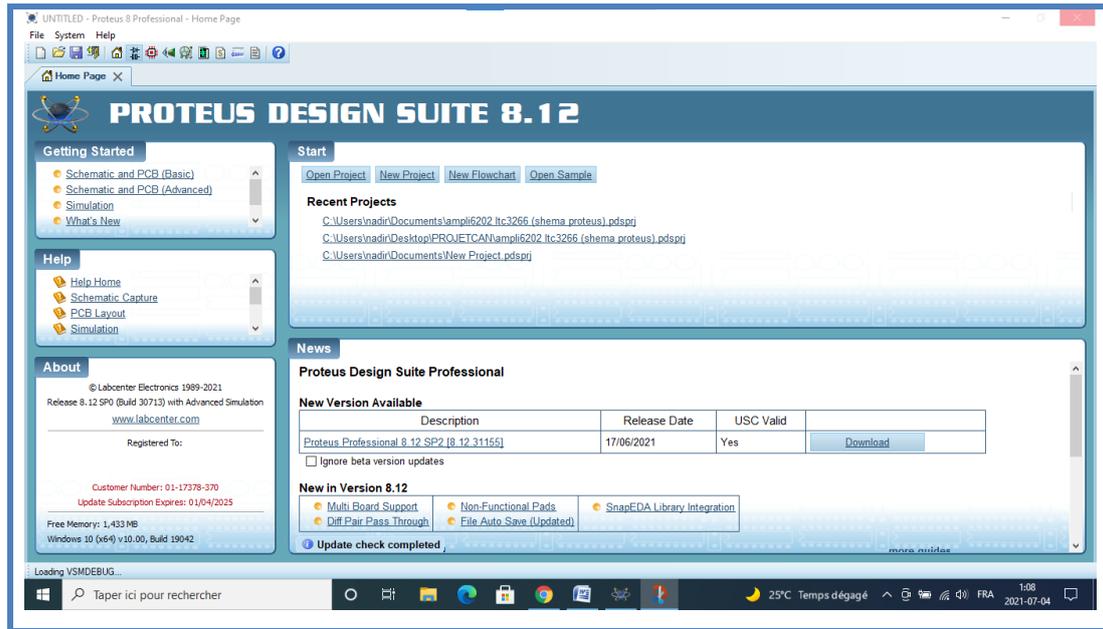


Figure (III.2) : La page d'accueil du simulateur proteus.

III.6. Package de proteus :

Le proteus contient de différents packages et d'options. [1]

➤ Proteus PCB

Ce package permet de concevoir puis de fabriquer des circuits imprimés.

➤ Proteus VSM

Ce package est utilisé pour simuler totalement un circuit avec microprocesseurs. Il contient un environnement de développement très puissant qui autorise un suivi pas à pas des instructions contenues dans le programme. Plusieurs familles de microprocesseurs (PIC16, PIC18, AVR, Arduino, ARM, etc.) sont simulables.

➤ Proteus visuel designer/ lo T builder

Ce package convient particulièrement au développement d'applications pour l'Internet des objets avec des cartes Arduino ou Raspberry Pi.

III.7. Outil utilisé dans la simulation Proteus :

Le pourcentage (%) de la tension (v) en utilisant une Résistance variable ROT-HG (RV1) qui fait le rôle dans cette simulation d'un capteur analogique variant de (0-5) v, en donnant l'exemple de saut du pourcentage par rapport à la résolution de 12 bits par les formules suivantes :

$$\text{Résolution de 12 bits donc : } 2^{12} = 4096$$

*On Obtient alors :

$$5 \div 4096 = \mathbf{0.001220703125 \text{ v}}$$

Alors on aura une combinaison de précision avec un pas de **0.001220703125**.

*Notre outil de simulation nous fournisse une précision et un saut de pourcentage qui se calcule par cette manière :

$$5 \div 100 = \mathbf{0.05 \text{ v}}$$

Pendant la simulation on aura un saut de **0.05 v** effectué au lieu de **0.001 v**

(Donc 50 combinaisons de bits non-pris en charge par le simulateur).

III.8. Programmation et simulation du CAN intègres au MCU :

Le CAN intègres se communique avec le monde extérieur à travers les pins du MCU pour illustrer cela on choisit de travailler avec le PIC (16F877A).

III.8.1. Programmation et simulation du CAN intègres à 10 bits :

On programme le CAN à 10 bits du pic (16F877A) à base de mikroC pro en utilisant la bibliothèque (ADC_Init) comme suit :

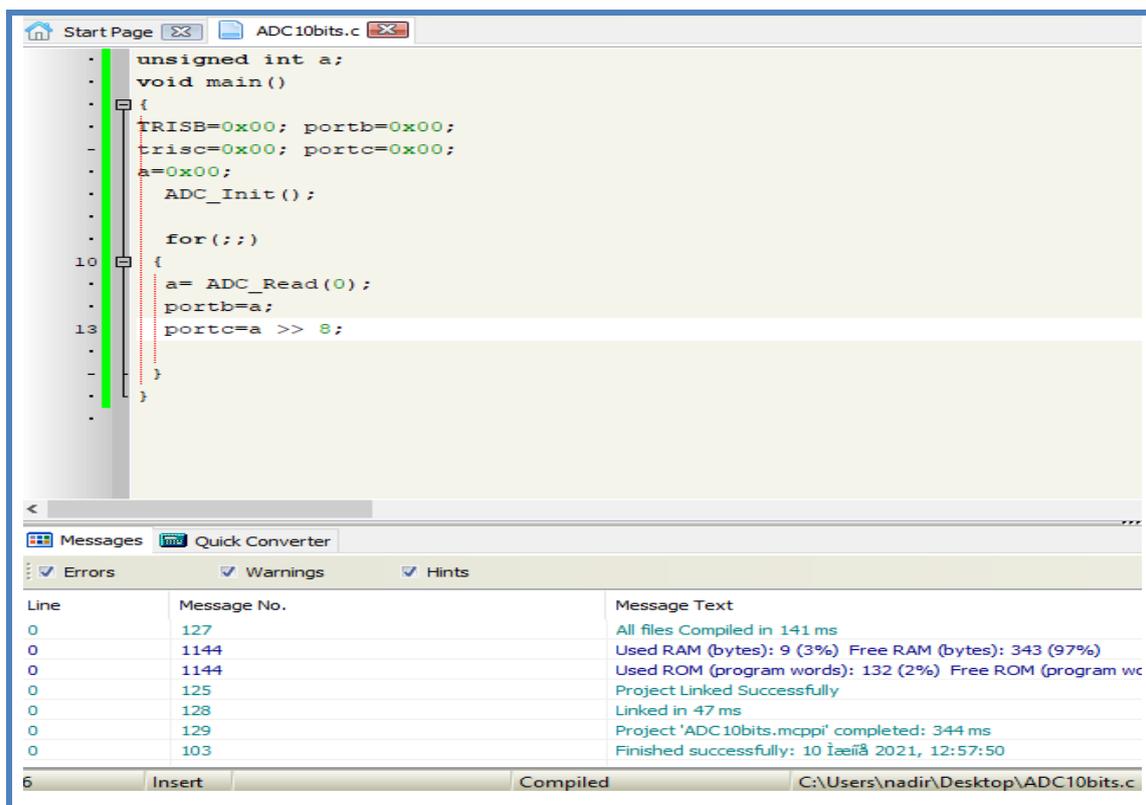


Figure (III.3) : Programmation de CAN intègres du PIC (16F877A).

La simulation de CAN a 10 bits du pic (16F877A) avec de différents pourcentages de variation de tension à base de mikroC PRO comme suit dans les deux [Figure 41] [Figure 42].

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

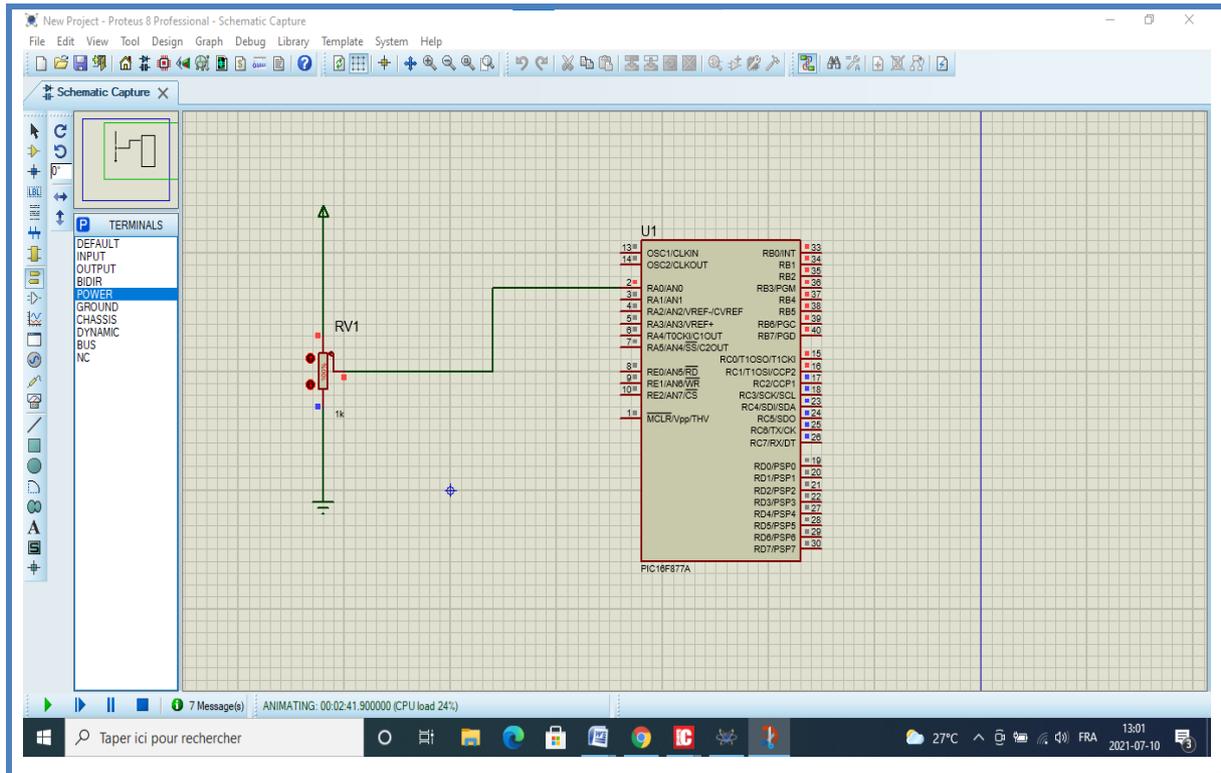


Figure (III.4) : Simulation de CAN a 10 bits intégrés du PIC (16F877A) avec une variation de 100%.

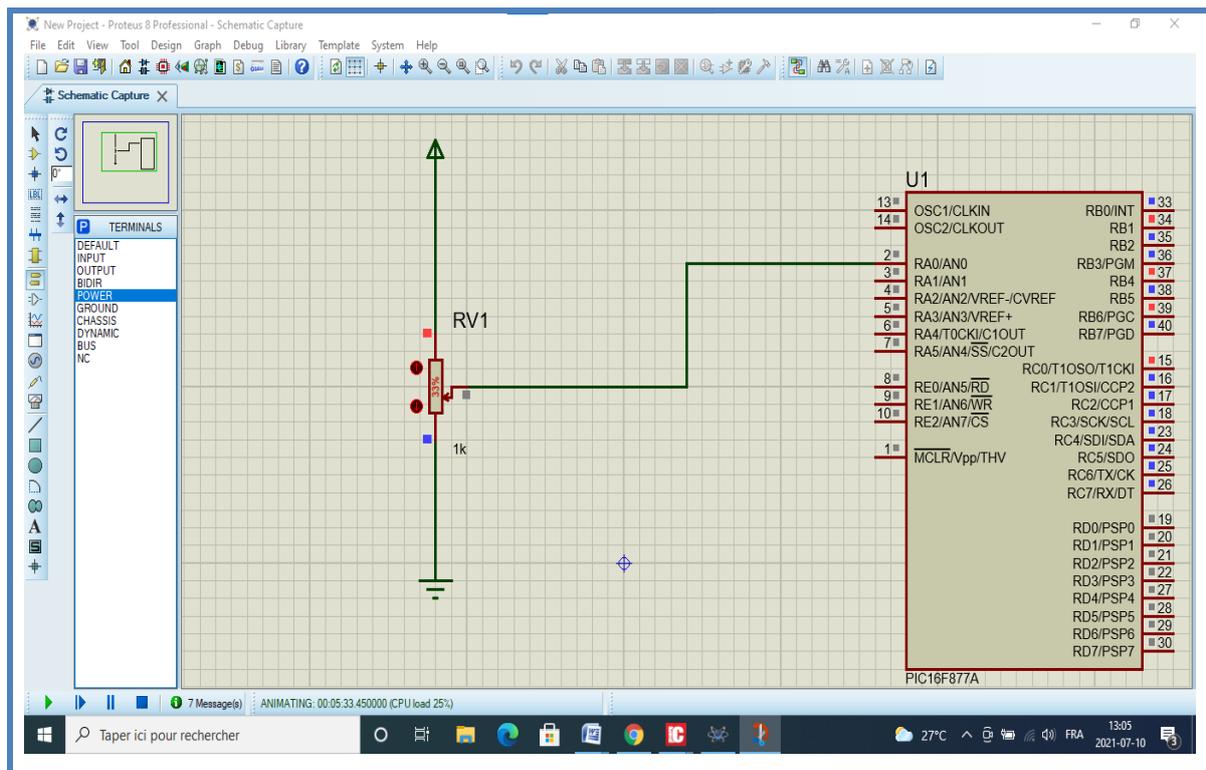


Figure (III.5) : Simulation de CAN a 10 bits intégrés du PIC (16F877A) avec une variation de 33%.

III.9. Programmation et simulation du CAN intégrés à 8 bits :

On peut passer d'une résolution de 10 bits à une résolution inférieure de 8 bits il suffit juste de décaler la variable (a) de 2 bits vers la droite et cela permet d'éliminer les 2 bits du poids faibles et donc la programmation sera comme suit :

```
unsigned int a;
void main()
{
    TRISB=0x00; portb=0x00;
    trisc=0x00; portc=0x00;
    a=0x00;
    ADC_Init();

    for(;;)
    {
10      a= ADC_Read(0);
12      portb=a >> 2;
    }
}
```

Messages Quick Converter

Errors Warnings Hints

Line	Message No.	Message Text
0	127	All files Compiled in 140 ms
0	1144	Used RAM (bytes): 9 (3%) Free RAM (bytes): 3
0	1144	Used ROM (program words): 137 (2%) Free RC
0	125	Project Linked Successfully
0	128	Linked in 32 ms
0	129	Project 'ADC10bits.mcppi' completed: 313 ms
0	103	Finished successfully: 10 2021, 14:06:36

5 Insert Compiled C:\Users\nadir\Desktop

Figure (III.6) : Programmation de CAN intégrés à 8 bits du PIC (16F877A).

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

D'après la programmation on constate qu'il suffit d'utiliser un seul registre en sortie (le registre b à 8 bits par exemple).

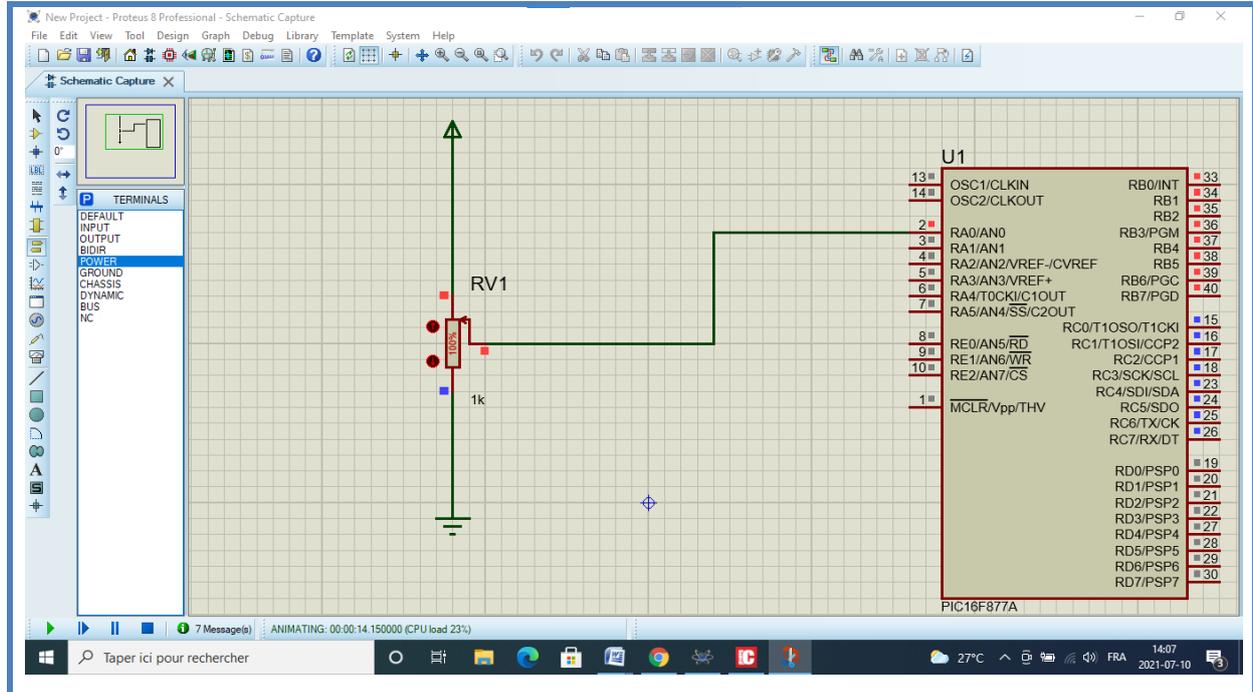


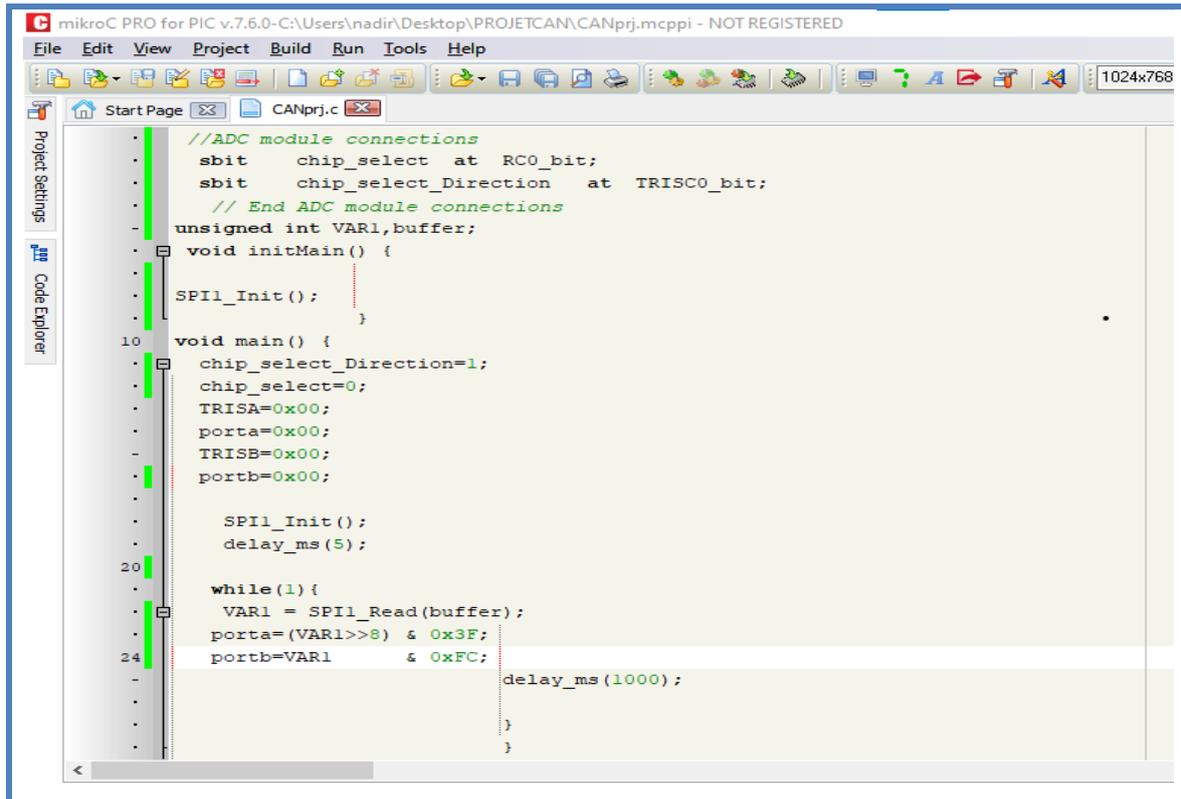
Figure (III.7) : Simulation de CAN intégrés à 8 bits du PIC (16F877A).

III.10. Programmation du CAN externes (LTC2366) avec MCU :

On programme le CAN (LTC2366) externe à 12 bits à base de mikroC pro en utilisant la bibliothèque (SPIx_Init) qui possède une bonne partie du programme prête à l'utilisation dès qu'on fait l'appel à son instruction déjà mise à la bibliothèque du logiciel.

Ce programme nous permet d'avoir les 12 bits dans 2 registres différents (a et b) de 8 bits comme l'indique bien le programme suivant :

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)



```
mikroC PRO for PIC v.7.6.0-C:\Users\nadir\Desktop\PROJETCAN\CANprj.mcppi - NOT REGISTERED
File Edit View Project Build Run Tools Help
1024x768
Start Page CANprj.c
//ADC module connections
sbit chip_select at RCO_bit;
sbit chip_select_Direction at TRISC0_bit;
// End ADC module connections
unsigned int VAR1,buffer;
void initMain() {
SPI1_Init();
}
10 void main() {
chip_select_Direction=1;
chip_select=0;
TRISA=0x00;
porta=0x00;
TRISB=0x00;
portb=0x00;

SPI1_Init();
delay_ms(5);

20 while(1){
VAR1 = SPI1_Read(buffer);
porta=(VAR1>>8) & 0x3F;
24 portb=VAR1 & 0xFC;
delay_ms(1000);
}
}
```

Figure (III.8) : Programmation du CAN externes (LTC2366) a 12 bits.

III.11. Architecture SAR ADC :

Les convertisseurs analogique-numérique (CAN) à registre d'approximations successives (SAR) sont fréquemment l'architecture de choix pour les applications de résolution moyenne à élevé avec des taux d'échantillonnage inférieurs à 5 méga-échantillons par seconde (MSPS). La résolution des CAN SAR varie le plus souvent de 8 à 16 bits, et ils offrent une faible consommation d'énergie ainsi qu'un petit facteur de forme. Cette combinaison de fonctionnalités rend ces CAN idéaux pour une grande variété d'applications, telles que les instruments portables/alimentés par batterie, les numériseurs à stylet, les commandes industrielles et l'acquisition de données/signaux [25].

III.12. Généralités sur le logiciel "LT SPICE " :

LTspice est un logiciel de simulation SPICE hautes performances, une capture de schémas et un visualiseur de formes d'onde avec des améliorations et des modèles pour faciliter la simulation de circuits analogiques ce qui nous rend service parfaitement a notre circuit du CAN (LTC2366). [26]

III.13. Simulation du circuit associé au (LTC2366) en (SAR ADC) :

Nous nous intéressons dans notre étude sur l'aspect performances des ADC ce qui nous mène à la partie échantillonnage qui est la phase la plus importante dans une conversion, notre circuit se compose d'une source de tension sinusoïdale suivis par l'amplificateur (LT6202) qui va être filtré par la suite avant d'accéder au SAR ADC du (LTC2366) comme suit :

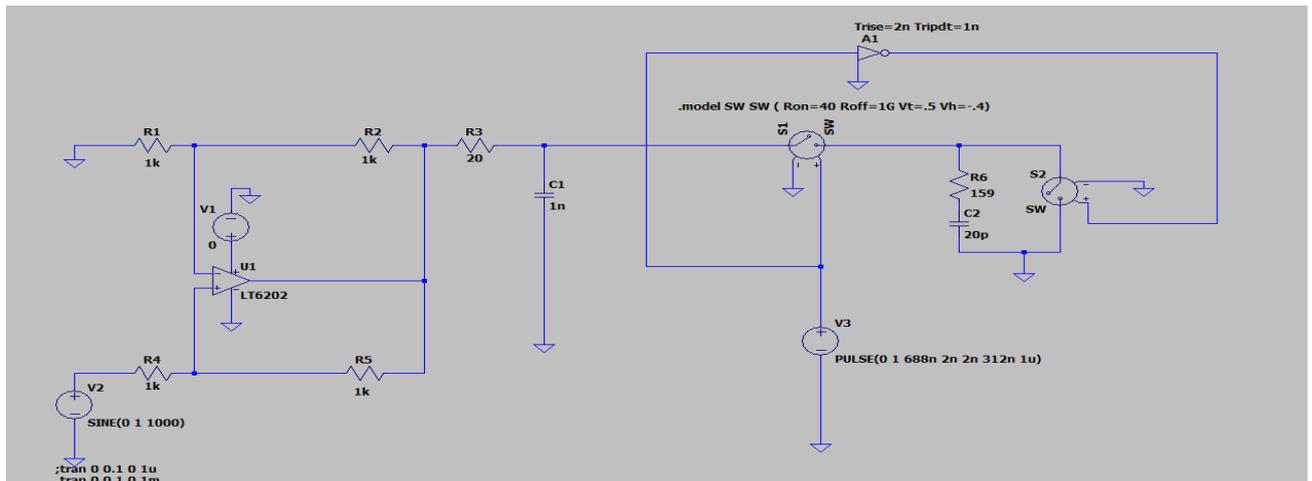


Figure (III.9) : Circuit associé au (LTC2366) en architecture (SAR ADC)

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

On aura la courbe suivante de la tension a la sortie de l'amplificateur (LT6202) comme c'est indiqué à la figure :

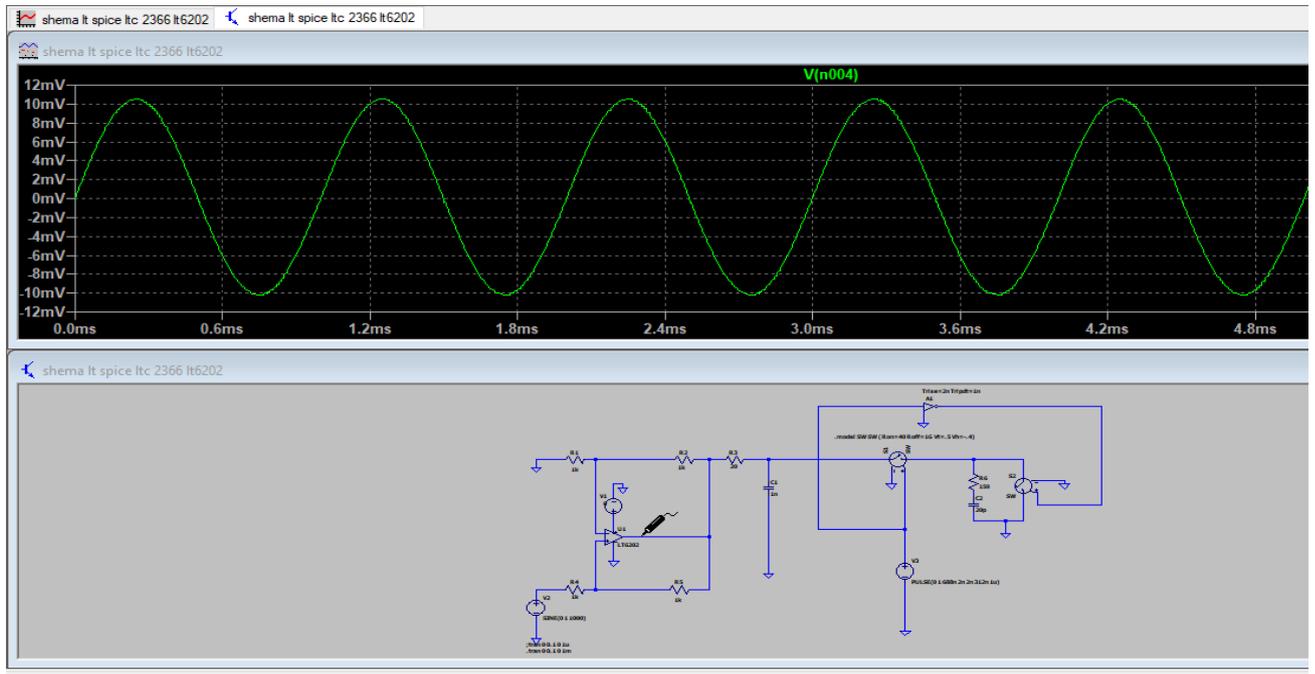


Figure (III.10) : Courbe de la tension sinusoïdale a la sortie de l'amplificateur (LT6202)

Dans cette dernière courbe on constate les valeurs d'échantillonnage prélevés du signal sinusoïdale avec un très grand nombre d'échantillons ce qui nous a obligés de changer le paramètre du temps pour pouvoir saisir bien le résultat obtenu.

CHAPITRE III : Simulation d'une chaîne d'acquisition de données à base d'un CAN en (SAR ADC, PROTEUS)

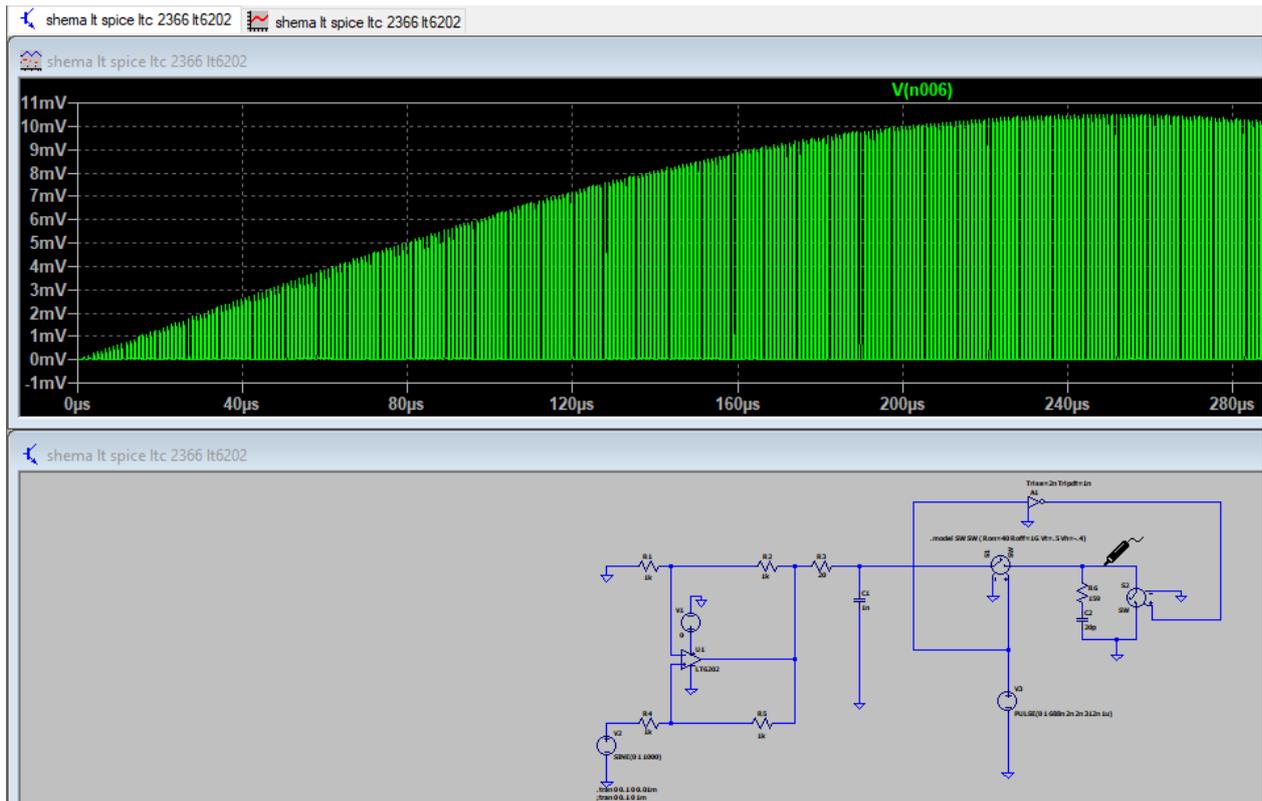


Figure (III.11) : Courbe montrant les valeurs échantillonnées du signal amplifié

III.14. Conclusion :

On a vu en ce chapitre des généralités sur le logiciel Micro C PRO qui nous permet de programmer le convertisseur intégré au MCU et même le CAN externe en utilisant ses bibliothèques pour ensuite faire la simulation à travers le logiciel "Proteus".

L'architecture SAR ADC appliquée sur le logiciel LT Spice montre de grandes performances sous forme d'un grand nombre de valeurs échantillonnées dans un très petit intervalle de temps ce qui fait élever la précision, la résolution et la qualité de sa performance. Cela prouve encore une fois son utilisation dans des différentes applications exigeantes.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans tous les domaines de l'électronique, la part du traitement numérique ne cesse de croître (communication, automobile, instrumentation, médicale...). Ce choix est souvent justifié par des avantages techniques tels que la grande stabilité des paramètres, une excellente reproductibilité des résultats et des fonctionnalités accrues. Ce qui équivaut dans la plupart des cas à un gain des coûts et à une nouvelle souplesse du traitement.

Le monde extérieur étant par nature 'analogique', les CAN et CNA règnent sur toutes les chaînes d'acquisition et système de traitement du signal ou de données, cette recherche scientifique nous a donné la possibilité d'accéder aux multiples éléments qui constitue une chaîne d'acquisition de l'information à travers des programmes et des simulations et notamment confirme le rôle qui joue le CAN dans ce processus.

L'utilisation de bloc indépendant du convertisseur analogique numérique (LTC2366, LT6202) permet de bénéficier de plusieurs points positives et précisément en résolution, l'utilisation de l'architecture (SAR ADC) devenant une vraie option à prendre par rapport à un CAN locale ordinaire du microcontrôleur qui reste insuffisant dans certaines applications exigeant plus de capacités et de hautes performances.

La simulation effectuée en ce Project par des moyens professionnels vient de donner raison à ce constat et valider notre étude concernant l'apparence des vraies CAN qui reste très intéressants vue la valeur et l'utilité qu'elle porte une conversion adéquate et correcte des signaux de l'analogique au numérique dans un traitement automatisé

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] wikipedia (site internet)
- [2] A2 eln sgn (livre)
- [3] Signal analogique et signal numérique. Numérisation et transmission, www.assistancescolaire.com
- [4] https://sti.discip.ac-caen.fr/IMG/pdf/les_signaux_electriques.pdf
- [5] Mémoire de master 2015/2016 ‘‘ Etude et réalisation d’une carte d’interface de commande et de contrôle via le port USB’’/ université de Msila
- [7] <http://euro.branly.free.fr/ISI/automatisme/BTS%20CIRA/Metro/Metrologie10>
- [8] https://sti.discip.ac-caen.fr/IMG/pdf/Generalites_sur_les_capteurs.pdf
- [9] cours-capteurs-actionneurs-instrumentation-industrielle
- [10] produits info <https://www.omega.fr/prodinfo/acquisition-de-donnees.html>
- [11] « Principe du passage de l’analogique au numérique » École Normale Supérieure de Lyon, <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr>, 2012.
- [13] mémoire de master 2013/2014 ‘‘convertisseur analogique numérique’’ /Université d’ain temouchent
- [14] Olivier Bernal, « Conception de Convertisseurs Analogique-Numérique en technologie CMOS basse tension pour chaînes Vidéo CCD Spatiales », Thèse doctorat Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [15] « Conception avancées des circuits intégrés analogiques. Convertisseurs A/N et N/A»,
- [16] <https://www.zonetronik.com/les-microcontrolleurs-pic/>
- [17] <https://informatique-et-electronique.fr/index.php/electronique-tutos/programmationpic16f877a2>
- [18] <https://microcontrollerslab.com/spi-communication-pic-microcontroller/>
- [19] Fiche technique (LTC 2366)
- [20] <http://www.datasheet.es/PDF/685084/LTC2366-pdf.html>
- [21] <https://www.embedded.com/the-care-and-feeding-of-adcs-in-portable-medical-sensor-apps/>
- [22] <https://www.electronique-mixte.fr/mikroc/>
- [23] site internet officiel spécialisé en électronique ‘‘LEXTRONIC’’
- [24] logiciel ‘MikroC PRO for PIC’
- [25] <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials>

BIBLIOGRAPHIE

[26] <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>