

NOMENCLATURE

Symbole	Signification	Unité
P	Puissance active	W
Q	Puissance reactive	VAR
v_{ω}	Tension dans la composante α	V
v_{β}	Tension dans la composante β	V
i_{α}	Courant dans la composante α	A
i_{β}	Courant dans la composante β	A
V_{ref+}	Tension de référence haute	V
V_{ref-}	Tension de référence base	V
T_{AD}	Temps d'acquisition d donnée	S
a, b et c	Paramètres de system triphasé	

GLOSSAIRE

ADC	Analog-to-Digital Conversion
CC	Courant Continue
CPU	Unité de Traitement Central
DMA	L'accès Direct à la mémoire
FIFO	First In First Out
FOSC	Fréquence d'oscillateur
MIPS	Millions Instruction Per Second
PLL	Phase-Locked Loop
SAMC	Auto Sample Time
SAR	Successive Approximation
UART	Universal Asynchrone Receiver Transmitter

SOMMAIRE

REMERCIEMENT.....	I
DEDICACE-1	II
DEDICACE-2	III
LISTE DES FIGURES.....	IV
LIST DES TABLEAUX.....	VI
NOMENCLATURE	VII
GLOSSAIRE	VII
SOMMAIRE.....	VIII
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I Réseaux électriques intelligents	
Introduction	3
I.1 Concept du réseau électrique intelligent.....	3
I.2 Composants du réseau électrique intelligent	4
I.3 Infrastructure de comptage avancée.....	5
I.4 Défis faisant face à la mise en œuvre du réseau électrique intelligent	5
I.5 Différence entre compteur électrique traditionnel et compteur intelligent	7
I.6 Architecture d'un compteur intelligent	7
I.7 Unité de mesure de tension et de courant.....	8
I.8 Unité de mesure de l'énergie.....	12
I.9 Microcontrôleur.....	13
I.10 Horloge en temps réel (RTC).....	14
I.11 Alimentation pour un compteur intelligent.....	14
I.11 Unité de communication	14
Conclusion.....	14
CHAPITRE II Prototype	
Introduction	16
II.1 Description du prototype	16
II.2 Alimentation	17

II.3 Capteurs de tension et de courant	17
II.3.1 Capteurs de tension	17
II.3.2 Capteurs de courant	17
II.4 dsPIC33FJ128GP802	20
II.4.1. Caractéristiques technique du dsPIC33FJ128GP802	21
II.4.2 Cablage du dsPIC33J128GP802	22
II.4.3 Fréquence de fonctionnement du dsPIC33FJ128GP802	23
II.5 Module ADC en dsPIC33FJ128GP802	23
II.5 1 Characteristics technique.....	23
II.5.2 Principe de conversion numerique analogique.....	24
II.5.3 Tension de référence	28
II.5.4 Résolution	29
II.5.5 Organigramme de conversion analogique-numérique.....	29
II.6 Unité de communication-UART	31
II.7 Calcul de puissance.....	32
II.8 Résultats et interprétations	34
II.9 Problémé rencontre dans la réalisation d'un prototype	40
Conclusion.....	41
CONCLUSION GENERALE.....	42
References bibliographie	43
ANNEXE	44

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, le secteur de l'électricité était à la recherche d'une étape de restructuration du réseau électrique pour obtenir une puissance plus efficace, sain et stable. Ceci est dans le but non seulement d'assurer la plus grande sécurité et de fiabilité pour les consommateurs, mais aussi pour minimiser la consommation d'énergie.

Les compteurs intelligents intégrant des technologies de communication jouent un rôle important dans l'évolution du nouveau concept qui est le réseau électrique intelligent, car ils fournissent aux opérateurs de gestion d'énergies des informations qui leur permet de mieux gérer cette énergie dans le réseau de distribution, ce qui engendre une meilleure optimisation et la minimisation des pics de consommation par exemple.

Les ménages ou les entreprises équipées de compteurs intelligents peuvent ainsi par exemple surveiller leurs consommations d'électricité et faire des ajustements qui permettent de réduire leurs consommations globales ou décaler l'utilisation de quelque équipement, si cela est possible, à des heures qui ne sont pas à des heures de pointe, lorsque les prix sont plus bas. Cela profite ainsi aux producteurs d'énergie électrique et au consommateur parce que la baisse de la demande pendant les heures de pointe réduit la quantité d'électricité dont ils ont besoin « les producteurs » à produire.

Le but de ce projet est étude et conception des composants nécessaires à un compteur évolué en calculant la puissance puis l'énergie en temps réel. Nous avons ainsi divisé notre projet de la manière suivante :

Le premier chapitre a fourni une idée générale d'un réseau intelligent, les avantages et les défis. Nous avons également discuté des composants et des différences entre un réseau électrique intelligent et un réseau électrique existant. Ensuite, nous avons fait une étude détaillée sur les éléments constituant un compteur électrique, leurs architectures, leurs évolutions et les systèmes de communication possible qui peut être intégré à ces compteurs intelligents.

Le deuxième chapitre concerne la réalisation d'un prototype de compteur à base d'un microcontrôleur de type DSPIC pour le calcul de l'énergie consommée en calculant la puissance active.

CHAPITRE I

Réseaux électriques intelligents

Introduction

L'énergie électrique est utilisée dans tous les domaines domestiques, commerciaux et industriels. Cette énergie est transportée par le réseau électrique existant qui est basé sur trois parties fondamentales qui sont: la génération, la transmission et la distribution.

Différentes sources d'énergie comme le charbon, hydroélectrique, nucléaire etc. peuvent être utilisées pour la production de cette énergie électrique qui produite par de grands générateurs est ensuite transmise dans les lignes de transmission à haute tension qui est ensuite abaissée par les transformateurs dans une sous-station. Les sous-stations fournissent l'énergie demandée aux consommateurs finaux. Ainsi, le flux de la puissance dans ce type de réseau électrique traditionnel est unidirectionnel.

Les deux parties fondamentales, la génération et la transmission ont de très bon système de communication pour assurer la sécurité du système complet et pour avoir un dispatching optimal. Par contre, le système de distribution d'un réseau électrique traditionnel est passif avec peu de communication et le système de contrôle local est limité. Pour les grandes charges (comme les industrielles) le réseau électrique existant manque de surveillance de la tension et du courant délivrer en temps réel. De plus, les consommateurs d'électricité cherchent le meilleur service clientèle, une précision dans la mesure de l'énergie, une plus grande efficacité du réseau électrique et une information en temps réel. Ce qui n'existe pas dans ces réseaux électriques de distribution classique car les compteurs électriques utilisé n'intègrent pas de système de communication et sont de simple compteur électronique.[1]

Ces exigences imposent une transformation technologiques et innovante dans le secteur d'électricité, intégration les systèmes de communications et le système de contrôle automatique au système de distribution qui ont introduit un nouveau système de réseau électrique appelé « réseau électrique intelligent ». C'est ce type de réseau électrique que nous allons présenter dans ce chapitre.

1.1 Concept du réseau électrique intelligent

Un réseau électrique intelligent est un réseau d'électricité qui peut intelligemment intégrer les actions de tous les utilisateurs qui y sont connectés, à savoir : générateurs classiques et renouvelable et les consommateurs de plus en plus dynamiques. Un réseau électrique intelligent a donc un objectif conceptuel dont la réalisation nécessitera la modernisation continue du réseau à travers l'utilisation des technologies numériques classiques et avancées. Une meilleure surveillance, la protection et le contrôle du réseau va donc permettre une meilleure prestation et fiabilité des services de l'électricité.[1]

La figure suivante donne une idée générale sur le réseau électrique.

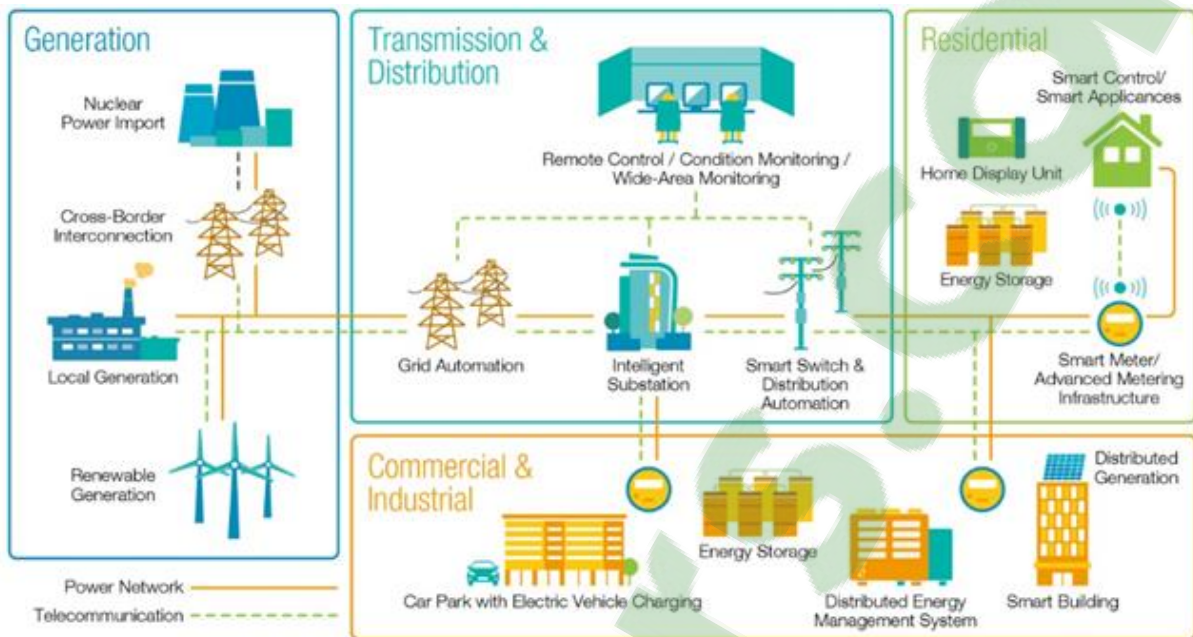


Figure I.1: Schéma de base d'un réseau électrique intelligent

Pour que le réseau électrique intelligent fournisse une puissance efficace, il faut :[2]

- (i) Une fiabilité de l'offre.
- (ii) Une utilisation optimale de la production d'énergie et de stockage en combinaison avec des ressources distribuées et des charges de consommation contrôlables pour assurer un moindre coût.
- (iii) Un impact minimal de la production d'électricité et de livraison sur l'environnement.
- (iv) Une réduction de la consommation de l'électricité, une augmentation de l'efficacité du réseau de distribution et une efficacité des utilisations finaux.
- (v) Une résilience de l'offre et de la livraison contre les attaque-physique, les cyber-attaques et les principaux phénomènes naturels (par exemple, les ouragans, les tremblements de terre, tsunamis, etc.).
- (vi) Assurer la qualité optimale de puissance pour tous les consommateurs qui en ont besoin.
- (vii) Une surveillance de tous les composants critiques du système d'alimentation pour permettre la maintenance automatisée et à la prévention des pannes.

I.2 Composants du réseau électrique intelligent

Pour mettre en œuvre un réseau intelligent, une large gamme de technologies devrait être élaboré et mis en œuvre, qui sont essentielles regroupées dans les technologies suivantes :[3]

- **Appareils intelligents** capable de décider du moment de consommer la puissance en fonction des préférences du client prédéfinies. Cela peut aider vers la réduction des charges de pointe qui a un impact important sur les coûts de production d'électricité et ainsi diminuer les besoins de nouvelles centrales électriques. Exemple, les consommateurs peuvent économiser jusqu'à 25% sur leur consommation d'énergie quand ils incorporent des outils d'information et de gestion.
- **Compteurs électriques intelligents** incorporant les communications dans les deux sens entre les consommateurs et les fournisseurs d'énergie et pour automatiser la collecte de données de facturation et la détection des pannes.
- **Sous-stations intelligentes** qui comprennent la surveillance et le contrôle des données opérationnelles critiques et non critiques tels que la performance du facteur de puissance, des dans différents équipements disjoncteurs, des transformateurs, etc. la sous-station transforme la tension dans de nombreux endroits, fournissant de l'énergie de livraison sûre et fiable.
- **Communications intégrées** dans différents équipements afin de fournir des informations en temps réel. Les différentes technologies utilisées dans la communication des réseaux électriques intelligents sont de type filaire tel que la fibre optique ou non filaire tel que les xbee, wifi, etc.
- **Accès universel** aux sources de productions classiques tel que les centrales ou de production renouvelable tel que les éoliennes et le solaire, à des prix abordables.

1.3 Infrastructure de comptage avancée

La mise en œuvre d'Infrastructure de comptage avancée (AMI) est l'une des étapes essentielles et nécessaires à la modernisation du réseau électrique car il utilise un système de communication bidirectionnel pour la surveillance et le contrôle du réseau électrique. L'AMI n'est pas en fait une technologie unique, mais plutôt une intégration de différentes technologies, tel que :

- Compteurs intelligents
- Infrastructure réseau étendue
- Système de management des données du compteur
- Passerelles opérationnelles

1.4 Défis faisant face à la mise en œuvre du réseau électrique intelligent

Parmi les défis qui font face à la mise en œuvre des réseaux électriques intelligents, nous avons :[4]

- Le vieillissement des infrastructures : il y a des infrastructures qui sont âgées et nécessitent une rénovation importante des équipements pour soutenir l'évolution des réseaux électriques intelligents. Ainsi, le réseau électrique existant traditionnel a besoin de nouvelles technologies et infrastructures pour le transport et la distribution.
- L'absence de plate-forme de communication intégrée.
- Coût du déploiement : Système de distribution constituant le principal coût du système de réseau intelligent qui est très coûteux.
- Gestion des données : Un autre défi est la gestion d'une grande quantité de données générées par un large éventail de parties prenantes telles que les services publics d'électricité, les fournisseurs, les municipalités et les consommateurs.
- Transition des systèmes existants : Les anciens systèmes ne peuvent pas toujours être équipés de nouvelles technologies et donc ils doivent avoir une solution technologique d'ensemble.
- Consommateurs avisés : Le réseau électrique intelligent est conçu pour offrir des services à ses consommateurs. Les consommateurs doivent accepter les systèmes de communication dans les deux sens, ainsi que la mise en œuvre de prix dynamique qui peut inciter les consommateurs à changer leurs habitudes de consommation.
- Compatibilité des appareils plus anciens : Certains équipements qui sont anciens doivent être remplacés car ils ne peuvent être installés ultérieurement pour être compatibles avec les technologies de réseaux intelligents.
- La Cyber sécurité : Ceci est un autre domaine de défi où le lien du flux de données entre les services publics et les clients crée un besoin de répondre à la cyber sécurité.
- Le manque de normes et d'interopérabilité: Le passage à la norme commune prendra des années de développement supplémentaire, en prenant en compte les essais et les négociations. La question la plus compliquée face aux réseaux électriques intelligents est la recherche de normes pour faciliter l'interopérabilité.
- Faire plus d'énergie à des prix abordables pour permettre à tous d'utiliser l'énergie renouvelable pour répondre à leurs besoins fondamentaux.
- Pour ralentir la croissance globale de la consommation d'énergie grâce à la conservation et à l'amélioration de l'efficacité énergétique et utiliser des sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement.
- Les changements dans les politiques réglementaires: De nombreuses politiques de réglementation sont maintenant dépassées pour faire face aux conséquences de l'intégration des réseaux électriques intelligents.
- Le manque de compétences humaines : Comme le réseau électrique intelligent est encore un nouveau concept en cours d'exécution. Il manque de compétences pour faire face aux équipements très sophistiqués.

I.5 Différence entre compteur électrique traditionnel et compteur intelligent

D'après ce que nous avons décrit plus haut, nous remarquons qu'il y a une différence importante entre un compteur électrique traditionnel et un compteur intelligent. Cette différence est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Comparaison entre compteur traditionnel et intelligent

Compteurs traditionnels	Compteurs Intelligents
Compteurs électromécaniques	Compteurs électroniques
Ces compteurs nécessitent une maintenance fréquente afin de maintenir sa précision	Le service se fait tous les 10 à 20 ans principalement pour remplacement de la batterie
Ils exigent un agent de prélèvement	Pas besoin d'agent. Le prélèvement se fait à distance
Il n'y a aucune unité de communication	Il y a unité de communication

I.6 Architecture d'un compteur intelligent

Quelle que soit la technologie utilisée dans un compteur électrique, les composants matériels de base du compteur intelligent comprennent les éléments suivants comme le montre la figure suivante :[5]



Figure I.2 : Cinq blocs fonctionnels du compteur intelligent.

Donc il y a cinq blocs nécessaires pour réalisation d'un compteur intelligent:

- Acquisition du signal qui comprend la mesure du courant et de la tension
- Circuit de conditionnement de signal
- Conversion analogie numérique
- Calcul par microcontrôleur, microprocesseur etc.
- Communication

La figure suivante montre une architecture plus détaillée d'un compteur intelligent.[5]

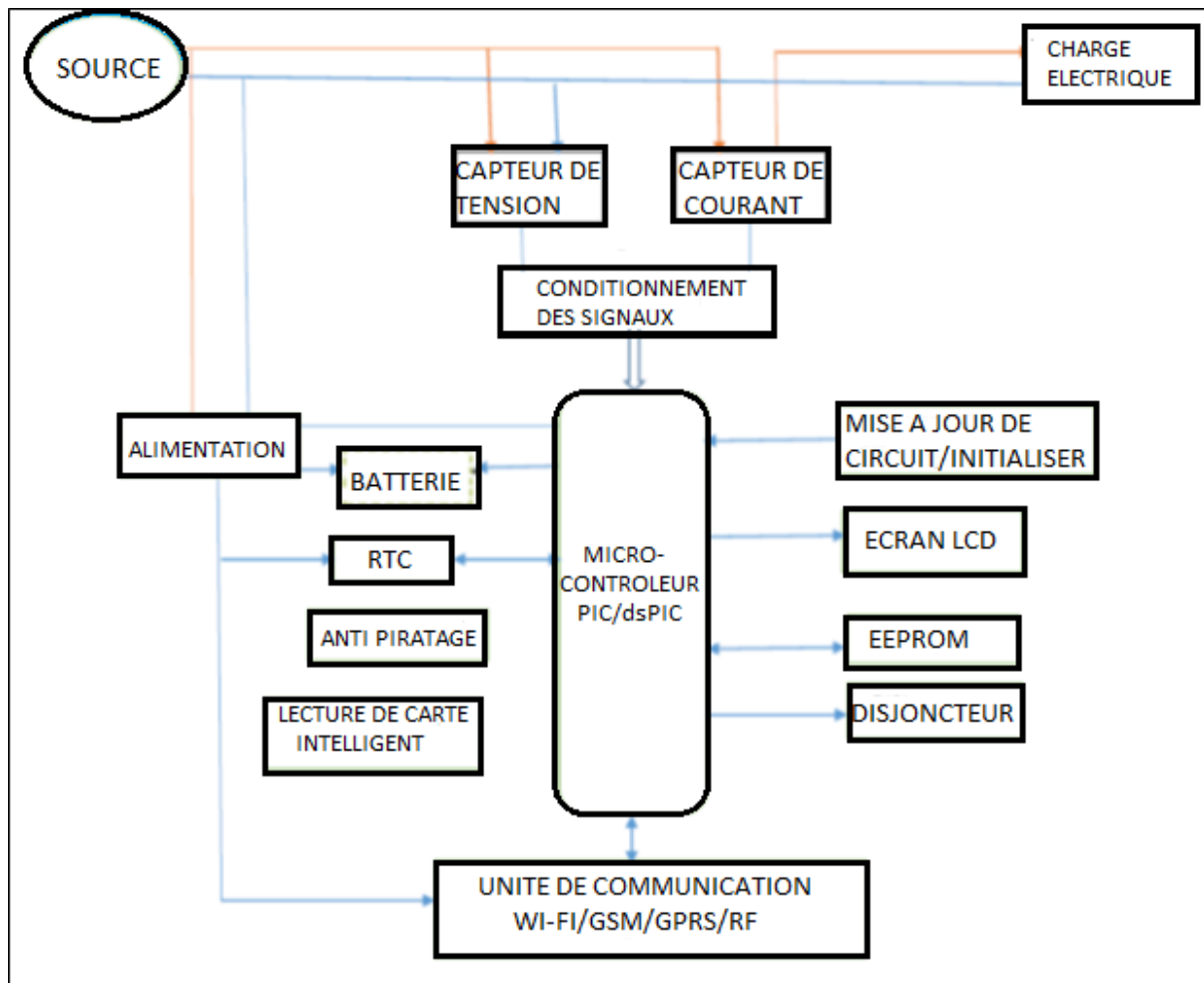


Figure I.3 : Architecture d'un compteur intelligent

I.7 Unité de mesure de tension et de courant

Il existe différentes façons de mesurer la tension et le courant pour un compteur intelligent, parmi eux nous avons : circuits passifs et capteur à effet Hall :

a) Circuit passifs

- **Pont diviseur de tension** : C'est un circuit qui utilise une série deux résistances pour produire la tension de sortie qui est une fraction de la tension d'entrée en raison de la distribution de la tension entre les deux résistances. La valeur des deux résistances est bien choisie de telle sorte que la tension de sortie est dans la plage acceptable par le microcontrôleur afin d'être converti en valeur numérique. Cette technique a été plus utilisée en raison de sa simplicité et son faible coût.

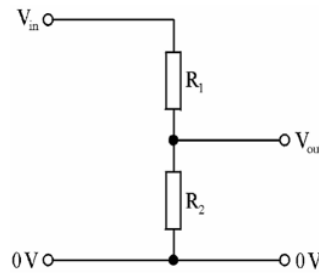


Figure I.4 Pont diviseur de tension

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (I.1)$$

Où V_{out} = tension de sortie exploitable.

V_{in} = Tension d'entrée provenant de la source

La valeur de R_1 est beaucoup plus grand que R_2 ($R_1 \geq 500R_2$) de sorte que la tension de sortie V_{out} aussi petite que la tension d'entrée du microcontrôleur [5]

- **Résistance de shunt** : Dans cette méthode, la détection de courant se fait en plaçant une résistance shunt (une résistance de faible valeur et de haute précision) en série avec une charge dont le courant circulant à travers doit être mesuré. En mesurant la tension aux bornes de cette résistance shunt, le courant circulant dans le circuit peut facilement être connu en appliquant la loi d'Ohm.

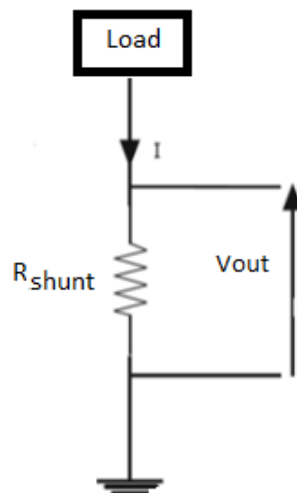


Figure I.5 Schéma de fonctionnement de résistance de shunt

$$V_{out} = IR_{shunt} \quad (I.2)$$

L'avantage de cette technique est sa simplicité est sa mise en œuvre, et peut également être appliqué à la fois pour courant continu et courant alternatif. L'inconvénient de cette technique est :[6]

- ✓ Une absence d'isolation galvanique (en cas de court-circuit de la source d'alimentation, la charge peut être en danger d'être brûlé).
- ✓ Une dissipation de puissance dans la résistance shunt (la puissance dissipée est proportionnelle au carré du courant circulant à travers la résistance de shunt).
- ✓ Un problème de chute de tension en particulier lors de la mesure des courants élevés.
- ✓
- **Transformateur de courant** : Comme tout autre type de transformateurs, un transformateur de courant produit un courant secondaire qui est directement proportionnel à son courant primaire et sont pratiquement en phase. C'est en fait un transformateur abaisseur de courant. [7]
-
- **Bobine de Rogowski** : La bobine de Rogowski est un composant utilisé pour mesurer la variation du courant électrique dans un temps donnée. Il est composé d'enroulement hélicoïdal dans lequel le fil commence à partir d'une extrémité en passant autour d'un conducteur, puis de revient au point de départ.

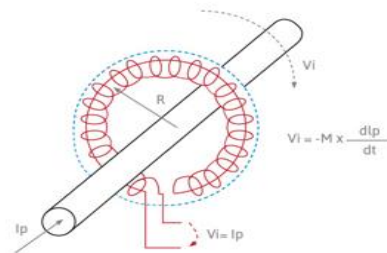


Figure I.6 : Bobine de Rogowski

La bobine de Rogowski est une bobine avec un noyau non magnétique, il y a bobine à noyau d'air, qui produit une tension proportionnelle à la dérivée du courant

$$V_{out} = k \frac{dI}{dt} \quad (I.3)$$

Nous pouvons obtenir le courant en faisant l'intégration :

$$I = \frac{1}{k} \int V_{out} dt \quad (I.4)$$

I : courant circulant dans le conducteur ; k : Constante

Selon l'équation précédente, la bobine de Rogowski nécessite la présence d'un circuit intégrateur afin que nous puissions obtenir le courant circulant à travers le conducteur.

Le fait qu'il n'a pas de noyau magnétique, la bobine de Rogowski a beaucoup d'avantages comparait au transformateur de courant, qui sont :

- ✓ Pas de saturation et donc une bonne linéarité.
- ✓ Peut résister aux fort courant de court-circuit sans dommage, il peut donc être utilisé dans les essais de court-circuit des générateurs.
- ✓ Sa réponse est très rapide en raison de la faible inductance.

Bien que bobine de Rogowski offre beaucoup plus avantages qu'un transformateur de courant, l'utilisation d'un intégrateur est l'un des revers de cette technique, comme le circuit intégrateur a besoin d'une tension continue pour son fonctionnement, ce qui introduit une tension continue de décalage à ce capteur, ce qui signifie que la bobine Rogowski ne peut pas mesurer une tension continue en dessous de cette tension.

b) Capteurs à effet Hall

Dans ces capteurs, la production de la tension où la différence de potentiel est due à l'écoulement du courant perpendiculairement au champ magnétique. La tension produite est perpendiculaire à la direction de circulation du courant. Ce principe a été nommé d'après Edwin Hall en 1879. Par conséquent, le capteur à effet Hall est un capteur qui produit une tension comme sortie, qui varie en fonction de la variation de champ magnétique produit par le courant d'entrée. En général, ce capteur se compose principalement de deux types :

- **Capteurs à effet Hall en boucle ouverte** : Le conducteur traversé par le courant d'entrée dont on veut le mesurer est placé dans l'entrefer du circuit primaire. Cet écoulement de courant produit une tension de Hall V_H qui est proportionnel au courant d'entrée. Fréquemment, on ajoute un circuit à la sortie de ce capteur pour améliorer le signal utilisé et obtenir une tension désirée.

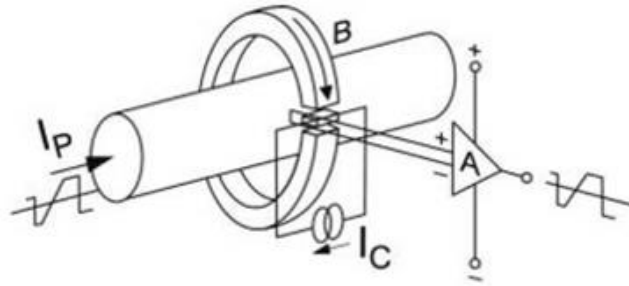


Figure I.7 : Capteurs de courant à effet Hall en boucle ouverte

- **Capteurs à effet Hall en boucle fermée :** Ce capteur est constitué du même circuit que celui en boucle ouverte, sauf qu'il y a un circuit supplémentaire (bobine secondaire) qui produit un courant en opposition (à l'équilibre) du courant primaire. Ce qui produit un courant de compensation qui est proportionnel au courant primaire. Le courant secondaire produit est l'image du courant primaire et est convertie en tension par une résistance.

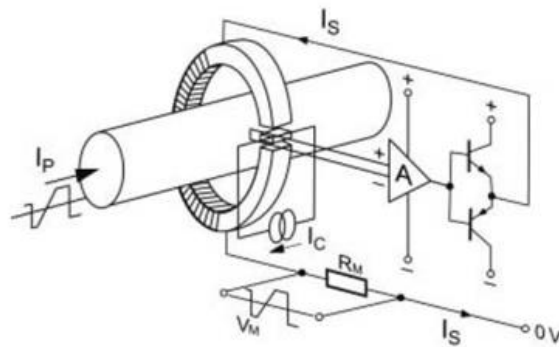


Figure I.8 : Capteurs de courant à effet Hall en boucle fermée

c) Remarque

Le transformateur de courant, la bobine de Rogowski et les Capteur à effet Hall peuvent être utilisés pour mesurer directement un courant. Pour mesurer la tension, il suffit d'ajouter une résistance de grande valeur en série à l'entrée de ce type de capteur.

1.8 Unité de mesure de l'énergie

La mesure d'énergie pour le compteur intelligent peut être effectuée soit par une puce de mesure d'énergie standard, soit par un microcontrôleur lui-même. L'unité de mesure d'énergie standard peut être

composée de l'unité ADC et de l'unité de computation pour calculer la puissance active, la puissance réactive et la puissance apparente.

L'unité de mesure d'énergie moderne se compose d'une unité de traitement de signal numérique (DSP) pour le traitement de données.

Dans notre projet, nous avons utilisé dsPIC33FJ128GP802 qui est l'hybride du DSP et PIC microcontrôleur comme notre unité de mesure de l'énergie.

1.9 Microcontrôleur

Ceci est parmi les composantes les plus importantes du compteur intelligent car il contrôle et exécute toutes les tâches dans un compteur intelligent. Un microcontrôleur peut être simplement considéré comme un système sur puce qui est capable d'exécuter un programme et qui contient des circuits pour communiquer avec l'environnement extérieur. Un microcontrôleur est composé des éléments suivants:

- Une unité de traitement et de commande central (CPU, ce qui équivaut au microprocesseur) qui effectue l'un après l'autre les opérations et les instructions contenues dans un microprogramme stocké dans la mémoire (mémoire Flash).
- Un oscillateur pour le cadencement. Il peut être fait avec un quartz, un circuit RC ou PLL.
- La mémoire vive (RAM) pour stocker temporairement des données et des variables (quelques octets).
- ROM (2 ou plusieurs types) pour stocker le programme (plusieurs KB). Différentes technologies peuvent être utilisées : EPROM, EEPROM, mémoire flash plus récente).
- Périphériques capables d'exécuter des tâches spécifiques. On peut citer :
 - La gestion d'un port parallèle (entrée / sortie)
 - Des convertisseurs analogique-numérique (CAN) (indiquer un nombre binaire à partir d'une tension électrique)
 - Des convertisseurs numérique-analogique (CNA) (effectuer l'opération inverse)
 - Générateurs de PWM
 - Minuteries / compteurs (impulsion d'horloge interne ou externe événement compteurs)
 - Chiens de garde
 - Les comparateurs (comparer deux tensions électriques)
 - Contrôleurs de bus de communication (\$UART, I²C, SSP, CAN, USB, Ethernet, etc.)

Il existe différents types de microcontrôleurs en fonction de des fabricants, parmi eux nous avons : AVR, ARM, PICs (Programmable Interface Controller) etc.

I.10 Horloge en temps réel (RTC)

Le RTC est un module intégré dans le DSPIC, il peut fournir le temps et la date.

I.11 Alimentation pour un compteur intelligent

L'alimentation de compteur intelligent est principalement constituée d'un transformateur abaisseur, d'un redresseur, d'un convertisseur CC-CC, et d'un régulateur.

I.11 Unité de communication

Dans un compteur intelligent il est nécessaire d'introduire des systèmes de communication, afin de pouvoir transmettre et de recevoir des informations du compteur pour un traitement en temps réel des données.

Parmi les technologies pour la communication nous avons le Wi-Fi, Bluetooth, Power Line Communication (PLC), ZigBee, Z-wave etc.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté du réseau électrique intelligent en générale puis nous avons entamé la description de l'architecture des composants nécessaires à la conception du compteur intelligent, des différentes technologies possibles qui peuvent être intégrées et leur fonctionnement.

Dans le prochain chapitre se trouve le prototype de notre projet, dans lequel nous parlerons de la méthode de calcul de la puissance puis de l'énergie des signaux. Puis nous allons présenter notre prototype en détail.

CHAPITRE II

Prototype

Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons vu la description des composants nécessaires d'un compteur intelligent, y compris l'alimentation électrique, le capteur de courant et de tension, le microcontrôleur, l'unité de communication, etc.

Dans ce chapitre, nous aborderons la partie pratique de notre projet, qui repose notamment sur la conception du système de mesure de tension et de courant, la conversion analogique-numérique utilisant le microcontrôleur dsPIC33FJ128GP802 et le système de communication entre notre microcontrôleur et l'ordinateur.

II.1 Description du prototype

La Figure II.1 montre les éléments essentiels de notre travail pratique, qui consiste en partie à l'acquisition de données qui mesure la tension et le courant en utilisant les capteurs, le circuit du détecteur de passage par zéro, le redresseur mono-alternance et le microcontrôleur dsPIC33FJ128GP802.

Nous avons également utilisé le module UART du dsPIC pour l'envoi des données au PC via une interface de FTDI232.

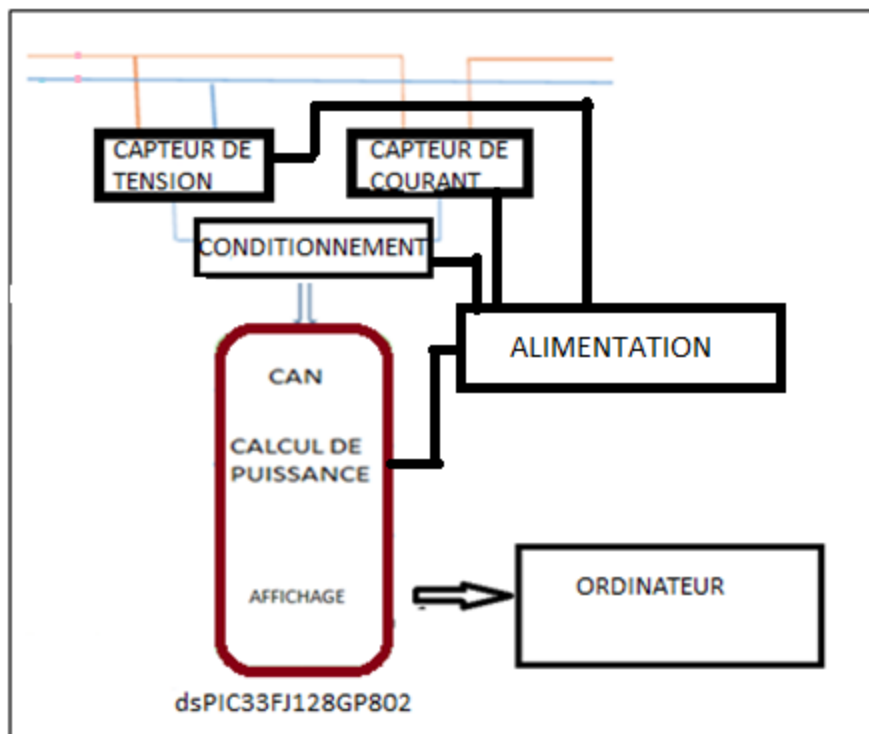


Figure II.1 - Schéma synoptique du prototype

II.2 Alimentation

L'alimentation est nécessaire pour faire fonctionner notre capteur de tension, courant et le circuit de passage par zéro. Nous avons utilisé une double alimentation qui nous donne à la sortie une tension $\pm 15V$ et $\pm 5V$. Cette alimentation a été déjà réalisée par un travail précédent.

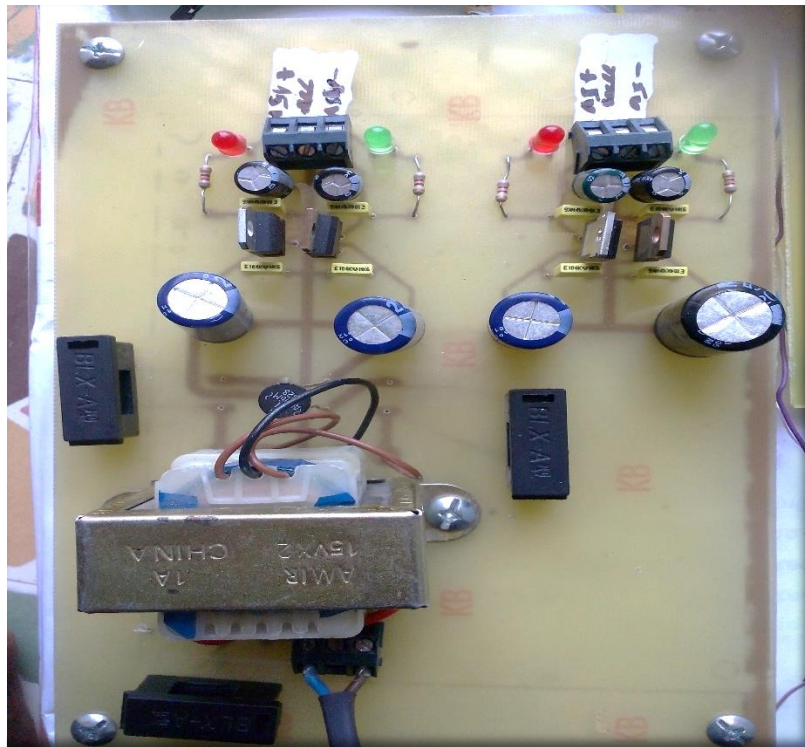


Figure II.2 Double alimentation

II.3 Capteurs de tension et de courant

Un compteur doit mesurer le courant et la tension de charge, cela peut être fait simplement à l'aide du capteur de courant et de tension respectivement. Pour notre prototype nous avons utilisé des capteurs à effet hall pour la tension et le courant, car il offre plusieurs avantages, qui sont :

- Le circuit est léger et de petite taille
- Pas de saturation
- grande précision

II.3.1 Capteur de tension

Pour mesurer de tension aux bornes d'une charge, nous avons utilisé le capteur de tension à effet Hall de type LEM LV 25-P.

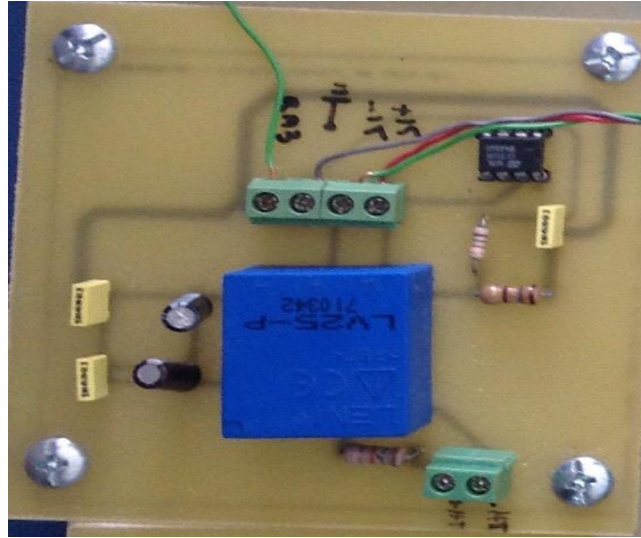


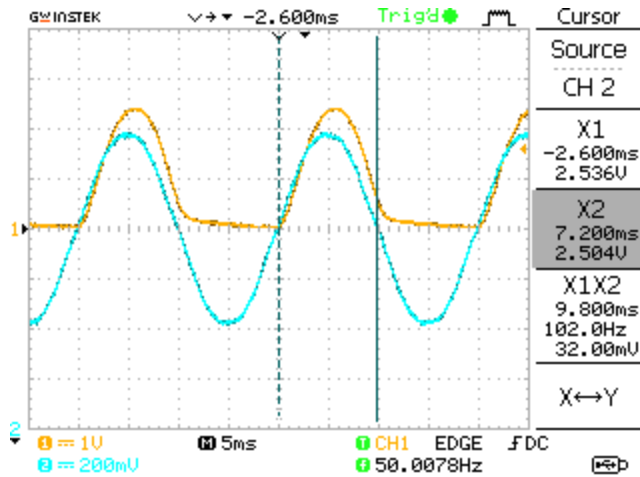
Figure II.3 - Circuit de Capteur de tension LV-25-P

Ce capteur de tension pour qu'il puisse fonctionner doit être alimenté en ($\pm 12V$ ou $\pm 15V$). Une résistance R_{in} est placée à l'entrée de ce capteur de telle sorte que sa valeur dépend de la valeur de la tension à mesurer de sorte que le courant circulant dans les enroulements primaires ne dépasse pas les 10 mA. Une autre résistance R_m est placée à la sortie du capteur. Il a pour rôle de fixer la tension de sortie du capteur à la valeur souhaitée.[8]

Par exemple, dans notre projet, la tension venant du capteur alimentera la broche AN2 du dsPIC33FJ128GP802 qui supporte une tension de 3,3 V. Donc la valeur de la résistance R_m doit être choisie pour faire en sorte que la tension de sortie est de 3,3 V.

Puisque la méthode de calcul de puissance que nous avons utilisé nous permet de calculer la puissance à partir d'une demi période, donc nous avons décidé de redresser la tension pour obtenir que les valeurs positives d'une demi période afin d'éviter les valeurs négatives de la tension qui nécessite le circuit supplémentaire au niveau du microcontrôleur pour qu'il fonctionne avec la tension de référence négative.

La figure II.4 montre l'allure de l'alimentation alternative en cyan avant redressement ayant une valeur efficace 24V. La deuxième allure en orange est l'allure d'alimentation après redressement monophasé tracé à partir de la sortie de notre capteur de tension



Trait cyan : Tension avant redressement

Trait orange : Tension redressée obtenue à la sortie de notre capteur

Figure II.4: Tension de l'alimentation avant et après redressement.

II.3.2 Capteur de courant

Pour la mesure du courant, nous avons utilisé le capteur de courant à effet Hall de type ACS712 qui nous fournit une tension exploitable. Cette tension alimentera la broche AN0 du dsPIC33FJ128GP802. Les capteurs de courant ACS712 ont différentes gammes de mesure de $\pm 5A$, ± 20 et $\pm 30A$. La seule différence entre ces gammes de mesure est dans leur sensibilité [10]. Dans notre projet nous avons utilisé le capteur de courant ACS712ELC-30A montré sur la Figure II. 5, qui mesure le courant allant de -30A à +30A et que nous avons trouvé d'avoir une sensibilité de 45mV/A après une étude de détermination de coefficient de proportionnalité que nous l'avons fait.

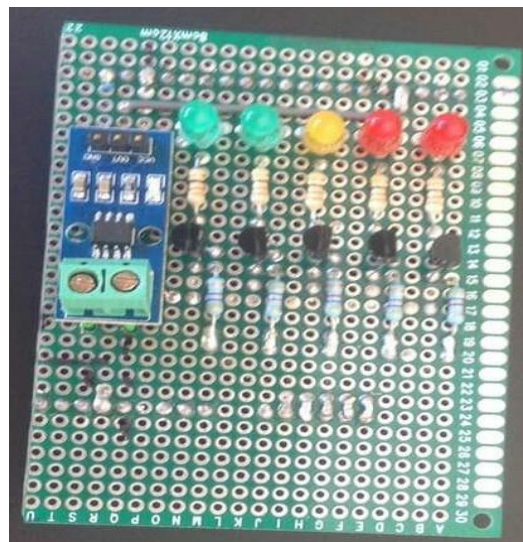


Figure II.5 - Circuit de capteur de courant ACS712

Les capteurs de courant ACS712 génère une tension de sortie qui est directement proportionnel au courant circulant à travers le circuit. C'est un dispositif actif qui signifie qu'elle a besoin d'une alimentation de tension V_{cc} pour son fonctionnement.

En fonctionnement à vide, la tension de sortie est égale à $\frac{V_{cc}}{2}$ et lorsque la charge est connectée, la tension de sortie est égale à :[9]

$$V_{out}(V) = \frac{V_{cc}(V)}{2} + Sensibilité\left(\frac{mV}{A}\right) * courant(A) \quad (II.1)$$

La valeur, $\frac{V_{cc}}{2}$ est l'offset de notre capteur qui compense les valeurs négatives instantanées du courant, donc nous avons à la sortie du capteur de courant la tension qui varie entre 0V et 5V. Due au l'offset, nous n'avons pas besoin de redresser courant.

La figure II.6 montre l'allure de la tension à la sortie de capteur du courant.

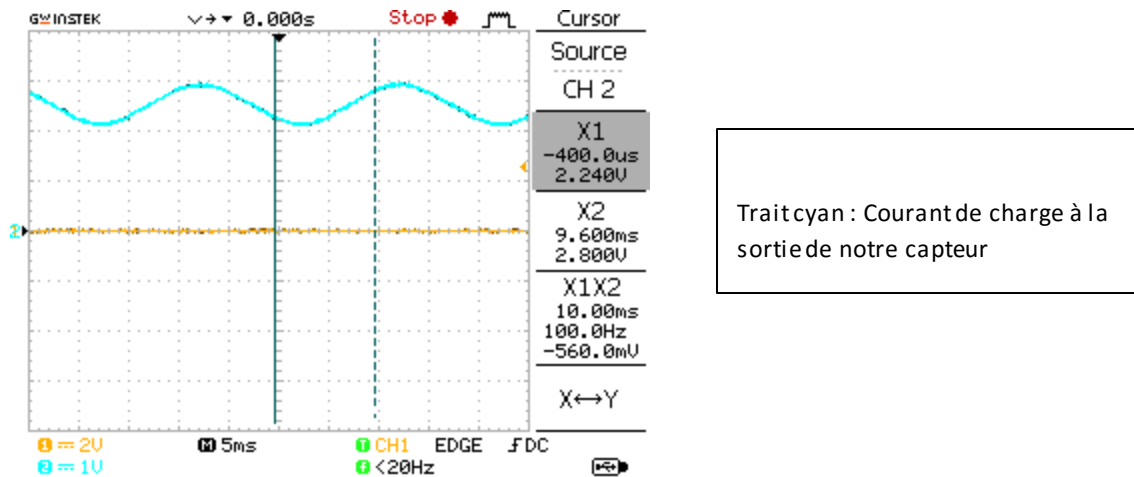


Figure II.6 : L'allure de la tension à la sortie du capteur du courant

II.4 dsPIC33FJ128GP802

Les dsPIC sont la famille de microcontrôleur embarqué qui sont hybride des microcontrôleurs PIC et des processeurs de signal numérique (DSP).

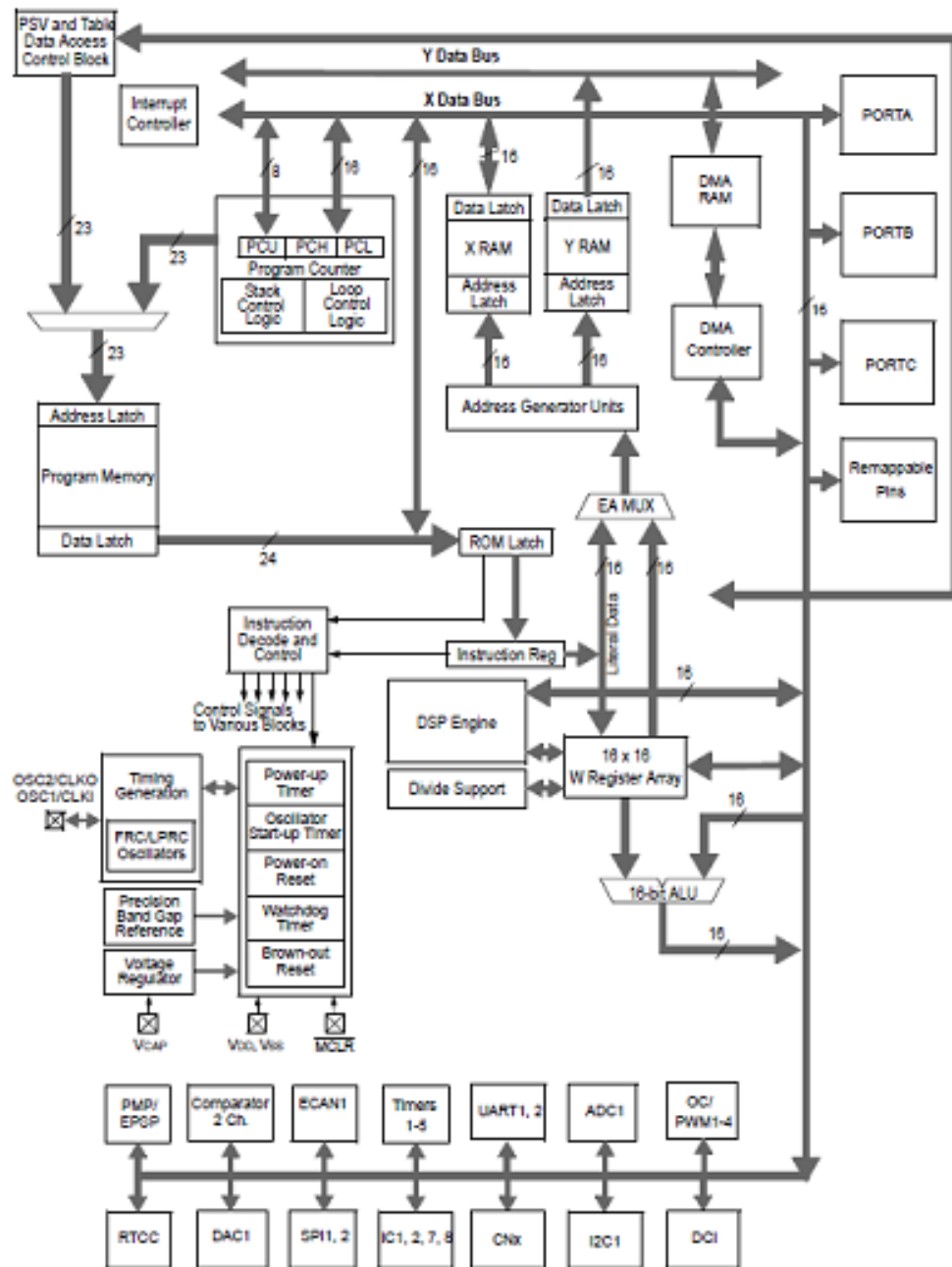


Figure II.7 : Schéma de dsPIC33FJ128GP802 [10]

II.4.1 Caractéristiques technique du dsPIC33FJ128GP802

Parmi les caractéristiques du dsPIC nous avons :[10]

- **Condition de fonctionnement**
 - Jusqu'à 40 MIPS opération (à 3.0-3.6V) :
 - Plage de température (-40 °C à +85 °C)
 - Plage de température étendue (-40 °C à +125 °C)

▪ Caractéristiques du CPU

- Compilateur C jeu d'instructions optimisé
- Fonctionne en 16 bits
- Il peut même fonctionner avec des instructions de 24 bits
- La mémoire programme à un adressage linéaire allant jusqu'à 4 MIPS
- La mémoire de données à un adressage linéaire allant jusqu'à 64 Octets
- Deux accumulateurs de 40 bits avec des options d'arrondi et de saturation
- Modes d'adressage souples et puissants :
- 16 x 16 opérations de multiplication et de fractions entières
- Supporte 32/16 et 16/16 opérations de division
- Cycle de Multiplication et d'accumulation simple
- Ecriture de nouvelles accumulations pour les opérations DSP

▪ L'accès direct à la mémoire (DMA)

- 8 canaux DMA matériel
- Jusqu'à 2 kilo-octets à double zone tampon DMA porté (DMA RAM) pour stocker des données transférées via DMA.
- Permet le transfert de données entre la RAM et un périphérique alors que la CPU exécute le code.

La plupart des périphériques prennent en charge le DMA, y compris :

- Conversion Interface de Donnée (DCI)
- 10 bits / 12 bits convertisseur analogique-numérique (CAN)
- Serial Périphérie Interface (SPI)
- UART

II.4.2 Câblage du dsPIC33FJ128GP802

Pour que le dsPIC travaille dans des conditions de fonctionnement normal, le dsPIC doit être alimenté par une tension VDD qui est égale à 3,3 V qui est fournie par la broche VDD. VSS est la masse du dsPIC. [10]

En outre il y a les broches AVDD et AVSS qui peuvent être utilisées comme broches d'alimentation en tension lorsque l'on travaille avec des signaux analogiques. Ces broches peuvent également être utilisées conjointement avec VDD et VSS pour fournir l'alimentation dans certaines applications qui ont besoin d'alimentation multiples. En toute circonstance, le VDD et AVDD, doivent être reliés entre eux.

Le Figure II.8 montre le circuit de câblage du dsPIC33FJ128GP802.

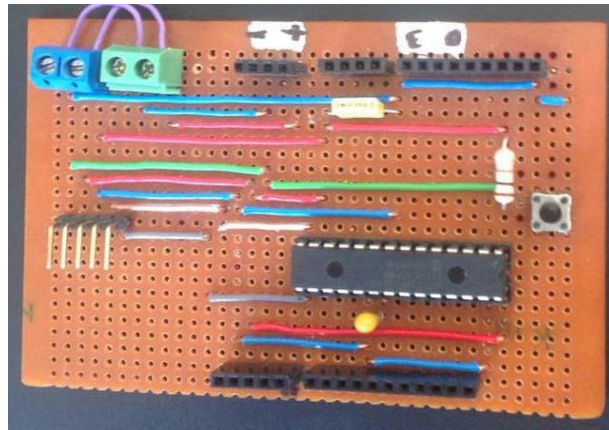


Figure II.8 : Circuit de câblage de dsPIC33FJ128GP802

II.4.3 Fréquence de fonctionnement du dsPIC33FJ128GP802

Comme tout microcontrôleur, la vitesse d'exécution des différentes tâches dans ce microcontrôleur dépend de sa fréquence de fonctionnement qui dépend du choix de la source d'horloge.

Dans ce dsPIC la source d'horloge peut être un oscillateur RC interne ou résonateur/quartz externe. La fréquence de la source d'horloge choisie, peut être ensuite multipliée par une PLL interne qui peut augmenter cette fréquence à la valeur souhaitée. Dans notre projet, nous avons choisi d'utiliser l'oscillateur RC interne comme source d'horloge, dont la fréquence (FOSC) est égale à 7.37 MHz sans PLL.[10]

II.5 Module ADC en dsPIC33FJ128GP802

La plupart des signaux disponibles à ce jour sont sous formes analogiques qui ne peuvent être traité par un microcontrôleur, donc la nécessité d'avoir un module ADC pour convertir les signaux donnés sous forme numérique. Dans la conversion de l'ADC, les résultats de la sortie numérique sont définis par le nombre de bits. Plus le nombre des bits à la sortie est élevé plus les résultats se rapproche de la valeur analogique.

II.5.1 Caractéristiques techniques

Le module ADC du dsPIC33FJ128GP802 présente les caractéristiques techniques suivantes :

- Conversion analogie numérique (CAN) par approximation successive (SAR) peut atteindre jusqu'à 1,1 millions d'échantillons par seconde.

- 10 canaux d'entrée analogiques avec ou sans auto-balayage
- Possibilité d'utiliser des tensions de référence externe VREF+ et VREF-.
- AVDD et AVSS ont été utilisés comme référence de tension dans notre projet.
- Possibilité d'utiliser quatre canaux d'échantillonnages séquentiels et simultanés. Dans notre projet, nous avons utilisé deux canaux d'échantillonnage en simultané à l'aide des canaux CH0 et CH1.
- Le choix de la source de déclenchement de conversion, soit automatique, soit à l'aide de Timers3 /d'interruption externe INT0 / PWM. Dans notre travail, nous avons utilisé l'interruption externe INT0 comme source de déclenchement de l'ADC.
- Il a uniquement un ADC1BUF0 tampon
- Il utilise la mémoire tampon DMA pour stocker des données lorsque les résultats multiples sont nécessaires.
- Conversion possible en mode veille.

II.5.2 Principe de conversion numérique-analogique

La conversion analogique-numérique consiste à transformer un signal analogique qui varie continuellement dans le temps en un signal discret, c'est-à-dire un signal numérique comme il est montré dans la Figure II.9.

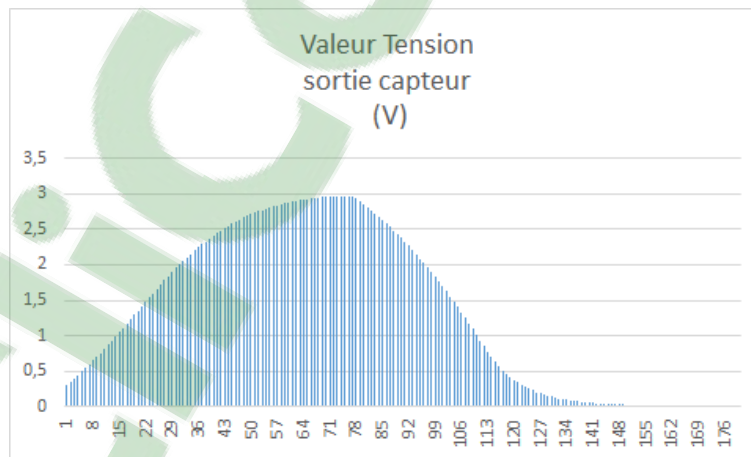


Figure II.9: Signal Analogique Numérique

Le processus de conversion consiste en deux étapes essentielles :

- I. L'échantillonnage : Qui est la première étape. Il consiste à prendre la valeur analogique d'un signal d'entrée dans intervalles réguliers de l'amplitude.
- II. La conversion : La valeur échantillonnée est ensuite transformée en valeurs numériques correspondantes.

Par conséquent, le module ADC doit avoir suffisamment de temps pour faire l'échantillonnage et la conversion. Ainsi le temps de conversion totale est la somme des temps d'échantillonnage et de conversion :

$$T_{total} = T_{sampling} + M * T_{conversion} \quad (II.2) [10]$$

Où M : Nombre de canaux échantillonné

T_{total} : Temps total de conversion

$T_{sampling}$: Temps d'échantillonnage

$T_{conversion}$: Temps de conversion

Le temps total de conversion peut être déterminé simplement par une période de temps (T) d'un signal analogique divisé par le nombre d'échantillons (N) requis pour cette période donnée :

$$T_{total} = \frac{T}{N} \quad (II.3)$$

Où T : Période de temps de signal d'analogie

N : Nombre d'échantillons

Dans notre travail, nos signaux d'entrée sont la tension alternative et le courant alternatif ayant une fréquence de 50 Hz. Donc pour une période $T = 0.02$ s nous avons pris 128 échantillons pour chaque période, étant donné que l'échantillonnage se fait simultanément, le temps total requis est de $\frac{0.02}{128}$ qui est égale à 156.26 μ s. En mode 10 bits, le processus de conversion analogique-numérique nécessite 12 période d'un cycle de la conversion T_{AD}

$$T_{conversion} = 12 T_{AD} \quad (II.4)[10]$$

Où T_{AD} : Période pour un cycle de conversion analogique-numérique

Le temps d'échantillonnage dépend du mode de séquence d'échantillonnage par conversion.

▪ Détermination du temps d'échantillonnage

Si l'échantillonnage et la conversion sont automatiques, le temps d'échantillonnage est de déterminer par la formule suivante :

$$T_{sampling} = SAMC * T_{AD} \quad (II.5)$$

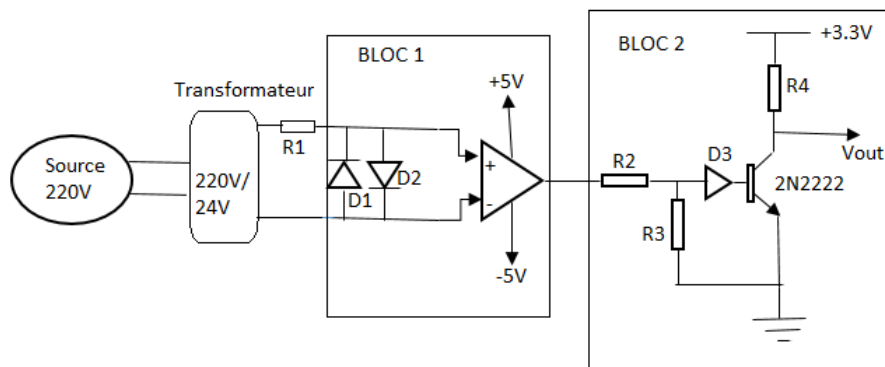
Où SAMC est de 5 bits existant dans le registre ADxCON3.

Dans notre cas l'échantillonnage est automatique, mais la conversion sera déclenchée par l'interruption externe(INT0) chaque fois qu'il y a passage par le zéro qui est détecté. Dans ce cas, la période d'échantillonnage doit être dans la plage de $2T_{AD}$ à $3T_{AD}$. La valeur de l'ADCS dans l'ADxCON3 du registre qui déterminent la période d'horloge doit être choisie de telle sorte que le temps d'échantillonnage ne dépasse pas $3T_{AD}$

▪ Choix de la source d'enclenchement de conversion

La source d'enclenchement de la conversion contrôle l'instant où le convertisseur CAN arrête l'échantillonnage et démarre la conversion. Le dsPIC33FJ128GP802 donne plusieurs choix de source de d'enclenchement de conversion, dont nous avons choisi le timer3 comme source d'enclenchement. Nous avons aussi utilisés interrupteur externe INT0 pour lancer le timer3 lorsque le passage par zéro est détecté.

La figure II : 10ci-dessous décrit notre circuit de passage par zéro qui comprend deux blocs principaux, un premier bloc qu'on a nommé BLOC 1 qui est constitué d'un comparateur à base d'amplificateur opérationnel et un deuxième bloc qui est nommé BLOC 2 et qui fournit un signal carré qui varie entre 0V et 3.3V et qui égale à la période du signal d'entrée.



La figure II.10 : Schéma d'un circuit de détection de passage par zéro

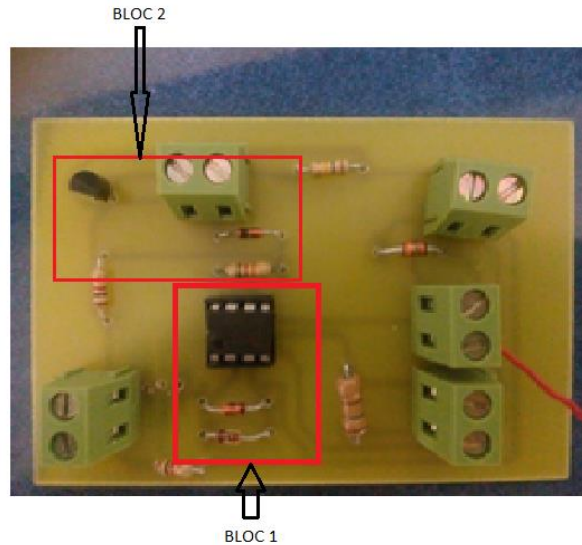
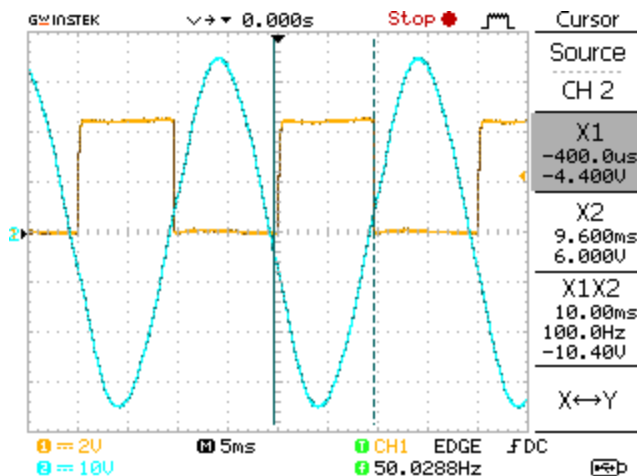


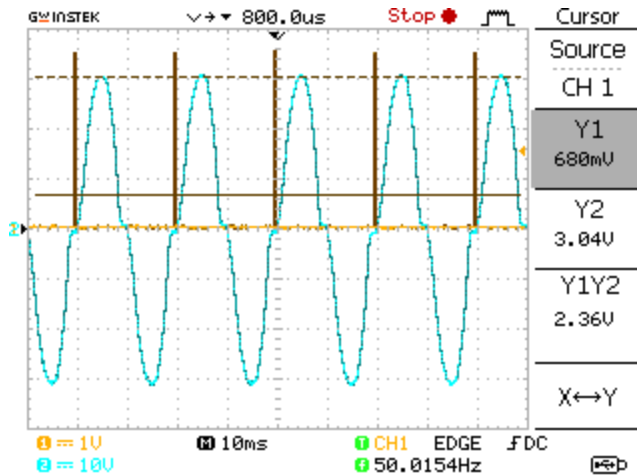
Figure II.11 Circuit imprimé de passage par zéro

La figure II.12 montre la première allure en cyan est l'allure de tension d'alimentation alternatif en valeur efficace 24V entrée dans un circuit de passage par zéro. La deuxième allure en orange est l'impulsion obtenu de la sortir de circuit de passage par zéro à l'instant la tension de l'alimentation passe par zéro. Notre circuit de passage par zéro donné l'impulsion de valeur maximal 3.3V au moment la tension de l'alimentation est en négatif alternance est 0V en positif alternance.



Trait cyan : Tension d'alimentation
Trait orange : détection du passage par zéro

Figure II.12 : Tension d'alimentation et signal de détection du passage par zéro



Trait cyan : Tension d'alimentation

Trait noir : signal de déclenchement de la conversion

Figure II.13 : Signal de déclenchement de la conversion analogique numérique

La figure II.13 montre que le signal de déclenchement de la conversion analogique/numérique est cadencée avec le signal du réseau. Il montre aussi que le circuit de détection du passage par zéro fonctionne correctement.

▪ Stockage des valeurs converties

Le dsPIC33FJ128GP802 possède un tampon ADC1BUF0 (ADC1BUF0 Buffer en anglais) qui stocke tous les valeurs numériques obtenues après la conversion lorsque l'on utilise un seul canal pour la conversion et un tampon DMA lorsque l'on utilise plusieurs canaux.[10]

Dans notre projet nous avons utilisé le tampon DMA pour stocker les valeurs converties car nous avons utilisé deux canaux (CH0 et CH1) pour l'échantillonnage de tension et de courant simultanément.

II.5.3 Tension de référence

La tension de référence est la tension d'entrée maximale requise par l'ADC afin de comparer l'entrée analogique pour la conversion analogique numérique. Par conséquent la sortie numérique est le rapport de l'entrée analogique avec la tension de référence. Pour une conversion de 10 bits, la sortie numérique est généralement donnée par la formule :

$$V_{num} = \frac{V_{mes}}{(V_{ref+} - V_{ref-})} \times 1023 \quad (II.6)$$

Où V_{num} : Valeur numérique

V_{mes} : La valeur mesurée à la sortie de capteur

V_{ref+} : Tension de référence haute

V_{ref-} : Tension de référence base

II.5.4 Résolution

La résolution de l'ADC est la tension d'entrée incrémentée le plus faible possible qui provoque le changement de la sortie numérique par 1. Par conséquent la tension incrémentale la plus faible reconnue par la conversion 10 bits est donnée par :

$$Resolution = \frac{(V_{ref+} - V_{ref-})}{1023} \quad (II.7)$$

II.5.5 Organigramme de conversion analogique-numérique

L'ensemble du processus de conversion analogique-numérique est présenté par l'organigramme suivant

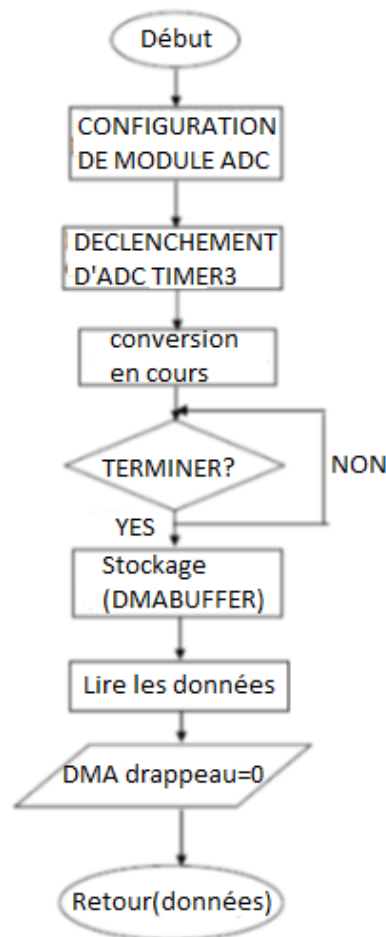


Figure II.14. Organigramme de conversion analogique-numérique

✓ Exemple de courbe après conversion analogique numérique

La figure II.15 montre l'allure de demi période de la tension après conversion par un dsPIC33FJ128GP802. Le décalage obtenu avant et après l'allure est donnée par TIMER3 (la source qui trigger la conversion de l'ADC). La valeur maximal obtenu correspond à la valeur approche de référence 3.3V en analogie.

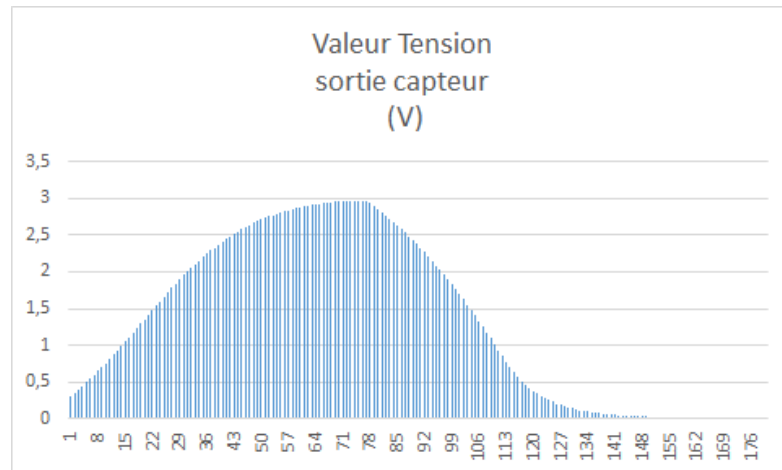


Figure II.15 montre l'allure de demi période de la tension après conversion

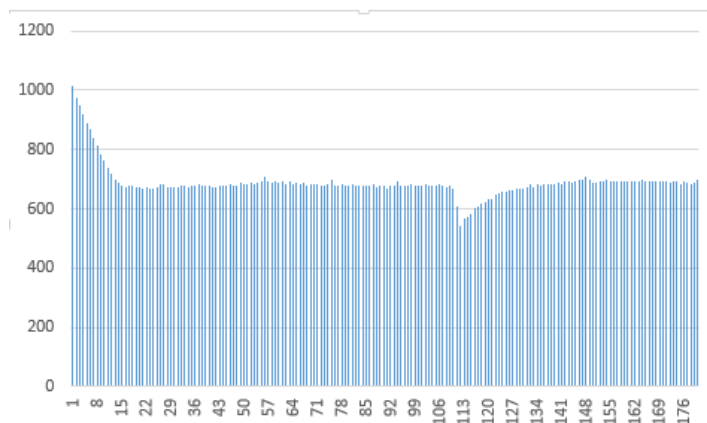


Figure II.16 : Signal d'une demi-période du courant de charge nul obtenu après conversion

La figure II.16 montre l'allure du courant pour une charge qui est nul. Cet offset de à 733 correspond à 2.5 V analogique. Cet offset est nécessaire pour mesurer un courant alternatif sachant que ce capteur ne peut pas supporter des tensions de sorties négative. Par conséquent, la valeur à la sortie du capteur varie entre 0 et 5V qui correspond à un courant variable entre ± 30 A.

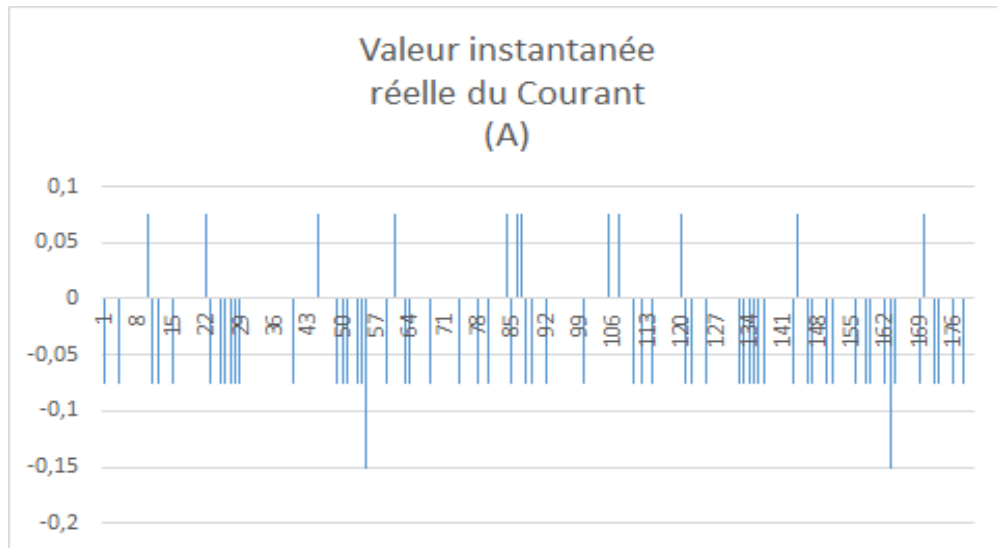


Figure II.17. Signaux d'une demi-période des valeurs instantanées du courant sans charge obtenu après conversion en éliminant l'offset.

La figure II.17 montre les valeurs instantanées de courant alternatif après conversion et élimination de la valeur d'offset. Cela montre que ces valeurs sont pratiquement nulles et correspondent réellement aux valeurs désirées.

II.6 Unité de communication-UART

La partie de communication utilisé par le microcontrôleur et un périphérique externe (ordinateur, écran etc.) qui utiliser le FTDI232 à travers une unité de communication UART. Les spécifications techniques utiles du module UART sont :

- Choix de la parité : parité paire, la parité impaire, pas de parité (transfert de données pour 8bits)
- Générateur baud intégré
- Vitesse de transmission variant entre 29bps à 875Mbps
- Données transférées et reçues sont stockées dans une mémoire tampon (premier entré-premier sortie (FIFO) de 4 octets
- Génération d'interruption à la transmission et réception de données
- Simple duplex de 8bits

Le FTDI232est un module USB-série, il fonctionne à une tension spécifiée sélectionnée par l'utilisateur, que ce soit 3,3 V ou 5 V en fonction de l'état de la référence de tension du microcontrôleur. Pour le dsPIC33F128GP802 il fonctionne à une référence de tension de 3.3V. De plus les broches de ce module que nous avons utilisé sont :

- RX : c'est une broche de sortie, où on reçoit les données à partir d'un dsPIC. Il est relié à une broche cartographié TX d'un microcontrôleur.
- TX c'est une broche de sortie, pour transférer les données vers un dispositif périphérique. Il est relié à une broche mappé RX d'un microcontrôleur.
- VCC : c'est une broche où on donne la tension de référence de sortie à un microcontrôleur.
- GND c'est une broche de sortie qui est relié à la masse commune d'un dispositif avec un microcontrôleur.

II.7 Calcul de puissance

Nous avons utilisé notre dsPIC pour calculer la puissance active et réactive par la méthode de d-q proposé par nos encadreurs. Cette méthode est initialement été utilisée pour les systèmes triphasés, qui consistent à transformer ces systèmes triphasés en des systèmes biphasés par la transformation de Concordia. Cette transformation est appliquée pour les tensions et les courants donnés par les expressions suivantes :

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Où les paramètres a, b, et c sont les paramètres du système triphasés et α - β sont les paramètres du système biphasés.

A partir de ces équations nous pouvons calculer la puissance active p et la puissance réactive q :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

La méthode que les encadreurs ont proposée est de l'appliquer aux systèmes monophasés en faisant les modifications suivantes :

Du fait que nous avons une seule phase, nous avons alors mis la composante α de la tension et du courant respectivement sous la forme :

$$v_{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_a \quad (\text{II.11})$$

$$i_{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} i_a \quad (\text{II.12})$$

Ensuite pour générer v_{β} et i_{β} nous avons multiplié l'amplitude de v_{α} et i_{α} par -1 et nous avons déphasé ce même signal v_{α} et i_{α} de $\pi/2$. Nous avons alors :

$$v_{\beta} = -v_{\alpha} \lfloor \pi/2 \quad (\text{II.13})$$

$$i_{\beta} = -i_{\alpha} \lfloor \pi/2 \quad (\text{II.14})$$

Nous pouvons ainsi calculer les puissances actives et réactives donné par l'expression suivante :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

Cependant il est important après le calcul des puissances active et réactive de diviser le résultat par 3. Ainsi, nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} p_{\text{monophasé}} \\ q_{\text{monophasé}} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

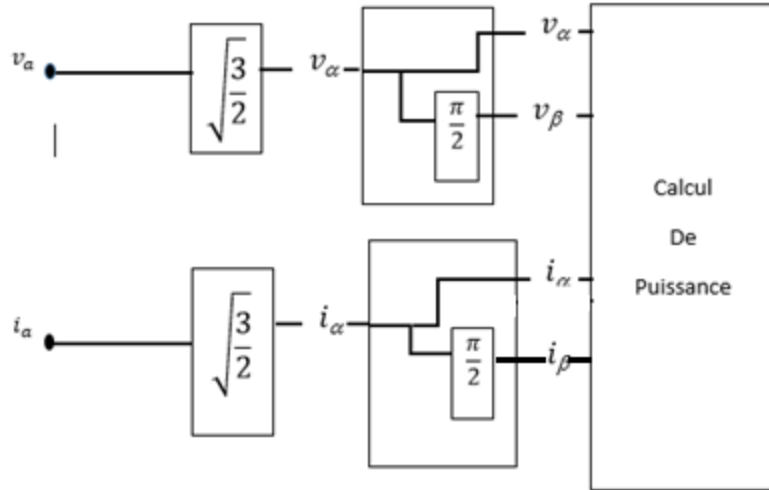


Figure II.18 Transformation de monophasé en biphasé

Dans notre projet, Nous avons utilisé le DMA pour stocker tous les valeurs numériques des signaux d'entrées de la tension et du courant. Donc on peut directement obtenir les valeurs déphasés un par rapport à l'autre de $\pi/2$ sans ajouter le bloc de déphasage au notre prototype. Nous pouvons ainsi calculer les puissances active et réactive.

II.8 Résultats et interprétations

Pour valider notre processus du calcul de la puissance, nous avons dû passer par les étapes préliminaires qui sont : étude de la charge, étalonnage et détermination de coefficient de proportionnalité de capteur du courant, compensation de déphasage créée par un circuit électronique

❖ Etude de la charge

Pour valider notre prototype, nous avons utilisé une charge variable purement résistive de 04 lampes (100W chacune donnée par le constructeur sous une tension de 220V).

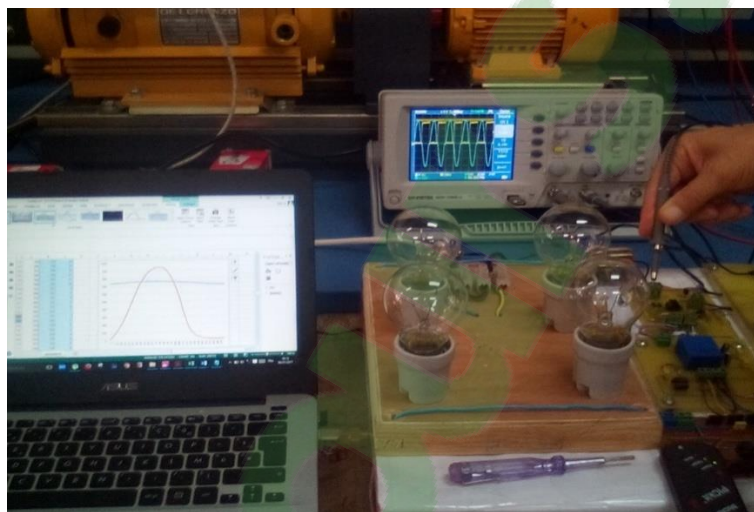


Figure II.19: Les Quatre charges résistifs branchée dans circuit prototype

Réellement, en mesurant la puissance absorbée par les lampes, il s'est avérée que les puissances diffèrent sachant que la tension d'entrée mesurée est supérieure est de l'ordre de 227V. Le tableau ci-dessous donne les valeurs de la puissance absorbée réelle.

Tableau II.2 : Puissance absorbée par différentes charges

Nombre de lampe	Tension Réseau (V)	Courant Absorbé (A)	Puissance (W)
00	226	0	0
01	225	0,53	119
02	226	1,1	249
03	227	1,66	377
04	226	2,3	520

❖ **Etalonnage et détermination de coefficient de linéarité <k> du capteur du courant.**

Pour calculer la valeur réelle instantanée du courant après conversion, il faut que nous calculons un facteur de linéarité « k ». Pour cela, nous sommes passés par 02 étapes :

1. Utilisation de notre charge de 04 lampes branchée en série avec un ampèremètre de bonne précision fournissant la valeur efficace I_{eff}
2. Utilisation de la même charge branchée en série avec notre capteur de courant en mesurant la tension à la sortie du capteur V_{out} .

A partir de la valeur max du courant donnée par l'équation II.17 et de la tension V_{out} ,

$$I_{\text{max}} = \sqrt{2}I_{\text{eff}} \quad (\text{II.17})$$

La valeur de k est déterminée comme suit :

$$k = \frac{V_{\text{out}} - 2.5}{I_{\text{max}}} \quad (\text{II.18})$$

La valeur de 2.5V correspond à l'offset du capteur de courant, qui dans notre cas correspond à 733 en valeur numérique. Donc l'équation II.16, utilisant les valeurs numériques, peut être écrite comme suit

$$k = \frac{(V_{\text{outmax}} - 733) * 3,49}{1023 * I_{\text{max}}} \quad (\text{II.19})$$

Le tableau II.2 représente la valeur de k obtenus pour différents valeurs de la charge.

Tableau II.3 : Résultats de facteur de linéarité k pour différentes charges

Nombre de lampe	Courant efficace	Tension efficace	Valeur max numérique sortie capteur du courant (V)	Puissance (W)	Facteur de linéarité <k>
0	0	226	733	0	
1	0,53	225	743	119,25	0,045
2	1,1	226	754	248,6	0,046
3	1,66	227	764	376,82	0,045
4	2,3	226	774	519,8	0,044
Valeur Moyenne de <k>					0,045

Nous avons remarqué, à partir du tableau II .2, que la valeur de k est environ de 0.045V/A.

❖ Compensation du déphasage crée par le circuit électronique

Les figures II.20.a, II.20.b, II.20.c, II.20.d ci-dessus montre l'allure des valeurs réelles convertie du courant et des valeurs converties à la sortir du capteur de tension pour différent valeurs de la charge.

Pour 1 lampe

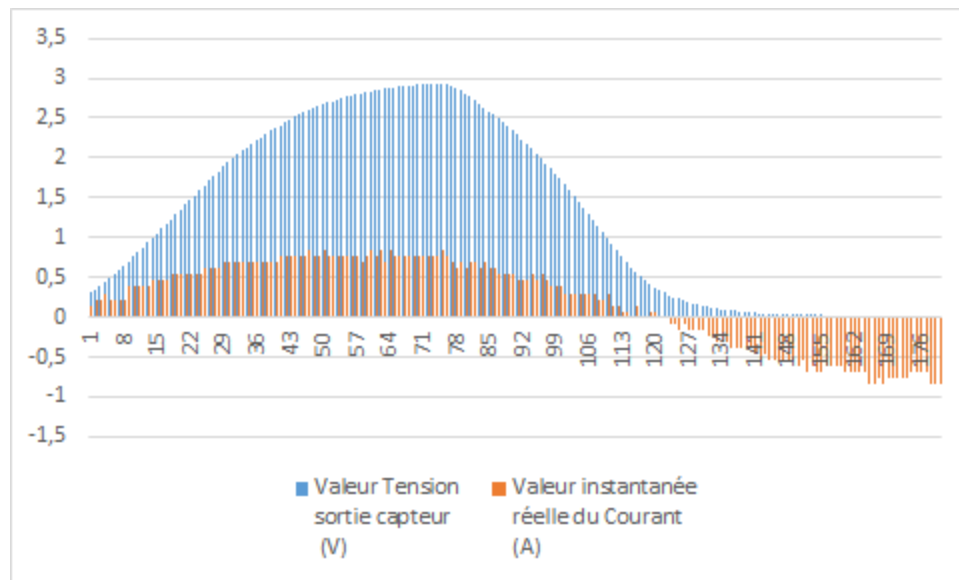


Figure II.20.a : L'allure des valeurs converties de tension et du courant pour une lampe.

Pour 2 lampes

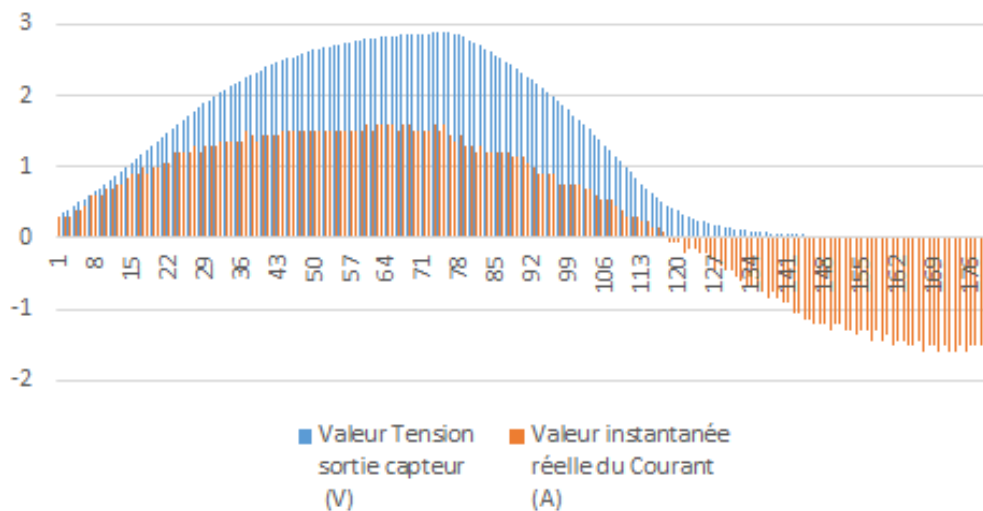


Figure II.20.b : L'allure des valeurs converties de tension et du courant pour deux lampes.

Pour 3 lampes

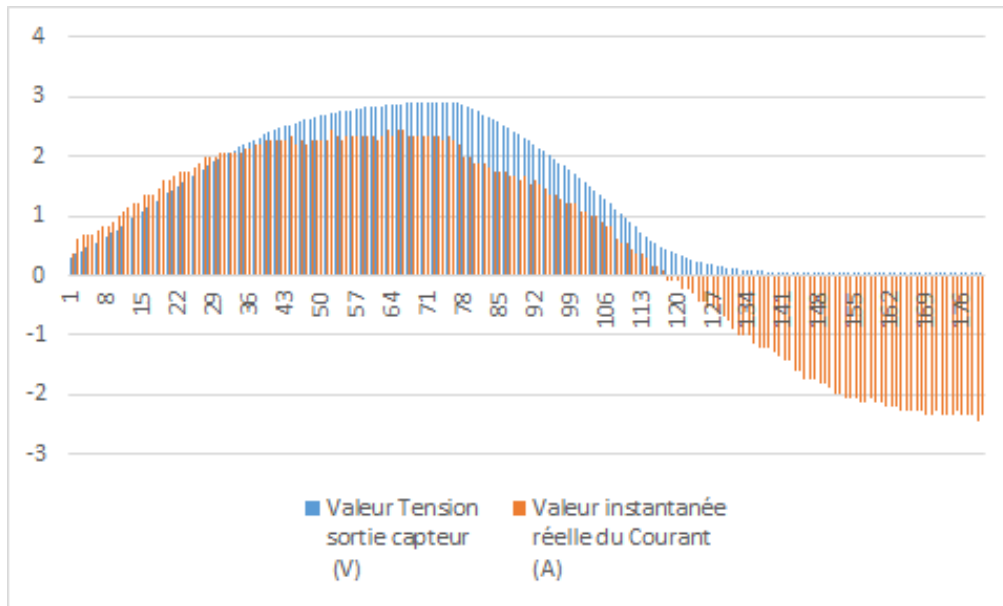


Figure II.20.c : L'allure des valeurs converties de tension et du courant pour trois lampes.

Pour 4 lampes

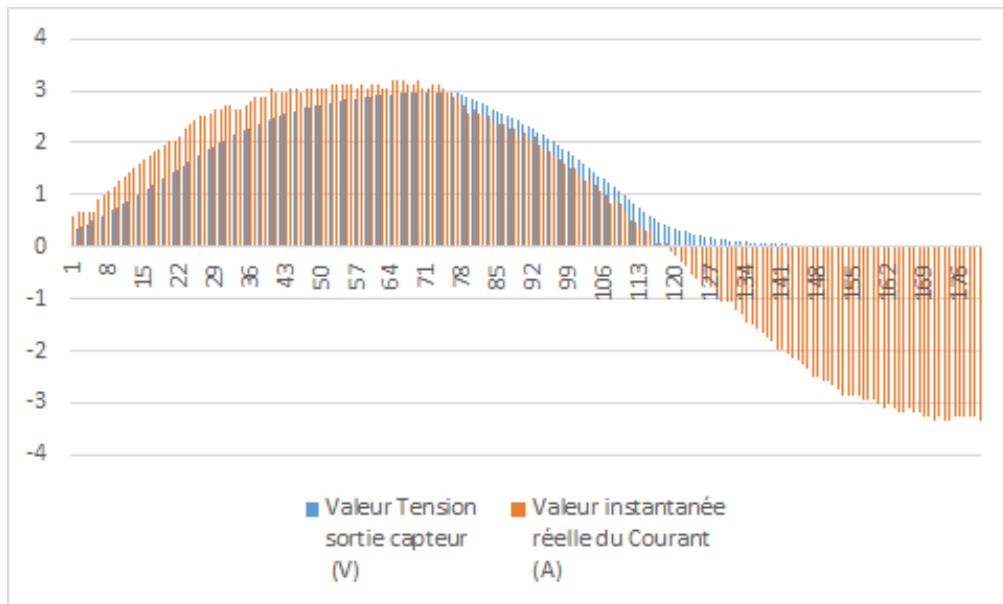


Figure II.20.d : L'allure des valeurs converties de tension et du courant pour quatre lampes.

Nous avons tiré à partir des figures précédentes les remarques suivantes :

- Les allures de tension et du courant après conversion coïncident avec les allures réelles de la tension et du courant avant conversion. Donc le dsPIC fonctionne bien pour la conversion analogique-numérique.
- Nous avons constaté qu'il y a un déphasage constant entre le courant et la tension pour différentes charges malgré que les charges soient purement résistives. Ce déphasage peut être créé par le transformateur à point milieu 220V/24V que nous avons utilisé ou bien par notre circuit de redressement.

Pour compenser ce déphasage nous avons décalé de quatre échantillons de tension par rapport à ceux du courant afin de calculer la puissance active et réactive absorbée par la charge.

❖ Calcul de puissance

Nous avons calculé la puissance après avoir obtenu les valeurs réelles du courant et la tension en considérant le déphasage créé par notre circuit électronique. Les valeurs obtenues sont représentées sur les figures ci-dessous. Le calcul de puissance est donné dans le tableau en annexe ;

Pour 1 Lampe (120W)

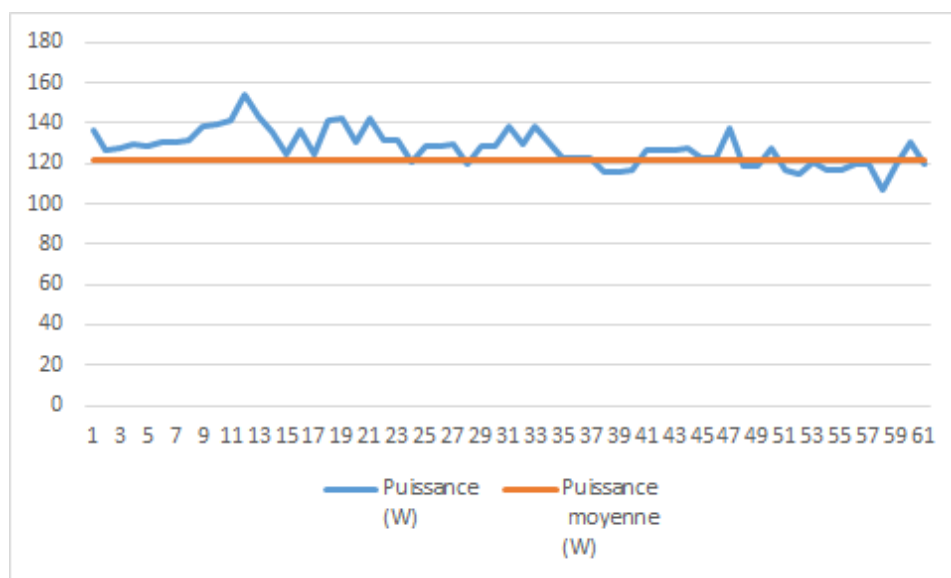


Figure II.21.a : Puissance calculée à partir de 62 échantillons pour charge de 01 lampe (120W).

Pour 2 lampes (248W)

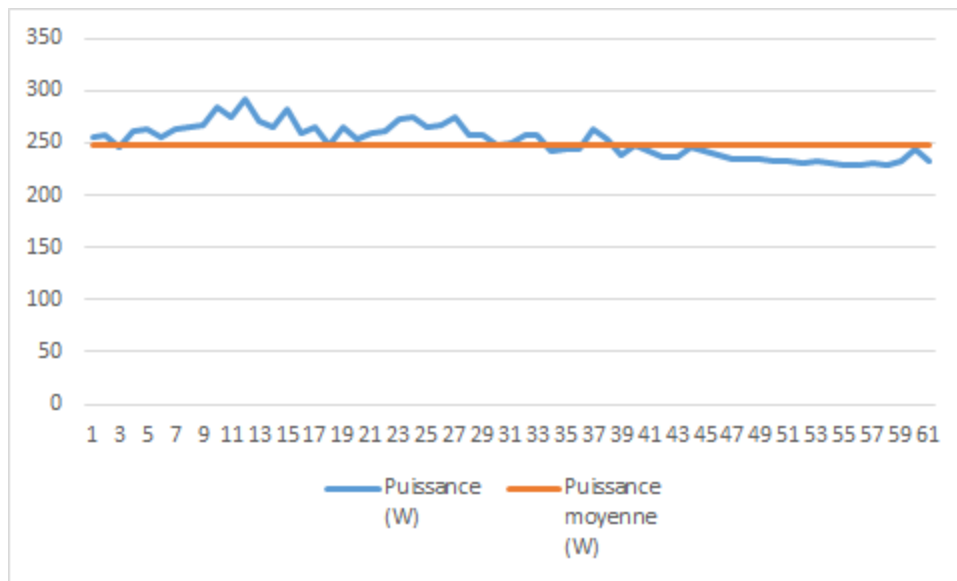


Figure II.21.b : Puissance calculée à partir de 62 échantillons pour charge de 02 lampes (248W).

Pour 3 lampes (373W)

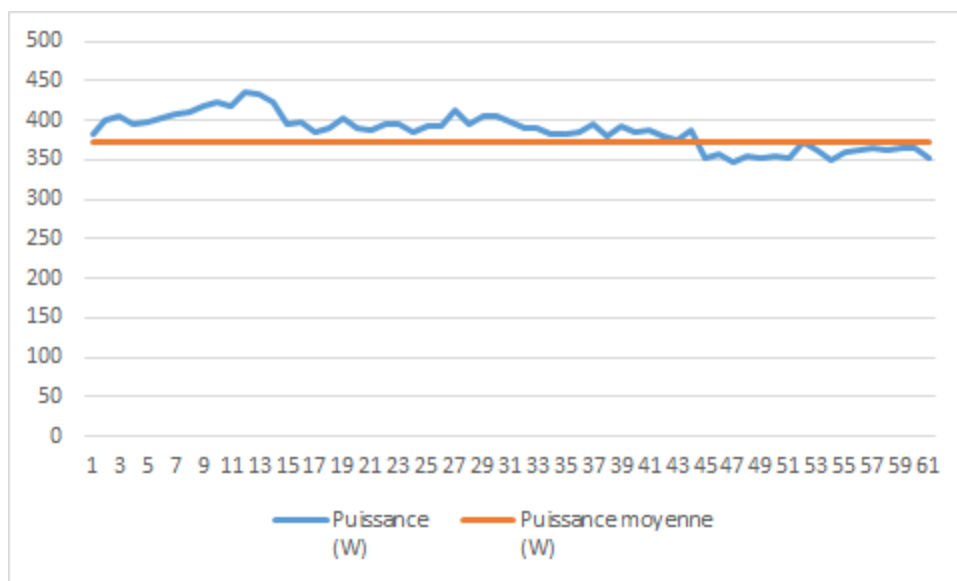


Figure II.21.c : Puissance calculée à partir de 62 échantillons pour charge de 03 lampes (373W).

Pour 4 lampes (519W)

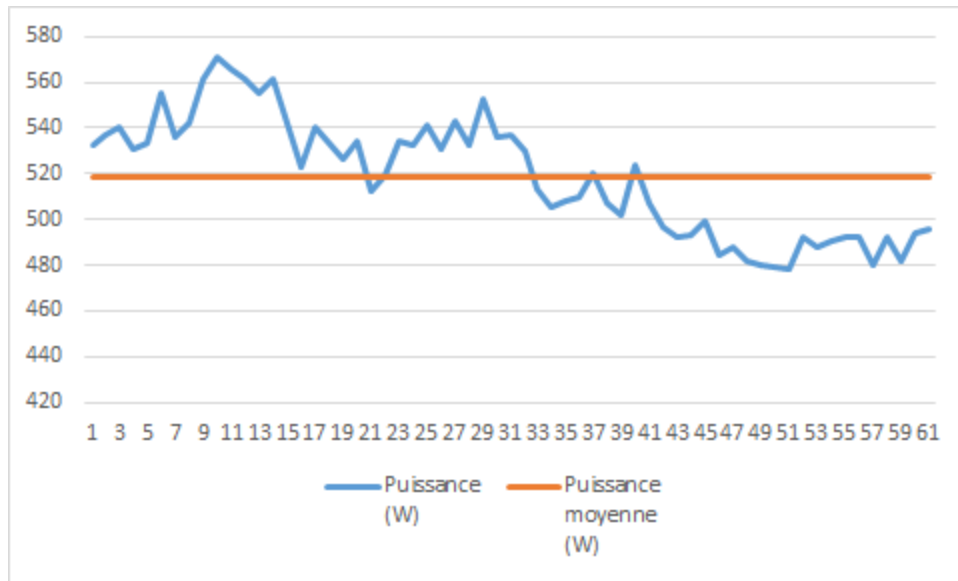


Figure II.21.d : Puissance calculée à partir de 62 échantillons pour une charge de 04 lampes (519W).

Les figures II.20.a, II.20.b, II.20 .c, et II.20.dmontre l'allure de la puissance calculée à partir de 62 échantillons à la sortie de convertisseur analogique numérique. Réellement nous devons obtenir une puissance constante mais la variation que nous avons obtenu est due à la fluctuation de la tension et du courant du principalement au réseau.

II .9 Problème rencontré dans la réalisation d'un prototype

Dans notre projet, nous avons rencontré deux problèmes majeurs :

- Problème de la masse au niveau d'un transformateur à point milieu 220V /24V (+12V et - 12V avec le point milieu) que nous avons utilisé afin de travailler au niveau de dsPIC avec la tension de 24V qui est l'image de 220V :

La première fois, nous avons utilisé les deux extrémités de ce transformateur sans brancher le point milieu à la masse. Nous avons constaté en utilisant l'oscilloscope que lorsqu'on ne branche pas l'oscilloscope à la sortie de transformateur, on ne pouvait pas obtenir le signal carré de la détection de passage par zéro, mais lorsqu'on branche l'oscilloscope on obtient le signal carré de détection de passage par zéro.

Par conséquent, notre oscilloscope crée une liaison avec la masse du transformateur.

Nous avons résolu ce problème en reliant le point milieu de transformateur à la masse, mais si nous avons les extrémités (+12V /-12V) de transformateur pour obtenir 24V.

➤ Problème de déphasage créé par le circuit électronique :

Nous avons décidé d'utiliser les lampes comme une charge électrique afin de valider notre calcul de puissance. Ces charges sont des charges purement résistives qui ne créent pas le déphasage entre la tension et le courant. Lorsque nous avons visualisé la sortie de capteur de tension et de courant, nous avons constaté qu'il y a un déphasage entre la tension et le courant. Après une étude de la charge, nous avons constaté que ce déphasage est créé par le circuit électronique qui peut être soit au niveau de transformateur du à mauvais circuit magnétique ou bien au niveau de circuit de redressement et de détection de passage par zéro.

C'est à cause de ce déphasage, nous n'avons pas obtenu les valeurs exactes de la puissance calculée par le dsPIC.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé le prototype d'une acquisition de la tension et du courant en utilisant les capteurs de tension et du courant à effet Hall. Ce type des capteurs nous a offert un grand avantage en termes de précision de mesure et de rapidité.

Aussi l'utilisation de microcontrôleur dsPIC33FJ128GP802 nous a permis de pouvoir faire l'échantillonnage simultané de deux canaux pour la tension et le courant. L'échantillonnage simultané de la tension et du courant est très nécessaire pour augmenter la précision dans le calcul de la puissance par le dsPIC car il n'y a pas de déphasage pour les valeurs de la tension et du courant mesurées au même instant.

La méthode de d-q que nous l'avons utilisé pour le calcul de puissance pour le système monophasé fonctionne correctement, et elle est très rapide parce qu'il n'y a pas beaucoup de calcul.

CONCLUSION GENERALE

Le réseau électrique intelligent est un concept qui introduit les nouvelles technologies et système de communication dans le réseau électrique existant. L'un des composants important du réseau électrique intelligent est un compteur intelligent qui dans sa réalisation est composé de plusieurs composants et modules configuré pour plus d'efficacité par rapport au compteur électromécanique et électronique classique.

Ainsi, dans ce projet, nous avons au début étudié en détail tous les composants nécessaires constituant l'architecture du compteur intelligent. Nous avons ensuite détaillé notre prototype, des capteurs pour la détection des courants et tensions jusqu'au calcul de la puissance active et réactive proposé par nos encadreurs afin de calculé ensuite l'énergie électrique. Ce calcul a été réalisé en utilisant un DSPIC de type 33f. Les résultats expérimentaux nous ont montré de très bon résultat.

Références bibliographie

- [1] Janaka Ekanayake, Kithsiri Liyanage and Jihanzong Wu «**Smart Grid Technology and Applications** »WILEY, 2012.
- [2] Clark W. Gellings, « **The Smart Grid Enabling Energy Efficiency and Demand Response** »The Fairmont Press, Inc. CRC Taylor and Francis group, 2009.
- [3] Tarun Agarwal, «**Overview of Smart Grid Technology and its Operation and Application (For Existing Power Grid)** », Electronic Project Focus, January 2014.
- [4] KA Folly «**Challenges in Implementing Smart Grid Technology in Africa**»Conference held by African utility Week, University of Cape town, Cape town – South Africa, 14-15 May 2013.
- [5] K.S.K Weranga, Sasil Kumarawadu and D.O. Chandima, «**Smart Metering Designing and Application**»Springer, university of Moratuwa, Moratuwa - Srilanka 2014.
- [6] Yhang Zhen, «**Current Sensing Concept and Fundamentals**», Microchip Technology Inc., 2010-2011.
- [7] GE Publication No. GET-8402, «**CT Application Guide for the 489 Generator Management Relay**», GE Power Management Technical Notes.
- [8] Datasheet «**LV 25-P** »LEM, 2014
- [9] Datasheet «**ACS 712** » Allegro Microsystem LLC.
- [10] Datasheet «**dsPIC33FJ128GP802**» Microchip Technology Inc., 2007-2012.

ANNEXE

❖ CALCUL DE PUISSANCE

Pour calculer la puissance consommée par la charge nous avons utilisé le tableau A.1

Tableau A.1 Valeurs obtenir des 11 échantillons par des charge de 03 lampes (373W)

Valeur CAN Tension/courant enregistrées dans DMA	Valeur Courant CAN	Valeur Tension CAN	Valeur Courant sortie capteur (mV)	Valeur Tension sortie capteur (V)	Valeur instantanée réelle du Courant (A)
738	738	92	17,058	0,313861193	0,379059411
92	741	106	27,292	0,361622678	0,606495058
741	742	119	30,704	0,40597263	0,68230694
106	742	134	30,704	0,45714565	0,68230694
742	742	148	30,704	0,504907136	0,68230694
119	743	163	34,115	0,556080156	0,758118823
742	744	178	37,527	0,607253177	0,833930705
134	744	194	37,527	0,661837732	0,833930705
742	745	210	40,938	0,716422287	0,909742587
148	746	226	44,350	0,771006843	0,985554469
743	747	243	47,761	0,829002933	1,061366352

Valeur instantanée réelle de la Tension (V)	Valeur instantanée réelle du Courant* $\sqrt{\frac{3}{2}}$ (A)	Valeur instantanée réelle de la Tension* $\sqrt{\frac{3}{2}}$ (V)	Puissance (W)	Puissance moyenne (W)
34,98244542	0,464347779	42,85349564	393,9410472	390,9184
40,30586103	0,742956446	49,37467976	417,3583335	390,9184
45,24903267	0,835826002	55,43006502	422,4628405	390,9184
50,95269225	0,835826002	62,417048	412,3836021	390,9184
56,27610785	0,835826002	68,93823212	414,5897873	390,9184
61,97976743	0,928695558	75,9252151	420,4873674	390,9184
67,68342701	1,021565114	82,91219809	425,4044207	390,9184
73,76733056	1,021565114	90,36497994	425,5774549	390,9184
79,85123412	1,114434669	97,81776179	428,7353278	390,9184
85,93513767	1,207304225	105,2705436	431,3308399	390,9184
92,39928519	1,300173781	113,1891244	422,5493575	390,9184

Après nous avons obtenu les valeurs instantanée réelle du courant et de la tension nous pouvons passer récupérer des valeurs de composant α du courant et de la tension par multiplication de $\sqrt{\frac{3}{2}}$.

D'où :
$$v_{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_{\alpha} \quad \text{et} \quad i_{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} i_{\alpha}$$

Pour obtenir des valeurs de composant β du courant et de la tension, nous avons utilisé le tableau et tirer une valeur désirer pour avoir le déphasage de $\frac{\pi}{2}$ par rapport d'une valeur du courant et de la tension de composant α .

Donc puissance consommée est donnée par équation suivant :

$$P = \frac{1}{3} * (v_{\alpha} * i_{\alpha} + v_{\beta} * i_{\beta})$$

Résumé

Ce projet de fin d'étude consiste à discuter brièvement de réseau électrique intelligent et à détailler certains composants essentiels qui créent des compteurs intelligents, des méthodes techniques d'acquisition de données de tension et courant qui peut être exploité dans la conception de compteur intelligent. Sur la deuxième partie, nous étudierons sur les circuits que nous avons réalisé pour fonctionner le partie d'acquisition de donnée de tension et courant, circuit de conditionnement et de redressement de la tension, ainsi que la carte de traitement de données qui est constitué par un dsPIC33FJ128GP802 pour calculer la puissance électrique monophasée par la méthode d-q.

Mot clés: Compteur électrique, DMA, ADC, méthode d-q

Abstract

This project of the end of study consist of briefly discussing about smart grid and detailed some essential components that builds up smart meter, technical methods of the data acquisitions of voltage and current that can be exploited in the designing of smart meter. On the second part we will study on the circuits that that we have designed for functioning voltage and current data acquisition, conditioning and rectification circuit of the voltage, and the data processing circuit that consist of a dsPIC33FJ128GP802 for the calculation of power electric single phase by the method d-q.

Key Word : Compteur électrique, DMA, ADC, method d-q,