

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**Développement sur Proteus d'un dispositif de
mesure en temps réel des grandeurs électrique
dans un réseau pollué**

Réalisé par :

 **BEN AMMAR Abdelrazzak**

 **BOUTERAA Bachir**

 **NECIRA Mouradje**

 **SAYAH Abelmounum**

Encadré par :

Mr.GUIA Hossam

Année Universitaire 2021/2022



﴿ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إَصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ
عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَارْحَمْنَا أَنْتَ
مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ ﴾ سورة البقرة : الآية 286 .

" صدق الله العظيم "



Remerciements

Tout d'abord, je remercie dieu -ALLAH- de tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'études.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes sincères remerciements à Monsieur

Dr: GUIA Houssem, Docteur à L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, pour avoir dirigé ce travail.

Mes sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin je remercie tout particulièrement mes parents, pour leur soutien incondtionnel tout au long de ces longues années d'études.





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toute la durée de mes études.

À mes très chères sœurs et à ma grande famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.



المخلص
résumé
Abstract

Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est la conception d'un système de mesure en temps réel des grandeurs électrique dans un réseau pollué. A cet effet nous proposons une nouvelle méthode basée sur un microcontrôleur dsPIC. Pour ce faire nous allons procéder à la simulation de la méthode de calcul sous PROTEUS.

Mots clés : Compteur d'énergie, mesure en temps réel, réseau pollué , harmoniques, RMS, programmation C, microcontrôleur dsPIC.

Abstract

The main objective of this thesis is the design of a real-time measurement system of electrical quantities in a polluted network. For this purpose we propose a new method based on a dsPIC microcontroller. To do this we will proceed to the simulation of the calculation method under PROTEUS.

Keywords: Energy meter, real-time measurement, polluted network, harmonics, RMS, C programming, dsPIC microcontroller.

المخلص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو تصميم نظام قياس في الوقت الحقيقي للكميات الكهربائية في شبكة ملوثة. لهذا الغرض ، نقترح طريقة جديدة تعتمد على متحكم dsPIC. للقيام بذلك سننتقل إلى محاكاة طريقة الحساب تحت PROTEUS.

الكلمات المفتاحية: عداد الطاقة ، القياس في الوقت الحقيقي ، الشبكة الملوثة ، التوافقيات ، RMS ، برمجة C ، متحكم dsPIC

A decorative orange scroll graphic with a light orange gradient fill and a darker orange border. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a darker orange band. The word "Sommaire" is centered on the scroll in a bold, black, serif font.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

a

<i>CHAPITRE I : Généralités sur les compteurs électriques et grandeurs électriques</i>	
I.1 Introduction	4
I.2. Qualité de l'énergie électrique	4
I.3 Rappels d'électrotechnique	4
I.3.1 Puissance dissipée dans une résistance	4
I.3.2 Puissance réactive dans un condensateur et une bobine	5
I.3.3 Puissance apparente	5
I.3.4 Facteur de puissance	6
I.4 Le développement des compteurs d'énergie électrique	6
I.4.1 Compteur électromécanique	7
I.4.1.1 Définition	7
I.4.1.2 Le principe de fonctionnement et la conception	7
I.4.1.3 Les avantages et les inconvénients	9
I.4.2 Compteur électronique	10
I.4.2.1 Définition	10
I.4.2.2 Le principe de fonctionnement et la conception	11
I.4.2.3 Les avantages et les inconvénients	12
I.4.3 Compteur intelligent	13
I.4.3.1 Définition	13
I.4.3.2 Architecture d'un compteur intelligent	13
I.4.3.3 Les avantages et les inconvénients	14
I.5 Les perturbations électriques	15
I.5.1 Fluctuations de tension	15
I.5.2 Transitoires	16
I.5.3 Courant transitoires	16
I.5.4 Creux de tension et coupures brèves	16
I.5.5 Déséquilibre de tension	17

I.5.6 Variation de la fréquence	17
I.5.7 Surtensions	17
I.5.8 Surtension de manœuvre	18
I.5.9 Surtensions atmosphériques	18
I.5.10 Courts circuits	18
I.6. Phénomène harmonique	18
I.6.1. Définition des harmoniques	18
I.6.2. Harmoniques pairs et impair	18
I.6.3. Les perturbations harmoniques	19
I.6.3.1. Caractérisation des perturbations	20
I.6.4. Rang harmonique	21
I.7 Grandeurs électriques en présence des harmoniques	21
I.7.1 Valeur efficace des grandeurs harmoniques	21
I.7.2 Harmonique de courant, de tension et impédance harmonique	21
I.7.3 Expression des puissances.	23
I.7.3.1 Puissances électrique en régime sinusoïdal	23
I.7.3.2 Puissances en régime non sinusoïdal	26
I.7.4. Facteur de puissance et facteur de déphasage.	26
I.7.5. Facteur de déformation	26
I.7.6. Facteur de puissance réel	26
I.7.7. Facteur de crête	26
I.7.8 Distorsion harmoniques	27
I.7.9. Notion de phase	28
I.8.Conclusion	29
Chapitre II : Description du logiciel PROTEUS et microcontrôleur dsPIC	
II.1.Introduction	31
II.2. Logiciel Proteus	31
II.2.1. Programmation Proteus	31
II.2.2.ISIS	33
II.2.2.1. Présentation de l'interface d'ISIS Proteus 8 Professional	33
II.2.3.ARES	35
II.3.Présentation générale du projet	36
II.4.Principe de fonctionnement	36
II.5.Description des différents composants utilisés	37

II.5.1.Etapes de la réalisation	37
II.5.1.1.Etapes1: Bloc d'alimentation	37
II.5.1.2.Etapes2:voltage sensor:	37
II.5.2.Types de capteurs de tension	37
II.5.3.Capacitive Voltage Sensor	38
II.5.4.Résistive Voltage Sensor	39
II.5.5.Avantages des capteurs de tension par rapport aux techniques de mesure conventionnelles	41
II.5.6.Applications des capteurs de tension	41
II.5.7.Déphasage de tension	42
II.5.8.Current Sensors	43
II.5.9.Capteur de courant ACS712	43
II.6.Microcontrôleur	45
II.6.1 Avantages des microcontrôleurs dsPIC	45
II.6.2 Domaines d'applications des dsPIC	45
II.6.4.Architecture générale des dsPIC	46
II.6.5.Présentation du dsPIC33F	48
II.7. Le capteur de courant ACS712	49
II.7.1.Diagramme des pins du capteur ACS712	50
II.7.2 Caractéristiques	51
II.8. Afficheur à cristaux liquides LCD 16x2 avec module I2C	52
II.9.Organigramme	53
II.10.Conclusion	54
CHAPITRE III : Tests, interprétation des résultats	
III.1.Introduction	56
III.2.CHARGE Resistive	56
III.3.CHARGE Capacitive	57
III.4.CHARGE ANDUCTIVE	58
III.5.Conclusion	59
Conclusion générale	61
Bibliographique	

An orange scroll graphic with a gradient from light orange to a slightly darker shade. It has a thin orange border and decorative scroll-like folds at the top-left and bottom-left corners. The text is centered on the scroll.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Page

Chapitre I: Généralités sur les compteurs électriques et grandeurs électriques		
Figure 1	<i>Puissance dissipée dans une résistance</i>	5
Figure 2	<i>Puissance réactive dans un condensateur</i>	5
Figure 3	<i>Schéma puissance apparente</i>	6
Figure 4	<i>Compteur électromécanique</i>	7
Figure 5	<i>Compteur électromécanique</i>	8
Figure 6	<i>Les index Compteur électromécanique</i>	8
Figure 7	<i>Compteur électromécanique</i>	9
Figure 8	<i>Compteur électronique</i>	10
Figure 9	<i>Compteur d'énergie électronique</i>	12
Figure 10	<i>Compteur intelligent</i>	13
Figure 11	<i>Les blocs fonctionnels du compteur intelligent</i>	13
Figure 12	<i>Architecture d'un compteur intelligent</i>	14
Figure 13	<i>Fluctuation de tension</i>	16
Figure 14	<i>Exemple de cas de surtensions transitoires</i>	16
Figure 15	<i>Coupure brève et creux de tension</i>	17
Figure 16	<i>Représentation d'une non symétrie du système triphasé de tensions</i>	17
Figure 17	<i>Exemple de fluctuation de la fréquence</i>	17
Figure 18	<i>Fondamental de 50 Hz sur une période</i>	19
Figure 19	<i>Harmonique de sur une période du fondamental (F=150Hz)</i>	20
Figure 20	<i>Harmonique de sur une période du fondamental (F=250Hz)</i>	20
Figure 21	<i>Charge linéaire</i>	20
Figure 22	<i>Charge non- linéaire</i>	21
Figure 23	<i>Variation de l'impédance en fonction de la fréquence</i>	22
Figure 24	<i>triangle des puissances</i>	24
Chapitre II : Description du logiciel PROTEUS et microcontrôleur dsPIC		
Figure 1	<i>Icône de programme Proteus</i>	31
Figure 2	<i>Interface de programme Proteus</i>	32
Figure 3	<i>Interface principale de programme Proteus</i>	32
Figure 4	<i>Interface utilisateur ISIS</i>	33

Figure 5	<i>Organisation de Barre d'outils de sélection des Modes ISIS</i>	34
Figure 6	<i>Fenêtre du module Proteus ARES</i>	35
Figure 7	<i>Les différentes phases de la réalisation</i>	36
Figure 8	<i>schéma synoptique de la carte</i>	36
Figure 9	<i>La alimentation</i>	37
Figure10	<i>Types de capteurs de tension</i>	38
Figure 11	<i>Résistive Voltage Sensor</i>	40
Figure 12	<i>Résistive Voltage Sensor</i>	40
Figure 13	<i>Déphasage de tonsion</i>	42
Figure 14	<i>Filtrage</i>	42
Figure 15	<i>Circuit de capteur de courant ACS712 - 30A</i>	44
Figure 16	<i>Architecture générale des dsPIC</i>	47
Figure 17	<i>Modèle du DSPIC33FJ32GP202</i>	48
Figure 18	<i>schéma « ISIS » de câblage de DSPIC33FJ32GP202</i>	49
Figure 19	<i>Capteur de courant ACS712</i>	49
Figure 20	<i>Effet Hall</i>	50
Figure 21	<i>Diagramme des pins du capteur</i>	50
Figure 22	<i>Écran LCD 16x2 avec module I2C</i>	52
Figure 23	<i>Organigramme</i>	53
Figure 24	<i>Schéma générale dans <isis></i>	54
Chapitre III : Tests, interprétation des résultats		
Figure 1	<i>Montage Charge résistive dans isis</i>	56
Figure 2	<i>Valeur d'énergie de tension et courant</i>	56
Figure 3	<i>Courbe de courant</i>	56
Figure 4	<i>Courbe de tension</i>	57
Figure 5	<i>Montage Charge résistive dans isis</i>	57
Figure 6	<i>Valeur d'énergie de tension et courant</i>	57
Figure 7	<i>Courbe de courant</i>	58
Figure 8	<i>Courbe de tension</i>	58
Figure 9	<i>Montage Charge résistive dans isis</i>	59
Figure 10	<i>Valeur d'énergie de tension et courant</i>	59
Figure 11	<i>Courbe de courant</i>	59
Figure 12	<i>Courbe de tension</i>	59

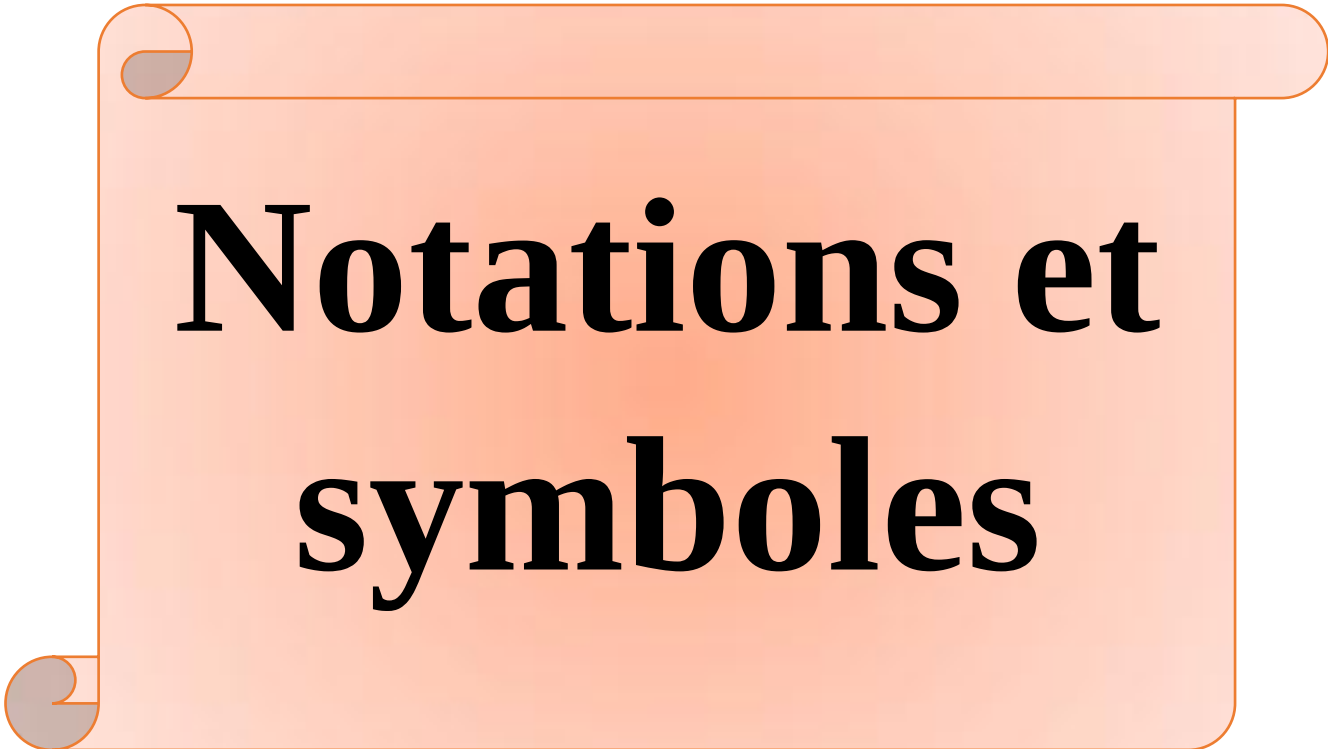
An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a darker orange band. The text is centered on the main body of the scroll.

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Page

Chapitre II : Description du logiciel PROTEUS et microcontrôleur dsPIC		
Tableau 1	Pins du capteur	51

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a tab on the top right and a circular element on the bottom left.

Notations et symboles

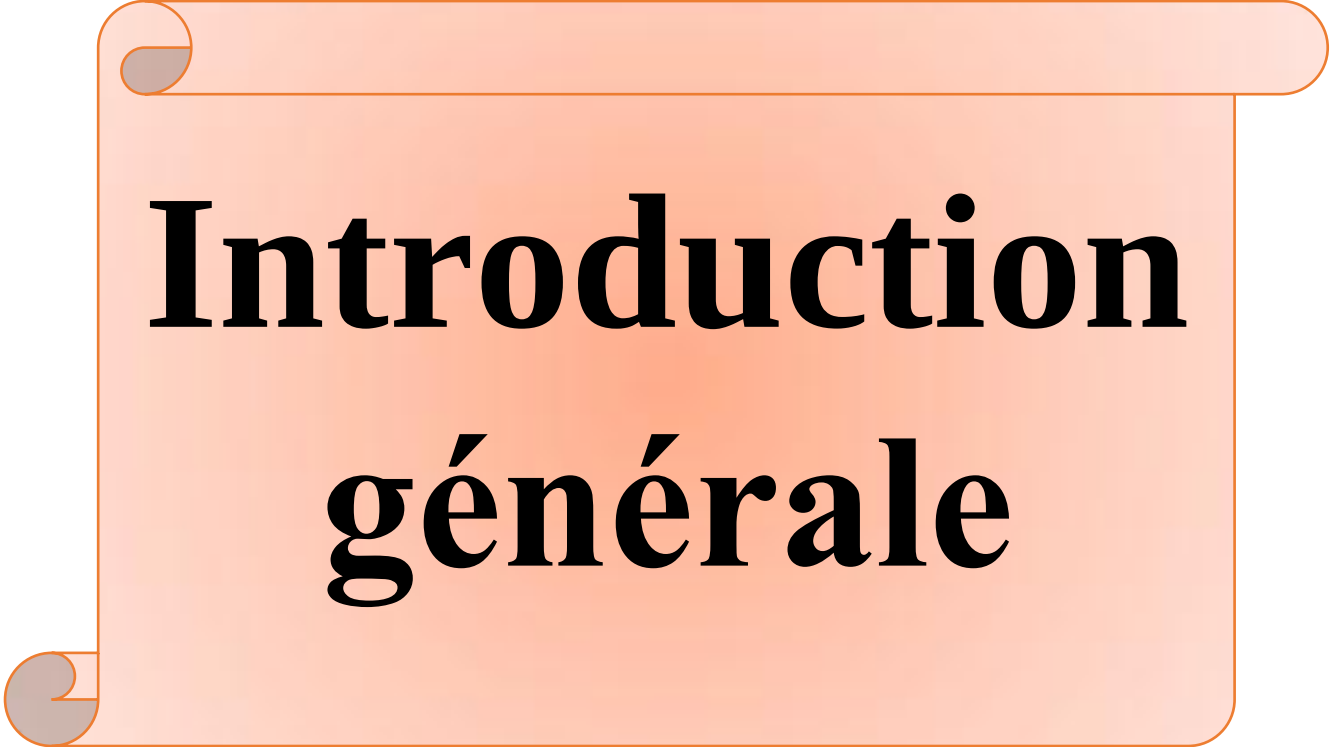
Liste des Abréviations

DC: Courant Continu (Direct Current)

AC: Courant Alternatif (Alternative Current)

I_{eff} : Courant efficace

E_{eff} : Tension efficace

An orange scroll graphic with a light orange gradient and a darker orange border. It has a tab on the top right and a circular element on the bottom left.

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ces dernières années le distributeur d'énergie électrique s'efforce de garantir la qualité de la fourniture de l'électricité. Les premiers efforts se sont portés sur la continuité de service afin de rendre toujours disponible l'accès à l'énergie chez l'utilisateur.

Donc, le but est de fournir aux clients une forme de tension idéale (onde sinusoïdale) qui à deux caractéristiques très importants ce sont:

- Amplitude constante au niveau exigé.
- Fréquence constante et équilibrée en cas de triphasé.

Alors, pour que la transmission de puissance aux appareils électriques soit la meilleure possible, il est nécessaire d'avoir une tension la plus sinusoïdale possible. C'est à ce facteur auquel il faudra faire attention, et ce à toutes les étapes : production, distribution, exploitation.

Avec l'apparition de l'électronique de puissance, la tension s'est mise à se dégrader. Ce genre d'appareils participe à la « pollution » des réseaux de distribution électrique en émettant des perturbations électriques et plus particulièrement des distorsions de l'onde sinusoïdale de la tension. Ces récepteurs dits « non-linéaires » engendrent sur les réseaux des modifications de l'onde sinusoïdale de la tension variant principalement selon l'amplitude des courants déformés mais aussi selon les diverses impédances du réseau.

Le compteur d'énergie qui a pour rôle le calcul de la consommation ainsi que l'établissement de la facture, est un élément essentiel pour les sociétés de l'électricité. Au départ, seuls les compteurs électromécaniques ont été utilisés.

Après, il y a eu recours aux compteurs électroniques.

Vue le progrès technologique dans les domaines informatiques et télécommunications, l'électricien est amené à créer des nouvelles catégories des compteurs d'énergie. Dans ce contexte, l'idée de remplacer le compteur classique par un compteur intelligent ou communiquant est apparue. C'est un compteur programmable permettant d'envoyer et de recevoir des données telles que la consommation.

Dans le premier chapitre, on va faire une étude générale sur les compteurs d'énergie électrique et leurs développements.

Comme nous l'avons abordé les grandeurs électriques (courant, tension, puissance...etc.) en présence des harmoniques.

Dans la deuxième chapitre est consacré à la conception matérielle et logicielle du projet.

Le troisième chapitre est concerne la réalisation de notre système, tests et résultats.

Nous terminons notre rapport par une conclusion générale.

CH1

Généralités sur les compteurs électriques et grandeurs électriques

I.1. Introduction:

Tout logement, parc ou une entreprise alimentée en électricité est doté d'un compteur électrique, pour mesurer la consommation de ce local.

Avec le temps, le développement des compteurs d'énergie électrique a passé de trois générations, le compteur électromécanique, le compteur électronique et le compteur intelligent.

Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement au développement des compteurs d'énergie, leur conception, leurs principes de fonctionnement, et les avantages et les inconvénients de chaque type de compteurs, ainsi que nous présentons quelques définitions pour caractériser la pollution harmonique dans les réseaux électriques. Les grandeurs comme les puissances et facteurs de puissances en régimes non-sinusoïdales seront exposées.

I.2. Qualité de l'énergie électrique

Il existe un grand nombre de définition de la qualité de l'électricité mais d'une façon générale, on peut distinguer deux aspects : la fiabilité de l'alimentation et la qualité de la tension.

La fiabilité de l'alimentation est caractérisé principalement par le nombre et la durée des coupures. La qualité de la tension, quant à elle, est liée aux distorsions de la forme d'onde autrement dit à l'écart engendré par les perturbations électriques par rapport à la forme sinusoïdale idéale de la tension (variation de tension, creux de tension, harmoniques, flicker (papillotement), courants transitoires.....etc.). [1]

Le fournisseur de l'énergie doit assurer une tension toujours au voisinage de la tension nominale avec une variation tolérable (10%), et de (1%) de la fréquence.

I.3 Rappels d'électrotechnique [2]

I.3.1 Puissance dissipée dans une résistance

La puissance P dissipée par effet joule dans une résistance est donnée par le produit de la tension E à ses bornes et du courant I qui la traverse :

$$P = E \cdot I \quad (I.1)$$

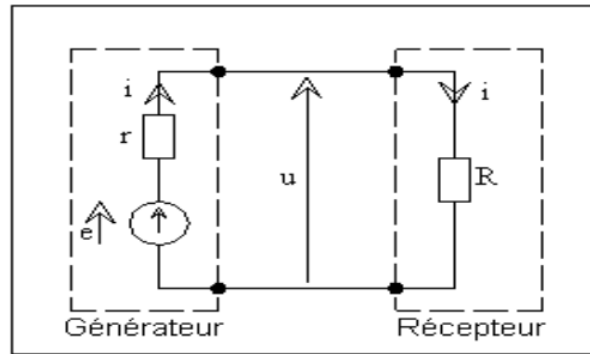


Figure I-1: Puissance dissipée dans une résistance [2]

La puissance dissipée par la résistance est variable, mais elle possède une valeur moyenne qui est la puissance active dissipée par la résistance :

$$P_{moy} = E_{max} \cdot \frac{I_{max}}{2} \quad (I.2)$$

$$P = E_{eff} \cdot I_{eff} \quad (I.3)$$

I.3.2 Puissance réactive dans un condensateur et une bobine [2]

Pour un condensateur C parcouru par un courant I et soumis à une tension E , la puissance ($P=E_{eff} \cdot I_{eff}$) ne représente pas la puissance dissipée dans le condensateur, mais la puissance réactive capacitive Q_c (en Voltampère « VAR»).

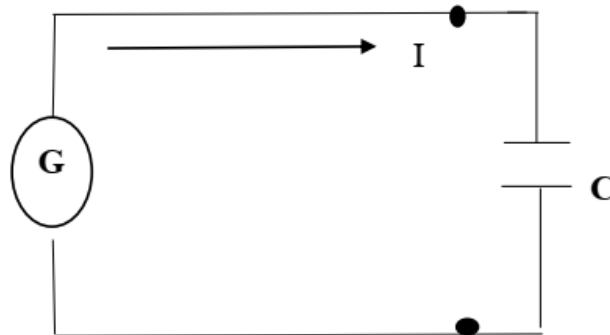


Figure I-2: Puissance réactive dans un condensateur [2].

On remarque qu'il y'a un échange continu d'énergie entre la source et le condensateur de sorte que la valeur moyenne de la puissance par la source est nulle.

Pour la bobine, on utilise la même méthode et on définit la puissance réactive Q_c telle que :

$$Q_c = E_{eff} \cdot I_{eff} \quad (I.4)$$

I.3.3 Puissance apparente [2]

La puissance apparente S d'un circuit à courant alternatif est le produit de la tension efficace E_{eff} à ses bornes et le courant efficace I_{eff} qui le traverse, l'unité de la puissance apparente est le Voltampère (VA).

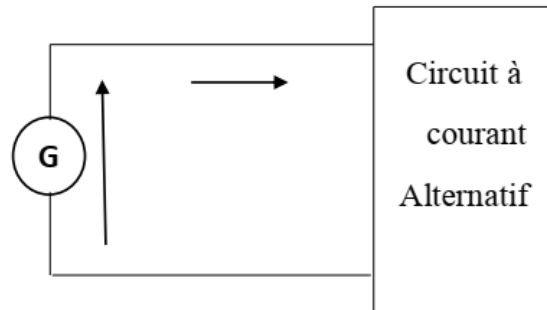


Figure I-3: Schéma puissance apparente [2]

$$S = E_{eff} \cdot I_{eff} \quad (I.5)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (I.6)$$

S : puissance apparente, en Voltampère (VA).

P : puissance active, en Watts (W).

Q : puissance réactive, en vars (VAR)

I.3.4 Facteur de puissance [2]

Le facteur de puissance d'un circuit alternatif est donné par l'expression suivante:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \theta \quad (I.7)$$

θ : déphasage entre la tension et le courant.

Pour un circuit triphasé équilibré S :

$$S = E \cdot I \sqrt{3} \quad (I.8)$$

I.4 Le développement des compteurs d'énergie électrique

Un compteur électrique est un organe électrotechnique indispensable pour toute installation électrique servant à mesurer et quantifier la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu comme un habitation, industrie, une école, une administration, une entreprise ...etc. Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de facturer la consommation d'énergie au client. Cette énergie est calculée en fonction de la puissance instantanée et du temps d'utilisation. Le compteur électrique donne des informations en kilowattheure (kWh) et 1 kWh est équivalent à $3,6 \times 10^6$ J.

A l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique, ils sont remplacés dorénavant par des compteurs électroniques. Les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communiquant appelés parfois compteurs intelligents. [1] [2]

I.4.1 Compteur électromécanique

I.4.1.1 Définition

Les compteurs électromécaniques sont les compteurs les plus anciens et les plus traditionnels installés grâce à sa grande qualité est sa robustesse et sa simplicité d'utilisation.

Il s'agit de la première génération des compteurs installés et ils utilisent un dispositif mécanique de comptage pour afficher un seul indice de consommation qui est l'énergie. Ce compteur est généralement situé dans le logement lorsqu'il s'agit d'un logement individuel.

Dans le cas d'un immeuble comportant plusieurs logements, il est situé à l'extérieur, souvent dans un compartiment ou local technique qui lui est réservé.



Figure I-4: Compteur électromécanique

I.4.1.2 Le principe de fonctionnement et la conception

Les éléments essentiels et principaux du compteur sont visibles à travers le capot transparent à savoir:

- (A) L'inducteur « Intensité » constitué par quelques spires de gros fil.
- (B) L'inducteur « Tension » constitué par une bobine comportant un grand nombre de spires de fil fin.
- (C) Le disque en aluminium constituant le rotor.
- (D) L'aimant de freinage.

- (E) Le totaliseur d'énergie constitué d'un ensemble d'engrenages qui actionne un dispositif d'affichage. [3]

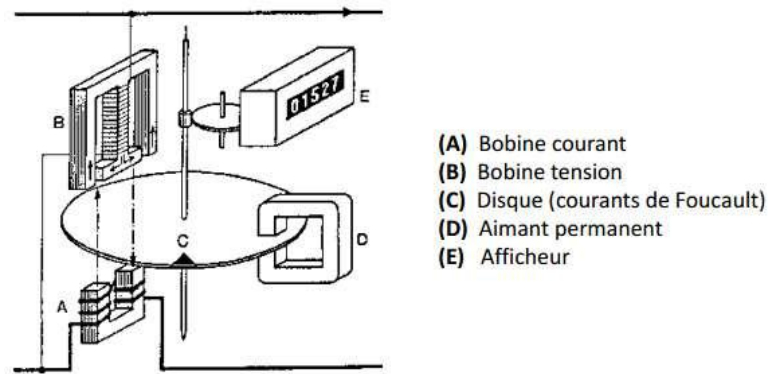


Figure I-5: Compteur électromécanique [2]

Le compteur électromécanique a pour fonction de comptabiliser la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu alimenté par cette énergie. Il s'agit d'un boîtier repérable par sa forme carrée. Il se fixe à la paroi au moyen de trois points d'attache.

Il est équipé d'un index à défilement mécanique. Cet index comporte:

- 5 chiffres.
- Le numéro de matricule ou PDL (point de livraison) à fournir pour souscrire un abonnement correspond aux trois derniers chiffres, ce numéro permet de distinguer le compteur lorsqu'il se situe au même endroit que ceux de voisins.
- Un disque rotatif en aluminium matérialise la consommation du logement en temps réel. [4]



Figure I-6: Les index Compteur électromécanique

Le principe de fonctionnement des compteurs électromécaniques est basé sur l'électromagnétisme, cela dépend du principe du scientifique anglais Ferraris, qui a développé

la théorie en 1885, et cette théorie dit (il est possible de générer un couple dans un élément rotatif en mouvement libre s'il y a deux flux magnétiques et deux écoulements qui coupent entre eux et s'il y a un angle entre eux et dans ce cas l'élément rotatif est le disque et le flux résultant des enroulements de courant et de tension.

Le comptage de l'énergie s'effectue en comptant le nombre de rotations d'un disque mobile qu'est monté sur un axe tournant avec un mécanisme de comptage mécanique. Ce disque est soumis aux champs magnétiques alternatifs produits grâce à deux électroaimants disposés au-dessus et en dessous du disque.

Chaque aimant est traversé par un courant électrique, l'un est parcouru par le courant circulant dans le fil de phase et l'autre par un courant proportionnel à la tension du réseau. Le disque opère un mouvement de rotation dont la vitesse est proportionnelle à la consommation d'électricité et il indique la consommation d'électricité depuis sa mise en service. En plus de cela pour les compteurs triphasés, ils sont constitués des mêmes éléments que les compteurs monophasés, mais à la différence de ceux-ci, ils comportent deux ou trois bobines tension et intensité. Leur équipement mobile est constitué soit d'un disque, soit de deux ou trois disques solidaires.



Figure I-7: Compteur électromécanique

I.4.1.3 Les avantages et les inconvénients

a. Les avantages

Ce type de compteur est le plus ancien des affichages mécaniques, il présente l'avantage de:

- Haute fiabilité lors de la coupure de courant et même en cas de court-circuit, ils peuvent continuer à fonctionner après avoir éliminé toutes les conséquences.
- Convient aux réseaux de faible qualité.

- Le prix d'achat est inférieur aux prix des appareils électroniques.
- Pas besoin de configuration supplémentaire. Tout ce qui est nécessaire est le câblage correct.
- De plus en cas de détérioration ou de vandalisme, la dernière formation enregistrée reste affichée ce qui rend sa lecture toujours possible.
- Longue durée de vie grâce à sa grande robustesse et sa grande qualité.
- Sa facilité d'installation et d'utilisation.

b. Les inconvénients

Tandis que ce compteur électromécanique procure à leurs utilisateurs une foule d'avantages, il leur pose des inconvénients et des problèmes comme:

- Précision réduite avec consommation réduite. Cela est dû à une diminution du champ électromagnétique.
- Petite classe de précision. Il ne dépasse pas une valeur de 2 unités.
- Défaillances de suivi avec une forte variation des courants de charge.
- Coefficient élevé de consommation intérieure. C'est-à-dire le compteur lui-même est capable d'influencer partiellement la quantité dans la réception d'électricité.
- Dimensions relativement grandes.
- C'est pour ça la technologie a évolué et sont apparus les compteurs numériques. Cependant, il est très aisé de les programmer pour compter l'électricité qui a été prélevée ou injectée dans le réseau.

I.4.2 Compteur électronique

I.4.2.1 Définition

C'est un compteur d'énergie électrique numérique qui fonctionne avec un système de comptage électronique, il s'agit de la deuxième génération des compteurs installés (après le compteur électromécanique), sur lequel on peut lire les informations qui sont affichées sur un dispositif d'affichage à cristaux liquides (LCD). Ce type de compteur est plus sensible aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement à la foudre et pour mesurer les fortes intensités. [3]



Figure I-8: Compteur électronique

I.4.2.2 Le principe de fonctionnement et la conception

Maintenant, place aux compteurs électroniques. Ils sont facilement reconnaissables grâce à leur conception basée sur les circuits et les composants électroniques modernes, ils se composent d'un cadran d'affichage digital de la consommation d'électricité et de deux boutons poussoirs S et D pour faciliter la lecture des index et des informations du compteur.

- **La touche D (Défilement)** : elle permet d'accéder à l'index du compteur.
- **La touche S (Sélection)** : elle permet de faire défiler les informations qui sont relatives à l'appareil telles que le numéro de série du compteur ; l'option tarifaire ; la puissance instantanée ; le réglage du disjoncteur choisi ; la puissance que vous avez souscrite, le contrôle du fonctionnement de l'écran.

Pour un compteur d'électricité numérique, la formule fondamentale de la mesure de la puissance active est toujours représentée par l'intégral:

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^t u(t)i(t)dt \quad (I.9)$$

Avec P_a : la puissance active (w).

$u(t)$: tension instantanée présente par le réseau.

$i(t)$: courant instantané parcourant par le réseau.

Et pour calculer l'énergie consommée, on a l'équation suivante :

$$E = P_a \cdot t \quad (I.10)$$

Avec E : l'énergie consommée (Kwh).

P_a : la puissance active (Kw).

t : le temps (h).

Alors le compteur électronique détecte le signal de tension et de courant par un capteur de tension et un capteur de courant, puis le signal de tension et de courant provenant des capteurs sont multipliés pour obtenir une capacité instantanée et par l'intégration et la multiplication avec le temps de ce dernier, nous obtenons l'énergie consommée en kilowattheures, après ces mesures sont stockées dans des enregistrements. Le compteur est caractérisé par un voyant lumineux sur la façade du compteur indique qu'il fonctionne bien. Ce voyant clignote plus ou moins vite selon la quantité d'électricité consommée.

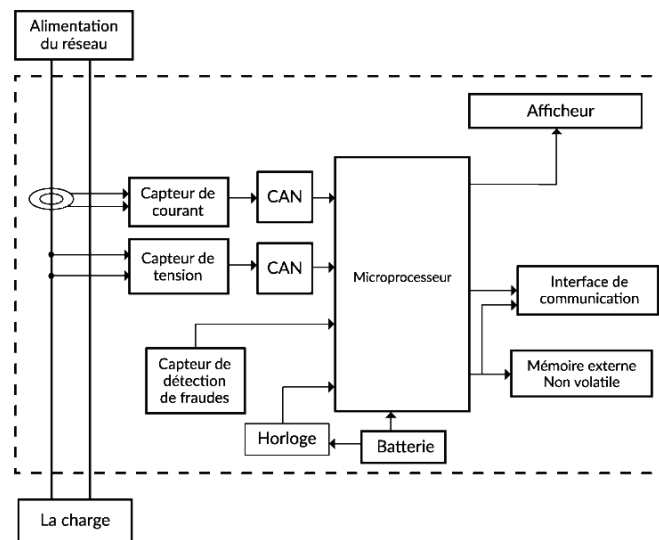


Figure I-9: Compteur d'énergie électronique [2]

Outre ses fonctionnalités de comptage, le compteur électronique est mieux armé que son homologue à disque pour protéger l'installations en cas de foudre.

I.4.2.3 Les avantages et les inconvénients

a. Les avantages

- Le compteur numérique (affichage LCD) présente l'avantage de pouvoir afficher différentes informations : (tarifs du KWh, Watt, tension).
- Les données calculées ainsi que les paramètres programmés sont enregistrées sur une mémoire non-volatile permettant leur sauvegarde en cas de coupure d'alimentation.
- Ces compteurs sont plus sensibles aux surintensités et surtensions, et tout particulièrement la foudre et les pannes de courant pourront être détectées plus rapidement.

- Ce type de compteur est caractérisé par la précision, fiabilité, modularité, souplesse...etc.
- Erreur minimale.
- Dimensions compactes par rapport aux appareils à induction.
- Manque de pièces mécaniques les plus susceptibles de s'user.

b. Les inconvénients

Les compteurs électroniques présentent certains inconvénients tels que:

- Haute sensibilité et instabilité aux fortes modifications réseau.
- Prix élevé, surtout quand il s'agit d'appareils multi-tarifs.
- La réparation coûte très cher.
- Problème de détection des défauts.
- Difficulté à effectuer des réparations.
- Sensibilité à un changement brusque de température

I.4.3 Compteur intelligent

I.4.3.1 Définition

Un smart meter, ou un compteur intelligent en français, est un compteur d'énergie électrique communiquant présente une nouvelle génération de compteurs qui se caractérise par des technologies avancées de communication qui mesure la consommation électrique d'un bâtiment, d'une entreprise ou d'un foyer avec une manière détaillée et précise en temps réel. Ce compteur enregistre la quantité d'énergie consommée de façon électronique qui permet notamment de transmettre des données de consommation, comme les index, et qui peut recevoir des informations ou des orders.



Figure I-10: Compteur intelligent

I.4.3.2 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:



Figure I-11: Les 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:

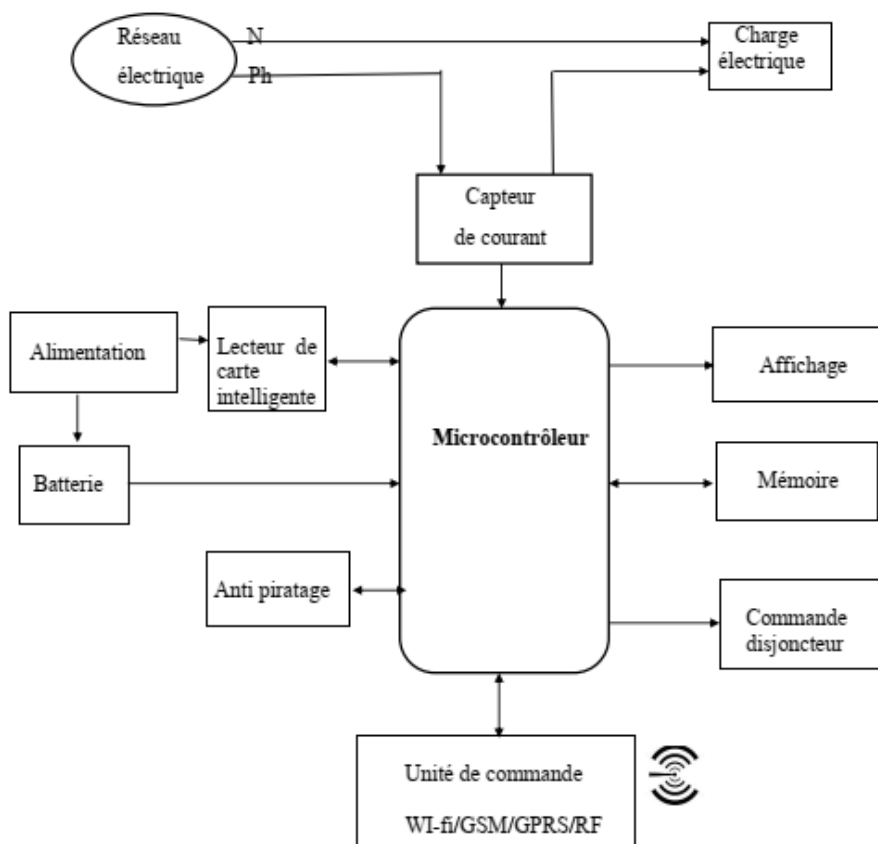


Figure I-12: Architecture d'un compteur intelligent.

I.4.3.3 Les avantages et les inconvénients

a- Les avantages

- Le « smart meter » permet de relever et contrôler la consommation électrique à distance et permet d'éviter de déranger les clients par les agents que doivent faire la lecture sur place du compteur.
- Il sauvegarde les consommations, compteur par compteur, pour finalement rendre le rapport au gestionnaire.
- Ce type de compteur fait le calcul de la consommation d'énergie avec une manière détaillée et précise en temps réel.
- Une détection plus rapide et automatique des pannes.
- Contribue de réduire le budget et la facture de l'électricité puisque le consommateur dispose d'informations beaucoup plus détaillées relatives à sa consommation qui lui permettent de faire des économies d'énergie en adaptant ses habitudes.
- Faciliter la vie du consommateur dans la mesure où il:
 - Permet d'être facturé par rapport à sa consommation réelle, et non plus par rapport à une estimation de consommation.
 - Ne nécessite plus l'intervention d'un technicien pour la mise en service, ou la modification de la puissance.
 - Lui permet de suivre sa consommation exacte sur internet pour la mieux maîtriser et faire des économies d'énergie.
 - Absence de dérangement pour les opérations liées au compteur.

b- Les inconvénients

- Difficile à installer puisqu'il se caractérise par des technologies avancées et très sensibles.
- Prix élevé et la réparation coûte très cher.

I.5 Les perturbations électriques

Les perturbations électriques naissent de la dégradation d'un ou plusieurs paramètres caractéristiques de réseaux électriques (forme des tensions, équilibre des tensions, fréquence et amplitude....etc.).

L'altération d'un ou de plusieurs de ces paramètres engendre entre autre les perturbations suivantes:

I.5.1 Fluctuations de tension

C'est une variation rapide de la tension comprises dans la plage normale de tension, en fonctionnement normale des réseaux.

Les fluctuations de tension sont principalement dues à des charges industrielles rapidement variables comme les machines à souder, les fours à arc...etc.

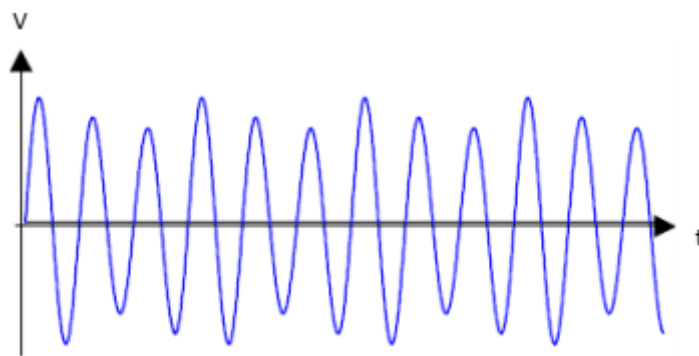


Figure I-13: Fluctuation de tension

I.5.2 Transitoires

Les phénomènes transitoires sont essentiellement constitués de surtensions très élevées (jusqu'à 20 kV) et rapides, qui dépassent la plage nominale de variation qui est de 10 %, dus:

- A la foudre.
- Aux manœuvres ou aux défauts sur les réseaux HT et BT.
- Aux arcs électriques de l'appareillage.
- A la mise sous tension de circuits fortement capacitifs

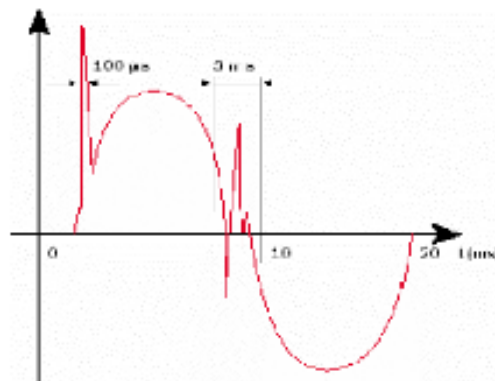


Figure I-14: Exemple de cas de surtensions transitoires [5]

I.5.3 Courant transitoires

L'enclenchement d'une charge génère une impulsion brève de courant qui affecte légèrement et de façon transitoire la forme de la tension.

I.5.4 Creux de tension et coupures brèves

Les creux de tension sont définis comme une baisse de 10 % à 100 % de la valeur nominale de la tension pendant un temps compris entre 10 ms et quelques secondes, figures (I.15).

On parle de coupure brève lorsque cette baisse atteint les 100 %, elle est due généralement à des phénomènes transitoires, comme par exemple les court-circuits.

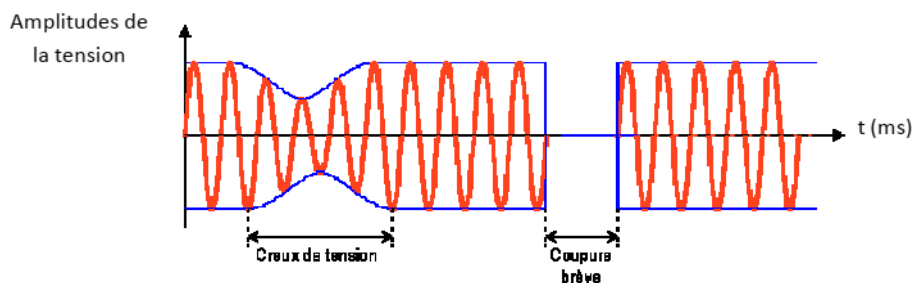


Figure I-15: Coupure brève et creux de tension

I.5.5 Déséquilibre de tension

L'inégalité en amplitude des tensions des phases est due à l'inégalité des puissances appelées sur chaque phase. Ce déséquilibre résulte essentiellement de la présence de fortes charges monophasées raccordées de manière non uniforme au réseau.

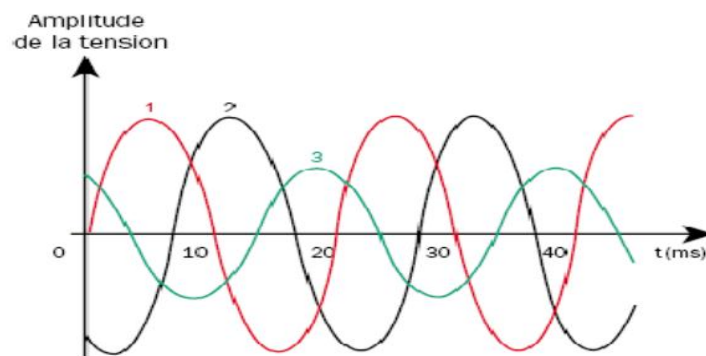


Figure I-16: Représentation d'une non symétrie du système triphasé de tensions

I.5.6 Variation de la fréquence

La variation de la fréquence du réseau qui est normalement fixée, elle est en general observée sur les perturbations des vitesses des moteurs ainsi que la précision des appareils de mesure.

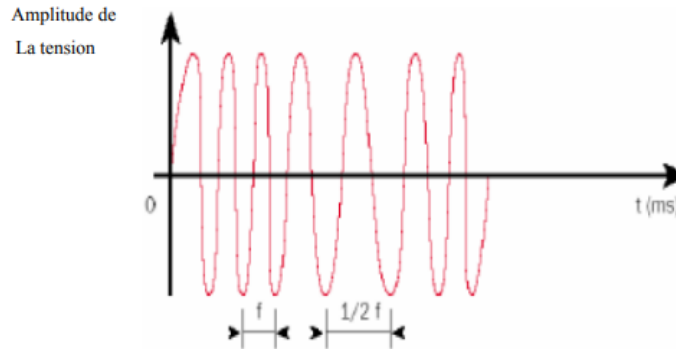


Figure I-17 : Exemple de fluctuation de la fréquence

I.5.7 Surtensions

C'est l'augmentation de la tension jusqu'à dépassement de la plage nominale de variation qui est de 10%.

I.5.8 Surtension de manœuvre

Ce sont généralement des surtensions dues aux manœuvres effectuées sur les réseaux MT, comme le déclenchement d'un transformateur ou enclenchement d'une batterie de condensateurs.

I.5.9 Surtensions atmosphériques

Elles sont dues aux coups de foudres directs (qui tombent sur une ligne ou une structure) et indirects (qui tombent sur la terre et augment son potentiel).

I.5.10 Courts circuits

Les courts circuits se traduisent par une excessive du courant dans les lignes pouvant atteindre jusqu'à 50 fois le courant nominal I_n , et une chute de tension jusqu'à la valeur zéro. La sévérité d'un court circuit est en fonction de sa nature.

I.6. Phénomène harmonique

La pollution harmonique est un des problèmes majeurs qui dégrade la qualité d'énergie électrique dans les réseaux. La circulation des courants harmoniques dans les lignes et entre les charges est difficile à prédire et à contrôler.

I.6.1. Définition des harmoniques [1]

Sur les réseaux électriques, la forme d'onde des tensions et des courants est souvent assez différente de la sinusoïde pure sortant des centrales de production.

L'onde déformée est en fait constituée de la superposition d'une composante sinusoïdale à 50 Hz, dite fondamentale, et de composantes sinusoïdales à des fréquences multiples entiers de 50 Hz, appelées harmoniques. L'injection de courants harmoniques dans le réseau génère des tensions harmoniques traversant les diverses impédances du réseau et dégradant ainsi les qualités de ce dernier.

I.6.2. Harmoniques pairs et impair [4]

La quasi-totalité des charges sont symétriques. Ce qui donne des harmoniques de rangs pairs faible, voir inexistantes. Donc, on trouve juste, les harmoniques de rangs impairs dans cette classe de charge.

En effet, la plupart des charges connectées au réseau sont symétriques, c'est-à-dire que les deux alternances (positive et négative) sont égales et opposées.

Ceci peut être écrit mathématiquement par la relation suivante :

$$I(\omega t + \pi) = -I(\omega t) \quad (\text{Pour le courant par exemple}) \quad (\text{I.11})$$

On suppose que le courant comporte des harmoniques de rang 2, il est possible de le décrire comme suite:

$$I(\omega t) = I_1 \sin(\omega t) + I_2 \sin(2\omega t) \quad (\text{I.12})$$

I_1 : Amplitude du fondamental

I_2 : Amplitude de l'harmonique de rang 2.

On aura donc:

$$I(\omega t + \pi) = I_1 \sin(\omega t + \pi) + I_2 \sin(2(\omega t + \pi)) \quad (\text{I.13})$$

Ce qui donne :

$$I(\omega t + \pi) = I_1 \sin(\omega t) + I_2 \sin(2\omega t) \quad (\text{I.14})$$

Ceci ne peut être égale à $-I(\omega t)$ que si l'amplitude de l'harmonique 2 est nulle, le raisonnement peut être étendu à tous les harmoniques des rangs pairs.

I.6.3. Les perturbations harmoniques

Les signaux (tension et courant) relevés sur le réseau sont des signaux déformés et loin d'être des sinusoïdes parfaites.

Un signal déformé est la superposition d'un signal fondamental (50Hz) et de signaux harmoniques de fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence du fondamental (200,250,100,150)Hz....etc.).

En pratique on ne s'intéresse qu'aux harmoniques significatifs (jusqu'au rang 13), les appareils de mesure peuvent aller au-delà (jusqu'à 25 pour les pinces harmoniques F25 et F27).

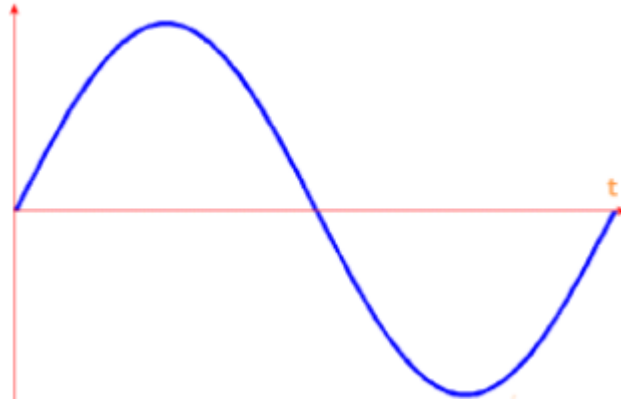


Figure I-18: Fondamental de 50 Hz sur une période

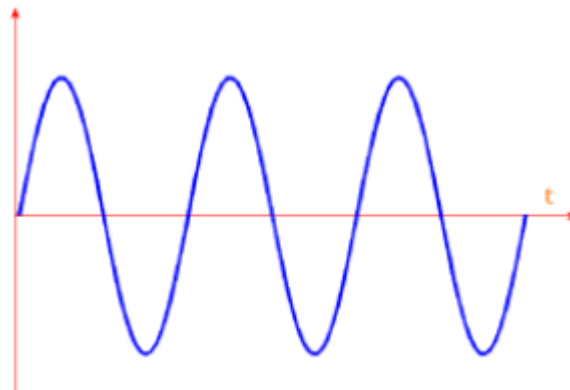


Figure I-19: Harmonique de sur une période du fondamental ($F=150\text{Hz}$)

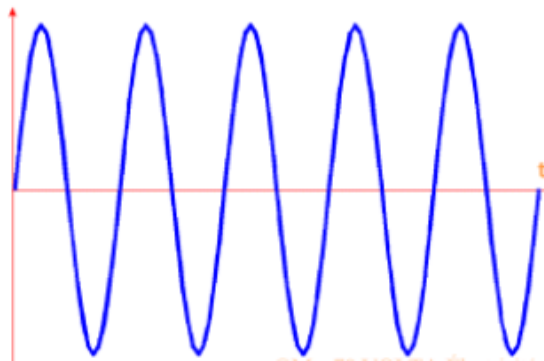


Figure I-20: Harmonique de sur une période du fondamental ($F=250\text{Hz}$)

I.6.3.1. Caractérisation des perturbations

Les récepteurs peuvent être classés en deux familles principales

- Les récepteurs linéaires (ou charges linéaires).
- Les récepteurs non-linéaires (ou charges non-linéaires).

Une charge est dite linéaire si, alimentée par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés. Les charges linéaires couramment utilisées sont constituées de résistances, de capacités et d'inductances.

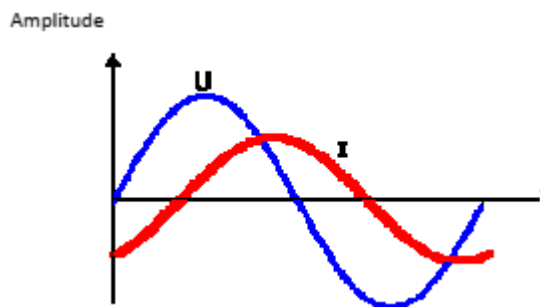


Figure I-21: Charge linéaire

Une charge est dite non-linéaire lorsque la relation entre la tension et le courant n'est plus linéaire.

Un tel récepteur alimenté par une tension sinusoïdale, consomme un courant non sinusoïdal.

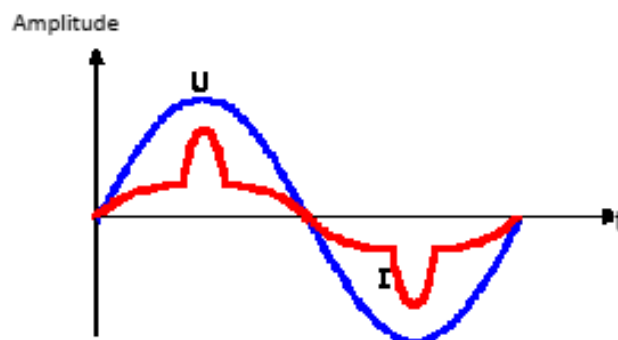


Figure I-22: Charge non- linéaire

I.6.4. Rang harmonique

Le rang harmonique est le rapport de sa fréquence à celle du fondamental.

$$h = \frac{f_h}{f_1} \quad (\text{I.15})$$

I.7 Grandeurs électriques en présence des harmoniques

Dans ce partie nous présentons quelques définitions pour caractériser la pollution harmonique dans les réseaux électriques. Les grandeurs comme les puissances et facteurs de puissances en régimes non-sinusoïdales seront exposées.

I.7.1 Valeur efficace des grandeurs harmoniques [7]

La valeur efficace du signal $y(t)$ est par définition :

$$Y_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt} \quad (I.16)$$

Le théorème de parseval nous dit que :

$$\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt = Y_0^2 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h^2 \quad (I.17)$$

En général la valeur de la composante continue Y_0 , est nulle, on a donc la relation suivante :

$$Y_{eff} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} Y_h^2} \quad (I.18)$$

I.7.2 Harmonique de courant, de tension et impédance harmonique [6]

- **Harmonique de courant**

Dans la plus part des cas, les harmoniques présents sur les réseaux électriques sont due à l'utilisation de charges non linéaires.

On qualifie de non linéaire toute charge qui, lorsqu'elle est soumise à une tension sinusoïdale à 50HZ, n'absorbe pas un courant sinusoïdal à 50HZ.

Les charges non linéaires se comportent approximativement comme des sources de courants harmoniques, c'est-à-dire que le courant harmonique est fixé par la charge et non par l'impédance ou la tension du réseau auquel sont raccordées.

L'expression du courant généré par une charge non- linéaire s'écrit comme suit :

$$i(t) = I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha_1) + \sum_{h=1}^{\infty} I_h \sqrt{2} \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (I.19)$$

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} Y_h^2} \quad (I.20)$$

I : La valeur efficace du courant

α_h : Déphasage du courant harmonique de h par rapport à l'origine des phases

I_h : Valeur efficace du courant de rang h

La séparation de la composante fondamentale I_1 des composantes harmoniques I_h donne:

$$I^2 = I_1^2 + I_H^2 \quad \text{Avec} \quad I_H^2 = \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 \quad (\text{I.21})$$

• Impédance harmonique

L'impédance présentée par un réseau dépend de la fréquence à laquelle on le considère. On peut définir en tout point d'un réseau une impédance harmonique Z_h qui dépend du harmonique h considéré. Elle représente la mise en parallèle de toutes les lignes qui convergent vers ce point. Les courants harmoniques émis par une charge perturbatrice se partagent entre les différentes lignes.

Le produit des harmoniques de courant provenant des charges non linéaires par l'impédance harmonique du réseau en un point, crée des harmoniques de tension.

Dans ce cas pour chaque harmonique de courant I_h correspond une impédance Z_h .

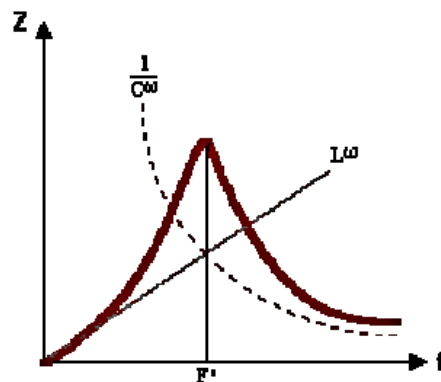


Figure I-23: Variation de l'impédance en fonction de la fréquence

$$X_L = L2\pi f = L\omega \quad (\text{I.22})$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{C\omega} \quad (\text{I.23})$$

X_L, X_C Sont respectivement les réactances inductive et capacitive.

• Tension harmonique

Les courants harmoniques qui circulent dans le réseau rencontrent l'impédance du réseau et créent une tension harmonique selon la loi d'Ohm:

$$\overline{X_h} = \overline{I_h} * \overline{Z_h} \quad (\text{I.24})$$

L'expression des tensions harmoniques est :

$$U(t) = U_1\sqrt{2}\sin(\omega t + \beta_1) + \sum_{h=2}^{\infty} U_h\sqrt{2}\sin(h\omega t + \beta_h) \quad (I.25)$$

$$U = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2} \quad (I.26)$$

U: La valeur efficace de la tension.

U_h : Valeur efficace de la tension harmonique de rang h.

β_h : Déphasage de la tension harmonique de rang h par rapport à l'origine des phases.

La séparation de la composante fondamentale U_1 des composantes harmoniques U_h donne:

$$U^2 = U_1^2 + U_H^2 \quad \text{Avec} \quad U_H^2 = \sum_{h=2}^{\infty} U_h^2 \quad (I.27)$$

I.7.3 Expression des puissances

I.7.3.1 Puissances électrique en régime sinusoïdal

En régime sinusoïdal, les grandeurs dépendent du temps. On considère le cas général le plus répandu en électrotechnique d'un dipôle inductif, c'est-à-dire d'un courant déphasé en arrière d'un angle φ par rapport à la tension.

$$v(t) = V_{max}\cos(\omega t) \quad (I.28)$$

$$i(t) = I_{max}\cos(\omega t - \varphi) \quad (I.29)$$

- **Puissance instantanée**

En régime sinusoïdal la puissance instantanée est:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (I.30)$$

C'est-à-dire:

$$p(t) = V_{max}\cos(\omega t) \cdot I_{max}\cos(\omega t - \varphi) \quad (I.31)$$

$$p(t) = V_{max}I_{max}\frac{\cos(\varphi)}{2} + V_{max}I_{max}\frac{\cos(2\omega t - \varphi)}{2} \quad (I.32)$$

En utilisant les tensions et courants efficaces:

$$p(t) = UI\cos(\varphi) + UI\cos(2\omega t - \varphi) \quad (I.33)$$

$$\text{Avec} \quad U = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{et} \quad I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (I.34)$$

U: La valeur efficace de la tension.

I: La valeur efficace du courant.

- **Puissance active**

C'est la valeur moyenne de la puissance instantanée, c'est-à-dire:

$$P = p(t)_{\text{moy}} = UI \cos(\varphi) \quad (\text{en W}) \quad (\text{I.35})$$

- **Puissance fluctuante**

C'est la partie variable de $p(t)$

$$P_f(t) = UI \cos(\varphi) \quad (\text{I.36})$$

- **Puissance apparente**

Les grandeurs $v(t)$ et $i(t)$ étant périodiques, on les caractérise par leurs valeurs efficaces U et I .

On définit alors la puissance apparente comme la grandeur nommée S :

$$S = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = UI \quad (\text{en VA}) \quad (\text{I.37})$$

- **Puissance réactive**

On définit la puissance réactive comme celle due à la partie « réactive » du courant, c'est-à-dire $I \sin \varphi$. Son unité est le volt ampère réactif (VAR).

On retiendra la formule de cette puissance qu'on nomme classiquement Q

$$Q = UI \sin \varphi \quad (\text{en VAR}) \quad (\text{I.38})$$

- **Relation entre P, Q et S**

Notons que : $P = UI \cos \varphi, Q = UI \sin \varphi, S = UI$ (I.39)

D'où : $P^2 + Q^2 = S^2$ (I.40)

Cette formulation fait apparaître une relation également graphique entre les différentes grandeurs. On parle alors de triangle des puissances:

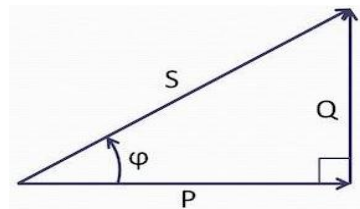


Figure I-24: triangle des puissances

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (\text{I.41})$$

I.7.3.2 Puissances en régime non sinusoïdal

- **Puissance active**

La puissance active transportée par un signal périodique déformé est égale à la somme des puissances actives transportées par chaque harmonique de ce signal.

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos \varphi_h \quad (\text{I.42})$$

U_h : La valeur efficace de la tension harmonique de rang h

I_h : La valeur efficace du courant harmonique de rang h

φ_h :Déphasage entre le courant harmonique de rang h et la tension harmonique de rang h

- **Puissance réactive**

La puissance réactive en présence des harmoniques est donnée par:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \sin \varphi_h \quad (\text{I.43})$$

U_h : La valeur efficace de la tension harmonique de rang h

I_h : La valeur efficace du courant harmonique de rang h

φ_h :Déphasage entre le courant harmonique de rang h et la tension harmonique de rang h

- **Puissance apparente**

L'expression du carré de la puissance apparente est définie comme

$$S^2 = \sum_{h=1}^{\infty} U_h^2 \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \quad (\text{I.44})$$

Ce qui nous donne

$$S = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2 \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (\text{I.45})$$

- **Puissance déformante**

En présence d'harmoniques dans un réseau électrique, l'expression du carré de la puissance apparente est égale à:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (\text{I.46})$$

Donc:

$$D^2 = S^2 - P^2 - Q^2 \Rightarrow D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (\text{I.47})$$

I.7.4. Facteur de puissance et facteur de déphasage.

- **Facteur de puissance**

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance réactive. Il est toujours compris entre 1 et 0.

$$F_p = \frac{P}{S} \quad (\text{I.48})$$

F_p : Facteur de puissance

- **Facteur de déphasage (du fundamental)**

Le facteur de déphasage est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente de la composante fondamentale:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (\text{I.49})$$

φ_1 : Déphasage entre les composantes fondamentales de courant et de la tension.

I.7.5. Facteur de déformation [9]

Il caractérise le lien entre le facteur de puissance et le facteur de déphasage:

$$F_d = \frac{F_p}{\cos \varphi_1} \quad (\text{I.50})$$

I.7.6. Facteur de puissance réel

Pour un dipôle alimenté en régime de courant variable au cours du temps (non-sinusoïdal), le facteur de puissance est égal à la puissance active consommée par ce dipôle divisée par la puissance apparente. Il est toujours compris entre 0 et 1.

En présence des harmoniques, la définition classique du facteur de puissance doit être modifiée pour tenir compte de cette distorsion.

On définit alors, le facteur de puissance comme suit:

$$F_p = \frac{I_1}{I_{eff}} \cos \varphi_1 \quad (\text{I.51})$$

I_1 : la valeur efficace du courant fondamental.

I_{eff} : la valeur efficace du courant totale.

$\cos \varphi_1$: le facteur de déphasage.

On parle alors de facteur de puissance réel (True power factor) .

I.7.7. Facteur de crête

C'est le rapport de la valeur maximale du courant ou de la tension sur leur valeur efficace.

$$F_c = \frac{I_{max}}{I_{eff}} \quad \text{Pour le courant} \quad (\text{I.52})$$

$$F_c = \frac{U_{max}}{U_{eff}} \quad \text{Pour la tension} \quad (\text{I.53})$$

Dans le cas d'un signal sinusoïdal ce rapport est égale à $\sqrt{2}$, dans le cas d'un signal non sinusoïdal ce rapport est différent de $\sqrt{2}$.

I.7.8 Distorsion harmoniques

Plusieurs expressions peuvent être utilisées pour quantifier la déformation du signal.

- **Taux de distorsion individuel**

Il est utilisé pour estimer l'amplitude de l'harmonique de rang h par rapport au fondamental:

- Pour la tension:

$$U_h \% = 100 \frac{U_h}{U_1} \quad (I.54)$$

- Pour le courant:

$$I_h \% = 100 \frac{I_h}{I_1} \quad (I.55)$$

- **Taux de distorsion globale**

Le taux de distorsion globale caractérise le niveau de pollution dans un réseau électrique. La norme IEC6100-2-2 définit le taux de distorsion globale comme suit:

- Pour la tension:

$$THD_u \% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \quad (I.56)$$

- Pour le courant:

$$THD_i \% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (I.57)$$

Il existe d'autres équations permettant le calcul du taux de distorsion de la tension et du courant:

$$THD_u = \sqrt{\left(\frac{U_{eff}}{U_1}\right)^2 - 1} \quad et \quad THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{eff}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (I.58)$$

Ces deux équations sont équivalentes aux précédentes et elles sont plus simples à manipuler.

- **Taux de distorsion pondérés**

A fin de tenir compte de la spécificité de certains types de matériels, tels les condensateurs, les inductances, on peut utiliser les taux de distorsion pondérés en tension D . Ils sont définies de la manière suivante:

Pour les condensateurs on a :

$$D_{wc} = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} h^2 u_h^2} \quad (I.59)$$

h rang d'harmonique.

Soit I_c le courant circulant dans le condensateur et I_{1c} son fondamental; alors:

$$I_c = I_{1c} \sqrt{1 + D_{wc}^2} \quad (I.60)$$

Pour les inductances on a :

$$D_{wl} = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \frac{u_h^2}{h^2}} \quad (I.61)$$

Soit I_l le courant circulant dans l'inductance et I_{1l} son fondamental; alors:

$$I_l = I_{1l} \sqrt{1 + D_{wl}^2} \quad (I.62)$$

Pour les moteurs on a :

$$D_{wM} = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h^2}{h^2}} \quad (I.63)$$

Comme ils intègrent la variation d'impédance des matériels en fonction de la fréquence, ces coefficients permettent d'évaluer la nocivité d'un réseau sur la famille de matériels correspondants.

I.7.9. Notion de phase [6][7]

La phase d'un signal harmonique est une notion importante, qui permet de calculer la somme vectorielle de plusieurs courants harmoniques circulant dans un même conducteur, et d'identifier le sens de transit du courant harmonique.

- **Phases entre I_h et I_1 (ou entre U_h et U_1)**

L'analyse de Fourier en courant suffit pour connaître le déphasage entre le courant harmonique de rang h et le courant fondamental, ce déphasage est noté. β_h

Lorsqu'on veut faire la somme de courants sur une portion donnée du réseau, il est alors nécessaire d'effectuer une correction qui tient compte du déphasage du courant fondamental par rapport à la tension fondamental φ_1

- **Phases entre U_h et I_h (φ_h)**

Cette notion est introduite lors du calcul de puissance harmonique active (P_h) et reactive (Q_h). C'est l'angle entre la tension harmonique U_h et le courant harmonique I_h

$$P_h = U_h I_h \cos \varphi_h \quad (I.64)$$

$$Q_h = U_h I_h \sin \varphi_h \quad (I.65)$$

- **Phase entre le courant I_h et la tension fondamentale U_1**

Il est préférable de connaître l'angle entre le courant harmonique I_h et une référence de tension U_1 qui est beaucoup plus stable en raison de la forme plus sinusoïdale du signal et de sa faible variation angulaire le long des réseaux de courte longueur.

I.8.Conclusion

Dans ce chapitre, à partir d'étude générale sur l'évolution de la technologie utilisée dans la mesure de la consommation électrique, nous avons parlé sur les types des compteurs d'énergie électrique présents dans les installations électriques et nous avons aussi donné une vision globale et détaillé sur les compteurs et leur fonctionnement ainsi que leurs avantages et les problèmes.

Alors , d'après tout ça on conclut que le compteur d'énergie électrique est un élément important et essentiel dans les réseaux et les installations électriques et il est entendu que plus les compteurs sont précis et intelligents dans la mesure on va trouver que l'équité sera atteinte entre le consommateur et les sociétés de distribution électrique, contrairement aux anciennes technologies des compteurs et à cet effet on va détailler dans le chapitre suivant sur les composants électroniques utilisés dans notre projet pour réaliser le circuit d'un compteur intelligent.

Ch II:

**Description du logiciel PROTEUS
et microcontrôleur dsPIC**

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse particulièrement au microcontrôleur et ses périphériques, car il est la base de notre carte, Une fois le microcontrôleur détaillé, l'autre élément essentiel est l'afficheur LCD, où on se base sur les différents modes et méthodes de configurations de ce dernier pour mieux l'utiliser.

II.2. Logiciel Proteus

II.2.1. Programmation Proteus

Proteus est un programme de modélisation de systèmes virtuels est l'un des meilleurs logiciels dans le domaine de la simulation car il combine des systèmes SPICE pour simuler des circuits et des éléments électroniques (les illustre sous forme de clips d'images mobiles pour une manipulation et une précision plus précises) et des modèles de microprocesseurs pour faciliter une étape des étapes de simulation de systèmes électroniques basés sur des microcontrôleurs [20].



Figure II.1: Icône de programme Proteus

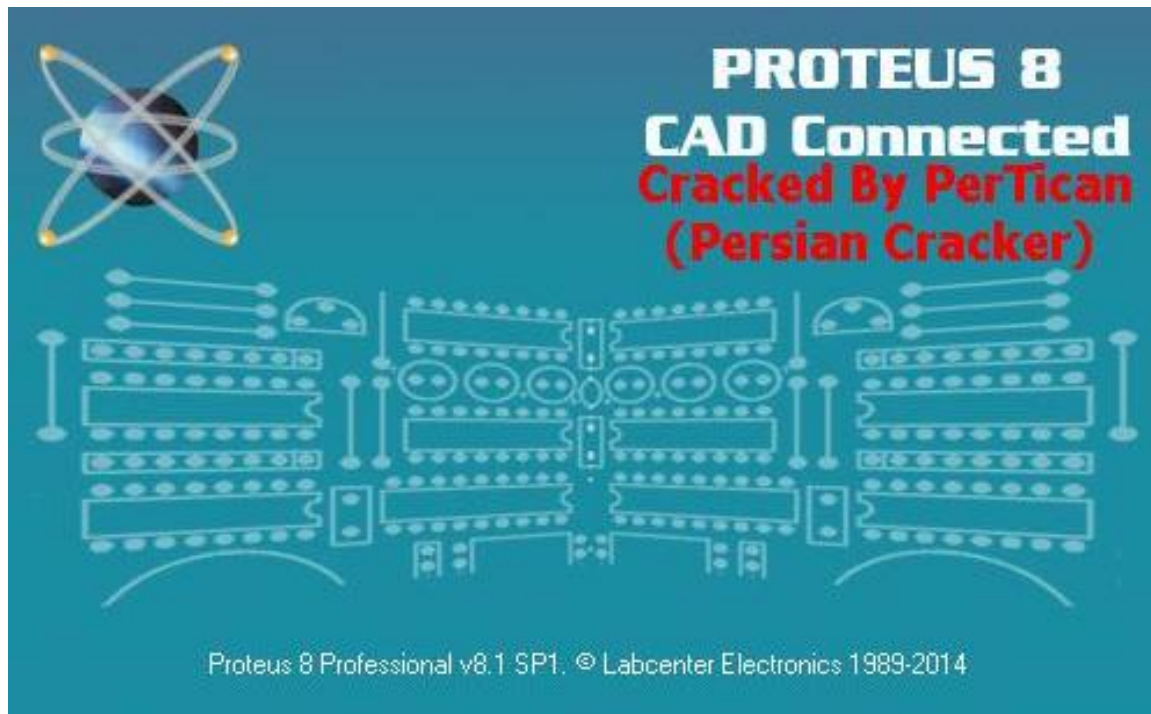


Figure II.2: Interface de programme Proteus.

- Pour connaître l'interface graphique de l'environnement de développement Proteus:

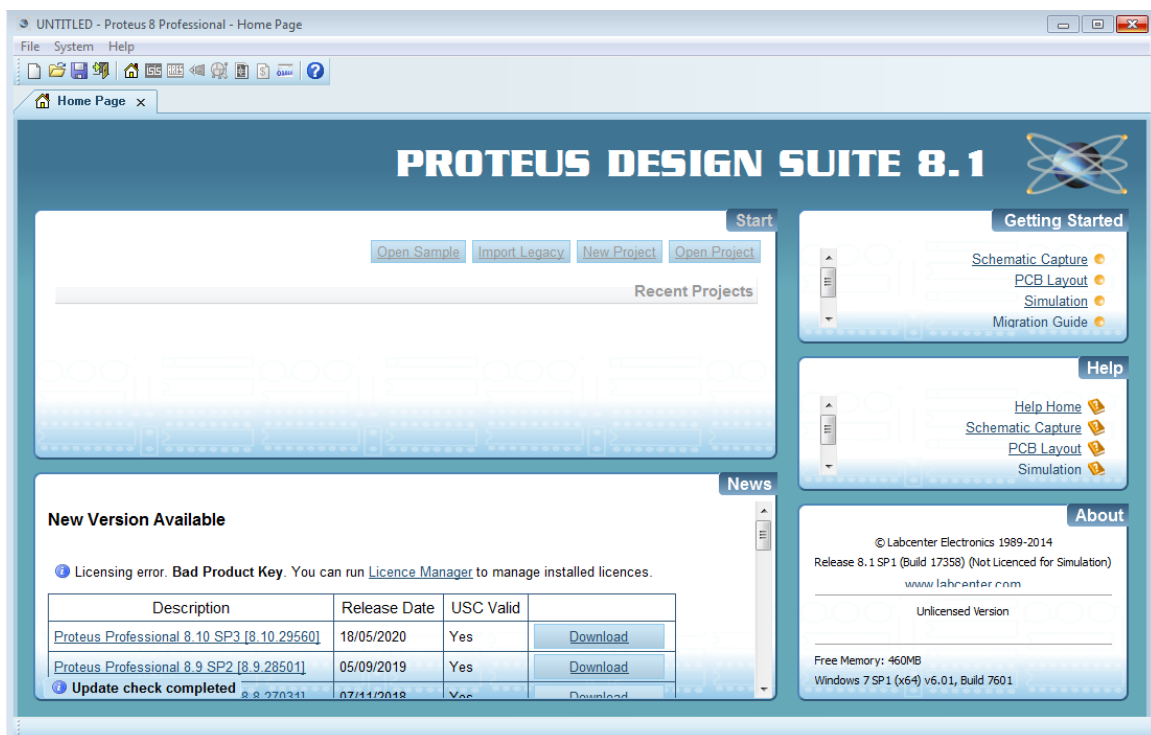


Figure II.3: Interface principale de programme Proteus

- L'environnement de développement logiciel se compose d'une interface simple

Les logiciels incluent dans Proteus (Deux logiciels principaux) permettent le CAO dans le domaine électronique:

II.2.2.ISIS

Ce logiciel permet de simuler des circuits électroniques, ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

II.2.2.1. Présentation de l'interface d'ISIS Proteus 8 Professional

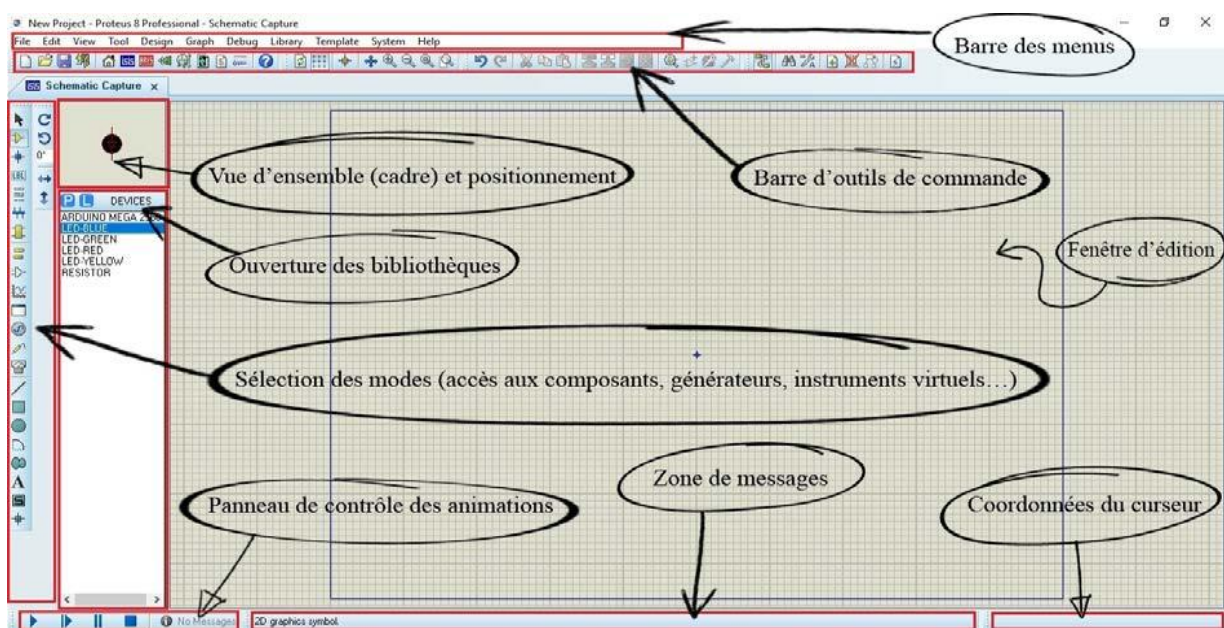


Figure II.4: Interface utilisateur ISIS

- **Barre de menus**

Elle permet de gérer les travaux (ouverture, sauvegarde...) sur nos fichiers.

- **Barre des outils de commande**

Elle reprend ce qui est accessible par les menus (Commandes sur les fichiers, Commandes d'affichage, Commandes Edition, Commandes Outils...)

- **Fenêtre de vue d'ensemble**

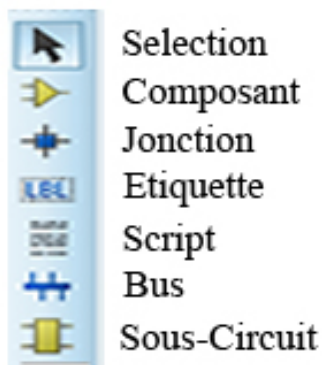
Le cadre en bleu délimite l'espace de travail tel qu'il a été défini par la commande «set sheet sizes» du menu «system» dans la barre d'outils. Le cadre en vert délimite la zone de travail, c'est à dire la partie du schéma visible dans la fenêtre principale.

On peut déplacer cette zone de travail en pointant la souris sur la zone désirée de la fenêtre de vue d'ensemble et en effectuant un clic gauche.

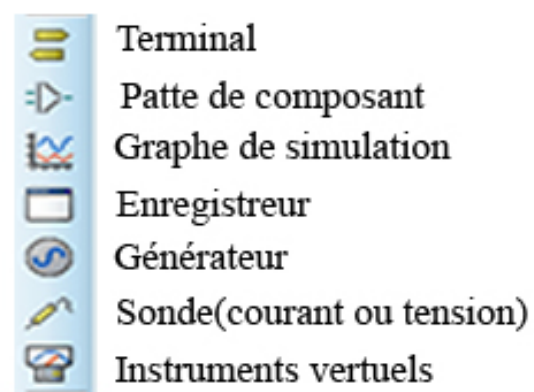
▪ **Barre d'outils de sélection des Modes**

- **Mode Principal:** permet la sélection des objets, des composants, des nœuds.
- **Mode Gadgets:** il contient toutes sortes de générateurs, terminal et d'instruments virtuels.
- **Mode Graphique:** pour écrire des textes et dessiner des traits, des arcs et différentes formes.

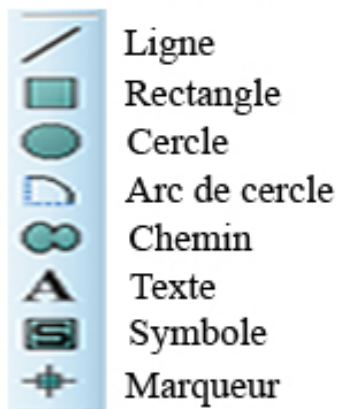
Mode Principal



Mode Gadgets



Mode Graphique



Orientation d'objets

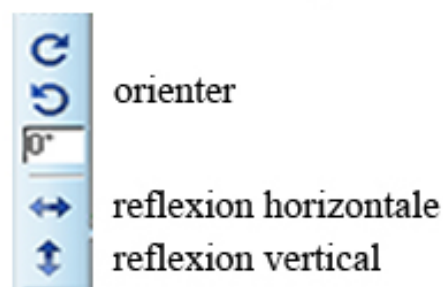


Figure II.5: Organisation de Barre d'outils de sélection des Modes ISIS

▪ **Zone d'édition**

C'est la zone rectangulaire délimitée en bleu, où nous déposons les composants pour dessiner le schéma du modèle à simuler, pour sélectionner un composant nous allons dans la barre d'édition sur « Component Mode » puis on sélectionne la lettre « P » dans la barre d'outil de sélection, la recherche des composants à utiliser se fait facilement.

- **Coordonnées du curseur**

Les coordonnées déterminent la position du curseur par rapport à l'origine qui par défaut se trouve au centre de la fenêtre d'édition.

- **Panneau de contrôle des animations**

Permet de lancer mettre en pause ou arrêter la simulation.

- **Zone de messages**

En positionnant le curseur sur un composant, il affiche le nom et divers informations sur le composant, c'est aussi la zone où est affichée la durée de la simulation.

II.2.3.ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB (Printed Circuit Board) de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.[30]

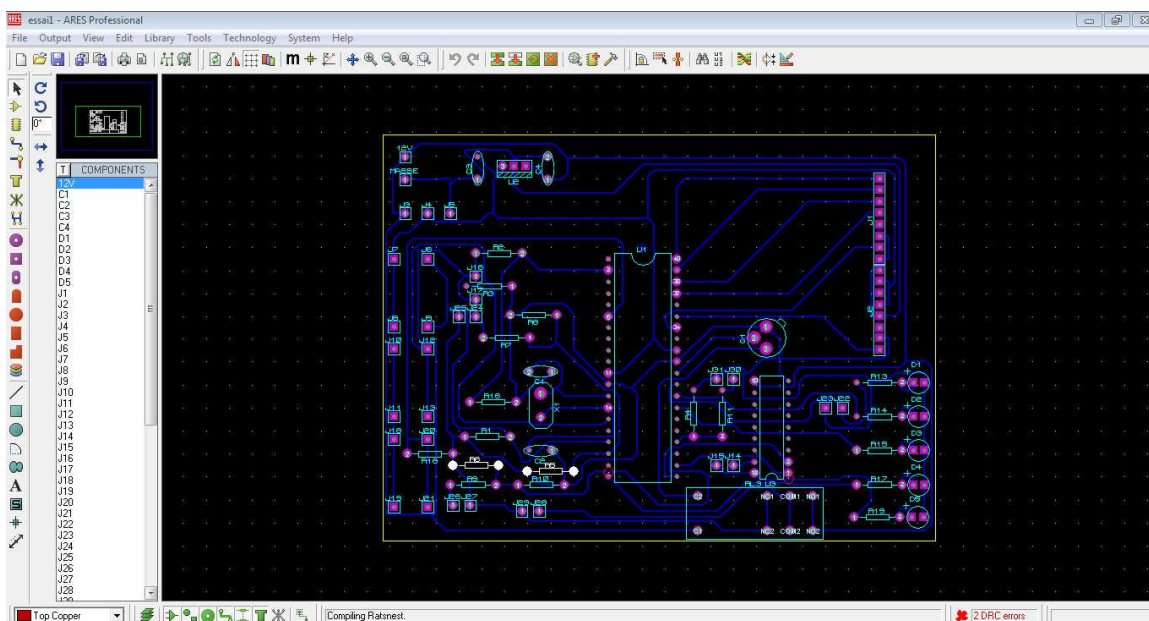


Figure II. 6: Fenêtre du module Proteus ARES.

II.3.Présentation générale du projet

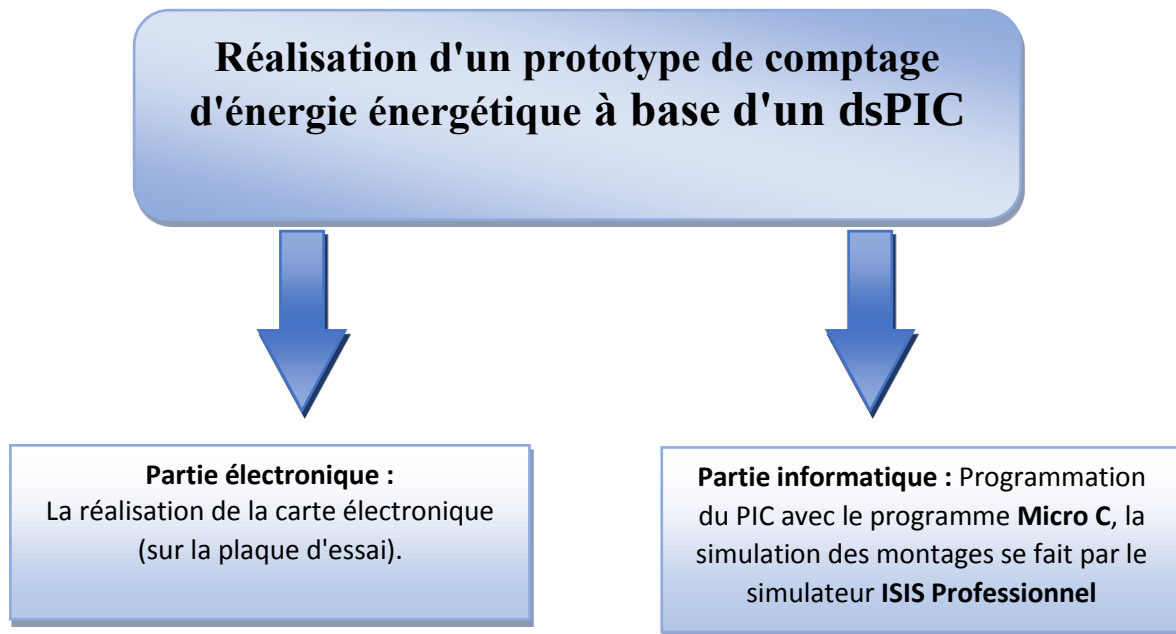


Figure II.7: Les différentes phases de la réalisation

II.4.Principe de fonctionnement:

Le principe de fonctionnement de notre entreprise est le contrôle actif du comptage de puissance Basée sur DSpic, cette carte se compose de six blocs nécessaires à son fonctionnement Cette application.

Comme la figure ci-dessus

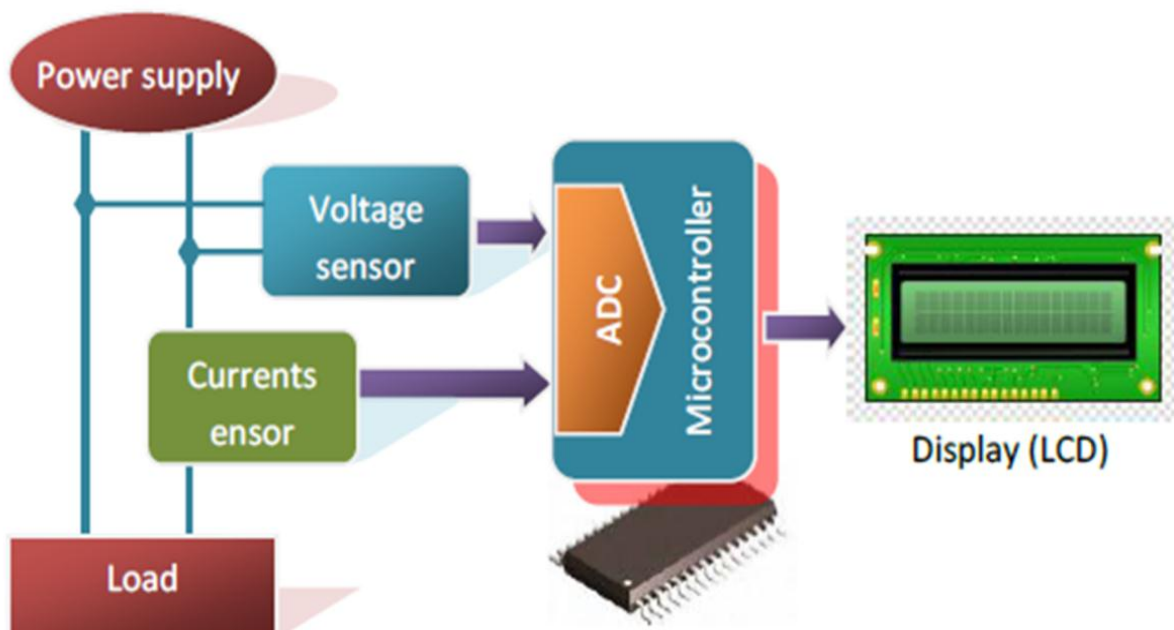


Figure II.8: schéma synoptique de la carte

II.5.Description des différents composants utilisés

II.5.1.Etapes de la réalisation

II.5.1.1.Etapes1: Bloc d'alimentation:

✚ V1 : Tension nominale 220 à 240 V

✚ V2: harmonique 5

✚ V3: harmonique 2

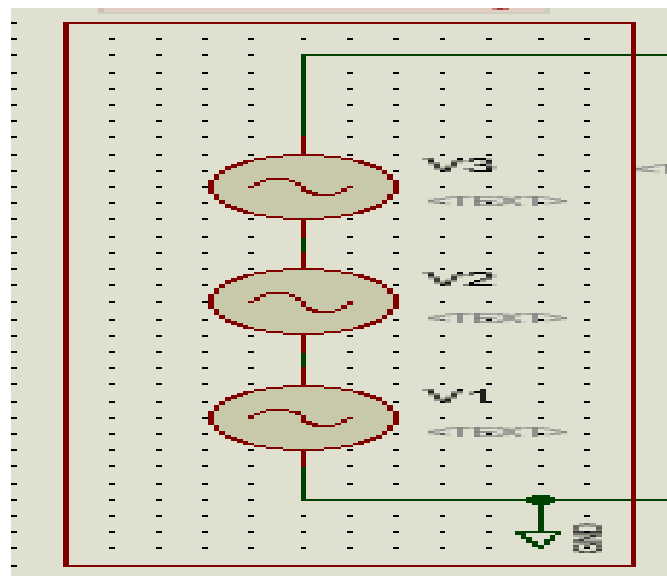


Figure II.9: La alimentation

II.5.1.2.Etapes2:voltage sensor:

Un capteur de tension est un capteur utilisé pour calculer et surveiller la quantité de tension dans un objet. Les capteurs de tension peuvent déterminer la tension alternative ou le niveau de tension continue. L'entrée de ce capteur est la tension, tandis que la sortie est les commutateurs, le signal de tension analogique, un signal de courant ou un signal sonore.

Les capteurs sont des dispositifs qui peuvent détecter ou identifier et réagir à certains types de signaux électriques ou optiques. La mise en œuvre d'un capteur de tension et des techniques de capteur de courant sont devenues un excellent choix pour les méthodes classiques de mesure de courant et de tension.

II.5.2.Types de capteurs de tension

Dans cet article, nous pouvons discuter en détail d'un capteur de tension. Un capteur de tension peut déterminer, surveiller et mesurer l'alimentation en tension. Il peut mesurer le niveau AC et/ou le niveau de tension DC. L'entrée du capteur de tension est la tension elle-

même, et la sortie peut être des signaux de tension analogiques, des commutateurs, des signaux sonores, des niveaux de courant analogiques, des fréquences ou même des sorties modulées en fréquence.

Autrement dit, certains capteurs de tension peuvent fournir des trains sinusoïdaux ou d'impulsions en sortie, et d'autres peuvent produire des sorties de modulation d'amplitude, de modulation de largeur d'impulsion ou de modulation de fréquence.

Dans les capteurs de tension, la mesure est basée sur un diviseur de tension.

Deux principaux types de capteurs de tension sont disponibles : capteur de tension de type capacitif et capteur de tension de type résistif

Dans cet article, nous pouvons discuter en détail d'un capteur de tension. Un capteur de tension peut déterminer, surveiller et mesurer l'alimentation en tension. Il peut mesurer le niveau AC et/ou le niveau de tension DC. L'entrée du capteur de tension est la tension elle-même, et la sortie peut être des signaux de tension analogiques, des commutateurs, des signaux sonores, des niveaux de courant analogiques, des fréquences ou même des sorties modulées en fréquence.

Autrement dit, certains capteurs de tension peuvent fournir des trains sinusoïdaux ou d'impulsions en sortie, et d'autres peuvent produire des sorties de modulation d'amplitude, de modulation de largeur d'impulsion ou de modulation de fréquence.

Dans les capteurs de tension, la mesure est basée sur un diviseur de tension.

Deux principaux types de capteurs de tension sont disponibles : capteur de tension de type capacitif et capteur de tension de type résistif.

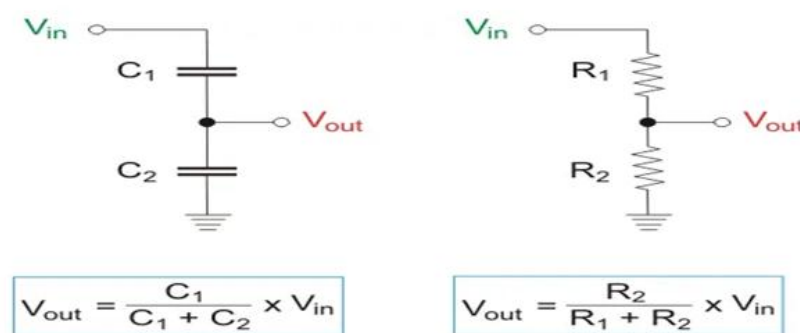


Figure II.10: Types de capteurs de tension

II.5.3.Capacitive Voltage Sensor

On sait qu'un condensateur est composé de deux conducteurs (ou deux plaques) ; entre ces plaques, un non-conducteur est maintenu.

Ce matériau non conducteur est appelé diélectrique. Lorsqu'une tension alternative est fournie à travers ces plaques, le courant commence à passer en raison de l'attraction ou de la répulsion des électrons via la tension de la plaque opposée.

Le champ entre les plaques créera un circuit CA complet sans aucune connexion matérielle. C'est ainsi que fonctionne un condensateur.

Ensuite, nous pouvons discuter de la division de tension dans deux condensateurs en série. Habituellement, dans les circuits en série, une haute tension se développera à travers le composant avec une impédance élevée. Dans le cas des condensateurs, la capacité et l'impédance (réactance capacitive) sont toujours inversement proportionnelles.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (\text{II.1})$$

La relation entre la tension et la capacité est

$$V = \frac{Q}{C} \quad (\text{II.2})$$

Q : Charge (Coulomb)

C : Capacité (Farad)

X_C : Réactance capacitive (Ω)

f : Fréquence (Hertz)

À partir des deux relations ci-dessus, nous pouvons clairement affirmer que la tension la plus élevée s'accumulera sur le plus petit condensateur. Les capteurs de tension des condensateurs fonctionnent sur la base de ce principe simple. Considérons que nous tenons le capteur et plaçons ensuite sa pointe près d'un conducteur sous tension.

Ici, nous insérons l'élément de détection à haute impédance dans un circuit de couplage capacitif en série.

II.5.4. Résistive Voltage Sensor

Il existe deux manières de convertir la résistance de l'élément sensible en tension. La première est la méthode la plus simple, qui consiste à fournir une tension au circuit diviseur résistif composé d'un capteur et d'une résistance de référence, qui est représenté ci-dessous.

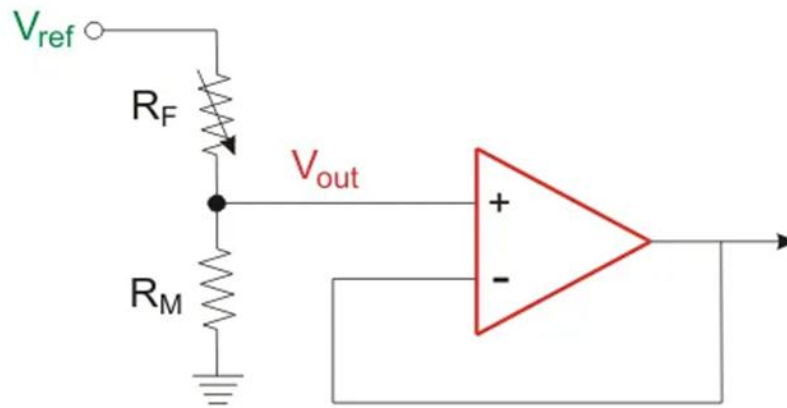


Figure II.11: Résistive Voltage Sensor

La tension développée aux bornes de la résistance ou du capteur de référence est tamponnée puis transmise à l'amplificateur. La tension de sortie du capteur peut être exprimée comme

$$V_{out} = \frac{R_M}{R_M + R_F} \times V_{ref} \quad (\text{II.3})$$

L'inconvénient de ce circuit est que l'amplificateur présent va amplifier toute la tension développée aux bornes du capteur. Cependant, il est préférable d'amplifier uniquement le changement de tension dû au changement de résistance du capteur, ce qui est obtenu par la deuxième méthode mettant en œuvre le pont de résistance, comme indiqué ci-dessous.

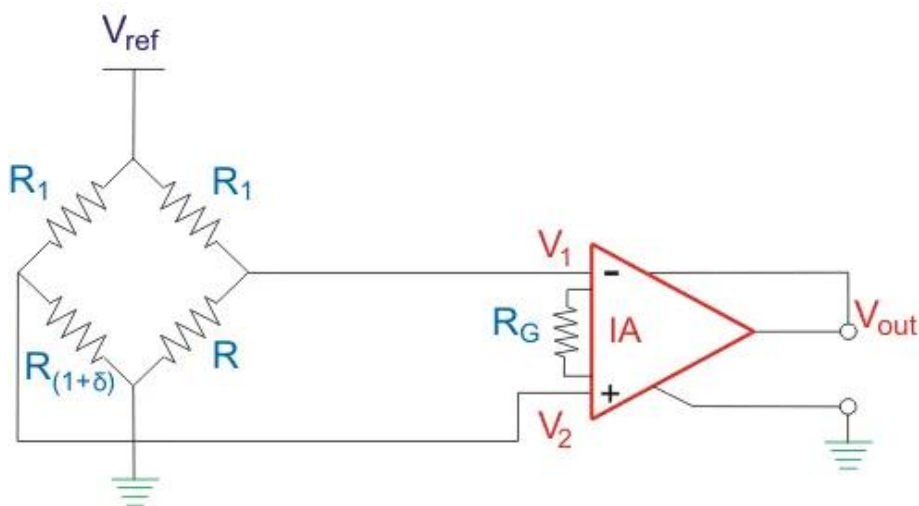


Figure II.12: Résistive Voltage Sensor

I_{ci} , la tension de sortie est

$$V_{out} = A \times \frac{R_M}{R_M + R_F} \times V_{ref} \frac{\delta}{1 + \left(\frac{R}{R_1}\right) + (1 + \delta)} \quad (II.4)$$

Lorsque $R_1 = R$, la tension de sortie devient approximativement

$$V_{out} = \frac{A}{4} \times V_{ref} \delta \quad (II.5)$$

A : Gain de l'amplificateur d'instrumentation

δ : Changement de la résistance du capteur, qui est analogue à une action physique

Dans cette équation, le gain doit être élevé car seul le changement de tension dû au changement de la résistance du capteur est amplifié.

II.5.5. Avantages des capteurs de tension par rapport aux techniques de mesure conventionnelles

L'avantage des capteurs de tension comprend:

- Petit en poids et en taille
- La sécurité du personnel est élevée
- Le degré de précision est très élevé
- Non saturable
- Large plage dynamique
- Respectueux de la nature

Peut combiner la mesure de tension et de courant dans un seul appareil physique avec des dimensions petites et compactes

II.5.6. Applications des capteurs de tension

L'application des capteurs de tension comprend les éléments suivants :

- Détection de panne de courant
- Détection de charge
- Commutation de sécurité
- Contrôle de la température
- Contrôle de la demande de puissance
- Détection de fautes

Les capteurs de tension sont inclus dans bon nombre des meilleurs kits de démarrage Arduino, car ils sont très utiles dans de nombreux projets électroniques.

II.5.7. Déphasage de tension

Nous avons réduit la valeur de la tension

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_2 - R_1} \right) \quad (\text{II.6})$$

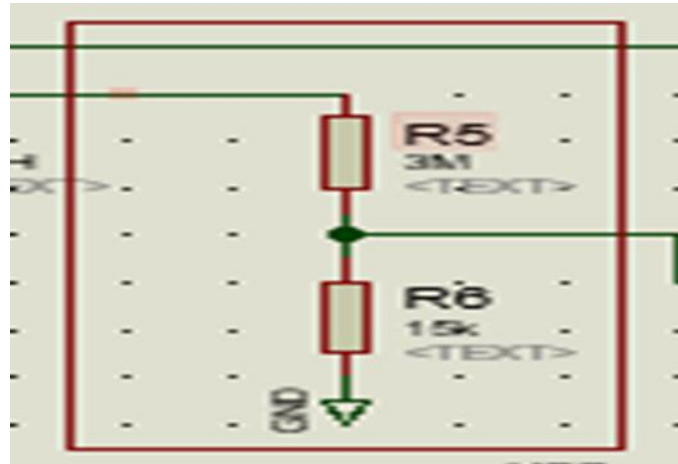


Figure II.13: Déphasage de tension

- filtrage

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = A_{(V)} = 1 + \frac{R_F}{R_2} \quad (\text{II.7})$$

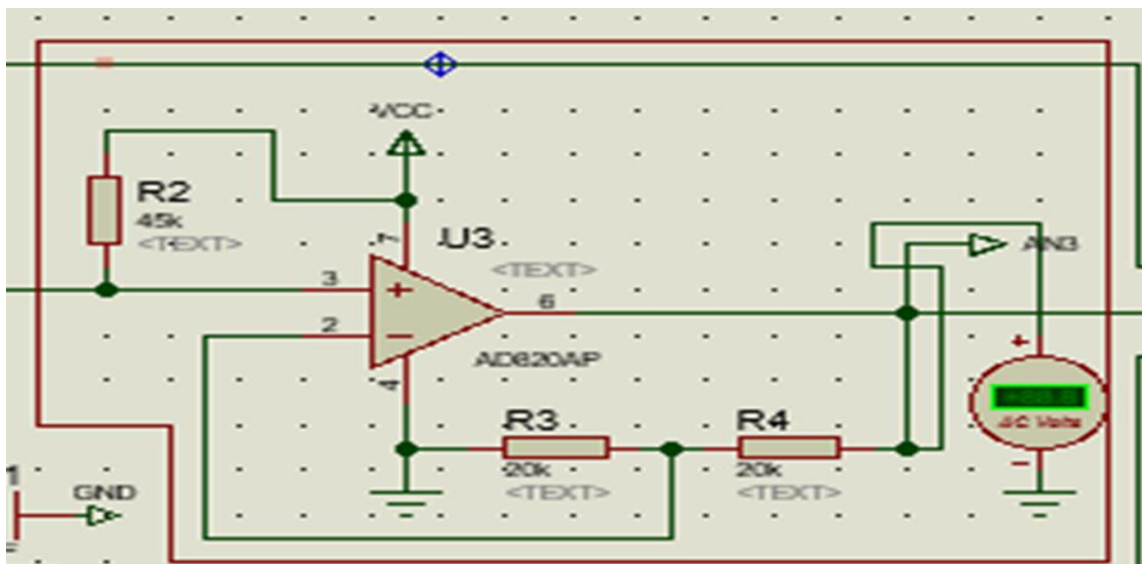


Figure II.14: Filtrage

II.5.8.Current Sensors

Un capteur de courant est un dispositif qui détecte et convertit le courant en une tension de sortie facilement mesurable, qui est proportionnelle au courant traversant le chemin mesuré. Il existe une grande variété de capteurs, et chaque capteur est adapté à une plage de courant et à des conditions environnementales spécifiques. Parmi ces capteurs, une résistance de détection de courant est la plus couramment utilisée. Il peut être considéré comme un convertisseur courant-tension, où l'insertion d'une résistance dans le chemin du courant, le courant est converti en tension de manière linéaire. La technologie utilisée par le capteur de courant est importante car différents capteurs peuvent avoir des caractéristiques différentes pour une variété d'applications.

Les capteurs de courant sont basés sur la technologie à effet hall en boucle ouverte ou fermée. Un capteur en boucle fermée a une bobine qui est activement entraînée pour produire un champ magnétique qui s'oppose au champ produit par le courant détecté. Le capteur à effet Hall est utilisé comme dispositif de détection de zéro et le signal de sortie est proportionnel au courant entraîné dans la bobine, qui est proportionnel au courant mesuré.

Dans un capteur de courant en boucle ouverte, le flux magnétique créé par le courant primaire est concentré dans un circuit magnétique et mesuré à l'aide d'un dispositif à effet Hall. La sortie du dispositif

à effet Hall est le signal conditionné pour fournir une représentation exacte (instantanée) du courant primaire.

II.5.9.Capteur de courant ACS712

Le capteur de courant que nous avons choisi est le ACS712 - 30A. Ce dernier est capable de mesurer des courants alternatifs et continus avec grande précision.

De plus, ce capteur est à effet Hall. Il offre plusieurs plages de mesure de courant, tel que dans notre projet nous avons choisi un capteur capable de mesurer jusqu'à ± 30 A. La sortie du capteur peut être reliée directement à l'entrée analogique du dsPIC33F afin que ce dernier puisse traiter et utiliser dans le calcul de la puissance.

Les raisons de choisir ce type de capteur sont les suivantes :

- Il n'est pas cher.
- Il est caractérisé par un circuit plus petit et un faible poids.
- Sa consommation d'énergie est constante quelle que soit le courant détecté.
- Une grande précision pour des températures ambiantes ou élevée [14].

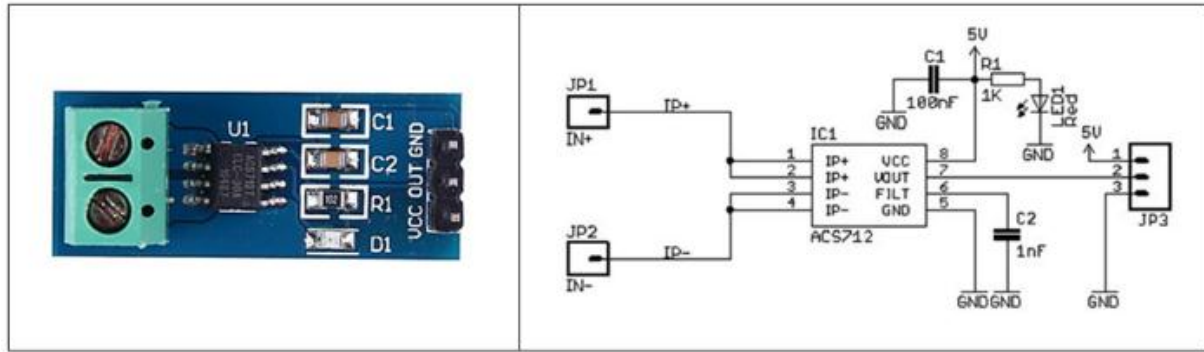


Figure II.15: Circuit de capteur de courant ACS712 - 30A

Le capteur de courant ACS712 - 30A a une sensibilité de 66 mV/A, ainsi pour aucune charge il fournit à la sortie une tension de $V_{cc}/2$ (V_{cc} étant l'alimentation du capteur qui est de 5 V). Ensuite, après l'ADC on a une valeur de 757 puis 1023 qui indique 20.28 A et la valeur 0 indique -20.28 A, car dans le circuit de branchement de dsPIC33F on a choisi que la tension de référence AV_{DD} soit égale à la tension de l'alimentation du dsPIC qu'est égale à 3.38 V. Mais le capteur peut mesurer jusqu'à 30 A sauf que dans notre projet nous avons limité la mesure de courant à 20.88 A.

Le courant maximal mesurer par le capteur est calculé comme suite :

On a :

$$V_{out} = \frac{A}{4} \times V_{ref} \delta \quad (II.6)$$

où V_{max} étant la valeur maximale obtenu après l'ADC.

Ainsi, la valeur efficace du courant est calculée par l'équation suivant :

$$V_{max} = \frac{1023 \times V_{in}}{3.38} \quad (II.7)$$

Et

$$V_{in} = 2.5 + 0.066 \times I_{max} \quad (II.8)$$

Donc

$$V_{max} = \frac{1023}{3.38} \times (2.5 + 0.066 \times I_{max}) \quad (II.9)$$

Avec

$$I_{max} = 0.0501 \times (V_{max} - 757) \quad (II.10)$$

Les principales caractéristiques et avantages donné par le constructeur de ce type de capteur sont dans l'Annexe.

III.6.Microcontrôleur

Un microcontrôleur est une unité de traitement d'information de type de microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessité d'ajout des composants externes.

Un pic n'est rien qu'un microcontrôleur, la dénomination PIC est sous copyright de «Microchip »

Un dsPIC est un microcontrôleur PIC de 16 bits dotés d'un petit noyau DSP (Digital Signal Processeur).

- Souplesse de la programmation : un dsPIC est avant tout un processeur exécutant un programme de traitement du signal. Ceci signifie que le système bénéficie donc d'une grande souplesse de développement.
- Implémentation des algorithmes : une autre qualité issue de la souplesse des programmes. Il est possible d'adapter une fonction de traitement numérique en temps réel suivant certains critères d'évolutions du signal.
- Des possibilités propres au système de traitement numérique du signal.
- Stabilité : en analogique, les composants sont toujours plus ou moins soumis à des variations de leurs caractéristiques en fonction de la température, de la tension d'alimentation, du vieillissement, etc. Une étude sérieuse doit tenir compte de ces phénomènes, ce qui complique et augmente le temps de développement. Ces inconvénients n'existent pas en numérique.
- Répétabilité, reproductibilité : les valeurs des composants analogiques sont définies avec une marge de précision plus ou moins grande. Dans ces conditions, aucun montage analogique n'est strictement reproductible à l'identique, il existe toujours des différences qu'il convient de maintenir dans des limites acceptables. Un programme réalisant un traitement numérique est par contre parfaitement reproductible. [17]

III.6.2 Domaines d'applications des dsPIC

Les applications des dsPIC sont nombreuses dans les domaines suivants:

- télécommunications : modem, multiplexeurs, récepteurs de numérotation, télécopieurs, codeurs de parole GMS, ...),

- interfaces vocales : codeur vocaux pour répondeurs, reconnaissance automatique de la parole, synthèse vocale...
- militaire : guidage missiles, navigation, communications cryptée, radar,...
- multimédias et grand public : compression des signaux audio (CD), compression des images, cartes multimédias pour PC, synthèse musicale, jeux,...
- médical : compression d'image médicale (IRM, échographie...), traitements des signaux biophysiques...
- électronique automobile : équipement de contrôle moteur, aide à la navigation, commande vocale, détection de cliquetis pour avance à l'allumage,...
- automatisation et contrôle de processus : surveillance et commande de machines, contrôle de moteurs, robots, servomécanisme,...
- instrumentation : analyseur de spectre, générateurs de fonction, interprétation de signaux sismiques, ...

II.6.4. Architecture générale des dsPIC [3]

La figure II.7 présente l'architecture générale d'un dsPIC dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Architecture Harvard avec des bus programme et données séparés: soit 16 bits pour les données et 24 bits pour les instructions. Cette organisation permet de réduire considérablement les temps d'exécution car, pendant que le processeur lit la prochaine instruction dans la mémoire programme, il exécute l'actuelle qui manipule des données en RAM.
- Un cœur DSP qui est le processeur annexe dédié aux calculs mathématiques. Ce ci confère au dsPIC la possibilité de réaliser rapidement les multiplications, division, calculs trigonométriques et d'utiliser un langage de programmation de haut niveau (tel que). Ce cœur comporte:
 - un multiplieur câblé 17x17 bits
 - des accumulateurs de 40 bits
 - un "barrel shifter" capable de réaliser jusqu'à 15 décalages sur une donnée en un seul cycle
 - Supporte l'instruction de calcul MAC (Multiply and Accumulate).

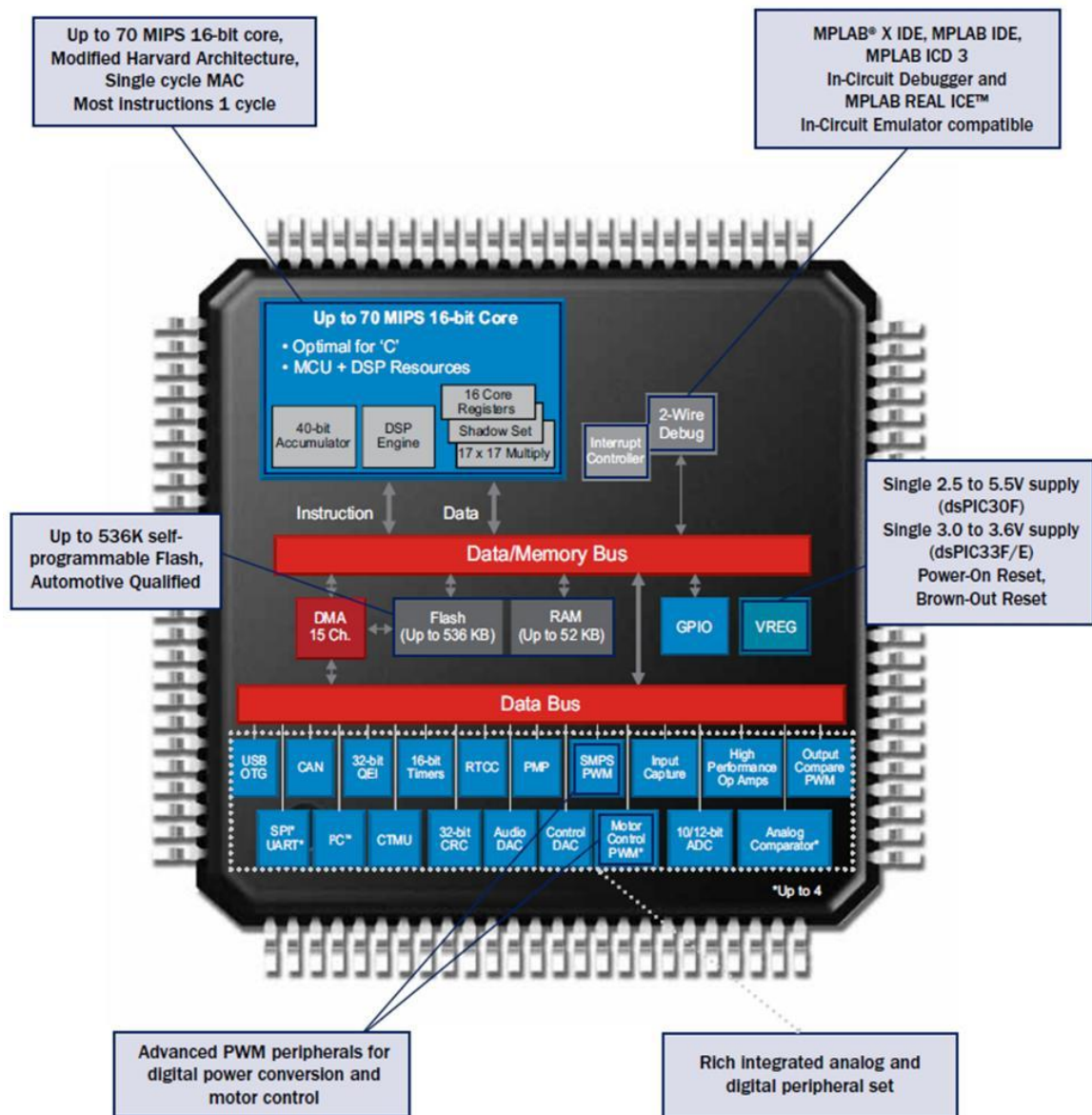


Figure II.16. Architecture générale des dsPIC

- Mémoires de programme de type flash et 2 mémoires de donnée (RAM et EEPROM) dont les tailles varient selon le type du composant.
- Un Contrôleur d'interruption gérant un grand nombre de sources d'interruption internes et externes de priorité configurable.
- Rapidité d'exécution variant entre 30MIPS et 70MIPS (Million d'instructions Par Seconde) et plus.
- Un large éventail de périphériques intégrés, nous citons principalement:
 - Des temporisateur/compteur 16 bits hautement configurable avec une multitude
 - de modes de fonctionnement (Timers)
 - Des convertisseurs analogiques numériques rapides à 10bit et 12bits (ADC)

- Des générateurs de signaux à largeur d'impulsions modulée (Pulse Width Modulation PWM) avec plusieurs modes de fonctionnement pour différentes application : contrôle d'alimentations à découpage (Switch Mode Power Supply SMPS, contrôle de moteur...)
- Des comparateurs digitales (Compare/Capture) et analogiques rapides (Analog Comparator) et des des amplificateurs opérationnels (OP Amps).
- des interfaces de communications série I2C™, SPI et UART, USB.
- des périphériques de communication CAN (Control Area Network(
- une horloge/calendrier temps réel RTCC.

II.6.5.Présentation du dsPIC33F

Afin de réaliser notre projet nous avons besoin d'un microcontrôleur pour traiter les signaux analogique (tension et courant) nécessaire pour le calcul de la puissance active et réactive consommer par les équipements électriques et afficher les résultats sur un afficheur LCD. Pour cela nous avons choisi le dspic33F. Ce dernier est une fusion entre un DSP et un PIC, ce qui permet d'avoir des hautes performances de calcul [9]. Ce microcontrôleur il peut travailler à une vitesse de 40MIPS qui reste un paramètre très important lorsque on travaille en temps réel, aussi il dispose de plusieurs périphériques : plusieurs entrée/sortie logique, convertisseur ADC, conver-tisseur DAC, sortie PWM, UART... La figure II.17 montre le brochage de ce dsPIC.

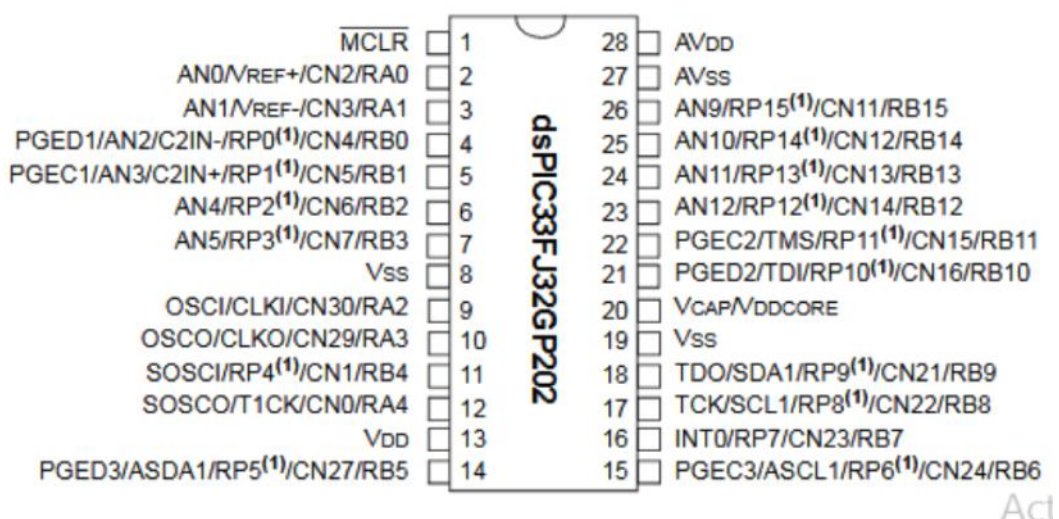


Figure II.17: Modèle du DSPIC33FJ32GP202 [10].

Dans la famille des dsPIC33F nous avons choisi[10] le modèle dsPIC33FJ128GP802, les conditions de son utilisation sont présentées dans le datasheet donné dans l'annexe.

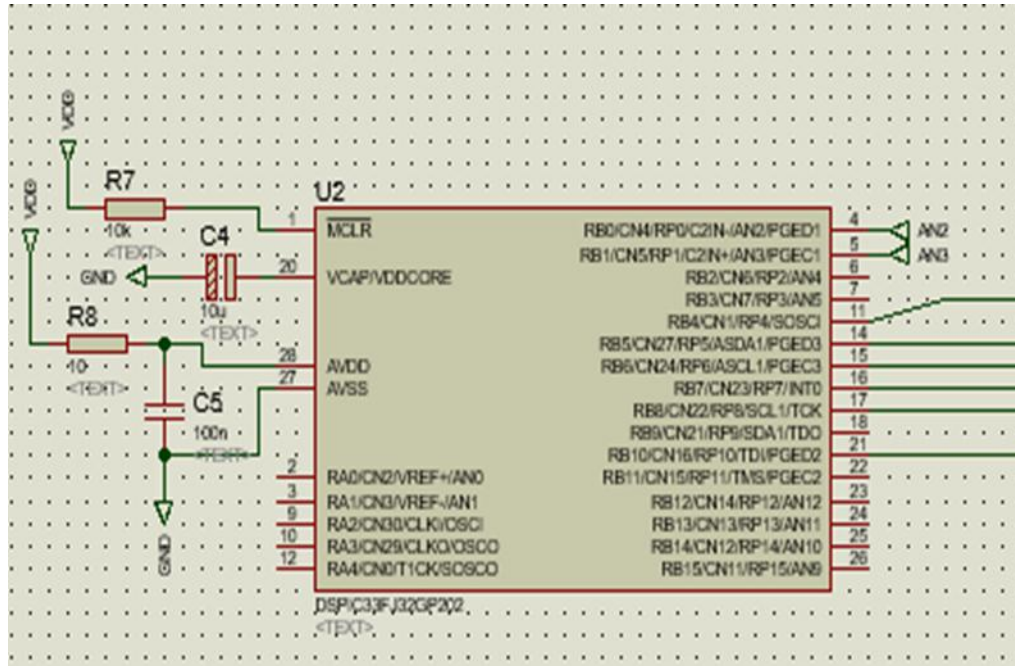


Figure II.18: schéma « ISIS » de câblage de DSPIC33FJ32GP202

II.7. Le capteur de courant ACS712

Dans ce travail, on a choisi un capteur de courant à effet Hall. C'est un dispositif qui détecte le courant électrique dans un fil, et génère un signal proportionnel à celui-ci. Le signal généré pourrait être une tension analogique ou numérique. Il peut ensuite être stocké pour une analyse plus approfondie dans un système d'acquisition de données. Le capteur de courant utilisé est un capteur à effet Hall, de modèle ACS712 30A, connecté en série avec la ligne dont le courant doit être mesuré.



Figure II.19: Capteur de courant ACS712

Le capteur de courant à effet Hall exploite l'effet Hall pour produire une tension image exacte du courant à mesurer. L'apparition d'un champ électrique transversal et d'une

différence de potentiel dans un métal ou un semi-conducteur parcouru par un courant électrique lorsqu'on l'introduit dans un champ d'induction magnétique perpendiculaire à la direction du courant, est appelée effet Hall. [8]

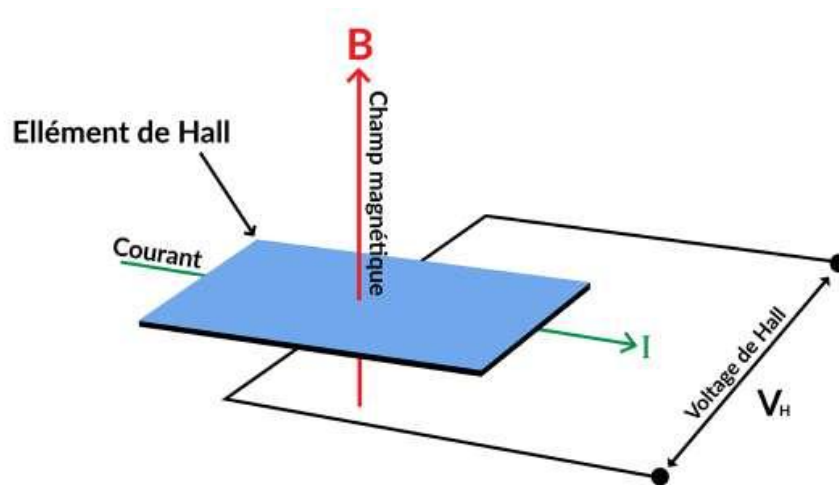


Figure II.20: Effet Hall

Le capteur ACS712 dispose d'une isolation électrique entre le circuit de commande et le circuit auquel nous voulons mesurer le courant.

- Une large gamme de courants qu'ils peuvent mesurer jusqu'à 30 A.
- La résistance d'entrée est faible, ce qui rend l'énergie dissoute à l'intérieur est négligeable.
- La valeur de la résistance de sortie est exprimée en pourcentage de la tension d'alimentation, ce qui facilite le comptage dans ce capteur.

II.7.1. Diagramme des pins du capteur ACS712

La broche du capteur de courant acs712 est donnée ci-dessous. Les broches 1, 2, 3 et 4 sont utilisées pour l'échantillonnage. En d'autres termes vous connecterez ces broches en série avec la charge dont vous voulez mesurer le courant

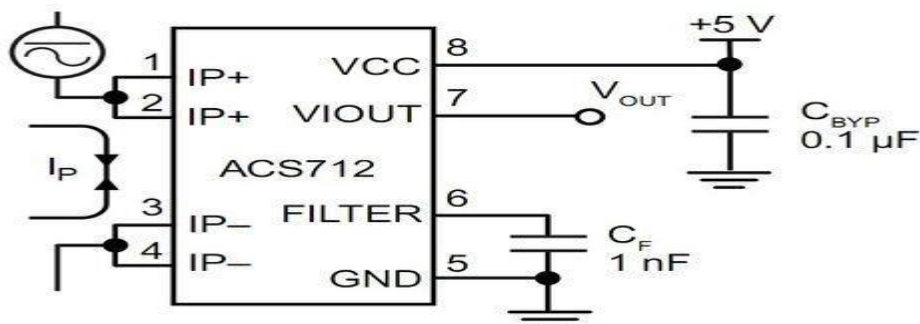


Figure II.21 : Diagramme des pins du capteur.

Le numéro de broche 6 est la connexion à la terre et l'alimentation de 5 volts et le numéro de broche 8 et utilisé aussi pour connecter le condensateur de filtre.

Une borne du condensateur de filtrage doit être connectée avec la broche 6 et l'autre borne doit être connectée à la masse. De même pour la 8 (vcc) elle doit être branchée à l'alimentation et connecter la tension continue de 5 volts avec elle.

La broche numéro 7 est la broche de sortie du capteur de courant acs712. A partir de la broche de sortie, nous allons mesurer la tension à l'aide d'Arduino.

Nous devons nous assurer de ne pas connecter notre charge en parallèle avec IP - et IP + cela endommagera l'appareil et peut également nous blesser.

Tableau II.1 : Pins du capteur.

Numéro	Nom	Description
1 et 2	IP+	Terminal pour le courant échantillonné, fusionné en interne
3 et 4	IP-	Terminal pour le courant échantillonné, fusionné en interne
5	GND	Terminal du signal terre (Ground)
6	FILTRE	Borne pour condensateur externe qui définit la bande passante
7	Vout	Signal de sortie Analogique
8	Vcc	Borne d'alimentation de l'appareil

II-7-2 Caractéristiques

- Sensibilité : 100 Mv par ampère
- Tension logique : 4.5V – 5.5VV
- Consommation : 10Ma
- Isolation 2.1Kv
- Délai de répercussion sur la sortie : 5µS
- Erreur : 1.5% à 25°C
- Résistance interne de conduction : 1.2 mOhms
- Tension de sortie stable
- Presque pas d'hystérésis magnétique
- Poids : ~2gr
- Bruit sur l'ACS712 – environ 130Ma avec la capacité de filtrage de 10Nf. Le bruit peut être significativement réduit en utilisant une capacité de 470Nf [8]

II.8. Afficheur à cristaux liquides LCD 16x2 avec module I2C

Ce type d'écran en cristal est le plus populaire en raison de son faible prix et sa programmation facile.

Ce que nous allons trouver dans notre projet est le LCD1602 Crystal Display, qui a deux lignes et 16 colonnes, et qui est alimenté par le pilote HD44780 Hitachi.



Figure II.22 : Écran LCD 16x2 avec module I2C

Les broches de cet afficheur sont:

- **RS** : cette broche nous détermine dans quelle mémoire nous écrivons des données, l'enregistreur de données ou l'enregistreur d'instructions.
- **R / W** : pour lire ou écrire, ce port spécifie soit sélectionner le mode lecture ou écriture.
- **Enable pin** : cette broche, si elle est activée, permet d'écrire sur l'écran LCD.
- **(D0-D7)** : ce sont les broches par lesquelles nous transmettons des données aux enregistreurs.

II.9.Organigramme

L'organigramme suivant représente le fonctionnement général de notre système

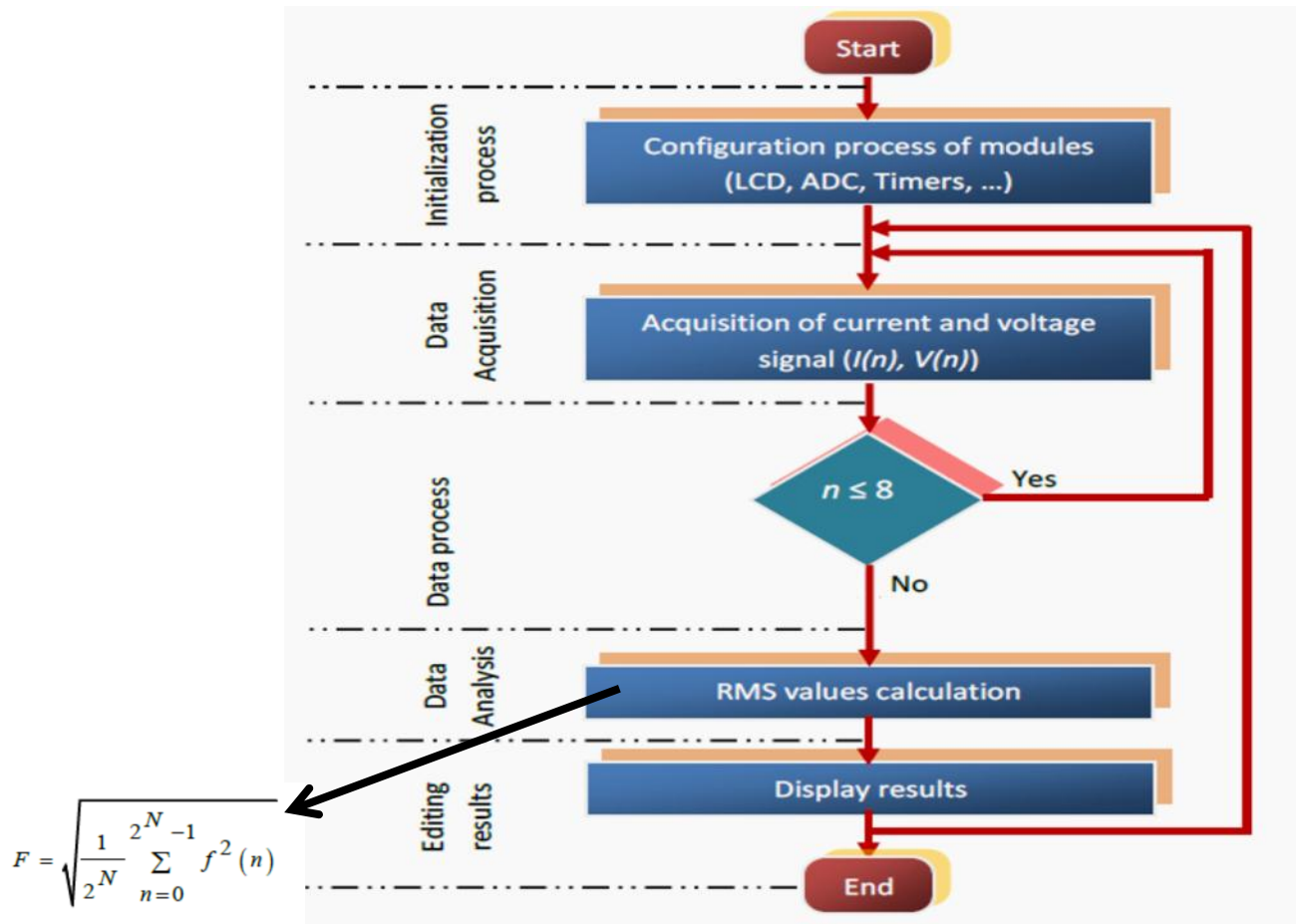


Figure II.23: Organigramme

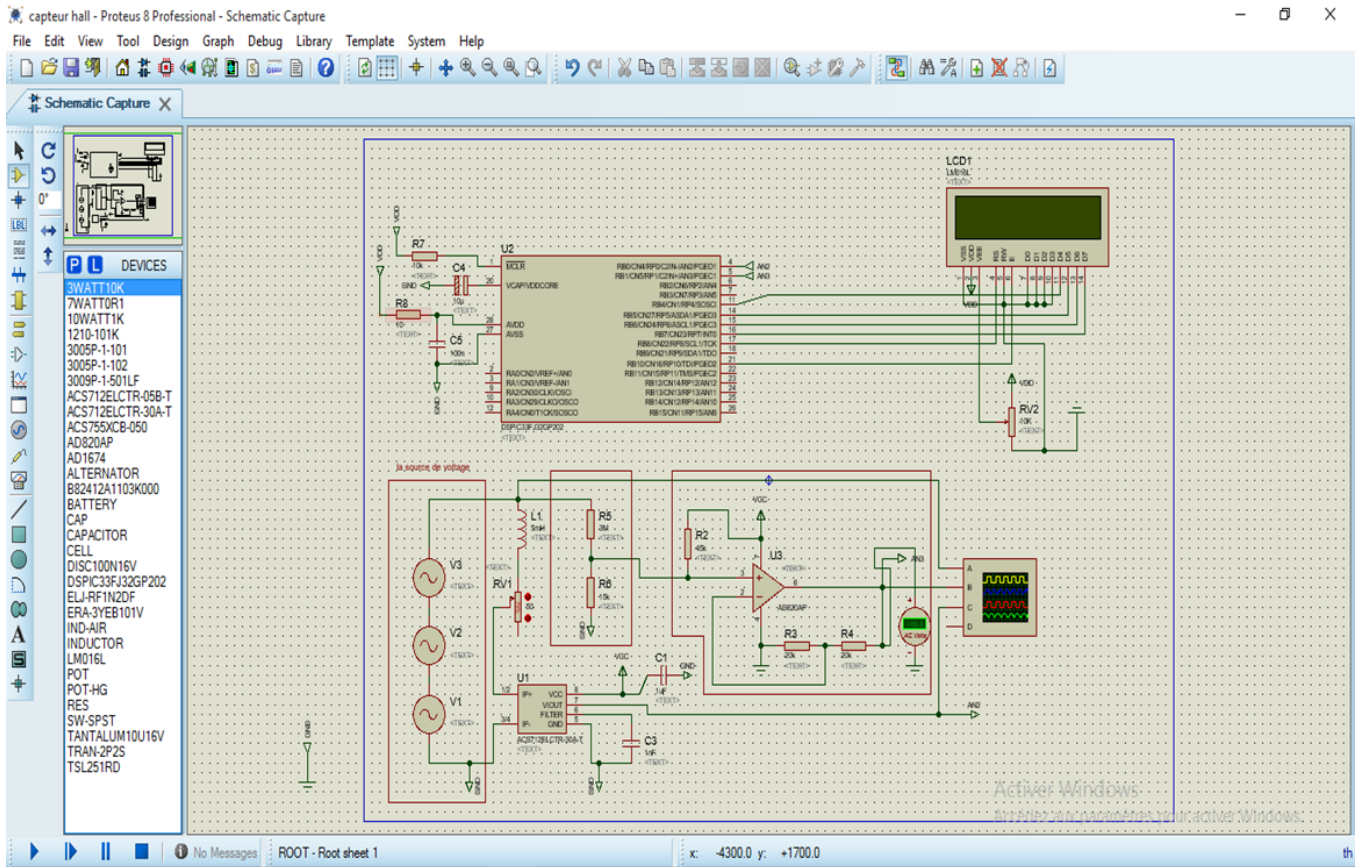


Figure II.24: Schéma générale dans <isis>

II.10.Conclusion

Après avoir fait connaissance avec Proteus Software (ISIS) et MikroC.

Nous sommes considérés comme l'un des meilleurs logiciels de programmation et de simulation microcontrôleurs.

Par conséquent, nous utiliserons ces deux programmes pour mettre en œuvre nos projets d'étude après avoir décrit tous les éléments du projet Nous avons programmé dspic.

CH III

**Tests,
interprétation des
résultats**

III.1.Introduction

Dans cette expérience, nous allons extraire les résultats de l'expérience que nous avons abordée, extraire les courbes et les analyser

III.2.CHARGE Resistive

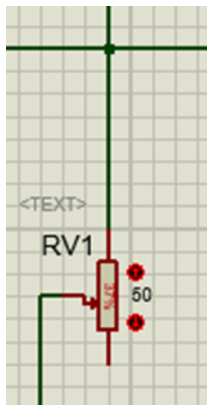


Figure III.2: Montage Charge résistive dans isis

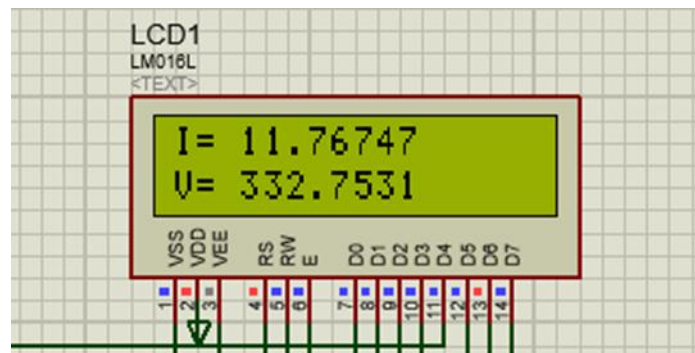


Figure III.3: Valeur d'énergie de tension et courant

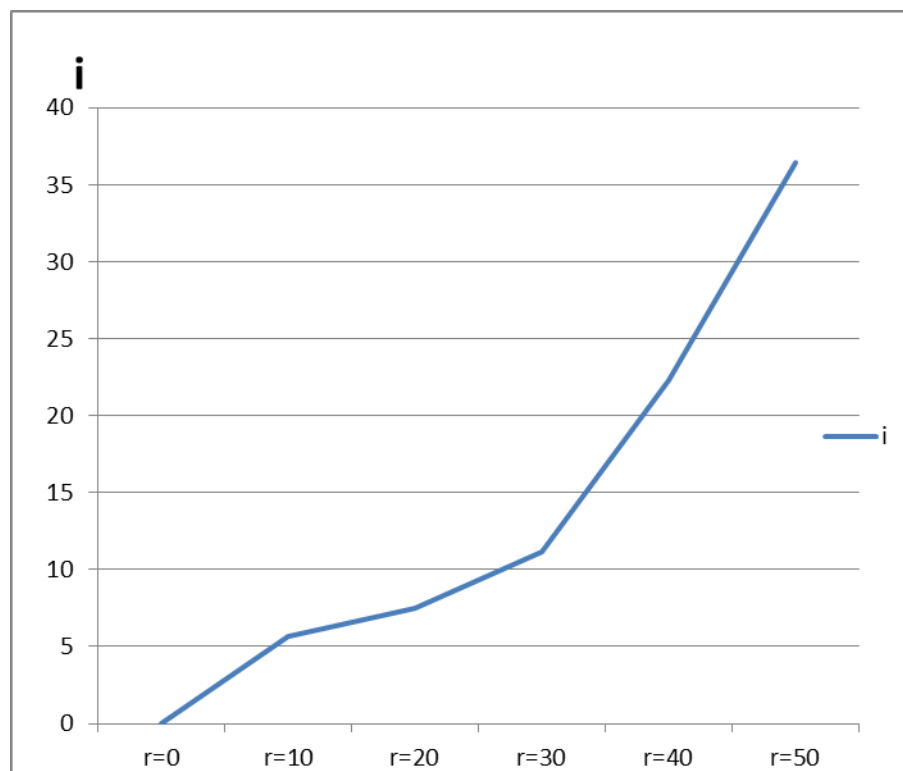


Figure III.4: Courbe de courant

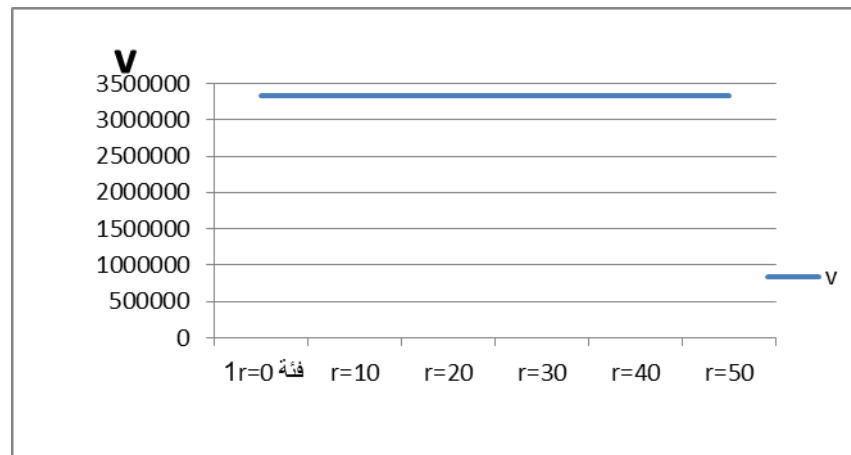


Figure III.5: Courbe de tension

On remarque sur ces deux graphiques que le courant augmente progressivement jusqu'à atteindre la valeur 36,36 à une puissance de 50

Quant au courant, il est constant dans toutes les puissances.

III.3.CHARGE Capacitive

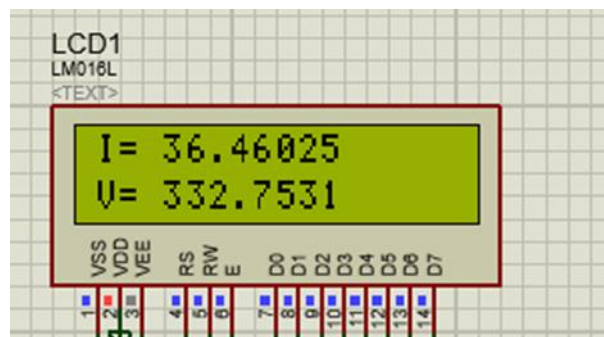
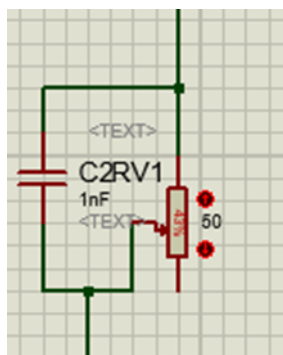


Figure III.6: Montage Charge résistive dans isis

Figure III.7: Valeur d'énergie de tension et courant

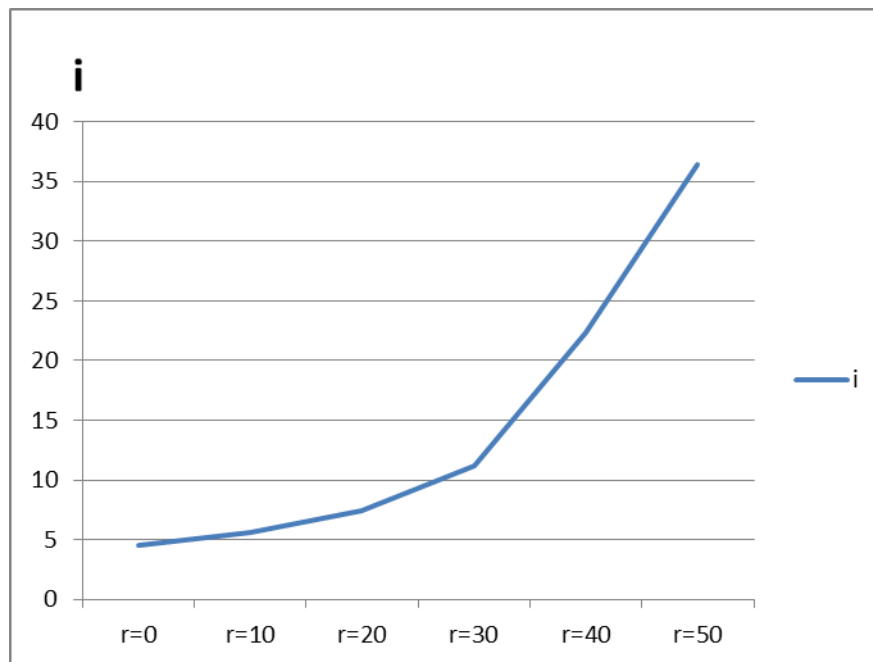


Figure III.8: Courbe de courant

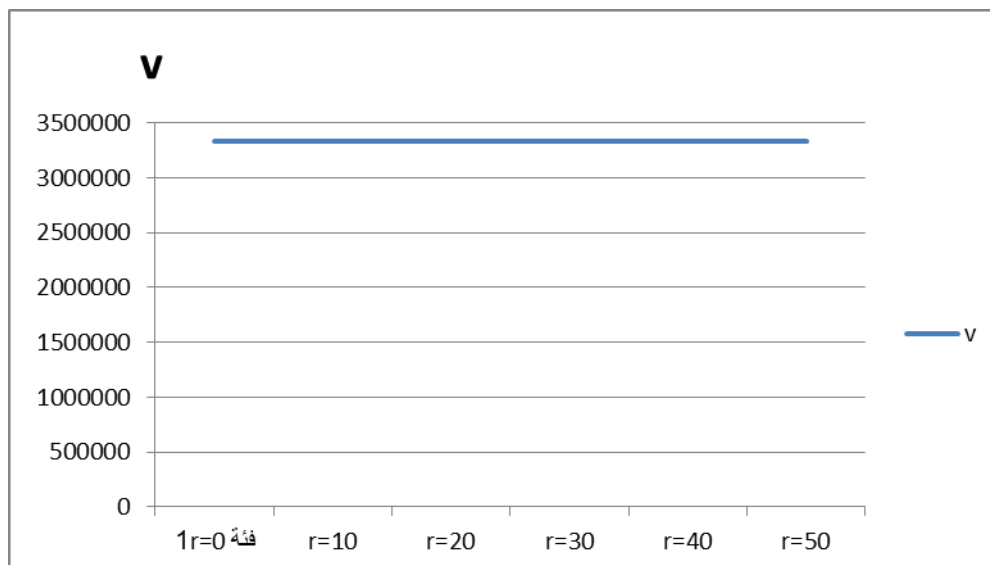


Figure III.9: Courbe de tension

À propos de la connexion du Capacite en parallèle avec la résistance

On remarque sur ces deux graphiques que le courant augmente progressivement jusqu'à atteindre la valeur 36,36 à une puissance de 50

Quant au courant, il est constant dans toutes les puissances

III.4.CHARGE INDUCTIVE

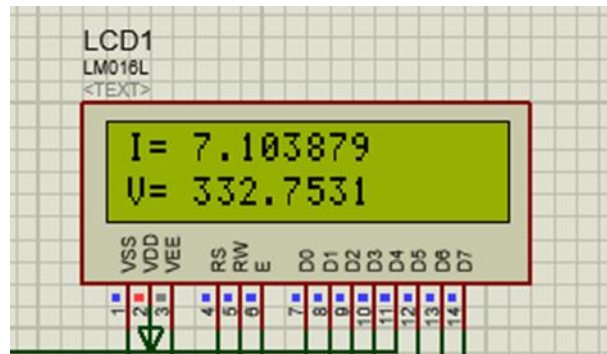
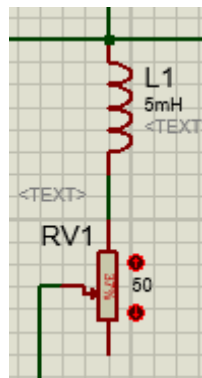


Figure III.10: Montage Charge résistive dans isis

Figure III.11: Valeur d'énergie de tension et courant

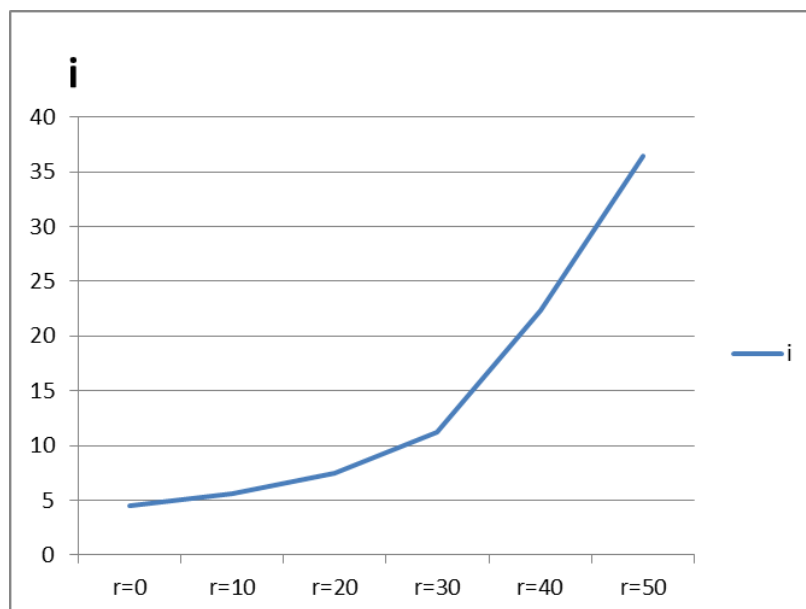


Figure III.12: Courbe de courant

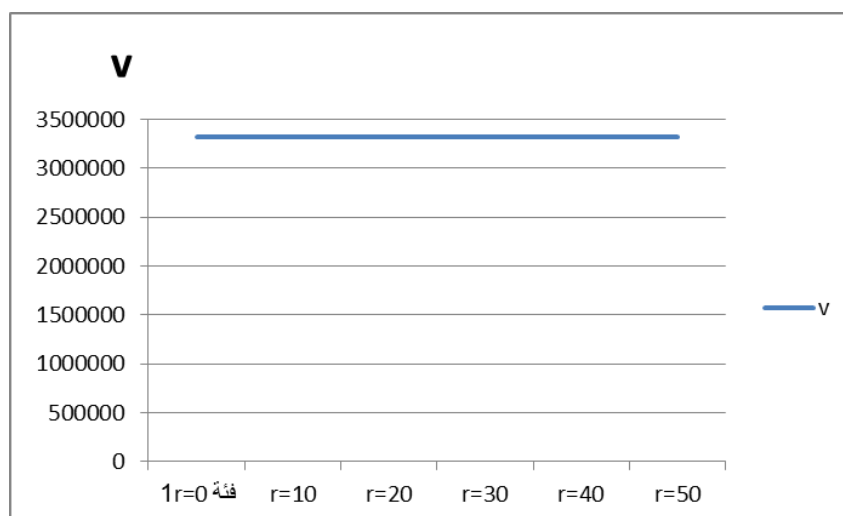


Figure III.13: Courbe de tension

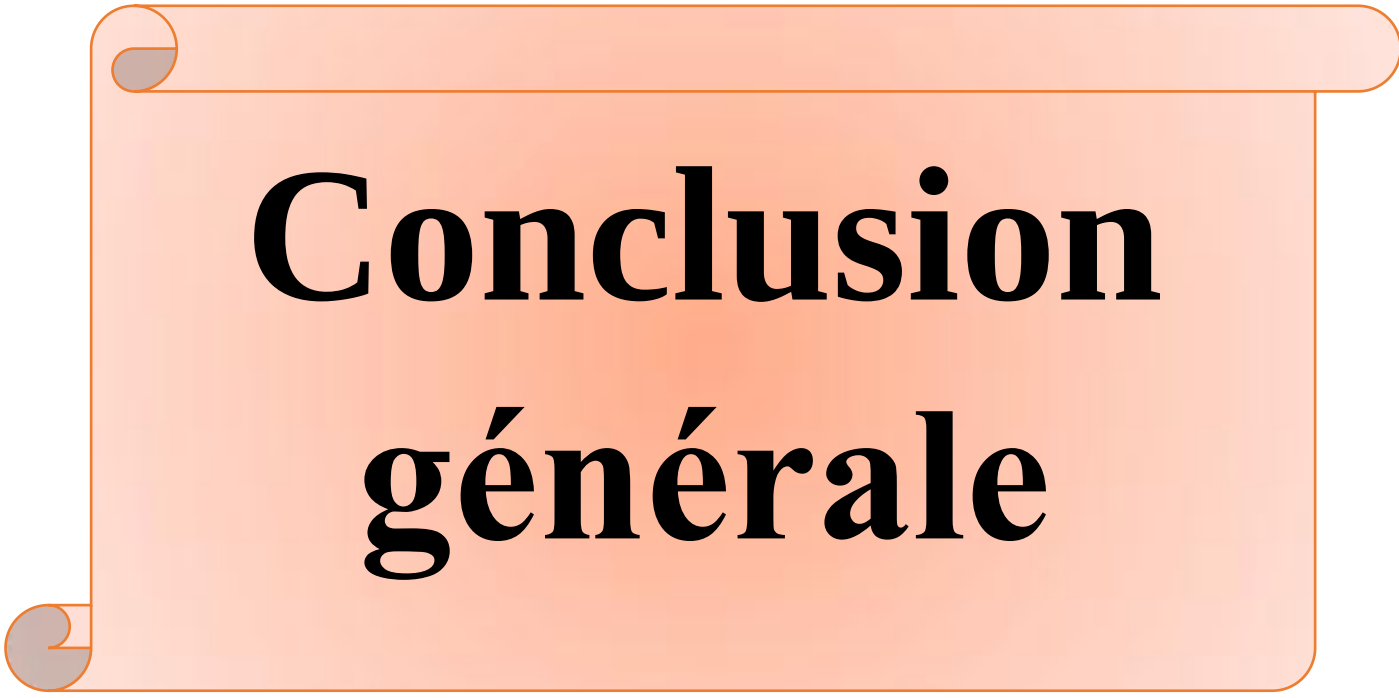
À propos de la connexion de inductance la en série avec la résistance

On remarque sur ces deux graphiques que le courant augmente progressivement jusqu'à atteindre la valeur 36,36 à une puissance de 50

Quant au courant, il est constant dans toutes les puissances

III.5.Conclusion

Dans cette expérience, nous avons analysé les résultats et les données obtenues, ce qui nous a donné ce que nous voulions rechercher, et nous avons obtenu des résultats acceptables.

An orange scroll graphic with a gradient from light to dark orange, featuring a thin orange border and decorative scroll-like folds at the corners.

Conclusion générale

Dans notre expérience, nous sommes passés à la partie théorique pour rendre notre expérience. A l'aide du logiciel PROTEUS, en réalisant différents tests pour obtenir Notre objectif est de montrer que le système fonctionne correctement. Cette partie nous a permis d'approfondir nos connaissances en électronique grâce à elle. Nous sommes passés d'une simple idée théorique à un concept de travail, ou projet Terre, suivant le plan d'action.

La simulation sous l'environnement PROTEUS est bien rendue.

Cela a grandement aidé à influencer notre prototype et à comprendre le fonctionnement du système.

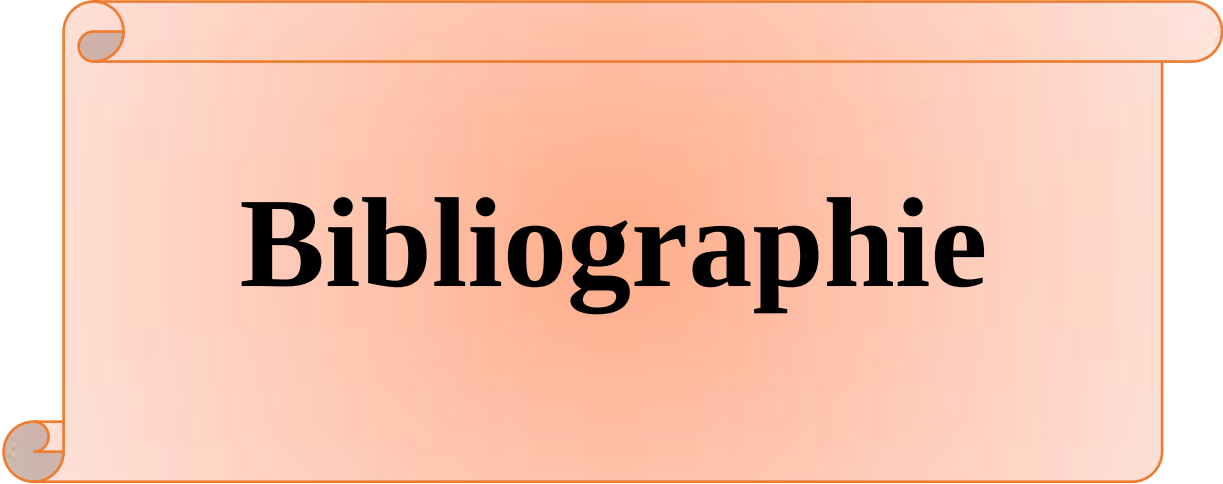
En ce sens, il était judicieux d'identifier les besoins et les objectifs en fonction desquels ils devaient être atteints.

Spécifications de notre système de contrôle. Alors, nous avons cherché.

La théorie qui est directement liée à la compréhension et à la conception de notre assemblage.

Enfin, une telle réalisation constitue évidemment une contribution de notre part.

Il peut aller dans de nombreuses améliorations en raison des développements technologiques rapides et Le nombre de cartes électroniques augmente.

An orange scroll graphic with a gradient, featuring a top flap and two circular fasteners on the left side. The word "Bibliographie" is centered on the scroll in a bold, black, serif font.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N.AMICHE et L.LAOUISSET «Etude expérimentale des perturbations harmoniques générées par des lampes fluo-compactes » Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O, 2008.
- [2] M .Saïd «Gestion de la pollution harmonique dans les installations électriques» MEMOIRE DE DEUA U.M.M.T.O 2008.
- [3] E.Felice « Perturbations harmoniques, effets, origines, mesures, diagnostic, remèdes» DUNOD, Paris, 2000.
- [4] T.Deflandre, P.Mauras «Les harmoniques sur les réseaux électriques» Direction des études et recherches de EDF.EYROLLES, Paris, 1998.
- [5] Christophe Prévé « Les réseaux électriques industriels 2 » Edition, LAVOISIER, 2005
- [6] Mohamed ZELLAGUI. «Présentation de Comptage et Compteurs Électrique». Institut de Formation de l'Electricité et du Gaz Centre de Formation Ain M'Lila. (Février 2018).
- [7] LAIB Bachir et SAADANI Fathi. «Commande d'une Barrière Automatique à Base d'Arduino». Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued 2018.
- [8] K.GHEDAMSI « Contribution à la modélisation et la commande d'un convertisseur direct de fréquence Application à la conduite de la machine asynchrone ».Docteur en Sciences à Ecole Nationale Polytechnique. En 2008.
- [9] A.FOUILLE, « électrotechnique à l'usage des ingénieurs », Livre. Ecole national d'ingénieurs.
- [10] A.GADOUM ; N.HAMRAOUI « Analyse des Convertisseur des convertisseur indirect à structure matriciel »pro 2010-2011 ; Master2.
- [11] [5] N.TAIB, « Application des Convertisseurs Matriciels à la Commande des Machines à
- [12] Courants Alternatif » Thèse de Magistère à université de A.MIRA de BEJAIA.
- [13] Saul Lopez Arevalo, « Matrix Converter for Frequency Changing Power Supply Applications » Docteur, université de Nottingham, janvier 2008.
- [14] F.GRUSON « Modulation Naturelle Généralisé des Convertisseurs Matriciels pour la variation de Vitesse »Thèse Doctorat. Ecole centrale de LILLE septembre 2010.
- [15] Axel SCHUSTER, « COMMANDE, RÉGLAGE ET OPTIMISATION D'UN CONVERTISSEUR MATRICIEL POUR ENTRAINEMENTS PAR MOTEUR ASYNCHRONE », Thèse doctorat, 1998, résumé.

- [16] L.AIT OUBELLI « MISE EN ŒUVRE D'UN MODÈLE GÉNÉRIQUE DU CONVERTISSEUR MATRICIEL DANS LES ENVIRONNEMENTS EMTP-RV ET MATLAB-SIMULINK » Maitrise Décembre 2011.
- [17] A.DENDOUGA « CONTROLE DES PUISSANCE ACTIVE ET REACTIVE DE LA MACHINE A DOUBLE ALIMENTATION (DFIM) », Thèse Doctorat, BATNA, 10/02/2010.
- [18] M.SLAOUATI ; A.LARADI, « Contrôle Direct du couple d'une Machine Asynchrone Alimentée par un Convertisseur Direct AC-AC» thème ingénieur .pro 2006-2007.
- [19] N.TAIB, « Utilisation des Convertisseurs Matriciels dans les Système de Protection de Production d'Energie » Thèse de Doctorat à université de A.MIRA de BEJAIA. En 2012.
- [20] ZAHIR.AIT OUALI, « Application des FPGA à la commande d'un moteur asynchrone. » Thèse de Magistère université de MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU.
- [21] A.ALESINA and M.G.B VENTURINI, « Analysis and Design of Optimum Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters», IEEE Trans .On Power Electrics, Vol.4, N°1, pp.101-112, January 1989.[15] A.AZZIB, « Etude de la MASDE alimentée par convertisseur matriciel » Thèse de Magistère à université de Bejaia. En 2009.
- [22] H.Mekrez , N.Kerrouche, « Etude et réalisation d'une carte à microcontrôleur 16F877 pour la commande d'un moteur à courant continu ». Mémoire d'ingénieur en électronique, université de Bejaia.2003
- [23] M.Corrévon, «DSP et temps réel. «Introduction aux DSP orientés, application industrielles »,Haute école d'ingénieurs et de Gestion du Conton de Neuchatel.
- [24] dsPIC33FJ32MC202/204 and dsPIC33FJ16MC304Data Sheet High-Performance, 16-bit Microcontrollers , 2007 Microchip Technology Inc.