

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

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA. BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magister en Electrotechnique
Option : Systèmes Electro-énergétiques

Présenté par :

Mr. Abdelkarim AMIRA

Thème :

**Conception et réalisation d'un compteur
d'énergie électrique consultable à distance
et accès local par carte à puce**

Devant le jury :

Mr ALKAMA Rezak	MCA	Président	Univ. Bejaia
Mr MAOUCHE Bachir	MCA	Rapporteur	Univ. Bejaia
Mr AOUZELLAG Djamel	MCA	Examineur	Univ. Bejaia
Mr BERAH Smail	MCA	Examineur	Univ. Bejaia
Mr SELLAMI Mohamed	MCB	Invité	Univ. Bejaia

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir guidés dans la réalisation de ce travail

Mes vifs remerciements vont à mes promoteurs, Mr B.Maouche et Mr SELLAMI pour avoir accepté de m'encadrer, pour leur disponibilité sans limites et leurs précieux conseils au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Mes gratitudes vont aussi aux enseignants qui nous ont suivis tout au long de notre cursus universitaire.

Mes remerciements vont aux membres du jury qui ont accepté de juger mon modeste travail.

Enfin, j'exprime ma sincère reconnaissance à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à celle sans qui je ne serais pas ce que je suis, à ma mère bien aimée.

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont forgé l'histoire de l'humanité par la grandeur de leurs exploits

*‘Les hommes de génie sont des météores destinés à brûler
pour éclairer leur siècle. ‘*

Napoléon 1^{er}

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
I. GENERALITES SUR LES COMPTEURS ELECTRIQUES ET ELABORATION DU CAHIER DES CHARGES	2
I.1. INTRODUCTION.....	2
I.2. HISTORIQUE	2
I.2.1 <i>Compteur électriques classique (à induction)</i>	2
I.2.2 <i>Compteurs d'énergie statique</i>	5
I.2.2.1 Adaptateur de courant et de tension pour les compteurs électroniques	5
I.2.2.2 Compteur électronique analogique à sortie numérique	5
I.2.2.3 Compteur électronique tout numérique	6
I.3. ELABORATION DU CAHIER DES CHARGES	7
I.3.1 <i>Mesure de tension</i>	8
I.3.2 <i>Mesure du courant</i>	8
I.3.3 <i>Mesure de fréquence</i>	8
I.3.4 <i>Mesure de déphasage</i>	9
I.3.5 <i>Calcul de l'énergie électrique</i>	10
I.3.6 <i>Afficheurs Alphanumérique</i>	10
I.3.7 <i>Clavier de contrôle</i>	10
I.3.8 <i>Mémoire EEPROM externe</i>	10
I.3.9 <i>Carte à puce</i>	11
I.3.10 <i>Courants porteurs</i>	11
I.3.11 <i>Microcontrôleur</i>	11
I.4. CONCLUSION	12
II. DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS CONSTITUANTS LE COMPTEUR ELECTRIQUE.	13
II.1. INTRODUCTION.....	13
II.2. CHOIX DU CAPTEUR DE TENSION	13
II.3. CHOIX DU CAPTEUR DE COURANT.....	13
II.4. CHOIX DE L'AFFICHEUR ALPHANUMERIQUE.....	14
II.4.1 <i>Le Brochage de l'afficheur</i>	14
II.4.2 <i>La mémoire d'affichage (DD RAM)</i>	15
II.4.3 <i>Le jeu de commande standard</i>	15
II.4.4 <i>Le jeu de caractères</i>	16
II.5. CHOIX DU MICROCONTROLEUR.....	17
II.5.1 <i>Intel 8051</i>	17
II.5.2 <i>Motorola MC68HC11</i>	18
II.5.3 <i>Zilog Z8</i>	18
II.5.4 <i>Atmel AVR</i>	18
II.5.5 <i>Microchip MCUs</i>	18
II.5.5.1 La famille à mot d'instruction de 12 bits.....	19
II.5.5.2 La famille à mot d'instruction de 14 bits.....	20
II.5.5.3 La famille à mot d'instruction de 16 bits.....	20
II.5.5.4 Le choix d'un microcontrôleur	21
II.6. CHOIX DE LA MEMOIRE EEPROM.....	22
II.7. LE CHOIX DE LA CARTE A PUCE	23
II.8. CONCLUSION	23
III. REALISATION DU COMPTEUR ELECTRIQUE.....	24
III.1. INTRODUCTION.....	24
III.2. PARTIE ALIMENTATION	24
III.2.1 <i>Réalisation de l'alimentation double +/-12V</i>	24
Dimensionnement.....	25
III.2.2 <i>Réalisation de l'alimentation simple 5 V</i>	26
Dimensionnement.....	26
III.3. PARTIE CONDITIONNEMENT.....	27

Sommaire

III.3.1	Conditionnement de la tension.....	27
	Dimensionnement.....	28
III.3.2	Conditionnement du courant.....	29
	Dimensionnement.....	29
III.3.3	Mesure de fréquence.....	30
III.3.4	Mesure de la phase.....	31
III.4.	PARTIE TRAITEMENT NUMERIQUE.....	33
III.5.	REALISATION DE LA CARTE A PUCE	34
III.6.	ORGANIGRAMME DU PROGRAMME EMBARQUE	34
III.7.	CONCLUSION	37
IV.	LE SYSTEME DE COMMUNICATION PAR COURANTS PORTEURS.....	38
IV.1.	INTRODUCTION.....	38
IV.2.	LES TECHNOLOGIES CPL	38
IV.3.	NORMALISATION DE LA TECHNOLOGIE CPL	39
IV.4.	AVANTAGE ET INCONVENIENT DES CPL	40
IV.5.	REALISATION DU SYSTEME DE COMMUNICATION CPL	40
	IV.5.1 Partie alimentation.....	40
	IV.5.2 Partie Modulation	41
	IV.5.3 Partie démodulation	44
IV.6.	CONCLUSION	47
	CONCLUSION GENERALE	48
	ANNEXES	48
	ANNEXE A1.....	48
	BIBLIOGRAPHIE	50

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie électrique est utilisée à grande échelle depuis plus de cent ans et sa facturation aux utilisateurs a été, dès l'origine un souci constant des compagnies productrices et distributrices. Une caractéristique remarquable de l'électricité est d'être une forme d'énergie qui, sauf cas particuliers, ne peut pas être directement stockée. Il est donc nécessaire de produire le courant demandé par les clients au moment même où ceux-ci en ont besoin, la pointe de consommation déterminant la capacité nécessaire des installations de production, de transport et de distribution du courant électrique. Pour limiter le plus possible cette capacité, les compagnies distributrices s'efforcent de proposer aux utilisateurs des prix variables suivant les heures, les jours et les saisons afin de les inciter à moduler leur demande, de façon à régulariser la courbe de charge des réseaux et éviter en particulier de provoquer des pannes générales, comme cela a parfois pu se produire. Les fabricants de compteurs ont donc été amenés à élaborer des systèmes de comptage plus ou moins complexes, gérant des tarifs multiples, qui non seulement enregistrent la consommation d'énergie électrique, mais tiennent compte le mieux possible du prix de revient instantané de cette énergie. Les changements de tarifs sont réalisés par des horloges, des systèmes de télécommande centralisée ou d'autres dispositifs de communication ou de gestion. Les compteurs électromécaniques ont été longtemps les seuls utilisés et ont bien résolu une grande partie des problèmes posés, mais les progrès en cours de l'électronique et de l'informatique ont ouvert la voie à des ensembles moins encombrants et mieux adaptés ou à des systèmes beaucoup plus complexes, capables d'améliorer encore la gestion de l'énergie électrique.

Dans le présent travail, nous donnerons d'abord un bref aperçu historique sur les compteurs électriques et nous citerons les différents types de compteur qui existent. Nous élaborerons un cahier de charge fonctionnel du compteur électrique que nous allons réaliser et nous décrirons, en suite, les dispositifs de mesure des différentes grandeurs mises en jeu et donnerons des schémas correspondants à la mesure de chaque grandeur. Nous terminerons par élaborer un dispositif de communication via le réseau électrique grâce à la technologie des courants porteurs en ligne, et son intégration au compteur électrique.

Chapitre I.

Généralités sur les compteurs électriques et élaboration du cahier des charges

I. Généralités sur les compteurs électriques et élaboration du cahier des charges

I.1. Introduction

L'électricité est une forme d'énergie dont les applications se sont multipliées dans tous les domaines de l'activité économique et dans les foyers domestiques. Comme elle n'est pas stockable, il a fallu inventer un moyen de mesurer au fur et à mesure sa consommation, à savoir le compteur d'électricité.

D'abord appareil mesurant une grandeur unique, l'énergie active, le compteur d'électricité, sous l'impulsion conjuguée d'un besoin de tarifications plus élaborées et des progrès techniques, est devenu de plus en plus complexe, remplissant un nombre important de fonctions directement ou indirectement liées à la facturation de l'électricité.

I.2. Historique

Dès le début de l'électrification, à la fin du 19^e siècle, les sociétés de distribution d'électricité ont eu à résoudre le problème de la facturation des services rendus à leur clientèle. Faute d'appareils de mesure appropriés, elles ont souvent eu recours à des tarifs forfaitaires peu satisfaisants. L'invention de compteurs d'énergie électrique assez précis et peu coûteux a permis d'instaurer des systèmes de tarification plus élaborés.

Cependant, il ne suffit pas de savoir mesurer les consommations d'énergie électrique pour établir des factures. L'élaboration d'une structure satisfaisante des tarifs de l'électricité est une opération très complexe, qui met en jeu un grand nombre de facteurs laissant un grand champ libre à l'imagination.

Il n'en demeure pas moins que l'outil de base indispensable à toute opération de tarification ou de facturation de l'énergie électrique reste le compteur d'électricité.

On peut définir un compteur d'électricité comme suite :

Soit $x(t)$ la puissance électrique ; débitée par le réseau vers une charge ; susceptible de varier avec le temps t . On appelle compteur d'électricité un appareil qui effectue d'une façon continue (ou quasi continue) l'intégration :

$$\int_0^t x(t) dt \tag{1-I}$$

Et qui donne à chaque instant (ou pratiquement à chaque instant) le résultat actuel de cette intégration soit sous forme convenant à une lecture directe, soit sous toute autre forme adaptée à l'utilisation envisagée. [1].

I.2.1 Compteur électriques classique (à induction)

Le compteur le plus traditionnel et le plus communément utilisé est le compteur à induction. Cet appareil est construit sur la base de trois circuits électriques, électromagnétiquement couplés. Deux de ces circuits sont fixe par rapport à l'axe de rotation de la partie mobile de l'appareil. Le troisième circuit est le disque rotatif lui-même, généralement

construit en aluminium et monté sur un axe rigide. La rotation de ce dernier est transmise à un afficheur mécanique rotatif, et donne une image assez fidèle de l'énergie consommée. La partie fixe génère le flux magnétique résultant de l'interaction entre la bobine tension et la bobine courant du montage. Ces deux bobinages sont réalisés sur un support magnétique en forme de C, et le disque d'aluminium est intercalé dans l'entrefer. Un aimant permanent de même forme est aussi placé dans le système. Les deux flux magnétiques générés par le circuit courant et circuit tension qui sont sinusoïdaux à la même fréquence, induisent un courant sur le disque, ce dernier réagit avec les flux existant et un couple de rotation se crée. Ce couple est donné par :

$$C_m = KVI \sin \alpha \quad (2-I)$$

Où

C_m = Couple mécanique

K = constante du système

V = Valeur efficace de la tension appliquée

I = Valeur efficace du courant consommé

α = déphasage entre les flux générés par V et I

Le couple ainsi créé engendre la rotation du disque autour de son axe. Cette rotation atteint un équilibre dynamique lorsque le couple créé par les bobines tension et courant et le couple résistant créé par l'aimant permanent se compensent. La vitesse angulaire résultante est pour cela proportionnelle à la puissance correspondante si elle est largement inférieure à la pulsation des grandeurs électriques, et si l'angle entre les flux de la bobine tension et courant $\alpha = (\pi/2) - \varphi$, où φ est le déphasage entre le courant et la tension. [2].

La vitesse angulaire du disque peut alors être écrite comme suite :

$$\Gamma = \left(\frac{1}{k} \right) \omega \left(\frac{R_3}{Z_3^2} \right) (M_1 I) \left(\frac{M_2 V}{Z_2} \right) \cos(\varphi) = KP \quad (3-I)$$

Où :

Γ = vitesse de rotation angulaire du disque. En rad/s.

K = constante relative au système. En rad/s.W.

P = puissance moyenne dans le circuit. En W.

$1/k$ = constante en $\Omega/V^2.s^2$.

ω = pulsation des grandeurs électriques. En rad/s.

R_3 = résistance équivalente du disque, relative au courant induit en Ω .

Z_3 = impédance équivalente du disque, relative au courant induit en Ω .

$(M_2.V/Z_2)$ = valeur efficace du flux relatif au circuit tension et le disque. En Wb.

$(M_1.I)$ = valeur efficace du flux relatif au circuit courant et le disque. En Wb.

Z_2 = impédance du circuit tension. En Ω .

V = valeur efficace de la tension dans le circuit. En V.

I = valeur efficace du courant dans le circuit. En A.

φ = déphasage entre le courant et la tension.

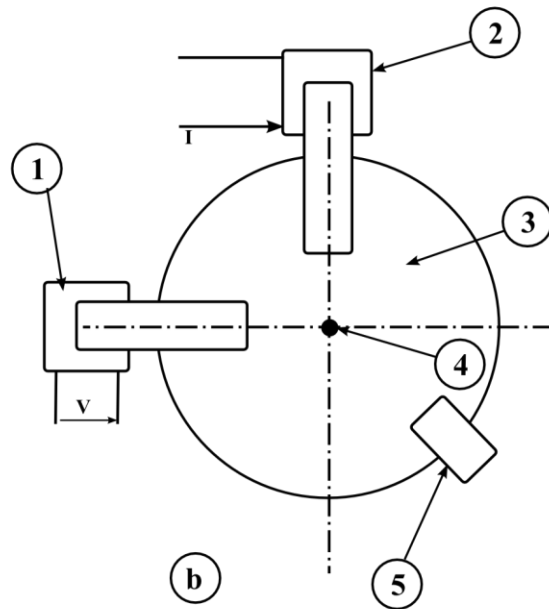
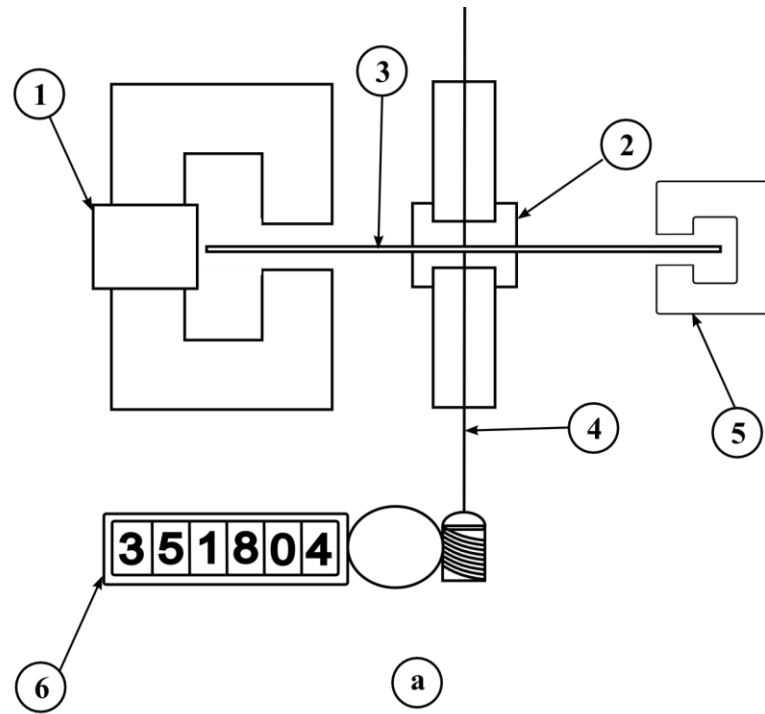


FIGURE I.1

(a) Vue de profil du compteur électrique à induction- (b) Vue de dessus du compteur électrique à induction: (1) bobine tension et son circuit magnétique; (2) bobine courant et son circuit magnétique; (3) disque rotative en aluminium; (4) axe du disque; (5) aimant permanent : (6) afficheur mécanique

I.2.2 Compteurs d'énergie statique

L'essor de l'électronique, et entre autre les multiplicateurs électronique, a fait en sorte à l'intégrer dans la mesure de l'énergie vue que l'on obtient directement le produit de la tension par le courant. Dans leurs version d'origine les multiplicateurs électronique étaient purement analogiques (AOP, résistance, condensateurs...etc.). Tandis que les appareils de nos jours utilisent une électronique bien plus avancée entrant dans l'aire du numérique. La tension et le courant sont alors manipuler pour obtenir une grandeur proportionnelle à la puissance réelle parcourant la ligne, puis intégrée en temps réel pour obtenir l'énergie consommée. Tous les composant utilisés pour cette mesure sont statique, ils n'effectuent aucun mouvement et peuvent mesurer de l'énergie électrique qui va du continue jusqu'à des fréquences assez élevées, c'est pour cela que l'on parle de compteurs statiques.

Il existe différents appareils dans cette catégorie. Les premières réalisations étaient basées sur un multiplicateur analogique et, même s'ils n'avaient pu remplacer le compteur à induction classique, ils représentaient une bonne solution là où la sensibilité de mesure était primordiale (meilleur que 2%). Maintenant avec les progrès actuels, des appareils beaucoup plus sophistiqués on vu le jour, comportant des calculateurs numériques très puissants et avec une sensibilité de mesure pouvant aller jusqu'à 0.2%. [1].

I.2.2.1 Adaptateur de courant et de tension pour les compteurs électroniques

Les éléments les plus commun pour l'adaptation de la mesure pour les grandeurs sinusoïdales restent les traditionnels transformateur de courant et transformateur de tension. Mais il faut prendre la précaution de bien les réaliser (utiliser un shunt non réactif pour le transformateur de courant et un diviseur de tension non réactif pour le transformateur de tension) pour ne pas altérer la mesure. Après les transformateurs et les éléments qui leurs sont dépendants, un second block, basé sur des amplificateurs opérationnels, procure la dernière retouche sur la grandeur de mesure c'est le conditionnement et le filtrage.

I.2.2.2 Compteur électronique analogique à sortie numérique

Cet instrument effectue le produit de deux grandeurs d'entrée (les deux sous forme de tension) à travers un multiplicateur analogique qui délivre un résultat proportionnel à la puissance du circuit. Ce multiplicateur peut être suivi d'un block de filtrage.

Le signal de sortie du multiplicateur est ainsi proportionnel à la puissance instantanée. Pour calculer l'énergie électrique parcourant la ligne il faut alors effectuer une intégrale du résultat durant le temps d'observation. Ceci peut être réalisé par deux procédés :

1^{ère} procédé : le signal de sortie du multiplicateur analogique est appliqué à l'entrée d'un convertisseur tension/fréquence. L'information est passe alors d'un niveau de tension vers un niveau de fréquence. Un décante par rapport à une base de temps permet de retrouver l'énergie consommée. Il suffit alors d'afficher le résultat, soit à l'aide d'un moteur pas à pas qui incrémente un afficheur mécanique (semblable à celui utilisé dans le conteur à induction) soit par un système d'affichage numérique. [1].

2^{ème} procédé : ici le signal de sorti du multiplicateur est transformé en une information numérique à l'aide d'un échantillonneur et d'un convertisseur analogique/numérique. Pour le calcul de l'énergie il suffit de sommer les valeurs de mesure échantillonnée dans un intervalle de temps, cette tache est affectée à un microprocesseur qui s'occupe aussi de garder l'information en mémoire et de l'afficher.

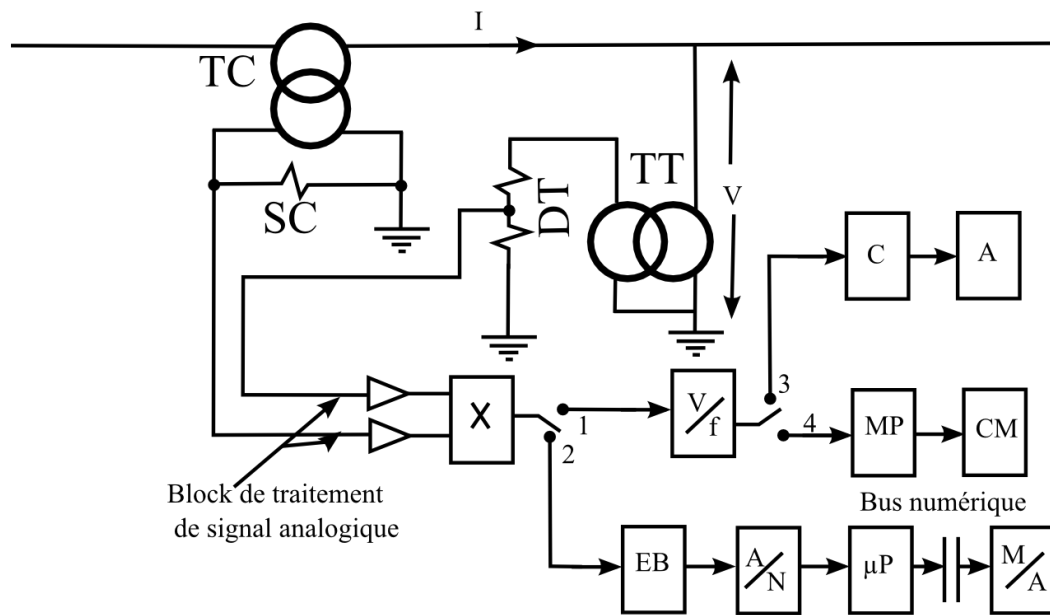


FIGURE I.2

Compteur d'énergie électronique. Affichage mécanique (1 à 4). Affichage électronique (1 à 3).

Affichage électronique avec traitement numérique du signal (2). TC:Transformateur de courant; TT:Transformateur de tension ; SC:Shunt du courant; DT:Diviseur de tension; X:Multiplicateur; V/f:Convertisseur tension/fréquence; MP:Moteur pas à pas; CM:Compte-tour Mécanique; C:Compteur électronique; A:Afficheur; EB:Echantillonneur bloqueur ; A/N:Convertisseur Analogique-Numérique; μP :Microprocesseur;M/A, mémoire et Afficheur.

I.2.2.3 Compteur électronique tout numérique

La solution la plus avancée dans la mesure d'énergie se trouve dans les compteurs numériques. Où le courant et la tension sont directement échantillonnés avant toute opération, de cette façon on a un large choix de traitement possible du signal obtenu. Les deux unités d'échantillonnage sont pilotées par un processeur pour avoir une synchronisation entre les deux signaux.

Parfois, ce genre de compteur est équipé de systèmes de DSP donnant ainsi les ressources matériels pour un traitement avancé du signal et pour une évaluation en temps réel de paramètres complexes. Des équipements logiciel et matériel sont aussi rajouter dans le but de rendre l'appareil totalement indépendant et performant des tâches diverses. [1].

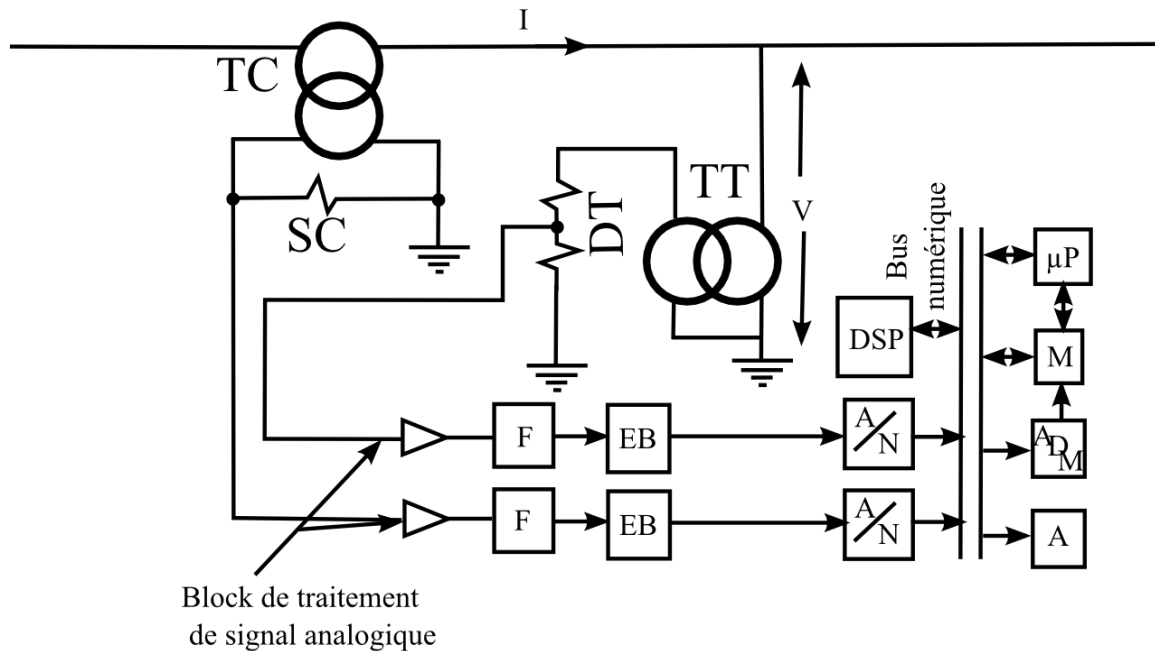


FIGURE I.3

Compteur d'énergie électronique tout numérique. TC: Transformateur de courant; TT: Transformateur de tension ; SC: Shunt du courant; DT: Diviseur de tension; F: Filtre électronique ; EB: Echantillonneur bloqueur ; A/N: Convertisseur Analogique-Numérique; μ P: Microprocesseur; DSP: Bloc de traitement numérique du signal; ADM: Circuit d'accès direct à la mémoire; A: Afficheur.

I.3. Elaboration du cahier des charges

Dans tout projet de qualité, un cahier de charge décrivant les différents éléments du système à créer ainsi que les fonctionnalités désirées est essentiel pour mener à bien la réalisation.

Dans le cas présent, l'appareil en cours de conception doit comporter les fonctionnalités suivantes :

- ✓ Mesure de tension.
- ✓ Mesure de courant.
- ✓ Mesure de fréquence.
- ✓ Mesure de déphasage.
- ✓ Calcul de l'énergie électrique.
- ✓ Affichage alphanumérique.
- ✓ Clavier de contrôle.
- ✓ Stockage de données.
- ✓ Lecture de carte à puce.
- ✓ Consultable à distance sans réseau de communication indépendant (par la ligne électrique elle même)

I.3.1 Mesure de tension

Parmi les différentes techniques de mesure de tension existantes, il faut choisir celle qui soit interfaçable avec un système à microprocesseur. La plus simple à réaliser est l'utilisation d'un transformateur abaisseur de tension, avec un block de conditionnement adéquat

La tension ainsi extraite, elle devra subir une transformation de sorte à avoir une valeur sous forme continue qui sera utilisée par le microcontrôleur. C'est cette valeur de la tension qui servira dans les calculs.

I.3.2 Mesure du courant

Pour la mesure du courant il faudra choisir celle qui influe le moins possible sur la qualité de la tension d'alimentation tout en gardant à l'œil l'encombrement et le prix de revient du dispositif de mesure. Pour cela, l'utilisation d'un transformateur n'est pas nécessaire car une consommation domestique moyenne ne dépasse pas les 30 Ampères. L'utilisation donc d'un simple shunt de courant nous permettra de mesurer ce dernier. La tension mesurée aux bornes du shunt est proportionnelle au courant qui le traverse. Alors il suffit de mesurer cette dernière pour avoir la valeur du courant

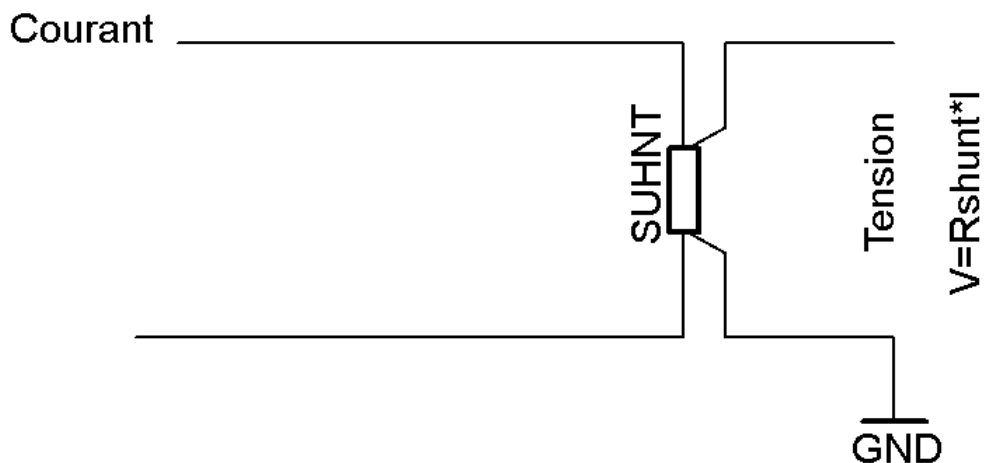


FIGURE I.4

Mesure du courant à travers un shunt

La tension mesuré aux bornes du shunt vaut : $V_{shunt} = (I_{shunt} * R_{shunt})$.

Cette tension devra être conditionnée. Un block de conditionnement semblable à celui précédemment décrit sera placé à la sortie du bloc d'amplification et qui va permet d'obtenir une valeur continue de la tension.

I.3.3 Mesure de fréquence

Pour la mesure de la fréquence on peut utiliser le bloc qui est utilisé dans la mesure de la tension, à ce dernier on rajoute un détecteur de passage par zéro reposant sur un montage

à base d'un amplificateur opérationnelle. Il suffit alors de compter le temps qui s'écoule entre chaque deux passage par zéro, on obtient ainsi la période. Il faudra inverser résultat pour

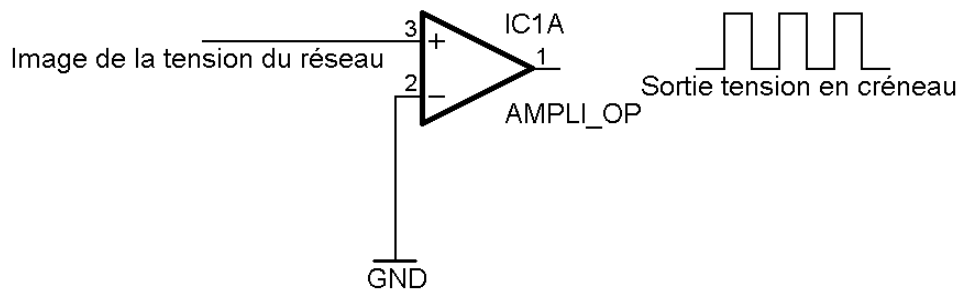


FIGURE I.5

Génération des créneaux pour la mesure de fréquence

obtenir la fréquence.

I.3.4 Mesure de déphasage

Le même principe de mesure de la fréquence est utilisé pour la mesure de déphasage. Les seules variantes seront, au lieu d'utiliser un seul signal on aura alors deux signaux : l'image de la tension et l'image du courant. On génère un signal rectangulaire qui commence à chaque passage croissant de la tension par zéro, et la même chose pour le courant. Le temps qui s'écoule entre le passage de la tension puis celui du courant par zéro est le déphasage temporel entre les deux.

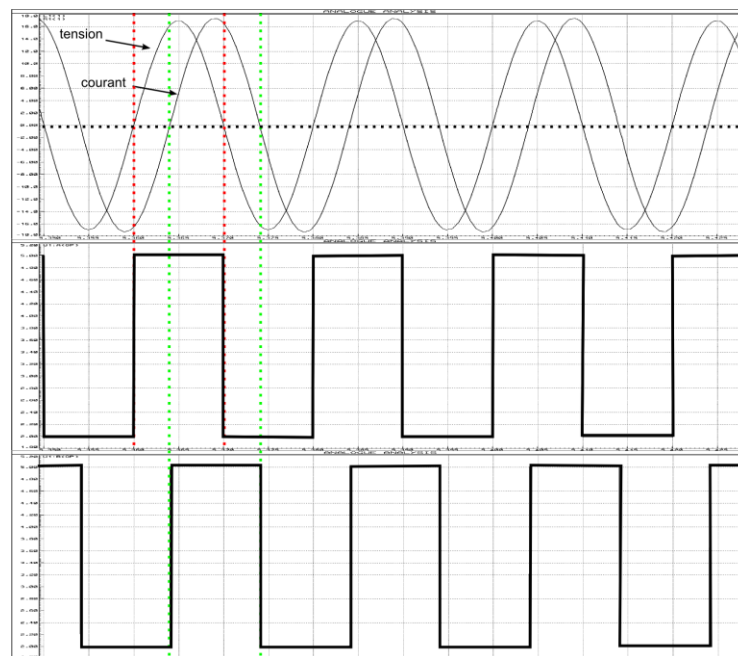


FIGURE I.6

Entrée, Sortie et signaux intermédiaire obtenus par la méthode de passage par zéro de la mesure de déphasage. Notez que cette technique n'est pas sensible à l'amplitude du signal

I.3.5 Calcul de l'énergie électrique

A partir des grandeurs mesurées, l'appareil devra pouvoir calculer l'énergie électrique consommée par l'installation réceptrice, et cela en temps réel. La valeur de l'énergie ainsi calculé devra être cumulée périodiquement à l'énergie calculée auparavant.

I.3.6 Afficheurs Alphanumérique

Le projet en cours de conception doit être doté d'un afficheur pour permettre à l'utilisateur d'avoir accès à certaines données. Nous avons opté pour un afficheur alphanumérique à deux lignes d'affichage.

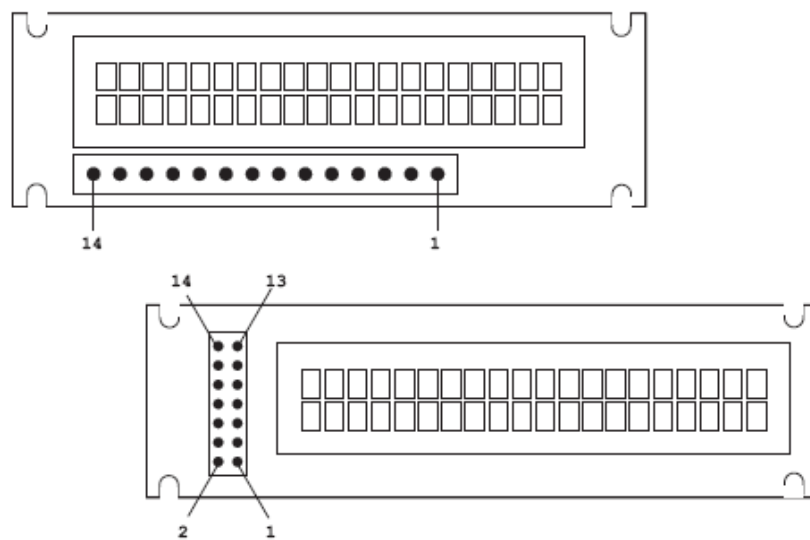


FIGURE I.7

Allure de l'afficheur à utiliser.

I.3.7 Clavier de contrôle

Toujours dans le souci de l'interfaçage homme-machine un clavier de contrôle devra être intégré au montage et donnant accès à certaine fonctionnalités.

I.3.8 Mémoire EEPROM externe

Une mémoire non volatile pour conserver les données de mesure à moyen et long terme est essentiel dans le montage. L'intégration d'une mémoire EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) devra être prise en compte. Cette mémoire sera connectée au processeur par le protocole I²C. Donc ceci doit être pris en conte pour le choix.

I.3.9 Carte à puce

Un lecteur de carte à puce devra entre autre être intégré dans le projet. La connexion entre la carte à puce et le processeur devra aussi obéir au protocole I²C.

Dans le schéma suivant nous résumant les différents types de cartes électroniques existantes :

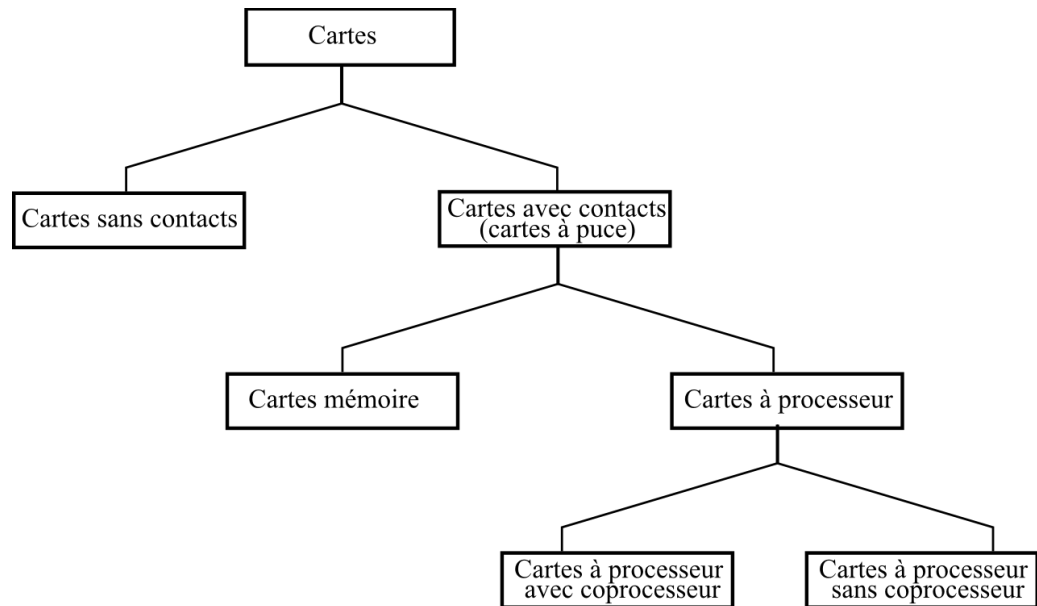


FIGURE I.8

Classification des cartes électroniques.

La carte utilisée sera une simple carte à mémoire de dimension ID-1 qui est doté d'une mémoire EEPROM intégrée.

I.3.10 Courants porteurs

Un système de communication via la ligne électrique elle même devra être mis en œuvre pour permettre la communication avec le compteur et l'effectuation d'opérations telle que : Relevé de la consommation d'énergie et de toutes les grandeurs mesurées, coupure et rétablissement de la tension à distance,etc.

Cette fonctionnalité devra être réalisée sur la base de la technologie des courants porteurs qui consiste à injecter un signal de communication modulé, de fréquence obéissant aux normes en vigueur, dans le réseau de distribution électrique.

I.3.11 Microcontrôleur

Le système comportant tous les composants décrits précédemment doit être piloté par un microcontrôleur totalement autonome et capable de remplir toutes les fonctionnalités qui lui sont exigées. De ce fait un choix judicieux est exigé.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons ; à partir d'une étude bibliographique ; résumé l'historique du comptage d'électricité ainsi que l'évolution de la technologie utilisée dans la mesure. Nous avons aussi défini un cahier de charge qui évoque les différents composants du projet et les fonctionnalités exigés. Dans le chapitre suivant nous allons ; à partir du cahier de charge ; faire un choix des éléments constitutifs du compteur en fonction de ce qui existe dans le commerce et du prix de revient de l'ensemble.

Chapitre II.

Dimensionnement des
éléments constituant le
compteur électrique

II. Dimensionnement des éléments constituant le compteur électrique.

II.1. Introduction

Le cahier des charges étant maintenant défini, nous allons faire un choix des composants fonctionnels du compteur électrique à accès par carte à puce.

II.2. Choix du capteur de tension

Pour la mesure de tension il n'est pas nécessaire d'utiliser un transformateur de tension dans l'application présente, car la mesure se fait sur le réseau basse tension (ne dépassant pas les 250 volts dans les cas les plus extrêmes). De ce fait, l'utilisation d'un simple montage à base d'amplificateur opérationnel fait largement l'affaire.

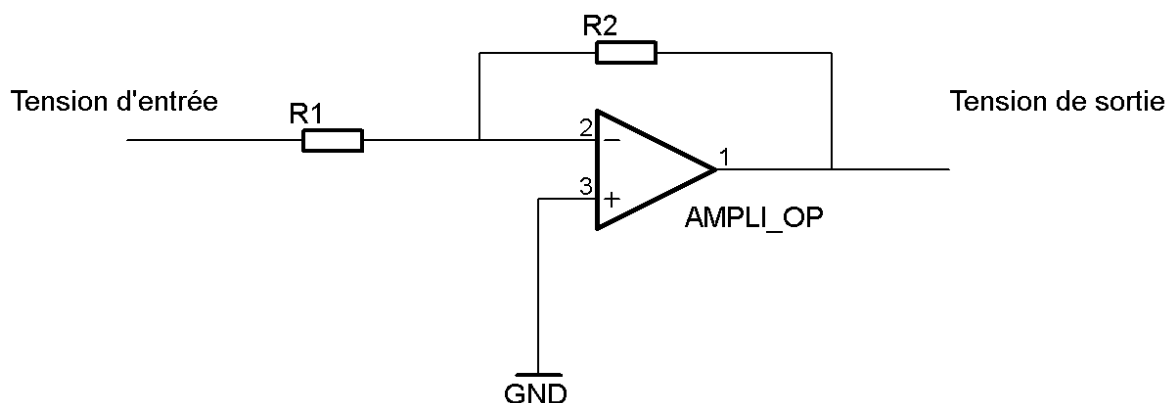


FIGURE II.1

Méthodologie de capture de la tension du secteur

De cette façon nous aurons une tension de sortie proportionnelle à la résistance R_2 et inversement proportionnelle à la résistance R_1 il ne faut pas perdre de vue le fait que ce montage inverse la tension (donc elle subit un décalage de 180°), qu'il faudra prendre en compte lors de la mesure du déphasage.

II.3. Choix du capteur de courant

La mesure du courant se fera à l'aide de deux shunts montés en parallèle. Ceci pour permettre d'une part de diminuer la résistance équivalente des shunts et donc la chute de tension qu'ils engendrent, et d'autre part pour pouvoir monter en courant. En effet un seul shunt ne permet d'aller qu'à 10 Ampères (pour les shunts disponible dans le cas présent), mais l'utilisation de deux à la fois nous offre la possibilité d'aller jusqu'à 20 Ampères.

Pour une application industrielle il serait préférable de construire un shunt de courant de conception spécial comme ceux utilisés dans les compteurs électriques récemment installés par la SONELGAZ de type SAGEM « CX1300clk » qui vont jusqu'à 60A.

II.4. Choix de l'afficheur alphanumérique

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétroéclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA).

Pour notre application, nous avons opté pour un afficheur doté d'un driver compatible avec le contrôleur /driver SAMSUNG KS0066U.

II.4.1 Le Brochage de l'afficheur

Le brochage de cet afficheur et le suivant :

Tableau II.1 : Brochage de l'Afficheur

Broche	Nom	Niveau	Fonction
1	Vss	-	Masse
2	Vdd	-	Alimentation positive +5V
3	Vo	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	TTL	Sélection du registre (Register Select). Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	R/W	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L : Écriture H : Lecture
6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenue pendant au moins 450 ns à l'état haut.
7	D0	TTL	Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
8	D1	TTL	
9	D2	TTL	
10	D3	TTL	
11	D4	TTL	
12	D5	TTL	
13	D6	TTL	
14	D7	TTL	
15	A	-	Anode rétroéclairage (+5V)
16	K	-	Cathode rétroéclairage (masse)

II.4.2 La mémoire d'affichage (DD RAM)

La DD RAM est la mémoire qui stocke les caractères actuellement affiché à l'écran. Pour un afficheur de 2 lignes de 16 caractères, les adresses sont définies de la façon suivante :

Ligne	Visible	Invisible
Haut	00H.....0FH	10H.....27H
Bas	40H.....4FH	50H.....67H

Tableau II.2 : Adresses de 1^{ère} et la 2^{ème} ligne de l'afficheur

II.4.3 Le jeu de commande standard

Tableau II.3 : Jeu de commande de l'Afficheur

Instructions	Code										Description	Durée	
	RS	R/W	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0			
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Efface l'ensemble de la mémoire de donnée sans toucher au générateur de caractères. Ramène le curseur en position « home », à l'adresse 00.	1,64 ms
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	Ramène le curseur en position « home », à l'adresse 00. Si l'affichage était décalé, il est remis à sa position d'origine : l'adresse 00 se trouve à nouveau en haut à gauche.	1,64 ms
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Définit le sens de déplacement du curseur après l'apparition d'un caractère (vers la gauche si I/D=1, vers la droite si I/D=0) et si l'affichage accompagne le curseur dans son déplacement ou non (S).	40 µs
Display on/off control	0	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Met l'affichage en ou hors fonction l'affichage (D), le curseur (C), le clignotement du curseur (B).	40 µs
Cursor and display shift	0	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X	Déplace le curseur (S/C=1) ou l'affichage (S/C=0) d'une position vers la gauche (R/L=1) ou la droite (R/L=0) sans changer la DD RAM.	40 µs
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	X	X	X	Définit la taille de l'interface (DL=0 pour mode 4 bits, DL=1 pour mode 8 bits), le nombre de lignes (NL=0 pour 1 ligne, N=1 pour 2 ou 4 lignes), et la taille des fontes (F=0 pour des caractères 5x7, F=1 pour des caractères 5x10).	40 µs
Set CG RAM address	0	0	0	1	A5	A4	A3	A2	A1	A0	A0	Définit l'adresse de la CG RAM. Les données de la CG RAM sont envoyées après cette commande.	40 µs
Set DD RAM address	0	0	1	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	A0	Définit l'adresse de la DD RAM. Les données de la DD RAM sont envoyées après cette commande.	40 µs
Read busy flag & address	0	1	BF	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	A0	Lit le flag busy (BF), et l'adresse de la position du curseur. BF vaut 0 si l'afficheur accepte une instruction, 1 s'il est occupé	1 µs
Write data to CG or DD RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0	Ecrit des données dans la DD RAM ou la CG RAM.	40 µs
Read data	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D0	Lit les données de la DD RAM ou de la CG RAM.	40 µs

II.4.4 Le jeu de caractères

Les afficheurs utilisent tous le même type de contrôleur qui permet d'afficher l'ensemble des caractères ASCII, ainsi que quelques symboles et un jeu de caractères japonais stylisé.

Les caractères accentués français ne font pas parti du jeu de ces contrôleurs. Fort heureusement, on peut tout de même afficher tous les caractères désirés grâce à des caractères définissables par l'utilisateur. Ceux-ci sont au nombre de huit et correspondent aux caractères de 0 à 7.

L'afficheur est en mesure d'afficher 200 caractères :

De 00H à 07H : 8 caractères définissables par l'utilisateur

De 20H à 7FH : 96 caractères ASCII excepté le caractère \ qui est remplacé par le signe ¥

De A0H à DFH : 64 caractères japonais (alphabet kana)

De E0H à FFH : 32 caractères spéciaux (accent, lettres grecques, ...)

Higher 4bit Lower 4bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000		0	a	P	`	P		-	夕	三	o	p	
xxxx0001	!	1	A	Q	a	q	u	7	†	△	ä	q	
xxxx0010	"	2	B	R	b	r	†	イ	ツ	×	ø	ø	
xxxx0011	#	3	C	S	c	s	∟	ウ	テ	E	ε	ω	
xxxx0100	\$	4	D	T	d	t	∟	イ	ト	ト	μ	ω	
xxxx0101	%	5	E	U	e	u	∟	オ	†	1	ε	ü	
xxxx0110	&	6	F	V	f	v	ヲ	ハ	ニ	ヨ	ρ	Σ	
xxxx0111	'	7	G	W	g	w	フ	†	又	フ	q	π	
xxxx1000	(	8	H	X	h	x	∟	ウ	ホ	リ	フ	又	
xxxx1001	)	9	I	Y	i	y	ハ	†	ノ	ル	†	U	
xxxx1010	*	:	J	Z	j	z	エ	コ	ノ	ク	†	†	
xxxx1011	+	:	K	L	k	l	オ	†	コ	×	†	†	
xxxx1100	,	<	L	*	l	l	ハ	ニ	フ	フ	φ	†	
xxxx1101	-	=	M	I	n	)	∟	又	∟	†	†	†	
xxxx1110	.	>	N	^	n	†	∟	†	†	†	†	†	
xxxx1111	/	?	O	_	o	†	∟	†	†	†	†	†	■

Tableau II.4 : Caractères disponible sur l’Affichage

II.5. Choix du Microcontrôleur

Il existe une multitude de familles de microcontrôleurs qui se sont imposées sur le marché. Dans ce qui suit nous allons faire un petit résumé sur les différents constructeurs et leurs produits vedettes.

II.5.1 Intel 8051

Introduit pour la première fois sur le marché en 1980, le 8051 est le plus établie et le largement utilisé des microcontrôleurs. Comme montré sur le diagramme du 8051, le design original fut celui d'un processeur de rang moyen, avec de multiples ports parallèles, timers, interruption, et un port série. Le '8051' peut être utilisé en tant que microprocesseur conventionnel ou comme un microcontrôleur. Il peut accéder à une mémoire externe par les ports 'Port 0' et 'Port 2' qui agissent comme des lignes multiplexées entre les données et les adresses. Le '8031' était une version du 8051 qui ne contenait pas de mémoire ROM interne, le programme devait donc être stocké dans une EPROM séparée. Beaucoup de fabricants, actuellement, produisent des processeurs qui ne sont que des variantes du 8051. [4].

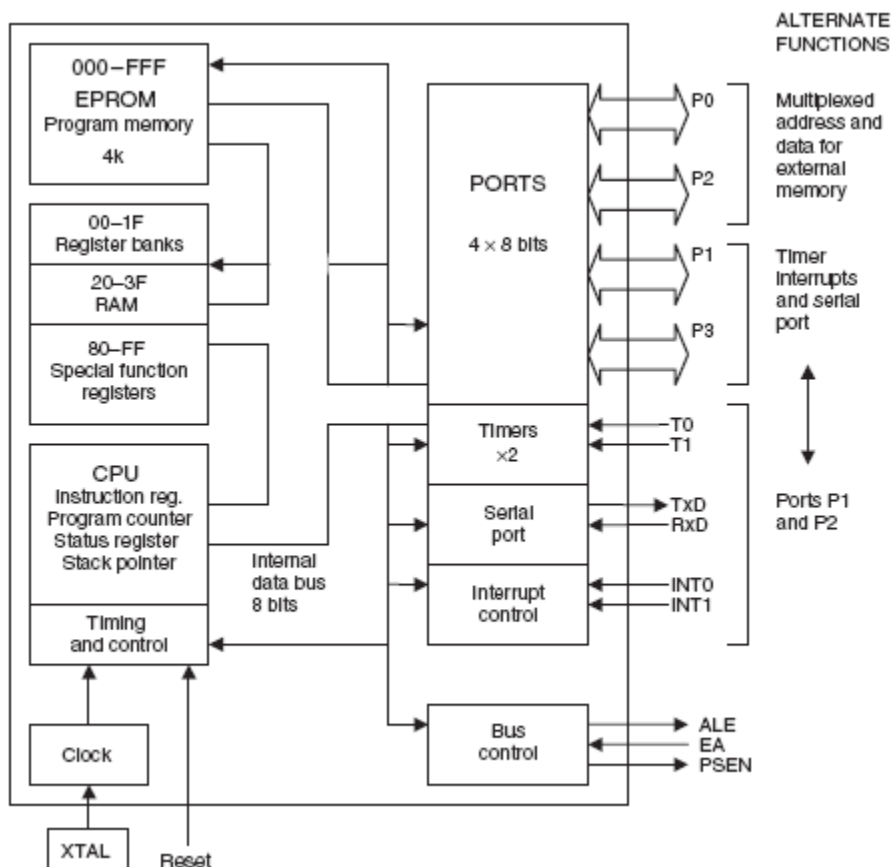


FIGURE II.2

Diagramme en bloc du microcontrôleur Intel 8051

II.5.2 Motorola MC68HC11

Cette série est basée sur l'architecture et le jeu d'instruction du microprocesseur standard de Motorola le 68000. Le MC68HC11A1P est membre typique de la famille. Il offre une mémoire programme de 8ko, 512 octets de mémoire de donnée, 256 octets de RAM, un timer de 16 bits à fonctions multiples, un USART, 8 canaux pour la conversion A/N et 38 pins d'E/S. tout comme le 8051, il peut opérer en microcontrôleur ou en microprocesseur avec une mémoire externe à laquelle il accède via des bus multiplexés entre adresses et données. Les processeurs Motorola sont largement utilisés dans les véhicules et les applications similaires. [5].

II.5.3 Zilog Z8

Le microprocesseur Z80 est resté pour de long années le processeur à 8 bits de référence dans les applications industrielles. La série Z8 est basée sur une architecture similaire de plus le jeu d'instruction reste inchangé. La famille de microcontrôleur Z8 à mémoire flash s'étend d'un processeur de 4ko de mémoire programme et de 11 E/S pour le 'Z8F0441' jusqu'à un processeur de 64ko de mémoire et 60 E/S pour le 'Z8F6423' opérant à 20 MHz. La plus part de ces processeurs avec des entrées analogiques (converties en numérique 10 bits) et la panoplie habituelle des périphériques d'interfaces. [5].

II.5.4 Atmel AVR

Atmel aussi offre des éléments compatible avec le 8051, tel que les processeurs de rang Moyen incluant AT90, et les processeur miniatures de la série 'tiny'. Le nombre de pins d'E/S présent dans les composants à mémoire flash varient entre 3 et 54, avec une fréquence d'horloge allant de 4 à 16 MHz. Un exemple typique de ce constructeur, le ATiny2313: qui est un microcontrôleur 8 bits avec une mémoire programme de 2ko, 120 instructions, 32 registres de travail, et 18 pins d'E/S, un port série, deux module timer/couter/compare, dans un composant à 20 pins en tout. Le large jeu d'instruction et le nombre de registres de travail peut donner au processeur Atmel l'avantage dans certaines applications. Actuellement la série AVR constitue un choix assez populaire. [6].

II.5.5 Microchip MCUs

Tous ce qui a été présenté comme microcontrôleur dans ce qui précède est intéressant en apparence, car il n'est pas facile de jongler avec un jeu d'instruction aussi large que celui de certain de ces constructeurs. Sans oublier aussi le prix de revient du composant et des moyen de sa programmation. Pour cela et, pour d'autre raison encore, nous avons préféré orienter notre choix vers la firme Microchip® qui offre un très large choix de microcontrôleurs, un logiciel de programmation disponible en téléchargement libre sur le site internet du fabricant, ainsi qu'une interface de programmation simple à réaliser même pour un amateur. Tout ce qui suit comme informations a été réuni des références : [5] [6] [7] [8] [9] [10]

Notre choix ayant été réduit aux seuls produits de Microchip®, nous allons choisir parmi les microcontrôleurs de cette firme celui qui conviendra le mieux à notre application. Les microcontrôleurs PIC sont basés sur l'architecture RISC (Reduced Instruction Set Computer) procurant à ces composants une configuration rapide et flexible avec une adaptation facile de composants allant de seulement 6 pins à 80 pins et dotés d'une mémoire de programme allant de 384 octets à 128 ko.

Un autre point fort concernant les PIC et que leur langage de programmation contient 33 instructions compatibles pour tous les composants (sauf les composants les plus récents qui ont un jeu d'instruction plus large), ce qui fait qu'un programme écrit pour un PIC donné fonctionnera sans problème sur un autre sans aucun changement.

Il existe plusieurs centaines de microcontrôleurs PIC. Choisir un microcontrôleur n'est pas une tâche difficile et requière la prise en compte des facteurs suivants :

- ✓ Le nombre de pins d'entrée/sortie désiré.
- ✓ Les périphériques nécessaires (I²C, USART, USB,...etc.).
- ✓ La taille minimale de la mémoire de programme.
- ✓ La taille minimale de la RAM.
- ✓ S'il y a besoin ou non d'une EEPROM intégrée dans le composant.
- ✓ La vitesse d'exécution.
- ✓ L'encombrement.
- ✓ Le coût de revient.

Si plusieurs composants satisfont la configuration minimale du projet en cours sans perdre de vue la possibilité d'évolution du matériel, il faut choisir celui qui offre juste ce qu'il faut (par exemple si notre projet requière 7 E/S et nous trouvons deux composants qui satisfont toutes les autres conditions l'un à 8 E/S et l'autre à 10 E/S le plus adéquat et de choisir le PIC à 8 E/S).

Le microcontrôleur PIC peut être partagé en trois familles principales qui sont :

- La famille à mot d'instruction de 12 bits.
- La famille à mot d'instruction de 14 bits.
- La famille à mot d'instruction de 16 bits.

Toutes ces familles partagent la même architecture RISC et le même jeu d'instruction de base avec quelques instructions additionnelles pour le 14 bits et beaucoup plus pour les 16 bits.

II.5.5.1 La famille à mot d'instruction de 12 bits

Le tableau ci-après cite quelques composants de cette famille. Vu leur architecture simple et leur prix réduit, ces composants sont très intéressants pour des applications pas très complexes. De plus comme les prix des PIC à mot d'instruction de 14 bits ne cessent de baisser, cette famille a tendance à perdre sa notoriété sauf pour leurs tailles réduites qui est très intéressante dans quelques applications.

Microcontrôleur	Mémoire programme	RAM	Fréquence Max (MHz)	Ports E/S	Convertisseur A/N
12C508	512*12	25	4	6	—
16C54	384*12	25	20	12	—
16C57	2048*12	72	20	20	—
16C505	1024*12	41	4	12	—
16C58A	2048*12	73	20	12	—

Tableau II.5 : Quelques éléments de la famille des PICs 12

On peut citer comme exemple le PIC 12C508 qui est un microcontrôleur de 8 pins, de mémoire de programme EPROM de 512*12 et une mémoire RAM de données de 25 Octets et pouvant opérer à 4MHz avec un jeu d'instruction de 33 instructions, un timer de 8 bits, un timer chien de garde, un oscillateur interne de 4MHz et avec 6 E/S. l'inconvénient majeur de ce composant est sa mémoire de programme qui est de type EPROM qui ne peut être effacé que par une source de lumière ultra violet. La version « F » de ce composant c.-à-d. « 12F508 » offre l'avantage d'avoir une mémoire Flash qui peut être effacé et programmé par les programmeurs standards de PIC tous comme la version « CE » qui offre de plus une mémoire non volatile EEPROM supplémentaire de 16 Octets.

II.5.5.2 La famille à mot d'instruction de 14 bits

C'est une très grande famille qui comporte beaucoup de modèles de PIC. La plus part des microcontrôleurs de cette famille peuvent opérer à une fréquence allant jusqu'à 20 MHz. Leur jeu d'instruction contient 35 instructions. Cette famille offre de plus larges possibilités telles que des sources d'interruption internes et externes. Le tableau ci-après regroupe quelque élément de cette famille :

Microcontrôleur	Mémoire programme	RAM	Fréquence Max (MHz)	Ports E/S	Convertisseur A/N
16C554	512*14	80	20	13	–
16C64	2048*14	128	20	33	–
16F84	1024*14	36	10	13	–
16F627	1024*14	224	20	16	–
16F628	2048*14	224	20	16	–
16F676	1024*14	64	20	12	8
16F73	4096*14	192	20	22	5
16F876	8192*14	368	20	22	5
16F877	8192*14	368	20	33	8

Tableau II.6 : Quelque éléments de la famille des PICs 14

II.5.5.3 La famille à mot d'instruction de 16 bits

La famille de microcontrôleurs de 16 bits est le haut de gamme des PIC de Mircochip®. La plus part des éléments de cette famille peuvent opérer à une fréquence de 40 MHz, ont 33 pins d'E/S, 3 timers, et 23 instruction additionnelle par rapport au 35 de la famille précédente

Microcontrôleur	Mémoire programme (bits)	Mémoire données (mots)	Fréquence max (MHz)	Nombre d'E /S	Convertisseurs A/N
17C43	4096*16	454	33	33	–
17C752	8192*16	678	33	50	12
18C242	8192*16	512	40	23	5
18C252	16384*16	1536	40	23	5
18C452	16384*16	1536	40	34	8

Tableau II.7 : Quelque éléments de la famille des PICs 16

Le tableau II.7 liste quelques éléments de cette famille.

II.5.5.4 Le choix d'un microcontrôleur

Dans notre application le choix doit s'effectuer en fonction des périphériques nécessaires au microcontrôleur pour qu'il puisse s'acquitter de toutes les tâches qui lui sont imposées. Pour se faire notre microcontrôleur doit être doté de :

- Un bus I²C.
- Un USART.
- Deux modules CCP.
- Un timer
- Convertisseur A/N
- Gestion d'interruption de périphériques
- Et d'au moins une vingtaine de pins d'entrées sorties.

Notre choix c'est porté sur un PIC de la famille à mot d'instruction de 14 bits qui remplit toutes les conditions précédemment citées. L'élément en question est Le PIC 16F877.

La distribution des pins de ce microcontrôleur est montrée dans ce qui suit.

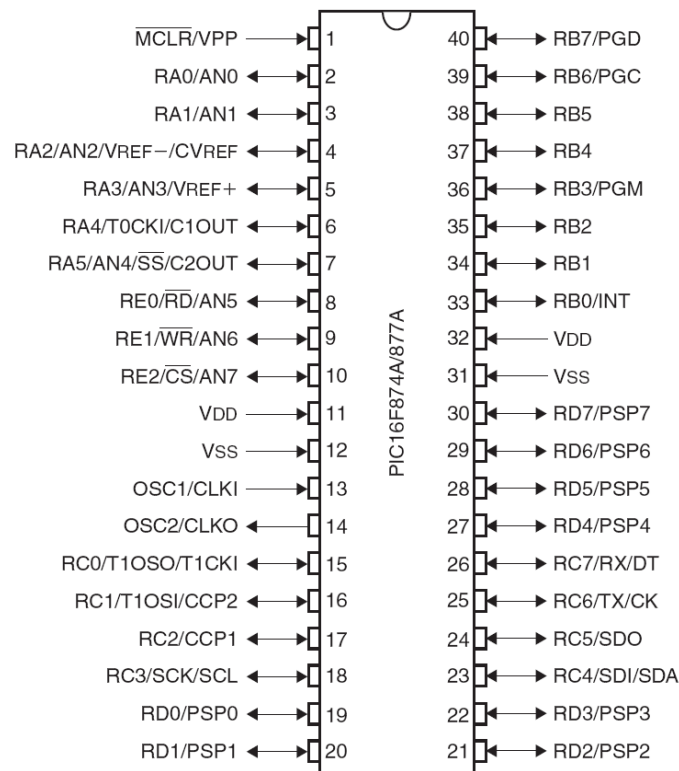


FIGURE II.3

Distribution des pins du PIC 16F877 de Microchip

II.6. Choix de la mémoire EEPROM

Le choix de la mémoire est étroitement lié au choix du protocole de communication choisis. Dans l'application présente nous nous sommes intéressés au standard I²C vu la facilité de sa mise en œuvre et le peu de liaisons physique qu'il nécessite (deux lignes seulement). Les EEPROM de Microchip® interfaçables via le standard I²C sont regroupées dans le tableau suivant : [datasheet 24Cxx]

EEPROM Série Compatible I ² C de Microchip					
DESIGNATION	Fréquence MAX	CAPACITEE BITS OCTETS		TAILE PAGE (OCTETS)	CASCADE
24xx00	400kHz	128	16	0	No
24xx01	400kHz	1K	128	8/16	No/8
24xx02	400kHz	2K	256	8/16/22	No/8
24xx04	400KHz	4K	512	16	No
24xx08	400Khz	8K	1K	16	No
24xx16	400Khz	16K	2K	16	No
24xx32	400Khz	32K	4K	32	8
24xx64	400Khz	64K	8K	8/32	8
24xx128	400kHz	128K	16K	64	8
24xx256	400kHz	256K	32K	64	8
24xx512	400kHz	512K	64K	64/128	No/4/8
24xx1025	1MHz	1024	128K	128	4

Tableau II.8

Tout ces composants possèdent une distribution de pins similaire qui est montrée dans ce qui suit :

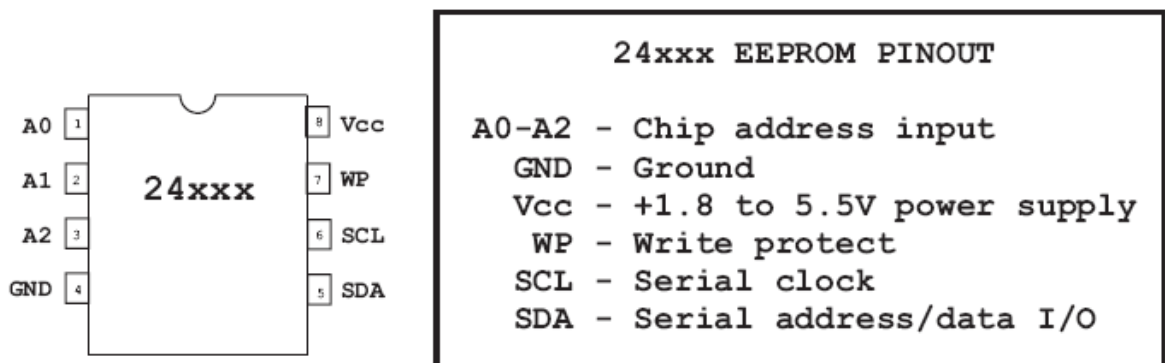


Figure II- 4

Distribution des pins de l'EEPROM 24xxx

Le nombre d'octets dont nous avons besoin ici ne dépasse pas les quelques dizaines mais la mémoire de moins de 16 kb ne permet pas de connecter plusieurs EEPROM sur le même bus I²C, car les pins d'adresse ne sont pas connectés dans le composant. Pour cette raison nous optons pour une EEPROM de type 24C32.

II.7. Le choix de la carte à puce

La carte à puce prévue pour le projet est une simple carte à mémoire dont les dimensions et la distribution des pins qui obéissent à des normes internationales sont présentés dans ce qui suit :

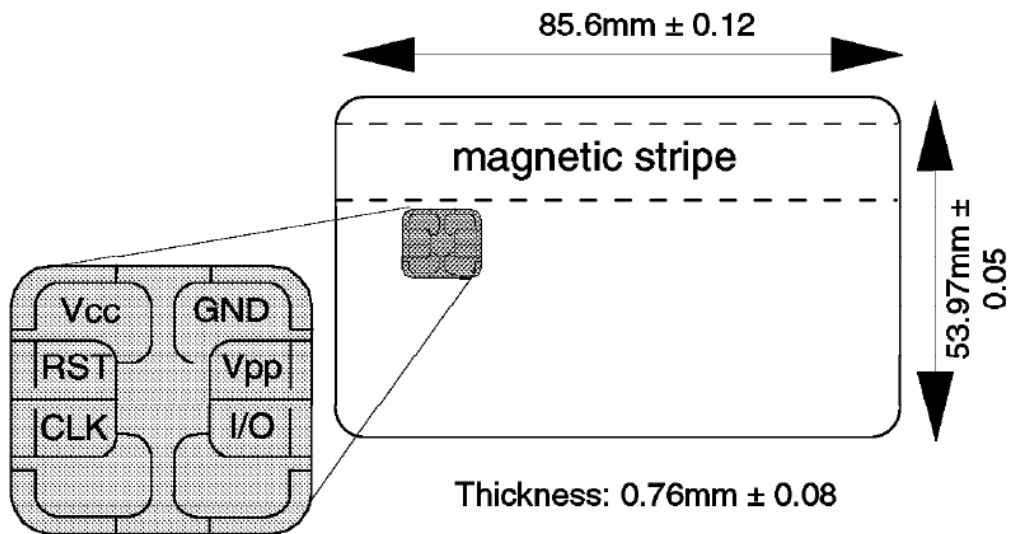


Figure II- 5

Dimensions normalisées de la carte ISO ID 1 et disposition des contacts selon la norme ISO 7816-2

En l'absence de ce genre de carte sur le marché local, nous avons été contraint de réaliser une carte ayant la même configuration que précédemment décrit, sauf que la puce a été remplacée par l'EEPROM série 24LC64.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé à aborder les aspects se rapportant à la construction du projet en cours d'élaboration. Nous avons fait une sélection des différents éléments qui interviennent dans le montage.

Chapitre III.

Réalisation du compteur électrique

III. Réalisation du compteur électrique

III.1. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons fait une sélection préliminaire des composants retenus pour la réalisation de notre projet. Dans le présent chapitre nous allons exposer la mise en pratique des choix préalablement fait et leur intégration dans le montage d'un prototype intermédiaire qui ne tiendra compte que de la fonction de compteur électrique accessible par carte à puce.

III.2. Partie alimentation

Tout circuit électrique a besoin d'une alimentation pour pouvoir fonctionner. Dans notre cas deux alimentation distinctes sont nécessaire ; une alimentation double de $\pm 12V$, et une autre simple de $+5V$.

III.2.1 Réalisation de l'alimentation double $\pm 12V$

Dans notre cas il s'agit d'utiliser cette alimentation dans un appareil clos avec lequel l'utilisateur n'est pas sensé être en contact. Pour optimiser le pris de reviens de l'appareil il n'est donc pas nécessaire d'avoir recours à un transformateur abaisseur de tension. Le schéma proposé est basé sur le principe d'un limiteur de courant capacitif muni de diodes zener pour l'écrêtage de la tension.

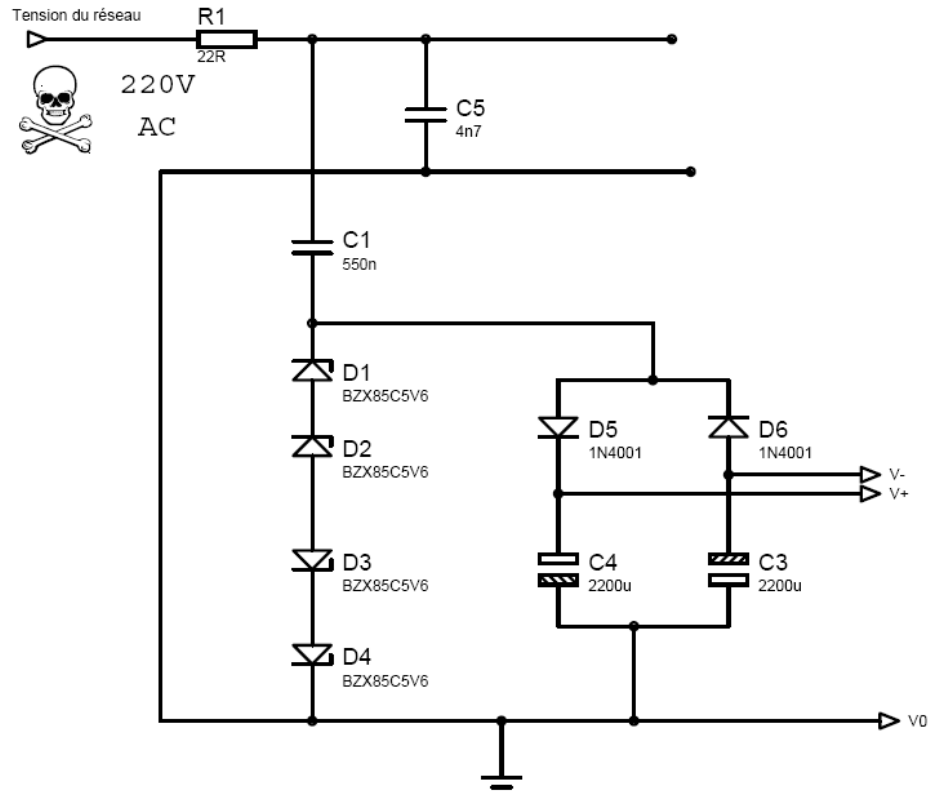


FIGURE III.1

Scéma de l'alimentation double $\pm 12 V$

Dimensionnement

Dans ce montage on cherche à obtenir des tensions +/- 12V assez stable avec le moindre coup, de ce fait l'utilisation de diodes zener pour l'écrêtage est la meilleure solution, le condensateur C_1 est utilisé pour limiter le courant à une valeur supportable par les diodes zener et assez importantes pour alimenter notre circuit. La valeur du courant maximale supportable par ces diodes est de 45mA (pour les diodes 1W), par précaution nous prenons une valeur de 40mA à respecter. La valeur du condensateur adéquat est calculée alors comme suite

$$V = Z \times I = \frac{I}{C\omega} = \frac{I}{2\pi fC} \Rightarrow C = \frac{I}{2\pi fV} \Rightarrow C \cong 575nF \quad (1.III)$$

La valeur normalisée la plus proche de cette valeur est 560nF. En l'absence de cette valeur sur le marcher nous avons utilisé deux condensateur en parallèles 330nF et 220nF ce qui fait 550nF.

Le courant ainsi limité, les diodes zener adéquates doivent être inférieure à 12V pour tenir compte de la tension 0.7 V de jonction des diodes de redressements en aval dans le circuit, pour ce faire nous avons utilisé deux diodes de 5.6V en série pour chaque polarité de la tension ce qui fait 11.2V, avec la tension de jonction on atteint 11.9V.

Les schémas de simulation du circuit sont donnés dans ce qui suit :

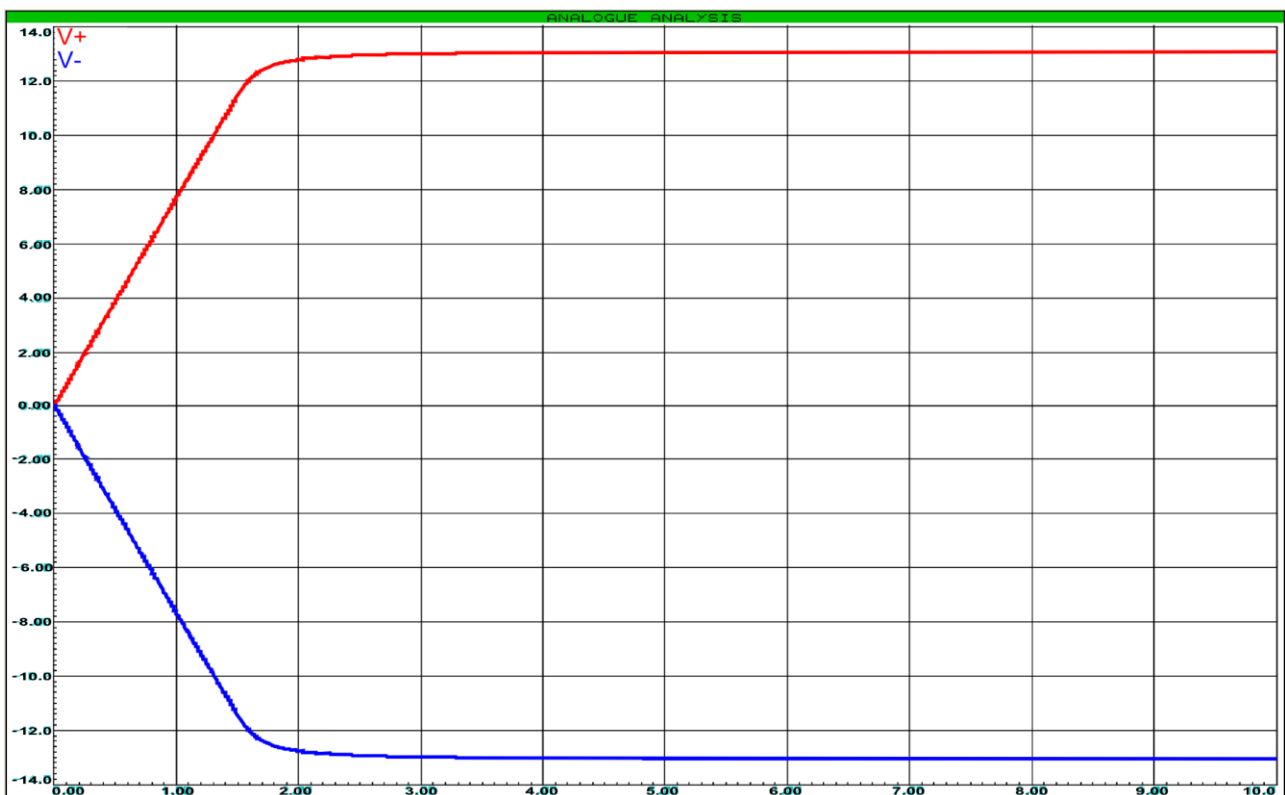


FIGURE III.2

Signaux de sortie de l'alimentation +/- 12V

III.2.2 Réalisation de l'alimentation simple 5 V

Ici aussi nous utilisons le même principe seulement il faut faire en sorte que le courant débité par cette alimentation soit plus important que la précédente. Ceci parce que la plus part des éléments du circuit est alimenté par le 5 V. pour cela l'utilisation d'une simple diode zener pour l'écrêtage n'est plus suffisant, nous avons donc pensé à utiliser un circuit à base de transistor qui est amorcé par la tension de zener d'une diode.

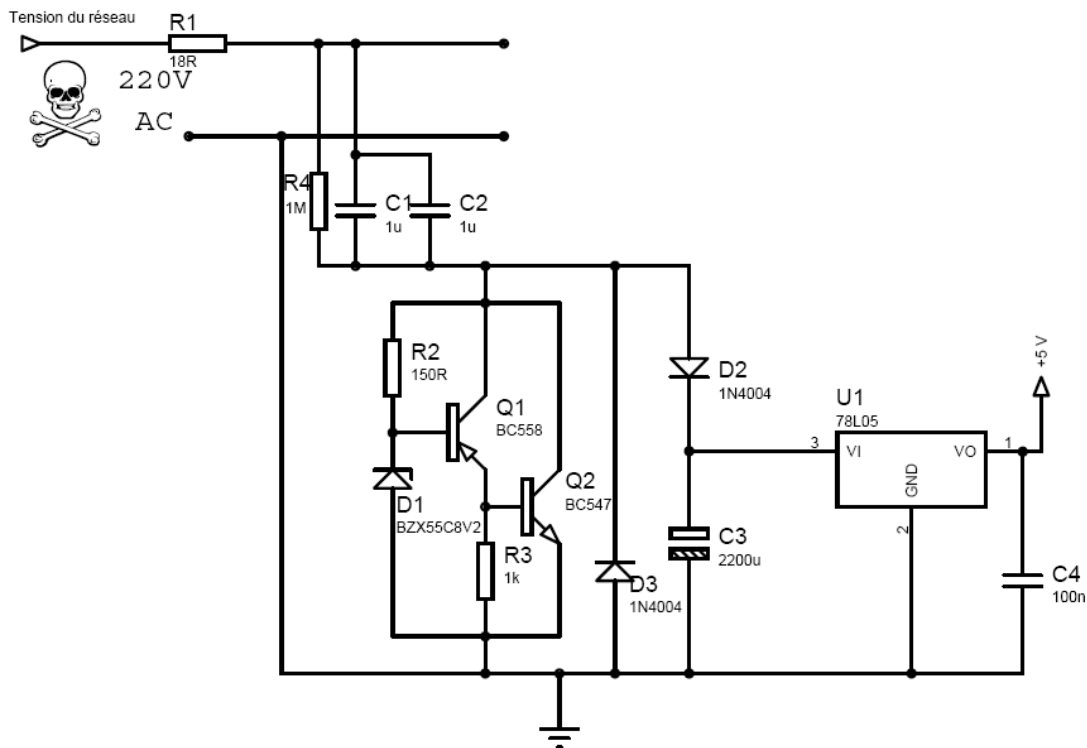


FIGURE III.3

Scéma de l'alimentation simple +5V

Dimensionnement

Le même raisonnement est utilisé dans ce montage, sauf que le courant débité est encore plus important donc l'utilisation d'une simple diode zener ne suffit plus. Pour cette raison nous utilisons un montage en Darlington de deux transistors amorcé par une diode zener. Ici aussi on doit tenir compte de la tension de jonction du premier transistor pour avoir en sortie une tension d'entrée du régulateur supérieur d'environ 3V de la tension de régulation (5V). On utilise alors une diode de 8V2 qui nous donne une tension d'entrée du régulateur d'environ 9V.

Concernant le condensateur de limitation du courant, le courant maximal est le courant que peut supporter le transistor Q_2 qui est de l'ordre de 0.8 A. Cela dit une autre contrainte subsiste elle réside dans la tailles de condensateur de grande valeur pour cela nous limitons le condensateur à 2μF cela nous donne un courant limite de l'ordre de 140mA qui est largement suffisant pour notre montage.

Le schéma de simulation du circuit est donné dans ce qui suit :

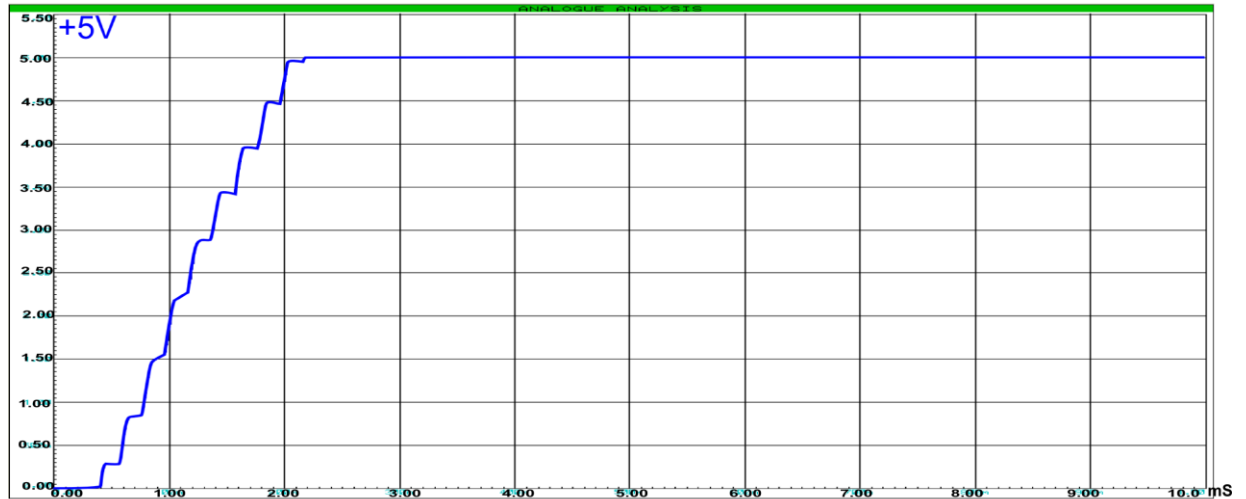


FIGURE III.4
Signal de sortie de l'alimentation +5V

III.3. Partie conditionnement

Pour cette partie nous nous sommes basés sur des schémas essentiellement à base d'amplificateurs opérationnels, pour plus de détails sur le principe de fonctionnement des AOP consulter les références [11] [12] [13] [14] [15].

III.3.1 Conditionnement de la tension

Pour le conditionnement de la tension, le schéma est très simple, il est basé sur un montage inverseur atténuateur. Les valeurs des résistances sont données dans la figure III.5.

Le montage inverseur est suivi d'un redressement mono-alternance et d'un filtrage, pour avoir une valeur continue de la tension qui est étalonnée pour traduire correctement la tension réelle du réseau électrique.

La résistance rajoutée en parallèle de la capacité de filtrage a comme but d'améliorer les caractéristiques dynamiques du montage (décharger la capacité en cas de chute de tension) et cela pour avoir une mesure correcte.

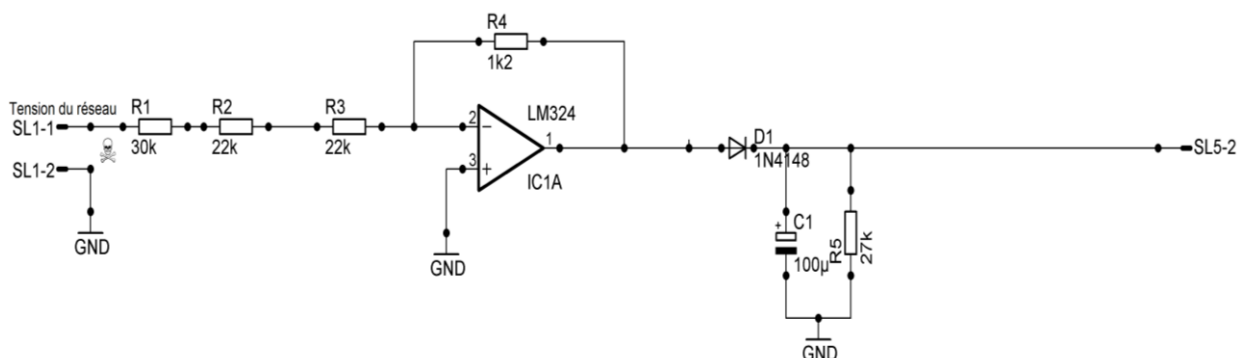


FIGURE III.5
Schéma du conditionnement de la tension

Dimensionnement

Le coefficient d'atténuation du montage à amplificateur opérationnel est égale à :

$$\text{coef}_v = -\frac{R_4}{R_1+R_2+R_3} = -\frac{1,2}{74} = -0,0162 \quad (2.III)$$

Donc pour une tension d'entrée de 220V efficace, la tension crête en sortie sera de $V_{S \text{ crête}} = 5,04$.

Les résistances R_1 , R_2 et R_3 n'ont pas été remplacées par une résistance équivalente à cause de la contrainte « puissance dissipée ». En effet nous avons utilisé des résistances standard $\frac{1}{4}$ de watt, donc une résistance de $74\text{k}\Omega$ aurait vu un courant de 3mA la parcourir et donc devrait dissiper une puissance d'environ 65mW ce qui est exagéré. En décomposant cette résistance en valeur plus réduite, comme le courant est le même, la puissance à dissiper est partager entre ces résistances. On trouve une contrainte de puissance qui ne dépasse pas le quart de watt pour les trois résistances. Le résultat de simulation de ce schéma de conditionnement est donné dans la figure qui suit :

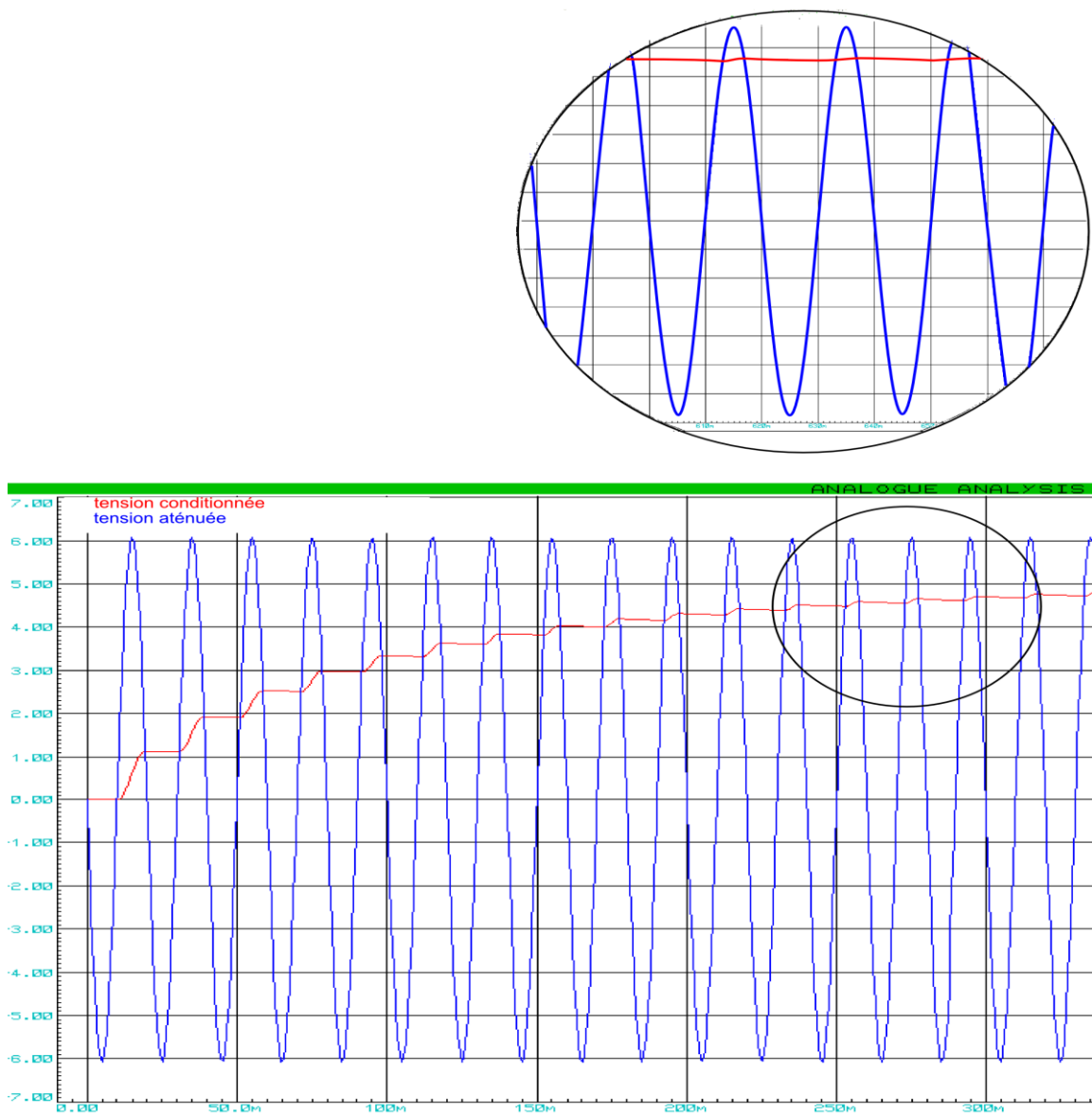


FIGURE III.6
Conditionnement de la tension

III.3.2 Conditionnement du courant

Concernant le courant, le conditionnement s'avère plus compliqué. Dans la mesure où ce dernier n'est pas forcément sinusoïdal. Pour la partie d'atténuation elle reste la même que pour la tension mais pour le redressement et le filtrage, si on adopte le même schéma que pour la tension la mesure sera faussée dans la plupart des situations (voir Annexe A1). La solution la plus évidente est de réaliser un redressement double alternance, mais cela reste impossible car toutes les masses du circuit sont reliées entre elles. La solution à laquelle nous avons abouti est de réaliser un montage qui permet d'avoir un signal semblable à un redressement double alternance. Comme schématisé sur la figure III.7. En aval de ce bloc de redressement nous amplifions le signal obtenu par le biais d'un montage amplificateur non-inverseur.

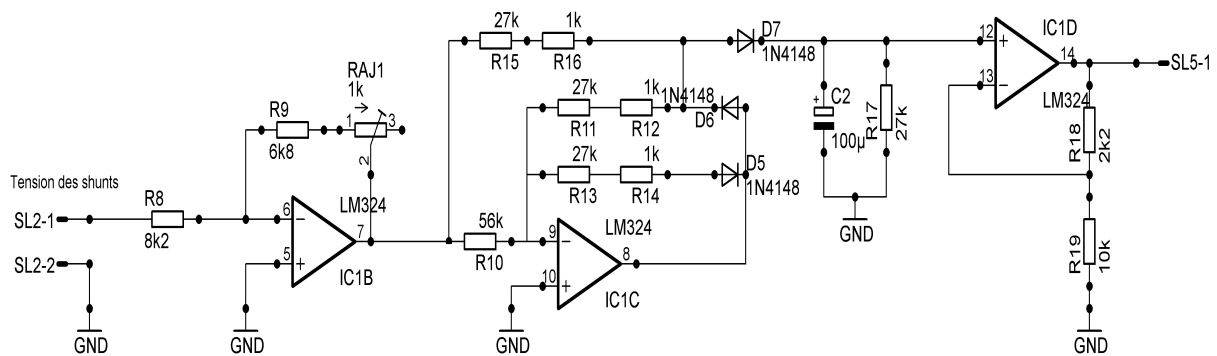


FIGURE III.7

Schéma du conditionnement du courant

Dimensionnement

Le premier étage d'AOP constitue un atténuateur de la tension des shunts de courant dont le coefficient d'atténuation varie entre : 0.83 et 0.95. En aval de cet étage se trouve un montage qui permet d'obtenir un redressement double alternance ou du moins une approximation. Le principe de ce montage est de diviser l'alternance positive par 2, quant à l'alternance négative elle est inversée, puis réduite de la moitié de sa valeur au point de jonction entre D7 et R16. Ce qui nous donne en sortie de cet étage une tension redressée double alternance. En aval de ce second étage un autre montage qui permet d'amplifier le signal précédent. Les résultats de simulations sont donnés dans la figure qui suit:

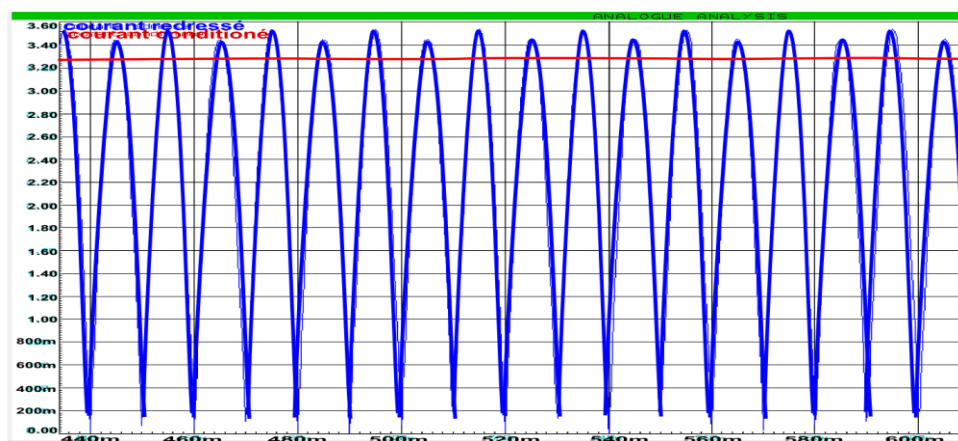


FIGURE III.8

Courant redressé par le redresseur actif (courant du réseau 10 A)

III.3.3 Mesure de fréquence

La mesure de fréquence se fait en aval du bloc de conditionnement de la tension et ceci grâce au montage de la figure III.9, on obtient alors des crénant de tension qui ont la même phase et la même fréquence que la mesure conditionnée.

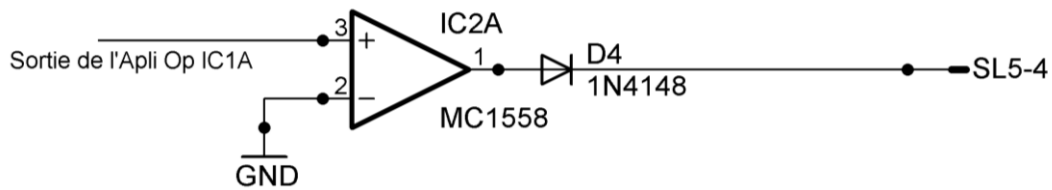


FIGURE III.9

Schéma pour la mesure de la fréquence

Ce montage est dit à hystérésis il utilise la saturation de l'AOP, il génère $+V_{cc}$ si V_+ est supérieure à V_- sinon $-V_{cc}$, on redresse ce signal et on obtient un signal en créneaux qui traduit la fréquence. Ce signal est représenté dans la figure qui suit :

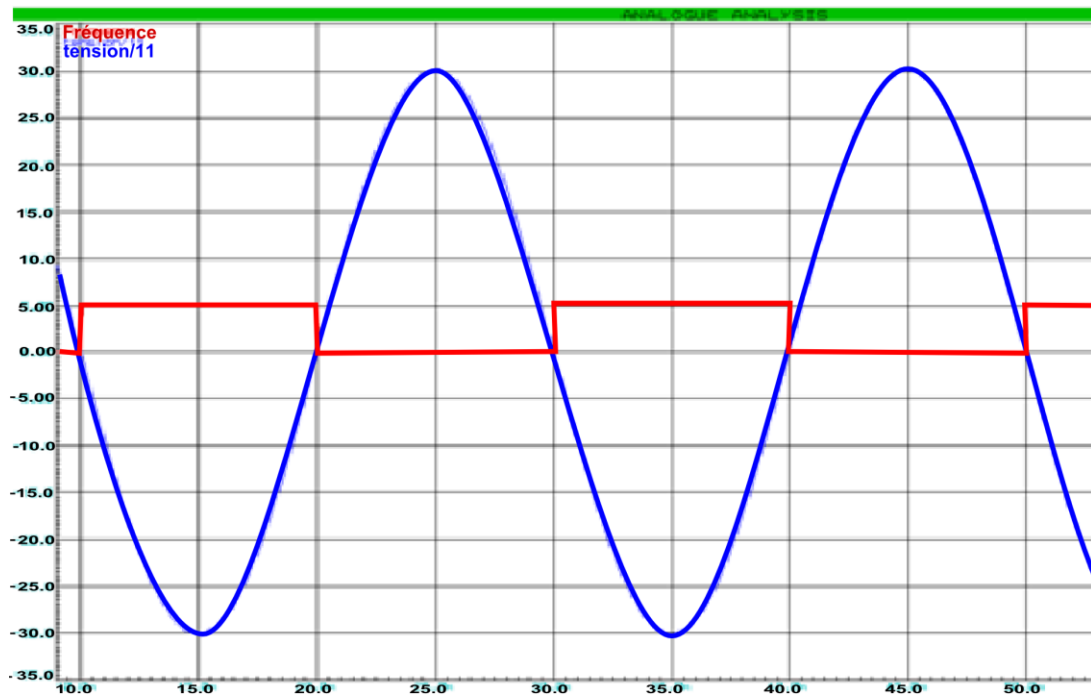


FIGURE III.10

Conditionnement de la fréquence

III.3.4 Mesure de la phase

Ici aussi nous n'adoptons pas la même approche que celle de la fréquence car cette dernière est reliée au courant, donc nous avons réalisé le montage de la figure III.11 qui donne une image fidèle de la phase du courant.

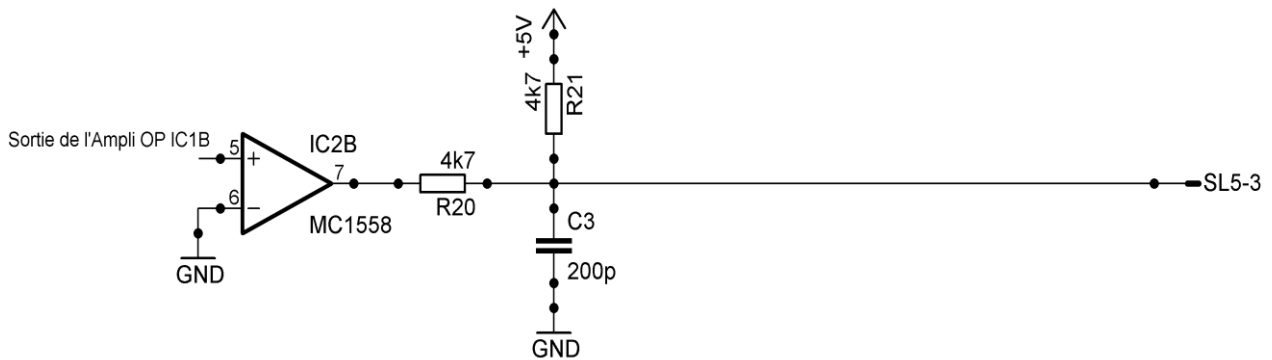


FIGURE III.11

Schéma pour la mesure de la phase

Ce montage utilise le même principe que le précédent sauf qu'au lieu de redresser le signal en sortie de l'AOP ici on le décale de 2.5V et ceci à cause de la manière dont le courant a été conditionné. Le schéma suivant donne l'allure du signal de sortie :

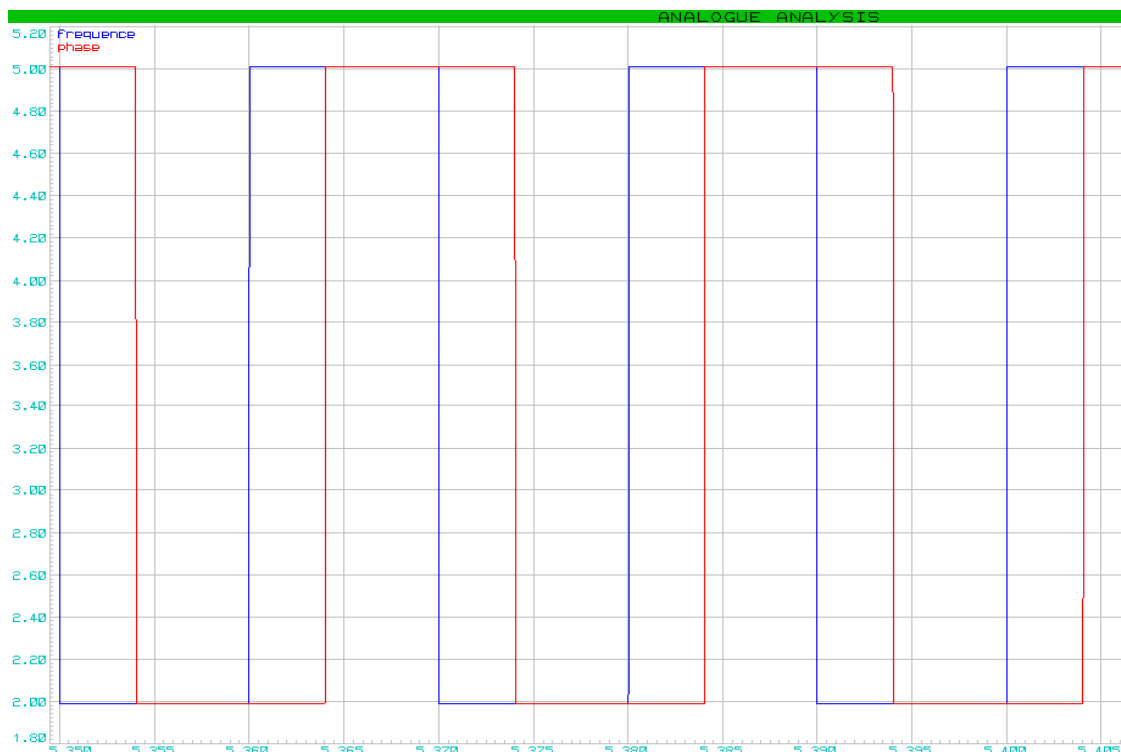


FIGURE III.12

Conditionnement de phase

Remarque

L'absence de circuits intégrés spécialisés ; tels que AD736 ou LTC1966 ou encore MX636 qui, en fonction du signal présent à leur entrées, donne une tension continue à la sortie qui est égale à la valeur efficace du signal d'entrée ; a fait que nous avons dû utiliser un simple redressement suivi d'un filtre pour notre conditionnement.

Toutes les parties du bloc de conditionnement ayant été présentées séparément, nous réunissons le schéma complet qui présente le bloc de conditionnement dans la figure III.13 :

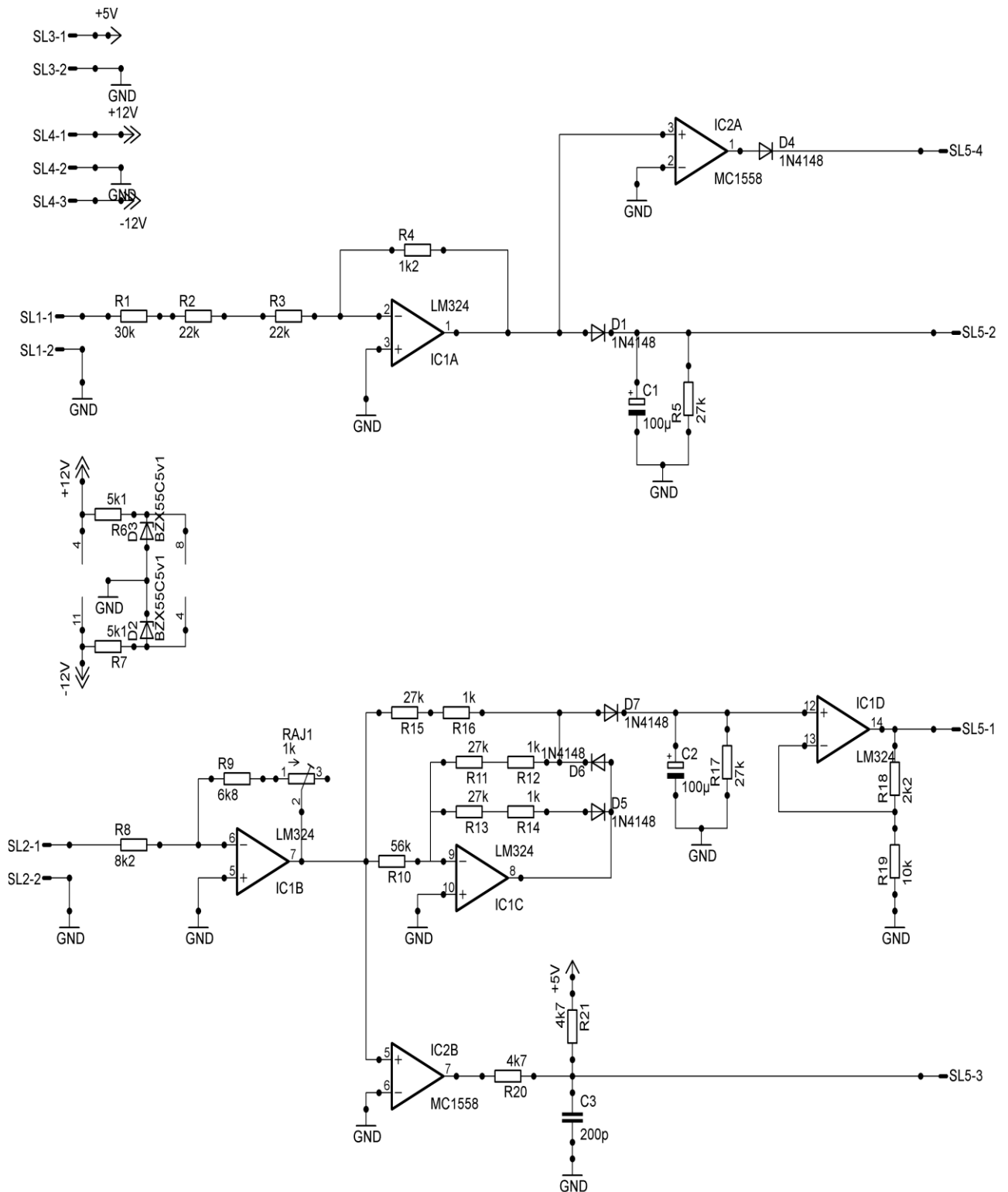


FIGURE III.13

Schéma du bloc de conditionnement

III.4. Partie traitement numérique

Toutes les grandeurs ainsi obtenues et conditionnées elles passent en suite au traitement numérique et cela grâce au microcontrôleur et à ses périphériques. Par périphérique nous insinuons la mémoire EEPROM externe, le clavier, et l’afficheur LCD. Le schéma complet de la partie numérique qui est nécessaire pour le pilotage du compteur électrique est représenté dans la figure III.14.

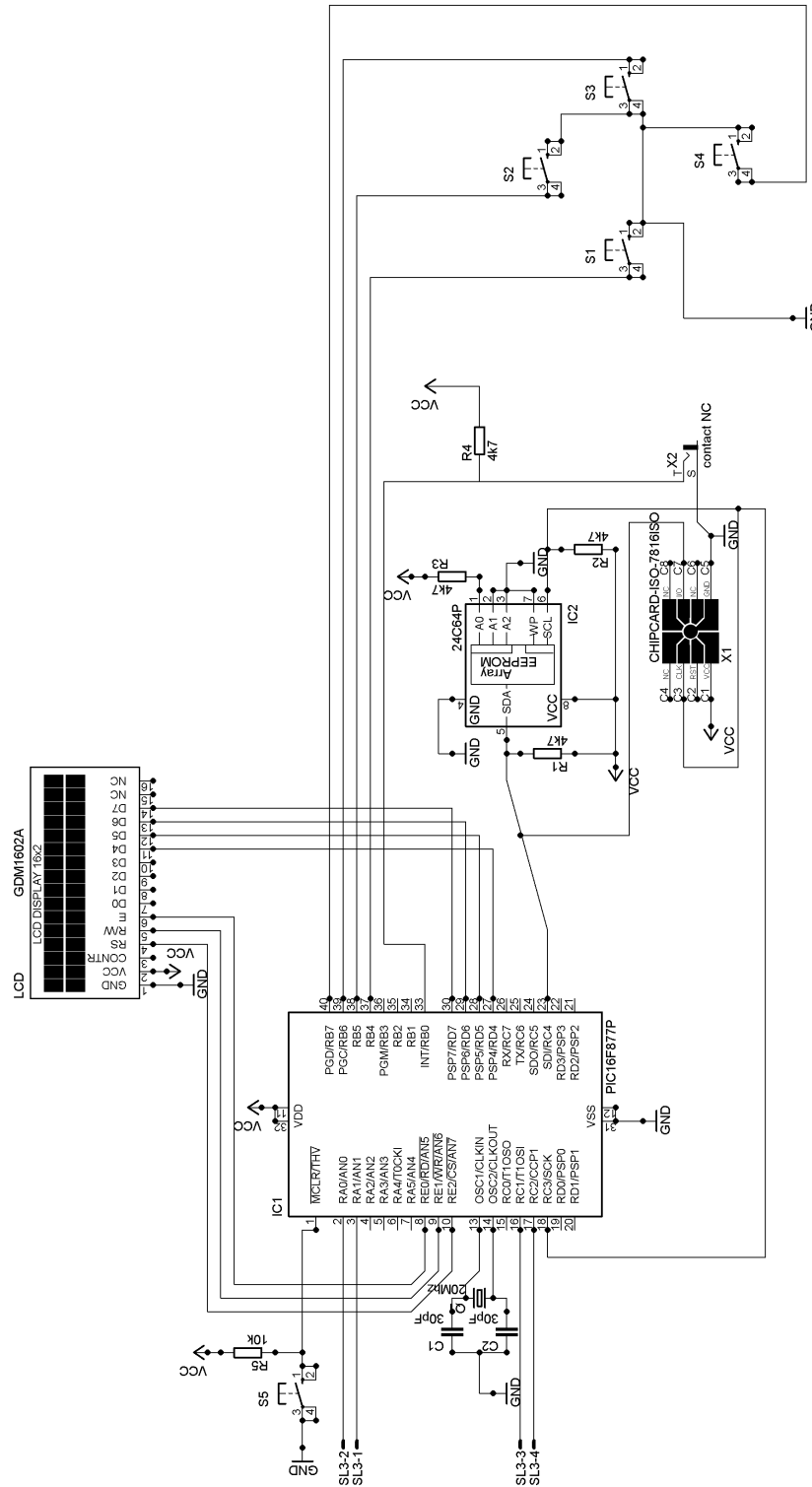


FIGURE III.14

Schéma du bloc de Traitement numérique

Les touches du clavier sont reliées aux branches (B4 à B7) du port B du microcontrôleur et déclenchent une interruption dès que l'une d'elle est enfoncée. Le contact X2 est un contact NF (normalement fermé) qui s'ouvre dès qu'une carte à puce pénètre dans le lecteur déclenchant ainsi une interruption à son tour (c'est l'interruption prioritaire).

Il faut noter que la mémoire EEPROM et le lecteur de carte à puce partagent le bus I²C, la carte à puce ayant l'adresse physique « 000 » et l'EEPROM l'adresse « 001 ».

La fiche de raccordement « SL3 » est un bus de raccordement entre le bloc de conditionnement et le bloc de traitement numérique ayant la disposition suivante :

- SL3-1 : la mesure du courant.
- SL3-2 : la mesure de la tension.
- SL3-3 : la mesure de la phase.
- SL3-4 : la mesure de la fréquence.

III.5. Réalisation de la carte à puce

Vue l'indisponibilité des cartes à puce type mémoire nous avons été contraint d'en réaliser une suivant le schéma présenté dans la figure III.15

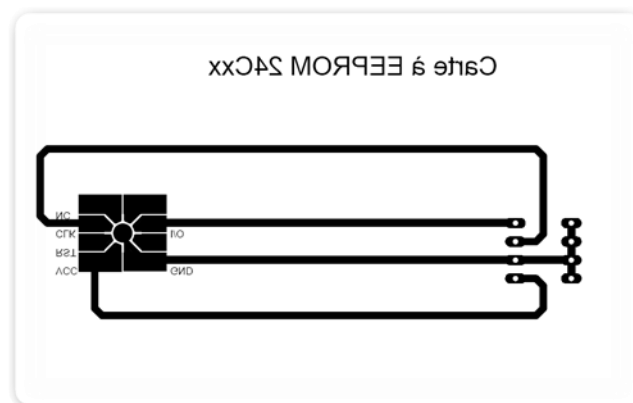


FIGURE III.15

Schéma de la carte à EEPROM

L'utilisation de cette carte sera très simplifiée car comme elle est composée d'une mémoire EEPROM classique nous pouvons la programmer en utilisant un programmeur simple sans avoir recours à un programmeur de carte à puce.

III.6. Organigramme du programme embarqué

Le programme qui gère le système est composé d'un programme principal et d'interruption qui agissent indépendamment l'un de l'autre mais se complètent parfaitement.

Dans le programme principal s'effectue la conversion analogique numérique, le calcul de l'énergie, le stockage sur l'EEPROM et l'affichage du résultat.

Le programme d'interruptions, quant à lui, s'occupe de la mesure du temps, de la fréquence, du déphasage, de la gestion du clavier, et de la carte à puce.

Tout le programme et les sous-programmes ont été réalisés en assembleur Microchip.

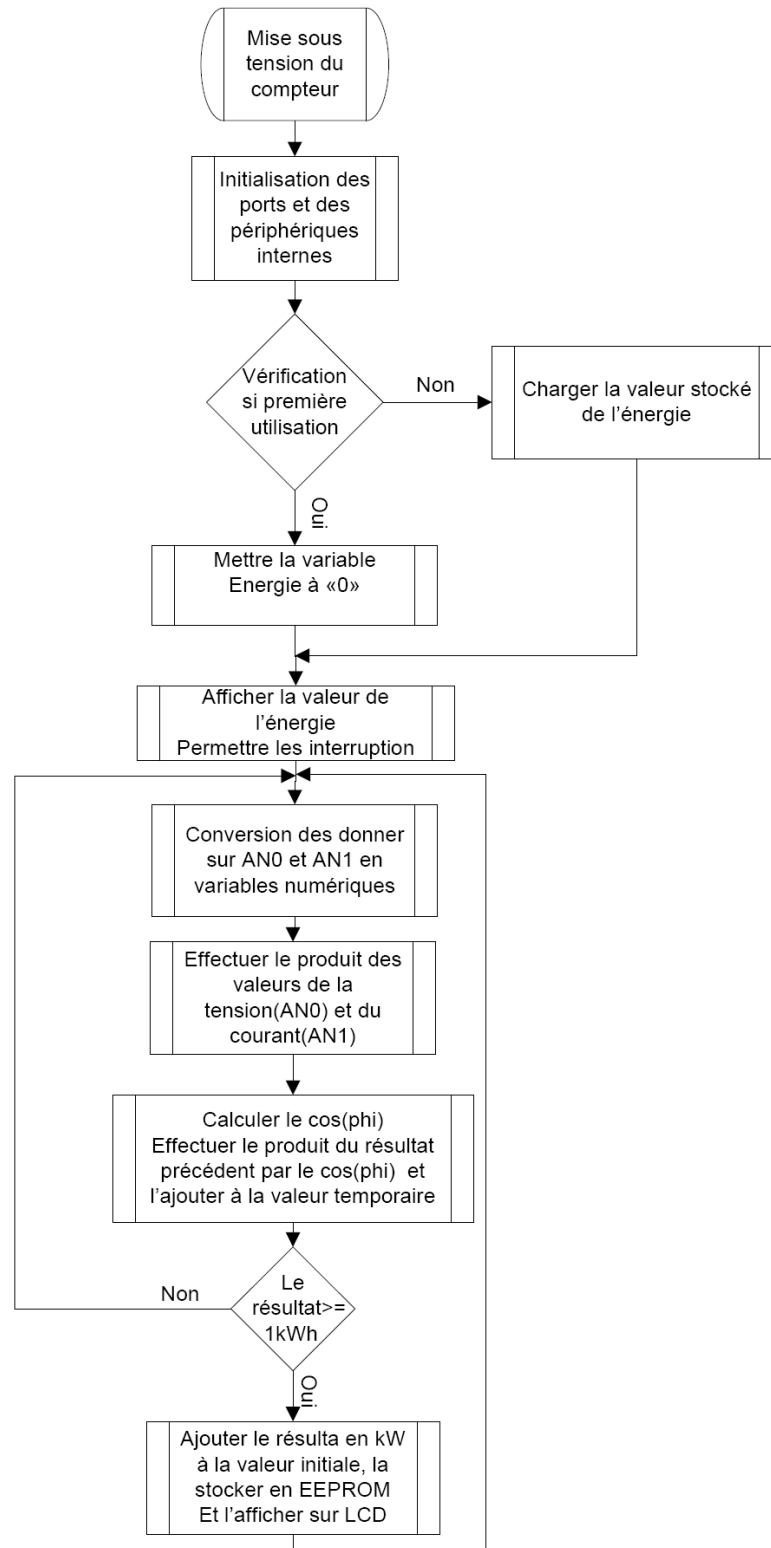


FIGURE III.16

Organigramme du programme principal

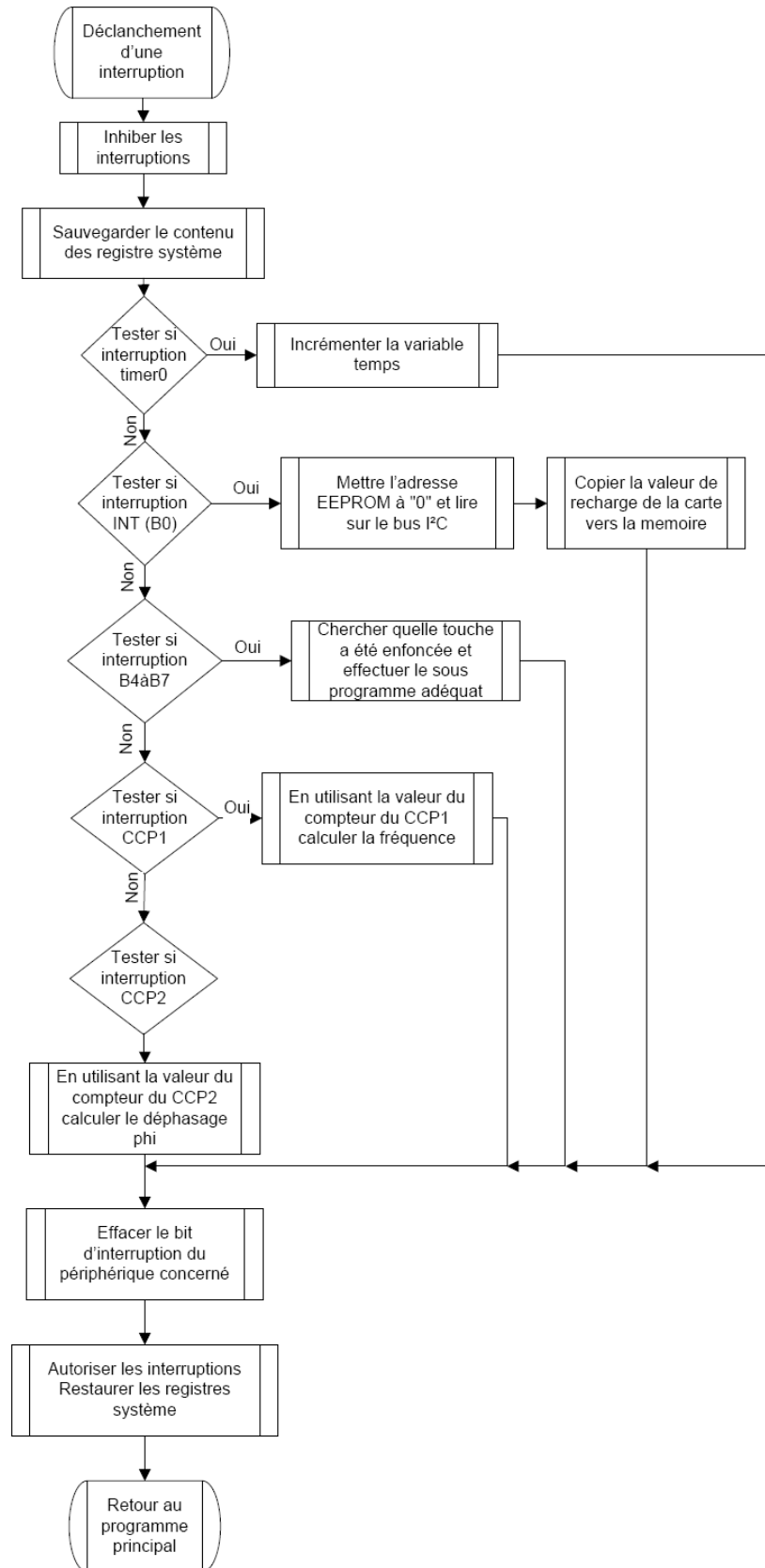


FIGURE III.17

Organigramme du programme d'interruptions

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le compteur électrique dans sa conception primaire, c'est-à-dire, la partie de comptage d'énergie sans la communication. Nous avons en outre présenté des schémas de montage des différentes parties de ce dernier, ainsi que l'organigramme du programme qui gère le système.

Dans le chapitre qui suit nous allons introduire le principe de courants porteur, concevoir un système de communication basé sur ce principe et l'intégrer dans le compteur déjà présenté.

Chapitre IV.

Le système de communication par courants porteurs

IV. Le système de communication par courants porteurs

IV.1. Introduction

Les CPL (courants porteurs en ligne) sont une technologie d'accès à haut débit, qui utilise le réseau électrique moyenne et basse tension pour fournir des services de télécommunications.

Producteurs et distributeurs d'énergie électrique ont depuis longtemps utilisé le réseau électrique pour contrôler le réseau et le piloter à distance à bas débit.

De nos jours, un producteur ou un distributeur d'électricité ne peut ignorer la normalisation.

Il est intéressant de remarquer que c'est en raison du déploiement des réseaux électriques, de leur interconnexion et du nombre sans cesse croissant d'appareils électriques, que les premiers organismes de normalisation réseau sont apparus, à l'image de la CEI (Commission électrotechnique internationale).

IV.2. Les technologies CPL

La technique des CPL n'est pas récente dans son principe. Dès 1838, en Angleterre, Edward Davy a proposé une solution permettant de mesurer à distance les niveaux de batterie des sites éloignés du système télégraphique entre Londres et Liverpool. En 1897, il présentait le premier brevet (British Patent N° 24833) d'une technique de mesure à distance des compteurs du réseau électrique communiquant sur les câbles électriques. Appelés Ripple Control, les premiers systèmes CPL ont été élaborés puis déployés sur les réseaux électriques moyenne tension et basse tension en 1950. La fréquence porteuse était alors comprise entre 100Hz et 1kHz. Il s'agissait d'établir des communications monodirectionnelles via des signaux de commande pour l'allumage et l'extinction à distance des éclairages publics ou encore pour des changements tarifaires. [16]

Les premiers systèmes industriels sont apparus en France en 1960 sous le nom de Pulsadis.

Les puissances mises en jeu avoisinaient la centaine de kilovoltampères (kVA). Ce n'est qu'ensuite qu'apparurent les premiers systèmes CPL de la bande dite Cenélec, s'étendant de 3 à 148,5 kHz et permettant des communications bidirectionnelles sur le réseau électrique BT (basse tension) afin, par exemple, de pratiquer des relevés de compteurs (télérélevé), ainsi que bon nombre d'applications relevant du domaine de la domotique (alarme d'intrusion, détection d'incendie, détection fuite de gaz, etc.). Les puissances injectées étaient beaucoup moins importantes que les précédentes, puisque réduites à des niveaux de l'ordre d'une centaine de milliwatts. [16]

L'expression « courants porteurs en ligne », communément abrégée CPL, est apparue à la fin de la Seconde Guerre mondiale, en 1945. À l'époque, beaucoup de lignes téléphoniques et électriques étaient détruites, mais il restait davantage de lignes électriques d'infrastructure que de lignes téléphoniques. Pour des besoins de communication, des systèmes ont été conçus afin de transmettre des données sur les câbles hautes tension ou moyenne tension, en s'inspirant des télérélevés déjà effectués sur les lignes électriques.

IV.3. Normalisation de la technologie CPL

Il n'existe pas un standard CPL généralisé, mais il existe un bon nombre de normalisations, la plus utilisée est celle de la CENELEC (Comité européen de normalisation électrotechnique). [16]

Le signal CPL étant un signal modulé en amplitude, fréquence ou phase autour d'une fréquence porteuse F , il est nécessaire de mettre en place des règles d'utilisation de chaque bande de fréquences entre 0 et quelques dizaines de gigahertz par le biais d'organismes de régulation telle que la CENELEC.

Deux bandes de fréquences sont allouées aux technologies CPL :

- 3 à 148 kHz pour les CPL dits bas débit ;
- 2 à 20 MHz pour les CPL dits haut débit.

La figure IV.1 illustre la place des fréquences CPL relativement à d'autres technologies réseau. [17]

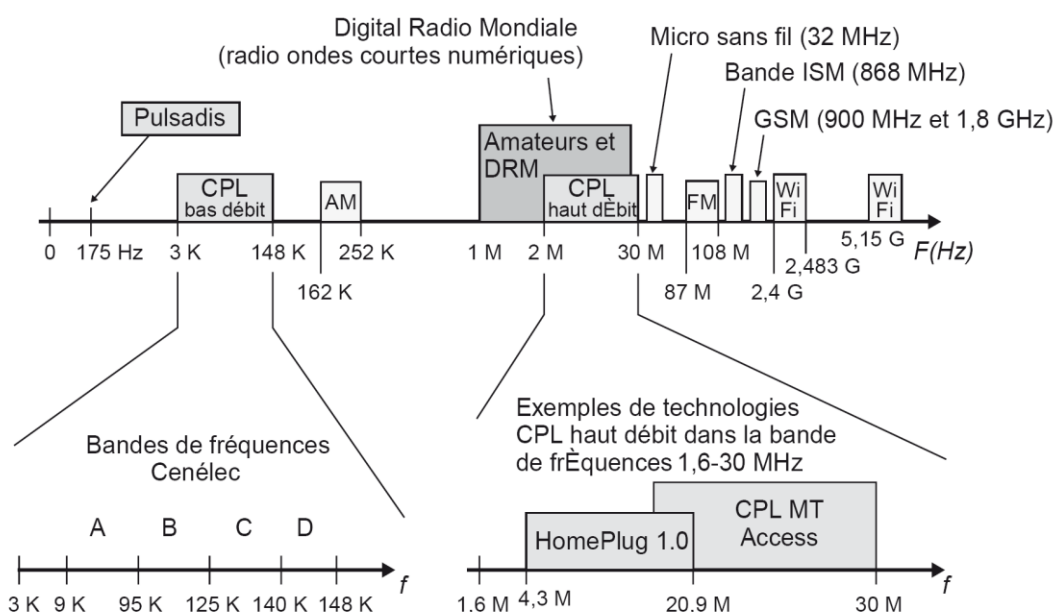


FIGURE IV.1

Bandes de fréquences utilisées par les réseaux CPL

La bande de fréquence CENELEC ou encore dites « bas débit » du CPL est subdivisée à son tour en intervalles de fréquences qui sont récapitulés dans le tableau suivant : [17]

Bande Cenélec	Bande de fréquences	Utilisation
	3-9 kHz	Limitée aux opérateurs de réseaux électriques (EDF, régies) pour leurs besoins propres, comme la télérelève
A	9-95 kHz	Limitée aux opérateurs de réseaux électriques
B	95-125 kHz	Usage domotique (babyphones, etc.)
C	125-140 kHz	Usage domotique (X10, etc.)
D	140-148 kHz	Usage domotique

NB : le tableau précédant a été recopié d'un livre qui traite de l'application du CPL en France d'où la citation d'EDF

Pour faire face à la multiplicité des spécifications et technologies CPL présentes dans les réseaux électriques domestiques, professionnels et publics, une norme d'interopérabilité est en cours d'élaboration. Le support de communication qu'est le réseau électrique étant partagé, ces différentes technologies cohabitent sur les câbles électriques dans les mêmes bandes de fréquences. Les différents acteurs du CPL travaillent donc de concert au sein de l'IEEE et du CEPCA (Consumer Electronics Powerline Communication Alliance) afin de les rendre interopérables.

IV.4. **Avantage et inconvénient des CPL**

Comme tout système viable, les CPL présentent des avantages par rapport aux technologies concurrentes, mais également des inconvénients.

Parmi les inconvénients, citons en premier lieu l'imaturité relative des produits concernant « l'outdoor » (réseaux extérieurs) et l'« access » (réseaux d'accès). Dans le cas du haut débit, le problème est essentiellement lié à la compatibilité électromagnétique et au respect des contraintes d'émission.

Les principaux avantages des CPL sont les suivants :

- utilisation du réseau électrique existant, ce qui implique une couverture potentielle de la totalité du pays considéré ;
- déploiement rapide ;
- pas de câblage supplémentaire ;
- méthode de cryptage robuste.

IV.5. **Réalisation du système de communication CPL**

Dans la réalisation du système communication par courants porteurs, nous avons préféré réaliser un bloc totalement indépendant du système déjà réalisé dans le chapitre précédent, si ce n'est que la liaison avec le Tx et Rx du microcontrôleur. Ce bloc de communication se décompose comme suite :

- Une partie alimentation
- Une partie Modulation
- Une partie démodulation

Ces différentes parties compose les deux extrémités du système, c.à.d. l'extrémité coté compteur électriques et celle coté opérateur.

A l'extrémité coté opérateur on rajoute un max232 pour l'interfaçage avec un ordinateur.

IV.5.1 **Partie alimentation**

On réalise un montage classique d'une alimentation à base d'un transformateur, redresseur, filtre et régulateur de tension. On utilisera une tension régulée de 8v.

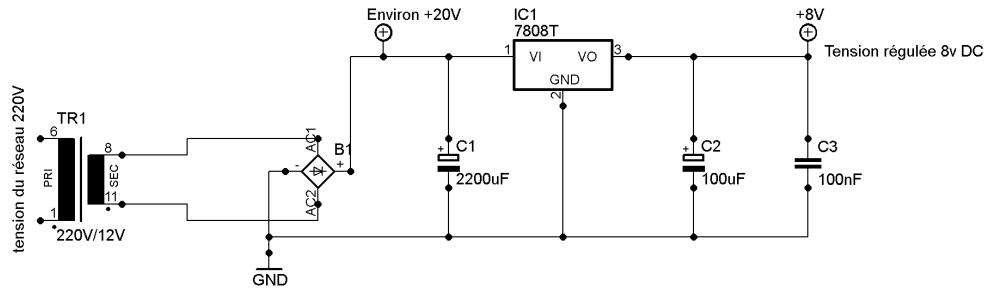


FIGURE IV.2

Schéma de l'alimentation du module CPL

IV.5.2 Partie Modulation

Dans cette partie est créée la porteuse du signal à moduler ainsi que l'injection dans le réseau électrique.

Pour la génération de la porteuse nous avons choisi un montage très simple et facile à gérer, il est basé sur un circuit à base de porte logique « NAND », en utilisant le circuit CMOS 4011.

Le montage ainsi obtenu constitue un oscillateur commandé par le signal à transmettre Tx, donc si : Tx=1 implique génération de la porteuse.

Tx=0 implique non génération de porteuse

On réalise ainsi une modulation des plus simples qui est appelée « modulation tout ou rien »

La fréquence de la porteuse dépend des valeurs de la capacité et de la résistance ainsi que du temps de raiponce des portes logiques qui constituent l'oscillateur

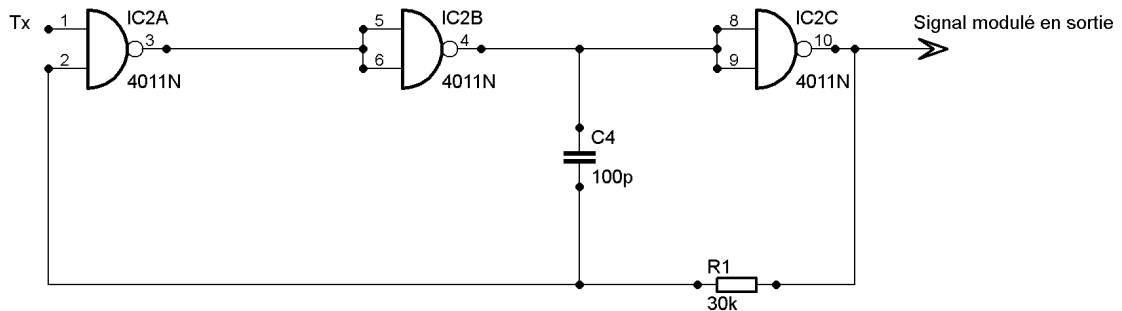


FIGURE IV.3

Schéma du modulateur tout ou rien

En raison des moyens disponibles et de la puissance mise en jeu, nous avons choisi comme la fréquence de la porteuse d'une valeur d'environ 140 kHz, ceci pour limiter le courant injecté dans le réseau, et donc ne pas avoir à utiliser des composants supportant un courant important (transfo, transistor, etc.) donc, nous avons utilisé la bonde de fréquence CENELEC D.

Pour l'injection du signal modulé dans le réseau électrique nous utilisons un montage à base de transistor bipolaire montés de sorte à former un Darlington. Les signaux délivrés par le modulateur sont fortement amplifiés, par ce montage, dont les collecteurs sont reliés à travers une résistance à l'armature positive du condensateur de filtrage C1 de la figure IV.2, où est présente une tension légèrement ondulée de 20V environ. Ces signaux sont injectés en suite dans le réseau à travers des condensateurs de couplages, qui réalisent par la même une isolation galvanique du montage.

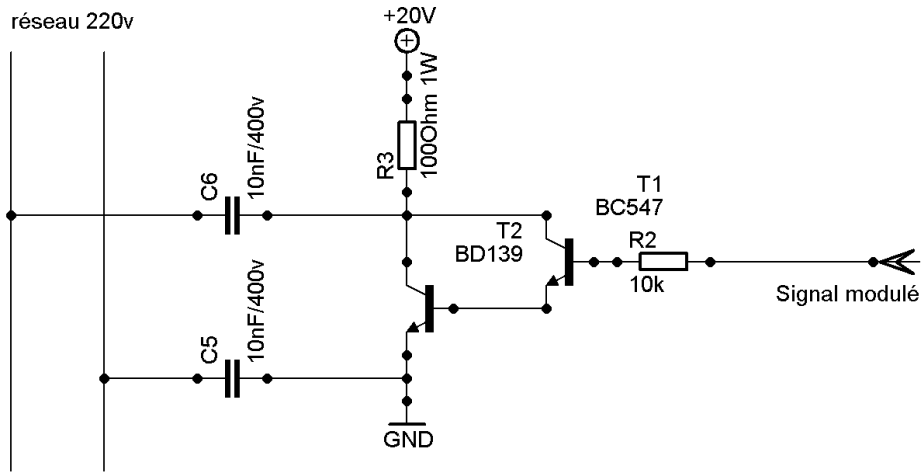


FIGURE IV.4

Schéma du Bloc d'injection du signal modulé

Le schéma global de l'émetteur est donné dans la figure IV.5.

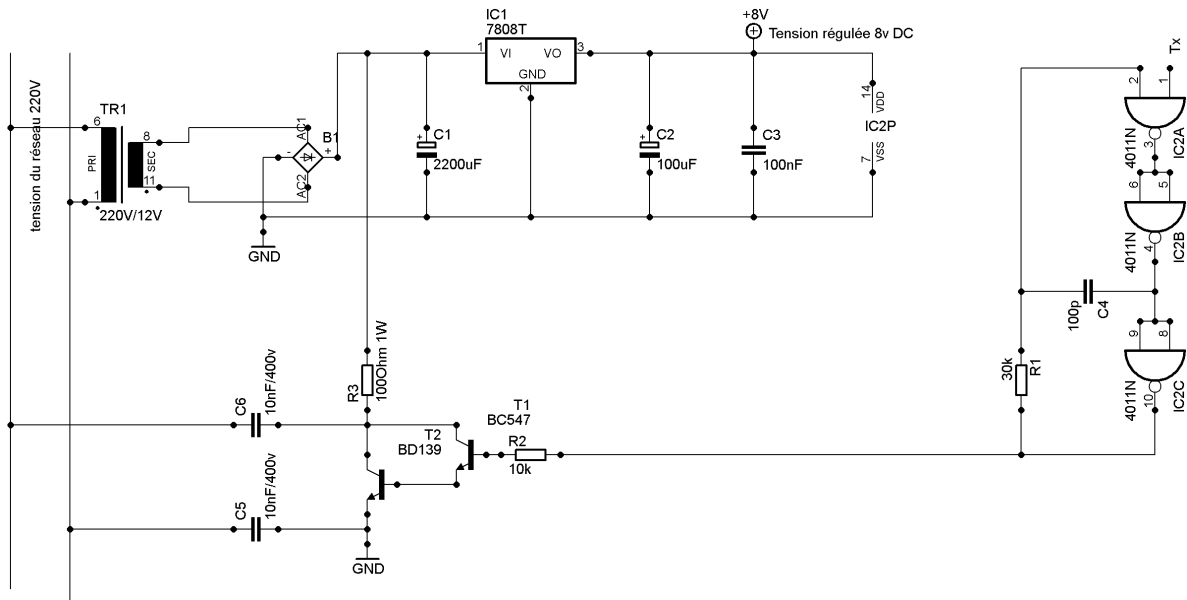


FIGURE IV.5

Schéma du Bloc émetteur

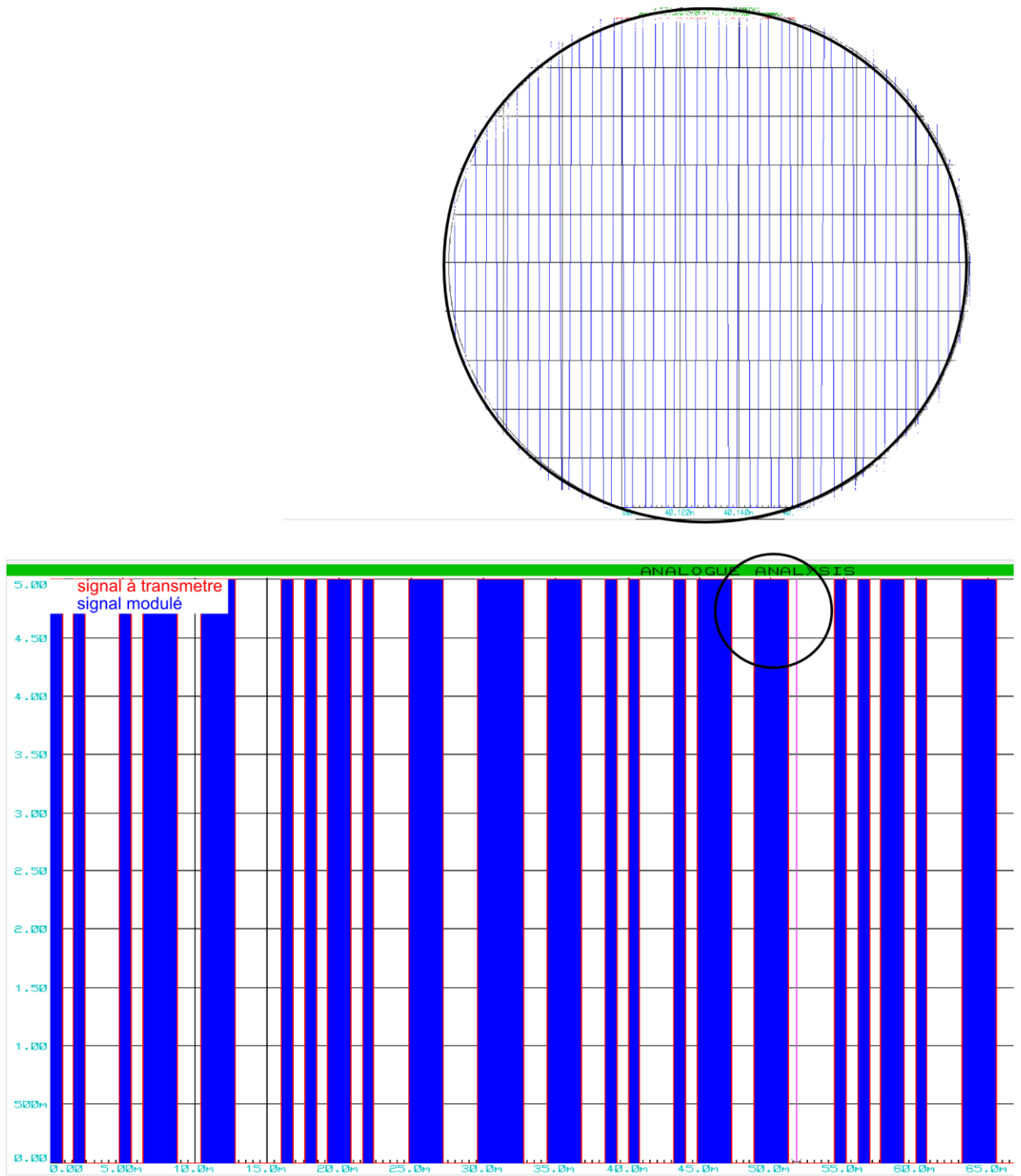


FIGURE IV.6

Modulation tout ou rien d'un signal de données

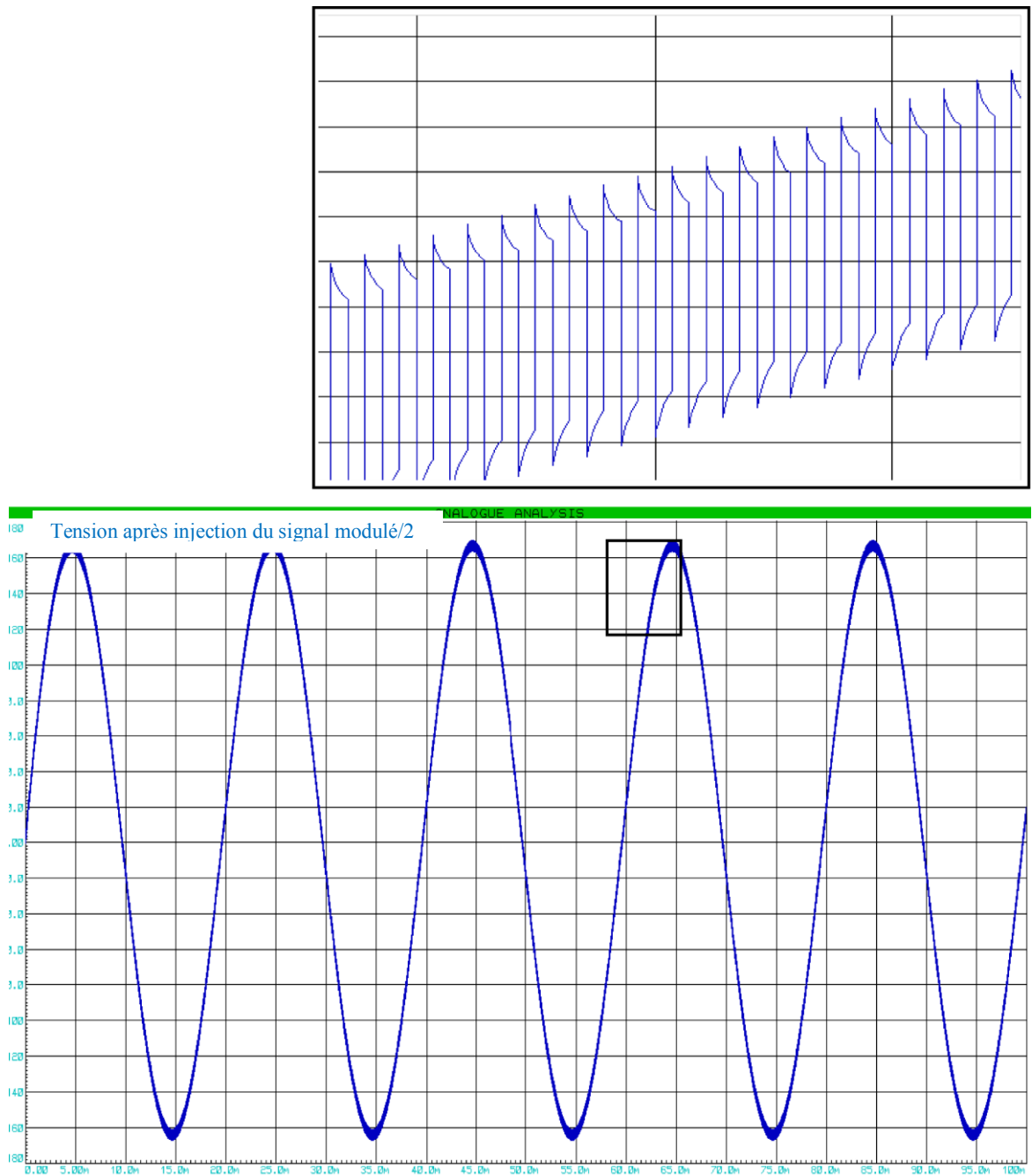


FIGURE IV.7

Injection du signal modulé dans le réseau

IV.5.3 Partie démodulation

Le démodulateur a pour rôle la récupération du signal initial (avant modulation) pour pouvoir exploiter les informations qu'il véhicule. Le démodulateur que nous avons réalisé comporte trois parties. La partie alimentation est partagée avec le modulateur sus-cité. La partie filtrage qui a pour rôle d'éliminer la tension du réseau électrique (les 50 Hz) et ne garder que le signal modulé (les 140 kHz). Les signaux en sortie de ce filtre sont pris en compte par un premier étage amplificateur dont le cœur est le transistor T_3 , celui-ci est monté

en émetteur commun. Sa base est polarisée de façon à obtenir un potentiel de repos de l'ordre de 7v au niveau du collecteur. Le coefficient d'amplification se trouve augmenté grâce à la capacité montée en parallèle à la résistance d'émetteur.

Le transistor T_4 également monté en émetteur commun compose l'étage final de la partie amplificatrice et réalise la mise en forme du signal. Sa base est polarisée de façon à ce que le potentiel collecteur soit nul en situation de veille. En présence de signaux délivrés par T_3 et transmis par la capacité de liaison, on observe sur son collecteur une suite d'impulsions positive qui sont l'image inverse du signal original (basse fréquence). La porteuse 140 kHz se trouve en effet éliminée grâce au filtrage réalisé par le condensateur mis en parallèle de la résistance d'émetteur de T_4 .

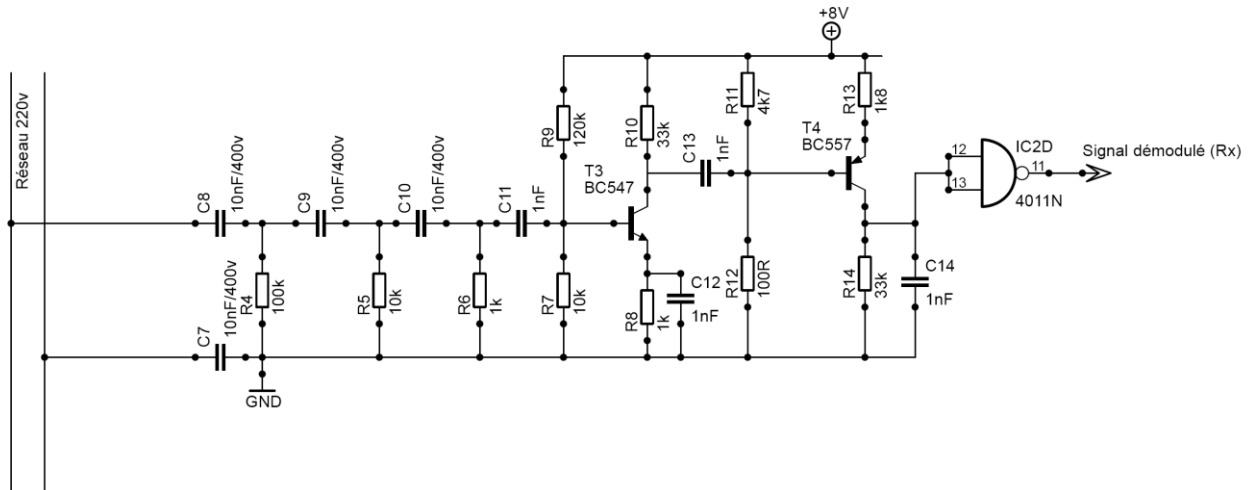


FIGURE IV.8

Schéma du Bloc récepteur

Ces deux schéma présentés constituent le modem tout ou rien pour la communication par courants porteurs. L'entrée Tx et la sortie Rx de ce modem sont branchées coté compteur sur les broches 25 et 26 respectivement du microcontrôleur PIC. Et elles sont branchées coté opérateur sur les broches 12 et 11 respectivement d'un circuit intégré MAX232 qui assurera la liaison avec un Ordinateur.

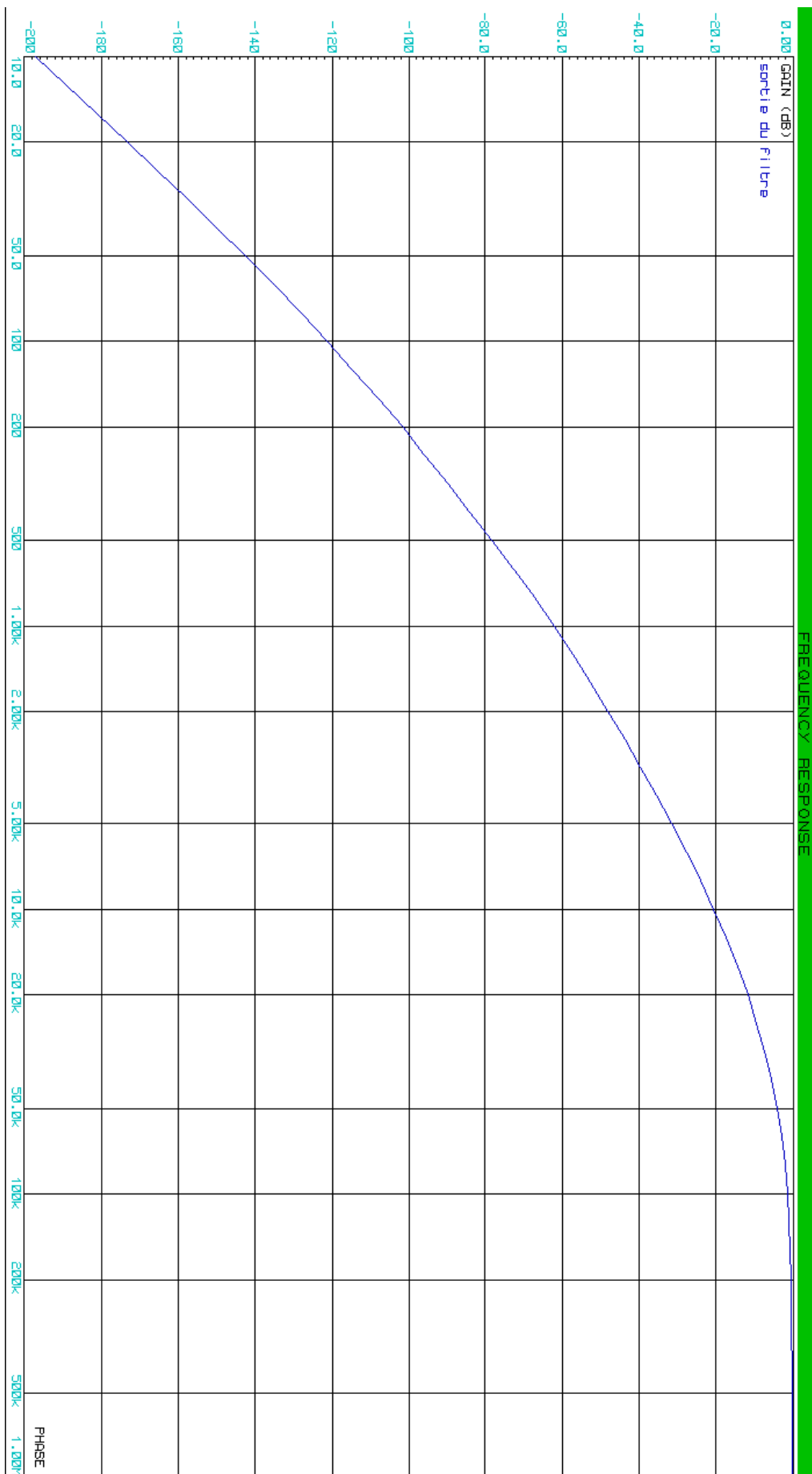


FIGURE IV.9
Réponse du filtre

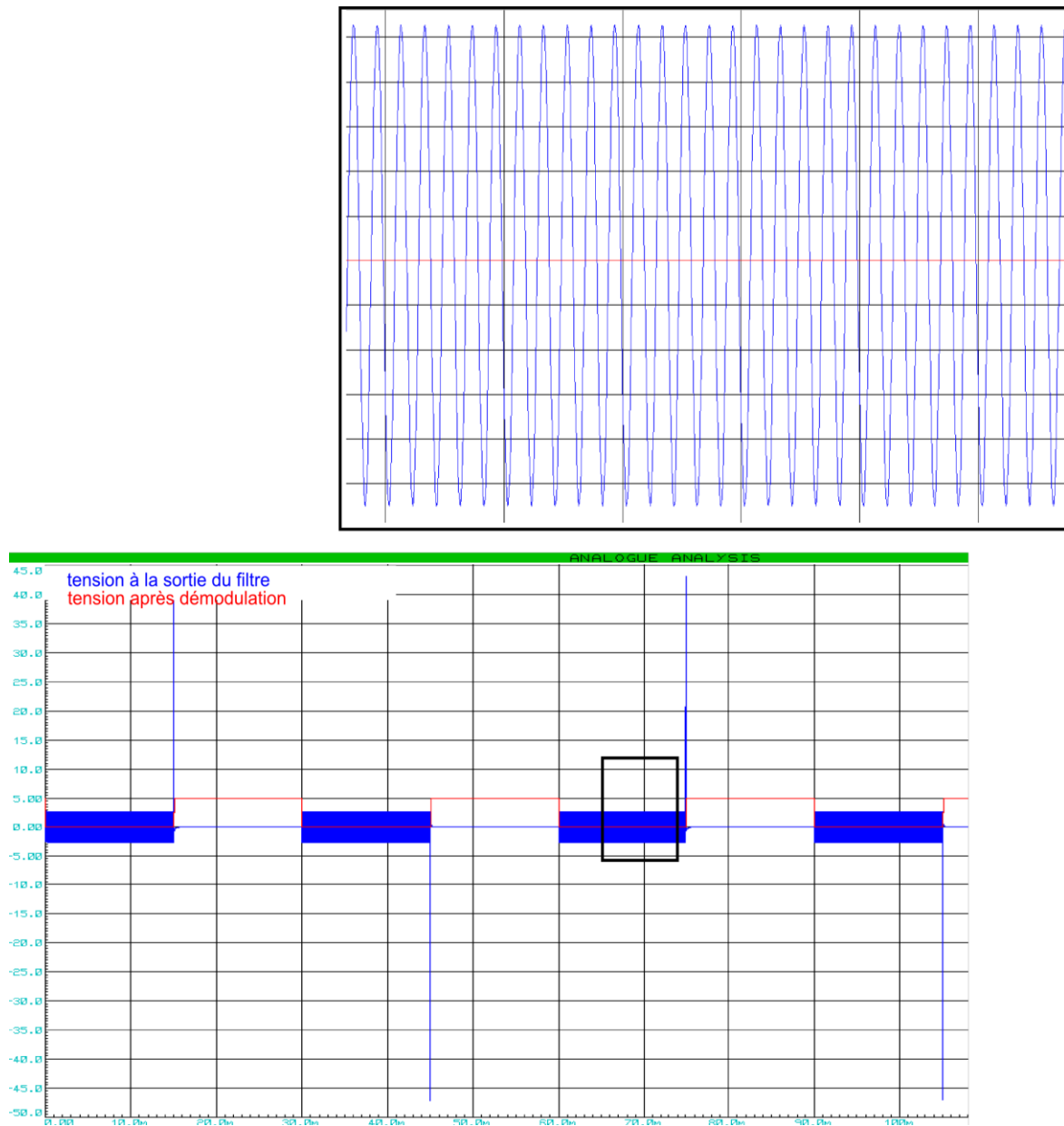


FIGURE IV.10

Signal après démodulation

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un bref aperçu sur la technologie CPL, et nous avons proposé un montage basé sur une modulation tout ou rien qui effectue la liaison entre le compteur électrique- le réseau – l'opérateur (ou téléleveur) et vis versa.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons réalisé une conception d'un compteur d'énergie électrique. Grâce à une étude bibliographique, nous avons présenté un bref aperçu sur les différentes technologies utilisées dans le comptage de l'électricité, et parmi elles, nous avons choisi le type numérique. Selon les besoins, nous avons établi un cahier des charges dans lequel nous avons précisé les spécificités du compteur et les différents organes qui le constituent.

En partant de ce cahier de charge, nous avons dimensionné des différents organes et choisi les composants adéquats pour le bon fonctionnement du compteur. Nous avons aussi écrit un code sous l'assembleur MICROCHIP qui gère le fonctionnement total du compteur électrique.

En suite, nous avons entamé la partie communication entre les différentes parties du montage en réalisant un modulateur, un démodulateur et une interface électronique basée sur un MAX 232 qui permet la communication vers un ordinateur. Pour gérer la communication entre le compteur et l'ordinateur un programme a été écrit sous environnement VISUAL BASIC qui gère la communication RS232.

Faute de moyens pratiques et de temps, nous n'avons pas pu achever la partie expérimentale du projet. De ce fait nous nous sommes limités à donner des résultats de simulations des différents blocs composant le compteur électrique.

Comme perspective, il serait intéressant d'achever la réalisation pratique, en exploitant l'étude, le dimensionnement et la simulation réalisés en vue de commercialiser le dispositif.

Annexes

Annexe A.1

Le conditionnement
du courant électrique.

Dans le conditionnement du courant, si on utilise un schéma semblable à celui de la tension (figure III.3) et pour une charge qui consomme un courant non symétrique (comme pour un sèche cheveux par exemple) on aura un conditionnement qui donne des résultats comme montré dans la figure A1.1 qui sont erronés.

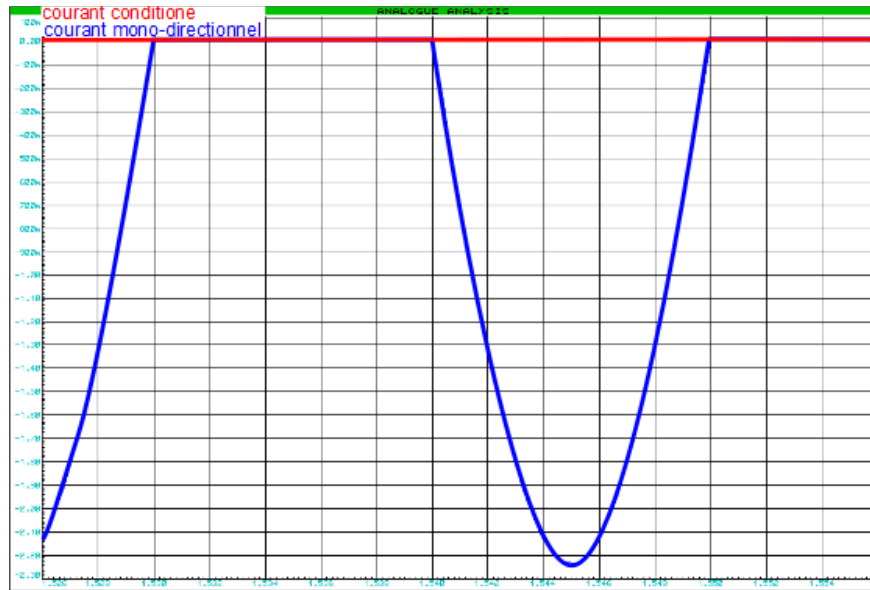


Figure A1.1

Par contre si on utilise le schéma de la figure III.4 on aura alors ce qui suit :

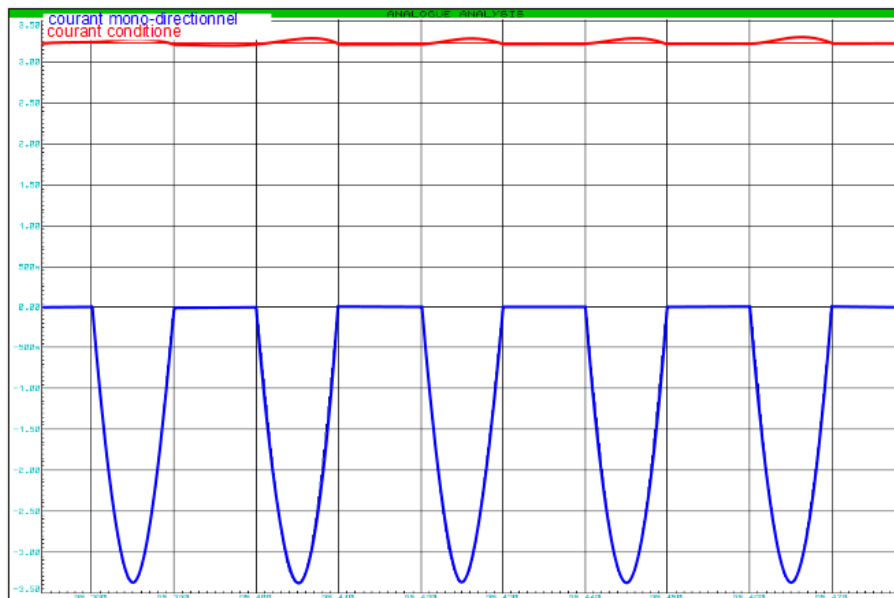


Figure A1.2

De même pour le déphasage. Pour un conditionnement comme celui de la fréquence (figure III.5) on aura la figure A1.3. Tandis qu'on va avoir la figure A1.4 en utilisant le conditionnement de la figure III.6.

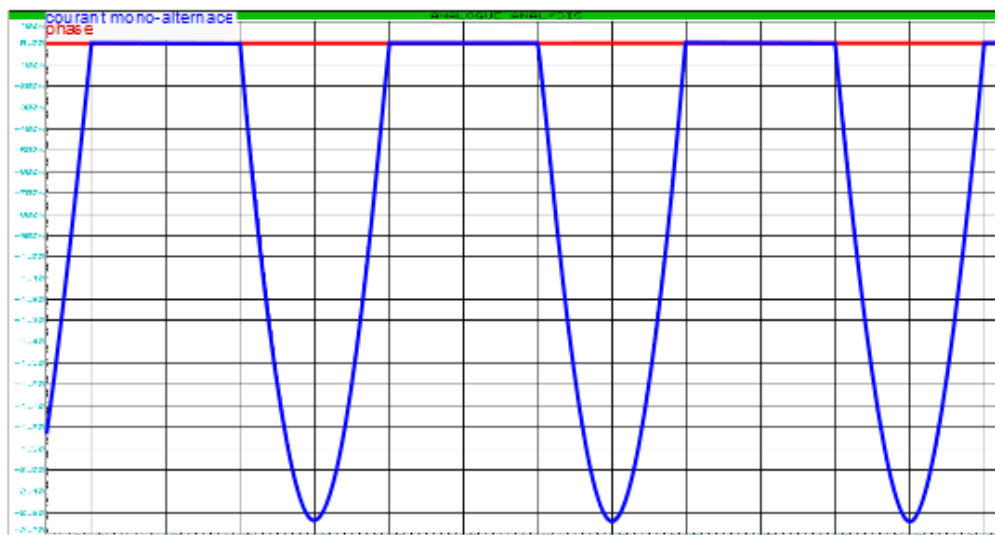


Figure A1.3

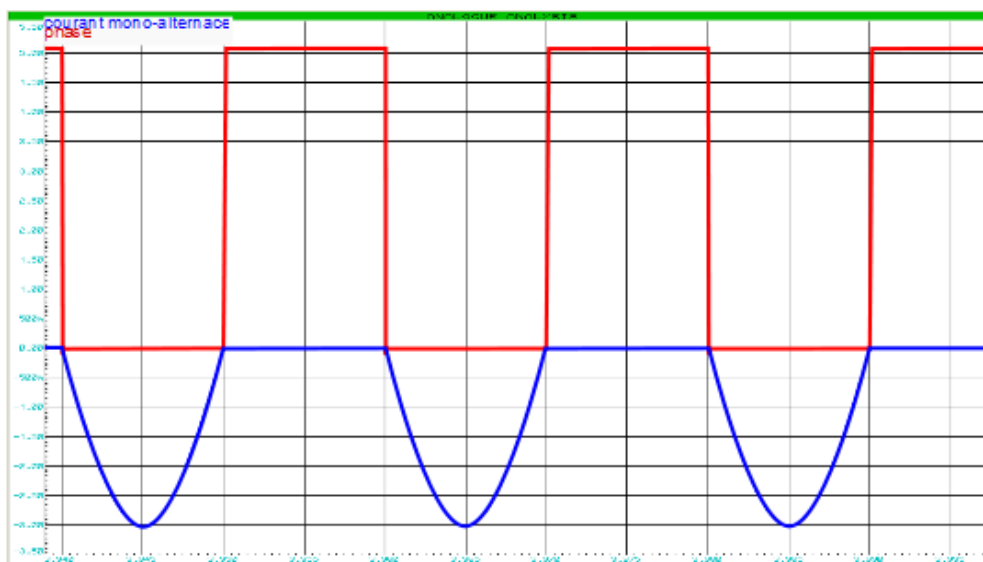
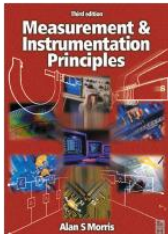


Figure A1.4

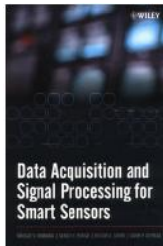
Bibliographie



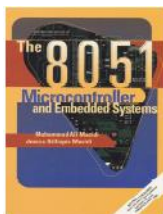
[1] **Alan S. Morri**, “Measurement and Instrumentation Principles”, 3ème édition, Edition Butterworth-Heinemann, 2001.



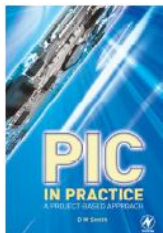
[2] **Walt Boyes**, “Instrumentation Reference Book”, 3ème édition; Edition Butterworth-Heinemann, 2003.



[3] **Nikolay V. Kirianaki, Sergey Y. Yurish, Nestor O. Shpak, Vadim P. Deynega**, “DATA ACQUISITION AND SIGNAL PROCESSING FOR SMART SENSORS”, Edition John Wiley & Sons Ltd, 2002



[4] **Muhammad Ali Mazidi, Janice Gillispie Mazidi, Rolin D. McKinlay**, “The 8051 Microcontroller and Embedded Systems”, Edition Prentice Hall,



[5] **D. W. Smith**, “PIC in Practice”, Edition Newnes, 2006



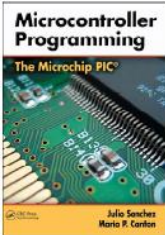
[6] **Martin Bates**, “Interfacing PIC Microcontrollers”, Edition Newnes, 2006



[7] **HARPRIT SINGH SANDHU**, “MAKING PIC® MICROCONTROLLER INSTRUMENTS AND CONTROLLERS”, Edition McGraw-Hill, 2009



[8] **Lucio Di Jasio, Tim Wilmshurst, Dogan Ibrahim, John Morton, Martin Bates, Jack Smith, D.W. Smith, and Chuck Hellebuyck**, “PIC Microcontrollers”, Edition Newnes, 2008.



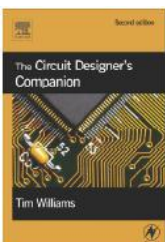
[9] **Julio Sanchez, Maria P. Canton**, Edition “Microcontroller Programming The Microchip PIC®”, CRC Press, 2007.



[10] **MYKE PREDKO**, “PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE PIC® MICROCONTROLLER”, 3ème edition, Edition McGraw-Hill, 2008



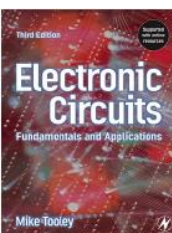
[11] **Walt Jung, Editor with the technical staff of Analog Devices**, “Op Amp Applications Handbook”, Edition Newnes, 2005



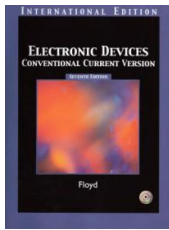
[12] **Tim Williams**, “The Circuit Designer’s Companion”, 2ème edition, Edition Newnes, 2005



[13] **T.H. Wilmshurst**, “Analog Circuit Techniques with Digital Interfacing”, Edition Newnes, 2001



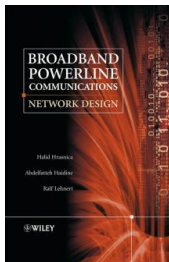
[14] **Michael Tooley BA**, “Electronic Circuits: Fundamentals and Applications”, 3ème edition, Edition Newnes, 2006



[15] **Thomas L. Floyd** , “ELECTRONIC DEVICES”, 3ème edition, Edition Prentice Hall,2005



[16] **Xavier Carcelle**, “Réseaux CPL par la pratique”, Edition eyrolles, 2006



[17] **Halid Hrasnica, Abdelfatteh Haidine, Ralf Lehnert**, “Broadband Powerline Communications Networks”, Edition John Wiley & Sons Ltd, 2004