



ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES APPLIQUÉES DE KÉNITRA

Moroccan foundation for Advanced Science, Innovation and
Research
(MAScIR)

Rapport de Projet de Fin d'Année

Étude et réalisation d'un system RFID

Réalisé par :
Otmane BOUAYAD

Encadré par :
Mme Ilham BOUZIDA : Encadrante professionnelle

(Du 15 Fev au 25 Août 2016)

Dedicace

I would like to dedicate this work to my wife, Oumaima, for her love, encouragement, and continuous support, my parents, who has taught me many things in life and include the one thing I've tried to live by : *“Never give up on your dreams. Hard work and diligence will see you through so long as you never give up.”* So it is with all my love, respect, and admiration that I dedicate this to you. My sister and my best friends forever Reda and Nouhaila, my future engineers. remember *“Accomplishment is product of thoughts, mind is everything”*.

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui nous ont beaucoup aidé au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Aussi, Nous tenons plus particulièrement à remercier Mme Ilham BOUZIDA, ingénieur qualité dans l'équipe packaging à MAScIR, et à M. Brahim LAKSSIR, chef de service packaging à MAScIR, nos maîtres de stage qui ont la part de lion dans notre formation et accompagnement professionnels avec beaucoup de patience et de savoir-faire.

Je souhaite remercier mon promoteur et mon encadrant à l'école Pr. Tomader MAZRI pour ses instructions et son aide lors du stage.

Finalement , nous remercions l'ensemble des employés de la Fondation MAScIR pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de ce stage.

Enfin, j'adresse tous mes remerciements les plus sincères à tous les enseignants de l'ENSA de Kenitra pour avoir contribué à la formation que j'ai acquise lors de mon cursus.

Table des matières

Remerciements	5
Introduction	13
1 Persentation de l'entreprise d'accueil	15
1.1 Présentation générale de MAScIR	15
1.1.1 Partenaires de la foundation	16
1.1.2 Structure et hiérarchie	16
1.2 Présentation du département microélectronique	17
1.2.1 Mission	17
1.2.2 Laboratoires	17
1.2.3 Équipements	17
1.3 Description et déroulement du stage	18
1.3.1 Activités exercées	18
1.3.2 Répartition des tâches	19
2 Contexte Général du projet	21
2.1 Cahier des charges	21
2.1.1 Objectif	21
2.1.2 Mise au point de la problématique	21
2.2 Deroulement chronologique du stage	22
2.3 Décomposition du projet	23
3 Support de communication	25
3.1 Supports de communication potentielles	25
3.1.1 Paires torsadés	25
3.1.2 Fibre optique	25
3.1.3 Wifi	26
3.1.4 Power Line Communication	26
3.1.5 Tableau Comparative	26
3.2 Power Line Communication (PLC)	27
3.2.1 Principe	27
3.2.2 Caractéristique du Modulateur/Démodulateur choisi	27
3.2.3 Méthode d'accès à ST7538Q	28
3.2.4 Circuit de couplage et d'injection	29
3.3 Ethernet	33
3.3.1 Contrôle d'accès au support	33
3.3.2 PHY chip	34

4	La partie commande	35
4.1	Micro-onduleur	35
4.2	Architecture existante	35
4.3	Architecture proposée	36
4.4	Choix du microcontrôleur	37
4.4.1	Ethernet	37
4.4.2	RS-232	38
5	Algorithme et implantation	39
5.1	Système d'exploitation MQX	39
5.2	Les tâches	40
5.2.1	Maximum Power Point Tracking (MPPT)	40
5.2.2	Régulation	40
5.2.3	Communication	41
	Conclusion	43
A	CENELEC - EN 50065-1	45
B	CSMA	47
C	Description de MPPT	51
D	Schéma du Daughter-card	53
E	Schéma du circuit imprimé	55

Table des figures

1.1	Localisation de la fondation MAScIR	15
1.2	Salle blanche	18
1.3	Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts	18
3.1	Paires torsadés	25
3.2	Fibre optique	26
3.3	Principe du PLC	27
3.4	Diagramme de ST7538Q	28
3.5	Interface synchrone et asynchrone entre Microcontrôleur et ST7538Q . .	29
3.6	Circuit de couplage	29
3.7	Réseau artificiel CISPR16-1	31
3.8	Schéma simplifié du filtre de transmission	31
3.9	Fonction caractéristique du filtre de transmission	32
4.1	Structure d'un micro-onduleur	35
4.2	Structure du micro-onduleur existante	36
4.3	Structure du micro-onduleur proposé	36
4.4	La connexion du connecteur RJ-45	38
4.5	La communication RS-232	38
5.1	Blocs personnalisables de MQX RTOS	39
5.2	Solution Freescale MQX	40
C.1	l'algorithme MPPT	52

Liste des tableaux

2.1	QQOQCP	21
2.2	Répartition des tâches	22
3.1	Tableau comparatif	26

Introduction

Le terme RFID englobe toutes les techniques qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. Le système RFID autrement dit l'identification par radiofréquence est une technique qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio. Le système RFID (radiofrequency identification) est une technique très attractive pour l'entreprise qui offre la possibilité d'une gestion automatique du nombre conséquent d'informations qu'elle doit traiter. Les équipements adaptés à ce système permettent de synchroniser les flux physiques avec les flux d'informations.

Dans le cadre du projet de fin d'études, j'ai eu l'opportunité de travailler sur cette technique avec la fondation MAScIR qui occupe une position leader sur le marché de la microélectronique.

Le projet de fin d'études porte alors, sur l'étude et la réalisation d'une solution RFID UHF qui assure l'identification et la traçabilité des entrées et sorties des palettes. Choisir les tags adaptés aux besoins en respectant les conditions d'utilisation et type de lecteur. Développer un logiciel de gestion des palettes. D'autre part, la réalisation d'un transpondeur RFID UHF et une application Android pour gestion du secteur d'agriculture.

Le mémoire que je présente est organisé en 6 chapitres.

- Chapitre 1 : présentation de l'entreprise d'accueil ainsi qu'une description du déroulement du stage.
- Chapitre 2 : contexte général du Projet.
- Chapitre 3 : étude bibliographique, et principe de fonctionnement d'un système RFID.
- Chapitre 4 : conception et test de la partie logiciel.
- Chapitre 5 : étude du besoin du secteur agriculture et développement de l'application Android.
- Chapitre 6 : conception d'un transpondeur RFID UHF.

Chapitre 1

Presentation de l'entreprise d'accueil

1.1 Présentation générale de MAScIR

MAScIR (Moroccan foundation for Advanced Science, Innovation and Research) est un organisme de recherche à caractère scientifique et technologique. Il est voué à la recherche en nanotechnologie, en biotechnologie, en technologie numérique, en microélectronique, en énergie et en environnement, la fondation se veut présenter là où les enjeux de la société l'exigent.

La figure suivante montre l'emplacement de l'entreprise.

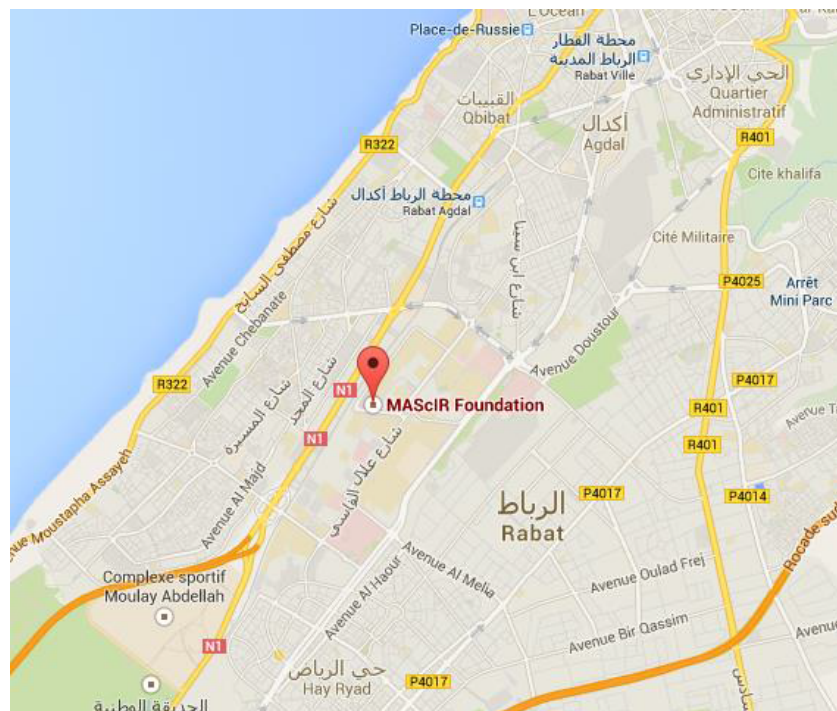


FIGURE 1.1 – Localisation de la fondation MAScIR

Rassemblant d'éminents chercheurs des quatre coins du monde, MAScIR regroupe

des équipes scientifiques œuvrant dans des domaines innovants et complémentaires et met à leur disposition une infrastructure scientifique de pointe.

Initialement fondée en 2007 par le Gouvernement Marocain en tant que fondation à but non lucratif MAScIR a continué son expansion en créant :

MAScIR MicroElectronics a pour objectif de devenir un centre de Recherche et Développement dans le domaine de la microélectronique.

MAScIR BioTechnology deuxième centre inscrit dans MAScIR œuvrant dans le domaine de la biotechnologie : recherche et développement des médicaments ou des biocides.

NanoTechnology qui a pour mission de mener des recherches appliquées, innovantes et à la fine pointe de la technologie dans le domaine des nanomatériaux et des nanotechnologies. Ces recherches sont menées par une équipe internationale de haut calibre travaillant dans un environnement unique et utilisant une infrastructure de pointe.

1.1.1 Partenaires de la foundation

Les principaux partenaires de la fondation MAScIR MicroElectronics sont :

Lear Corporation est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de sièges automobiles et les systèmes de gestion de l'énergie électrique.

Thales figure parmi les leaders européens de la fabrication et de la commercialisation d'équipements et de systèmes électroniques destinés aux secteurs de l'aérospatial, du transport, de la défense et de la sécurité.

OCP est un acteur incontournable sur le marché des phosphates et de ses produits dérivés. Présent sur toute la chaîne de valeur, il est le premier exportateur de cette matière dans le monde.

COSUMAR est un groupe marocain, filiale de la Société nationale d'investissement, spécialisé dans l'extraction, le raffinage et le conditionnement du sucre sous différentes formes. Il est devenu l'unique opérateur sucrier marocain après l'acquisition de SUTA, SUCRAFOR, SUNABEL et SURAC en 2005.

STERIMED est une société spécialisée dans le domaine de l'eau et des technologies de l'environnement. Son objectif est d'accompagner les entreprises et collectivités dans la résolution des problématiques liées à l'eau, l'environnement.

1.1.2 Structure et hiérarchie

La Fondation est gérée par un conseil d'administration qui est investi de pouvoirs de gestion à cet égard. Le Conseil dispose de quatre comités distincts : un Comité d'Investissement, un Comité de suivi, un comité de vérification et un Comité de Rémunération ; qui assurent une gestion rapprochée des sujets relatifs à leur mission.

Conseil d'administration détermine les orientations stratégiques de MAScIR et veille à leur mise en œuvre dans des réunions régulières. En prenant des décisions, le Conseil compte sur le travail des comités spécialisés.

Comité de vérification le rôle principal du Comité d'audit est de permettre à la Commission de veiller à la qualité des contrôles internes et l'intégrité de l'information divulguée aux intervenants et aux partenaires.

Comité des Rémunérations est responsable de faire des recommandations au Conseil sur la nomination des administrateurs. Il est également responsable de l'examen de la politique en matière de rémunération de la haute direction au sein de MAScIR.

Comité de suivi surveille la mise en œuvre effective et correcte des projets dans le cadre de l'accord signé entre MAScIR et le Gouvernement marocain.

Comité d'Investissement assiste le Conseil d'administration dans l'accomplissement de sa responsabilité de surveillance pour les actifs d'investissement liés à l'équipement scientifique.

1.2 Présentation du département microélectronique

MAScIR Micro est un centre d'innovation et développement de technologie dans le domaine de la microélectronique. Il se focalise sur la simulation, les tests, le design, le packaging, la qualification et le prototypage des produits microélectroniques.

1.2.1 Mission

Le programme Microélectronique a réuni une équipe de direction de classe mondiale pour assurer la traction initiale sous licence des technologies de pointe qui sont disponibles pour une utilisation immédiate.

Le programme Microélectronique a réuni une équipe de direction de classe mondiale pour assurer la traction initiale sous licence des technologies de pointe qui sont disponibles pour une utilisation immédiate.

MAScIR Micro fournit des services pour des clients industriels, mais elle développe aussi son propre business dans les domaines suivants :

- L'intégration et la miniaturisation des systèmes microélectroniques.
- L'analyse de fiabilité et défaillance des produits.
- Modélisation des systèmes complexes.
- Prototypage et industrialisation des produits innovants.
- Industrialisation des idées et résultats académiques.

1.2.2 Laboratoires

Le département microélectronique de MAScIR possède plusieurs laboratoires équipés de technologie avancée :

- Salle blanche
- Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts
- Laboratoire électronique

1.2.3 Équipements

- Ligne CSP (Chip Scaled Packaging)
- Ligne SMT (Surface Mount Technology)
- SAM (Scanning Acoustic Microscope)
- X-Ray
- Chambres climatiques



FIGURE 1.2 – Salle blanche



FIGURE 1.3 – Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts

Pour plus d'informations, visiter le site de l'entreprise : <http://www.mascir.ma>.

1.3 Description et déroulement du stage

1.3.1 Activités exercées

Durant ce stage de fin d'études, j'ai eu l'opportunité de côtoyer le monde industriel et plus précisément de la microélectronique ce qui m'a permis d'assister et participer à plusieurs missions et projets que ce soit au sein de MAScIR ou à l'extérieur.

Mis à part le travail sur mon projet, j'ai pu suivre le processus du packaging allant

du découpage wafer au marquage boîtier et sciage.

Parallèlement, J'ai assisté à des manœuvres de vérification de qualité des produits livrés à MAScIR.

Par ailleurs, j'ai pu bénéficier d'un encadrement étroit en préparant des réunions pour garantir un bon état d'avancement du projet.

1.3.2 Répartition des tâches

1^{ÈRE} ET 2^{ÈME} SEMAINES :

- Visite du local et réunions pour cerner le projet.
- Bibliographie sur les system RFID.

3^{ÈME} ET 4^{ÈME} SEMAINES :

- Etude du marcher et choix des tags et lecteur rfid.
- Participer à la résolution des problèmes du lecteur existant.

5^{ÈME} ET 6^{ÈME} SEMAINE :

- Etude et familiarisation avec le langage *.NET C#*
- Realisation d'un prototype de test de lecture de tages.

7^{ÈME} ET 8^{ÈME} SEMAINE :

- Proposition d'algorithme d'amelioration des performance de la commincation client-lecteur
- Implementation final du prototype du nouveau protocol de communion client lecteur.

9^{ÈME} SEMAINE :

- Developpement d'une interface utilisateur pour le control du flux des donnee et gestion de stockage.
- Etude du marcher marcaïne de l'agrigulture et Etude de besoin .

10^{ÈME} ET 11^{ÈME} SEMAINE :

- Developpement de la Version une de l'application SmartFlah.
- Amelioration de la version une de l'application SmartFlah

12^{ÈME} ET 13^{ÈME} SEMAINE :

- Etude Profondis sur les Tag RFID UHF.
- Realisation du 1er prototype d'antenne UHF RFID

14^{ÈME} ET 15^{ÈME} SEMAINE :

- Etude des methode d'optimisation du tailet performance d'antenne.
- simulation sur CST du 2eme prototype d'antenne

16^{ÈME} ET 17^{ÈME} SEMAINE :

- simulation sur CST du 3eme prototype d'antenne
- Redaction du rapport

Chapitre 2

Contexte Général du projet

Le but de ce chapitre est de présenter la problématique du projet, le cahier des charges, la démarche suivie pour répondre au besoin de l'ensemble des parties prenantes du projet et le plan d'action.

2.1 Cahier des charges

2.1.1 Objectif

L'objectif de ce projet est l'étude et la réalisation d'une solution RFID UHF qui assure l'identification et la traçabilité des entrées et sorties des palettes. Choisir les tags adaptés aux besoins en respectant les conditions d'utilisation et type de lecteur et de développer un logiciel de gestion des palettes. Et comme deuxième axe, la réalisation d'un transpondeur RFID UHF et une application Android pour gestion du secteur d'agriculture qui permet à l'utilisateur de profiter des fonctions offertes par le système à distance.

2.1.2 Mise au point de la problématique

Ce projet consiste à développer un système de traçabilité des entrées et sorties des palettes. Trouver les causes racines, choisir les solutions optimales pour un problème ou une situation nécessite une grande compréhension du problème. Dans ce sens, la méthode QQQQCP permet d'avoir des informations élémentaires suffisantes sur toutes les dimensions du problème, pour identifier ses aspects essentiels.

Quoi	Activité : Développement d'un système de traçabilité Produit : logiciel de reconnaissance faciale, Application Android, Tag UHF
Qui	Division : Client MAcIR
Où	MAcIR
Quand	Du 15/02/2016 au 15/06/2015
Comment	Etat d'art sur les techniques RFID existantes afin de développer un autre plus adapté.
Pourquoi	Fournir un système de traçabilité des entrées et sorties des palettes.

TABLE 2.1: QQQQCP

2.2 Deroulement chronologique du stage

Durant les 4 mois de mon stage, les tâches relatives à mon projet de stage sont organisées de la façon suivante :

Tâche	Date de début	Date de fin	Durée
Visites et réunions	16/02/16	18/02/16	3 jours
Bibliographie RFID	15/02/16	26/02/16	10 jours
Etude du marché et choix des tags et lecteur rfid	29/02/16	04/03/16	5 jours
Participer à la résolution des problèmes du lecteur existant.	07/03/16	11/03/16	5 jours
Etude et familiarisation avec le langage <i>.NET C#</i>	14/03/16	18/03/15	5 jours
Réalisation d'un prototype de test de lecture de tags	14/03/15	25/03/15	10 jours
Etude et proposition d'algorithme pour amélioration des performances de la communication client-lecteur	28/03/16	30/03/16	3 jours
Implémentation finale du prototype du nouveau protocole de communication client-lecteur.	30/03/16	10/04/16	11 jours
Développement d'une interface utilisateur pour le contrôle du flux des données et gestion de stock.	11/04/16	19/04/16	7 jours
Etude du marché agricole de l'agriculture et étude de besoin	20/04/16	22/04/16	3 jours
Développement de la version une de l'application SmartFlah.	20/04/16	25/04/16	5 jours
Etude approfondie sur les Tag RFID UHF	25/04/16	28/04/16	4 jours
Présentation de MAsIR à SIAM	29/04/16	29/04/16	1 jour
Amélioration de la version une de l'application SmartFlah	02/05/16	04/05/15	3 jours
Réalisation du 1er prototype d'antenne UHF RFID	05/05/16	13/05/16	7 jours
Etude des méthodes d'optimisation de la performance d'antenne.	16/05/16	20/05/16	2 jours
Simulation sur CST du 2ème et 3ème prototype d'antenne	23/06/16	10/06/16	15 jours
Rédaction du rapport	11/06/16	15/06/16	4 jours

TABLE 2.2: Répartition des tâches

2.3 Décomposition du projet

Le projet est décomposé principalement en 3 parties :

- Développement du Middleware et interface graphique : une partie qui consiste à assurer la communication entre le serveur et le lecteur RFID.
- Développement de l'application SmartFlah pour la gestion des tag animal.
- Le transpondeur : la conception du transpondeur UHF RFID de petite taille.

Chaque partie sera étudiée indépendamment dans les chapitres qui suivent.

Chapitre 3

Support de communication

Ce chapitre est dédié au choix et études des supports de communication.

3.1 Supports de communication potentielles

Une étude a été établit en vue de choisir le support de communication le plus adapté au projet. Plusieurs supports de communication ont fait l'objet d'une comparaison en suivant un certain nombre de facteurs caractéristiques :

3.1.1 Paires torsadés

C'est une ligne de transmission formée de deux fils conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre, pour maintenir précisément la distance entre les fils et de diminuer la diaphonie. Elle permet une connexion permanente sans interruption avec un débit



FIGURE 3.1 – Paires torsadés

qui peut atteindre les 10 Gbits/s. La longueur du câble ne doit pas dépasser 100m, les répéteurs s'avèrent indispensables si on dépasse cette longueur.

3.1.2 Fibre optique

C'est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'un conducteur de lumière et sert dans la transmission de données et de lumière.

Le fibre optique présente un avantage au niveau de la portée du signal avec un débit très élevé. Son insensibilité au champs électromagnétique lui permet de fonctionner sans problème dans les milieux industriels (présence des moteurs...). Mais, un câble fibre optique contient un cœur très fragile ne lui permettant pas d'être courbé. De plus, son coût élevé présente un majeur point négatif.

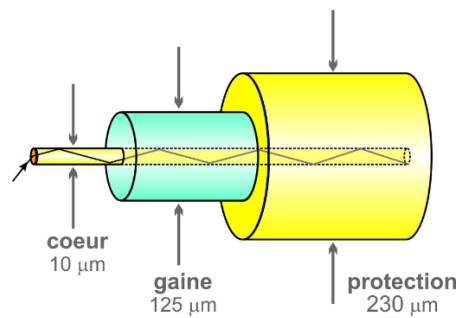


FIGURE 3.2 – Fibre optique

3.1.3 Wifi

C'est un réseau sans-fil qui relie des appareils informatiques par des ondes électromagnétiques, donc absence de câbles et facilité d'installation avec un coût moins élevé. L'atténuation des signaux avec la présence des obstacles et le problème des interférences provoquent des ruptures de connexions fréquentes donc une instabilité de connexion.

3.1.4 Power Line Communication

C'est une technique de communication qui utilise les câbles du réseau électrique pour transmettre et recevoir les données en mode half-duplex. Il présente une technologie pratique pour des applications sur les smart-grids :

- Automated meter reading (AMR).
- Communications SCADA (Supervisory control and data acquisition).

3.1.5 Tableau Comparative

Le tableau suivant représente un récapitulatif comparatif entre les différents supports cités dessus suivant les critères suivants :

	Paires torsadés	Fibre optique	Wifi	Power line Communication
Débit	Jusqu'à 10Gbits/s	Dépassant le 1Gbits/s	450Mbits/s	500Mbits/s
Portée	Câbles <100m	~Kms	~140m	~Kms
Coût	Moyen	Elevé	Faible	Faible
Points forts	Protocole de communication très connu et facile à implanter	Insensible aux champs électromagnétique	Installation facile	Pas d'installation, développée pour les smart-grids
Points faibles		Cœur fragile	Interférences, instabilité de connexion	Ne fonctionne pas en triphasé, communication half-duplex

TABLE 3.1: Tableau comparatif

Après une discussion rigoureuse, le support de communication opté pour ce projet

est la communication **Ethernet (Paires torsadées)**, et **Power Line Communication (PLC)**.

3.2 Power Line Communication (PLC)

3.2.1 Principe

La technologie PLC consiste à superposer au signal électrique (50Hz), un 2ème signal à plus haute fréquence (de 1KHz à des MHz) et de faible énergie, ce signal se propage sur l'installation électrique et qui peut être reçu et décodé à distance.

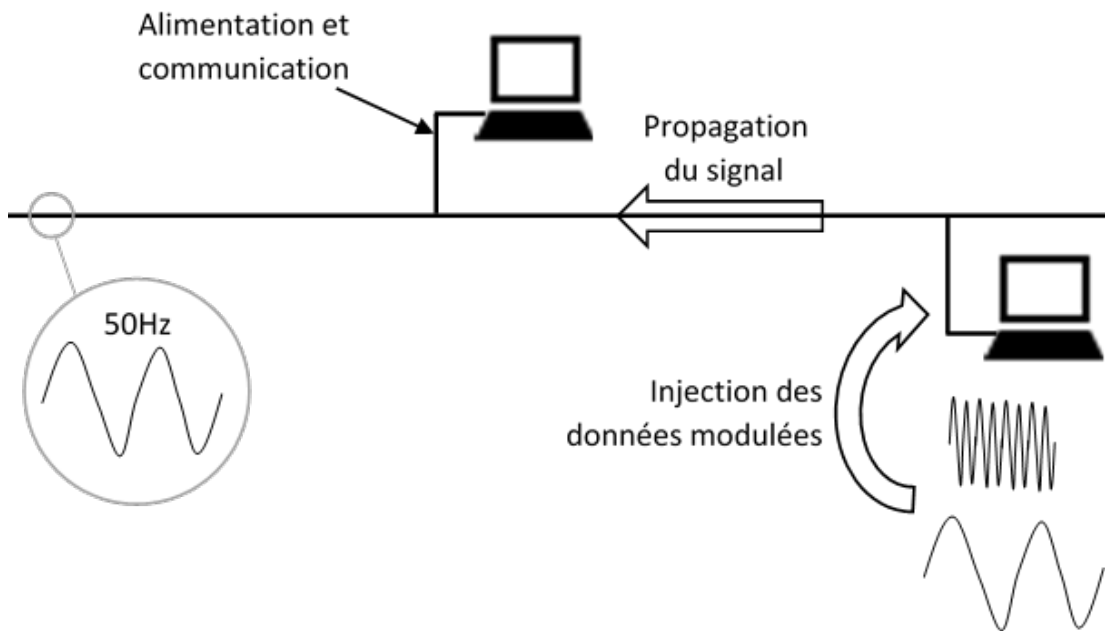


FIGURE 3.3 – Principe du PLC

Pour faire communiquer deux équipements par un réseau PLC, il faut que chaque dispositif dispose d'un modulateur/démodulateur et un circuit de couplage et d'injection du signal dans le réseau.

3.2.2 Caractéristique du Modulateur/Démodulateur choisi

Le modulateur choisi est ST7538Q du fabricant ST Microelectronics, c'est un modem FSK¹ qui fonctionne en mode Half Duplex, il est conçu pour les applications PLC. Il est commandé par une interface série synchrone ou asynchrone.

Ses principales caractéristiques sont :

- Modulation par déplacement de fréquence (FSK) Half duplex.
- Une seule tension alimentation (entre 7.5V et 12.5V).
- Consommation très faible (5mA).
- 8 fréquences de modulation programmables.
- Vitesse de transmission allant jusqu'à 4800B/s.

1. Frequency-Shift Keying

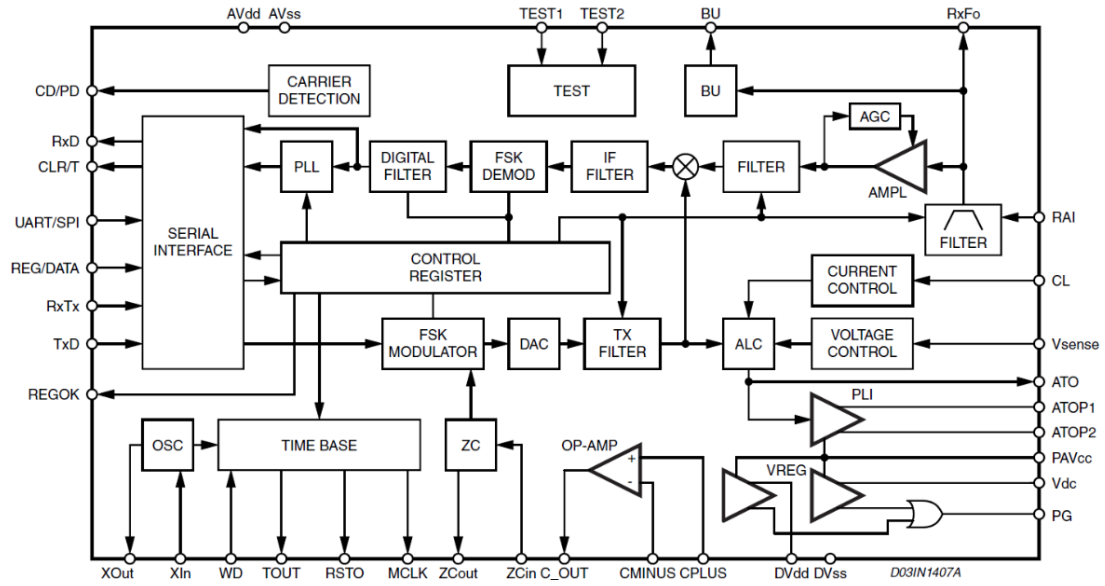


FIGURE 3.4 – Diagramme de ST7538Q

- Sensibilité de réception jusqu'à 250 μ Vrms.
- Conforme avec la norme EN 50065 CENELEC.
- CSMA/CA².
- Compatible avec les interfaces UART et SPI.

Dans ce projet, on utilisera la fréquence porteuse maximale (132.5KHz) avec une vitesse de transmission de 4800B/s et une déviation de 1.

$$\Delta f = \text{Baud} \cdot \text{Deviation} = 4.8KHz \quad (3.1)$$

Les fréquences mark et space utilisées sont défini par les formules suivantes :

$$F(0) = f + \frac{\Delta f}{2} = 134.9KHz \quad (3.2)$$

$$F(1) = f - \frac{\Delta f}{2} = 130.1KHz \quad (3.3)$$

Note :

Pour plus d'informations sur les fréquences et les débits supportées par ST7538Q consulter son datasheet.

3.2.3 Méthode d'accès à ST7538Q

Ce modulateur échange les données avec le microcontrôleur à travers une des deux communications séries :

- Synchrone à l'aide du protocole SPI
- Asynchrone à l'aide du protocole UART

Les pins RxD et TxD sont pour recevoir et envoyer respectivement les documents du microcontrôleur vers le modem. RxD est pour spécifier si on est en mode réception(1) ou transmission(0), REG_ DATA est pour spécifier si les données vont être modulées et injecté

2. Carrier Sense Multiple Access (Collision Avoidance)

ou une configuration de registre, finalement, CLR/T est le signal d'horloge imposé par le modem dans le mode synchrone.

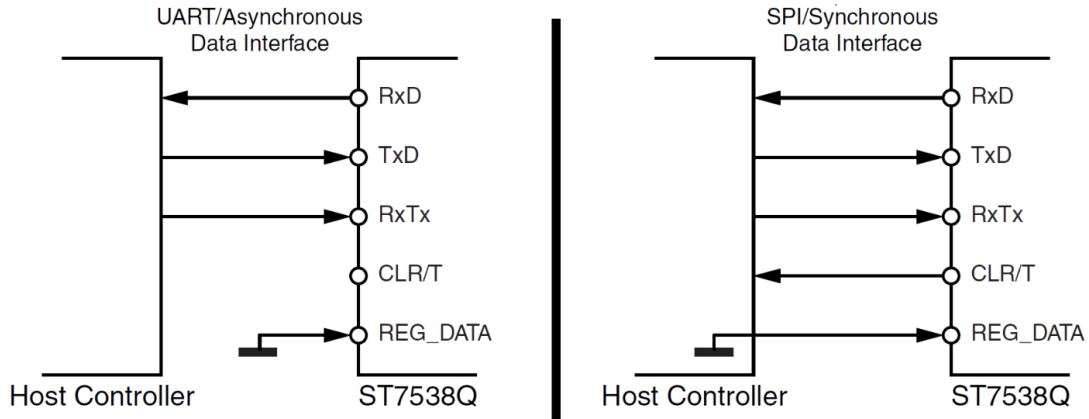


FIGURE 3.5 – Interface synchrone et asynchrone entre Microcontrôleur et ST7538Q

Le protocole utilisé dans ce projet est la communication asynchrone moyennant l'UART.

3.2.4 Circuit de couplage et d'injection

Le circuit de couplage lie le modulateur avec la ligne pour transmettre et recevoir le signal modulé efficacement, et il contient un système de filtrage de la tension de réseau (220V~50Hz ou 110V~60Hz) et les bruits qui vont surgir lors du transfert.

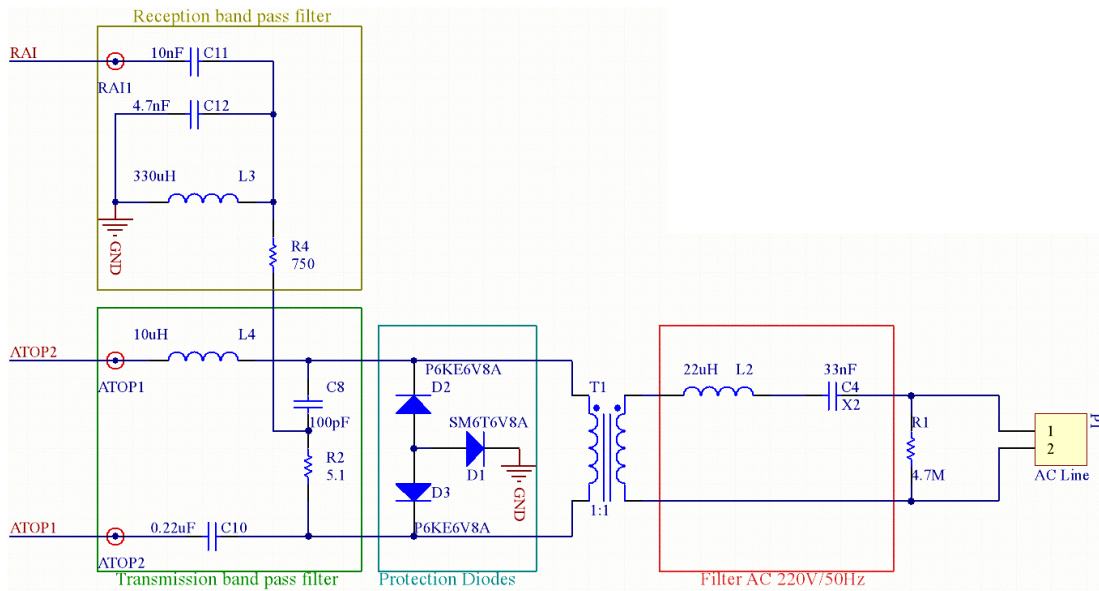


FIGURE 3.6 – Circuit de couplage

Il est possible de mettre en œuvre différentes topologies de circuits de couplage. Une première classification est comprise entre une solution isolée avec un transformateur de ligne ou une double capacité et une solution non isolée avec un seul condensateur de découplage à haute tension. La dernière est plus simple et plus économique, tandis que la première permet d'obtenir de meilleures performances en utilisant efficacement la puissance de sortie différentiel des dispositifs.

La solution de différentiel a été également plus pratique pour l'avantage pour réduire les harmoniques paires des signaux transmis.

La solution implémentée est conforme à la norme CERELEC - EN 50065-1, il est composé d'un circuit isolé avec un transformateur 1 :1 et une capacité de class X2³ pour éliminer la fréquence 50Hz (220V). Le circuit de transmission n'a aucune influence sur le circuit de réception, donc les deux structures peuvent être analysées séparément. Les filtres sont dimensionnés pour la fréquence 132.5 kHz et pour avoir une communication fiable.

Partie de transmission

La fonction du circuit de transmission est d'injecter le signal sortant de l'amplificateur de puissance (ATOP1/ATOP2) du modem dans le réseau électrique avec une efficacité maximale en filtrant le bruit suivant la norme CENELEC (EN50065-1, SECTION 7 : DISTURBANCES LIMITS).

Le filtre utilisé dans la transmission est un filtre de 4^{ème} ordre (4 pôles et 2 zéros). Pour avoir une bonne distribution d'échauffement et une insensibilité à la variation de la charge, le filtre a une bande de 60kHz (voir figure 3.2.4). Pour avoir cette caractéristique les deux pôles vont être mis dans les deux fréquences 100kHz et 160kHz.

Pour un dimensionnement correcte, l'influence entre les composants doit être prise en considération : L'inductance de fuite du transformateur (de 0.1μH à 10μH), la capacité interne du diode Transil (presque 2nF), la résistance équivalente en série des capacités et bobines (entre 100mΩ et 1Ω).

De plus il faut prendre en considération les impédances existant dans le réseau électrique, le réseau artificiel CISPR16-1 :

3. Une capacité conçue pour opérer entre la phase et le neutre (200V-240V)

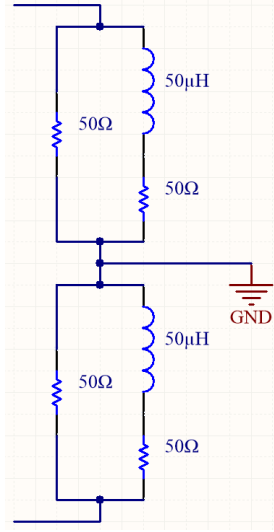


FIGURE 3.7 – Réseau artificiel CISPR16-1

Pour une première approximation des valeurs des composants, on considérera que les parties réactives, et que le transformateur T1 est idéal :

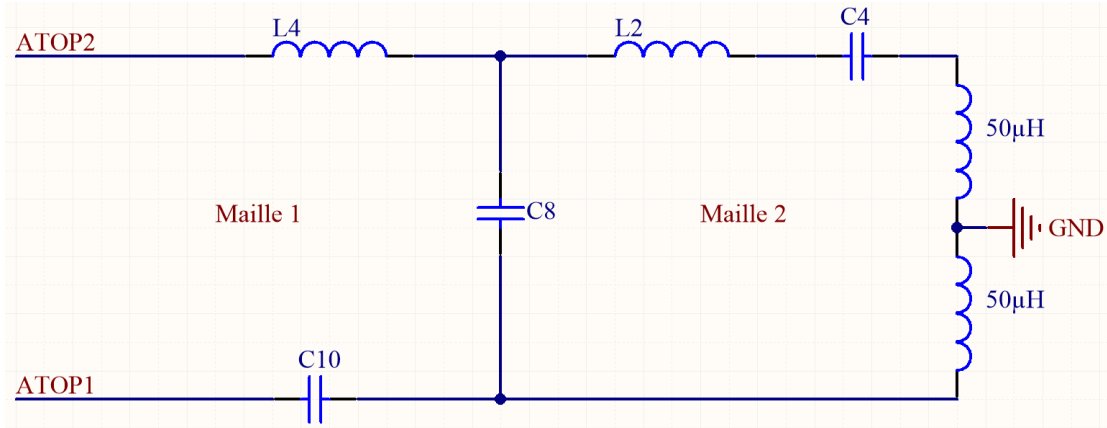


FIGURE 3.8 – Schéma simplifié du filtre de transmission

Les formules des quatre pôles est données par :

$$f_{p1} = f_{p2} \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_4 \cdot C_A}} \cong 160kHz \quad (3.4)$$

$$f_{p3} = f_{p4} \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_B \cdot C_B}} \cong 160kHz \quad (3.5)$$

$$\text{avec : } \frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_{10}} ; \frac{1}{C_B} = \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_4}$$

Pour que l'ESR⁴ des bobines soit le plus faible, que leurs inductances soit faible aussi ($L_4=10\mu\text{H}$ et $L_2=22\mu\text{H}$).

4. Equivalent series resistance : Résistance équivalente en série

Une autre contrainte concerne la capacité C_4 . Il est une capacité de classe X2 qui a une fonction principale de découpler le transformateur du réseau électrique. Il est préférable que sa valeur soit la plus faible possible pour des raisons économique, tout en gardant le courant de la fréquence 50Hz très faible pour éviter la saturation du transformateur. La valeur choisi est **33nF**. Donc le courant passant par le transformateur est d'ordre de :

$$|I_{rms}| \cong 220V_{rms} \cdot 2\pi \cdot 50Hz \cdot C_4 = 2.3mA_{rms} \quad (3.6)$$

Après ces suppositions et en utilisant les équations 3.4 et 3.5, on obtient $C_8=100nF$ et $C_{10}=220nF$. La résistance R_2 est ajouté pour ajuster l'impédance de sortie du filtre de réception.

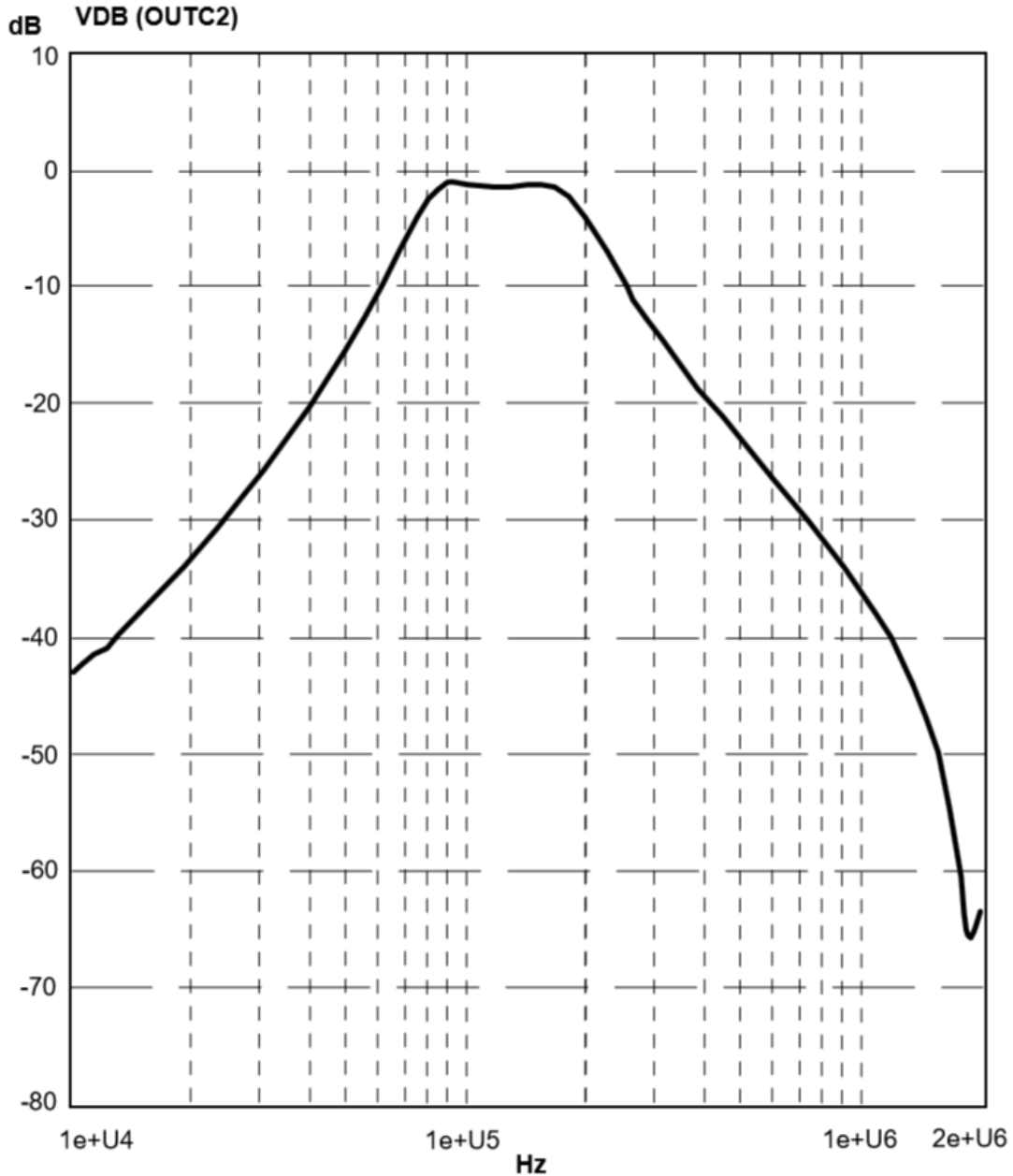


FIGURE 3.9 – Fonction caractéristique du filtre de transmission

Partie de réception

Le filtre de réception a pour but de filtrer les bruit venant du réseau qui peuvent dépasser les grandeurs maximales supportés par l'entrée RAI, ou dégrader les performances de démodulation (EN50065-2-1, SECTION 7.2.3 : NARROW-BAND CONDUCTED INTERFERENCE).

La solution adopté est un filtre passif de second ordre (C_{12} , L_3 , R_4), C_{11} est une capacité de découplage.

En mode de réception, la sortie ATOP1 est en haute impédance tandis que la sortie ATOP2 est lié à la masse (avec une résistance de quelque milliohm). Avec cette configuration, L_2 , C_4 , L_4 , C_8 et R_2 peuvent être négligés. Avec ces hypothèses, le dimensionnement du filtre de réception dépend principalement de C_{12} , L_3 et R_4 , qui constitue un filtre passe-bande de second ordre d'une fréquence de :

$$f_0 \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_3 \cdot C_{12}}} = 132.5kHz \quad (3.7)$$

Un autre paramètre à prendre en considération est le facteur de qualité(Q) qui doit être le plus grand possible :

$$Q \cong R_4 \cdot \sqrt{\frac{C_{12}}{L_3}} \quad (3.8)$$

Pour ne pas influencer la partie de transmission et de réduire le courant qui va parcourir le transformateur, la valeur de R_4 doit être assez grande sans qu'elle participe à l'augmentation du bruit blanc. la valeur 750Ω satisfait ces deux conditions. En fixant cette résistance on peut facilement déduire les valeur de C_{12} et L_3 à partir des deux équations 3.7 et 3.8 :

$$C_{12}=4.7nF \text{ et } L_3=330\mu H$$

3.3 Ethernet

Physiquement, les composants qui participant à la communication Ethernet sont : Le processeur, Contrôle d'accès au support ⁵ et le PHY chip.

3.3.1 Contrôle d'accès au support

C'est la moitié basse de la couche liaison de données du modèle OSI, elle sert d'interface entre la partie logicielle contrôlant la liaison d'un nœud (Contrôle de liaison logique) et la couche physique. Le rôle de la sous-couche MAC est principalement de :

- reconnaître le début et la fin des trames dans le flux binaire reçu de la couche physique ;
- délimiter les trames envoyées en insérant des informations (comme des bits supplémentaires) dans ou entre celles-ci, afin que leur destinataire puisse en déterminer le début et la fin ;
- détecter les erreurs de transmission, par exemple à l'aide d'une somme de contrôle (checksum) insérée par l'émetteur et vérifiée par le récepteur ;

5. Media Access Control en anglais ou MAC

- insérer les adresses MAC de source et de destination dans chaque trame transmise ;
- filtrer les trames reçues en ne gardant que celles qui lui sont destinées, en vérifiant leur adresse MAC de destination ;
- contrôler l'accès au média physique lorsque celui-ci est partagé.

3.3.2 PHY chip

C'est un composant qui opère dans la couche physique du modèle OSI. Techniquement, Le PHY est un circuit intégré qui envoie et reçoit les trames Ethernet, il est l'interface entre le domaine analogique de la modulation en ligne et le domaine numérique. Souvent on trouve que le MAC et le PHY sont groupés dans un seul circuit intégré comme le cas DP83816 de Texas Instrument.

Note :

Dans ce projet le composant MAC/PHY est intégré dans le microcontrôleur choisi, et il sera discuté dans le paragraphe 4.4.1.

Chapitre 4

La partie commande

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la conception de la partie commande du micro-onduleur pour pouvoir intégrer la partie communication efficacement.

4.1 Micro-onduleur

Le micro-onduleur est un onduleur qui fonctionne avec un seul panneau photovoltaïque, il convertit le courant issue de ce dernier et le convertit en sinusoïdale de fréquence 50Hz ou 60Hz pour un but d'alimentation, stockage ou injection dans le réseau électrique.

Les micro-onduleurs ont plusieurs avantages sur les onduleurs classiques. Le principal avantage est que la présence de petites quantités d'ombrage, de débris ou de neige sur une quelconque module solaire, ou même un échec complet pour le module, ne réduisent pas de façon disproportionnée la sortie de l'ensemble du réseau. Chaque micro-onduleur récolte la puissance optimale en effectuant le suivi du point de puissance maximale(MPPT) pour son module connecté.

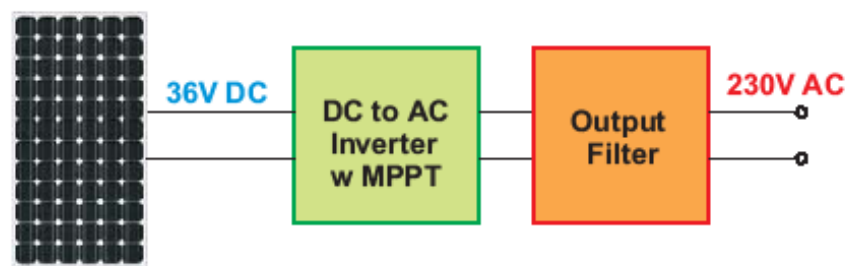


FIGURE 4.1 – Structure d'un micro-onduleur

4.2 Architecture existante

Le micro-onduleur existant est composé de deux parties, chacune des parties est réalisé dans un circuit imprimé(PCB).

La première partie est l'optimiseur. Elle composé de deux hacheurs élévateurs de tension en parallèle qui sont commandé par un signal PWM venant du microcontrôleur

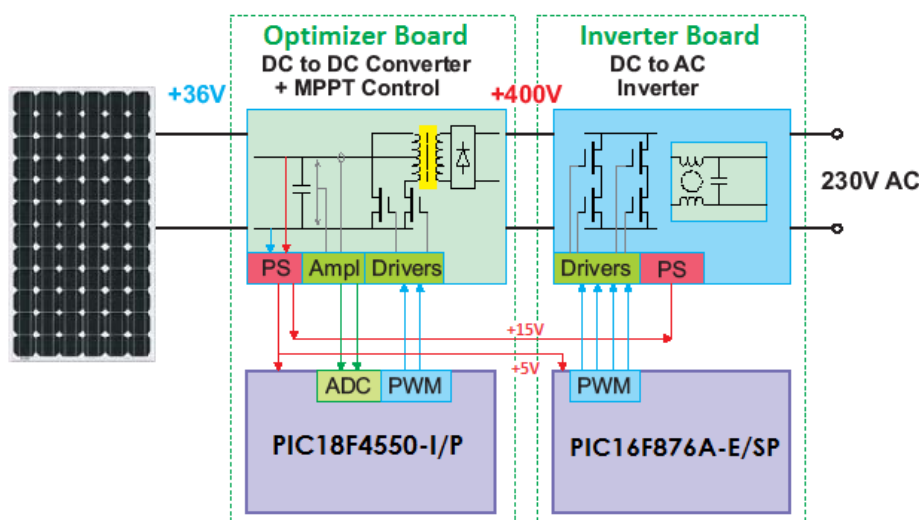


FIGURE 4.2 – Structure du micro-onduleur existante

PIC18 à travers des Drivers. Ce microcontrôleur fait aussi une lecture de tension et courant généré par le panneau photovoltaïque pour pouvoir exécuter l'algorithme MPPT. Elle contient aussi des régulateur à l'entrée pour extraire une tension pour alimenter le microcontrôleur(5V) et une autre pour commander les MOSFETs(15V).

La deuxième partie contient un pont en H pour générer une ondulation commandé par un deuxième microcontrôleur PIC16 à travers des Drivers.

4.3 Architecture proposée

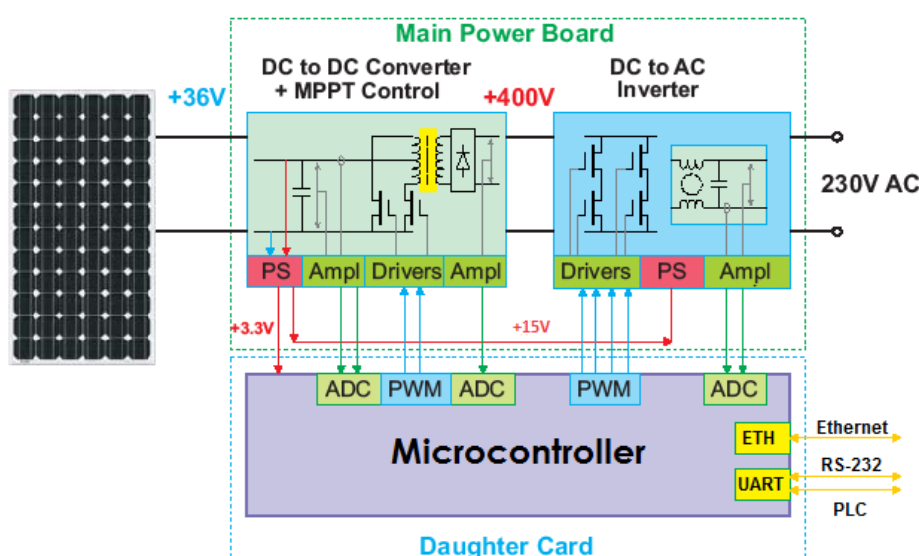


FIGURE 4.3 – Structure du micro-onduleur proposé

Pour ajouter la partie communication au micro-onduleur, il faut un microcontrôleur capable de communiquer en utilisant les deux supports de communication cité précédemment, Or l'existence de deux unités de commande rend l'appareil encombrante et plus coûteuse, sachant bien que la tâche fournit ne demande pas trop de calcul. Pour cela une seule unité de commande s'occupant de ces tâche est préférable.

La partie puissance est implanté dans un seul circuit imprimé, alors que la partie commande et la partie communication sont implanté dans un seul circuit imprimé appelé Carte-fille, cela donnera une flexibilité pour un futur changement (Par exemple changement de support de communication, ajout d'un écran...).

Cette solution fait appel à plus de convertisseur analogique numérique (ADC). Ils vont être utilisé pour faire une lecture du courant et tension à l'entrée de l'optimiseur, déduisant ainsi la puissance produite par le panneau solaire. La lecture de la tension à la sortie de l'optimiseur sera utile pour maintenir la tension de sortie à 220V. La lecture de la tension et le courant à la sortie de l'onduleur permettra de calculer la puissance fournie.

4.4 Choix du microcontrôleur

La topologie proposé précédemment et les supports de communications choisis nous indique les critères suivantes :

- Avoir un module PWM de 6 canaux, et d'être compatible avec un DMA de préférence.
- Un convertisseur analogique numérique de 5 canaux.
- Deux module d'UART.
- Un module d'Ethernet.

Après une étude détaillée, le microcontrôleur adapté à ces contraintes est MCF52230 d'architecture Coldfire V2 de Freescale. Il est principalement caractérisé par :

- Noyau Coldfire V2 avec 56 MIPS @ 60MHz en exécutant à partir de la mémoire Flash interne.
- Fast Ethernet Controller (FEC)
- Ethernet Transceiver (EPHY)
- Trois universal asynchronous/synchronous receiver/transmitters (UARTs)
- 8 canaux de 12bits d'ADC
- 4 canaux de direct memory access (DMA)
- 8/4 canaux de 8/16 bits PWM

4.4.1 Ethernet

Ce microcontrôleur dispose d'un Fast Ethernet Controller (FEC) qui s'occupe de la communication avec le protocole Ethernet. Ce module utilise les broches suivantes :

- PHY_RXN et PHY_RXP pour la réception.
- PHY_TXN et PHY_TXP pour la transmission.
- PHY_VDDA, PHY_VDDTX et PHY_VDDRX pour l'alimentation, ils ont lié à la masse à travers une capacité de découplage de 100nF.
- PHY_RBIAIS pour une tension de référencement, doit être lié à une résistance lié à la masse de 12.4kΩ 1%.
- PHY_VSSA, PHY_VSSTX et PHY_VSSRX lié directement à la masse.
- PHY_ACT et PHY_LNK pour commander les LEDs d'activité et de connexion.

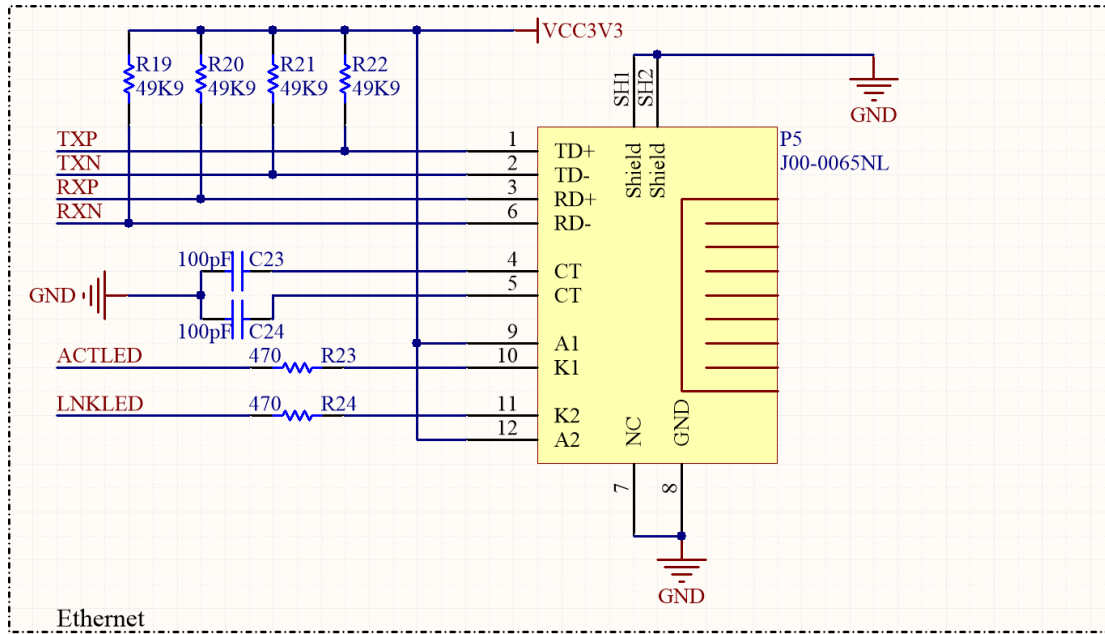


FIGURE 4.4 – La connexion du connecteur RJ-45

Les broches PHY_RXN, PHY_RXP, PHY_TXN et PHY_TXP sont connecté aux RD-, RD+, TD- et TD+ respectivement avec une résistance de rappel d'une valeur de 49.9kΩ. Les résistances R_{23} et R_{24} limite le courant pour les LEDs. Le connecteur RJ-45 inclue des transformateurs de d'isolement.

4.4.2 RS-232

Le schéma de la communication RS-232 est assez simple, il fait appel à un circuit intégré qui fait la conversion de 3.3V issue du microcontrôleur à $\pm 12V$ et inversement.

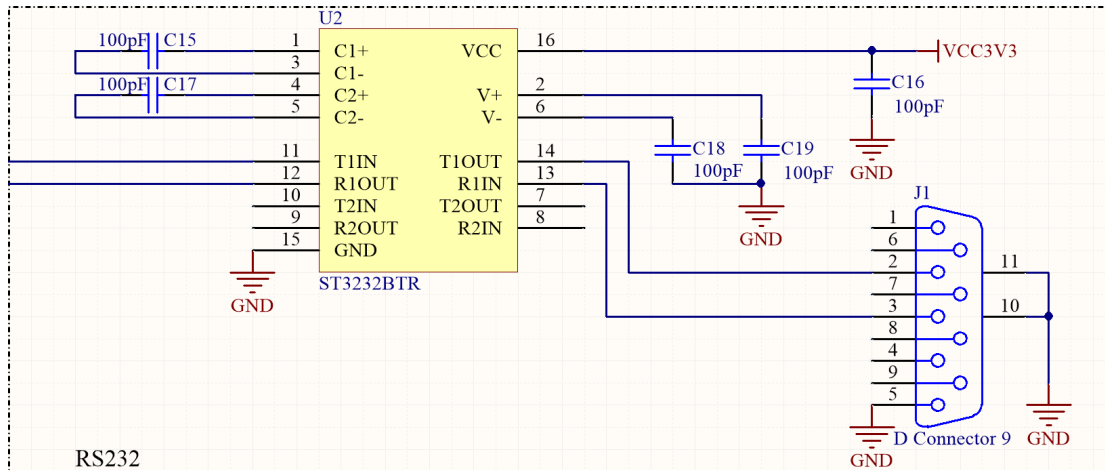


FIGURE 4.5 – La communication RS-232

Chapitre 5

Algorithme et implantation

Ce chapitre va cerner le programme avec toute ses parties (algorithme, système d'exploitation...) qui sera implanté dans le microcontrôleur.

5.1 Système d'exploitation MQX

Freescall MQX est un système d'exploitation temps réel (RTOS) qui offre des performances en temps réel dans des microcontrôleurs de taille petite. Il est très intégré avec les derniers microcontrôleurs 32bit de Freescall.

MQX est conçu pour avoir une architecture microkernel basé sur des blocs, permettant ainsi une personnalisation des options, de la taille et la vitesse en activant seulement les blocs voulu.

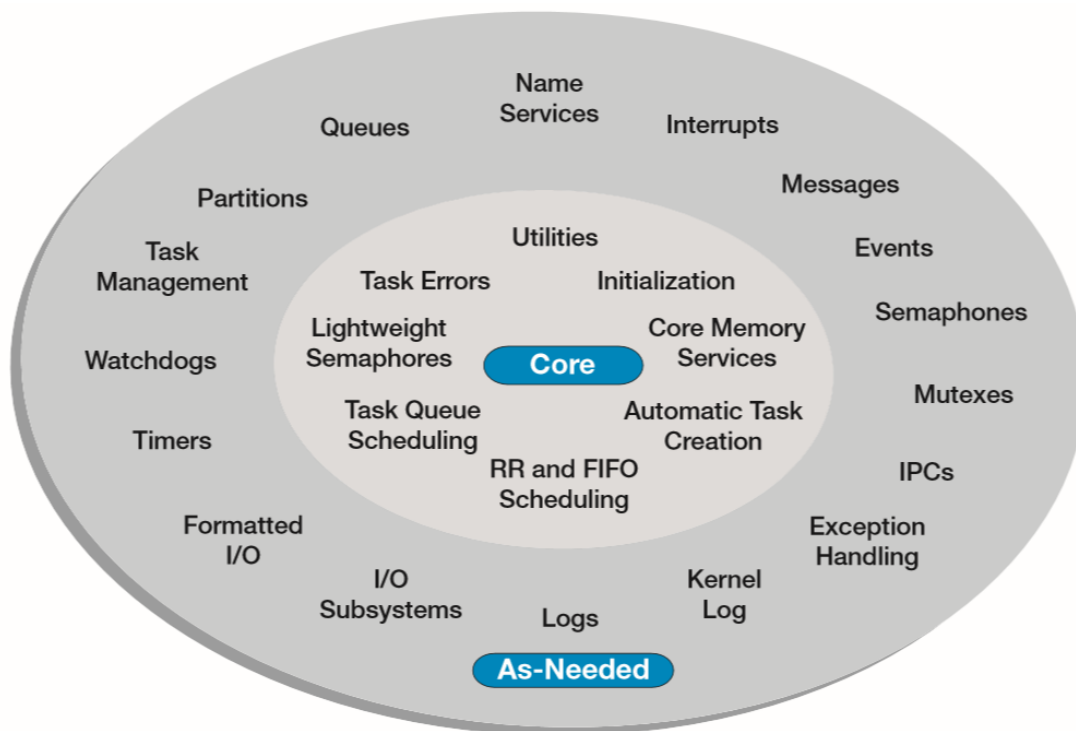


FIGURE 5.1 – Blocs personnalisables de MQX RTOS

La robustesse et la fiabilité de MQX RTOS donne une plateforme de confiance pour les applications critiques. MQX est certifié pour les applications médicales ((CFR 820.30 PART 21, IEC 60601-1) et aérospatiales (DO-178B). Les applications critiques de sécurité basé sur MQX comprennent l'équipement de chirurgie de l'œil, matériel d'injection de drogues, de l'équipement de surveillance de la dose de rayonnement, les systèmes de freinages des avions, et les équipements de navigation de l'avion.

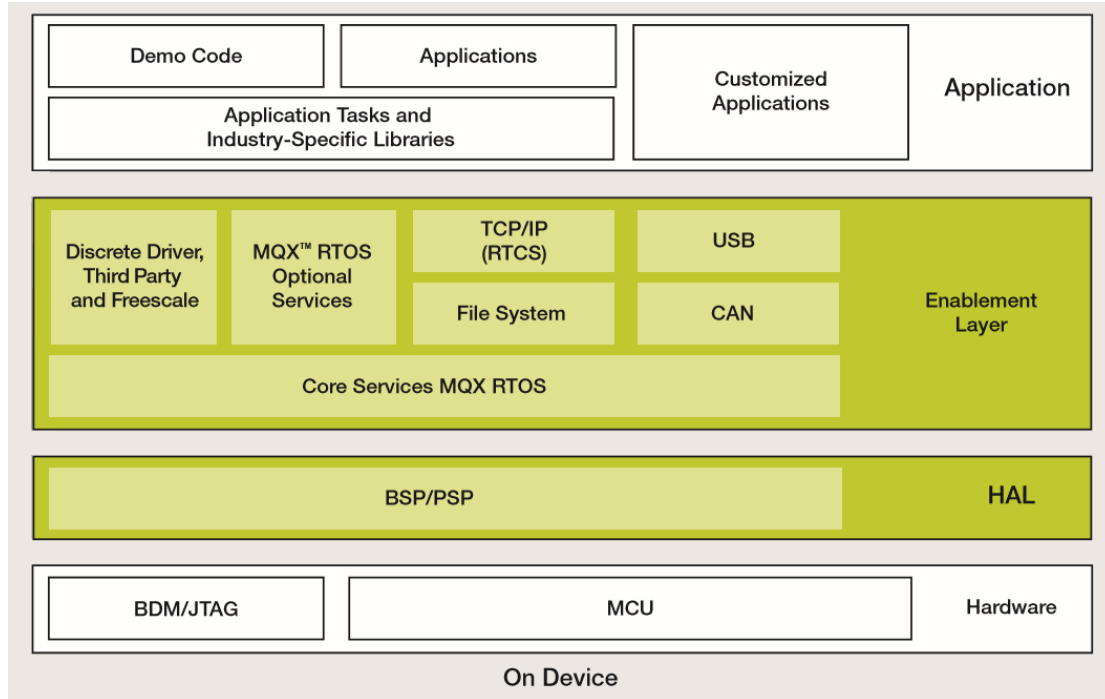


FIGURE 5.2 – Solution Freescale MQX

5.2 Les tâches

En utilisant le système d'exploitation MQX RTOS, tout ce qui reste à faire dans la partie programme est de créer des sous-programmes appelés les tâches. Ces tâches seront exécuté en parallèles par ordre de priorité en utilisant l'algorithme Round-Robin. Durant ce stage, je n'ai pas pu réaliser les programmes, par faute de temps. Mais, je vais présenter brièvement les tâches planifiés.

5.2.1 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

C'est une tâche qui s'occupera de la maximisation de la puissance en utilisant l'algorithme P&O. cette tâche sera exécuté périodiquement suivant un intervalle qui varie selon le changement de puissance. L'annexe C présente en détail l'algorithme de la MPPT.

5.2.2 Régulation

La tâche de la régulation consiste à maintenir la tension sinusoïdale de sortie à 220V. il s'occupera de la lecture de la tension de sortie, prendre une décision, et agir sur les signaux PWM.

5.2.3 Communication

La tâche de la communication va devoir s'occuper de trouver le serveur qui va stocker les informations collecté régulièrement. Ces informations seront éventuellement la puissance délivré par le panneau, la puissance absorbé par les charges, les valeurs de tensions et courant mesuré au fil du temps... Elle doit aussi exécuter des commandes délivré par le serveur qui seront défini ultérieurement.

Conclusion

Lors de mon stage qui a duré deux mois à MAScIR, j'ai eu l'occasion de travailler sur le module communication du micro-onduleur. En commençant par l'étude et le choix du support de communication le mieux adapté pour ces types d'applications, la communication Ethernet et Power Line Communication s'avèrent les plus qualifiés pour un tel usage.

L'implémentation de la communication PLC commence par le choix d'un modulateur du signal, suivi d'un dimensionnement du circuit d'injection qui est composé de filtres de transmission et de réception et d'un montage d'isolation. La communication Ethernet dans ce projet dépend fortement du microcontrôleur, par ce que le microcontrôleur choisi inclus les composants nécessaires pour ce type de communication.

La deuxième partie de mon stage était de regrouper la partie commande et communication en un seul circuit imprimé et en utilisant un seul microcontrôleur. Le travail a été surtout focalisé sur le choix idéal du microcontrôleur pour l'intégrer avec le reste des modules, et le design du circuit imprimé.

Parmi les difficultés rencontrées, l'insuffisance de deux mois pour développer les programmes, que ça soit du côté client (micro-onduleur) ou côté serveur.

Annexe A

CENELEC - EN 50065-1

SIGNALLING ON LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 3 KHZ TO 148,5 KHZ - PART 1 : GENERAL REQUIREMENTS, FREQUENCY BANDS AND ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES

Scope This standard applies to electrical equipment using signals in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz to transmit information on low voltage electrical systems, either on the public electricity distribution network or within installations in consumers' premises.

It specifies the frequency bands allocated to the different applications, limits for the terminal output voltage in the operating band and limits for conducted and radiated disturbance. It also gives the methods of measurement.

It does not specify the modulation methods, the coding methods or functional features (except those for the prevention of mutual interference).

Environmental requirements and tests are not included.

NOTE 1 Compliance with this standard does not imply permission to establish communication with locations outside the consumer's installation or with other consumers through the public electricity distribution network where this would not otherwise be allowed.

The object of the standard is to limit mutual influence between transmission equipment in electrical installations and between such equipment and other equipment. In addition this standard is intended to limit interference caused by signal transmission equipment to sensitive electronic equipment. However, complete freedom from such interference cannot be assured.

NOTE 2 Designers should consider signalling systems in conformance with this standard when determining immunity for electrical equipment.

Annexe B

CSMA

CSMA est l'acronyme de "Carrier Sense Multiple Access" (Écoute d'un Support à Accès Multiple). Il s'agit d'un ensemble de protocoles d'accès à un média. Ceux-ci vérifient que le support est disponible avant de commencer l'envoi d'une trame. Ils permettent également de détecter ou bien éviter les collisions de messages dans les transmissions.

Pour éviter des erreurs lors de la transmission de données, il est nécessaire d'éviter les collisions. Cependant, selon le média et d'autres paramètres (débit, distance, codage...), il n'est pas possible d'utiliser une seule et unique méthode.

Il existe trois méthodes employées dans les réseaux :

CSMA/CD : Collision Detection.

CSMA/CA : Collision Avoidance.

CSMA/CR : Collision Resolution (aussi appelé CSMA/BA pour "Bitwise Arbitration" ou CSMA/AMP pour "Arbitration on Message Priority").

Avant d'entrer dans la technique, il est utile pour une bonne compréhension de faire une analogie avec un groupe de personnes souhaitant discuter entre elles :

CSMA/CD correspond à un groupe dans lequel chaque personne peut prendre la parole quand elle le souhaite (lors d'un silence). Si deux personnes parlent en même temps, elles s'arrêtent et attendent un petit temps (aléatoire pour chaque personne).

CSMA/CA ressemble plus à un groupe d'élèves dans une classe : lorsqu'un élève veut parler, il doit lever la main et l'enseignant va l'autoriser à parler pour une durée définie. Si un élève au premier rang lève la main, il ne peut pas voir celui qui a levé également la main au fond, d'où l'importance du rôle de l'enseignant.

CSMA/CR sera plus difficile à imaginer : dans un groupe de personnes, si deux personnes parlent en même temps, elles continuent de le faire tant qu'elles disent strictement la même chose. Dès que les paroles divergent, un arbitrage logique est fait et l'une des personnes s'arrête, laissant l'autre terminer sa phrase.

CSMA/CD (Collision Detection) La méthode CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) est dérivée d'un système de transmission radio appelé Aloha. Son principe est de laisser chacun libre de gérer ses émissions en fonction de ses

besoins et de la disponibilité du média.

En l'absence d'information à transmettre, la station écoute (ou reçoit) les paquets qui circulent sur le média dans un sens ou dans l'autre. Quand la station a besoin d'émettre un ou plusieurs paquets, elle vérifie qu'aucune trame n'est émise sur le média. Si c'est le cas elle commence à émettre son paquet. Si ce n'est pas le cas elle attend la fin de la transmission en cours.

Chaque machine ayant à tout instant la possibilité de commencer une transmission de manière autonome, la méthode d'accès est distribuée : elle est dite à accès multiple (Multiple Access : MA). La machine observe le média en cherchant à détecter une porteuse (Carrier Sense : CS). Si aucune trame n'est transmise, elle ne trouve pas de porteuse.

Elle envoie ses paquets sur le support physique et reste à l'écoute du résultat de son émission pendant quelque temps, pour vérifier qu'aucune autre machine n'a suivi le même comportement qu'elle au même instant.

La méthode d'accès étant à détection de collision (Collision Detect : CD), lors de son émission une machine peut déceler un problème de contention, et s'arrêter avec l'intention de renvoyer son paquet ultérieurement quand elle aura de nouveau la parole. De façon à minimiser le risque de rencontrer une deuxième collision avec la même machine, chacune attend pendant un délai aléatoire avant de tenter une nouvelle émission.

Cependant, de manière à ne pas saturer un réseau qui s'avérerait déjà très chargé, la machine n'essaiera pas indéfiniment de retransmettre un paquet si à chaque tentative elle se trouve en conflit avec une autre ; après un certain nombre d'essais infructueux (le nombre maximum de reprises est de 16) le paquet est éliminé. On évite ainsi l'effondrement du réseau. Les couches supérieures sont averties que la transmission du message a échoué.

CSMA/CA (Collision Avoidance) La méthode CSMA/CA s'utilise dans les réseaux sans-fil. En effet, contrairement aux réseaux filaires, deux stations peuvent émettre vers une troisième sans se détecter (la première étant hors de portée de la seconde).

Pour éviter cela, une station est considérée comme le maître des transmissions qui autorise une station à communiquer lorsque celle-ci le demande. Pour cela, la station doit émettre une courte trame RTS (Ready To Send) contenant quelques informations sur la communication (débit, longueur de la trame, etc.)

Si la station maître accepte cette communication, elle renvoie alors une trame CTS (Clear To Send) et la station peut transmettre son message. En revanche, si la station ne reçoit pas de message elle doit attendre à nouveau avant de redemander une autorisation d'émettre.

C'est la méthode utilisée dans les réseaux WiFi (802.11) et la station maître est généralement le point d'accès (AP).

CSMA/CR (Collision Resolution) Cette méthode est légèrement plus évoluée que la méthode CSMA/CD : si plusieurs stations transmettent un message, elles appliquent un ET logique entre le signal reçu et le signal émis. Dans le cas d'une inégalité, la station s'arrête de transmettre. Comme le 0 est une valeur dominante, elle écrase donc le 1 (état récessif) : cela signifie que la communication de l'une des stations n'est pas modifiée et permet ainsi de terminer cette communication sans délai d'attente ou de retransmission.

Un réseau utilisant cette méthode peut alors être déterministe. C'est la méthode employée dans les réseaux CAN.

Annexe C

Description de MPPT

La puissance de sortie en courant continu provenant du panneau solaire est périodiquement calculée à l'aide de l'algorithme P&O pour MPPT.

Cette méthode est basée sur l'algorithme simple et efficace P&O. Dans le point d'une puissance P_1 , vous pouvez essayer d'avoir une puissance supérieure du panneau solaire en augmentant le courant à partir du panneau. Cela donne un nouveau point de puissance P_2 . La nouvelle puissance actuelle est calculée par le produit de la tension d'entrée et le courant d'entrée. Cette valeur est comparée avec la valeur échantillonnée précédente. Si la nouvelle valeur de puissance est supérieure à la valeur précédente, la puissance d'entrée augmente. Ainsi, la direction de déplacement de la courbe de puissance est correcte. Dans l'étape suivante, vous pouvez essayer de couler courant encore plus élevé à partir du panneau. La mesure de puissance dans le nouveau point peut être P_3 en comparaison avec la valeur précédente. La prochaine étape est analogique — c'est dans le cas où la puissance de sortie du panneau solaire est plus faible (P_n) — Retournez et essayer de trouver le point où la puissance provenant du panneau est la plus élevée. Les flèches de la figure 3.2.4 montrent la direction de déplacement du nouveau point de puissance. Le pas d'incrémentement dépend du changement de la puissance à l'étape précédente. Si la variation de puissance est plus élevée, le pas suivante est plus élevée. Si la variation de puissance est plus faible, le pas de la prise de courant est également plus petit suivant. La puissance en haut de la courbe (dans le point P_{max}) est horizontalement plat. Cela signifie que la variation de puissance est faible et la variation du pas est également faible. Ainsi, le point de puissance maximale est prise très précis. La fréquence de la vérification de la puissance délivrée par le panneau solaire doit être suffisamment élevée pour suivre correctement le MPP lorsque les conditions d'éclairage sont rapidement changées.

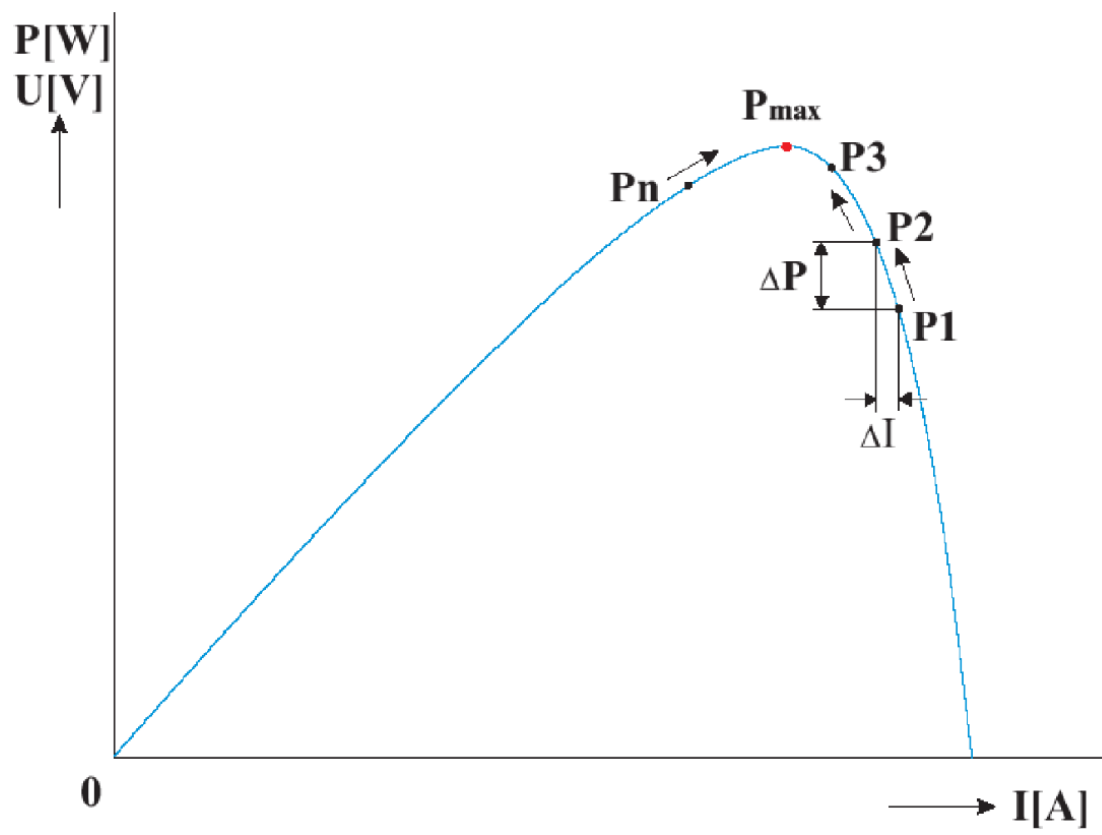


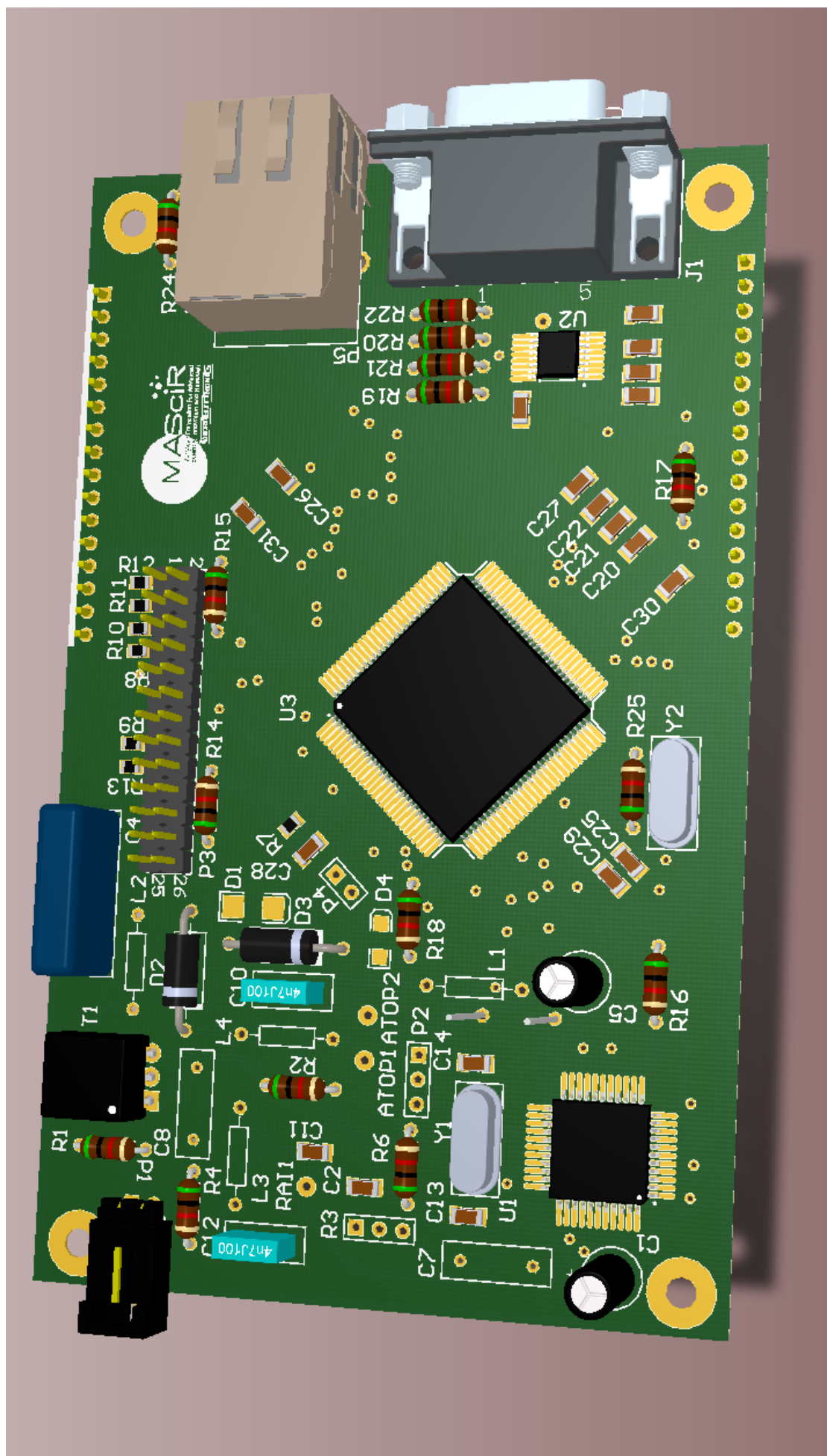
FIGURE C.1 – l'algorithme MPPT

Annexe D

Schéma du Daughter-card

Annexe E

Schéma du circuit imprimé



Bibliographie

- [1] (fr) Etienne DURIS, Loïc Heuzé, Woollams Kwame, Zidouri Hakima, *Courants porteurs en ligne*, Université Paris-Est Marne-la-Vallée(UPEM), Février 2005.
- [2] (en) ST Microelectronics, *ST7538Q*, Datasheet, Rev 1, July 2006.
- [3] (en) European Committee for Electrotechnical Standardization, *Standard : CENELEC - EN 50065-1*, April 01, 2011.
- [4] (en) ST Microelectronics, *ST7538Q FSK powerline transceiver demonstration kit description*, Application note, Rev 4, February 2008.
- [5] (en) Freescale Semiconductor, *Inverter for the Solar Panel using an MC56F8023*, Application note, Rev 0, September 2011.
- [6] (en) Freescale Semiconductor, *MCF52235*, Datasheet, Rev 10, March 2011.
- [7] (en) Axiom Manufacturing, *MCF52235 AXM-0384*, Schematics, Rev E1.
- [8] (en) Freescale Semiconductor, *Freescale MQX™ Software Solutions, Complimentary proven RTOS, TCP/IP, file system and USB*, Fact Sheet, Rev 10.