

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. Présentation de la réalisation
2. Fonctionnement de la commande
3. Fonctionnement de la puissance
4. Listes des composants et coût de revient de la carte
5. Amélioration envisagée
6. Annexes

CONCLUSION

INTRODUCTION

Après une pré-étude qui nous a permis de dégager une solution technologique pour la réalisation d'un onduleur triphasé pour moteur asynchrone, nous avons réalisé au cours de ces douze dernières séances un prototype répondant, dans sa plus grande partie, au cahier des charges fixé.

Nous présentons le cahier des charges de la solution technologique prévu par la pré-étude, ainsi que les modifications que nous lui avons apporté durant ces dernières séances. Etant donné que le projet à réaliser se compose de deux parties indépendantes, nous présenterons dans un premier temps le fonctionnement de la partie commande, puis de la partie puissance.

Ensuite il sera fait l'étude du coût total du projet, ainsi que la liste des composants utilisés. Nous développerons dans une dernière partie les éventuelles modifications qui pourront être apportée pour réaliser un produit final commercialisable.

1. PRESENTATION DE LA REALISATION

Le projet réalisé est un onduleur pour moteur asynchrone triphasé. La réalisation de cet onduleur a été réalisée sur deux plaques de circuit imprimé : une plaque comportant le circuit de commande et l'autre plaque comportant le circuit de puissance. Etant donné le délai restreint pour la réalisation du projet, nous avons conçu et réalisé un onduleur triphasé permettant de commander un moteur d'une puissance de 1kW.

Le cahier des charges initial prévoyait de commander un moteur de 3kW. Ceci aurait été possible en utilisant une structure PFC (pour tirer le meilleur parti de la prise monophasé 16A) qui aurait redressé la tension d'alimentation provenant du réseau monophasé 230V – 50 Hz. Cependant la structure PFC nous permettant de redresser la tension d'entrée à forte puissance représente à elle seule un projet. Par conséquent nous nous sommes limités à la réalisation d'un onduleur triphasé commandant un moteur d'une puissance de 1kW en redressant l'entrée grâce un pont de Graetz.

Dans la pré-étude, nous avons retenu une solution technologique pour la réalisation de notre onduleur. Cette solution correspond au cahier des charges sur lequel nous nous sommes appuyés pour la construction de notre onduleur triphasé pour moteur asynchrone. Le cahier des charges prévoit donc pour la partie commande un microcontrôleur ST52E420 de chez STMicroelectronics. Les signaux logiques obtenus sur les sorties du microcontrôleur sont applicables sur les interrupteurs de puissances, via des drivers d'IGBT de chez International Rectifier (le IR 2127). Le ST52E420 est programmable avec le logiciel Visual Five, cependant nous avons pu acheter un microcontrôleur déjà programmé par le professeur Philippe Missirliu. La carte de commande comporte aussi l'alimentation des deux circuits qui est réalisé par un transformateur monophasé et le pont de diodes.

La partie puissance de l'onduleur triphasé est composé de six modules transistors – diode intégrés, des drivers pilotant ces six modules et des circuits

(résistances, diodes et condensateurs) indispensables pour le fonctionnement des drivers. Cependant nous avons rencontré des difficultés pour faire fonctionner les drivers. Par conséquent nous avons réalisé une carte ne comportant qu'un bras de pont et où certains composants peuvent être interchangeables. Ainsi nous avons pu tester plusieurs solutions en utilisant différentes valeurs de résistances, et différents drivers (le IR2121, le IR2122 et le IR2127). Cette carte n'est qu'un prototype nous permettant d'une manière assez simple et fiable de trouver une configuration adéquate pour le bon fonctionnement des drivers.

Les cartes sont reliées entre elles par une natte à 16 fils où transiteront les signaux de commandes du ST52E420.

- Synoptique de l'onduleur triphasé :

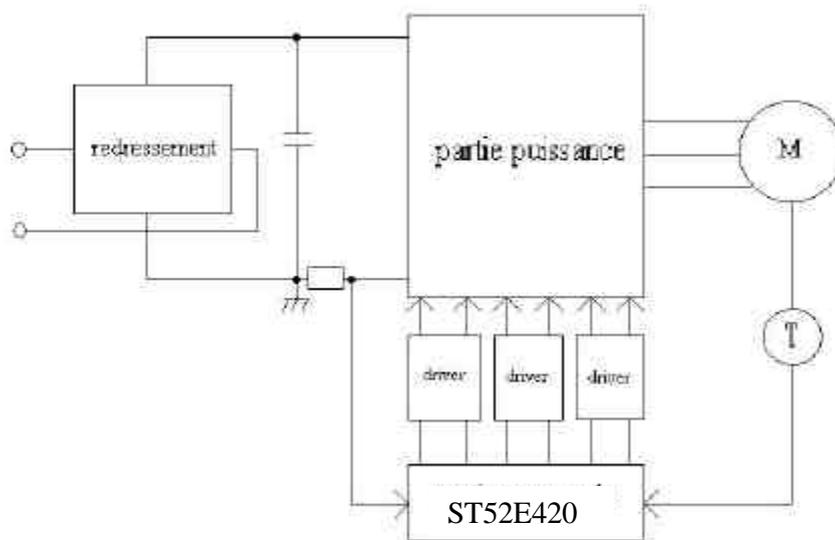


figure 1 : Synoptique de l'onduleur triphasé pour moteur asynchrone

2. FONCTIONNEMENT DE LA CARTE DE COMMANDE

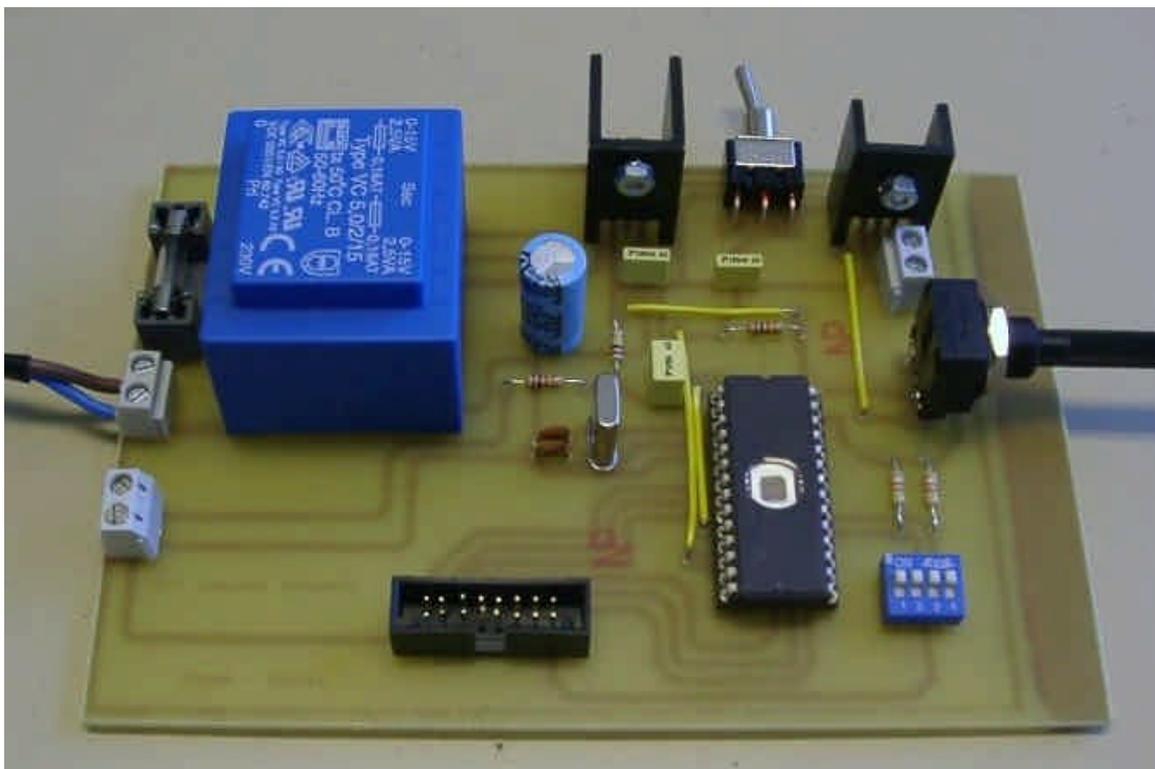


Figure 2 : carte de commande de l'onduleur triphasé

La carte de commande a été réalisée, comme il a été vu précédemment, à partir d'un microcontrôleur ST52E420 de STMicroelectronics. Cette solution a été suggérée par Philippe Missirliu en remplacement du circuit SA828. Les contacts que nous avons eu avec M. Missirliu sont uniquement des courriers électroniques dont le détail figure en annexe.

Le schéma électrique de la carte de puissance est fourni à la fin du chapitre. On y trouve tout d'abord une partie alimentation électrique composée d'un transformateur 230 - 2x15 V protégé par un fusible. La tension alternative de sortie du transformateur est redressée par un pont intégré (circuit W005), puis filtrée par un condensateur de 220 μ F. Cette tension est ensuite appliquée en entrée de deux régulateurs de tension, l'un de 5V (7805) et l'autre de 15V (7815).

La tension de 5V est nécessaire pour l'alimentation du microcontrôleur et la tension de 15V est utilisée par la partie puissance du projet. Elle y est envoyée par l'intermédiaire d'un bornier.

On y trouve également un quartz de fréquence 20MHz, connecté entre les bornes OscIn et OscOut du ST52. Deux condensateurs sont placés en parallèle entre les deux bornes du quartz et la masse. Le circuit de Reset, utilisé pour s'assurer que l'état 0 est bien appliqué à la borne 1 du microcontrôleur, est composé d'un bouton poussoir externe (connecté sur un bornier), d'une résistance de 1kOhms, d'un condensateur de 1 μ F ainsi que d'une résistance de tirage au 5V de 100kOhms.

Il existe quatre entrées de commande. Les deux premières sont facilement accessibles. Tout d'abord, le potentiomètre de réglage de la fréquence, d'une valeur de 1kOhms, est relié entre la masse et 5V. Il fournit donc à l'entrée analogique Ain0 une tension comprise entre ces deux valeurs. Ensuite, on trouve le commutateur de marche Avant/Arrière. Celui-ci est relié à l'entrée logique PB2 et possède une résistance de tirage au 5V de 1kOhms.

Les deux autres commandes sont situées sur la plaque, sous forme de switches. Le premier (PB4) est utile pour activer ou non l'harmonique de rang trois dans le signal MLI. Le second (PB5) sert à régler la fréquence de la porteuse (état 0 -> $f = 4,9\text{kHz}$; état 1 -> $f = 1,2\text{kHz}$). Tous les deux possèdent une résistance de tirage au +5V de 4,7kOhms.

On trouve enfin un connecteur 16 broches avec un câble de type nappe. Il sert à connecter entre elles les plaques de commande et de puissance. On à placer entre chaque câble de signal un câble de masse, afin de limiter les couplages parasites.

Le principe de fonctionnement de cette carte est celui de la variation de vitesse de moteurs asynchrones triphasés en $U/f = \text{constant}$. On essaye de garder au maximum le rapport U/f constant, comme le montre le graphique suivant :

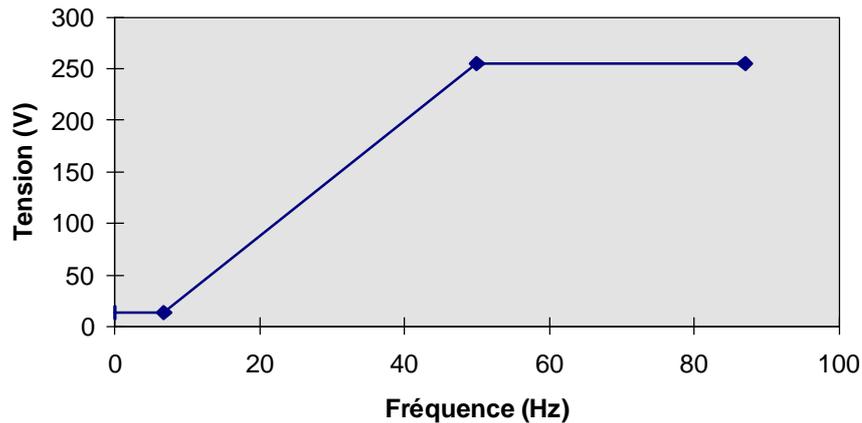


Figure 3 : caractéristique $V = g(F)$

Le fréquence est strictement proportionnelle à la tension dans la fourchette 13V à 255V. En dessous de 13V, le moteur ne tournerai pas, et au dessus de 255 V, ou risque la détérioration de la machine. Les tableaux de correspondance Consigne fréquence / Fréquence du signal sont rentrées au préalable dans le microcontrôleur.

$$\text{L'équation de la période est : } T = \frac{1736}{6,8 + \text{ConsigneFréquence} \times \frac{80,2}{255}}$$

$$\text{L'équation de la tension est : } V = \text{ConsigneFréquence} \times 1,754 + 13.$$

La programmation du microcontrôleur à été effectuée par M. Missirliu, lors de la commande. Le programme, rédigé grâce au logiciel VisualFive de STMicroelectronics, est fournit en annexe.

Nous avons tester la carte de commande, et nous obtenons les signaux suivants :

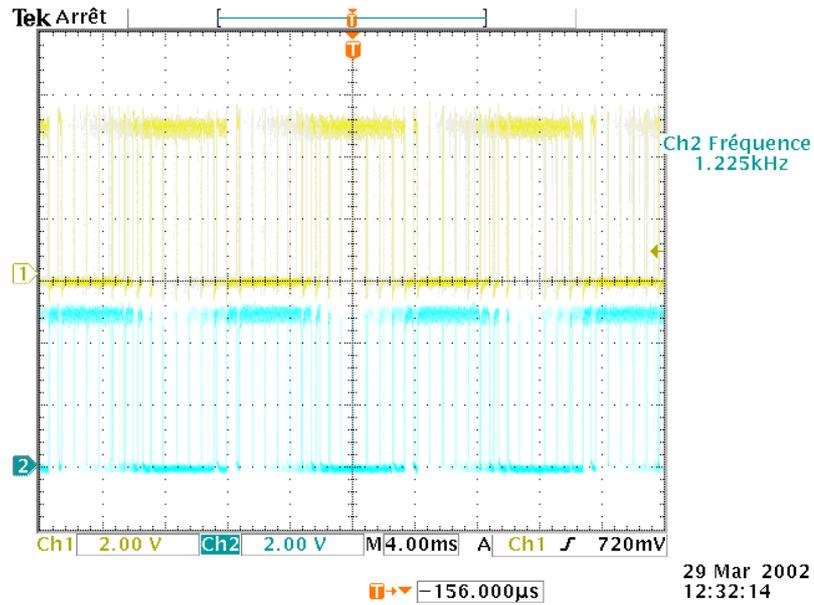


Figure 4 : signaux T0 et T0/

On voit que les signaux T0 et T0/ sont les compléments l'un de l'autre. T0 commande le transistor du haut et T0/ le transistor du bas.

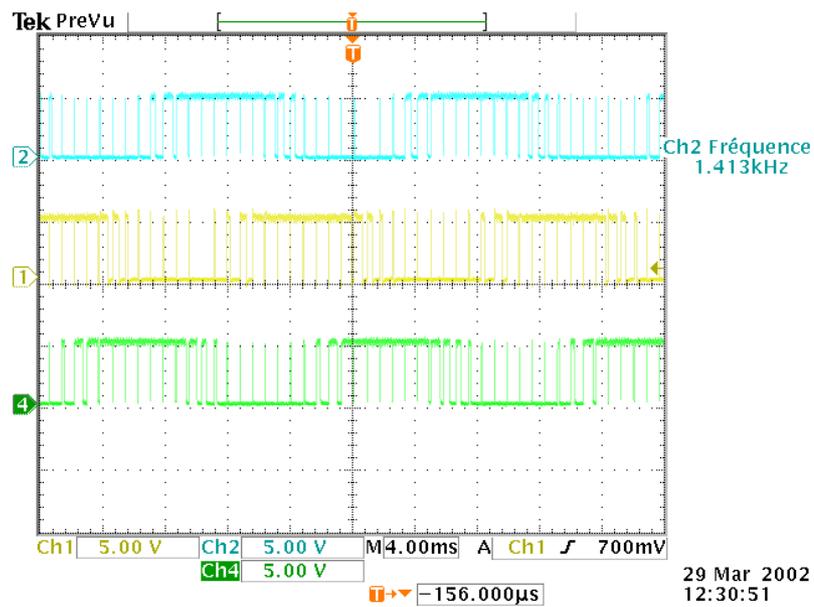


Figure 5 : signaux T0, T1 et T2

Sur la figure si dessus, on voit bien le déphasage entre les trois tensions. Le décalage vaut 120° . Lorsque le moteur sera alimenté, les courants i_1 , i_2 et i_3 formeront un système triphasé direct.

3. FONCTIONNEMENT DE LA CARTE DE PUISSANCE

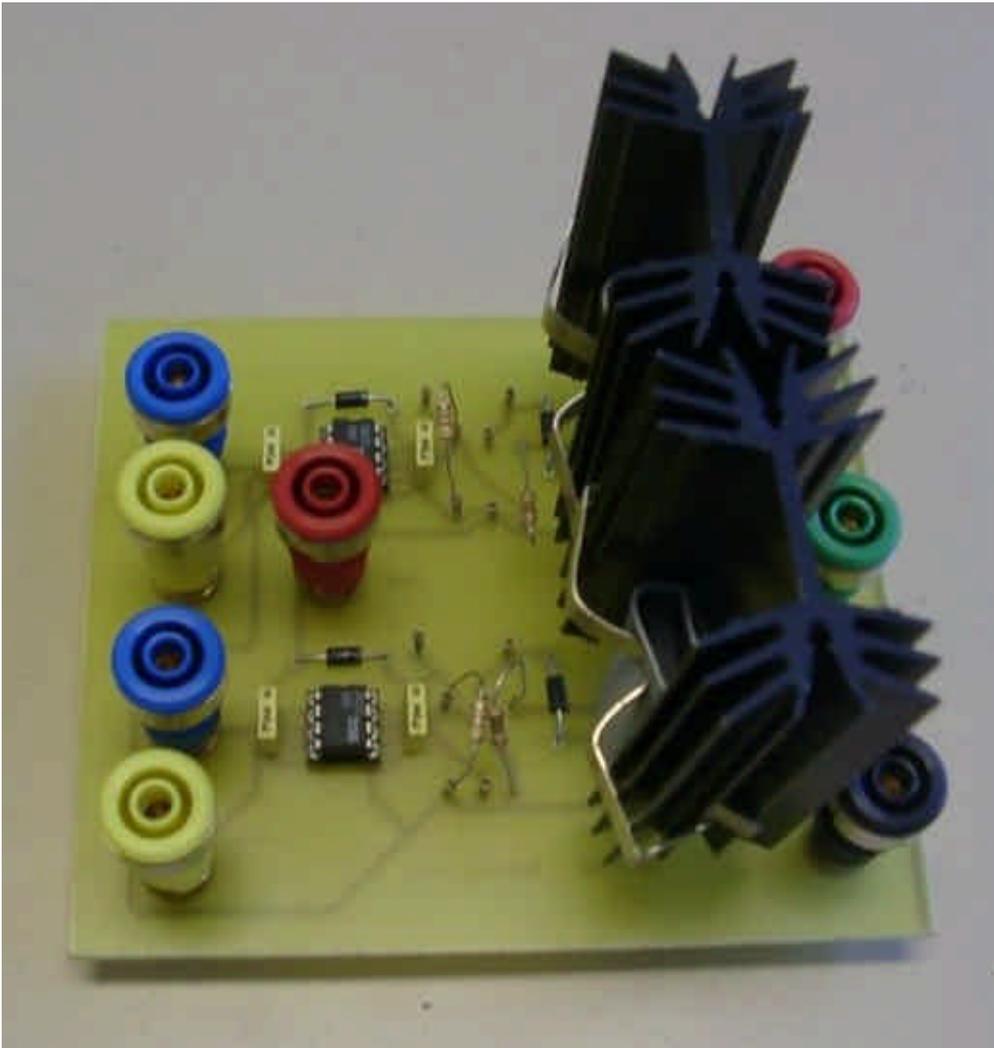


figure 6 : carte de puissance de l'onduleur triphasé

La partie puissance du projet est composée de trois cartes commande semblables à celle présentée ci-dessus.

La carte réalisée est un bras de hacheur, dont les interrupteurs (transistors IGBT) sont pilotés par des drivers de chez International Rectifier. Nous avons testé plusieurs solutions intégrant différents drivers. Le point commun de tous les circuits drivers d'IGBT est qu'ils possèdent une sécurité en tension de saturation. Quand la tension V_{ds} devient trop importante, le circuit inhibe la sortie est place au niveau 0 la borne FAULT (ou ERR pour le IR2121). Le seuil de tension est réglable par le jeu de résistances R2 et R3, car la tension V_{dsmax} est variable selon le transistor utilisé.

Nous avons réalisé un montage mettant en œuvre cette sécurité. Nous avons placé un circuit IR2121 pour le transistor du bas et un IR2122 pour le transistor du haut. La sécurité fonctionnait alors seulement en bas. Les valeurs des composants étaient :

- $R_g = 100 \text{ Ohms}$,
- $R_1 = 20 \text{ kOhms}$,
- $R_2 = 10 \text{ kOhms}$,
- $R_3 = 470 \text{ Ohms}$.

Le seuil de déclenchement était de 4V. On le mesure grâce à un voltmètre branché sur l'alimentation continue qui était elle-même connectée entre la masse et le collecteur du transistor.

Nous avons reproduit ce montage sur les drivers IR2122 et 2127, mais il ne fonctionne pas. Le signal de sortie est toujours à l'état 0, comme si la sécurité était toujours active.

Le driver IR2127 sans la sécurité en tension (sans les résistances R2 et R3) ne fonctionnait que pour le pilotage du transistor du bas. Nous pensons que ce dysfonctionnement peut être dû à un chevauchement des signaux de commande des drivers.

Nous nous sommes aperçus, lors des tests des parties puissance et commande ensemble, que la tension de sortie de la carte de commande était de 5V alors que le niveau logique 1 de la puissance était de 15V. Il faut donc intercaler un étage d'adaptation, comme par exemple un circuit 4069 (porte OUI à entrée 5V et sortie 15V).

4. LISTE DES COMPOSANTS ET COUT DE REVIENT DE LA CARTE

Dans cette partie nous dressons une liste de tous les composants utilisés pour notre projet. Cette liste sera en deux parties : une pour la partie commande et l'autre pour la puissance.

- Partie commande en page :
- Partie puissance en page :

5. AMELIORATION ENVISAGEE

Nous avons rencontré quelques difficultés pour la mise en œuvre de la partie puissance, en particulier au niveau du fonctionnement des drivers, et de ce fait, il a été réalisé qu'un bras de pont que l'on a fait fonctionner en hacheur. La carte comportant ce bras de pont n'est en fait qu'un prototype, où certaines résistances ne sont pas fixe dans le but de tester différentes configurations permettant de faire fonctionner les drivers. Par conséquent, pour réaliser un produit final, il faudrait trouver une configuration nous permettant d'utiliser les drivers IR2127 en les faisant fonctionner en sécurité de courant pour couper l'alimentation des transistors en cas de désaturation et évitant de ce fait leur destruction. Aussi pour pouvoir piloter un moteur asynchrone triphasé correctement, il faudrait réalisé la carte de puissance dans son intégralité en faisant trois bras de pont comme celui réalisé en prototype en incluant les améliorations citées ci-dessus. Pour la carte de commande, quelques améliorations peuvent apportées telles que la suppression des straps en gravant en double face.

De plus si ce projet venait à être commercialisé, une étude plus poussée dans la conception de l'onduleur triphasé serait à envisagée. Par exemple, la réduction des cartes de commande et de puissance dans l'optique de réduire le volume total de l'onduleur facilitant ainsi son rangement (l'onduleur est à usage domestique). Il pourrait donc être envisagé d'intégrer la totalité de l'onduleur dans un boîtier muni sur sa face supérieur du commutateur deux positions, du potentiomètre, du bouton poussoir et le boîtier switch. Ainsi l'utilisateur disposerait simplement et clairement des commandes principales du moteur (Avant / Arrière et réglage de la vitesse).

Aussi le coût pourrait être diminuer en choisissant des composants bon marché et en produisant un nombre d'onduleur suffisamment important par économie d'échelle.

CONCLUSION

Le projet réalisé tout au long de la deuxième année nous a permis de comprendre les réalités et les contraintes de la réalisation industrielle de nouveau produit. Tout d'abord, nous avons été confronté aux recherches de travaux déjà réalisés sur le sujet, à savoir l'onduleur triphasé. Puis nous avons choisi une solution technologique composée d'un microcontrôleur ST52E420 pour la commande et de six modules transistor-diode pour la puissance. Enfin, nous avons réalisé cette solution et nous avons testé le prototype et résolu un maximum de problèmes. Cependant le produit final de l'onduleur triphasé reste à réaliser.

En effet nous avons réalisé deux cartes sur lesquelles quelques améliorations peuvent être envisagées. Une carte de commande et une carte de puissance où il est réalisé qu'un bras de pont. Cette carte nous a permis de tester différentes configurations pour permettre le fonctionnement des drivers. Ainsi il suffit de tripler cette carte de puissance sur une seule plaque ou bien de les connecter entre elles via une carte de liaison intermédiaire.

Le projet de l'onduleur triphasé fut un sujet assez vaste et complexe. C'est pour cela que la partie redressement n'a pu être faite. Nous nous sommes donc efforcés de réaliser au mieux l'onduleur triphasé proprement dit en s'appuyant principalement sur une étude faite auparavant par le Professeur Philippe Missirliu portant sur ce thème.

ANNEXES

CONTACTS E-MAIL AVEC M. MISSIRLIU

Re: Microcontrôleur ST52 E420

Date : 12/08/2001 22:21

Je n'ai encore rien rédigé "au propre" quand à l'utilisation du ST52 comme remplaçant du SA828, mais je vous joint le programme que j'ai écrit. Pour le lire vous devez télécharger "Visual Five " sur le site de ST Microelectronics.

Philippe Missirliu

----- Original Message -----

From: "Antoine" <antoine001@voila.fr>

To: <philippe.missirliu@wanadoo.fr>

Sent: Friday, December 07, 2001 3:11 PM

Subject: Microcontrôleur ST52 E420

Nous avons visité votre site concernant la commande d'onduleur triphasé. Et nous souhaiterions obtenir les informations utiles à la programmation du ST 52E420 de St Microelectronics.

Nous vous remercions d'avance.

Faites un voeu et puis Voila ! www.voila.fr
Avec Voila Mail, consultez vos e-mails sur votre mobile Wap.

Re: Microcontrôleur ST52 E420

Date : 01/01/2002 21:47

Vous trouverez les références des distributeurs sur le site de ST. Il existe un kit de développement qui coûte 208 euros chez Eurodis. Je peux vous vendre un ST52E420 programmé.

----- Original Message -----

From: "Antoine" <antoine001@voila.fr>
To: <philippe.missirliu@wanadoo.fr>
Sent: Friday, December 14, 2001 6:20 PM
Subject: Microcontrôleur ST52 E420

Nous avons bien reçu votre réponse, et nous vous en remercions.

Nous souhaiterions savoir les références des fournisseurs pour le ST52E420.
Existe-t-il un kit de développement, et si oui, à quel prix ?

Dans le cas où le prix serait trop élevé, serait-il possible que vous nous vendiez un ST52 programmé.

Merci d'avance,

antoine001@voila.fr

Faites un vœu et puis Voila ! www.voila.fr
Avec Voila Mail, consultez vos e-mails sur votre mobile Wap.

Re: Microcontrôleur ST52 E420

Date : 01/21/2002 21:14

Bonjour

Je peux vous fournir des microcontrôleurs programmés au prix du micro soit 15 euros TTC pièce.

Pour la facture, pas de problème, nous avons déjà pratiqué ce genre de transaction. Il me faudra les coordonnées exactes de votre établissement et de son agent comptable.

Vous trouverez en pièce jointe le fichier correspondant au programme. Vous pourrez le tester avec visual five.

----- Original Message -----

From: "Antoine" <antoine001@voila.fr>
To: <philippe.missirliu@wanadoo.fr>
Sent: Sunday, January 20, 2002 1:34 PM
Subject: Microcontrôleur ST52 E420

Monsieur,

Suite à votre réponse du 1-01-02, nous

avons décider de vous acheter un microcontrolleur ST54E420 programmé, si vous êtes toujours d'accord.

Appartenant à l'université de Tours (IUT, département Génie Electrique et Informatique Industrielle), cet achat doit être justifié par une facture. Serait-il possible de nous établir une facture pour deux à trois microcontrolleurs ?

Dans l'attente d'une réponse, veuillez croire en nos sentiments respectueux.

antoine001@voila.fr

Re: Commande de microcontrolleurs

Date : 02/25/2002 14:46

J'ai bien reçu votre bon de commande. Je m'en occuperai au retour des vacances. Vous recevrez le tout courant mars.

Cordialement

Philippe Missirliu

----- Original Message -----

From: "Antoine" <antoine001@voila.fr>

To: <philippe.missirliu@wanadoo.fr>

Sent: Monday, February 18, 2002 7:16 PM

Subject: Commande de microcontrolleurs

>

> Bonjour,

>

> suite à votre mail, nous avons envoyé à votre lycée une commande de 3 microcontrolleurs ST55E420 programmés.

>

> Nous souhaiterions savoir si cette commande vous est parvenue, et si vous lui avez donné suite.

>

>

> antoine001@voila.fr

> IUT de Tours, dtp GE&II.

> *****
>
> > Bonjour
> > Je peux vous fournir des microcontrôleurs programmés au prix du micro
soit
> > 15 euros TTC pièce.
> > Pour la facture, pas de problème, nous avons déjà pratiqué ce genre de
> > transaction. Il me faudra les coordonnées exacte de votre établissement
et
> > de son agent comptable.
> > Vous trouverez en pièce jointe le fichier correspondant au
programme. Vous
> > pourrez le tester avec visual five.
> >
>
>

Microcontrôleur ST52

Date : 03/14/2002 19:11

Bonjour

Les trois microcontrôleurs sont partis ce jour.

Ci joint le programme.

Je n'avais pas votre nom sous la main lorsque j'ai fait l'envoi, j'ai donc simplement mis "IUT génie électrique". C'est une enveloppe matelassée format A4.

L'intendant du lycée fera parvenir la facture de son côté.

Je vous souhaite bonne réception.

Cordialement.
Philippe Missirliu