

## Mise en place d'une source d'énergie renouvelable à deux alternateurs en cascade commandée par ordinateur

Judicaël RAKOTOSALAMA \*, Tsialefitry ALY SAANDY et Edouard ALIDINA

*Université d'Antsiranana, Faculté des Sciences Physiques, Laboratoire de Mécaniques des Fluides et de Systèmes Energétiques Appliqués (LMFSEA), BP O 201 Antsiranana, Madagascar*

---

\* Correspondance, courriel : [judicaelrakotosalama@gmail.com](mailto:judicaelrakotosalama@gmail.com)

### Résumé

Les auteurs créent une nouvelle énergie renouvelable à base de programmation dite « Energie programmable » ou « E-Prog ». Ceci s'est fait par le pilotage par ordinateur d'un moteur pas à pas à réluctance triphasé de vitesse variable mais uniforme. Ce projet a pour but de remplacer la turbine des centrales électriques par ce moteur pas à pas en créant une interface graphique grâce à la Programmation Orienté Objet DELPHI et éliminer les impacts de la variation de fréquence sur la tension fournie par le générateur. Les résultats ainsi obtenus nous permettent de comprendre que l'amélioration consiste aussi à récupérer toute l'énergie disponible proportionnelle à la vitesse maximale du moteur pas à pas par l'intermédiaire des alternateurs en cascade.

**Mots-clés :** *moteur pas à pas, réluctance variable, triphasé, alimentation, commande, pilotage, alternateur, cascade, générateur programmable, DELPHI.*

### Abstract

**Put in place the renewable energy source at two series alternators and computer controlled**

The authors create one new renewable energy basing of computer programming said "Programmable Energy" or "E-Prog". This will be done by the piloting by computer of step by step motor three-phase reluctance at speed variable but uniform. The object of this project is to replace the turbine power station by this step by step motor by creating one graphical interface thanks to Programmation Oriented Object DELPHI and to eliminate the impact of variation in frequency to the voltage produced by alternator. The results we obtain make it possible to understand that the improvement consists too to recover all the energy proportional available to the maximal speed of the step by step motor by the intermediate of series alternators.

**Keywords:** *step by step motor, variable reluctance, three-phase, alimentation, command, piloting, alternator, series, programmable generator, DELPHI.*

## Nomenclature

<p style="text-align: center;"><b>Lettres latines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>M_m</math>: Moment du couple moteur</li> <li>• <math>L_j</math>: Inductance du courant des phases j</li> <li>• <math>J_j</math>: Intensité du courant des phases j</li> <li>• <math>L_a</math>: Inductance propre de la phase a</li> <li>• <math>L_{ab}</math>: Inductance mutuelle entre a et b</li> <li>• <math>J_b</math>: Intensité du courant de la phase b</li> <li>• <math>M_{dym\ max}</math>: Couple dynamique maximale</li> <li>• <math>M_{statique}</math>: Couple statique</li>   <li>• <math>K_A</math>: Coefficient de proportionnalité</li> <li>• <math>M_r</math>: Couple résistant</li> <li>• <math>L/R</math>: Constante du temps électrique</li> <li>• <math>I</math>: Inertie totale dans tous les cas, c'est-à-dire celle du rotor plus celle de la charge.</li> <li>• <math>T</math>: Période.</li> <li>• <math>U_a</math>: Tension d'alimentation du MPP</li> <li>• <math>I_n</math>: Courant par bobine du MPP</li> <li>• <math>R</math>: Résistance</li> <li>• <math>C</math>: Condensateur</li> <li>• <math>D</math>: Diode</li> <li>• <math>D_r</math>: Diode de roue libre</li> <li>• <math>G(s)</math>: Fonction de transfert</li> <li>• <math>e</math>: Écart de réglage</li> <li>• <math>x_c</math>: Valeur de consigne</li> <li>• <math>x_m</math>: Valeur réelle mesurée</li> <li>• <math>Y_s</math>: Valeur de la sortie</li> <li>• <math>U_n</math>: Valeur nominale ou maximale.</li> <li>• <math>Y_R</math>: Sortie du régulateur</li> <li>• <math>k_p</math>: Facteur de Transfert de composante proportionnelle</li> <li>• <math>k_i</math>: Facteur de Transfert de composante intégrale</li> <li>• <math>k_d</math>: Facteur de Transfert de composante dérivée.</li> <li>• <math>T_i</math>: Constante de temps d'intégration</li> <li>• <math>T_n</math>: Dosage de la corrélation d'intégrale</li> <li>• <math>T_v</math>: Dosage de la corrélation de dérivée</li> <li>• <math>s</math>: Opérateur de Laplace</li> <li>• <math>U_{cm}</math>: Tension de sortie du régulateur</li> <li>• <math>U_{réf}</math>: Tension de référence en dent de scie</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Lettres grecques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\alpha</math>: Pas angulaire.</li> <li>• <math>\theta_a</math>: Potentiel électrique.</li> <li>• <math>\tau</math>: Constante de temps</li> <li>• <math>\Omega</math>: Vitesse angulaire</li> <li>• <math>\psi_k</math>: Flux total embrassé par l'enroulement</li> <li>• <math>\Phi_k</math>: Phase à l'origine.</li> <li>• <math>\omega</math>: Pulsation angulaire</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Abréviations</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MPP : Moteur pas à pas</li> <li>• O.C : <u>Optocoupleur</u></li> <li>• T : Transistor de puissance NPN</li> <li>• R : Résistance</li> <li>• C : Condensateur</li> <li>• D : Diode</li> <li>• <math>D_r</math>: Diode de roue libre</li> <li>• <math>\mu s</math>: Microseconde</li> <li>• <math>nF</math>: NanoFarad</li> <li>• DE : Début</li> <li>• SP : Sans recouvrement de phase</li> <li>• AP : Avec recouvrement de phase</li> <li>• AV : Marche avant</li> <li>• AR : Marche arrière</li> <li>• DN : Données à envoyer au port parallèle</li> <li>• TP : Durée de chaque impulsion</li> <li>• VT : Vitesse du moteur</li> <li>• TM : Durée d'utilisation de chaque vitesse</li> <li>• FI : Fin</li> <li>• / : Séparateur d'instruction</li> <li>• POO : Programmation Orienté Objet</li> <li>• K : Interrupteur</li> <li>• E.E.M : Embrayage Electromagnétique</li> <li>• P.I.D : Proportionnel- Intégrateur- Dérivateur</li> <li>• s : Opérateur de Laplace</li> <li>• C : Commande</li> <li>• <math>kHz</math>: KiloHertz</li> <li>• ALT : Alternateur</li> <li>• MULT : Multiplicateur</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_p</math>: Fréquence de pulsation</li> <li>• <math>T_e</math>: Temps d'enclenchement</li> <li>• <math>T_d</math>: Temps de déclenchement</li> <li>• <math>T_p</math>: Période de pulsation</li> <li>• <math>T_{cm}</math>: Constante du temps du dispositif de commande</li> <li>• tr/s : Tour par seconde</li> <li>• <math>f</math>: Fréquence du courant</li> <li>• <math>R_k</math>: Résistance de l'enroulement parcouru par le courant <math>i_k</math></li> <li>• <math>L_k</math>: Inductance de l'enroulement</li> <li>• <math>i_k</math>: Courant de phase statorique</li> <li>• <math>U_m</math>: Tension mesurée</li> <li>• <math>U_C</math>: Tension de consigne</li> <li>• <math>U_K</math>: Tension aux bornes d'un enroulement du générateur</li> <li>• <math>U_{utile}</math>: Tension d'utilisation</li> <li>• <math>U_{A1, A2}</math>: Tension de l'alternateur 1 et de l'alternateur 2</li> <li>• <math>I_{r+Ms}</math>: Inertie du MPP + Inertie de MS</li> <li>• <math>M_{em}</math>: Couple électromagnétique de la machine synchrone</li> <li>• <math>M_r</math>: Couple de MPP produit par l'action de programmation</li> <li>• <math>M_v</math>: Couple de frottement visqueux</li> <li>• <math>M_s</math>: Couple de frottement sec</li> <li>• <math>n_1</math>: Nombre de tour par seconde du MPP</li> <li>• <math>n_2</math>: Nombre de tour par seconde du générateur</li> <li>• <math>D_1</math>: Diamètre du rotor du MPP</li> <li>• <math>D_2</math>: Diamètre du rotor du générateur</li> </ul>	

## 1. Introduction

De nos jours, la technologie prend une place très importante dans la vie quotidienne. Les sources d'énergies naturelles comme : Eolienne, Solaire, Hydraulique, Thermique, etc., présentent encore des risques à cause de la variation de fréquence de la tension fournie par le générateur. Nous [1] avons déjà étudié ce phénomène naturel mais inévitable. Cela affecte beaucoup les matériels et les usagers. [2] ont amélioré le rendement énergétique à travers des nouvelles techniques d'installation des systèmes énergétiques pour éliminer ces risques. Ainsi, nous avons inspiré à faire une nouvelle énergie renouvelable qu'on peut contrôler. [3] considère généralement l'électronique de commande et de réglage, et [4] sur la commande numérique du système dynamique. C'est à dire, nous voulons créer une énergie qui ne provoque pas de risque de variation de tension et ne nécessite pas des carburants. [5] a réussi de commander un moteur pas à pas. En effet, la turbine sera commandée et contrôlée de vitesse variable et uniforme par l'homme au lieu de phénomène naturel. [6] sur l'interface parallèle et robotique nous aide dans la réalisation de ce travail. Cette nouvelle énergie de troisième millénaire basée sur la programmation s'intitule « Energie Programmable » ou « E-prog », dont la turbine est le moteur pas à pas (MPP) piloté par un ordinateur programmable. Nous choisissons le moteur pas à pas car c'est le moteur électrique qui a la particularité d'assurer un mouvement mécanique incrémental continu. La Programmation Orienté Objet (DELPHI) est alors nécessaire pour créer une interface graphique de piloter cet engin. L'amélioration de cette recherche est aussi basée sur l'étude analytique d'accouplement et de découplage des deux alternateurs en cascade en utilisant l'Embrayage Electromagnétique(EEM) afin de récupérer toute l'énergie disponible proportionnelle à la vitesse maximale du moteur pas à pas.

## 2. Matériels et méthode analytique

### 2-1. Schéma fonctionnel du générateur programmable à deux alternateurs en cascade

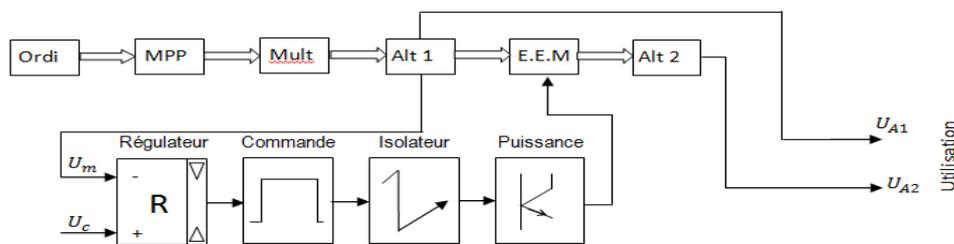


Figure 1 : Principe de l'installation

### 2-2. Conversion de l'énergie programmable en énergie électrique

L'énergie programmable est captée par le moteur pas à pas afin de transformer en énergie mécanique. La transformation de cette dernière en énergie électrique est assurée par un générateur électrique de type synchrone ou asynchrone.

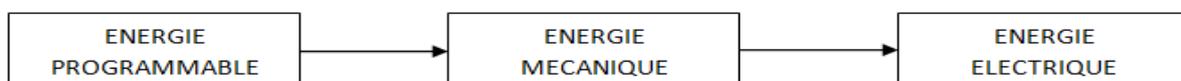


Figure 2 : Principe de conversion de l'énergie dans l'E-Prog

### 2-3. Types du moteur pas à pas

Comme tous les moteurs électriques, les MPP possèdent une partie fixe appelée « Stator » et une partie mobile appelée « Rotor ». Il existe trois types du moteur pas à pas :

- MPP à reluctance variable : Il utilise la variation de l'inductance propre d'une bobine pour générer la force ou le couple ;
- MPP à aimant permanent : Le couple développé par le moteur est dû à l'interaction mutuelle entre l'aimant permanent et la bobine alimentée ;
- MPP Hybride : Un MPP hybride possède les caractéristiques des deux moteurs énoncés ci-dessus.

#### 2-3-1. Domaine de fonctionnement du MPP

Voici la description des principaux domaines de fonctionnement du MPP :

- ✓ 1 - 3 : Domaines stables ;
- ✓ 2 : Domaine instable ;
- ✓ 4 : Domaine stable après un démarrage dans 3 ;
- ✓ 5 : Domaine de fonctionnement impossible.

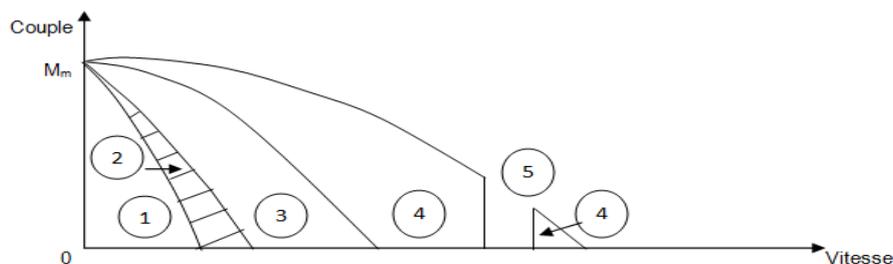


Figure 3 : Domaine de fonctionnement d'un MPP en fonction de la vitesse

### 2-4. Moteur pas à pas à reluctance variable

Les MPP à réluctance variable ont des fréquences du travail plus élevées et un produit couple par vitesse de rotation plus faible. Le couple généré par l'alimentation des phases  $j$  est donné par :

$$M_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL_j}{d\alpha} \cdot j_j^2 \quad (1)$$



Figure 4 : Moteur reluctant triphasé

### 2-4-1. Caractéristiques dynamiques

Le couple dynamique maximale pour ce type de moteur est :

$$M_{dyn\ max} = \frac{1}{2} \cdot M_{statique} \quad (2)$$

Le couple statique est donc au moins 200 % du couple dynamique maximal.

Le très gros avantage des moteurs à réluctance variable est leur vitesse de fonctionnement élevée.

### 2-4-2. Performances - Résonances

Plus particulièrement, les valeurs numériques se rapportent au moteur SM — 024 — 0035 — AA à réluctance variable produit par la maison *Warner Electric and Clutch, Beloit, Wisconsin, USA*, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Nombre de phases : 03 ;
- Nombre d'encoques statoriques : 12 ;
- Nombre de dents rotoriques : 8 ;
- Nombre de pas par tour : 24 ;
- Pas angulaire : 15 ;
- Couple statique maximal pour un bobinage 20Ω par phase, alimenté en 28V : 0.247 N.m ;
- Inertie du rotor :  $1,27 \cdot 10^{-6} Kg \cdot m^2$  ;
- Vitesse maximale du rotor : 625 pas par seconde ;
- Masse : 0,45 [kg].

### 2-4-3. Equation du mouvement sur un pas

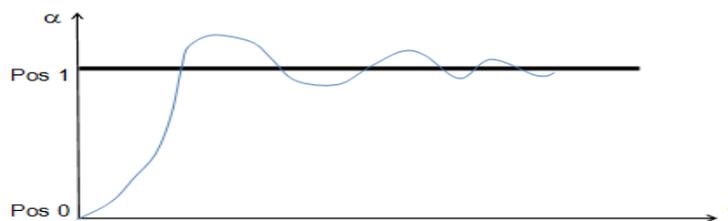


Figure 5 : Allure du mouvement du rotor sur 1 pas

La courbe observée répond à une **Equation** générale oscillatoire du type :

$$I \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} + K_A \cdot \frac{d\alpha}{dt} - M_m + M_r = 0 \quad (3)$$

### 2-4-4. Equation à l'origine

On peut supposer, à l'origine, plusieurs hypothèses simplificatrices :

- la vitesse étant faible, les amortissements sont négligeables ;
- le couple moteur est simplement constant à l'intensité constante ;
- Le couple maximal dynamique est proportionnel au nombre d'ampères tours et nous poserons :

$$M_{dyn\ max} = \rho \cdot J \quad (4)$$

$J$  : Intensité du courant qui parcourt un enroulement.

La constante du temps électrique  $L/R$  n'est plus négligeable et l'**Equation** près de l'origine s'écrit :

$$I \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \rho \cdot J = \rho \cdot \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right) \quad (5)$$

#### 2-4-5. Equation au voisinage de la position d'équilibre

Le changement d'origine se fait en plaçant le 0 et  $\alpha$  sur la position d'équilibre. Dans le cas de notre moteur à pas de  $15^\circ$ , la force de rappel est proportionnelle à  $\sin \alpha$ . Durant les vitesses assez élevées, l'**Equation** permet de trouver un ordre de grandeur de la pseudo-période d'oscillations en écrivant :

$$I \cdot \frac{d^2\alpha^2}{dt^2} = -M_m \cdot 6\alpha \text{ ou } \frac{d^2\alpha^2}{dt^2} \cdot \alpha^{-1} = -6 \cdot \rho \cdot \frac{V}{RI} \quad (6)$$

#### 2-4-6. Equation mécanique du MPP en charge

L'**Equation** dynamique du MPP en rotation et en charge peut s'écrire sous la forme :

$$I_{t+Ms} \cdot \frac{d\Omega_t}{dt} = M_{em} + M_t - M_v - M_s \quad (7)$$

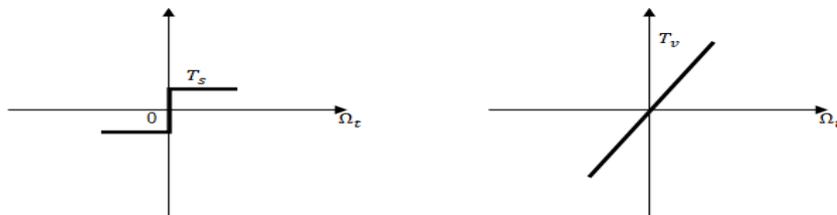


Figure 6 : Allure des frottements secs (à gauche) et visqueux (à droite) en fonction de la vitesse angulaire  $\Omega_t$

#### 2-4-7. Forme réelle du couple moteur

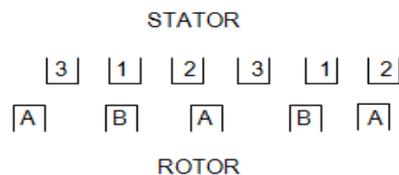


Figure 7 : Schéma de principe du fonctionnement du moteur SM – 024 – 0035 – AA

A l'instant 0, les bobines du groupe 1 cessent d'être alimentées au profit des bobines 2. Les bobines 2 exerceront des attractions sur les dents A et B. Le couple créé sera noté  $M_2(A - B)$ . Le système une fois stabilisé, si l'on alimente les bobines du groupe 3, on remarque que ce sont les dents B qui sont attirés et on notera le couple  $M_3(B - A)$ . Chaque commutation créera un déplacement de  $\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12}\right)$  tour soit  $\frac{1}{24}$  tour. La courbe du couple étant intuitivement de la forme suivante.

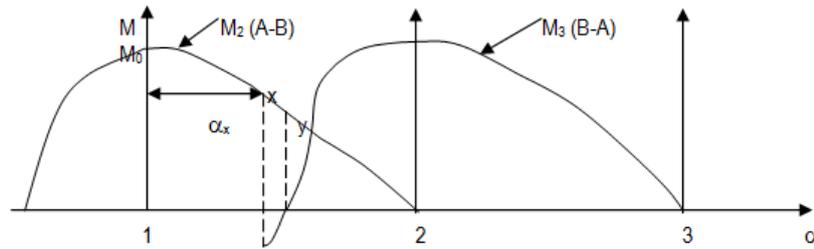


Figure 8 : Forme complète du couple moteur

**2-4-8. Zones de résonance**

Il est évident que si le rapport de l'inertie à l'amortissement est trop élevé, il peut parfaitement exister plusieurs zones de résonance, correspondant à des périodes décalées de la valeur suivant :

$$T = 2\pi \cdot \left(6 \cdot \rho \cdot \frac{V}{RI}\right)^{-1/2} \tag{8}$$

Pour le fonctionnement continu du moteur, il faut éliminer les résonances.

**2-4-9. Moyens pratiques pour éliminer les résonances**

L'utilisateur cherche le moyen d'éliminer les résonances sur :

- Conception des mécanismes ;
- Amortisseurs mécaniques ;
- Amortissements électriques ;
- Amortissements électroniques comme : recouvrement de phase, système à freinage, système à dernière impulsion retardée.

**2-5. Multiplicateur**

En admettant qu'on a toujours besoin de la vitesse de rotation élevée de la machine nécessaire au bon fonctionnement du générateur. La présence d'un multiplicateur s'impose donc entre le rotor du MPP et celui du générateur pour la transmission du mouvement entre eux.



Figure 9 : Dispositif de transmission du mouvement circulaire

**2-5-1. Equation de transmission du mouvement circulaire**

La Figure 3 nous permet d'écrire l'Equation de transmission du mouvement suivante :

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot D_1}{D_2} \tag{9}$$

## 2-6. Alternateurs en cascade

Nous avons étudié deux alternateurs en cascade sur l'E-Prog dans le but de recevoir le maximum d'énergie nécessaire à l'utilisation.

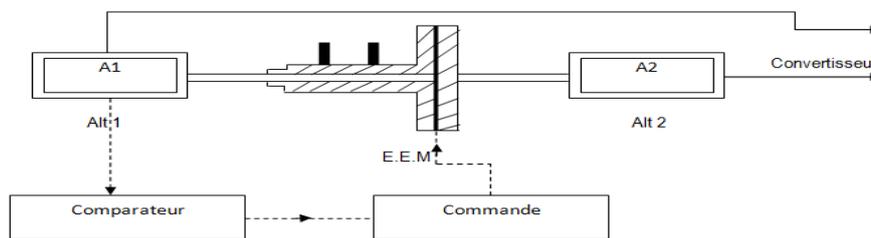


Figure 10 : Structure du générateur à 2 alternateurs en cascade

### 2-6-1. Embrayage électromagnétique

L'électro-aimant provoque l'adhérence du férodo et, par suite, la transmission du mouvement. La position débrayée est obtenue dès que cesse l'action du courant électrique par un disque de rappel élastique. Ce dispositif permet la commande à distance et la mécanisation de la manœuvre en agissant sur le contacteur par des taquets ou de relais ou des interrupteurs électroniques.

## 2-7. Equipement de réglage

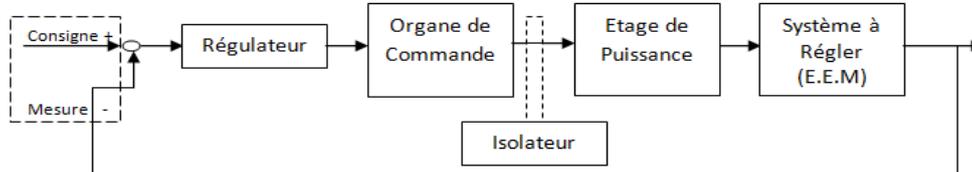


Figure 11 : Equipement de réglage

### 2-7-1. Régulateur (P.I.D)

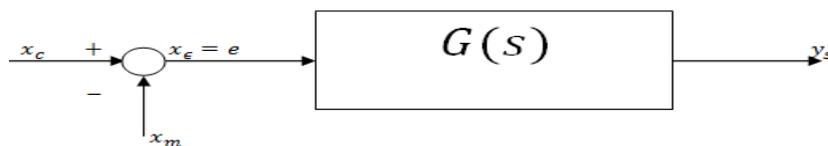


Figure 12 : Fonction de Transfert du régulateur standard

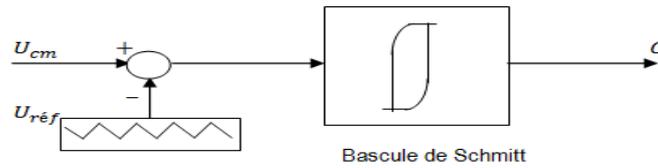
Soit l'écart de réglage  $e$  :

$$e = x_c - x_m \quad (10)$$

La Fonction de Transfert s'écrit :

$$G_R(s) = \frac{(1+sTn)(1+sTv)}{sTi} \quad (11)$$

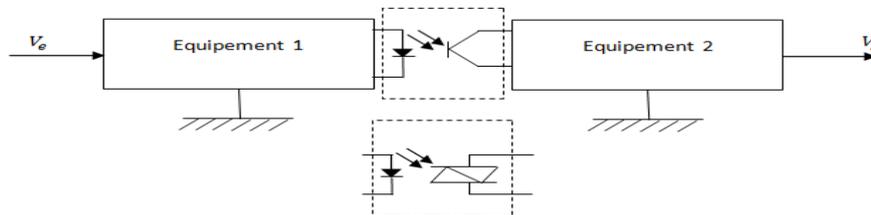
**2-7-2. Dispositif de commande**



**Figure 13 :** Schéma de principe du dispositif de commande  
 Remarque : Le circuit intégré ICL 8038 peut fabriquer le signal en dent de scie

**2-7-3. Isolation galvanique**

Transmettre des signaux (analogiques ou numériques) de mesure, de commande, de données, etc., entre équipements isolés.

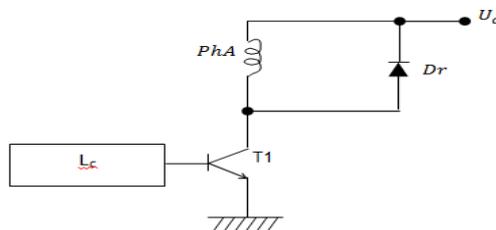


**Figure 14 :** Isolation optique (phototransistor, photodiode, phototriac, photothyristor)

L'optocoupleur à sortie transistor NPN : PC849 est utilisé pour la séparation galvanique entre le circuit de commande et de puissance du système.

**2-7-4. Etage de puissance**

Il assure une amplification de la commande de façon à appliquer une tension aux bornes de chaque phase selon la séquence et le mode d'extinction à réaliser. L'alimentation conventionnelle d'une phase avec circuit d'extinction est présentée comme suit :



**Figure 15 :** Extinction avec diode de roue libre

**2-8. Description et fonctionnement d'accouplement et de découplage des deux alternateurs en cascade**

Dans cette étude, nous avons abordé théoriquement le système de couplage et de découplage des alternateurs en cascade (**Figure 10**) en adoptant que la pulsation angulaire  $\omega$  du générateur dans l'intervalle de temps considéré doit être fixe pour avoir la tension constante aux bornes de chaque enroulement.

- **Période initiale**

$U_m \leq U_c$  : Seul alternateur ALT1 marche

$$U_{\text{utilis}} = U_{A1} \quad (12)$$

- **Période d'accouplement (Période d'accélération)**

$U_m > U_c$  : L'accouplement d'ALT1 et ALT2 par l'excitation de l'embrayage électromagnétique E.E.M.

$$U_{\text{utilis}} = U_{A1} \parallel U_{A2} \quad (13)$$

- **Période de découplage (Période de décélération)**

C'est une opération inverse de l'accouplement, c'est-à-dire, la vitesse du MPP diminue, ce qui provoque la décélération de l'alternateur.  $U_m$  devient inférieur ou égal à  $U_c$  : le découplage de l'alternateur Alt2 par désexcitation d'EEM, alors seul Alternateur Alt1 marche.

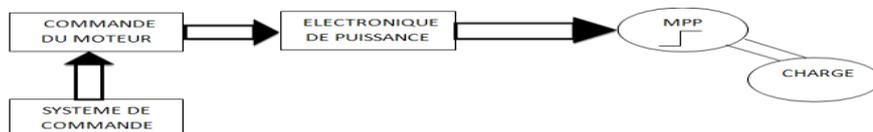
$$U'_{\text{utilis}} = U'_{A1} \quad (14)$$

### 3. Méthode de programmation

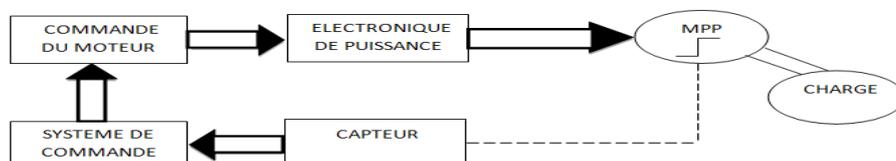
#### 3-1. Types de commande d'un MPP

La commande assure la succession des ordres de commutation de phase à un rythme compatible avec les fonctions à réaliser. On distingue généralement trois types de commande :

**-Commande en boucle ouverte :**



**-Commande en boucle fermée avec capteur :**



**-Commande en régime auto-asservi :**

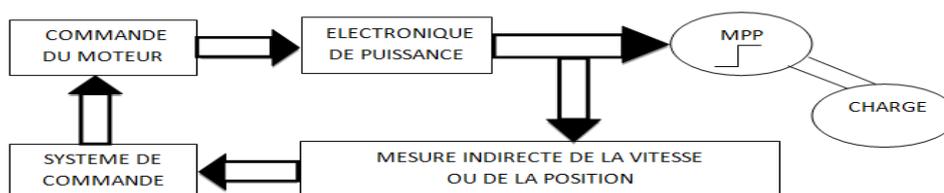


Figure 16 : Commande des MPP

### 3-2. Séquenceur

De nombreuses séquences d'alimentation peuvent être imaginées :

- une avance en pas entier sans recouvrement de phase (**Figure 17-a**) ;
- une avance en pas entier avec recouvrement de phase (**Figure 17-b**).

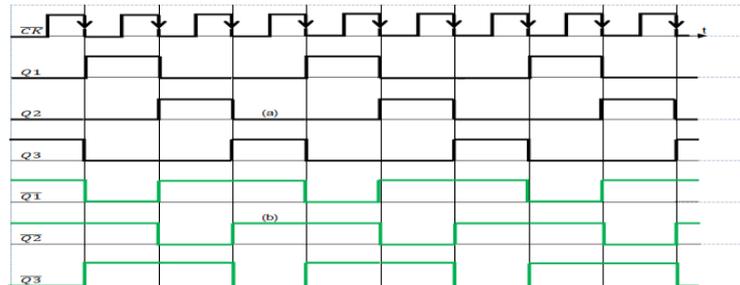
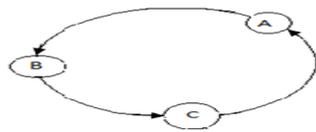
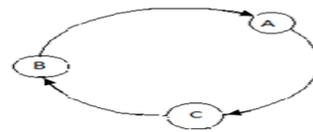


Figure 17 : Diagramme temporel des impulsions

### 3-3. Aiguillage de sens de rotation



(a) Sens de rotation à gauche



(b) Sens de rotation à droite

Figure 18 : Ordre d'allumage pour les trois phases

L'aiguillage est assuré par un quadriplexeur SN 74157 dont les quatre éléments sont tous utilisés. On aiguille soit  $Q_2$  et  $\overline{Q_2}$  ou  $Q_3$  et  $\overline{Q_3}$  en agissant sur l'interrupteur K1.

### 3-4. Aiguillage du type d'impulsion

Comme  $Q_1, Q_2$  et  $Q_3$ , les compléments de  $\overline{Q_1}, \overline{Q_2}$  et  $\overline{Q_3}$  forment aussi un cycle avec recouvrement entre eux. Un autre quadriplexeur, qui est aussi un SN 74157, assure le choix du type d'impulsion à la sortie par l'intermédiaire d'un autre interrupteur K2.

### 3-5. Commande numérique

La commande numérique est destinée pour commander un système électromécanique associé à un ordinateur.

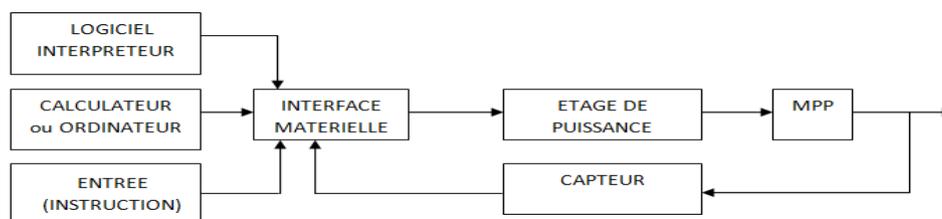


Figure 19 : Schéma bloc de la commande numérique

### 3-6. Commande automatique par ordinateur d'un MPP réluctant triphasé

La commande consiste à faire démarrer, arrêter, choisir le type d'impulsion, changer le sens de rotation du MPP et de varier la vitesse de celui-ci en fonction de la fréquence d'utilisation.

#### 3-6-1. Schéma bloc de la réalisation

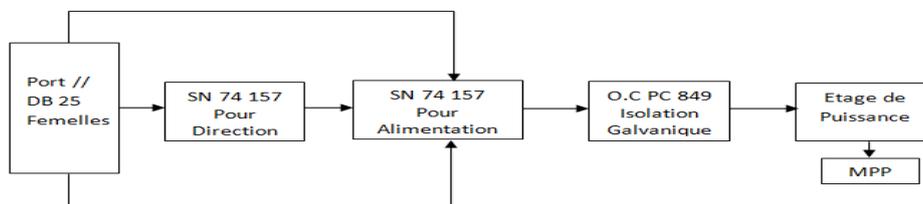


Figure 20 : Schéma global du pilotage automatique par ordinateur d'un MPP

#### 3-6-2. Interface parallèle

Pour l'ordinateur, l'interface est la partie que l'on ouvre vers l'extérieur.

Le port parallèle (ou imprimante) est plus simple d'emploi puisque les signaux disponibles à certaines adresses sont générés par l'ordinateur. On dispose ainsi :

- Des 8 lignes des données (D0 à D7) ;
- Des 4 lignes de commande en sorties.

Le port parallèle standard des PC compatible est présenté sous la forme d'une prise DB25 Femelles.

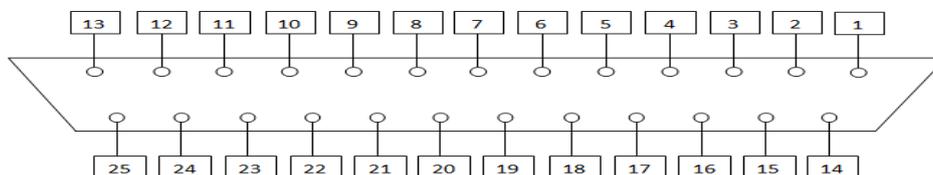


Figure 21 : Connecteur DB25 Femelles

Les affectations physiques de ces broches sont les suivantes :

Tableau 1 : Nature des broches d'une prise DB25 Femelles

N° Broche	Signal	Registre
1	Strobe	Contrôle
2	Data0	Données
3	Data1	Données
4	Data2	Données
5	Data3	Données
6	Data4	Données
7	Data5	Données
8	Data6	Données
9	Data7	Données
10	N Ack	Etat ou Statut
11	Busy	Etat
12	PE	Etat
13	Select	Etat
14	n Autolinefeed	Contrôle
15	n Error	Etat
16	n Init	Contrôle
17	n Select in	Contrôle
18 – 25	Masse	

Les adresses de base pour les ports parallèles sont :

LTP1 : \$3BC    LTP2 : \$378    LTP3 : \$278    LTP4 : \$268    LTP6 : \$27C    LTP8 : \$26C

### 3-7. Interpréteur

Un interpréteur est un système qui ne génère pas de code, mais à chaque instruction du langage source se branche à une routine correspondante pour exécuter l'instruction.



Figure 22 : Principe de fonctionnement de l'interpréteur

La syntaxe détermine si la chaîne appartient au langage de la sémantique qui analyse le sens de la chaîne.

Tableau 2 : Codes d'instruction

COMMANDE	PARAMETRE
DE	Démarrage (début du programme)
SP	Impulsion sans recouvrement de phase
AP	Impulsion avec recouvrement de phase
AV	Marche Avant
AR	Marche Arrière
DN	Données à envoyer au port parallèle
TP	Durée de chaque impulsion
VT	Vitesse du moteur (accélération ou décélération)
TM	Durée d'utilisation de chaque vitesse
FI	Arrêt (fin du programme)
/	Séparateur d'instruction

L'ensemble de ces codes d'instruction consiste un message. Après avoir saisi les instructions, on entame à l'exécution. Dont voici un exemple : DE / SP – AV – DN – TP – 10 – VT – TM – 15 / FI Exécution.

Pour envoyer ces données sur le port de l'imprimante, on peut utiliser les différents programmes suivants :

- ASSEMBLEUR ;
- PASCAL ;
- DELPHI.

### 3-8. Programmation

Nous avons utilisé des boutons pour saisir les codes d'instruction à l'aide de la Programmation Orientée Objet (POO) Delphi7. Ci-joints les tableaux récapitulatifs des données à envoyer au port parallèle.

Tableau 3 : Les données à envoyer au port parallèle

- Sans recouvrement de phase

*Marche avant*

K2	K1	Q3	Q2	Q1	$\overline{Q3}$	$\overline{Q2}$	$\overline{Q1}$	VALEUR EN	VALEUR EN
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEXA	DECI
1	1	0	0	1	1	1	0	CE	206
1	1	0	1	0	1	0	1	D5	213
1	1	1	0	0	0	1	1	E3	227

**Marche arrière**

K2	K1	Q3	Q2	Q1	$\bar{Q}3$	$\bar{Q}2$	$\bar{Q}1$	VALEUR EN	VALEUR EN
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEXA	DECI
1	0	0	0	1	1	1	0	8E	142
1	0	0	1	0	1	0	1	95	149
1	0	1	0	0	0	1	1	A3	163

- Avec recouvrement de phase

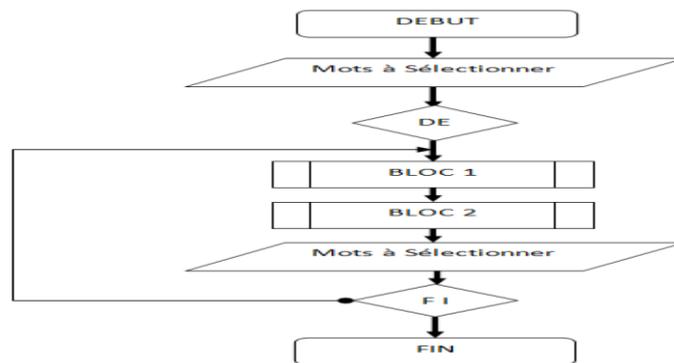
**Marche avant**

K2	K1	Q3	Q2	Q1	$\bar{Q}3$	$\bar{Q}2$	$\bar{Q}1$	VALEUR EN	VALEUR EN
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEXA	DECI
0	1	0	0	1	1	1	0	4E	78
0	1	0	1	0	1	0	1	55	85
0	1	1	0	0	0	1	1	63	99

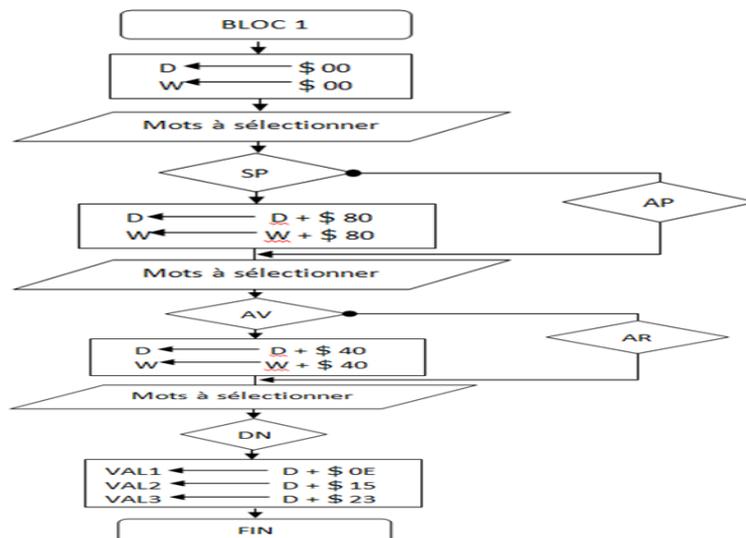
**Marche arrière**

K2	K1	Q3	Q2	Q1	$\bar{Q}3$	$\bar{Q}2$	$\bar{Q}1$	VALEUR EN	VALEUR EN
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEXA	DECI
0	0	0	0	1	1	1	0	0E	14
0	0	0	1	0	1	0	1	15	21
0	0	1	0	0	0	1	1	23	35

**3-9. Ordinogramme d'exécution**



**Figure 23 : Organigramme principale**



**Figure 24 : Organigramme BLOC 1**

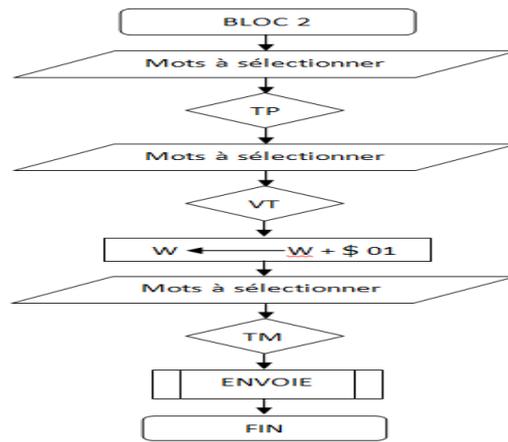


Figure 25 : Organigramme BLOC 2

## 4. Résultats et discussions

### 4-1. Impact de la variation de fréquence sur la tension fournie par le générateur

La tension fournie aux bornes de chaque enroulement d'un alternateur triphasé a pour expression :

$$\begin{cases} U_{K1} = \sum_r [R_k \cdot \hat{i}_k[r] \cdot \cos(r \cdot \omega_{init} \cdot t + \Phi_k[r]) - r \cdot \hat{\psi}_k[r] \cdot \omega \cdot \sin(r \cdot \omega_{init} \cdot t + \Phi_k[r])] \\ U_{K2} = \sum_r [R_k \cdot \hat{i}_k[r] \cdot \cos(r \cdot \omega_{init} \cdot t - \frac{2\pi}{3} + \Phi_k[r]) - r \cdot \hat{\psi}_k[r] \cdot \omega \cdot \sin(r \cdot \omega_{init} \cdot t - \frac{2\pi}{3} + \Phi_k[r])] \\ U_{K3} = \sum_r [R_k \cdot \hat{i}_k[r] \cdot \cos(r \cdot \omega_{init} \cdot t - \frac{2\pi}{3} + \Phi_k[r]) - r \cdot \hat{\psi}_k[r] \cdot \omega \cdot \sin(r \cdot \omega_{init} \cdot t + \frac{2\pi}{3} + \Phi_k[r])] \end{cases} \quad (15)$$

Pour les allures des tensions, nous adoptons les hypothèses simplificatrices suivantes :

$$\begin{cases} \Phi_k[r] \approx 0 \\ \Psi_k[r] \approx L_k \cdot i_k \end{cases} \quad (16)$$

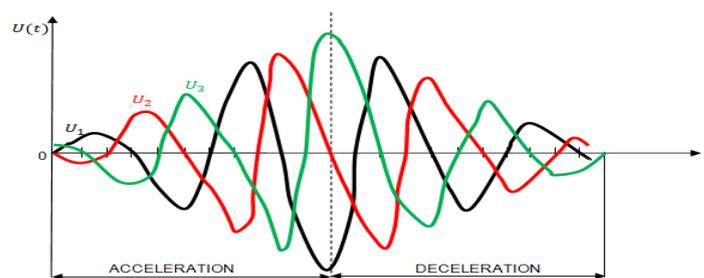


Figure 26 : Allure des tensions triphasées à fréquences variables

### 4-2. Langage de programmation DELPHI 7

Delphi représente une nouvelle façon de développer des applications sous Windows. Il associe la vitesse et la convivialité d'un environnement de développement visuel à la puissance d'un langage objet, au compilateur le plus rapide au monde et à une technologie de base de données de pointe. Nous avons utilisé la caractéristique de Delphi 7 en Programmation Objet pour le pilotage automatique par ordinateur d'un moteur pas à pas (la turbine).

#### 4-3. Dynamisme du moteur pas à pas à étudier

L'avantage de cette commande par ordinateur par rapport aux autres commandes est que les données à envoyer au port parallèle sont très précises et en temps réel donc beaucoup des problèmes de fonctionnement du moteur pas à pas sont éliminés d'où c'est une grande amélioration pour le fonctionnement du moteur d'atteindre sa vitesse maximale de l'ordre de 625 pas par seconde. Nous constatons aussi que l'impulsion avec recouvrement de phase est meilleure par rapport à l'autre pour éliminer les oscillations angulaires.

#### 4-4. Impact de la tension fournie par le générateur sur le pilotage

Grâce au pilotage par ordinateur du MPP (la turbine), la vitesse angulaire  $\Omega$  du générateur est variable mais uniforme (mouvement circulaire uniformément varié), la tension fournie par le générateur en triphasé est de la forme :

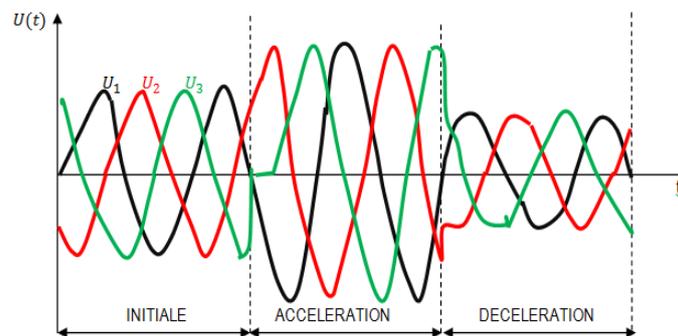


Figure 27 : Allure des tensions triphasées à fréquence variable et uniforme

#### 4-5. Circuit d'alimentation du moteur pas à pas

Pour la réalisation, nous avons adopté l'alimentation conventionnelle utilisant une diode de roue libre  $D_r$  et une résistance  $R_e$  comme extinction.

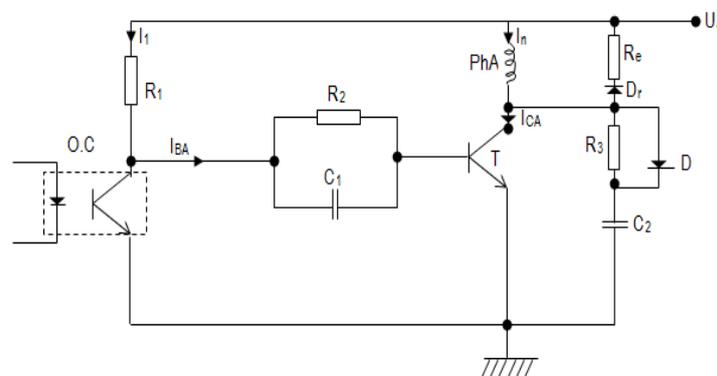


Figure 28 : Alimentation à extinction conventionnelle

O.C : Optocoupleur PC849

T : Transistor de puissance NPN : TIP 110 ou 112,  $\beta = 1000$

- En pratique : on prend  $C_1 = 3,3[\text{nF}]$ ,  $R_1 = 15[\text{k}\Omega]$ ,  $R_2 = 10[\text{k}\Omega]$  ;
- Pour la commutation, on utilise :
  - La résistance de commutation :  $R_3 = 68[\Omega]$  ;
  - Le condensateur commutateur :  $C_2 = 68[\text{nF}]$  ;
  - La Diode de commutation :  $D = BY 299$  ;
- Pour l’extinction, on utilise :
  - La résistance d’extinction :  $R_e = 330[\Omega]$  ;
  - La Diode d’extinction :  $D_r = BYW80$ .

L’amélioration de cette alimentation est nécessaire en éliminant tous les échauffements des composants dans la carte de puissance par l’utilisation des refroidisseurs.

## 5. Conclusion

Dans ce travail, nous avons présenté d’abord, le principe du générateur programmable à deux alternateurs en cascade. Nous avons montré les figures nécessaires ainsi que le type du moteur choisit à l’accomplissement de ce projet. Plus particulièrement un moteur pas à pas à reluctance variable triphasée SM – 024 – 0035 – AA et ses différentes équations, le régulateur P.I.D avec sa fonction de transfert, le multiplicateur avec son équation de transmission du mouvement circulaire, ainsi la description du système d’accouplement et de découplement des deux alternateurs en cascade. Puis, la méthode de programmation était élaborée afin de savoir les différentes marches indispensables depuis la commande jusqu’à la programmation. Ensuite, nous avons trouvé les résultats (**Figure 26**, **Figure 27**) et discussions. Elles montrent alors les allures des tensions triphasées à fréquence variable non uniforme et uniforme. Le langage de programmation Delphi nous permet d’atteindre le dynamisme du moteur pas à pas opté à fréquence maximale de l’ordre de 590 à 625 pas par seconde. Enfin, nous avons constaté que l’utilisation des refroidisseurs dans la carte de puissance (**Figure 28**) est nécessaire pour le bon fonctionnement des composants électroniques. A l’avenir, si nous améliorons ce projet, toutes les sociétés, les habitations, etc., pourraient avoir créé leurs propres sources d’énergies à partir d’un ordinateur, en additionnant le système du stockage.

## Références

- [1] - J. RAKOTOSALAMA. « *Les impacts de la variation des fréquences sur la tension fournie par l’aérogénérateur en constatant que la variation de vitesse du vent est un phénomène naturel et inévitable* ». Redresseur à commutation naturelle associé à un aérogénérateur en DEA, (2008).
- [2] - R. S. RAHARINAIVO et al. « *Optimisation du dimensionnement des systèmes photovoltaïques, amélioration de leur rendement énergétiques à travers des nouvelles techniques d’installation* », vol11, N°1 (2015).
- [3] - H. BÜHLER. « *Electronique de réglage et de commande* », vol 1, (1979).
- [4] - R. LONGCHAMP. « *Commande numérique du système dynamique* », 2<sup>ème</sup> Edition, (2006).
- [5] - R. C. RAKOTOARISOA. « *MPP, alimentation, commande* ». Mémoire Ingéniorat de l’ESPA, (1986).
- [6] - G. MOLINENGAULT. « *Interface parallèle et Robotique* », revue de l’EPI N°80, p 223 - 235.

- [7] - [Available] : <http://www.energies-renouvelable.org>, (2014).
- [8] - [Available] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/moteur\\_pas\\_à\\_pas](https://fr.wikipedia.org/wiki/moteur_pas_à_pas), (2015).
- [9] - [Available] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface\\_graphique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface_graphique), (2015).
- [10] - E. N. RABESON. « *Banc d'acquisition des données exploitants la carte d'entrée/sortie parallèle* ». Mémoire Ingéniorat de l'ESPA, (2000).
- [11] - A. CASTELL Ingénieur Mécanique, Directeur honoraire de Lycée d'Etat ; et A. DUPONT Professeur Technique des Travaux honoraires de Lycée Technique d'Etat. « *Transmission et Transformation du mouvement circulaire de la machine outils par l'embrayage électromagnétique, et le dispositif de transmission du mouvement et d'adaptation dit Multiplicateur* ». Technologie Professionnelle Générale, vol 2 édition PARIS, (1975).
- [12] - [Available]: <http://www.pcsoft.fr>. « *Bordland Delphi 7.0* », (2013).
- [13] - [Available]: <http://www.softonic.fr>. « *Delphi 7.0* », (2013).