

Contents

1	Objectifs	3
2	Cahiers des charges	3
I	Partie théorique:	4
3	Principe et modélisation du BLDC	4
3.1	Principe	4
3.2	Mise en équation du mcc	4
3.2.1	Modélisation du MCC	4
3.2.2	Logique de commande	5
3.2.3	Les différents courbes	6
II	Simulation	7
4	Simulation du cahier de charge	7
4.1	Schéma électrique	7
4.2	Courbes pour $T_{ch} = 0.2$	9
4.3	Analyse des résultats	11
5	Comportement pour une tension d'alimentation variable	12
5.1	Paramètres de simulation	12
5.2	Résultats de simulation	13
5.3	Analyse des résultats	15
6	Comportement pour un couple résistant variable	16
6.1	Paramètres de simulation	16
6.2	Résultats de simulation	16
6.3	Analyse des résultats	19
7	Conclusion général	19

1 Objectifs

Cette manipulation consiste à :

- * Analyser le fonctionnement d'un moteur brushless en boucle ouverte;
- * Maîtriser la simulation de ce type de moteur à l'aide de l'outil Matlab/Simulink/Plecs.

2 Cahiers des charges

Ce compte rendu va répondre aux exigences du cahier des charges suivant :

- ❶ Réalisation de la simulation d'une commande en boucle ouverte de la BLDC sous Matlab/Simulink/Plecs;
- ❷ Analyse de toutes les grandeurs;
- ❸ Vérification des séquences des différentes variables, en se basant sur les résultats discutés dans le cours.
- ❹ Variation de la tension Vdc et observer le résultat.
- ❺ Faire d'autres tests qu'on juge intéressants.
- ❻ Interprétation des résultats & conclusion

Part I

Partie théorique:

3 Principe et modélisation du BLDC

3.1 Principe

Le moteur brushless “BLDC” ou encore le moteur sans balais est un moteur synchrone dont le rotor est constitué d’un ou plusieurs aimants permanents. La position du rotor est déterminée par un capteur de position qui est souvent un capteur à effet hall. Le rôle de ce dernier est d’assurer l’autopilotage du moteur c’est-à-dire l’orthogonalité du flux rotorique par rapport au flux statorique.

La forme des f.e.m est trapézoïdale.

3.2 Mise en équation du mcc

3.2.1 Modélisation du MCC

ReM_arque:

On considère les trois hypothèses suivantes:

$$R_a = R_b = R_c = R$$

$$L_a = L_b = L_c = L$$

$$E_a = E_b = E_c = E$$

L’équation électrique, liant la tension U_{ab} aux bornes de l’induit (rotor) et le courant d’induit I s’écrit :

$$R' * I + L' \frac{dI}{dt} + E' = U_{ab}$$

où $R' = 2R$, $L' = 2L$ et $E' = 2E$

la force électromotrice E , est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor:

$$E' = K'_e * \Omega; K'_e = 2K_e$$

L’équation mécanique rendant compte des couples agissant sur le rotor s’écrit :

$$T_e - T_{ch} - f_r * \Omega_{mec} = J * \frac{d\Omega_{mec}}{dt}$$

où T_e est le couple moteur, T_{ch} est le couple résistant (charge et perturbations), f_r le coefficient de frottement visqueux et J le moment d’inertie du rotor.

Par construction, le couple T est proportionnel au courant d’induit I :

$$T = K'_m * I; K'_m = 2K_m$$

En règle générale les coefficients K_e et K_m sont si proches qu’il est raisonnable de les considérer égaux, négligeant alors les pertes durant la conversion électromécanique de puissance.

On pose:

$$K'_{em} = K'_e = K_m$$

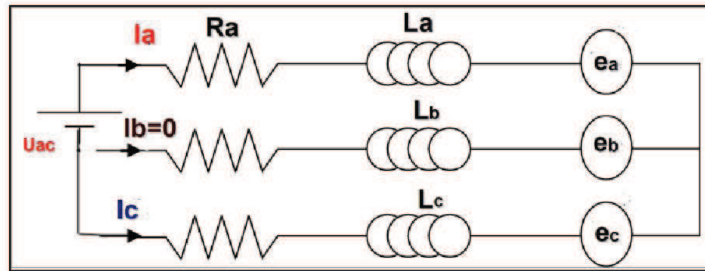


Figure 1: Modéle Electrique de BLDC

3.2.2 Logique de commande

La logique de commande détermine la position du rotor à partir des capteurs à effet Hall. Elle en déduit l'orientation à donner au champ magnétique du stator. Au cours de la rotation, elle commande les trois bobines pour ajuster régulièrement l'orientation du champ à la position du rotor, de façon à entraîner celui-ci dans le sens choisi et avec un couple maximal.

Afin d'avoir un couple maximale et avec un minimum d'ondulation, il faut que le champs rotorique soit perpendiculaire au champ magnétique statorique.

La logique de commande permet de contrôler les trois phases du moteur BLDC à travers six transistors en exploitant les sorties des capteurs à effet de Hall .

D'où le montage de fonctionnement du brushless suivant :

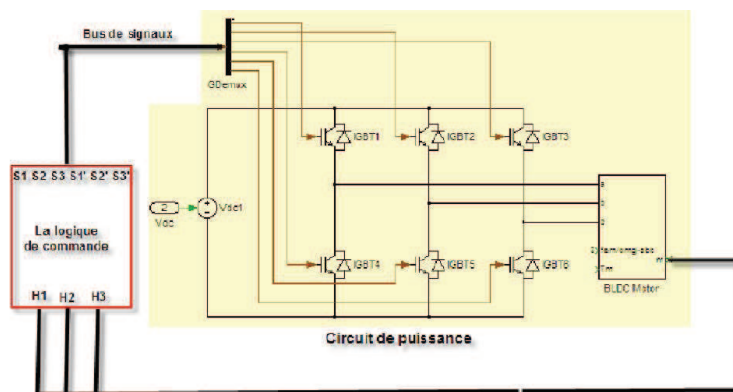
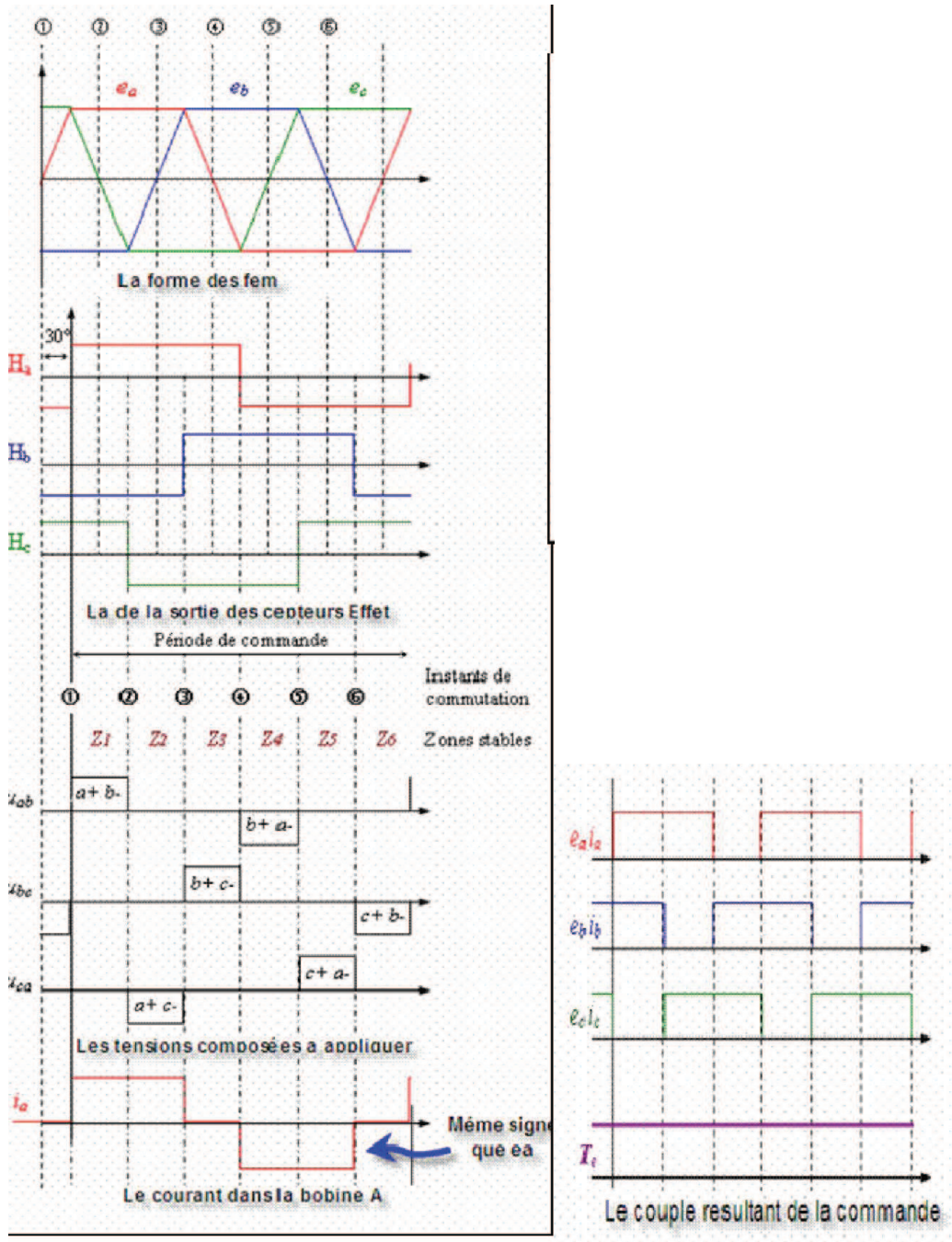


Figure 2: Circuit de commande de BLDC

3.2.3 Les différents courbes



Part II

Simulation

4 Simulation du cahier de charge

4.1 Schéma électrique

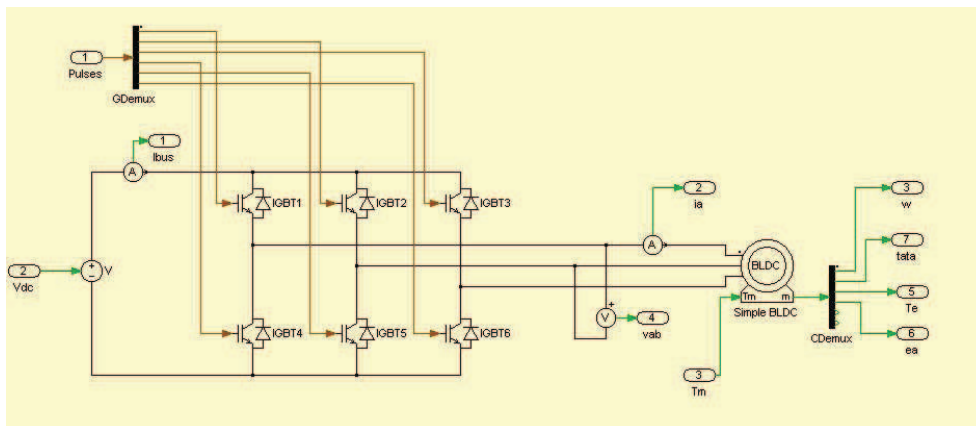


Figure 3: circuit de puissance de la commande du BLDC

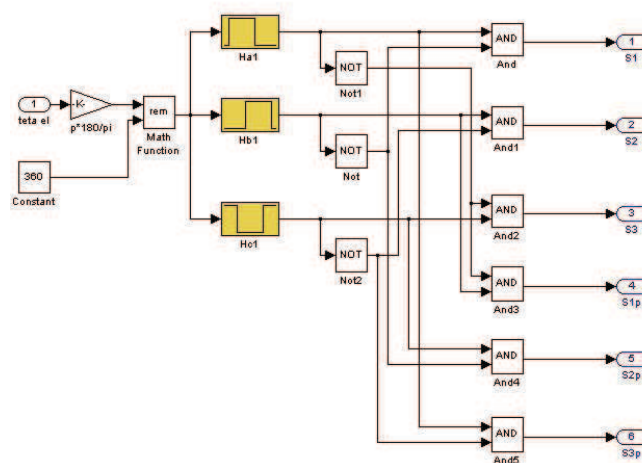


Figure 4: circuit de la commande

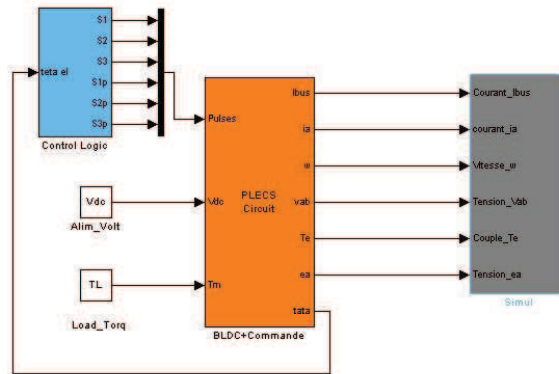


Figure 5: circuit de la commande du BLDC en BO

Algorithm 1 Paramètres de simulation

```

% tension d'alimentation
Vdc=40 V
%Couple de charge
TL=0.2 N.m
%Paramètres de la machine
p=3 paires de pôles;
R=1.59;
L=3.3e-3;
Ke=0.156;
J=3.57e-3;
fr=0.47e-3;

```

4.2 Courbes pour $T_{ch} = 0.2$

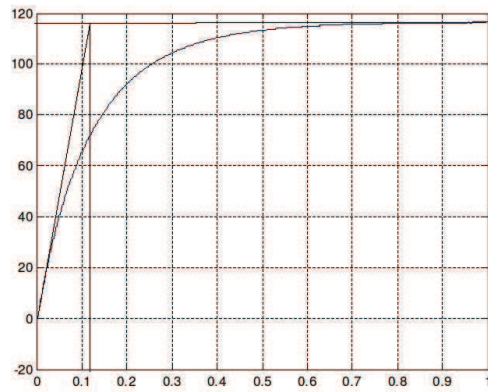


Figure 6: Courbe de la vitesse en rad/s

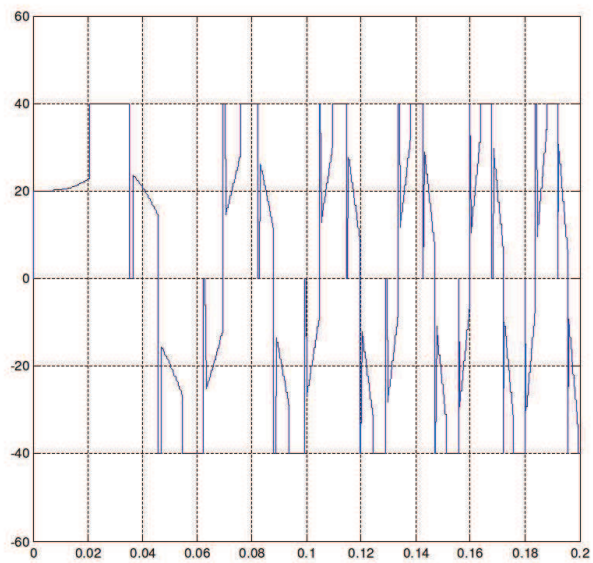


Figure 7: Courbe de la tension entre a et b en V

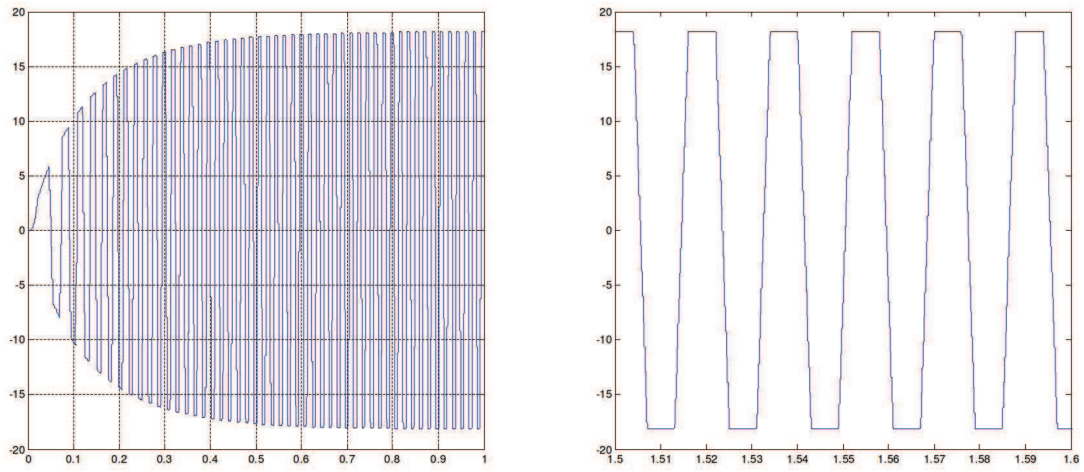


Figure 8: Courbe de la tension de la phase a en V

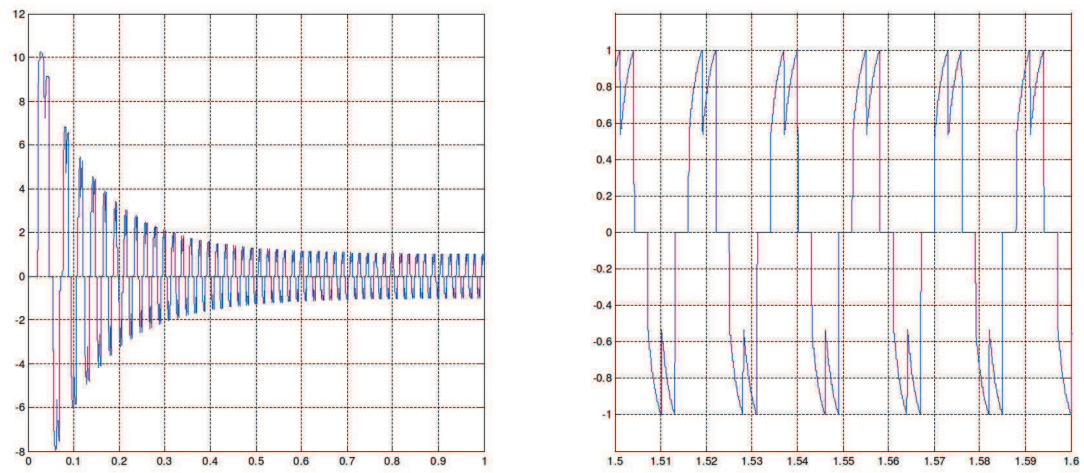


Figure 9: Courbe du courant de la phase a en A

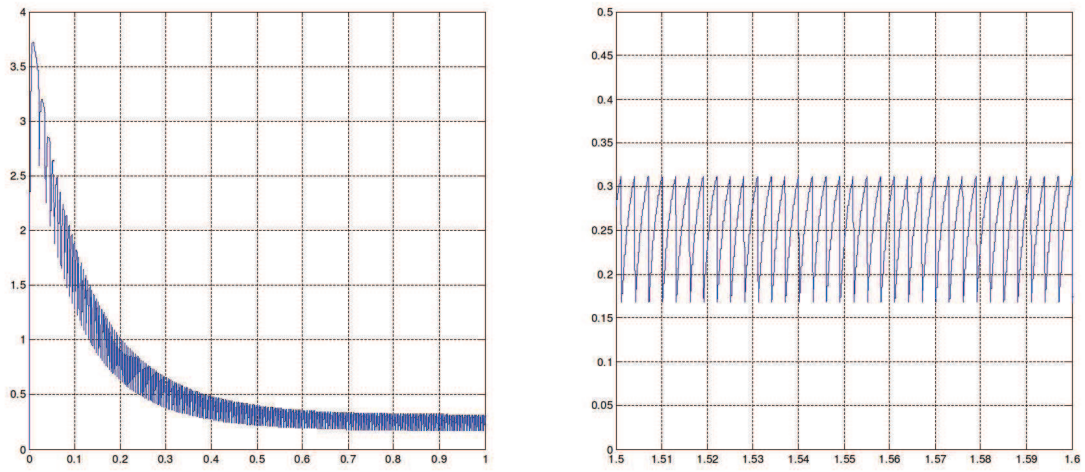


Figure 10: Courbe du couple en N.m

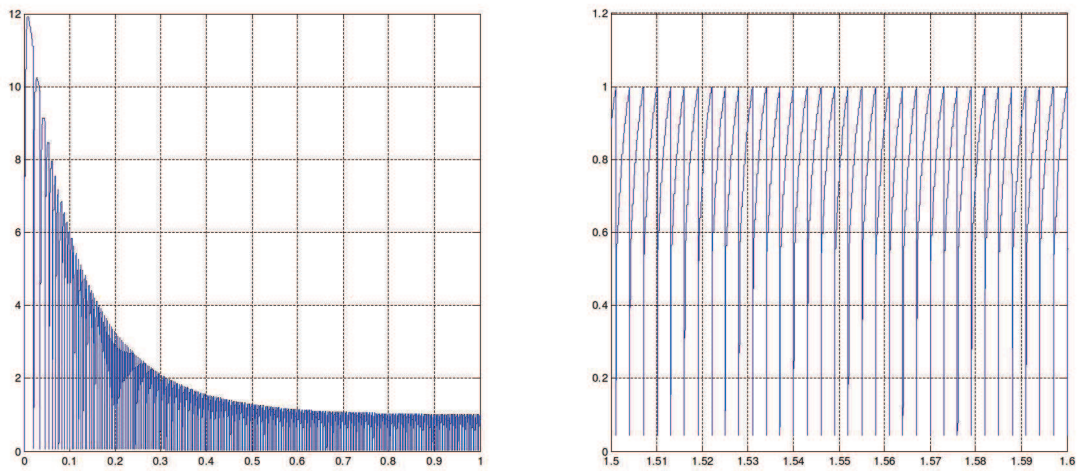


Figure 11: Courbe du courant d'alimentaion en A

4.3 Analyse des résultats

D'après les résultats de la simulation, on remarque que :

- La réponse en vitesse ressemble à une réponse de premier ordre avec une constante de temps égale à $0.12s$ et un gain statique de $2.87rad.V/s$;
- Lors du démarrage le courant est très important , il dépasse 12 fois le courant en régime permanent!!! ;
- Le couple est aussi important au démarrage, ainsi que celui-ci n'est pas continue en régime permanent et représente des ondulations de l'ordre de $0.15N.m$;
- la tension entre deux phase est fortement discontinue,elle a une forme particulière caractérisé par des variations brutales de tension lors de la commutation;
- Chaque discontinuité de la tension entre deux phase est suivie par un comportement transitoire du courant d'une phase;
- La forme de la tension est trapézoïdale ;
- la forme du courant d'une phase est différent à celle de la tension!

5 Comportement pour une tension d'alimentation variable

5.1 Paramètres de simulation

Algorithm 2 Paramètres de simulation

```

%tension d'alimentation variable
Vdc=20V à t=0s
Vdc=50V à t=1s
%Couple de charge constant
TL=0.2 N.m

```

5.2 Résultats de simulation

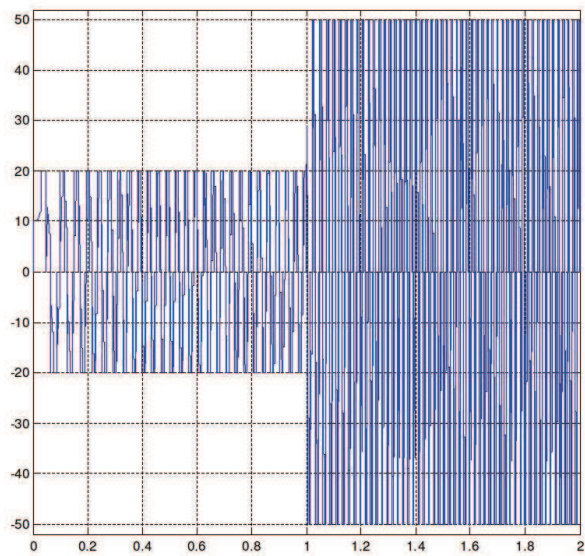


Figure 12: Courbe de la tension entre a et b en V

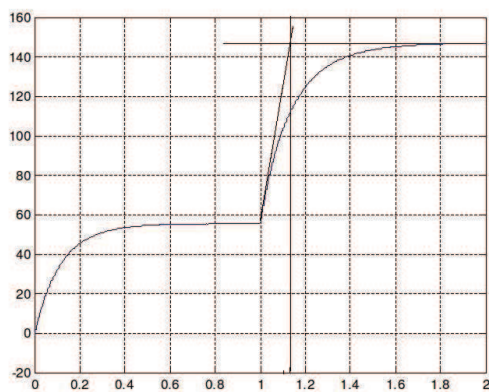


Figure 13: Courbe de la vitesse en rad/s

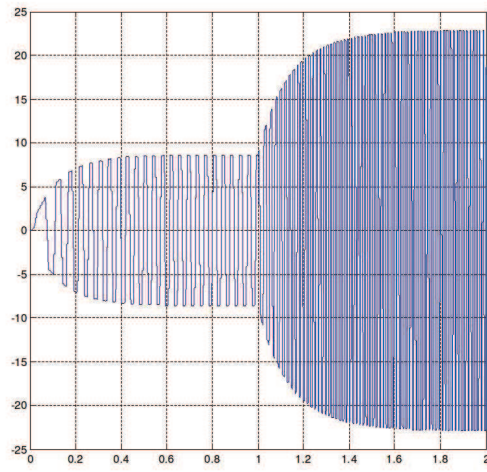


Figure 14: Courbe de la tension de la phase a en V

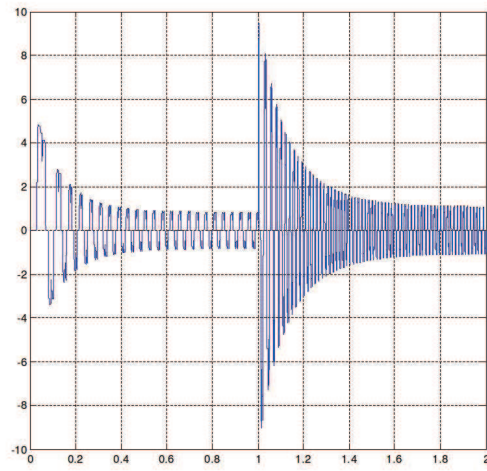


Figure 15: Courbe du courant de la phase a en A

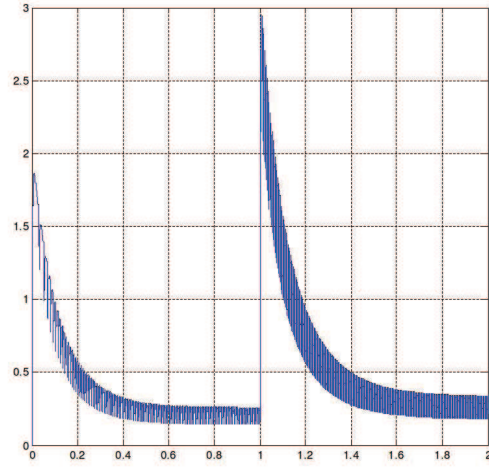


Figure 16: Courbe du couple en N.m

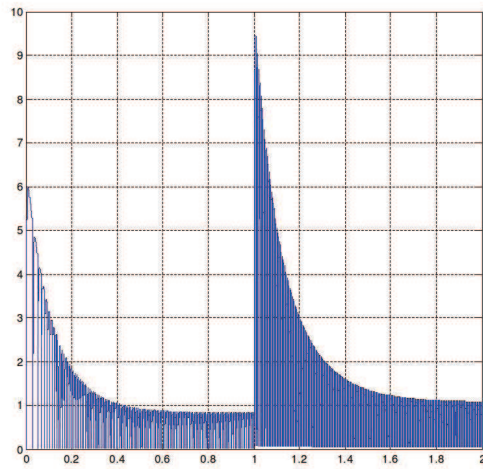


Figure 17: Courbe du courant d'alimentaion en A

5.3 Analyse des résultats

D'après les résultats de la simulation, on constate que:

- La vitesse, la tension simple (a) et celle entre phases (ab) varient proportionnellement avec la tension de l'alimentation V_{dc} ;
- Le temps de réponse de la vitesse reste fixe à $0.36s$;
- Le courant d'alimentation et celui dans une phase gardent la même forme mais avec une amplification ;
- Lors de la variation de la tension ces courants passent toujours par un régime transitoire caractérisé par une forte intensité (même chose pour le couple).

6 Comportement pour un couple résistant variable

6.1 Paramètres de simulation

Algorithm 3 Paramètres de simulation

```

%Couple de charge variable :
TL=0.2 à t=0s
TL=1 N.m à t=1N.m
%tension d'alimentation
Vdc=40 V

```

6.2 Résultats de simulation

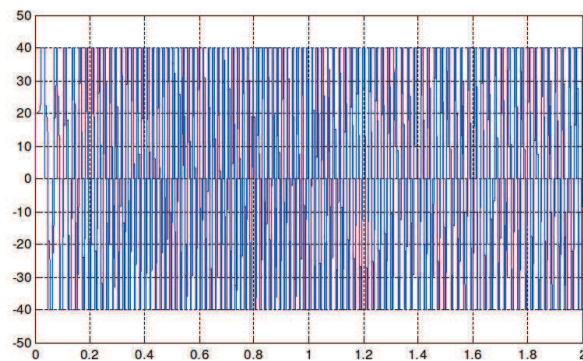


Figure 18: Courbe de la tension entre a et b en V

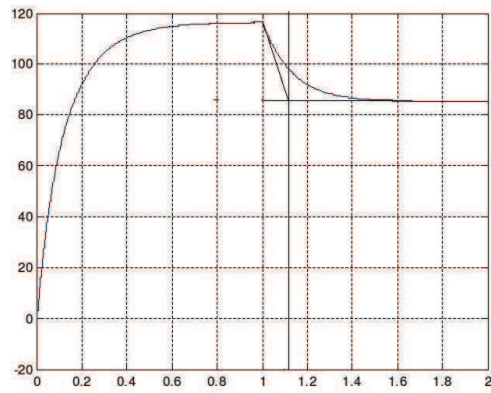


Figure 19: Courbe de la vitesse en rad/s

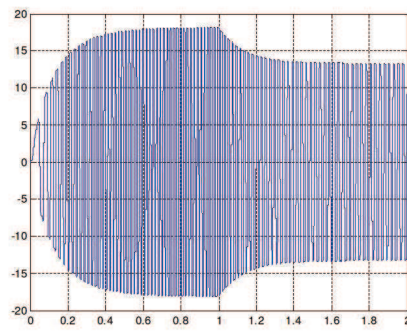


Figure 20: Courbe de la tension de la phase a en V

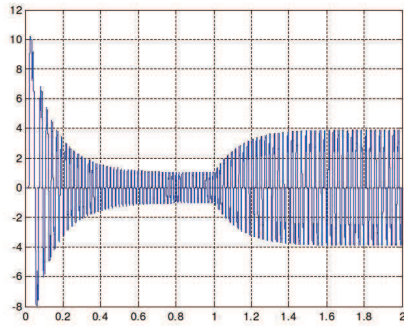


Figure 21: Courbe du courant de la phase a en A

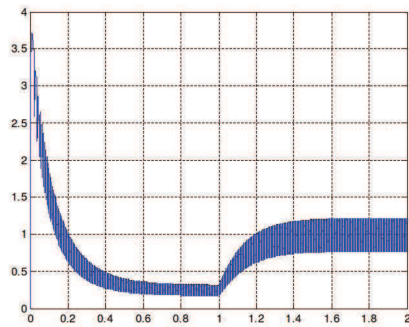


Figure 22: Courbe du couple en N.m

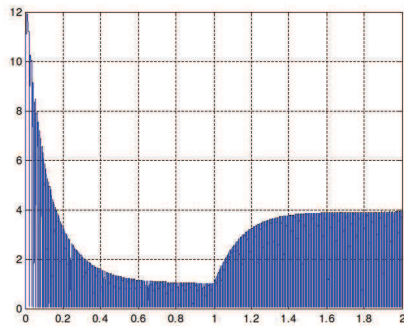


Figure 23: Courbe du courant d'alimentaion en A

6.3 Analyse des résultats

D'après les résultats de la simulation ; lorsqu'on augmente le couple résistant, on constate que:

- La diminution de la vitesse et la tension simple (a) ;
- Le temps de réponse de la vitesse reste fixe à 0.36s ;
- L'augmentation du courant d'alimentation et celui dans une phase ;
- L'augmentation du couple moteur à la valeur du couple résistant.

7 Conclusion général

D'après les résultats de la simulation on remarque que:

- la vitesse de rotation est proportionnelle à la tension d'alimentation, cependant, en boucle ouverte, celle-ci est non contrôlable et dépend du couple résistant ;
- On observe un dépassement du courant qui peut atteindre des valeurs très importantes lors de démarrage;

Pour remédier à ces deux problèmes, il faut penser à une commande en boucle fermée introduisant:

✗ un régulateur de vitesse PI permettant de contrôler la vitesse de rotation;

✗ un régulateur de courant PI avec un bloc de saturant permettant de maîtriser le dépassement de courant et

limiter les fortes intensités surtout pour les machines à fortes puissances.