



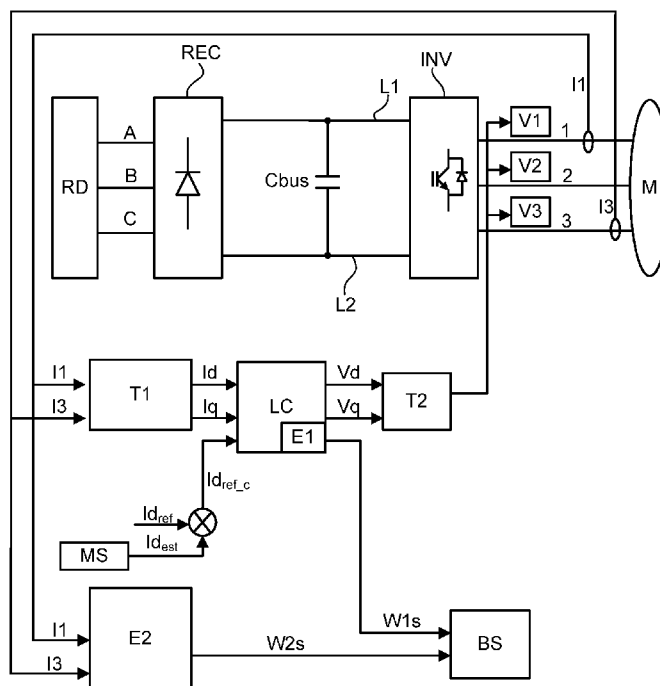
- (51) Classification internationale des brevets :
H02P 21/00 (2006.01) *H02P 6/08* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2013/061703
- (22) Date de dépôt international :
6 juin 2013 (06.06.2013)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1255537 13 juin 2012 (13.06.2012) FR
- (71) Déposant : SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS [FR/FR]; 33 rue André Blanchet, F-27120 Pacy sur Eure (FR).
- (72) Inventeurs : DEFAIX, Olivier; 12 avenue de Porchefontaine - Bât 17, F-78000 Versailles (FR). DEVOS, Thomas; 24 rue du Clos Pie, F-78955 Carrières sous Poissy (FR).
- (74) Mandataires : BIE, Nicolas et al.; Schneider Electric Industries SAS, Service de la Propriété Industrielle, 35 rue Joseph Monier CS 30323, F-92506 Rueil Malmaison Cedex (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : SYSTEM FOR CONTROLLING A SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

(54) Titre : SYSTEME DE COMMANDE D'UN MOTEUR ELECTRIQUE SYNCHRONE

Fig. 1



(57) Abstract : The invention relates to a control system included in a speed selector connected by output phases (1, 2, 3) to a synchronous electric motor (M), said synchronous electric motor (M) being controlled according to a control law (LC) implemented by the speed selector. A first speed (W1s) of the synchronous electric motor is determined by a first speed estimator (E1). A second speed estimator (E2) is used to determine a second speed (W2s) of the synchronous electric motor (M). The system comprises a signal generator module (MS) arranged to apply, to the output phases (1, 2, 3), voltages taking account of a non-constant current signal (I_{d_est}). The second speed estimator is arranged to recover the current response (I1, I2, I3) on the output phases, in order to deduce therefrom the second speed (W2s) of the synchronous electric motor.

(57) Abrégé : L'invention concerne un système de commande inclus dans un variateur de vitesse connecté par des phases de sortie (1, 2, 3) à un moteur (M) électrique synchrone, ledit moteur (M) électrique synchrone étant commandé selon une loi de commande (LC) mise en œuvre par le variateur de vitesse. Une première vitesse (W1s) du moteur

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/186115 A2

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- *relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17.ii)*
- *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)*

Publiée :

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

électrique synchrone est déterminée par un premier estimateur de vitesse (E1). Un deuxième estimateur de vitesse (E2) permet de déterminer une deuxième vitesse (W2s) du moteur (M) électrique synchrone. Le système comporte un module générateur de signal (MS) agencé pour appliquer, sur les phases de sortie (1, 2, 3), des tensions tenant compte d'un signal en courant ($I_{d_{est}}$) non constant. Le deuxième estimateur de vitesse est agencé pour récupérer la réponse en courant (11, 12, 13) sur les phases de sortie, en vue d'en déduire la deuxième vitesse (W2s) du moteur électrique synchrone.

Système de commande d'un moteur électrique synchrone

Domaine technique de l'invention

La présente invention se rapporte à un système de commande mis en œuvre
5 dans un variateur de vitesse connecté à un moteur électrique synchrone.

Etat de la technique

Dans un moteur électrique synchrone, à couple nul, le courant au stator du
moteur est nul mais le moteur peut continuer à tourner et donc avoir une vitesse non
10 nulle. Dans un contexte de sécurité fonctionnelle, il est connu de surveiller la vitesse
d'un moteur électrique en exécutant deux algorithmes indépendants, différents et en
redondance. Lorsque le moteur électrique synchrone tourne alors que le courant au
stator est nul, l'estimation de la vitesse du moteur avec un algorithme basé sur le
courant au stator peut donc s'avérer difficile.

15 Des techniques avec des injections haute fréquence permettent d'estimer
l'angle du moteur et donc sa vitesse de rotation. C'est le cas dans la demande de
brevet US2007/0236167A1. L'un des inconvénients de cette méthode est la nécessité
d'un découplage suffisant des échelles de temps (l'injection doit être rapide par rapport
à la fréquence de rotation). Il faut également que les ondulations de courant soient
20 suffisantes pour passer outre les effets non linéaires des capteurs de courant
(quantification par exemple).

Le but de l'invention est de proposer un système de commande mis en œuvre
dans un variateur de vitesse permettant d'estimer la vitesse d'un moteur électrique
synchrone, même lorsque le couple est nul, sans connaissance sur les paramètres du
25 moteur, ni d'injection haute fréquence.

Exposé de l'invention

Ce but est atteint par un système de commande inclus dans un variateur de
vitesse connecté par des phases de sortie à un moteur électrique synchrone, ledit
30 moteur électrique synchrone étant commandé selon une loi de commande mise en
œuvre par le variateur de vitesse, une première vitesse du moteur électrique
synchrone étant déterminée par un premier estimateur de vitesse, ledit système

comportant un deuxième estimateur de vitesse permettant de déterminer une deuxième vitesse du moteur électrique synchrone et un module générateur de signal agencé pour générer un signal en courant d'estimation non constant venant s'ajouter au courant de flux de référence de manière à créer un courant de flux de référence corrigé qui est appliqué en entrée de la loi de commande, ladite loi de commande étant exécutée pour déterminer les tensions à appliquer sur les phases de sortie, le deuxième estimateur étant agencé pour récupérer la réponse en courant sur les phases de sortie, en vue d'en déduire la deuxième vitesse du moteur électrique synchrone.

10 Préférentiellement, le signal en courant est de type sinusoïdal basse fréquence par rapport à la fréquence du moteur électrique. La fréquence du signal injecté doit être inférieure à la fréquence du moteur, par exemple d'un rapport de dix.

Préférentiellement, le signal en courant est non générateur de couple.

Selon une particularité, le système comporte un bloc de sécurité agencé pour comparer la première vitesse et la deuxième vitesse déterminées pour le moteur électrique synchrone.

Selon une autre particularité, le premier estimateur de vitesse est agencé dans une loi de commande mise en œuvre par le système de commande.

20 Selon l'invention, le module générateur de signal est activé par le deuxième estimateur, par une commande externe ou est actif en permanence.

Brève description des figures

25 D'autres caractéristiques et avantages vont apparaître dans la description détaillée qui suit faite en regard des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente le système de commande de l'invention,
- les figures 2A et 2B représentent des courbes de simulation établies sans le système de commande de l'invention,
- les figures 3A et 3B représentent des courbes de simulation établies avec le système de commande de l'invention.

Description détaillée d'au moins un mode de réalisation

L'invention concerne un système de commande mis en œuvre dans un variateur de vitesse pour la commande d'un moteur électrique synchrone.

De manière connue, un variateur de vitesse comporte :

- 5 - trois phases d'entrée A, B, C connectées à un réseau RD de distribution électrique,
- un module redresseur REC situé en entrée et destiné à convertir une tension alternative fournie par le réseau RD de distribution électrique en une tension continue,
- 10 - un bus continu d'alimentation connecté, en amont, au module redresseur REC et, en aval, au module onduleur INV et comportant deux lignes d'alimentation L1, L2 entre lesquelles la tension continue est appliquée,
- un condensateur de bus Cbus connecté aux deux lignes d'alimentation L1, L2 et chargé de maintenir la tension continue du bus à une valeur constante,
- 15 - un module onduleur INV connecté par trois phases de sortie 1, 2, 3 au moteur M électrique synchrone et commandé par des signaux de commande générés par une unité de commande mettant en œuvre une loi de commande LC déterminée. Le module onduleur INV d'un variateur de vitesse comporte plusieurs bras de commutation, par exemple au nombre
- 20 de trois si le moteur M est triphasé. Chaque bras de commutation comporte deux transistors de puissance, par exemple de type IGBT, commandés chacun par un dispositif de commande recevant des signaux de commande de la part de l'unité de commande.

25 L'invention s'applique à un variateur de vitesse fonctionnant selon une loi de commande en boucle ouverte. Elle présente un intérêt tout particulier dans un cadre de sécurité fonctionnelle.

En boucle ouverte, un premier estimateur exécuté par l'unité de commande permet de déterminer une première vitesse $W1s$ estimée du moteur M électrique synchrone. Pour estimer la vitesse du moteur électrique synchrone, ce premier

30 estimateur E1 de vitesse se base par exemple sur la loi de commande LC ou sur des mesures de tension sur les phases de sortie 1, 2, 3 si de telles données sont disponibles.

Dans un contexte de sécurité fonctionnelle, un deuxième estimateur E2 est nécessaire pour déterminer une deuxième vitesse $W2s$ estimée du moteur électrique synchrone. Le système de commande comporte un bloc de sécurité BS permettant de comparer la deuxième vitesse estimée $W2s$ et la première vitesse estimée $W1s$. Si des divergences apparaissent entre les deux vitesses estimées, le bloc de sécurité BS sera par exemple amené à stopper le moteur M électrique synchrone.

Dans le domaine de la sécurité fonctionnelle, en vue d'éviter tout point commun de défaillance, les deux estimateurs E1, E2 sont différents, dans leur principe de fonctionnement et dans leur réalisation.

La surveillance de la vitesse par les deux estimateurs E1, E2 en redondance a différents objectifs, prévus dans une norme connue (par exemple IEC61800-5-2), comme par exemple la limitation sûre de la vitesse (SLS "Safe Limited Speed") ou l'arrêt sûr (SS1 "Safe Stop 1").

Dans un moteur M électrique synchrone, le courant au stator est nul lorsque le couple est nul. Cependant, dans cette situation, le moteur M peut quand même être en rotation et donc avoir une vitesse non nulle. L'estimation de la vitesse du moteur électrique synchrone à couple nul ne peut donc pas être réalisée en se basant sur le courant au stator.

Selon l'invention, lorsque le couple est nul, le deuxième estimateur E2 de vitesse permet d'estimer la vitesse du moteur électrique synchrone alors que le courant au stator est nul. Le système est agencé pour appliquer, sur les phases de sortie 1, 2, 3, des tensions $V1$, $V2$, $V3$ représentatives d'un signal en courant, dit signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$, non générateur de couple, et pour mesurer la réponse en courant sur les phases de sortie, en vue d'en déduire une vitesse du moteur électrique synchrone.

Ce signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ est appliqué dans la direction du flux permanent de l'aimant du moteur M électrique synchrone, c'est-à-dire suivant l'axe d de la commande, dit axe de flux. L'application d'un courant dans la direction du flux de l'aimant permet de ne pas créer de perturbations dans le moteur M lorsqu'il est en marche.

Selon l'invention, le signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ est non constant, préférentiellement sinusoïdal. Par signal non constant, on entend un signal dont la dérivée n'est pas nulle sur une durée déterminée. Il sera ainsi indépendant de la loi de commande, des paramètres du moteur M électrique synchrone et de la limitation de tension. En effet, en fonction de la loi de commande LC, la valeur moyenne du courant

de flux n'est pas forcément égale au courant de flux réel. Il est donc possible d'avoir un courant dans les phases de sortie nul même si la consigne est non nulle et constante. Un signal non constant permet de s'affranchir de ce problème et de garantir un signal réel non nul (sauf en quelques points) qui permet d'estimer la vitesse du moteur.

5 En outre, le signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ est préférentiellement non générateur de couple. Par signal en courant non générateur de couple, on entend un signal ayant une fréquence suffisamment lente pour ne pas créer de perturbation de couple.

10 Son amplitude peut être fixe, par exemple choisie en fonction du courant nominal du moteur électrique synchrone, ou variable, tenant compte des courants mesurés sur les phases de sortie.

15 En référence à la figure 1, le signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ est issu d'un module générateur de signal MS. Le module générateur de signal MS génère le signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ qui vient s'ajouter au courant de flux de référence $I_{d_{ref}}$, normalement appliqué en entrée de la loi de commande LC. Le courant de flux de référence corrigé $I_{d_{ref_c}}$ qui est appliqué en entrée de la loi de commande LC est donc représentatif du signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ évoqué ci-dessus. De manière connue, à partir du courant de flux de référence corrigé $I_{d_{ref_c}}$ et des mesures des courants de flux I_d et de couple I_q (obtenus après transformations T1), la loi de commande LC détermine les tensions à appliquer aux phases de sortie 1, 2, 3, par exemple via des transformations T2 de Concordia et Park. Les tensions V_1, V_2, V_3 calculées sont ainsi appliquées sur les phases de sortie par commande en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions) du module onduleur INV.

25 Le deuxième estimateur E2 de vitesse récupère la mesure d'au moins deux courants I_1, I_3 injectés sur les trois phases du moteur M puis détermine, uniquement à partir de ces mesures, la deuxième vitesse estimée W_{2s} du moteur M électrique synchrone (sans utilisation de données moteurs). La détermination de la deuxième vitesse est réalisée en employant une boucle à verrouillage de phase (PLL-"Phase Locked Loop").

30 Comme décrit ci-dessus, la première vitesse estimée W_{1s} du moteur électrique est par exemple directement issue de la loi de commande LC. Le bloc de sécurité BS compare ensuite la première vitesse estimée W_{1s} et la deuxième vitesse estimée W_{2s} . Si des divergences apparaissent, le bloc de sécurité BS peut être amené à stopper le moteur, par exemple par blocage du module onduleur.

L'injection du signal en courant d'estimation $I_{d_{est}}$ permet au deuxième estimateur E2 de vitesse de conserver une deuxième estimation de la vitesse alors que le couple est nul et donc de mettre en œuvre des principes de sécurité fonctionnelle sur toute la plage de fonctionnement du moteur M électrique synchrone.

5 Le module générateur de signal MS peut être actif en permanence ou activé seulement lorsque le couple est nul et donc lorsque le courant au stator est nul. Il pourra par exemple être activé par le deuxième estimateur E2 ou par une commande externe. Lorsque le couple n'est pas nul et qu'un courant au stator est détectable, la
10 d'estimer la vitesse du moteur M électrique synchrone à partir du courant au stator.

Les figures 2A, 2B, 3A et 3B illustrent l'intérêt de l'invention.

15 Sur les figures 2A et 2B, le deuxième estimateur de l'invention n'est pas mis en œuvre. On peut voir qu'entre la dixième et la vingtième seconde, le courant moteur est nul. La vitesse estimée du moteur est alors considérée comme nulle alors que la vitesse réelle du moteur ne l'est pas. L'erreur sur la vitesse du moteur est donc importante et incompatible avec des principes de sécurité fonctionnelle.

20 Sur les figures 3A et 3B, le deuxième estimateur de l'invention est mis en œuvre. Un courant de flux I_d sinusoïdal est donc appliqué et les courants I_1 , I_2 et I_3 sont donc observables sur les phases de sortie. Un courant moteur, ne générant aucun couple, est donc visible. La courbe de vitesse estimée du moteur est proche de la courbe de vitesse réelle du moteur, permettant de minimiser l'erreur sur la vitesse et donc de garantir un certain niveau de sécurité.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Système de commande inclus dans un variateur de vitesse connecté par
des phases de sortie (1, 2, 3) à un moteur (M) électrique synchrone, ledit moteur
(M) électrique synchrone étant commandé selon une loi de commande (LC) mise
en œuvre par le variateur de vitesse, une première vitesse ($W1s$) du moteur
électrique synchrone étant déterminée par un premier estimateur de vitesse (E1),
10 caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième estimateur de vitesse (E2)
permettant de déterminer une deuxième vitesse ($W2s$) du moteur (M) électrique
synchrone, et en ce qu'il comporte un module générateur de signal (MS) agencé
pour générer un signal en courant d'estimation ($I_{d_{est}}$) non constant venant s'ajouter
au courant de flux de référence ($I_{d_{ref}}$) de manière à créer un courant de flux de
15 référence corrigé ($I_{d_{ref_c}}$) qui est appliqué en entrée de la loi de commande (LC),
ladite loi de commande étant exécutée pour déterminer les tensions à appliquer
sur les phases de sortie (1, 2, 3), le deuxième estimateur étant agencé pour
récupérer la réponse en courant ($I1, I2, I3$) sur les phases de sortie, en vue d'en
déduire la deuxième vitesse ($W2s$) du moteur électrique synchrone.
- 20 2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal en
courant ($I_{d_{est}}$) est de type sinusoïdal basse fréquence par rapport à la fréquence
du moteur.
3. Système selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le signal en
courant est non générateur de couple.
- 25 4. Système de commande selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce
qu'il comporte un bloc de sécurité (BS) agencé pour comparer la première vitesse
($W1s$) et la deuxième vitesse ($W2s$) déterminées pour le moteur électrique
synchrone.
5. Système de commande selon la revendication 1, caractérisé en ce que le
30 premier estimateur de vitesse (E1) est agencé dans une loi de commande (LC)
mise en œuvre par le système de commande.
6. Système de commande selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé
en ce que le module générateur de signal est activé par le deuxième estimateur.
7. Système de commande selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé
35 en ce que le module générateur de signal est activé par une commande externe.

8. Système de commande selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le module générateur de signal est actif en permanence.

Fig. 1

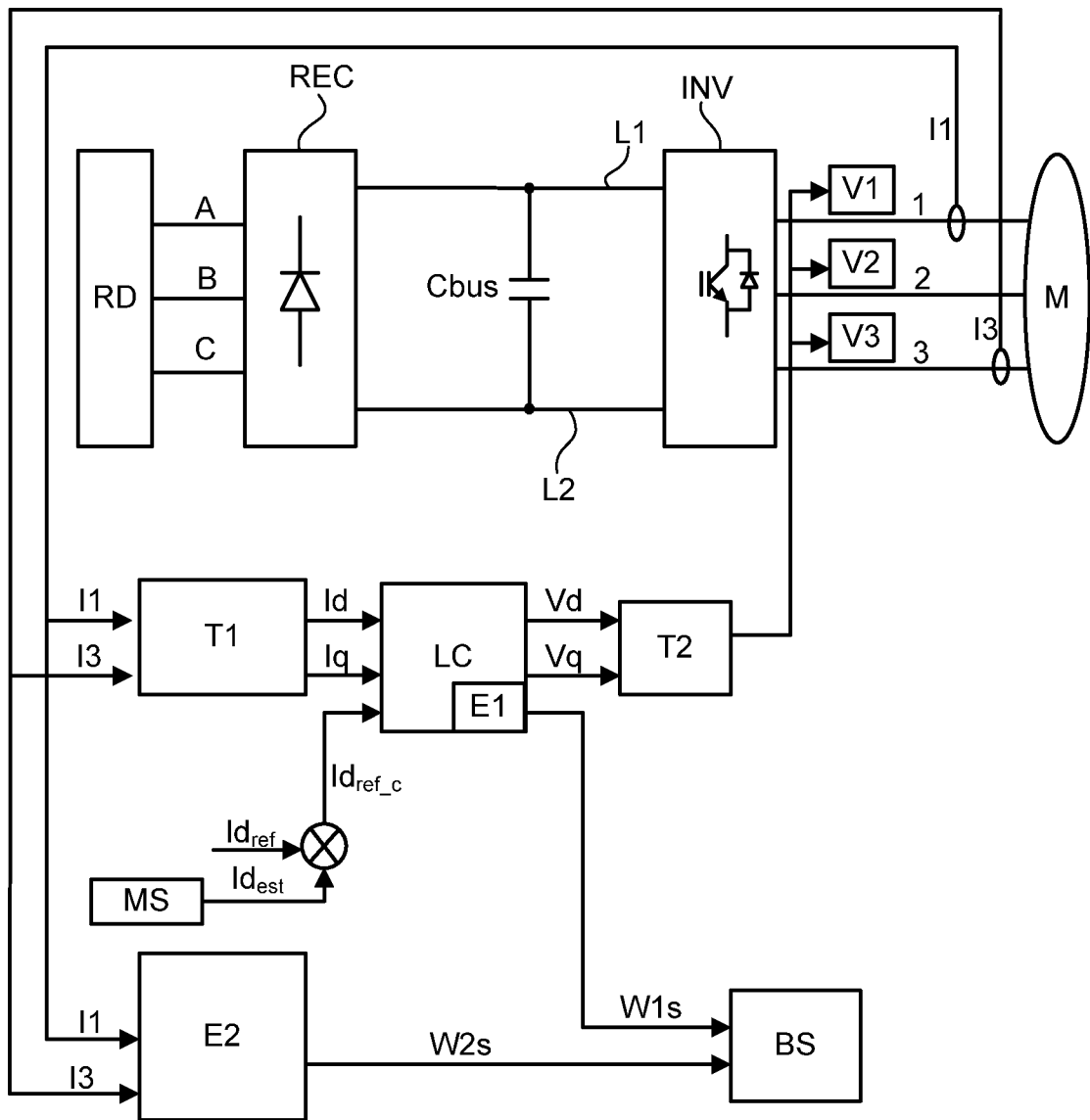


Fig. 2A

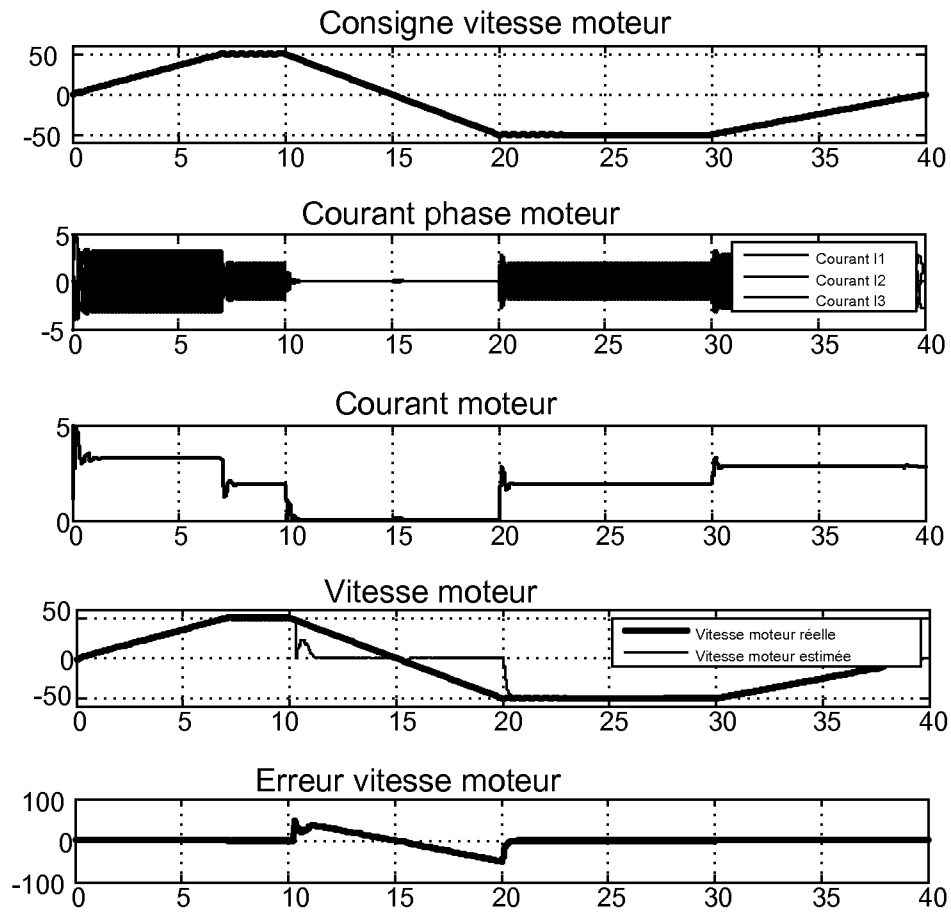


Fig. 2B

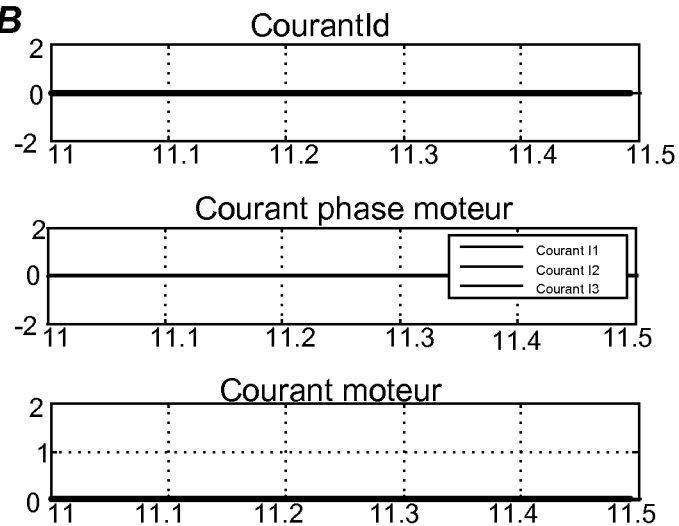


Fig. 3A

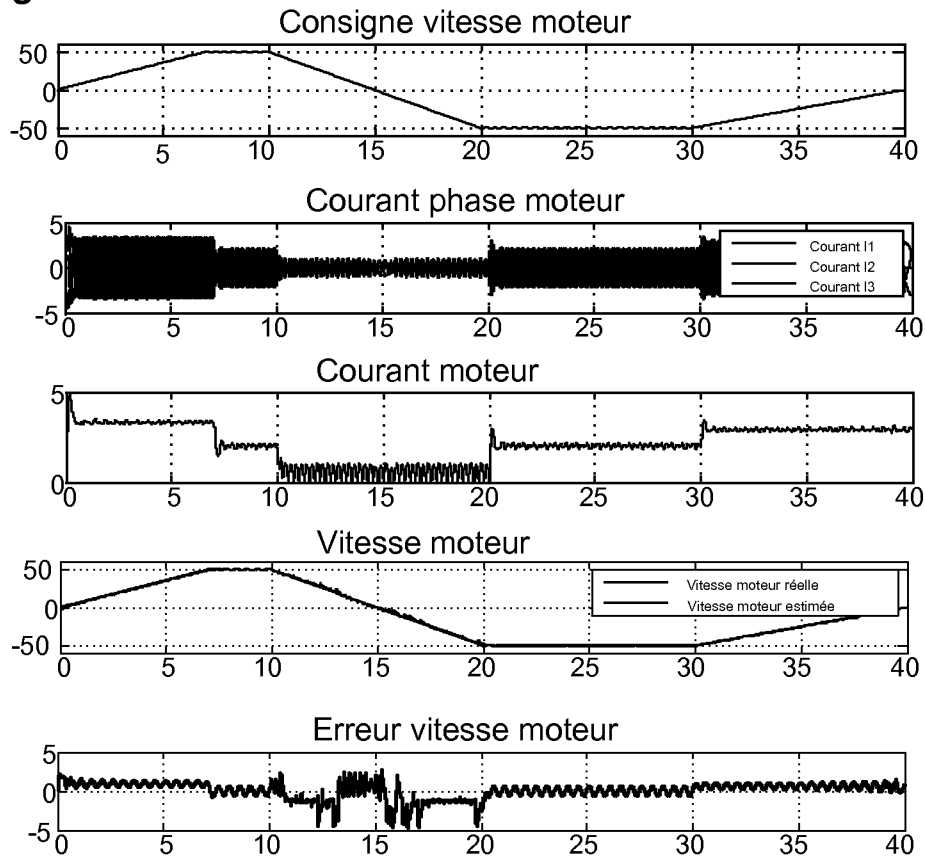


Fig. 3B

