

⑫ DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 04.11.92.

③③ Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la demande : 06.05.94 Bulletin 94/18.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : VALEO SYSTEMES D'ESSUYAGE
(Société Anonyme) — FR.

⑦② Inventeur(s) : Multon Bernard, Laurent Philippe et
Gobsi Mohammed.

⑦③ Titulaire(s) :

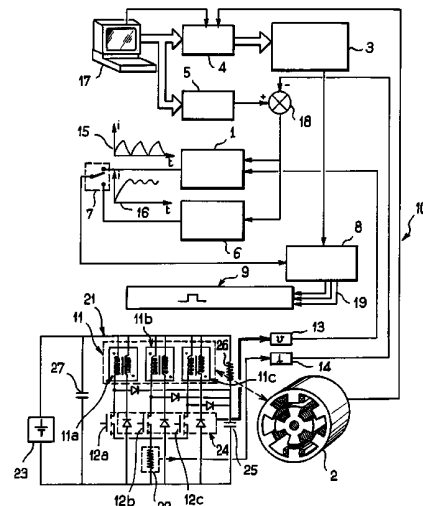
⑦④ Mandataire : Bouju Derambure (Bugnion) S.A.

⑤④ Procédé pour alimenter un moteur à reluctance variable et dispositif pour sa mise en œuvre.

⑤⑦ Procédé pour alimenter un moteur à reluctance variable polyphasé (2).

Le procédé comprend un premier mode de commande dit en auto-oscillation dans lequel, à chaque sélection de l'une des phases (11a, 11b, 11c) du moteur, on effectue une succession de cycles de magnétisation /démagnétisation comprenant chacun une première étape de commande en mode conducteur de moyens interrupteurs (12a, 12b, 12c) associés à la phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) jusqu'à ce que le courant électrique (i) circulant dans ladite phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) atteigne une valeur de consigne de courant prédéterminée, suivie d'une étape de commande d'ouverture des moyens interrupteurs (12a, 12b, 12c) associés et d'un étape de détection de fin de démagnétisation de ladite phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) conduisant à l'exécution d'un cycle suivant de magnétisation/démagnétisation.

Utilisation notamment pour la commande de moteurs à reluctance variable à basse vitesse.



FR 2 697 697 - A1



La présente invention concerne un procédé pour alimenter un moteur à réluctance variable. Elle vise également un dispositif d'alimentation pour sa mise en oeuvre.

5 Les moteurs à réluctance variable connaissent actuellement un développement industriel important du fait notamment de leur robustesse, de leurs performances électromécaniques et de leur souplesse d'alimentation et de commande en régime de vitesse variable. Ces moteurs peuvent
10 ainsi être alimentés avec des onduleurs de structure très simple et délivrant notamment des courants monodirectionnels. En revanche, il se pose généralement le problème d'une utilisation optimale de leur capacité de conversion électromécanique qui suppose que soient injectés
15 dans les phases de ces moteurs des courants présentant une forme d'onde bien définie et dépendant généralement de la vitesse du moteur alimenté. De plus, et plus particulièrement à basse de vitesse de rotation, il est absolument nécessaire de contrôler le courant injecté dans
20 chaque phase et de limiter ce courant à une valeur de consigne prédéterminée qui est une fonction du couple électromécanique souhaité. Pour cela, on connaît déjà des procédés de commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI) permettant de délivrer des courants de forme d'onde
25 sensiblement rectangulaire ou au moins trapézoïdale et qui sont particulièrement utilisés pour la commande d'alimentation de moteurs à réluctance variable à basse vitesse. En régime de vitesse nominal, on utilise également un mode de commande de type pleine onde qui est
30 particulièrement adapté lorsque l'impédance de chaque phase du moteur constitue une limitation intrinsèque du courant injecté dans la phase.

Les modes de commande de type MLI présentent cependant l'inconvénient important d'être générateurs de
35 perturbations électromagnétiques du fait de commutations "dures" à des fréquences de découpages élevées généralement supérieures au kHz. Ces perturbations peuvent être préjudiciables au bon fonctionnement de systèmes numériques

proches des onduleurs commandés. En outre, plus particulièrement dans les structures où chaque phase du moteur est constituée d'un enroulement bifilaire avec un seul interrupteur commandé et une diode, il est nécessaire
5 de prévoir des circuits écréteurs aux bornes des composants interrupteurs qui soient adaptés au niveau des fréquences de découpages utilisées dans le mode MLI, et qui doivent dissiper des pertes de commutation significatives souvent prohibitives.

10 Le but de l'invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé pour alimenter un moteur à réluctance variable, qui contribue à une limitation des perturbations électromagnétiques et des pertes par commutation.

15 Selon l'invention, le procédé pour alimenter un moteur à réluctance variable doté en son stator de plusieurs phases électriques dont l'alimentation à partir d'une source d'énergie électrique commune est contrôlée par plusieurs moyens interrupteurs distincts associés chacun à
20 une phase donnée, comprenant une sélection cyclique de chacune desdites phases, est caractérisé en ce qu'il comprend en outre un premier mode de commande dit en auto-oscillation dans lequel, à chaque sélection de l'une desdites phases, on effectue une succession de cycles de
25 magnétisation /démagnétisation comprenant chacun une première étape de commande en mode conducteur des moyens interrupteurs associés à ladite phase sélectionnée jusqu'à ce que le courant électrique circulant dans ladite phase sélectionnée atteigne une valeur de consigne de courant
30 prédéterminée, suivie d'une étape de commande d'ouverture desdits moyens interrupteurs associés et d'une étape de détection de fin de démagnétisation de ladite phase sélectionnée conduisant à l'exécution d'un cycle suivant de magnétisation/démagnétisation, ladite succession de
35 cycles étant interrompue lorsqu'une nouvelle phase à alimenter est sélectionnée.

Ainsi, avec le procédé selon l'invention, la réduction inévitable du nombre de commutations par période

électrique obtenue par rapport aux procédés classiques de modulation de largeur d'impulsion ainsi que l'annulation du courant de démagnétisation à faible gradient (di/dt) conduisent à une réduction des pertes de commutation. Il devient en outre possible de supprimer les écrêteurs sur les interrupteurs commandés, par exemple des transistors MOS ou IGBT, dans le cas de moteurs à enroulements bifilaires et d'utiliser des diodes de type standard au lieu de diodes rapides dans toutes les structures.

10 Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un dispositif pour commander l'alimentation d'un moteur à réluctance variable doté en son stator de plusieurs phases alimentées sélectivement par des moyens commandés d'alimentation électrique comprenant autant de
15 bras d'interruption commandée que de phases, mettant en oeuvre le procédé selon l'invention, comprenant des moyens pour sélectionner à tout instant une phase à alimenter parmi lesdites phases, des moyens pour mesurer le courant instantané circulant dans lesdites phases et des moyens
20 pour comparer ledit courant mesuré à une valeur de consigne de courant, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des premiers moyens pour commander selon ledit mode de commande en auto-oscillation celui des bras d'interruption commandée correspondant à la phase sélectionnée par lesdits moyens de
25 sélection, lesdits premiers moyens de commande en auto-oscillation recevant d'une part une information de comparaison de courant issus desdits moyens de comparaison et une information indicative de la démagnétisation de la phase sélectionnée issue de moyens de détection de
30 démagnétisation associés auxdits moyens commandés d'alimentation.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après. Aux dessins annexés donnés à titre d'exemples non
35 limitatifs:

-la figure 1 est une vue synoptique d'un dispositif de commande de l'alimentation d'un moteur à réluctance variable selon l'invention ;

- la figure 2 représente les évolutions temporelles respectives du courant et du couple instantané obtenues avec le procédé selon l'invention ; et

5 - la figure 3 illustre un ensemble de régulation de courant mis en oeuvre dans un dispositif selon l'invention.

On va maintenant décrire le procédé de commande selon l'invention en même temps qu'une forme particulière de réalisation d'un dispositif selon l'invention en
10 référence aux figures 1 à 3.

A titre d'exemple de réalisation pratique, le dispositif de commande 10 d'un moteur à réluctance variable 2, représenté en figure 1, comprend une unité de mémoire morte 3, par exemple de type EPROM, recevant des adresses
15 d'une unité de réglage d'avance 4 chargée par un micro-ordinateur ou tout autre moyen équivalent 17 ou tout autre moyen de contrôle et de traitement et contrôlée par un signal d'horloge généré par ledit micro-ordinateur 17 et de signaux issus d'un capteur de position (non représenté)
20 solidaire mécaniquement du moteur 2 qui dans l'exemple décrit est un moteur dit à double saillance comprenant 6 dents statoriques et 4 dents rotoriques, et un enroulement triphasé 11 constitués de trois enroulements de type bifilaire 11a, 11b et 11c alimentés par un onduleur de
25 puissance 21.

A titre d'exemple, l'onduleur 21, de structure connue, comprend trois bras de commutation comprenant chacun un interrupteur commandé, 12a, 12b, 12c, par exemple un transistor MOS, et est alimenté par une source de
30 tension continue 23 qui peut être de nature quelconque et aux bornes de laquelle est généralement connecté un condensateur de découplage 27. Un circuit écrêteur constitué d'une résistance 26 et d'un condensateur 25, reliés aux drains des trois transistors 12a, 12b, 12c par
35 des diodes, est prévu pour limiter la surtension observée aux bornes desdits transistors pendant les phases de démagnétisation.

Le micro-ordinateur 17 ou tout autre moyen équivalent, notamment un microcontrôleur ou un microprocesseur, émet également sous forme numérique une consigne de courant qui est convertie sous forme analogique par un convertisseur numérique/analogique 5. La consigne analogique ainsi obtenue est comparée par un comparateur 18 à une image du courant commuté dans l'onduleur 21 fournie par des moyens de mesure de courant 14, mettant en oeuvre, par exemple, une résistance shunt 22 placée entre le point commun des bras d'interrupteur et la masse. On peut également imaginer bien d'autres modes de mesure du courant dans l'onduleur.

Le résultat de cette comparaison est utilisé pour commander une unité de commande par auto-résonance ou auto-oscillation 1 et/ou une unité de commande en pleine onde 6.

L'unité de mémoire morte 3, notamment de type EPROM, a été préalablement programmée pour contenir un diagramme de conduction représentatif des différentes séquences de commande des interrupteurs commandés 12a, 12b, 12c contenus dans l'onduleur 21 et reliés respectivement aux trois enroulements 11a, 11b, 11c du moteur à réluctance variable 2. L'unité de mémoire morte 3 délivre en sortie une donnée indicative du numéro de la phase en conduction, qui commande une unité de démultiplexage 8 recevant en entrée un signal de magnétisation/démagnétisation qui est ainsi aiguillé vers l'une des trois lignes de commande 19 de l'interface de commande 9 qui génère les signaux de commande des trois transistors 12a, 12b, 12c, en référence à la figure 1 et à la figure 3 qui représente l'ensemble de régulation de courant 30 mis en oeuvre dans l'invention. Cet ensemble de régulation 30 comprend autour de l'unité de commande en auto-oscillation 1, deux circuits aiguilleurs 31, 8. Le premier circuit aiguilleur 31 placé en entrée de l'unité de commande 1, présente trois entrées reliées respectivement à trois sortie des moyens de détection de démagnétisation 13 comprenant des comparateurs de tension associés aux diodes de démagnétisation 24. Le second circuit aiguilleur 8 a son entrée reliée à la sortie de

l'unité de commande 1 et trois sorties reliées à l'interface de commande 9 des transistors de l'onduleur 21. Les deux aiguilleurs sont commandés à partir de l'unité de mémoire morte 3 qui permet la sélection numérique de la phase en conduction. L'unité de commande en auto-oscillation 1 est contrôlée par le comparateur 18 qui reçoit en entrée, d'une part, une consigne de courant générée par un convertisseur analogique/numérique 5 interfacé aux moyens de contrôle et de traitement 17, et d'autre part, une image du courant dans l'onduleur fournie par les moyens de mesure de courant 14.

Le signal de magnétisation/démagnétisation est généré soit par l'unité de commande en auto-oscillation 1, soit par l'unité de commande en pleine onde 6, en fonction de l'état d'une unité de sélection 7. L'unité de commande en auto-oscillation 1 reçoit un signal indicatif d'une tension de démagnétisation détectée par des moyens de détection de démagnétisation 13 aux bornes des diodes de démagnétisation 24. Cette détection peut être réalisée selon des techniques désormais bien connues de l'homme de métier dans le domaine de l'électronique de puissance.

La présente invention qui réside dans la mise en oeuvre d'un procédé d'auto-oscillation matérialisé, au sein du dispositif décrit à titre d'exemple en figure 1, par l'unité de commande en auto-résonance 1, peut aussi être avantageusement combinée à une technique classique de commande dite pleine onde dans laquelle on n'effectue qu'un seul cycle de magnétisation /démagnétisation. L'unité de commande 6 représentée en figure 1 peut ainsi être associée à l'unité de commande en auto-oscillation 1, la sélection entre l'un ou l'autre des modes de commande 15, 16 étant opérée par action sur un dispositif de sélection de mode 7 qui peut être contrôlé par les moyens de contrôle et de traitement 17 qui peuvent être réalisés par un microprocesseur, un microcontrôleur ou tout autre moyen équivalent.

On peut ainsi prévoir que le mode de commande en auto-oscillation selon l'invention soit activé pour une

première gamme de vitesse, tandis que le second mode en pleine onde serait activé dans une gamme de vitesse supérieure, la commutation d'un mode à l'autre étant effectuée pour une vitesse critique prédéterminée dépendant des caractéristiques propres du moteur alimenté 2, de l'onduleur 21 et de la tension d'alimentation.

Dans le procédé de commande selon l'invention, lorsqu'une phase 11a, 11b, 11c est sélectionnée, l'interrupteur correspondant 12a, 12b, 12c est commandé pour devenir passant, ce qui provoque la montée dans cette phase, et est maintenu passant tant que ce courant n'a pas atteint une valeur de consigne. Lorsque cette valeur de consigne est atteinte, le comparateur 18 informe l'unité de commande en auto-résonance 1 qui commande alors l'ouverture de l'interrupteur actuellement passant, provoquant ainsi une démagnétisation complète de la phase concernée. A l'annulation du courant dans la phase, le dispositif de détection de démagnétisation 14 informe l'unité de commande en auto-oscillation 1 de la fin de la démagnétisation de l'enroulement concerné et l'unité 1 autorise alors à nouveau la fermeture du même interrupteur. Cette séquence est répétée jusqu'à ce qu'une sélection d'une nouvelle phase soit émise par l'unité de mémoire morte 3. Dans ce cas, la séquence de magnétisation/démagnétisation en cours est terminée et le procédé selon l'invention est alors mis en oeuvre pour la nouvelle phase sélectionnée. Les interrupteurs commandés mis en oeuvre dans l'onduleur peuvent être des transistors de type MOSFET ou IGBT, ou encore de tout autre type existant ou futur.

La figure 2 illustre l'évolution du courant i en fonction de l'angle de rotation «symbol 113 "Symbol"» dans une phase du moteur 2, obtenue par simulation numérique de l'ensemble du dispositif de commande 10 et dudit moteur 2, à une vitesse de 1000 tr/mn et pour une consigne de courant de 10 A.

On observe que la durée de chaque séquence de magnétisation/démagnétisation varie en fonction de la

position angulaire. Ceci est normalement dû à la variation de réluctance inhérente au type de moteur alimenté. Ainsi, au voisinage de la situation angulaire dite d'opposition (angle sensiblement nul), la réluctance du circuit magnétique du moteur est maximale, l'inductance de la phase minimale et le courant croît et décroît dans cette phase avec une pente maximale. A contrario, au voisinage de la situation angulaire dite de conjonction (angle sensiblement égal à 360 °), la réluctance du circuit magnétique est minimale, l'inductance maximale et la pente de croissance du courant est minimale.

Le procédé qui vient d'être décrit présente l'avantage de limiter le nombre de commutations effectuées pendant l'alimentation d'une phase, par rapport aux procédés actuels de commande en découpage par MLI., et de réduire considérablement le gradient (di/dt) au blocage des diodes, permettant un recouvrement des diodes plus doux et moins polluant, ainsi que la possibilité d'utilisation de diodes de redressement standards basse fréquence plus économiques et à plus faible chute de tension que les diodes rapides. Il en découle une diminution notable de la pollution électromagnétique.

On peut également prévoir d'associer le procédé de commande qui vient d'être décrit à un procédé d'autopilotage sans capteur externe qui fait l'objet d'une demande de brevet déposée simultanément à la présente demande au nom du même déposant. Dans ce cas, les informations de position angulaire instantanée ne sont plus fournies aux moyens de réglage d'avance 4 par un codeur externe, mais sont extraites de signaux de tension obtenus par résonance série et prélevées au niveau des bras de l'onduleur d'alimentation.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Ainsi, le procédé selon l'invention peut être appliqué à tout type de moteur à réluctance polyphasé,

quelqu'en soit le nombre de phases et de dents statoriques et rotoriques. En outre, on peut imaginer de nombreux modes de réalisation du dispositif de commande qui peuvent par exemple utiliser un ou plusieurs microcontrôleurs ou circuits spécialisés. Le dispositif de commande selon l'invention peut également être associé à des dispositifs classiques d'asservissement, notamment de vitesse ou de position.

10 Dans un mode de réalisation, l'étape de sélection cyclique de chacune desdites phases comprend un réglage dit d'avance. Pour chaque phase à sélectionner, on détermine un écart angulaire entre la position d'opposition et une position de sélection qui correspond
15 à un instant d'initialisation de la succession de cycles de magnétisation/démagnétisation. Cet écart angulaire est représenté par le réglage d'avance.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour alimenter un moteur à réluctance variable (2) doté en son stator de plusieurs phases électriques (11a, 11b, 11c) dont l'alimentation à partir
5 d'une source d'énergie électrique commune est contrôlée par plusieurs moyens interrupteurs distincts (12a, 12b, 12c) associés chacun à une phase donnée, comprenant une sélection cyclique de chacune desdites phases (11a, 11b, 11c), caractérisé en ce qu'il comprend en outre un premier
10 mode de commande dit en auto-oscillation dans lequel, à chaque sélection de l'une desdites phases (11a, 11b, 11c), on effectue une succession de cycles de magnétisation/démagnétisation comprenant chacun une première étape de commande en mode conducteur des moyens
15 interrupteurs (12a, 12b, 12c) associés à ladite phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) jusqu'à ce que le courant électrique (i) circulant dans ladite phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) atteigne une valeur de consigne de courant prédéterminée, suivie d'une étape de commande d'ouverture
20 desdits moyens interrupteurs (12a, 12b, 12c) associés et d'une étape de détection de fin de démagnétisation de ladite phase sélectionnée (11a, 11b, 11c) conduisant à l'exécution d'un cycle suivant de magnétisation/démagnétisation, ladite succession de cycles étant interrompue lorsqu'une
25 nouvelle phase à alimenter est sélectionnée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une observation de l'état de démagnétisation de la phase sélectionnée.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2,
30 caractérisé en ce qu'il comprend en outre une mesure du courant instantané (i) unique pour toutes les phases (11a, 11b, 11c) à alimenter pour fournir une valeur de courant mesuré qui est alors comparée à ladite valeur de consigne de courant.

35 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit premier mode de commande en auto-oscillation est combiné à un second mode de commande dit en pleine onde comportant à

chaque sélection de phase un cycle unique de magnétisation/démagnétisation, de sorte que ledit premier mode est activé dans une première gamme de vitesses tandis que ledit second mode est activé dans une seconde gamme de vitesses supérieures à celles de ladite première gamme de vitesses.

5
10
15
20
25
30
35

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de sélection d'un mode de commande parmi lesdits premier et second modes de commande en fonction notamment de la vitesse du moteur alimenté.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite étape de sélection comprend un réglage dit d'avance représentant pour chaque phase un écart angulaire entre un angle correspondant à une situation dite d'opposition et un angle dit de sélection correspondant à un instant d'initialisation de ladite succession de cycles de magnétisation/démagnétisation.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un mode d'autopilotage comprenant une acquisition d'informations représentatives de la position angulaire instantanée du rotor du moteur alimenté et un traitement de ces informations au cours de l'étape de sélection.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite acquisition d'informations angulaires est obtenue à partir d'un codage externe par capteur de la position angulaire instantanée du rotor du moteur (2).

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite acquisition d'informations angulaires est obtenue par un procédé de détection de la position instantanée du rotor du moteur (2) mettant en oeuvre un mode de résonance série des phases dudit moteur (2).

10. Dispositif (10) pour commander l'alimentation d'un moteur à réluctance variable (2) doté en son stator de plusieurs phases (11a, 11b, 11c) alimentées

sélectivement par des moyens commandés d'alimentation électrique (21) comprenant autant de bras d'interruption commandée que de phases, mettant en oeuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant des
5 moyens (3, 8) pour sélectionner à tout instant une phase à alimenter parmi lesdites phases (11a, 11b, 11c), des moyens (14) pour mesurer le courant instantané (i) circulant dans lesdites phases (11a, 11b, 11c) et des
10 moyens (18) pour comparer ledit courant mesuré à une valeur de consigne de courant, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des premiers moyens (1) pour commander selon ledit mode de commande en auto-oscillation celui des bras d'interruption commandée correspondant à la phase
15 sélectionnée par lesdits moyens de sélection (3, 8), lesdits premiers moyens de commande en auto-oscillation (1) recevant d'une part une information de comparaison de courant issu desdits moyens de comparaison (18) et une information indicative de la démagnétisation de la phase
20 sélectionnée issue de moyens de détection de démagnétisation (13) associés auxdits moyens commandés d'alimentation.

11. Dispositif (10) selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des seconds
25 moyens (6) pour commander selon un mode de pleine onde les moyens d'alimentation (21) du moteur (2), ces seconds moyens (6) recevant en entrée l'information de comparaison de courant issue des moyens de comparaison (18) et émettant un ordre de magnétisation /démagnétisation auxdits moyens
30 d'alimentation (21) via des moyens pour sélectionner entre les ordres de commande générés par lesdits premiers moyens de commande et les ordres de commande générés par lesdits seconds moyens de commande en pleine onde, et des moyens de démultiplexage (8) commandés par lesdits moyens de
sélection (3).

35 12. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comprend au titre des moyens de sélection de phase une mémoire

morte, notamment de type EPROM, ou toute autre structure équivalente.

13. Dispositif (10) selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend en
5 outre des moyens (4) pour régler une avance de phase du courant injecté dans chaque phase du moteur (2), recevant une information de position angulaire instantanée du rotor dudit moteur (2) et un signal d'horloge issu de moyens de
10 contrôle et de traitement (17) et générant des données de commande à destination desdits moyens de sélection de phase (3).

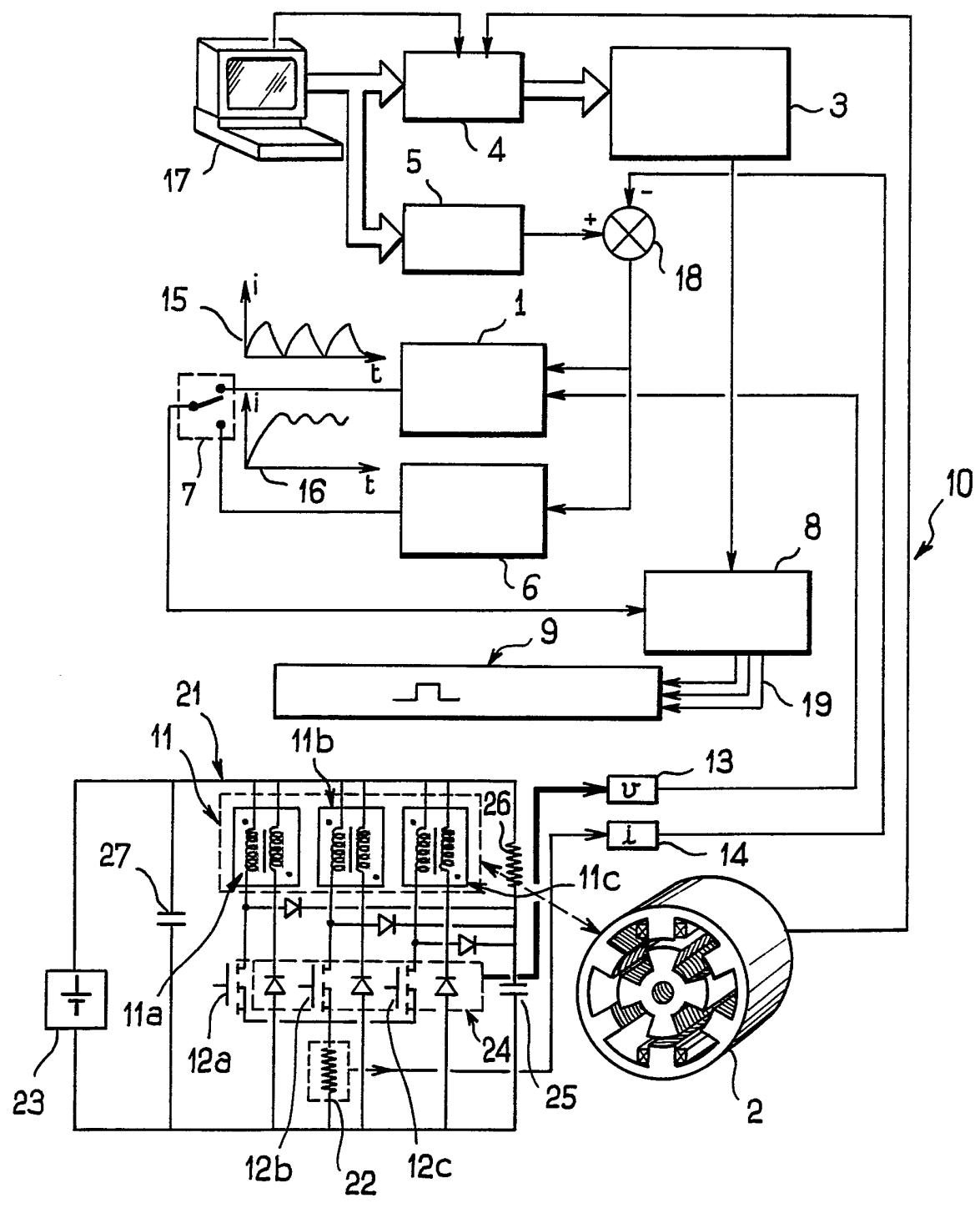


FIG. 1

2 / 2

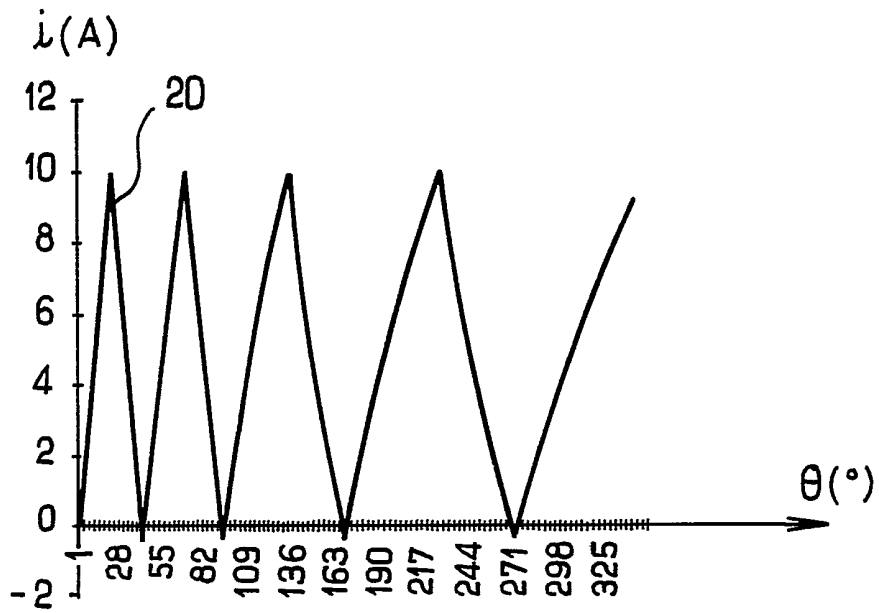


FIG. 2

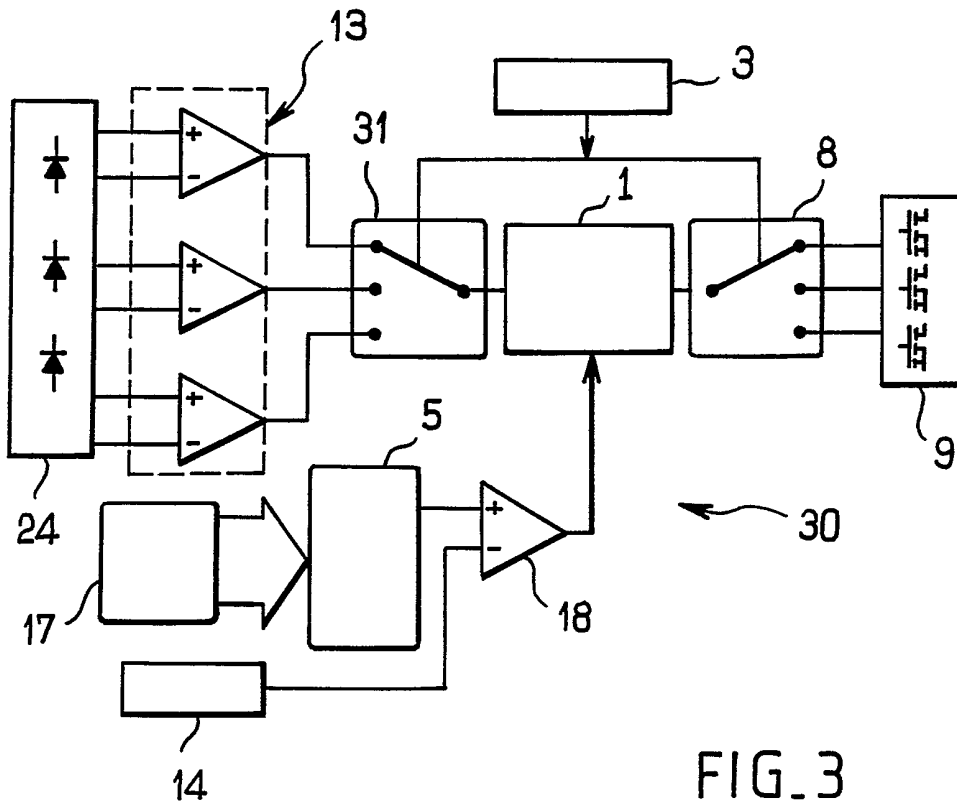


FIG. 3