

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 909 237

②① N° d'enregistrement national : **06 55163**

⑤① Int Cl⁸ : **H 02 P 9/30 (2006.01)**

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 28.11.06.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 30.05.08 Bulletin 08/22.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : MATT JEAN CLAUDE et LOUISE CHRISTOPHE.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) :

⑤④ PROCÉDE ET DISPOSITIF DE REGULATION D'UNE MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE POLYPHASEE FONCTIONNANT EN GENERATRICE, ET MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE POLYPHASEE LES UTILISANT.

⑤⑦ Le procédé de régulation est mis en oeuvre dans une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice et comportant une excitation bobinée (10). Le procédé est du type de ceux consistant à asservir à une valeur de consigne prédéterminée une tension continue (B+) produite par redressement d'une tension alternative générée par la machine en contrôlant un rapport cyclique d'un courant d'excitation périodique (+EXC,-EXC) au moyen d'un microcontrôleur (11), ou analogue, en fonction de valeurs échantillonnées de la tension continue (B+). Conformément à l'invention, la détermination de la valeur du rapport cyclique est effectuée par le microcontrôleur (11) deux fois pendant un cycle du courant d'excitation (+EXC,-EXC).

FR 2 909 237 - A1



**PROCEDE ET DISPOSITIF DE REGULATION D'UNE MACHINE ELECTRIQUE
TOURNANTE POLYPHASEE FONCTIONNANT EN GENERATRICE, ET
MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE POLYPHASEE LES UTILISANT**

5

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée, notamment de type alternateur ou alternateur-démarrreur, comportant une excitation bobinée et fonctionnant en
10 génératrice. L'invention concerne également une machine électrique tournante utilisant ce procédé et ce dispositif.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION.

Dans le but de réduire la consommation d'énergie, il devient courant de
15 couper le moteur thermique d'un véhicule quand celui-ci s'immobilise, et de relancer le moteur pour le redémarrage, de manière automatique et totalement transparente pour le conducteur.

Ceci est possible grâce au développement d'alternateurs-démarrreurs rendus très performants par la mise en œuvre de systèmes électroniques de
20 puissance contrôlés par des circuits faisant appel à des techniques numériques, reposant notamment sur l'utilisation de microprocesseurs ou microcontrôleurs.

Un exemple de telles techniques est donné dans le document US5317248, qui décrit la génération par un système à microcontrôleur des impulsions modulées en durée de commutation des courants de phases d'un moteur
25 électrique sans balai.

Le microcontrôleur utilisé comporte à la fois une unité centrale de traitement, et des circuits retardateurs programmables permettant de faire la synthèse de la forme d'onde, dite PWM (de l'anglais Pulse Width Modulation, ou Modulation de Durée d'Impulsion), des signaux de commutation.

30 Un autre exemple d'application des techniques numériques est donné dans le document US20040108840, qui décrit la régulation en tension d'un alternateur, ou générateur, au moyen d'un microcontrôleur pilotant le rapport cyclique du courant d'excitation périodique de la machine à partir de valeurs échantillonnées de la tension continue produite.

Le temps de réponse de ce régulateur à une variation de charge semble être de plusieurs secondes, voire dizaines de secondes.

Les véhicules modernes disposant d'équipement électriques toujours plus nombreux et sophistiqués, il est hautement souhaitable que le dispositif de
5 régulation de l'alimentation de bord à une variation de charge ait un temps de réponse bien inférieur, pour éviter le phénomène de « pompage » et les vibrations.

Lorsque la régulation d'un alternateur ou d'une machine réversible est réalisée par un système numérique (microcontrôleur, microprocesseur ou logique
10 programmable), le principe de régulation introduit un retard de phase dans l'asservissement lié au temps de cycle et au retard de calcul.

Soit T de temps de cycle et Tc le retard de calcul défini par le temps qui sépare la grandeur à asservir (notamment la tension batterie, mais aussi le courant d'excitation, par exemple).

15 Le retard de phase $\theta(f)$ en degrés à une fréquence f est exprimé de manière approchée par l'expression:

$$\theta(f) = (T/2 + Tc) * f * 360^\circ$$

20 Dans un régulateur numérique classique, le temps de cycle T de la commande est égal à la période d'excitation Te. La boucle de régulation rafraîchit une fois par cycle d'excitation la valeur du rapport cyclique. Ce retard dans la boucle de régulation est donc fortement lié à la période de commutation du transistor de puissance, car en général le retard de calcul peut être défini au
25 moment de la conception pour rester le plus faible possible, et petit devant Te/2.

La conséquence est une limitation pratique de la bande passante de régulation à environ Fe/8 à Fe/10, où Fe est la fréquence de l'excitation 1/Te.

La fréquence d'excitation est choisie notamment en fonction de la puissance dissipée par le transistor durant les phases de commutation. Cette
30 puissance dissipée conduit à une élévation de température de la puce, qui est elle-même limitée par la température de jonction maximale autorisée par la technologie utilisée. Cette fréquence ne peut donc pas être augmentée sans engendrer de nouvelles contraintes de température sur le composant de commutation.

DESCRIPTION GENERALE DE L'INVENTION.

La présente invention vise donc à améliorer la bande passante de
5 régulation, sans modifier la fréquence de commutation du courant d'excitation.

Elle a précisément pour objet un procédé de régulation d'une machine
électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice, comportant une
excitation bobinée, du type de ceux consistant à asservir à une valeur de
consigne prédéterminée une tension continue produite par le redressement d'une
10 tension alternative générée par cette machine en contrôlant un rapport cyclique
d'un courant d'excitation périodique au moyen d'un microcontrôleur, ou analogue,
en fonction de valeurs échantillonnées de cette tension continue.

Conformément à l'invention, la détermination de la valeur du rapport
cyclique du courant d'excitation est effectuée par le microcontrôleur deux fois
15 pendant un cycle du courant d'excitation.

Selon une forme de réalisation particulière, la détermination de la valeur
du rapport cyclique est effectuée sensiblement au début du cycle, et
sensiblement au milieu du cycle. De préférence, la détermination de la valeur du
rapport cyclique est effectuée juste avant le début du cycle, et juste avant le
20 milieu du cycle.

Cette détermination comprend préférentiellement le calcul d'un premier et
d'un second délais de commutation en fonction respectivement d'une première et
d'une seconde valeurs de la tension continue échantillonnées respectivement
sensiblement en début, et au milieu du cycle.

25 Fort avantageusement, l'établissement du courant d'excitation résulte alors
de l'égalité entre le premier délai de commutation et un premier résultat du
comptage décroissant de signaux d'horloge pendant une première moitié du
cycle, et la coupure du courant d'excitation résulte de l'égalité entre le second
délai de commutation et un second résultat du comptage croissant des signaux
30 d'horloge pendant une seconde moitié du cycle.

Alternativement, l'établissement du courant d'excitation résulte de l'égalité
entre le premier délai de commutation et un premier résultat du comptage
croissant de signaux d'horloge pendant une première moitié du cycle, et la
coupure du courant d'excitation résulte de l'égalité entre le second délai de

commutation et un second résultat du comptage croissant des signaux d'horloge pendant une seconde moitié du cycle.

L'invention concerne aussi un dispositif de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée, fonctionnant en génératrice et produisant une tension continue, adapté à la mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus, du type
5 de ceux comprenant :

- un microcontrôleur ou analogue ;
- un convertisseur analogique-numérique d'acquisition d'un échantillon de la tension continue produite ;
- 10 - un générateur d'impulsions modulées en durée ;
- un amplificateur de ces impulsions ;
- au moins un transistor commandé par les impulsions amplifiées contrôlant un courant d'excitation de la machine.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le générateur
15 d'impulsions modulées en durée comprend de manière remarquable un compteur-décompteur binaire, et un comparateur entre un registre de comptage de ce compteur-décompteur binaire, apte à contenir une valeur de comptage, et un registre de mémoire du microcontrôleur, apte à contenir une valeur représentative d'un rapport cyclique des impulsions modulées en durée.

20 Dans ce mode de réalisation préféré, le dispositif de régulation comprend de plus fort avantageusement:

- une première horloge générant des premières impulsions d'horloge présentant une première période égale à une période d'excitation du courant d'excitation ;
- une deuxième horloge générant des deuxièmes impulsions d'horloge présentant
25 une deuxième période égale à la première période divisée par le double d'un premier nombre, de préférence 16 ;
- un circuit de déclenchement par interruption de l'acquisition d'un échantillon de la tension continue après chaque séquence de deuxièmes impulsions d'horloge en nombre égal au premier nombre ;
- 30 - une troisième horloge générant des troisièmes impulsions d'horloge présentant une troisième période égale à la première période divisée par le double d'un second nombre, de préférence 1024, et connectée au compteur-décompteur binaire comptant ces troisièmes impulsions d'horloge de 0 jusqu'au second nombre, puis du second nombre jusqu'à 0.

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, le générateur d'impulsions modulées en durée comprend alternativement de manière remarquable un compteur binaire, et un comparateur entre un registre de comptage de ce compteur binaire, apte à contenir une valeur de comptage, et un
5 registre de mémoire du microcontrôleur, apte à contenir une valeur représentative d'un rapport cyclique des impulsions modulées en durée.

Dans cet autre mode de réalisation préféré, le dispositif de régulation comprend de plus fort avantageusement:

- une première horloge générant des premières impulsions d'horloge présentant
10 une première période égale à une période d'excitation du courant d'excitation ;
- une deuxième horloge générant des deuxièmes impulsions d'horloge présentant une deuxième période égale à la première période divisée par le double d'un premier nombre, de préférence 16 ;
- un circuit de déclenchement par interruption de l'acquisition d'un échantillon de
15 la tension continue après chaque séquence de deuxièmes impulsions d'horloge en nombre égal au premier nombre ;
- une troisième horloge générant des troisièmes impulsions d'horloge présentant une troisième période égale à la première période divisée par le double d'un second nombre, de préférence 1024, et connectée au compteur binaire comptant
20 les troisièmes impulsions d'horloge de 0 jusqu'au second nombre.

De préférence, dans l'un et l'autre modes de réalisation, le dispositif de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon l'invention se distingue de l'état de la technique en ce qu'il comprend de plus au moins une mémoire contenant au moins un programme
25 mettant en œuvre le procédé de régulation décrit précédemment.

L'invention concerne aussi une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice comprenant un dispositif de régulation présentant les caractéristiques spécifiées ci-dessus.

Il va de soi que l'invention concerne également les séquences
30 d'instructions exécutables par le microcontrôleur, ou analogue, du dispositif selon l'invention mettant en œuvre le procédé de régulation décrit, ainsi que la mémoire contenant ces séquences d'instructions exécutables.

Ces quelques spécifications essentielles auront rendu évidents pour l'homme de métier les avantages apportés par le procédé et le dispositif de
35 régulation selon l'invention, par rapport à l'état de la technique antérieur.

Les spécifications détaillées de l'invention sont données dans la description qui suit en liaison avec les dessins ci-annexés. Il est à noter que ces dessins n'ont d'autre but que d'illustrer le texte de la description et ne constituent en aucune sorte une limitation de la portée de l'invention.

5

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS.

Les Figures 1a et 1b, 2a et 2b montrent des chronogrammes de signaux d'horloges mis en œuvre par le procédé et dans le dispositif de régulation selon l'invention.

10 Les Figures 1c et 2c, illustrent le déclenchement des interruptions d'acquisition en relation avec les signaux d'horloge des Figures 1b et 2b.

. La Figure 1d montre l'évolution du comptage d'un compteur-décompteur mis en œuvre dans un mode de réalisation préféré de l'invention, et illustre le procédé de régulation selon l'invention.

15 La Figure 2d montre l'évolution du comptage d'un compteur mis en œuvre dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, et illustre le procédé de régulation selon l'invention.

Les Figures 1e et 2e montrent des chronogrammes des impulsions modulées en durée résultant de la mise œuvre du procédé selon l'invention.

20 La Figure 3 est un schéma synoptique d'un dispositif de régulation selon l'invention.

DESCRIPTION DES MODES DE REALISATION PREFERES DE L'INVENTION.

Le procédé selon l'invention consiste donc essentiellement à augmenter la
25 fréquence apparente de la boucle de régulation sans modifier la fréquence de découpage du transistor d'excitation pour ne pas augmenter les pertes par commutation dans le transistor, et donc la température de jonction du composant.

La Figure 1a représente des premières impulsions d'horloge CLK1 pilotant les cycles de la boucle de régulation, et dont la première période T est égale à la
30 période d'excitation T_e des impulsions modulées en durée EXC de contrôle du courant d'excitation représentées sur la Figure 1e.

Fondamentalement, selon le procédé de l'invention, la première période T des premières impulsions d'horloge CLK1 n'est pas diminuée, et donc la période d'excitation T_e non plus, mais le rapport cyclique durant une période de
35 découpage T_e du transistor est rafraîchi deux fois.

Dans la première moitié de cycle 1, la régulation va décider sur la base d'une première mesure de la grandeur à asservir de l'instant de mise à l'état passant du transistor de puissance, et dans la deuxième moitié de cycle 2, et sur la base d'une deuxième mesure de la grandeur à asservir, cette même boucle de
5 régulation va décider de l'instant de mise à l'état bloqué du transistor.

En ce faisant, le retard $\Phi(f)$ en degrés à la fréquence $f=1/T$ devient, en fonction d'un retard de calcul T_c :

$$\Phi(f) = (T/4 + T_c) * f * 360^\circ$$

10 Le retard de phase $\Phi(f)$ étant diminué de cette manière, par rapport au retard de phase $\theta(f)$ pénalisant les dispositifs de régulation connus de l'état de la technique tels que décrits précédemment, il est possible, tout en respectant les mêmes règles de marge de phase et de gain, d'augmenter de manière significative la bande passante de régulation.

15 Ce gain atteint un facteur 2 si le retard de calcul T_c est petit devant T . Le bénéfice en est une rapidité accrue de l'asservissement et de meilleures performances de régulation.

Les Figures 1b, 1c et 1d illustrent de manière détaillée la façon de rafraîchir deux fois par cycle de régulation le rapport cyclique du courant
20 d'excitation selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention.

La Figure 1b montre des deuxièmes impulsions d'horloge CLK2, ayant une deuxième période T_{CKL2} 32 fois plus petite que la première période T . Ces deuxièmes impulsions d'horloge définissent donc 32 fenêtres temporelles, numérotées de 0 à 31, au cours d'un cycle.

25 Comme le schématise la Figure 1c, une interruption IRQ du microcontrôleur au moyen duquel est implémentée la boucle de régulation, est générée dans chaque fenêtre temporelle.

Les fenêtres temporelles numéros 0 et 15, c'est-à-dire celles précédant chacun des demi-cycles 1,2, sont réservées respectivement à l'acquisition d'un
30 premier et second échantillons de la tension continue à réguler, et au calcul, en fonction de chacun de ces échantillons et d'une valeur de consigne, d'une grandeur représentative du rapport cyclique du courant d'excitation.

Avant le début 3 du cycle n , c'est-à-dire dans la fenêtre temporelle 0, le microcontrôleur calcule un premier délai de commutation $DC1n$ entre le début 3

du cycle et un premier instant de commutation 4 du transistor à l'état passant correspondant à l'établissement du courant d'excitation.

Avant le milieu 5 du cycle n , c'est-à-dire dans la fenêtre temporelle 15, le microcontrôleur calcule un second délai de commutation $DC2n$ entre le milieu 5 du cycle et un second instant de commutation 6 du transistor à l'état bloqué correspondant à la coupure du courant d'excitation.

Ces délais de commutation $DC1n$, $DC2n$ sont stockés par le microcontrôleur, et comparés aux résultats de comptage de signaux d'horloge ayant une troisième période T_{CLK3} 2048 fois plus petite que la période d'excitation T_e .

Le comptage des signaux d'horloge est effectué dans le sens décroissant de 1024 à 0 pendant la première moitié 1 du cycle, et dans le sens croissant dans la seconde moitié 2 du cycle, de 0 à 1024.

L'évolution dans le temps des résultats de comptage et de décomptage PWM est représentée sur la Figure 1d : elle est similaire aux formes d'ondes triangulaires bien connues des régulateurs analogiques à découpage.

Quand le résultat du premier comptage (dans le sens décroissant) est égal au premier délai de commutation $DC1n$ (au point A), le courant d'excitation est établi, c'est-à-dire que l'impulsion de commande EXC du transistor de contrôle est mise au niveau logique 1, comme le montre le chronogramme de la Figure 1e.

Quand le résultat du second comptage (dans le sens croissant) est égal au second délai de commutation $DC2n$ (au point B), le courant d'excitation est coupé, c'est-à-dire que l'impulsion de commande EXC du transistor de contrôle est mise au niveau logique 0.

Une seconde façon de rafraîchir deux fois par cycle de régulation le rapport cyclique du courant d'excitation est montrée sur la Figure 2d.

Dans ce second mode de réalisation préféré de l'invention, les délais de commutation $DC1n$, $DC2n$ calculés sont comparés, de la même façon que dans le premier mode, aux résultats du comptage de signaux d'horloge ayant une troisième période T_{CLK3} 2048 fois plus petite que la période d'excitation T_e .

Mais, à la différence du premier mode, ces signaux d'horloge sont toujours comptés dans le sens croissant dans les demi-cycles 1,2.

Le comptage des signaux d'horloge est effectué dans le sens croissant de 0 à 1024 pendant la première moitié 1 du cycle, et également dans le sens croissant dans la seconde moitié 2 du cycle, de 0 à 1024.

L'évolution dans le temps des résultats de comptage PWM est représentée sur la Figure 2d. Elle semble identique aux formes d'ondes en dent de scie bien connues des régulateurs analogiques à découpage, mais en réalité, elle ne l'est pas : la période des dents de scie PWM n'est pas la période des impulsions modulées en durée EXC destinées à contrôler le courant d'excitation.

En effet, quand le résultat du premier comptage au cours du premier demi-cycle 1 est égal au premier délai de commutation DC1n (au point C), le courant d'excitation est établi, c'est-à-dire que l'impulsion de commande EXC du transistor de contrôle est mise au niveau logique 1, comme le montre le chronogramme de la Figure 2e, et quand le résultat du second comptage au cours du second demi-cycle 2 est égal au second délai de commutation DC2n (au point D), le courant d'excitation est coupé, c'est-à-dire que l'impulsion de commande EXC du transistor de contrôle est mise au niveau logique 0.

L'impulsion de commande EXC change donc de niveau seulement une fois par demi-cycle, c'est-à-dire que sa période T_e est bien toujours la période T du cycle de régulation, et non la période des dents de scie PWM.

Dans ce second mode de réalisation, le procédé selon l'invention permet donc également de réduire le retard de phase $\Phi(f)$ d'un facteur pratiquement 2 sans modifier la fréquence de commutation.

Cette fréquence de commutation est de préférence comprise entre 100Hz et 350Hz.

Le procédé de régulation selon l'invention offre par conséquent une bande passante de régulation qui correspondrait à des fréquences de commutation comprises entre 200Hz et 700Hz, sans nécessiter la mise en œuvre d'une technologie qui supporte des températures de fonctionnement élevées (200°C, voire plus), et/ou des systèmes de refroidissement de l'électronique, notamment par eau, à cause des pertes élevées se produisant à ces fréquences.

Comme le montre le schéma synoptique de la Figure 3, le dispositif de régulation 7,8 adapté à la mise en œuvre du procédé de régulation selon l'invention à une machine électrique tournante fonctionnant en génératrice, présente l'avantage d'être peu différent des dispositifs existants.

Ce dispositif de régulation 7,8 comprend essentiellement deux parties 7,8 : un circuit de contrôle 7 constitué par un ASIC (circuit intégré à application spécifique), et une électronique de puissance 8 comportant des transistors 9 de

type MOSFET (transistor à effet de champ à grille isolée) de contrôle du courant d'excitation +EXC,-EXC appliqué au bobinage d'excitation 10.

L'ASIC de contrôle 7 comprend notamment :

- un microcontrôleur 11 comportant un système d'horloges temps réel 12 et des séquences d'instructions 13 mettant en œuvre le procédé selon l'invention ;
- un convertisseur analogique-numérique 14 destiné à acquérir des échantillons de la tension continue B+ produite par la machine ;
- un générateur 15 d'impulsions modulées en durée EXC ;
- un amplificateur 16 de ces impulsions EXC commandant les transistors 9 de l'électronique de puissance 8 :

La valeur de consigne de la boucle de régulation est de préférence fixée via un circuit d'interface 17 avec le réseau de bord au standard LIN (réseau local d'interconnexion).

Le système d'horloges temps réel 12 fournit les impulsions d'horloge CLK1, CLK2 de différentes périodes T , T_{CLK2} , T_{CLK3} utilisées par le circuit ASIC 7, ainsi que les signaux d'interruption IRQ du microcontrôleur 11.

Dans le premier mode de réalisation préférée de l'invention, le générateur 15 des impulsions modulée en durée EXC comprend spécifiquement un compteur-décompteur binaire 10 bits 18, dont l'évolution de la valeur de comptage, contenue dans un registre de comptage, génère une double rampe qu'un comparateur compare à la valeur d'un délai de commutation DC stocké par le microcontrôleur 11 dans un registre de mémoire.

Dans le second mode de réalisation préféré de l'invention, le générateur 15 des impulsions modulée en durée EXC comprend alternativement un compteur binaire 10 bits 18 générant une rampe simple.

Ce procédé et ce dispositif de régulation sont de préférence utilisés dans des machines électriques tournantes réversibles, comportant une excitation bobinée, quand elles fonctionnent en génératrices. Grâce au dispositif de régulation 7, 8 selon l'invention, un alternateur-démarrateur voit ainsi sa régulation dynamique notablement améliorée lorsqu'il fonctionne en alternateur, sans qu'il en résulte pour autant une augmentation de la puissance dissipée par commutation dans les transistors 9 de puissance, car la fréquence de découpage habituelle est conservée.

Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas aux seuls modes d'exécution préférentiels décrits ci-dessus.

Notamment, les types de composants électroniques cités ne sont donnés qu'à titre d'exemples. La mise en œuvre de tout autre type de composants ayant les mêmes fonctionnalités ne constituerait que des variantes de réalisation.

Des modes de réalisation du double rafraîchissement par cycle de
5 régulation du rapport cyclique des impulsions de pilotage du courant d'excitation autres que ceux développés ci-dessus existent, mais n'ont pas été décrits. Ces autres modes de réalisation ne sortiraient pas du cadre de la présente invention dans la mesure où les caractéristiques du procédé mis en œuvre, et du dispositif correspondant, résultent des revendications ci-après.

REVENDEICATIONS

1) Procédé de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice, comportant une excitation bobinée (10), du type de
5 ceux consistant à asservir à une valeur de consigne prédéterminée une tension continue (B+) produite par redressement d'une tension alternative générée par ladite machine en contrôlant un rapport cyclique d'un courant d'excitation périodique (+EXC,-EXC) au moyen d'un microcontrôleur (11), ou analogue, en fonction de valeurs échantillonnées de ladite tension continue (B+), caractérisé
10 en ce que la détermination de la valeur dudit rapport cyclique est effectuée par ledit microcontrôleur (11) deux fois pendant un cycle dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC).

2) Procédé de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite
15 détermination est effectuée sensiblement au début (3) dudit cycle, et sensiblement au milieu (5) dudit cycle.

3) Procédé de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite
20 détermination comprend le calcul d'un premier et d'un second délais de commutation (DC1n,DC2n) en fonction respectivement d'une première et d'une seconde valeurs de ladite tension continue échantillonnées respectivement sensiblement en début (3), et au milieu (5) dudit cycle.

25

4) Procédé de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 3, caractérisé en ce que
l'établissement dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC) résulte de l'égalité entre
ledit premier délai de commutation (DC1n) et un premier résultat du comptage
30 décroissant de signaux d'horloge pendant une première moitié (1) dudit cycle, et la coupure dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC) résulte de l'égalité entre ledit second délai de commutation (DC2n) et un second résultat du comptage croissant desdits signaux d'horloge pendant une seconde moitié (2) dudit cycle.

5) Procédé de régulation d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'établissement dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC) résulte de l'égalité entre ledit premier délai de commutation (DC1n) et un premier résultat du comptage croissant de signaux d'horloge pendant une première moitié (1) dudit cycle, et la coupure dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC) résulte de l'égalité entre ledit second délai de commutation (DC2n) et un second résultat du comptage croissant desdits signaux d'horloge pendant une seconde moitié (2) dudit cycle.

6) Dispositif de régulation (7,8) d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice et produisant une tension continue (B+), adapté à la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, du type de ceux comprenant:

- un microcontrôleur (11) ou analogue ;
 - un convertisseur analogique-numérique (14) d'acquisition d'un échantillon de ladite tension continue (B+);
 - un générateur (15) d'impulsions modulées en durée (EXC);
 - un amplificateur (16) desdites impulsions modulées en durée (EXC);
 - au moins un transistor (9) commandé par lesdites impulsions modulées en durée (EXC) amplifiées commandant un courant d'excitation (+EXC,-EXC) de ladite machine ;
- caractérisé en ce que ledit générateur (15) comprend un compteur-décompteur binaire (18), et un comparateur entre un registre de comptage dudit compteur-décompteur binaire (18) apte à contenir une valeur de comptage et un registre de mémoire dudit microcontrôleur (11) apte à contenir une valeur représentative d'un rapport cyclique desdites impulsions modulées en durée (EXC).

7) Dispositif de régulation (7,8) d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend de plus :

- une première horloge (12) générant des premières impulsions d'horloge (CLK1) présentant une première période (T) égale à une période d'excitation (Te) dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC);

- 14 -

- une deuxième horloge (12) générant des deuxièmes impulsions d'horloge (CLK2) présentant une deuxième période (T_{CLK2}) égale à ladite première période (T) divisée par le double d'un premier nombre, de préférence 16 ;
- un circuit de déclenchement (12) par interruption (IRQ) de ladite acquisition
5 après chaque séquence desdites deuxièmes impulsions d'horloge (CLK2) en nombre égal audit premier nombre ;
- une troisième horloge (12) générant des troisièmes impulsions d'horloge présentant une troisième période (T_{CLK3}) égale à ladite première période (T) divisée par le double d'un second nombre, de préférence 1024, et connectée
10 audit compteur-décompteur binaire (18) comptant lesdites troisièmes impulsions d'horloge de 0 jusqu'audit second nombre, puis dudit second nombre jusqu'à 0.

8) Dispositif de régulation (7,8) d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice et produisant une tension continue (B+), adapté à la
15 mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2, 3, ou 5, du type de ceux comprenant:

- un microcontrôleur (11) ou analogue ;
- un convertisseur analogique-numérique (14) d'acquisition d'un échantillon de ladite tension continue (B+);
- 20 - un générateur (15) d'impulsions modulées en durée (EXC);
- un amplificateur (16) desdites impulsions modulées en durée (EXC);
- au moins un transistor (9) commandé par lesdites impulsions modulées en durée (EXC) amplifiées commandant un courant d'excitation (+EXC,-EXC) de ladite machine ;
- 25 caractérisé en ce que ledit générateur (15) comprend un compteur binaire (18), et un comparateur entre un registre de comptage dudit compteur binaire (18) apte à contenir une valeur de comptage et un registre de mémoire dudit microcontrôleur (11) apte à contenir une valeur représentative d'un rapport cyclique desdites impulsions modulées en durée (EXC).

30

9) Dispositif de régulation (7,8) d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend de plus :

- une première horloge (12) générant des premières impulsions d'horloge (CLK1) présentant une première période (T) égale à une période d'excitation (Te) dudit courant d'excitation (+EXC,-EXC);
- une deuxième horloge (12) générant des deuxièmes impulsions d'horloge (CLK2) présentant une deuxième période (T_{CLK2}) égale à ladite première période (T) divisée par le double d'un premier nombre, de préférence 16 ;
- un circuit de déclenchement (12) par interruption (IRQ) de ladite acquisition après chaque séquence desdites deuxièmes impulsions d'horloge (CLK2) en nombre égal audit premier nombre ;
- une troisième horloge (12) générant des troisièmes impulsions d'horloge présentant une troisième période (T_{CLK3}) égale à ladite première période (T) divisée par le double d'un second nombre, de préférence 1024, et connectée audit compteur binaire (18) comptant lesdites troisièmes impulsions d'horloge de 0 jusqu'audit second nombre.

15

10) Dispositif de régulation (7,8) d'une machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en qu'il comprend de plus au moins une mémoire contenant au moins un programme (13) mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 précédentes.

11) Machine électrique tournante polyphasée fonctionnant en génératrice comprenant un dispositif de régulation (7,8) selon l'une quelconque des revendications 6 à 10 précédentes.

25

12) Séquences d'instructions exécutables (13) par ledit microcontrôleur (11), ou analogue, du dispositif (7,8) selon l'une quelconque des revendications 6 à 10 mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

13) Mémoire contenant des séquences d'instructions exécutables (13) par ledit microcontrôleur (11), ou analogue, du dispositif (7,8) selon l'une quelconque des revendications 6 à 10 mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

1/3

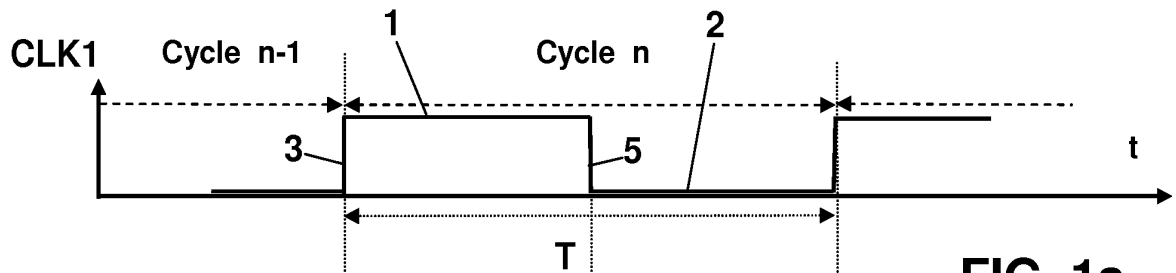


FIG. 1a

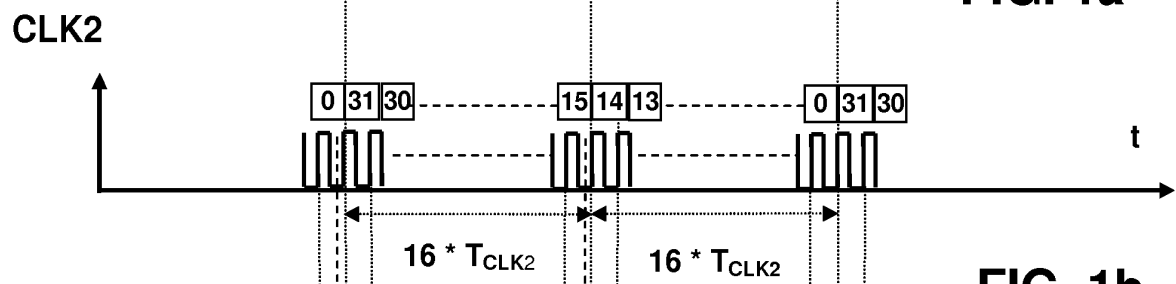


FIG. 1b

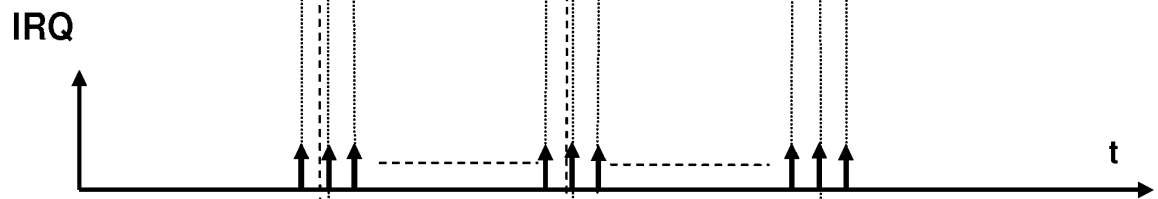


FIG. 1c

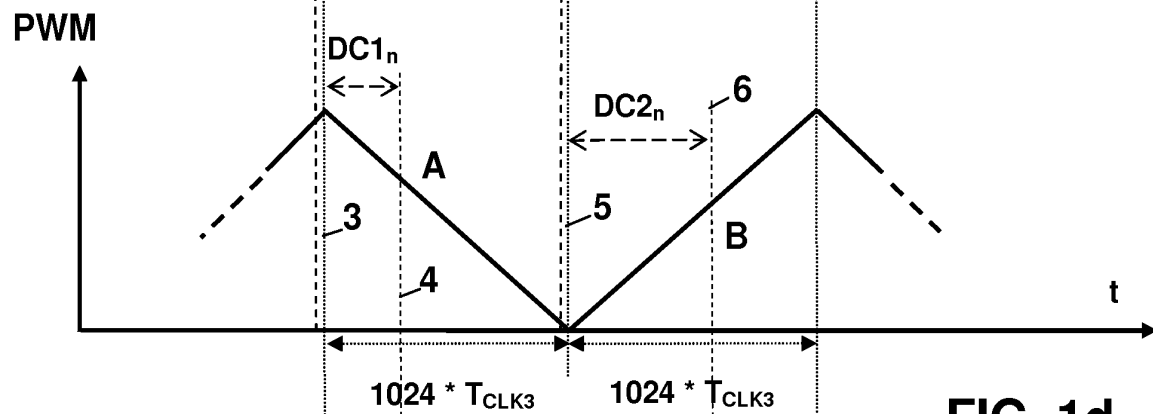


FIG. 1d

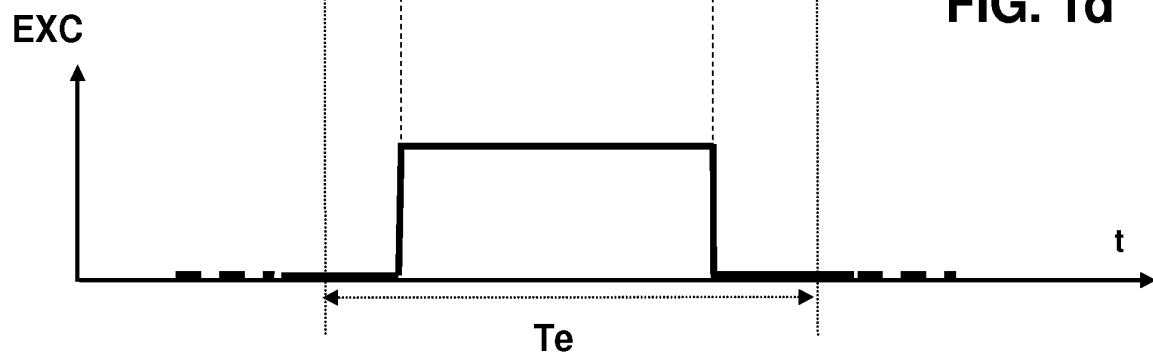


FIG. 1e

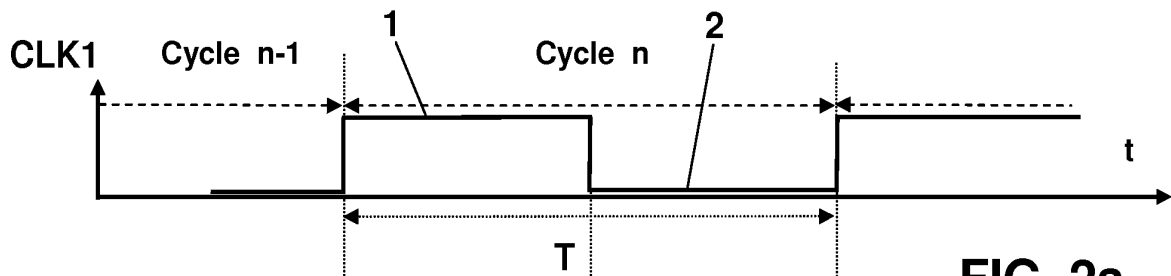


FIG. 2a

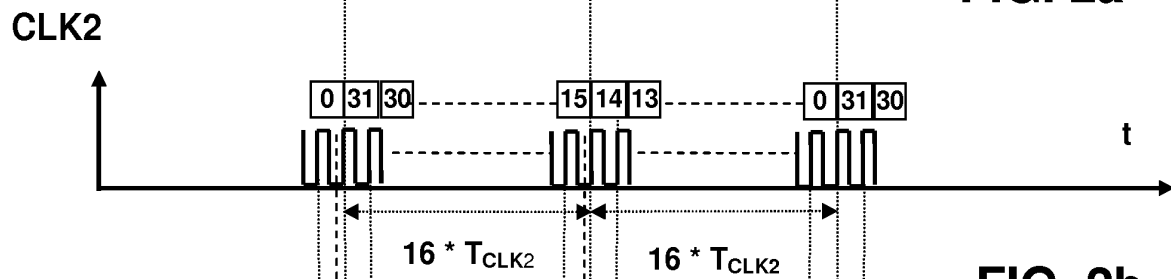


FIG. 2b

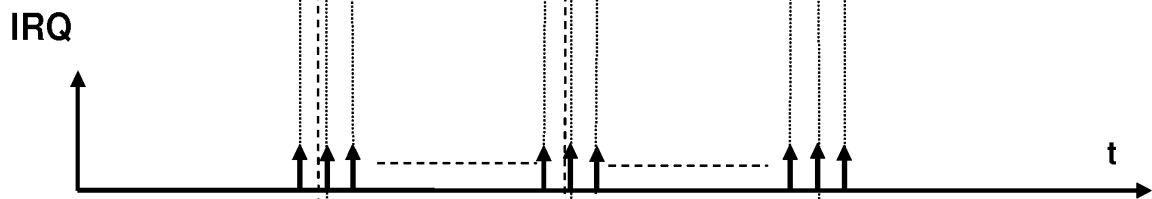


FIG. 2c

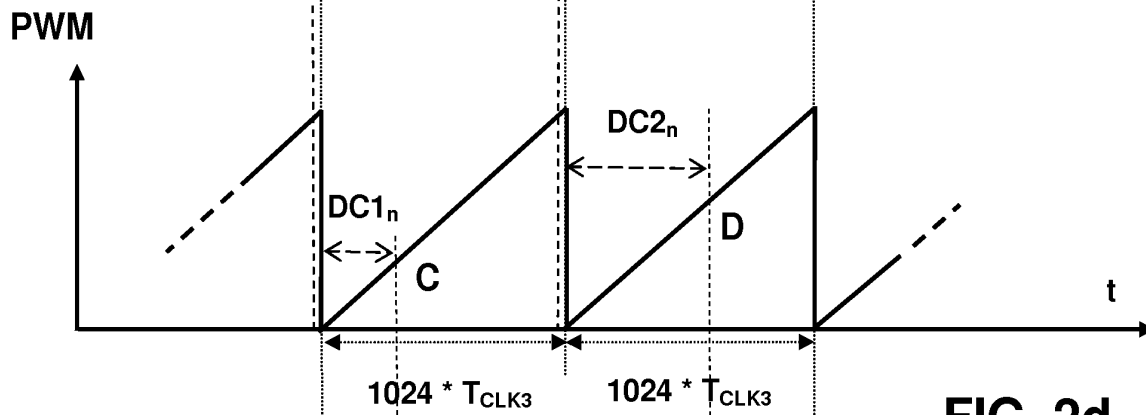


FIG. 2d

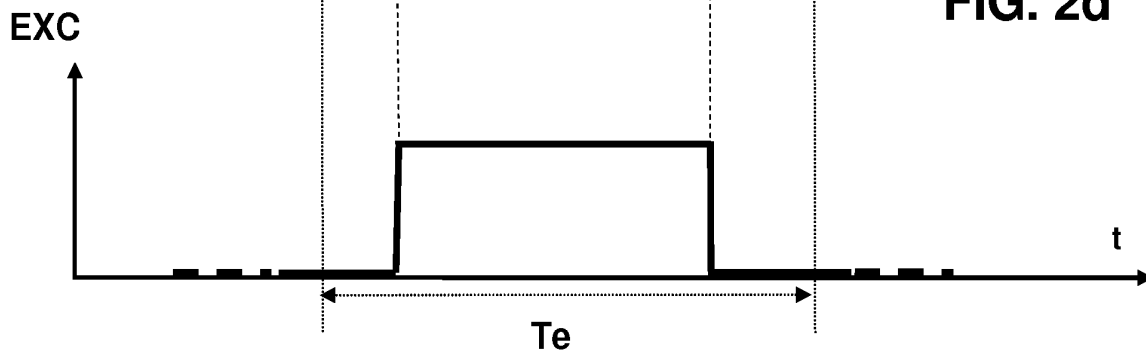
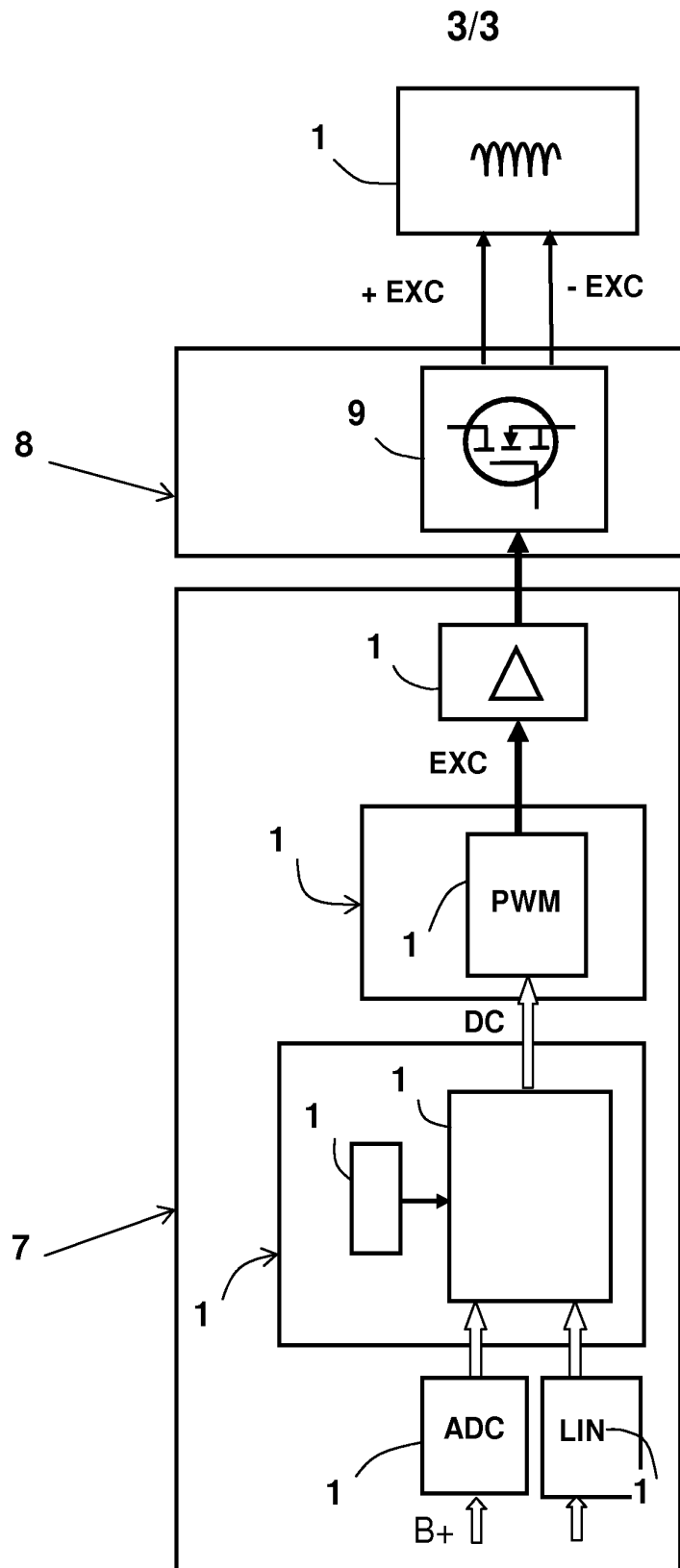


FIG. 2e

**FIG. 3**

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0655163 FA 686418**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 27-07-2007

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005218815 A1	06-10-2005	DE 102005014136 A1	27-10-2005
		FR 2868624 A1	07-10-2005
		JP 2005287245 A	13-10-2005

US 5317248 A	31-05-1994	AUCUN	

EP 0802606 A1	22-10-1997	CN 1169059 A	31-12-1997
		DE 69711253 D1	02-05-2002
		DE 69711253 T2	17-10-2002
		ES 2172712 T3	01-10-2002
		FR 2747859 A1	24-10-1997
		US 5982155 A	09-11-1999

EP 0849855 A1	24-06-1998	BR 9706144 A	03-08-1999
		CN 1185679 A	24-06-1998
		DE 69734051 D1	29-09-2005
		DE 69734051 T2	02-02-2006
		FR 2757325 A1	19-06-1998
		US 6064186 A	16-05-2000

US 2004108840 A1	10-06-2004	AU 2003294260 A1	30-06-2004
		CN 1720492 A	11-01-2006
		WO 2004053616 A1	24-06-2004
