

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
19 juillet 2018 (19.07.2018)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/130792 A1

(51) Classification internationale des brevets :

H02P 9/30 (2006.01) *H03K 17/042* (2006.01)
H02P 9/10 (2006.01) *H02M 1/08* (2006.01)
H03K 17/16 (2006.01) *H03K 17/082* (2006.01)
H03K 17/0416 (2006.01) *H02M 1/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2018/050075

(22) Date de dépôt international :

12 janvier 2018 (12.01.2018)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1750310 16 janvier 2017 (16.01.2017) FR

(71) **Déposant : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR** [FR/FR] ; 2 rue André Boulle, 94046 CRETEIL CEDEX (FR).

(72) **Inventeurs : TISSERAND, Pierre** ; VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR - 2 Rue André Boulle, 94046 CRETEIL (FR). **CHASSARD, Pierre** ; VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR - 2 Rue André Boulle, 94046 CRETEIL (FR). **GIRARD, Thibault** ; 1505 Chemin de la Thuilière, 13400 Aubagne (FR).

(74) **Mandataire : RICARD, Amandine** ; VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR, 2, rue André-Boulle, 94046 CRETEIL 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,

(54) **Title:** REGULATION SYSTEM FOR A CONTROL CIRCUIT OF A ROTATING ELECTRICAL MACHINE

(54) **Titre :** SYSTEME DE REGULATION POUR UN CIRCUIT DE CONTROLE D'UNE MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE

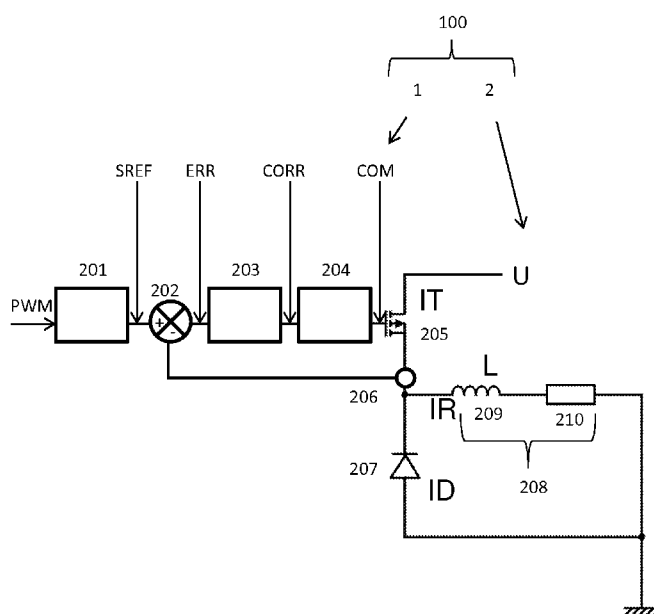


FIG. 2

(57) **Abstract:** The invention relates to a regulation system for a control circuit of a rotating electrical machine having a rotor provided with a coil (208), the control circuit being provided with a transistor (205). The regulation system (1) comprises a signal converter (201) for converting an amplitude-width modulation signal (PWM) into a reference signal (SREF) having cosine-shaped parts and a comparator (202) for comparing the difference between the reference signal (SREF) and a transistor current (IT) so as to deduce an error signal (ERR) therefrom, from which error signal a control signal (COM) is determined that is applied to a gate of the transistor.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un système de régulation pour un circuit de contrôle d'une machine électrique tournante ayant un rotor muni d'un bobinage (208), le circuit de contrôle étant muni d'un transistor (205). Il est prévu que le système de régulation

CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (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, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

(1) comprend un convertisseur de signal (201) pour convertir un signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM) en un signal de référence (SREF) ayant des parties de forme cosinusoidale et un comparateur (202) pour faire la différence entre le signal de référence (SREF) et un courant de transistor (IT) afin d'en déduire un signal d'erreur (ERR) duquel on détermine un signal de commande (COM) appliqué sur une grille du transistor.

SYSTEME DE REGULATION POUR UN CIRCUIT DE CONTROLE D'UNE MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

La présente invention porte sur un système de régulation pour un circuit de
5 contrôle d'une machine électrique tournante, ladite machine électrique étant
notamment utilisé pour un véhicule automobile.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE

De manière connue, les machines électriques tournantes comportent deux
parties coaxiales à savoir un rotor et un stator entourant le corps du rotor.

10 Le rotor pourra être solidaire d'un arbre de rotor menant et/ou mené et
pourra appartenir à une machine électrique tournante sous la forme d'un
alternateur, comme décrit par exemple dans les documents EP 0 803 962 et
WO 02/093717, ou d'un moteur électrique comme décrit par exemple dans le
document EP 0 831 580. L'alternateur pourra être réversible comme décrit
15 par exemple dans les documents WO 01/69762, WO 2004 /040738, WO
2006 /129030 et FR 3 005 900. Un tel alternateur réversible est appelé
alternateur-démarreur. Il permet, d'une part, de transformer de l'énergie
mécanique en énergie électrique lorsqu'il fonctionne en mode alternateur
pour notamment alimenter des consommateurs et/ou recharger une batterie
20 et d'autre part de transformer de l'énergie électrique en énergie mécanique
lorsqu'il fonctionne en mode moteur électrique pour notamment démarrer un
moteur thermique tel celui d'un véhicule automobile.

En mode moteur tout comme en mode alternateur, dans le cas où le rotor
comprend un bobinage, il est important de pouvoir contrôler l'alimentation de
25 ce bobinage.

La figure 1 illustre un mode de commande de la tension délivrée au bobinage
de rotor 208. Selon ce mode de commande, il est utilisé un circuit de contrôle
2 qui comprend:

-un transistor 205 branché à une tension d'alimentation U et délivrant un courant de transistor I_T ,

-une diode 207 traversée par un courant de diode I_D .

5 Le circuit de contrôle 2 est branché sur une borne d'entrée et une borne de sortie du bobinage 208 de sorte que le bobinage est traversé par un courant de rotor I_R .

Le courant I_R est égal à la somme du courant I_D et du courant I_T .

10 Le transistor peut être du type MOSFET comprenant une grille pour son contrôle. L'état passant ou bloqué est alors contrôlé par un signal à modulation de largeur d'amplitude également appelé PWM dans le reste de la description.

15 Comme on peut le voir, à gauche de la figure 1 et par convention, quand le signal PWM prend un état haut, le transistor 205 est passant de sorte que le courant I_T alimente le rotor, $I_D=0$ et $I_R=I_T$ en faisant abstraction des états transitoires.

Comme on peut le voir, à gauche de la figure 1, quand le signal PWM prend un état bas, le transistor 205 est bloqué de sorte que le courant $I_T = 0$ et $I_R=I_D$ en faisant abstraction des états transitoires. Lorsque le courant $I_T = 0$, alors la diode 207 est en série avec le bobinage 208.

20 Toutefois, on constate que lors du passage entre l'état haut et l'état bas du signal PWM, il apparaît une discontinuité 99 dans le courant délivré par le transistor I_T . Cette discontinuité est préjudiciable car elle va entraîner un spectre électromagnétique fréquentiel important qui peut entraîner des perturbations électromagnétiques. C'est d'autant plus préjudiciable que dans
25 le contexte automobile, il est prévu en général des normes de bruit électromagnétique et de spectre électromagnétique pour les machines électrique tournantes.

Il est connu de l'état de la technique de réaliser une électronique de contrôle des commutations en courant des transistors MOSFETS utilisant un circuit

RC qui ralenti la commutation en chargeant la grille du transistor progressivement.

Il est également connu d'asservir le courant de commutation dans un transistor pour qu'il suive une rampe montante ou descendante.

- 5 Toutefois, ces procédés ont des limitations qui sont que d'une part le spectre électromagnétique va varier avec la température et la dispersion des composants et que d'autre part il subsiste une discontinuité entre la rampe et le courant nominal, cette discontinuité générant un spectre électromagnétique.
- 10 Il existe donc un besoin pour un contrôle de l'alimentation du bobinage du rotor qui génère le moins possible de discontinuité lors de la commutation du courant afin de limiter le spectre électromagnétique et les perturbations électromagnétiques.

OBJET DE L'INVENTION

- 15 L'invention a pour objet de répondre à ce souhait tout en remédiant à au moins un de ces inconvénients précités.

Suivant l'invention, il est proposé un système de régulation pour un circuit de contrôle d'une machine électrique tournante ayant un rotor muni d'un bobinage, le circuit de contrôle comprenant:

- 20 -un transistor branché à une tension d'alimentation et délivrant un courant de transistor,

-une diode traversée par un courant de diode,

- le circuit de contrôle étant branché sur une borne d'entrée et une borne de sortie du bobinage de sorte que le bobinage est traversé par un courant de rotor,
- 25

le système de régulation comprenant un module de commande ayant une sortie pour appliquer un signal de commande sur une grille du transistor, ledit signal de commande étant déterminé en fonction d'un signal à modulation de largeur d'amplitude,

Selon une caractéristique générale, le système de régulation comprend:

-un convertisseur de signal pour convertir le signal à modulation de largeur d'amplitude en un signal de référence ayant des parties de forme cosinusoïdale,

- 5 -un comparateur pour faire la différence entre le signal de référence et le courant de transistor et en déduire un signal d'erreur, le signal de commande étant déterminé en fonction du signal d'erreur.

Ainsi, on peut contrôler notamment lors des fronts montants ou descendants du signal à modulation de largeur d'amplitude, le courant délivré par le transistor en fonction du signal de référence. Ce contrôle est avantageux car
10 il est réalisé notamment du fait du comparateur, en boucle fermée.

On entend par signal de référence ayant des parties de forme cosinusoïdale, un signal qui comprend au moins une partie sur laquelle l'évolution de son amplitude dans le temps suit une fonction cosinus ou sinus. Par exemple, il
15 s'agit d'un signal de référence ayant une partie cosinusoïdale montante, une partie cosinusoïdale descendante et deux parties de valeur constante.

De plus, l'avantage du signal en forme de cosinus est qu'il permet une réduction de l'amplitude des raies du spectre électromagnétique et de leur nombre.

- 20 Par exemple, le circuit de contrôle forme une partie d'un pont en H ou d'un demi-pont en H.

Par exemple, le système de régulation peut comprendre dans le circuit de contrôle, un module de mesure du courant de transistor afin que le comparateur puisse faire la différence entre le courant et le signal de
25 référence.

Selon d'autres caractéristiques prises isolément ou en combinaison :

-le convertisseur de signal est configuré pour convertir un front montant du signal à modulation de largeur d'amplitude en une partie montante d'un signal cosinus.

En d'autres termes, les parties de forme cosinusoidale correspondent notamment à un front montant de forme cosinusoidale et le convertisseur est configuré pour convertir un front montant du signal de largeur d'amplitude en un front montant cosinusoidal.

- 5 On remplace ainsi, la discontinuité dans le courant délivré par le transistor lors d'un front montant par une montée en forme de signal cosinus, le signal en forme de cosinus permettant une réduction de l'amplitude des raies du spectre électromagnétique.

- 10 -le convertisseur de signal est configuré pour déterminer la valeur finale de la partie montante du signal cosinus en fonction de la valeur du courant de rotor au moment du front montant.

On permet ainsi une continuité dans la valeur du courant de rotor. Par exemple, le système de régulation comprend un module de mesure du courant de diode ou un module de mesure du courant de rotor.

- 15 -le convertisseur de signal est configuré pour que la fréquence du signal cosinus soit telle que la pente de sa partie montante est de l'ordre de 250mA/μs.

On peut également augmenter ou diminuer cette fréquence en fonction de paramètres tels que par exemple le courant, la température.

- 20 -le convertisseur de signal est configuré pour convertir un front descendant du signal à modulation de largeur d'amplitude en une partie descendante d'un signal cosinus.

- 25 En d'autres termes, les parties de forme cosinusoidale correspondent notamment à un front descendant de forme cosinusoidale et le convertisseur est configuré pour convertir un front descendant du signal de largeur d'amplitude en un front descendant cosinusoidal.

- 30 On remplace ainsi, la discontinuité dans le courant délivré par le transistor lors d'un front descendant par une partie descendante en forme de signal cosinus. L'avantage du signal en forme de cosinus est qu'il permet une réduction de l'amplitude des raies du spectre électromagnétique.

-le convertisseur de signal est configuré pour diminuer la fréquence de la partie montante et/ou de la partie descendante avec la montée de la température.

- 5 On obtient ainsi un contrôle de la machine électrique tournante par conception assez stable et aussi une amélioration de la stabilité si on adjoint un paramétrage en fonction du courant et de la température.

- 10 En effet, si l'on augmente la température, on obtient une augmentation de la résistance du rotor, c'est à dire une diminution du courant dans le rotor et donc une baisse des raies du spectre électromagnétique. De plus, si l'on diminue la fréquence des signaux cosinus, les commutations sont plus lentes et le spectre électromagnétique moins étendu en fréquence. Ainsi, en augmentant la fréquence avec une augmentation de la température, on peut obtenir par exemple un niveau d'émission rayonnée par le spectre électromagnétique contrôlé ou même constant.

- 15 -le convertisseur de signal est configuré pour que la partie montante du signal cosinus soit d'une durée telle qu'à la fin de cette durée, la pente du signal cosinus est de l'ordre de la pente du courant le bobinage du rotor soit la tension d'alimentation divisée par une inductance du bobinage.

- 20 On assure ainsi une continuité de la pente de l'intensité du transistor entre la partie montante du signal cosinus et la partie correspondant à l'état haut du signal à modulation de largeur d'amplitude.

-le convertisseur de signal est configuré pour que la partie montante ou la partie descendante du signal cosinus soit d'une durée inférieure ou égale à un quart de la période du signal cosinus.

- 25 -le système de régulation comprend un correcteur pour corriger le signal d'erreur et appliquer un signal corrigé sur une entrée du module de commande.

Le correcteur par exemple de type proportionnel intégral dérivé permet de limiter les erreurs d'asservissement.

- 30 -le correcteur est réinitialisé à chaque front montant ou descendant.

Lorsque le signal à modulation de largeur d'amplitude prend l'état haut, l'asservissement du courant n'est pas toujours possible. Cela entraîne notamment une valeur importante voire une saturation en sortie du correcteur. Cette réinitialisation permet donc une action efficace du
5 correcteur lorsque l'asservissement redevient possible.

-le convertisseur de signal est configuré pour recopier un état haut du signal à modulation de largeur d'amplitude.

L'invention a également pour l'objet un système de régulation tel que décrit précédemment et un circuit de contrôle comprenant:

10 -un transistor branché à une tension d'alimentation et délivrant un courant de transistor,

-une diode traversée par un courant de diode,

le circuit de contrôle étant branché sur une borne d'entrée et une borne de sortie du bobinage de sorte que le bobinage est traversé par un courant de
15 rotor.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée de modes de mise en œuvre et de réalisation, nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :

20 -la figure 1, déjà décrite représente un mode de commande selon l'état de la technique ;

-la figure 2 représente selon un mode de réalisation de l'invention, un système de régulation du circuit de contrôle ;

-la figure 3 représente selon un mode de réalisation de l'invention, la
25 conversion du signal PWM ;

-la figure 4 représente selon un mode de réalisation de l'invention, l'évolution de l'intensité du transistor ;

-la figure 5 représente selon un mode de réalisation de l'invention, la mesure de l'intensité ID ou IR au moment du front montant ;

-la figure 6 représente un exemple de réalisation du convertisseur de signal 201 selon l'invention ;

5 -la figure 7 représente l'intensité du transistor selon l'invention comparée avec l'intensité du transistor selon une rampe; et

-la figure 8 représente la différence entre le spectre électromagnétique avec une intensité du transistor suivant une rampe et le spectre électromagnétique avec une intensité du transistor ayant une forme cosinusoidale selon
10 l'invention.

Les éléments identiques, similaires, ou analogues conservent la même référence d'une figure à l'autre.

DESCRIPTION D'EXEMPLES DE REALISATION DE L'INVENTION

La figure 2 représente selon un mode de réalisation de l'invention, un
15 système de régulation 1 du circuit de contrôle 2 tel qu'illustré sur la figure 1. Le système de régulation comprend:

-un module de commande 204, également appelé driver selon un terme anglo-saxon bien connu de l'homme du métier, ayant une sortie pour appliquer un signal de commande COM sur une grille du transistor 205, ledit
20 signal de commande COM étant déterminé en fonction d'un signal à modulation de largeur d'amplitude PWM,

-un convertisseur de signal 201 pour convertir le signal à modulation de largeur d'amplitude PWM en un signal de référence SREF ayant des parties de forme cosinusoidale,

25 -un comparateur 202 pour faire la différence entre le signal de référence SREF et le courant de transistor IT et en déduire un signal d'erreur ERR, le signal de commande COM étant déterminé en fonction du signal d'erreur ERR.

Par ailleurs, il est prévu que le système de régulation comprenne dans le circuit de contrôle 2, un module 206 de mesure du courant de transistor IT afin que le comparateur 202 puisse faire la différence entre le courant IT et le signal de référence SREF. On pourrait également prévoir que le système de régulation 1 comprenne un module de mesure du courant de diode ID et/ou un module de mesure du courant de rotor IR.

Ainsi, le système de régulation 1 peut notamment avec l'aide du comparateur 202 asservir en boucle fermée la valeur du courant de transistor IT sur la valeur SREF.

Selon un mode de réalisation, le système de régulation peut comprendre un correcteur 203 pour corriger le signal d'erreur ERR et appliquer un signal corrigé CORR sur une entrée du module de commande 204. Dans ce cas, le signal de commande COM est déterminé en fonction du signal d'erreur corrigé CORR. Toutefois, le signal corrigé CORR est déterminé en fonction du signal d'erreur si bien que selon ce mode de réalisation, le signal de commande COM est également déterminé en fonction du signal d'erreur ERR.

Comme on peut le voir dans la figure 2, le bobinage 208 du rotor est modélisé par une inductance 209 de valeur L en série avec une résistance 210.

Sur la figure 2, on peut également voir un ensemble de régulation 100 regroupant le système de régulation 1 et le circuit de contrôle 2.

La figure 3 représente selon un mode de réalisation de l'invention, la conversion du signal PWM. On peut voir sur la figure 3, l'axe des abscisses 309 qui représente le temps et qui est dédoublé et un axe des ordonnées 305 qui représente l'amplitude du signal SREF pour la partie supérieure et l'amplitude du signal PWM pour la partie inférieure.

Sur l'exemple illustré, le signal PWM comprend une partie ayant un état haut HT et deux parties ayant un état bas BS. Le signal PWM passe d'une partie ayant un état bas à une partie ayant un état haut par un front montant FM et

1 passe d'une partie ayant un état haut à une partie ayant un état bas par un front descendant FD.

Comme on peut le voir sur la figure 3, le convertisseur de signal 201 est configuré pour convertir un front montant FM du signal à modulation de
5 largeur d'amplitude PWM en une partie montante 307 d'un signal cosinus. Cette partie montante 307 s'étend entre les bornes 301 et 302, la borne 301 étant simultanée avec l'arrivée du front montant FM. Par exemple, on peut considérer que la partie montante 307 débute avec la valeur minimale du cosinus.

10 Comme on peut le voir sur la figure 3, le convertisseur de signal 201 est configuré pour convertir un front descendant FD du signal à modulation de largeur d'amplitude PWM en une partie descendante 308 d'un signal cosinus. Cette partie descendante 308 s'étend entre les bornes 303 et 304, la borne 303 étant simultanée avec l'arrivée du front descendant FD. Par exemple, on
15 peut considérer que la partie descendante 308 débute avec la valeur maximale du cosinus.

Avant la borne 301 et après la borne 304, lorsque le signal PWM prend un état bas, le signal SREF prend alors par exemple la valeur nulle. Ainsi dans ce cas, le circuit de contrôle se comporte comme illustré sur la partie gauche
20 de la figure 1. Plus précisément, avant la borne 301 et après la borne 304, le transistor 205 se comporte comme une résistance entre son drain et sa source ayant une valeur R_{off} correspondant à la valeur de la résistance d'un transistor MOSFET à l'état bloqué. Cette valeur R_{off} est suffisamment grande pour qu'en première approximation on considère que le courant de
25 fuite est nul.

Entre les bornes 301 et 302 d'une part et les bornes 303 et 304 d'autre part le signal SREF correspond respectivement à une partie montante 307 d'un signal cosinus et à une partie descendante 308 d'un signal cosinus. Ainsi, avec le système de régulation 1 en boucle fermée entre les bornes 301 et
30 302 et les bornes 303 et 304, le transistor 205 se comporte comme une source de courant, le courant I_T prenant la forme d'une partie montante d'un signal cosinus et d'une partie descendante d'un signal cosinus respectivement.

En d'autres termes, entre les bornes 301 et 302 d'une part et les bornes 303 et 304 d'autre part, le courant I_T est contrôlé.

Entre les bornes 302 et 303, le convertisseur de signal 201 est configuré pour recopier un état haut HT du signal à modulation de largeur d'amplitude PWM. Ainsi, entre les bornes 302 et 303, le transistor 205 se comporte
5 comme une résistance entre son drain et sa source ayant une valeur R_{dson} correspondant à la valeur de la résistance à l'état passant d'un transistor MOSFET de sorte que la tension entre la grille et la source du transistor prend une valeur maximale V_{GSmax} . En d'autres termes, entre les bornes
10 302 et 303, le courant I_T n'est plus régulé. Il est donc utile le cas échéant que le correcteur 203 soit réinitialisé à chaque front montant FM ou descendant FD.

Par exemple, en référence à la figure 2, la source du transistor 205 est branchée à la tension U et le drain du transistor 205 est branché à la diode
15 207 et au bobinage 208.

La figure 4 représente selon un mode de réalisation de l'invention, l'évolution de l'intensité du transistor I_T en fonction du temps. Sur la figure 4, on peut voir un axe des ordonnées 310 représentant la valeur de l'intensité I_T et un
20 axe des abscisses 311 représentant le temps. Les bornes 301, 302, 303 et 304 de la figure 4 correspondent à celles de la figure 3.

Ainsi, comme on peut le voir, entre les bornes 301 et 302 le courant I_T prenant la forme d'une partie montante d'un signal cosinus, entre les bornes 303 et 304, le courant I_T prenant la forme d'une partie descendante d'un signal cosinus. Au delà des bornes 301 et 304, le courant I_T prend une
25 valeur nulle. Entre les bornes 302 et 303, le courant I_T prend sensiblement la forme d'une fonction affine dont la pente positive est sensiblement égale à la tension d'alimentation U divisée par l'inductance L du bobinage 208.

La figure 5 représente selon un mode de réalisation de l'invention, la mesure de l'intensité I_D ou I_R au moment du front montant.

30 Plus précisément, sur la figure 5, on peut voir un axe des ordonnées 313 représentant la valeur de l'intensité et un axe des abscisses 312

représentant le temps. Les bornes 301 et 302 de la figure 5 correspondent à celles des figures 3 et 4. On peut également voir sur la figure 5, les courbes ID et IT qui représentent respectivement le courant de diode et le courant de transistor.

- 5 Comme on peut le voir sur la figure 5, les courbes ID et IT suivent des évolutions opposées car la somme de ID et IT est égale au courant de rotor IR qui est sensiblement constant du fait notamment de l'inductance 209 du bobinage 208 dont la valeur peut être relativement élevée.

- 10 Afin justement d'assurer la constance du courant IR entre les bornes 301 et 302, il est prévu de mesurer la valeur du courant IR au moment du front montant et le système de régulation 1 est alors configuré pour que la valeur finale 300 de la partie montante du signal cosinus 307 prenne la valeur du courant IR mesurée au moment du front montant FM.

- 15 De plus, étant donné qu'au niveau de la borne 301, $ID=IR$, on pourrait également mesurer la valeur du courant ID au moment du front montant et prévoir que le système de régulation 1 est configuré pour que la valeur finale 300 de la partie montante du signal cosinus 307 prenne la valeur du courant ID mesurée au moment du front montant FM.

- 20 En tout état de cause, la valeur finale 300 de la partie montante du signal cosinus du courant IT au niveau de la borne 302 est égale à la valeur du courant ID au niveau de la borne 301, c'est à dire $IT(302) = ID(301)$ sachant que $IR>ID+IT$ et que $IT(301)=0$ et $ID(302)=0$.

On obtient notamment une valeur identique du courant $IR(301) = IR(302)$ au niveau des bornes 301 et 302.

- 25 La figure 6 représente un exemple de réalisation du convertisseur de signal 201 selon l'invention. Il comprend les blocs suivants:

-502: un bloc de génération d'horloge.

-503: un bloc de génération du signal de remise à zéro.

-504: un bloc de conversion analogique numérique qui convertit la valeur du courant IT en un nombre numérique sur 10 bits par exemple.

-505: un bloc de détection des fronts montant ou descendant.

-507: un bloc de génération d'une partie descendante d'un signal cosinus.

5 -508: un bloc de génération d'une partie montante d'un signal cosinus.

-506: un bloc de traitement duquel sort 4 signaux 506a, 506b, 506c et 506d:

-506a c'est le signal indiquant le gain à appliquer pour former la partie descendante du signal cosinus, à destination du bloc 507

10 -506b: c'est le signal indiquant la fréquence à appliquer pour former la partie descendante du signal cosinus, à destination du bloc 507

-506c: c'est le signal indiquant la fréquence à appliquer pour former la partie montante du signal cosinus, à destination du bloc 508

15 -506d: c'est le signal indiquant le gain à appliquer pour former la partie montante du signal cosinus, à destination du bloc 508

-509: un bloc de génération d'une partie ayant une valeur constante .

-511: un bloc de sommation.

20 -512: un bloc de conversion numérique analogique à partir d'une valeur numérique sur 10 bits par exemple.

Les blocs 507 et 509 reçoivent l'indication comme quoi un front descendant a été détecté en provenance du bloc 505 et le signal de remise à zéro du bloc 503. Le bloc 508 reçoit l'indication comme quoi un front montant a été détecté en provenance du bloc 505 et le signal de remise à zéro du bloc 503.

25 Le bloc 505 reçoit en outre le signal de remise à zéro du bloc 503. Les blocs 505, 506, 507, 508 et 509 reçoivent le signal d'horloge du bloc 502.

Le bloc 501 est le bloc de génération du signal PWM et selon ce mode de réalisation, il n'appartient pas au convertisseur de signal 201.

L'entrée 510 correspond au courant IT mesuré par exemple par le module 206. La sortie 513 correspond au signal de référence SREF.

- 5 La figure 7 représente l'intensité du transistor selon l'invention comparée avec l'intensité du transistor selon une rampe. Plus précisément, sur la figure 7, on peut voir un axe des ordonnées 404 représentant la valeur de l'intensité IT et un axe des abscisses 403 représentant le temps. On peut également voir sur la figure 5, les courbes 401 et 402 qui représentent respectivement le
- 10 courant de transistor dans le cas d'une partie cosinus montante et dans le cas d'une rampe. Comme on peut le voir le convertisseur de signal 201 est configuré pour que la fréquence du signal cosinus du signal de référence SREF soit telle que la pente de sa partie montante 307 est de l'ordre de 250mA/μs. Ainsi, la pente du courant IT tout comme celle de la rampe est de
- 15 l'ordre de 250mA/μs.

Toutefois, il serait également possible de configurer le convertisseur de signal 201 pour adapter la fréquence du signal cosinus du signal de référence SREF à l'application par exemple en fonction du type de machine électrique tournante.

- 20 Dans le cas illustré sur la figure 7, il est prévu que dans le signal SREF, la durée de la partie montante est telle que la pente à la fin de la partie montante soit sensiblement horizontale.

- Pour cela, on peut par exemple prévoir que le convertisseur de signal 201 est configuré pour que la partie montante 307 du signal cosinus soit d'une
- 25 durée égale à un quart de la période du signal cosinus, la borne 301 à partie de laquelle la partie montante 307 s'étend correspondant alors à une valeur - $\pi/2$ pour une fonction cosinus de type $f(x)=\cos(x)$.

- Pour cela, on pourrait également prévoir que le convertisseur de signal 201 est configuré pour que la partie montante 307 du signal cosinus soit d'une
- 30 durée égale à une moitié de la période du signal cosinus, la partie montante 307 débutant avec la valeur minimale du cosinus.

De manière alternative, on pourrait également prévoir comme cela est illustré sur la figure 4 que le convertisseur de signal 201 est configuré pour que la partie montante du signal cosinus 307 soit d'une durée telle qu'à la fin de cette durée, la pente du signal cosinus est de l'ordre de la pente du courant Ir soit la tension d'alimentation U divisée par une inductance L du bobinage 208. Comme on peut le voir sur la figure 3; la durée de la partie montante du signal cosinus 307 s'étend entre les bornes 301 et 302.

La figure 8 représente la différence entre le spectre électromagnétique avec une intensité du transistor suivant la rampe illustré sur la figure 7 et le spectre électromagnétique avec une intensité du transistor ayant une forme cosinusoïdale illustré sur la figure 7. Plus précisément, sur la figure 8, on peut voir un axe des ordonnées 601 représentant la hauteur des raies en dBm et un axe des abscisses 603 représentant la fréquence. On peut également voir sur la figure 8, une courbe 602. La courbe 602 correspond à la différence de deux spectres électromagnétiques, à savoir le spectre électromagnétique de l'intensité du transistor IT dans le cas où le signal suit une partie cosinusoïdale montante auquel on soustrait le spectre électromagnétique de l'intensité du transistor IT dans le cas où le signal suit une rampe.

Comme on peut le voir, cette différence de spectres est principalement négative ce qui traduit le fait que le spectre électromagnétique de l'intensité du transistor IT dans le cas où le signal suit une rampe est supérieur à celui de l'intensité du transistor IT dans le cas où le signal suit une partie cosinusoïdale montante.

REVENDICATIONS

1. Système de régulation (1) pour un circuit de contrôle (2) d'une machine électrique tournante ayant un rotor muni d'un bobinage (208), le circuit de contrôle (2) comprenant:

5 -un transistor (205) branché à une tension d'alimentation (U) et délivrant un courant de transistor (IT),

 -une diode (207) traversée par un courant de diode (ID),

 le circuit de contrôle (2) étant branché sur une borne d'entrée et une borne de sortie du bobinage (208) de sorte que le bobinage est traversé par un
10 courant de rotor (IR),

 le système de régulation (1) comprenant un module de commande (204) ayant une sortie pour appliquer un signal de commande (COM) sur une grille du transistor (205), ledit signal de commande (COM) étant déterminé en fonction d'un signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM),

15 caractérisé en ce que le système de régulation (1) comprend:

 -un convertisseur de signal (201) pour convertir le signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM) en un signal de référence (SREF) ayant des parties de forme cosinusoidale,

 -un comparateur (202) pour faire la différence entre le signal de référence (SREF) et le courant de transistor (IT) et en déduire un signal d'erreur (ERR),
20 le signal de commande (COM) étant déterminé en fonction du signal d'erreur (ERR).

2. Système de régulation selon la revendication 1, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour convertir un front montant
25 (FM) du signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM) en une partie montante (307) d'un signal cosinus.

3. Système de régulation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour déterminer la

valeur finale (300) de la partie montante (307) du signal cosinus en fonction de la valeur du courant de rotor (IR) au moment du front montant (FM).

4. Système de régulation selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour que la fréquence du signal cosinus soit telle que la pente de sa partie montante (307) est de l'ordre de 250mA/μs.
5. Système de régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour convertir un front descendant (FD) du signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM) en une partie descendante (308) d'un signal cosinus.
6. Système de régulation selon l'une des revendications 2, 3, ou 5, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour diminuer la fréquence de la partie montante (307) et/ou de la partie descendante (308) avec la montée de la température.
7. Système de régulation selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour que la partie montante du signal cosinus (307) soit d'une durée (301, 302) telle qu'à la fin de cette durée, la pente du signal cosinus est de l'ordre de la tension d'alimentation (U) divisée par une inductance (L) du bobinage (208).
8. Système de régulation selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour que la partie montante (307) ou la partie descendante (308) du signal cosinus soit d'une durée inférieure ou égale à un quart de la période du signal cosinus.
9. Système de régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un correcteur (203) pour corriger le signal d'erreur (ERR) et appliquer un signal corrigé (CORR) sur une entrée du module de commande (204).
10. Système de régulation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le correcteur (203) est réinitialisé à chaque front montant (FM) ou descendant (FD).

11. Système de régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le convertisseur de signal (201) est configuré pour recopier un état haut (HT) du signal à modulation de largeur d'amplitude (PWM).

- 5 12. Ensemble de régulation (100) comprenant un système de régulation selon l'une des revendications précédentes et le circuit de contrôle (2), le circuit de contrôle comprenant:

-un transistor (205) branché à une tension d'alimentation (U) et délivrant un courant de transistor (IT),

- 10 -une diode (207) traversée par un courant de diode (ID),

le circuit de contrôle (2) étant branché sur une borne d'entrée et une borne de sortie du bobinage (208) de sorte que le bobinage est traversé par un courant de rotor (IR).

1/8

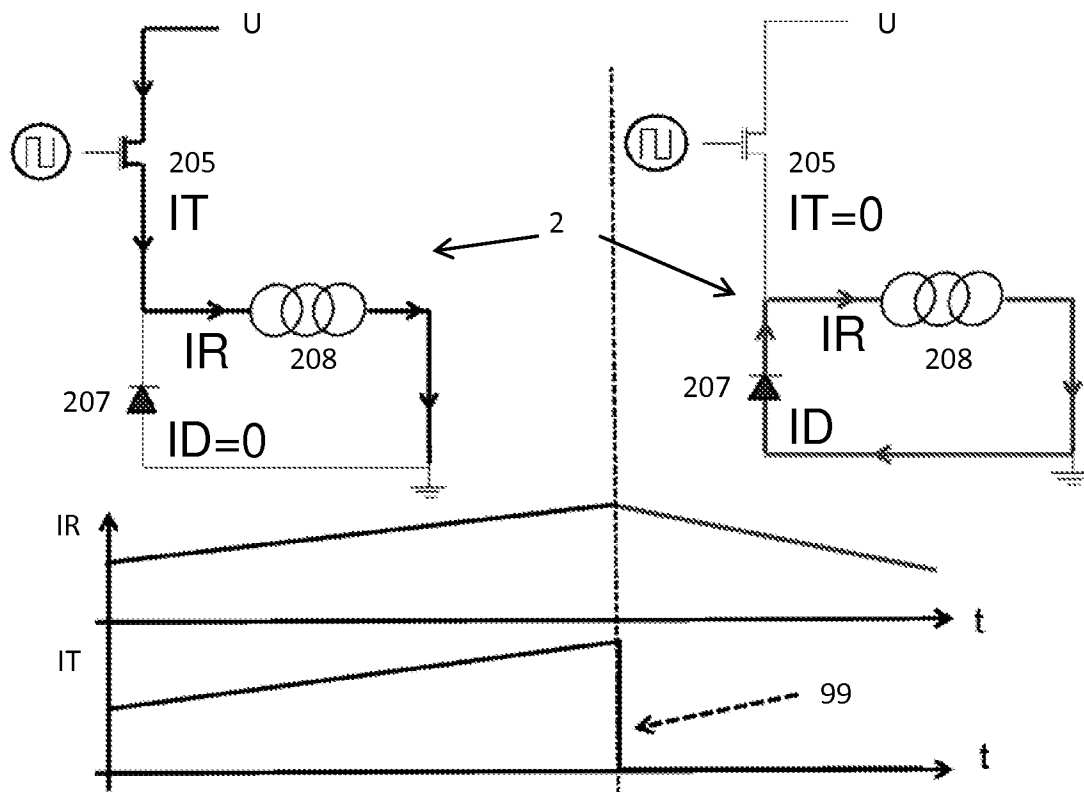


FIG. 1

2/8

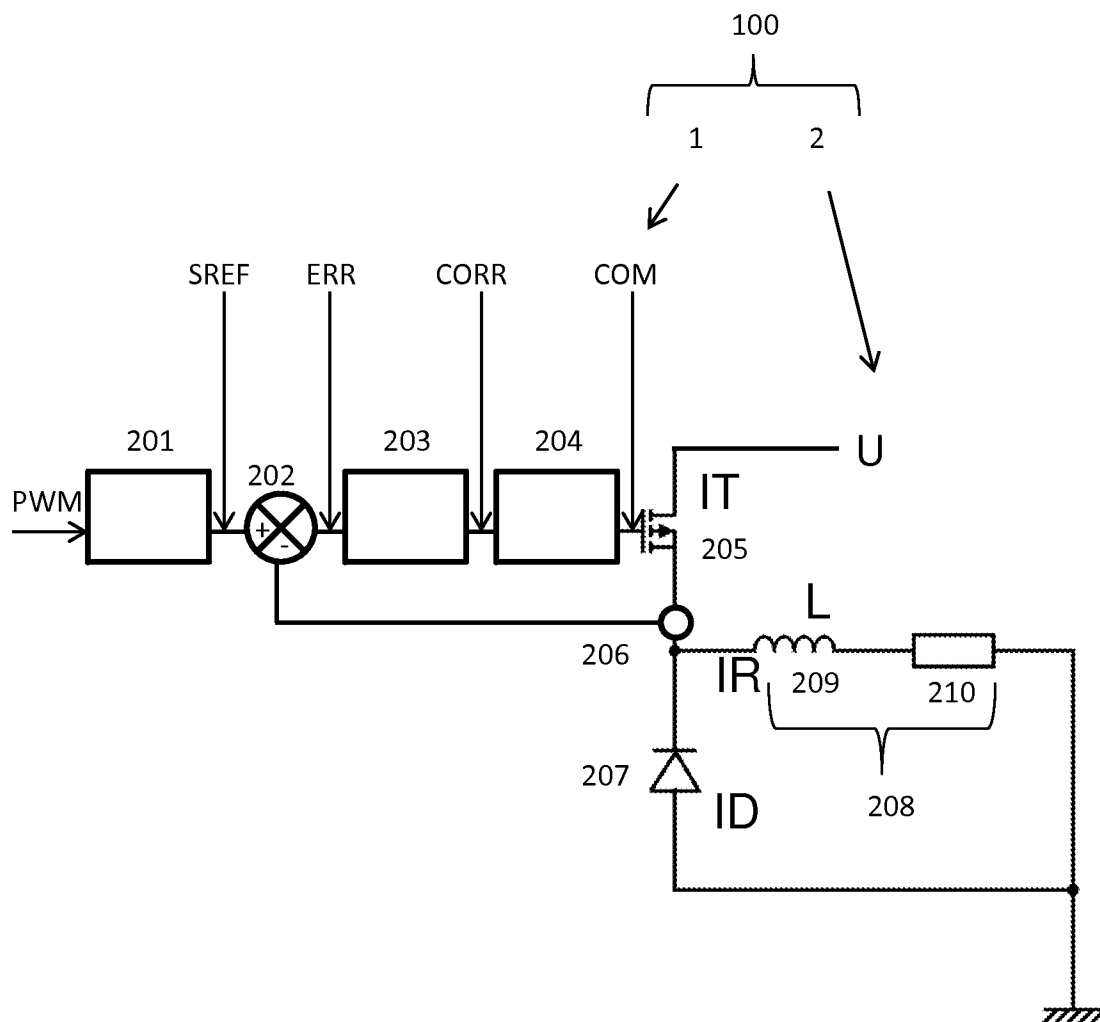


FIG. 2

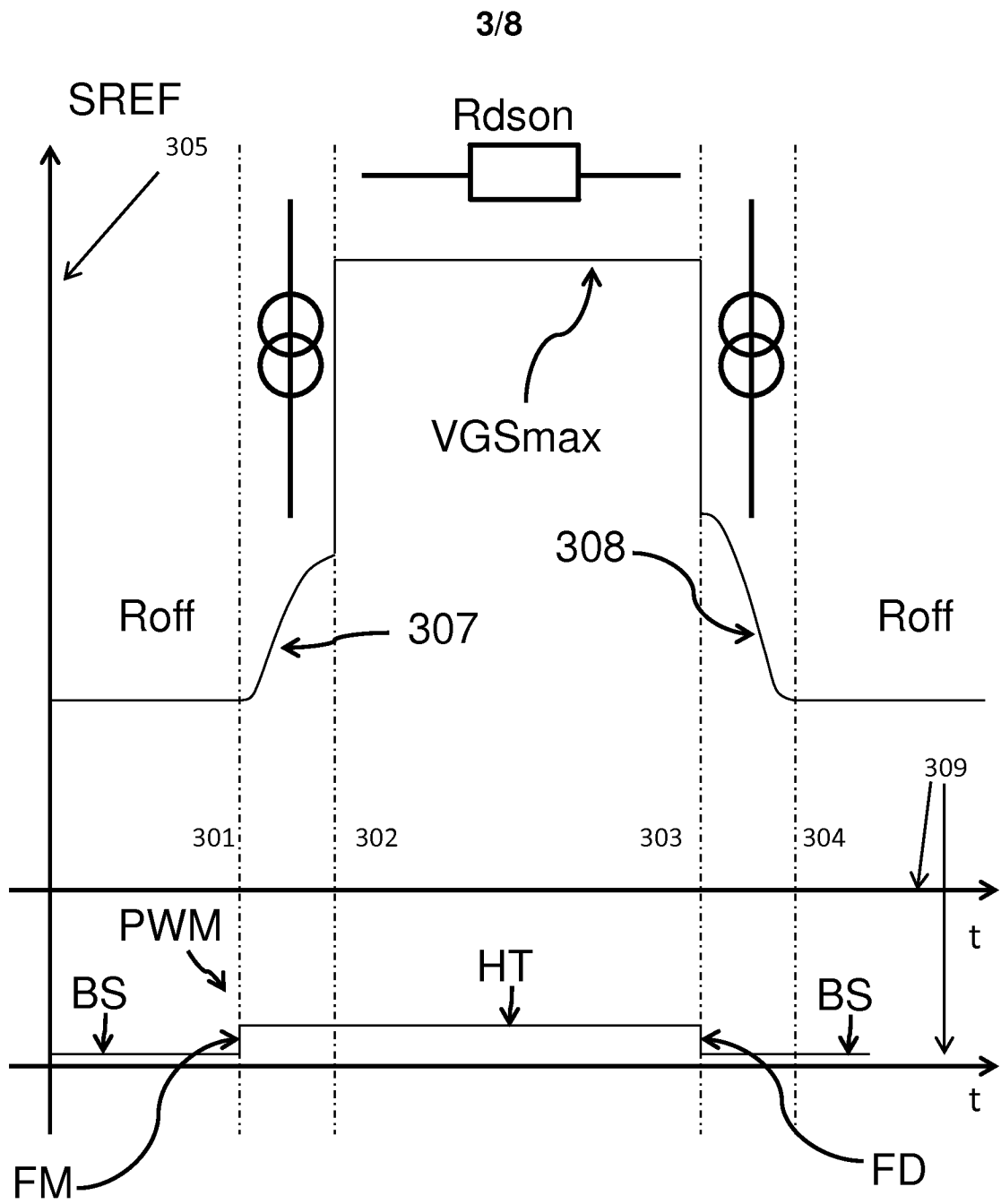


FIG. 3

4/8

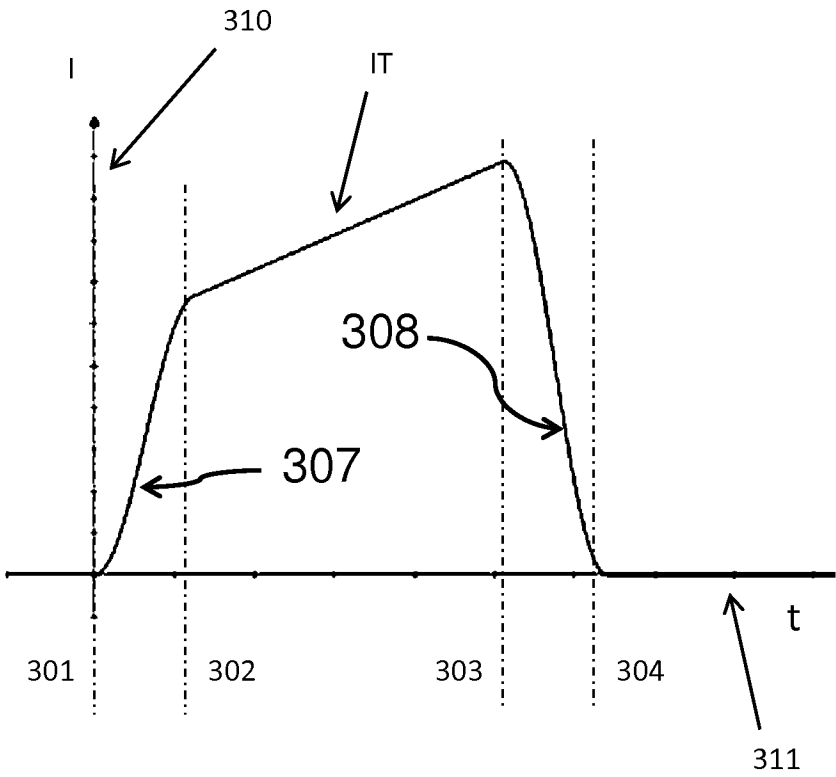


FIG. 4

5/8

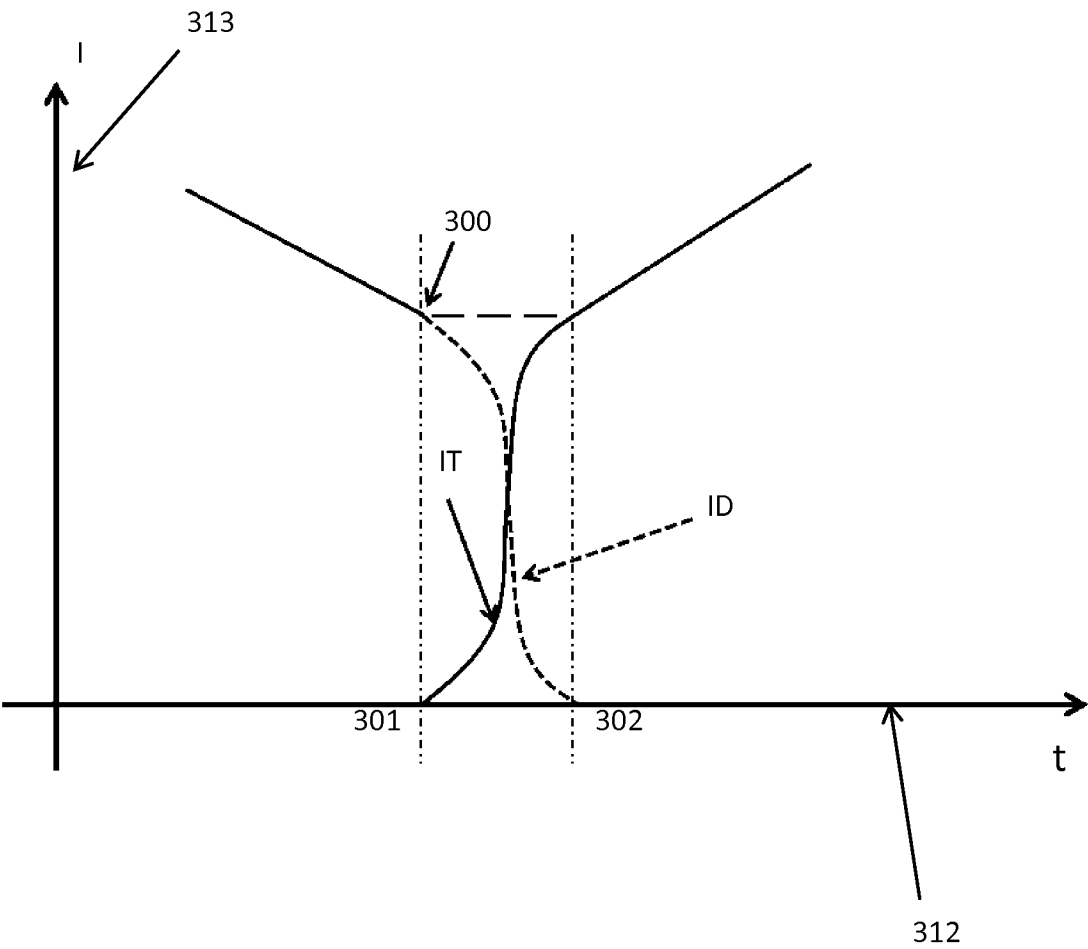


FIG. 5

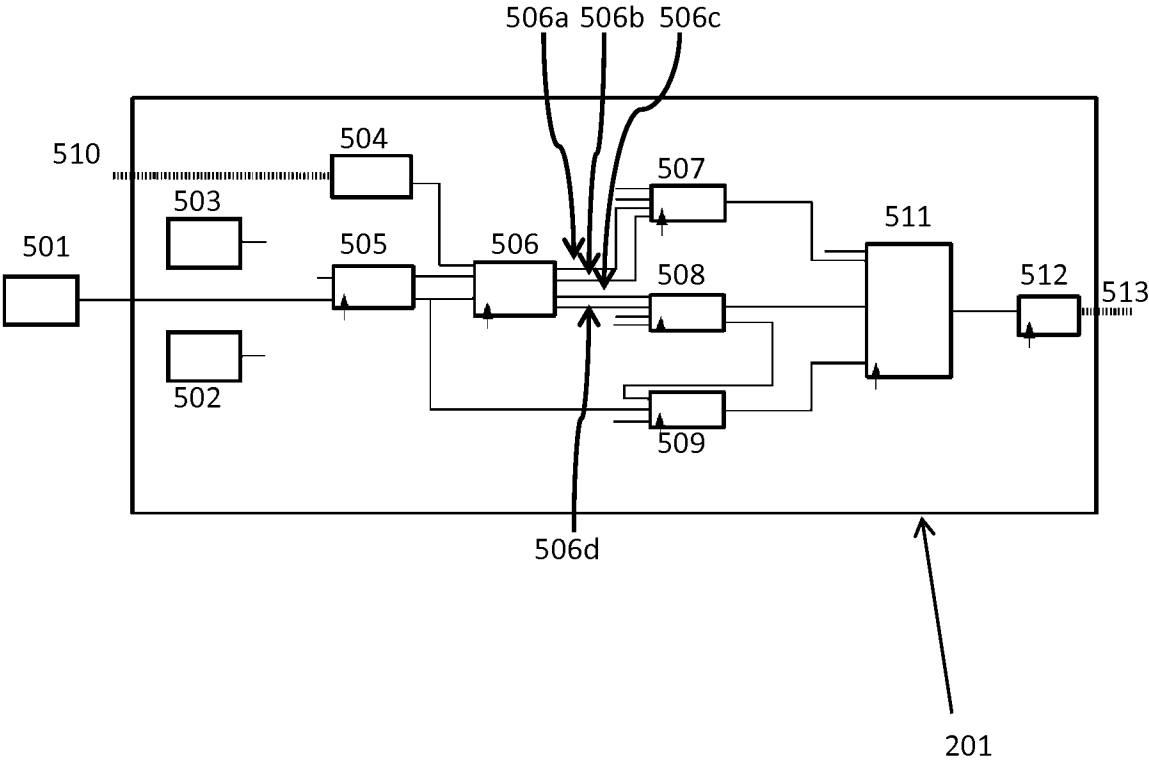


FIG. 6

7/8

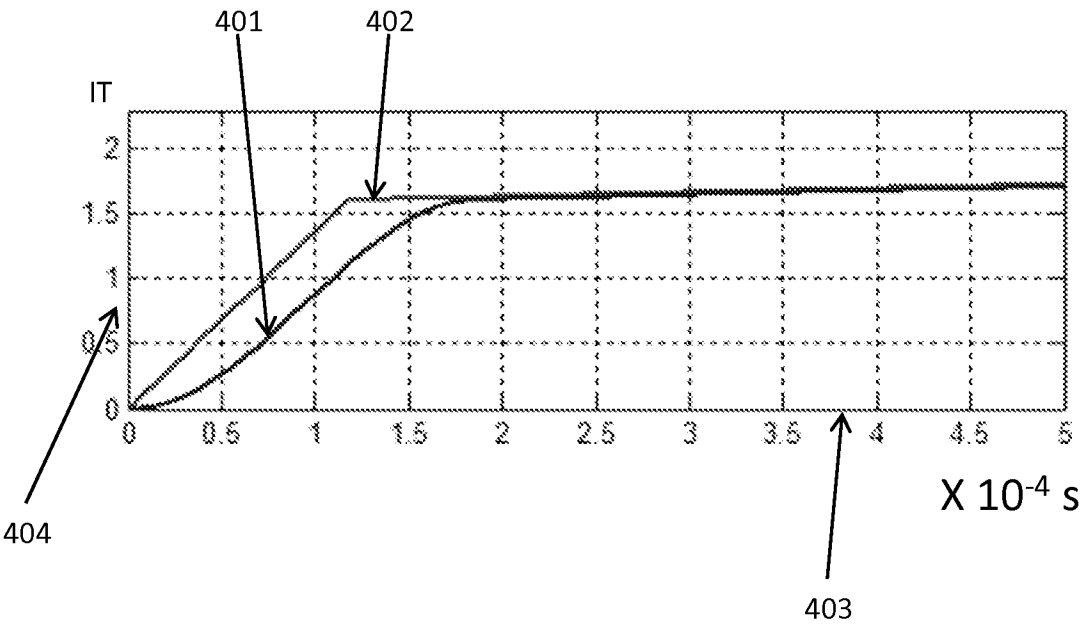


FIG. 7

8/8

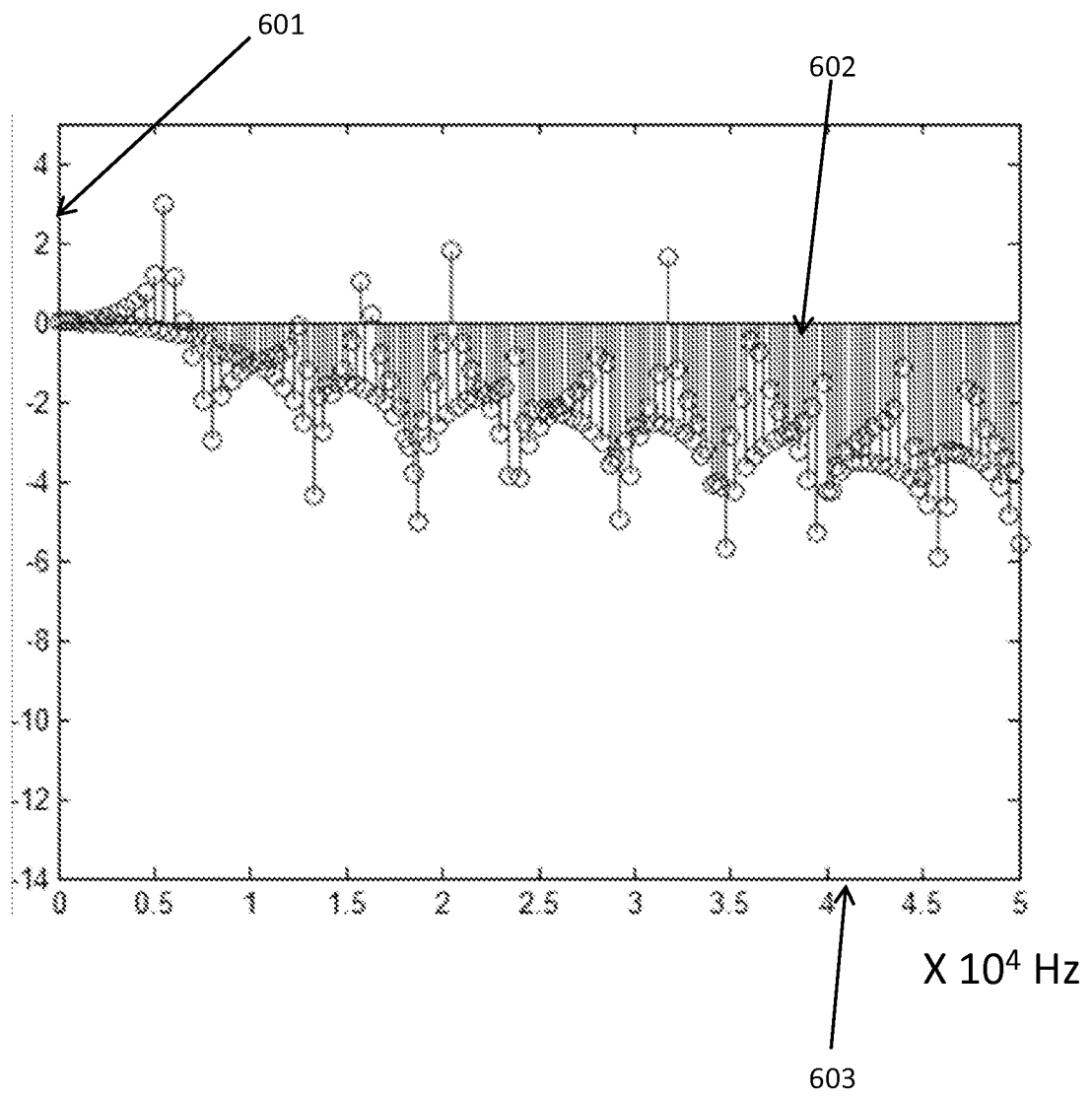


FIG. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2018/050075

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	H02P9/30 H02M1/08	H02P9/10 H03K17/082
	H03K17/16 H02M1/00	H03K17/0416 H03K17/042
ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P H02M H03K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/375362 A1 (LOBSIGER YANICK [CH] ET AL) 25 December 2014 (2014-12-25)	1,9-12
A	paragraph [0031] - paragraph [0049]; figures 2,11	2-8
	paragraph [0057] - paragraph [0058] paragraph [0058]	

A	BLANK MATHIAS ET AL: "Slew rate control strategies for smart power ICs based on iterative learning control", 2014 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION - APEC 2014, IEEE, 16 March 2014 (2014-03-16), pages 2860-2866, XP032591022, DOI: 10.1109/APEC.2014.6803710 page 2860 - page 2863; figures 1-3	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 9 May 2018		Date of mailing of the international search report 17/05/2018
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Gusia, Sorin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2018/050075

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014375362 A1	25-12-2014	CN 104242890 A	24-12-2014
		EP 2816728 A1	24-12-2014
		US 2014375362 A1	25-12-2014

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/050075

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H02P9/30 H02P9/10 H03K17/16 H03K17/0416 H03K17/042 H02M1/08 H03K17/082 H02M1/00 ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB														
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H02P H02M H03K Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data														
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie*</th> <th>Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents</th> <th>no. des revendications visées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 2014/375362 A1 (LOBSIGER YANICK [CH] ET AL) 25 décembre 2014 (2014-12-25)</td> <td>1,9-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>alinéa [0031] - alinéa [0049]; figures 2,11</td> <td>2-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>alinéa [0057] - alinéa [0058] ----- BLANK MATHIAS ET AL: "Slew rate control strategies for smart power ICs based on iterative learning control", 2014 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION - APEC 2014, IEEE, 16 mars 2014 (2014-03-16), pages 2860-2866, XP032591022, DOI: 10.1109/APEC.2014.6803710 page 2860 - page 2863; figures 1-3 -----</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées	X	US 2014/375362 A1 (LOBSIGER YANICK [CH] ET AL) 25 décembre 2014 (2014-12-25)	1,9-12	A	alinéa [0031] - alinéa [0049]; figures 2,11	2-8	A	alinéa [0057] - alinéa [0058] ----- BLANK MATHIAS ET AL: "Slew rate control strategies for smart power ICs based on iterative learning control", 2014 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION - APEC 2014, IEEE, 16 mars 2014 (2014-03-16), pages 2860-2866, XP032591022, DOI: 10.1109/APEC.2014.6803710 page 2860 - page 2863; figures 1-3 -----	1-12
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées												
X	US 2014/375362 A1 (LOBSIGER YANICK [CH] ET AL) 25 décembre 2014 (2014-12-25)	1,9-12												
A	alinéa [0031] - alinéa [0049]; figures 2,11	2-8												
A	alinéa [0057] - alinéa [0058] ----- BLANK MATHIAS ET AL: "Slew rate control strategies for smart power ICs based on iterative learning control", 2014 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION - APEC 2014, IEEE, 16 mars 2014 (2014-03-16), pages 2860-2866, XP032591022, DOI: 10.1109/APEC.2014.6803710 page 2860 - page 2863; figures 1-3 -----	1-12												
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe														
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets														
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 9 mai 2018		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 17/05/2018												
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Gusia, Sorin												

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2018/050075

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)