



(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2014/053474

(22) Date de dépôt international :
21 février 2014 (21.02.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
13 51572 22 février 2013 (22.02.2013) FR

(71) Déposants : **TECHNOFAN** [FR/FR]; ZAC du grand Noble, 10 Place Marcel Dassault, F-31700 Blagnac (FR). **INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE** [FR/FR]; 6, Allée Emile Monso, F-31029 Toulouse Cedex 4 (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S)** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs : **ROLLIN, Pascal**; 4 impasse des sources, F-31700 Daux (FR). **RICHARDEAU, Frédéric**; 9 rue du Balaïtous, F-31130 Flourens (FR). **MORVAN, Matthieu**; Les Jardins De Robin Bât. 3E, Apt. E17, 11 rue Paul Valé-

ry, F-31170 Tournefeuille (FR). **MOSSER, Franck**; 4 rue Chambenois, F-31400 Toulouse (FR).

(74) Mandataires : **BLOT, Philippe** et al.; Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, F-75009 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : ELECTRONIC TEMPERATURE SENSOR FOR MEASURING THE JUNCTION TEMPERATURE OF AN ELECTRONIC POWER SWITCH DURING OPERATION, AND METHOD FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF THE JUNCTION BY THIS ELECTRONIC SENSOR

(54) Titre : CAPTEUR ÉLECTRONIQUE DE TEMPÉRATURE POUR MESURER LA TEMPÉRATURE DE JONCTION D'UN INTERRUPTEUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE EN FONCTIONNEMENT ET PROCÉDÉ DE MESURE DE LA TEMPÉRATURE DE LA JONCTION PAR CE CAPTEUR ÉLECTRONIQUE

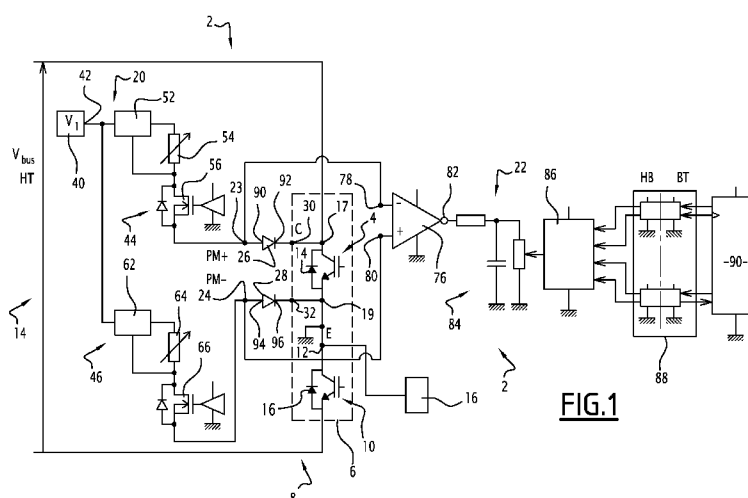


FIG.1

(57) Abstract : An electronic temperature sensor for measuring the junction temperature of an electronic power switch (4) of a static converter (8) comprises an injection source of a calibrated measurement current (20) and a differential voltage measurement amplifier (76; 276). The electronic sensor comprises a first series connection element (26) and a second series connection element (28) connected respectively to the inlet terminals (78, 80) of the differential voltage amplifier (76; 276). The first and second series connection elements (26, 28; 224, 226) are configured to protect the amplifier against a high voltage, have essentially identical electrical characteristics, and are included in the assembly formed by the high-voltage resistors and fast diodes (HT).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, **Publiée :**

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,

GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Un capteur électronique de température pour mesurer la température de jonction d'un interrupteur électronique (4) de puissance d'un convertisseur statique (8) comprend une source d'injection d'un courant de mesure calibré (20) et un amplificateur de mesure d'une tension différentielle (76; 276). Le capteur électronique comprend un premier élément de connexion série (26) et un deuxième élément de connexion série (28) connectés respectivement aux bornes d'entrée (78, 80) de l'amplificateur de tension différentielle (76; 276). Les premier et deuxième éléments de connexion série (26, 28; 224, 226) sont configurés pour protéger l'amplificateur contre une tension élevée, ont des caractéristiques électriques essentiellement identiques, et sont compris dans l'ensemble formé par les résistances et les diodes rapides haute tension (HT).

Capteur électronique de température pour mesurer la température de jonction d'un interrupteur électronique de puissance en fonctionnement et procédé de mesure de la température de la jonction par ce capteur électronique

La présente invention concerne un capteur électronique de température destiné à mesurer la température de jonction d'un interrupteur électronique de puissance en fonctionnement et un procédé de mesure de la température de la jonction par le capteur électronique avec un court temps de réponse.

Les mesures directes de température des interrupteurs électroniques commandés, intégrés dans des convertisseurs statiques, eux-mêmes intégrés dans des systèmes électriques de puissance, sont délicates à réaliser car très intrusives en raison de la petite dimension de ces composants encapsulés et mettant en jeu de tensions électriques élevées.

L'utilisation de sondes thermocouples ou thermosensibles d'une manière générale en tant que capteurs de température dans de tels systèmes électriques est connue.

Toutefois, même s'il existe des solutions opérationnelles d'isolation électrique de ces sondes thermocouples, électriquement conductrices, le temps de réponse de ce type de capteur de température, c'est-à-dire la résolution temporelle des sondes thermocouples reste à la dizaine de millisecondes, ce qui confine l'utilisation des thermocouples à des conditions d'équilibre thermique.

Les détecteurs de rayonnement thermique, comme par exemple des caméras sensibles au rayonnement infrarouge, pallient à cet inconvénient, car ils possèdent des temps de réponse plus rapides et peuvent mesurer des variations de température avec une résolution temporelle inférieure à 1 ms.

Toutefois ces détecteurs de rayonnement thermique requièrent un champ de vue sur l'objet mesuré exempt de masquage, ce qui n'est pas possible d'ordinaire sur les modules de puissance. En effet, les techniques classiques d'encapsulation ne permettent pas de disposer en général d'une visibilité du module sans obstacle et ce type de détecteur ne peut être intégré à un boîtier de composant.

Une solution permettant de remédier aux inconvénients décrits ci-dessus consiste dans le principe à utiliser la puce de puissance elle-même en tant que capteur électronique de température, de sorte que la mesure de température peut être effectuée avec des modules de séries calibrées sans endommager l'encapsulation.

Dans le principe, tout paramètre électrique dépendant de la température d'une puce de puissance, c'est-à-dire un interrupteur électronique commandé comme par exemple un transistor IGBT (en anglais Inverse Gate Bipolar Transistor), peut être exploité pour une mesure électronique de la température de jonction.

L'exploitation de l'évolution en fonction de la température de la chute de tension de la jonction semi-conductrice en conduction directe, mesurée entre les deux électrodes principales (anode-cathode ou drain-source ou bien encore collecteur-émetteur) de puissance) de puissance de l'interrupteur électronique, comme par exemple une jonction silicium (cas d'un composant bipolaire) ou d'une région ohmique (cas d'un composant à effet de champ), revêt le plus d'intérêt car elle tire avantage d'une réponse en température la plupart du temps sensiblement linéaire sur une large bande de température.

Pour les composants bipolaires, l'exploitation de l'évolution en fonction de la température notée T de la tension de diffusion $V_{CE}(T)$ à faible courant est connue pour déterminer la température d'une jonction à semi-conducteur sans avoir besoin de capteur direct de température supplémentaire. Elle est décrite par exemple dans l'article de Scheuermann et al., intitulé « Investigations on the $V_{CE}(T)$ – Method to determine the junction temperature by using the chip itself as sensor » publié dans Proceedings PCIM Europe 2009 Conference, pages 802 à 807.

Par exemple, la pente de la caractéristique en température de la tension de diffusion est d'environ -2 mV/K pour un courant de mesure d'injection de 200 mA injecté dans des puces IGBTs actuelles.

Afin d'avoir une bonne précision de la température de jonction, il faut trouver le juste compromis quant au choix du courant de mesure qui ne doit pas induire une chute de tension ohmique et d'autoéchauffement de la puce mais qui doit être suffisant pour préserver une bonne immunité aux parasites.

Une des difficultés de cette technique de mesure électronique indirecte de température réside dans la mesure précise et rapide d'une faible chute de tension aux bornes d'un interrupteur électronique commandé, par exemple aux bornes d'un IGBT, fonctionnant en service nominal dans une cellule de commutation sous une tension élevée, par exemple quelques dizaines ou quelques centaines de volts, avec des courants commutés d'au moins quelques ampères voire quelques centaines d'ampères.

Un premier mode de réalisation d'un capteur électronique de température mettant en oeuvre la technique $V_{CE}(T)$ est décrit dans l'article de Amgad RASHED et al., intitulé « Caractérisation automatique de modules IGBTs placés dans un processus de vieillissement par cyclage thermique » et présenté au congrès d'électronique de puissance du futur, Bordeaux 2012.

Le capteur électronique de température décrit dans cet article, et associé en propre à un interrupteur IGBT d'une cellule de commutation d'un onduleur à deux phases, comporte un circuit de mesure V_{CE} connecté aux bornes de puissance du transistor IGBT

et une source de courant d'injection d'un courant de mesure de 100 mA, réalisée sous la forme d'une simple résistance ballast, donc dépendante de la tension d'alimentation.

Le circuit de mesure de VCE est constitué d'un écrêteur de tension pour limiter la tension vue par le circuit de mesure lorsque le transistor testé est bloqué et d'un convertisseur tension-courant.

Un deuxième mode de réalisation d'un capteur électronique de température mettant en œuvre la technique VCE(T) est décrit dans l'article de D. Bergogne et al., intitulé « An estimation method of the channel temperature of power MOS devices », publié dans Power Electronics Specialists Conference, 2000, PESC 00, 2000 IEEE 31st, vol.3, pp. 1594-1599.

Le problème technique est de simplifier la structure du capteur électronique de température, notamment le circuit de mesure VCE, en termes de d'absence de composants actifs haute tension, et de rendre la structure indépendante du niveau de tension d'alimentation.

Un problème technique connexe est d'améliorer la fiabilité du capteur électronique de température.

A cet effet, l'invention a pour objet un capteur électronique de température pour mesurer la température de jonction d'un interrupteur électronique de puissance commandé d'une cellule de commutation électronique d'un convertisseur statique comprenant :

- une source d'injection d'un courant de mesure calibré et un amplificateur de mesure d'une tension différentielle,

- la source d'injection d'un courant de mesure calibré ayant au moins une borne d'injection et de sortie et étant configurée pour délivrer un premier courant de mesure calibré de sortie en une première borne d'injection et de sortie parmi l'au moins une borne de sortie, la première borne de sortie étant destinée à être connectée à une borne amont de puissance de la jonction de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée,

- l'amplificateur de tension différentielle ayant une première borne d'entrée différentielle d'amplificateur et une deuxième borne d'entrée différentielle d'amplificateur d'un signal de tension différentielle,

caractérisé en ce qu'il comprend

- un premier élément de connexion série et de protection contre une haute tension ayant une première borne de premier élément connectée à la première borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle et une deuxième borne de premier

élément connectée à la borne amont de puissance de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée,

un deuxième élément de connexion série et de protection contre une haute tension, ayant une troisième borne de deuxième élément connectée à la deuxième borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle, et une quatrième borne de deuxième élément connectée à l'une borne aval de puissance de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée,

les premier et deuxième éléments de connexion série ayant des caractéristiques électriques essentiellement identiques et étant compris dans l'ensemble formé par les résistances et les diodes rapide haute tension.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le capteur électronique de température comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le premier élément de connexion série est une première diode rapide d'isolement haute tension, connectée par son anode au travers de la première borne de premier élément à la première borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle,

- le deuxième élément de connexion série est une deuxième diode rapide d'isolement haute tension, connectée par son anode au travers de la troisième borne de deuxième élément à la deuxième borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle, et

- la source d'injection est configurée pour délivrer un deuxième courant de correction calibré en une deuxième borne d'injection et de sortie, la deuxième borne d'injection et de sortie étant connectée à la borne aval de puissance de la jonction de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée, et

- la source d'injection est configurée pour réguler à une même valeur de courant les première et deuxième diodes rapides d'isolement, de sorte que les chutes de tension aux bornes des première et deuxième diodes sont identiques ;

- la première diode rapide d'isolement haute tension est connectée par sa cathode au travers de la deuxième borne de premier élément à la première borne d'injection et de sortie en faisant partie de la source d'injection pour isoler et protéger en haute tension la source d'injection ;

- la deuxième diode rapide d'isolement haute tension est connectée par sa cathode au travers de la quatrième borne de deuxième élément à la deuxième borne d'injection et de sortie en faisant partie de la source d'injection pour isoler et protéger en haute tension la source d'injection ;

- le capteur comporte une première diode basse tension d'écrêtage et une deuxième diode basse tension d'écrêtage branchées respectivement par une première anode de diode d'écrêtage et une deuxième anode d'écrêtage à la première entrée différentielle et la deuxième entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle, pour protéger en tension l'amplificateur de tension différentielle,

et dans lequel

la source d'injection possède une seule première borne d'injection et de sortie pour délivrer le courant de mesure calibré dans la borne amont de puissance de la jonction de l'interrupteur électronique, et comporte une diode de protection rapide haute tension, la diode de protection étant distincte du premier élément de connexion série et du deuxième élément de connexion série, et étant connectée par sa cathode à la première borne d'injection et de sortie,

le premier élément de connexion série et le deuxième élément de connexion série sont deux première et deuxième résistances électriques connectées respectivement en parallèle aux première et deuxième diodes d'écrêtage pour protéger les diodes d'écrêtage en courant et l'amplificateur de tension différentielle,

les première et deuxième résistances électriques ayant sensiblement la même valeur de résistance ; et

- la source d'injection comporte un interrupteur commandé d'inhibition de l'injection du premier courant de mesure calibré pour réduire la consommation du capteur lorsque la mesure de température n'est pas effectuée.

L'invention a également pour objet un convertisseur statique comprenant un ensemble d'interrupteurs électroniques commandés et un capteur électronique de température tel que défini ci-dessus, le capteur électronique étant associé en propre et connecté à un unique interrupteur électronique commandé de l'ensemble, dans lequel

l'interrupteur électronique comporte une jonction semi-conductrice de puissance qui présente une faible impédance lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant et une impédance élevée lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant, et

l'interrupteur électronique comporte une borne amont collectrice de puissance C et une borne aval émettrice de puissance émettrice E de ladite jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée,

la première borne d'injection et de sortie de la source d'injection est connectée à la borne amont collectrice de puissance de la jonction,

la deuxième borne de premier élément est connectée à la borne amont collectrice C de la jonction, et

la quatrième borne de deuxième élément est connectée à la borne aval émettrice E de la jonction.

L'invention a également pour objet un système électrique de puissance comprenant

5 un bus d'alimentation électrique,
un convertisseur de puissance statique, tel que défini ci-dessus, et alimenté par le bus d'alimentation électrique, et

une charge électrique alimentée par le convertisseur statique en sortie du convertisseur,

10 le convertisseur statique comprenant un ensemble d'un nombre entier de cellules de commutation distinctes arrangées selon une structure prédéterminée et alimentées par le bus d'alimentation électrique, et

chaque cellule de commutation étant formée d'une paire associée d'interrupteurs électroniques commandés.

15 Suivant des modes particuliers de réalisation, le système électrique comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le bus d'alimentation électrique est une source de courant de tension continue,
- le convertisseur statique est un onduleur polyphasé ayant un nombre p de phases, connecté en entrée au et alimenté par le bus d'alimentation électrique, le nombre
20 p de phases étant supérieur ou égal à 2, et

- la charge alimentée par et connectée au convertisseur statique polyphasé étant un moteur synchrone ou asynchrone ayant le même nombre de phases p que le convertisseur statique.

25 L'invention a également pour objet un procédé de mise en œuvre du capteur électronique de température tel que défini ci-dessus,

comprenant les étapes consistant à :

dans une première étape, préparer la mesure de température de la jonction de puissance l'interrupteur testé, en commandant l'interrupteur à mesurer en température à l'état ouvert à l'état passant et en bloquant les interrupteurs restants de manière à annuler
30 ou minimiser les courants parasites générés par des sources possibles de courants parasites pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé en température mis à l'état passant, et à synchroniser l'injection du courant de mesure sur une séquence de commande particulière des interrupteurs,

35 puis dans une deuxième étape, à partir d'un premier instant t_1 de réception d'une commande de démarrage d'injection d'un courant de mesure calibré conditionnée par la détection de l'annulation du courant traversé l'interrupteur testé, à fermer par une

commande l'interrupteur testé en température pour rétablir l'état de conduction à faible impédance de la jonction de puissance dont la température réelle est recherchée, les courants parasites générés par les tensions de moteur pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé étant maintenus minimaux ou négligeables, et pendant une première durée prédéterminée Δt_1 à injecter un courant de mesure calibré par la source d'injection dans la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique testé et placé dans l'état fermé, et

dans une troisième étape, à partir d'un deuxième instant t_2 , de démarrage de la mesure par la chaîne de mesure, postérieur à et séparé du premier instant t_1 par une deuxième durée Δt_2 inférieure à la première durée Δt_1 , à mesurer l'évolution de la tension $V_{CE}(T)$ mesurée aux bornes de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur testé par l'amplificateur de tension différentielle pendant une troisième durée Δt_3 inférieure à la différence entre Δt_1 et Δt_2 , puis

dans une quatrième étape, consécutive à la troisième étape, à déduire la température ΔT de la jonction à partir de l'évolution de la tension $\Delta V_{CE}(T)$ mesurée et d'une courbe caractéristique prédéterminée de conversion entre la tension V_{CE} et la température prédéterminée.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description de plusieurs modes de réalisation qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

La Figure 1 est une vue d'un premier mode de réalisation d'un capteur électronique pour mesurer la température selon l'invention à une source d'injection de courants, implanté dans un convertisseur statique de puissance ayant une structure quelconque ;

La Figure 2 est une vue d'un deuxième mode de réalisation d'un capteur électronique pour mesurer la température selon l'invention à une source d'injection d'un unique courant implanté dans un convertisseur statique de puissance ayant une structure quelconque ;

La Figure 3 est un ordigramme d'un procédé de mise en œuvre des capteurs thermique des Figures 1 et 2 ;

La Figure 4 est une vue de l'architecture d'un exemple de système électrique comportant un convertisseur statique, couplé à une charge et mettant en œuvre au moins un des capteurs thermiques de la Figure 1 et/ou de la Figure 3 ;

La Figure 5 est un ensemble de six chronogrammes décrivant l'évolution temporelle des commandes des interrupteurs du convertisseur statique de la Figure 4 piloté en service nominal ;

La Figure 6 est une vue du convertisseur statique de la Figure 4 décrivant l'implantation d'un capteur électronique de température tel que décrit dans les Figures 1 et 2 sur un interrupteur électronique du convertisseur statique ;

La Figure 7 est un ensemble d'un premier relevé et d'un deuxième relevé suivant chacun trois courbes de l'évolution temporelle de la commande MLI (Modulation à Largeur d'Impulsion) du premier interrupteur T1, de l'évolution du courant d'injection délivré par le capteur électronique de température, de l'évolution du courant de phase du moteur délivré au point milieu du bras de commutation correspondant à l'interrupteur T1. Le premier relevé correspond à une large fenêtre temporelle englobant une première phase précédant la mesure électronique de température, une deuxième phase de mesure électronique de température de la jonction de puissance décrite à la Figure 6, et une troisième phase succédant à la mesure électronique de température. Le deuxième relevé est un agrandissement de dix fois le premier relevé centré sur la deuxième phase de la mesure électronique de température ;

La Figure 8 est un ordinogramme d'un procédé général de mesure de la température d'au moins un interrupteur électronique d'un convertisseur statique de puissance de structure quelconque.

Suivant la Figure 1, un capteur électronique de température 2 selon l'invention est configuré pour mesurer et surveiller la température de jonction d'un interrupteur électronique de puissance 4 commandé d'une cellule de commutation électronique 6 d'un convertisseur statique 8.

Ici, une seule cellule de commutation 6 est représentée, le convertisseur statique pouvant en comporter plusieurs.

La cellule de commutation 6 comprend comme premier interrupteur, l'interrupteur électronique de puissance 4, et un deuxième interrupteur électronique 10 commandé, les premier et deuxième interrupteurs électroniques commandés 4, 10 étant reliés entre eux en série par un point milieu 12.

Les premier et deuxième interrupteurs 4, 10 comprennent chacun une diode de roue libre 14, 16, unique et différente, montée en antiparallèle.

Le circuit série 6 ainsi formé est branché entre une source ou bus de tension, ici la source 14 représentée par la tension V_{bus} , et connecté à une source de courant 16 formant une charge au travers du point milieu 12.

Les premier et deuxième interrupteurs électroniques commandés 4, 10 sont a priori quelconques en terme de technologie et sur le plan de la commande, les premier et deuxième interrupteurs 4, 10 de la cellule de commutation 6 ne peuvent pas être fermés

simultanément, c'est-à-dire conducteurs en même temps sous peine de court circuit de la source de tension.

Ici, le premier interrupteur électronique 4 dont la température est mesurée est un transistor de type IGBT qui comprend une première borne amont 17 formant ici une anode et une deuxième borne aval 19 formant ici une cathode correspondant respectivement à la borne, désignée par C sur la Figure 1, collectrice de puissance et à la borne, désignée par E sur la Figure 1, émettrice de puissance de la jonction semi-conductrice du transistor IGBT de puissance 4.

Le capteur électronique 2 est dédié exclusivement à la mesure de température du premier interrupteur électronique 4 de puissance commandé.

Le capteur électronique 2 comprend une source d'injection 20 d'un courant de mesure calibré, une chaîne de mesure électronique 22 de la température de la jonction à entrée différentielles 23, 24, un premier élément de connexion série 26 et un deuxième élément de connexion série 28, branchés respectivement en série entre la première borne amont 17 et la première entrée différentielle 23, et entre la deuxième borne aval 19 et la deuxième entrée différentielle 24, et configurés pour protéger la chaîne de mesure électronique 22 lorsque de la haute tension est appliquée par le bus continu DC 14.

La source d'injection 20 d'un courant de mesure calibré comporte une première borne de sortie 30, et une deuxième borne de sortie 32.

La source d'injection 20 d'un courant de mesure calibré est configurée pour délivrer un premier courant de mesure calibré d'injection à la première borne d'injection et de sortie 30, la première borne d'injection et de sortie 30 étant connectée à la borne amont 16 collectrice de puissance C de la jonction de l'interrupteur IGBT 4 dont la température est mesurée. Le premier courant de mesure calibré est le courant effectif traversant la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique commandé 4 lorsque l'interrupteur est fermé et que le capteur électronique met en œuvre la mesure de température.

La source d'injection 20 d'un courant de mesure calibré est configurée également pour délivrer un deuxième courant de correction calibré à la deuxième borne de sortie 32, la deuxième borne de sortie 32 étant connectée à la borne aval 18 émettrice de puissance E de la jonction du premier interrupteur 4 dont la température est mesurée.

La source d'injection 20 d'un courant de mesure calibré est protégée en tension haute HT, ici par les premier et deuxième éléments de connexion série 26, 28.

Ici, la source d'injection 20 comprend une source de tension d'alimentation 40 ayant une borne de sortie 42, une première voie 44 d'élaboration et de délivrance du premier courant de mesure calibré en la première borne d'injection de sortie 30, et une

deuxième voie 46 d'élaboration et de délivrance du deuxième courant de correction calibré en la deuxième borne de sortie 30

La première voie 44 comprend, reliés dans l'ordre décrit et en série depuis la borne de sortie 42 de source de tension 40 jusqu'à la première borne d'injection et de sortie 30 de la source d'injection 20, un premier régulateur de courant 52, un premier élément de réglage 54 du courant régulé de sortie du premier régulateur, un premier interrupteur 56 commandé d'inhibition de l'injection du premier courant de mesure et le premier élément de connexion série 26 pour réduire la consommation du capteur lorsque la mesure de température n'est pas effectuée.

La deuxième voie 46 comprend, reliés dans l'ordre décrit et en série depuis la borne de sortie 42 de source de tension 40 jusqu'à la deuxième borne d'injection et de sortie 32 de la source d'injection 20, un deuxième régulateur de courant 62, un deuxième élément de réglage 64 du courant régulé de sortie du deuxième régulateur 62, un deuxième interrupteur 66 commandé, d'inhibition de l'injection du premier courant de mesure et le deuxième élément de connexion série 28 pour réduire la consommation du capteur lorsque la mesure de température n'est pas effectuée.

Les premier et deuxième éléments de réglage 54, 64, ici des résistances ajustables, sont ajustés de sorte que le courant de mesure calibré fourni par la première voie 44 et le courant de correction fourni par la deuxième voie 46 soient sensiblement égaux voir égaux. Ici, par exemple la valeur du courant de mesure calibré est prise égale à 200 mA pour le type de transistor IGBT utilisé.

La chaîne de mesure électronique 22 comprend la première borne d'entrée différentielle 23 et la deuxième borne d'entrée différentielle 24,,connectées respectivement à la borne amont 17 collectrice de puissance C et à la borne aval 19 émettrice de puissance E de la jonction de l'interrupteur 4 dont la température est mesurée au travers du premier élément de connexion série 26 et du deuxième élément de connexion de série 28.

La chaîne de mesure électronique 22 comporte un amplificateur de tension différentielle 76, ayant une première borne d'entrée différentielle 78 et une deuxième borne d'entrée différentielle 80 d'un signal de tension différentielle et une borne de sortie 82, et comporte, reliés dans l'ordre décrit et en série depuis la borne de sortie 82, un étage d'adaptation 84 à un convertisseur analogique/numérique, un convertisseur analogique/numérique 86, une unité d'acquisition et de transmission 88 avec isolation galvanique du signal numérique échantillonné par le convertisseur analogique/numérique 86, et une unité de traitement numérique 90.

Le premier élément de connexion série 26 est ici une première diode rapide à haut tension (HT) qui isole et protège en tension haute l'amplificateur de tension différentielle 76. lorsque la haute tension du bus DC est appliquée à l'électronique du capteur.

5 La première diode rapide haute tension 26 possède en son anode une première borne 90 de premier élément qui est connectée à la première borne d'entrée de l'amplificateur de tension différentielle 76 et ici fait partie de la source de courant de mesure 20.

10 La première diode rapide haute tension 26 possède en sa cathode une deuxième borne 92 de premier élément qui est connectée à la borne amont 17 collectrice de puissance C de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur.

Le deuxième élément de connexion série 28 est ici une deuxième diode rapide à haute (HT) qui isole et protège en tension haute l'amplificateur de tension différentielle 76 lorsque la haute tension du bus DC est appliquée à l'électronique du capteur.

15 La deuxième diode rapide haute tension 28 possède en son anode une troisième borne 94 de deuxième élément qui est connectée à la deuxième borne d'entrée 80 de l'amplificateur de tension différentielle 76 et ici fait partie de la source de courant de mesure 20.

20 La deuxième diode rapide haute tension 28 possède en sa cathode une quatrième borne 96 de deuxième élément, qui est ici connectée à la borne aval 19 émettrice de puissance E de la jonction de l'interrupteur commandé 4.

Les première et deuxième diodes rapides haute tension 24, 26 sont sélectionnées et appariées selon le critère qu'elles possèdent des caractéristiques électriques essentiellement identiques en fonction de la température.

25 Par exemple, les diodes 24, 26 sont choisies dans une même filière et un même lot de fabrication.

De préférence, les diodes 24, 26 sont implantées sur des emplacements voisins d'un même substrat et présentant la même température.

30 Avec une telle structure de capteur, le courant de mesure calibré injecté à la borne amont 17 de la jonction de l'interrupteur 4 est le courant de mesure effectif traversant la jonction de l'interrupteur 4 dont la température est mesurée.

35 De même, la tension différentielle prélevée aux bornes de l'amplificateur de gain, est la tension différentielle effective VCE présentée aux bornes de la jonction de puissance de l'interrupteur 4 dont la température est mesurée lorsque le courant de mesure calibré traverse la jonction de l'interrupteur 4.

En effet, la tension différentielle prélevée aux bornes de l'amplificateur de gain est notée et égale à $V_{PM+} - V_{PM-}$, et vérifie la relation suivante :

$$V_{PM+} - V_{PM-} = V_{D1} + V_{CE} - V_{D2}$$

dans lequel V_{D1} désigne la chute de tension de la première diode 24 et V_{D2} désigne la chute de tension de la deuxième diode 26 lorsque les première et deuxième diodes 24, 26 sont traversées respectivement par le courant de mesure et le courant de correction dérivés de la même source et calibrés à la même valeur,

Ce qui donne :

$$V_{PM+} - V_{PM-} \approx V_{CE}$$

Puisque les diodes ont des caractéristiques électriques identiques, elles sont soumises aux mêmes fluctuations de température et alimentés en entrée par des courants sensiblement identique et corrélés.

Ainsi le bruit de mesure intrinsèque généré par les diodes est diminué et la sensibilité de la mesure augmentée.

En outre, cette structure est plus simple et plus fiable puisque les diodes rapides à haute tension sont de simples composants passifs dipolaires.

Avantageusement, les interrupteurs d'inhibition permettent d'économiser de l'énergie électrique en désactivant la source d'injection du courant de mesure pendant les périodes de fonctionnement nominal de l'interrupteur 4 hors des périodes de mesure.

Suivant la Figure 2, un deuxième mode de réalisation d'un capteur électronique de température 202 selon l'invention est configuré pour mesurer et surveiller la température de jonction du même interrupteur électronique commandé 4 représenté sur la Figure 1.

A l'instar de la Figure 1, la même cellule de commutation 6 est représentée et elle comprend le même premier interrupteur électronique de puissance commandé 4 et le même deuxième interrupteur électronique commandé 10, les premier et deuxième interrupteurs électroniques 4, 10 étant reliés en série en le même point milieu 14 que celui décrit à la Figure 1.

Le capteur électronique de température 202 comprend une source d'injection 220 d'un courant de mesure calibré, une chaîne de mesure électronique 222 de la température de la jonction, un premier élément de connexion série 224 et un deuxième élément de connexion série 226 pour protéger contre une haute tension la chaîne de mesure électronique 222.

La source d'injection 220 d'un courant de mesure calibré comporte une unique borne d'injection et de sortie 230 pour injecter le courant de mesure calibré dans la borne amont 17 collectrice de puissance C de la jonction.

La source d'injection 220 d'un courant de mesure calibré est un générateur de courant comportant une source de tension 232 suivie d'un convertisseur tension/courant 234 ayant une régulation de courant.

La source d'injection 220, à l'instar de la source d'injection de courant 20 de la Figure 1, est configurée pour délivrer un courant de mesure calibré de sortie à la borne d'injection et de sortie 230, la borne de sortie 230 étant connectée à la borne amont 17 collectrice de puissance C de la jonction de l'interrupteur commandé 4 dont la température est destinée à être mesurée. Le courant de mesure calibré est sensiblement égal au courant effectif traversant la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique commandé 4 lorsque l'interrupteur 4 est fermé et que capteur électronique 220 met en œuvre la mesure de température.

A la différence de la source d'injection de courant 20 de la Figure 1, la source d'injection 220 ne comporte pas une deuxième borne d'injection et de sortie pour délivrer un courant de correction calibré.

La source d'injection 220 d'un courant de mesure calibré comporte une diode de protection rapide haute tension 234, connectée par sa cathode à la borne d'injection et de sortie d'injection 230 pour protéger la source d'injection 220 contre l'application de la haute tension du bus DC à l'électronique de la source d'injection.

La chaîne de mesure électronique 222 comprend une première borne d'entrée différentielle 272 et une deuxième borne d'entrée différentielle 274, connectées respectivement au travers du premier élément de connexion série 224 et du deuxième élément de connexion série 226 à la borne amont 17 collectrice de puissance C et à la borne aval 19 émettrice de puissance E de la jonction de l'interrupteur commandé 4 dont la température est mesurée.

La chaîne de mesure électronique 222 comporte un amplificateur de tension différentielle 276, ayant une première borne d'entrée différentielle 278 et une deuxième borne d'entrée différentielle 280 d'un signal de tension différentielle et une borne de sortie 282, et comporte, reliés dans l'ordre décrit et en série depuis la borne de sortie 282, un convertisseur analogique/numérique 286, et une unité de traitement numérique 288.

La chaîne de mesure électronique comprend également une première diode basse tension d'écrêtage 290 et une deuxième diode basse tension d'écrêtage 292, branchées respectivement par une première anode de diode d'écrêtage 294 et une deuxième anode de diode d'écrêtage 296 à la première entrée différentielle 278 et la deuxième entrée différentielle 280 de l'amplificateur différentiel 276 pour protéger en tension l'amplificateur opérationnel,

Le premier élément de connexion série 224 est ici une première résistance de limitation en courant de valeur égale à K fois R ohms avec K un nombre supérieur à 10 et R la valeur exprimée en ohms d'une résistance d'entrée 297 de l'amplificateur de tension différentielle 276.

5 La première résistance de limitation en courant 224 possède une première borne de premier élément 298, connectée à la première borne d'entrée 278 de l'amplificateur de tension différentielle 276 et à l'anode de la première diode d'écrêtage 290, et une deuxième borne de premier élément 299, connectée à la borne amont 17 de collectrice de puissance C de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur commandé 4.

10 Le premier élément de connexion série 224 en combinaison avec la première diode d'écrêtage 290 permet d'isoler l'amplificateur différentiel 276 de la haute tension du bus DC. La première résistance 224 agit comme une résistance ballast en limitant le courant lorsque la haute tension bus est appliqué, ce qui permet de protéger en courant la première diode d'écrêtage 290 branchée en parallèle de l'amplificateur différentiel 276 en
15 la première entrée différentielle 278.

Le deuxième élément de connexion série 226 est ici une deuxième résistance de limitation en courant, de même valeur $K.R$ que celle de la première résistance de limitation en courant 224.

20 La deuxième résistance de limitation en courant 226 comporte une troisième borne de deuxième élément 300, connectée à la deuxième borne d'entrée 280 de l'amplificateur de tension différentielle 276 et à l'anode de la deuxième diode d'écrêtage, et une quatrième borne de deuxième élément 301, connectée à la borne aval 19 émettrice de puissance E de la jonction de l'interrupteur commandé 4.

25 Le deuxième élément de connexion série 226 en combinaison avec la deuxième diode d'écrêtage 292 permet d'isoler l'amplificateur différentiel 276 de la haute tension du bus DC. La deuxième résistance 226 agit comme une résistance ballast en limitant le courant lorsque la haute tension bus est appliqué, ce qui permet de protéger en courant la deuxième diode d'écrêtage 292 branchée en parallèle de l'amplificateur différentiel 276 en la deuxième entrée différentielle 280.

30 Les première et deuxième résistances de limitation encourant 224, 226 sont sélectionnées et appariées selon le critère qu'elles possèdent des caractéristiques électriques essentiellement identiques en fonction de la température.

Par exemple, les résistances de limiteur sont choisies dans une même filière et un même lot de fabrication.

35 De manière générale, un capteur électronique de température selon l'invention est configuré pour mesurer et surveiller la température de jonction d'un interrupteur

électronique de puissance d'une cellule de commutation électronique d'un convertisseur statique

Le capteur électronique comprend une source d'injection d'un courant de mesure calibré et un amplificateur de tension différentielle.

5 La source d'injection d'un courant de mesure calibré comporte au moins une borne d'injection et de sortie et est configurée pour délivrer un premier courant de mesure calibré de sortie en une première borne d'injection et de sortie parmi l'au moins une borne d'injection et de sortie, la première borne d'injection et de sortie étant destinée à être connectée à une borne amont de puissance de la jonction de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée.

10 La source d'injection d'un courant de mesure calibré est protégée contre l'injection dans sa première borne de sortie d'un possible courant de puissance.

L'amplificateur de tension différentielle comporte une première borne d'entrée différentielle d'amplificateur et une deuxième borne d'entrée différentielle d'amplificateur d'un signal de tension différentielle.

15 L'amplificateur de tension différentielle ne supporte pas, en termes de niveau de courant électrique injecté en entrée, une puissance électrique élevée.

Le capteur électronique de température comprend un premier élément de connexion série et un deuxième élément de connexion série pour protéger l'amplificateur de tension différentielle contre une haute tension du bus DC.

20 Le premier élément de connexion série comporte une première borne de premier élément connectée à la première borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle et une deuxième borne de premier élément connectée à la borne amont de puissance de la jonction semi-conductrice dont la température est mesurée.

25 Le deuxième élément de connexion série comporte une troisième borne de deuxième élément de connexion série connectée à la deuxième borne d'entrée différentielle de l'amplificateur de tension différentielle et une quatrième borne de deuxième élément connectée à une borne aval de puissance de la jonction semi-conductrice dont la température est mesurée.

30 Les premier et deuxième éléments de connexion série possèdent des caractéristiques électriques essentiellement identiques et sont compris dans l'ensemble formé par les résistances et les diodes rapides à haute tension (HT).

Suivant l'ordinogramme de la Figure 3, un procédé 302 de mesure de la température d'une jonction semi-conductrice d'un interrupteur électronique commandé 4 est mis en oeuvre par un capteur électronique de température tel que défini dans les Figures 1 et 2, et comprend un ensemble d'étapes 304, 306, 308, et 310.

Dans une première étape 304, de préparation de la mesure de température de la jonction de puissance l'interrupteur testé, les courants parasites générés par des sources possibles de courant parasites pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé en température lorsque l'interrupteur est passant, ont été annulés ou minimisés, et l'interrupteur testé est commandé à l'état ouvert, ce qui correspond à une valeur d'impédance élevée de la jonction de puissance placée dans cet état. L'étape 304 est consécutive à une phase de service pendant laquelle l'interrupteur électronique à mesurer a été actif nominalement et a atteint sa température maximale de fonctionnement de service.

Puis dans une deuxième étape 306, à partir d'un premier instant t_1 de réception d'une commande de démarrage d'injection d'un courant de mesure calibré, l'interrupteur testé en température est fermé par une commande pour rétablir l'état de conduction à faible impédance de la jonction de puissance dont la température réelle est recherchée. Tous les autres interrupteurs sont commandés à l'état bloqué. Les courants parasites générés par les sources tension du moteur pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé sont maintenus nuls ou minimaux au moyen d'une synchronisation particulière entre la séquence de mesure du capteur et la position du rotor du moteur (angle de phase) , et pendant une première durée prédéterminée Δt_1 un courant de mesure calibré de faible valeur, par exemple égal à 200 mA, est injecté en direct par la source d'injection dans la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique testé et placé dans l'état fermé.

Dans une troisième étape 308, à partir d'un deuxième instant t_2 , de démarrage de la mesure par la chaîne de mesure, postérieur à et séparé du premier instant t_1 par une deuxième durée Δt_2 inférieure à la première durée Δt_1 , l'évolution de la tension $V_{CE}(T)$ est mesurée aux bornes de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur testé par l'amplificateur de tension différentielle pendant une troisième durée Δt_3 inférieure à la différence entre Δt_1 et Δt_2 .

Dans une quatrième étape 310, consécutive à la troisième étape 308, la température différentielle ΔT de la jonction est déduite de l'évolution de la tension $\Delta V_{CE}(T)$ mesurée et d'une courbe caractéristique prédéterminée de conversion entre la tension V_{CE} et la température prédéterminée. Cette courbe permet d'extraire le coefficient de sensibilité. L'évolution de tension est définie par la différence entre la mesure de V_{CE} à chaud à la température T et la mesure de V_{CE} à une température de référence T_{ref} . L'évolution de la température est définie par la différence entre la température recherchée T et la température de référence T_{ref} . Par exemple, en considérant un facteur de sensibilité constant , il vient :

$T = T_{ref.} + (VCE(T) - VCE(T_{ref})) / \text{facteur de sensibilité thermique}$

Suivant la Figure 4, un système électrique 402 de puissance mettant en œuvre au moins un capteur électronique de température décrit sur la Figure 1 ou la Figure 2, comprend un bus d'alimentation électrique 404, un convertisseur de puissance statique 406 alimenté par le bus d'alimentation électrique 404, et une charge électrique 408, alimentée par le convertisseur statique 406.

Le bus d'alimentation électrique 404 est raccordé à une source de tension continue 410 et délivre une tension continue désignée par Vdc au convertisseur statique 406.

Le convertisseur statique 406 est ici un onduleur triphasé ayant deux bornes d'entrée 412, 414 respectivement d'une première polarité et d'une deuxième polarité, connectées au bus d'alimentation électrique 404, et trois bornes de sortie de phases 416, 418, 420 connectées à la charge électrique 408.

La charge électrique 408 est ici un moteur synchrone triphasé à aimants permanents à pôles lisses qui entraîne un ventilateur non représenté sur la Figure 4.

Le moteur synchrone 408 comporte trois bornes d'entrée 426, 428, 430, connectées respectivement aux bornes de sortie de phases 416, 418, 420.

Le moteur synchrone triphasé 408 comporte trois capteurs 436, 438, 440 à effet Hall, répartis électriquement à 120 degrés autour du rotor (non représenté sur la Figure 4) pour acquérir la position du rotor

L'onduleur 406 comprend classiquement trois bras de commutation 456, 458, 460, branchés en parallèle sur le bus d'alimentation 404 au travers des bornes d'entrée 412, 414, et une unité de commande 462 des trois bras de commutation 456, 458, 460.

Le premier bras de commutation 456 comprend un premier interrupteur 466 et un deuxième interrupteur 467, reliés en série entre eux à la borne de phase 416 formant un premier point milieu, connectés respectivement à la borne 412 de première polarité et à la borne 414 de deuxième polarité du bus d'alimentation 404, et désignés respectivement par la suite par T1 et B1.

Le deuxième bras de commutation 458 comprend un troisième interrupteur 468 et un deuxième interrupteur 469, reliés en série entre eux à la borne de phase 418 formant un deuxième point milieu, connectés respectivement à la borne 412 de première polarité et à la borne 414 de deuxième polarité du bus d'alimentation 404, et désignés respectivement par la suite par T2 et B2.

Le premier bras de commutation 460 comprend un cinquième interrupteur 470 et un deuxième interrupteur 471, reliés en série entre eux à la borne de phase 420 formant un troisième point milieu, connectés respectivement à la borne 412 de première polarité et

à la borne 414 de deuxième polarité du bus d'alimentation 404, et désignés respectivement par la suite par T3 et B3.

L'unité de commande 462 est une unité MLI, c'est à dire à Modulation de Largeur d'Impulsion de commande, et de type 120 degrés, ce qui signifie que chaque interrupteur est actif pendant 120 degrés électriques .La fréquence de découpage est ici égale par
5 égale à 20 kHz.

Les interrupteurs T1, B1, T2, B2, T3, B3 sont commandés en fonction du rapport cyclique modulé en largeur d'impulsion et de la position du rotor du moteur synchrone donnée par les capteurs de position à effet Hall 436, 438, 440.

L'évolution temporelle 502 des commandes des interrupteurs T1, B1, T2, B2, T3, B3 lorsque le convertisseur statique pilote en service nominal le moteur synchrone 408 est représentée sur la Figure 5 sur une période temporelle de rotation du moteur par six
10 chronogrammes 504, 506, 508, 510, 512, 514, associés chacun à un interrupteur électronique unique et différent, respectivement T1, T2, T3, B1, B2, B3.

Dans une première période 520, la commande de l'interrupteur T1 est un train d'impulsion modulée en largeur, l'interrupteur B2 est commandé à l'état passant c'est-à-dire basse impédance, les interrupteurs restants T2, T2, B1, B3 étant commandés à l'état ouvert, c'est-à-dire haute impédance.

Une succession de périodes de commande 522, 524, 526, 528, 530 peuvent être lues et caractérisés respectivement par les codes T1B3*, T2*B3, T2B1*, T3*B1, T3B2*, un code représentant dans une période donnée tous les interrupteurs qui ne sont pas
20 commandés en permanence durant la période de commande à l'état non ouvert, un interrupteur commandé en MLI portant un astérisque en suffixe et un interrupteur commandé à l'état fermé tout le long de la période de commande ne portant pas d'astérisque.

Ici à titre d'exemple, les interrupteurs commandés sont des transistors de type IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

De manière générale, un interrupteur électronique commandé pour lequel l'invention est applicable est un élément électronique à semi-conducteur compris dans
30 l'ensemble formé par les thyristors, les transistors de type IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), les transistor de type MOS (Metal Oxide Silicon transistor), et les GTOs (Gate Turn Off transistor).

Suivant la Figure 6, le convertisseur statique 406 de la Figure 4 comprend un capteur électronique 602 de température selon l'invention pour mesurer la température de
35 jonction de puissance de l'interrupteur T1, désignée ici par 604.

Le capteur électronique de température 602 est associé en propre et connecté à l'interrupteur électronique commandé T1 du convertisseur statique 406.

La jonction semi-conductrice de puissance 604 de l'interrupteur électronique T1 présente une faible impédance lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant et une impédance élevée lorsque l'interrupteur est commandé dans un état bloquant, et

L'interrupteur électronique T1 comporte ici une borne amont 606 collectrice de puissance C et une borne aval 608 émettrice de puissance E de ladite jonction semi-conductrice 604 de l'interrupteur électronique T1 dont la température est mesurée.

La première borne d'injection et de sortie de la source d'injection du capteur, désignée ici par 612, est connectée à la borne amont 606 collectrice de puissance C de la jonction semi-conductrice 604.

La deuxième borne de premier élément, désignée ici par 614, du premier élément de connexion série du capteur 602, est connectée à la borne amont 606 collectrice de puissance C de la jonction semi-conductrice 604.

La quatrième borne de deuxième élément, désignée ici par 614, du deuxième élément de connexion série du capteur 602, est connectée à la borne aval 608 émettrice de puissance E de la jonction semi-conductrice 604.

Suivant la Figure 7, un premier relevé 702 et un deuxième relevé 703 de l'évolution temporelle, avant la mesure de température et pendant la phase de mesure électronique de température de la jonction de puissance 604 décrite à la Figure 6, de la commande MLI du premier interrupteur T1, de l'évolution de la commande de fenêtre d'injection délivré par le capteur électronique 602, de l'évolution du courant de phase du moteur délivré au point milieu du bras de commutation correspondant à l'interrupteur T1, comprend respectivement associées une première courbe 704, une deuxième courbe 706, et une troisième courbe 708.

Quatre phases temporelles peuvent être distinguées sur les relevés 702 et 703 à l'aide d'une première ligne verticale 712, d'une deuxième ligne verticale 714, d'une troisième ligne verticale 716, toutes trois tracées en traits pointillés et servant respectivement de marqueurs d'instant t_{s1} , t_{s2} , t_{s3} .

Dans une première phase 722 précédant l'instant t_{s1} , l'interrupteur T1 est commandé en mode MLI, et en même temps, l'interrupteur B2 est commandé à l'état fermé, les interrupteurs restants T2, T2, B1, B3 étant commandés à l'état ouvert. Cela correspond à la première période de fonctionnement 520 du convertisseur décrit à la Figure 5.

Dans une deuxième phase 724, comprise entre les instants ts_1 et ts_2 , tous les interrupteurs électroniques T1, T2, T3, B1, B2, B3, sont mis à l'état ouvert pour annuler le courant par le bus d'alimentation 404.

Dans une troisième phase 726, comprise entre les instants ts_2 et ts_3 , tous les interrupteurs T2, T3, B1, B2, B3 restent à l'état ouvert à l'exception de l'interrupteur T1 mesuré en température qui est commandé à l'état fermé à partir de l'instant ts_2 .

Dans la même troisième phase 726, la source d'injection injecte un courant de mesure calibré de faible intensité, ici égale à 200 mA, dans la jonction de puissance de l'interrupteur T1 mesuré, ici un transistor IGBT.

Après une durée de stabilisation de la valeur du courant de mesure calibré injecté démarrant à partir de ts_2 (non représentée sur la figure), la tension VCE est mesurée entre la borne amont et la borne aval de la jonction de l'interrupteur T1 et la température de la jonction est déduite de la mesure de la tension Vce.

Dans une quatrième phase 728 démarrant à partir de l'instant ts_3 , le régime de service nominal de l'onduleur est rétabli en laissant dans un premier temps l'interrupteur T1 fermé, en modulant en MLI l'interrupteur B3, et en laissant les interrupteurs T2, T3, B1, B2 ouverts, ce qui correspond à la deuxième période décrite à la Figure 4, et en poursuivant la séquence des commandes de l'unité de commande telle que décrite dans la Figure 4.

Il est à remarquer que l'injection du courant dans l'interrupteur T1 doit être effectuée lorsque le courant de puissance de cet interrupteur est nul pour ne pas fausser la mesure par une chute de tension VCE qui serait largement majorée et qui correspondrait à la circulation d'un courant somme du courant d'injection et du courant moteur.

Il est à remarquer également que le courant de fuite des diodes de roue libre, même à la température maximal est de l'ordre du mA, c'est-à-dire négligeable par rapport a courant d'injection en régime statique.

Il a été montré et vérifié que si la mesure est effectuée sur les zones fixes de la loi de commande, les Forces Electro-Motrices (FEMs) des enroulements du moteur sont dans une configuration qui polarisent en inverse les diodes de roue libre et empêche le court-circuit de ce moteur d'une part, la circulation de courants de fuite en inverse dans l'IGBT passant mais de valeur négligeable.

Sur le principe, ce mode opératoire ne modifie pas la loi de commande puisque pour faire la mesure, il suffit de mettre le rapport cyclique à zéro.

Par extension, en supposant que les six IGBTs sont pourvus de manière dédiée d'un capteur de température selon l'invention, les six interrupteurs pourront être testés

successivement sur une même période électrique. Le temps minimum alloué à la mesure est fixé par la vitesse maximale de l'onduleur. Lorsque la vitesse maximale est par exemple égale à 17000 tr/min, cela donne une durée de séquence de 196 μ s, dimensionnant pour la réalisation de la source d'injection du courant de mesure.

5 Suivant la Figure 8 et de manière générale, un procédé 802 de mesure de la température d'une jonction de puissance semi-conductrice d'un interrupteur électronique commandé testé en température, et intégré dans un convertisseur statique, est mise en œuvre par un capteur électronique de température, dédié en propre et décrit dans le Figures 1 et 2.

10 Le convertisseur statique dans lequel est intégré l'interrupteur électronique testé en température, fait partie d'un système électrique de puissance.

De manière générale, le système électrique de puissance comprend un bus d'alimentation électrique, un convertisseur de puissance statique alimenté par le bus d'alimentation électrique, et une charge électrique alimentée par le convertisseur statique
15 en sortie du convertisseur.

De manière générale, le convertisseur statique comprend un ensemble formé d'un nombre entier de cellules de commutation, arrangées selon une structure prédéterminée et alimentées par le bus d'alimentation électrique.

Chaque cellule de commutation est formée d'une paire unique et différente
20 d'interrupteurs électroniques commandés.

L'une des cellules comprend l'interrupteur électronique commandé et testé en température.

La jonction semi-conductrice de puissance de l'interrupteur électronique mesuré en température présente une faible impédance lorsque l'interrupteur est commandé dans
25 un état passant et une impédance élevée lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant, et

La jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée comporte une borne amont collectrice de puissance et une borne aval émettrice de puissance

30 La première borne de sortie d'injection et de sortie de la source d'injection du capteur électronique est connectée à la borne amont émettrice de puissance de la jonction,

La deuxième borne de premier élément du premier élément du capteur électronique de température est connectée à la borne amont collectrice de puissance C
35 de la jonction,

La quatrième borne de deuxième élément du capteur électronique de température est connectée à la borne aval émettrice de puissance E de la jonction de puissance.

Le procédé de mesure 802 de la température de l'interrupteur à mesurer en température comprend un ensemble d'étapes 804, 806, 808, 810, et 812.

5 Dans une première étape 804, une tension d'alimentation étant appliquée au convertisseur statique, les interrupteurs commandés du convertisseur y compris l'interrupteur qui va être mesuré en température sont commandés suivant une première séquence de commande nominale de service du convertisseur statique.

10 Dans une deuxième étape 806 suivante, de préparation de la mesure électronique de température de la jonction de puissance de l'interrupteur à tester, tous les interrupteurs électroniques de puissance qui sont susceptibles de faire transiter des courants parasites au travers de l'interrupteur à mesurer électroniquement en température et l'interrupteur à mesurer électroniquement en température sont commandés en ouverture pendant une durée d'initialisation. Les courants parasites sont les courants du moteur en régime
15 nominal qu'il faut annuler avant de lancer la mesure, des courants de fuite de valeur négligeable restant ensuite.

En variante de l'étape 806, tous les interrupteurs électroniques commandés du convertisseur statique sont commandés en ouverture pendant une durée d'initialisation.

20 L'étape de préparation 806 est consécutive à l'étape de service nominale de service 804 pendant laquelle l'interrupteur à mesurer a été actif et a atteint sa température maximale de fonctionnement de service et continuait il y a peu de fonctionner.

Dans une troisième étape 808 suivante, à partir d'un premier instant t1 de réception d'une commande de démarrage d'injection d'un courant de mesure calibré, l'interrupteur électronique à tester en température est fermé par une commande pour
25 rétablir l'état de conduction de la jonction de puissance dont la température réelle est recherchée, et les courants parasites générés par les sources de courant parasites possibles pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé sont maintenus nuls ou minimaux, par le maintien en ouverture des interrupteurs électroniques permettant ladite annulation ou minimisation.

30 Dans la même étape 808, la commande de fermeture de l'interrupteur testé en température ayant été exécutée, pendant une première durée prédéterminée Δt_1 un courant de mesure calibré de faible valeur, par exemple égal à 200 mA, est injecté en direct par la source d'injection dans la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique testé et placé dans l'état fermé.

35 Dans une quatrième étape 810, à partir d'un deuxième instant t2, de démarrage de la mesure par la chaîne de mesure, séparé du premier instant t1 par une deuxième durée

Δt_2 inférieure à la première durée, l'évolution de la tension $VCE(T)$ est mesurée au bornes de la jonction par l'amplificateur de tension différentielle pendant une troisième durée Δt_3 inférieure à la différence entre Δt_1 et Δt_2 .

Dans une cinquième étape 812, consécutive à la quatrième étape 810, la température ΔT de la jonction est déduite de l'évolution de la tension $\Delta VCE(T)$ mesurée et d'une courbe caractéristique prédéterminée de conversion entre la tension VCE et la température prédéterminée. Cette courbe permet d'extraire le coefficient de sensibilité. L'évolution de tension est définie par la différence entre la mesure de VCE à chaud à la température T et la mesure de VCE à une température de référence T_{ref} . L'évolution de la température est définie par la différence entre la température recherchée T et la température de référence T_{ref} . Par exemple, en considérant un facteur de sensibilité constant, il vient :

$$T = T_{ref} + (VCE(T) - VCE(T_{ref})) / \text{facteur de sensibilité thermique.}$$

En variante, dans la troisième étape 808, tous les interrupteurs électroniques commandés du convertisseur statique à l'exception de l'interrupteur mesuré en température sont maintenus à l'état ouvert.

En variante, le procédé de mesure de la température comprend une étape de rétablissement du fonctionnement nominale du convertisseur par la restauration de la séquence nominale de commande des interrupteurs du convertisseur en synchronisme avec la réponse électrique de la charge.

REVENDICATIONS

1.- Capteur électronique de température pour mesurer la température de jonction d'un interrupteur électronique (4) de puissance commandé d'une cellule de commutation électronique (6) d'un convertisseur statique (8)

comprenant :

Une source d'injection d'un courant de mesure calibré (20 ; 220) et un amplificateur de mesure d'une tension différentielle (76 ; 276),

La source d'injection (20 ; 220) d'un courant de mesure calibré ayant au moins une borne d'injection et de sortie (30, 32 ; 230) et étant configurée pour délivrer un premier courant de mesure calibré de sortie en une première borne d'injection et de sortie (30, 230) parmi l'au moins une borne de sortie (30, 32 ; 230), la première borne de sortie (30, 230) étant destinée à être connectée à une borne amont de puissance (17) de la jonction de l'interrupteur électronique (4) dont la température est mesurée,

L'amplificateur de tension différentielle (76 ; 276) ayant une première borne d'entrée différentielle (78 ; 278) d'amplificateur et une deuxième borne d'entrée différentielle (80 ; 280) d'amplificateur d'un signal de tension différentielle,

caractérisé en ce qu'il comprend

un premier élément de connexion série (26 ; 224) et de protection contre une haute tension ayant une première borne (90 ; 290) de premier élément connectée à la première borne d'entrée différentielle (78 ; 278) de l'amplificateur de tension différentielle (78 ; 278) et une deuxième borne (92 ; 292) de premier élément connectée à la borne amont de puissance (17) de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique (4) dont la température est mesurée,

un deuxième élément de connexion série (28 ; 226) et de protection contre une haute tension, ayant une troisième borne (94 ; 294) de deuxième élément connectée à la deuxième borne d'entrée différentielle (80 ; 280) de l'amplificateur de tension différentielle (76 ; 276), et une quatrième borne (96 ; 296) de deuxième élément connectée à une borne aval de puissance de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique (4) dont la température est mesurée,

les premier et deuxième éléments de connexion série (26, 28 ; 224, 226) ayant des caractéristiques électriques essentiellement identiques et étant compris dans l'ensemble formé par les résistances et les diodes rapide haute tension (HT).

2.- Capteur électronique de température selon la revendication 1, dans lequel

le premier élément de connexion série (26) est une première diode rapide d'isolement haute tension, connectée par son anode au travers de la première borne de

premier élément à la première borne d'entrée différentielle (78) de l'amplificateur de tension différentielle (76),

le deuxième élément de connexion série (28) est une deuxième diode rapide d'isolement haute tension, connectée par son anode au travers de la troisième borne de deuxième élément à la deuxième borne d'entrée différentielle (80) de l'amplificateur de tension différentielle (76), et

la source d'injection (20) est configurée pour délivrer un deuxième courant de correction calibré en une deuxième borne d'injection et de sortie (32), la deuxième borne d'injection et de sortie (32) étant connectée à la borne aval de puissance de la jonction de l'interrupteur électronique (4) dont la température est mesurée, et

la source d'injection (20) est configurée pour réguler à une même valeur de courant les première et deuxième diodes rapides d'isolement(26, 28), de sorte que les chutes de tension aux bornes des première et deuxième diodes (26, 28) sont identiques.

3.- Capteur électronique de température selon la revendication 2, dans lequel

La première diode rapide d'isolement haute tension (26) est connectée par sa cathode au travers de la deuxième borne de premier élément à la première borne d'injection et de sortie (30) en faisant partie de la source d'injection (20) pour isoler et protéger en haute tension la source d'injection (20).

4.- Capteur électronique de température selon la revendication 3, dans lequel

la deuxième diode rapide d'isolement haute tension (28) est connectée par sa cathode au travers de la quatrième borne de deuxième élément à la deuxième borne d'injection et de sortie (32) en faisant partie de la source d'injection (20) pour isoler et protéger en haute tension la source d'injection (20).

5.- Capteur électronique de température selon la revendication 1, comportant une première diode basse tension d'écrêtage (290) et une deuxième diode basse tension d'écrêtage (292) branchées respectivement par une première anode (294) de diode d'écrêtage et une deuxième anode (296) d'écrêtage à la première entrée différentielle (278) et la deuxième entrée différentielle (280) de l'amplificateur de tension différentielle pour protéger en tension l'amplificateur de tension différentielle,

et dans lequel

la source d'injection (220) possède une seule première borne d'injection et de sortie (230) pour délivrer le courant de mesure calibré dans la borne amont de puissance (17) de la jonction de l'interrupteur électronique (4), et comporte une diode de protection rapide haute tension (234), la diode de protection (234) étant distincte du premier élément de connexion série (224) et du deuxième élément de connexion série (226), et étant connectée par sa cathode à la première borne d'injection et de sortie (230),

le premier élément de connexion série (224) et le deuxième élément de connexion série (226) sont deux première et deuxième résistances électriques connectées respectivement en parallèle aux première et deuxième diodes d'écrêtage pour protéger les diodes d'écrêtage en courant et l'amplificateur de tension différentielle tension (276).,

les première et deuxième résistances électriques ayant sensiblement la même valeur de résistance.

6.- Capteur électronique de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la source d'injection (20) comporte un interrupteur commandé d'inhibition (56) de l'injection du premier courant de mesure calibré pour réduire la consommation du capteur lorsque la mesure de température n'est pas effectuée.

7.- Convertisseur de puissance statique comprenant un ensemble d'interrupteurs électroniques commandés et un capteur électronique de température (602) défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le capteur électronique (602) étant associé en propre et connecté à un unique interrupteur électronique commandé (604) de l'ensemble, dans lequel

l'interrupteur électronique (604) comporte une jonction semi-conductrice de puissance qui présente une faible impédance lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant et une impédance élevée lorsque l'interrupteur est commandé dans un état passant, et

l'interrupteur électronique (604) comporte une borne amont (606) collectrice de puissance C et une borne aval (608) émettrice de puissance émettrice E de ladite jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique dont la température est mesurée,

la première borne d'injection et de sortie (612) de la source d'injection est connectée à la borne amont collectrice de puissance de la jonction,

la deuxième borne de premier élément (614) est connectée à la borne amont (606) collectrice C de la jonction,

la quatrième borne de deuxième élément (616) est connectée à la borne aval (608) émettrice E de la jonction.

8. Système électrique de puissance comprenant un bus d'alimentation électrique (404), un convertisseur de puissance statique (406), défini selon la revendication 7, et alimenté par le bus d'alimentation électrique (404), et

une charge électrique (408) alimentée par le convertisseur statique (406) en sortie du convertisseur,

le convertisseur statique (406) comprenant un ensemble d'un nombre entier de cellules de commutation distinctes arrangées selon une structure prédéterminée et alimentées par le bus d'alimentation électrique (404),

chaque cellule de commutation étant formée d'une paire associée d'interrupteurs électroniques commandés.

9. Système électrique selon la revendication 8, dans lequel

le bus d'alimentation électrique (404) est une source de courant de tension continue,

le convertisseur de puissance statique (406) est un onduleur polyphasé ayant un nombre p de phases, connecté en entrée au et alimenté par le bus d'alimentation électrique, le nombre p de phases étant supérieur ou égal à 2, et

la charge électrique (408) alimentée par et connectée au convertisseur statique polyphasé étant un moteur synchrone ou asynchrone ayant le même nombre de phases p que le convertisseur statique.

10.- Procédé de mesure de la température d'une jonction de puissance semi-conductrice d'un interrupteur électronique commandé par un capteur électronique de température défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 6,

comprenant les étapes (304, 306, 308, 310) consistant à :

dans une première étape (304), préparer la mesure de température de la jonction de puissance l'interrupteur testé, en commandant l'interrupteur à mesurer en température à l'état ouvert à l'état passant et en bloquant les interrupteurs restants de manière à annuler ou minimiser les courants parasites générés par des sources possibles de courants parasites pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé en température mis à l'état passant, et à synchroniser l'injection du courant de mesure sur une séquence de commande particulière des interrupteurs,

puis dans une deuxième étape (306), à partir d'un premier instant t_1 de réception d'une commande de démarrage d'injection d'un courant de mesure calibré conditionnée par la détection de l'annulation du courant traversé l'interrupteur testé, à fermer par une commande l'interrupteur testé en température pour rétablir l'état de conduction à faible impédance de la jonction de puissance dont la température réelle est recherchée, les courants parasites générés par les tensions de moteur pouvant traverser la jonction de puissance de l'interrupteur testé étant maintenus minimaux ou négligeables i_{lm} , et pendant une première durée prédéterminée Δt_1 à injecter un courant de mesure calibré par la source d'injection dans la jonction semi-conductrice de l'interrupteur électronique testé et placé dans l'état fermé, et

dans une troisième étape (308), à partir d'un deuxième instant t_2 , de démarrage de la mesure par la chaîne de mesure, postérieur à et séparé du premier instant t_1 par une deuxième durée Δt_2 inférieure à la première durée Δt_1 , à mesurer l'évolution de la tension $V_{CE}(T)$ mesurée aux bornes de la jonction semi-conductrice de l'interrupteur testé par l'amplificateur de tension différentielle pendant une troisième durée Δt_3 inférieure à la différence entre Δt_1 et Δt_2 , puis

dans une quatrième étape (310), consécutive à la troisième étape (308), à déduire la température ΔT de la jonction à partir de l'évolution de la tension $\Delta V_{CE}(T)$ mesurée et d'une courbe caractéristique prédéterminée de conversion entre la tension V_{CE} et la température prédéterminée.

1/8

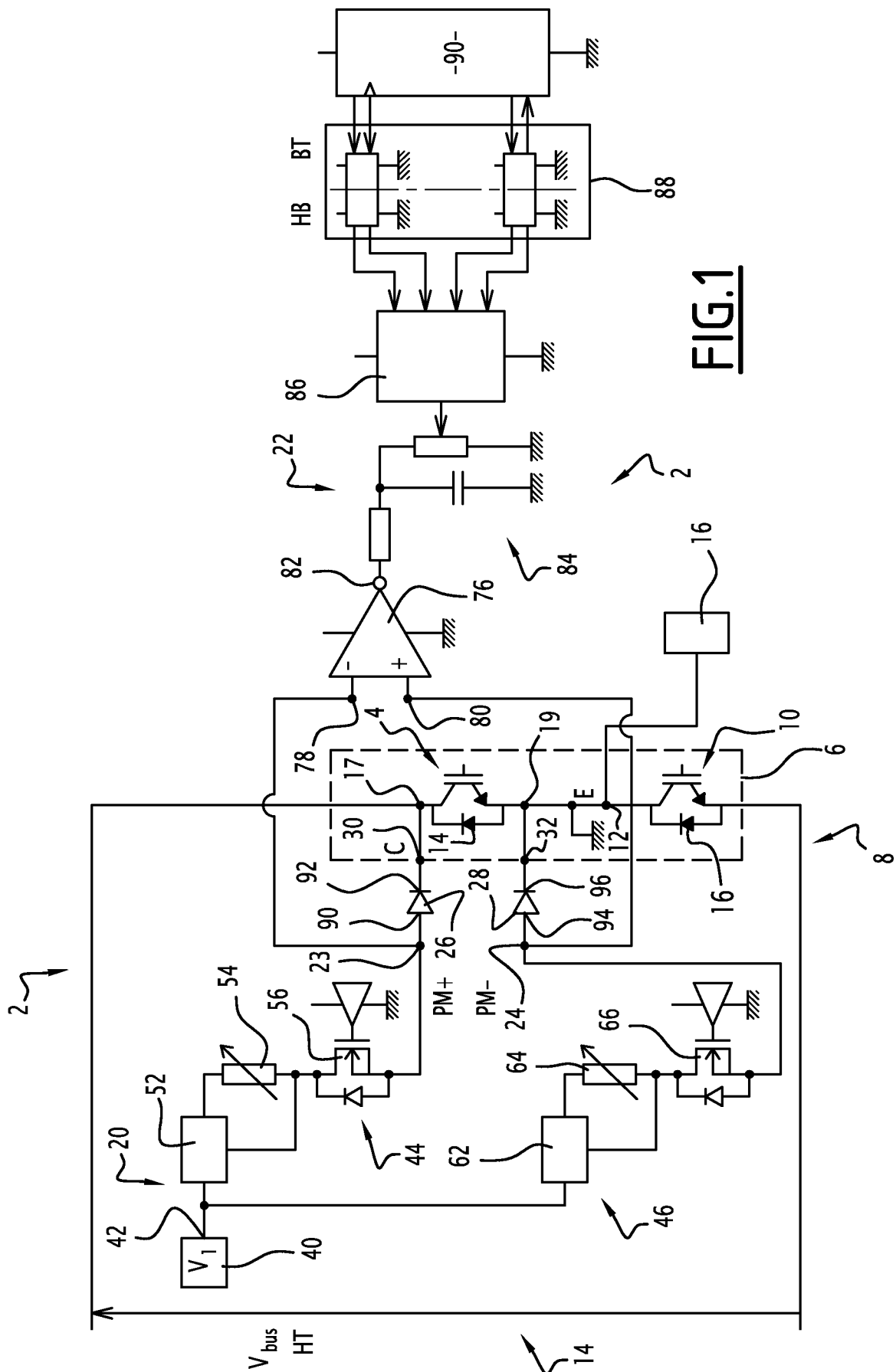


FIG. 1

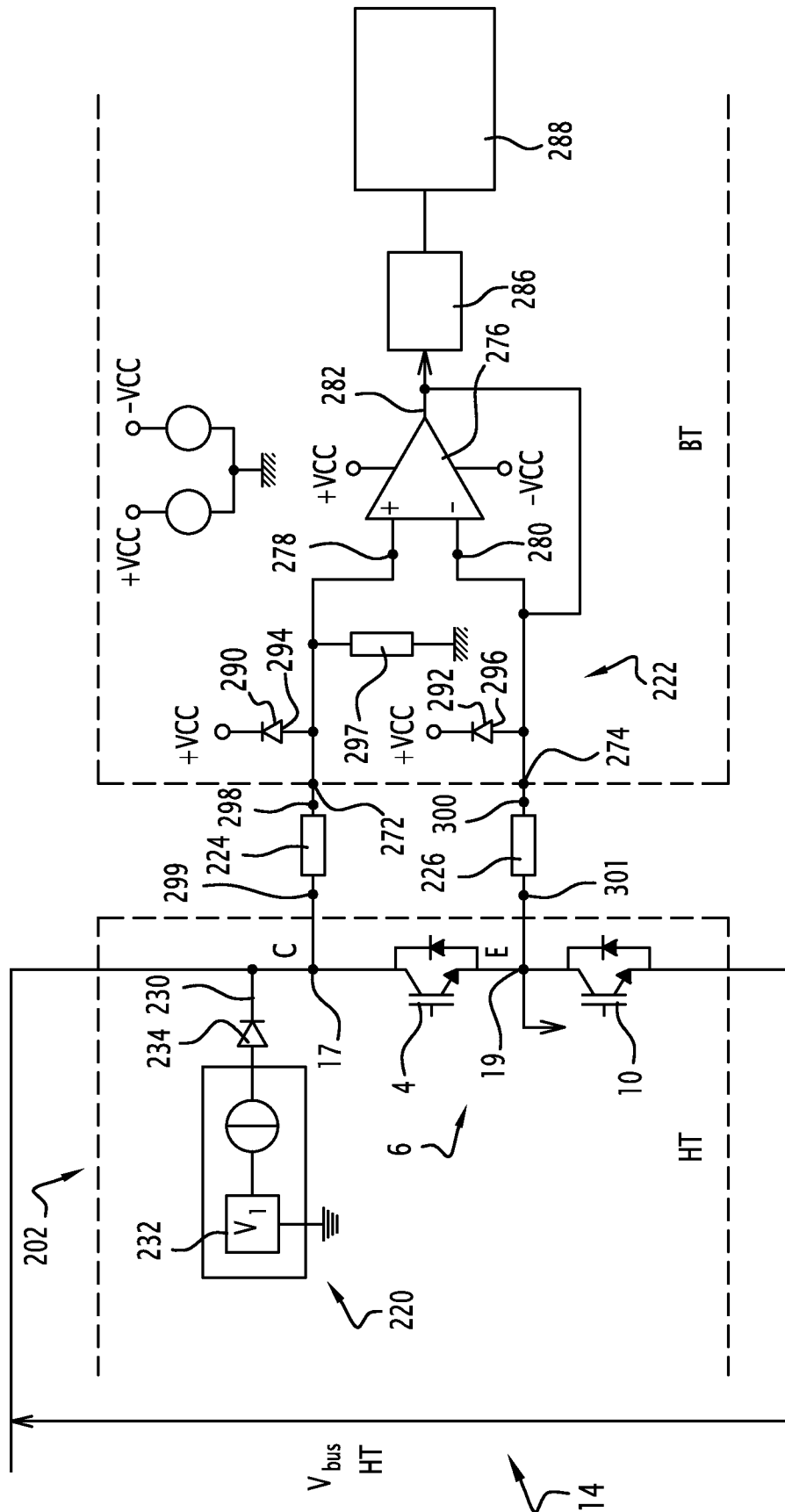


FIG. 2

3/8

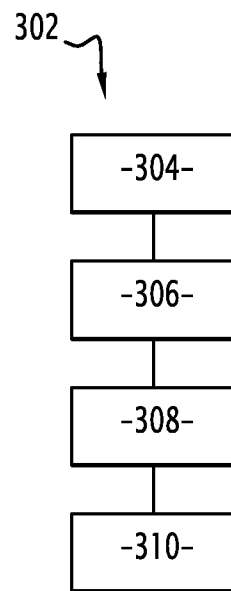
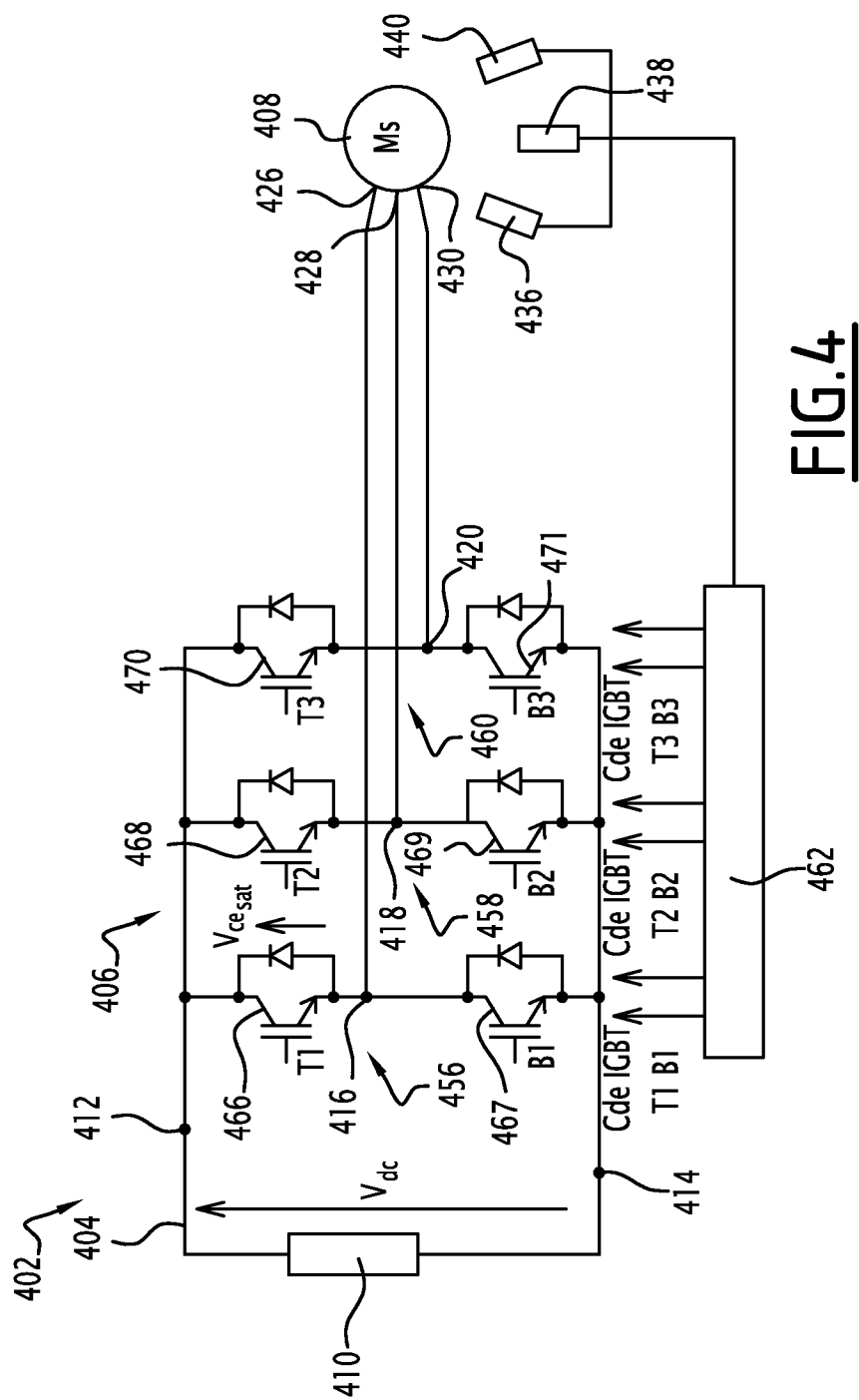


FIG.3



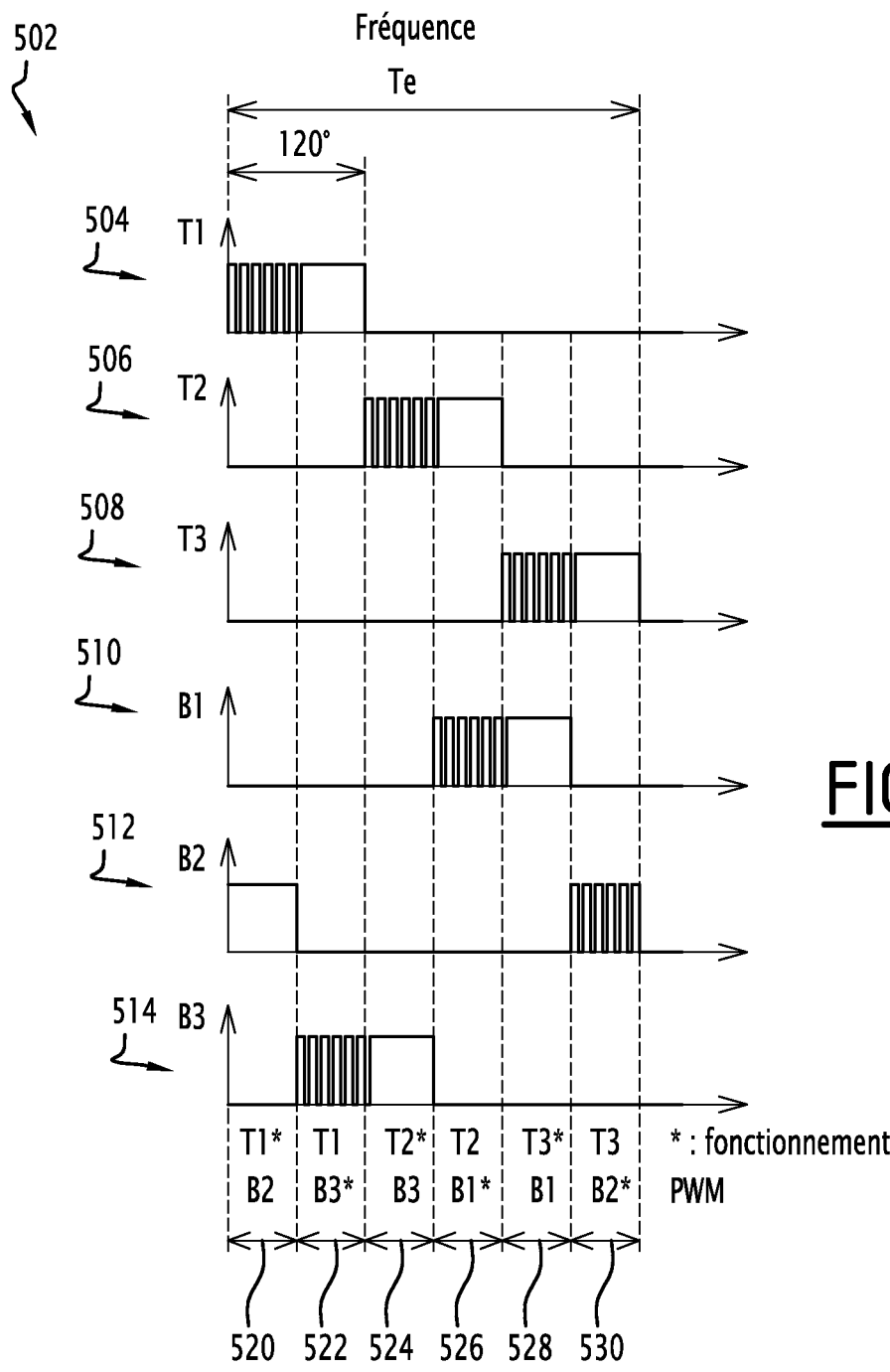


FIG.5

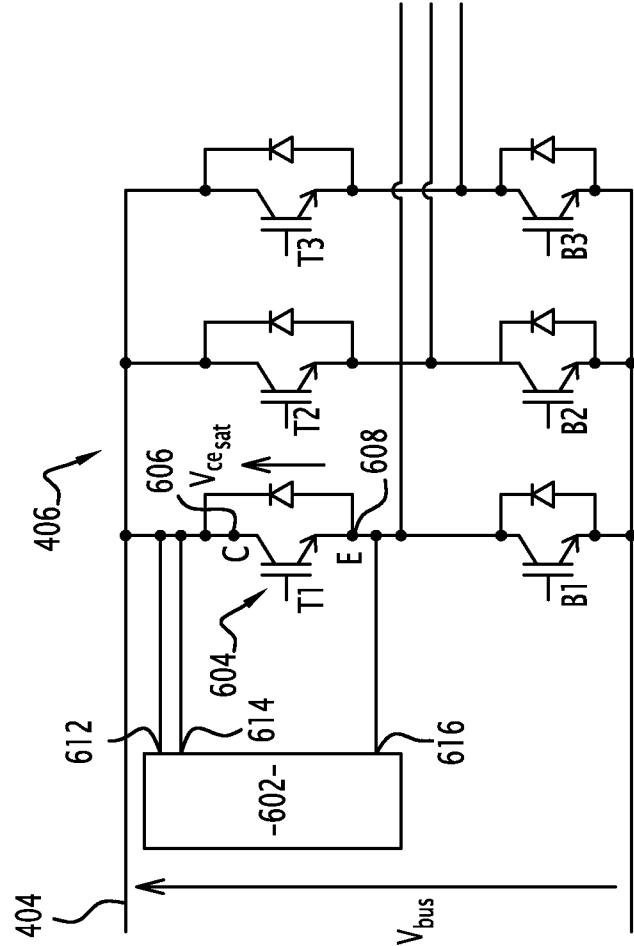


FIG.6

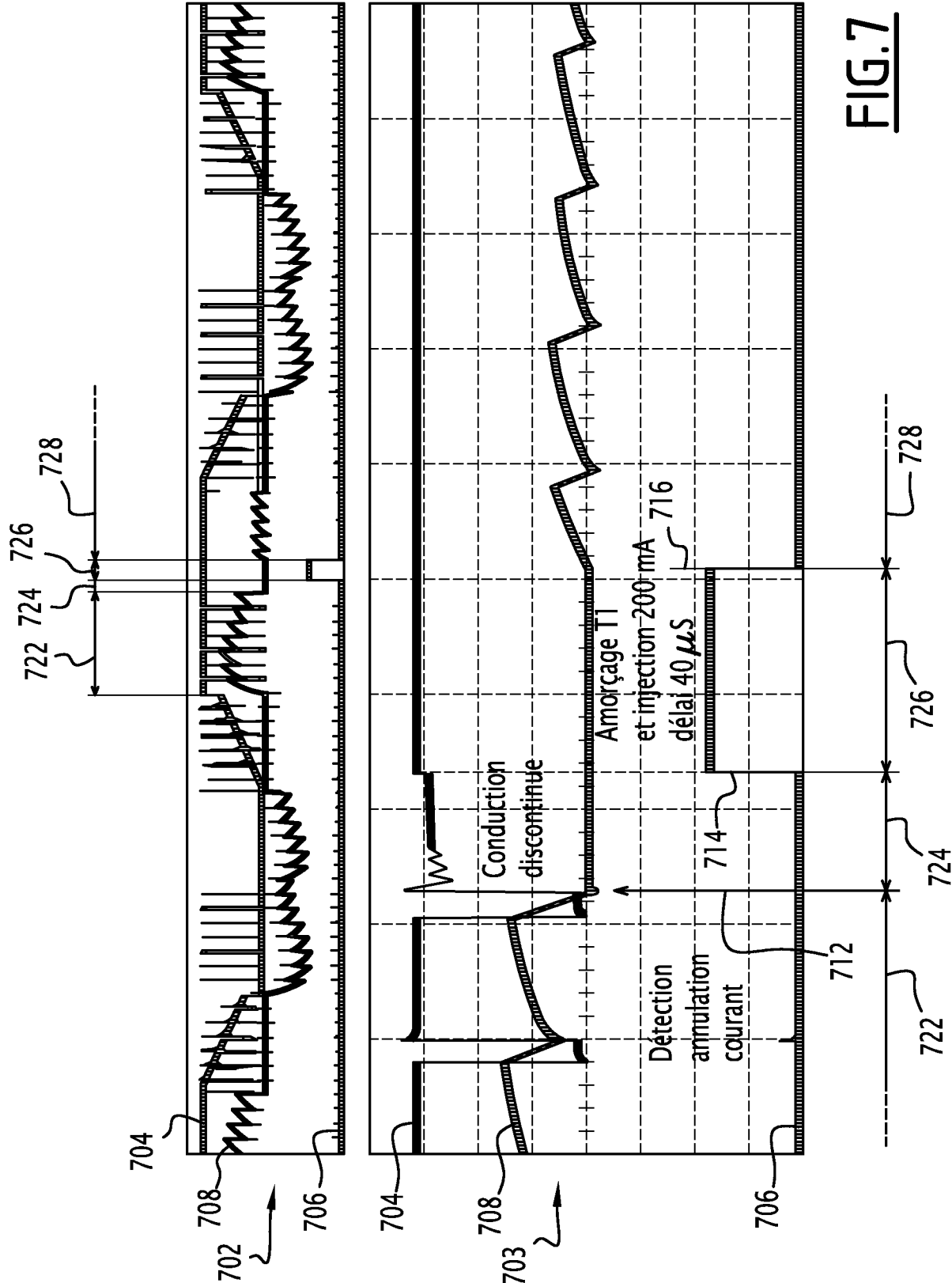


FIG.7

8/8

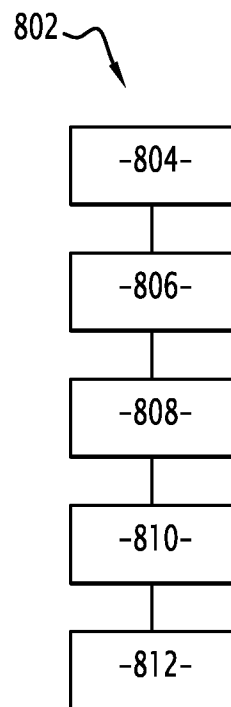


FIG.8