

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 084 221

21 N° d'enregistrement national : 18 56597

51 Int Cl⁸ : H 02 M 1/36 (2018.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 17.07.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 24.01.20 Bulletin 20/04.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : VALEO SIEMENS EAUTOMOTIVE FRANCE SAS Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : YANG GANG, ZHOU HUAN et LECOINTRE SEBASTIEN.

73 Titulaire(s) : VALEO SIEMENS EAUTOMOTIVE FRANCE SAS Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : ARGYMA.

54 PROCÉDE DE GESTION DES COMMUTATIONS D'UN BRAS D'INTERRUPTEUR COMMANDE EN FREQUENCE.

57 La présente invention a pour objet un procédé de commande des commutations d'un système électrique comprenant au moins un bras d'interrupteur commandé en fréquence, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

la fermeture d'un premier interrupteur haut ou bas (Q1, Q2), et l'ouverture d'un deuxième interrupteur (Q1, Q2), pour une période correspondant à la fréquence de commande, puis :

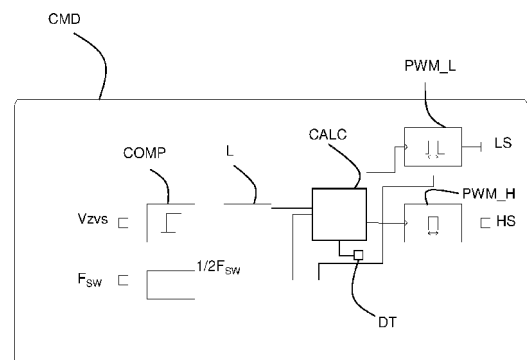
l'ouverture du premier interrupteur (Q1, Q2), la comparaison de la tension mesurée au point milieu à un seuil de tension, la détermination d'un deuxième instant t2 auquel la tension mesurée au point milieu franchit le seuil de tension,

la fermeture du deuxième interrupteur audit deuxième instant t2, le calcul d'une durée de temps mort DT ajustée selon la formule :

$$DT = \left(\frac{t2 - t1 - \frac{1}{2 \cdot F_{SW}}}{2} \right)$$

où F_{SW} est la fréquence de commande,

ladite durée de temps mort ajustée étant mise en œuvre de la commutation suivante.



FR 3 084 221 - A1



PROCEDE DE GESTION DES COMMUTATIONS D'UN BRAS D'INTERRUPTEUR COMMANDE EN FREQUENCE

DOMAINE TECHNIQUE ET OBJET DE L'INVENTION

[0001] De façon générale, l'invention concerne le domaine des bras d'interrupteur, tels que les ponts en H, et plus précisément celui des bras d'interrupteur commandés en fréquence, en particulier pour contrôler une énergie circulant dans un circuit convertisseur de tension continu-continu, tel qu'un circuit résonant.

[0002] Dans ce contexte, la présente invention vise un procédé de commutation d'un bras d'interrupteur, tel qu'un pont en H ou un demi-pont en H, optimisé en ce sens que le temps mort observé lors de chaque commutation présente une durée ajustée à chaque commande de commutation.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0003] Les ponts en H ou les demi-ponts en H sont des circuits permettant de contrôler la polarité aux bornes d'une charge. Un pont en H comprend quatre éléments de commutation (un demi-pont en H en comprend deux) dont les commutations sont commandées en vue de contrôler cette polarité.

[0004] Typiquement, un pont en H ou un demi-pont en H peut contrôler une énergie pour la rotation d'une machine électrique tournante ou contrôler une énergie circulant dans un circuit résonant de type LLC par exemple.

[0005] En référence à la figure 1, comme cela est connu, un pont en H, comme un demi-pont en H, comprend une branche haute et une branche basse. Une branche haute d'un demi-pont en H relie une borne du circuit contrôlé par le pont en H à une borne haute du pont en H, via un interrupteur haut Q1, la borne haute du pont en H étant connectée à une borne haute d'une alimentation, ledit interrupteur haut Q1 étant typiquement commandé par une modulation de largeur d'impulsion. Réciproquement, une branche basse d'un demi-pont en H relie une borne du circuit contrôlé par le pont en H à une borne basse du pont en H, via un interrupteur bas Q2, la borne basse du pont en H étant connectée à la masse, ledit interrupteur bas Q2 étant typiquement commandé par une modulation de largeur d'impulsion. Le pont en H est alimenté par une tension V_{in} entre la masse et la borne haute du pont en H pour délivrer en sortie du système une tension de sortie V_{out} .

[0006] Comme cela est connu également, les phénomènes de « cross-conduction », selon l'expression en anglais connue de l'homme du métier, signifiant que les branches haute et basse d'un pont en H ou d'un demi-pont en H sont simultanément passantes, sont à proscrire.

5 **[0007]** A cette fin, il est connu de commander les interrupteurs en opposition de phase.

[0008] Par ailleurs, toute commande de commutation d'un demi-pont en H fait l'objet d'un temps mort durant lequel les éléments de commutation haut et bas sont tous deux ouverts. L'objectif est notamment que l'interrupteur dont l'ouverture est commandée soit
10 bel et bien ouvert avant de commander la fermeture de l'autre interrupteur afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de « cross-conduction ».

[0009] D'autre part, comme cela est connu, toujours en référence à la figure 1, les demi-ponts en H comprennent de préférence des éléments de commutation Q1, Q2 permettant une commutation douce, c'est-à-dire sans perte, ou ZVS pour « zero voltage
15 switching » en anglais. Dès lors, lesdits éléments de commutation Q1, Q2 sont composés d'un interrupteur avec, en parallèle, une capacité Czvs dite de commutation douce. La charge et la décharge de ces capacités Czvs est contrôlée de façon à permettre une commutation douce du demi-pont en H. En d'autres termes, la charge complète ou la décharge complète de ces capacités Czvs de commutation douce est nécessaire pour
20 permettre la fermeture d'un interrupteur avec une tension nulle ou quasi nulle à ses bornes.

[0010] Comme cela est connu, sur réception d'une commande de commutation, un temps mort est imposé aux éléments de commutation haut et bas Q1, Q2 durant lequel lesdits éléments de commutation sont tous forcés à l'état ouvert. Le temps mort permet de
25 charger ou décharger les capacités Czvs de sorte qu'une commutation douce est possible.

[0011] Pour que les commutations du bras d'interrupteur soient rapides, ledit temps mort doit être le plus court possible.

[0012] Dans le contexte, comme à la figure 1, d'un demi-pont en H, à commutation
30 douce, commandé en fréquence pour contrôler une énergie circulant dans un circuit convertisseur de tension continu-continu, tel qu'un circuit résonant, le nombre de paramètres à prendre en considération pour déterminer la durée idéale du temps mort est important.

[0013] Pour une topologie de circuit du type de celle du circuit représenté à la figure 1, ladite durée du temps mort dépend de nombreux paramètres et grandeurs électriques, tels que la fréquence de commutation, la tension V_{in} délivrée à l'entrée du demi-pont en H ou encore de la tension V_{out} en sortie du circuit résonant, etc.

5 **[0014]** Dans l'état de l'art, le temps mort présente souvent une durée fixe, qui correspond à une valeur vérifiant toujours les conditions d'une commutation douce quelles que soient les valeurs des paramètres ci-dessus, et quelle que soit la fréquence de commutation. Par conséquent, un tel temps mort est exagérément long dans de nombreux cas.

10 **[0015]** Il est connu également de faire varier la durée du temps mort en fonction de la fréquence de commutation, à partir de valeurs de temps mort prédéterminées en laboratoire. Les durées de temps mort sont alors mémorisées et appliquées en fonction de la fréquence de commutation.

[0016] Il existe donc un besoin pour un procédé de commutation d'un bras d'interrupteur, tel qu'un demi-pont en H, qui permette l'ajustement en temps réel de la durée du temps mort mis en œuvre lors de chaque commutation.

[0017] A cette fin, la présente invention propose la mesure de la tension au point milieu du demi-pont en H et la comparaison de cette tension à un seuil de tension permettant de calculer, à chaque commutation, une durée de temps ajustée de façon optimale.

20

PRESENTATION GENERALE DE L'INVENTION

[0018] Plus précisément, l'invention vise un procédé de commande de commande des commutations d'un système électrique comprenant au moins un bras d'interrupteur commandé en fréquence et destiné à être connecté à un circuit convertisseur de tension continu-continu, ledit bras présentant une branche haute comprenant un interrupteur haut, connecté à une borne haute du bras et une branche basse comprenant un interrupteur bas, connecté à une borne basse du bras, et un point milieu correspondant à un point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

25

30

la fermeture d'un premier interrupteur haut ou bas, et l'ouverture d'un deuxième interrupteur, respectivement, pour une période correspondant à la fréquence de commande dudit au moins un bras d'interrupteur,

puis au terme de la période :

- l'ouverture du premier interrupteur,
 la mesure d'une tension au point milieu,
 la comparaison de la tension mesurée au point milieu à un seuil de tension,
 la détermination d'un deuxième instant t_2 auquel la tension mesurée au point
 5 milieu franchit le seuil de tension ,
 la fermeture du deuxième interrupteur audit deuxième instant t_2 ,
 le calcul d'une durée de temps mort DT ajustée selon la formule suivante :

$$DT = \left(\frac{t_2 - t_1 - \frac{1}{2 \cdot F_{SW}}}{2} \right)$$

- où F_{SW} est la fréquence de commande dudit au moins un bras d'interrupteur,
 10 ladite durée de temps mort ajustée étant mise en œuvre lors de la réception d'une
 commande de commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur.

- [0019]** Notamment, le système électrique comprend au moins une capacité en
 parallèle de l'interrupteur bas pour une commutation douce aux bornes des éléments de
 commutation du système électrique. En particulier, chaque interrupteur présente une
 15 capacité en parallèle de l'interrupteur pour une commutation douce aux bornes des
 éléments de commutation du système électrique.

- [0020]** Le procédé selon l'invention permet d'ajuster à chaque commutation la durée
 du temps mort utilisée lors de la commutation suivante dans un bras d'interrupteur tel
 qu'un pont en H, commandé en fréquence, quel que soit la fréquence de commutation ou
 20 la tension d'entrée.

- [0021]** Grâce à la présente invention, on réalise des commutations douces avec un
 temps mort réduit. La présente invention est particulièrement adaptée dans le cas d'un
 système électrique dans lequel le bras d'interrupteur contrôle l'énergie circulant dans un
 circuit résonant car la durée du temps mort se trouve fortement impacté par la fréquence
 25 de commutation. En pratique, ladite fréquence de commutation peut classiquement varier
 dans un rapport de 1 à 3, notamment entre 80 kHz et 270 kHz, de même que la durée du
 temps mort, qui peut varier par exemple entre 400 ns et 1100 ns.

[0022] Avantageusement, le procédé comprend la répétition de l'ensemble des
 étapes de façon cyclique.

- 30 **[0023]** Selon un mode de réalisation, le procédé comprend par ailleurs les étapes
 préalables suivantes :

la prédéfinition d'une durée de temps mort maximale et d'une durée de temps mort minimale,

l'initialisation d'une durée de temps mort à une valeur initiale comprise entre la durée de temps mort maximale et la durée de temps mort minimale,

5 la durée du temps mort utilisée mise en œuvre lors de la réception d'une commande de commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur étant égale à la durée de temps mort maximale si la durée de temps mort ajustée calculée est supérieure à ladite durée de temps mort maximale, et

10 la durée du temps mort utilisée mise en œuvre lors de la réception d'une commande de commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur étant égale à la durée de temps mort minimale si la durée de temps mort ajustée calculée est inférieure à ladite durée de temps mort minimale.

[0024] Selon un mode de réalisation, le seuil de tension est un seuil de tension haut supérieur ou égale à 90% d'une tension d'entrée entre la borne haute et la borne basse dudit au moins un bras d'interrupteur, et dans lequel la détermination du deuxième instant auquel la tension mesurée au point milieu franchit le seuil de tension est réalisée sur front montant de ladite tension au point milieu.

[0025] Selon un mode de réalisation, le seuil de tension est un seuil de tension bas inférieur ou égale à 10% d'une tension d'entrée entre la borne haute et la borne basse dudit au moins un bras d'interrupteur, et dans lequel la détermination du deuxième instant auquel la tension mesurée au point milieu franchit le seuil de tension est réalisée sur front descendant de ladite tension au point milieu.

[0026] Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention est un procédé de commande des commutations d'un circuit comprenant deux bras d'interrupteurs formant un pont en H commandé en fréquence.

[0027] Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'inhibition de la comparaison de la tension mesurée au point milieu à un seuil de tension haut ou bas au moins pendant une durée prédéterminée après la fin du temps mort.

30 **[0028]** La présente invention vise également un système électrique comprenant au moins un bras d'interrupteur commandé en fréquence et destiné à commander un circuit convertisseur de tension continu-continu, le bras d'interrupteur présentant une branche haute comprenant un interrupteur haut, connecté à une borne haute du bras et une branche basse comprenant un interrupteur bas, connecté à une borne basse du bras,

ledit bras d'interrupteur présentant par ailleurs un point milieu correspondant à un point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu, ledit système comprenant par ailleurs une unité de commande comprenant :

- 5 un circuit de mesure de la tension au point milieu,
un circuit de comparaison configuré pour comparer la tension mesurée au point milieu à un seuil de tension haut en cas de commutation tendant à rendre passante la branche haute et à un seuil de tension bas en cas de commutation tendant à rendre passante la branche basse,
10 ladite unité de commande étant configurée pour mettre en œuvre le procédé brièvement décrit ci-dessus.

[0029] Selon un mode de réalisation, le système électrique selon l'invention forme un convertisseur de tension continu-continu

- 15 **[0030]** Selon un mode de réalisation, le système électrique selon l'invention comprend un circuit d'inhibition configuré pour inhiber le circuit de comparaison pendant au moins une durée prédéterminée après la fin du temps mort.

- 20 **[0031]** Selon un mode de réalisation, l'unité de commande comprend deux générateurs monostables à modulation de largeur d'impulsions délivrant des commandes de commutations respectivement à la branche haute et à la branche basse du bras d'interrupteur.

[0032] Selon un mode de réalisation, le système électrique comprend un circuit résonant connecté au point milieu du bras d'interrupteur de sorte que le bras d'interrupteur contrôle l'énergie circulant dans ledit circuit résonant.

- 25 **[0033]** L'invention vise aussi un système de chargeur électrique d'une batterie, notamment d'un véhicule automobile électrique ou hybride, comprenant un système électrique tel que brièvement décrit ci-dessus.

DESCRIPTION DES FIGURES

- 30 **[0034]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et se référant aux dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, le schéma d'un demi-pont en H contrôlant l'énergie circulant dans un circuit résonant LLC, selon l'état de la technique,

- la figure 2, le schéma représentant le procédé de détermination automatique de la fin d'un temps mort lors d'une commutation dans un demi-pont en H, selon l'invention,
- la figure 3, le diagramme montrant, en rapport avec la figure 2, la corrélation entre l'évolution de la tension au point milieu et les commandes de commutation du demi-pont en H, avec un seuil de tension bas,
- la figure 4, le diagramme montrant, en rapport avec la figure 2, la corrélation entre l'évolution de la tension au point milieu et les commandes de commutation du demi-pont en H, avec un seuil de tension haut,
- la figure 5, le schéma d'un exemple de système électrique dans lequel est mise en œuvre l'invention,
- la figure 6, le schéma de principe d'un exemple d'unité de commande permettant la mise en œuvre de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

15

[0035] Il est rappelé que la présente invention est décrite ci-après à l'aide de différents modes de réalisation non limitatifs et est susceptible d'être mise en œuvre dans des variantes à la portée de l'homme du métier, également visées par la présente invention.

20 **[0036]** La figure 2 représente un schéma montrant le fonctionnement d'un exemple de procédé et d'un exemple de système électrique selon l'invention.

[0037] Le système électrique de la figure 2 comprend un bras d'interrupteur, formant un demi-pont en H, connecté à un circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC. Ledit demi-pont en H présente une branche haute comprenant un interrupteur haut Q1, connecté à une borne haute du demi-pont en H, et une branche basse comprenant un interrupteur bas Q2, connecté à une borne basse du bras. Un point milieu du demi-pont en H correspond à un point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC.

30 **[0038]** Autrement dit, le demi-pont en H, désigné H sur la figure 2, contrôle l'énergie circulant dans le circuit convertisseur de tension continu-continu, désigné DCDC sur la figure 2, au moyen des commutations des éléments de commutation haut et bas Q1, Q2.

[0039] Selon le mode de réalisation de la figure 2, le circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC est isolé galvaniquement et comprend un circuit résonant LLC au primaire et un redresseur RD au secondaire, avec, entre le primaire et le secondaire, un

transformateur Trf. Dans le mode de réalisation représenté à la figure 2, par ailleurs, le transformateur Trf inclut l'inductance magnétisante du primaire.

[0040] Une tension V_{in} est délivrée en entrée du circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC et ce dernier délivre en sortie une tension de sortie V_{out} .

5 **[0041]** Dans le demi-pont en H, les commutations des éléments de commutation haut et bas Q1, Q2 sont commandés en fréquence, notamment au moyen de deux unités de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_L, PWM_H monostables commandés en opposition de phase. Une unité de commande à modulation de largeur
10 d'impulsion PWM_H permet de commander l'interrupteur haut Q1 et l'autre unité de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_L permet de commander l'interrupteur bas Q2.

[0042] La fréquence de commutation des unités de commande PWM_L, PWM_H est générée dans une unité FSW.

[0043] Selon le mode de réalisation de la figure 2, les éléments de commutation Q1,
15 Q2 présentent par ailleurs chacun une capacité de commutation douce Czvs1, Czvs2 connectée en parallèle.

[0044] Comme cela a été décrit précédemment, la durée idéale du temps mort correspond au temps minimum nécessaire pour s'assurer, lors d'une commutation des éléments de commutation Q1, Q2, que la commutation à l'état fermé d'un interrupteur se
20 fait à une tension nulle ou quasi nulle.

[0045] Comme évoqué précédemment, la durée idéale du temps mort dépend de nombreux paramètres et grandeurs électriques. Par exemple, dans le contexte du système électrique représenté à la figure 2, la durée idéale du temps dépend de la valeur des capacités de commutation douce Czvs1, Czvs2, de la valeur des capacités parasites
25 des interrupteurs Q1, Q2, de la tension d'entrée V_{in} , de la fréquence de commutation F_{sw} , de la valeur de l'inductance magnétisante L_m , de la tension de sortie V_{out} ou encore du rapport de transformation du transformateur Trf.

[0046] La grande variabilité de la durée idéale du temps mort rend excessivement complexe la mise en œuvre d'une solution selon laquelle la durée du temps serait
30 déterminée avant chaque commutation.

[0047] Selon la présente invention, la durée du temps mort est cependant ajustée à chaque commande de commutation, en fonction de la fréquence de commutation et de la

valeur mesurée de la tension au point milieu correspondant au point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC. Le module de calcul CALC mémorise ladite durée du temps ajustée dans une mémoire du système en vue d'être prise en compte lors de la commande de commutation

5 suivante.

[0048] La valeur de la tension au point milieu est théoriquement égale à 0 lorsque l'interrupteur bas est fermé et l'interrupteur haut ouvert et, réciproquement, la tension au point milieu est théoriquement égale à V_{in} lorsque l'interrupteur haut est fermé et l'interrupteur bas ouvert. Autrement dit, lors d'une commutation du demi-pont en H, la

10 tension au point milieu tend vers 0 ou vers V_{in} selon que c'est, respectivement, l'interrupteur bas qui se ferme et l'interrupteur haut qui s'ouvre, ou l'inverse.

[0049] Selon l'invention, lors d'une réception d'une commande de commutation, il est prévu le commencement d'un temps mort durant lequel les éléments de commutation haut et bas Q1, Q2 sont commandés à l'état ouvert. Ledit temps mort présente une durée.

15 **[0050]** De préférence, une durée maximale du temps mort et une durée minimale du temps mort sont prédéfinies. Initialement, la durée du temps mort est choisie arbitrairement entre ces valeurs maximale et minimale.

[0051] Ensuite, au cours du fonctionnement du système électrique, la durée du temps mort DT est ajustée à chaque commutation. Plus précisément, sur réception d'une

20 commande de commutation, la durée du temps mort DT appliquée est celle qui est connue à cet instant. Le procédé selon l'invention permet, dans le cadre de ladite commutation, de calculer une durée de temps mort DT ajustée qui est utilisée lors de la commutation suivante ; à chaque cycle, une durée du temps mort DT ajustée est ainsi calculée et utilisée pour la commutation suivante.

25 **[0052]** A cette fin, un seuil de tension est défini. Selon un mode de réalisation, un unique seuil de tension est défini. L'avantage associé à la définition d'un unique seuil de tension réside dans la simplification induite de l'unité de commande permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Une telle unité de commande est représentée, selon un mode de réalisation, en figure 6, décrite ci-après.

30 **[0053]** Le seuil de tension peut être un seuil de tension haut ou un seuil de tension bas. S'il s'agit d'un seuil de tension haut, ledit seuil de tension est par exemple supérieur ou égal à 90% de la tension d'entrée V_{in} . S'il s'agit d'un seuil de tension bas V_{th_L} , ledit

seuil de tension est par exemple inférieur ou égal à 10% de la tension d'entrée V_{in} . Par exemple, avec $V_{in} = 400\text{ V}$, le seuil de tension peut être égal à 390 V ou à 10 V.

[0054] Pour calculer la durée du temps mort DT ajustée lors d'une commutation, le procédé selon l'invention prévoit la détermination d'un premier instant t_1 , auquel la commande de commutation est reçue. Le procédé comprend en outre la détermination d'un deuxième instant t_2 , postérieur à la fermeture de l'interrupteur Q_1 , Q_2 ayant commuté à l'état fermé, auquel la tension V_{zvs} mesurée au point milieu devient supérieure au seuil de tension V_{th_L} sur front montant, ou, respectivement, auquel la tension V_{zvs} mesurée au point milieu devient inférieure au seuil de tension V_{th_L} sur front descendant.

[0055] Ainsi, à un premier instant t_1 , une commande de commutation du bras d'interrupteur est reçue, engendrant l'ouverture de l'interrupteur dont l'ouverture est commandée et le commencement d'un temps mort présentant une durée correspondant à la durée de temps mort connue à cette instant t_1 . Au terme du temps mort, l'interrupteur dont la fermeture est commandée est effectivement fermé, pour une période T_{on} correspondant à la fréquence de commande F_{SW} .

[0056] La fréquence de commutation F_{SW} utilisée pour la commande du bras d'interrupteur est notamment connue ou mesurée, par exemple via un circuit de contrôle proportionnel-intégral.

[0057] Dès lors, une durée de temps mort DT ajustée est calculée suivant la formule :

$$DT = \left(\frac{t_2 - t_1 - \frac{1}{2 \cdot F_{SW}}}{2} \right)$$

[0058] Selon un mode de réalisation, il est prévu, pour des raisons de sécurité, de borner la durée du temps mort DT ajustée calculée. Ainsi, si la durée du temps mort DT ajustée calculée est supérieure à la durée maximale du temps mort DT_{max} prédéfinie, alors la durée du temps mort DT utilisée lors de la commutation suivante est égale à ladite durée maximale du temps mort DT_{max} . Réciproquement, si la durée du temps mort DT ajustée calculée est inférieure à la durée minimale du temps mort DT_{min} prédéfinie, alors la durée du temps mort DT utilisée lors de la commutation suivante est égale à ladite durée minimale du temps mort DT_{min} .

[0059] Autrement dit, la durée du temps mort DT ajustée est calculée suivant la formule :

$$DT = \min \left(\max \left(\frac{t_2 - t_1 - \frac{1}{2 \cdot F_{SW}}}{2}; DT_{min} \right); DT_{max} \right)$$

[0060] A chaque commutation, la durée du temps mort DT est par conséquent mise à jour à la valeur de ladite durée du temps mort DT ajustée calculée, de préférence sous réserve de ne pas être supérieure à la durée maximale du temps mort ni inférieure à la durée minimale du temps mort, en vue d'être utilisée à la commutation suivante. Lorsque la durée, de préférence bornée, du temps mort DT ajustée est écoulée : sur front montant, la fermeture de l'interrupteur haut Q1 est réalisée ; réciproquement, sur front descendant, la fermeture de l'interrupteur bas Q2 est réalisée.

[0061] Autrement dit, toujours en référence à la figure 2, le procédé comprend la mesure de la tension Vzvs au point milieu correspondant au point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC. Sur réception d'une commande de commutation du demi-pont en H, le temps mort DT commence et présente, lors de la première commutation du bras d'interrupteur, une durée égale à une durée initiale prédéfinie. A chaque commutation, une durée du temps mort DT ajustée est calculée suivant la formule ci-dessus. Ladite durée du temps mort DT ajustée calculée, de préférence bornée entre une durée minimale du temps mort et une durée maximale du temps mort, est utilisée pour la commutation suivante.

[0062] Pendant la durée du temps mort, les unités de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_H et PWM_L commandent tous deux les éléments de commutation haut et bas Q1, Q2 à l'état ouvert.

[0063] Selon un mode de réalisation, il peut être prévu un circuit d'inhibition L permettant l'inhibition de la comparaison de la tension Vzvs mesurée au point milieu au seuil de tension pendant une durée prédéterminée. Ladite durée prédéterminée dépend de la fréquence de commutation du circuit résonant. Elle peut par exemple être de l'ordre de 1 µs pour une fréquence de commutation de 100kHz. La présence de ce circuit d'inhibition, également désigné « latch circuit » en langue anglaise, est optionnelle. Le circuit d'inhibition L permet d'éviter les effets d'une oscillation de la tension Vzvs au point milieu lors de l'atteinte de la consigne, c'est-à-dire Vin ou 0, permettant d'éviter de possibles retours de courant qui perturberaient le fonctionnement du système électrique.

[0064] La durée de l'inhibition de la commande, imposée par le circuit d'inhibition, est typiquement de l'ordre d'1/10 à 1/5 de la période correspondant à la fréquence de commutation du demi-pont en H. Notamment, l'inhibition débute à la fin du temps mort.

[0065] Selon un mode de réalisation, le circuit d'inhibition est réalisé par un microprocesseur.

[0066] Le circuit de régulation REG représenté schématiquement à la figure 2 peut comprendre un circuit de contrôle proportionnel-intégral PI pour fournir aux unités de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_L, PWM_H la fréquence de commutation F_{SW} à partir de la comparaison entre le courant de référence I_{ref} et le courant mesuré en sortie du circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC. Notamment à partir de ladite fréquence de commutation F_{SW} issue du circuit de régulation REG, les unités de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_H, PWM_L commandent l'état des éléments de commutation haut et bas Q1, Q2. Les commandes issues du circuit d'inhibition peuvent inhiber ce fonctionnement en fonction de la tension V_{zvs} au point milieu

[0067] La figure 3 montre, dans un mode de réalisation selon lequel le seuil de tension choisi, V_{th_L} , est un seuil bas, la corrélation entre l'évolution de la tension V_{zvs} au point milieu et les commandes de commutation du demi-pont en H, lesdites commandes étant notamment issues des unités de commande à modulation de largeur d'impulsion sortant des signaux respectifs PWM_H, PWM_L.

[0068] Les diagrammes de la figure 3 montrent que, sur front montant, la commande de commutation bascule à l'état haut pour l'unité de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_H et à l'état bas pour l'unité de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_L lorsque la durée du temps DT_1 , notamment calculée lors de la commutation précédente, est écoulée depuis la réception de la commande de commutation à l'instant t_1 . Le basculement correspond à la fin du temps mort et au début de l'inhibition de la commande par le circuit d'inhibition L, pendant la durée LT .

[0069] Sur front descendant, la commande de commutation bascule à l'état haut pour l'unité de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_L et à l'état bas pour l'unité de commande à modulation de largeur d'impulsion PWM_H lorsque la tension V_{zvs} au point milieu devient inférieure au seuil de tension V_{th_L} , à l'instant t_2 . Le basculement correspond à la fin du temps mort ajusté DT et au début de l'inhibition de la commande par le circuit d'inhibition L, pendant la durée TL .

[0070] La durée du temps mort ajustée DT est alors calculée conformément à la formule décrite précédemment, mémorisée, et utilisée lors de la commutation suivante, en fonction de t_1 , t_2 et de la période T_{on} qui correspond à la fréquence de commutation F_{sw} . Lors de la commutation suivante, on utilise, sur le front montant, la durée de temps mort

DT calculée lors de la commutation précédente. Sur front descendant, on ajuste la durée du temps mort DT2 lors du franchissement du seuil de tension V_{th_L} . La nouvelle durée de temps DT2 est mémorisée et utilisée pour le front montant lors de la commutation suivante.

5 **[0071]** Il est à noter que ce décalage entre le calcul d'une durée de temps mort DT ajustée et son utilisation à la commutation suivante est parfaitement acceptable dans la mesure où, dans un bras d'interrupteur commandé en fréquence, la fréquence de commande varie très peu d'une commutation à l'autre.

10 **[0072]** Sur l'exemple décrit en référence à la figure 3, le seuil de tension V_{th_L} utilisé est un seuil bas. Si l'on choisit un seuil de tension haut V_{th_H} , comme sur la figure 4, le principe reste le même. Seulement, c'est sur front montant que l'on calcule la durée ajustée du temps mort DT, celle-ci étant calculée lors du franchissement du seuil de tension haut V_{th_H} , mémorisée et utilisée lors de la commutation suivante. Lors du front montant suivant, un nouveau calcul de durée de temps ajustée DT3 est réalisé, ladite
15 nouvelle durée ajustée étant mémorisée et utilisée lors de la commutation suivante. A chaque fois, le basculement correspond à la fin du temps mort et au début de l'inhibition de la commande par le circuit d'inhibition L, pendant la durée TL.

20 **[0073]** La figure 5 montre un exemple de système électrique avec en entrée une source de tension A délivrant une tension V_{in} entre une borne d'entrée haute et une borne d'entrée basse d'un demi-pont en H, référencé H sur la figure 5, ledit demi-pont en H commandant un circuit convertisseur de tension continu-continu comportant un circuit résonant LLC et un redresseur RD, ledit convertisseur de tension continu-continu délivrant en sortie du système électrique une tension V_{out} .

25 **[0074]** Le circuit résonant LLC est isolé. Au primaire, il comporte des capacités de résonance $C_{r/2}$ et une inductance de résonance L_r , une inductance magnétisante du transformateur Trf joue le rôle d'une seconde inductance de résonance. Au secondaire, le redresseur RD comprend des diodes, mais il pourrait comprendre des interrupteurs. Le transformateur Trf est connecté entre le primaire et le secondaire.

30 **[0075]** L'inductance de résonance L_r et le primaire du transformateur Trf sont en série dans une branche connectée entre le point milieu du bras H et un point milieu des capacités $C_{r/2}$. Les capacités $C_{r/2}$ sont elles mêmes connectées entre leur point milieu et respectivement la borne haute et la borne basse du système électrique. Cependant, le circuit de résonance pourrait être différent. Par exemple, il pourrait comprendre une seule capacité de résonance C_r en série avec l'inductance de résonance L_r et le primaire du

transformateur Trf, la branche les comprenant pouvant être connectée entre le point milieu des interrupteurs Q1, Q2 et la borne basse du bras.

[0076] La tension V_{zvs} est mesurée au point milieu correspondant à un point de connexion entre la branche haute du demi-pont en H, sa branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu DCDC.

[0077] Le demi-pont en H comprend un interrupteur haut Q1, connecté entre la borne haute dudit demi-pont en H et le point milieu et un interrupteur bas Q2 connecté entre la borne basse dudit demi-pont en H et le point milieu. Les éléments de commutations haut et bas Q1, Q2 présentent, connectés à leurs bornes respectives, en parallèle, une capacité de commutation douce C_{zvs1} , C_{zvs2} .

[0078] Lesdits éléments de commutation haut et bas, Q1, Q2 sont commandés en fonction des sorties HS, LS d'une unité de commande représenté à la figure 6.

[0079] L'unité de commande CMD représentée à la figure 6 comprend un circuit de mesure de la tension V_{zvs} au point milieu et un circuit de régulation délivrant la fréquence de commutation de commutation F_{sw} . A chaque réception d'une commande de commutation à un premier instant $t1$, la durée de temps mort ajustée est recalculée et mise en œuvre à la commutation suivante.

[0080] Le circuit de comparaison COMP compare la tension V_{zvs} mesurée au point milieu au seuil de tension V_{th_L} pour déterminer le deuxième instant $t2$.

[0081] Le circuit d'inhibition L inhibe la commande pendant une durée prédéterminée, typiquement compris entre 1/10 et 1/5 de la période correspondant à la fréquence de commutation F_{sw} .

[0082] Le module de calcul CALC détermine, en fonction de la formule décrite précédemment, la valeur du temps mort DT ajustée à utiliser lors de la commutation suivante. Le module de calcul CALC mémorise ladite durée du temps ajustée DT dans une mémoire du système en vue d'être prise en compte lors de la commande de commutation suivante.

En fonction de la fréquence de commutation F_{sw} et des sorties du circuit de comparaison COM et d'inhibition L, les générateurs à modulation de largeur d'impulsion PWM_L, PWM_H délivrent les commandes LS, HS – état haut ou état bas – respectivement à l'interrupteur haut Q1 et à l'interrupteur bas Q2.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de commande des commutations d'un système électrique comprenant au moins un bras d'interrupteur (H) commandé en fréquence et destiné à être connecté à un circuit convertisseur de tension continu-continu (DCDC), ledit bras (H) présentant une
 5 branche haute comprenant un interrupteur haut (Q1), connecté à une borne haute du bras et une branche basse comprenant un interrupteur bas (Q2), connecté à une borne basse du bras, et un point milieu correspondant à un point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu (DCDC), ledit procédé comprenant les étapes suivantes, sur réception d'une commande de
 10 commutation à un premier instant t1 :

la fermeture d'un premier interrupteur haut ou bas (Q1, Q2), et l'ouverture d'un deuxième interrupteur (Q1, Q2), respectivement, pour une période (Ton) correspondant à la fréquence de commande (F_{sw}) dudit au moins un bras d'interrupteur,

puis au terme de la période (Ton) :

15 l'ouverture du premier interrupteur (Q1, Q2),

la mesure d'une tension (Vzvs) au point milieu,

la comparaison de la tension (Vzvs) mesurée au point milieu à un seuil de tension (V_{th_L}, V_{th_H}),

20 la détermination d'un deuxième instant t2 auquel la tension (Vzvs) mesurée au point milieu franchit le seuil de tension,

la fermeture du deuxième interrupteur audit deuxième instant t2,

le calcul d'une durée de temps mort (DT) ajustée selon la formule suivante :

$$DT = \left(\frac{t2 - t1 - \frac{1}{2 \cdot F_{sw}}}{2} \right)$$

25 où F_{sw} est la fréquence de commande dudit au moins un bras d'interrupteur,

ladite durée de temps mort (DT) ajustée étant mise en œuvre lors de la réception d'une commande de commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur.

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant la répétition cyclique de l'ensemble des étapes dudit procédé.

30

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant par ailleurs les étapes préalables suivantes :

la définition d'une durée de temps mort maximale et d'une durée de temps mort minimale,

l'initialisation d'une durée de temps mort (DT) à une valeur initiale comprise entre la durée de temps mort maximale et la durée de temps mort minimale,

- 5 la durée du temps mort utilisée mise en œuvre lors de la réception d'une commande de commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur étant égale à la durée de temps mort maximale si la durée de temps mort (DT) ajustée calculée est supérieure à ladite durée de temps mort maximale, et
- la durée du temps mort utilisée mise en œuvre lors de la réception d'une commande de
- 10 commutation suivante dudit au moins un bras d'interrupteur étant égale à la durée de temps mort minimale si la durée de temps mort (DT) ajustée calculée est inférieure à ladite durée de temps mort minimale.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le seuil de
- 15 tension est un seuil de tension haut supérieur ou égale à 90% d'une tension d'entrée (V_{in}) entre la borne haute et la borne basse dudit au moins un bras d'interrupteur, et dans lequel la détermination du deuxième instant (t_2) auquel la tension (V_{zvs}) mesurée au point milieu franchit le seuil de tension est réalisée sur front montant de ladite tension au point milieu (V_{zvs}).
- 20
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le seuil de tension est un seuil de tension bas (V_{th_L}) inférieur ou égal à 10% d'une tension d'entrée (V_{in}) entre la borne haute et la borne basse dudit au moins un bras d'interrupteur, et dans lequel la détermination du deuxième instant (t_2) auquel la tension (V_{zvs}) mesurée au point milieu
- 25 franchit le seuil de tension est réalisée sur front descendant de ladite tension au point milieu (V_{zvs}).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, de commande des commutations d'un système électrique comprenant deux bras d'interrupteurs formant un
- 30 pont en H commandé en fréquence.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre une étape d'inhibition de la comparaison de la tension (V_{zvs}) mesurée au point milieu au seuil de tension (V_{th_L}) au moins pendant une durée prédéterminée (LT) après la fin du temps
- 35 mort (DT).

8. Système électrique comprenant au moins un bras d'interrupteur commandé en fréquence et destiné à commander un circuit convertisseur de tension continu-continu, le bras d'interrupteur présentant une branche haute comprenant un interrupteur haut (Q1), connecté à une borne haute du bras et une branche basse comprenant un interrupteur bas (Q2), connecté à une borne basse du bras, ledit bras d'interrupteur présentant un point milieu correspondant à un point de connexion entre la branche haute, la branche basse et le circuit convertisseur de tension continu-continu (DCDC), ledit système comprenant par ailleurs une unité de commande (CMD) comprenant :
- 5 un circuit de mesure de la tension (V_{zvs}) au point milieu,
- 10 un circuit de comparaison (COMP) configuré pour comparer la tension (V_{zvs}) mesurée au point milieu à un seuil de tension, ladite unité de commande (CMD) étant configurée pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes.
- 15 9. Système selon la revendication 8, comprenant un circuit d'inhibition (L) configuré pour inhiber le circuit de comparaison pendant au moins une durée prédéterminée après la fin du temps mort (DT).
- 20 10. Système électrique selon l'une des revendications 8 à 9, comprenant un circuit résonant (LLC) connecté au point milieu du bras d'interrupteur de sorte que le bras d'interrupteur (H) contrôle l'énergie circulant dans ledit circuit résonant (LLC).

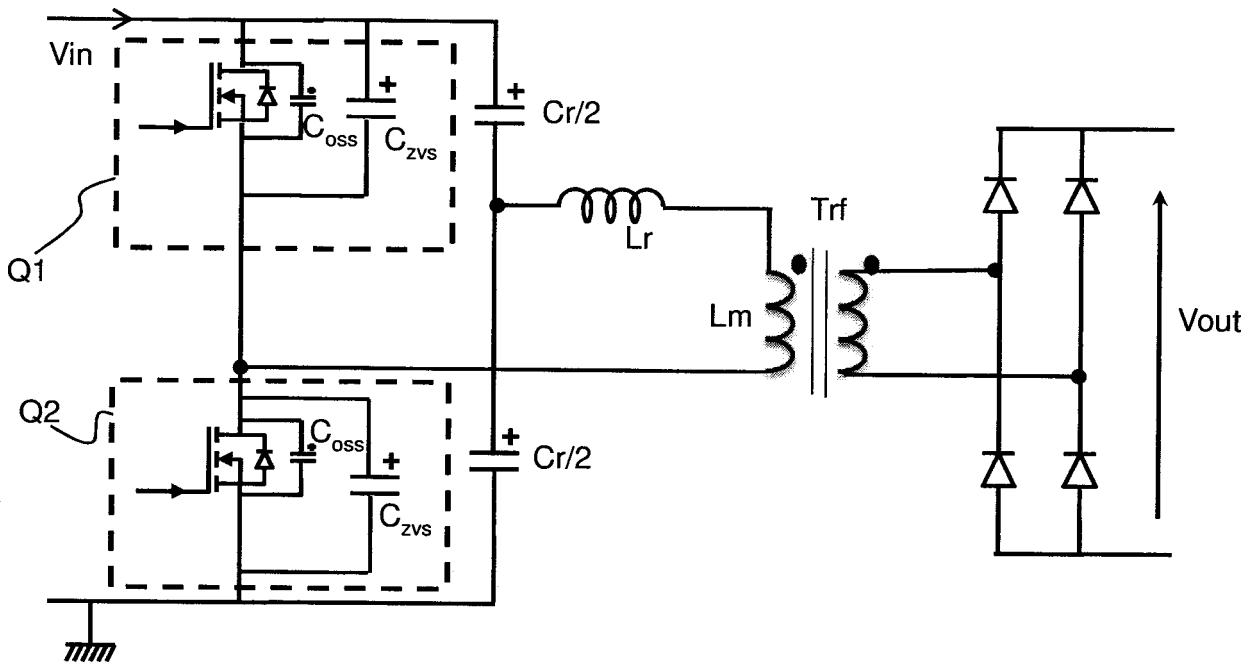


FIG. 1

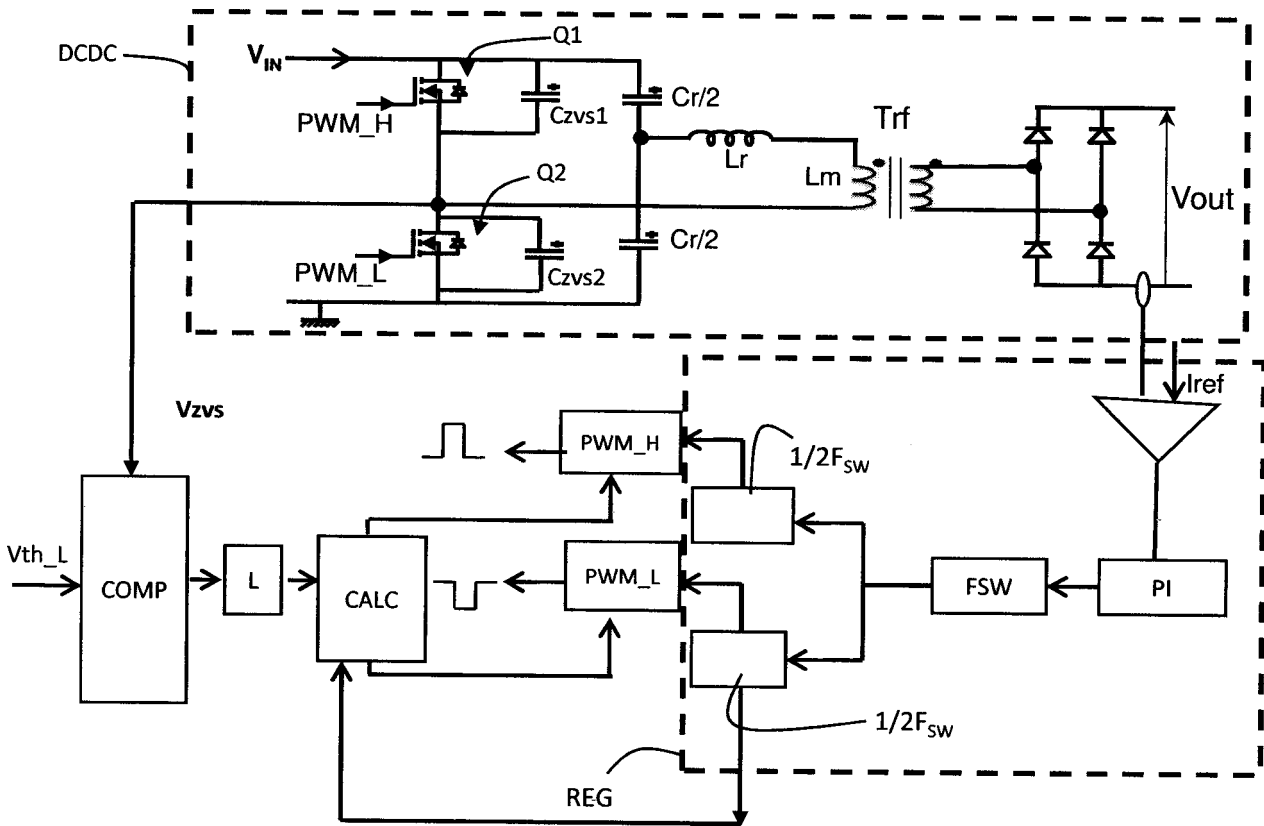


FIG. 2

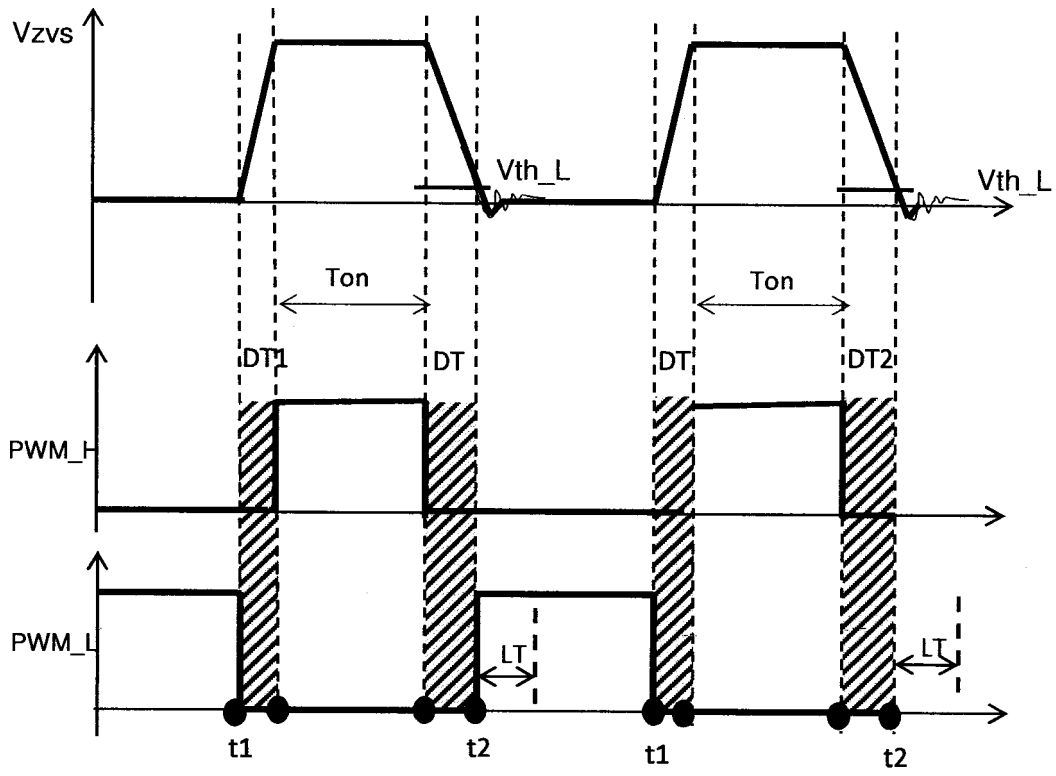


FIG. 3

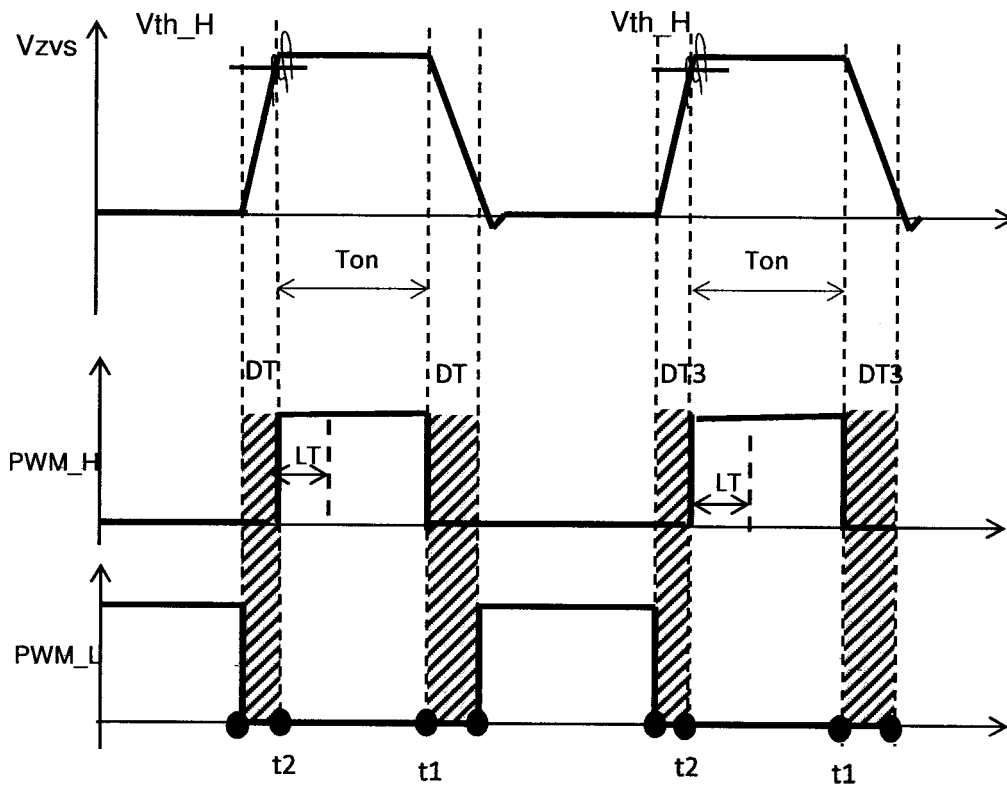


FIG. 4

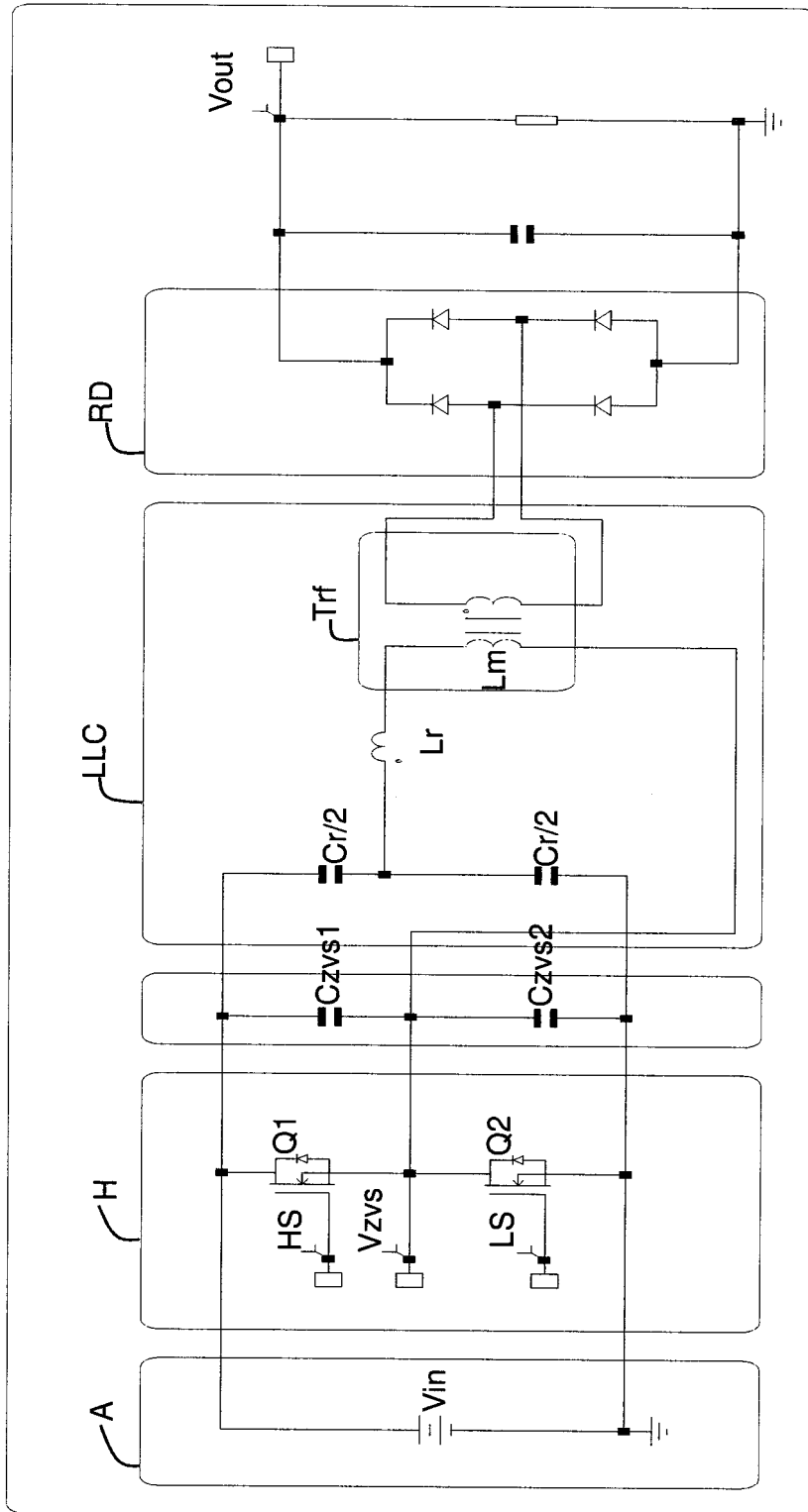


FIG. 5

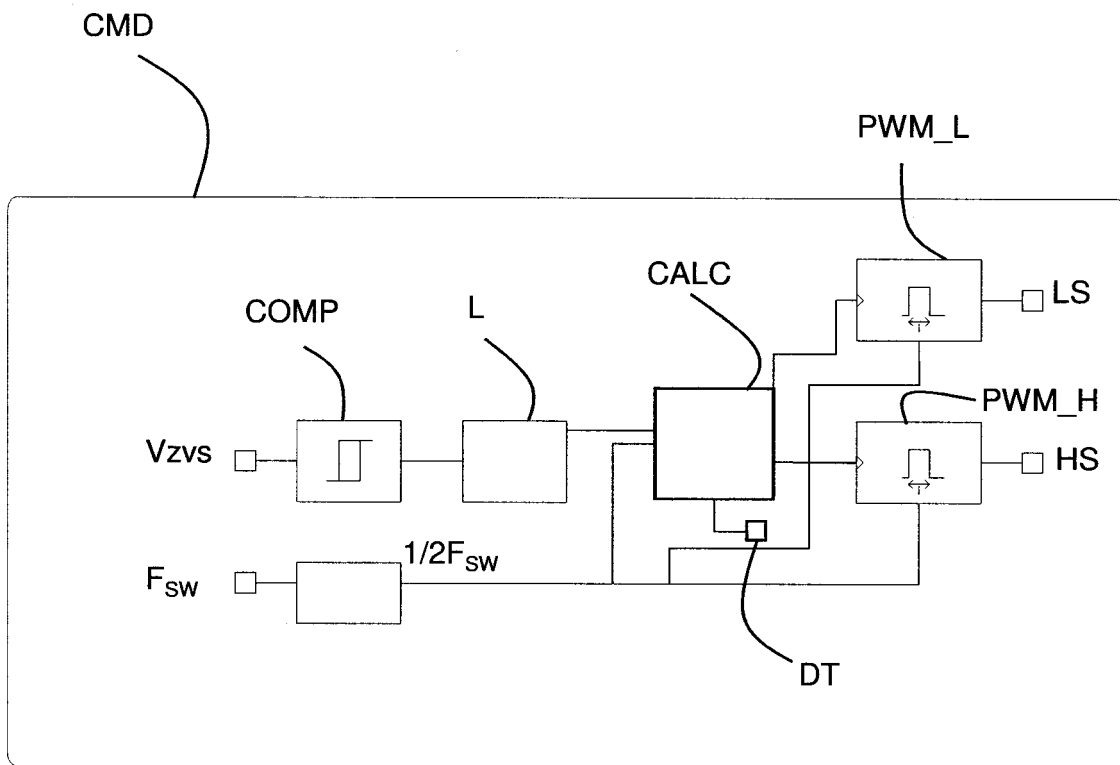


FIG. 6

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
 déposées avant le commencement de la recherche

 N° d'enregistrement
 national

 FA 857587
 FR 1856597

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2014 224752 A1 (TRIDONIC GMBH & CO KG [AT]) 9 juin 2016 (2016-06-09) * figures 1, 5, 6 * * alinéa [0017] * * alinéa [0021] * * alinéa [0027] * * alinéa [0050] * * alinéa [0053] - alinéa [0056] * -----	1-10	H02M1/36
X	US 2016/087543 A1 (JIN YIQING [CN] ET AL) 24 mars 2016 (2016-03-24) * figure 7 * * alinéa [0023] * * alinéa [0029] * * alinéa [0040] - alinéa [0041] * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
3 juin 2019		Madouroglou, E	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1856597 FA 857587**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **03-06-2019**

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102014224752 A1	09-06-2016	DE 102014224752 A1	09-06-2016
		WO 2016087206 A1	09-06-2016

US 2016087543 A1	24-03-2016	CN 104270008 A	07-01-2015
		TW 201613243 A	01-04-2016
		US 2016087543 A1	24-03-2016
