

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 060 904

21 N° d'enregistrement national : 16 62501

51 Int Cl⁸ : H 02 M 3/28 (2017.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.12.16.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.06.18 Bulletin 18/25.

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) : 3D PLUS Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : DUBUS PATRICK et PERROT NICO-
LAS.

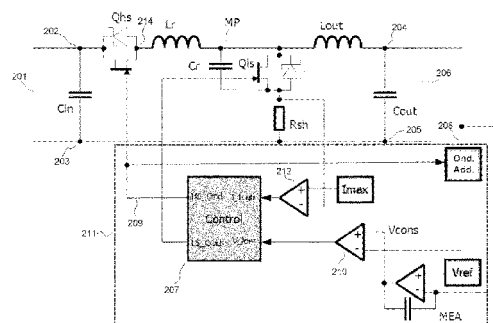
73 Titulaire(s) : 3D PLUS Société anonyme.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société
en nom collectif.

54 CONVERTISSEUR DE TENSION HAUTE FREQUENCE CONTINUE DE TYPE BUCK QUASI-RESONANT.

57 Convertisseur de tension continue de type Buck qua-
si-résonant comprenant une porte d'entrée (201) ayant une
première borne (202) apte à recevoir un niveau de tension
à convertir, une porte de sortie (206) ayant une première
borne (204) apte à fournir un niveau de tension convertie, un
premier interrupteur (Qhs) connecté en série à ladite pre-
mière borne de la porte d'entrée et un circuit de régulation
(211) configuré pour :

- générer une ondulation de tension (Ond), croissante ou
décroissante en fonction d'un état de fermeture ou ouver-
ture dudit premier interrupteur;
- générer un signal de consigne (Vcons) proportionnel à
une différence entre un niveau moyen de tension convertie
et une tension de référence (Vref);
- effectuer une première comparaison (210) entre ledit si-
gnal de consigne et ledit niveau de tension convertie (Vout)
auquel a été additionné ladite ondulation de tension; et
- en fonction du résultat de ladite première comparaison,
générer ou pas sur sa sortie un signal d'activation
(Hs_Cmd) pilotant la fermeture dudit premier interrupteur
pendant une durée prédéfinie (Ton).



FR 3 060 904 - A1



CONVERTISSEUR DE TENSION HAUTE FRÉQUENCE CONTINUE DE TYPE BUCK QUASI-RÉSONANT

Le domaine de la présente invention est celui des alimentations à
5 découpage. Plus particulièrement, l'invention porte sur un convertisseur de
tension continu-continu (DC/DC) non isolé de type Buck quasi-résonant,
notamment pour des applications régulateur de point de charge. La
conversion de tension continue est utilisée dans de nombreux domaines
10 technologiques allant de la nécessité à convertir la tension d'alimentation de
dispositifs, tel que la conversion de la tension délivrée par une batterie
d'ordinateur portable vers un processeur; à des applications évoluant dans
des environnements beaucoup plus critiques tel que celui du spatial.

De manière générale, la fonction d'un convertisseur de tension DC/DC en sa
15 sortie est soit d'augmenter une tension présente en son entrée, soit de la
baisser afin d'alimenter le dispositif se trouvant en aval. La figure 1.
représente un convertisseur Buck selon l'art antérieur. Ce convertisseur
comprend deux interrupteurs commandés en tension **Qhs** et **Qls** de type
MOSFET (de l'anglais, « Metal Oxide Semiconductor Field Effect
20 Transistor »), un circuit de régulation en mode contrôle courant qui permet de
réguler le niveau de tension de sortie **Vout** du convertisseur en fonction du
signal du courant **Mes. I** circulant dans le premier interrupteur **Qhs**. Ce
circuit de régulation comprend :

- un circuit de contrôle **107** qui peut être réalisé sous la forme d'un
25 circuit logique programmé ou câblé, tel qu'avec des bascules et qui
permet de contrôler l'ouverture ou la fermeture des interrupteurs;
- un amplificateur d'erreur **MEA** qui génère un signal de consigne
Icons proportionnel à une différence entre le niveau de tension de
sortie du convertisseur et une tension de référence;

- un comparateur **Comp** permettant de comparer le signal du courant circulant dans le premier interrupteur et le signal de consigne.

5 Le convertisseur comprend également en sortie un filtre passe-bas constitué d'une inductance de sortie **Lout** et d'une capacité de sortie **Cout**. Un oscillateur **Osc** relié en entrée du circuit de contrôle permet, sur le front montant de ses impulsions, de commander le premier interrupteur. Le convertisseur Buck comporte deux régimes distincts dans sa période de
10 fonctionnement. Chaque régime est caractérisé par l'état premier interrupteur **Qhs**. Un régime dit «ON» est obtenu pour un état fermé du premier interrupteur **Qhs**, tandis qu'un régime dit «OFF» correspond à un état ouvert du premier interrupteur.

L'oscillateur est connecté à l'entrée **ON** du circuit de contrôle **107** et permet
15 de démarrer une période de fonctionnement, sur les fronts montants de ses impulsions, en générant la commande de fermeture du premier interrupteur **HS_Cmd**. Cette commande de fermeture débute le régime « ON » du convertisseur. L'oscillateur peut être réalisé au moyen d'un circuit analogique ou d'un résonateur ou d'un quartz et fixe la fréquence de fonctionnement du
20 convertisseur.

Dans une première phase (régime «ON»), le premier interrupteur **Qhs** est fermé. Le courant augmente rapidement jusqu'à atteindre la valeur de celui qui circule dans l'inductance de sortie, puis il augmente plus lentement
25 jusqu'à atteindre sa valeur maximale à la fin de cette première phase. Le courant dans l'inductance de sortie croît et est égal au courant dans **Qhs**. Durant toute cette phase, le deuxième interrupteur **Qls** est ouvert (la commande d'ouverture a eu lieu juste avant de fermer l'interrupteur **Qhs**). La commande de fermeture de **Qhs** et la commande d'ouverture de **Qls** se font

avec des pertes qui augmentent avec la fréquence de fonctionnement du convertisseur.

Dans une deuxième phase (régime «OFF»), l'interrupteur **Qhs** reçoit une
5 commande d'ouverture puis l'interrupteur **Qls** reçoit une commande de
fermeture. Le courant dans l'inductance de sortie est égal au courant dans
Qls et décroît. La commande d'ouverture de **Qhs** et, dans une moindre
mesure, la commande de fermeture de **Qls** se fait avec des pertes et
augmente avec la fréquence de fonctionnement du convertisseur.

10

La régulation de la tension de sortie convertie est linéaire et comprend deux
boucles d'asservissement imbriquées. La première boucle est externe et
réalisée avec l'amplificateur d'erreur **MEA** qui permet de générer un signal
de consigne **Icons** image d'un courant fonction de (par exemple à) la
15 différence entre une tension de référence **Vref**, connectée à sa première
entrée, et le niveau de tension converti connecté à sa deuxième entrée.
Cette première boucle contrôle la valeur moyenne du niveau de tension
converti. La deuxième boucle est interne et réalisée avec le comparateur
Comp dont la première entrée est présentée au signal de consigne **Icons** et
20 dont la deuxième entrée est présentée au signal **Imes** image du courant
circulant dans le premier interrupteur. Cette deuxième boucle permet un
contrôle sur la valeur maximale du courant. La commande d'ouverture de
Qhs se produit lorsque le signal image du courant **Mes. I** atteint la valeur du
signal image **Icons**.

25

Dans ce type de convertisseur, les éléments réactifs sont volumineux.

Une solution connue visant à réduire l'encombrement des éléments réactifs,
et par conséquent celui du convertisseur, consiste à augmenter la fréquence

de commutation des interrupteurs. Néanmoins, cette augmentation de la fréquence de commutation augmente les pertes de commutations et engendre des problèmes d'incompatibilités électromagnétiques. La vitesse de la régulation du niveau de tension est un facteur important pour ce type de convertisseur car elle permet de délivrer une tension constante à la charge quel que soit les appels de courant que celle-ci impose (appel important et rapide pour des charges numérique de dernière génération). Avec le principe de régulation mise en œuvre avec l'état de l'art actuel, la vitesse de régulation est limitée par la vitesse de l'amplificateur d'erreur et par le respect des marges de stabilités pour avoir un contrôle de la tension de sortie stable. Cette stabilité peut aussi être remise en cause par la nature de la charge de sortie (choix de l'utilisateur). Pour avoir un système stable, la vitesse maximale de régulation est fixée au moment de la conception et elle ne peut être amélioré par des choix décidés au niveau de l'utilisateur (ajout d'une capacité de sortie, par exemple). Ce type de régulation conduit à faire des compromis qui doivent être compensés par l'augmentation de la capacité de sortie et ne permettent pas de minimiser la taille du convertisseur.

L'invention vise à obtenir une régulation rapide du niveau de tension de sortie du convertisseur, qui permette de travailler à haute fréquence afin de miniaturiser les composants réactifs sans avoir besoin de surdimensionner ceux-ci et de laisser la possibilité à l'utilisateur d'améliorer encore les performances dynamiques via l'ajout de solutions de filtrage en sortie.

Conformément à l'invention, la régulation du niveau de tension de sortie s'effectue grâce à un circuit non linéaire disposant ainsi d'un comportement dynamique rapide. Ce type de régulation est particulièrement bien adapté à un convertisseur ayant des transistors présentant des phases de commutations fermées de durée constante COT (de l'anglais, « Constant On Time »). Un élément de cette régulation est l'ajout d'une ondulation de

tension sur le niveau de tension de sortie du convertisseur. Cette ondulation de tension additionnelle, croissante ou décroissante en fonction de l'état de fermeture ou d'ouverture du premier interrupteur, garantit un fonctionnement stable de la régulation face à des perturbations de tension ou à la nature de la charge. Les transistors permettant une fréquence de travail élevée peuvent en particulier être des HEMTs (de l'anglais, « High Electron Mobility Transistors) sur un substrat GaN (nitride de gallium). Finalement le convertisseur dispose d'un circuit de protection contre les surcharges qui permet d'arrêter la prochaine itération de transfert de charges lorsque le courant circulant dans le transistor atteint une valeur critique prédéterminée.

Un objet de l'invention est un convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant comprenant une porte d'entrée ayant une première borne apte à recevoir un niveau de tension à convertir, une porte de sortie ayant une première borne apte à fournir un niveau de tension convertie, une ligne de masse connectant une deuxième borne de ladite porte d'entrée à une deuxième borne de ladite porte de sortie, un premier interrupteur connecté en série à ladite première borne de la porte d'entrée et un circuit de régulation présentant une borne d'entrée connectée à ladite première borne de la porte de sortie du convertisseur et une borne de sortie connectée à une borne de commande dudit premier interrupteur, ledit circuit de régulation étant configuré pour :

- générer une ondulation de tension croissante ou décroissante en fonction d'un état de fermeture ou ouverture dudit premier interrupteur ;
- générer un signal de consigne (V_{cons}) proportionnel à une différence entre un niveau moyen de tension convertie et une tension de référence ;
- effectuer une première comparaison entre ledit signal de consigne et ledit niveau de tension convertie auquel a été additionné ladite ondulation de tension ; et

- en fonction du résultat de ladite première comparaison, générer ou pas sur sa sortie un signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur pendant une durée prédéfinie.

Selon des modes de réalisation particuliers d'un tel convertisseur de tension

5 - Ledit circuit de régulation peut comprendre en outre : un circuit de contrôle ayant une sortie apte à délivrer ledit signal d'activation; et un circuit comparateur ayant une sortie apte à délivrer ledit résultat de ladite comparaison, ladite sortie étant connectée à une première entrée dudit circuit de contrôle.

10 - Ledit circuit de régulation peut comprendre en outre : un circuit d'ajout d'ondulation configuré pour délivrer ledit niveau de tension converti auquel a été additionné ladite ondulation de tension, le circuit d'ajout d'ondulation ayant une première entrée connectée à ladite première borne de la porte de sortie dudit convertisseur, une deuxième entrée connectée à une sortie dudit
15 circuit de contrôle, et une sortie connectée à une première entrée dudit circuit comparateur ; et un amplificateur d'erreur apte à délivrer ledit signal de consigne, ledit amplificateur ayant une première entrée connectée à ladite première borne de la porte de sortie dudit convertisseur, une deuxième entrée configurée pour recevoir ladite tension de référence, et une sortie
20 connectée à une deuxième entrée dudit circuit comparateur.

- Ledit circuit de contrôle peut être en outre configuré pour piloter : la fermeture ou l'ouverture dudit premier interrupteur; la génération, sur ladite deuxième entrée dudit circuit d'ajout d'ondulation, de ladite tension croissante ou décroissante.

25

- Ledit convertisseur peut comprendre en outre : une inductance de résonance connectée en série avec ledit premier interrupteur, ayant une première et une deuxième borne, ladite première borne étant reliée audit premier interrupteur; une capacité de résonance, ayant une première et une

deuxième borne, ladite première borne étant reliée à la deuxième borne de l'inductance de résonance; un deuxième interrupteur relié d'une part à ladite première borne de la capacité de résonance et d'autre part à ladite deuxième borne de la capacité de résonance.

5 - Ledit convertisseur peut comprendre également un filtre passe-bas de sortie.

- Ledit circuit de régulation peut comprendre un circuit de protection contre les surcharges comprenant un circuit de mesure d'un courant circulant dans ledit deuxième interrupteur; et un circuit comparateur présentant : une
10 première entrée pour un signal d'un courant maximum prédéterminé; une deuxième entrée connectée audit circuit de mesure du courant circulant dans ledit deuxième interrupteur; ledit circuit de protection contre les surcharges présentant en outre une sortie connectée à une deuxième entrée dudit circuit de contrôle; ledit circuit de contrôle étant configuré pour délivrer, sur sa
15 sortie, un signal dépendant d'une comparaison entre ladite première entrée et ladite deuxième entrée et pilotant l'ouverture dudit premier interrupteur tant que ledit signal représentatif du courant circulant dans ledit deuxième interrupteur est au minimum égal audit signal du courant maximum prédéterminé. Plus particulièrement, ledit circuit de mesure de courant peut
20 comprendre une résistance reliée entre la deuxième borne de la capacité de résonance et ladite ligne de masse.

- Ledit convertisseur peut comprendre également une diode de roue libre montée en parallèle audit premier interrupteur, ayant une cathode connectée à la première borne de la première porte, ladite durée prédéfinie
25 étant choisie pour ouvrir ledit premier interrupteur lorsque le courant traversant ledit premier interrupteur circule dans ladite diode de roue libre.

- Ledit circuit de contrôle peut être configuré pour ouvrir ledit premier interrupteur pour une durée minimale prédéterminée.

- Ledit premier interrupteur et ledit deuxième interrupteur peuvent présenter un temps de commutation inférieur ou égal à 100 ns et de préférence inférieur ou égal à 10 ns. Plus particulièrement, ledit premier interrupteur et ledit deuxième interrupteur peuvent être réalisés en
5 technologie GaN.

Un autre objet de l'invention est un procédé de conversion d'une tension au moyen d'un convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant, le convertisseur de tension comprenant une porte d'entrée ayant une première borne apte à recevoir un niveau de tension à convertir,
10 une porte de sortie ayant une première borne apte à fournir un niveau de tension convertie, une ligne de masse connectant une deuxième borne de ladite porte d'entrée à une deuxième borne de ladite porte de sortie, un premier interrupteur connecté en série à ladite première borne de la porte d'entrée et un circuit de régulation présentant une borne d'entrée connectée
15 à ladite première borne de la porte de sortie du convertisseur et une borne de sortie connectée à une borne de commande dudit premier interrupteur, le procédé comportant les étapes de:

- génération d'une ondulation de tension, croissante ou décroissante en fonction d'un état de fermeture ou ouverture dudit premier interrupteur ;
- 20 - génération d'un signal de consigne proportionnel à une différence entre un niveau moyen de tension convertie et une tension de référence ;
- comparaison entre ledit signal de consigne et ledit niveau de tension convertie auquel a été additionné ladite ondulation de tension ; et en fonction du résultat de ladite première comparaison;
- 25 - génération ou non d'un signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur pendant une durée prédéfinie.

Selon un mode de réalisation d'un tel procédé, ledit convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant comprend également une

inductance de résonance connectée en série avec ledit premier interrupteur, ayant une première et une deuxième borne, ladite première borne étant reliée audit premier interrupteur; une capacité de résonance, ayant une première et une deuxième borne, ladite première borne étant reliée à la
5 deuxième borne de l'inductance de résonance; un deuxième interrupteur relié d'une part à ladite première borne de la capacité de résonance et d'autre part à ladite deuxième borne de la capacité de résonance ; le procédé comprenant en outre des étapes de : génération d'un signal de fermeture du deuxième interrupteur lorsque la tension entre la deuxième
10 borne (MP) de l'inductance de résonance et la ligne de masse devient négative ; et génération d'un signal d'ouverture du deuxième interrupteur en correspondance de la génération du signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à
15 titre non limitatif, et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1, déjà décrite, illustre le schéma électrique d'un convertisseur de tension Buck selon l'art antérieur;
- la figure 2 illustre le schéma électrique d'un convertisseur Buck
20 quasi-résonant selon un mode de réalisation de l'invention;
- la figure 3 illustre un mode de réalisation du circuit d'ajout d'ondulation du convertisseur de la figure 2;
- la figure 4 illustre les chronogrammes du principe de la régulation de la tension de sortie convertie du convertisseur de la figure 2;
- la figure 5 illustre les chronogrammes du principe de la protection
25 contre les surcharges du convertisseur de la figure 2.

Dans la description suivante, les termes interrupteur et transistor sont utilisés de manière interchangeable. De même, la tension de sortie du convertisseur sera tantôt identifiée comme étant **Vout**, tantôt comme étant le niveau de tension converti.

5

La figure 2 illustre un convertisseur de tension Buck selon un mode de réalisation de l'invention. Dans ce mode de réalisation, seule la phase « ON » du convertisseur a une durée constante qui est définie au préalable. Cette dernière qui correspond à la durée de fermeture du premier interrupteur **Qhs** est calculée pour obtenir une commutation douce, c'est-à-dire, à la fermeture, une commutation qui se produit à zéro de courant du fait de la présence de la self de résonance **Lr** en série, à l'ouverture, une commutation qui se produit lorsque le courant dans l'interrupteur est négatif et, de ce fait, circule dans la diode située en parallèle. Le convertisseur présente une porte d'entrée **201** apte à recevoir un niveau tension à convertir et une porte de sortie **206** permettant de fournir un niveau de tension converti. La porte d'entrée **201** comprend une première et une deuxième borne, respectivement **202** et **203**. La porte de sortie **206** comprend également une première et une deuxième borne, respectivement **204** et **205**. Une ligne de masse est connectée entre la deuxième borne **203** et la deuxième borne **205**. Connectée en parallèle avec la porte d'entrée **201** du convertisseur, entre la première borne **202** et la deuxième borne **203**, une capacité **Cin** permet de filtrer le niveau de tension à convertir. Un premier interrupteur **Qhs** constitué par un HEMT est connecté en série d'une part à la première borne **202** de la porte d'entrée et d'autre part à la première borne **214** d'une inductance de résonance **Lr**. Selon un mode de réalisation, l'interrupteur **Qhs** est connecté en parallèle avec une diode de roue libre dont la cathode est connectée à la borne **202**. Le HEMT est selon un mode de réalisation préféré en technologie GaN. Le choix du GaN est justifié par sa robustesse aux radiations, sa faible résistance de contact et par sa

vitesse de commutations rapide qui dans un système à commutation douce ne créé pas d'inconvénients. Avantagement, le transistor permet un temps de commutation de quelques ns à quelques dizaines de ns, de préférence inférieur ou égal à 100 ns voire à 10 ns. La deuxième borne de

5 l'inductance de résonance **Lr** est reliée à la première borne d'une capacité de résonance **Cr** et au point de mesure **MP**. Un deuxième interrupteur **Qls** est connecté entre la première et la deuxième borne de la capacité de résonance **Cr** (une solution alternative consiste à connecter la seconde borne de la capacité **Cr** à la masse). Selon un mode de réalisation privilégié,

10 une diode de roue libre dont la cathode est reliée au point de mesure **MP** est reliée en parallèle avec l'interrupteur **Qls**. La présence de cette diode n'est toutefois pas indispensable. Selon un mode de réalisation, une résistance **Rsh** permet une mesure du courant circulant dans le deuxième interrupteur **Qls**. La résistance est connectée entre la deuxième borne de la capacité de

15 résonance **Cr** et la ligne de masse. Le filtre passe-bas de sortie comprend, une inductance **Lout** reliée entre le point de mesure **MP** et la première borne **204** et une capacité **Cout** reliée entre la première borne **204** et la deuxième borne **205**. Relié à la porte de sortie du convertisseur, un circuit de régulation **211** comprenant un circuit d'ajout d'ondulation **Ond. Add.**, un amplificateur

20 d'erreur **MEA**, un comparateur **210**, et un circuit de contrôle **207** permet de :

- générer une ondulation de tension, croissante pour un état fermé du premier interrupteur **Qhs** et décroissante pour un état ouvert du premier interrupteur **Qhs**;
- générer un signal de consigne proportionnel à une différence entre le
- 25 niveau moyen de tension converti et une tension de référence **Vref**;
- effectuer une première comparaison entre le signal de consigne **Vcons** et le niveau de tension converti auquel a été additionné l'ondulation de tension ; et
- en fonction du résultat de la première comparaison, générer ou pas
- 30 sur sa sortie un signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur pendant une durée **TON** prédéfinie représentée sur la figure 4.

Plus précisément, dans le mode de réalisation de la figure 2, le signal d'activation pilote la fermeture du premier interrupteur pour un niveau de tension converti auquel a été additionné l'ondulation de tension inférieur ou égal à la tension de consigne.

5

Une première entrée du circuit d'ajout d'ondulation **Ond.Add.** est reliée à la première borne **204** de la porte de sortie **206** du convertisseur, tandis que la deuxième entrée est reliée à la sortie du circuit de contrôle **207** qui est apte également à délivrer le signal d'activation du premier interrupteur **Qhs**. Le schéma électrique du circuit d'ajout d'ondulation est représenté sur la figure 3. L'amplificateur d'erreur **MEA** permettant de générer le signal de consigne **Vcons** présente une première entrée reliée à la tension de référence **Vref** et une deuxième entrée reliée à la première borne **204** de la porte de sortie **206** du convertisseur. Le comparateur **210** permettant d'effectuer la première comparaison présente une première entrée reliée à la sortie de l'amplificateur d'erreur **MEA** et une deuxième entrée reliée à la sortie du circuit d'ajout d'ondulation **Ond. Add.**. La sortie du comparateur **210**, reliée à la première entrée du circuit de contrôle **207**, fournit un signal binaire représentatif du résultat de la première comparaison permettant de générer le signal d'activation pilotant la fermeture du premier interrupteur lorsque le signal décroissant représentant l'addition du niveau de tension converti et de l'ondulation devient égal au signal de consigne **Vcons**. Dans un mode de réalisation, le circuit de contrôle **207** est un circuit programmable tel qu'un FPGA (de l'anglais, « Field Programmable Gate Array »). Cette régulation permet de contrôler la tension de sortie de manière très rapide car elle est basée sur un comparateur utilisé dans un mode de contrôle inconditionnellement stable. Cette vitesse de régulation maximale, permet de réaliser un convertisseur possédant de très bonnes performances dynamiques. La performance de régulation statique est assuré par le MEA qui vient modifier la consigne appliquée au comparateur afin d'avoir une tension de sortie moyenne parfaitement régulée. La protection contre les

10
15
20
25
30

surcharges du circuit de régulation **211** comprend un comparateur **212** présentant une première entrée pour un signal d'un courant maximum **I_{max}** prédéterminé et une deuxième entrée reliée au circuit de mesure du courant circulant dans le deuxième interrupteur **Q_{ls}**. La figure 5 présente les
5 chronogrammes de fonctionnement de la protection contre les surcharges. En outre, le circuit de contrôle **207** est configuré pour ouvrir le premier interrupteur **Q_{hs}** pendant une durée minimale prédéterminée ce qui permet de limiter la fréquence maximale de fonctionnement du convertisseur durant les phases transitoires.

10

Sur la figure 3 est représenté le schéma électrique d'un mode de réalisation particulier du circuit d'ajout d'ondulation représenté par **Ond.Add.** sur la figure 2. Le circuit d'ajout d'ondulation permet d'une part de générer une ondulation de tension, croissante ou décroissante en fonction de l'état de
15 fermeture ou ouverture du premier interrupteur **Q_{hs}**, et d'autre part d'ajouter l'ondulation ainsi générée au niveau de tension converti. Relié entre la tension de sortie convertie **V_{out}** et la masse se trouve un pont diviseur de tension comprenant les résistances **R_{s1}** et **R_{s2}**. **R_{s2}** présente une première borne représentant sa première entrée qui est reliée à la tension de sortie **V_{out}** et une deuxième borne reliée à la première borne de
20 **R_{s1}**. La deuxième borne de **R_{s1}** est reliée à la masse. Le point milieu du pont diviseur de tension représente la sortie du circuit d'ajout d'ondulation qui est reliée à la première entrée du circuit comparateur. Deux capacités **C_{i1}** et **C₂** sont connectées en série. La première borne de la capacité **C_{i1}** est également connectée à la tension de sortie convertie **V_{out}** et sa deuxième
25 borne est connectée d'une part à la première borne de la capacité **C₂** et d'autre part à une première borne d'une résistance **R_{i1}**. La deuxième borne de **R_{i1}** est connectée à la sortie du circuit de contrôle, tandis que la deuxième borne de **C₂** est également connectée au point milieu du pont
30 diviseur de tension.

Dans un autre mode de réalisation le circuit d'ajout d'ondulation peut être intégré à un circuit dédié avec le circuit de contrôle.

La figure 4 représente des chronogrammes illustrant le principe de la régulation du niveau de tension converti **Vout** sensiblement constant. Pour éviter que le niveau de tension converti ne soit trop sensible aux perturbations, il faut une différence minimale de variation entre la valeur maximale et la valeur minimale du niveau de tension converti. Le signal **Ond.** représente l'ondulation de tension croissante ou décroissante, créée par le circuit d'ajout d'ondulation, en fonction de l'état de fermeture ou ouverture du premier interrupteur **Qhs**. L'ondulation est générée puis additionnée au niveau de tension converti par le circuit représenté sur la figure 3. Le résultat de l'addition de l'ondulation **Ond.** au niveau de tension converti est représenté par le signal **Vout + Ond.**. Ce dernier représente une tension croissante ou décroissante en fonction de l'état de fermeture ou ouverture du premier interrupteur **Qhs** qui comprend une composante DC égale à **Vout**. Avant l'instant **401**, le signal **Vout + Ond** décroît et devient égal au signal de consigne **404**. Cette égalité entre le signal **Vout + Ond** et le signal de consigne **404** génère le passage à l'état haut du signal **Vlow** en sortie du comparateur. Le signal **Vlow** est transmis sur la première entrée du circuit de contrôle vers sa logique de contrôle interne générant le signal d'activation **HS_Cmd** pilotant la fermeture du premier interrupteur. Le signal d'activation **HS_Cmd** reste à l'état haut pendant la durée **Ton** pour laquelle le signal **Vout + Ond** croît. À l'instant **402**, **HS_Cmd** passe à l'état bas et le signal **Vout + Ond** qui est maximal commence à décroître. Le signal converti **Vout + Ond** décroît jusqu'à l'instant **403** où il redevient égal au signal de consigne **404** qui entraîne un nouveau cycle d'activation du premier interrupteur.

La figure 5 illustre les chronogrammes montrant le principe de la régulation de la protection contre les surcharges selon le mode de réalisation privilégié

de la figure 2. Le chronogramme de **Vout** représente le niveau de tension converti. Jusqu'à l'instant **501** la fonction de protection contre les surcharges n'est pas effective. En effet le courant **I Qls** reste inférieur à la valeur maximale autorisée **Imax**. À l'instant **501**, le courant **I Qls** atteint brièvement la valeur **Imax**, ce qui entraîne le passage à l'état haut **502** bref de **I_high**. Le dépassement de **Imax** par **I Qls** à l'instant **501** n'est pas suffisamment important en amplitude et en temps pour interdire la conduction de **HS_Cmd** à l'instant **503**. En revanche à l'instant **504**, le dépassement de **I Qls** du courant **Imax** est important en amplitude et en temps. Ceci entraîne le passage à l'état haut de **I_high** à l'instant **505** et interdit le passage à l'état haut de **HS_Cmd**. À l'instant **506** le niveau de tension converti **Vout** n'ayant pas reçu de transfert de charges à cause de l'état bas de **HS_Cmd** décroît, ce qui entraîne le passage à l'état haut de **V_low**. À l'instant **507**, le courant **I Qls** a suffisamment décro pour autoriser le passage à l'état haut de **HS_Cmd**. Le niveau de tension converti **Vout** étant toujours trop bas, **V_low** reste à un état haut. À l'instant **507** une autre commande de passage à l'état haut de **HS_Cmd** est autorisée. Lorsque la surcharge de sortie diminue (avant instant **509**), le courant décroît, le signal **I_high** retombe à zéro et la tension de sortie **Vout** croît jusqu'à son niveau de référence à l'instant **509**, entraînant le passage à l'état bas de **Vlow** traduisant la fin de la période de fonctionnement en surcharge. En outre, le circuit de contrôle **207** représenté sur la figure 2. est configuré pour:

- fermer le deuxième interrupteur **Qls** lorsque la tension entre le point de mesure **MP** et la ligne de masse devient négative, ceci étant une indication de la conduction imminente de la diode de roue libre en parallèle avec **Qls**;
- ouvrir le deuxième interrupteur **Qls** lorsque **Vlow** passe à l'état haut, ceci étant une indication du passage possible à l'état fermé (« ON ») du premier interrupteur **Qhs**.

Le circuit de mesure de courant selon un mode de réalisation comprend un capteur à effet Hall. Dans un autre mode de réalisation, les transistors GaN sont remplacés par des transistors développés avec des matériaux III-V et de préférences à grand gap. L'ensemble des fonctions du circuit de régulation 5 peuvent être réalisées et intégrées dans un circuit dédié tel qu'un ASIC (de l'anglais « Application Specific Integrated Circuit »). Les convertisseurs de l'art antérieur offrent typiquement un rendement de l'ordre de 90%. À de tels niveaux de performances les gains en rendement requièrent un effort 10 important. Néanmoins, le convertisseur de l'objet de l'invention offre une amélioration considérable des performances avec un rendement de 95%.

REVENDEICATIONS

1. Convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant comprenant une porte d'entrée (201) ayant une première borne (202) apte à recevoir un niveau de tension à convertir, une porte de sortie (206) ayant une première borne (204) apte à fournir un niveau de tension convertie, une ligne de masse connectant une deuxième borne (203) de ladite porte d'entrée à une deuxième borne (205) de ladite porte de sortie, un premier interrupteur (Qhs) connecté en série à ladite première borne de la porte d'entrée et un circuit de régulation (211) présentant une borne d'entrée (208) connectée à ladite première borne de la porte de sortie du convertisseur et une borne de sortie (209) connectée à une borne de commande dudit premier interrupteur, caractérisé en ce que ledit circuit de régulation est configuré pour :

- générer une ondulation de tension (Ond.), croissante ou décroissante en fonction d'un état de fermeture ou ouverture dudit premier interrupteur ;

- générer un signal de consigne (V_{cons}) proportionnel à une différence entre un niveau moyen de tension convertie et une tension de référence (V_{ref}) ;

- effectuer une première comparaison (210) entre ledit signal de consigne et ledit niveau de tension convertie auquel a été additionné ladite ondulation de tension ; et

- en fonction du résultat de ladite première comparaison, générer ou pas sur sa sortie un signal d'activation (HS_Cmd) pilotant la fermeture dudit premier interrupteur pendant une durée prédéfinie (T_{on}).

2. Convertisseur de tension selon la revendication 1, dans lequel :

- ledit circuit de régulation (211) comprend en outre :

- un circuit de contrôle (207) ayant une sortie apte à délivrer ledit signal d'activation; et

- un circuit comparateur ayant une sortie apte à délivrer ledit résultat de ladite comparaison, ladite sortie étant connectée à une première entrée dudit circuit de contrôle;

- ledit circuit de régulation comprend en outre :

5 - un circuit d'ajout d'ondulation (Ond.Add.) configuré pour délivrer ledit niveau de tension converti auquel a été additionné ladite ondulation de tension, le circuit d'ajout d'ondulation ayant une première entrée (208) connectée à ladite première borne de la porte de sortie dudit convertisseur, une deuxième entrée connectée à une sortie dudit circuit de contrôle, et une sortie connectée à une
10 première entrée dudit circuit comparateur (210);

- un amplificateur d'erreur (MEA) apte à délivrer ledit signal de consigne, ledit amplificateur ayant une première entrée connectée à ladite première borne de la porte de sortie dudit convertisseur, une deuxième entrée configurée pour recevoir ladite tension de référence, et une sortie connectée à une deuxième entrée dudit
15 circuit comparateur;

- ledit circuit de contrôle est en outre configuré pour piloter :

- la fermeture ou l'ouverture dudit premier interrupteur;

- la génération, sur ladite deuxième entrée dudit circuit d'ajout d'ondulation, de ladite tension (Ond.) croissante ou décroissante.

20

3. Convertisseur de tension selon la revendication 2, dans lequel ledit convertisseur comprend en outre :

- une inductance de résonance (L_r) connectée en série avec ledit premier interrupteur, ayant une première (214) et une deuxième borne, ladite première borne
25 étant reliée audit premier interrupteur;

- une capacité de résonance (C_r), ayant une première et une deuxième borne, ladite première borne étant reliée à la deuxième borne (MP) de l'inductance de résonance;

un deuxième interrupteur (Q1s) relié d'une part à ladite première borne de la capacité de résonance et d'autre part à ladite deuxième borne de la capacité de résonance.

5 4. Convertisseur de tension selon une des revendications précédentes, comprenant également un filtre passe-bas de sortie.

10 5. Convertisseur de tension selon la revendication 3, dans lequel ledit circuit de régulation comprend un circuit de protection contre les surcharges comprenant un circuit de mesure d'un courant circulant dans ledit deuxième interrupteur; et un circuit comparateur (212) présentant :

- une première entrée pour un signal d'un courant maximum (I_{max}) prédéterminé;

15 - une deuxième entrée connectée audit circuit de mesure du courant circulant dans ledit deuxième interrupteur;

20 ledit circuit de protection contre les surcharges présentant en outre une sortie connectée à une deuxième entrée dudit circuit de contrôle; ledit circuit de contrôle étant configuré pour délivrer, sur sa sortie, un signal (I_{high}) dépendant d'une comparaison entre ladite première entrée et ladite deuxième entrée et pilotant l'ouverture dudit premier interrupteur tant que ledit signal représentatif du courant circulant dans ledit deuxième interrupteur est au minimum égal audit signal du courant maximum prédéterminé.

25 6 Convertisseur de tension selon la revendication 5, dans lequel ledit circuit de mesure de courant comprend une résistance (R_{sh}) reliée entre la deuxième borne de la capacité de résonance et ladite ligne de masse.

30 7. Convertisseur de tension selon une des revendications précédentes, comprenant une diode de roue libre montée en parallèle audit premier interrupteur, ayant une cathode connectée à la première borne de la première porte, dans lequel

ladite durée prédéfinie (Ton) est choisie pour ouvrir ledit premier interrupteur lorsque le courant traversant ledit premier interrupteur circule dans ladite diode de roue libre.

5 8. Convertisseur de tension selon une des revendications 2, 3, 5 et 6, dans lequel ledit circuit de contrôle est configuré pour ouvrir ledit premier interrupteur pour une durée minimale prédéterminée afin de limiter la fréquence de fonctionnement maximum.

10 9. Convertisseur de tension selon une des revendications 3, 5 et 6, dans lequel ledit premier interrupteur et ledit deuxième interrupteur présentent un temps de commutation inférieur ou égal à 100 ns et de préférence inférieur ou égal à 10 ns.

15 10. Convertisseur de tension selon la revendication 9, dans lequel ledit premier interrupteur et ledit deuxième interrupteur sont réalisés en technologie GaN.

11. Convertisseur de tension selon la revendication 3, dans lequel ledit premier interrupteur et ledit deuxième interrupteur comprennent une diode de roue libre.

20 12. Procédé de conversion d'une tension au moyen d'un convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant, le convertisseur de tension comprenant une porte d'entrée ayant une première borne apte à recevoir un niveau de tension à convertir, une porte de sortie ayant une première borne apte à fournir un niveau de tension convertie, une ligne de masse connectant une deuxième borne de
25 ladite porte d'entrée à une deuxième borne de ladite porte de sortie, un premier interrupteur connecté en série à ladite première borne de la porte d'entrée et un circuit de régulation présentant une borne d'entrée connectée à ladite première borne de la porte de sortie du convertisseur et une borne de sortie connectée à une borne de commande dudit premier interrupteur, le procédé comportant les étapes de:

- génération d'une ondulation de tension, croissante ou décroissante en fonction d'un état de fermeture ou ouverture dudit premier interrupteur ;

- génération d'un signal de consigne proportionnel à une différence entre un niveau moyen de tension convertie et une tension de référence ;

5 - comparaison entre ledit signal de consigne et ledit niveau de tension convertie auquel a été additionné ladite ondulation de tension ; et en fonction du résultat de ladite première comparaison;

- génération ou non d'un signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur pendant une durée prédéfinie.

10

13. Procédé de conversion d'une tension selon la revendication 12 dans lequel ledit convertisseur de tension continue de type Buck quasi-résonant comprend également une inductance de résonance (L_r) connectée en série avec ledit premier interrupteur, ayant une première (214) et une deuxième borne, ladite première borne
15 étant reliée audit premier interrupteur; une capacité de résonance (C_r), ayant une première et une deuxième borne, ladite première borne étant reliée à la deuxième borne (MP) de l'inductance de résonance; un deuxième interrupteur (Q1s) relié d'une part à ladite première borne de la capacité de résonance et d'autre part à ladite
20 deuxième borne de la capacité de résonance ; le procédé comprenant en outre des étapes de :

- génération d'un signal de fermeture du deuxième interrupteur lorsque lorsque la tension entre la deuxième borne (MP) de l'inductance de résonance et la ligne de masse devient négative ; et

25 - génération d'un signal d'ouverture du deuxième interrupteur en correspondance de la génération du signal d'activation pilotant la fermeture dudit premier interrupteur.

1/3

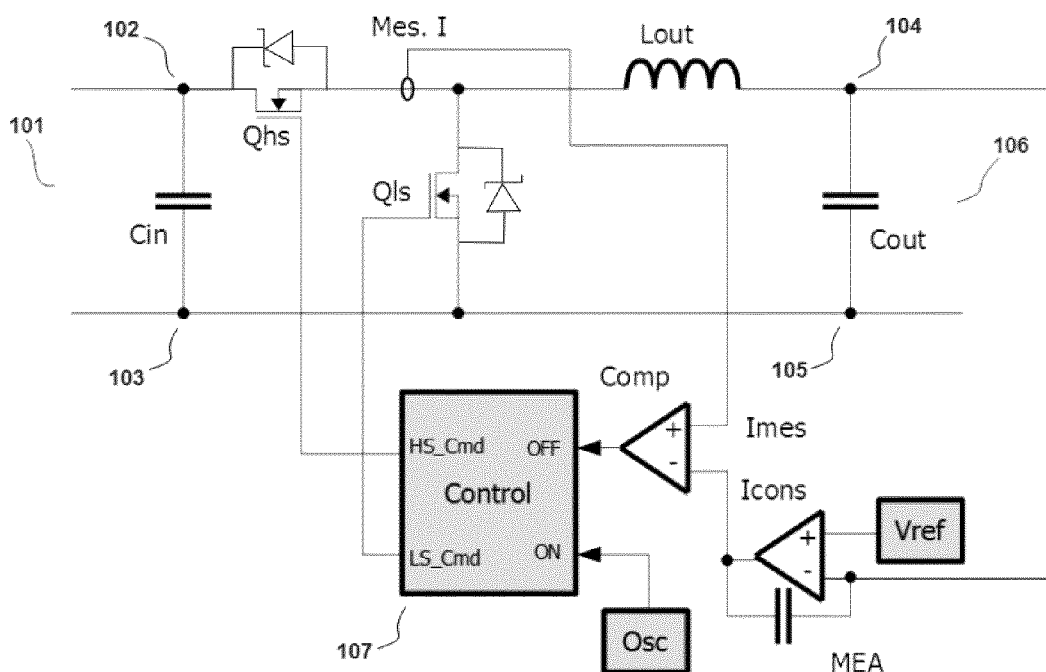


Figure 1.

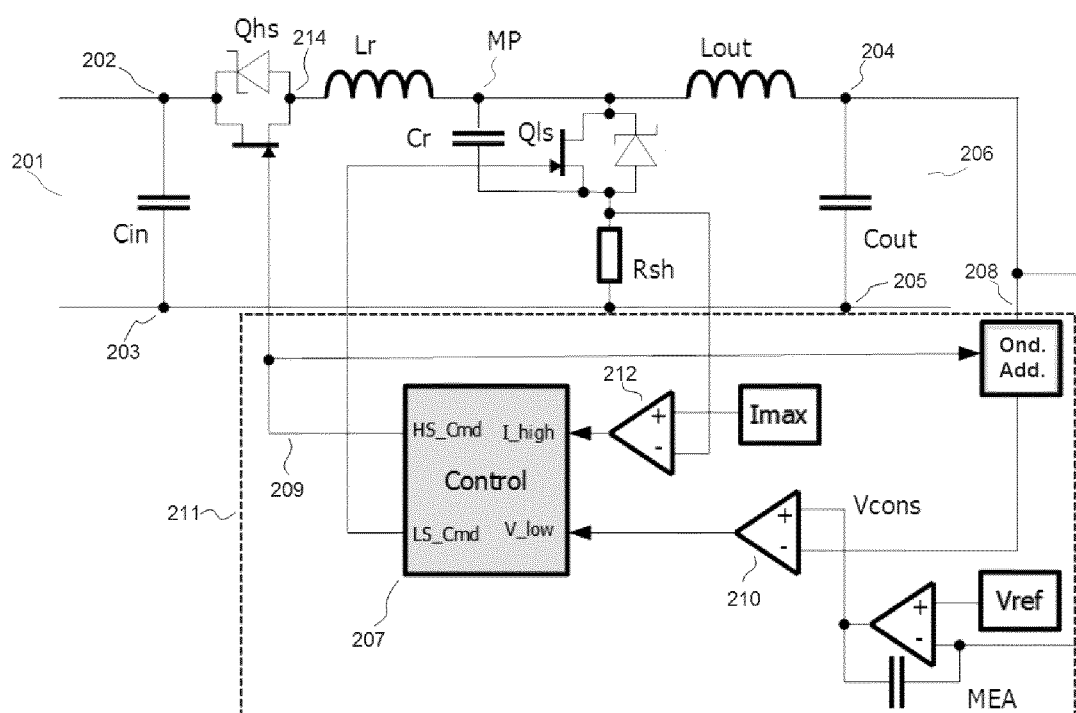


Figure 2.

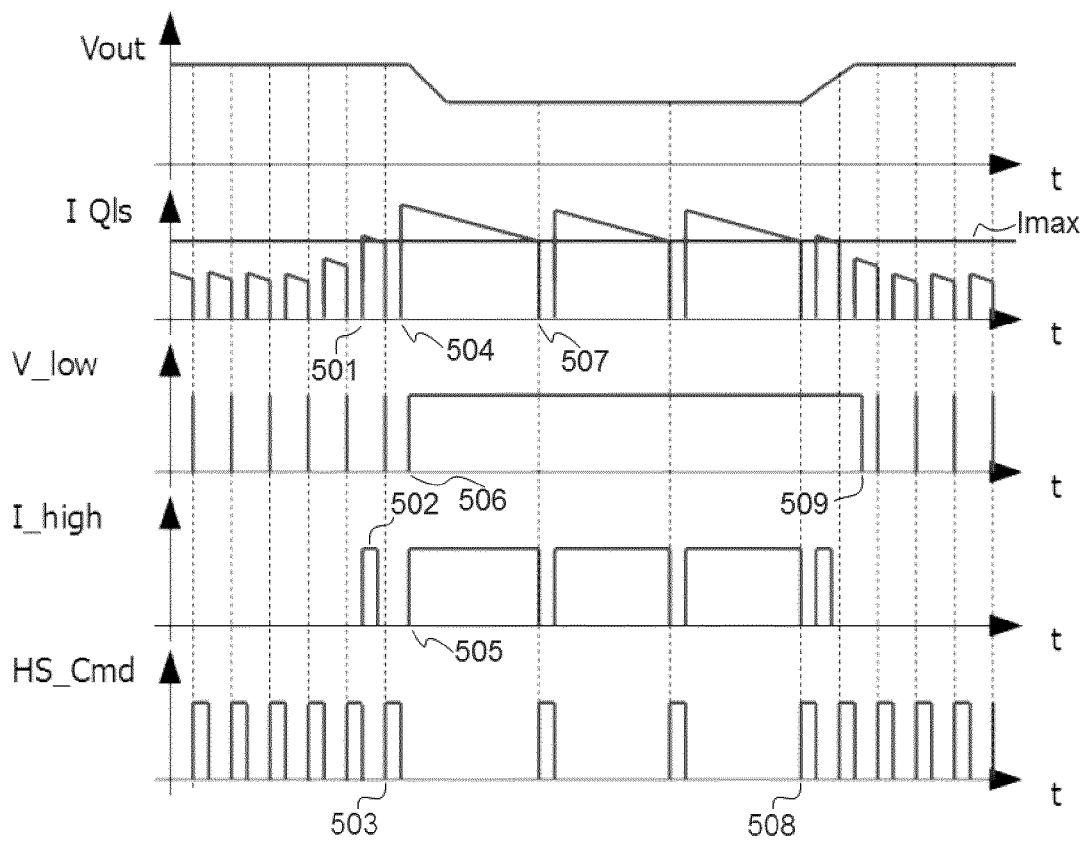


Figure 5.

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 836119
FR 1662501

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	US 2013/002223 A1 (XI XIAOYU [CN]) 3 janvier 2013 (2013-01-03)	1,2,4-13	H02M3/28
Y	* figure 4 *	3	
Y	----- KWANG-HWA LIU ET AL: "ZERO-VOLTAGE SWITCHING TECHNIQUE IN DC/DC CONVERTERS", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 5, no. 3, 1 juillet 1990 (1990-07-01) , pages 293-304, XP000137426, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/63.56520 * figures 1,7 *	3	
A	----- US 2005/135036 A1 (KANAMORI ATSUSHI [JP] ET AL) 23 juin 2005 (2005-06-23) * figure 1 *	5	
X	----- US 2014/049239 A1 (LABBE BENOIT [FR]) 20 février 2014 (2014-02-20) * figures 3-6 *	1,12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 septembre 2017		Gotzig, Bernhard	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1662501 FA 836119**

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 **18-09-2017**

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2013002223 A1	03-01-2013	CN 102364855 A	29-02-2012
		TW 201325042 A	16-06-2013
		US 2013002223 A1	03-01-2013

US 2005135036 A1	23-06-2005	CN 1630175 A	22-06-2005
		JP 3957682 B2	15-08-2007
		JP 2005184991 A	07-07-2005
		US 2005135036 A1	23-06-2005

US 2014049239 A1	20-02-2014	EP 2885861 A1	24-06-2015
		US 2014049239 A1	20-02-2014
		WO 2014027085 A1	20-02-2014
