(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 128 573***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **21 11347**

(51) Int Cl[8] : ***H 01 F 27/28*** *(2020.12), H 05 K 3/46*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 26.10.21.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 28.04.23 Bulletin 23/17.

(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 par actions simplifiée (SAS)* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** COLONNA Cédric.

(73) **Titulaire(s) :** 3D PLUS Société par actions simplifiée (SAS).

(74) **Mandataire(s) :** ATOUT PI LAPLACE.

(54) Structure innovante de composant électromagnétique planar.

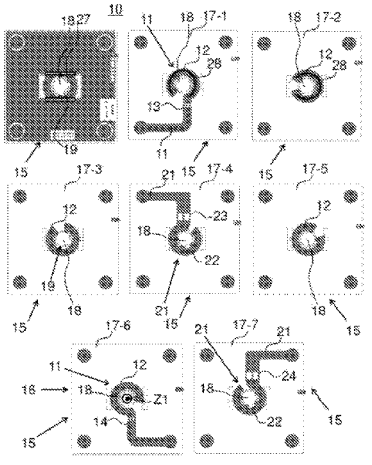
(57) L'invention concerne une structure innovante de transformateur planar, le transformateur (10) comprenant :

un circuit primaire (11) comprenant un enroulement primaire (12) de N1 tours; un circuit secondaire (21) comprenant un enroulement secondaire (22) de N2 tours ;un circuit imprimé (15) de couches superposées entre elles, formant une ouverture (18) définissant un pourtour (19) ; des vias (27) disposés au centre des enroulements primaire (12) et secondaire (22) sur le pourtour (19) de l'ouverture (18),

les N1 et N2 tours étant disposés chacun sur une couche, selon une alternance quelconque entre les N1 et N2 tours, chacun des N1 et N2 tours s'enroulant, partiellement autour des vias (27) en formant un arc de cercle (28) par couche;

l'arc de cercle (28) d'une couche étant distinctement orienté par rapport aux arcs de cercle (28) des autres couches.

Fig. 2



FR 3 128 573 - A1

Description

Titre de l'invention : Structure innovante de composant électromagnétique planar

[0001] La présente invention se situe dans le domaine des composants magnétiques planar, tels que les inductances, les inductances couplées, les transformateurs. L'invention porte plus spécifiquement sur une structure innovante de transformateur planar.

[0002] Actuellement, la quasi-totalité des alimentations à découpage intègrent des composants magnétiques. Ces composants peuvent être achetés comme composants grand public et ajoutés au design ou développés en interne. L'invention concerne cette seconde possibilité et en particulier une catégorie de composants magnétiques appelés planars (planaires en français). L'idée principale de cette technologie est d'intégrer les enroulements des composants à l'intérieur du PCB. Les composants magnétiques planar sont une solution pour l'intégration de puissance. Ces composants sont notamment réalisés à l'aide de noyaux magnétiques (ferrite) aplatis et d'enroulements réalisés en circuit imprimé (PCB). Les avantages de ces composants magnétiques planars sont multiples : ils permettent une meilleure intégration du composant dans le design, la reproductibilité des caractéristiques électriques du composant est accrue, ils permettent un design du composant sur mesures et donc, l'optimiser pour l'utilisation.

[0003] La [Fig.1] représente schématiquement un exemple d'implémentation d'un composant magnétique planar 5 selon l'état de l'art. Ce composant 5 se compose d'un circuit électrique 6, constitué d'un ou plusieurs enroulements 7, eux-mêmes constitués d'un ou plusieurs tours (7-1, 7-2, 7-3, 7-4). Ces enroulements visent à produire un champ magnétique. Ce champ peut être utilisé pour le stockage d'énergie (inductance) ou pour le transfert (transformateur). Le composant 5 comprend un noyau ferromagnétique 8, qui permet de canaliser le champ magnétique. On parle alors de circuit magnétique. Ce noyau 8 peut être réalisé dans plusieurs matériaux selon l'application cible (puissance/fréquence/prix/encombrement/performances). Le noyau 8 peut comprendre un entrefer 9, petit espace d'air dans le circuit, s'étendant parallèlement au plan du circuit.

[0004] La circulation du courant dans le circuit électrique génère des pertes de la même façon que la circulation du champ magnétique dans le circuit magnétique. Les pertes dans les deux éléments sont respectivement appelées pertes cuivre et pertes fer. Ces pertes sont interdépendantes. Il est donc souhaitable d'optimiser les dimensions de chacun des éléments en fonction de l'application afin de maximiser les performances de l'ensemble.

[0005] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un

transformateur comprenant une structure innovante de composant électromagnétique permettant d'optimiser les performances du transformateur en minimisant les pertes, en améliorant l'intégration du PCB (abréviation de Printed Circuit Board, pour circuit imprimé) par limitation des vias en périphérie de composants, en limitant les inductances parasites et améliorant les couplages.

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet un transformateur comprenant :

- un circuit primaire comprenant un enroulement primaire de N1 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement primaire s'étendant depuis un terminal primaire d'entrée vers un terminal primaire de sortie ; et
- un circuit secondaire comprenant un enroulement secondaire de N2 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement secondaire s'étendant depuis un terminal secondaire d'entrée vers un terminal secondaire de sortie, N1 et N2 étant chacun un nombre entier supérieur ou égal à 1 ;

le transformateur étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un circuit imprimé s'étendant selon un premier plan, et comprenant une pluralité de couches superposées entre elles et formant une ouverture à travers le premier plan autour d'un premier axe et définissant un pourtour ;
- un noyau ferromagnétique, disposé autour des enroulements primaire et secondaire, comprenant une partie centrale disposée dans l'ouverture ;
- une pluralité de vias disposés au centre des enroulements primaire et secondaire sur le pourtour de l'ouverture, et s'étendant à travers les couches, chacun selon un axe parallèle au premier axe, la pluralité de vias étant configurés pour interconnecter la pluralité de couches ;

en ce que les N1 tours et les N2 tours du fil électrique conducteur sont disposés chacun sur une de la pluralité de couches, selon une alternance quelconque entre les N1 tours et les N2 tours, chacun des N1 tours et des N2 tours s'enroulant, depuis un premier via de la pluralité de vias, partiellement autour de la pluralité de vias formant un arc de cercle par couche, vers un deuxième via de la pluralité de vias ;

et en ce que l'arc de cercle d'une couche est distinctement orienté par rapport aux arcs de cercle des autres couches et d'orientation distincte des arcs de cercle des autres couches.

[0007] Avantageusement, le noyau ferromagnétique comprend un entrefer s'étendant selon un deuxième axe sensiblement perpendiculaire au premier plan.

[0008] Avantageusement, les terminaux d'entrée sont superposés aux terminaux de sortie selon un troisième axe sensiblement perpendiculaire au premier plan.

[0009] Avantageusement, au moins une parmi la pluralité de couches est un plan de blindage, préférentiellement un plan de masse.

[0010] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la

description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

[0011] la [Fig.1] représente schématiquement un exemple d'implémentation d'un composant magnétique planar selon l'état de l'art ;

[0012] la [Fig.2] représente schématiquement un exemple de disposition, autour des vias centraux, des enroulements primaire et secondaire d'un transformateur selon l'invention ;

[0013] la [Fig.3] représente schématiquement un exemple de vias disposés au centre des enroulements primaires d'une inductance selon l'invention ;

[0014] la [Fig.4] représente schématiquement un exemple d'implémentation des enroulements d'un transformateur selon l'invention ;

[0015] la [Fig.5] représente schématiquement la variation de la densité de courant selon une disposition traditionnelle de l'entrefer et une disposition de l'entrefer selon l'invention ;

[0016] la [Fig.6] représente schématiquement l'induction entre les conducteurs selon l'alternance des tours des enroulements primaire et secondaire ;

[0017] la [Fig.7] représente schématiquement l'homogénéisation de la densité de courant dans les terminaux d'entrée et de sortie des enroulements primaire et secondaire disposés selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0018] la [Fig.8] représente schématiquement un exemple de mise en œuvre d'une couche de blindage dans un transformateur selon l'invention ;

[0019] la [Fig.9] représente schématiquement un schéma classique électrique d'un redressement synchrone ;

[0020] la [Fig.10] représente schématiquement l'optimisation des terminaux de sortie pour le redressement synchrone selon l'invention.

[0021] Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures. Pour une meilleure visibilité et dans un souci de compréhension accrue, les éléments ne sont pas toujours représentés à l'échelle.

[0022] La [Fig.1] représente schématiquement un exemple d'implémentation d'un composant magnétique planar 5 selon l'état de l'art et a déjà été décrite dans l'introduction.

[0023] La [Fig.2] représente schématiquement un transformateur 10 selon l'invention avec un exemple de disposition, autour des vias centraux, des enroulements primaire et secondaire. Sur cette figure, les éléments principaux du transformateur sont représentés par couches (normalement superposées). A noter qu'il s'agit ici d'une illustration, le nombre de couches étant uniquement indiqué à titre d'exemple non-limitatif. Un Homme du métier comprend que ce nombre de couches peut être supérieur ou inférieur à celui de la figure. Le transformateur 10 comprend un circuit primaire 11 comprenant

un enroulement primaire 12 de N1 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement primaire 12 s'étendant depuis un terminal primaire d'entrée 13 vers un terminal primaire de sortie 14. Le transformateur 10 comprend un circuit secondaire 21 comprenant un enroulement secondaire 22 de N2 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement secondaire 22 s'étendant depuis un terminal secondaire d'entrée 23 vers un terminal secondaire de sortie 24 (N1 et N2 étant chacun un nombre entier supérieur ou égal à 1). Le transformateur 10 comprend un circuit imprimé 15 (décomposé sur la figure en plusieurs couches) s'étendant selon un premier plan 16, et comprenant une pluralité de couches 17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7 superposées entre elles et formant une ouverture 18 à travers le premier plan 16 autour d'un premier axe Z1 et définissant un pourtour 19. Le transformateur 10 comprend un noyau ferromagnétique 25 (non représenté sur cette figure, mais destiné à être inséré dans l'ouverture 18, et disposé autour des enroulements primaire 12 et secondaire 22, comprenant une partie centrale 26 disposée dans l'ouverture 18). Le transformateur 10 comprend une pluralité de vias 27 disposés au centre des enroulements primaire 12 et secondaire 22 sur le pourtour 19 de l'ouverture 18, et s'étendant à travers les couches 17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7, chacun selon un axe parallèle au premier axe Z1, la pluralité de vias 27 étant configurés pour interconnecter la pluralité de couches 17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7.

[0024] Selon l'invention, les N1 tours et les N2 tours du fil électrique conducteur sont disposés chacun sur une de la pluralité de couches, selon une alternance quelconque entre les N1 tours et les N2 tours. Autrement dit, il y a un tour (soit de l'enroulement primaire, soit de l'enroulement secondaire) par couche. Et l'alternance quelconque signifie que dans leur superposition, un tour de l'enroulement primaire peut être superposé à un tour de l'enroulement secondaire ou de l'enroulement primaire. Toutes les combinaisons de superposition entre primaire et secondaire sont envisageables. Chacun des N1 tours et des N2 tours s'enroule, depuis un premier via de la pluralité de vias 27, partiellement autour de la pluralité de vias 27 formant un arc de cercle 28 par couche, vers un deuxième via de la pluralité de vias 27. En d'autres termes, par couche, le tour de l'enroulement (primaire ou secondaire) n'est pas un tour complet, le tour ne fait les 360° autour de l'ouverture 18. Ainsi, quelques vias par couche ne sont pas entourés par ledit tour. La disposition centrale des vias apporte une grande flexibilité au positionnement des couches qui peuvent être intercalées les unes par rapport aux autres, et donc au positionnement des tours de l'enroulement primaire et de l'enroulement secondaire.

[0025] En outre, l'arc de cercle 28 d'une couche est distinctement orienté par rapport aux arcs de cercle 28 des autres couches et d'orientation distincte des arcs de cercle des autres couches. Un tour, au niveau du pourtour 19 de l'ouverture 18, peut être

considéré comme ayant une première extrémité et une seconde extrémité à proximité du pourtour. La première et seconde extrémités sont espacées d'un certain nombre de vias. Cet espacement entre la première et seconde extrémités se retrouve sur chacune des couches, et les espacements respectifs des couches ne sont pas superposés.

[0026] Le transformateur selon l'invention permet une meilleure intégration et facilite la mise en œuvre d'un blindage afin de limiter d'autant plus l'impact de flux de fuite au voisinage de l'entrefer. La minimisation de l'induction au niveau des interconnexions permet la diminution des pertes. Tous ces aspects et avantages de l'invention sont détaillés ci-après.

[0027] La [Fig.3] représente schématiquement un exemple de vias 27 disposés au centre de l'enroulement 12 d'une inductance 10 selon l'invention. Sur cette illustration, il faut considérer que le schéma (b) est répété six fois et décalé à chaque fois. Il en résulte une inductance avec 7 tours d'un fil électrique conducteur (donc N1 = 3), implémentée sur 8 couches (une fois encore, seules trois couches sont représentées pour une meilleure lisibilité de la figure). L'enroulement 12 s'étend depuis le terminal primaire d'entrée 13 vers le terminal primaire de sortie 14.

[0028] L'utilisation de vias au centre du composant magnétique permet une réalisation simplifiée des différents enroulements. Pour celle-ci, il est possible de reproduire un enroulement élémentaire sur chacune des couches (b) afin de réaliser l'enroulement désiré. Un seul tour est réalisé par couche de PCB. Le passage entre les différentes couches se fait par l'intermédiaire des vias centraux 27. Un ou plusieurs vias peuvent être utilisés dans cette optique en fonction du courant souhaité dans les enroulements et de la taille du noyau 25 (et sa partie centrale 26).

[0029] Cette configuration d'un tour par couche va à l'encontre des pratiques connues. En effet, usuellement, dans l'électronique de puissance, on étale sur une seule couche le nombre de tours (comme montré sur la [Fig.1]). Le fait de considérer un tour par couche nécessite ici un nombre de couches de PCB important si l'on souhaite réaliser un nombre de tours important. En contrepartie, le fait de mettre les vias au centre, sur le pourtour de l'ouverture, permet de diminuer les résistances d'accès couche à couche et libère de l'espace en périphérie du composant, ce qui permet une meilleure intégration.

[0030] La [Fig.4] représente schématiquement un exemple d'implémentation des enroulements primaire 12 et secondaire 22 d'un transformateur 10 selon l'invention. Plus précisément, l'enroulement de sortie est incorporé au sein de la couronne de vias centraux 27. Dans le but d'entrelacer les enroulements primaire et le secondaire, là aussi les vias permettant les interconnexions entre les couches 17 sont eux aussi entrelacés. Les tours de l'enroulement secondaire peuvent être insérés chacun entre deux tours de l'enroulement primaire et/ou entre un tour de l'enroulement primaire et un

tour de l'enroulement secondaire. Cette configuration est avantageuse pour un transformateur puisqu'elle permet une meilleure intégration et facilite la mise en œuvre d'un blindage afin de limiter d'autant plus l'impact des effets de proximité (et uniquement dans le cas où le composant dispose d'un entrefer). La minimisation de l'induction au niveau des interconnexions permet la diminution des pertes.

[0031] La [Fig.5] représente schématiquement la variation de la densité de courant selon une disposition traditionnelle de l'entrefer (à gauche de la figure) et une disposition de l'entrefer selon l'invention (à droite de la figure). Cette représentation se base sur une illustration issue de la publication Schafer 2018 Optimal Design of Highly Efficient and Highly Compact PCB Winding Inductors. Selon l'invention, le noyau ferromagnétique 25 comprend un entrefer 29 s'étendant selon un deuxième axe Z2 sensiblement perpendiculaire au premier plan 16. L'utilisation d'un entrefer vertical 29 est rendu possible par l'usinage de noyaux existants ou de matière brute. Dans le commerce, les noyaux planars présentent le plus souvent un entrefer disposé sur la jambe centrale ce qui fait rayonner le champ dans une direction parallèle aux enroulements planars (voir illustration de gauche). La configuration à gauche de la figure représente un conducteur en cuivre au centre soumis à des champs de fuites émanant des deux entrefers dans le noyau magnétique. Les densités de courant sont concentrées sur les bords du conducteur ce qui diminue l'efficacité de la solution. Plus précisément, dans une disposition traditionnelle de l'entrefer (dite horizontale), le champ magnétique se propage dans le noyau. Au niveau de l'entrefer, les lignes de champ rayonnent autour de l'entrefer et ces lignes de champ tendent à concentrer les courants circulant dans le conducteur vers l'extérieur à tel point que le courant ne circule que sur l'extérieur, là où les lignes de champ le concentrent. Autrement dit, seule une petite partie du conducteur est réellement utilisée. Dans la configuration à droite de la figure, correspondant à l'invention, les champs de fuite arrivent perpendiculairement au conducteur ce qui permet la diminution de la densité de courant et donc des pertes. Plus précisément, dans une disposition verticale, le champ rayonne de façon perpendiculaire (voir illustration de droite), ce qui diminue les effets de proximité au noyau et donc diminue la concentration de courant, aux extrémités, dans le circuit électrique. Les courants sont concentrés en surface et la totalité du conducteur est utilisée. Il en résulte un impact positif sur le rayonnement. Ainsi, la résistance de l'enroulement est diminuée.

[0032] La [Fig.6] représente schématiquement l'induction entre les conducteurs selon l'alternance des tours des enroulements primaire et secondaire. Sur la partie inférieure de la figure, les conducteurs dans un transformateur planar sont représentés. Les couches annotées P1 représentent les conducteurs primaires tandis que les couches annotées S1 représentent les conducteurs secondaires. Sur la partie gauche de la figure,

les tours de l'enroulement primaire et les tours de l'enroulement secondaire sont disposés en alternance, le choix du mode d'alternance est facilité selon l'invention. Sur la partie droite de la figure, les tours de l'enroulement primaire et les tours de l'enroulement secondaire se succèdent, sans aucune alternance entre les enroulements primaires et secondaires. Sur le même schéma, le profil de l'induction théorique est donné (H). L'induction entre les conducteurs augmente la concentration des courants dans ceux-ci, ce qui augmente les pertes. On voit que sans alternance, l'induction maximale obtenue est supérieure à l'induction maximale obtenue dans le cas d'un transformateur selon l'invention (avec alternance des tours). Cela génère beaucoup de pertes par conduction entre les deux couches centrales (P1 et S1) qui ont une résistance beaucoup plus grande.

[0033] La [Fig.7] représente schématiquement l'homogénéisation de la densité de courant dans les terminaux d'entrée et de sortie des enroulements primaire et secondaire disposés selon un mode de réalisation de l'invention. Cette représentation se base sur une illustration issue de la publication Schafer 2018 Optimal Design of Highly Efficient and Highly Compact PCB Winding Inductors. Dans ce mode de réalisation de l'invention, les terminaux d'entrée 13, 23 sont superposés aux terminaux de sortie 14, 24 selon un troisième axe Z3 sensiblement perpendiculaire au premier plan 16, comme on peut le voir sur la partie supérieure à droite de la figure. Cela permet d'éviter les phénomènes de concentration de champ entre les deux plans. Avec les terminaux positionnés dans deux plans différents parallèles, le courant est davantage réparti dans tout le plan et pas seulement concentré au milieu d'un seul plan. La partie inférieure de la figure représente les résultats d'une simulation par éléments finis de la densité de courant avec des terminaux adjacents (sur la gauche de la figure) et des terminaux superposés selon l'invention (sur la droite de la figure).

[0034] Il en ressort que l'entrelacement des conducteurs permet de réduire l'induction entre les conducteurs et donc les concentrations de courant. Une disposition des terminaux verticalement permet d'homogénéiser les densités de courant et donc de réduire les pertes dans les terminaux.

[0035] La [Fig.8] représente schématiquement une vue en coupe, dans un plan perpendiculaire au premier plan 16, d'un exemple de mise en œuvre d'une couche de blindage dans un transformateur selon l'invention. Dans un mode de réalisation d'un transformateur de l'invention, au moins une parmi la pluralité de couches 27 est un plan de blindage 31, préférentiellement un plan de masse. Le plan de blindage concentre les courants de Foucault qui génèrent des pertes. Ainsi, grâce au plan de blindage, ces pertes sont générées dans le plan de blindage et non plus dans les enroulements. Le but est de limiter les pertes totales. La résistance équivalente du circuit dépend des différentes résistances dans le circuit. Avec plan de blindage, cette ré-

sistance est diminuée.

[0036] Le plan de blindage 31 est le plus souvent un plan de masse. Le champ de fuite crée dans ce plan un courant induit (courant de Foucault) qui vient y générer des pertes. La distance du blindage à l'entrefer, l'épaisseur du blindage ainsi que la distance du blindage au conducteur dépendent de la puissance mise en jeu, de la fréquence de fonctionnement (et forme des signaux), et de la performance recherchée par rapport à l'intégration du composant.

[0037] Dans le cas général, l'implémentation de la solution est profitable si elle permet de réduire les pertes totales. Dans un cas d'utilisation particulier qu'est le convertisseur résonnant, la diminution de la résistance équivalente des conducteurs est un facteur à prendre en compte. Limiter cette résistance permet de faciliter la résonnance primaire et donc la commutation douce. Dans ce cas particulier, il sera donc aussi nécessaire de prendre en compte le gain apporté par ce fonctionnement sur le dimensionnement du magnétique.

[0038] L'invention permet d'améliorer les performances générales d'un composant magnétique planar par un ensemble de caractéristiques aux avantages nombreux :

- La disposition des vias au centre afin de réaliser l'interconnexion des différentes couches, en particulier dans le cas du transformateur avec les vias des enroulements primaire et secondaire et une flexibilité dans le choix d'entrelacement (c'est-à-dire intercalés les uns entre les autres) ;
- La présence d'un plan de blindage associé à un entrefer vertical qui permet de limiter l'effet des flux de fuite sur les conducteurs. Dans une configuration résonnante cet avantage est d'autant plus valorisable ;
- L'optimisation des terminaux de sortie pour améliorer le redressement synchrone. Cet avantage est valorisé surtout dans les convertisseurs à fort courant de sortie et haute fréquence de fonctionnement nécessitant l'utilisation d'un ou plusieurs transistors GaN.

[0039] La [Fig.9] représente schématiquement un schéma classique électrique d'un redressement synchrone. Sur cette figure, à gauche est représenté le transformateur (coupleur idéal), Rs représente la résistance série parasite de l'enroulement secondaire et du routage, QR le transistor de redressement synchrone, DQR et CQR les composants parasites associés à ce transistor. Cout et Rout représentent la capacité de sortie du convertisseur et la charge respectivement.

[0040] Sur l'exemple que l'on va traiter, seulement deux plans permettent de réaliser l'enroulement secondaire. Il est possible d'imaginer une configuration différente afin d'optimiser les performances (plus de cuivre au secondaire signifie moins de pertes).

[0041] La [Fig.10] représente schématiquement l'optimisation des terminaux de sortie pour le redressement synchrone selon l'invention. Comme décrit précédemment,

l'enroulement peut être réalisé en utilisant un groupe de vias sur deux. Par l'optimisation des terminaux du transformateur, il est possible d'améliorer l'intégration du secondaire afin de minimiser les pertes au niveau du redressement synchrone. Généralement, on procède à un abaissement de tension entre le primaire et le secondaire. Il en résulte une tension au secondaire plus faible qu'au primaire. Cela signifie aussi de plus forts courants au secondaire. Il est souhaitable de minimiser la résistance sur les terminaux secondaires pour optimiser les performances. Sur la figure, le chemin du courant est minimisé vers la sortie.

[0042] Cette amélioration conduit à une diminution de la résistance R_S et des inductances parasites au secondaire. En outre, elle permet une augmentation plus facile du nombre de transistors au redressement synchrone, ce qui permet de diminuer d'autant plus les pertes.

[0043] Enfin, il est ainsi possible de placer les drivers au plus proche des transistors, point critique pour les transistors GaN par exemple.

[0044] On peut souligner que l'optimisation des différents paramètres des composants magnétiques discutés ci-dessus est adaptable à la plupart des configurations de convertisseurs.

[0045] Ainsi, l'invention comporte plusieurs caractéristiques techniques, combinables entre elles, dont les effets techniques sont listés ci-dessous :

[0046] - Utilisation de vias disposés au centre du planar (proche de la partie centrale). Cette configuration permet une répartition plus facile des différents enroulements sans pénaliser l'intégration extérieure au composant. Cette disposition permet en outre un entrelacement des couches simplifié.

[0047] - Utilisation d'un entrefer usiné sur le dessus du noyau magnétique. Contrairement à une disposition horizontale de l'entrefer, une disposition verticale et orthogonale aux enroulements permet de limiter les effets de proximité aux enroulements et donc diminue les pertes cuivres surtout à haute fréquence (>500 kHz).

[0048] – Entrelacement/superposition des terminaux sur un plan vertical. L'entrelacement permet de diminuer l'induction et donc les fortes concentrations de courant. La disposition verticale permet d'utiliser la section totale des conducteurs planars et donc de diminuer la résistance AC.

[0049] - Utilisation de plans de blindage. Situés au plus proche de l'entrefer, ils permettent de limiter les effets de proximité sur les conducteurs. La disposition de l'entrefer verticale associée aux blindages minimise les effets de l'entrefer sur les conducteurs.

[0050] - Optimisation des terminaux pour l'intégration des transistors GaN. Le redressement synchrone fonctionnant à forte fréquence, fort courant, il est nécessaire de limiter les inductances et résistances parasites au secondaire. Une disposition entrelacée et optimisée du secondaire permet d'augmenter les performances de ce type de système.

[0051] Il apparaîtra plus généralement à l'Homme du métier que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué. Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant les revendications aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'Homme du métier se basant sur ses connaissances générales.

Revendications

[Revendication 1] Transformateur (10) comprenant :

- un circuit primaire (11) comprenant un enroulement primaire (12) de N1 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement primaire (12) s'étendant depuis un terminal primaire d'entrée (13) vers un terminal primaire de sortie (14) ; et
- un circuit secondaire (21) comprenant un enroulement secondaire (22) de N2 tours d'un fil électrique conducteur, l'enroulement secondaire (22) s'étendant depuis un terminal secondaire d'entrée (23) vers un terminal secondaire de sortie (24), N1 et N2 étant chacun un nombre entier supérieur ou égal à 1 ;

le transformateur (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un circuit imprimé (15) s'étendant selon un premier plan (16), et comprenant une pluralité de couches (17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7) superposées entre elles et formant une ouverture (18) à travers le premier plan (16) autour d'un premier axe (Z1) et définissant un pourtour (19) ;
- un noyau ferromagnétique (25), disposé autour des enroulements primaire (12) et secondaire (22), comprenant une partie centrale (26) disposée dans l'ouverture (18) ;
- une pluralité de vias (27) disposés au centre des enroulements primaire (12) et secondaire (22) sur le pourtour (19) de l'ouverture (18), et s'étendant à travers les couches (17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7), chacun selon un axe parallèle au premier axe (Z1), la pluralité de vias (27) étant configurés pour interconnecter la pluralité de couches ;

en ce que les N1 tours et les N2 tours du fil électrique conducteur sont disposés chacun sur une de la pluralité de couches, selon une alternance quelconque entre les N1 tours et les N2 tours, chacun des N1 tours et des N2 tours s'enroulant, depuis un premier via de la pluralité de vias (27), partiellement autour de la pluralité de vias (27) formant un arc de cercle (28) par couche, vers un deuxième via de la pluralité de vias (27) ;

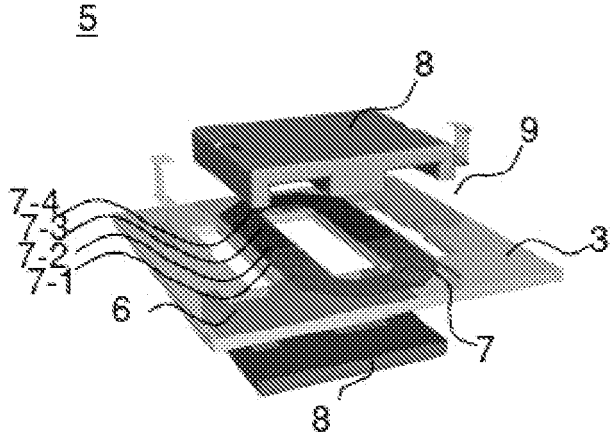
et en ce que l'arc de cercle (28) d'une couche est distinctement orienté par rapport aux arcs de cercle (28) des autres couches et d'orientation distincte des arcs de cercle des autres couches.

[Revendication 2] Transformateur selon la revendication 1, dans lequel le noyau ferromagnétique (25) comprend un entrefer (29) s'étendant selon un deuxième axe (Z2) sensiblement perpendiculaire au premier plan (16).

[Revendication 3] Transformateur selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les terminaux d'entrée (13, 23) sont superposés aux terminaux de sortie (14, 24) selon un troisième axe (Z3) sensiblement perpendiculaire au premier plan (16).

[Revendication 4] Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel au moins une parmi la pluralité de couches (27) est un plan de blindage (31), préférentiellement un plan de masse.

[Fig. 1]



(Art antérieur)

FIG. 1

[Fig. 2]

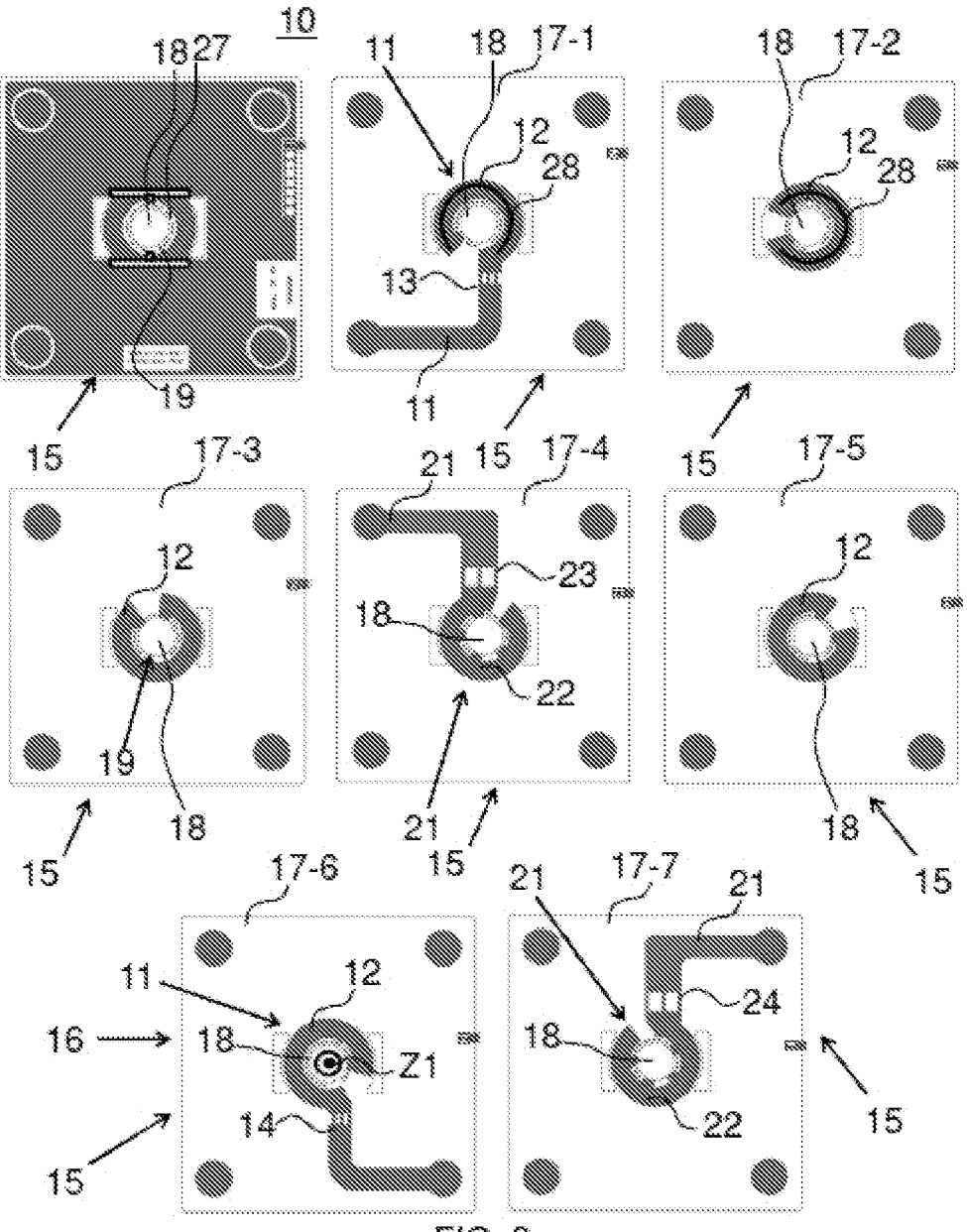


FIG. 2

[Fig. 3]

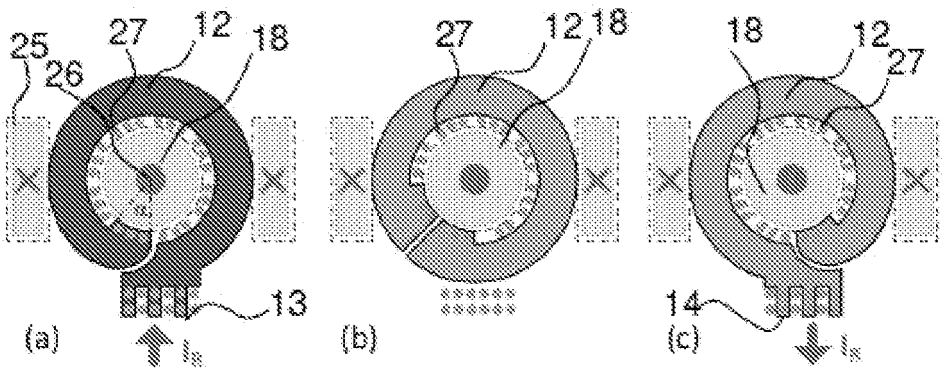


FIG. 3

[Fig. 4]

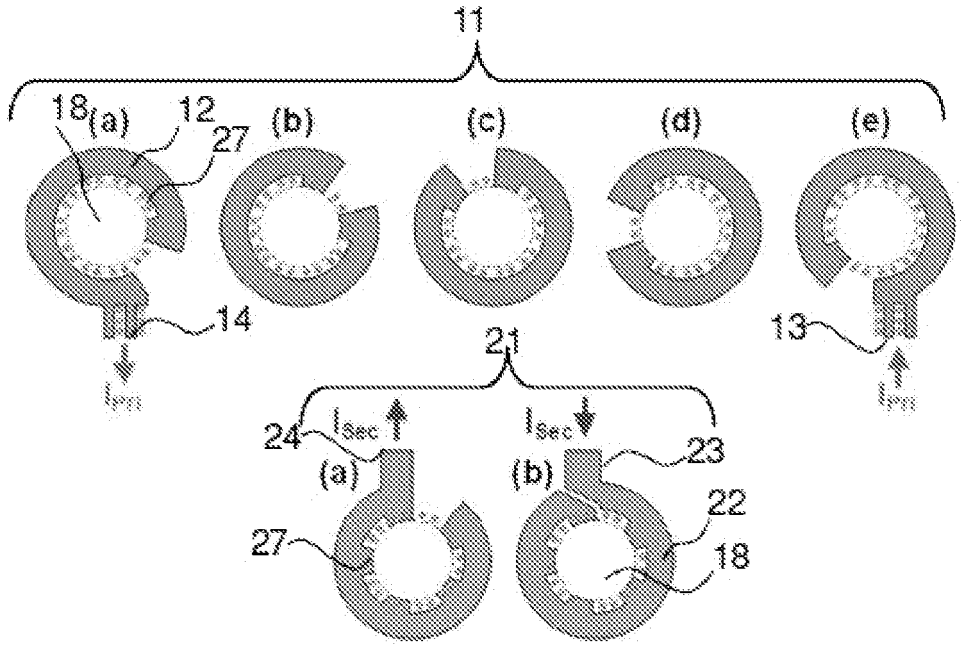


FIG. 4

[Fig. 5]

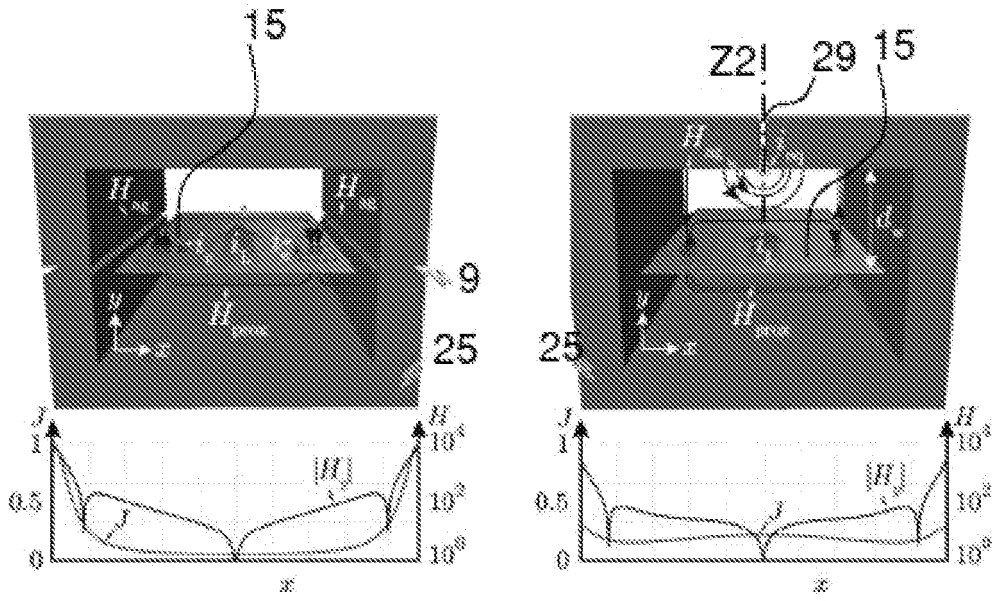


FIG. 5

[Fig. 6]

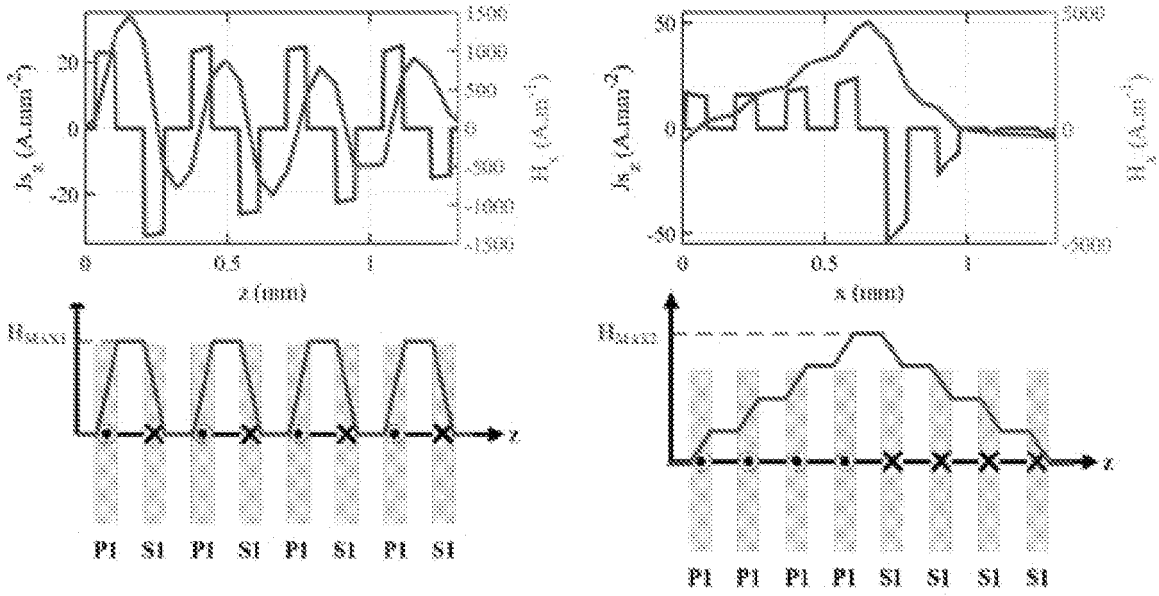


FIG. 6

[Fig. 7]

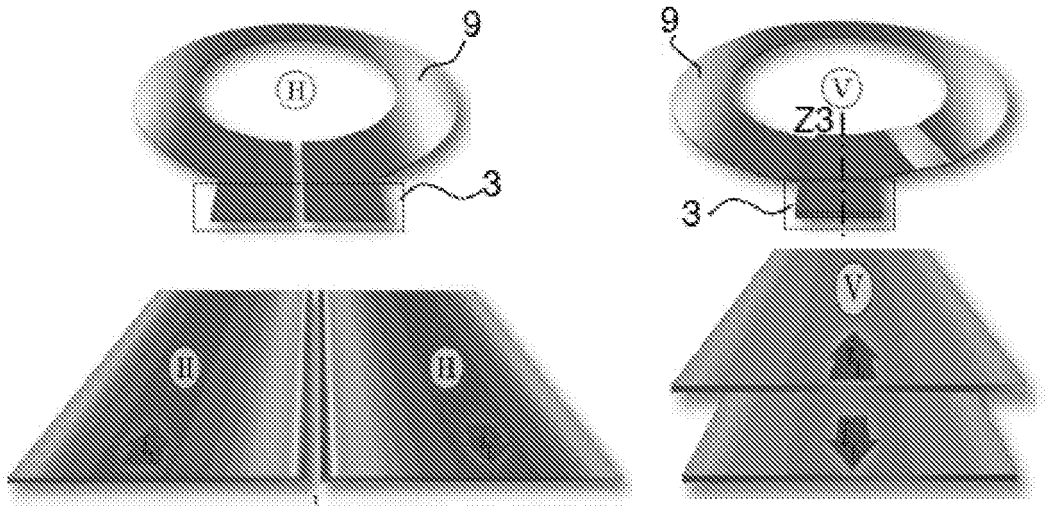


FIG. 7

[Fig. 8]

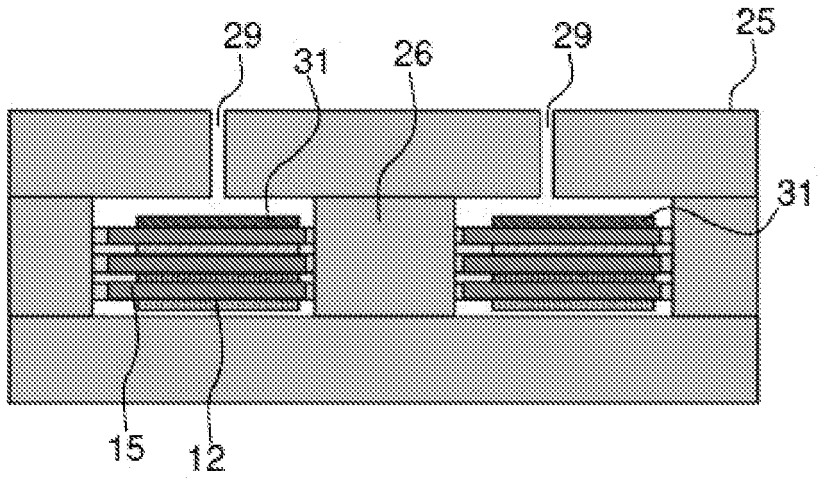


FIG. 8

[Fig. 9]

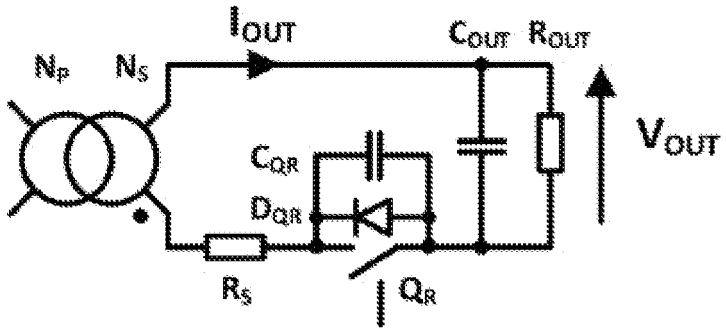


FIG. 9

[Fig. 10]

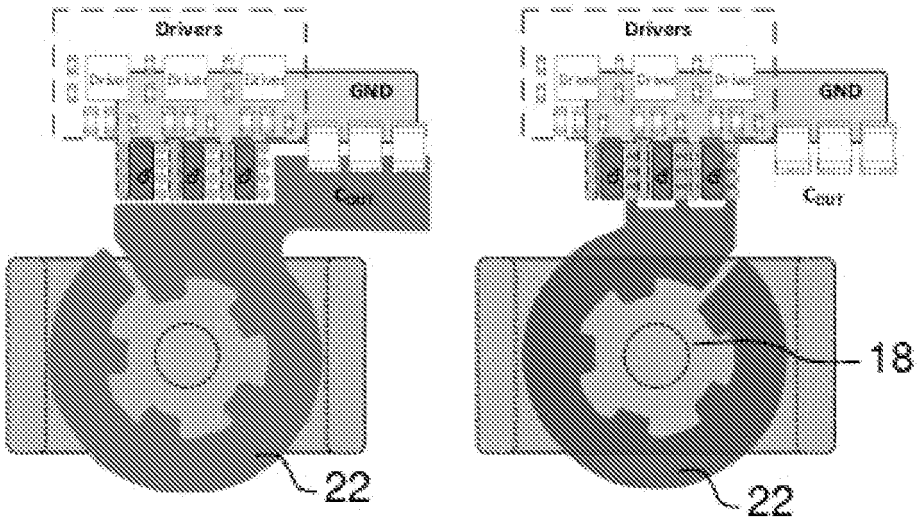


FIG. 10

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 899204
FR 2111347

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		
Y	US 2002/070835 A1 (DADAFSHAR MAJID [US]) 13 juin 2002 (2002-06-13) * alinéas [0004] - [0014]; figures 1-4 *	1-4	H01F27/28 H05K3/46
Y	SCHAFER JANNIK ET AL: "Novel Highly Efficient/Compact Automotive PCB Winding Inductors Based on the Compensating Air-Gap Fringing Field Concept", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 35, no. 9, 24 janvier 2020 (2020-01-24), pages 9619-9633, XP011786564, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2020.2969295 [extrait le 2020-05-05] * page 9622, colonne de gauche, ligne 20 - page 9625, colonne de gauche, ligne 28 * * figures 5-9 *	1-4	
A	SAKET MOHAMMAD ALI ET AL: "Planar transformers with no common mode noise generation for flyback and forward converters", 2017 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION (APEC), IEEE, 26 mars 2017 (2017-03-26), pages 211-217, XP033098240, DOI: 10.1109/APEC.2017.7930695 [extrait le 2017-05-17] * abrégé *; figures 1,5,6 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01F H05K

-/--

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
14 juin 2022	Reder, Michael

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

3

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 899204
FR 2111347

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		
A	SCHAFER JANNIK ET AL: "Zero-Voltage-Switching Auxiliary Circuit for Minimized Inductance Requirement in Series-Resonant DC/DC Converter Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 36, no. 6, 18 novembre 2020 (2020-11-18), pages 6469-6479, XP011835679, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2020.3038996 [extrait le 2021-02-03] * abrégé *; figure 7 *	1	
A,D	SCHAFER JANNIK ET AL: "Optimal Design of Highly Efficient and Highly Compact PCB Winding Inductors", 2018 IEEE 19TH WORKSHOP ON CONTROL AND MODELING FOR POWER ELECTRONICS (COMPEL), IEEE, 25 juin 2018 (2018-06-25), pages 1-8, XP033402445, DOI: 10.1109/COMPEL.2018.8460166 [extrait le 2018-09-10] * le document en entier * *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
14 juin 2022	Reder, Michael

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

3

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2111347 FA 899204

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 **14-06-2022**
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 2002070835 A1	13-06-2002	AT 300092 T	15-08-2005
		AU 6149301 A	03-12-2001
		CN 1426590 A	25-06-2003
		EP 1282904 A1	12-02-2003
		IL 152788 A	01-08-2006
		JP 2004503078 A	29-01-2004
		KR 20030007652 A	23-01-2003
		US 2002070835 A1	13-06-2002
		WO 0191142 A1	29-11-2001

EPO FORM P0465